

PUIDU- TÖÖTLEMISE ÕPIK

**TAL
TECH**

**TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOO**

PUIDUTÖÖTLEMISE ÕPIK

Jaan Kers (koostaja)



Tallinn 2024

Õpik on välja antud riikliku programmi
„Eestikeelsete kõrgkooliõpikute koostamine ja väljaandmine“ raames

Toetajad:

Haridus- ja Teadusministeerium



Põhiautorid:

Heikko Kallakas, TalTech puidutehnoloogia labori professor

Jaan Kers, TalTech puidutehnoloogia labori professor

Karmo Kiiman, TalTech puidutehnoloogia labori lektor

Üllar Luga, TalTech puidutehnoloogia labori lektor

Triinu Poltimäe, TalTech puidutehnoloogia labori vanemlektor

Rein Reiska, TalTech puidutehnoloogia labori emeriitdotsent

Märt Riistop, diplomeeritud insener

Rene Serg, Haapsalu Uksetehase AS arendusdirektor

Sisutoimetaja: Priit Kulu

Keeletoimetaja: Eva Saul

Küljendaja ja kujundaja: Tiia Eikholm

Autoriõigus: Tallinna Tehnikaülikool ja autorid, 2024

ISBN 978-9916-80-222-9 (pdf)

ISBN 978-9916-80-240-3 (köites)

EESSÕNA

Puidutöötlemise õpik on mõeldud kõrgkooli õpikuna kasutamiseks nii bakalaureuseõppe kui ka rakenduskõrghariduse tehnikaalade üliõpilastele, kelle õppekavas on puidutöötlemise põhiõppe või eriõppe õppeaineid (puitmaterjalid, saetööstuse tehnoloogia, puidu kuivatamine ja hüdro-termiline töötlemine, puidukaitse, puidu modifitseerimine, puidu lõiketöötlemine, puidutöötlemise masinad ja seadmed, puidutehnoloogia, spooni-, vineeri- ja puitplaatide tehnoloogia, CAD/CAM puidu-, plasti- ja tekstiilitööstuses, puidu- ja mööblitööstuse tehnoloogia, puittoodete konstrueerimine, puidu viimistlusmaterjalid ja -tehnoloogiad). Õpikut võivad kasutada ka ametikoolid õpilaste erialateadmiste süvendamiseks.

Puidutöötlemise õpikus ei ole põhjalikult käsitletud puidu ehitust, puidurikkeid, biokahjustusi ega puidu mehaanilisi omadusi, kuna need teemad on hästi läbi töötatud 2006. a ilmunud E. Saarmanni ja U. Veibri raamatus „Puiduteadus“. Käesolev õpik käsitleb puidu ehitust ainult sellisel määral, kui see on vajalik selgitamiseks, kuidas see mõjutab puidutöötlemise tehnoloogiliste protsesside kavandamist, puidu eeltöötlemist ja protsessiparameetrite ning tööriistade ja töötlemisvahendite valikut.

Puidutöötlemise õpik ei käsitle puidu käsitöötlemise tehnikaid ja selleks kasutatavaid puutööriistu, kuna need teemad on hästi kaetud 2010. a eesti keeles ilmunud A. Jacksoni ja D. Day „Puutöömeistri käsiraamatus“ (TEA kirjastus).

Puidutöötlemise õpik on koostatud aastatel 2017–2024. Peatükkide kirjutamist ja õpiku koostamist ning tekstide redigeerimist ja jooniste valmistamist on juhtinud Jaan Kers.

Puidutöötlemise õpiku **1. peatüki** puidu lõiketöötlemine algseks koostajaks oli Üllar Luga, kelle töö võttis üle Märt Riistop. **2. peatüki** saetööstuse tehnoloogia osa koostas Märt Riistop ja spooni tootmise osa Heikko Kallakas. **3. peatüki** puidu kuivatamise osa koostas Rein Reiska, spooni kuivatamise osa Heikko Kallakas ning puidu modifitseerimise osa Triinu Poltimäe ja Märt Riistop. **4. peatüki** autorid on Üllar Luga ja Märt Riistop. **5. peatüki** puiduliimimise ja insenerpuidu osa autor on Märt Riistop, vineeri tootmise osa koostas Heikko Kallakas, ning plaatmaterjalid peenestatud puidust kirjutasid Triinu Poltimäe ja Märt Riistop. **6. peatüki** koostasid Karmo Kiiman ja Märt Riistop. **7. peatüki** mööblitööstuse CNC-töötlemiskeskuste osa koostas Karmo Kiiman ning akna- ja uksetööstuse CNC-töötlemiskeskuste osa autoriks on Rene Serg. **8. peatüki** koostajaks on professor Jaan Kers. Õpiku teksti loomisel olid eeskujuks F. Bulian ja J.A Graystone 2008. a raamat „Wood Coatings: theory and practice“ ning 2017 saksa keeles avaldatud ametikoolide õpik „Holz-technik Fachkunde“. Kasutatud on Tiit Kapsi

õppematerjale õppeainest „Viimistlusmaterjalid“. **9. peatüki** koostas Jaan Kers ja täiendas Karmo Kiiman. **10. peatüki** koostas Jaan Kers, kes koordineeris ka koostööd paljude erinevatest ettevõtetest osalenud kaasautoritega. Urmas Jüriorg (CADSYS) kirjutas sissejuhatuse, ülevaate puidu- ja mööblitööstuses kasutatavatest raalprojekteerimissüsteemidest kirjutasid Lauri Link (Autodesk Inventor ja Woodwork for Inventor), Siim Vahemäe (AutoCAD, Fusion 360 ja IMOS), Priit Nool (IMOS), Tauno Erik ja Sander Kallissar (Solid Works), Meelis Muru (TopSolid). Alar Kuusik kirjutas uutest sidetehnoloogiast puidutööstuses ning Tauno Otto kirjutas lõigu tööstus 4.0 programmist. Puidutöötlemise digitaliseerimise ja automatiseerimise osa kirjutasid Jaan Kers ja Märt Riistop ning seda täiendas Siim Tammeväli, puidu kaskaadkasutuse osa Jaan Kers.

Suure töö õpiku 2D-joonistega tegi Catherine Kilumets, aitasid ka Joonas Lauri Hakonen ja Marja Mäetalu. Raamatu koostajad tänavad Silvi Treialit õpiku tekstide vorminduse eest.

Õpiku saetööstuse tehnoloogia koostamisel olid abiks Tõnu Ehrpais ja Siim Tammeväli, CNC-tehnoloogia konsultatsiooni eest palju tänu Kaido Käsikule. Täname Jaanus Sallat paranduste eest 2., 3., 4. ja 5. peatükis ja uute fotode eest puidu niiskuse mõõtmise ja sõrmtapi tehnoloogia alal. Viimistlustehnoloogia osas abistasid Raimo Jõgi, Arvi Roosi ja Marek Reppo. Suur tänu retsensentidele Ants Tarrastele ja Andrus Lutsule.

Raamatu autorid tänavad puidutöötlemise õpiku trükkimist toetanud ettevõtteid: Balti Spoon OÜ, Barrus AS, Combiwood Grupp OÜ, Estonian Plywood AS, Harviker OÜ, JS Inseneribüroo OÜ, Haapsalu Uksetehase AS, Kaur Trade OÜ, Kohila Vineer OÜ, Lasva Liimpuidu AS, MET-Terakeskus AS, Metsä Wood Eesti AS, Rait AS, Tarmeko KV OÜ, TNC Components OÜ, UPM-Kymmene Otepää OÜ, Viiratsi Saeveski AS, Võru Empak OÜ, Wermo AS.

Raamatu autorid tänavad emeriitprofessor Priit Kulu õpiku toimetamise eest ja Eva Sauli keele toimetamise eest.

Raamatu autorid tänavad Eesti Haridus- ja Teadusministeeriumi, Sihtasutust Archimedes ja Eesti Keele Instituuti õpiku koostamise toetamise eest riikliku programmi „Eestikeelsete kõrgkooliõpikute koostamine ja väljaandmine“ kaudu.

Raamatu koostajad on tänulikud tagasiside eest õpikule.

Õpiku põhiautorid:

Heikko Kallakas, Jaan Kers, Karmo Kiiman, Üllar Luga, Triinu Poltimäe, Rein Reiskal, Märt Riistop, Rene Serg.

SISUKORD

EESSÕNA	3
1 PUIDU LÕIKETÖÖTLUS	12
<i>H. Kallakas, Ü. Luga ja M. Riistop</i>	
1.1 Puidu ehitus ja puidu lõikamine	12
1.2 Lõiketera ja laastu geomeetria	18
1.3 Lõikeviisid ja laastu moodustumine	26
1.4 Puidulõikeriistad	29
1.4.1 Lõikeriistamaterjalid	29
1.4.2 Lõikeriistade kulumine ja nürinemine	33
1.4.3 Puidulõikeriistade teritamine	36
1.5 Saagimine	37
1.5.1 Ketassaagimine	37
1.5.2 Lintsaagimine	46
1.6 Freesimine	49
1.6.1 Freesid	55
1.6.2 Freesmasinad	64
1.7 Puurimine ja avade töötlemine	71
1.8 Puidu treimine	74
1.9 Spooni treimine ja hõõveldamine	75
1.9.1 Spooni treimise parameetrid	75
1.9.2 Spooni hõõveldamise parameetrid	82
1.10 Laastustamine	83
1.11 Lihvimine	85
1.12 KORDAMISKÜSIMUSED	92
ALLIKAD	92
2 SAEMATERJALI JA SPOONI TOOTMINE	94
<i>H. Kallakas ja M. Riistop</i>	
2.1 Saematerjali tootmine	94
2.1.1 Palkide sortimine	94
2.1.2 Palkide andmine saeliinile, koorimine ja tüüka freesimine.	98
2.1.3 Saagimine	102
2.1.4 Saematerjali sortimine	107
2.1.5 Saeliinide seadmed	119
2.2 Spooni tootmine	138
2.2.1 Palkide sortimine ja hüdrotermotöötlemine	138

2.2.2	Palkide koorimine	144
2.2.3	Palkide järkamine.....	145
2.2.4	Paku tsentreerimine	147
2.2.5	Spoonit treimine	150
2.2.6	Spoonit hõõveldamine.....	165
2.3	KORDAMISKÜSIMUSED	167
	ALLIKAD	170
3	SAEMATERJALI JA SPOONI KUIVATUS, PUIDU MODIFITSEERIMINE ...	172
	<i>H. Kallakas, T. Poltimäe, R. Reiska ja M. Riistop</i>	
3.1	Puidukuivatuse olemus, tööstuskeskkond ja protsessid	172
3.2	Puidu omadused	173
3.2.1	Puidu niiskus	173
3.2.2	Puidu hügrooskoopsus ja tasakaaluniiskus	174
3.2.3	Puidu niiskusdeformatsioon	176
3.2.4	Puidu tihedus	177
3.2.5	Temperatuuri ja niiskuse mõju puidu tugevusele.....	178
3.3	Saematerjalide kuivatus	179
3.3.1	Saematerjalide kuivatuse meetodid.....	179
3.3.2	Perioodiline madalatemperatuurine kamberkuivatus	179
3.3.3	Niiskuse liikumine puidus ja aurumine.....	186
3.3.4	Saematerjali perioodiline kamberkuivatus.....	191
3.3.5	Kondensatsioonikuivatus.....	201
3.3.6	Kõrgtemperatuurine kuivatus	202
3.3.7	Pidevkuivatus	203
3.3.8	Vaakumkuivatus.....	204
3.3.9	Vedeliku kuivatus.....	207
3.3.10	Korrosioon ja lenduvad orgaanilised ühendid kuivatusel	208
3.3.11	Atmosfäärne kuivatus.....	208
3.4	Spoonit kuivatus.....	209
3.4.1	Spoonit kuivatuse iseärasused	209
3.4.2	Spoonit kuivatuse meetodid	212
3.4.3	Spoonit kuivatus võrkkuivatis	216
3.4.4	Õhuniiskuse ja spoonit niiskuse reguleerimine kuivatis	217
3.4.5	Kuivati töö kontrollimine ja spoonit kvaliteet.....	221
3.5	Peenestatud puidu kuivatus	225
3.5.1	Peenestatud puidu kuivatuse iseärasused ja meetodid	225
3.5.2	Trummelkuivatid.....	225
3.5.3	Pneumokuivatid ja kombineeritud kuivatid	227
3.6	Puidu modifitseerimine	227

3.6.1	Keemiline modifitseerimine.....	229
3.6.2	Termo-hüdro- ja termo-hüdro-mehaaniline protsess	232
3.6.3	Termineline modifitseerimine.....	232
3.6.4	Koroona- ja plasmatootlus	234
3.7	KORDAMISKÜSIMUSED	235
	ALLIKAD	237
4	TÄISPUIDU TÖÖTLUS.....	238
	<i>Ü. Luga ja M. Riistop</i>	
4.1	Puittoorikute niiskusdeformatsioonid	238
4.2	Saematerjali ristlõike orientatsioon puidu aastarõngaste suhtes	240
4.3	Baaspinnad ja nende loomine töötamise käigus	240
4.4	Must- ja puhastoorikud. Töötlusvarud	246
4.5	Tappfreesimine, puitdetailide tappühendused mööbli tootmisel ja ehituses.....	250
4.5.1	Sõrmtapi põhimõtted ja liigid.....	252
4.5.2	Sõrmjätkatud puidu tootmisele esitatavad nõuded.....	254
4.5.3	Sõrmjätkamisliinid	256
4.5.4	Optimeerivad jätkamisliinid.....	260
4.6	KORDAMISKÜSIMUSED	266
	ALLIKAD	267
5	PUIDU LIIMIMINE, INSENERIPUIDUST TOODETE JA PUITPLAATIDE VALMISTAMINE	268
	<i>H. Kallakas, T. Poltimäe ja M. Riistop</i>	
5.1	Sissejuhatus liimimise teooriasse.....	268
5.2	Liimliite tugevuse mõjurid.....	270
5.3	Termoreaktiivsed ja termoplastsed liimid.....	274
5.4	Kuum- ja kontaktliimid	277
5.5	Liimitamisseadmed	278
5.6	Inseneripuit.....	288
5.7	Puidu niiskusesisalduse mõõtmine inseneripuidu tootmisel	298
5.8	Puidu tugevussortimine inseneripuidu tootmisel	302
5.9	Vineeri tootmine.....	303
5.9.1	Vineeri mõiste	303
5.9.2	Vineeri tootmisprotsess	305
5.9.3	Spoon sortimine	307
5.9.4	Spoon õmblus, jätkamine ja paikamine	309
5.9.5	Vineeri liimimine	321
5.9.6	Vineeritoorikute koostamine	328
5.9.7	Vineeri pressimine.....	331

5.10	Plaatmaterjalid peenestatud puidust	337
5.10.1	Puitlaastplaadid	339
5.10.2	Puitlaastplaatide liigid	354
5.10.3	Puitkiudplaadid.....	357
5.10.4	Puitkiudplaatide tootmine märgmeetodil	362
5.10.5	Puitkiudplaatide tootmine kuivmeetodil	366
5.11	KORDAMISKÜSIMUSED	371
	ALLIKAD	374
6	PUITPLAATIDE TÖÖTLUS.....	375
	<i>K. Kiiman ja M. Riistop</i>	
6.1	Plaatmaterjalid mööblitööstuses	375
6.2	Plaatdetailide töötlusoperatsioonid	375
6.3	Plaatmaterjali lahtilõikus.....	377
6.4	Plaatdetailide servade pealistus.....	383
6.5	Plaatdetailide töötlemine CNC-töötlemiskeskuses	391
6.6	Plaatdetailide pealistus kõrgsurvelaminaadiga	392
6.7	Plaatdetailide pealistus spooniga ehk spoonimine	396
6.8	Spoonitud detailide lihvimine	401
6.9	KORDAMISKÜSIMUSED	404
	ALLIKAD	405
7	CNC-TÖÖTLEMISKESKUSED PUIDUTÖÖSTUSES	406
	<i>K. Kiiman ja R. Serg</i>	
7.1	CNC-töötlemiskeskused mööblitööstuses.....	406
7.1.1	Plaatdetailide töötlusoperatsioonid	407
7.1.2	CNC-töötlemiskeskuse kere ehitus	408
7.1.3	Töödeldavate detailide kinnitus	409
7.1.4	CNC-töötlemiskeskustega tehtavad töötlused.....	413
7.1.5	CNC-töötlemiskeskuste lisaagregaadid.....	418
7.1.6	CNC-töötlemiskeskuste lõiketöötusterad.....	421
7.1.7	CNC-töötlemiskeskuste võrdlus.....	423
7.2	CNC-töötlemiskeskused uste tootmisel	426
7.2.1	Uksetööstuses kasutatavate CNC-keskuste kered	427
7.2.2	Lõikeinstrumendid	428
7.2.3	Töödeldavate detailide kinnitus	430
7.2.4	Uste töötlus.....	432
7.2.5	CNC-töötlemiskeskuste lisaagregaadid ustetöötlusel	433
7.2.6	CNC-uksetöötluskeskuste spetsiifilised lõikeinstrumendid	434
7.2.7	CNC-töötlemiskeskuste laadimissüsteemid	436

7.3	CNC-töötlemiskeskused akende tootmisel	438
7.3.1	Aknatööstuses kasutatavate CNC-keskuste kered.....	438
7.3.2	Töödeldavate detailide kinnitamine	438
7.3.3	Akende töötlemine	442
7.4	KORDAMISKÜSIMUSED	447
	ALLIKAD	448
8	PUIDU PINNATÖÖTLUS, VIIMISTLUSMATERJALID JA	
	-TEHNOLOOGIAD	449
	<i>J. Kers</i>	
8.1	Puitpinna ettevalmistus	449
8.1.1	Puitmaterjali pinna iseloomustus	449
8.1.2	Puitmaterjali pinna puhastus ja lihvimine	452
8.1.3	Vaiguplekkide eemaldamine keemiliste ainetega	453
8.1.4	Lihvitud puidupinna eeltöötlus enne peitsimist või viimistlust	454
8.1.5	Puidupinna pahteldamine ja kruntimine.....	455
8.1.6	Puidupinna lihvimine	456
8.1.7	Puidupinna pleegitus ja pinna ettevalmistus viimistluseks	461
8.1.8	Puidupinna adhesioon viimistlusmaterjalidega.....	461
8.2	Peitsid ja puidupinna peitsimine	464
8.3	Kuivavad õlid, vahad ja looduslikud vaigud puidu viimistlusel.....	469
8.3.1	Kuivavad õlid puidu viimistlemisel	469
8.3.2	Vahad puidu viimistlemisel.....	472
8.3.3	Looduslikud vaigud puidu viimistlemisel.....	473
8.4	Lakk- ja värvpinnakatted kilemoodustajana	474
8.4.1	Laki- ja värvisüsteemid	477
8.4.2	Nitrotsellulooslakid ja -värvid.....	486
8.4.3	Happekövenevad lakid	488
8.4.4	Polüuretaanlakid ja -värvid	490
8.4.5	Polüesterlakid ja -värvid.....	491
8.4.6	Alküüdlakid ja -värvid	492
8.4.7	Akrüüllakid ja -värvid	495
8.4.8	Vesialusel lakid ja värvid	496
8.4.9	UV-kövenevad lakid ja -värvid	497
8.5	Viimistlustehnoloogia põhiprotsessid	498
8.5.1	Puidupinna kruntimine	501
8.5.2	Pinnalakid ja -värvid avatud ja suletud pooridega puidupinna viimistluseks	502
8.5.3	Viimistlusmaterjali pealekanne kontaktmeetodil	508
8.5.4	Viimistlusmaterjali pealekandmine pihustusmeetodil	516

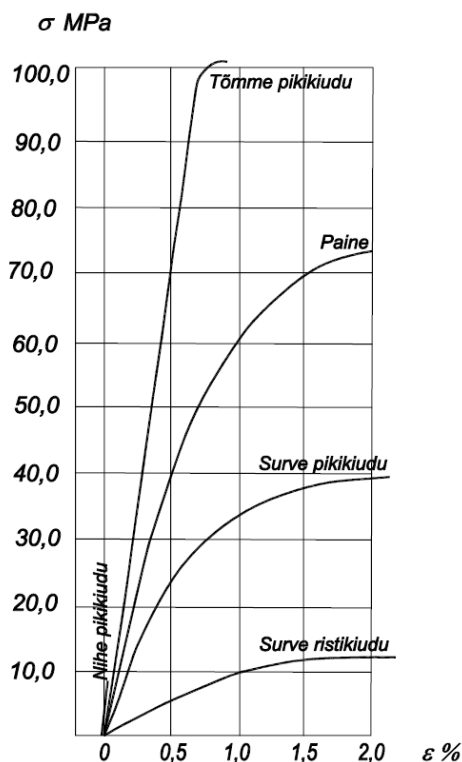
8.5.5 Viimistlusmaterjaliga töötamine	527
8.6 Viimistlusmaterjalide kuivatus ja kõvenemine	531
8.6.1 Konveksioonkuivatus	533
8.6.2 Radiatsioonkuivatus	535
8.6.3 Kuivatusmeetodite võrdlus	538
8.7 Viimistluskile järeltöötlus	539
8.8 Viimistlusmaterjalide ja pinnakatete omaduste hindamise põhilised meetodid.	539
8.8.1 Pinnakatete katsetamine	540
8.8.2 Võimalikud viimistlusdefektid ja nende tekkepõhjused	542
8.9 KORDAMISKÜSIMUSED	544
ALLIKAD	545
9 MÖÖBLI KAVANDAMINE, KONSTRUEERIMINE, SEOTISED JA FURNITUUR	546
<i>J. Kers ja K. Kiiman</i>	
9.1 Nõuded mööblile ja standardimine	546
9.2 Ergonoomika mööbli kavandamisel	546
9.3 Mööbliliited	558
9.3.1 Lahtivõetavad liited	561
9.3.2 Mittelahtivõetavad liited	572
9.3.3 Tappide ja liimiga fikseeritavad liited	575
9.4 Mööblifurnituur	576
9.4.1 Kinnitusvahendid	577
9.4.2 Uksehinged	577
9.4.3 Sahtlisiinid ja sahtliküljed	582
9.4.4 Lukud ja riivid/sulgurid	585
9.4.5 Käepidemed ja nagid	586
9.4.6 Lükanduste süsteemid	587
9.4.7 Laudade furnituur	589
9.4.8 Soklikorrigeerijad	589
9.4.9 Valgustid	593
9.4.10 Garderoobifurnituur	594
9.5 Mööbli kavandamine ja koostamine	595
9.6 KORDAMISKÜSIMUSED	601
ALLIKAD	602

10 RAALPROJEKTEERIMIS- JA -TOOTMISSÜSTEEMID	
MÖÖBLITÖÖSTUSES. PUIDUTÖÖSTUSE DIGITALISEERIMINE	603
<i>T. Erik, U. Jürjorg, S. Kallisaar, J. Kers, A. Kuusik, L. Link, M. Muru, P. Nool, T. Otto, M. Riistop ja S. Tammeväli, S. Vahemäe</i>	
10.1. Ülevaade mööblitööstuses kasutatavatest raalprojekteerimissüsteemidest.....	603
10.2 Tööstus 4.0	643
10.2.1 Tööstus 4.0 areng maailmas	644
10.2.2 Moodne sidetehnoloogia puidutööstuses	648
10.3 Puidutööstluse digitaliseerimine ja automatiseerimine	650
10.3.1 Metsa ülestöötamise digitaliseerimine ja automatiseerimine	651
10.3.2 Saetööstuse digitaliseerimine ja automatiseerimine	652
10.3.3 Pidevprofiilpuittoodete ja sõrmjätkatud komponentide tootmise digitaliseerimine ja automatiseerimine	658
10.3.4 Täispuidu tootmise digitaliseerimine ja automatiseerimine	659
10.3.5 Plaatmaterjalide tootmise digitaliseerimine ja automatiseerimine	660
10.3.6 Mööblitööstuse digitaliseerimine ja automatiseerimine	661
10.3.7 Puithoonete tootmise digitaliseerimine ja automatiseerimine	662
10.4 Puidu kaskaadkasutus.....	664
10.5 KORDAMISKÜSIMUSED	666
ALLIKAD	668
Register.....	670

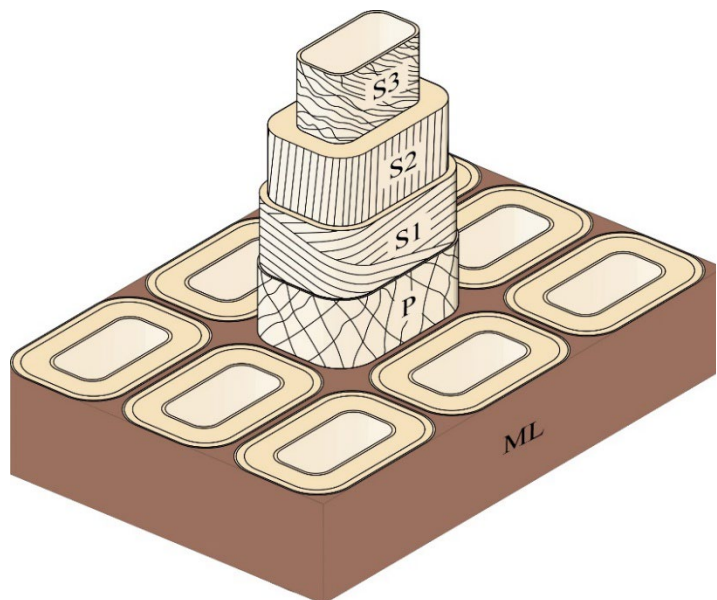
1 PUIDU LÖIKETÖÖTLUS

1.1 Puidu ehitus ja puidu lõikamine

Puit (*wood*, lad k *lignum*) on anisotroopne materjal – selle mehaanilised omadused sõltuvad vaatluse tasandeist ja suunast. Puidu tugevus oleneb jõu mõjumise suunast kiudude suhtes. Suurim tugevus on jõu mõjumisel pikikiudu ja väiksem ristikiudu. Analooogne nähtus esineb ka puidu niiskusdeformatsioonide puhul. Joonisel 1.1 on esitatud okaspuidu pingedeformatsiooni graafikud lühiajalisel koormamisel. Pikikiudu tõmbetugevusel ja pikikiudu nihketugevusel on ligi 15-kordne erinevus.



Joonis 1.1 Okaspuidu pingedeformatsiooni graafikud.



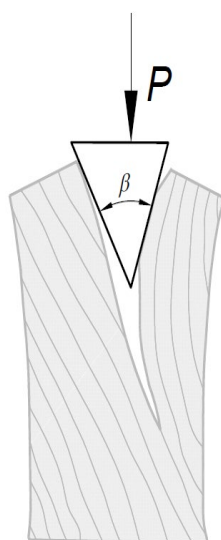
Joonis 1.2 Puidu ehitus: P – primaarkihit, S1, S2, S3 – sekundaarkihid, ML – vahelamell.

Puidurakk (joonis 1.2) on neljakandiline torujas rakk, mille rakusein koosneb mitmest kihist (P, S1, S2, S3). Rakuseinas olevate fibrillide eraldamine toimub ketasveskitega tselluloositöötuses ja puitpladitööstuses, traditsioonilisel puidutöötlemisel on tegemist enamasti kiudude eraldamise ja läbilõikamisega. Oluline on siin asjaolu, et puidurakke seob suure ligniinisaldusega vahelamell, mis on mehaaniliselt nõrk. Seetõttu on puit kiu suunas tugev tõmbele, kuid nõrk nihkele. Kiududega ristisuunas on puit eriti nõrk tõmbele. Puidul on suur paindetugevus pikikiudu ja sellest ligi poole väiksem survetugevus pikikiudu. Ristikiudu on puidu tugevus nii

tõmbele, paindele kui ka survele väike. Seega võib eelneva põhjal välja tuua, et puidul esineb mehaaniliste tugevuste anisotroopsus. Seda võetakse arvesse puidulõikeriistade konstrueerimisel, nähes ette spetsiaalsed lõikeservad kiudude läbilõikamiseks ja kasutades ära puidu nõrgemaid mehaanilisi omadusi lõikeservade orienteerimisel teatud suunas. Samuti põhjustab mehaanilise tugevuse anisotroopsus puidu lõikamisel negatiivset kaasmõju nagu kiudude lahti- ja väljarebimine (*tear-out*) ning kildude eraldumine vastukiudu lõikamisel. Puidu mehaaniliste omaduste anisotroopsus mõjutab ka laastu moodustumist erinevatel lõikeviisidel.

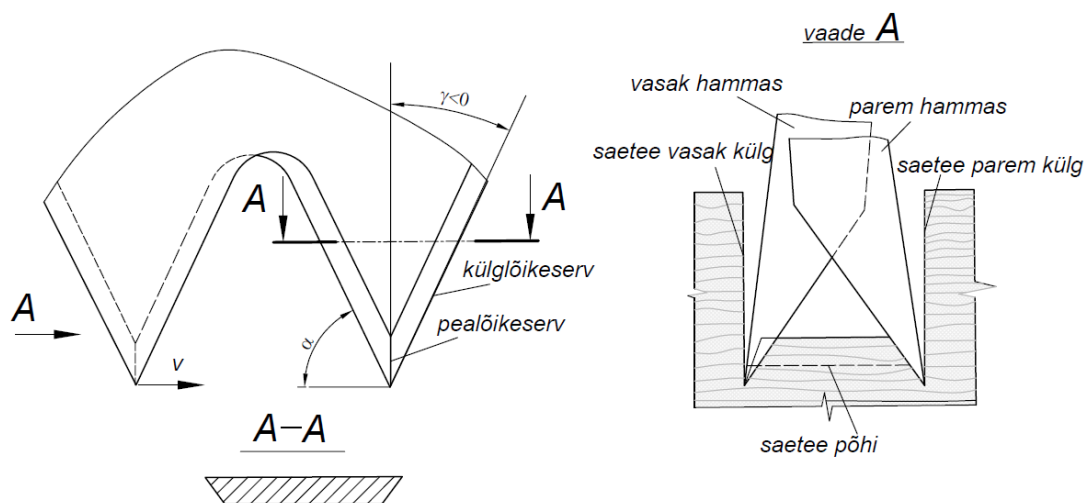
Järgnevalt näiteid puidu lõikeviisidest, mis põhinevad puidu anisotroopsel ehitusel.

Puidulõhestamisel (*wood splitting*) toimub puidu purunemine piki kiudu. Puidu tugevus on väiksem tõmbele ja nihkele ristikiudu, seetõttu puit lõhestub kergesti (joonis 1.3).



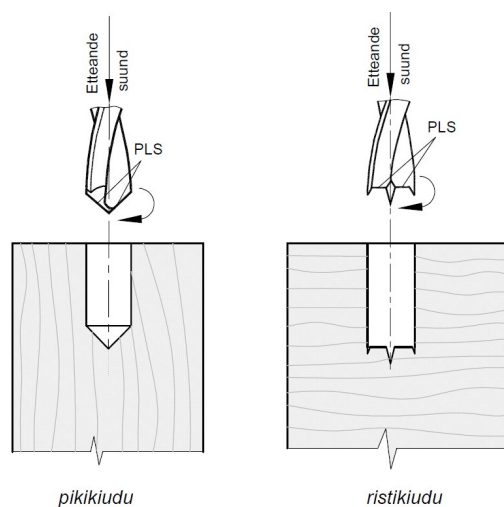
Joonis 1.3 Puidu lõhestumine.

Puidu ristisaagimine (*sawing wood across the grain*) **sarikhammastega** saega (*cross-cut saw with peg tooth*) (joonis 1.4). Saehamba liikumisel puidus on puidukiud esmalt kontaktis külglõikeservadega, mis lõikavad puidukiud läbi saetee mõlemas küljes. Pealõikeserv eemaldab läbi lõigatud puidukiud saeteest. Selleks vajalik jõud on väike, sest puit on nihkele pikikiudu nõrk. Seoses kõvasulamplaatide kasutuselevõttuga saeketaste valmistusel on joonisel 1.4 kujutatud saag praktilisest kasutusest kadunud, v.a näiteks käsisaagides. Käsisaagide puhul kasutatakse **räsamist**, mis on saetee laiendamise meetod saehammaste kahele poole kõrvalepainutamise teel (joonis 1.4).



Joonis 1.4 Puidu ristisaagimine räsatud sarikhammastega saega.

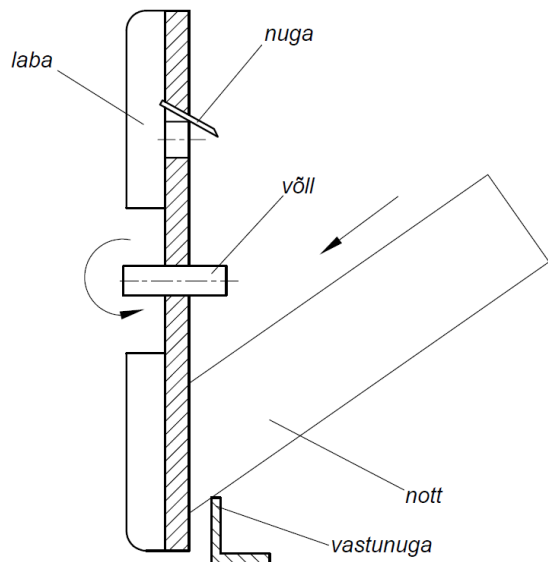
Puidu puurimine ristikiudu (*wood drilling across the grain*) (joonis 1.5). Ristikiudu puurimisel lõikavad spetsiaalse puuri külglõikurid kiud enne läbi ning seejärel nihutab pealõikeserv kiudusid ristisuunas ja laast eraldub kergesti. Laast viiakse avast välja spiraalsoone abil, selle serv lõikab ava pinna siledaks. Pikikiudu puurimiseks kasutatakse 60–80° tipunurgaga spiraalpuuri.



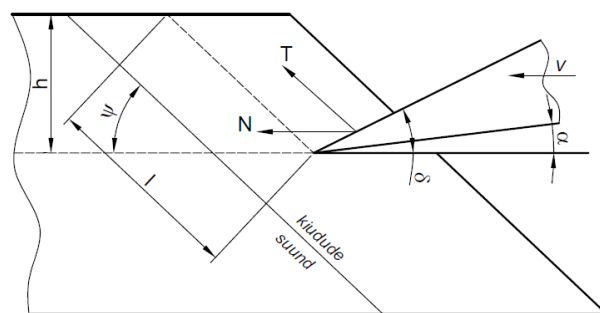
Joonis 1.5 Puidu puurimine piki- ja ristikiudu; PLS – pealõikeserv.

Puidu laastustamine ketasraiemasinas (*wood chipping in a disc chipper*) (joonised 1.6 ja 1.7). Puidunotid suunatakse gravitatsioonilise või mehaanilise etteande abil vastu lõikeketast. Kettale kinnitatud nugade abil toimub lõikamine, laast läbib kettas oleva ava ja kiirendatakse ketta vastasküljel olevate labadega (joonis 1.6) ning imetakse pneumotranspordisüsteemi poolt

ära. Lõikenuga tungib puitu (joonis 1.7) ja lõikejõu kiusuunaga paralleelne komponent T suureneb järk-järgult. Selle teatud väärtusel laast eraldub (puit on nõrk nihkele pikikiudu). Laastu pikkus l sõltub noa reguleerimiskõrgusest ketta tasapinna suhtes, laastu paksus aga lõikenurgast δ (määrab ära jõukomponendi T suuruse).

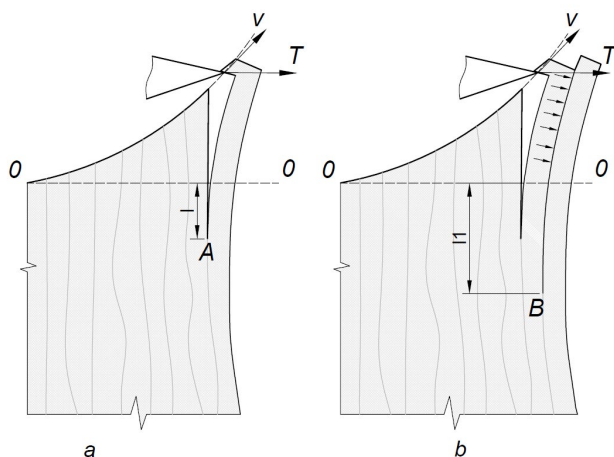


Joonis 1.6 Ketasraiemasina skeem.

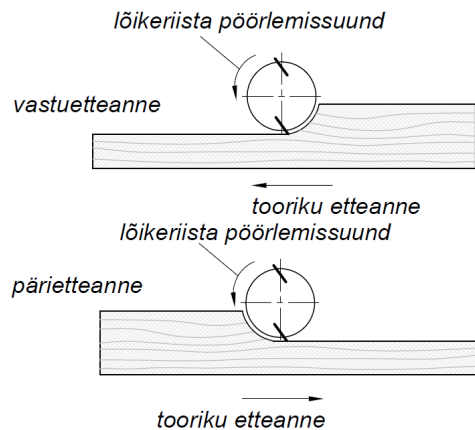


Joonis 1.7 Lõikamine ketasraiemasinaga.

Puidukiudude lahtirebestumine (*tearing of wood fibres*). Kui lõiketera jõuab puittooriku serva lähedale (joonis 1.8 a), mõjutab ta puidukiude jõuga T . Kuna puit on nõrk tõmbele risti kiudu, paindub äärekiht külgsuunas ja tekib lõhe, lõhe lõpeb punktis A , lõhe pikkus on l . Kui järgmine lõiketera jõuab tooriku servani (joonis 1.8 b), mõjutab ta järgmist äärekihti 2 jõuga T , mis omakorda koormab lõpukihti l lisa-paindekoormusega. Selle tulemusel pikeneb lõhe puittoorikus sügavamale ja lõpeb nüüd punktis B , lõhe pikkus $l_1 > l$. Pärast mitut lõiketera läbimist on võimalik äärmiste kihtide eraldumine ja kogu tooriku rikkumine. See kõik juhtub vastuetteande puhul (joonis 1.9), pärietteandel seda ei toimu. Joonisel 1.9 on kujutatud päri- ja vastuetteande skeem. Kui kontaktkaares ulatuses on lõikeinstrumendi pöörlemissuund ja tooriku etteande suund sama, on tegemist pärietteandega, kui vastassuunas, siis vastuetteandega. Pärietteandel on lahtirebestumise oht väiksem, kuid etteanne võib muutuda kontrollimatuks – lõikeriist haarab tooriku kaasa. Seetõttu tuleks tooriku käsi etteandel ohutusnõuete tõttu vältida pärietteannet ja kasutada seda ainult mehaanilise tooriku etteande korral.



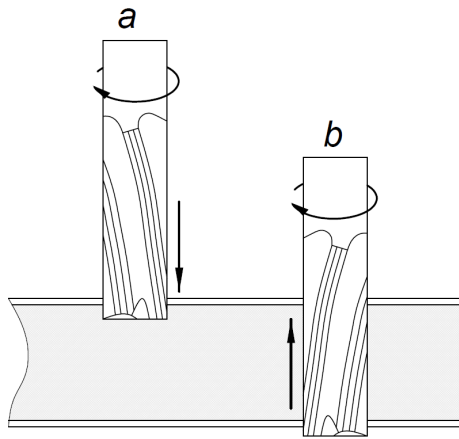
Joonis 1.8 Puidukiudude lahtirebestumine tooriku servas.



Joonis 1.9 Päri- ja vastuetteanne.

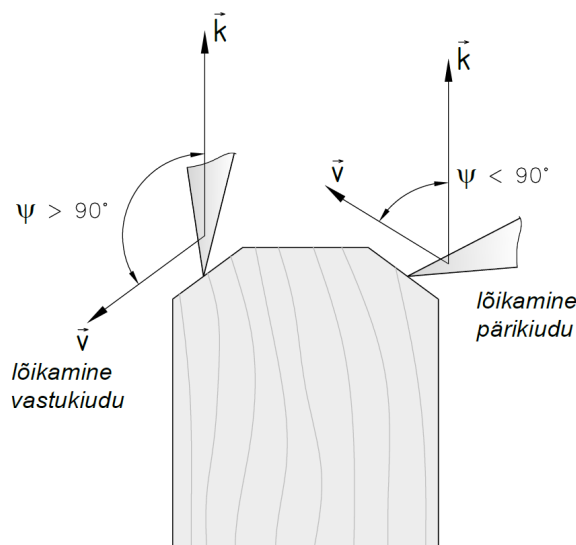
Universaalses ketassaagides kasutatakse puitplaatide lahtisaagimisel detailideks alumise pealistuskihi servades kildude lahtilöömise vältimiseks nn vastulõikesaagi – see on pärietteandega pöörlev väiksema diameetriga saeketas, mis lõikab plaati paari millimeetri sügavuse soone, järgnev vastuetteandega töötav sama laia saetega põhisaag lõikab plaadi lõplikult läbi.

Puidukiudude lahtirebestumist esineb ka otsfreesimisel. Tavalise, parempöördfreesi (paremakäeline frees) ja freesi krurvijoonelise lõikeserva positiivse tõusunurga korral (parempoolne keerdumus) rebitakse kiud lahti (tõstetakse üles) freesi sisenemisel materjali ülalt. Seetõttu tuleks vineeri ja pealistatud plaatide freesimisel kasutada ülemiste kihtide freesimisel negatiivse keerdumusega frees (vasakpöördfrees) ja alumise kihi freesimisel positiivse keerdumusega (parempöördfrees) frees (joonis 1.10). **Lõikejõud** (*cutting force*) on jõud materjali vastupanu ületamiseks lõikamisel.

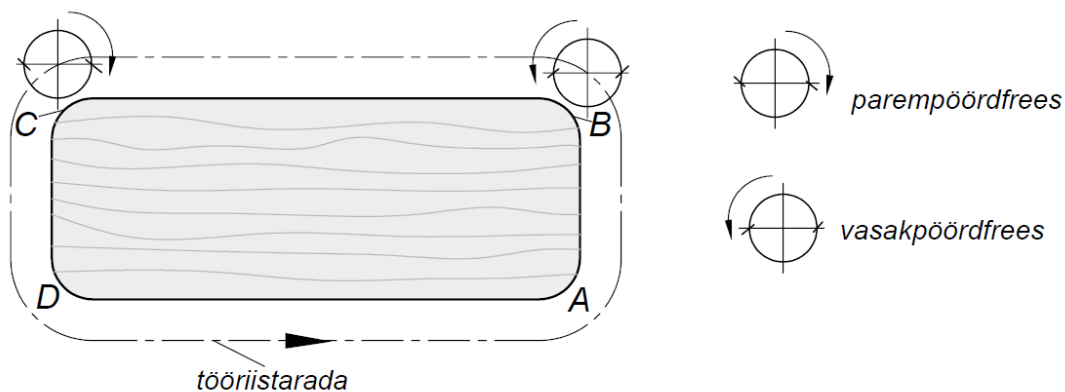


Joonis 1.10 Otsfreesi keerdumus: a – negatiivne keerdumus, lõikejõud suunatud alla; b – positiivne keerdumus, lõikejõud suunatud üles.

Vastukiudu lõikamise vältimine. Täispuidu (*solid wood*) lõikamisel (freesimine, hõõveldamine) on oluline lõikekiiruse ja puidukiudude suuna vastastikune asend (joonis 1.11). Võttes kiusuuna vektori suuna alati toorikust väljapoole, tuleb jälgida kiudude läbilõikenurka ψ kiusuuna vektori k ja lõikekiiruse vektori v vahel. Kui $\psi > 90^\circ$ (ψ on nürinurk), on tegemist vastukiudu lõikamisega, kui ψ on teravnurk, on tegemist pärikiudu lõikamisega (joonis 1.11). Vastukiudu lõikamise piirkonnas on halb lõikepinna kvaliteet tingitud kildude eraldumisest ja kiudude lahtirebestumisest. Kui võimalik, tuleks vastukiudu lõikamist vältida. Nendes lõikepiirkondades tuleb selleks lõikekiiruse suunda muuta (kasutada vasakukäelist freesi paremakäelise asemel või töödelda ümberpööratud toorikut, vt joonis 1.12). Võimalik on ka väiksema lõikesügavuse ja väiksema etteandekiiruse kasutamine.

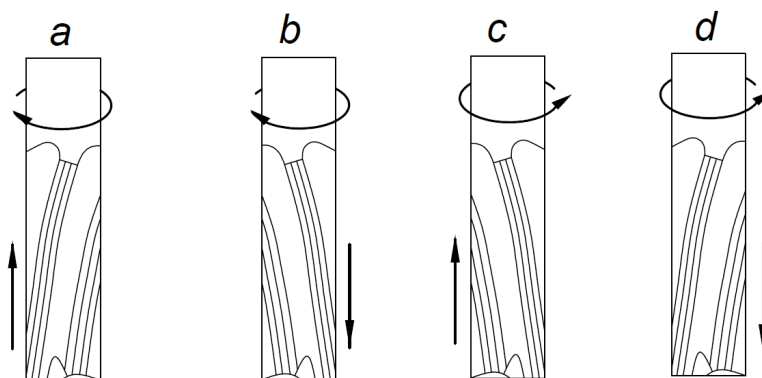


Joonis 1.11 Päri- ja vastukiudu lõikamine.



Joonis 1.12 Vastukiudu lõikamise vältimine, piirkondades A ja C parempöördfreesi, piirkondades B ja D vasakpöördfreesi kasutus.

Joonisel 1.12 kujutatud puitdetaili lõikamisel otsfreesidega võib vaja minna sama läbimõõduga nelja erinevat freesi (joonis 1.13): 2 ülaltlõike- ja 2 altlõikefreesi ning 2 parempöörd- ja 2 vasakpöördfreesi. Kuna otsfreesimisel kasutatakse freeside suuri pöörlemissagedusi ja laastu paksus on seetõttu väike, siis enamasti joonisel 1.12. kirjeldatud võimalust ei kasutata.



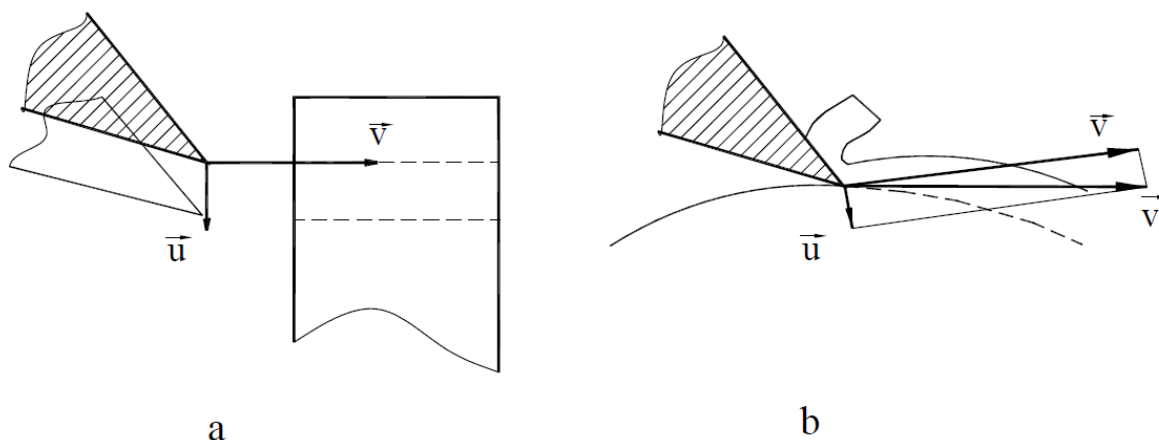
Joonis 1.13 Sama läbimõõduga erinevad otsfreesid: a, b – parempöördfreesi; c, d – vasakpöördfreesi; a, c – altlõikefreesi (*downcut router bit*); b, d – ülaltlõikefreesi (*upcut router bit*).

1.2 Lõiketera ja laastu geomeetria

Tooriku ja lõiketera (teriku) liikumisi liikumatute koordinaattelgede suhtes lõikeprotsessis nimetatakse **lõikamise tööliikumisteks** (*working motions in machining*). Et eemaldada rohkem kui üht laastu, on vajalikud vähemalt kaks liikumist:

- lõikeliikumine ehk pealiikumine;
- etteandeliikumine.

Need liikumised toimuvad erineva kiirusega ja võivad toimuda kas ühel ajal (joonis 1.14 b) või teineteise järel (joonis 1.14 a).

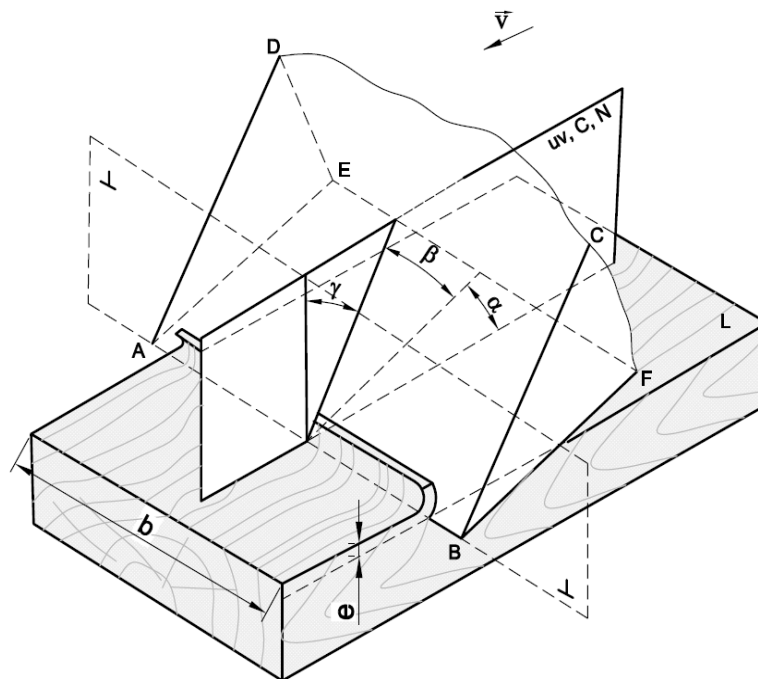


Joonis 1.14 Tööliikumised lõikamisel.

Lõikeprotsessis liigub tera tooriku suhtes trajektoori mööda, mida nimetatakse **lõiketrajektoori**ks (*cutting path*). Lõiketera ja tooriku suhtelist kiirust sellel trajektoorigil nimetatakse lõikekiiruseks v' . Etteandekiirus ja suund on määratud vektoriga u . Kui etteandeliikumine toimub eraldi, langeb lõikekiirus kokku pealiikumise kiirusega: $v = v'$. Kui need liikumised toimuvad ühel ajal, siis nad liituvad ja lõikekiiruse vektor v' on lõiketrajektoorigile puutujaks.

Juhtudel, kui arvutuste täpsus ei ole suur ja $v \gg u$, võib piisava täpsusega lugeda lõikekiiruseks pealiikumise kiirust, näiteks freesimisel, ketassaagimisel jne. Sellistel juhtudel vektor v läheneb vektorile v' .

Laastuks (*chip*) nimetatakse lõiketera ühe töökäiguga eraldatavat töödeldava materjali osa. Lõikamine võib toimuda kas laastu moodustamisega või ilma, vastavalt sellele eristatakse laastuga ja laastuta lõikamist. Laastuga lõikamised on enamik puidutöötlemise lõikeprotsesse, laastuta lõikamine on puidu stantsimine tuletikkude valmistamisel, spooni lõikamine giljotiiniga, kuni 20 cm läbimõõduga puude langetamine **hüdraulilise käärlõikuriga** (*hydraulic tree shear cutter*), puidu lõikamine veejoaga. Laast võib lõikeprotsessi suhtes olla kas produktiks või jäätmeks. Produktiks on ta näiteks tehnoloogilise laastu, laastvati, spooni lõikamisel, s.t kui ta on kindla kuju ja mõõtmetega. Jäätmeks on laast freesimisel, saagimisel, lihvimisel jne, s.t kui lõikeprotsessi läbiviimisel pole laastu parameetrid olulised.



Joonis 1.15 Lõiketera geometria.

Lõiketera võib olenevalt oma kujust olla ümbritsetud erineva arvu kõver- või tasapindadega. Lõiketera ümbritsevaid tasandeid (*plane*) nimetatakse tahkudeks. Joonisel 1.15 kujutatud lõiketeral on neli tahku:

- esitahk $ABCD$;
- tagatahk $ABFE$;
- kaks külgtahku AED ja BCF .

Esitahuks (*leading face*) $ABCD$ nimetatakse pinda, mis aktiivselt deformeerib laastu, mida mööda laast libiseb. **Tagatahk** (*back face*) $ABFE$ asetseb esitahu vastas. Esitahu ja tagatahu lõikejoont nimetatakse **pealõikeservaks** (*main cutting edge*) (joonisel 1.15 AB). Servi AD ja BC nimetatakse **eesmisteks külglõikeservadeks** (*front side cutting edges*) (need moodustuvad esitahu ja külgtahkude lõikumisel), servi AE ja BF **tagumisteks külglõikeservadeks** (*back side cutting edges*) (moodustuvad tagatahu ja külgtahkude lõikumisel).

Teoreetiliselt loetakse pealõikeserva sirgjooneks, mis moodustub kahe tasandi lõikumisel. Tegelikult kujutab pealõikeserv endast keeruka kujuga korrapäratut üleminekupinda kahe tasandi vahel. Joonisel 1.15 kujutatud lõiketera on absoluutselt terav. Mikroskoopilisel uurimisel suurendusega 150–200 korda on lõiketera ristlõikel pealõikeserva kontuur mitte punktikuju, vaid teatud ümardusraadiusega ρ . Pealõikeservaks võib geomeetrilises mõttes lugeda

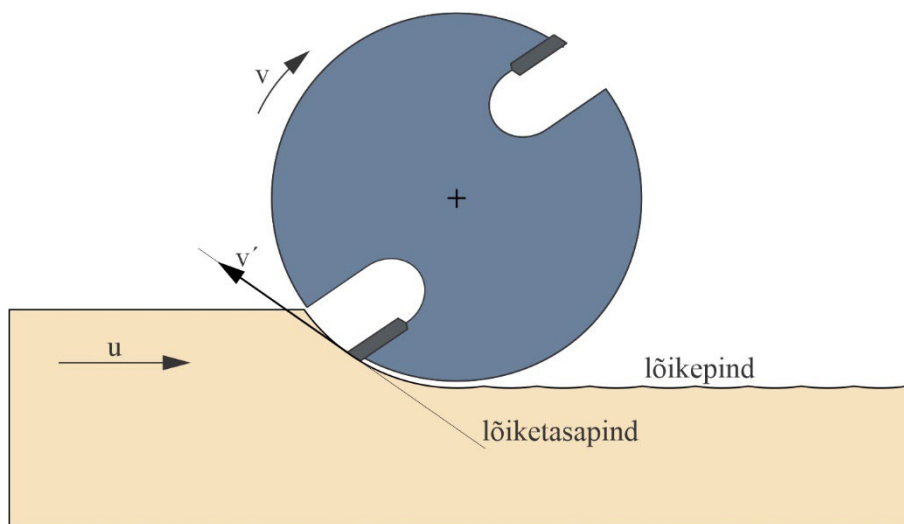
üleminekupinda, mis ühendab esitahku tagatahuga. Selliselt kujutatud lõiketera nimetatakse **reaalseks lõiketeraks**.

Raadiust ρ nimetatakse lõikeserva ümardusraadiuseks, mis on parameeter, millega hinnatakse lõikeserva nürinemist.

Pealõikeserv on lõiketera tähtsaim element. Ta puutub esimesena puiduga kokku ja tungides puitu välise jõu mõjul, eraldab laastu, lõhkudes puidurakkude vahelise sideme. Pealõikeserva seisukorrast sõltub oluliselt lõikepinna kvaliteet ja lõiketerale mõjuvate jõudude suurus. Katsetega on kindlaks tehtud, et vajatav **lõikevõimsus** (*cutting capacity*) kasvab 50%, kui lõiketera ümardusraadius ρ suureneb 15 μm -lt 30 μm -le. Seega suureneb nürima lõiketera tarbitav lõikevõimsus oluliselt. Esitahk eraldab pealõikeservaga lõigatud laastu toorikust, deformeerides laastu. Tagatahk lõikeprotsessis aktiivset rolli ei mängi.

Pealõikeserva ümardusraadius peaks teritatud freesidel olema 5 μm (saagidel 10 μm). Kui ümardusraadiuse väärtus suureneb 40–50 μm , tuleb lõiketera teritada, sest vastasel korral halveneb töödeldava pinna kvaliteet ja suureneb vajalik lõikevõimsus.

Joonisel 1.15 kujutatud **lõiketasapind L** (*cutting plane*) on määratud lõikekiiruse vektoriga v' ja pealõikeservaga AB . Lõiketasapind on kõverjoonelise lõikepinna korral (freesimine, saagimine jt) sellele puutujaks, tasapinnalise lõikepinna korral aga ühtib sellega (joonis 1.16).



Joonis 1.16 Lõikepind ja lõiketasapind.

Liikumistasapinnaks uv (*plane of motion*) nimetatakse tasapinda, mis on määratud pealiikumise kiiruse vektoriga v ja etteandekiiruse vektoriga u (joonis 1.15). Pöörleva liikumisega lõikeriistade puhul on see tasapind enamasti lõikeriista pöörlemisteljega risti.

Normaaltasapinnaks N (*normal plane*) nimetatakse tasapinda, millele pealõikeserv on normaaliks. Normaaltasapind on risti lõiketasapinnaga (joonis 1.20).

Laastu liikumise tasapinnas C (*plane of chip movement*) (joonis 1.15) toimub laastu liikumine ja hõõrdejõudude töö. Laastu liikumise tasapinna määrab tegeliku lõikekiiruse vektor v' , see tasapind võetakse risti lõiketasapinnaga L .

Lisaks kasutatakse nurkade määramiseks abitasapinda $\perp$ (risttasapind), mis võetakse läbi pealõikeserva risti lõiketasapinnaga. Joonisel 1.15 on lõikekiirus v ($v' = v$, sest etteandeliikumine u toimub perioodiliselt eraldi ajahetkel) risti pealõikeservaga, seetõttu langevad tasapinnad uv , C ja N kokku. Erinevus nende tasapindade vahel esineb, kui

- lõiketeral on kaldteritus;
- lõikekiirus v' ei ole risti pealõikeservaga.

Lõiketera nurkade määramiseks vaadeldakse tema lõiget tasapindades N , uv või C . Liikumistasapinnas uv mõõdetud nurki nimetatakse **kinemaatilisteks nurkadeks** (*kinematic angles*). Kui liikumistasapind langeb kokku joonise tasapinnaga, nimetatakse neid nurki ka **kontuurnurkadeks** (*contour angles*). Nurgad on väikseimad tasapinnas N (N tasapind on lõikeservaga risti), neid nurki nimetatakse teritusnurkadeks (neid on vaja teada teritamisel). Liikumistasapinnas mõõdetud nurgad määravad lõikejõudude suuruse, nurgad laastu liikumise tasapinnas aga laastu eraldumise tingimused.

Joonistel 1.15 ja 1.17 on kujutatud järgmised nurgad:

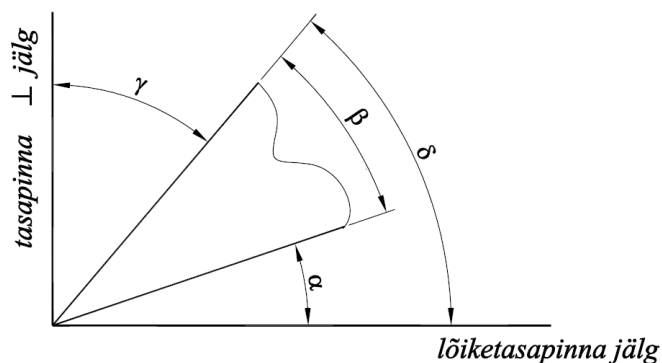
- **esinurk γ** (*rake angle*) on esitahu ja lõiketasapinna risttasapinna vaheline nurk;
- **taganurk α** (*clearance angle*) on tagatahu ja lõiketasapinna vaheline nurk;
- **teritusnurk β** (*sharpness angle*) on esi- ja tagatahu vaheline nurk;
- **lõikenurk δ** (*cutting angle*) on esitahu ja lõiketasapinna vaheline nurk.

Kehtivad järgmised seosed:

$$\gamma + \beta + \alpha = 90^\circ, \quad (1.1)$$

erandid joonistel 1.18 ja 1.19,

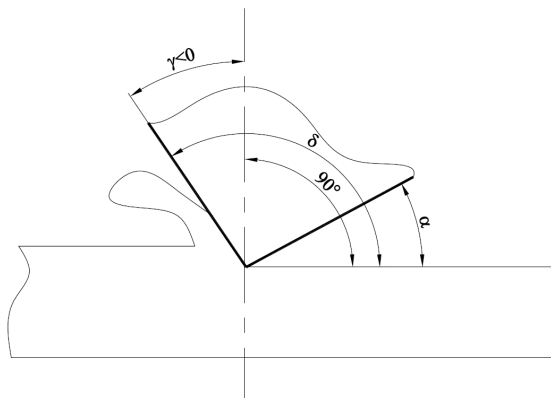
$$\delta = \beta + \alpha. \quad (1.2)$$



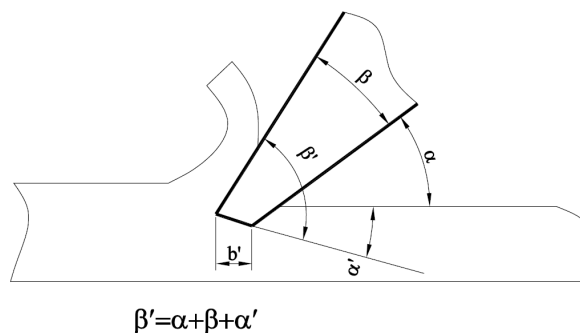
Joonis 1.17 Lõiketera nurgad.

Puidu lõikamisel esinevad töötlusviisid, kus lõikamine toimub negatiivse esinurgaga (lõikenurk δ on sel juhul $> 90^\circ$). Sellisteks lõikeviisideks on lihvimine abrasiivmaterjaliga ja puidu ristisaagimine nn sarikashammastega saega (joonis 1.3). Esinurk on negatiivne, kuna seda mõõdetakse materjali sees (joonis 1.18).

Puidu lõikamine on võimalik ka negatiivse taganurgaga (joonis 1.19). Pärast lõiketera teritamist toimub selle plankimine, mille käigus töödeldakse tagatahule $b' = 0,1-0,2$ mm pikkune faas. Moodustuv nn iseterituv lõiketera on lõikeserva läheduses suurendatud teritusnurgaga, mis parandab lõiketera püsivusaega. Samas kulub selline lõiketera ühtlasemalt nii esi- kui tagatahult, seetõttu tema mikrogeomeetria säilib töötlemisel kauem.



Joonis 1.18 Lõikamine negatiivse esinurgaga.



Joonis 1.19 Lõikamine negatiivse taganurgaga.

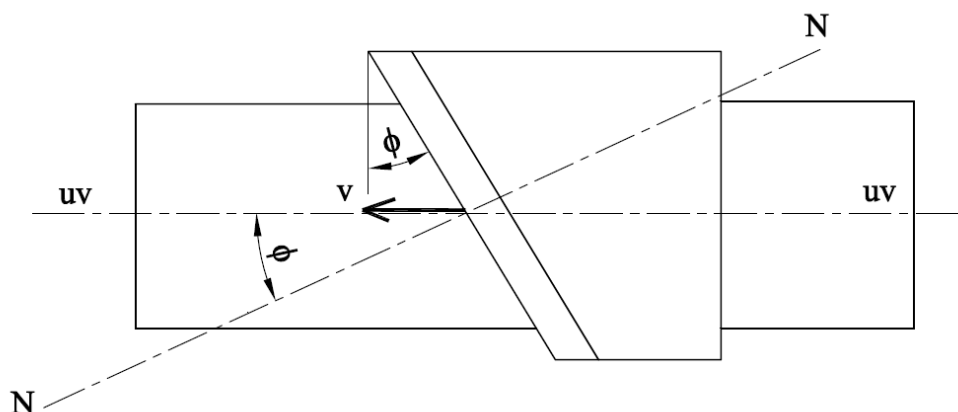
Puidu lõikamisel esineb tihti olukord, kus teral on kaldteritus, näiteks kui külglõikeserva BC teravdusnurk $\beta_1 < 90^\circ$ (joonis 1.15). Sellisel juhul antakse külglõikeservale BC lõikeomadused, mille tulemusena paraneb lõigatava pinna kvaliteet ja alaneb lõikevõimsus. Kaldteritus on

võimalik anda nii esi- kui ka tagatahule. Kaldteritusega lõiketeral ei lange nurgad normaaltasapinnas NN kokku liikumistasapinnas mõõdetud nurkadega (tasapind uv läbi vektori v risti lõiketasapinnaga). Nurgad liikumistasapinnas on võimalik arvutada valemitega:

$$\tan \alpha = \tan \alpha_N \cdot \cos \Phi \quad (1.3)$$

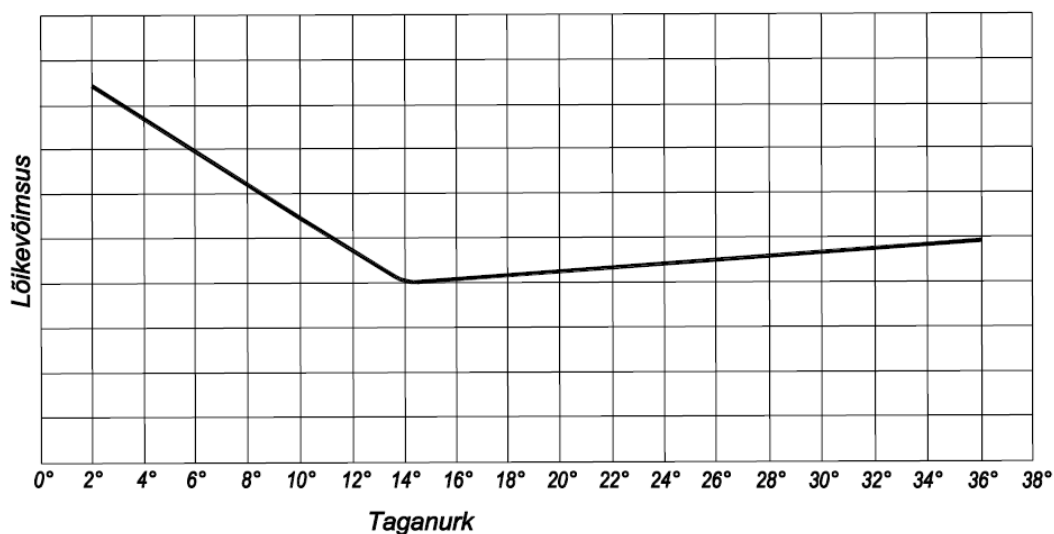
$$\tan \delta = \tan \delta_N \cdot \cos \Phi, \quad (1.4)$$

kus Φ on kaldteritusnurk (kaldenurk).



Joonis 1.20 Kaldteritusega lõiketera.

Et nurk $\alpha < \alpha_N$ ja $\delta < \delta_N$, siis $\gamma > \gamma_N$. Sellise võttega saab vähendada lõikenurka ilma teritusnurka β vähendamata (teritusnurga vähendamine põhjustab lõiketera tugevuse vähenemist). Selliselt toimitakse näiteks otsahöövrites – puidu otspinna hööveldamisel on vaja väikest lõikenurka.

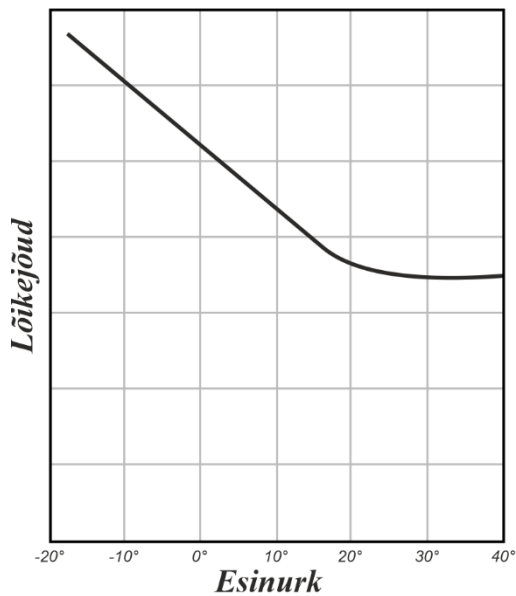


Joonis 1.21 Lõikevõimsuse sõltuvus taganurgast.

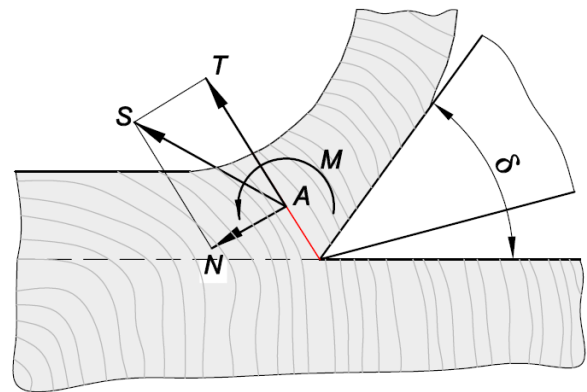
Joonisel 1.21 on kujutatud erinevatel taganurga väärtustel mõõdetud lõikejõu väärtused freesimisel, kus on näha, et taganurga suurenemisel 2° kuni 14° lõikevõimsus väheneb tingituna ruumi suurenemisest tagatahu ja lõikepinna vahel. Siinkohal tuleks meeles pidada, et puidu lõikamisel on tegemist mitte ainult lõigatava materjali plastse deformatsiooniga, vaid ka selle elastse deformatsiooniga, s.t puidukiud painduvad tagasi ja tekib hõõrdumine lõikepinna ja tagatahu vahel. Eriti oluline on see **otskiudu lõikamisel** (*cutting in end grain*) (joonis 1.27), kus nii lõikeliikumine kui ka pealõikeserv on puidukiududega risti. Otskiudu lõikamisel painduvad puidukiud kõige rohkem tagasi ja taganurk peaks olema kõige suurem. Taganurga märkimisväärne suurendamine viib aga lõiketera jäikuse vähenemisele, suureneb lõiketera vibratsioon ja kasvab vajalik lõikejõud, seepärast graafikujoon pärast taganurga väärtust 14° veidi tõuseb. Joone tõusu põhjustab ka β vähenemisest tingitud kiire lõikeserva nürinemine. Puidu lõikamisel on minimaalse taganurga väärtus 2° , selline taganurk peaks olema tagatud kõigis lõigatava profiili osades, et vältida põletusi töödeldud pinnal ja lõiketera ülekuumenemist.

Puidu lõikamisel on taganurga soovitatav väärtus 10° – 14° , erinevatel lõikeriistadel kõigub see piirides 7° – 28° .

Esinurga mõju lõikevõimsusele puidu saagimisel kirjeldab joonis 1.22. Väikestel lõikenurga väärtustel on lõikejõud (seega ka lõikevõimsus) väiksem. Esinurga suurendamist piirab asjaolu, et tuleb hoida ka teatud taganurga väärtust. Teritusnurga arvel ei ole võimalik esinurka suurendada, sest väheneb lõikeriista jäikus, tugevus ja kuumuskindlus. Puidu lõikamisel on teritusnurga β väärtused piirides 15° – 70° . Lõikevõimsuse minimeerimise seisukohalt oleks kasulik suurendada nii esi- kui ka taganurka, kuid seda saab teha ainult teritusnurga arvelt. Seega on esi- ja taganurgal ka oma maksimaalsed piirväärtused.



Joonis 1.22 Lõikevõimsuse sõltuvus esi-nurga väärtusest saagimisel.



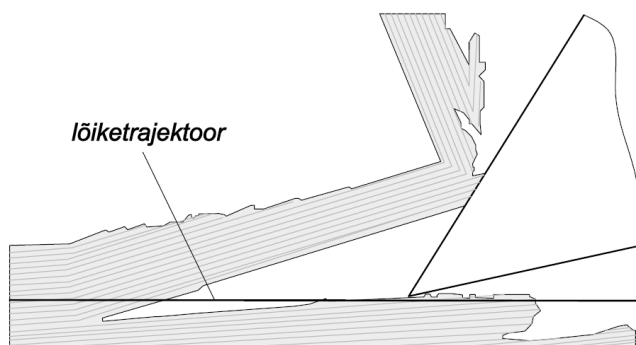
Joonis 1.23 Lõikejõud laastu moodustumisel.

1.3 Lõikeviisid ja laastu moodustumine

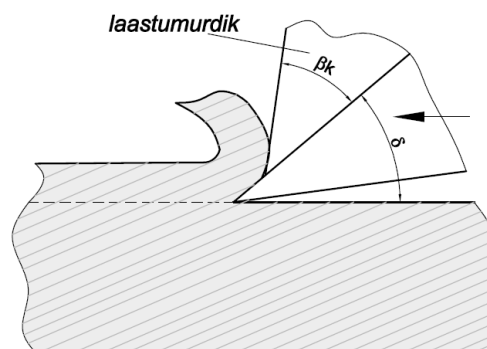
Lõikamisel mõjuvad joonel, kus laast eraldub puidust (joonisel 1.23 punkt A), lõikejõu S komponendid T ja N ning paindemoment M . Jõukomponent T põhjustab laastus nihkepingeid, nende mõjul võib laast katkeda, kui lõikenurk δ on suur ja kiudude asetus ebasobiv. Jõukomponent N põhjustab laastus survepingeid. Paindemoment M põhjustab laastus paindepingeid.

Pikikiudu lõikamine (*cutting along the grain*) on lõikeviis, kus lõiketasapind on puutüve pikiteljega paralleelne. Lõikekiiruse vektor on kiudude suunas. Pikikiudu lõikamisel on lõikamisel tekkiva pinna tasapindsus määratud puidukiudude suunaga, tekkiv pind on tasapinnaline ainult siis, kui puidukiud selles piirkonnas on puidutüve teljega paralleelsed. Pikilõikamisel on võimalikud kaks laastu moodustumise skeemi: **voolav laast** (*continuous chip*) (joonis 1.24) ja elementidest koosnev **hulknurkne laast** (*discontinuous multi-angular chip*) (joonis 1.25). Spiraalne voolav laast tekib väikesel lõikesügavusel (mitte üle 0,2 mm). Voolavat laastu on võimalik saada ka suurema paksusega, seda väikese lõikenurga väärtuse ja aurutatud puidu korral. Joonisel 1.24 on kujutatud laastu moodustumine lõikamisel pikikiudu. Lõiketera ees tekib nn eeskulgev lõhe, mille suund on määratud puidukiudude suunaga. Et puidukiudude suund ei ühti lõiketrajektooriga ja tegemist on vastukiudu lõikamisega, tekib halb pinna-kvaliteet: lahtirebestumised ja lõhed alumises pinnas. Lõikejõu vertikaalne komponent painutab laastu üles ja kui eeskulgev lõhe on saavutanud teatud pikkuse, siis laast murdub. Tekib hulknurkse kujuga laast.

Saavutamaks head pinnakvaliteeti, tuleks vältida eeskulgevat lõhet ja laast kohe murda pea-lõikeserva vahetus läheduses. Seda on võimalik saavutada, suurendades lõikenurka. Praktikas asetatakse lõiketeradele (frees- ja höövelpinkide noad) **laastumurdik** (*chip breaker*), mis on enamasti ka nugade kinnituselementideks – kiiluks (joonis 1.25). Laastumurdik on lõiketera esitahul loodud laastu purustav osa (piirkond), mis murrab lõikamisel laastu.



Joonis 1.24 Laastu moodustumine pikilõikamisel.



Joonis 1.25 Laastu moodustumine pikilõikamisel laastumurdiku kasutamisel.

Ristlõikamine (*cutting across the grain*) on analoogiliselt pikilõikamisega lõiketasapind puutüve pikiteljega paralleelne, kuid lõikekiiruse vektor on tüve teljega risti. Kuna lõikeserv on kiududega paralleelne, siis ei lõigata kiude läbi, erinevalt ristlõikamisest, kui puidukiud lõigatakse risti läbi, näiteks puidu ristisaagimisel. Ristlõikamisel toimub palgi, saematerjali, toorikute lõikamine etteandega, mis on puidukiududega risti.

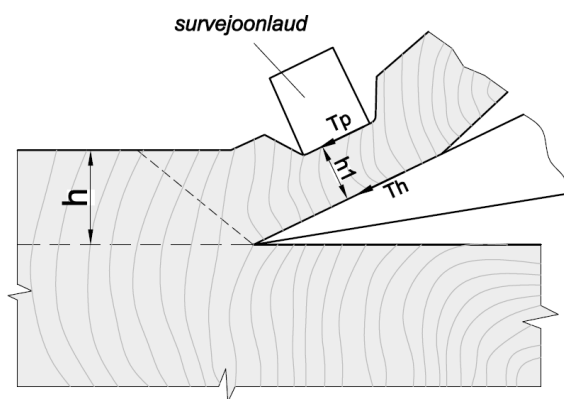
Ristlõikamine **spooni** (*veneer*) treimisel ja hööveldamisel erineb piki- ja otslõikamisest selle poolest, et eesmärgiks on mitte töödeldud pinna vaid laastu kvaliteet.

Ristikiudu lõigates on puit kõige nõrgem tõmbele ja nihkele. Laastu moodustumise tingimused määravad nihkepinged jõust T ja tõmbepinged momendist M laastu moodustumise tasapinnas (joonis 1.23). Nihkepingete suurusest tingituna võib laast olla voolav (lindi või spiraali kujuline, ilma lõhedeta) või elementidest koosnev. Elemendid võivad säilitada või mitte säilitada nendevahelise sideme.

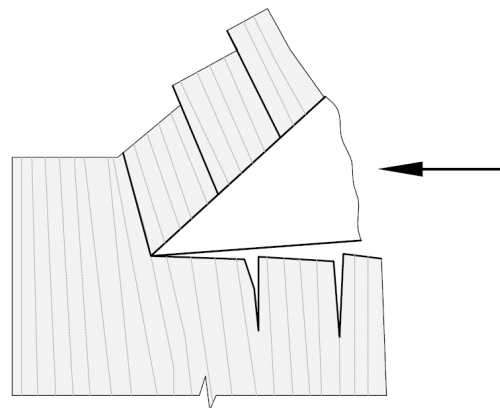
Voolava laastu korral ei ületa nihkepinged nihketugevuse väärtust kiududega ristisuunas, laast ei purune, moodustub sile lõhedeta pind. Selleks on vajalik eelnev puidu hüdrotermiline töötus – aurutamine ja kuumutamine. Voolava laastuga lõikamist kasutatakse spooni treimisel ja hööveldamisel.

Harilikult nihketugevuse väärtus lõikamisel ületatakse ja laast murtakse tükideks. Pinnakvaliteet on hea, välja arvatud juhul, kui moodustub nn eeskulgev lõhe.

Ristlõikamisel esineb tihti olukord, kus tõmbepinged määravad laastu moodustumise tingimused. Kui need ületavad puidu tugevuspiiri, tekib laastu alumisel pinnal lõhe, moodustub lindikujuline laast alumiste lõhedega. Kui laast on produktiks, on niisugune tulemus vastuvõetamatu. Lõhede vältimiseks tuleks vähendada lõikenurga väärtust. Teine kasutatav meetod on lisasurvejõu rakendamine laastu liikumisega ristisuunas. Lõiketsooni lähedal peab laast liikuma läbi suruti ja lõikenõa vahelt, kokkusurumise määr on umbes 20–30%. Tekivad kaks hõõrdejõudu: T_P laastu ülemise pinna ja suruti vahel ning T_H laastu alumise pinna ja lõiketera vahel. Viimane jõud põhjustab laastu survepingeid, vähendades tõmbepingete mõju laastu alumisel pinnal (joonis 1.26).



Joonis 1.26 Survejoonlaua ehk suruti kasutus ristlõikamisel.



Joonis 1.27 Laastu moodustumine otskiudu lõikamisel.

Otskiudu lõikamisel on lõiketaspind puidu otstasapinnas, lõikekiirus on tüve pikiteljega risti. Nagu pikilõikamisel, on ka otslõikamisel puidu purunemise tasapinna asend määratud puidukiudude suunaga: laastu elemendid moodustuvad tasapinnas, mis langeb kokku kiudude suunaga. Sidemed puidukiudude vahel on suhteliselt nõrgad. Ka otslõikamisel on võimalik voolav laast, kui laastu paksus on väike ja puit on niiske, kuid saadud laast on väga nõrk ja laguneb.

Tüüpiline otslõikamise laast on elementidest koosnev lõhenemislaast (joonis 1.27). See koosneb trapetsikujulistest elementidest. Puidukiud painutatakse enne läbilõikamist lõike-suunas jõu N mõjul kõrvale, jõud T põhjustab nihkepingeid (joonis 1.23). Kui need nihkepinged on küllalt suured, toimub laastu elemendi nihe ja kiud rebitakse lahti. Tingituna suurtest

lõikejõududest painduvad kiud kõrvale enne purunemist. Pingete mõjul purunevad kiudude vahelised sidemed, töödeldavas pinnas tekivad lõhed. Nende lõhede ja kiudude kõrvalekalde tõttu on lõikepind ebaühtlane.

1.4 Puidulõikeriistad

Tehnoloogilise suunitluse järgi jaotatakse **masinlõikeriistad** (*machine cutting tools*):

- **saag** (*sawing tool*) – lehe-, lindi-, keti- või kettakujuline mitmelõikuriline lõikeriist,
- **lõikenuga** (ka lõiketera) (*cutting knife/blade*) – sirgjoonelise või kõverjoonelise lõikeservaga plaadikujuline lõikeriist, mida kasutatakse giljotiiniga lõikamisel, spooni treimisel ja hõõveldamisel, freesimisel jms;
- **frees** (*milling cutter*) – pöörleva liikumisega ühe- või mitmelõikuriline lõikeriist, mille lõikurid on kinnitatud lõikeriista silinder- või otpinnale;
- **puur** (*drill*) – vardakujuline lõikeriist sirge või kruvipinnalise laastusoonega silindriliste avade töötlemiseks;
- **tasapinnaline pesafrees** (*square rectangle milling cutter*) – plaadikujuline lõikeriist nelinurksete avade töötlemiseks;
- **treitera** (*lathe blade*) – sirge või profiilse lõikeservaga varda- või plaadikujuline lõikeriist puidu treimiseks;
- **abrasiivlõikeriist** (*abrasive cutting tool*) – mitmelõikuriline lõikeriist, millel on alusele kinnitatud abrasiivterad puidu lihvimiseks.

1.4.1 Lõikeriistamaterjalid

Lõikeriistade materjalid. Kuigi puit jääb tugevuselt alla nii terasele kui ka paljudele teistele materjalidele, on kasutatavad lõikekiirused suuremad kui metallide töötlemisel. Puit on anisotroopne ja võib kõrgemal temperatuuril või muudel põhjustel olla üsna abrasiivse toimega. Seepärast peavad puidulõikeriistade materjalid omama suurt kõvadust, tugevust ja kulumiskindlust ning võimet neid omadusi kuumenemisel säilitada – kuumuskindlust. Puidu ja puitmaterjalide lõikamisel on lõiketsoonis kõrge temperatuur (500–800 °C) ja lõikeriista pinnakihid kokkupuutes lõigatava materjaliga kuluvad kiiresti, seetõttu on vajalik lõikeriista materjali kuumuskindlus. **Liimitud puidupõhiste plaatmaterjalide** (vineer, puitlaastplaat (PLP), kõva puitkiudplaat (PKP), keskmise tihedusega puitkiudplaat (MDF) lõikamisel on vajalik suure kõvadusega lõikeriist, kuna liimiosakesed on lõikamisel suure abrasiivse toimega ja põhjus-

tavad lõiketera kiiret nürinemist. Lisaks sellele on puit orgaaniline materjal, orgaaniliste hapete olemasolu nõuab lõikeriista materjalilt vastupidavust keemilisele ja elektrokeemilisele korrosioonile.

Puidulõikeriistade valmistamiseks kasutatakse põhiliselt järgmisi materjale: süsinik- ja legeertööriistaterased, kiirlõiketerased, metallkeraamilised ja mineraalkeraamilised kõvasulamid ning sünteetilised ülikõvad materjalid.

Süsiniktööriistaterased. Süsiniktööriistateras on raua ja süsiniku sulam, kus süsinikusisaldus on 0,7–1,3%, s.t suurem kui konstruktsiooniterastes. Süsinikusisalduse tõusuga terases suureneb selle kõvadus, kulumiskindlus, kuid väheneb löögisitkus. Pärast karastamist on nende teraste kõvadus 62–64 HRC. Süsinikteraseid kasutatakse paljude lõikeriistade valmistamiseks. Lõikeriista lõikeomadused säilivad temperatuuridel 200–250 °C, neil on väike kuumuskindlus. Täispuidu lõikamisel on temperatuur lõiketsoonis umbes 500 °C, plaatmaterjalide lõikamisel umbes 800 °C. Süsiniktööriistaterasest lõikeriistu kasutatakse puidu lõikamisel väikestel lõikekiirustel ja käsilõikeriistades. Süsiniktööriistaterastest toodetakse puidu lõiketöötlemiseks peamiselt kitsaid lintsaage.

Legeertööriistaterased (*alloy steels*) (ISO tähis SP). Legeerterasteks nimetatakse teraseid, mis sisaldavad legeerivaid elemente: kroomi, volframi, vanaadiumi, niklit, koobaltit, molübdeeni, titaani, niklit, räni. Legeerivad elemendid avaldavad terase omadustele märgatavat mõju, suurendades kõvadust, kulumiskindlust, tugevust ja kuumuskindlust. Legeerivad elemendid moodustavad terases leiduvate lisanditega ja ka omavahel karbiide, millel on suur kõvadus, tugevus, kulumis- ja kuumuskindlus. Poolkuumuskindlad legeerterased töötavad temperatuuril 300–500 °C.

Kõrglegeeritud tööriistaterased (*high-alloy tool steels*, HL). Legeerivate elementide suurem sisaldus SP terastega võrreldes annab HL-terastele ka paremad omadused.

Kiirlõiketerased (*high speed steels*, HSS) töötavad temperatuuril kuni 500–750 °C. Kiirlõiketerased sisaldavad üle 0,6% süsinikku ja volframi, molübdeeni ning vanaadiumit. Pärast karastamist ja noolutamist on nende teraste kõvaduseks 64–65 HRC. Puidulõikeriistades kasutatakse enamasti kiirlõiketerasest plaate, mis joodetakse lõikeriista kere külge.

Kõvad sulamid (*hard alloys*) ja **kõvasulamid** (*hard metals*). Liimitud puitmaterjalide levikuga võeti 1950. aastatel puidulõikamisel kasutusele kõvasulamid. Kõvasulamid kujutavad endast raskeltsulavaid, suure kõvadusega kulumiskindlaid materjale. Kõvasulameid jaotatakse pealekeevitatavateks ja valatavateks. **Valatavatest kõvadest sulamitest** on puidutööstuses kõige rohkem kasutusel stelliit. Stelliidi põhiline kasutusala on saelintide hambatippudes. Stelliit

koosneb 60% koobaltist, 30% kroomist ja 10% mitmest lisandist, millest põhiline on volfram. Stelliidil on suhteliselt väikene kõvadus 40–45 HRC, kuid see kõvadus säilib temperatuuril kuni 650 °C. Stelliidi pealekandmisel lõikeriistade hammastele kasutatakse järgmisi meetodeid.

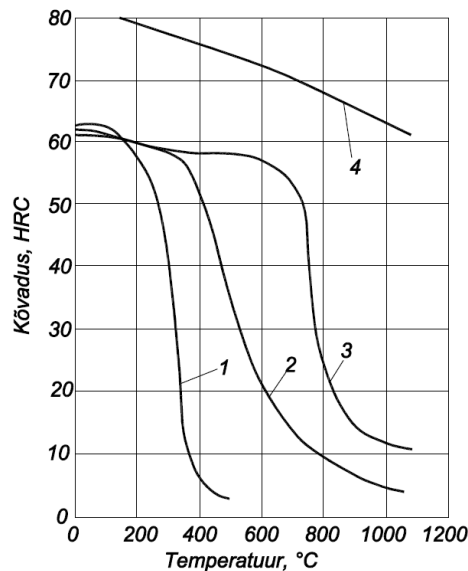
a. Stelliidi pealesulatamine käsijatsetüleenpõletiga. Saehambad paksendatakse enne, stelliidipulgast sulatatakse põletiga stelliiditilk ja lastakse kukkuda hambatipule. Jahtumisel lihvitakse hammast neljast küljest, stelliidikadu on umbes 50%. Meetod on aeganõudev ja kallis, lisaks peab tööline olema kõrge kvalifikatsiooniga.

b. Stelliidi pealekandmine hambatipule elektrikontaktkeevitusega. Läbi stelliidipulga ja lõikeriista korpuse juhitakse vool, ühenduskoha suurema takistuse tõttu sulab korpuse metall ja stelliit ühendub. Sobilik tükk lõigatakse stelliidipulgast lahti lõikuriga, millele järgneb lihvimine. Stelliit peab olema nn tihendatud struktuuriga, et pulga sees ei oleks õhumulle.

c. Stelliidi ühendamine plasmakeevitusega. Kõige uuem meetod, vajalikud on kallid seadmed. Stelliidi pealesulatamiseks kasutatakse plasmajuga, mis tekitatakse plasmotroniga. Pärast stelliidi ja hambatipu sulatamist surutakse kuumale metallile kahelt poolt vormid, mille kuju vastab saadava hamba kujule. Keevitus toimub kaitsegaasi keskkonnas (Ar + CO).

Kõvasulamid (*hardmetals, cemented carbides*) saadakse pulbermetallurgia (PM) meetoditega peamiselt volframkarbiidi (WC) ja sideaine (Co) pressimisega vormi ja sellele järgneva paagutamise kaitsekeskkonnas. Volframkarbiidi asemel kasutatakse ka titaan- ja tantaalkarbiidi. Saadud kõvasulamiplaat joodetakse lõikeriista korpuse külge. Otsakfreese valmistatakse ka ainult kõvasulamist. Lõikeriistad, mis on varustatud kõvasulamist lõikuritega, omavad kõvadust 87–92 HRA ja säilitavad lõikevõime temperatuuril kuni 800–900 °C. Võrreldes kiirlõiketerastest lõikuritega on kõvasulamil teritustevaheline periood 20–50 korda pikem. Kõvasulamist lõikeriista projekteerimisel tuleks arvestada kõvasulami haprusega: kiire kulumise vältimiseks ei tohi teritusnurk β langeda alla 40–50°. Haprus väheneb kõvasulamis sideainesisalduse tõusuga, kuid seejuures väheneb kõvadus ja kulumiskindlus. Koobaltisisalduse vähenemine halvendab ka jootetingimusi. PM kõvasulamid on tänapäeval põhiline materjal puidulõike ketassaagide ja freeside valmistamisel.

Kõvasulamite kuumuskindluse võrdlust teiste materjalidega on kujutatud joonisel 1.28. Legeerterastel toimub kõvaduse langus temperatuuril 250–300 °C, kiirlõiketerastel 600–700 °C, kõvasulamil 700–800 °C juures.

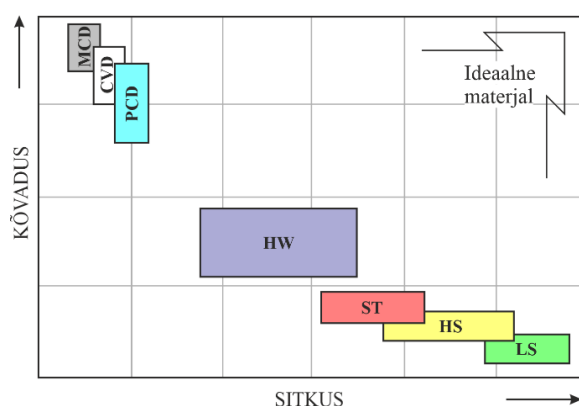


Joonis 1.28 Materjalide kõvadus: 1 – süsiniktööriistateras, 2 – poolsoojuskindel legeerteras, 3 – kiirlõiketeras, 4 – kõvasulam WC baasil.

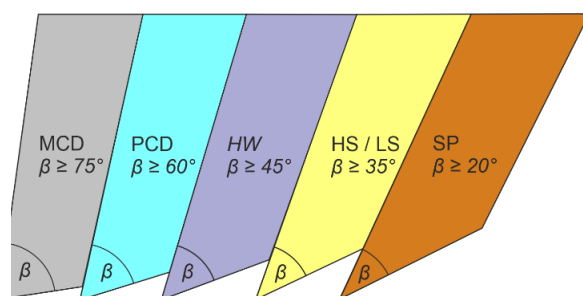
Süntetiline teemant ehk **tehisteemant** (*synthetic diamond*). Tehisteemante saadakse süsinikust ülikõrgel rõhul (5–10 GPa) ja kõrgel temperatuuril (1200–2000 °C) katalüsaatorite juuresolekul. Puidulõikeriistades kasutatakse enamasti labori tingimustes valmistatud polükristallilist teemanti (*polycrystalline diamond*, PCD), vahel aga ka monokristallilist teemanti (*monocrystalline diamond*, MCD) (joonis 1.29). Sünteetilise teemanti tootmiseks kasutatakse kahte laboratoorset tehnoloogiat. Vanim kõrgel temperatuuril (1500 °C) ja väga suurel surveel (10 GPa) põhinev teemanti kasvatamise kõrgsurve-kõrgtemperatuurine (*high pressure high temperature*, HPHT) tehnoloogia imiteerib teemanti looduslikku tootmist, kus teemanti kasvatatakse kambris. Uuem kõrgsurve-kõrgtemperatuurine (*chemical vapour deposition*, CVD) tehnoloogia jäljendab teemantide moodustumist tähtedevahelistes gaasipilvedes. Tehisteemanti kasutatakse enamasti komposiidina, mis sisaldavad mikromeetrilise suurusega teemante ja metallilist sideainet (Co). Toodetakse eraldi teemantterikuid teemantkomposiidist plaadikestena. Plaadid lihvitakse, lõigatakse elektroerosioontöötlemise (*electric discharge machining*, EDM) teel ja joodetakse tööriista korpuse külge. Et teemant on kõige kõvem materjal, on tööriista teritustevaheline periood pikk ja see kompenseerib intensiivsel kasutusel lõikeriista kõrge hinna. Teemandist lõikurite mõõtmed on piiratud, need joodetakse lõikeriista külge. Kuna teemant märgab halvasti metalle, sadestatakse enne sellele õhuke metallikiht. Teemandist lõikeriistade teritamine on raskendatud, selleks kasutatakse kalleid, kõrgendatud jäikusega, elektroerosioonmeetodil töötavaid seadmeid. Kasutatakse ka ühekordseid mitte-teritatavaid lõikureid. Tingituna väikestest mõõtmetest on lõikeriista teritamiste arv piiratud.

Lisaks lõikuritele kasutatakse sünteetilist teemanti kõvasulamlõikurite lihvimiseks kasutatavate lihvketaste valmistamiseks, sideaineks kas metall või bakeliit. Sünteetilisest teemandist lõikeriistad on 100–200 korda suurema püsivusajaga kui kõvasulamist lõikeriistad. Olgu seejuures toodud lõikeriistamaterjalide kulumiskindluse võrdlus: nt lõigates puitlaastplaati tuleks süsiniktööriistaterasest lõikuritega saagi teritada 5 minuti pärast, legeertööriistaterasest lõikuritega saagi 10 minuti pärast, kõvasulamlõikuritega saagi 4 tunni ja tehisteemandist saagi 30–50 vahetuse pärast.

Ideaalsel tööriistamaterjalil peab olema suur kõvadus ja sitkus. Tegelikult sellist materjali ei ole olemas. Materjalid, mis on suure kõvadusega, on samal ajal väga haprad, ja vastupidi. Materjalide erinevaid sitkuse ja kõvadusomadusi kirjeldab joonis 1.29. Lõikeriista teritusnurk tuleb valida vastavalt materjali sitkusele (joonis 1.30).



Joonis 1.29 Erinevate materjalide kõvadus- ja sitkusnäitajad: MCD – monokristalliline teemant, CVD – aurufaasist keemiliselt sadestamisel saadud polükristalliline teemant, PCD – polükristalliline teemant, HW – kõvasulam, ST – stelliit, HS – kiirlõiketeras, LS – legeerteras.



Joonis 1.30 Vähim kasutatav teritussnurk β eri materjalidel: MCD – monokristalliline teemant, PCD – polükristalliline teemant, HW – kõvasulam, HS – kiirlõiketeras, LS – legeerteras, SP – tööriistateras.

Lõikeomaduste parandamiseks ja kulumiskindluse suurendamiseks kasutatakse mitmesuguseid pindeid, peamiselt mõjutavad need kulumiskindlust ja nürinemist.

1.4.2 Lõikeriistade kulumine ja nürinemine

Kulumine on materjali ärakandumine lõikeriistalt, seda kirjeldab ärakantava metalli maht, kulutuspinna suurus, hamba kõrguse muutus, jms.

Nürinemine on lõikeriista lõikeserva (esi-ja tagatahu) mikrogeomeetria muutus. Lõikeriista nürinemine toimub kulumise tagajärjel.

Lõikeserva kulumine on keeruline füüsikalise-keemiline protsess, mis kujutab endast järgmiste peamiste protsesside koosmõju.

Mehaaniline kulumine. Kulumisprotsessis on domineeriv mehaaniline disperseerimine. Mehaanilist disperseerimist kui protsessi võib kirjeldada kui metalli väsimist lõikeriistale mõjuvate paljukordsete jõudude mõjul. Jõud tekivad lõikeriista kontaktist puiduga ja on muutuva suurusega. Protsess on määrav mitmefaasiliste materjalide, näiteks kõvasulamite kulumisel. Hõõrdejõudude toimele võib plastne ja väikese kõvadusega sideaine ja see kantakse puiduga kaasa ehk kulub maha. Kõvad karbiiditerad jäävad välja ulatuma, hõõrdejõudude toimele karbiiditerade ja põhimetalli vaheline side nõrgeneb ja karbiiditerad eralduvad.

Soojuskulumine. Lõikamisel suurtel lõikekiirustel ja märkimisväärsel lõikejõududest põhjustatud survele tõuseb lõikeriista pindmise kihi temperatuur. Soojus kontsentreerub pinnakihti ega levi lõiketera sisemusse. Kõrge temperatuuri mõjul muutub metalli struktuur. Metall tugevus ja kõvadus vähenevad ning metalli pindmine kiht muutub plastiliseks. Metall kantakse ära nii lõikeriista esi- kui ka tagatahult. Kulumine on määratud teraste keemilise koostisega, legeerivate elementide nagu kroom ja volfram sisaldus suurendab materjali soojuskindlust.

Oksüdeerumiskulumine (*oxidative wear*) on korrosiivmehaanilise kulumise alaliik, mille käigus toimub metalli pinna järkjärguline purunemine tingituna hapniku adsorptsioonist hõõrdepinnale, hapniku difusioonist pindkihtidesse, metalli plastiliseks muutumisest. Oksüdeeriv kulumine sõltub metalli plastilisusest: madalsüsinikterased on vähem kulumiskindlad kui kõrgsüsinikterased. On oluline kõvasulamite kulumisel, kuna tegemist on suhteliselt poorse materjaliga.

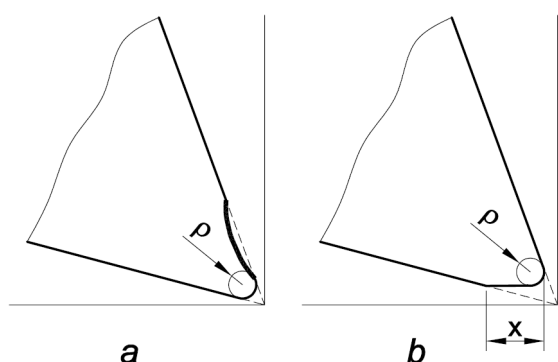
Elektrokeemiline korrosioon. Metall kulumine lõikamisel tekkiva elektrivoolu toimele. Puidu lõikamise protsessis tekivad laastus ja lõiketeras hõõrde ja puidu deformatsioonist tingitud piezoelektrilise efekti tulemusena erinimelised laengud. Lõikamisel toimivad puidu niiskus ja rakkudes asuvad orgaanilised happed elektrolüüdina, seetõttu allub lõikuri metall elektrolüütilisele korrosioonile, kuna on olemas nii pingesallikas kui ka elektrolüüt.

Elektriline erosioon. Metall äraandmine pinnalt elektriliste sädelahenduste toimele. Staatilised elektrilaengud laastul ja lõiketeral võivad ulatuda kuni 6–7 kV. Lõiketera väljumisel kontaktist puiduga tekib sädelahendus, mis põhjustab metalli äraandumist pinnalt. Sädelahendused lõikamisel on korduvad.

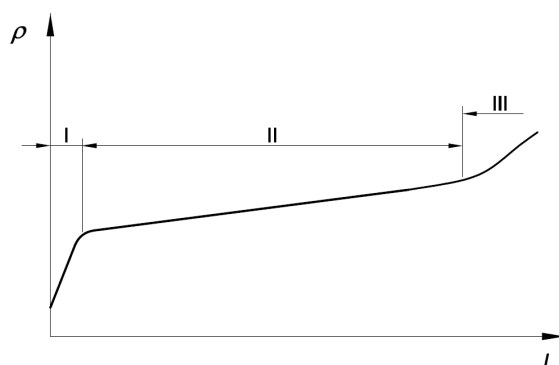
Abrasiivkulumine (*abrasive wear*). Abrasiivkulumine on põhiline mehaanilise kulumise viis. Abrasiivkulumine on materjali pinna intensiivne purunemine hõõrdepinnal liugehõõrdel abraasiivses keskkonnas. Abrasiivseks keskkonnaks on liimiosakesed, puidu immutamisel kasutatavate ainete kristallid, puidurakkudes asuvad soolad. Abrasiivkulumine väljendub kohalikes plastilistes deformatsioonides ja abrasiivosakeste teostatavates mikrolõigetes.

Kulumise tagajärjel on lõikenurk δ ja taganurk α teritamisega antud väärtustest erinevad. Täispuidu lõikamisele on omane soojuskulumise tagajärjel lõiketera esitahule tekkiv süvend. Selle tagajärjel lõikeserv murdub. Puitmaterjalide lõikamisel kõvasulamplaatidega lõikeriistaga tekib aga tagatahule faas x , kusjuures lõikeserva ümardusraadius ei kasvagi eriliselt, kuid lõikenurgad muutuvad (joonis 1.31).

Lõikeriista nürinemist võib vaadelda kolmeetapilisena (joonis 1.32).



Joonis 1.31 Teriku geomeetria muutus: a – täispuidu lõikamisel, b – puitmaterjalide lõikamisel.



Joonis 1.32 Nürinemise etapid: I – sissetöötamine, II – monotoonne kulumine, III – katastroofiline kulumine.

I etapil (joonis 1.32), nn sissetöötamise etapil on äsja teritatud lõiketeral lõikeserva lähedal defektne struktuur suure väärtusega ja tekkivad pinged ületavad lõiketera materjali tugevuspiiri, selle tagajärjel äsjateritatud lõikeserv, kas murdub või paindub kõrvale. I etapil on kulumine intensiivne juhul, kui teritusnurk ei vasta valitud lõiketingimustele ja lõikeriista materjalile. Väga oluline on siin terituse kvaliteet, nürinemine sel etapil ei sõltu lõigatavast materjalist, vaid ainult teritusviisist.

II, monotoonse kulumise etapil, on lõikeserva ümardusraadiuse kasv aeglasem kui I etapil, lõikeriist nürineb aeglasemalt. Kulumine toimub eelnimetatud protsesside koosmõjul.

III, katastroofilise kulumise etapil kiireneb lõikeriista ümardusraadiuse väärtuse kasv. Lõikeriist tuleb teritada enne avariikulumise algust.

1.4.3 Puidulõikeriistade teritamine

Kõvasulamite ja sünteetilise teemandi laialdane kasutamine on võimaldanud lõikeinstrumentide terituste vahelist aega oluliselt pikendada. Teritamine ja muu instrumentide hoolduses vajalik toimub sellistele töödele spetsialiseerunud firmades. Kuigi selleks vajatakse lisainstrumente, et töö terituses olemise ajal ei seisku, on sellest tekkiv lisakulu väiksem kui maksaks oma teritusmajanduse ülalpidamine.

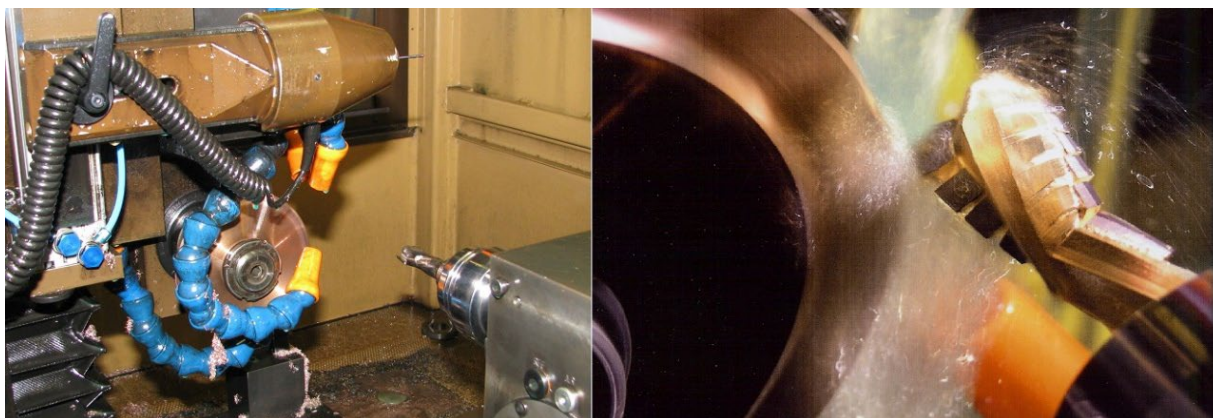
Teritamisel kasutatavate lihvketaste abrasiivmaterjalina on kasutusel peamiselt sünteetiline teemant või kuubiline boornitriid ehk borasoon (*borazon*). Teemant on kõige suurema kõvadusega materjal, kuid ka borasoon ei jää temale palju alla. Teemanti ei saa kasutada terase ja stelliidi lihvimiseks, sest kõrgel temperatuuril hakkab teemandis olev süsinik terases lahustuma ja halvendab nii selle omadusi. Seepärast kasutatakse kiirlõiketerasest või stelliidiga kaetud hammas- tega lõikeinstrumentide teritamiseks borasooniga lihvkettaid, kõvasulmide puhul aga teemant- kettaid.

Saehammaste teritamisel tuleb lihvida nii esi- kui ka tagatahku nii, et mahalihvitavate kihtide tõttu toimuv kõvasulamplaadi kahanemine tooks kaasa pealõikeserva kahanemisliikumise piki teritusnurga poolitajat. Sel viisil teritades on instrumendi võimalik terituste arv kõige suurem. Saehamba esitahult teritamiseks kasutatakse taldrikprofiiliga lihvketast, mida tagatahu teritamiseks tuleks teistpidi pöörata. Seepärast on kasutusele võetud kahe lihvkettaga terituspingid, joonis 1.33.



Joonis 1.33 Saeterituspink. Foto: M. Riistop

Teemantlõikeriistade teritamiseks kasutatakse elektroerosioonpinke (joonis 1.34), kus teemandiosakesed eralduvad elektroodi ja lõikeserva vahel tekkiva sädelahenduse toimetel. Lihtsamates pinkides on elektroodiks traat, täpsemates kasutatakse elektroodina pöörlevaid süsinik- või vaskkettaid. Kõige täpsem on laserteritus (*laser ablation*), mis seni on küll väga vähe levinud. Sel meetodil fokuseeritakse teritatavale pinnale laserkiir pinnalt eralduva materjali kogus sõltub impulsi intensiivsusest ja kestusest ning kiire lainepikkusest, samuti teritatava materjali omadustest.



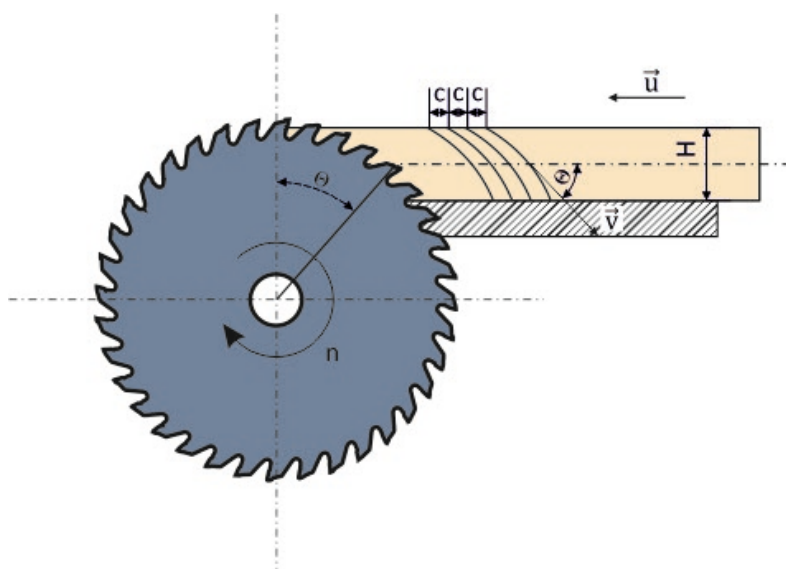
Joonis 1.34 Elektroerosioonterituspink. Fotod: M. Riistop ja J. Ingelman

1.5 Saagimine

Saagimine (*sawing*) on materjali lõiketöötlemine mitmelõikurilise lõikeriista – saeketta, saelindi, saeketi või saelehe – abil.

1.5.1 Ketassaagimine

Ketassaagimisel on lõikeriistaks sissetöödeldud lõikehammastega saeketas. Tänapäeval joodeatakse hammaste külge enamasti kõvasulamplaadid, kasutatakse ka sünteetilist teemanti. Hammaste lõiketrajektoorid materjalis on tsükloidi osad. Jooniselt 1.35 on näha, et laastu paksus ei ole materjalis võrdne, arvutustes kasutatakse selle keskmist väärtust, mis tekib poolel materjali paksusel.



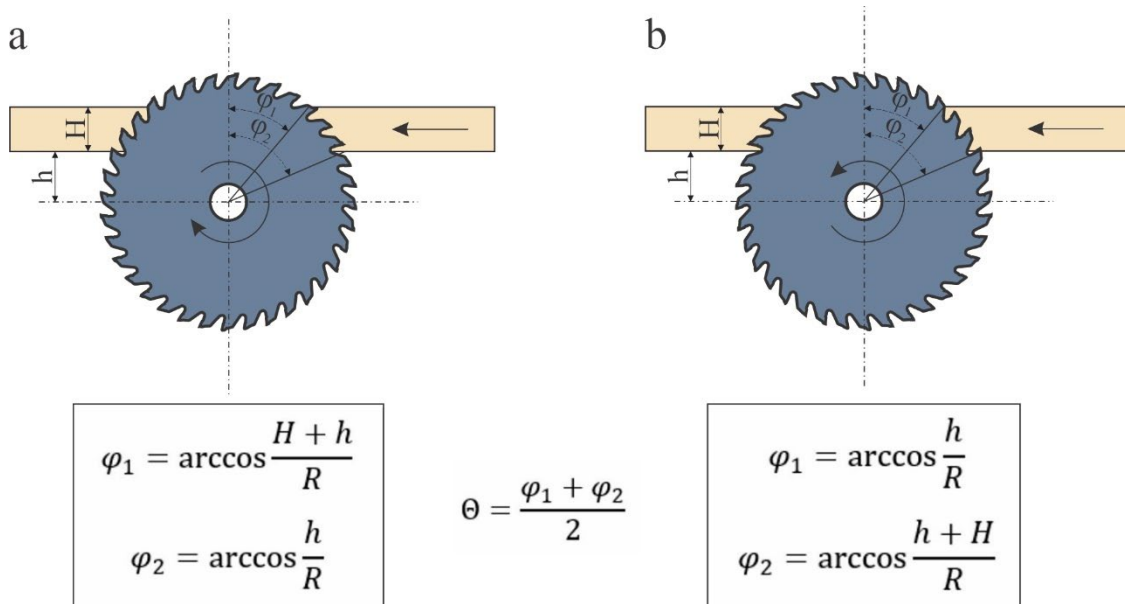
Joonis 1.35 Ketassaagimise kinemaatika.

Nurka Θ (joonis 1.35), nimetatakse **kinemaatiliseks kohtumisnurgaks**, see on nurk lõikekiiruse v ja etteandekiiruse u suuna vahel. Laastu paksus on arvutatav valemiga:

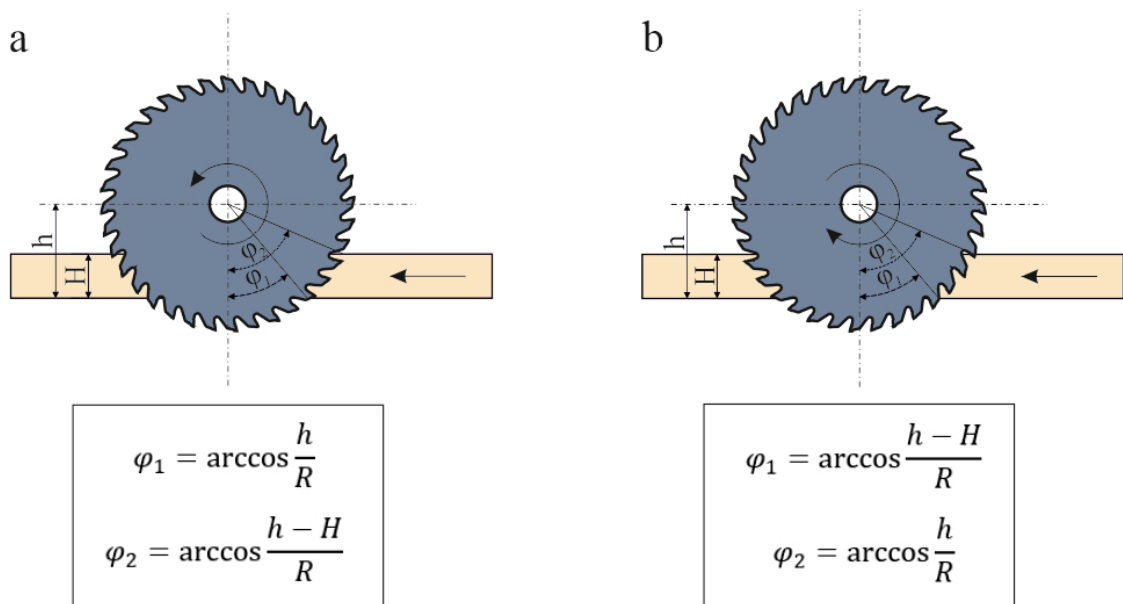
$$e = c \cdot \sin \Theta, \quad (1.5)$$

kus

e – laastu paksus, mm, c – etteanne ühe saehamba kohta, mm, Θ – kinemaatiline kohtumisnurk kraadides (selle leidmist kirjeldavad joonised 1.35 ja 1.36).



Joonis 1.36 Kinemaatilise kohtumisnurga leidmine, kui saag on töölaua all. Vasakul vastuetteanne, paremal pärietteanne.



Joonis 1.37 Kinemaatilise kohtumisnurga leidmine, kui saag on töölaual kohal. Vasakul vastuetteanne, paremal pärietteanne.

Jooniselt 1.36 on näha, et saetava materjali paksus (saetee kõrgus H) on piiratud saeketta diameetriga ja töölaual asendiga. Pealiikumise kiirus on saehamba joonkiirus, mis on arvutatav valemiga:

$$v = \pi \cdot D \cdot n / (60 \cdot 1000), \quad (1.6)$$

kus

D – sae diameeter, mm, n – sae pöörlemissagedus, min^{-1} ,

v – sae joonkiirus (lõikekiirus), ms^{-1} .

Lõikekiiruse soovitatavad väärtused erinevatele puitmaterjalidele on antud tabelis 1.1.

Tabel 1.1 Lõikekiirus erinevate puitmaterjalide saagimisel.

Saetav materjal	Lõikekiirus, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Väikese kõvadusega puiduliigid	60–100
Kõvad ja eksootilised puiduliigid	50–85
Vineer	70–100
Liimitud puitkilp	50–85
MDF ja puitlaastplaat, pealistamata pinnaga	50–80
Spoonid või melamiinformaldehüüdvaiguga immutatud paberiga pealistatud MDF või puitlaastplaat	60–80

Allikas: MET Terakeskus

Etteandeliikumine on mõõdetav harilikult ühikutes m/min, tähis u . Pikilõikamisel (lõiketasapind on paralleelne puidukiudude suunaga) on etteandeliikumine toorikul, ristilõikamisel (lõiketasapind on risti puidukiudude suunaga) on etteandeliikumine kas toorikul või ka sael. Etteanne hamba kohta leitakse valemiga:

$$c = 1000 \cdot u / (z \cdot n), \quad (1.7)$$

kus

c – etteanne ühe hamba kohta, mm, z – sae hammaste arv, n – sae pöörlemissagedus, min^{-1} .

Saeketta läbimõõt on peamiselt määratud saepingi konstruktsiooni ja saetava materjali paksusega, soovitatav lõikekiirus annab pöörlemissageduse. Hammaste arv peaks olema selline, et saetavas materjalis oleks korraga vähemalt 2–3 hammast.

Tabel 1.2 Soovitatav ettenihe hamba kohta ketassaagimisel.

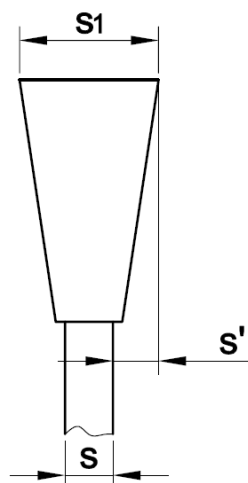
Saagimisviis ja materjal	Ettenihe saehamba kohta, mm
Pikisaagimine, jämetöötlus	0,7–1,0
Pikisaagimine, keskmine töötlus	0,3–0,5
Ristisaagimine	0,02–0,1
MDF ja puitlaastplaat	0,05–0,25
Pealistatud MDF või puitlaastplaat	0,03–0,1
Vineer	0,05–0,25

Allikas: MET Terakeskus

Selleks, et saeketas ei hõõrduks vastu saetee külgi, kasutatakse saetee laiendamist. Nagu näha jooniselt 1.36, on saetee laius S_1 laiem saeketta paksusest s kahekordse saetee laienduse s' võrra.

Saetee laiendamiseks kasutatakse:

- profileeritud kõvasulamplaate saehammastel (joonis 1.38);
- saehammaste räsamist, sae hambad painutatakse sae korpusest välja vaheldumisi ühele ja teisele poole, kasutusel peamiselt kitsastel lintsaagidel;
- saehammaste paksendamist, sae hamba tipp muljutakse korpusest paksemaks.



Joonis 1.38 Saetee laiendamine.

Ketassaagimisel on saehammastel kasutusel põhiliselt profileeritud kõvasulamplaadid, palkide saagimisel kasutatavatel suure läbimõõduga ketassaagidel ka stelliiti. Saetee laius jämetöötlemise saagidel peaks olema 1,6–2,0 saketta paksust, puhastöötlemise saagidel aga 1,3–1,6 saketta paksust.

Ketassaagimisel on oluline parameeter **hambavahe täitumisindeks** (*gullet feed index*, GFI):

$$GFI = H \cdot c / F, \quad (1.8)$$

kus

F – efektiivne hambavahe pindala, mm^2 , H – saetee kõrgus, mm, c – ettenihe saehamba kohta, mm.

Puidu maht suureneb saepuruks muutumisel ligi 3 korda, seetõttu tuleks saepuru hoidmiseks parameeter GFI hoida jämetöötlemisel piirides 0,5–0,7 ja puhastöötlemisel 0,3–0,4.

Ketassaagimise iseärasused

Eelised:

- konstruktsiooniline lihtsus – rihmülekandega käitav saevõll või saeketas mootori võllil;
- lõikepinnad on sirged, saadava saematerjali mõõtmed täpsed ja pind suhteliselt sile; suure läbimõõduga palkidest suurte prusside saagimisel esineb siiski mõõtmete täpsuse kõikumist;
- suur etteandekiirus (palkide saagimisel kuni 200 m/min ja enam, seimrites oluliselt rohkem);
- suur tootlikkus (tootlikkus on siiski väiksem kui võimsatel lintsaagmasinatel);

- saagimisparameetrite kiire seadistamise võimalus;
- masinad on suhteliselt väikesed ja kerged ega vaja suurt vundamenti;
- saed töötavad ilma vibratsioonita, seetõttu on masinad töökindlad;
- masinaid on lihtne paigaldada tootmisliinidesse.

Puudused:

- laiem saetee võrreldes teiste saagimisviisidega;
- saekettad on tundlikud hõõrdumisest tingitud ülekuumenemisele liiga kiirest etteandest lõikehammaste nürinemise ja vale terituse suhtes;
- raskused suure läbimõõduga palkide pikisaagimisel;
- saeketaste ettevalmistus nõuab kõrget kvalifikatsiooni ja suuri kogemusi;
- lõigatava materjali suhteliselt väike kõrgusmõõde.

Saetee suurema laiuse põhjuseks on ristvibratsiooni tekke oht, mille tõttu on vajalik kindlustada saeketta külgsuurest tema paksuse suurendamise teel.

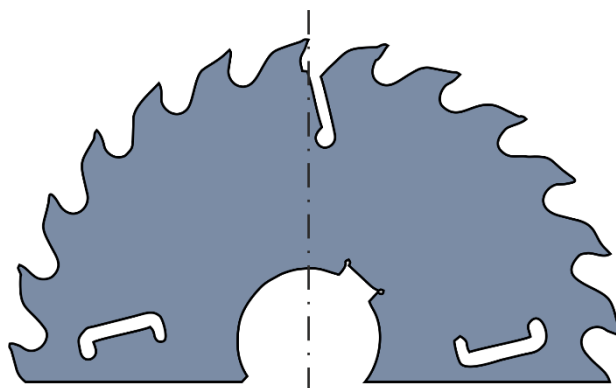
Saeketaste hooldus on suhteliselt keerukas ja nõuab kõrget kvalifikatsiooni. Lisaks pidevale teritamisele on vajalikud järgmised operatsioonid: saeketta tasapindsuse ja eelpingestatuse hindamine, saeketta rihtimine, saeketta pinnimine või valtsimine. Saeketta tasapindsust hinnatakse kahe parameetri järgi: saeketta sirgjoonelisus mitmes tasapinnas ja otsviskumine. Saeketta sirgjoonelisuse hindamisel hoitakse saeketast vertikaalselt ja selle vastu surutakse saekaliiber. Lehtkalliibritega mõõdetakse pilude maksimaalne suurus saeketta ja saekaliibri vahel. Otsviskumise hindamiseks kasutatakse rakist, selle võllile kinnitatakse saeketas survebidega. Otsviskumist mõõdetakse indikaatorkellaga saeketta aeglasel pööramisel. Normatiivsete näitajate ületamine viitab saeketta defektidele ja vajadusele need defektid välja rihtida või ketas välja vahetada.

Saeketta defektid on kogu saeketast haaravad – taldrikulisus ja tiivikulisus – või kohalikud – muhk, paine, lõdvenenud koht, pingestatud koht. Saeketta rihtimiseks töödeldakse seda rihtimisvasaratega spetsiaalsel kumera pinnaga alasil.

Saeketta eelpingestatust mõõdetakse selle läbivajumisel tekkiva pilu suuruse järgi, kui saeketas on asetatud horisontaalselt kolmele teravikule. Suurema eelpingega kaasneb suurem pilu. Saeketta eelpingestamise eesmärk on sae püsivuse parandamine ja võimalus kasutada õhemaidsaage. Varem kasutusel olnud paksud saekettad ei vajanud eelpingestamist (või vajasis ainult vähesel määral), sest nad olid küllalt paksud, et tagada saagimisel vajalik lõikeriista jäikus. Tänapäevase saeveski ökonoomne tehnoloogia nõuab aga võimalikult õhukeste saeketaste kasutamist. Ent kui saag on liiga õhuke, võib see muutuda ebastabiilseks ja saetee muutuda laineliseks. Korralik eelpingestamine stabiliseerib saagi ja väldib saetee laineliseks muutumise.

Tavaliselt tehakse eelpingestus saeketaste tootja juures ning nende uuesti pingestamist ja vajaduse korral rihtimist sageli ei kasutata. Need operatsioonid on tavalised ainult palkide saagimiseks kasutatavate suure läbimõõduga saeketaste puhul. Sel juhul kasutatakse eelpingestamiseks vastavate vasaratega pinnimist, mille käigus saab eemaldada ka lihtsamad defektid.

Eelpingestust vajavad igat tüüpi, nii ketas-, lint- kui ka raamsaed. Põhjuseks on see, et hammasvöö tsoon kuumeneb hõõrdumise toimele, ülejäänud, madalama temperatuuriga saekorpus aga takistab soojuspaisumist. See tekitab hammasvöö tsoonis survepingeid, mis võivad põhjustada õhukese materjali läbinõtkumise. Soojuspaisumisest põhjustatud survepingetele lisanduvad veel lõikejõududest põhjustatud survepinged.



Joonis 1.39 Ketassae hammasvöö tsoonis paiknevatesse sisselõigetesse – termokompensaatoritesse – on kinnitatud külglõikurid. Külglõikurid on ka ketta tsentri pool asuvates jahutusavad. Joonis: juliautensili.com

Tugevusõpetuses illustreeritakse nõtket pika saleda varda koormamisel pikisuunas mõjuva survejõuga. Üks võimalus nõtkekohtu vähendada on varda pikkuse vähendamine. Saeketta puhul vähendatakse seda „pikkust“ saekettasse töödeldud avade – termokompensaatorite – abil.

Ketassaagmasinad ehk ketassaed

Ketassaed (*circular saw*) on puidu töötlemisel väga levinud ja erinevate variantide rohkus teeb nende ammendava klassifitseerimise ebaotstarbekaks. Enamikku ketassaagidest vaatleme peatükis *Saematerjali tootmine*, näiteks saeveski seadmetena. Kõige lihtsam ketassaag koosneb saelauast ja selle all olevast horisontaalsest saevõllist, mille kõrgus võib saeketta lauast välja ulatumise reguleerimiseks olla muudetav. Lisaseadmete hulk võib olla erinev ja keerukamatel seadmetel võib olla isegi CNC-juhtimine. Joonisel 1.40 olev universaalketassaag on kasutatav paljudeks saagimisoperatsioonideks, saeketas on kallutatav ja sellega saab saagida ka kaldseid servi. Töölaua ja etteandevankri suurus lubab seda kasutada plaatmaterjali lahtisaagimiseks,

sagedamini ongi selle nimeks pigem formaat- kui universaalsaag. Joonisel 1.41 on näidatud alt vastu saagimise saag, mida on vaja pealistatud materjali saagimisel, sest põhise hambad võivad alumise pealistuskihi servadest pealistusmaterjali välja rebida. Selle vältimiseks saetakse alumisele pinnale soon ette. Soone laius reguleeritakse põhise saetee laiusega võrdseks.



Joonis 1.40 Universaalne formaatsaag. Foto: Altendorf GmbH



Joonis 1.41 Alt vastusaagimise saag. Foto: Altendorf GmbH

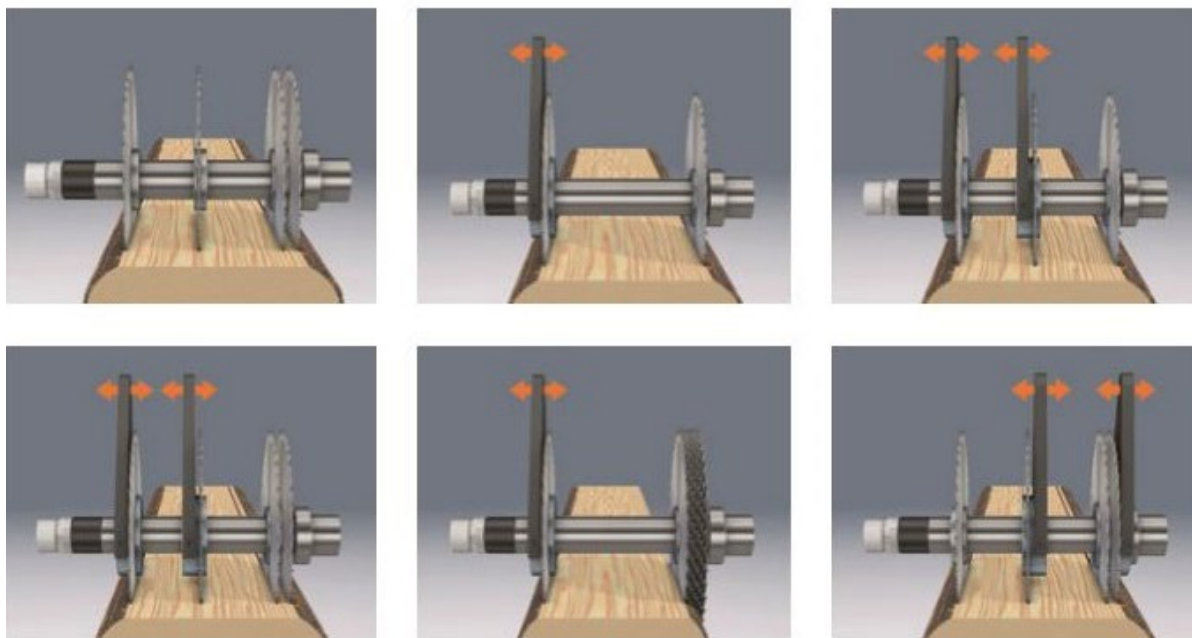
Lahkketassaed ehk lahkamissaed

Lahkamissaagidel (*board saw, multisaw edger*) on tavaliselt roomikettevedu ja üks või mitu saeketast materjali pikisuunas lahtisaagimiseks (joonis 1.42). Tavaliselt on saekettaid mitu ja

need võivad saevõllil olla vahepuksidega fikseeritud asendis või saevõllil liigutatavad. Kasutatakse ka kombinatsioone fikseeritud ja liigutatavatest saagidest (joonis 1.43).



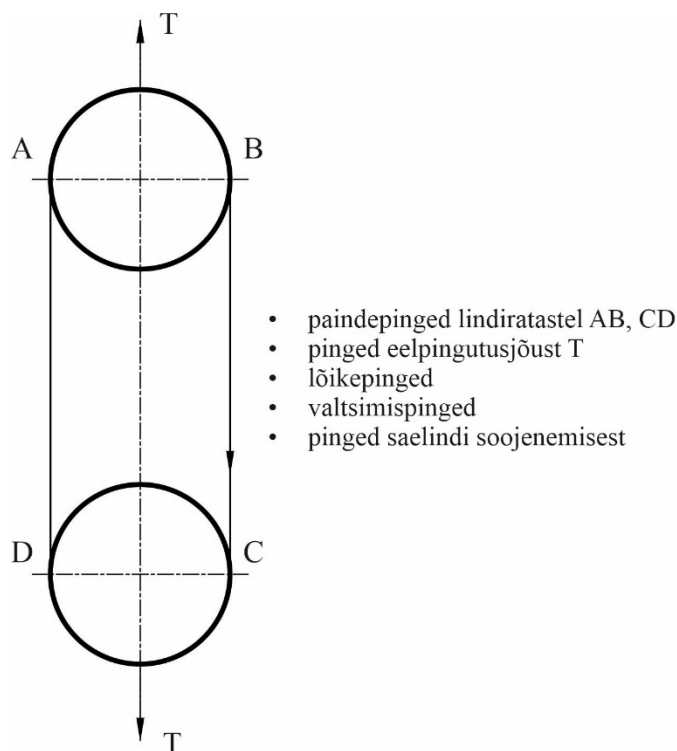
Joonis 1.42 Lahkamissaag Weinig Variorip 310. Foto: Michael Weinig AG



Joonis 1.43 Saeketaste kombinatsioonide kasutamine lahkamissaes Weinig Variorip 310. Foto: Michael Weinig AG

1.5.2 Lintsaagimine

Lintsaagimisel (*band sawing*) on saetee laius mitu korda väiksem kui ketassaagimisel, sest saelinti saab stabiilsuse tagamiseks lindiratastega tugevasti pingestada. Kitsas saetee tähendab tunduvalt väiksemat saepuruks töödeldava puidu mahtu. Saelindi paksus peab olema piisav, et tagada saelindi tugevus. Saelindis tekkivaid pingeid kirjeldab joonis 1.44.



Joonis 1.44 Pinged saelindis.

Saagimistäpsuse tagamiseks peab saelint olema stabiilne. Selleks kasutatakse saelintide eelpingestust ja saelindi juhikuid, nendes võivad tekkida lisapinged. Suurimad pinged saelindis on paindepinged, mis on leitavad valemiga

$$\sigma_p \approx s \cdot E / D, \quad (1.9)$$

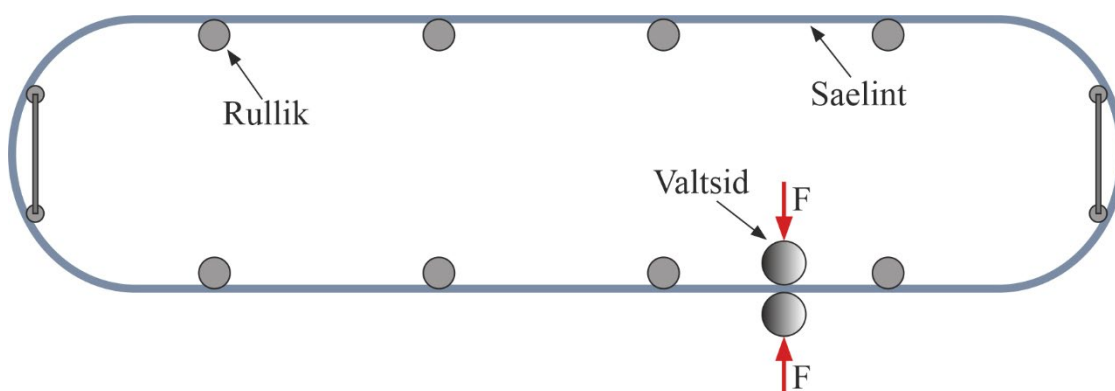
kus

s – saelindi paksus, mm, E – saelindi elastsusmoodul, MPa, D – lindiratta läbimõõt, mm.

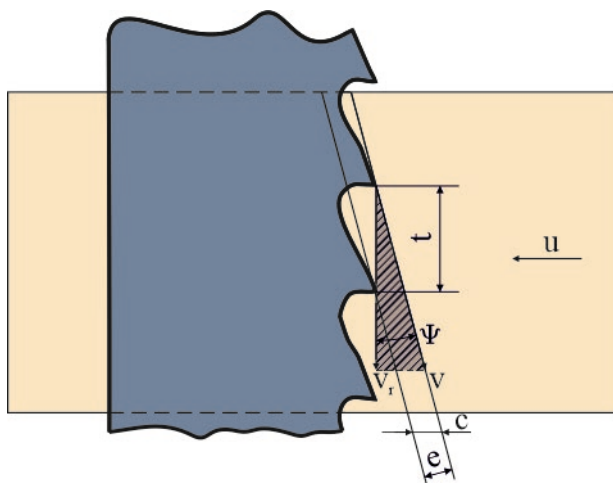
Paindepinged võivad kogupingest olla umbes 50% ja pinged eelpingutusjõust umbes 25%, suhe sõltub ka sae tüübist. Lintsaematerjal peab olema hästi painduv, kuid ka kulumiskindel, et vältida liiga sagedast teritust. Seepärast kasutatakse lintsaagide puhul sageli mitut materjali:

- hammaste tippudele kantakse kõvasulam – stelliit;
- hammasvöö piirkond valmistatakse kiirlõiketerasest, sae põhiosa aga sitkest eriterasest, (nn bimetallsaed).

Laiemate saelintide stabiilsuse parandamiseks kasutatakse nende eelpingestamist valtsimise teel (joonis 1.45). Valtsimisel survestatakse saelinti kahe kohakuti asetseva rulli abil. Rullide saelindiga kontakteeruv pind on kergelt kumer ja mõlemal rullil täpselt sama. Saelindi valtsimist alustatakse saelindi keskelt ja seal rakendatakse valtsidele suuremat survet. Valtsitakse mitme jäljega, jälgede vahekaugus on 10–20 mm. Saelindi servades on kaugus hambavahede põhjadest ja tagaservast 15–20 mm. Enne valtsimist tuleb saelindid rihtida täiesti tasapinnaliseks, rihtimata saelindi valtsimine toob kaasa saelindi ebaühtlase pingestamise. Õigesti valtsitud saelindi ristlõige võtab lindirattale paindudes nõgusa kuju ja see nõgusus aitab saelindil lindirattal püsida, sest lindiratta põial on ristlõikes kumerus 0,2–0,3 mm.



Joonis 1.45 Saelindi eelpingestamine valtsimise teel. Punased nooled näitavad valtside rakendatud survejõu suunda.



Joonis 1.46 Lintsaagimise kinemaatika.

Lintsae hamba liikumistrajektor puidus (joonis 1.46) on kaldne sirge, mille kaldenurk ψ on määratud etteandekiiruse ja lõikekiiruse suhtega ning ettenihe hamba kohta c on leitav valemiga

$$c = t \cdot u / (60 \cdot v), \quad (1.10)$$

kus t on hambasamm, mm.

Tavaliselt valitakse hambasamm selline, et saetees oleks korraga 3–5 hammast, suurel saetee kõrgusel ka enam. Etteandekiirus u (m/min), löikekiirus v (m/s), leitakse valemiga 1.11.

$$v = \pi \cdot D \cdot n / 60\,000, \quad (1.11)$$

kus n on lindiratta pöörlemissagedus, min^{-1} .

Saetee laiendamiseks kasutatakse saehammaste räsamist, paksendamist ja hambatippude stelliidiga katmist. Räsamist kasutatakse ainult kitsaste lintsagide puhul.

Lintsamasinaid (*band saw benches*) on kolme liiki:

- kitsad tislilintsaed;
- lahklintsaed (joonis 1.47);
- laiad palgilahk- ja prussilintsaed.



Joonis 1.47 Lahklintsaag Weinig Variosplit 900. Foto: Michael Weing AG

Tavaliselt on lintsaed vertikaalsed, lindirattad paiknevad üksteise kohal ja saelint liigub vertikaalsuunas ülalt alla. Alumine lindiratas on ajamiga ja ülemisest massiivsem. Saelindi pingutamine toimub ülemise lindiratta ülespoole surumisega ja on suurtel lintsaagidel enamasti hüdrauliline. Ülemist lindiratast kallutatakse kergelt, et hoida linti lindirattal paigal. Horisontaalseid lintsaage kasutatakse palkide saagimisel (palgilahklintsaed).

Kitsaste tislerialintsaagide lindid on 6–50 mm laiad ja nende paksus on 0,45–1 mm. Lindi selliste mõõtmete tõttu saab sellega teha kõverjoonelisi lõikeid. Tavaliselt on tislerialintsaed käsietteandega, lisavarustusena saab tihti tellida toorikut vastu joonlauda suruvat etteanderulli.

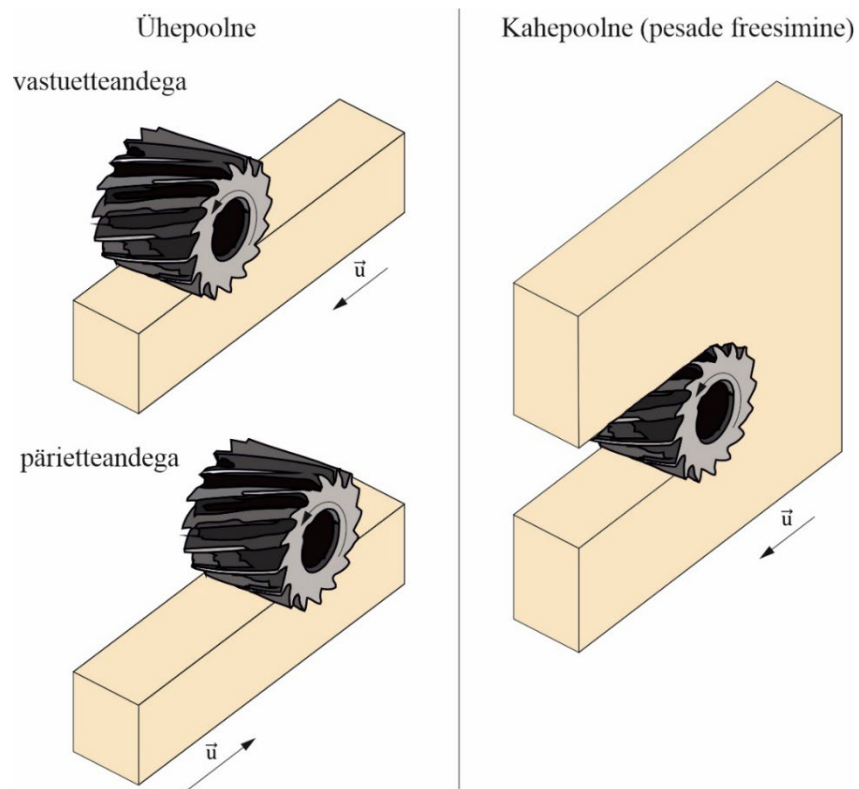
Lahklintsaage (joonis 1.47) kasutatakse materjali lahtisaagimiseks pikisuunas (*splitting*), tüüpiline kasutuskoht on hõõvelliinis tooriku kaheks või kolmeks lõhestamiseks enne hõõveldamist. Laensõnana inglise keelest nimetatakse seda operatsiooni sageli splittimiseks. Kolmeks saagimisel paikneb liinis vastakuti kaks lahklintsaagi, mõlemad saelindid saevad korraga. Palgilahklintsaage käsitletakse alapeatükis 2.1 *Saematerjali tootmine*.

1.6 Freesimine

Freesimine (*milling, moulding*) on lõikeprotsess, kus laastu eemaldamine toimub pöörleva lõikeriistaga, mille silindrilisele, koonilisele või otspinnale on kinnitatud lõiketerad ehk lõikurid. Eristatakse kolme põhilist freesimise viisi.

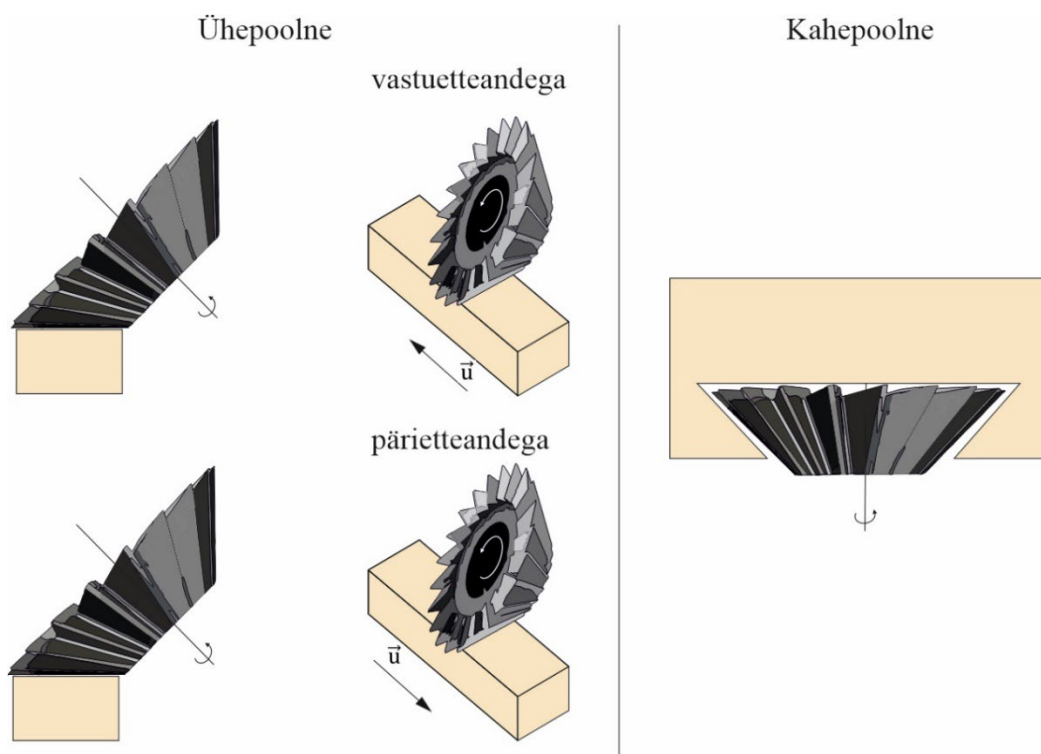
Silinderfreesimisel (*peripheral cutting, circular moulding*) (joonis 1.48) on lõikeriista pöörlemiselg paralleelne lõiketasapinnaga ja lõikurid on kinnitatud freesi silinderpinnale.

Vastavalt sellele, milline on etteandekiiruse u suund puidukiudude suhtes, on tegemist freesimisega piki-, risti- või otskiudu. Levinuim freesimisviis on silinderfreesimine pikikiudu, enamasti nimetatakse selliseid masinaid hõõvliteks, sest nad teevad sama, mida vanasti tehti käsihõõvlitega.



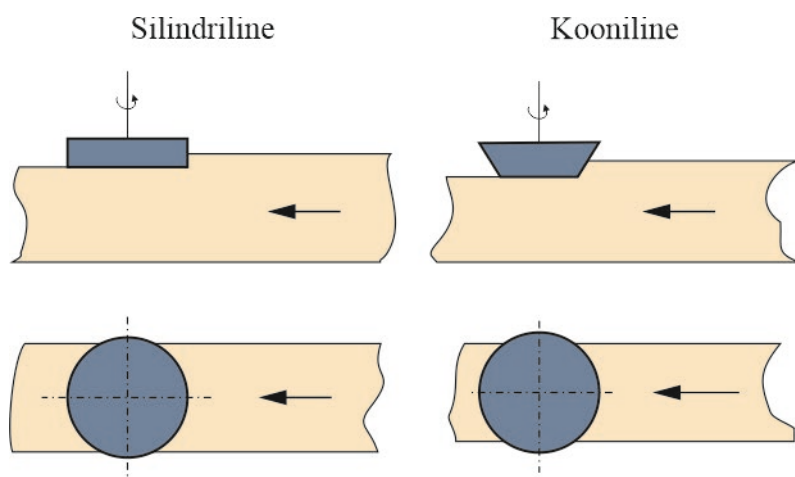
Joonis 1.48 Silinderfreesimine.

Kooniline freesimine (conical milling) (joonis 1.49) võib toimuda piki-, risti- või otskiudu.



Joonis 1.49 Kooniline freesimine.

Laupfreesimist (*face milling*) (joonis 1.50) kasutatakse suhteliselt harva, näiteks suurte puidust seinapaneelide freesimiseks majatehastes, sest paneeli mõõtudele vastav silinderfrees oleks liialt pikk. Tootmises on ka üksikuid laupfreesidega nelikanthöövleid, sest pikikiudu laupfreesimisel puudub kinemaatiline laine.



Joonis 1.50 Laupfreesimine.

Vahel nimetatakse eraldi freesimisviisiks ka **kujufreesimist** (*profile cutting*), kuid see on kombinatsioon silinder- ja koonilisest freesimisest, millele otsfreesidega töötlemisel võib lisanduda isegi laupfreesimine.

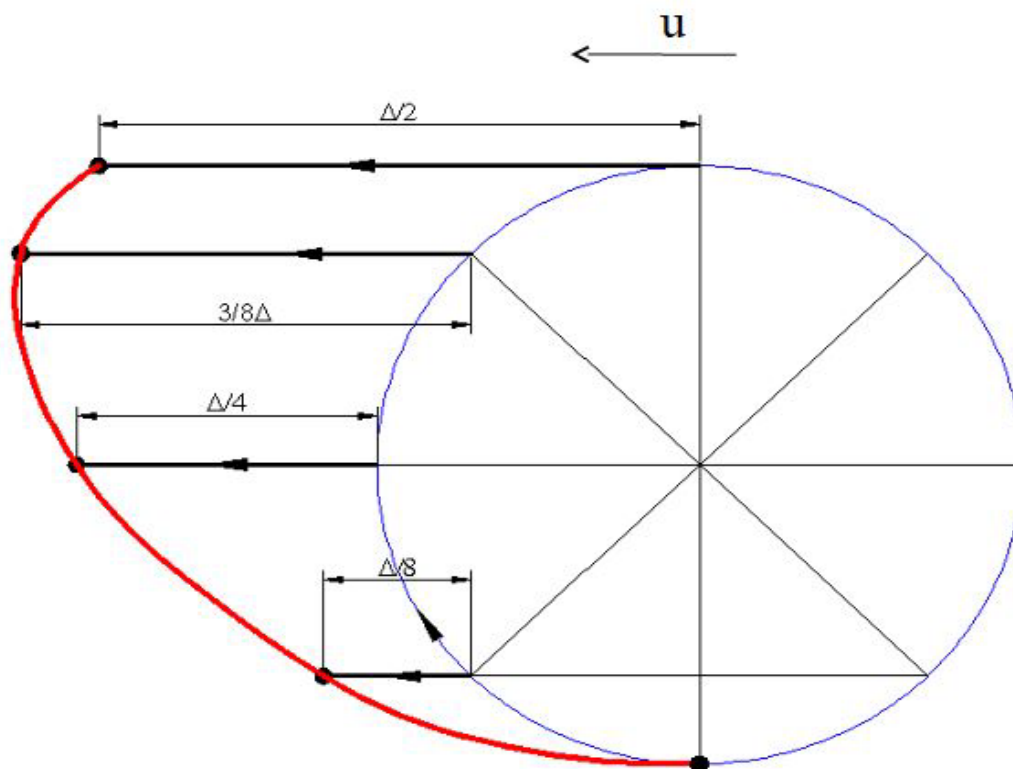


Joonis 1.51 Laupfreesimismasin majatehases. Foto: M. Riistop

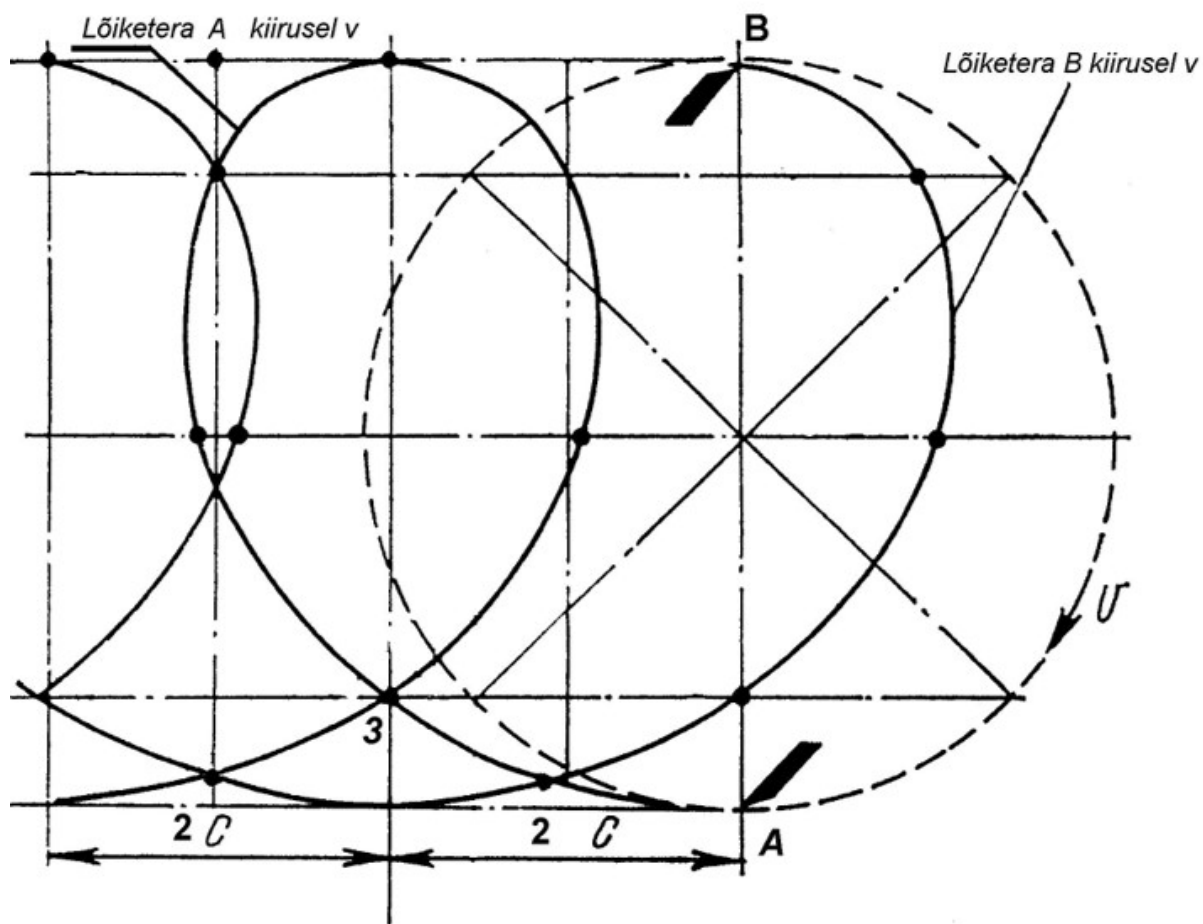
Pesade töötlemiseks kasutatakse ka **kettfreesimist** (*chain mortising*), mis on eriti sobiv läbivate pesade puhul, mitteläbivate pesade tükikaks omaduseks on keti juhtplaadi ümara otsa poolt kujundatud ümar pesa põhi. Nelinurkse ristlõikega tapiavade töötlemist freesketiga teostatakse kettfreemasinal.

Freesimise kinemaatika

Freesi hamba ja materjali suhtelise liikumise trajektoor on tsükloid, mille konstrueerimiseks antakse freesi hambatipule nii freesi pöörlemise kiirus v (valem (1.6) kui etteandekiirus u . Materjali etteanne ühe pöörde kohta Δ ja täispöörde jagatakse kaheksaks (joonisel 1.52) ja liidetakse mõlemad liikumised.



Joonis 1.52 Freesimise lõiketrajektoori kujunemine ühe lõiketeraga freesi korral.



Joonis 1.53 Kinemaatilise laine kujunemine ühe lõiketeraga (harja kõrgus punktis 3) ja kahe lõiketeraga (harja kõrguse punktid 2) freesi korral.

Kinemaatilise laine tõttu jääb freesitud pind kergelt laineline, laineharja kõrguse vähendamiseks suurendatakse lõiketerade arvu (kuni 16 ja enam) ja freeside pöörlemissagedust.

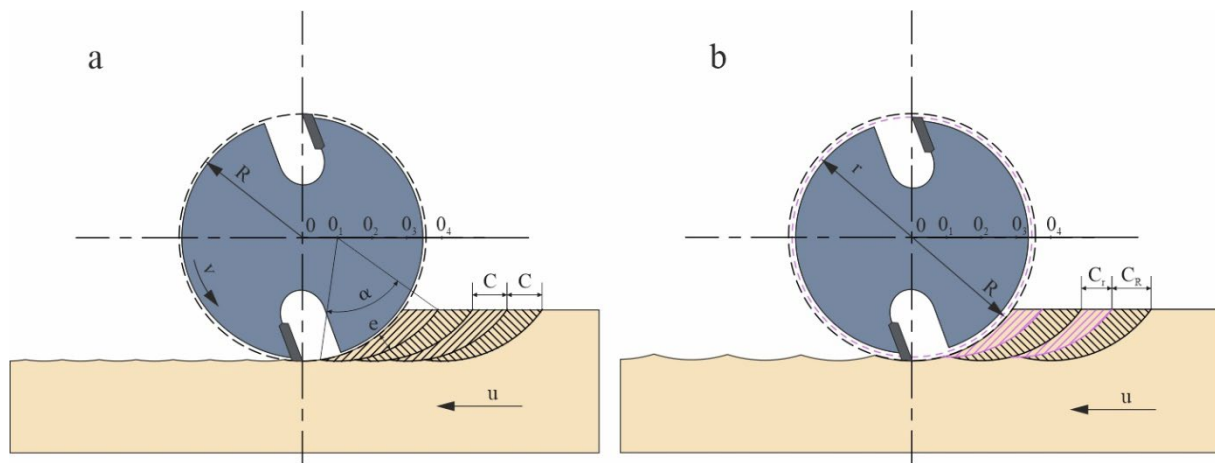
Nagu ketassaagimiselgi, saab ettenihke ühe hamba kohta leida valemiga (1.7).

$$c = 1000 \cdot u / z \cdot n, \quad (1.12)$$

Kinemaatilise laine harja kõrguse k saab leida valemiga

$$k = c^2 / (4 \cdot D). \quad (1.13)$$

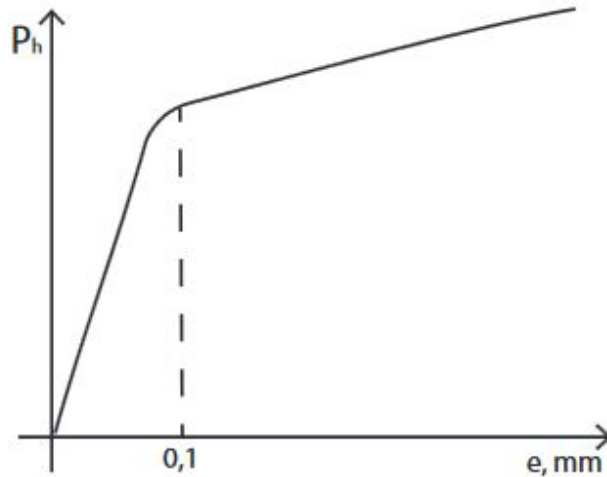
Kinemaatilise lainearja kõrgus peaks mööblitööstuses olema 0,001–0,005 mm, aknatööstuses ja voodrilaudade tootmises 0,004–0,01 mm ning ehituspuidul 0,01–0,06 mm (allikas: MET Terakeskus).



Joonis 1.54 Kinemaatilise laine ja laastu paksuse kujunemine freesimisel: a – kahe sama lõike-raadiusega lõiketeraga, b – raadiuste erinevusel.

Jooniselt 1.54 on näha, et kinemaatilise laine kõrgus on oluliselt suurem, kui nugade lõikeraadius ei ole võrdne. Lahendusi selle erinevuse minimeerimiseks vaatleme freeside konstruktsioonide juures. Valemist 1.13 järeldub, et kinemaatilise laine kõrgus sõltub oluliselt ka etteandest hamba kohta c . Kõrge pinnakvaliteedi saamiseks peaks c väärtus olema 0,3–0,6 mm, paksu laastuga lõikamisel võib c olla isegi 2–5 mm. Liiga väike ettenihe hamba kohta ei ole samuti soovitatav.

Joonisel 1.15 on näidatud lõikamine laastu paksusel e , kus laast liigub mööda tera esitahku. Joonisel 1.55 on antud lõiketerale mõjuva jõu P_h sõltuvus laastu paksusest. Lõikejõud koosneb kahest komponendist: jõud tera esitahul ja jõud tagatahul. Laastu paksusel alla 0,1 mm hakkab lõikejõud kiiresti vähenema põhjusel, et esitahul olev lõikejõu komponent väheneb. Tagatahul mõjuvad jõud on põhjustatud hõõrdest lõiketera ja lõigatava pinna vahel ning pinna muljumisest. Laastu paksusel alla 0,1 mm võib lõikamise asemel olla tegemist pinna muljumisega ja tulemusena saadav pind on küll väga sile, ent klaasjas. Näiteks liimimisel (vt alapeatükk 5.1) ei ole see soovitatav. Üldiselt ei ole mikrolaastuga ($e < 0,1$ mm) lõikamine soovitatav.



Joonis 1.55 Hambale mõjuva löikejõu P_h sõltuvus laastu paksusest e . Joonis: J. Riistop

Joonisel 1.55 on näha, et laastu paksus freesimisel muutub vahemikus nullist maksimumini, keskmine laastu paksus on leitav valemiga

$$e = c \cdot \sqrt{h} / D, \quad (1.14)$$

kus h on mahafreesitava kihi paksus, mm.

1.6.1 Freesid

Freesimisega saab puidust toorikule anda soovitud väliskuju ja lõigata tapipesasid. Freesimiseks kasutatakse eri kujuga freese, mis jagunevad:

a) istamisavaga freesid

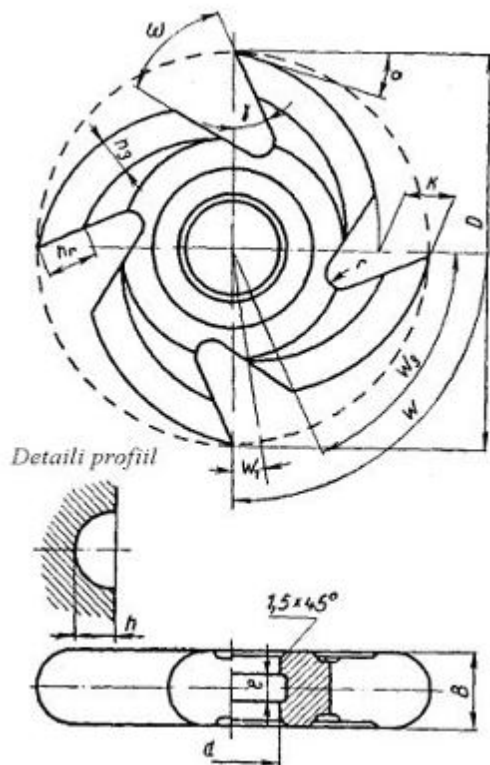
- tervikfreesid;
- koostatavad freesid;
- vahetatavate lõikuritega freesid;
- laupfreesid.

b) otsfreesid.

Neid freeside liike kasutatakse ka kombinatsioonidena. Näiteks võivad nii koostatavad freesid kui otsfreesid olla vahetatavate lõikuritega.

Tervikfreesid (*all steel cutter*)

Tervikfreeside lõikeosa ja korpus moodustavad ühtse mittelahtivõetava terviku. Freesi valmistamist ühest terviklikust toorikust kasutatakse harva, sest kogu freesi korpuse valmistamine nii kvaliteedilisest materjalist, kui on vaja lõikavas osas, ei ole otstarbekas.



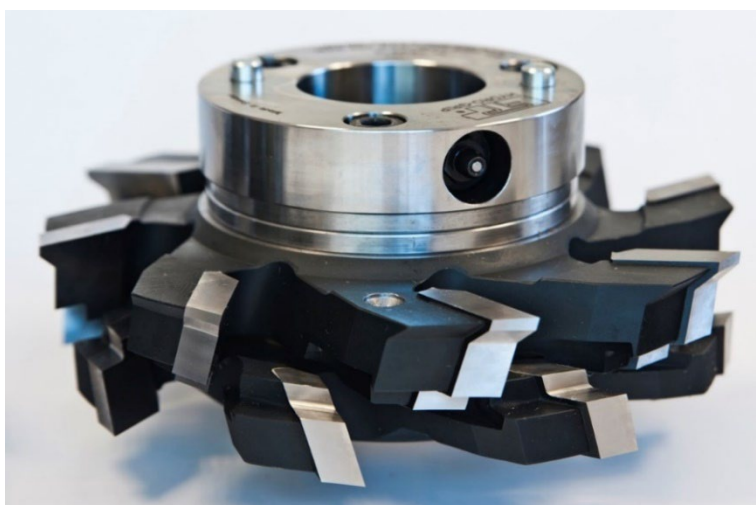
Joonis 1.56 Tervikfrees soone freesimiseks.

Joonisel 1.56 on kujutatud ühest toorikust valmistatud tervikfrees soone freesimiseks. Kogu hammas on sama laiusega B ja freesi küljed hõõrduvad vastu freesitavat materjali. Kaldu neid aga töödelda ei saa, sest siis hakkab soone laius esitahult teritades vähenema. Neil põhjustel on tervikfrees sageli kahest materjalist, korpuse külge on kinnitatud kiirlõiketerasest või kõvasulamist lõikeosa plaatterik ja kinnitus ei ole lahti võetav. Joonisel 1.56 oleval freesil on tagatahu asemel raadiuse suunas sissepoole kumerdunud pind, selle eesmärk on vältida taganurga vähenemist korduvate esitahult teostatavate terituste tagajärjel. Kujufreese teritataksegi ainult esitahult, välja arvatud vahetatavate nuga-dega kujufreesid, mida teritatakse tagatahult. Freesi hamba tagumise pinna töötlemist viisil, mis annab joonisel 1.56 näha oleva kuju, nimetatakse kukaldamiseks. Sellestki tülikast operatsioonist aitab vabaneda freesi lõikeosa teostamine korpusest välja ulatuva plaadina. Joonisel 1.56 kujutatud freesi hammaste külgpind hõõrdub kogu ulatuses vastu freesitavat soont, seepärast ei ole selline lahendus soovitatav. Kui kasutada freesi lõikeosana terikut ja anda ka selle külglõikeservadele kalle, ei ole ka see lahendus vastuvõetav,

sest esitahult teritamise järel hakkab soone laius vähenema. Selle puuduse kõrvaldamiseks kasutatakse koostatavaid freese.

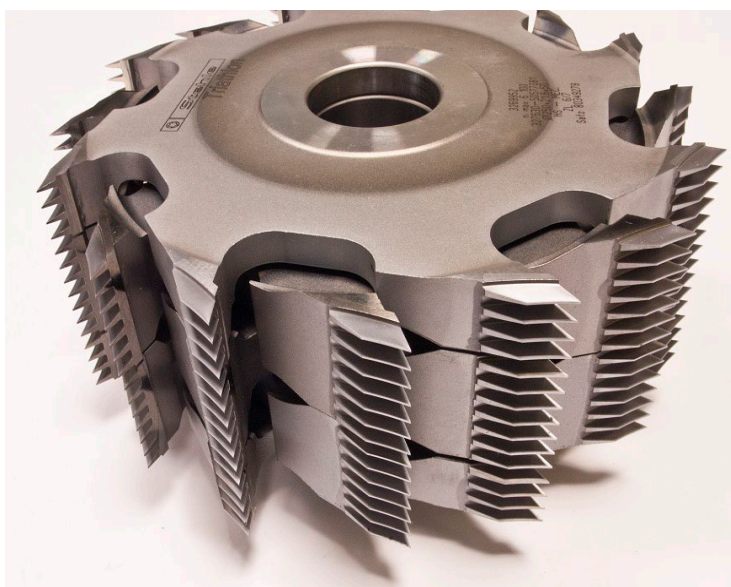
Koostatavad freesid (*assembled milling cutters*)

Sageli ei ole otstarbekas üritada kogu freesitavat profiili töödelda nii, et kõik freesi hambad freesivad kogu profiili. Profiili jagamine osadeks ja nende töötlemine võllile koos kinnitatud erinevate tervikfreesidega võimaldab vältida profiili muutumist teritamiste järel. Iselukustuvatel koostefreesidel tagab profiili muutumatus nende konstruktsioon, mittelukustuvate koostefreeside osafreeside vahekaugust reguleeritakse vaheseibidega.



Joonis 1.57 Koostatav kujufrees. Foto: J. Ingelman

Koostatavaid freese kasutatakse ka nt sõrmtapi freesimisel (joonis 1.58).



Joonis 1.58 Koostatav sõrmtapifrees. Foto: J. Ingelman

Vahetatavate lõikuritega freesid (*milling cutters with replaceable cutters*)

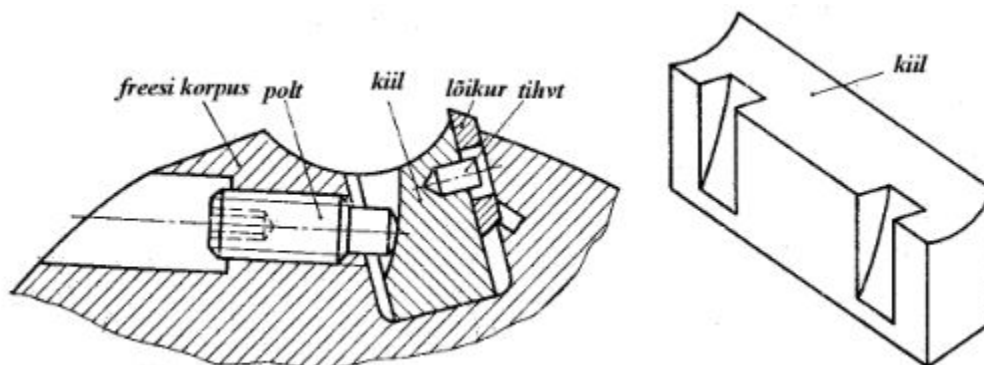
Kõige levinum vahetatavate terikutega frees on nn noavõll, neid käsitleme pikifreespinkide juures. Vahetatavate terikutega soonefrees (joonis 1.59) võimaldab kasutada lihtsama kujuga terikuid ja vältida nt soone laiuse vähenemist terituste tagajärjel, paigutades kahe freesi vahele sobiva paksusega seibid. Joonisel 1.59 kujutatud freesil pole seibe soone laiuse terituste järel vähenemise vältimiseks vaja, sest lõikurid on mitteteritatavad. Küll aga saab freesi poolte vahel olevate seibidega muuta freesitava soone laiust.



Joonis 1.59 Vahetatavate mitteteritatavate terikutega koostatav soonefrees. Foto: J. Riistop

Kuna freeside teritamine on kulukas ning tuleb tagada profiili muutumatus ja lõikeraadiuse konstantsus, kasutatakse võimaluse korral mitteteritatavaid vahetatavaid lõikureid. Materjalikulu vähendamiseks püütakse need lõikurid teha pööratavad: kui üks lõikeserv nürineb, pööratakse lõikama järgmine.

Lihtsamal juhul saab mitteteritatavad terikud kinnitada kruvidega, väga levinud on ka kiilkinnituse mitmesugused variandid, nt joonisel 1.60 kujutatu. Survejõud kinnituseks tekib freesi pöörlemisel tsentrifugaaljõust.



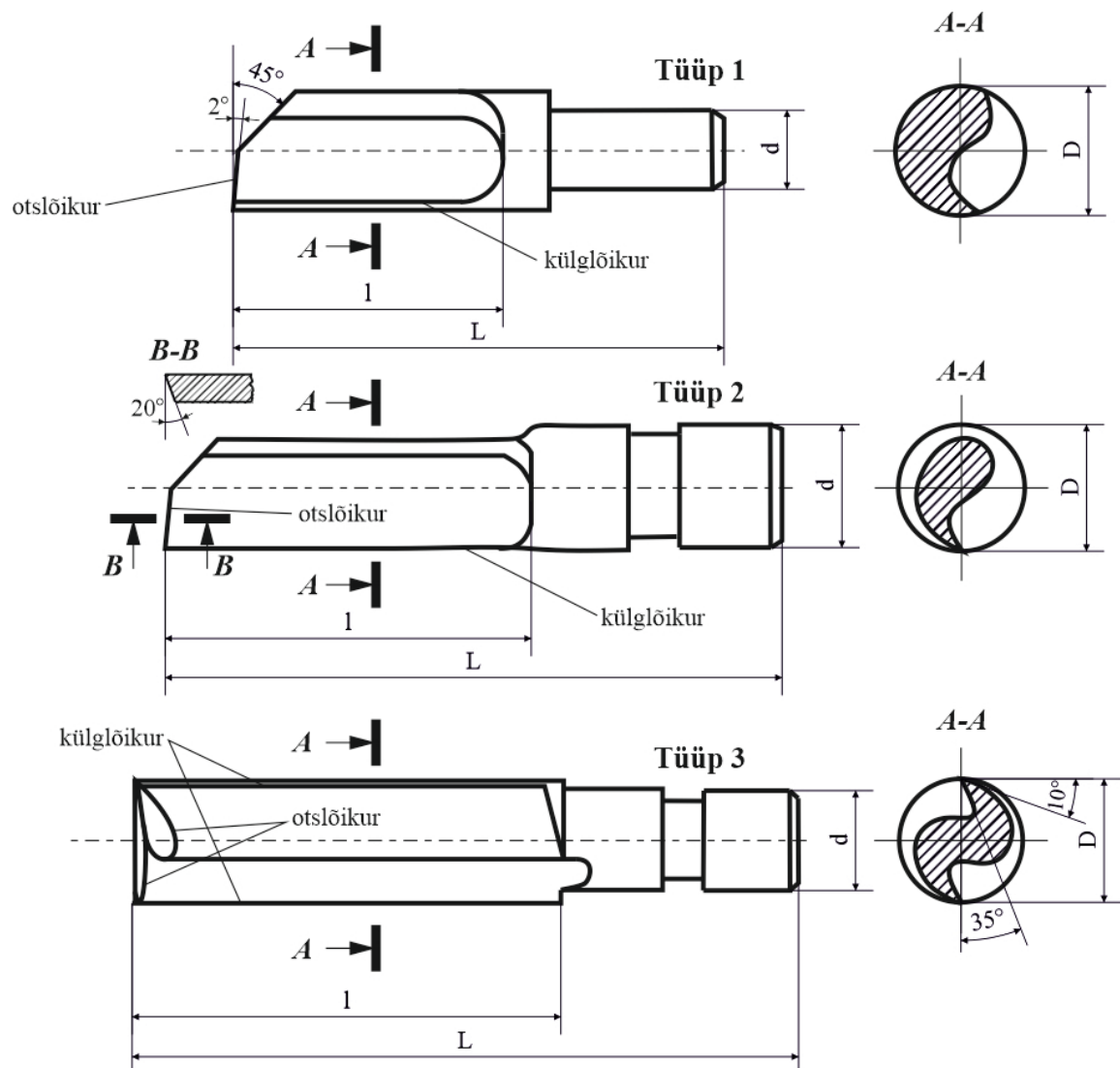
Joonis 1.60 Mitteteritatava teriku kiilkinnitus.

Otsfreesid

Otsfreesidel ehk otsakfreesidel puudub istamisava, neid kinnitatakse tööpingi padrunisse kinnitussaba abil.

Otsfreesid võivad olla kukaldamata (joonis 1.61, tüüp 1), mille korral kukaldamist asendab nende kinnitamine padrunisse ekstsentriliselt, selliseid freese kasutatakse tänapäeval harva, või kukaldatult (joonis 1.61, tüübid 2 ja 3).

Pikilõikeservi võib otsfreesil olla 1, 2 või enam ja need võivad olla sirged või spiraalsed. Otsfreesi kasutatakse soonte ja tapipesade freesimiseks, plaatdetailide töötlemiseks, detailide kujupindade töötlemiseks ja mahtkopeerimiseks.



Joonis 1.61 Otsfreeside tüübid: tüüp 1 – kukaldamata, 2 ja 3 – kukaldatud.

Kui varem kasutati otsfreese peamiselt ülal asetseva võlliga freespinkides, siis CNC-töötlemis-keskuste levik on nende kasutusala ja valikut oluliselt laiendanud.

Kuna otsfreeside läbimõõt on tavaliselt küllaltki väike, on piisava löikekiiruse saamiseks vajalik suhteliselt suur pöörlemissagedus.

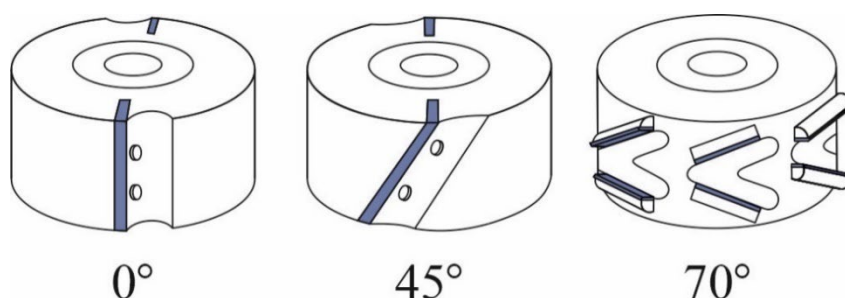
Otsfreeside valikul tuleb arvestada nende keerdumust (joonis 1.10) ja seda, kas vajatakse parem- või vasakpöördfreesi (joonis 1.12 koos kaasneva tekstiga).

Levinuim otsfreesi teriku materjal on kõvasulam, seda nii korpusesse joodetuna kui ka vahetatavate plaatidena. Väiksema läbimõõduga otsfreese valmistatakse ka üleni kõvasulamist. Plaatmaterjalide töötlemisel on tihti kasutusel sünteetiline teemant, seda nii teritatavate kui mitte-teritatavate freesidena.



Joonis 1.62 Teemantlõikuritega otsakfrees. Foto: J. Ingelman

Joonisel 1.20 on näidatud lõiketera kaldteritust ja seal olevatest valemitest lähtub, et kaldteritusnurga suurenedes vähenevad nii lõikenurk kui ka taganurk. Leuco P-system freesides on kaldteritusnurk üle 55° (joonis 1.63) ja see muudab lõikeprotsessi oluliselt.



Joonis 1.63 Leuco P-systemi freeside lõikurite kaldteritusnurk on kuni 70° .



Joonis 1.64 Leuco P–systemi otsfrees Joonis: LEUCO Ledermann GmbH& Co. KG

P–systemi lõikurite töö meenutab käsitsi noaga õhukese laastu koorimist materjali pinnalt, Leuco ütleb, et P–systemi lõikurid lõikavad pinda nagu paar kääriterasid. Tekkiv lõikepind on väga sile isegi ristikiudu lõikamisel.

Freeside kinnitus völli

Freeside kinnitamisel völli on eesmärgiks völli ja freesi tsentrite võimalikult täpne kokku langemine, seda mõõdetakse kontsentrisuse hälvena ehk ekstsentrilisusena.

Kinnitus vahetult völli. Völli ja freesi istamisava mõõtmed töödeldakse võimalikult lähedaseks, tolerantside tõttu on ekstsentrilisus umbes 0,05 mm.

Kinnitus deformeeritavate haaratspukside ehk tsangidega. Tsangis (joonis 1.65) olevad sisselõiked surutakse kokku, kui kooniline tsang surutakse koonilisse avasse ja haardub tihedalt ümber otsfreesi kinnitussaba või völli.



Joonis 1.65 Tsangid. Foto: M. Riistop

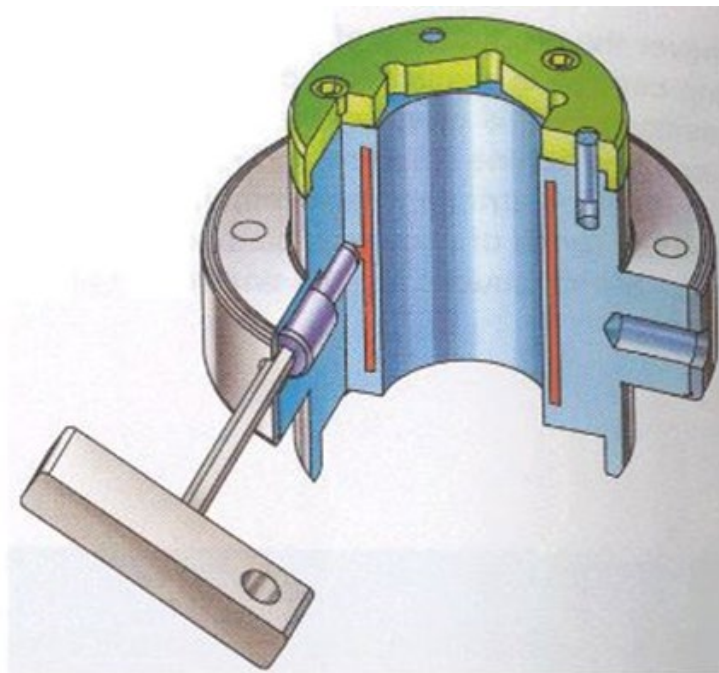


Joonis 1.66 Sisemutriga (vasakul) ja välise pingutusmutriga (paremal) tsangpadrunid. Foto: J. Ingelman

Tsangidega kinnitust kasutatakse nii ots- kui ka istamisavaga freeside puhul, saavutatav kontsentrilisuse hälve on 0,025 mm. Tsangkinnituse puhul on oluline tsangi pingutamine piisava, kuid mitte ülemäärase jõuga, selleks on vajalikud korralikud kruustangid ja dünamomeetriline võti. Vajalik pingutusmoment on 140–200 Nm.

Joonisel 1.66 on vasakul kujutatud sisemutriga tsangpadrunit, kus tsang surutakse koonilisse avasse padruni sisekeermesse erivõtmega keeratava hülsiga. Sellise padruni läbimõõt on tunduvalt väiksem kui traditsioonilise pingutusmutriga padrunil (fotol paremal). Nii on võimalik kasutada freeside suuremaid pöörlemissagedusi, $24\,000\text{ min}^{-1}$ asemel $30\,000\text{ min}^{-1}$.

Hüdrokinnitus. Kasutatakse puksi, millel on kinnituspinnal lähedal õhukese seinaga kamber, kus paikneb kõrge viskoossusega vedelik. Suletud süsteemi korral (joonis 1.67) tekitatakse kambris surve 300–400 bar poldi kambriga ühenduses olevasse avasse keeramisega mutrivõtme abil, kamber deformeerub ja puks haardub ümber kinnitussaba või võlli. Suuremate freeside puhul on kasutusel avatud süsteem, kus surve tekitatakse välise pumbaga. Hüdrokinnitusega saavutatakse kontsentrilisuse hälve 0,005 mm.



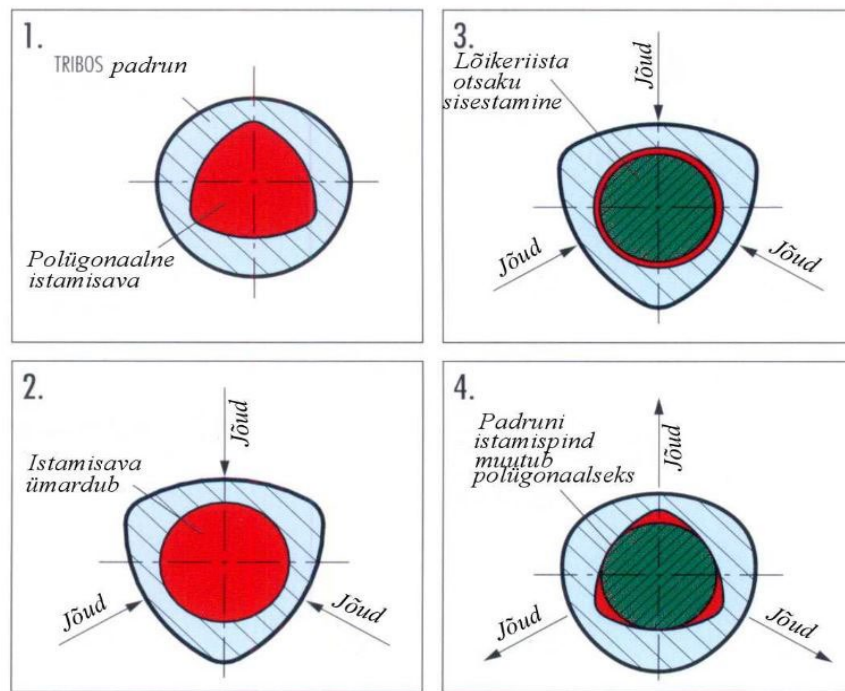
Joonis 1.67 Kinnise süsteemiga hüdrokinnitus.

Kinnitus termopadruniga. Otsfreeside puhul kasutatakse suuri pöörlemissagedusi ja kontsentrisuse hälve peab olema nullilähedane. Üks võimalus selliseks kinnituseks on termopadrun. Termopadruni ülaosa kuumutatakse kõrgsagedusväljas ja otsfreesi saba asetatakse padrunisse. Padruni jahutamisel õhujoas tõmbub padrun kokku ja haardub tihedalt ümber kinnitussaba. Saavutatav kontsentrisuse hälve on 0,003 mm.

Tribos-kinnitus. Kui termopadrunis saavutatakse kontsentrisust tagav survejõud termokahenemise abil, siis Tribos-padrunis tekib surve padruni algselt mittesilindrilise kinnitusava pressis silindriliseks surumise ja sellesse freesi kinnitussaba asetamise järel surve vabastamise tulemusel, vt joonis 1.68. Saavutatav kontsentrisuse hälve on sama, mis termopadrunilgi, 0,003 mm.

Võlliga kinnituskoonus. Avaga freeside kinnitamiseks kasutatakse kinnituskoonusega võlli, sageli nt CNC-töötlemiskeskustes, aga ka all asetseva võlliga universaalsetes vertikaalfreespinkides.

Suuremaid noavõlle valmistatakse tihti laagripukkidesse minevate võlliotstega ühes tükis.



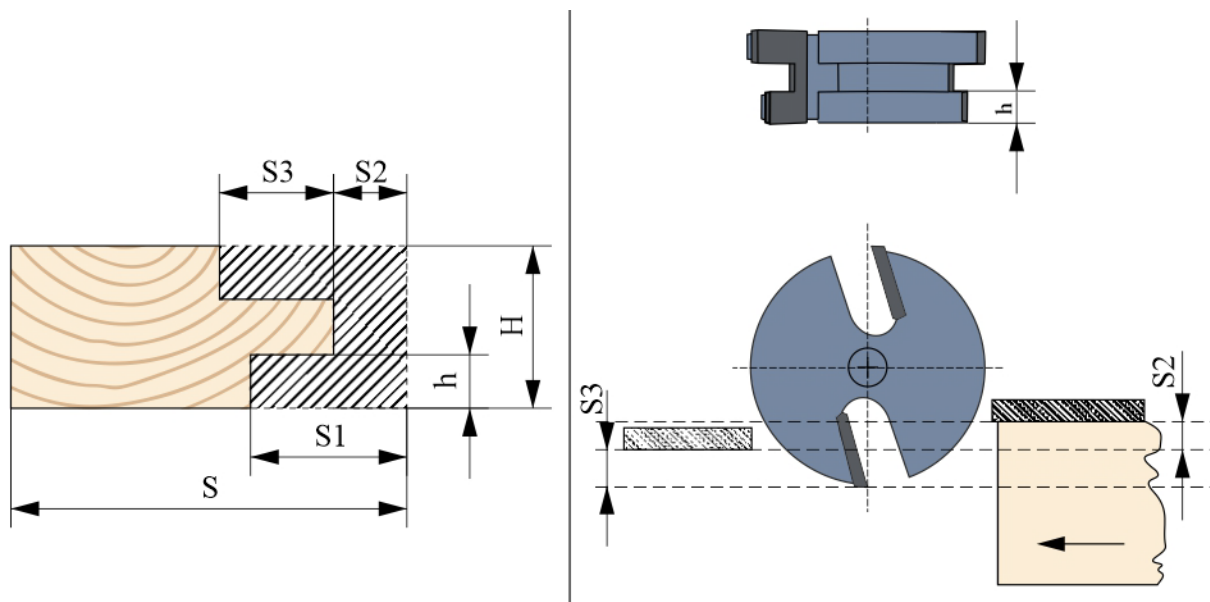
Joonis 1.68 Tribos-kinnituspadrundi tööpõhimõte.

1.6.2 Freesmasinad

Universaalfreesmasin (*universal milling machine*), vt joonis 1.69, on freesvõll vertikaalne ja paikneb töölaual all.

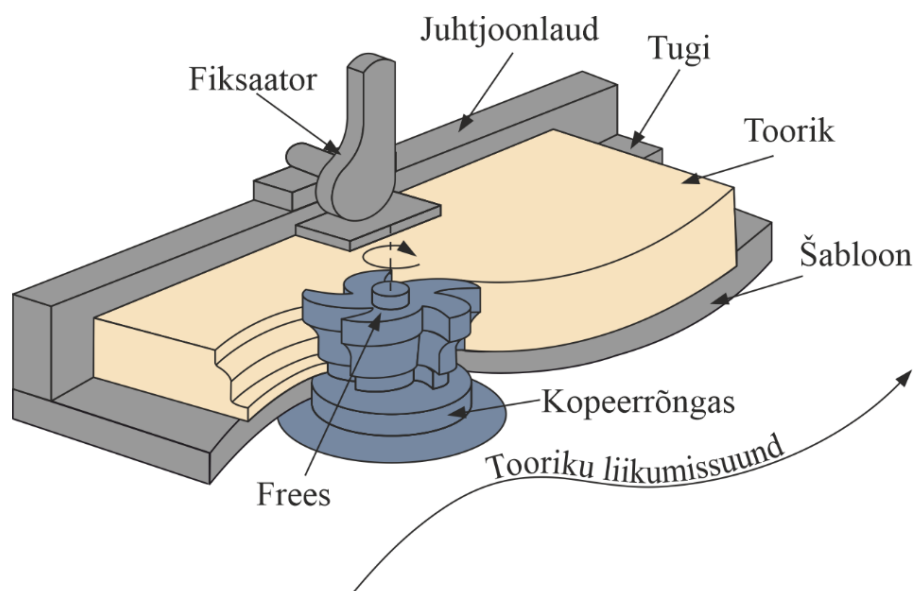


Joonis 1.69 Universaalfreesmasin Martin T27. Foto: Otto Martin Maschinenbau GmbH&Co.KG



Joonis 1.70 Universaalfreesi juhtjoonlaudade paiknemine kujufreesimisel.

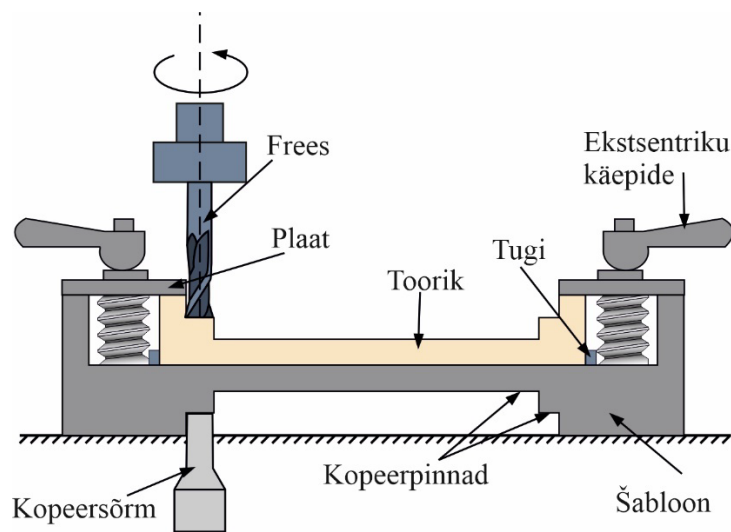
Universaalfreesiga saab tooriku külgi rihtida ning freesida tooriku pikkuses sooni ja kujupindu. Joonisel 1.70 vasakul on sirge servpinnaga profiili ristlõike freesimissügavustega ($S1$, $S2$ ja $S3$) ja -kõrgusega (h) ning paremal on pealtvaade universaalfreesi kahest osast koosnevast juhtjoonlauast, kus esimene osa on taandatud mahavõetava puidukihi paksuse $S2$ võrra. Kõvera servpinnaga detaili kopeerfreesimine šablooni abil on näidatud joonisel 1.71.



Joonis 1.71 Kopeerfreesimine universaalfreesis.

Ülavõlliga vertikaalfreespink ehk ülafrees (router)

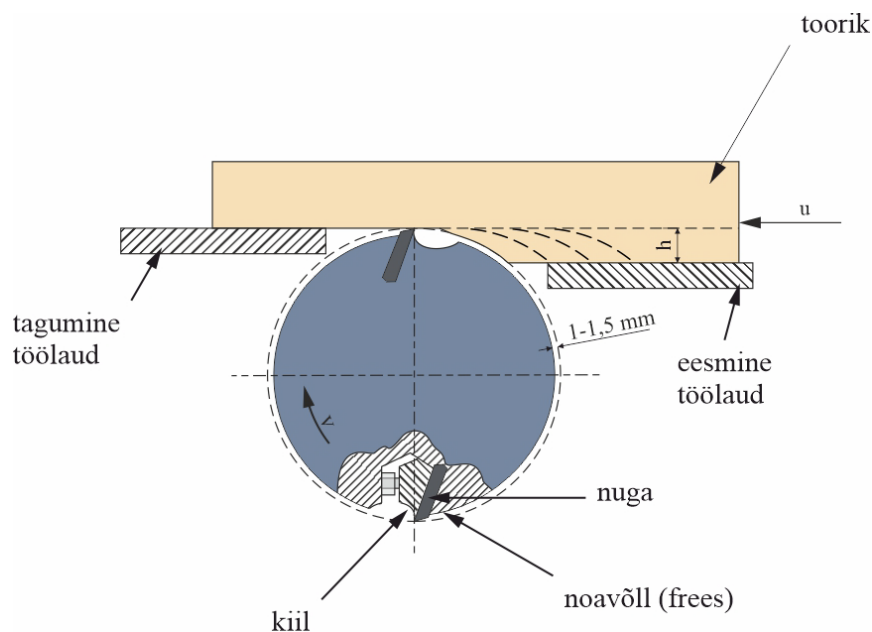
Ülafreespingis kasutatakse otsfreese, millega saab freesida sooni ja pesasid ning teostada kopeerfreesimist (joonis 1.72).



Joonis 1.72 Kopeerfreesimine ülafreesiga. Kopeersõrme kõrguse muutmisega saab kopeerida kahe kopeerpinna järgi.

Õgvendushöövelmasin ehk rihthöövel (jointer, surface planer)

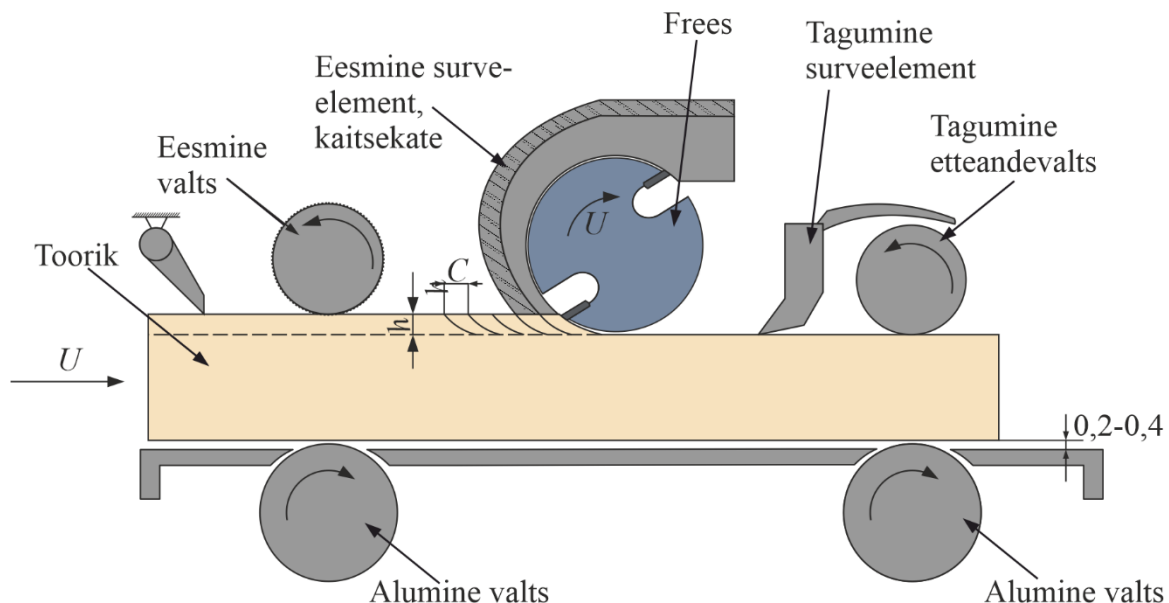
Õgvendushöövelmasina korrektne nimetus oleks rihtpikifreespink, ent see nimi on liialt kohmakas ja kuna pinna rihtimine käsitsi toimuks hõõvli abil, siis ongi käibel lihtsam nimetus rihthöövel.



Joonis 1.73 Rihthõõvli tööpõhimõte.

Rihthöövlis toimub tooriku pinna töötlemine tasapinnaliseks kujuhälvete maha freesimisega. Rihtimine loob baaspinna järgnevateks operatsioonideks, milleks tavaliselt on materjali töötlemine paksuses. Juhtjoonlauda kasutades saab töödelda ka tooriku servi.

Paksusmasin ehk paksushöövel (*thicknesser*)



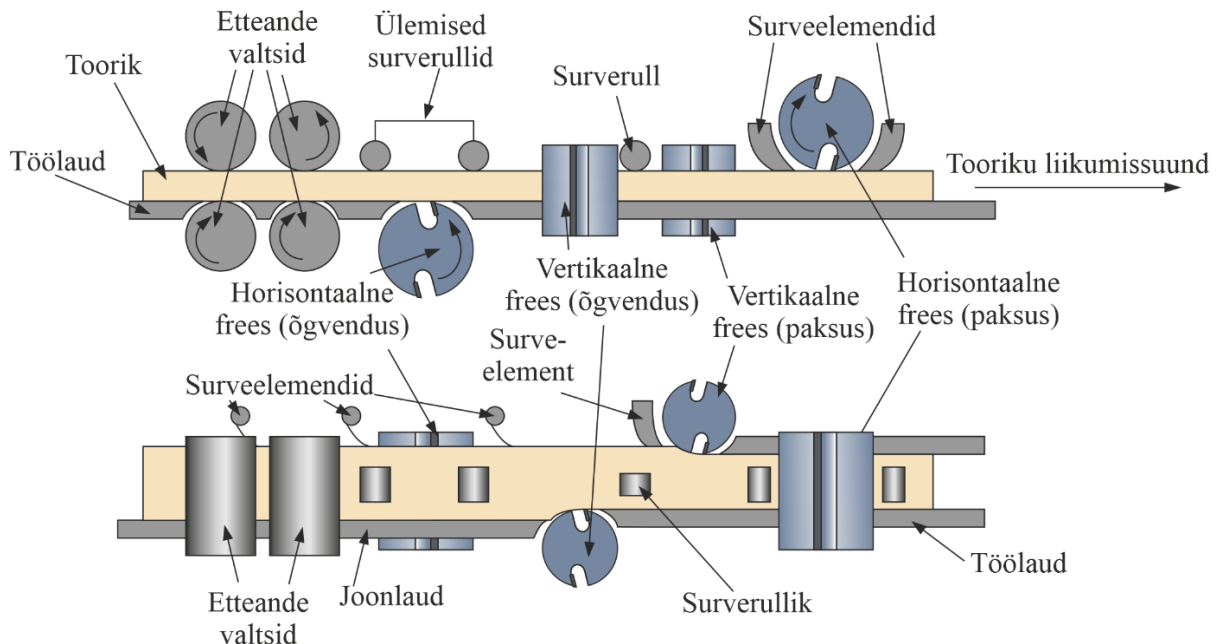
Joonis 1.74 Paksusmasina tööpõhimõte.

Paksusmasinas kasutatakse valtsetteannet, kusjuures eesmine valts on parema haarde saavutamiseks rihveldatud ja võib olla koostatud sektsioonidest, võimaldades mitme tooriku samaaegset etteannet. Toorikute paksus võib sel juhul erineda isegi kuni 2 mm. Tagumine etteandevalts võib olla sile terasvalts, kuid kasutatakse ka variante, kus nii eesmine kui ka tagumine valts on kummist kattega. Alumised valtsid on mittevedavad ja nende ülesandeks on vähendada hõõret töölaua ja materjali vahel, neist võib paksusmasinas ka loobuda. Paksusmasinaid võib varustada erinevate lisavõimalustega, näiteks vaakumtöölauga õhukese materjali töötlemiseks või profiilnugadega noavõlli kujupindade freesimiseks. Kujupindade freesimisel on muudetud ka tagumiste surveelementide konstruktsiooni ja lisatud juhtjoonlaud materjali etteandmiseks.

Nelikanthöövel (*four-side planer*)

Tootmisettevõtte jaoks on pindade töötlemine ükshaaval enamasti liiga töömahukas, nelikanthöövlit kasutades on võimalik materjali kõiki nelja külge töödelda samas seadmes. Nelikanthöövlites on:

- horisontaalsete freeside paar tooriku kahe laiema vastaskülje töötlemiseks;
- vertikaalsete freeside paar tooriku kahe kitsama vastaskülje töötlemiseks;
- lisavõllid, nendeks võivad olla üks või mitu kujufreesi, horisontaalne mitmekettaline saevõll või lisanoavõllid, et jagada töötlemisvaru mitmeks osaks (suurtel etteandekiirustel),



Joonis 1.75 Nelikanthöövli tööpõhimõte.

Kergetes nelikanthöövliites ei kasutata suuri etteandekiirusi ja kogu töötlemisvaru saab eemaldada nelja noavõlliga. Joonisel 1.75 on toodud skeem, kus esmalt toimub alumise külje rihtimine (õgvendamine) ja sellele järgneb paksusfreesimine.

Freesitud pinna kvaliteet sõltub oluliselt kinemaatilise laine kõrgusest. Laine kõrgust saab vähendada nugade arvu suurendamisega, freesi pöörlemissageduse suurendamisega, freesiläbimõõdu suurendamisega.

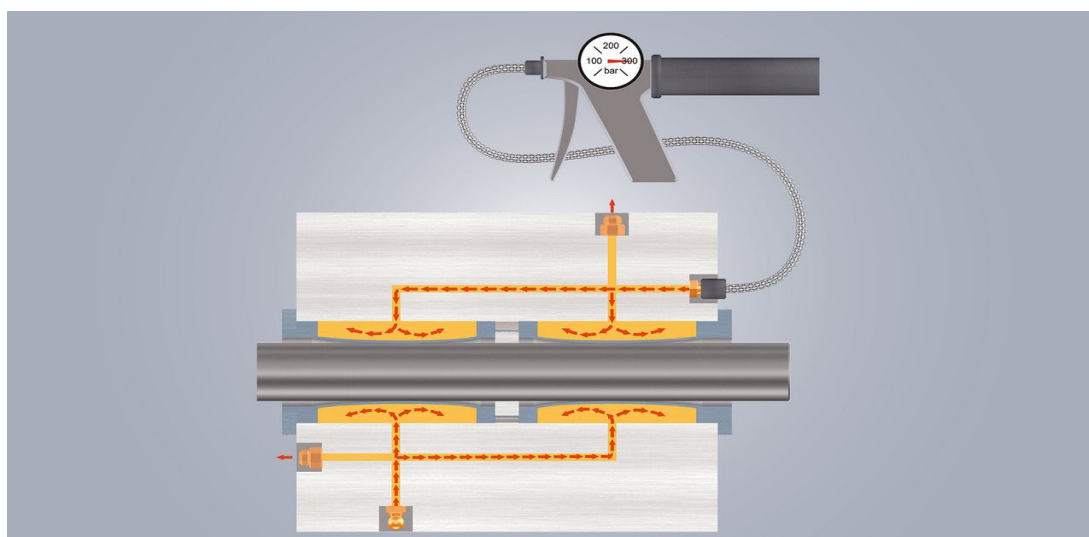
Nendest meetmetest on aga vähe abi, kui nugade lõikeraadiused ei ole võrdsed. Juba küllalt väike lõikeraadiuste erinevus võib viia selleni et pind formeeritakse ainult üksikute nugadega (joonis 1.53). Lõikeraadiuste erinevus sõltub: nugade freesipaigaldamise täpsusest ja freesivõllile kinnitamise täpsusest.

Nugade paigaldamise täpsuse tagamiseks on kasutusel spetsiaalsed rakised, mitteteritatavad noad ja nugade teritamine ilma neid freesist välja võtmata (joonis 1.76).



Joonis 1.76 Noavõllide terituspink Weinig Rondamat 985. Foto: Michael Weinig AG

Weinig Rondamati terituspinkis saab teritada võlliga ühes tükis valmistatud noavõlle, nagu näha joonisel 1.76, profiilnugadega noavõlle ja ka otsfreese. Kõige täpsema tulemuse annab noavõllide vahetamine ja teritamine nii, et noavõll vahetatakse koos laagrite ja laagripukkidega. Noavõllide hüdraulilise kinnituse puhul kasutatakse enam avatud süsteeme (joonis 1.77), kuna selle maht on liiga suur suletud süsteemi jaoks (joonis 1.67). Kasutusel on ka mitu tsangkinnituse variatsiooni, nii on Powerlock kinnitus isegi täpsem kui hüdrauliline, hälve 0,003 mm vs. 0,005 mm hüdrokinnitusel.



Joonis 1.77 Noavõlli kinnitamine võllile hüdrauliliselt. Foto: Michael Weinig AG



Joonis 1.78 Nugade pöörlemisraadiuste ühtlustamine profiilluisu abil. Foto: Michael Weinig AG

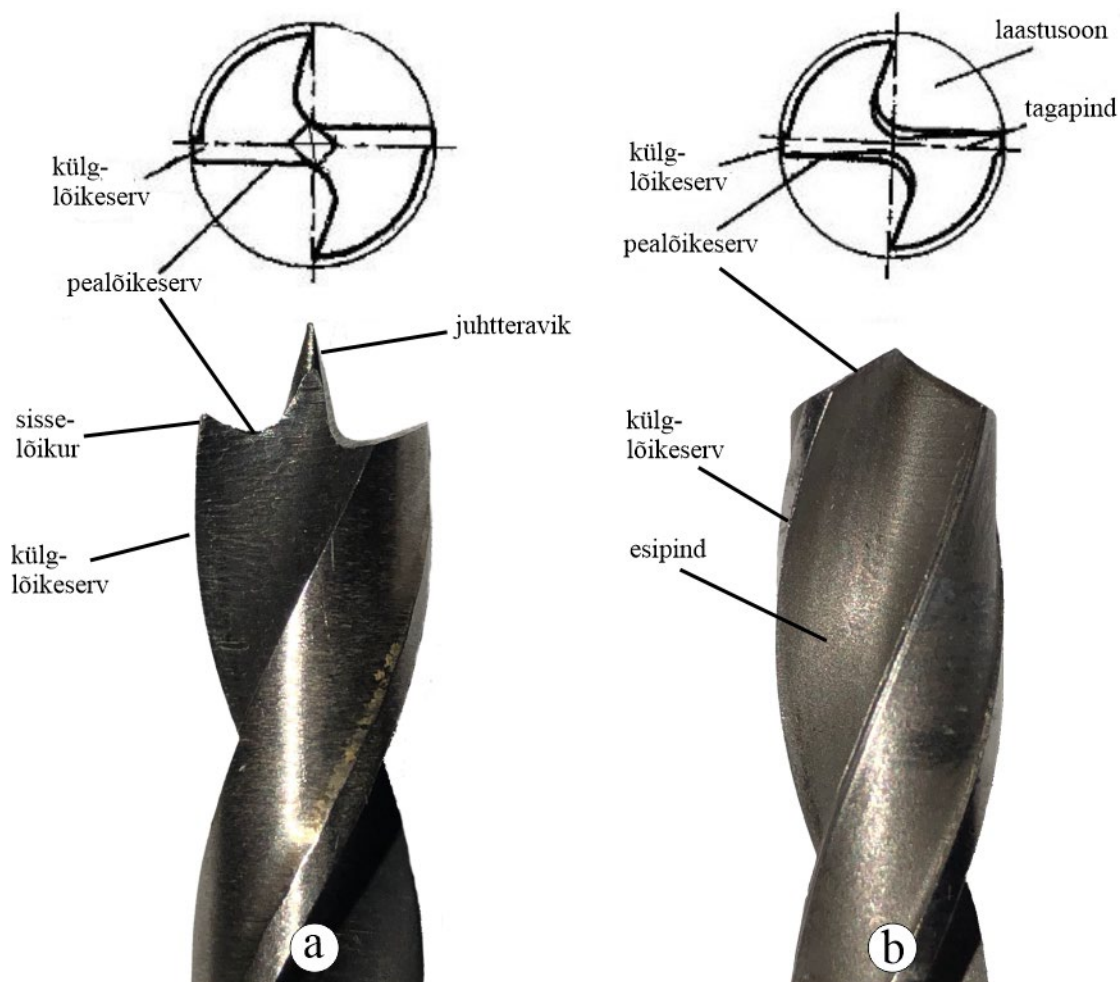
Nugade pöörlemisraadiuse saab täpselt võrdseks nugade plankimisega (*lapping*), selleks liigutatakse luisku piki nelikanthöövli tööagedusel pöörlevat noavõlli ja lihvitakse seega kõigilt nugal maha mõned millimeetrikümnendikud. Tekkiv väike ala, kus tera taganurk on null kraadi, tera lõikeomadusi ei kahjusta ja vastupidavus nürinemisele isegi paraneb. Profiilnugade plankimisel kasutatakse profiilile vastavat luisku, liikumist piki telge ei toimu. Kaasaegsetes nelikanthöövrites (joonis 1.79) on lõikeinstrumentide ja muude elementide paigaldamine teostatav ja kontrollitav CNC-juhtimisega.



Joonis 1.79 Nelikanthöövli sisevaade. Foto: Michael Weinig AG

1.7 Puurimine ja avade töötlemine

Laastu moodustumist piki- ja ristikiudu puurimisel oli kirjeldatud joonisel 1.5. Kuna laastu moodustumine on üsna erinev, erinevad ka nendes suundades puurimiseks kasutatavad puurid (joonis 1.80).



Joonis 1.80 Puidupuurid: rist- (a) ja pikikiudu (b) puurimise puuride elemendid.

Üks levinuimaid puurimisoperatsioone on tüübliavade puurimine ja sel juhul sõltub puuri valik rohkem sellest, kas tegemist on läbiva või mitteläbiva avaga. Läbiva tüübliava puurimisel on oht, et puuri materjalist väljumisel rebitakse puidukiud ava servas lahti, ja selle vähendamiseks kasutatakse pikikiudu puurimiseks mõeldud puuridega sarnaseid puure (joonis 1.81), mitteläbiva ava puur (joonis 1.82) on kujult ristikiudu puurimise puur.

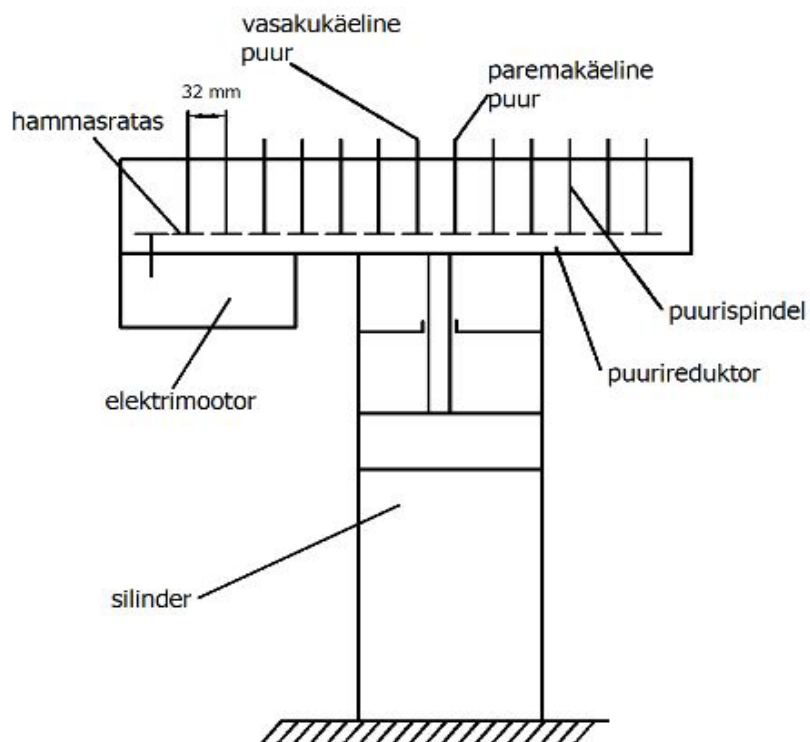


Joonis 1.81 Läbiva tüübliava puur (paremakäeline). Foto: Whiteside Machinery Inc.



Joonis 1.82 Mitteläbiva tüübliava puur (vasakukäeline). Foto: carbitool.com.au

Mitmespindlilistes puurpinkides on enamasti spindlid seotud hammasülekanega ilma lisahammasrattasteta (joonis 1.83). Seepärast on kõrvuti olevate spindlite pöörlemissuund vastupidine ning vaja on parem- ja vasakpöördepuure, sarnaselt otsfreesidega (joonis 1.12) (otsfreesidel oli erineva pöörlemissuuna põhjus küll teine, vastukiudu löikamise vältimine).



Joonis 1.83. Mitmespindlilise puurpingi põhimõtteskeem.

Sügavamate avade puurimisel tekib rohkem laastu ja selleks, et see laastusoonde ära mahuks, tuleb selle mahtu oluliselt suurendada. Selliseid puure nimetatakse lintpuurideks (*auger bit*), joonis 1.84.



Joonis 1.84 Lintpuur. Foto: milwauketools.com

Suurema läbimõõduga avade puurimiseks ei ole spiraalpuur eriti sobiv ja selleks kasutatakse nn furnituuripuure (joonis 1.85), vahel nimetatakse neid ka Forstneri puurideks. Käsiinstrumentidega kasutatakse suuremate avade puurimiseks ka lapikpuure ja augusaage. Samuti saab koos kruviava puurimisega puurida pesa kruvi peitpea jaoks, selleks kasutatakse senkpuure (*counter sink bit*).



Joonis 1.85 Furnituuripuur. Foto: milwauketools.com

Kasutatakse ka masinaid, mis lisaks tüübliavade puurimisele panevad avadesse ka liimi ja tüüblid. Tüüblid võivad olla ka enne liimiga kaetud ja selle aktiveerimiseks niisutatakse avasid veega. Samuti on võimalik koos furnituuriavade puurimisega paigaldada ka furnituur.

Pesade töötlemist on käsitletud 4. peatükis tappliidete all, peamine meetod selleks on freesimine otsfreesiga.

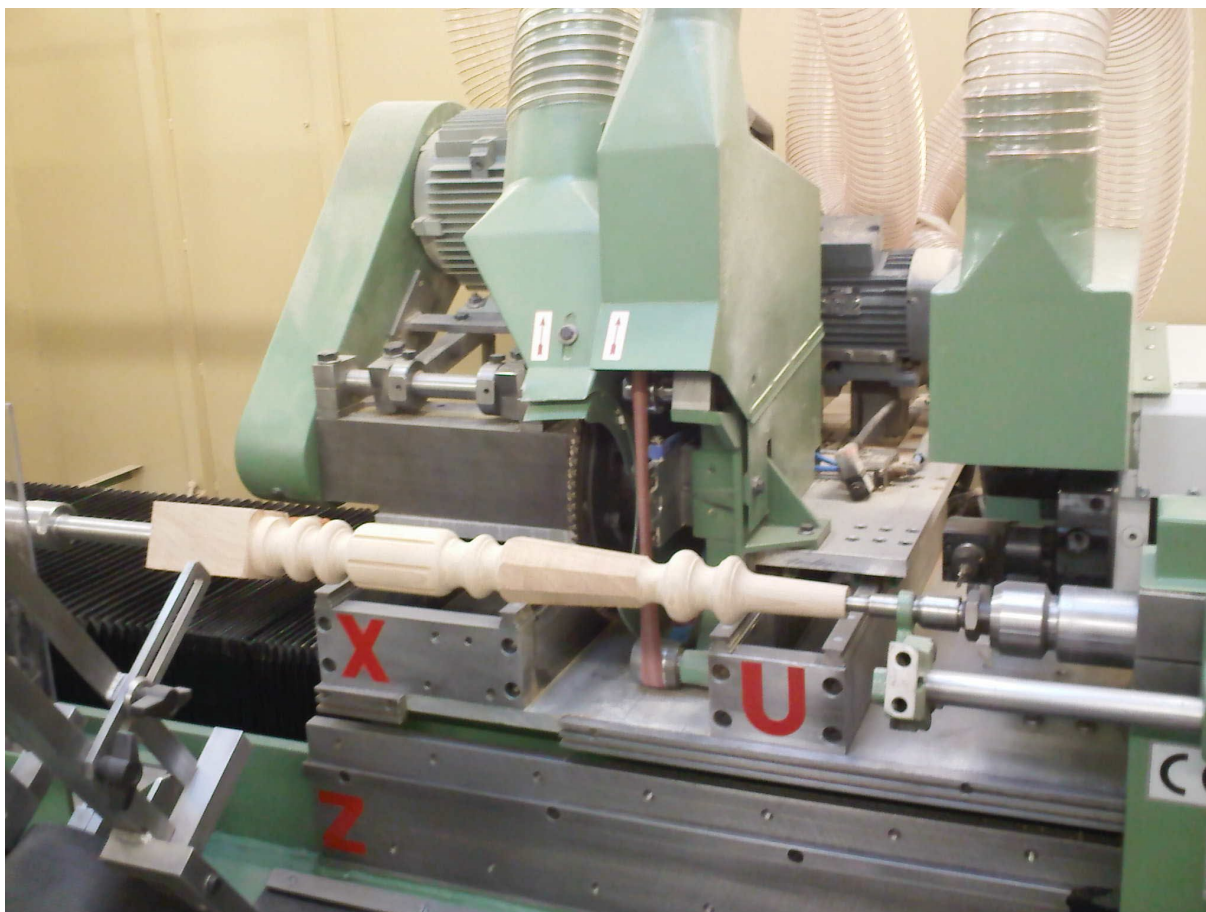
1.8 Puidu treimine (*wood turning*)

Treimisel töödeldakse ümber pikitelje pöörlevat materjali telje suunas risti liikuva lõiketeraga. Lihtsaim puidutreipink koosneb ühest ajamiga tsentrast ja teisest, ajamita tsentrast, mille vahele kinnitatud materjali töödeldakse seisvale joonlauale toetuva käsitsi hoitava ja liigutatava peitliga. Peitli lõikeserv on materjalist lühem ja lisaks peitli liigutamisele pöörlemisteljega risti tuleb teda liigutada ka piki telge. Treimine on üks vanimaid puidutöötlemise viise ja treimine on lihtsuse tõttu praegugi hobina laialdaselt kasutusel.

Treimisel kasutatakse lähtematerjalina tavaliselt ruudukujulise ristlõikega puitmaterjali, mida on automaattreipinkides lihtne kassetis ette anda, ja esimese operatsioonina treitakse see ümmarguseks.

Treitooted võivad olla väga erineva profiiliga, kuid näiteks täpselt ühesuguste toolijalgade saamiseks on vaja kasutada peitli liigutamist kopeerimismehhanismi abil või CNC juhtimisega. Kopeerimise põhimõtet on kirjeldatud joonisel 1.71. Kui universaalfreesis pöörleb frees ja materjal liigub freesi pöörlemistelje suhtes vastavalt šablooni profiilile, siis kopeertreimisel pöörleb materjal ja šablooni profiili järgib lõiketera liikumine. Kaasaegsetes treipinkides šablooni ei kasutata ja soovitud profiil antakse ette CNC-programmi abil. See vähendab masina seadistamiseks kuluvat aega ja muudab töötlemise täpsemaks.

CNC-treipinkides saab treimist kombineerida teiste töötlemisviisidega. Esimese operatsioonina luuakse treitud toorik, mille profiil moodustub kontsentrilistest ringidest. Järgnevate operatsioonide puhul ei pöörle materjal enam ühtlase kiirusega, vaid ette antud täpsete pöördumisnurkade võrra. Joonisel 1.86 on toodud treipink, milles treitav toorik ja lõikeriistad saavad liikuda kolmes suunas, pluss pööre ümber tooriku telje. Nii osutub võimalikuks soonte freesimine otsfreesiga ja tasapindade töötlemine. Sellistele treipinkidele saab lisada ka lihvimisagregaate, aga kuna sageli on neid vaja mitut tüüpi, lint- ja lehvikkettaga agregaate, siis teostatakse lihvimist ka eraldi seadmes.



Joonis 1.86 CNC-puidutreipink. Foto: hempel-machines.com

1.9 Spooni treimine ja hõõveldamine

1.9.1 Spooni treimise parameetrid

Kui puidu treimisel on oluline töödeldud pinna kvaliteet ja tekkiv laast on jääde, siis spooni (*veneer*) treimisel on just laast see, mille kvaliteet on oluline. Spooniks nimetatakse õhukest puidulehte, mille paksus ei ületa 7 mm. Spooni treimise tööpõhimõte on kujutatud joonisel 1.87. Pakk kinnitatakse tsentrite vahele ja saab mootorilt pöörleva liikumise. Paku suunas kiirusega u liikuv terakelk koos treitera ja vastutera löikab spooni lõputu lindi kujul. Terakelgu sirgjooneline liikumine on mehaaniliselt sidestatud paku pöörlemisega, seetõttu saadakse ühtlase paksusega spoon. Spoonitreimise kiirus on antud valmiga

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60000} \quad 1-3 \text{ m/s}, \quad (1.15)$$

kus

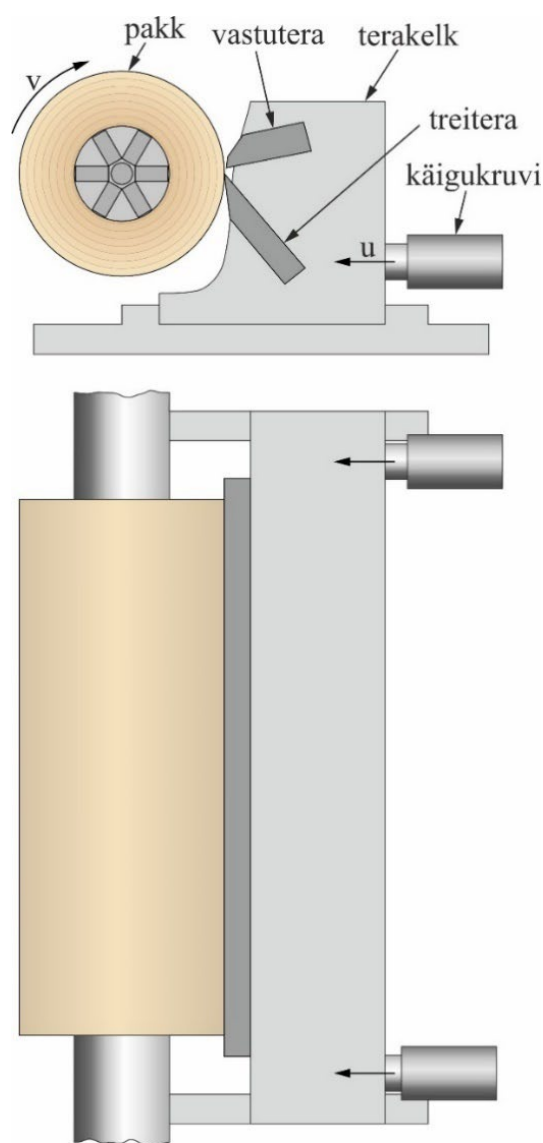
v – löikekiirus, m/s, n – pöörlemissagedus pakul, min^{-1} , D – paku läbimõõt, mm.

Valemist 1.15 on näha, et lõikekiirus väheneb spooni treimise käigus vastavalt paku diameetri vähenemisele algsdiameetrist kuni lõppdiameetrini (s.o treisüdamiku diameetrini (5,5–7 cm), ehk seda kinni hoidva spindli läbimõõduni 5–12 cm). Et saavutada spooni konstantset paksust, peab etteandekiirus u olema ühtlane ja sirgjooneline. Terakelgu liikumise kiirus on antud valemiga

$$u = \frac{s \cdot n}{1000}, \quad (1.16)$$

kus

u – terakelgu etteandekiirus, m/min, n – pöörlemissagedus pakul, min^{-1} , s – spooni paksus, mm.



Joonis 1.87 Spoonitreimise tööpõhimõte.

Laast ehk spoon peab pakust lahti kooruma ühtlase paksusega katkematu spiraalina, mille pak-
suse parameetrid on toodud joonisel 1.88 ja on antud valemitega 1.17 ja 1.18. Kui radiaal-
etteande suurus u ja paku pöörlemissagedus n on konstantsed, siis on laastu e spooni paksus
antud valemiga

$$e = s = \frac{1000 \cdot u}{n} = \text{const}, \quad (1.17)$$

kus

$e = s$ – spooni paksus, mm, n – pöörlemissagedus pakul, min^{-1} , u – terakelgu etteandekiirus, m/min.

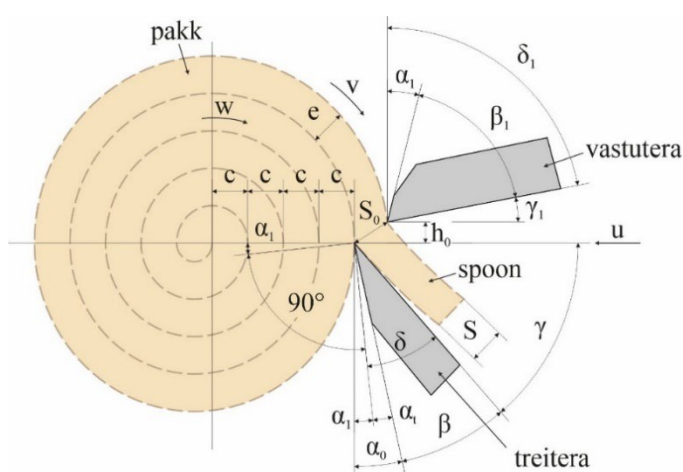
Lõiketrajektoori saame arvestades, et paku ühe pöörde jooksul peab lõiketera olema liikunud
radiaalsuunas edasi pikkuse e võrra. Sel viisil saame trajektoori Archimedese spiraali, mille
keerdude arv on antud valemiga

$$z = \frac{R_{pakk}}{e}, \quad (1.18)$$

kus

z – keerdude arv, $e = s$ – spooni paksus, mm, R – paku raadius, mm.

Tegelik keerdude arv on väiksem, sest pakku saab treida ainult kuni treisüdamiku läbimõõduni.



- α_t – tegelik taganurk
- α_0 – lõiketasandist mõõdetud taganurk
- α_1 – liikumise taganurk (vastutera sur-
venurk)
- β – treitera teritusnurk
- β_1 – vastutera teritusnurk
- γ_t – tegelik esinurk
- γ_0 – lõiketasandi esinurk
- γ_1 – liikumise esinurk
- δ – lõikenurk
- δ_1 – survenurk
- e – spooni paksus
- h_0 – treitera ja vastutera vaheline
kaugus mööda vertikaali
- c – pöörete vaheline kaugus
- w – paku pöörlemise suund
- u – terakelgu etteandekiirus
- v – paku pöörlemise joonkiirus
- S – spooni nominaalpaksus
- S_0 – lõiketera ja vastutera vaheline
kaugus

Joonis 1.88 Spoonitreimise parameetrid.

Spoonipaksust on võimalik järk-järgult reguleerida nimipaksuse tolerantsi piires. Näiteks märja kasespoonini 1,5 mm nimipaksuse tolerants on tavaliselt $\pm 0,05$ mm. Spoonipaksust treimisel saab reguleerida, vähendades seda alumise tolerantsi piires, kui järgnevad protsessid seda võimaldavad, ilma valmis vineeritahvli kvaliteeti halvendamata. Olenevalt paku läbimõõdust suurendab kasespoonini nimipaksuse vähendamine 0,01 mm võrra spoonilindi väljatulekut ühe paku kohta 15 cm. Spoonipaksust mõõdetakse regulaarselt iga töövahetuse ajal ja iga kord, kui treipinki seadistatakse või treitera vahetatakse. Spoonipaksust on võimalik mõõta ka virtuaalselt. Lõplik treimiskvaliteet sõltub treitera ja vastutera seadistustest (on võimalik määrata terade vahet, lõiketera tõusunurka ja tugirullide asendit). Liikumised toimuvad kas hüdrauliliselt või elektriliselt.

Lõiketera tõusunurka reguleeritakse vastavalt paku läbimõõdu muutumisele tehtud kõvera järgi. Seda kõverat kasutatakse lõikenurga ja surveastme reguleerimiseks. Surveastet reguleeritakse sõltuvalt puiduliigist, palkide leotusparameetritest ja treitera parameetritest. Spoonitreipingi vastutera lõikeserv on tavaliselt ümardatud. Lõiketera koosneb terast ja selle külge kinnitatud eriterasest valmistatud lõikeosast. Teritamisel lihvitakse kõigepealt tera tasalihvmasinaga õige kujuni. Terituse viimistlemiseks kasutatakse mikrolihvimist kas tera mõlemal poolel või tera pealmisel pinnal.

Kase treimisel kasutatakse karastatud terasest terasid. Okaspuidu treimisel on kasutusel ka kiirlõiketerasest terad, mille ots on tugevdatud. Treimisterasid saab kasutada 10 000–15 000 lineaarse koorimismeetri korral. Vastutera on valmistatud tavaliselt kõvast stelliidist ja seda vahetatakse umbes kahe nädala tagant.

Ühtlase paksusega ja liimimiseks sobiliku pinnakvaliteediga spooni treimiseks on oluline spoonipakkude eeltöötlus ja jälgida järgmisi lõiketera ja vastutera seadistusi:

- spoonipakkusid leotatakse enne treimist 30–40 °C vees olenevalt aastaajast 1–2 ööpäeva. See muudab puidu plastsemaks ja väldib ühtlasi spooni rulli keerdumist pärast treimist;
- lõiketera lõikenurk hoitakse võimalikult väiksena (joonis 1.88) ja see on

$$\delta = \alpha + \beta = 17\text{--}23^\circ, \quad (1.19)$$

kus

α – lõiketera tõusunurk ($\alpha = 1\text{--}3^\circ$), β – teritusnurk (β = kasele 20–21° ja kuusele 21–22°).

- vastutera seadistusel on oluline teritusnurk ($\beta_1 = 56\text{--}58^\circ$ kasele ja $54\text{--}56^\circ$ kuusele), survenurk ($\alpha_1 = 10\text{--}35^\circ$).
- laastul ei lasta vabalt lahti koorduda, vaid laast surutakse vastutera abil kokku (joonised 1.87 ja 1.88). Surveaste arvutatakse valemiga 1.20 ja on tavapäraselt vahemikus 10–20%.

$$\Delta = (s_n - s_0) / s_n \cdot 100\%, \quad (1.20)$$

kus

s_n – spooni nimipaksus, mm, s_0 – lõiketera ja vastutera vaheline kaugus, mm.

Puit on nõrk tõmbele ja nihkele ristikiudu, kusjuures surve rakendamine vähendab neid pingeid.

Joonisel 1.89 on kujutatud lõiketrajektoori noa paigalduse taganurk α_0 (s.t nurk seisva paku ja lõiketera korral). Lõiketasandi asend on risti paku raadiusega. Et etteandekiirus u ja lõikekiirus v on samas suurusjärgus, toimub lõikamisel lõiketasapinna asendi pöördumine (tähistatud tähega T) ja ilmneb liikumise taganurga mõju. Liikumise taganurk on arvutatav valemiga

$$\alpha_l = \arctan \frac{u}{v}, \quad (1.21)$$

kus

α_l – liikumise taganurk, u – terakelgu etteandekiirus, m/min, v – lõikekiirus, m/s.

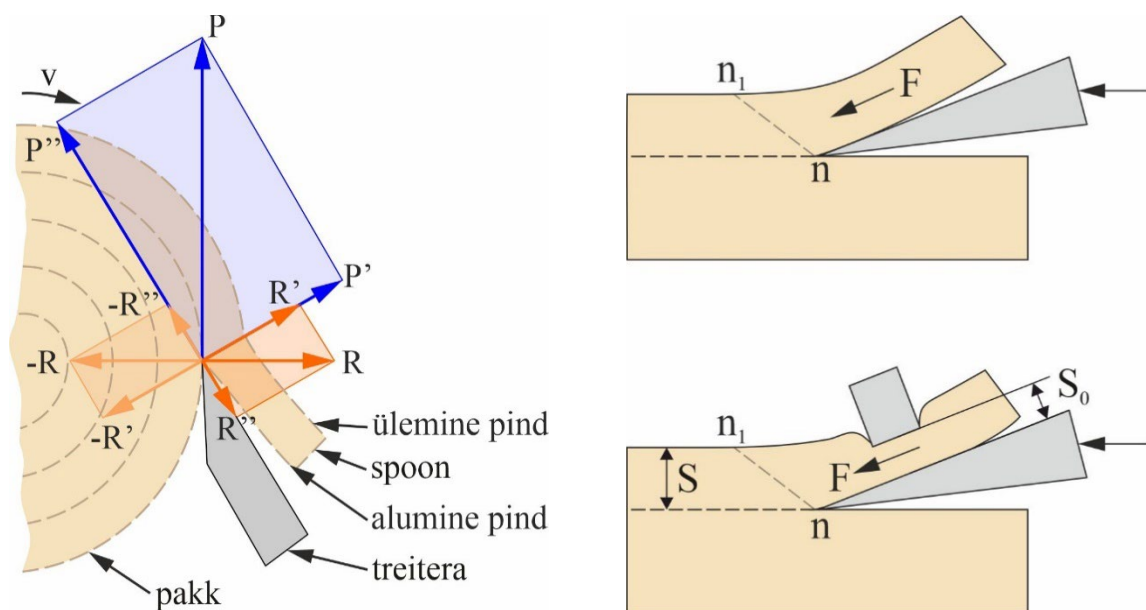
Spoon treimisel on lõiketrajektooriks spiraal, mis saadakse lõikekiiruse (paku pöörlemise joonkiirus v) ja etteandekiiruse u (noa liikumine tsentri suunas) liitmisel. Nende kiiruste vektorsumma määrab lõiketasapinna tegeliku asendi, mille suhtes tuleb mõõta noa paigaldusnurkade tegelikke väärtusi (joonis 1.89).

Oluline on seejuures just taganurga vähenemine liikumise taganurga α_l võrra, sest taganurka püütakse hoida võimalikult väiksena. Tegelikud taga- ja esinurgad on

$$\begin{aligned} \alpha_t &= \alpha_0 - \alpha_l \\ \gamma_t &= \gamma_0 + \gamma_l \end{aligned} \quad (1.22)$$

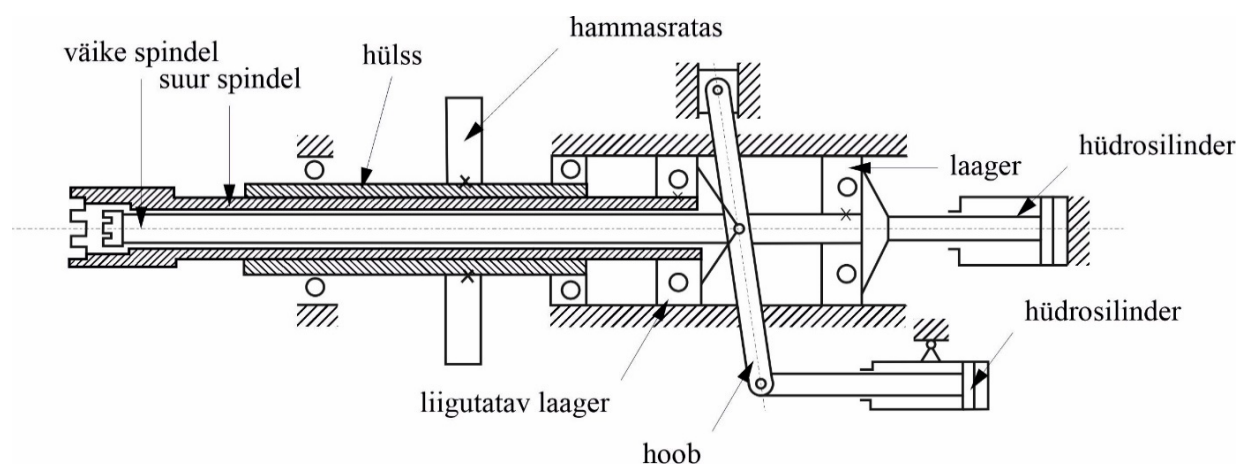
kus

α_t – tegelik taganurk, α_0 – lõiketasapinnast mõõdetud taganurk, α_l – liikumise taganurk, γ_t – tegelik esinurk, γ_0 – lõiketasapinna esinurk, γ_l – liikumise esinurk.



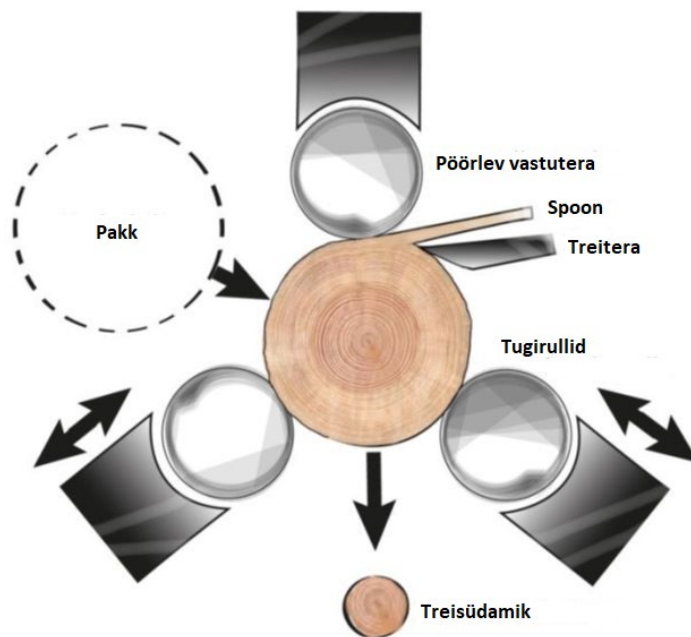
Joonis 1.90 Spoonitreimise parameetrid.

Spoonülemise pinna ja vastutera vahele moodustub hõõrdejõud T ja spooni alumise pinna ja treitera vahele hõõrdejõud T_h . Viimane vähendab ohtlike tõmbepingete mõju spooni alumisel pinnal. Vastutera survejõud on vastassuunaline löikejõudude komponentidele P' ja R' , mis püüavad spooni katkestada. Vastutera paigaldusnurgad $\alpha_1 = 5-7^\circ$, $\beta_1 = 45-55^\circ$, $\delta_1 = 50-57^\circ$.



Joonis 1.91 Spoonitreipingi kaheosaline spindel.

Spoonitreipingis surutakse pakk kahe teravikotsaga toruja spindli vahele (joonis 1.91). Kuna löikejõust tekkinud moment on kõige suurem treimise alustamisel, siis algul surutakse paku tsentrisse spindli väline suurema läbimõõduga osa. Tsentrile lähenemisel surutakse pakku aga sissemine väiksema läbimõõduga osa, et viia mittekasutatava südamikü läbimõõt võimalikult väikeseks. Kasutatakse ka tsentriteta spoonitreipinke, kus pakk pannakse pöörlema valtside vahel (joonis 1.92).

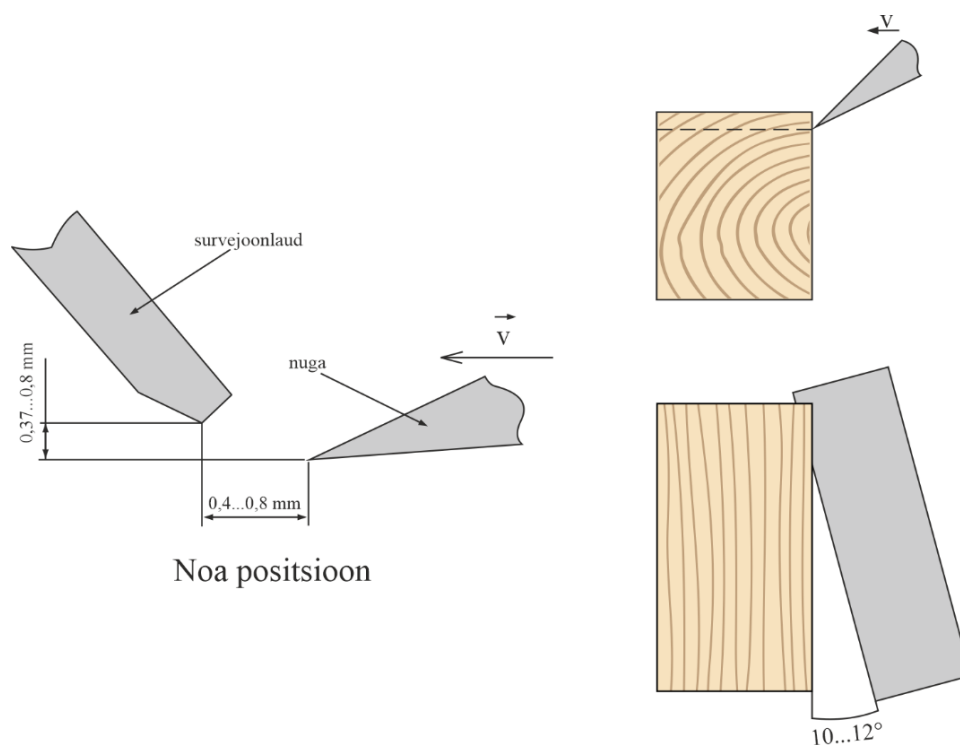


Joonis 1.92 Tsentriteta spoonitreipink.

1.9.2 Spooni hõõveldamise parameetrid

Spoonihõõveldamine (*veneer planing*) on sarnane spoonitreimisega, välja arvatud see, et lõikamine toimub katkendlikult (30–80 viilu minutis) ekstsentrilise vääntvõlli abil. Pakk peab olema kindlalt kinnitatud vaakumlaua vastu. Paku pikitelg on noa suhtes väikese nurga all kaldu, nii et tera ei mõju samal ajal kogu paku pikkusele. Spoonihõõveldamisel (joonis 1.93) liigub nuga sirgjooneliselt üle spoonipaku; järgmise töökäigu ajaks tõstetakse pakku spoonipaksuse võrra ülespoole.

Ka spoonihõõveldamiseks tuleb pakke hoida soojas vees ja kasutada lõikamisel survejoonlauda. Kuna lõikeliiikumine ja etteandeliikumine toimuvad eri ajal, siis nende kiirused ei liitu ning liikumisel taganurka ei teki. Spoonihõõveldamisel on laastu paksus vahemikus 0,2–1 mm ja spooni kokkusurumisaste hõõveldamisel 5–20%. Spoonilehe mõõdud on määratud paku pikkuse ja laiusaga.

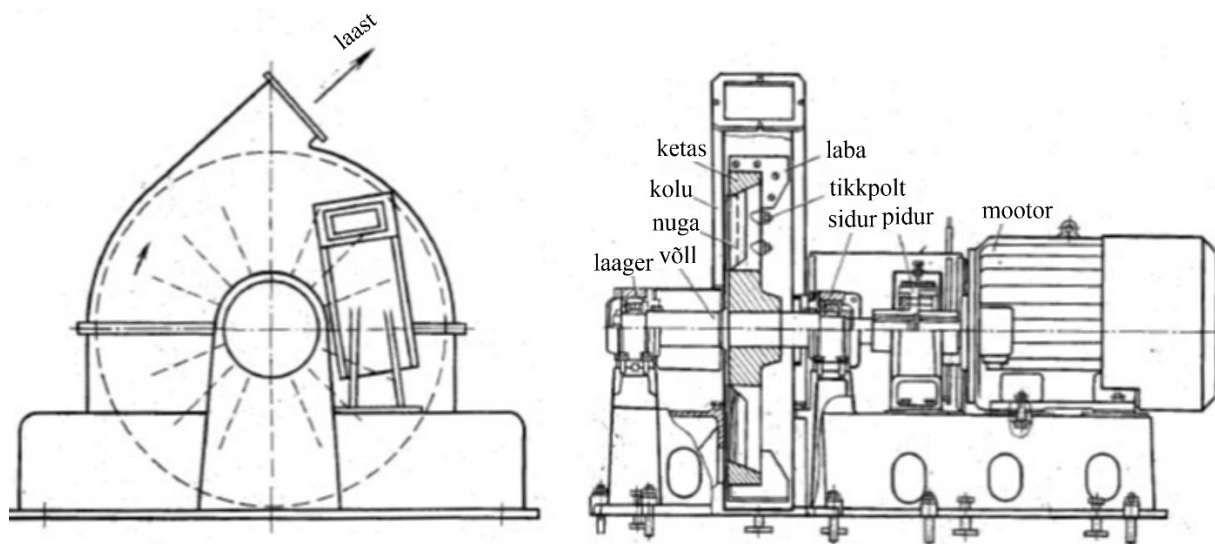


Joonis 1.93 Spooni hõõveldamine.

1.10 Laastustamine

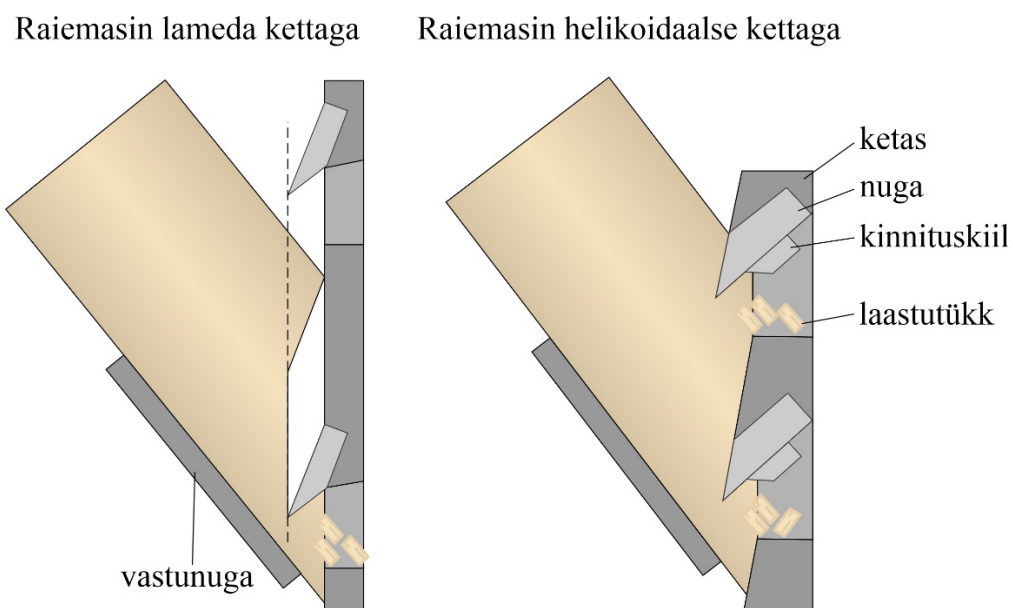
Laastu kasutatakse tselluloosi tootmiseks, puitplaatide tootmiseks ja kütteks. Kõige rangemad nõuded toodetava laastu mõõtude ühtlusele ja koore puudumisele on tselluloositööstuses, kütteleaastul aga piiranguid peaaegu ei ole. Seetõttu saab kütteleaastu toota raiejäätmetest, ehitiste lammutamisel saadavast puidust jm jääkpuidust. Sellist materjali on sageli otstarbekam laastustada seal, kus jäätmed tekivad, kasutades selleks mobiilseid laastureid ja laastuveokeid.

Kasutusel on kaht tüüpi laastureid: ketas- ja trummellaasturid. Toodetavat laastu nimetatakse sageli **puiduhakkeks** ja masinaid seega **ketas-** (*disk chipper*) ja **trummelhakkuriks** (*drum chipper*). Ketashakkuri ehk raieamasina tööpõhimõtet ja laastu moodustumist selles on selgitatud joonistel 1.6 ja 1.7.



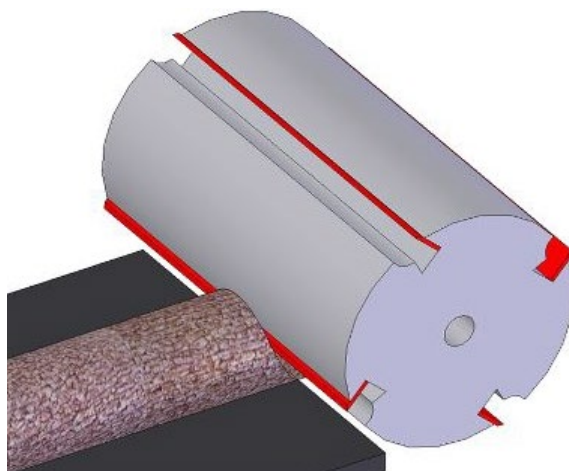
Joonis 1.94 Ketasraiemasina skeem.

Enamasti kasutatakse ketasraiemasinales etteannet gravitatsiooni teel, materjal langeb mööda kaldset kolu kettale, lõigatav laast surutakse läbi kettas olevate avade ja pannakse ketta küljes olevate labadega pöörlema ning paiskub pneumotranspordi torusse (joonis 1.94).



Joonis 1.95 Raiemasina ketaste tüübid.

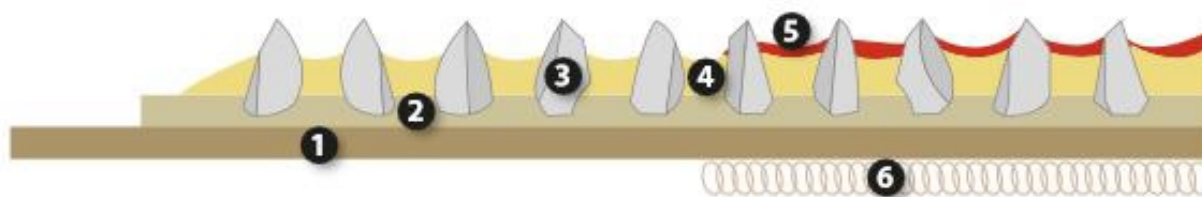
Lihtsamates raiemasinates on ketas lame, kuid helikoidaalne ketas annab ketta ja materjali vahel suurema kontaktpinna (joonis 1.95). Joonisel 1.96 on näidatud trummelhakkuri tööpõhimõte.



Joonis 1.96 Trummelhakkuri tööpõhimõte.

1.11 Lihvimine

Lihvimine on sageli viimane mehaanilise töötlemise operatsioon, tihti järgneb sellele pinna viimistlemine. Mitme viimistluskihi kasutamisel võib olla vajalik ka vahelihvimine. Lihvimisel töödeldakse materjali pinda elastsele alusele sideaine abil kinnitatud abrasiivmaterjali teradega lihvpaperiga (levinud üldnimetus, ehkki paberi asemel võib olla mõni muu materjal), mille lõige on antud joonisel 1.97.



Joonis 1.97 Lihvpaberi ristlõige: 1 – alus, 2 – sideaine alumine kiht, sinna paigutuvad abrasiivmaterjali terad, 3 – abrasiivmaterjali terad, 4 – sideaine peamine kiht, kinnitab terad, 5 – sideaine kattekiht, 6 – kinnitus, lihvpaperi lehe kinnitamiseks lihvmasina külge, takjakinnitus või survetundlik liim (*pressure sensitive adhesive, PSA*). Joonis: Mirka OY

Alus. Alusele kinnitatakse abrasiivmaterjali terad ja see peab vastu võtma lihvimisel tekkivad jõud, mis on suuremad paksema kihi mahalihvimisel jämedamate abrasiivmaterjali teradega. Seepärast on jämedama teraga lihvpaperi alusmaterjalid tugevamad ja jäigemad.

Kangasalus. Levinum on puuvillane kangas, mida on kasutusel erineva tugevuse ja jäikusega: kerge ja painduv kujupindade lihvimisel, paksem ja tugevam jämelihvimisel. Eriti jämedal lihvimisel kasutatakse ka polüesterkangast.

Paberalus. Näiteks Mirka OY kasutab paberaluseid kaaluga 90 g/m² (kujupindade käsilihv) kuni 300 g/m² (jämelihv lintlihvpinkides). Toodetakse ka antistaatiliste omadustega aluspabe-reid, peamiselt selleks, et vähendada tolmu kogunemist lailintlihvpinkides. Jämelihvimiseks toodetakse ka kiudmaterjalidega armeeritud aluspaberit.

Eriotstarbelised alusmaterjalid. Eriotstarbelisi alusmaterjale on üsna erinevaid, paljud neist on mõeldud kasutamiseks käsilihvmasinais. Näiteks võrkalus võimaldab tolmuvaiba lihvimist, lihvtolm imetakse töötsoonist ära läbi lihvpaberi. Kasutatakse ka mittekootud materjale ja vaht-plasti koos kanga või paberiga. Eriti peeneteralise abrasiiviga lihvimisel kasutatakse kilealust.

Sideained. Kaasaegsete lihvpaberite sideaineks on sünteetilised vaigud, sest nende omadusi on võimalik hoida ühtlastena. Alumise ja pealmise kihi vaigud võivad olla erinevad ja pinnaühi-kule kantava vaigu kogusega saab reguleerida seda, kui pikk on lihvpaberi tööaeg. Kui lihvmaterjalile rakendatakse suuri koormuseid, nürineb see ruttu ja peab saama võimaluse aluse küljest lahti tulla. Sel juhul kasutatakse õhemat sideainete kihti ja sellise paberi tööiga on lühem. Kui eeldatakse, et abrasiivmaterjali töövõime säilib kauem, on põhjust teda paremini kinnitada ja suurem sideainete kogus tagab ka pikema tööaja. Sideainetele saab anda ka antistaatilisi oma-dusi.

Abrasiivmaterjalid. Levinuimad abrasiivmaterjalid on alumiiniumoksiid ja ränikarbiid. Räni-karbiid on korrapärasema tera kujuga ja vähem habras kui alumiiniumoksiid ning seda kasuta-takse kõvema pinnaga materjalide, näiteks tamme ja MDF-i lihvimiseks. Ühtlasema kuju tõttu on ränikarbiidiga lihvitud pind siledam kui sama tera suurusega alumiiniumoksiidiga lihvitud pind ja seetõttu sobib see paremini näiteks pinnakatmisel vahelihvimiseks.

Abrasiivmaterjale saab alusele kanda erineva tihedusega, selle alusel eristatakse suletud, pool-avatud ja avatud struktuuri. Suletud struktuuri puhul on pinnale kantud suurim võimalik kogus abrasiivteri, sellise paberiga saab maha lihvida rohkem materjali ja pind on siledam kui pool-avatud või avatud struktuuriga paberiga lihvimisel. Avatud või poolavatud struktuuri korral lihv-terade vahel olevad tühikud seevastu vähendavad lihvpaberi ummistumise ohtu.

Tabel 1.3. Abrasiivmaterjalide terasuuruse klassid

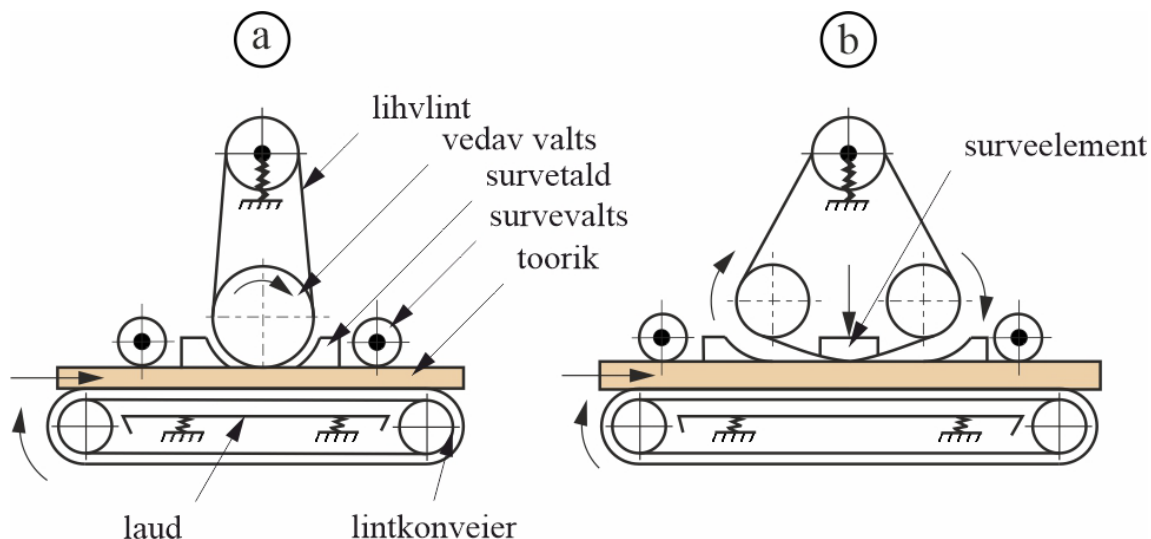
FEPA, P tähis	Terasuurus, μm	ANSI	FEPA, P tähis	Terasuurus, μm	ANSI
P12	1815	12	P240	$58,5 \pm 2,0$	
P16	1324	16	P280	$52,2 \pm 2,0$	240
P20	1000	20	P320	$46,2 \pm 1,5$	
P24	764	24	P360	$40,5 \pm 1,5$	280
P30	642	30	P400	$35,0 \pm 1,5$	320
P36	538	36	P500	$30,2 \pm 1,5$	
P40	425	40	P600	$25,8 \pm 1,0$	360
P50	336	50	P800	$21,8 \pm 1,0$	400
P60	269	60	P1000	$18,3 \pm 1,0$	500
P80	201	80	P1200	$15,5 \pm 1,0$	600
P100	162	100	P1500	$12,6 \pm 1,0$	800
P120	125	120	P2000	$10,3 \pm 0,8$	1000
P150	100	150	P2500	$8,4 \pm 0,5$	1200
P180	82	180			
P220	68	220			

Märkus: erinevad standardid ei ole omavahel üksüheses vastavuses.

Abrasiivmaterjali tera suurus. Tootjad sordivad abrasiivmaterjalid tera suuruse järgi, levinud on FEPA (Euroopa Abrasiivmaterjalide Tootjate Assotsiatsioon) standard, mille aluseks on standard ISO 6344. Põhja-Ameerikas on kasutusel ANSI standard (tabel 1.3). Mõlemal juhul on terasuuruse tähisteks arv, mis näitab sõelaavade arvu ühes tollis. Mikroterade puhul on see arv teoreetiline.

Sideaine kattekiht. Sideaine kattekihina kasutatakse tavaliselt tsink- või kaltsiumstearaate, mis on soomustena sideaine pinnale kantud. Lihvimise käigus kuluvad need maha ja väldivad näiteks värv- või lakk-katete lihvimisel lihvpaberi ummistumist.

Lihvmasinaid on sõltuvalt lihvitavate detailide kujust ja suuruselt üsna erinevaid; kõige levinumaks tüübiks on **lailintlhvpink** (*wide belt sander*). Lailintlhvpinke kasutatakse plaatmaterjali lihvimiseks. Lindi laius on plaadi laiusest suurem ja materjal antakse ette lintkonveieriga. Seadmes on tavaliselt vähemalt kaks lihvagregaati ja lihvpaber surutakse vastu lihvitavat materjali kas **kontaktvaltsi** (*contact roller*) või **surveelemendi** (*pressure unit*) ehk survepadjaga (joonis 1.98).



Joonis 1.98 Lailintlhvagregaadid: a – kontaktvaltsiga, b – surveelemendiga.

Kontaktvalts on kas terasest pinnakatteta või kummikattega. Survepadi on kasutuseesmärgile vastava jäikusega ja seda kasutatakse siledamate pindade saamiseks. Kontaktvaltsid on jäigemad ja maha lihvitava kihi paksus on suurem kui survepadjal, võimaldades saavutada lihvitava materjali täpset paksust, kuid seda kareda lihvitava pinna tulemusena.

Kahe lihvimisagregaadiga lailintlhvpingis on esimene kontaktvaltsiga masin ja see eemaldab umbes 75% töötlemisvarust, teisele, survepadjaga agregaadiga jääb 25%. Kolme agregadi vahel jaguneb töötlemisvaru 60%, 30% ja 10%.

Jämelihvimisel ja kalibreerimisel kasutatakse abrasiivmaterjali terasuurst P24–P80, keskmisel ja lõpplihvimisel P100–P320, peenlihvimisel ja pinnakatete vahelihvimisel P320–P1200. Enamasti saadakse soovitud pinnakvaliteet mitme järjestikuse lihvimise tulemusena, lihvpaberi terasuurus peaks järjestuses muutuma üle ühe sammu, nt P80–P120–P180.

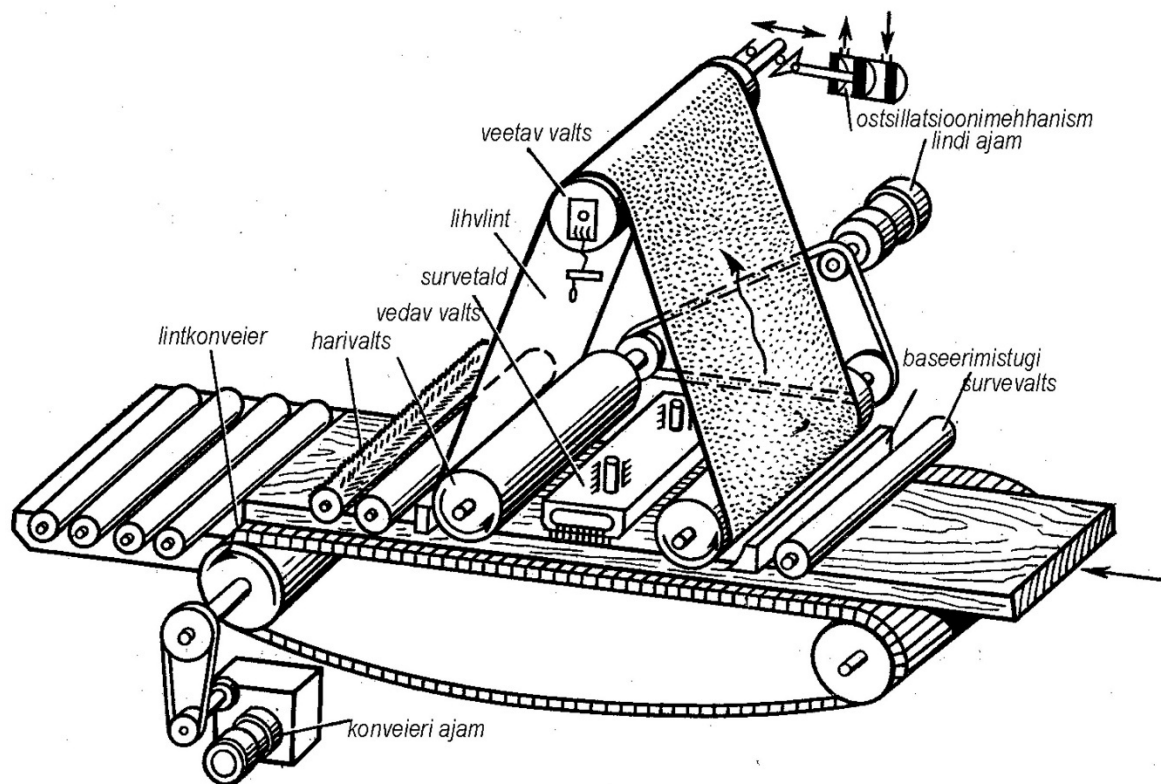
Tabel 1.4 Mahalihvitava kihi suurim paksus lailintlühvpingis

Kontaktvaltsiga masin			Surveelemendiga masin	
Terasuurus	Valtsi pinnakate	Mahalihv, mm	Terasuurus	Mahalihv, mm
P36	Teras, kõva kumm	< 1,0	P36	—
P40	Teras, kõva kumm	< 0,8	P40	—
P60	Teras, kõva kumm	< 0,6	P60	—
P80	Keskmine kumm	< 0,5	P80	< 0,3
P100	Keskmine kumm	< 0,3	P100	< 0,2
P120	Pehme kumm	< 0,2	P120	< 0,15
P150	Pehme kumm	< 0,1	P150	< 0,08
P180		—	P180	< 0,05
P220		—	P220	< 0,03
Peenem		—	Peenem	< 0,03

Allikas: Mirka OY

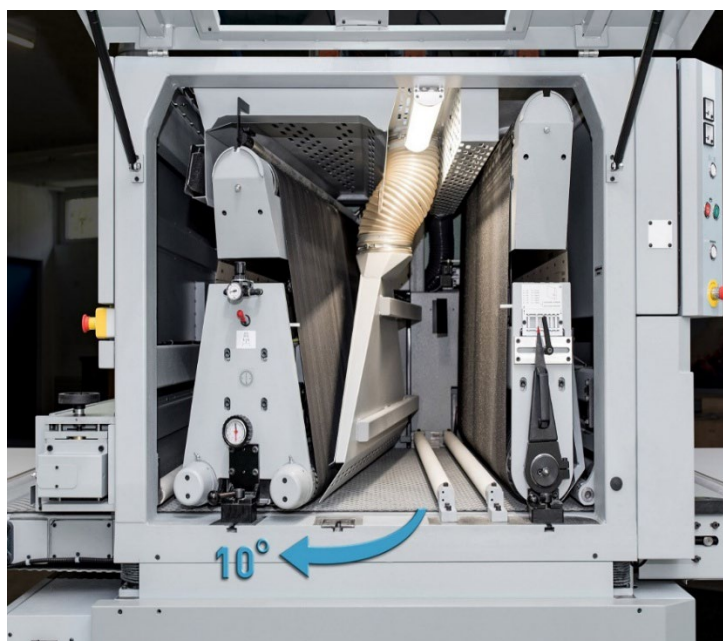
Lindi liikumiskiirus lihvimisel ehk lõikekiirus mõjutab lindi kasutusaja pikkust oluliselt. Suurema kiirusega liikuv lint võimaldab küll rohkem materjali maha lihvida, ent hõõrdumise ja temperatuuri tõusu tõttu väheneb lindi eluiga. Mirka OY soovitusel on lõikekiirus kõvapuidu lihvimisel 15–24 m/s ja pehme vaigurikka puidu lihvimisel 12–18 m/s.

Lailintlühvpingi põhimõtteskeemi (joonis 1.99) kohaselt kasutatakse võnkliikumise mehhanismi, mille abil kallutatakse ülemist linditrumlit väikese nurga võrra üles-alla, et vältida lindi mahajooksmist trumlilt. Linti ei saa servadest juhtida, sest see purustaks servad kiiresti. Nii antakse lindile suund trumlilt maha joosta ja suunatakse ta jälle tagasi, s.t ennetatakse iseeneslikku liikumist suunatud liikumisega. Lihvlindi töötamisel võib selle pinnalt juba üsna alguses lihvteri eemalduda ning tekkida võivad ummistunud laigud jne. Neist defektidest võivad lihvitavale pinnale tekkida võnkliikumise jäljed, tuntavam on see oht lakk-katete, plastide ja spooni lihvimisel. Selle vältimiseks saab lihvagregaati etteandekiiruse suhtes ristsuunast pisut kõrvale pöörata (joonis 1.100). Surveelemendiga masinaga lihvimisel on oht, et lihvitava plaadi servades on tegelik surve materjalile suurem kui ülejäänud materjalile ja servad lihvitakse õhemaks.



Joonis 1.99 Lailintlihvpingi põhimõtteskeem.

Selle vältimiseks võib kasutada sektsioonidest koosnevaid surveelemente, kus tooriku serva-
osas olevatele sektsioonidele rakendatakse väiksemat survet. Survet sektsioonides juhitakse
elektrooniliselt toorikute skaneerimisel saadud andmete alusel.



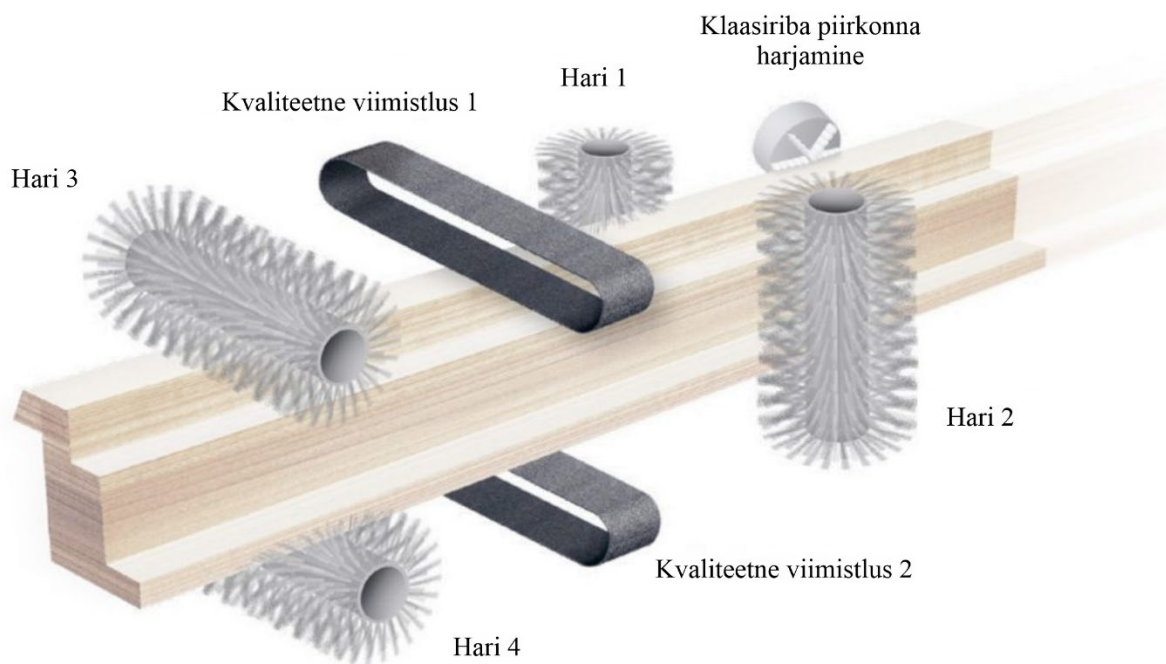
Joonis 1.100 Kontaktvaltsi ja surveelemediga lailintlihvping (surveelement on etteande suhtes
ristasendist pööratud). Foto: Kündig AG

Ristsuunas lihvimine on eriti sobiv vesialuseliste immutus- ja viimistlusmaterjalide kasutamisel vahelihvimise vältimiseks. Kui lihvterad liiguvad ainult pikikiudu, võivad kiud pinnalt lahti kerkida, ristlihvimine aga lõikab kiud risti läbi.

Lailintlihvpinkidele saab lisada mitu agregaat, nt harjadega trumli lihvitud pinna puhastamiseks (joonis 1.100), noavõlli pinna pikifreesimiseks enne lihvimist, kitsa lindiga lihvagregaadi etteandega ristsuunas lihvimiseks (joonis 1.101).

Kujupindade lihvimine

Üks levinuimaid viise kujupindade lihvimiseks on ribastatud lihvsilindrite kasutamine. Ribastatud lihvsilinder meenutab harja, milles harjaste asemel on lihvpaberi ribad (joonis 1.101).



Joonis 1.101 Aknaprofiilide lihvimine ribastatud lihvsilindrite ja ristlihvlindiga. Joonis: Otto Martin Maschinenbau GmbH&Co.KG

1.12 KORDAMISKÜSIMUSED

1. Kas negatiivse keerdumusega otsfreesi lõikejõud on suunatud üles või alla?
2. Millist ülesannet täidab pikilõikamisel laastumurdik?
3. Milline on erinevus lõikeriista kulumise ja nürinemise vahel?
4. Mis on stelliit ja milleks teda kasutatakse?
5. Mis on kinemaatiline kohtumisnurk?
6. Mis ülesanne on ketassae termokompensaatoritel?
7. Millist tüüpi etteandemehhanismi kasutatakse tavaliselt lahkketassaes?
8. Milleks kasutatakse alt vastusaagimist?
9. Milleks on vaja lintsaage valtsida?
10. Kas kinemaatiline laine on suurem laup- või silinderfreesimisel?
11. Kuidas kinnitatakse freeside vahetatavad mitteteritatavad lõikurid?
12. Mis on tsang?
13. Milles seisneb lõikeinstrumentide hüdrokinnituse tööpõhimõte?
14. Milleks kasutatakse ülavõlliga vertikaalfreespinke?
15. Milline on erinevus riht- ja paksushööveldamise vahel?
16. Miks kasutatakse nelikanthöövvlites ka rohkem kui nelja noavõlli?
17. Kuidas saab vähendada kinemaatilise laine kõrgust?
18. Mis on plankimine?
19. Mille poolest erinevad läbiva ja mitteläbiva tüübliava puurid?
20. Miks vajatakse spooni koorimisel ja hööveldamisel survejoonlauda?
21. Millal kasutatakse lihvpaberi alusena polüesterkangast?
22. Millised on peamised puidutööstuses kasutatavad abrasiivmaterjalid?
23. Millised on lailintlihvpinkides kasutatavad kontaktelemendid?
24. Kuidas lihvitakse kujupindu?
25. Milline abrasiivmaterjal sobib stelliidi teritamiseks?

ALLIKAD

Kirjandus

Auvinen, S., Isomäki, O., Koponen, H., jt. Tisleritoodete tööstuslik tootmine, 2007, Tallinn, Ehitame.

Ettelt, B., Gittel, H.J, *Sägen, Fräsen, Hobeln, Bohren : die Spannung von Holz und ihre Werkzeuge*, 2004, Leinfelden-Echterdingen: DRW.

Jackson, A. Day, D., *Puutöömeistri käsiraamat*, 2010, Tea kirjastus.

Pilšikov, A. *Puidu lõiketöötlemine*, 2002, Võrumaa Kutsehariduskeskus, puidutehnoloogia õppetool, Tallinn Printon Trükikoda.

Saarman, E., Veibri, U. *Puiduteadus*, 2006, Tartu Eesti Metsaselts.

Tering, T., *Puittoodete tehnoloogia* loengukonspekt, 2002 Väimela, Võrumaa Kutsehariduskeskus

Internetiallikad

HITEK CNC automaattreipingi töötamise video <https://www.hiteccnc.com/cnc-wood-turning-lathe-machine/show-34-77-1.html>. (Kasutatud 08.05.21)

Lahkamissaag Weinig Variorip 310 <https://www.youtube.com/watch?v=5P71JGmsUWo&feature=youtu.be> Kasutatud 08.05.21)

Puidu treimine, Wordpressi juhend. <https://tehnoloogiaopetus.files.wordpress.com/2015/11/puidu-treimine.pdf> (Kasutatud 08.05.21)

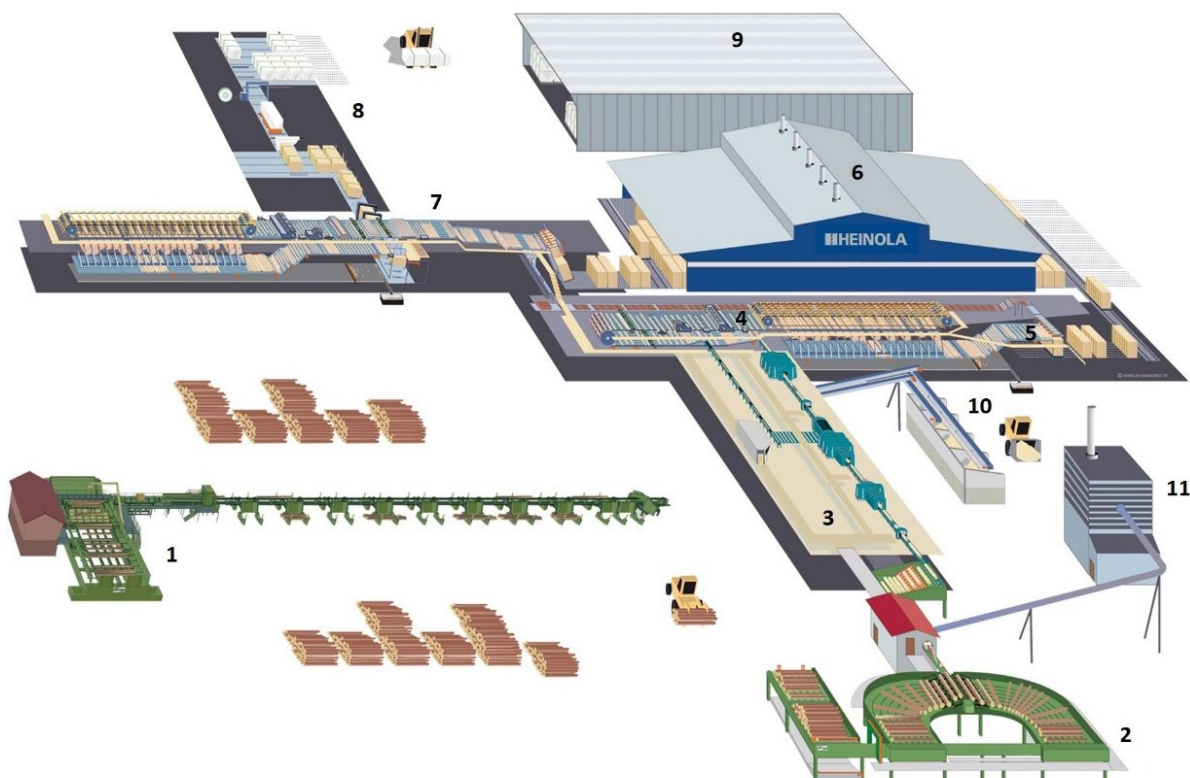
Raute spindlivaba treipingi töötamise video <https://www.youtube.com/watch?v=DnIxun5wfDg&t=12s> (Kasutatud 08.05.21)

Vollmer Grupi saeketaste teritusvideo <https://www.vollmer-group.com/en-uk/products/solutions-for-circular-saws/machining-tooth-faces-and-tooth-tops/chx-840-chx-1300> (Kasutatud 08.05.21)

2 SAEMATERJALI JA SPOONI TOOTMINE

2.1 Saematerjali tootmine

Saematerjali toodetakse ümarmetsamaterjalist ehk ümarpalgist, milleks Eestis on valdavalt okaspuupalk. Vastavalt kuuse või männipalgi ladvadiameetrile kasutatakse selleks erinevat saematerjali tootmistehnoloogiat. Saeveskid on spetsialiseerunud saematerjali tootmisele kas peenpalgist või jämepalgist. Saeveski põhimõtteskeem on toodud joonisel 2.1.



Joonis 2.1 Saeveski põhimõtteskeem: 1 – palgisorteer palgilaua ja mõõteseadmega; 2 – palgilaud, seade palkide pööramiseks latv ees ja koorimissõlm; 3 – saeliin; 4 – märja saematerjali sortimisliin; 5 – virnasti kuivatipakkide formeerimiseks; 6 – kuivatid (sageli nii kamber- kui tunnelkuivatid); 7 – kuiva saematerjali sortimisliin; 8 – saematerjali pakkimisliin; 9 – valmis- toodangu ladu; 10 – puiduhakke ja saepuru taskud; 11 – katlamaja (puidukoor antakse sinna otse koorimissõlmest, koore jaoks võib olla ka kogumistasku, eriti juhul, kui koort tekib rohkem, kui katlamaja vajab). Joonis: Heinolan Sahakoneet OY

2.1.1 Palkide sortimine

Palkide vastuvõtmisel tuleb määrata nende maht ja kvaliteet, seda tehakse sortimisliinil. Liini alguses on palgilaud. Palgid tõstetakse palgilauale ja antakse sealt ükshaaval pikale kettkonveierile, mille äärtes on sortimistaskud. Konveierile minnes läbivad palgid mõõteseadme ja

metallidetektori (joonis 2.2). Palgilaua keskel olevad rullid liigutavad palki piki tüve telge, surudes palkide otsad vastu piirajat. Ristsuunas viib palke edasi nukkidega kett, mis võtab palkide pakki hajutavalt ristkettkonveierilt palke ükshaaval ja annab need pikikettkonveierile.



Joonis 2.2 Palgilaud palgisorteeris ees. Foto: AS Hekotek



Joonis 2.3 Sortimistaskud. Foto: AS Hekotek

Mõõtmistulemuste alusel annab liini juhtarvuti käskluse selle tasku tõukurile (joonisel 2.3 ülal paremal, punane), kuhu palk oma mõõtmete ja kvaliteedi järgi on määratud. Lihtsamates mõõteseadmetes palgi kvaliteeti ei hinnata, liini operaator otsustab palgi välimuse järgi, kas see palk tuleb suunata praagitaskusse.

Palkide mõõtmine toimub tavaliselt palgiskanneri abil. Lihtsaim skanner suudab määrata ainult seda, kas palk liigub ladvaosa või tüükapoolne osa ees. Selliseid skannereid kasutatakse palkide saeveskisse sissesöötmisel, sortimiseks nad ei sobi. Palgiskanneri võimekus sõltub kasutatavatest anduritest.

Lihtsamad laserskannerid suudavad määrata ainult palgi väliskuju ja -mõõtmed, värvilise kujutise analüüs vastavate algoritmide abil võimaldab saada ka kuju ja mõõtmed koore all.

Kombinatsioon 3D-laseritest ja röntgenseadmest võimaldab lisaks mõõtmetele leida juba üsna palju parameetreid nagu lülipuidu läbimõõt, aastarõngaste vahekaugus, okste liik ja paiknemine, vaigupesad, võõrkehade (metall) olemasolu, sõrmjätkamiseks sobiva materjali maht ning paiknemine. Palgi mudel on kolmemõõtmeline siiski vaid väliskuju osas, kahemõõtmelist röntgenkujutist muudetakse ruumilisemaks algoritmide abil, kuid selles osas on tegemist lähendusega.

Reaalse pildi okste paiknemisest ja tüübist, lõhedest ja paljudest muudest parameetritest annab palgi skaneerimine röntgenmõõteseadmega, mis pöörleb ümber skaneeritava palgi. Ainus selline praegu toodetav palgiskanner on **Microtec CT Log** (vt joonis 2.4).



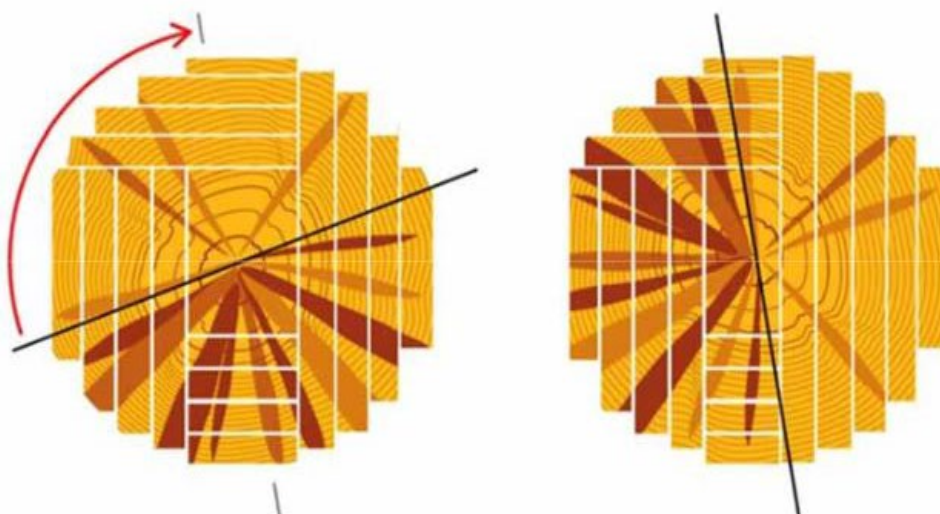
Joonis 2.4 Palgiskanner CT Log. Foto: Microtec Srl

Nimetuses olevad tähed CT viitavad meditsiiniski kasutatavale kompuutertomograafiale, aga kuna andmeid on vaja palju kiiremini kui meditsiinis, on ka mõõteseadme pöörlemissagedus oluliselt suurem.



Joonis 2.5 Näide Palgiskanneri CT Log skaneeringust. Foto: Microtec Srl

Palgiskannerid CT Log ja täiuslikumad 3D- *X-ray* annavad palgi kohta sedavõrd palju saekava optimeerimiseks sobivat infot, et seda ainult palgi sortimiseks kasutada ei ole otstarbekas. Saadavat infot kasutatakse virtuaalseks saagimiseks koos saeliinis kasutatavate saematerjali skanneritega, masinõpe võimaldab tegelike saagimistulemustega võrdlemise abil virtuaalseid mudeleid täpsustada. Nii saab mahu optimeerimiselt minna üle väärtuspõhisele optimeerimisele, vaja on mitte saematerjali maksimaalset kogust, vaid maksimaalset väärtust. Virtuaalsel saagimisel leitakse palgi ristlõike jaoks optimaalne pöördenuk pikitelje ümber (joonis 2.6).



Joonis 2.6 Palgi pööramine pikitelje ümber saagimisel vältimaks okste jm defektide ühtlast jagunemist kõigisse saadavatesse laudadesse. Joonis: Microtec Srl

Palkide läbimõõdu, kvaliteedi ja pikitelje suhtes kasutatava pöördnurga kombinatsioone on liiga palju, et neid kõiki saaks erinevatesse sortimistaskutesse jaotada. Seepärast saab igale palgile omistada iseloomulikest tunnustest nn. „sõrmejälje“, mille abil saeliini lihtsam ja odavam palgiskanner konkreetse palgi ära tunneb. Palkide ja saematerjali sortimise andmed moodustavad ühtselt hallatava andmebaasi, täiuslikemates süsteemides on selles ka saeliinis paiknevate masinate saagimistulemust kontrollivad skannerid.

Mõnes saeveskis saetakse ka sorteerimata palke ja saekava võib iga järgneva palgi puhul olla erinev, kuid palkide mahtu vastuvõtmisel peab ikkagi hindama. Palkide sortimisest loobumine tähendab aga oluliselt suuremat taskute arvu märja saematerjali sortimisel. Teatud juhtudel võib selline lahendus siiski otstarbekas olla.

Sorditud palgid ladustatakse virnadesse, kus nad võivad saagimist oodates küllaltki kauaks seisma jääda. Eriti suvisel ajal on oht, et võivad tekkida palgisinavus ja kuivamislõhed palgi otstesse. **Palgisinavus** (*deep blue stain*) tekib okaspuupalkides niiskusel 24–80% ja temperatuuril 3–30 °C. Soodsaim temperatuur sinavuse tekkeks on 22–25 °C. Kui niiskus on suurem kui 80%, siis palgisine tekkimine lakkab. Palkide niiskena hoidmiseks kasutatakse nende vihmutamist, palgivirnadele pihustatakse vett ca 3–5 korda päevas 10–15 min jooksul. Vee kulu on seejuures ca 6 liitrit virma pealispinna ruutmeetri kohta. Raietegevus metsades on suvisel ajal vähesem kui talvel, seepärast kasutatakse vahel ka palgivaru kogumist suveks. Palkide paremaks säilimiseks maetakse siis palgivirnad lume alla ja kaetakse saepuruga, et lume sulamist aeglustada.

2.1.2 Palkide andmine saeliinile, koorimine ja tüüka freesimine

Palkide saeliini andmiseks tuuakse need tõstukiga palgilauale, millelt konveier need ükshaaval pikikonveierile viib (joonis 2.7).

Kuna edasisel töötlemisel on soovitatav, et palgid liiguksid latv ees, on liinil ka seade palkide pööramiseks (joonis 2.8). Kettkonveieril olev mõõteseade määrab palgi pööramise. Koorimata palkidelt pudeneb liinile andmisel küllaltki palju koort, sageli peenestatakse see enne kogumispunkrisse transportimist haamerveskis (joonisel 2.7 paremal ülal palkide ringi pööramise seadme all, kust hakitud puukoor konveieriga transporditakse taskusse paremal all).



Joonis 2.7 Palkide saeliini etteandeseadmed. Foto: Hekotek AS



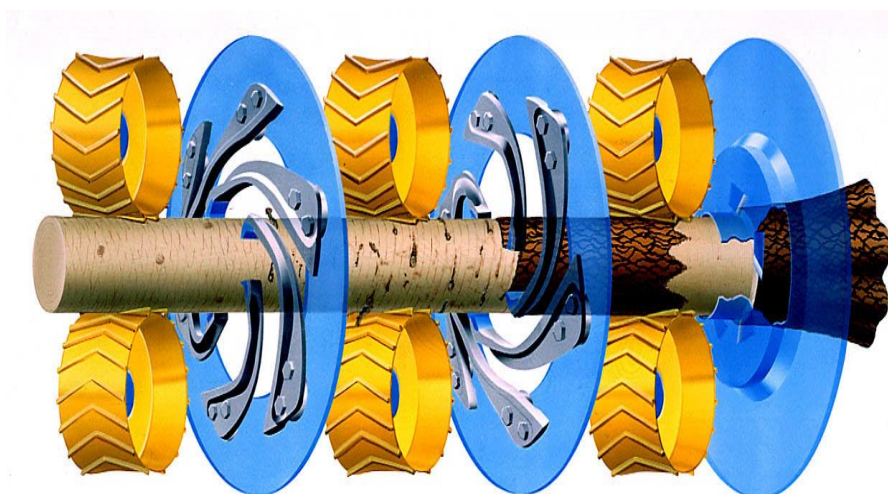
Joonis 2.8 Seade palkide pööramiseks ladvaga eettepoole. Foto: Hekotek AS

Palkide palgilaualt ükshaaval väljaandmiseks on erinevaid konveiereid hüdrauliliselt liigutatavate nukkidega jm variante. Suurte nukkidega kettkonveierid kipuvad suurte koormuste tõttu nõrgaks jääma. Joonisel 2.9. nähtav spiraalrullidega palke tõstev konveier on üks sujuvamalt töötavaid variante ja suudab transportida kuni 50 palki minutis.



Joonis 2.9 Palkide etteanne spiraalrullidega poolringkonveierile ladva ette pööramiseks (õigepidi liikuvaid palke poolringkonveierile ei suunata). Foto: Springer Maschinenfabrik AG

Palkide koorimiseks kasutatakse saetööstuses peamiselt **rootorkoorimispinke** (*ring debarker*); nende tööpõhimõtet selgitavad joonised 2.10, 2.11 ja 2.12.



Joonis 2.10 Kahe rootori ja tüükafreesiga rootorkoorisipink. Joonis: Valon Kone OY

Rootorkoorimisel eemaldatakse koor puidust koore ja puidu vahel oleva kambiumikihi purustamise teel. Eesmärgiks on puitu võimalikult vähe purustada, aga mitte jätta palgile koort. Seejärest kasutatakse juhul, kui koorimiskvaliteedile on eriti kõrged nõudmised, koorimist kahe järjestikuse rootoriga nagu joonisel 2.10. Rootorid pöörlevad seejuures vastassuundades.

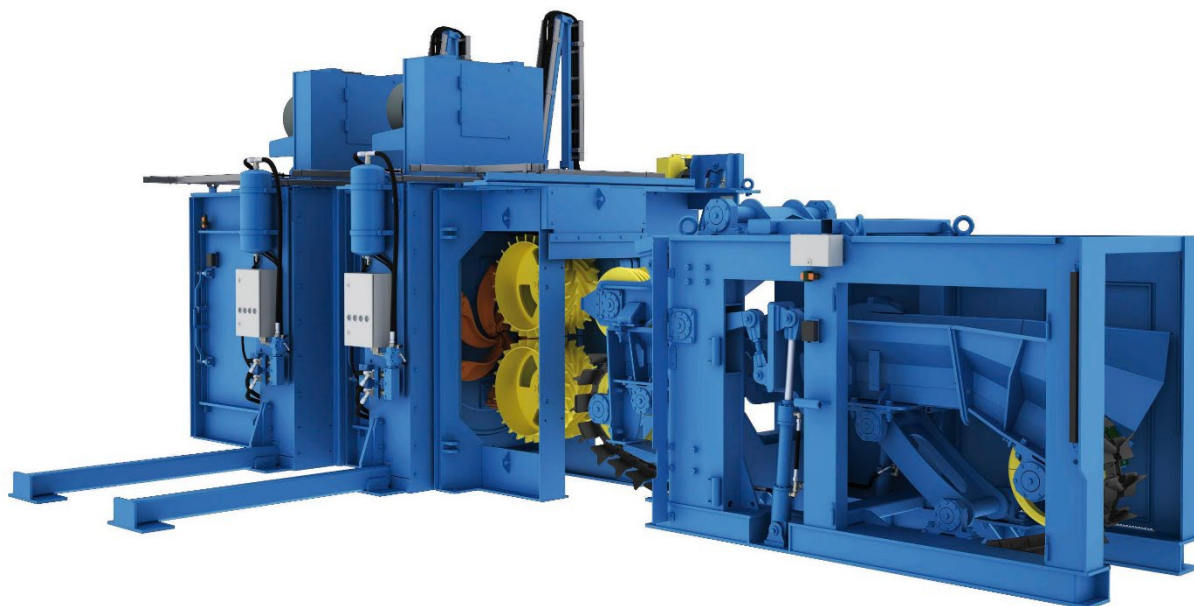
Joonisel 2.11. on näha rootorkoorimispingi sirbikujulised lõikeriistad, palgi sisenemisel rootorisse on need rootori keskosas, palgi otsa kontakteerumisel sirbikujulise osa servaga toob rootori pöörlemine kaasa lõikeriista liikumise tsentrist eemale ja lõikeriist haardub palgi välispinnaga ning algab koorimine. Selline protsess toimub tavaliselt ainult esimese palgiga, sest palke antakse koorimispingi sageli ilma vahedeta.



Joonis 2.11 Rootorkoorimispingi noad. Foto: Valon Kone OY

Rootorkoorimispingi noad (joonis 2.11) on sageli vahetatavate ja pööratavate kõvasulamplaatidega. Nugade survet vastu palki reguleeritakse hüdrauliliselt või pneumaatiliselt, viimasel juhul saab palki koorimispingis ka seisma jätta.

Joonistel 2.10 kujutatud rootorkoorimispingis toimub ka palgi tüükaosa silindriliseks freesimine, selliseid palke on saagimisseadmetes parem tsentreerida. Selline tüükafrees on fikseeritud läbimõõduga ja tuleb vahetada teise komplektiga, kui palkide läbimõõt muutub.



Joonis 2.12 Rootorkoorimispingi üldvaade (koorimispingi ees on renni ja nukkidega ketiga palgi tsentreerimisseade ja kollased etteandevaltsid) Foto: Valon Kone OY

Joonisel 2.13. kujutatud tüükafrees on palkide ristkonveieril ja töötab palkide läbimõõdust sõltumata. Olenevalt saeveskis kasutatavatest palkidest võib tüüka freesimine osutuda ebavajalikuks.



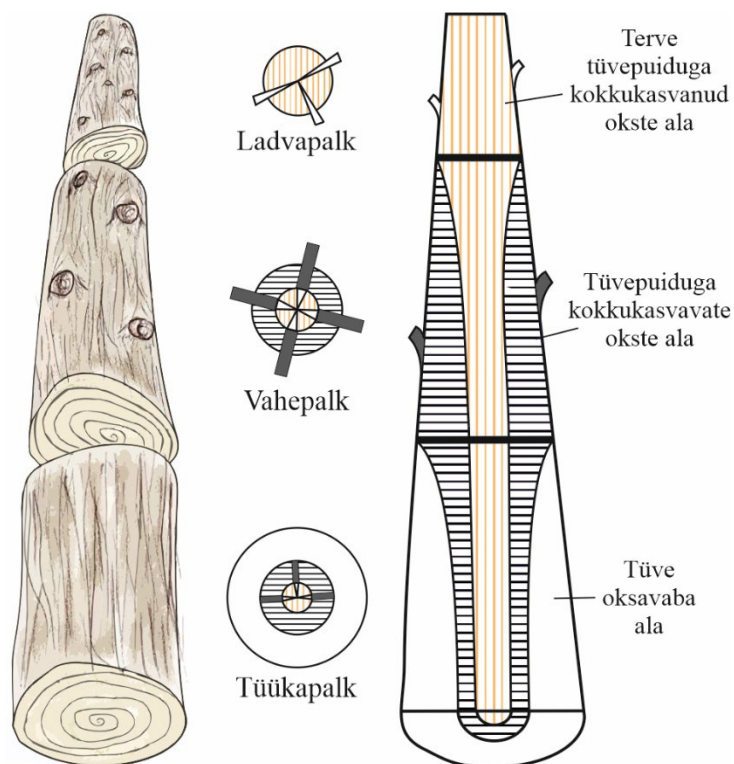
Joonis 2.13 Ristkonveieril paiknev tüükafrees. Foto: Springer Maschinenfabrik AG

2.1.3 Saagimine

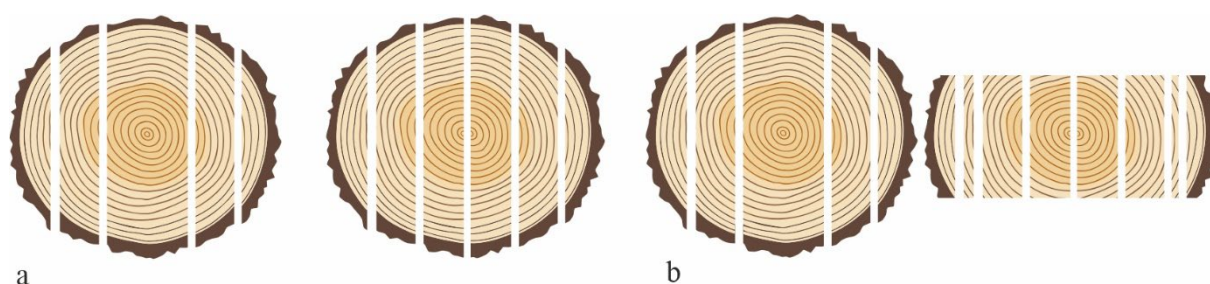
Saekavad ja nende optimeerimine

Saagimiskava ehk saekava määrab, milliste mõõtmete ja kvaliteediga materjaliks palk lahti saetakse. Saekava valik sõltub ka sellest, millisest tüve osast palk pärineb (joonis 2.14). Mäni tüükapalgis paiknevad oksad enamasti palgi keskosas ja võivad palgi välisosas ka puududa,

sellistest palkidest on võimalik saada oksavaba saematerjali, mille hind on tavalise materjali omast märksa kõrgem. Teises vahepalgis on oksad sageli mädaoksad, ladvapalgis aga on peamiselt terved ja toored oksad. Kuusepalgid on männist homogeensemad, nende puhul on pikkus ja läbimõõt olulisemad kui paiknemine tüves. Enamik saeliine optimeerib iga palki eraldi, valides saekava ette antud saekavade hulgast.



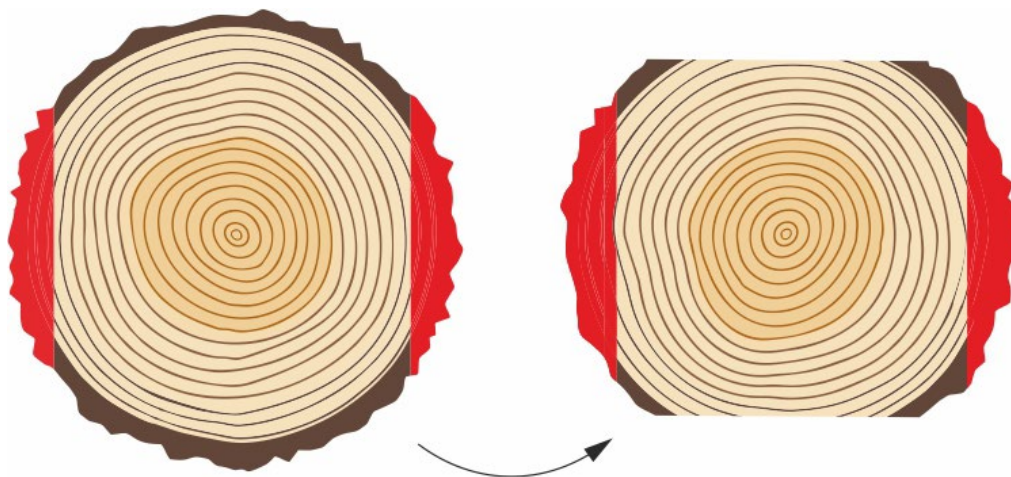
Joonis 2.14 Tüükapalk, vahepalk ja ladvapalk.



Joonis 2.15 Lihtlõikus (a) ja prussimisega saagimine (b).

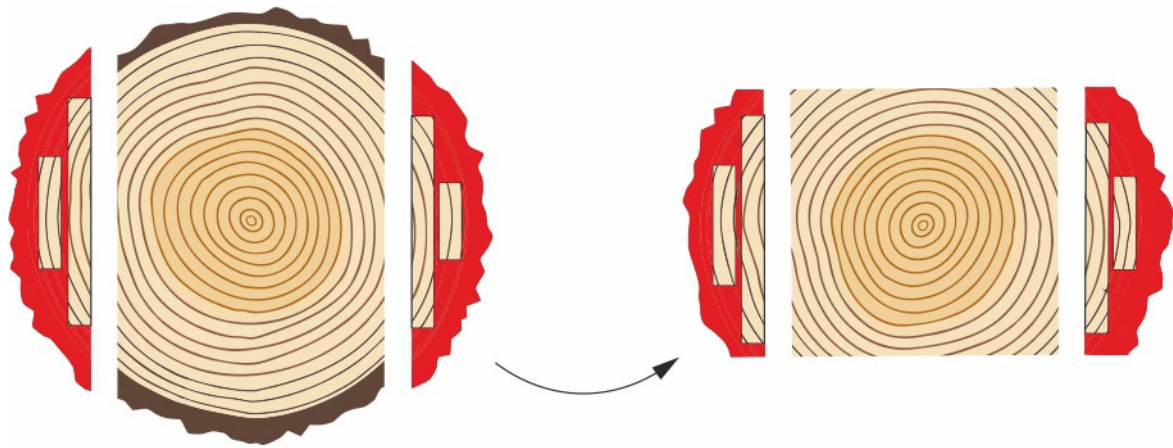
Lihtlõikust (*live sawing, slab sawing*), vt joonis 2.15a, kasutatakse suhteliselt harva, kuigi saematerjali väljatulek on sel viisil kõige suurem. Lihtlõikust kasutatakse näiteks komponentide tootmisel, kus kuivatatakse servamata materjali, mis hiljem lahti saetakse, sageli iga plangu defekte eraldi arvestades. Prussimisega (*cant sawing, squaring, slab edging*) saagimisel (joonis

2.15 b) pööratakse palgi keskosast saetud servamata materjal lapiti ja saetakse lahti südamikumaterjaliks ja küljelaudadeks. Töötlemisastme järgi liigitatakse saematerjal servamata või servatud. Servatud saematerjal on täisnurkse ristlõikega, millel võib olla kindlaksmääratud protsendiga poomkant. Servamata saematerjalil on külgpinnad paralleelsed, kuid üks või mõlemad servad on läbisaagimata ehk 100% poomkandiga. Servamine on laua servade täisnurkseks saagimine. Kui mingil pikkusel servatud lauast jääb palgi välispinda kuuluv osa alles, nimetatakse sellist lauda poomkandiga lauaks. Lihtsamates servamispinkides ehk **seimrites** (*edger, edging saw*) saetakse servad (*edging, clipping*) laua küljest kahe ketassaega maha, kuid nende transport hakkurisse on väga tülikas ja seepärast eelistatakse laastustavaid seimreid, kus servad kohe laastustatakse. Tülikas on ka pinnalaudadega käsitsemine ja seepärast kasutatakse pinnalaudade saagimise asemel prussimisfreese, kus pinnalaudade osa laastustatakse (joonis 2.16). Tänapäevased keerukamad seimriliinid töötavad skanneritega ja peaaegu operaatorivabalt. Tihti teostatakse teises saegrupis täiendav lahtilõikus (vt video link 2. ptk lõpus).



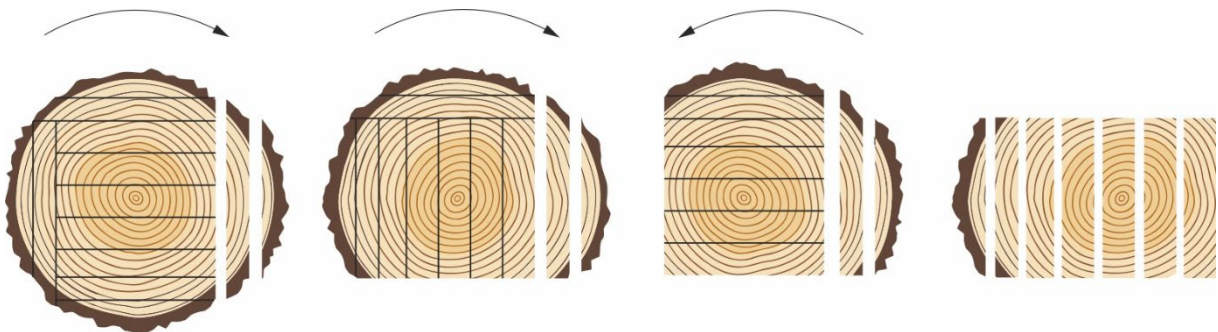
Joonis 2.16 Palkide prussimine.

Prussimisfreesid töötavad paariti, pärast kahe vastaskülje töötlemist pööratakse saadud servamata pruss lapiti ja freesitakse kaks järgmist pinda. Saadava osaliselt servatud prussi lahtisaagimisel tekivad servamata lauad, mis tuleb seimerisse saata. Selle vältimiseks kasutatakse profiilagregaate, mis laastustavad servamist vajava osa ristlõikest laastuks ja profiilprussi lahtisaagimisel saadud lauad on servatud (joonis 2.17).



Joonis 2.17 Palkide töötlemine profiilagregaatidega.

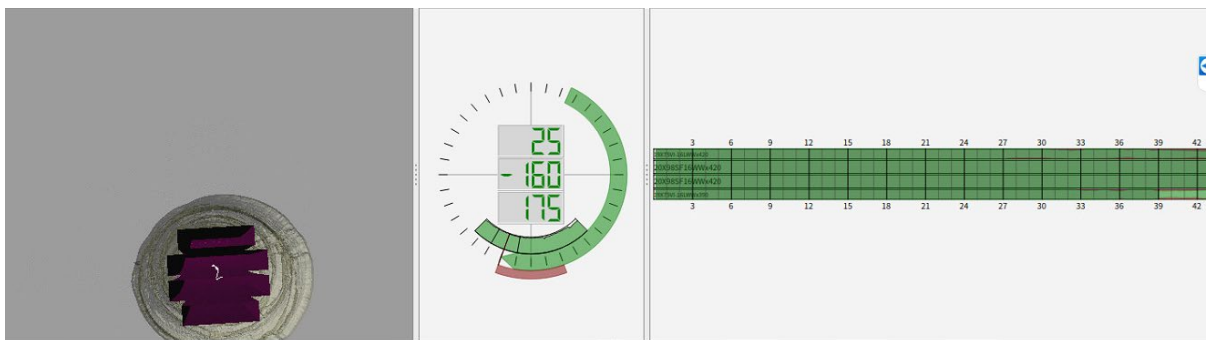
Kui palkide saagimine toimub üheketta- või ühe saelindiga saega, toimub saagimine nn. ring-saagimisena (*live sawing, slab sawing*), (joonis 2.18), palki pööratakse iga või mitme löike järel ümber pikitelje. Ringsaagimisel saetakse iga palk individuaalkava järgi, mis sageli täpsustub vastavalt sellele, mil selgub saagimisel tema kvaliteet. Ringsaagimise tootlikkus on madal, kuid seadmed odavad ja sageli saadaval ka mobiilsetena. Suure läbimõõduga lehtpuupalkide saagimine väärtuslikuks saematerjaliks toimub tihti horisontaallintsae ja ringsaagimisega.



Joonis 2.18 Ringsaagimine.

Põhjamaade tavalise praktika kohaselt saetakse pruss lahti nii, et lõige kulgeb läbi tsentri, sellist saagimist nimetatakse tihti *2-ex-log* või *4-ex-log*. Kui vajatakse materjali, milles säsi puudub, on tegemist nn südamikuvaba saagimisega. Sel juhul saetakse servamata pruss kolmeks või viieks prussiks ja säsi jääb keskmise prussi keskele.

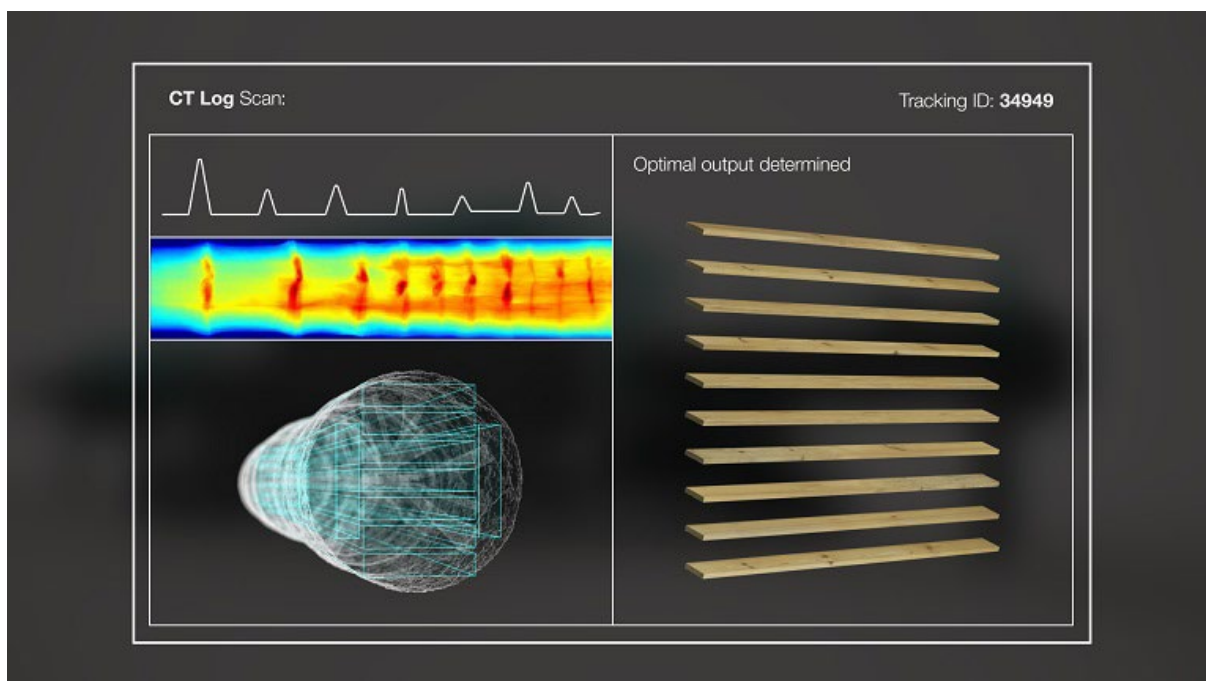
Palgi kõverus mõjutab oluliselt saematerjali väljatulekut, mille suurendamise eesmärgil pööratakse palgi lahtisaagimisel seda ümber pikitelje nii, et kõverus jääb alla või mõnel juhul ka küljele. Sel viisil saadud servamata prussi lahtisaagimisel saab teda saagi anda nii, et etteanne järgib prussi kõverust – tuntud kui kõverjooneline lahtilõikus (*curve sawing*).



Joonis 2.19 Palgi pööramisnurga optimeerimine peenpalkide saagimisel. Foto: T. Ehrpais

Palgi kõveruse alla või küljele pööramine annab küll suurima saematerjali väljatuleku mahuliselt, ent väärtuse poolest võib mõni teine palgi asend olla parem. Joonisel 2.6. on näidatud palgi pööramist pikitelje ümber nii, et oksad ei jaotuks kõikidesse südamiku- ja küljelaudadesse.

Saekava optimeeritakse vastavate arvutiprogrammide abil, mis paigutavad palgi virtuaalkujutisse saetava materjali kujutised (joonis 2.20, vasakul).



Joonis 2.20 Saekava optimeerimine (ülal vasakul on palgi digitaalne sõrmejalg, mille abil saeliini skanner leiab palgisortimisliini CT Log skanneri andmebaasist saetava palgi detailse kujutise, vasakul sellest palgist saetava materjali kujutised). Foto: Microtec Srl

Programm määrab, millise pöördenurga all pikitelje suhtes peab toimuma esimene saagimine. Täiuslikumad programmid määravad ka iga saetava laua kvaliteedi ja sellele vastava hinna.

Kuna saekava on matemaatiline mudel, võib tegelik saagimine sellest erineda, palk näiteks nihkub pisut kõrvale või pöördub pisut erineva nurga võrra. Seepärast kasutatakse suurema tootlikkusega saeliinides teist skannerit prussi lahtisaagimise ees. See kontrollib, kas saagimise tulemus vastab oodatule ja erinevuste korral on võimalik prussi lahtisaagimise saekava korrigeerida.

Saekava optimeerimisel saab arvesse võtta ka igast palgist saadava laastu, saepuru ja koore kogust ning hinda. Soome on meie naabruses ainukene, kus palgi mahtu arvestatakse koos koorega (kui koor on lahti või puudub, siis arvestatakse see ikkagi juurde).

Soome käsiraamatu The Sawmill Industry, Otava, Keuruu 2018, andmetel saadakse koorimata palgist mahuliselt saematerjali 45–50%, laastu 28–32%, saepuru 10–15%, koort 10–12%.

2.1.4 Saematerjali sortimine

Ehkki saematerjali sortimine (*sawn timber sorting*) võib sisuliselt alata juba palkide sortimisega, kui hinnatakse, millise kvaliteedi ja mõõtmetega materjaliks iga palk saetakse, mõistetakse saematerjali sortimise all siiski reaalse materjali sortimist.

Saematerjali sortimiseks on kolm varianti.

1. Märja saematerjali sortimine (*sorting of green – wet timber*) toimub sageli ainult mõõtmete alusel, kuid üha rohkem on lisandunud ka kvaliteedi esmane määramine. Mõningad saematerjali vead ongi paremini määratavad märjal materjalil ja kuiva materjali sortimisel saab rohkem keskenduda kuivatusel tekkida võivatele defektidele. Samuti saab nii kuivateid optimaalsemalt kasutada, sest erineva kvaliteediga saematerjal võib vajada erinevat kuivatusrežiimi. Märja saematerjali otsamine võib toimuda nii, et saetakse maha ainult liigse poomkandiga saelaua osa (*waney edged board*), aga kasutatakse ka materjali lõplikku pikkusesse saagimist. Tavaliselt on sortimisliini lõpus kuivatisse minevaid pakke formeeriv masin, kuivatamata materjali müüki esineb suhteliselt harva. Märja saematerjali ostavad näiteks jätkutöötledjad, kellel on omal piisav kuivatusvõimsus ja kes soovivad ise kuivatuskvaliteeti määrata.
2. Kuiva saematerjali sortimine (*sorting of dry timber*). See liin algab pakilammutusseadmega, milleks tavaliselt on kallutatav ja tõstetav platvorm, millelt materjal kihthaaval maha vajub. Kuivatilipid kukuvad seejuures materjali edasi viiva konveieri ees olevale lintkonveierile. Liini lõpus on virnasti ja pakkimismasin.

3. Kombineeritud sortimine (*combined sorting line of wet and dry timber*). Sellisel liinil toimub nii märja kui ka kuiva materjali sortimine, kas eri ajal või niiskuse mõõtmise korral ka koos. Sellist varianti kasutatakse Eesti saeveskites suhteliselt tihti.

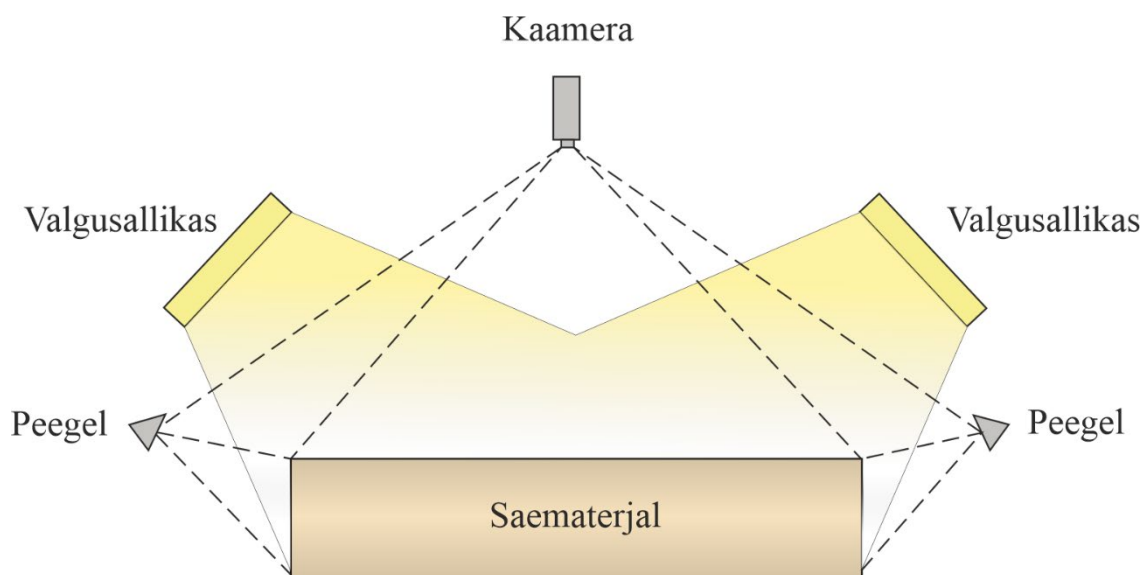
Saematerjali sortimisel võib materjali mõõtmeid ja kvaliteeti hinnata liini operaator, kuid kuna liinide tootlikkus on küllaltki suur, kasutatakse liinides vastavaid mõõteseadmeid ja kaameraid kvaliteedi hindamiseks (joonis 2.21). Seda meetodit kasutatakse vähem, kuna see põhjustab ebatäpsusi, mis tekivad saelaua ümberpööramise käigus. Pigem vahetab ketirada asukohta ja kaamerad paigutatakse vaheldumisi kahes liinis. Väga oluline osa on skanneritel õige ristilõikuskoha (kappimise) hindamine ja välja valimine ning servopaigutusele käskude andmine. Operaatorile jääb seejuures ainult järelevalve funktsioon.



Joonis 2.21 Kaamerad saematerjali hindamiseks sortimisel, vasakpoolne kaamera hindab üht külge, materjal pööratakse teistpidi ja parempoolne hindab teist külge). Foto: AS Hekotek

Mõõtmisi tegevad kaameraandurid, valgusallikad ja peeglid on saematerjali sortimisliinile väga kompaktselt paigutatud konveieri kohale ja alla ning paigaldatud sellise nurga alla, mis võimaldab näha kõiki nelja külgpinda ilma saelauda pööramata ja ümber paigutamata. Konveieri nutikas disain võimaldab kaameraanduritega näha saelaua kõiki nelja külge ilma et kettkonveieri

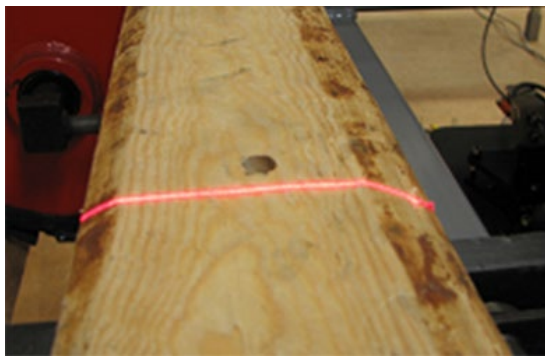
ketid või muu mehaanika vaatevälja segaks. Tänu kompaktsale disainile, saab Boardmaster Nova SL (joonis 2.22) modulaarset süsteemi paigaldada olemasolevale konveierliinile. Kaamera sensorite valik ja arv kohandatakse sorteeritavate saelaudade suurima pikkusega. Struktureeritud valgus võimaldab kontrastsuse abil tuvastada ümbritsevast saematerjalist värvierinevustega puidurikked nagu oksad, värvimuutused, säsi jt.



Joonis 2.22 Boardmaster Nova-SL mõõtmistehnoloogia tööpõhimõte. Joonis: S. Tammeväli



Joonis 2.23 Boardmaster Nova- SL saelaua kvaliteedi hindamine alumiselt küljelt masinsortimisel. Foto FinScan OY



a)



b)



c)

Joonis 2.24 Punktlaserite projektsioon saelaul (joonised S. Tammeväli): a – kujutise murdumine poomkandi tõttu (allikas: Limab) , b – laserpunkti hajumine ränipuidul, c – rikkevabal puidul (allikas: S. Tammeväli, Reynolds 2005)

Joon- või punktlasereid kasutatakse saelaua pinnal kaameraanduritega raskesti tuvastatavate puidurikete (lõhed, poomkant, vaigupesa jt) määramiseks. Sorditavale saematerjalile kuvatakse laserkiirte projektsioon, mille kujumuutused fikseeritakse kaameraga. Kaamera fikseerib laserkiire kujutise deformeerumise ebatasasusena materjali pinnal, mille alusel teeb masinsortimisel programm otsuse ristilõikamise vajaduse ja kvaliteediklassi sortimise kohta.



Joonis 2.25 Vertikaaltaskutega sortimisliin. Foto: AS Hekotek

Sortimisliinil jagatakse materjal taskutesse, mis sagedamini on vertikaalsed (joonis 2.25), sest nende arv võib olla üsna suur. Horisontaaltaskuid kasutatakse siis, kui on oluline, et materjali kandid täielikult vigastamata jääksid, ja horisontaaltaskute arv ei saa olla väga suur, sest nad kujutavad endast üksteise peal olevaid kettkonveiereid.

Vertikaaltaskutega sortimisliinis lükkab materjali sortimisliini taskute kohal edasi sellel olev nukkidega kett. Kui materjal jõuab taskuni, kuhu ta on suunatud, tõstetakse selle tasku kohal olevad lingid üles ja materjal kukub taskusse (joonis 2.26). Tasku põhi on reguleeritava kõrgusega ja vastavalt saematerjali kogunemisele taskusse reguleeritakse tasku põhja kõrgust, et vähendada saematerjali kukkumiskõrgust. Kui tasku täis saab, siis tasku põhi avatakse ja materjal laskub taskute all olevale kettkonveierile. Kettkonveier viib materjalikuhja vurnastisse, selle ees on tõusev nukkidega kettkonveier, mis materjali kuhjast ükshaaval edasi viib (joonis 2.27) Sellist tüüpi konveier on ka pakilammutusseadme järel materjalikihist laudade ükshaava edasi viimiseks.



Joonis 2.26 Materjali suunamine vertikaaltaskusse. Foto: AS Hekotek



Joonis 2.27 Saematerjali ükshaaval välja andmine nukkidega kaldkettkonveieri abil. Foto: AS Hekotek

Saematerjali kvaliteediklassid

Saematerjali kvaliteediklaaside (*sawn timber grades*) määramiseks kehtib standard EVS-EN 1611-1, kuid Eestis ja mujalgi on levinum Põhjamaade saematerjali kvaliteediklasside määramise reeglite (PSKMR) kasutamine. Rootsi saepuitu tutvustav sait on avaldanud eurostandardil põhineva reeglistiku (Commercial Grading of Timber – Swedish Wood), mis on tasulise raportina ostetav ja kasutatav (autoriõigused ei luba sel lingil ja samuti PSKMR raamatus olevaid fotosid, tabeleid jm infot siin esitada).

PSKMR raamatut on avaldatud aastatel 1960 (nn. Roheline raamat), 1994 (Sinine raamat) ja 2016 (Hall raamat). Tavaliselt viidataksegi neile reeglitele raamatu kaanevärvi järgi:

- rohelises raamatus jaotatakse saematerjal kuude klassi, I – VI, lisaks siseturul kasutatav VII klass;
- sinises raamatus on võetud kasutusele klasside tähised A (alamklassidega A1, A2, A3 ja A4), B ja C;
- hallis raamatus on klassid A1–A4 asendatud ühe klassiga sortimata (*unsorted*) ja eraldi sorditakse klassid V, VI ja VII (tabel 2.1).

Siiski on jätkatud ka vanema tähistusviisi kasutamist ja nii leitud, et uuem klassifikatsioon ei leidnud piisavat tunnustamist, ja on mindud tagasi vanema tähistusviisi juurde.

Tabel 2.1 Erinevate saematerjali sortimisreeglite kvaliteediklasside ligikaudne vastavus

EN 1611–1	–	–	G4–0	G4–1	G4–2	G4–3	G4–4
	–	–	G2–0	G2–1	G2–2	G2–3	G2–4
Sinine raamat	A				B	C	D
	A1	A2	A3	A4			
Hall raamat	u/s				V	VI	VII
	u/s I	u/s II	u/s III	u/s IV			

Allikas: swedishwood.com

Tabelis 2.1 tähistab G4 sortimisviisi, kus hinnatakse saematerjali kõiki nelja külge, G2 puhul hinnatakse kahte laiemat külge, sellist meetodit kasutatakse harva. Eraldi sorditakse kvaliteediklassid V (rootsi k *kvinta* või *fifth*), VI (rootsi k *seksta* või *sixth*) ja VII, millel on kõige madalamad kvaliteedinõuded.

Praktikas on sortimisel laialdaselt kasutusel tähis SF, sõnast *sawfalling*. Termin mõte on selles, et paremat kvaliteeti ei tohi enne müüki välja sortida. Klass VII tuleb seejuures kindlasti välja võtta, aga klass VI vajab täpsustamist ja kasutusel on tähised SF–VI või SF+VI. Reeglid selle kohta, mis võib SF-sortimisel sisse jääda ja mis mitte, võidakse ostja ja müüja vahel ka eraldi kokku leppida.

Hall raamat sisaldab kõigi oluliste puidurikete kirjeldusi ja fotosid ning tabelid nende rikete alusel kvaliteediklassi määramiseks. Hallis raamatus tabel 1 annab erinevate oksakohtade lubatud suuruse ja arvu iga kvaliteediklassi jaoks, tabelis 2 kirjeldatakse erinevaid rikkeid, näiteks vaigupesad, mädanik jm, tabelis 3 aga käsitletakse poomkanti ja kujuhälbeid. Üldine põhimõte on, et vaadeldakse saematerjali kõiki nelja külge ja juhul, kui üks neist on teistest madalama kvaliteediklassiga, siis on materjali kvaliteediklass selle halvima külje kvaliteediklassist ühe astme võrra kõrgem. VII klassi puhul ei ole rikel muid piiranguid kui see, et materjal peab koos püsima ja kõigil pindadel peab olema näha, et saag on seda pinda puudutanud.

Puidurikked

Kõik kvaliteedi järgi sortimise süsteemid võtavad arvesse puidurikkeid (*wood defects*), sest need halvendavad puidu kasutamisevõimalusi.

Puidurikked jagunevad:

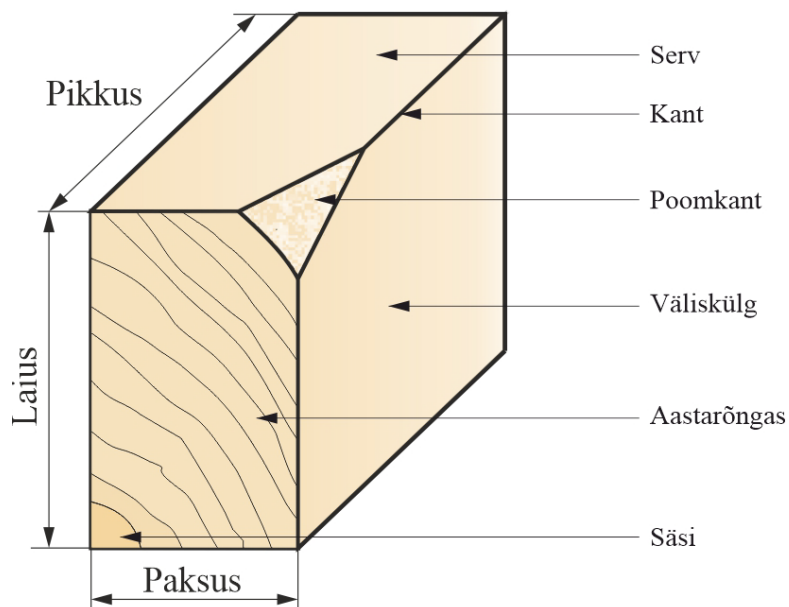
1) oksad (*knots*), nende puhul on eriti oluline nende paiknemine saematerjalil (joonis 2.28);

2) muud looduslikud rikked (*other wood defects*):

- mõlu (*bark pocket*);
- vaigupesa (*resin pocket*);
- vaikpuit (*resin wood*);
- ränipuit (*reaction or compression wood*);
- rikked kiudude struktuuris: kaldkiulisus (*slope of grain*), salmilisus (*curly grain*), murdunud latv (*top rupture*), säsi (*pith*), puiduteaduses ei loeta seda rikkeks, kuid mõne kvaliteedi puhul ei ole säsi lubatud;
- seen- ja putukkahjustused (*attacks of microorganisms and insects*): kõva mädanik (*dote*), pehme mädanik (*soft rot*), pindmine sinavus (*surface blue stain*), palgisinavus (*deep blue stain*), putukkahjustused (*insect attack*);

3) tootmisprotsessist põhjustatud rikked:

- poomkant (*wane*);
- lõhed: kuivalõhed (*checks*), mitteläbivad (*not traversing*) ja läbivad (*traversing*), otste lõhed (*end shakes*);
- kaardumused (*warp*), vt joonis 2.29: pikikaardumus (*bow*), serva pikikaardumus (*spring*), keerdumus (*twist*) ja kõmmeldumus (*cup*).



Joonis 2.28 Saematerjali geomeetrilised elemendid.

Oksad

Okste hulk, suurus ja omadused on saematerjali kvaliteediklassi määramisel kõige olulisem parameeter, seepärast on neid sortimisjuhendites käsitletud kõige detailsemalt. Okstega seoses vaadeldakse järgmisi näitajaid.

Lõikekuju ja asend. Oksi liigitatakse lõikekuju järgi sõltuvalt sellest, kas saag on oksa läbinud risti (ümar oks, *round knot*), ristiasendist erineva nurga all (ovaaloks, *oval knot*) või pikisuunas (pikkoks, *long knot*).

Okste liigitus lõikekuju järgi kombineerub okste liigitusega asendi järgi: küljeoks (*face knot*), servaoks (*edge knot*), kandioks; (*arris knot*), otsaoks (*end knot*).

Nimelt paiknevad ümar- ja ovaaloksad saematerjali küljel või serval, pikkokste ja kandiokste liigitus on aga keerukam.

Kandile ulatuv pikkoks (*splay knot*) on küljel asuv pikisuunas läbi saetud oks, mille ots juba saematerjali serval ja kandil. Lehtoks (*spike knot*) on küljel asuv pikuti läbilõigatud ovaaloks, mis ei ulatu servani. Serva läbiv pikkoks (*traversing edge knot*) on serval paiknev ja seda kogu pikkuses läbiv pikkoks.

Olenevalt sellest, kas kandioks paikneb saematerjali sise- või välisküljel, eristatakse läbivaid kandioksi (välisküljel, *traversing arris knot*) ja mitteläbivaid kandioksi (siseküljel, *not traversing arris knot*). Pisioks (*pin knot*) – terve mädanikuta oks läbimõõduga alla 5 mm, sortimisel ei arvestata.

Okste puidu seisund, terve oks (*sound, intergrown knot*) – üle 75% oksa ümbermõõdust on ümbritseva puiduga kokku kasvanud, mädanik puudub.

Osaliselt kokku kasvanud / kuiv oks – kui ümbritseva puiduga on kokku kasvanud 25–75% oksa ümbermõõdust, on tegemist osaliselt kokku kasvanud oksaga (*partially intergrown knot*), kui alla 25%, on see oks kuiv oks (*dead knot*).

Koorega oks (*encased knot*) – üle 75% oksa ümbermõõdust on koorega ümbritsetud.

Mädaoks (*unsound knot*) – täiesti mäda või osaliselt mädanikust kahjustatud oks.

Irdoks (*loose knot*) – kuivoks, mida ümbritsev puit kinni ei hoia.

Koondoks (*knot cluster*) – koondoks koosneb okstest, mis paiknevad nii, et puidukiudude suund nende vahel ei taastu täielikult. Tavaliselt on kaugus järjestikuste oste vahel väiksem kui saematerjali laius või alla 150 mm, kui saematerjali laius on üle 150 mm.

Muud looduslikud rikked

Mõlu (*scar*) – kinnise mõlu moodustab puidu sisse jäänud koor. Niisugune mõlu tekib näiteks juuresagara sissekasvamisel või vigastuse äärte kinnikasvamisel. Lahtine mõlu on kasvava puu tüves asuva vigastuse kinnikasvavate äärtega süvend. Kinnist ja lahtist mõlu mõõdetakse kui vaigupesa.

Vaigupesa (*resin pocket*) – paikneb kahe aastarõnga vahel ja on tavaliselt vaiguga täidetud pikergune õõnsus. Vaigupesa suurst mõõdetakse millimeetrites sortimendi pikkuse suunas.

Vaikpuu (*resin wood*) – vaigust küllastunud puiduosa, on tavaliselt ümbritsevast puidust tumedam ja tekib vaigukäikude tihedamast paiknemisest.

Ränipuit (*compression wood*) – tekib puu kasvamisest oludes, kus koormus tüve ühele küljele on tavalisest oluliselt suurem kas puu kasvamisest kallakul või valitseva tuultesuuna olemasolul. Selle koormuse kompenseerimiseks hakkab puu tootma teistsuguse ehitusega rakke. Ränipuit on tumedam, vaigu- ja ligniiniirikam ning kõvem kui normaalne puit.

Kaldkiulisus (*slope of grain*) – puidukiudude oluline kõrvalekalle tüve pikiteljega paralleelsest suunast, okste juures esinevat kiudude kõrvalekallet ei arvestata.

Salmilisuus (*wavy grain*) – tugevalt ebakorrapärase, s.t lookleva või segipaisatud puidukiudude struktuuriga puidu osa, mille põhjuseks on lokaalsed puidu juurdekasvu häired, näiteks murdunud latv.

Murdunud latv tähendab, et kasvava puu latv on maha murdunud, kuid kasv jätkub ladvaosast. Sellest tekib murdumiskoha ümbruses salmilisuus. Rikke suurus oleneb murdekoha läbimõõdust.

Seen- ja putukkahjustused

Kõva mädanik (*dote*) – tekkiva mädaniku varane staadium, mis on nähtav tumedamaks värvunud triipude või laikudena, tihti okste ümbruses, ja mis ei mõjuta oluliselt puidu tugevust.

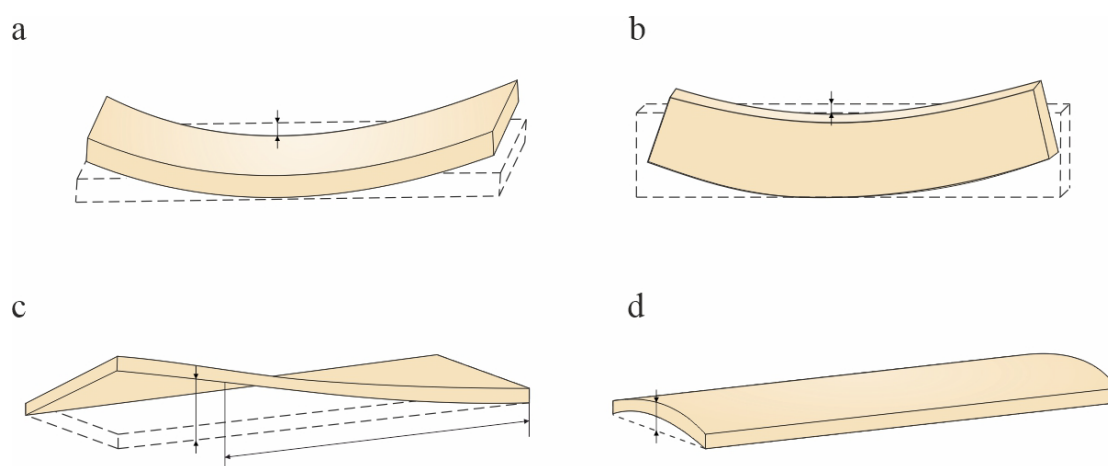
Pehme mädanik (*soft rot*) – puidu osa, mis on mädaniku toimel kaotanud oma kõvaduse ja tugevuse.

Pindmine sinavus (*surface blue stain*) – kuni 2 mm sügavuseni levinud sinavus, mis on hõõveldamisega eemaldatav.

Palgisinavus (*deep blue stain*) – sügavamale kui 2 mm tunginud sinavus, mis on nähtav juba enne palkide saagimist, tihti on sinav kogu maltspuit.

Kaardumused

Kui pikikaardumus (*bow*), serva pikikaardumus (*spring*) ja keerdumus (*twist*) on tootmisprotsessist põhjustatud rikked, siis kõmmeldumus (*cup*) (joonis 2.29) ei loeta tootmisprotsessist põhjustatud rikete hulka, sest selle esinemist puidu kuivatamisel ei ole võimalik vältida. Küll aga saab lõpphõõveldamist läbi viia puidu niiskussisaldusel, mis vastab toote kasutuskeskkonnale vastavale tasakaaluniiskusele. Kui see ei ole võimalik, näiteks välisvoodri laudade puhul, tuleb toorikud hõõvlisse suunata nii, et kõmmeldumusest tekkinud kumerpind jääks välisvoodrilaua pinnaks, mis paikneb voodris väljaspool. Saematerjali sortimisliinides on selleks näiteks lasermõõturid, mis mõõdavad liinis liikuvate laudade külgsinna punktide kõrgust ja annavad signaali laua teistpidi pööramiseks, kui selleks on vajadus.



Joonis 2.29 Kaardumused: a – pikikaardumus, b – serva pikikaardumus, c – keerdumus, d – kõmmeldumus.

Saematerjali tugevussortimine

Kvaliteedi järgi sortimist nimetatakse ka välimuse järgi sortimiseks (*appearance grading*), eesti keeles küll mitte eriti sageli. Ehituses on aga materjali tugevus sageli olulisem kui tema välimus ja konstruktsioonipuit sorditakse mitte halli raamatu kvaliteediklassidesse, vaid tugevusklassidesse.

Standardi EVS-EN 14081 kohaselt on tugevusklassi tähises olev arv paindetugevuse tunnusväärtus, näiteks tugevusklassi C24 paindetugevus on 24 MPa.

Tugevussortimine võib toimuda visuaalselt või masinmeetodil. Visuaalsel tugevussortimisel hindab sorteerija vaadeldava materjali puidurikkeid, eriti okste arvu, suurust ja paiknemist, ning määrab selle alusel saematerjali tugevusklassi. Kuna hinnang ei saa olla väga täpne, siis saab visuaalselt sortida ainult kuni tugevusklassini C30.

Paindetugevust saab määrata paindeelastsusmooduli kaudu, näiteks mõõtes etteanderullide vahel liikuva materjali läbipainet kindla suurusega jõuga koormamisel. Selline meetod on küll üsna täpne ja mõõdab paindeelastsusmoodulit materjali kogupikkuses, kuid täpsus väheneb järsult materjali kiiremal liikumisel. Seepärast on sellisel otsesel meetodil töötavad masinad kasutusest praktiliselt kadunud.

Masinmeetodil tugevussortimise viisideks on:

- masinnägemine;
- akustiline ehk omavõnkesageduse meetod (laua omavõnkesageduste analüüs);
- röntgenanalüüs;
- ultrahelimeetod.

Masinnägemine (*computer vision*). Mingis mõttes on ka see visuaalne sortimine, ainult et inimesilma asemel vaatavad materjali kaamerad ning kogutava info hulk ja töötlemise kiirus on palju suurem. Peale välisilme on võimalik lisada ka muud infot. Masinnägemissüsteemides kasutatakse masinõpet, mille käigus süsteem õpib olulist infot välja sõeluma. Eeliseks on kontaktivaba mõõtmine.

Akustiline ehk omavõnkesageduse meetod (*natural frequency method*). Sel meetodil tekitatakse materjalis võnkumine näiteks vasaraga otspinnale koputades ja mõõdetakse loomulikke helilainete võnkesagedusi. Seda meetodit on käsitletud 5. peatükis.

Röntgenanalüüsi meetod (*X-ray analysis method*) kasutab enamasti röntgenkiirt katsekehast 2D-projektsioonide tegemiseks. 2D-projektsioonid tehakse eri nurkade alt, projektsioonidest koostatakse arvuti tarkvara abil kolmemõõtmeline mudel. 3D-mudeli resolutsioon sõltub katsekeha suurusest, mida väiksem katsekeha, seda detailsem tulemus. Kompuutertomograafia võimaldab 100 µm resolutsiooni, mikrotomograafia koguni ~1 µm.

Ultraheli meetod (*ultrasound method*). Pulss-kaja meetod on enimlevinud ultraheli meetod. Eri suurusega ja erineva asukohaga puidurikked peegeldavad ultraheli eri suundades erinevalt. Puidurikke pinnaomadused määravad ära esmajoones tagasipeegelduva ultraheli avanemisnurga. Kuna kahemõõtmelised praod ja lõhed on oma pinnalt ebatasased, peegeldub heli neist ka külgsuunas.

2.1.5 Saeliinide seadmed

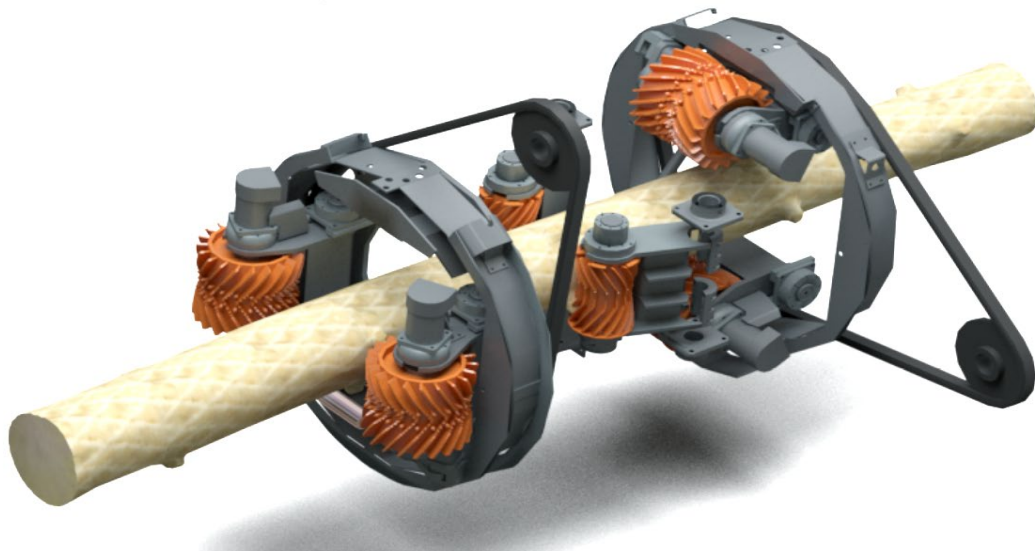
Peamised saeliinides kasutatavad seadmed on ketas- ja lintsaed ning prussimis- ja profileerimisfreesid. Varem laialdaselt kasutusel olnud raamsaed on nüüd peaaegu kadunud. Neid kasutatakse vaid erijuhtumitel, kui on vaja pruss paljudeks õhukesteks laudadeks saagida.

Seadmed palkide etteandmiseks saeliini

Palgid liiguvad koorimispingist saeliini pikikettkonveieriga, kuid enne saeliini andmist on veel ristkonveier, mis toimib puhverlaona. Sellist ristkonveieriga puhverdamist kasutatakse saeliinides sageli, see aitab ühtlustada liini eri seadmete tööd ja võimaldab kõrvaldada pisemad tõrked ilma kogu liini seiskamata.

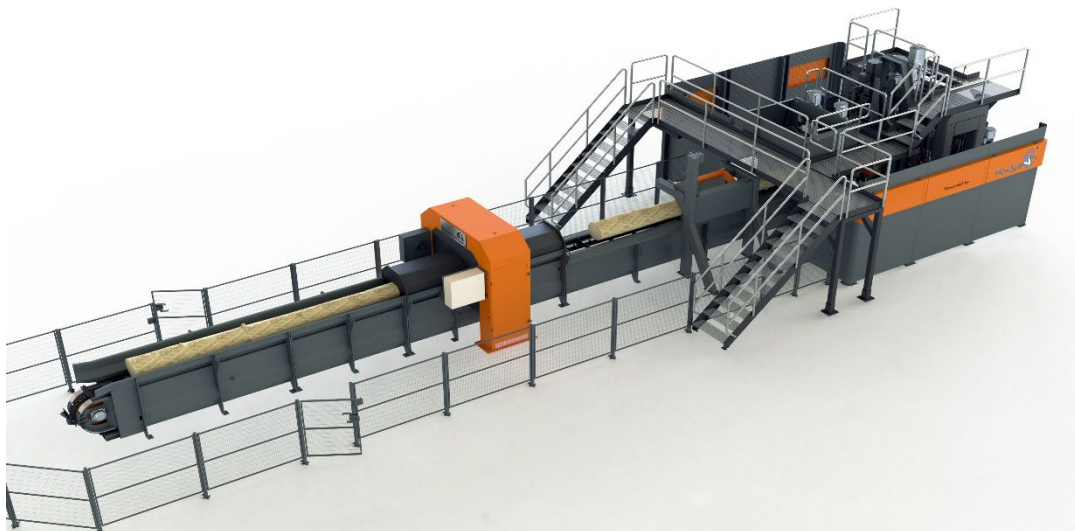
Seadmed palkide saeliinile andmiseks on oluliselt keerukamad kui näiteks koorimispinkide andmisel (joonis 2.12), sest saagimisel tuleb määrata nii palgi pöördnurk palgi pikitelje suhtes kui ka pikitelje asend. Kui palk ei ole sirge, on keerukamates seadmetes võimalik palke ette anda kõverust järgivalt. Seejuures tuleb eristada saematerjali väljatuleku optimeerimist väärtuse ja mahu järgi. Palkide sortimist käsitlevast alapeatükist 2.1 ja jooniselt 2.6 selgub, et palgi pöördnurk pikitelje ümber võib olla määratud ka okste paiknemisega palgis, kui võtta arvesse saadava sortimendi väärtust. Siin vaatleme seni levinumat optimeerimisvarianti, kus eesmärk on saematerjali maksimaalne mahuline saagis.

Saeveskites, millel on kõverjoonelise etteandega saagimise võimekus, on palgi kõverus peamine parameeter optimeerimiseks. Käsiraamatu „The Sawmill Industry“, Otava, Keuruu 2018, andmetel võib palgi parima ja halvima pöördnurgaga saagimisel saematerjali mahuline väljatulek erineda isegi kuni 9%. Olenevalt saeliinil kasutatavatest seadmetest orienteeritakse palgi kõverus üles, alla või külgsuunas. Eesmärgiks on saada esimese operatsiooniga selline kahekülgne pruss, mille kõverus jääb lapikpinda. Taolise prussi lahtisaagimisel saadakse pikikaardumusega (joonis 2.29) saematerjal. Pikikaardumus on teatud piires lubatud, serva pikikaardumus aga mitte.



Joonis 2.30 Palgi pikitelje ümber pööramis- ja tsentreerimisseade. Foto: Veisto OY

Joonisel 2.30 kujutatud pöördeseadmes pööratakse palki sel viisil, et etteandevaltsid on kinnitatud pööratavale rootorile. Pildil on kaks rootorit, sellist varianti kasutatakse suuremate etteandekiiruste (sellel seadmel kuni 200 m/min) puhul. Esimene valtside paar haarab palgi ladvast ja tsentreerib selle, samuti pöörab ta palki 0–120°. Kui vaja on suuremat pööret, teeb seda teine rootor. Valtsidel on hüdmootorid. Rootorite vahel on valtsid etteandeks ja palkide toetamiseks külgedelt. Väiksematel kiirustel (kuni 110 m/min) piisab ühest rootorist. Kasutatakse ka muutuva kaldega ogavaltse ja muid meetodeid.



Joonis 2.31 Palkide saeliini andmise seade pööravate rootoritega (seadme ees on palgiskanner). Foto: Veisto OY

Suhteliselt sirgeid palke saab orienteerida ka nende ovaalsust arvestades, pöörates ovaali pikema telje horisontaalasendisse.



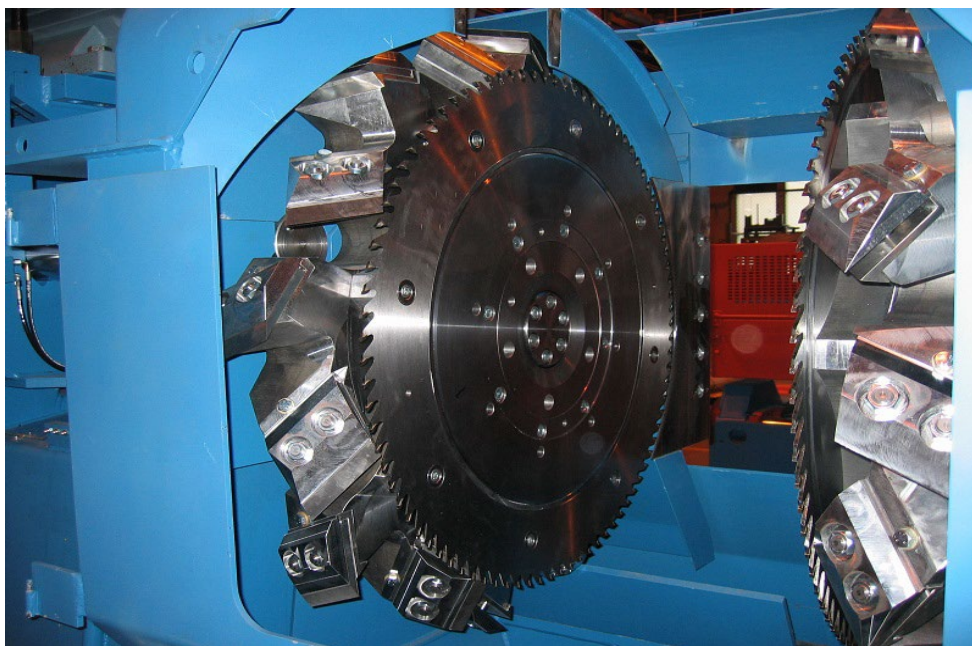
Joonis 2.32 Seade palkide positsioneerimiseks saeliinile andmisel. Foto: USNR AB

Andmed palgi väliskuju kohta saadakse skannerilt, mis paikneb vahetult palkide pöördeseadme ees või on seadmesse integreeritud. Skanner skaneerib palgi välispinna värvust ja kontrastsust ehk tekstuuri ja koostab tekstuuri matemaatilise mudeli, mille alusel määratakse palgi optimaalne asend. Skaneerimine toimub sagedusega 180 korda sekundis ja mudel luuakse palgi seadmes liikumise käigus. Erandijuhtudel, kui pole jäetud piisavalt vahemaad roteerija ja skanneri vahele, algab palgi pööramine juba esialgse mudeli koostamise käigus ja pööramine lakkab optimaalse asendi saavutamisel. Kasutatakse täiendavaid näiteks ühe suuna skannereid, mis *on-line*-kontrollivad roteerimisprotsessi õnnestumist ja vajadusel kalkuleerivad vajaliku roteerimisparandi.

Prussimisfreesid

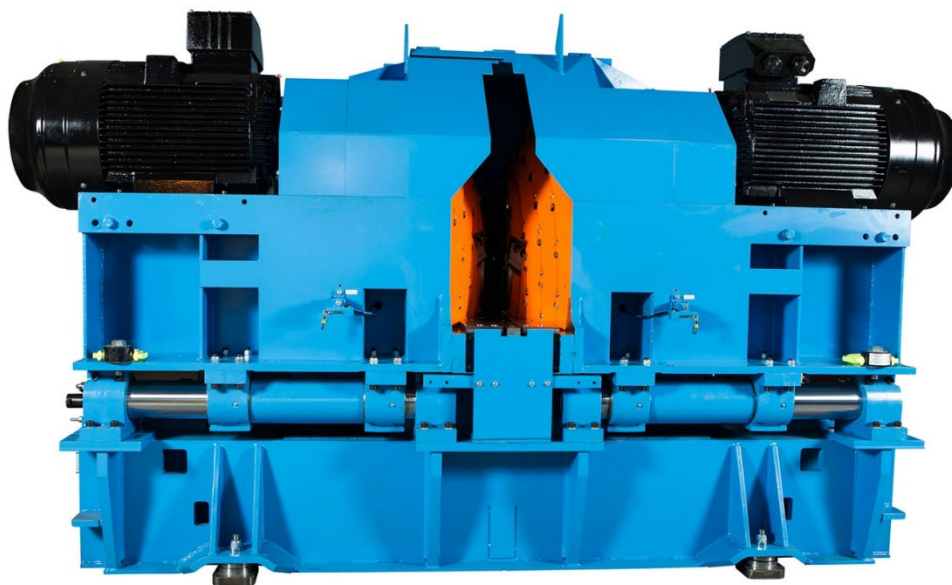
Prussimisfreesid (*chipper-canter*) on tavaliselt saeliini esimeseks lõikeseadmeks, freesides palgi välispinnale kaks paralleelset tasapinda, mis on järgnevates operatsioonides baaspindadeks. Prussimisfreeside paare võib liinis olla:

- kaks järjestikust freeside paari, nende vahel pööratakse kahekülgne pruss lapiti, teine freeside paar freesib prussi kaht seni töötlemata pinda (joonis 2.33);
- üks freeside paar, pärast esimest freesimist suunatakse kaheküljeline pruss teistkordseks freesimiseks tagasi (joonis 2.34).

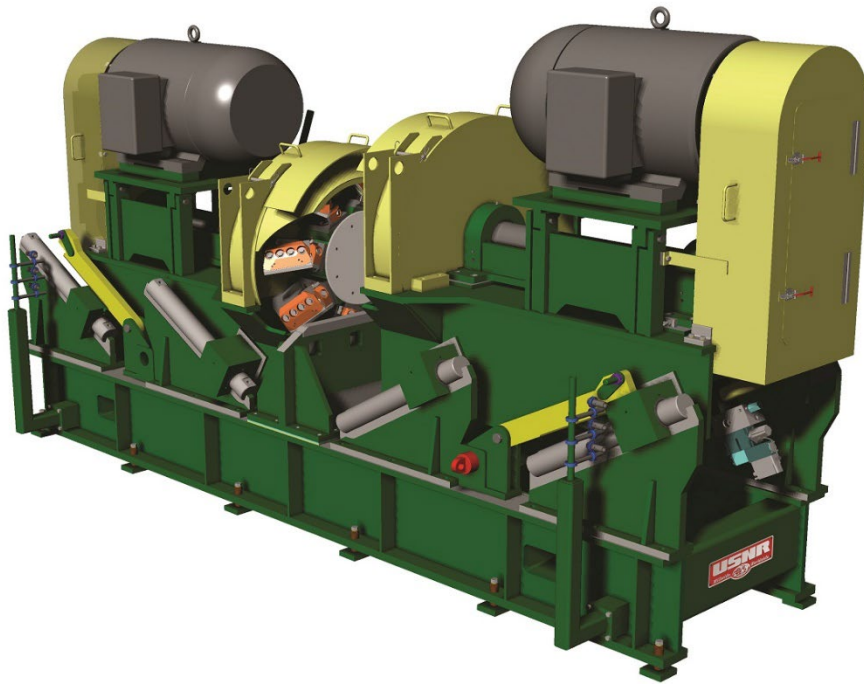


Joonis 2.33 Prussimisfreesi lõikepead. Foto: Heinolan Sahakoneet OY

Laastu kvaliteet on prussimisfreesi üks olulisemaid parameetreid. Laast lõigatakse puidukiude suhtes $35\text{--}60^\circ$ nurga all, selle pikkus on 20–40 mm ning paksus 5 mm. Laastu paksus on konstantne, sest tegemist on laupreesimisega. Laastu pikkus on määratud freesi pöörlemis-sageduse ja liini etteandekiiruse suhtega. Kuna liini etteandekiirus on muutuv, siis on ka prussimisfreeside pöörlemissagedus mootorite toitevoolu sagedusmuunduri abil muudetav.



Joonis 2.34 Prussimisfreesi üldvaade; freese nihutatakse keskjoone suhtes sümmeetriliselt horisontaalsuunas. Foto: USNR AB



Joonis 2.35 Prussimisfrees V-kujuliselt paiknevate prussimisfreeside juhtpindadega. Foto: USNR AB

Prussimisfreesi löikeinstrumendiks on tavaliselt koonuspinnale kinnitatud noad (joonis 2.33) või moodustub nugadest koonuspind (joonised 2.33 ja 2.35). Tavaliselt on prussimisfreesid pikitelje suhtes nihutatavad vastavalt freesitava palgi läbimõõdule. Selle meetodi puuduseks on see, et freesi nugade kohtumisnurk palgiga muutub palgi läbimõõdu muutudes. Joonisel 2.33 kujutatud prussimisfreesis tõusevad freesid suurema läbimõõduga palgi freesimisel ülespoole



Joonis 2.36 Laastu sõelumine peenfraktsiooni ja saepuru eraldamine sellest. Foto: AS Hekotek

ja kontakt palgiga on alati koonuse alumises osas. Lisaks laastu moodustavatele nugadele võib freespea olla varustatud saekettaga töödeldava pinna silumiseks (joonis 2.33). Kuna saepuru on laastust odavam, võib saeketas ka puududa (joonised 2.34 ja 2.35).

Palkide ja prusside töötlemine profiilagregaatidega

Joonisel 2.17 on kujutatud palkide töötlemist profiilagregaatidega (*profile aggregate*). See põhimõte on kasutatav kahel viisil:

- profiilsaagimine (*profile sawing*) – kaheküljeline pruss saadakse prussimisfreesidega, lahti aga saetakse sel viisil, et küljelaudade palgi välispinnale kuuluv osa freesitakse laastuks enne küljelaudade saagimist, vt joonis 2.37;
- freesimis-prussimis-saagimismasin (*hewsaw method*) – kõik laastustamis- ja saagimis-operatsioonid teostatakse ühes seadmes ilma prussi vahepeal lapiti pööramata, osa saekettaid paikneb seepärast horisontaalselt (joonis 2.38).

Profiilsaagimine

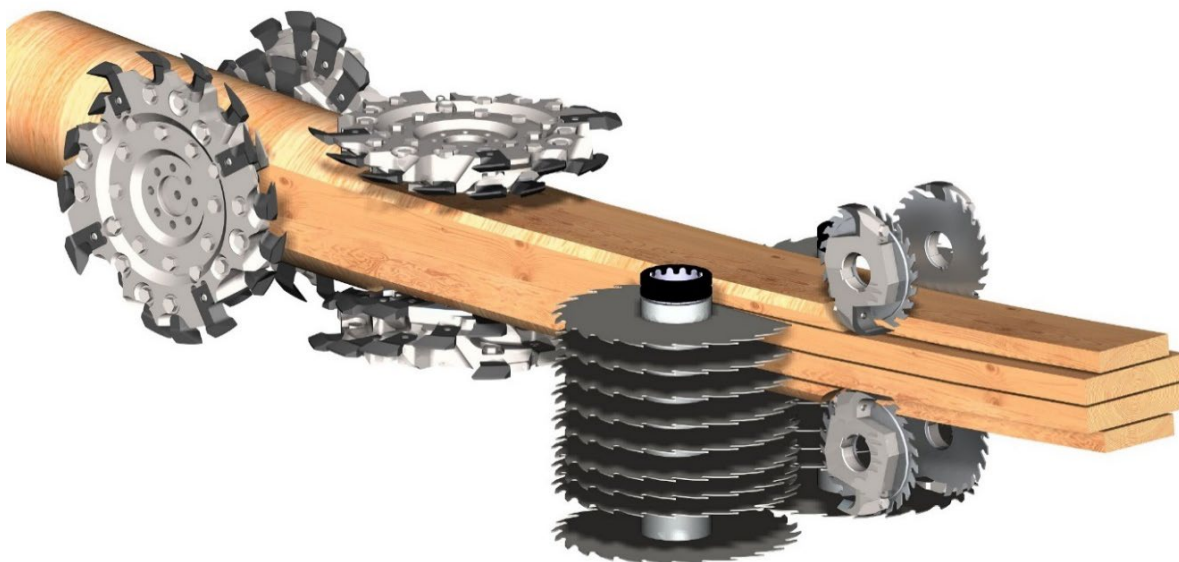
Võrreldes küljelaudade servamisega kahesaelistes seimrites on profiilsaagimisel mitu eelist:

- saeveskis on vähem seadmeid;
- küljelaudade optimeerimine on profiilsaes kergem, sest etteandekiirus on seimrites kasutatavast väiksem ja konstantne ning prussist saetav küljelaud liigub ideaalselt tsentreerituna.

Seepärast on profiilsaagimine seimrite asemel muutunud saeveskites domineerivaks ja seda isegi vaatamata laastustavatele seimritele, kus mahasaetav osa koos saagimisega laastustatakse. See tehnoloogia sobib hästi masstootmiseks keskmise diameetriga palkidele, mille laastul on Põhjamaades kasutus tselluloositehastes. Laastu ühtlase kvaliteedi tagamine on profiilsaagimisel keerukam, sest freesterad töötavad praktiliselt nagu pikifreesimisel ja laastu paksus on seetõttu muutuv – vastuetteandel nullist maksimumini ja pärietteandel vastupidi.



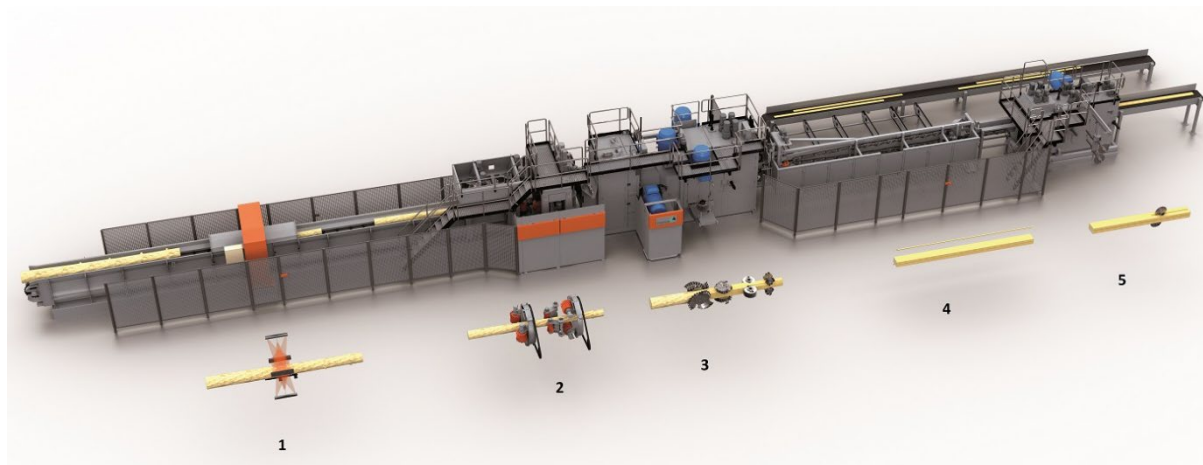
Joonis 2.37 Profiilfreesimise agregaat. Foto: Heinolan Sahakonet OY'



Joonis 2.38 Freesimis-prussimis-saagimismasinal (*hew saw*) nelikülgsiks prussiks freesimise ja laudadeks lahtisaagimise põhimõte. Foto: Veisto OY

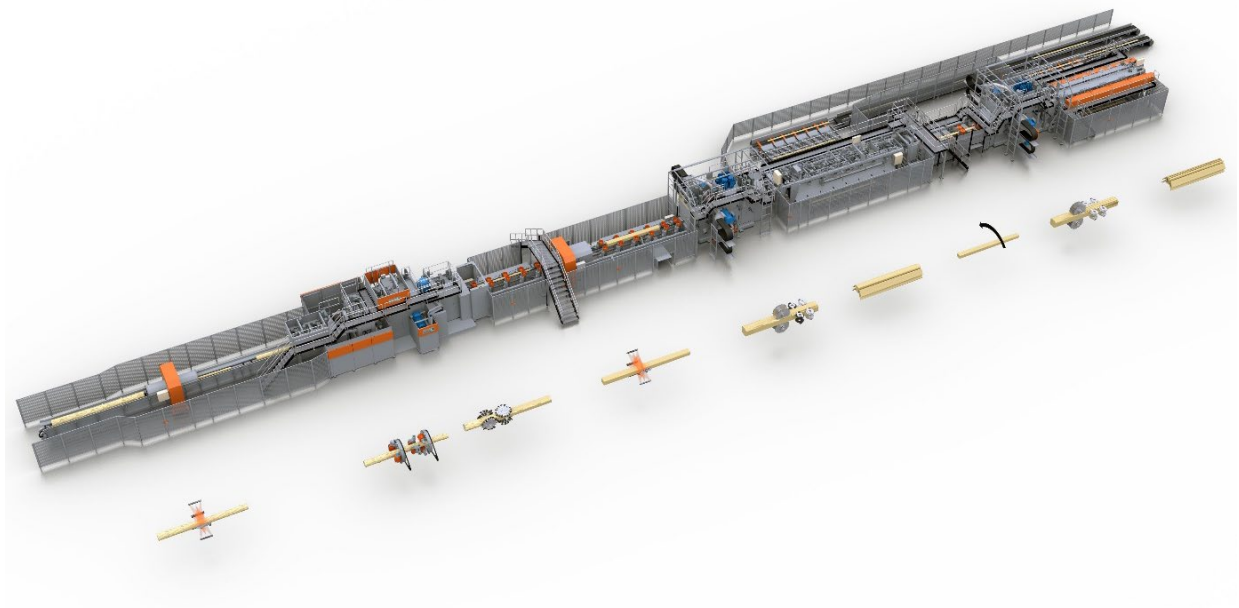
Nagu prussimisfreesidki töötavad profiilsaagimise agregaadid kahekaupa, ülal ja all või külgedel.

Freesimis-prussimis-saagimismasinal (*hew saw*) puhul (joonis 2.38) paikneb ühes agregaadis kaks paari prussimisfreese, kaks horisontaalsete saeketastega saevõlli ja kaks paari profiilfreese. Saetee paksuse vähendamiseks on saetav laius jagatud kahe saeketta vahel, nii saab kasutada õhemaid saekettaid. Etteandeks vajalike jõudude vähendamiseks töötavad profiilfree-sid pärietteandega, sel juhul tõmbavad nende löikejõud materjali kaasa.



Joonis 2.39 Saeliin HewSaw R250A.1.2: 1 – palgiskanner, 2 – kahe rootoriga palgi pikitelje ümber pööramise seade (vt joonis 2.30); 3 – saagimisseade (vt joonis 2.38); 4 – seade küljelaudade eraldamiseks; 5 – prussisaag. Foto: Veisto OY

Freesimis-prussimis-saagimismasin HewSaw on väga kompaktne seade, esimeses sel põhimõttel töötava seadme mudelitähises R115 tähistab arv 115 seda, et töötlemistsooni pikkus on 115 cm. Suure tootlikkusega liinides on iga saematerjali mahulise väljatuleku protsent suure väärtusega ja optimeerida on otstarbekas mitmeastmelisena (joonis 2.40). Esimene skanner annab andmed palgi pööramiseks pikitelje ümber ja prussimisfreeside paigutuseks. Teine skanner skaneerib freesitud prussi tegelikku profiili, mille andmete alusel toimub kahe järjestikuse profiilsaeagregaadi töö. Kahe saeagregaadi kasutamine võimaldab saada rohkem ka küljelaudu, mis parandab saematerjali väljatulekut. Üldiselt suurenebki mahuline väljatulek küljelaudade arvu suurendamisel, kuid see tähendab südamikumaterjali väljatuleku vähenemist. Optimeerimine peabki leidma parima kompromissi külje- ja südamikumaterjali vahel, arvestades nende hinda, aga ka tellimustega kaetud mahte.



Joonis 2.40 Saeliin HewSaw SL250 3.3. Foto: Veisto OY

Ketassaed saeveskites

Ketassaagimist on käsitletud alajaotuses 1.5.1.

Saeveskites kasutatakse ketassaage:

- palkide saagimiseks, ühe suure läbimõõduga saekettaga (joonis 2.41);
- prusside saagimiseks;
- laudade servamiseks, nn seimrid;
- kappimiseks ja järkamiseks, kappimissaed ja trimmerid.

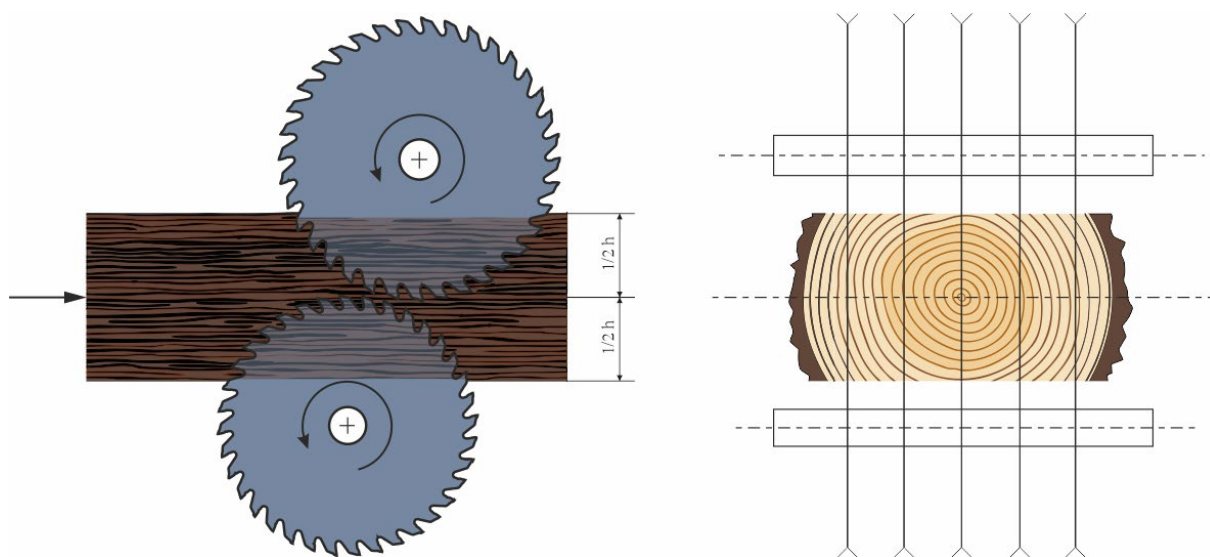


Joonis 2.41 Ühekettaline palgisaag. Foto: exapro.com

Ühekettalised palgisaed (*single disc log saws*) saevad nn ringsaagimise meetodil (joonis 2.18). Esimeseks löikeks fikseeritakse palk etteandevankril konksu abil, järgnevaid löikeid saab teha tasapinnalist külge etteandevaltsiga vastu sae vertikaaljuhtrullikuid surudes. Sellistes palgisaaagides kasutatavate saeketaste läbimõõt on sageli üle meetri ja levinum on stelliidiga kaetud hammaste kasutamine. Sel juhul viiakse saekettad tavaliselt saeteritusfirmasse, kes teostab vajadusel ka saeketta pingestamise. Stelliidita hambaid saab teritada palgisae komplektis oleva teritusseadmega. Stelliidita saagide saetee laiendamise viis on hammaste räsamine. Ühekettalisi palgisaaage kasutatakse sageli ka mobiilsetena ja sel juhul on nad käitatavad traktori veovõlli abil.

Ketassaed prusside saagimiseks

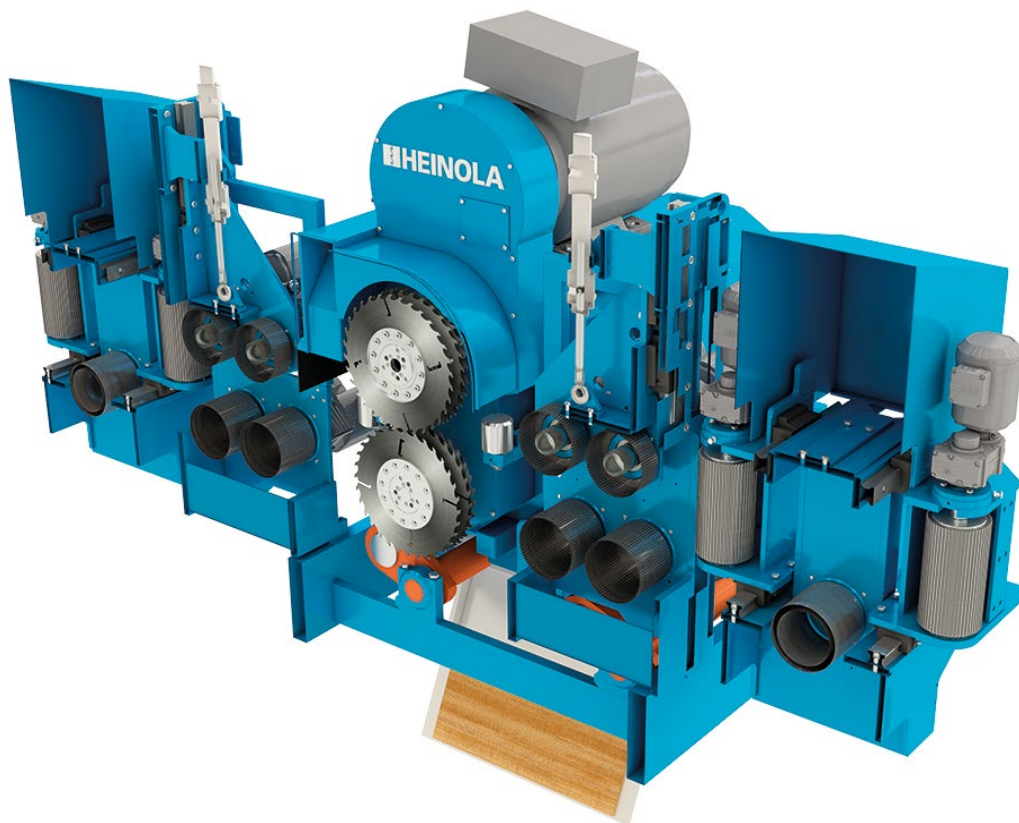
Väikestes saeveskites, kus prussisaagi suunatava prussi kõrgus ja etteandekiirus ei ole suur, võib prussisaena kasutada lahkkesaagi (joonis 2.43), kuid suuremates saeveskites on valdavaks seadmeks kahevõlliline valtsetteandega ketassaag. Kaht saevõlli kasutatakse nagu profiilsaagimiselgi selleks, et oleks võimalik kasutada õhemaid saekettaid ja seeläbi vähendada tekkinud saepuru kogust. Selleks, et kaks saeketast saaksid korraga saagida ja lõikaksid läbi kogu materjali paksuse, on saekettad tavaliselt üksteise suhtes nihutatud (joonis 2.42). Sel joonisel on kujutatud varianti, kus ülemine saevõllidest töötab pärietteandega; alumine saevõll töötab vastuetteandega ja suure osa tema tööks vajalikust etteandejõust tagab ülemise võlli löikejõud.



Joonis 2.42 Kahevõllilise prussisae tööpõhimõte.

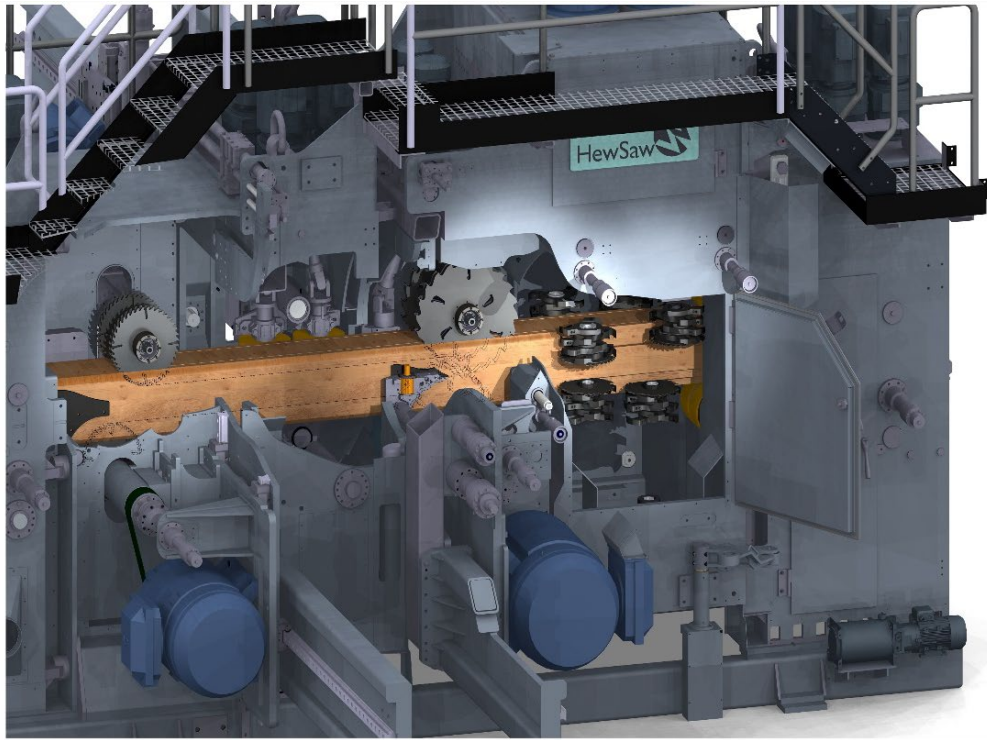
Prussisae korral võidakse kasutada ka prussi kõverust (seda iseloomustab kõverusraadius), järgivat etteannet. Teineteise suhtes nihutatud saevõllid piiravad selle raadiuse vähendamist. Seetõttu on kasutusele võetud üksteise kohal olevate saevõllidega prussisaag (joonis 2.43). Selles saes on saevõllide pöörlemine mehaaniliselt sidestatud ja saagide hambad liiguvad materjali läbisaagimiseks piisavas ulatuses teise sae hambavahesse.

Saeketaste veelgi õhendamiseks kasutatakse ka saetee kõrguse jagamist mitte kahe, vaid nelja saevõlli vahel (joonis. 2.44).



Joonis 2.43 Kahe sünkroonselt pöörleva saevõlliga prussisaag. Foto: Heinolan Sahakoneet OY

Lihtsamates prussisaagides on saeketaste vahekaugus vahepukside abil fikseeritud ja selle muutmiseks tuleb saag seisata ja saekomplekt vahetada. Selliste saagide abil saab saagida ainult sorditud palki ja iga palki eraldi optimeerida ei saa. Täiuslikumates prussisaagides on saed liigutatavad. Saage tuleb liigutada seadme pikitelje suhtes sümmeetriliselt, et materjali pikitelg paika jääks. Kui kasutusel on rohkem kui kaks saagi, võib neid teljel liigutada plokkidena, enamasti kahe- või kolmekaup plokis. Kuna kasutusel on kaks saevõlli, ei ole vajalik saeketaste jahutus ja juhtplaatide kasutus saagide taga.



Joonis 2.44 Nelja saevõlliga prussisaag (nelja küljelaua saagimiseks on neli paari profiilfreese).
Foto: Veisto OY

Seimer

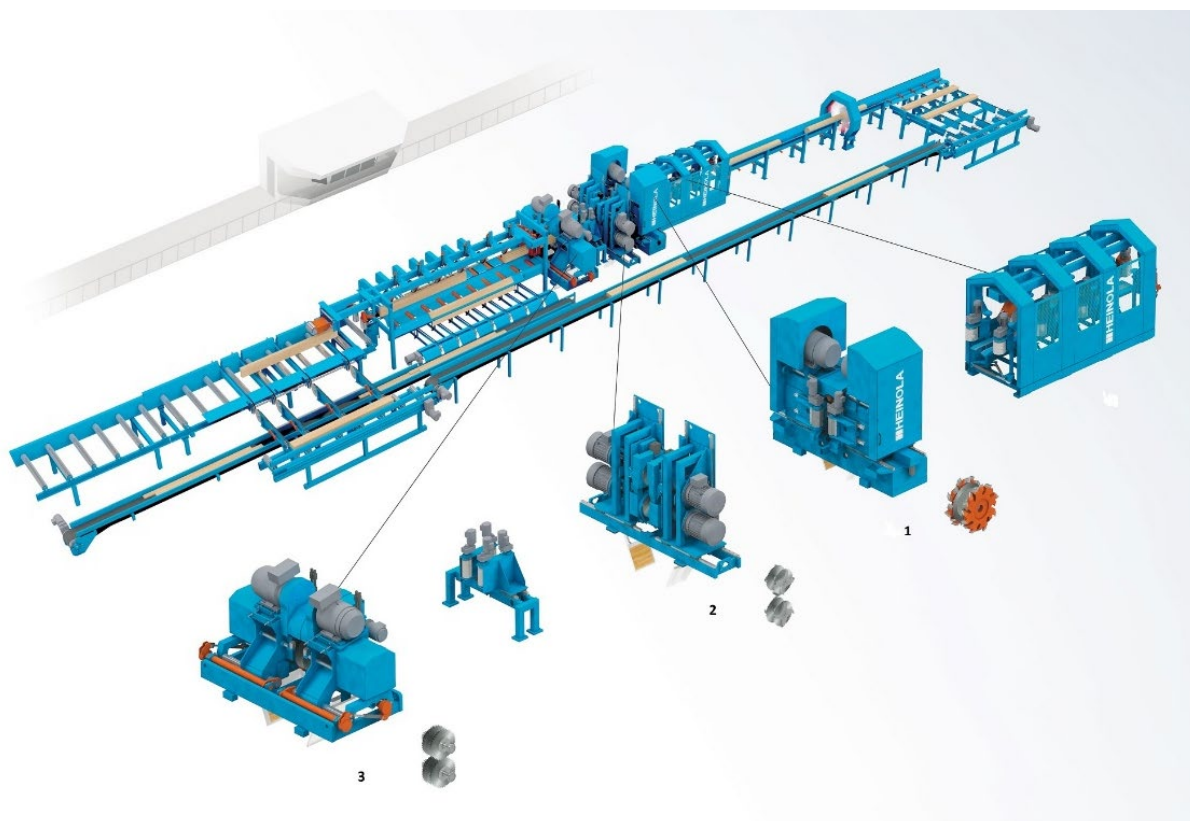
Seimer (*edger*) on kahesaeline ketassaagpink saematerjali servamiseks. Kuna lahti saetud servade käsitlemine on väga tülikas, siis kasutatakse enamasti laastustavaid seimreid, kus koos saagimisega toimub servade laastustamine. Tavaliselt toimub servamata materjali transport servamisele ristkettkonveieriga, millel on skanner poomkandi mõõtmiseks. Sageli palgi koonilisuse tõttu on servamata küljelaua ladvapoolses otsas ala, kus poomkant on suur või on tegemist juba pinna ja mitte lauaga. Seepärast on vaja see osa enne servamist maha saagida. Skanneri andmete alusel valitakse optimaalne kombinatsioon kahe seadme juhtimiseks:

- trimmerile antakse pikkus, millele laud saagida;
- seimrile antakse laius, millele laud saagida.

Kasutatakse ka küljelaudade skaneerimist pikikonveieril. Seimreid on rohkem kasutusel lint-saeveskites, kus jämedama palgi saagimisel tekib palju küljelaudu. Seepärast on seimrite etteandekiirus suur ja tootlikkus võib ulatuda isegi 75 lauani minutis. Tootlikkust väljendatakse sellisel viisil põhjusel, et laudu antakse seimrisse vahedega ning tootlikkus on määratud pigem laua tsentreerimismehhanismi võimekuse ja sae etteandekiirusega.

Kappimissaed ja trimmerid

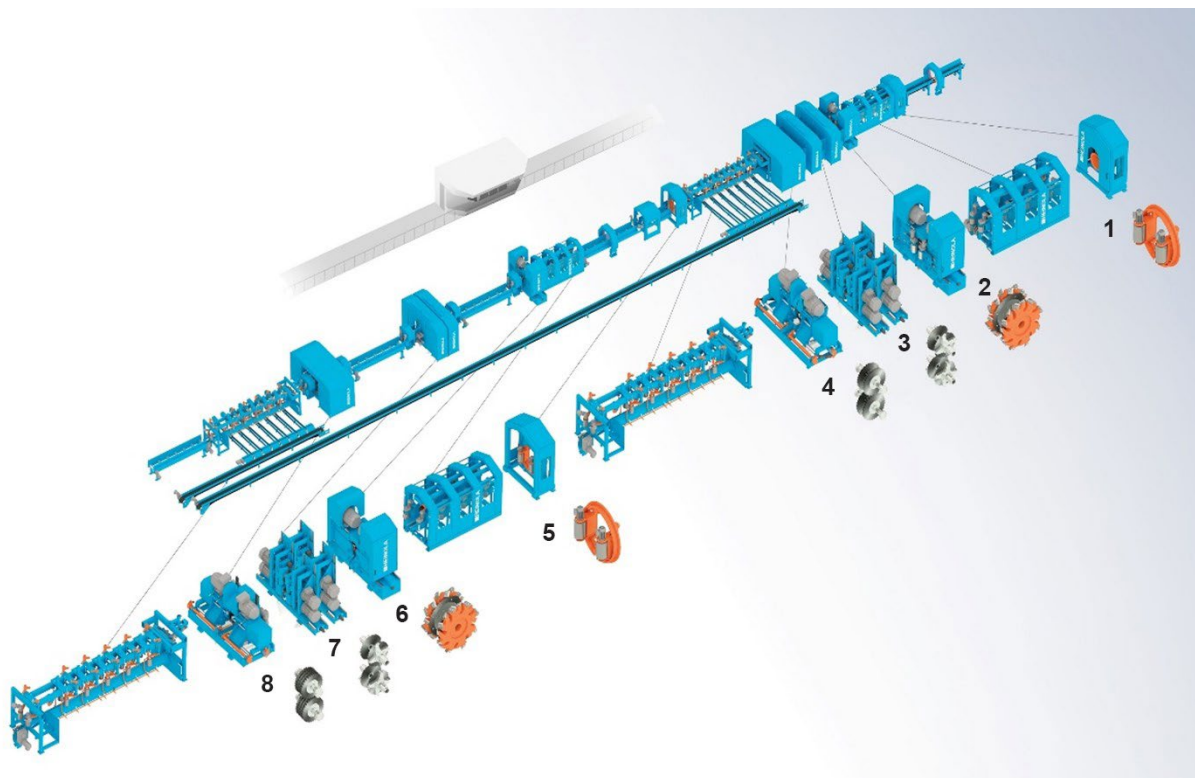
Kappimine (*trimming, end-butching, clipping*) on saematerjali otste ristsuunas tasaseks saagimine ja selle vajalikku pikkusse saagimine. Kasutatakse ka terminit otsamine. Trimmer on otsamissaie variant, mis paikneb servamata küljelaudade ristkettkonveieril ja milles on suur hulk tavaliselt 30 cm sammuga paiknevaid saage. Juhtseade valib neist konkreetse laua saagimiseks välja kaks saagi, mis tõstetakse üles ja mis saevad materjali valitud pikkusse.



Joonis 2.45 Ühe prussimisfreeside paariga profiilsaeliin: 1 – prussimisfreesid; 2 – profiilfree-side paar, 3 – kahe saevõlliga prussisaag. Foto: Heinolan Sahakoneet OY

Enamasti kasutatakse ka materjali servopositsioneerimist enne trimmimist. Seoses liimpuidu kasutuselevõtu kiire arenguga toodetakse liimpuidu tooraineks parema väljatuleku saavutamiseks „vabapikkusega” saematerjali.

Joonisel 2.45. kujutatud saeliini nimetatakse ka karussell-tüüpi liiniks, sest palgist saetud pruss suunatakse pärast küljelaudade eraldamist liini teistkordseks läbimiseks tagasi liini algusse.



Joonis 2.46 Prussimisfreeside ja profiilsaagidega saeliin: 1 – seade palkide pööramiseks pikitelje ümber; 2 – prussimisfreesid; 3 – profiilfreesid; 4 – kahevõlliline mitmekettaline ketassaag; 5 – seade prussi lapiti pööramiseks; 6 – prussimisfreesid; 7 – profiilfreesid; 8 – kahevõllilised mitmekettalsed ketassaed. 6, 7, 8 suudavad järgida etteandel prussi kõverust, mille raadius on vähemalt 35 m). Foto: Heinolan Sahakoneet OY

Joonisel 2.46 kujutatud prussimisfreeside ja profiilsaagidega saeliinil on esimese mitmekettalise sae järel seade küljelaudade eraldamiseks, sarnane seade liini lõpus suunab saetud laudad ristkonveierile.

Lintsaed saeveskites

Lintsaagimist on käsitletud alajaotuses 1.5.3. Lintsaagidel on väikseim võimalik saetee laius, kuid saelintide ja lintsaepinkide hooldus on küllalt tülikas. Seepärast kasutatakse ketassaage saeveskites siiski sagedamini kui lintsaage. Samuti on ketassaagimisel õnnestunud kasutusele võtta üha õhemaid saekettaid.

Väikese tootlikkusega saeveskites kasutatavad lintsaed on kahe horisontaaltasapinnas paikneva lindirattaga. Saetav palk on fikseeritud töölauale, mille kohal liigub saagimisagregaat, s.t et saelindile antakse nii löike- kui etteandeliikumine. Saagimisagregaadi kõrgus töölaua suhtes on muudetav, sellega saab määrata maha saetava laua paksuse. Kasutatakse nii statsionaarseid kui mobiilseid ühesaelisi lintsaage, viimaseid saab käitada ka traktori veovõlliga. Lihtsaimas variandis teostatakse palgi õigesse asendisse seadmine ja lahtisaetud materjali eemaldamine käsitsi, palgi saagi tõstmiseks on enamasti vaja siiski palgitõstukit, mille kasutute ooteaegade vältimiseks peaks olema ka ristkettkonveier palkide jaoks.

Ühesaelised lintsaed töötavad enamasti ringsaagimisega (joonis 2.18) ja neid saab varustada üsna laias valikus abiseadmetega. Joonisel 2.47 oleval horisontaalsel palgilintsael on näiteks

- palkide ristkettkonveier pööreliga palgi töölauale tõstmiseks;
- tõukur lahtisaetud materjali lükkamiseks sae taga olevale ristkettkonveierile;
- kaks paari V-kujuliselt üles tõstetavaid kette palgi või prussi pööramiseks ümber pikitelje;
- kaks lõikurit saelindi ees palgi koore sisse sisselõigete tegemiseks, et vältida sae hammaste kiiret nürinemist palgi koores oleva liiva vmt toimel;
- teravikud palgi fikseerimiseks;
- tõstetavad kahekoonuselised rullid palgi nihutamiseks fikseerivate teravike suhtes optimaalsesse asendisse;
- automaatne palgi mõõteseade, mis mõõdab palki esimese löike ajal, arvutab selle järgi palgi mahu, arvestades etteantud koore paksusega;
- prussi pööramisega saagimiste vahel on võimalik saada kahe paralleelse lapikpinnaga pruss, lisaseade paigutab selle prussi nii, et need pinnad on vertikaalsed, pruss fikseeritakse saagimiseks teravikega;
- tõstetavad rullid prussi transpordiks piki konveierit, et eraldada prussid servamata laudadest;
- saepuru kogumiskast saeagregaadi küljes, seda tühjendatakse aeg-ajalt kogumiskasti.



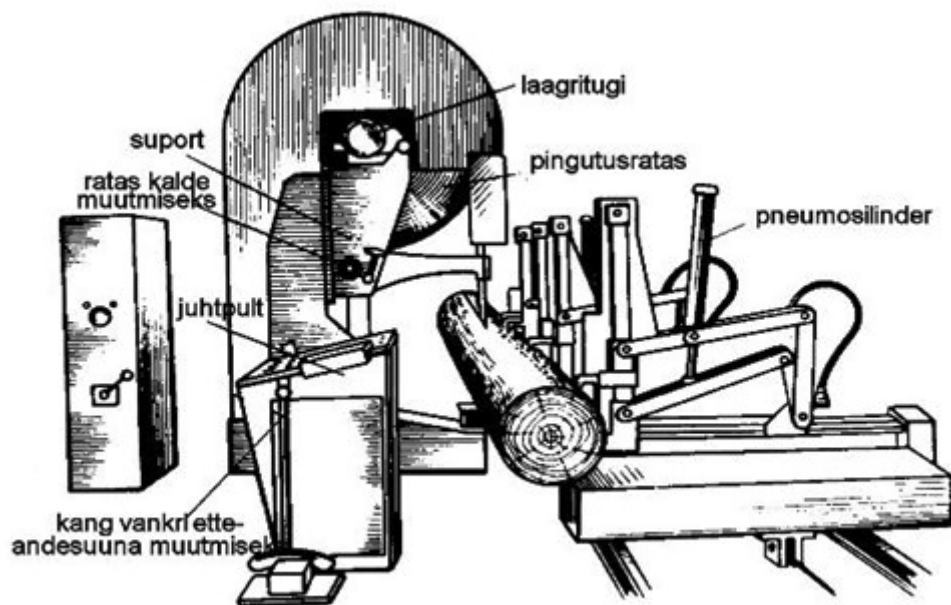
Joonis 2.47 Horisontaalne palgilintsaag. Foto: Resch & 3 GmbH

Tavaliselt kasutatakse ühesaelisi palgilintsaage koos seimriga. Saeveski tootlikkuse tõstmiseks võib ühe seimriga koos töötada ka kaks ühesaelist palgilintsaagi. Jämedamate palkide saagimisel on lintsaagimine kombineeritud seimerdamisega, mis tagab kindlasti paremad võimalused vajalike toodete optimeerimise ja väljatuleku suurendamiseks. Saetooted lähevad seoses välisseinte soojustuskihi paksuse suurenemisega ka profiililt laiemaks ja õhemaks.

Etteandevankriga lintsaed

Etteandevankriga lintsaage (joonis 2.48) kasutatakse peamiselt suurema läbimõõduga lehtpuupalkide saagimisel. Kasutatavad saeagregaadid on tunduvalt võimsamad ja nende liigutamine piki palki ei ole otstarbekas. Samuti peab palgi fikseerimine olema täpne ja kiiresti teostatav. Seepärast seisab saeagregaat paigal ja etteandeliikumine antakse etteandevankrile kinnitatud palgile (joonis 2.48). Tänapäevaste palgilintsaagide etteandevankri liikumissuuna muutmine ja ülemise lindiratta kalde juhtimine toimub automaatselt. Kasutatakse ka kahepoolse hammastusega saelinte, sel juhul toimub saagimine etteandevankri mõlemal liikumissuunal.

Palgi optimaalse asendi etteandevankril ja saekava määrab sae juhtarvuti kahelt palgiskannerilt saadud andmete põhjal. Skannerid paiknevad saeliini kohal kahel pool palkide vankrile laadimise tsooni. Saagimine vertikaalsest asendist kallutatud saega tagab selle, et kõik saetud lauad langevad konveierile ühtepidi (joonis 2.49).



Joonis 2.48 Etteandevankriga palgilintsae põhimõtteskeem.



Joonis 2.49 Saagimine vertikaalsest asendist kallutatud saega (tagab selle, et kõik saetud laud langevad konveierile ühtepidi). Foto: Primultini s.r.l.

Lintsaed prusside saagimiseks

Etteandevankrit kasutavates lintsaeveskites piisab prussi lahtisaagimiseks tihti ühest lintsaest, mis tööpõhimõttelt on sarnane joonisel 2.48 kujutatuga, aga on tunduvalt võimsam ja keerukam.

Okaspuupalkide saagimisel on lintsaag tavaliselt pärast prussimisfreese ja kuna olemas on kaks tasapinda baseerimiseks, on võimalik ühte saagimisagregaati paigutada kaks, kolm või neli lintsaagi.



Joonis 2.50 Mitmesaeline lintsaegregaat Sawmaster. Foto: USNR AB

Kahest lindirattast alumine on alati vedav ja selle asendit ei muudeta. Saelindi paremaks pingestamiseks on ta ülemisest lindirattast pisut suurema massiga. Saelindi pingutamine toimub hüdrauliliselt ülemise lindiratta kaudu, vajalik pinge on 120–180 MPa. Näiteks joonisel 2.50 kujutatud *Sawmasteri* lintsaegregaadil tähendab see saelindi pingutusjõudu 120 N, sest kasutatavad saelindid on üsna laiad. Saelindi paksus on ainult 1,25 või 1,47 mm ja sellise lindi

stabiilses asendis hoidmiseks ei piisa ainult pingutusjõust, vajalikud on ka lindi juhikud, mis on saetavale prussile võimalikult lähedal. Alumine neist on fikseeritud asendis, ülemist aga liigutatakse hüdrauliliselt vastavalt saetava prussi kõrgusele. Peamised paindepinged saelindis on paindest lindiratastel, pingete vähendamiseks on lindiratta läbimõõt üsna suur, Sawmasteri lint-saeagregaadil 1,6 m, Logmasteril (joonis 2.51) aga isegi 1,8 või 2 m. Paindepingeid tekib lindis ka lindi juhikutel. Kuna tavalistes juhikutes on lisaks paindele ka hõõrdumine, siis on kasutusele võetud ka saelindi elektromagnetjuhikud, milles puuduvad nii paindepinged kui ka hõõre.

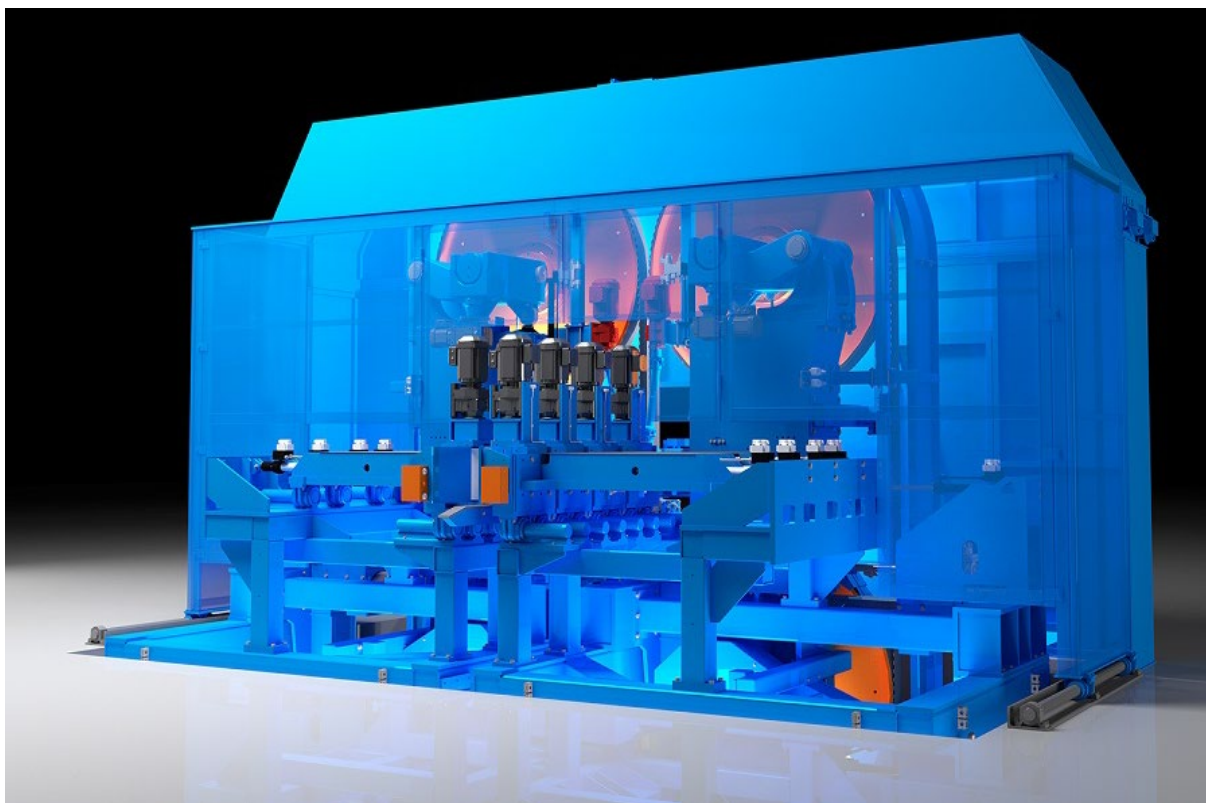
Laiu saelinte tuleb kindlasti valtsida (joonis 1.43). Valtsimise tõttu tekib lindiratastele painutatud saelindi sisepinnal väike nõgusus, mida kasutatakse saelindi lindiratastel püsimise hõlbustamiseks. Selleks lihvitakse lindirattad kergelt kumeraks, vajalikku kumerust 0,2–0,3 mm tuleb kulumise kompenseerimiseks aeg-ajalt üle lihvida. Lihvimiseks tuleb lindirattad seadmest välja võtta või kasutada selleks seadmes olevat lihvseadet (kui selline on olemas).

Saagimisel peab saelint ratastel paiknema õiges asendis: saehambad ja ka hambavahed peavad ulatuma üle lindiratta serva. Lõikejõud on küllalt suured ja selleks, et lint püsiks õiges asendis, ei piisa lindi nõgususest kumeral lindirattal. Lindi paremaks lindirattal püsimiseks antakse ülemise lindiratta pöörlemisteljele väike kalle. Täiuslikemates lintsaagides on saelindi jälgimise süsteemid, mille andurid paiknevad lindi mittelõikaval harul. Logmasteri lintsaagregaadil (joonis 2.51) saelindi jälgimise süsteem täidab kaht ülesannet:

- juhib ülemise lindiratta kallutusseadet;
- jälgib, kas hambavahe põhjadesse on tekkimas mõrasid (ennetades saelindi katkemist).

Lintsaeliinid võivad nagu ketassaeliinidki (joonised 2.45 ja 2.46) olla

- 1) karussell-tüüpi (*carousel type*), palgi esimesel läbimisel palgi keskosast saadud kahekülgne pruss suunatakse teistkordseks liini läbimiseks tagasi, sageli on teistkordsel liini läbimisel prussi kõverust järgiv etteanne;
- 2) kahe prussimisfreeside paari ja kahe lintsaagimisagregaadiga liin; teises prussimis- ja saagimisagregaadis on sageli prussi kõverust järgiva etteande võimalus.



Joonis 2.51 Mitmesaeline lintsaagimisagregaat Logmaster. Foto: USNR AB

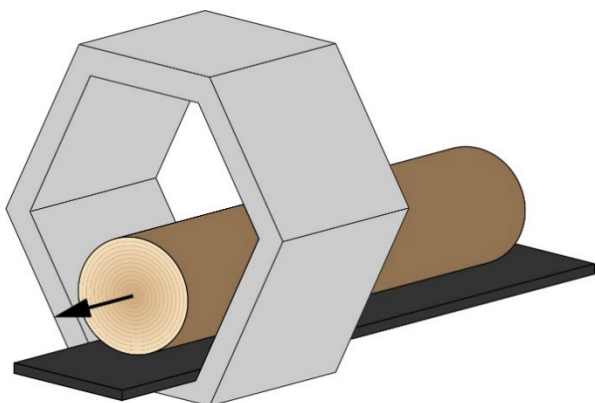
2.2 Spooni tootmine

Spoon (*veneer*) on õhuke puiduleht, mille paksus ei ületa 7 mm. Saespoon (*sawn veneer*) on spoonisaagimismasinatel spoonipakkudest saetud 0,8–6,0 mm paksused ja kuni 500 mm laiused spoonilehed. Treispoon (*rotary cut veneer*) on spoonitreipingis ümarpuidu pinnalt õhukese kihi mahalõikamise tulemusena saadav spoon. Höövelspoon (*sliced veneer*) on spoonihöövelduspingis toodetud 0,2–0,6 mm spoon, mida kasutatakse puitpindade dekoratiivseks pealistasemiseks.

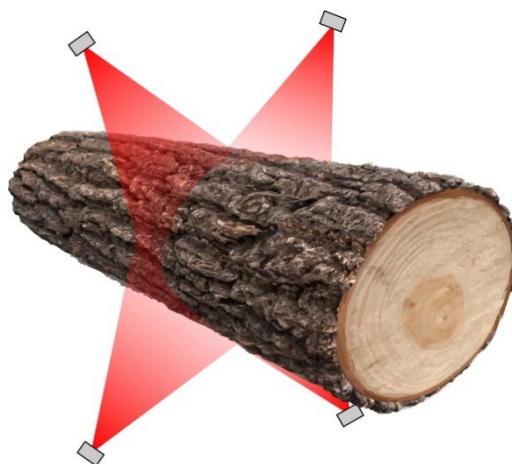
2.2.1 Palkide sortimine ja hüdrotermotöötlemine

Kase või kuusepalkide käitlemine algab nende vastuvõtmisest ja mahalaadimisest veoautost või raudteevagunist otse palgisortimisliinile, kus kõigepealt läbivad palgid metallidetektori (joonis 2.52) ja seejärel sorditakse palgid ladvadiameetri ja kvaliteedi klasside E, A, B–C alusel sortimistaskutesse (10–30). Palgihaaratsiga frontaallaadur tühjendab sortimisliini tasku ja virnastab sorditud palgid. Palgilaost on täpsemalt kirjutatud peatükis 2.1.

3D-palgiskanner (joonis 2.53) on varustatud laserportaaliga, mis mõõdab palgi läbimõõdu, pikkuse, koonilisuse, kõveruse, ovaalsuse ja väljaulatuvad osad (oksatüügas või pahk).



Joonis 2.52 Palkide skaneerimine metallidetektoriga.

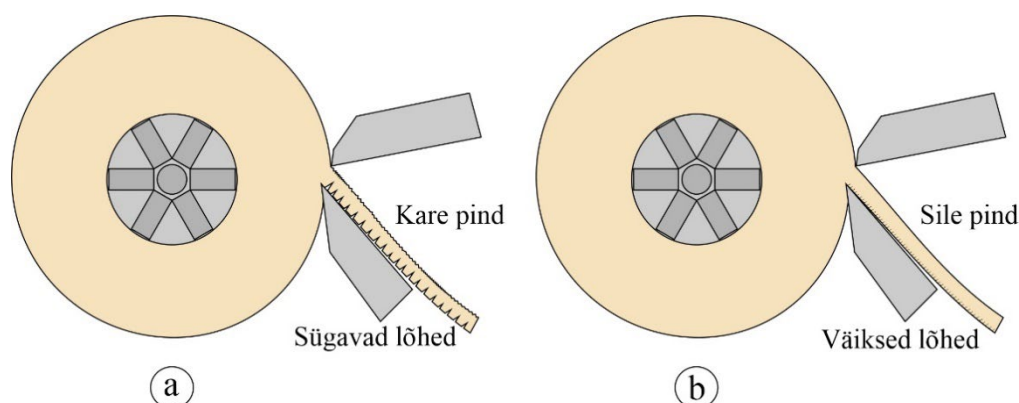


Joonis 2.53 Palkide 3D-skaneerimine ja mõõtmine.

Põhja-Euroopa kliimas talveoludes külmunud palgid või palgikimbud sulatatakse enne leotamist üles, töödeldes neid kaetud ja soojendatud konditsioneerimistiikides. Jäätunud puidu sulatamise etapis ei tohi veetemperatuur ületada 5–7 °C, muidu võivad palgi otsad lõheneda. On ka protsesse, kus konditsioneerimist ei kasutata. Palgi sisetemperatuuri tõstmine hüdrotermotöötlemise teel parandab treimise ja treispoon kvaliteeti. Spooni tootmine hõõveldamise teel nõuab ka pakkude hüdrotermotöötlemist, milleks tihti kasutatakse töötlemist kuuma auruga. Puidu plastifitseerimist on võimalik saavutada puidu leotamisega kõrgel temperatuuril piisavalt pika aja, 24–48 h jooksul, et paku sisetemperatuur tõuseks 30–40 °C. Palgi hüdrotermotöötlemisel on suur mõju spooni treimisprotsessile ja treispoon omadustele:

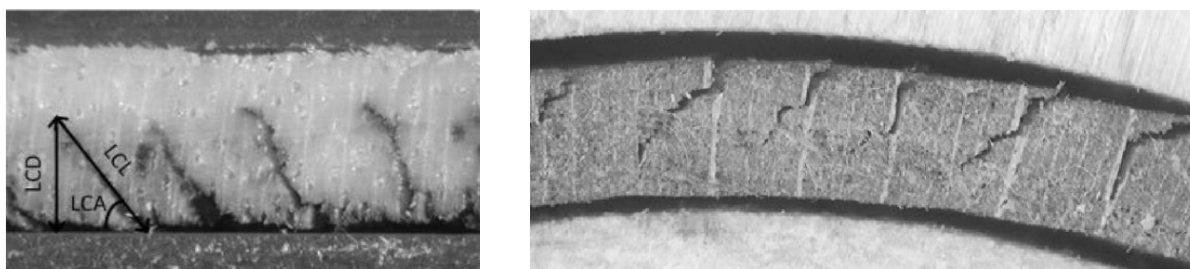
- hüdrotermiliselt töödeldud puit on elastsem ja treispoon ei murdu treimisel;
- spooni pind on siledam, mis vähendab liimi tarbimist ja valmistoote lihvimise vajadust (vt joonis 2.55);
- vähenevad ka treilõhed spoonilindi alumisel poolel, mistõttu on liimikulu väiksem (vt joonis 2.55);
- tugevam spoon, vähem lõhenemist, parem käsitleda tootmisprotsessis;
- lõikejõud on treimisel väiksemad, sest oksakohad on pehmemad, lõiketera kestab kauem;
- esineb vähem paku väljaviskamist spindlite vahelt;

- spooni väljatulek on suurem, väike treisüdamik;
- võimaldab suurendada treimiskiirust;
- võimaldab optimaalselt seadistada spooni treimisparameetreid, vähendada treilõhede teket ja suurendada spooni ristõmbetugevust;
- vähendab vaigusisaldust tänu kõrgele leotustemperatuurile ($> 80^{\circ}\text{C}$)
- vähendab praagi kogust treimisel.



Joonis 2.54 Palgi leotuse mõju spooni omadustele.

Treilõhesid (*lathe cheks*) hinnatakse treilõhede sügavuse LCD (*lathe check depth*), treilõhede pikkuse LCL (*lathe check length*) ja treilõhede nurga LCA (*lathe check angle*) järgi määratud spoonipinna suhtes (joonis 2.55).



Joonis 2.55 Treilõhed kasespoonis. LCD – treilõhe sügavus; LCL – treilõhe pikkus; LCA – treilõhe nurk, määratud spooni pinna järgi. Foto: Denaud jt.

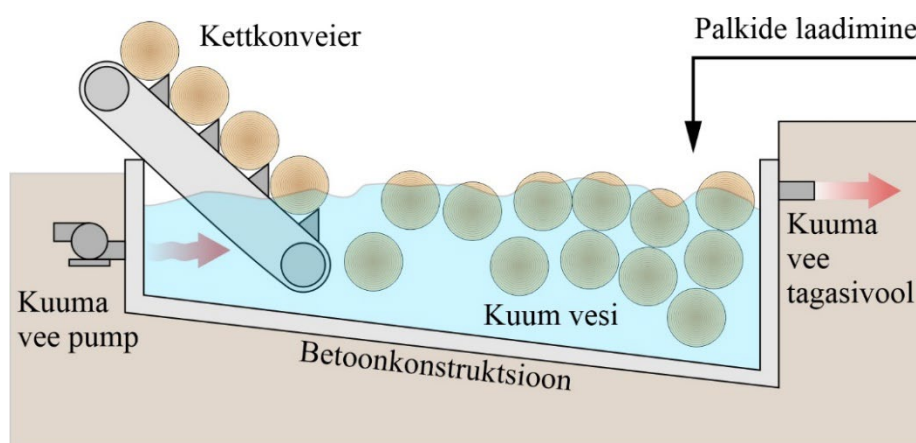
Palkide leotamine soojas vees

Spoon- ja vineeritööstuses töödeldakse palke enne lõiketöötlemist hüdrotermiliselt ehk leotatakse vees toatemperatuurist kõrgemal temperatuuril. Treispoonide tootmiseks vajaliku palkide leotamise eesmärk on puidu plastifitseerimine sisetemperatuuri tõstmise teel. Puidu plastifitseerimine (sh oksakohtade pehmemaks muutmine) on vajalik selleks, et oleks võimalik

spooni treida või hõõveldada. Hüdrotermotöödeldud pakust treitud spoon jääb pärast treimist või hõõveldamist ühtlase paksusega, sile, väheste treilõhedega ja seetõttu piisavalt tugev käitlemiseks tootmisprotsessil. Kasutusel on mitmesugused palkide hüdrotermotöötlemise meetodid: leotamine soojas vees, otsene auruga kuumutamine, kaudne auruga kuumutamine. Põhjamaades kasutatakse treispoonide tootmisel palkide leotamisel veetemperatuuri üle 40 °C, kuid erijuhtudel, näiteks õhukest 0,2–1,0 mm paksust hõõvelspooni tootvates tehastes, võib leotustemperatuur olla kuni 85 °C, viimasel juhul tuleb järgida ohutuse erinõudeid. Tüüpiline palkide leotustemperatuur Põhjamaades on kase puhul 40–50 °C ja okaspuupalkidel 40–55 °C, leotusaeg on 24–48 h. Vees leotamisel imab puit vett ja pundub rakuseina küllastuspiirini 30% ja puidu niiskuse suurenemisel üle 30% täituvad veega ka rakuõõned, mis muudab puidu elastsemaks ja plastsemaks. Leotusbasseinis oleva vee kõrgem temperatuur suurendab puidu plastsust veelgi, pehmemdades ligniini, mis on looduslik sideaine puidu rakuseinas ja vahetplaadis (joonis 1.2) ja see teeb treimise lihtsamaks.

Puidu leotamine kõrgemal temperatuuril võib põhjustada keemilisi reaktsioone puidus, mistõttu ekstraktiivained võivad näiteks kase puhul muuta puidu värvitooni kollasemaks või punakamaks. Eriti oluline on ühtlane värvitoon hõõvelspooni tootmisel, mida kasutatakse mööbliplaatide pealistamisel. Niiskuse ja soojuse pikisuunaline levimine puidus on umbes kolm korda kiirem kui ristisuunaline, mis omakorda põhjustab pakkude ja toorikute otste lõhenemist.

Põhjamaade vineeritehastes toimub palkide leotamine suurtes katusega kaetud betoonist ujupalkidega basseinides (joonis 2.56). Sellise meetodi puhul vajavad palgid pealtpoolt vihmutamist (joonis 2.57), et palgid pealtpoolt veepinda ära ei kuivaks.

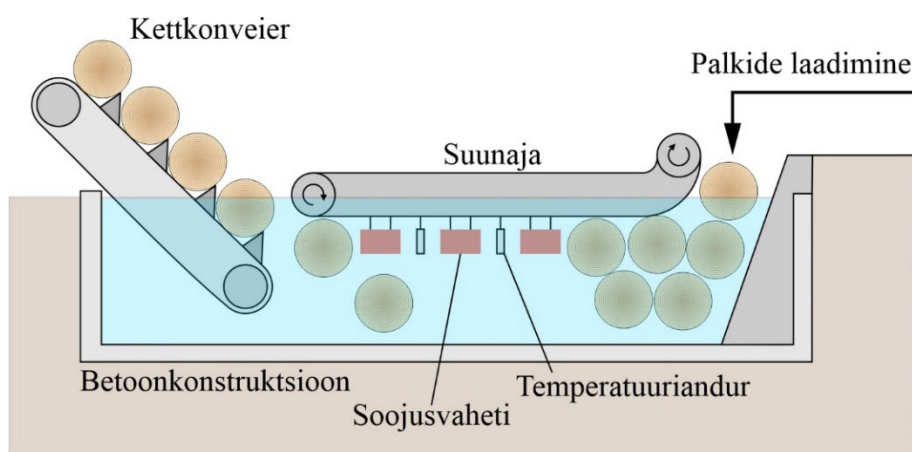


Joonis 2.56 Ujuvpalkidega bassein, kuhu palgid sisestatakse kimpudena või eraldi.



Joonis 2.57 Palkide vihmutamine ujuvpalkidega basseinis. Foto: Raute OYj

Teise lahendusena kasutatakse basseine, kus palgid ei uju, vaid on raskusega vee alla vajutatud (joonis 2.58), mistõttu ei ole neid vaja vihmutada.



Joonis 2.58 Vee alla surutud palkidega bassein.

Seda meetodit kasutatakse näiteks hõövelspooni tootmisel ning väga suure diameetriga palkide leotamisel.

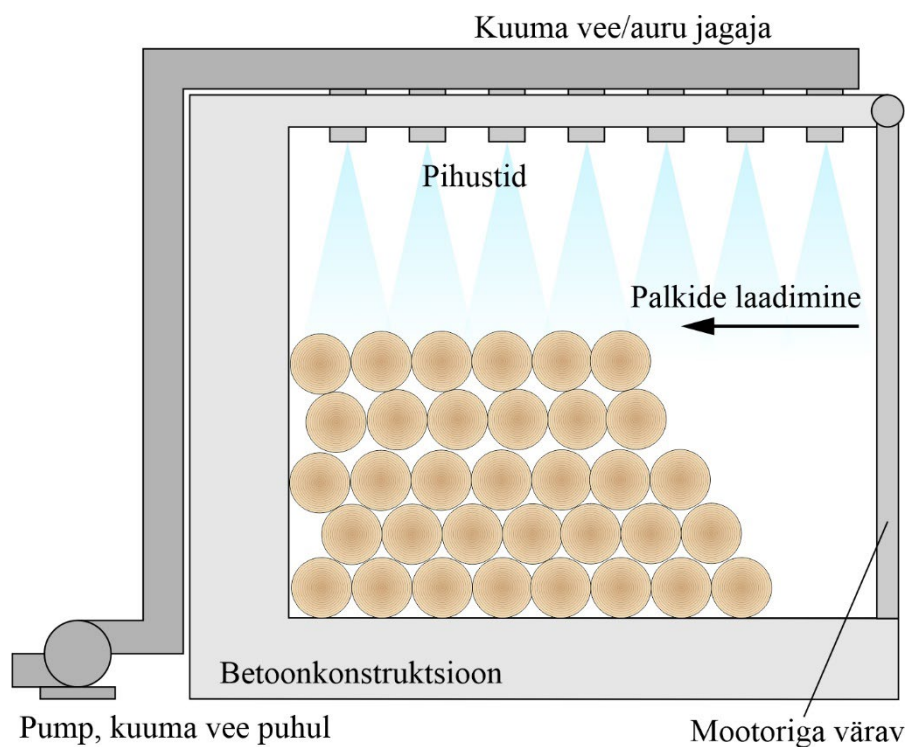
Palgihaaratsiga frontaallaadur transpordib palgilaost palgid leotusbasseini juurde, kus enne basseini sisestamist köidetakse haaratsite vahel olevad palgid köitega kimpudesse. Palgid sisestatakse basseini kimpudena, mida leotamise ajal lahti ei tehta. Leotusbasseini pidev täitmine ja täis hoidmine tagab tootmisprogrammis nõutavate parameetritega tooraine (puiduliik, palgi läbimõõt, pikkus, kvaliteet) ja selle töötlemiseks piisava leotusaja ning palgikimpude pideva liikumise läbi basseini. Palkide kimbud liiguvad leotusbasseinis sellel põhimõttel, et esimesena sisse pandud palgid võetaks esimestena ka välja (joonis 2.56), et palkide leotusaeg

püsiks normi piires. Palkide kimbud avatakse peale basseinist väljavõtmist, mille järel nad liiguvad koorimisele. Koorimata palkide leotamine takistab värvimuutuste tekkimist puidus ja lihtsustab koorimist. Koorimata palkide leotamise puudusteks on soojuse aeglasem kandumine puitu, mis nõuab mõnevõrra pikemat leotusaega ja basseini puhastamist koorejääkide eemaldamiseks.

Kooritud palke saab sõltuvalt puiduliigist leotada eraldi basseinis. Enne leotamist võib palke järgata ka vineeripakkudeks. Kooritud palkide leotamise eeliseks on lühem ooteaeg basseini ja treimise vahel (ei ole vaja enam koorida), mis hoiab palkide temperatuuri paremini enne treimist. Lisaks ka lühem palkide leotusaeg, kuna soojus kandub kooritud puitu kiiremini. Teised eelised on veel ka kuiva koore suurem energiasisaldus kütusena kasutamisel ning vähenenud vajadus leotusbasseini ja selle vee puhastamiseks. Kooritud palkide sortimine läbimõõdu ja kvaliteedi alusel on lihtsam kui koorimata palkidel. Samas on probleemiks kooritud palkide külmunud otste lõhenemine ja kimpudest lahti pääsenud palgid kipuvad basseini põhja vajuma.

Palkide aurutus

Palkide aurutus on võimalik otsese või kaudse aurukütte abil või veega piserdamise ja aurukütte kombinatsiooniga. Pakkude aurutamine toimub veeaurus või niisutatuna veeauru ja vee seguga (joonis 2.59). Sobib rasktöödeldavatele puiduliikidele nagu tammele, pöögile ja keerdokkalisel männile. Näiteks täidetakse aurukambreid palkide laadimisega vankritele, mis seejärel frontaallaaduriga kambrisse sisse surutakse. Kuumaürtöötlemine viiakse läbi kõrgematel temperatuuridel küllastunud veeauruga, vähendades leotusaega. Eesmärgiks on paku sisetemperatuuri tõstmine kasepalgis 50–60 °C. Palkide/pakkude töötlemiseaeg kuuma auruga on talvel 14 h ja suvel 7 h. Näiteks 250 mm läbimõõduga kasepalgi temperatuur tõuseb auru temperatuuril 75 °C 14 tunni jooksul kuni 50 °C. Saavutatakse optimaalne spooni kvaliteet (tõmbetugevus, ühtlus ja paksus). Aurukambrid on suhteliselt lihtsad seadmed ja neid saab kiiresti paigaldada. Aurutuskambri palgivankrite optimaalseks täitmiseks on vaja standardpikkusega palke või pakke (joonis 2.60). Aurutusprotsess on kiire, kuna palgikimpude valmistamine või avamine pole vajalik, veeringlust aurutamisel on lihtne ja odav läbi viia ning võrreldes leotusbasseiniga on protsessil tekkivate jäätmete kogus väike.



Joonis 2.59 Palkide aurutus kuuma veeauruga.



Joonis 2.60 Palgivankrid aurukambris. Foto: Windsor Engineering Group Ltd

2.2.2 Palkide koorimine

Leotatud või aurutatud palgid transporditakse edasi konveierile nende koorimiseks ja/või pakkudeks järkamiseks. Palkide koorimine on vajalik palgi pinnalt mustuse (muld, liiv) eraldamiseks, et see ei kahjustaks treiterasid. Puukoor lõiketerasid ei kahjusta. Palgi koorimisel rootorkoorimismasinaga on oluline eemaldada puukoor ja mitte tekitada sügavaid kriimustusi,

sest palgi pindmisest kihist toodetakse kõrge kvaliteediga pinnaspoonid. Rootorkoorimiseadme töökiirus on ühe rootoriga 120–130 m/s ja kahe rootoriga 140–150 m/s. Spooni treijääke, sh pakuotsi, saab kasutada tselluloosi tootmisel. Puukoort kasutatakse vineeritehase katlamajas energia tootmiseks, mis leiab kasutust leotusbasseini vee kuumutamisel ja spooni kuivatamisel. Leotatud ja kooritud kasepakud järgatakse ja suunatakse konveierite abil edasi spooni treiliinile. Palkide koorimisprotsessi kirjeldus on esitatud alapeatükis 2.2.

2.2.3 Palkide järkamine

Palgid tuleb järgata enne treimist pakkudeks vastavalt treitava spooni pikkusele (spooni mõõdetakse alati piki puidukiudu). Enamlevinud palkide pikkused vineeritehastes on 2,7 m; 3,0 m; 3,1 m; 3,2 m; 3,3 m; 3,4 m ja 4,8 m. Põhjamaade vineeritehastes kasutatavad vineeripakkude pikkused on 1300 mm, 1600 mm ja 2600 mm. Paku pikkused 1350 mm ja 2650 mm on eelkõige kasutusel okaspuu puhul ja kasevineeritehastes on kasutusel 1600 mm. Erineva pikkusega kasepalkide järkamine vineeripakkudeks on toodud tabelis 2.2.

Tabel 2.2 Vineeripakkude väljatulek erineva pikkusega kasepalkidest.

Kasepalgi pikkus (+0,06 m ülemõõtu), m	Vineeripakkude arv järkamisel	Vineeripakk 1tk, mm	Vineeripakk 2tk, mm	Vineeripakk 3tk, mm
2,7	2	1300–1350	1300–1350	
3,0	2	1500	1500	
3,1	2	1300	1700	
3,3	2	1720	1250–1300	
3,4	2	1700	1700	
4,8	3	1600	1600	1600

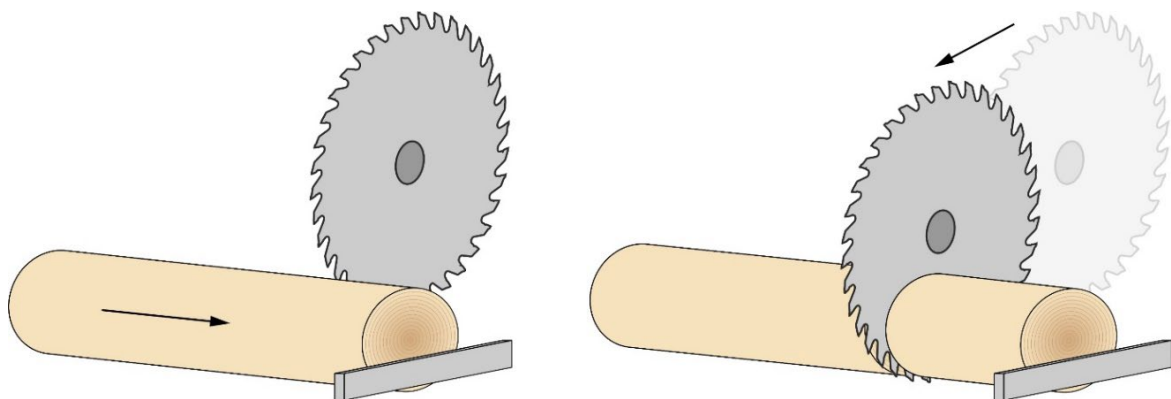
Palgi pakkudeks järkamisel on eesmärgiks treispoonid koguse ja kvaliteedi optimeerimine, tooraine kulu minimeerimine järkamisel, paku pikkuse vastavus spooni pikkusele, spooni kvaliteedi vastavus konkreetsele tellimusele. Palgi järkamise optimeerimiseks on välja töötatud arvutipõhised meetodid, kus enne järkamist mõõdetakse skanneriga palgi läbimõõt, pikkus ja koonilisus. Andmeid töödeldakse arvutis, mis edastab igale palgile parima võimaliku järkamiskava. Palkide järkamise puhul tuleb arvestada, et

- kvaliteetse pinnaspoonide saamise seisukohalt on kase- kui okaspuupaku puhul kõige väärtuslikum selle välimine osa. Palgi pakkudeks järkamisel tuleb silmas pidada pinnaspoonide vajadust;
- kasepalgid on puidurikete (kõverus, külmalõhed, mõlu, oksad) esinemise tõttu väga ebaühtlase kvaliteediga, mis vähendab spoonide väljatulekut ja ebaühtlase kvaliteediga kohad (suured oksad, mõlu, tulioks) tuleks võimaluse korral välja järgata. Spoonide pikkusmõõdu tagamiseks tuleb järkamisel jälgida, et vineeripakk oleks lõigatud 90° ehk risti palgi teljega.

Palgi järkamisel pakkudeks on oluline osa liini operaatori professionaalsusel, et selekteerida spoonide tootmiseks välja kvaliteedinõuetele vastavad pakud. Enamasti juhib palkide järkamise eest vastutav operaator palgitöötusliini tööd alates leotusbasseinist väljatõstmisest kuni treipingini välja. Tema ülesandeks on ka saepuru- ja jäätmekonveierite ning trummelpurustaja juhtimine.

Palk lõigatakse nõutavate treimistoorikute (vineeripakkude) pikkusteks automaatselt töötavate pendelsaagide või kettsaagidega. Palk viiakse valts- või linttransportööriga lõikelaua piiraja vastu, seejärel toimub järkamine kettsaaga pendelliikumise (joonis 2.61). Saaketta läbimõõt on tavaliselt üle 1500 mm, sel juhul suurim paku läbimõõt on umbes 600 mm. Üle 800 mm läbimõõduga pakud saetakse kettsaagidega. Saagimistsükkel kestab umbes 6 s ehk kiirusega 6–10 vineeripakku minutis. Kaldus vineeripaku otsad lõigatakse sirgeks, mis on vajalik selleks, et tagada spoonide pikkusmõõt, kui treimisel ei kasutata küljenugasid spoonimati servade sirgeks lõikamiseks. Edasi liiguvad valmis vineeripakud mööda pikikonveierit spoonitreimisliinile.

Palkide järkamisel on oluline õige lõikamisnurk, spoonipakkude õige pikkus, spoonipakk ei tohi olla lühem, minimaalsed tootmisjäägid.

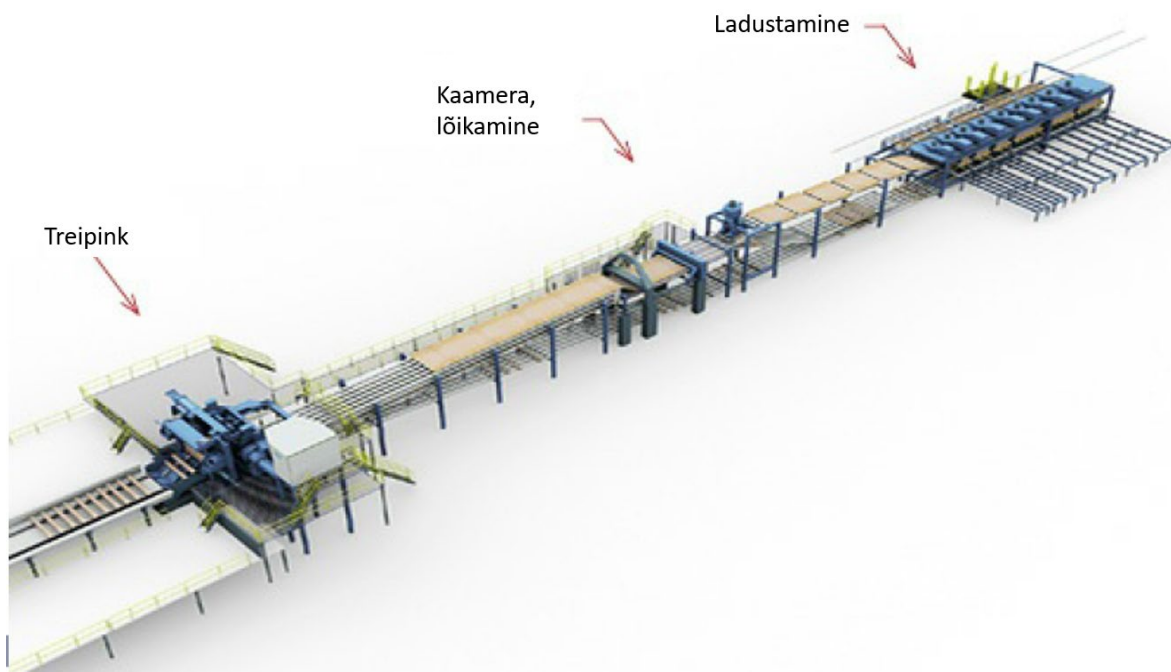


Joonis 2.61 Palkide spoonitoorikuteks järkamine pendelsaega.

Palgi vastuvõtmine, ladustamine, aurutamine, koorimine ja järkamine moodustavad vineeritootmises ühtse eeltöötlusprotsessi, mis mõjutab suuresti spooni ja vineeri kvaliteeti ja väljatulekut. Põhjamaade talv ja mitme puiduliigi üheaegne kasutamine tootmises seavad tegevusele erinõuded.

2.2.4 Paku tsentreerimine

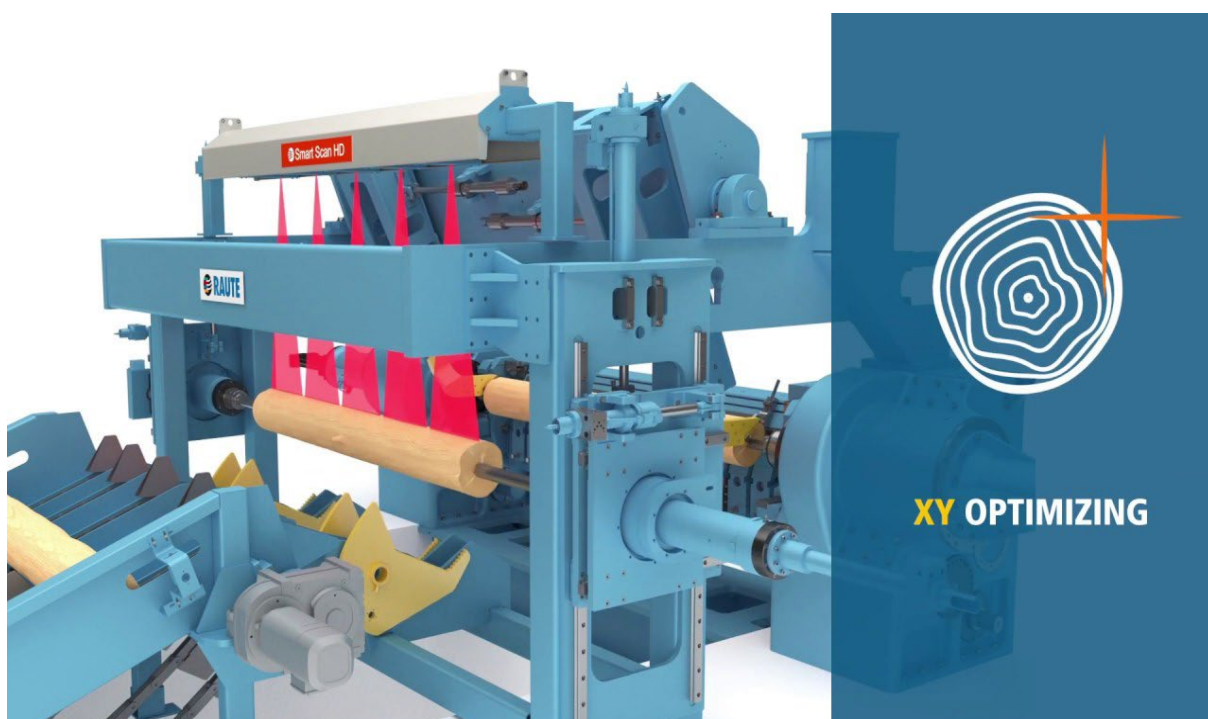
Tüüpiline spooni treimisliin koosneb X-Y-tsentreerijast, spoonitreipingist, spoonikonveieritest, spooni lõikurist, virnastajast ja väljavoolukonveieritest (joonis 2.62). Enne rullkuivatit lõigatakse spoonimatt vajalike mõõtmetega pinna- ja vahespoonideks, poolikuteks lehtedeks ja juhuslikeks ribadeks ning sorditakse nende mõõtude järgi. Võrkkuivati kasutamisel juhitakse kogu spoonimatt kuivatisse sisse. Vineeri- ja spoonliimpuidu (*laminated veneer lumber*, LVL) spoon valmistatakse spoonitreipingiga. Treipingis pööratakse vineeripakku spindlite vahel ühtlase kiirusega, samal ajal kui terakelk liigub treiteraga lähemale spindlite keskmele.



Joonis 2.62 Spoonitreiliini skeem. Foto: Raute OYj

Treimise eesmärk on saavutada võimalikult suur väljatulek toorainest ja kulutõhusus. Selleks on vajalik eelnev õige treitoriku tsentreerimine treipingi spindlite vahele. Tooriku õnnestunud tsentreerimine suurendab väärtuslike omadustega spooni (tooriku pindmise osa) osakaalu. Tsentreerimine toimub enne treimiskeskust asetatud treipingi juures oleva arvutiga juhitava automaatse X-Y-tsentreerimisese abil. Mõõdetakse ja optimeeritakse vineeripaku parim

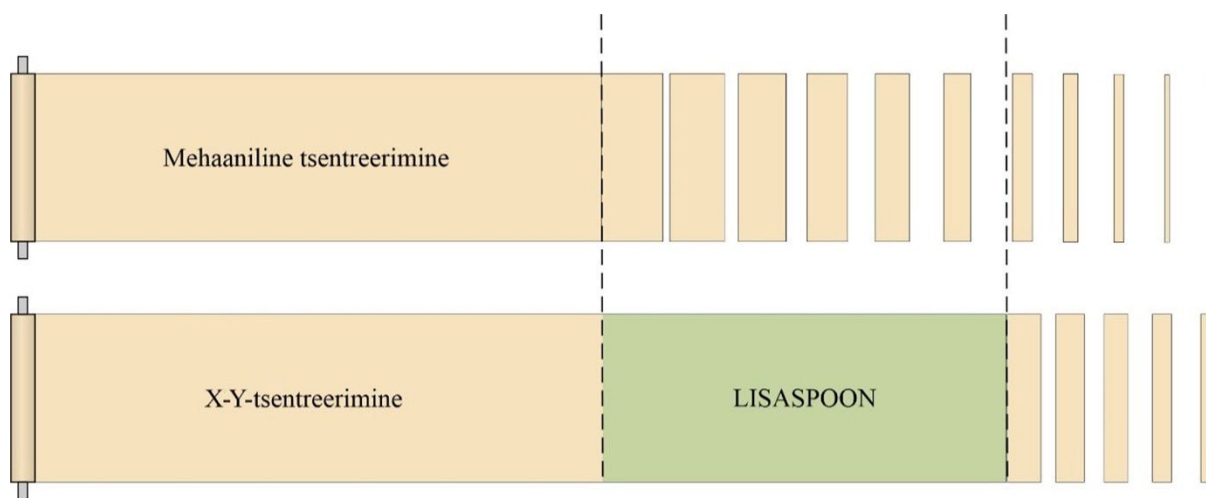
võimalik asend. Optimeeritud asendis viiakse vineeripakk ülekandehoobade abil treipingile ja treipingi spindlite vahele. Kõigepealt vineeripakk tsentreeritakse ja mõõdetakse selle läbimõõt. Mõõtmise põhjal haaravad tsentreerimisseadme spindlid pakust võimalikult tsentri lähedalt kinni. Tsentreerimisseadme spindlid pööravad pakku ja paku kuju kontrollitakse laserikiirtega paku ümardamise ajal (joonis 2.63). Kindlaksmääratud aja tagant võetud tooriku kujuandmeid töödeldakse arvutis, mis arvutab välja soodsaima tsentreerimisasendi. X-Y-tsentreerimisseade fikseerib selle positsiooni ja söötab tsentreerimisseadme käppadega paku spoonitreipingi spindlite vahele. Eesmärgiks on optimeerida spooniformaadi väljatulekut, mille määrab suurim võimalik silinder, mida saab virtuaalselt paku sisse paigutada. Vajalikud korrigeerivad liigutused arvutatakse mõõteandmete järgi, misjärel nüüd arvutatud asendis asuv pakk tõstetakse tsentreerimisseadme käppadega treipingi spindlite vahele.



Joonis 2.63 Raute Smart Scan X-Y- tsentreerimisseade koos treipingiga. Foto: Raute OYj

Tsentreerimistäpsus sõltub peamiselt laadimissõlme tehnilisest seisukorrast, laserite mõõtmise täpsusest ja toorainest. Paku tsentreerimine on väga oluline, kui treitakse väikese läbimõõduga pakke. Ilma pakku tsentreerimata võib tootmises kaotsi minna 50% ribaspoonist. Joonisel 2.64 on toodud treitud spooni väljatuleku erinevus õigesti tsentreeritud ja tsentreerimata pakust. Tsentreerimata pakust treitakse enamik kallist kvaliteetsest pinnaspoonist ribadena, mis vähendavad väljatulekut. Tsentreeritud pakust treimisel tekib aga rohkem kvaliteetset pinnaspoon

täismõõdus lehtedena. Mehaanilised kolmepunktilised tsentreerimisseadmed olid kasutusel 1980. aastate lõpust. Moodsates vineeritehastes kasutatakse automaatseid X-Y-tsentreerijaid. Varasemates laserskaneerimisega tsentreerimisseadmetes kasutati *ca* 300 mm laiuseid punktlasereid, millega mõõdeti paku ligikaudne välisprofiil. Kardinlaserid mõõtsid pakku pikisuunas ühe tolli (25 mm) täpsusega. Praegu on kasutusel (kõrglahutusega) HD-laserid, mille mõõtepunktid on 3 mm vahedega. Nendel laseritel on sadu tuhandeid mõõtepunkte, mis annavad pakust reaalse 3D-pildi. Tänu saadud 3D-pildile on terakelgu liikumistäpsus märkimisväärselt parandanud spooni väljatulekut, kuna eduka paku tsentreerimise tolerants on alla 2 mm.

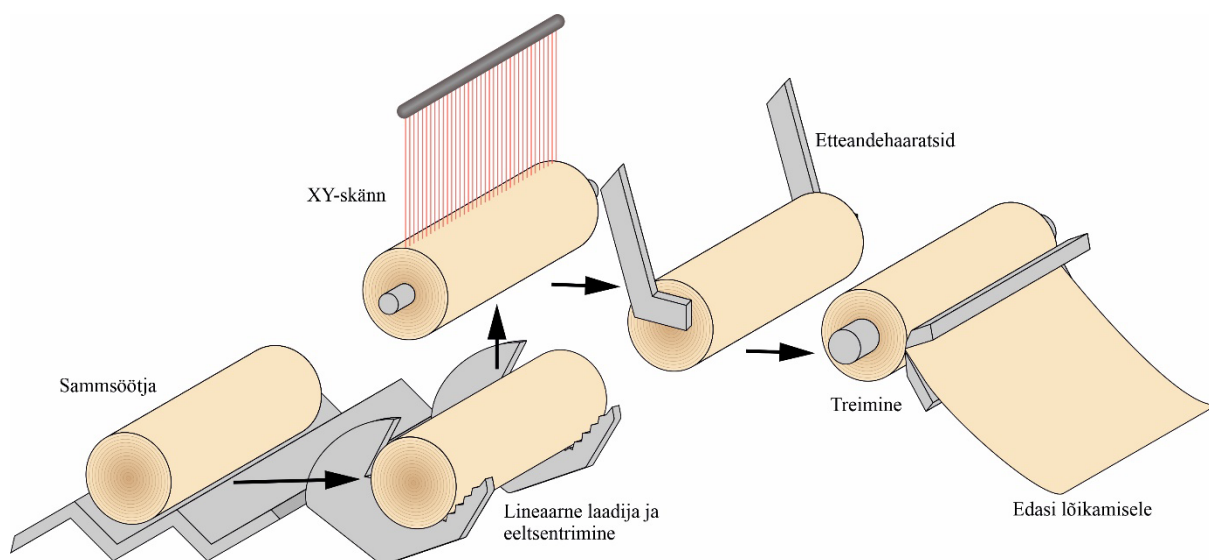


Joonis 2.64 Paku mehaanilise tsentreerimise ja X-Y-tsentreerimise mõju spooni väljatulekule.

Tänu täpsemale mõõtmisele naaseb treipingi terakelk pärast paku treimist täpselt õigesse asendisse (mitte liiga kaugelt), mille määrab järgmine treitav pakk. See tähendab, et treipingi spindlite vahel algab kohe paku treimine, kuna puudub ooteaeg terakelgu kokkupuutest paku pinnaga. Kui terakelk ei liigu piisavalt kaugelt, võib see pakku sisse sõita. Uuemad tsentreerijad on varustatud automaatse kalibreerimisega, mis võimaldab määrata korrektsioonikonstandid erinevate paku läbimõõduklasside jaoks. Uuringud näitavad, et tsentreerimisseadme automaatse kalibreerimise tulemusel paraneb spooni väljatulek *ca* 1%.

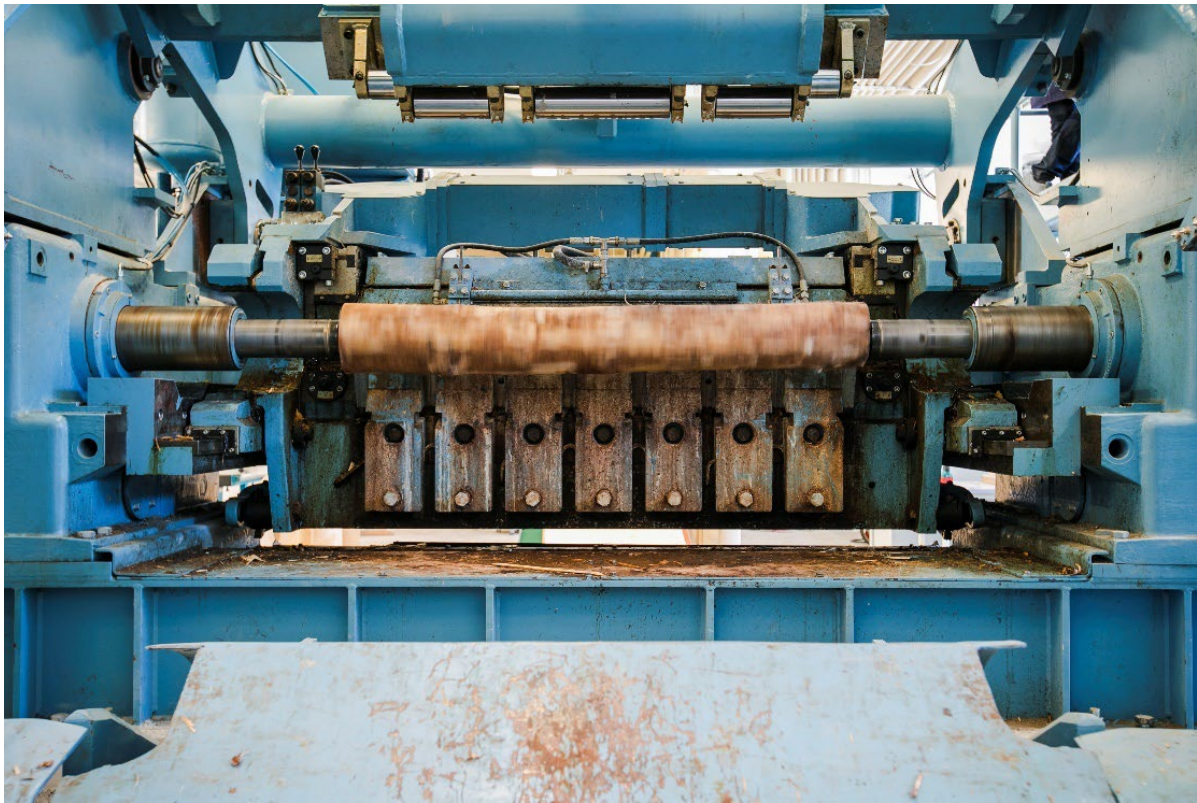
2.2.5 Spooni treimine

Levinuim spooni valmistamise meetod on treimine, mille puhul spoon eraldatakse pöörlevast pakust spiraalselt. Sellisel juhul jookseb spoon puu aastarõngaste suunas. Treimine toimub tooriku suunas liikuvale terakelgule kinnitatud lõiketera ja vastutera abil. Joonisel 2.65 on toodud tööetapid vineeripaku treimisel, mis sisaldab mitut samaaegset funktsiooni. Seeläbi on võimalik vineeripaku treimisaega lühendada. Spoonitreipink (joonis 2.66) on peamine vineeri- ja LVL-tööstuse protsessides kasutatav masin. Spindlitega spoonitreipingis toimub vineeripaku pöörlemine spindlite vahele kinnitatuna ja treimisel liigub terakelk koos lõike- ja vastuteraga paku südamikule suunas. Võimalik on kasutada ka spindlivabasid treipinke. Spindlivaba treipinki kasutades saab paku treida väiksema läbimõõduga südamikuni kui spindlitega treipinkide korral.



Joonis 2.65 Spoonitreimise etapid spoonitreipingis.

Spindlivabad treipingid parandavad seeläbi spooni väljatulekut. Võimalik on saavutada järeljääva paku südamiku läbimõõt kuni 33 mm, spindlitega treipinkide paku südamiku jäägi läbimõõt on aga vähemalt 55 mm.



Joonis 2.66 Vineeritööstuses kasutatav spoonitreipink: pakk pöörleb spindlite vahel.

Kui pakk on tsentreeritud, tõstetakse see tsentreerimisseadme etteandekäppadega treipingi spindlite vahele ja treimine saab toimuda paku pöörlema paneku järel (joonised 2.67 ja 2.68). Esimeses etapis eraldatakse pakult ümardamise käigus löiketeraga kjuvead ja vigastatud osa puidust (joonis 2.69). Ümarduskiirus on sageli suurem kui treimiskiirus ja ümardatud spoon on paksem kui treispoon. Ümarduskiirus on tavaliselt 300–350 m/min ja treimiskiirus 250–300 m/min. Paku ümardamisel tekkiv puitmaterjal kukub transportöörlindile, mis viib selle hakkurisse, tavaliselt tselluloosi tooraineaks. Ümardamist ei jätkata lõpliku silindrilise paku kjuu saavutamiseni, vaid vineeri tootmiseks mineva spooni võtmise algab etapis, kus jooksev spoon on teatud määral juba ühtlane ning on võimalik välja löigata terveid spoonilehti ja -ribasid. Selle etapi kindlaksmääramiseks võib kasutada X-Y-teljelist tsentreerimist, mis võimaldab protsessi automatiseerida.

Järgmises etapis toimub spooni treimine, kus löiketera löikab spooni paku pinnalt ning spoon pressitakse löike- ja vastutera vahelisest praost läbi (joonis 2.70). Spoon treitakse pakust spiraalselt, mille tulemusel tekib spooni ülemisele pinnale survepingeid ja alumisele pinnale tõmbepingeid, mis väljenduvad alumise pinna rohkete lõhedena (joonis 2.54).



Joonis 2.67 Kooritud pakkude liikumine spoonitreipinki.



Joonis 2.68 Paku tõstmine etteandekäppadega treipingi spindlite vahele.

Vastutera kasutamine vähendab lõhenemist ja spooni surveastmel on oluline mõju kvaliteetse spooni valmistamise seisukohalt. Terakelgule kinnitatud lõike- ja vastutera liigub iga paku pöörde ajal edasi spooni paksusega võrdse vahemaa. Lõiketera ja vastutera vahe peab olema spooni paksusest väikesem, et tagada spooni piisav kokku surumine ehk surveaste ja kvaliteetne spoonipind. Kasutusel on fikseeritud vastutera (kase puhul) ja pöörlev vastutera (okaspuidu puhul). Vastutera kinnitub liigenditega teratala külge ning tõstetakse paku ümardamise etapis üles ja lastakse päris spooni treimise alguses tööasendisse tagasi.



Joonis 2.69 Paku ümardamine enne treimist.

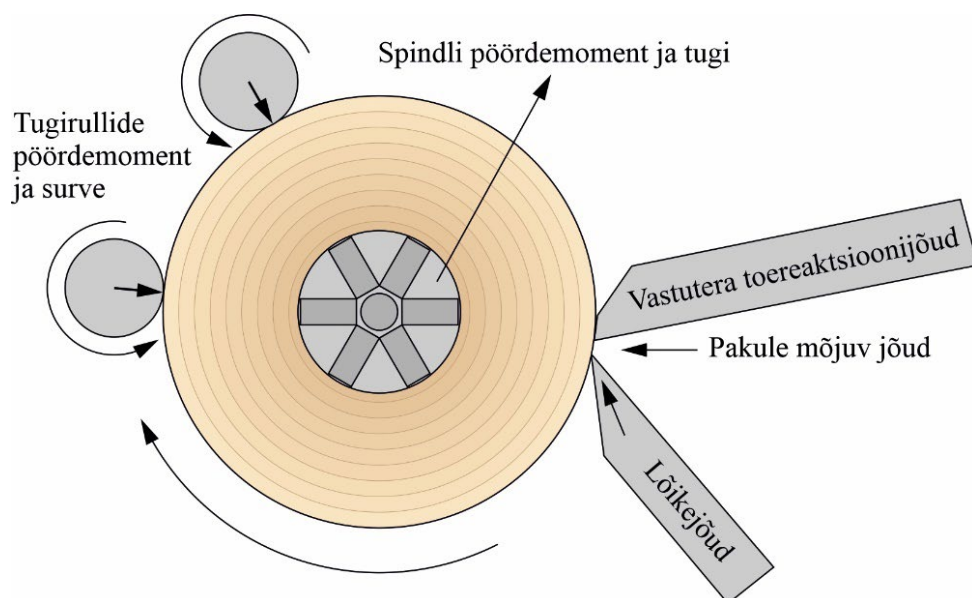


Joonis 2.70 Paku treimine.

Lõiketera ülesanne on lõigata puitu tangentsiaalsuunaliselt, eraldades selleks puidukiud üksteisest või lõigates puidu kiud läbi, tera kiiljas osa juhib lõigatud spooni pakust eemale ja treipingist välja.

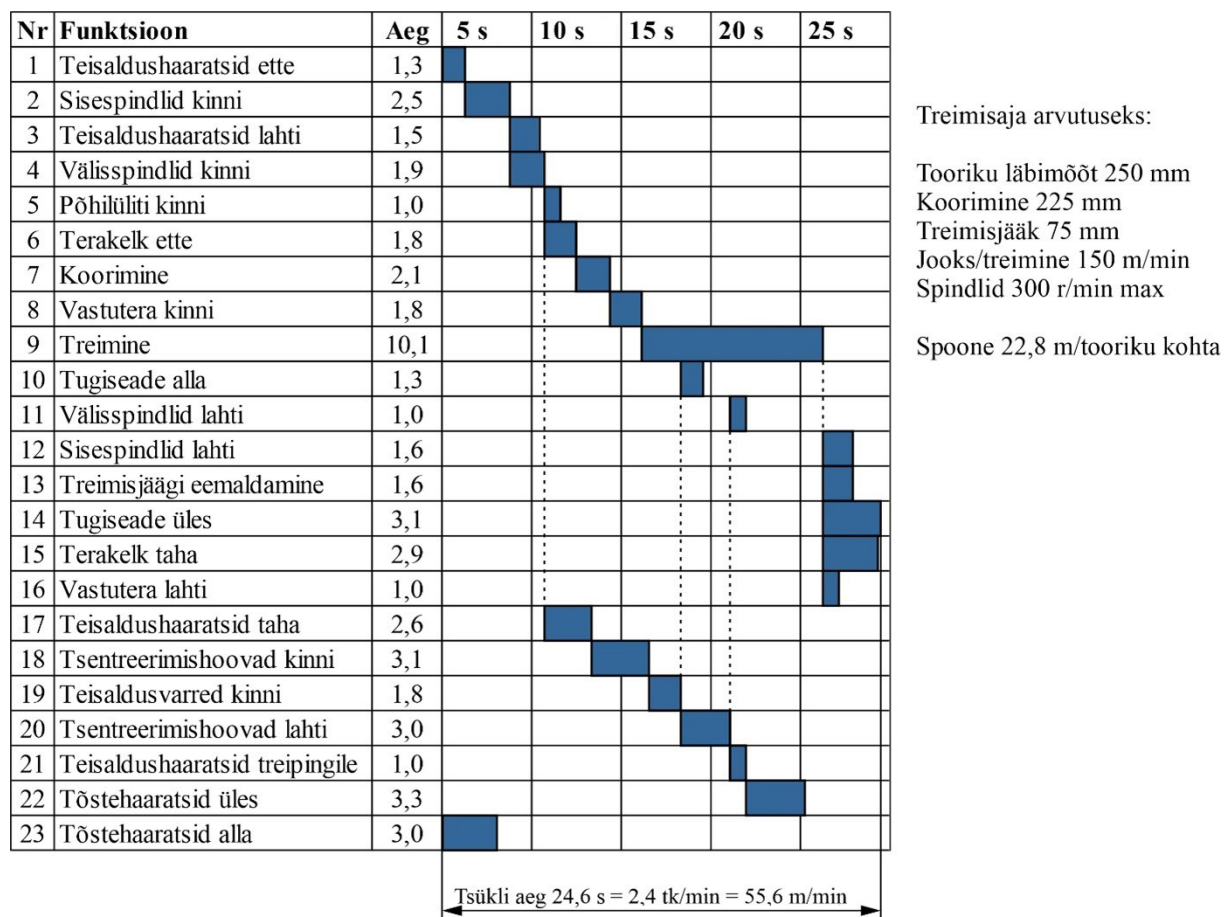
Vastutera ülesanne on säilitada spooni eraldumine pakust lõikamise teel, vältida spooni rebenemist.

Treimisel mõjuvad lõike- ja vastutera koostööl toorikule suunatud jõud, mis üritavad toorikut spindlite vahelt välja tõugata, seda takistatakse tugirullikutega (joonis 2.71). Treimise ajal liiguvad ülalt alla teisele poole pakku tugirullid, mis toetavad pakku treimisprotsessi vältel ja hoiavad seda spindlite keskel. Tugirullidel olevad nukid aitavad kaasa treimisest järele jäänud südamiku väljalangemisele spindlite vahelt. Terakelgu liikumise täpsus on 0,01 mm. Treimise tööetapid ja tööaeg on toodud joonisel 2.72. Pakku hoiavad treimise ajal kinni treipingi kahe- või kolmekordsed spindlid, mis töötavad hüdrauliliselt. Treimise algetapis surutakse paku tsentrisse välimised suurema läbimõõduga spindlid, kuna lõikejõust tekkiv moment on kõige suurem treimise alustamisel. Paku diameetri vähenemisel ja tsentrile lähenemisel tõmmatakse välimised spindlid sisse ja treimist jätkatakse väiksema läbimõõduga sisemiste spindlitega, et viia mittekasutatava paku südamiku läbimõõt võimalikult väikeseks. Treimist on võimalik selliselt jätkata kuni vähima võimaliku läbimõõduni ja parandada seega oluliselt spooni väljatulekut. Lühemate kasepakkude treimiseks kasutatakse kahekordseid spindleid (joonis 1.91).



Joonis 2.71 Spoonitreimisel pakule mõjuvad jõud.

Pikemate kase- või okaspuupakkude jaoks kasutatakse kolmekordseid spindleid. Kui pakk on sisemise spindli läbimõõduni treitud, avanevad spindlid ja ülejäänud pakusüdamik langeb konveierile. Samal ajal tõmbub terakelk tagasi ja spindlid võtavad uue paku. Treimise lõpus tõuseb spindlite pöörlemissagedus tavaliselt 600–1000 min⁻¹.

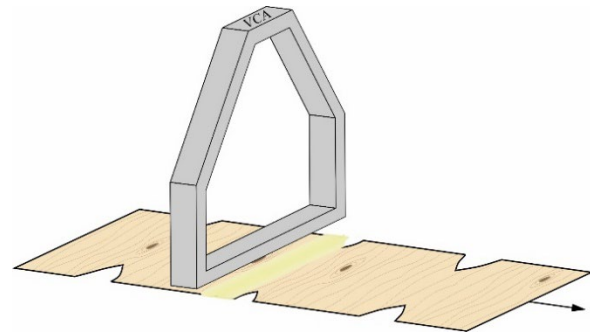


Joonis 2.72 Treimise etapid ja tööaeg.

Spoonitreiliini juurde kuulub ka spoonilõikur. Võrkuivatite kasutamisel liigub spoon pärast treimist otse kuivatisse terve spoonilindina. Kui kasutatakse aga rullkuivateid, siis liigub spoon kohe lõikamisele. Enne lõikurit mõõdetakse spoonimati paksust laseritega, mis skaneerib kogu spoonimati paksusprofiili ja kvaliteedivead, näiteks erinevad lõhed ja oksakohad (joonised 2.73 ja 2.74). Spooni kvaliteedi hindamiseks lehtedeks lõikamisel on välja töötatud värvikaamera-tehnika, et tuvastada ja analüüsida spoonimatil isegi kõige väiksemaid puidurikkeid ja oksti, oksauke, lõhesid, koort ja mädanikku ning töötlusdefekte (harvesteri rullikute jäljed, õliplekid).



Joonis 2.73 Spoonitreipingist spoonimati väljatulek.



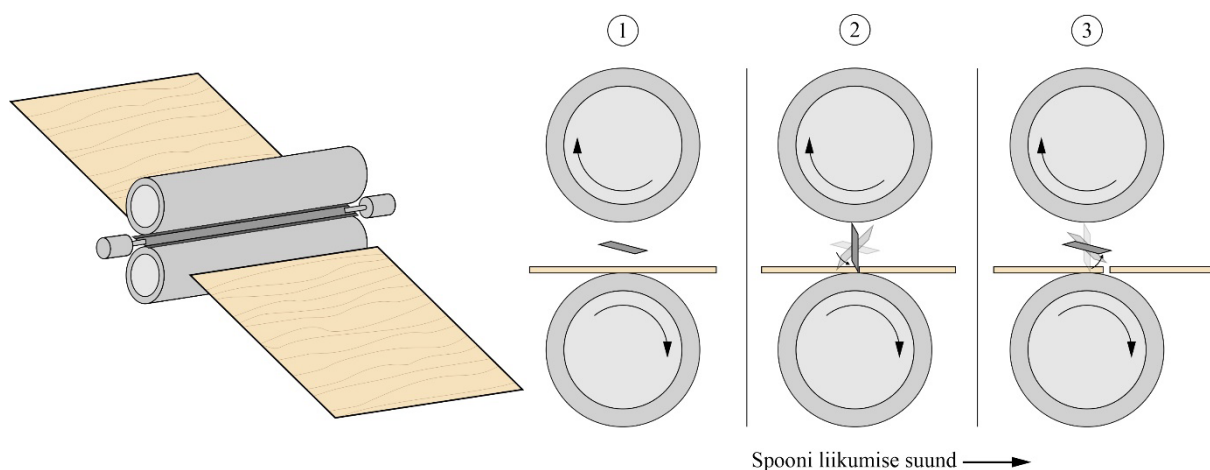
Joonis 2.74 Spoonimati kvaliteedi ja paksuse mõõtmine laserskaneerimisega.

Kasutatakse ka vanemaid pooltoonkaameraid ja fotoelementidel põhinevaid hindamissüsteeme. Analüüsitud andmete põhjal optimeerib süsteem punkte, kus spoonimatti tuleb lõigata, ning kontrollib lõikuri, jääkide purusti ja virnastajani kulgevate lintkonveierite tööd. Spoonimati lõikamine algab esiserva lõikamisest. Seejärel lõigatakse matt võimalikult laiadeks lehtedeks. Välja lõigatakse defektsed osad, mis sisaldavad lõhesid ja suuri auke. Kokku õmmeldavad vahespoonilehed lõigatakse optimeeritud laiusega lehtedeks defektide välja lõikamisel ja täislehed lõigatakse vastavalt vajalikele spoonilehe mõõtmetele. Spooni defektide automaatne tuvastamine ja lõikamine on kujutatud joonisel 2.75.



Joonis 2.75 Spooni defektide automaatne tuvastamine ja spooni formaati lõikamine. Foto: Raute OYj

Spoonimati lõikamine toimub nn pöörleva lõikuri abil (pöördgiljotiin), mis töötab elektriliselt või hüdrauliliselt. Pöördtera toimib automaatselt arvutijuhtimisega läbi värvikaamera laser-skaneerimise saadud andmete alusel. Spooni lõikamist pöördgiljotiiniga on kujutatud joonisel 2.76. Pinnaspoonid lõigatakse võimalikult laia formaati. Algasendis on tera 180° ja spoon liigub alumise rulli peal tera alla. Arvutist tuleva signaali alusel liigub vastassuunas pöörlev ülemine rull korraks alla ja pöörab lõiketera 90°, surudes spooni vastu alumist rulli ja lõigates spooni läbi. Ülemine rull läheb tagasi üles ja tera pöörduv algasendisse. Lõige on väga kiire ega põhjusta spooni nõtkumist, kuna nii rullid kui ka tera pöörlevad spooni liikumisega sama kiirusega. Vahespoonid lõigatakse kas laiadeks või ruudukujulisteks lehtedeks. Lõikamise täpsus on umbes 5 mm. Lõikamiskiirus on erinev jäätmete ja formaadi korral. Lõikekiirus on laiade lehtede puhul umbes 180 m/min ja kitsamate lehtede puhul umbes 140 m/min. Ribaspoonide lõikekiirus on väiksem. Täpse lõikamisega saab optimeerida kuivatusvõimsust ja spooni mõõtmeid, saavutamaks protsessi maksimaalset efektiivsust ja väljatulekut.



Joonis 2.76 Pöördgiljotiini tööpõhimõte: 1 – pöördgiljotiinitera asend enne lõikamist, 2 – spoonilõikamine pöördgiljotiiniteraga, 3 – lõigatud spoonileht.

Jäätmespoon heidetakse alla pneumaatiliselt juhitud nukkidega lintkonveierile ja terved spoonid suunatakse virnastamisele. Lõikuri ja virnastussõlme vahel kulgevad spoonid kolmeastmeliselt kiirendatud konveieril kiirusega kuni 250 m/min, et tekitada spoonide vahel enne virnastussõlme tühimikke.

Spooniribade vähim laius, mis sobib vahespoonide õmblemiseks, on 400 mm, kuid see võib tehastes varieeruda. Okaspuu vineeritehastes võidakse kasutusele võtta ka 300 mm laiused spooniribad. Lõigatud kitsad spooniribad suunatakse eraldi virnastamisliinile või käsitsi

virnastamiseks. Spooniribade kasutamine märjalt või kuivalt toimuval õmblemisel on tehastes erinev, sõltudes tootmisprotsessist ja tooraine hinnast.

Spoonid paksust on võimalik järk-järgult reguleerida paksuse tolerantsi piires. Näiteks märja kasespoonid 1,5 mm nimipaksuse tolerants on tavaliselt $\pm 0,05$ mm. Treimise paksust võib reguleerida, langetades seda alumise tolerantsi piiri suunas, kui järgnevad protsessid seda võimaldavad, ilma et see kahjustaks valmis vineeritahvli kvaliteeti. Olenevalt paku läbimõõdust suurendab kasespoonid nimipaksuse vähendamine 0,01 mm võrra spooni väljatulekut ühe paku kohta 15 cm. Spoonid paksust mõõdavad operaator ja kvaliteedispetsialist regulaarselt iga töövahetuse ajal ning iga kord, kui treipinki seadistatakse või treitera vahetatakse. Spoonid paksust on võimalik mõõta ka virtuaalselt. Lõplik treimiskvaliteet sõltub tera seadistustest. Operaatori kasutajaliidesest on võimalik määrata terade vahet, lõiketera tõusunurka ja tugi-rullide asendit. Liikumised toimuvad hüdrauliliselt või elektriliselt.

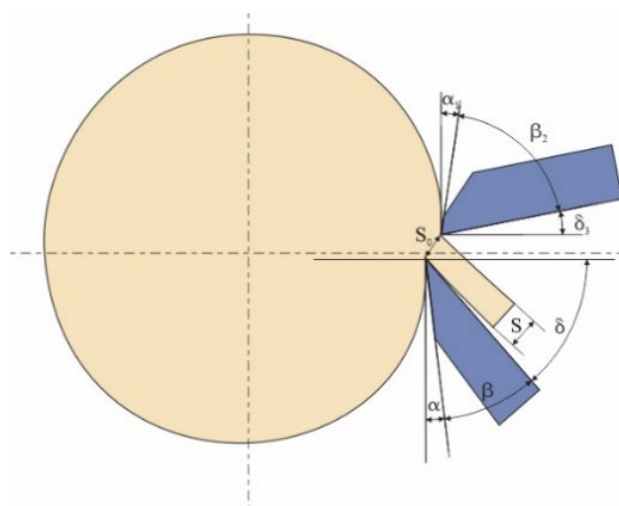
Lõiketera tõusunurka reguleeritakse vastavalt paku läbimõõdu muutumisele tehtud kõvera järgi. Seda kõverat kasutatakse lõikenurga ja surveastme reguleerimiseks. Surveastet reguleeritakse sõltuvalt puiduliigist, palkide leotusparameetritest ja treitera parameetritest. Spooni-treipingi vastutera lõikeserv on tavaliselt ümardatud. Treitera teritamisel lihvitakse kõigepealt tera tasalihvpingis õige tera kujuni ja seejärel teritatakse. Terituse viimistlemiseks tehakse mikrolihv, mis võib olla tera mõlemal poolel või ainult tera pealmisel pinnal.

Kase treimisel kasutatakse karastatud terasest terasid. Okaspuidu treimisel on kasutusel ka kiirlõiketerasest terad, mille ots on stelliidi või kõvasulamiga tugevdatud. Treiterasid saab kasutada 10 000–15 000 meetri spooni treimiseks ning tuleb pärast seda vahetada ja teritada. Vastutera ots on tavaliselt valmistatud suure kõvadusega stelliidist ja seda vahetatakse umbes kahe nädala tagant. Treitera lõikenurk on arvutatav valemiga

$$\delta = \alpha + \beta, \quad (2.1)$$

kus

δ – lõikenurk, α – lõiketera tõusunurk, β – teritusnurk.



Joonis 2.77 Spoonitreimise parameetrid.

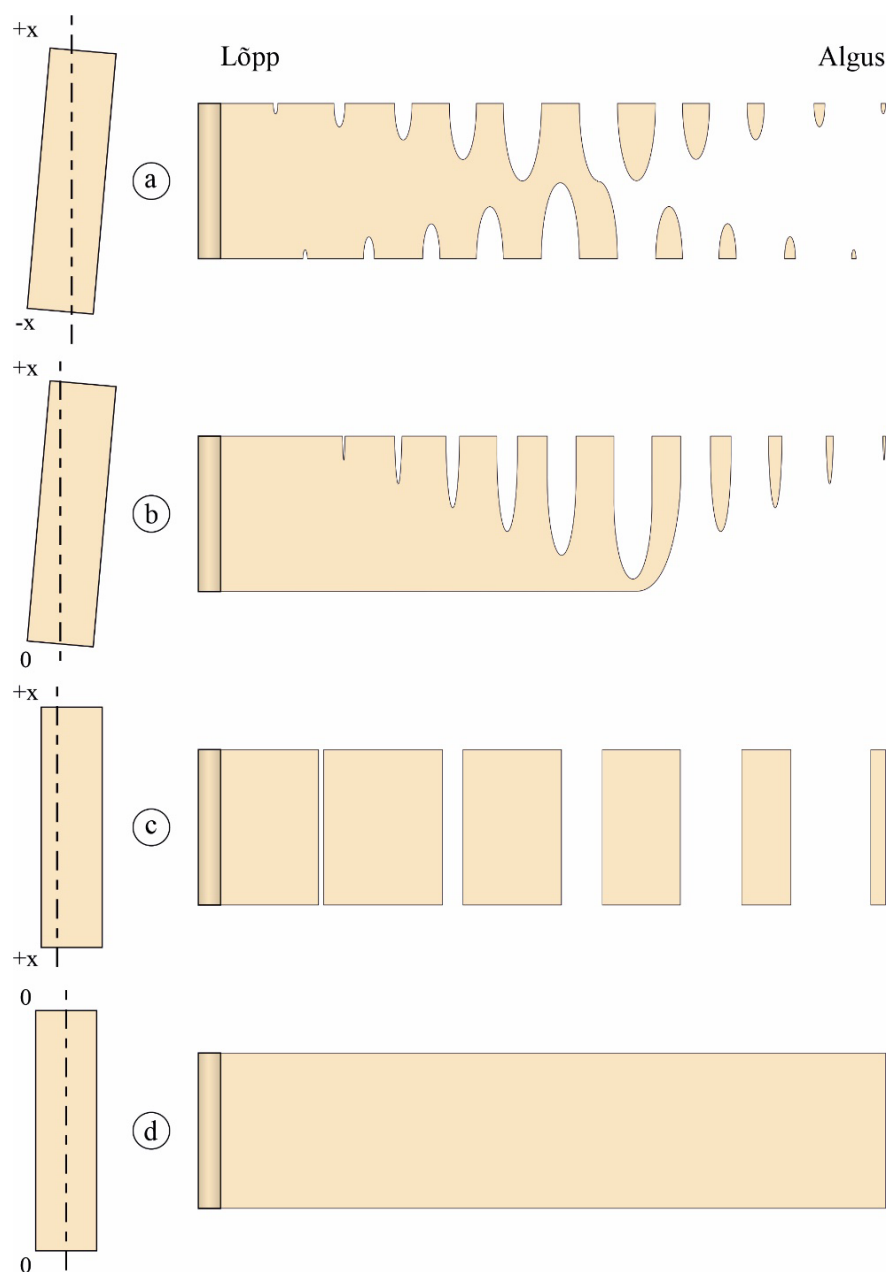
Spoonitreimise parameetritena seadistatavad nurgad on toodud joonisel 2.77. Levinumad lõike- ja vastutera seadistused kase- ja kuusespooni treimiseks on toodud tabelis 2.3.

Tabel 2.3 Lõiketera ja vastutera seadistamisparameetrid kase- või kuusespooni treimisel

Parameetrid	Lõiketera		Vastutera	
	Kask	Kuusk	Kask	Kuusk
Teritusnurk β_1	20–21°	21–22°	56–58°	54–56°
Survenurk α_1	–	–	10–35°	10–35°
Tõusunurk α	1–3°	1–3°	–	–
Väljalaskenurk γ	0–2°	0–2°	–	–
Mikroteritusnurk β_m	25–30°	25–30°	–	–

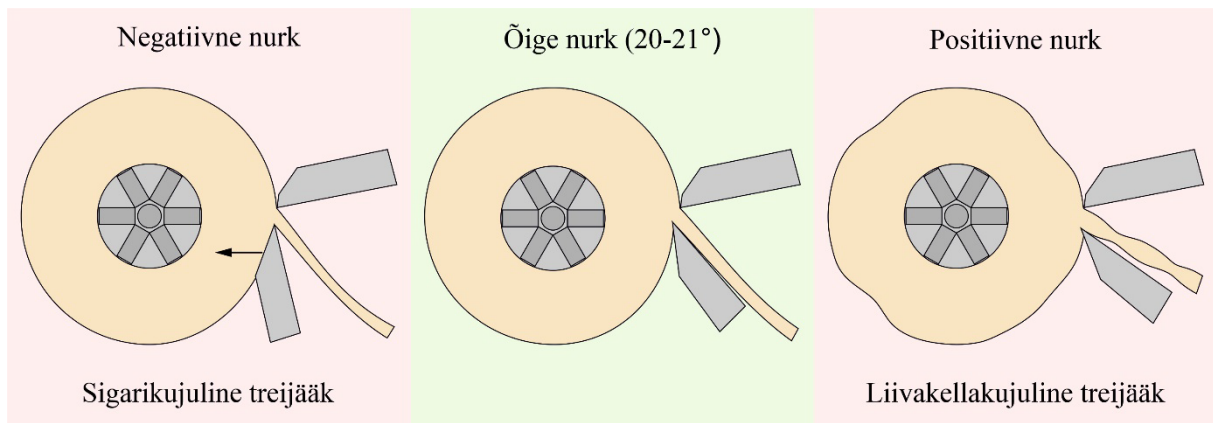
Spoonitreimise kvaliteet

Spooni treimisel tekkivad tüüpilised defektid ja kvaliteedivead on põhjustatud näiteks valest surveastmest, nürist terast või valest tera seadistusest. Kvaliteetse spooni omadusteks on õige spooni paksus ja pikkus, tasane pealmine ja alumine pind, ühtlane formaat ja hea risttõmbetugevus. Kvaliteetset spooni on võimalik valmistada juhul, kui palgid on hea kvaliteediga, nõuetekohaselt ülessoojendatud ning kogu protsess – palgi ettevalmistusest kuni spooni kuivatamiseni – on nõuetekohaselt kontrollitud. Joonisel 2.78 on toodud paku tsentreerimise ja ümardamise mõju spoonilindi kujule ja väljatulekule.



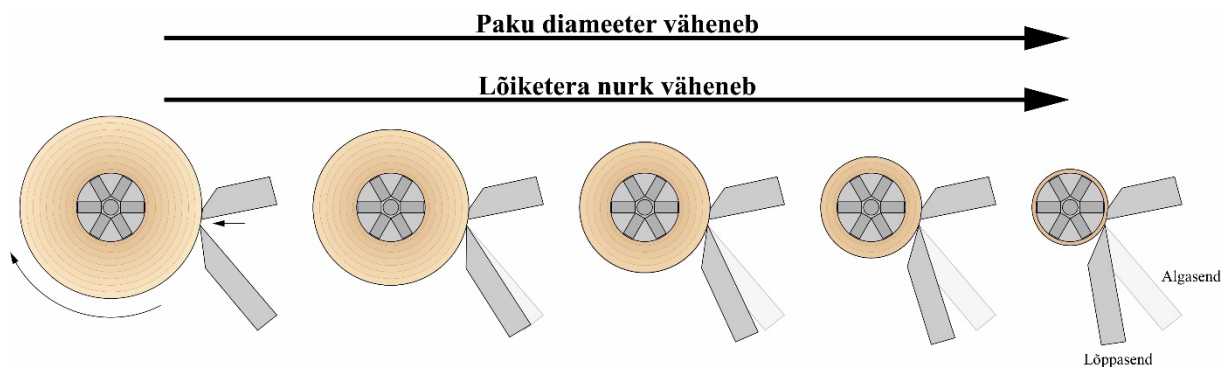
Joonis 2.78 Paku tsentreerimise ja ümardamise mõju spoonilindi kujule ja spooni väljatulekule: a ja b – tsentreerimisviga paku otstes eri suunas, c – tsentreerimisviga paku otstes samas suunas, d – õigesti tsentreeritud.

Spoon kvaliteet sõltub peamiselt treimisparameetritest. Treimise seadistused mõjutavad palju spooni kvaliteeti (joonis 2.79). Liiga negatiivse väljumisnurga korral surub tera paku võlli-joonelt ära ning spooni paksus on kõikuv ja spoon on laineline (laine vahemikus umbes 1–2 mm). Selle tulemusena tekib sigarikujuline treijääk (joonis 2.81a). Liiga positiivse väljumisnurga korral paindub tera ots ära ja püüab puusse hammustada. Selle tulemusena tekib voltis spoon, kus laineharjade vahe on 5–50 mm. Treimisel tekib sellisel juhul kume kõmisev treimisheli ja pakk vibreerib ning tekib liivakellakujuline treijääk (joonis 2.81b).



Joonis 2.79 Spooni treimise parameetrid ja spooni kvaliteet.

Kui väljumisnurka ei muudeta paku diameetri vähenemisel, siis kontaktpind paku peenenemisel väheneb. Väljumisnurka tuleb muuta vastava graafiku alusel. Joonisel 2.80 on näidatud väljumisnurga muutust paku diameetri vähenemisel.

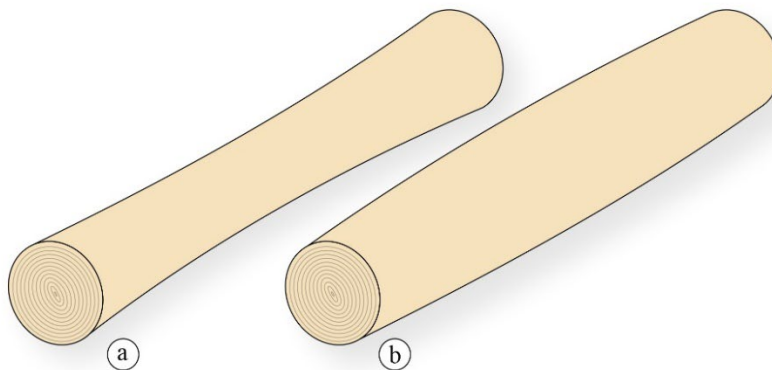


Joonis 2.80 Lõiketera väljumisnurga muutus paku diameetri vähenemisel.

Ühtlane spooni paksus mõjutab liimi pealekandmist. Kui spoon on ühtlase paksusega, on ühtlane ka pressimise surve kuumpressimisel ja pealistamisel. See omakorda tagab tugeva liimühenduse ja ühtlase paksusega vineerplaadi. Ühtlane spooni paksus tagab, et vineerplaadi paksus püsib etteantud tolerantside piires. Spooni sile pind aitab kaasa liimikulu vähenemisele, sest liimiga ei ole vaja täita suuri lõhesid. Sileda spoonipinna korral on võimalik arvestada väiksemat lihvimisvaru. Plaadi pinnale ei jää pärast lihvimist karedaid alasid ja pärast paberiga katmist, värvimist või lakkimist on pind kvaliteetne.

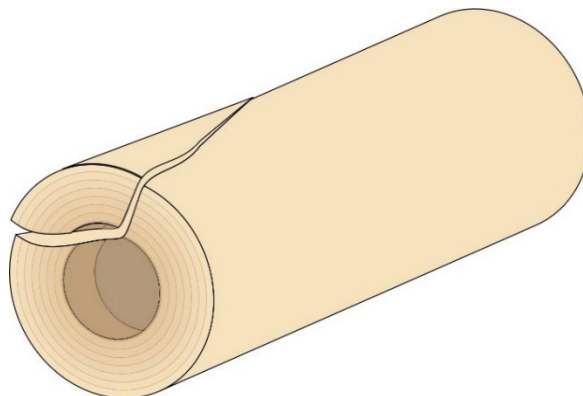
Treimise kvaliteeti saab määrata näiteks pärast treimist alles jääva pakusüdamiku kujuga.

- Liivakellakujuline pakusüdamik (joonis 2.81 a) – ülemine tugirull asub paku tsentrist liiga kaugel, alumine tugirull asub paku tsentrile liiga lähedal. Selle tulemusena on kontaktpind liiga suur ja surve liiga madal. Teine võimalik põhjus on, et tera vahe on keskel laiem kui otstes. Tera on keskel liiga madalal. Lõiketera tsenter paindub rullikutest eemale.
- Sigarikujuline pakusüdamik (joonis 2.81 b) – ülemine tugirull asub paku tsentrile liiga lähedal, alumine tugirull asub paku tsentrist liiga kaugel. Liiga suur kalle (negatiivne nurk) ja surve. Teine võimalus on, et teravahe on otstes laiem kui keskel. Tera on keskelt liiga kõrge. Lõiketera tsenter paindub rullikute poole.



Joonis 2.81 Pakusüdamiku kuju pärast treimist: a – liivakellakujuline, b – sigarikujuline.

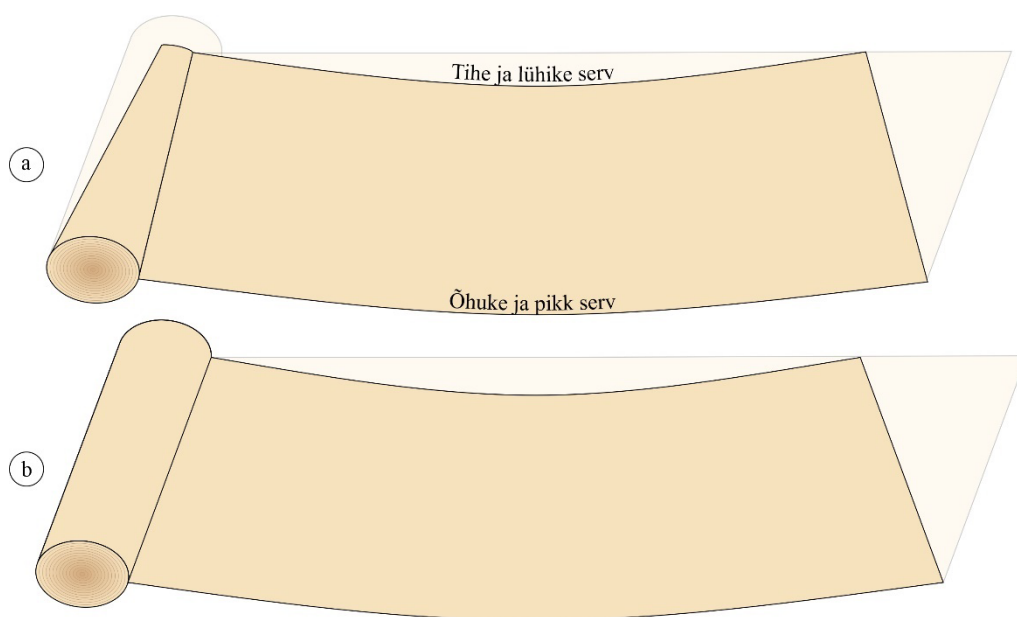
- Paku väljaviskumine (*spin out*) (joonis 2.82) – spoonipakud pöörlevad spindlitel ja võivad lõheneda. Võimalikud põhjused on liiga väike teranurk ja tera surub paku spindlite vahelt välja, ülemine tugirull asub paku tsentrile liiga lähedal, alumine tugirull asub paku tsentrist liiga kaugel, kõdunenud paku südamik, teravahe on liiga väike või ummistunud, tera on nūri, puidujäägid tsangides, purunenud tsangid, madal spindlite töösurve, välisspindlid avanevad liiga vara.



Joonis 2.82 Paku väljaviskumine (*spin-out*) – pöörlevatel spindlitel spoonipaku lõhenemine.

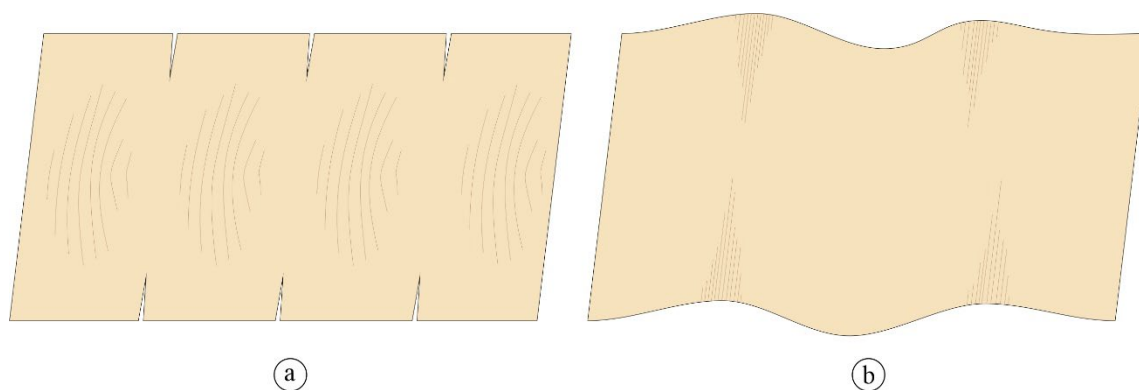
Põhiliselt näeb treimise kvaliteedivigu väljatuleva spoonilindi pealt.

- Kooniline pakusüdamik (*conical core*) ja kaarjas spoonilint (*curved veneer mat*) (joonis 2.83 a) – terakelk pole rööbiti spindli teljega, teravahe on teisest otsast laiem, tera on teisest otsast madalamale seatud.
- Kaarjas spoonilint (joonis 2.83 b). Põhjused: spoon on lindi ühelt servalt paksem (õige paku asend tagab sama paksuse kogu paku pikkuse ulatuses), teravahe on tera teises otsas laiem, suurem vastutera surve venitab spooni ja muudab selle pikemaks.



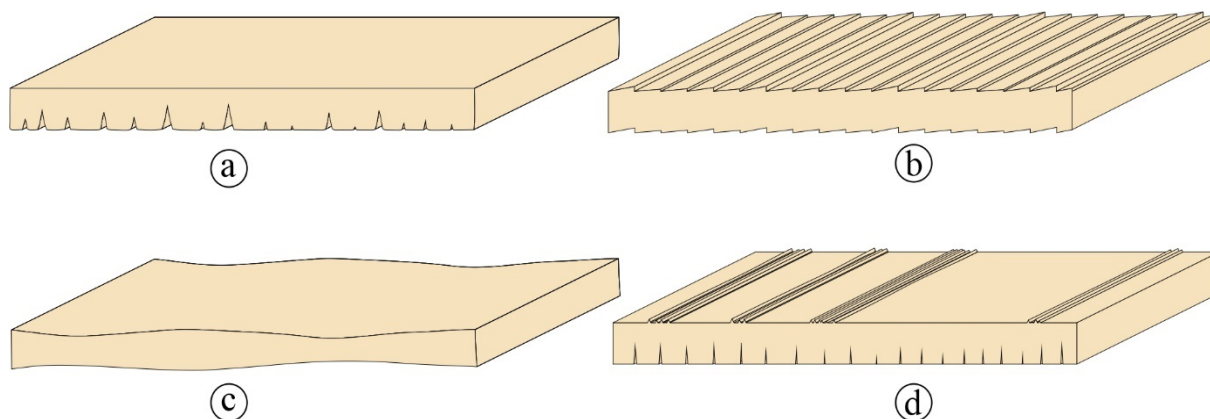
Joonis 2.83 Kooniline pakusüdamik (a) ja kooldus spoonilint (b).

- Spoonilindi lühikesed küljed (*short sides of veneer*) (joonis 2.84 a) – spoon on külgedelt lühem, spooni keskmine osa lainetab, spooni paksus on ebakorrapärane. Lainete vaheline kaugus 100–500 mm (4'–20''), tüüpiline tiheda spooni korral. Põhjused: liiga väike tõusunurk põhjustab paku survet tera esiküljele, teravahe on liiga väike, pakud on osaliselt jäätunud, pakud pole nõuetekohaselt fikseeritud, ülemine tugirull asub paku tsentrile liiga lähedal, alumine tugirull asub paku tsentrist liiga kaugel, teravahe on otstel laiem kui keskel, tera on keskel spindlitest kõrgemal, ülemine tugirull asub paku tsentrist liiga kaugel, alumine tugirull asub paku tsentrile liiga lähedal, tera on nüri.
- Äärtest venitatud spoon (*edge-stretched veneer mat*) (joonis 2.84 b) – laineline spoon. Spoonilint on külgedelt pikem kui keskel. Põhjused: teravahe on keskel laiem kui ottest, surve lõigatavale spoonile pole piisav.



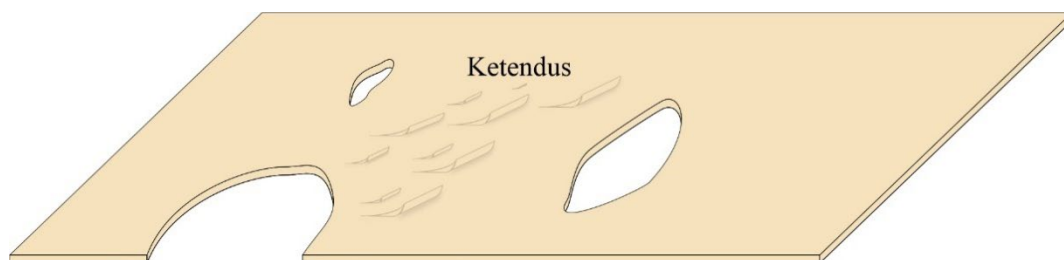
Joonis 2.84 Spoonilindi lühikesed küljed (a) ja äärtest venitatud spoon (b).

- Lõhenenud spooni tagakülg (joonis 2.85 a) – suured treipraad spooni alumisel küljel, spoon on väikese tugevusega. Põhjused: teravahe on liiga suure, vastutera on liiga kõrgel, surve pole ühtlane või on liiga väike, pakud on liiga külmad või liiga kuivad, kaldenurk on liiga suur.
- Lainespoon (*corrugated veneer*) (joonis 2.85 b ja c) – spooni pind ja paku pind on lainelised, 1–2 vagu 10 mm kohta. On kuulda trummeldamist ja treipink vibreerib. Põhjused: ülemine tugirull asub paku tsentrist liiga kaugel, alumine tugirull asub paku tsentrile liiga lähedal, ülemine ja alumine rull asuvad paku tsentrist liiga kaugel, surve pakule vales kohast, vertikaalsete rullikute vahe on liiga suur, tõusunurk on liiga suur, kontaktpind on liiga suur.
- Kare spooni pind (*rough veneer surface*) (joonis 2.85 d) – spooni pealmine külg (tihedam pool) on kare. Põhjused: liiga lai teravahe, pakud on külmad või liiga kuivad, liiga suur tera teritusnurk, ülemine ja alumine tugirull asuvad paku tsentrist liiga kaugel.



Joonis 2.85 Spooni defektid: a – spooni lõhenenud tagakülg, b – laineline spoon, c – lainelise spooni paksuse kõikumine, d – kare spoonipind.

- Kestendav ja katkine spooni pind (*flaky and broken veneer surface*) (joonis 2.86). Põhjusted: liiga väike teravahe ja liiga suur surve, vastutera ots on liiga terav (mitteliikuv vastutera korral).



Joonis 2.86 Kestendav ja katkine spoon.

Spoonide treimise kvaliteeti katsetatakse tehases spooni pikkusega (puidusüüga) ristsuunalise tõmbetugevusega ehk risttõmbetugevusega (*transverse tensile strength*). Ristsuunaliselt tõmmates näitavad treilõhed spooni alumisel pinnal ära spooni tugevuse (joonis 2.88). Spooni risttõmbetugevuse määramiseks kasutatakse tüüpiliselt katsekeha, mille kuju on toodud joonisel 2.87. Risttõmbetugevus arvutatakse valemiga

$$R_m = F_{\max} / A, \quad (2.2)$$

kus

R_m – maksimaaljõule $F_{\max}$ vastav pinge, N/mm², $F_{\max}$ – maksimaaljõud, N, A – katsekeha ristlõikepindala (paksus × laius), mm.

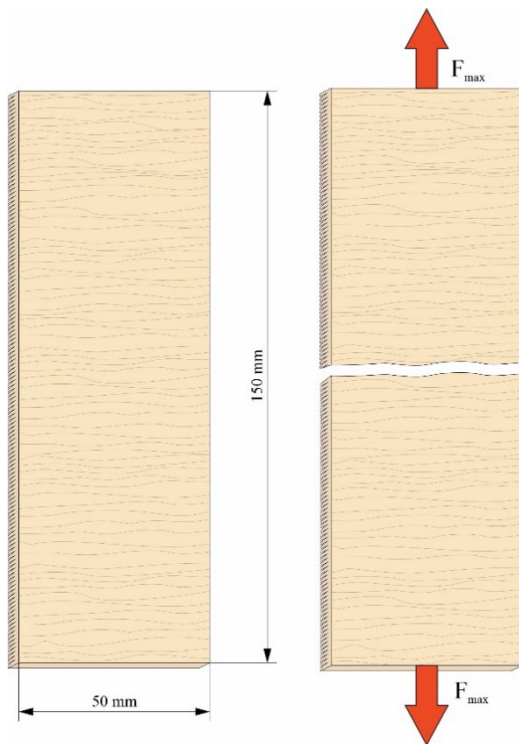
Kasele tüüpiline risttõmbetugevuse näitaja 1,5 mm paksuse spooni puhul on >1,0 N/mm². Jälgida tuleb ka treilõhede sügavust ja nurka (joonis 2.88). Treilõhede määr arvutatakse valemiga

$$LCD = a / b \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

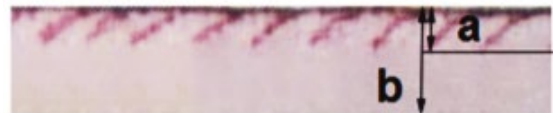
kus

a – treilõhe sügavus, mm, b – spooni paksus, mm.

Kvaliteetspoonide jaoks peab treilõhede määr (LCD) olema väiksem kui 25%. Kõige tähtsamad parameetrid on spooni pigistusaste tera ja vastutera vahel ja paku temperatuur. Risttõmbetugevus mõjutab vineeri tugevust, liimikulu ja protsessi tõhusust (tugevam spoon on paremini käideldav).



Joonis 2.87 Katsekeha spooni risttõmbetugevuse määramiseks.



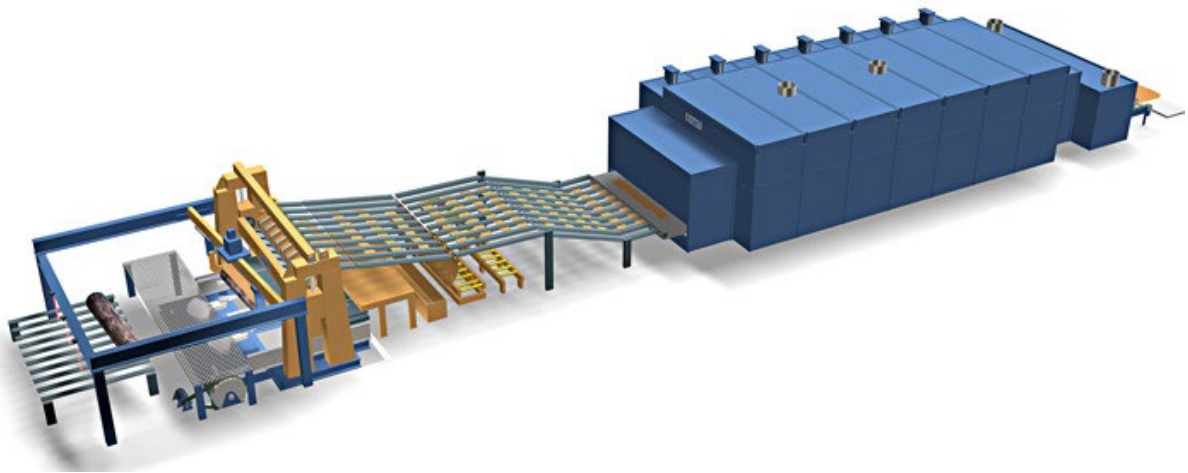
Joonis 2.88 Treimislõhede mõõtmine:
a – treilõhe sügavus, b – spooni paksus.
Foto: Anti Rohumaa

2.26 Spooni hõõveldamine

Spoonide hõõveldamine on treimise kõrval teine paljukasutatud spooni tootmisviis. Hõõveldamise käigus eemaldatakse spoon pakust horisontaalsuunalise lõikamisega, mis meenutab oma iseloomult puidu hõõveldamist. Hõõveldamise teel toodetud spooni omadused on mitmes osas paremad kui treitud spooni puhul. Olulisemad erinevused on järgmised:

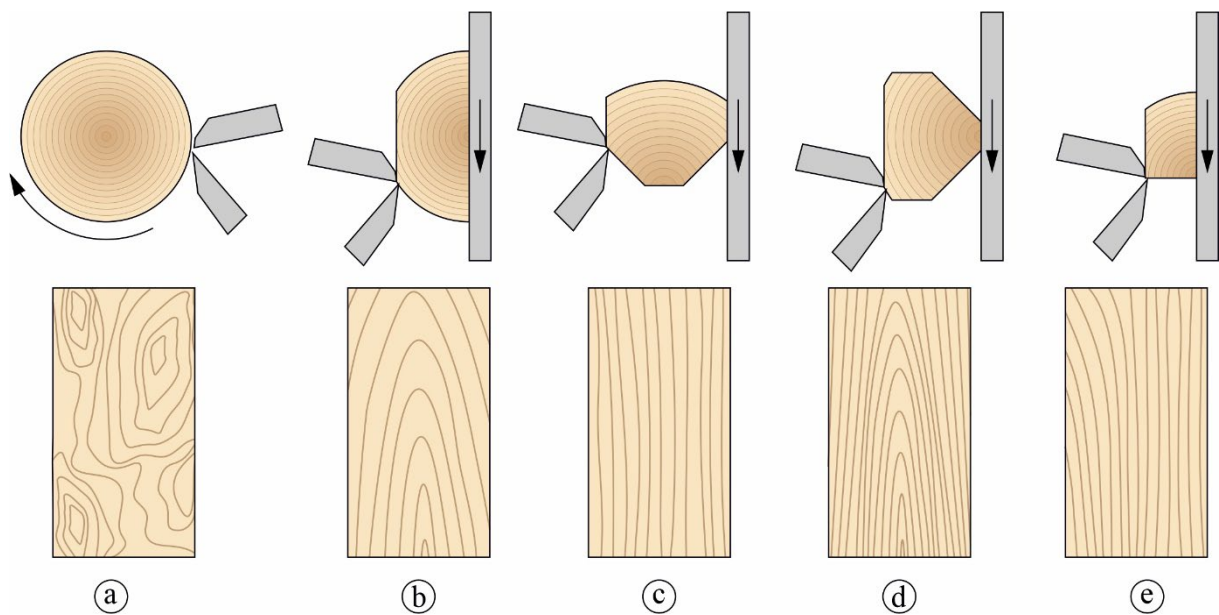
- spooni pind on siledam ja tihedam;
- spoon on õhem, tavaliselt kasutatakse 0,6–1,0 mm spoonipaksusi;
- lõigatud tükke on võimalik puidu mustri ja värvi järgi kokku sobitada, nii saadakse ilusad dekoratiivsed pinnad.

Spoonide lõikeviisid on toodud joonisel 2.90. Pakk asetatakse lõikelauale. Lõikelaud liigub horisontaalselt edasi-tagasi terakanduri all. Spoon viilutatakse palgist lõikelauda ettepoole liikumisega. Hõõveldatud spoonilehed lastakse välja konveieri abil, mille kiirus on sünkroniseeritud hõõveldamiskiirusega. Poolringikujuline konveier pöörab lehed 180°. Spoonilehed liiguvad pärast hõõveldamist otse kuivatisse.



Joonise 2.89 Hõõveldatud spooni tootmisliin. Foto: Raute OY

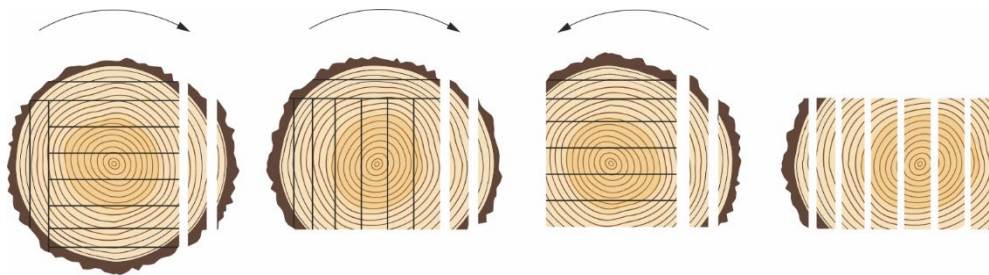
Hõõveldatud spooni kasutatakse vineeri pindmise kihina nt mööbli, sisustuse, köögi ja mitmesuguste puitplaatide pealistuste juures. Lõigatud spooni tootmine on kallim kui treimine ja tootmisel keskendutakse eriti kvaliteetse puitmaterjali kasutamisele.



Joonis 2.90 Spooni lõikeviisid: a – lõikamine paku aastarõngaste suunas, b – lõikamine tooriku läbimõõdu suunas, c – lõikamine peaaegu tooriku aastarõngaste suunas, d ja e on eeltoodute erisused.

2.3 KORDAMISKÜSIMUSED

1. Milleks kasutatakse palkide vihmutamist?
2. Milleks on vajalik palkide pööramise seade saeliini palkide etteandmisel?
3. Milline eelis on palkide ristkonveieril asuval tüükafreesil koorimispingis asuva tüükafreesi ees?
4. Mille poolest erineb CT Logskanner teistest palgiskanneritest?
5. Milline poolest erineb saekava optimeerimine väärtuse järgi selle optimeerimisest mahu järgi?
6. Mis on saepalgi „sõrmejalg“ ja milleks seda kasutatakse?
7. Millist tüüpi seadmed on saeveskites palkide koorimisel enamlevinud?
8. Mille poolest erinevad männi tüüka- ja ladvapalgid?
9. Millistes seadmetes kasutatakse sellist saagimisviisi ja kuidas seda nimetatakse?



10. Kuidas tuleb palk esimesel lahtisaagimisel positsioneerida, et prussi oleks võimalik lahti saagida kõverust järgides?
11. Millal ja milleks kasutatakse saeliinides kahte skannerit?
12. Milline seade on kuiva saematerjali sortimisliini alguses?
13. Kas kuiva saematerjali sortimisliinis kasutatakse sagedamini vertikaalseid või horisontaalseid taskuid? Miks?

14. Milleks kasutatakse foto keskel paiknevat tähikrattaga sarnanevat seadet?



15. Mida tähistatakse SF–VI?

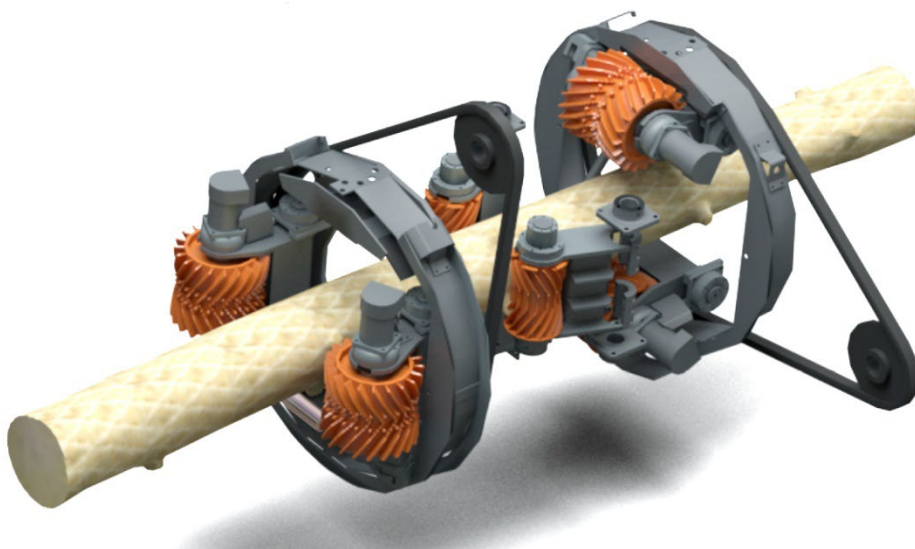
16. Mis on ränipuit?

17. Kuidas tuleks välisvoodrilaudade tootmisel arvesse võtta toorikute kõmmeldumist?

18. Mida tähistatakse näiteks C24 ja mida tähendab tähises olev arv?

19. Kas palkide koorimispinki andmiseks kasutatavad seadmed erinevad palkide saeliini andmise seadmetest?

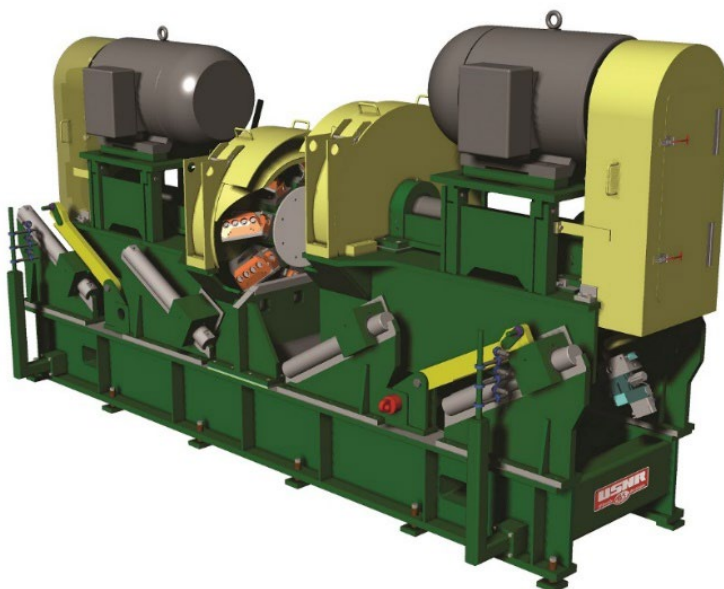
20. Milleks kasutatakse fotol kujutatud seadet ja miks on sellel kaks rootorit?



21. Miks on fotol kujutatud prussimisfreesil freeside juhikud V-kujulised?



22. Milleks kasutatakse fotol kujutatud seadet?



23. Miks peab palke enne spooni treimist leotama?

24. Milliseid palkide leotusmeetodeid kasutatakse?

25. Mis on spooni treimine?

26. Mis on spooni hõõveldamine?

27. Miks on vaja pakk enne treimist tsentreerida?

28. Millist lõikurit kasutatakse spooni lõikamiseks?

29. Mis on vastutera ja miks seda vaja on?

ALLIKAD

Kirjandus

Denaud, L.E., Bléron, L., Eyma, F. et al. Eur. J. Wood Prod. (2012) 70: 253.

Giudiceandrea, F. (2003). *Method to assess the presence of defects, such as cracks or bevelled edges, on the surface of wooden boards*. Patent EP1355148 A1

Meier, P., Rukki, H., *Saematerjalide tehnoloogia alused I osa.*, TTÜ Kirjastus 2000

Paulitsch, M., Barbu, M.C., *Holzwerkstoffe der Moderne*, 2015, DRW-Verlag Weinbrenner GmbH ja Co.

Zuba, G. *Saematerjali sortimisjuhendite koostamine ja sortimise hindamine OÜ Combimill Sakala näitel.*, 2015, Magistritöö. Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.

Tammeväli, S. *Saematerjali sortimismasinate võrdlus ja valik Combimill Sakala OÜ näitel*, 2015, Magistritöö, Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.

Varis, R., *The Sawmill Industry*, 2018 Otava Book Printing Ltd, Keuruu

Varis, R., *Wood-based panels Industry*, 2018, Otava Book Printing Ltd, Keuruu

Walker, J. C. F., *Primary wood processing : principles and practice*, 2006 Dordrecht : Springer

Internetiallikad

FinScan OY saelaudade sortimissüsteem: BoardMaster - FinScan - BoardMasterNOVA Non-turning Automated Lumber Grading System (finscaninc.com) (08.05.21)

Limab <https://www.limab.com/wp-content/uploads/2019/04/BoardProfiler-3D-LE-LR-update-2019.pdf>

Palgi lõikamise video. <https://www.youtube.com/watch?v=dsNv3pN47xk> (Kasutatud 16.01.2021)

Palgiskanner on CT Log. <https://www.youtube.com/watch?v=xK4CdNT3DK4> (Kasutatud 07.01.2021)

Palgiskannerid tööpõhimõtet selgitav video

<https://www.usnr.com/en/product/logboss-carriage?dt=1> (Kasutatud 16.01.2021)

Remasawco https://remasawco.com/wp/custom/uploads/2019/05/RS-BSQ_eng.pdf

Rootsi puitu tutvustav sait Swedishwood. Eurostandardil põhineva saematerjalisorteerimise reeglistik: <https://www.svenskttra.se/siteassets/5-publikationer/pdf/grading-of-sawn-timber.pdf> (Kasutatud 16.01.2021)

Saeveski video: <https://www.youtube.com/watch?v=h5XuTaVTFno> (Kasutatud 15.01.2021)

Šumigin, D., *Saetööstuse tehnoloogia*. 2012 TTÜ Puidutöötlemise õppetool
http://www.kk.ttu.ee/puit/Saetoostuse_tehnoloogia/Saetoostuse_tehnoloogia_sumigin.pdf
(Kasutatud 12.01.2021)

Täiendav lahtilõikus 2. saegrupis video <https://www.usnr.com/en/product/catechedger> .
(Kasutatud 16.01.2021)

Valon Kone video: VK8000HD- Combi- 2R Holmen Timber Braviken Sawmill:
<https://www.youtube.com/watch?v=J8FgUqLNJTQ> (Kasutatud 05.01.2021)

3 SAEMATERJALI JA SPOONI KUIVATUS, PUIDU MODIFITSEERIMINE

3.1 Puidukuivatuse olemus, töötluskeskkond ja protsessid

Puittoodete valmistamine eeldab enamikul juhtudel eelnevat puidu kuivatamist (*wood drying*). Kuivatamise üks eesmärk võib olla puidu niiskuse viimine kasutustingimuste tasakaaluniiskuseeni, mis on eriti oluline siis, kui kuivatatud materjalist valmistatakse tooteid, millele on esitatud nõuded mõõtude ja vormi stabiilsuse kohta. Suure niiskusega puit mädaneb kergesti, kuiv puit on mädanemisprotsessidele vastupidavam. Puidu niiskuse vähenemisega väheneb selle kaal ja samal ajal suureneb tugevus. Kuivatamine on vajalik ka puitmaterjalide liimimise ja viimistlemise kvaliteedi tagamiseks. Seega, nii tehnoloogilistest vajadustest kui ka majanduslikust otstarbekusest lähtudes, on puidu kuivatamine enamikul juhtudel hädavajalik.

Esitatud materjal tutvustab kaasaegset puidu kuivatustehnoloogiat ja kuivatamiseks kasutatavaid seadmeid. Seejuures on pööratud tähelepanu ka kuivatamise teoreetilistele alustele, ilma milleta ei ole võimalik kirjeldatavatest protsessidest õigesti aru saada. Käsitletud on kuivatustehnikat ja kuivatatava materjali omadusi, millest sõltub kuivatustulemus.

Eestis on kasutusele võetud kaasaegne tõhus kuivatustehnika paljudelt välisfirmadelt nagu näiteks De Nardi, Hildebrandt Brunner, Incomac, Mühlböck, Termolegno, Valutec.

Gaasilist või vedelat keskkonda, mis mõjub materjalile viimase kuivatamisel, nimetatakse kuivatusagensiks (*drying agent*). Puidu kuivatamisel võivad kuivatusagensiks olla õhk või õhu segu suitsugaasidega, veeaur ja hüdrofoobsed vedelikud. Õhk kuivatusagensina sisaldab alati märgatavas koguses veeauru, v.a juhul, kui eesmärgiks on absoluutkuiva puidu saamine puidu niiskuse laboratoorsel määramisel. Peaaegu õhuvaba kuivatamine veeauruga võib toimuda vee keemistemperatuurist kõrgematel temperatuuridel kõrgtemperatuurse kuivatusega või vaakumkuivatusel. Vedelikkuivatust õlis kasutatakse mõnikord puidu niiskuse alandamiseks vajaliku tasemeni puidu kaitseimmutusel õlidega.

Veeaur

Veel on väga kõrge kriitiline temperatuur (374 °C) ja seetõttu tavalisel temperatuuril, mida kasutatakse tehnikas, võib see olla nii vedelas kui ka gaasilises faasis. Kui vee kohal on vaba ruumi, siis veemolekulid, mis omavad küllaldast kineetilist energiat, ületavad pindpinevusjõu ja lenduvad. Seda protsessi nimetatakse aurumiseks. Kuna veeaur üksi või segus õhuga on

puidu kuivatusel töötlusagensiks, on vajalik teada mõningaid veeauru omadusi, näiteks veeauru temperatuuri T ja küllastusrõhu p_k vahelist sõltuvust.

Veeauru olek on määratud järgmiste parameetritega: temperatuur T (°C), rõhk p , erimaht V (või selle pöördväärtus tihedus ρ), entalpia (soojussisaldus) I ja entroopia S .

Atmosfääriõhk

Kuiva atmosfääriõhku võib käsitleda ideaalgaasina, mille kohta kehtib Clapeyroni võrrand (õhu gaasikonstant on 287,14 J / kg kraad). Puidu kuivatusel kasutatav õhk ei ole praktiliselt kunagi kuiv ning seetõttu iseloomustab selle olekut veel rida parameetreid, mis määravad õhus veeauru sisalduse ja oleku. Atmosfääriõhku võib vaadelda kuiva õhu ja veeauru seguna, mis omab püsivat rõhku 1 bar = 100 000 N/m².

3.2 Puidu omadused

3.2.1 Puidu niiskus

Puit koosneb põhiliselt piklikest kihilise struktuuriga rakkudest – kiududest. Vähimateks koostisosadeks on tselluloosi makromolekulide grupid (30–40), mis moodustavad niiditaolisi elementaarfibrille läbimõelduga umbes 3 nm. Viimased omakorda moodustavad suuremaid köietaolisi mikrofibrille paksusega 6–10 nm ja laiusega 10–30 nm. Mikrofiibrillid on orienteeritud põhiliselt raku telje suunas või siis väikese nurga all teljega. Nendest moodustub raku tsellulooskarkass, mille sees paiknevad hemitselluloosid, ligniin ja niiskus.

Rakuõõned ehk luumenid (*lumen*) (10–100 µm) on omavahel ühendatud liht- või koobaspooriga ja moodustavad puidus kapillaarsüsteemi, mis omab kiudude pikisuunas võrdlemisi head läbitavust vedelikule ja gaasidele ning tunduvalt väiksemat läbitavust ristsuunas.

Mikrofiibrillide hõreda paiknemise tõttu moodustuvad rakuseinas omavahel ühendatud tühi-
kud – kapillaarid, mis on samuti orienteeritud põhiliselt kiudude pikisuunas. Kapillaaride läbimõõt on 5–30 nm ning nad on täidetud õhu ja niiskusega. Seega on kiuseintes moodustunud lisaks kiuõõntele omaette peenem kapillaarsüsteem.

Puidu niiskust (*wood moisture*) võib põhimõtteliselt väljendada kas absoluutkuiva puidu massi (absoluutne niiskus) või niiske puidu kogumassi (suhteline niiskus) suhtes. Puidutehnoloogias kasutatakse tavaliselt esimest moodust.

Absoluutne niiskus arvutatakse järgmise valemiga:

$$W = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100, \quad (3.1)$$

kus m – niiske puidu kogumass, m_0 – absoluutkuiva puidu mass.

Puidus sisalduv niiskus jaguneb vabaks ja seotud niiskuseks.

Vaba niiskus (*free moisture*) asub rakuõõntes ja püsib seal mehaaniliselt. Kapillaarjõud mõjuvad sellele niiskusele väga vähe.

Seotud niiskus (*bound moisture*) asub rakuseintes ja on puitainega seotud füüsikalis-keemiliste pinnajõudude ja kapillaarjõududega.

Kuna rakuseinte puitaine on piiratud punduv, ei saa temas sisalduv seotud niiskus ületada teatud piirväärtust. Maksimaalset seotud niiskust, mille omandavad rakuseinad puidu pikaajalisel seismisel niiskusega küllastunud õhus (või küllastunud veeaurus), kuid sisaldamata vaba niiskust, nimetatakse **rakuseinte küllastuspiiriks** (*fibre saturation point*). Eri puiduliikidel on see veidi erinev, kuid vahed on väikesed ja 20 °C juures on puidu niiskus ligikaudu 30%, aga väheneb ta tunduvalt temperatuuri tõustes, olles 19–20% temperatuuril 100 °C.

Kui puidu üldniiskussisaldus ületab küllastuspiiri, on puidus lisaks seotud niiskusele ka vaba niiskus, mille maksimaalne sisaldus on erinevatel puiduliikidel 60–200%. Värskeltraitud puit sisaldab alati vaba niiskust ja see sõltub paljudest teguritest – puiduliigist, aastaajast, kasvukohast jne. Puutüve eri piirkondades on samuti erinev niiskus.

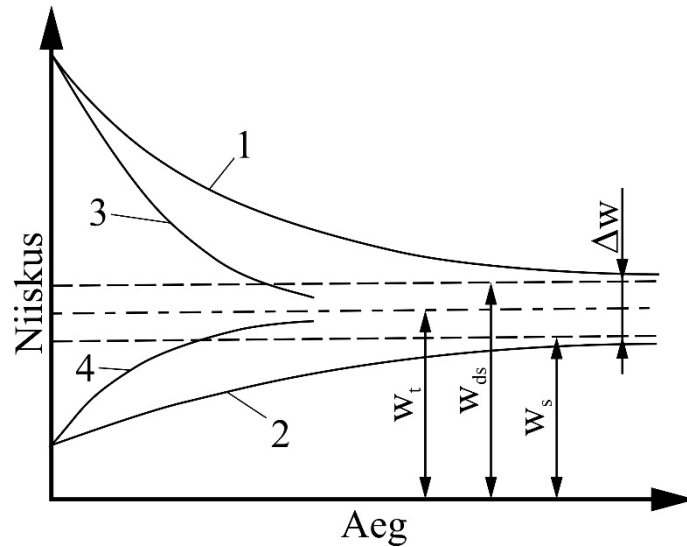
Kuivatatud puitu võib niiskuse järgi ligikaudu liigitada mööblikuivaks (6–10%), tiserikuivaks (10–15%), liimimiskuivaks (14%), hõõvelduskuivaks (15–19%) ja õhkkuivaks ehk transpordikuivaks (15–23%).

3.2.2 Puidu hügroskoopsus ja tasakaaluniiskus

Puit on hügrokoopne materjal, mis muudab oma niiskust ümbritseva õhu niiskuse muutumisel. Niiskust, mille puit omandab seismisel teatud olekuga õhus, nimetatakse **tasakaaluniiskuseks** (*equilibrium moisture content, EMC*).

Puit neelab veeauru ümbritsevast õhust sorptsiooni teel või eraldab veeauru ümbritsevasse õhku desorptsiooni teel. Need protsessid ei ole täielikult pööratavad (joonis 3.1), samades tingimustes on sorptsioonil saavutatud niiskus väiksem kui desorptsiooni niiskus. Nende väärtuste vahet ΔW nimetatakse sorptsiooni hüstereesi näitajaks.

$$\Delta W = W_{ds} - W_s \quad (3.2)$$



Joonis 3.1. Niiskuse sorptsiooni- ja desorptsioonikõverad: 1, 2 – vastavalt niiskuse desorptsiooni- ja sorptsioonikõverad saematerjalis, 3, 4 – vastavalt niiskuse desorptsiooni- ja sorptsioonikõverad peenestatud puidus.

Ümbritsevast õhust võib puit veeauru imada ainult rakuseinte mikrokapillaaridesse. Vaba niiskuse kondenseerumine rakuõõnes ei ole võimalik ka niiskusega küllastunud õhu puhul.

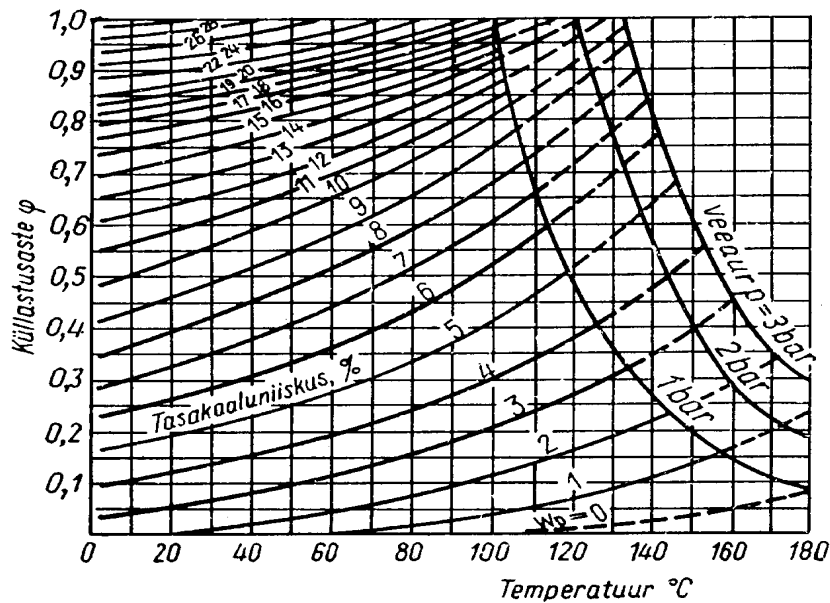
Sorptsiooni hüstereesi ΔW väärtus sõltub osaliselt õhu olekust, kuid põhiliselt uuritava puiduproovi mõõtmetest. Väga väikeste puiduosakeste korral (saepuru ja peenlaast) on sorptsiooni hüstereesi väärtus väike (0,2–0,3%) ja praktilistes arvutustes võib võtta $W_d = W_s$. Mõõtmete suurenemisel hüstereesinäitaja ΔW suureneb ning saavutab püsiva väärtuse 2,5%, kui paksus on 15 mm ja pikkus 100 mm.

Tasakaaluniiskust määratakse tavaliselt eksperimentaalsete diagrammide järgi. Üks selline diagramm on esitatud joonisel 3.2. Tasakaaluniiskuse diagramm on koostatud koordinaatides $T-\phi$ ja sellele on kantud jooned $W_t = \text{const}$. Sorptsiooni või desorptsiooni niiskus saadakse diagrammi abil, kasutades tasakaaluniiskuse ja hüstereesinäitaja väärtust:

$$W_{ds} = W_t + \frac{1}{2}\Delta W \quad (3.3)$$

$$W_s = W_t - \frac{1}{2}\Delta W \quad (3.4)$$

Need võrrandid kehtivad aga ainult puidu kuivatamisel atmosfääriõhu tingimustes ega ole kasutatavad pikaajalisel kuivatamisel kõrgendatud temperatuuril (üle 50–60 °C).



Joonis 3.2. Puidu tasakaaluniiskuse diagramm.

Kamberkuivatuse korral on puidu hügroskoopsus väiksem ja sel juhul tuleb kasutada järgmisi võrrandeid:

$$W_{ds} = W_t \quad W_s = W_t - \Delta W \quad (3.5)$$

ning suuremõõtmelise puidu korral

$$W_{ds} = W_t \quad W_s = W_t - 2,5\% \quad (3.6)$$

3.2.3 Puidu niiskusdeformatsioon (*moisture deformation*)

Puidu temperatuurideformatsioon on suhteliselt väike, niiskusdeformatsioon aga suur. Puidu lineaarmõõtude või mahu vähenemist puidu niiskuse vähenemisel nimetatakse kuivamiskahanemiseks (*shrinkage*), mõõtude või mahu suurenemist aga pundumiseks (*swelling*). Veeauru molekulide neeldumine elementaarfibrillide pinnal põhjustab adsorptsioonivee kihtide paksenemist ja seetõttu ka rakuseinte paksenemist. Vastupidine protsess on aga kuivamiskahanemise põhjuseks.

Kuiva puidu pundumine õhus või veeaurus lõpeb siis, kui selle niiskus on saavutanud hügroskoopsuspiiri. Vees lõpeb pundumine siis, kui on saavutatud rakuseinte küllastuspiir.

Kuivamiskahanemine algab alati küllastuspiirist (märjal puidul). Vaba niiskuse muutumine puidus ei põhjusta lineaarmõõtmete muutumist.

Tehakse vahet absoluutsel ja suhtelisel kuivamiskahanemisel. Absoluutset kuivamiskahanemist väljendatakse pikkusühikutes, suhtelist kuivamiskahanemist protsentides. Kuivamiskahane-mine ja pundumine on pööratavad protsessid. Ühe ja sama puiduproovi niiskuse suurendamine või vähendamine ühe ja sama väärtuse võrra toob kaasa võrdse lineaardeformatsiooni. Seetõttu võib teoreetilistes arutlustes käsitleda ainult kuivamiskahanemist, arvestades, et sama seadus-pärasus kehtib ka pundumise kohta.

Kuivamiskahanemine sõltub kolmest tegurist: lineaarmõõtmise suunast, niiskuse muu-tumise ulatusest ja puiduliigist.

Struktuurse suuna mõju on seletatav puidu ehituse iseärasusega. Suurim kuivamiskahanemine leiab aset tangentsiaalsuunas, radiaalsuunas on kahanemine 1,5–2 korda väiksem ja puutüve pikisuunas tühiselt väike. Mahuline kuivamiskahanemine suunast ei sõltu.

Kui ülejäänud tingimused on samad, siis on kuivamiskahanemine ligikaudu proportsionaalne niiskuse vähenemisega (piirkonnas alla 30%).

Täielikuks kuivamiskahanemiseks (*total shrinkage*) nimetatakse kuivamiskahanemist niiskuse vähenemisel rakuseinte küllastuspiirist 0-ni.

3.2.4 Puidu tihedus

Puidu kompaktsuse iseloomustamiseks kasutatakse baastiheduse (*basic density*) mõistet. Baas-tihedus ρ_b on rakuseinte küllastuspiirist suurema niiskusega puidu mahuühikus sisalduva abso-luutkuiva puidu mass:

$$\rho_b = \frac{m_0}{V_{kp}}, \quad (3.7)$$

kus m_0 – absoluutkuiva puidu mass, V_{kp} – küllastuspiiri ruumala.

Baastiheduse ligikaudsed väärtused on antud tabelis 3.1.

Tabel 3.1 Puidu baastihedus

Puiduliik	ρ_b , kg/m ³	Puiduliik	ρ_b , kg/m ³
Seeder	350	Kask	500
Kuusk, pappel	360	Lehis	520
Mänd	400	Saar	540
Lepp	420	Tamm	560

Puidu baastiheduse kaudu on võimalik ligikaudu arvutada ka puidu niiskusedformatsioone. Täielik mahuline kuivamiskahanemine on enamiku puuliikide puhul väljendatav järgmise valemiga:

$$Y_{tm} = 0,028 \cdot \rho_b \quad (3.8)$$

Täielik lineaarkahanemine arvutatakse järgmiste valemitega:

$$Y_{tt} = 0,018 \cdot \rho_b \text{ ja } Y_{tr} = 0,010 \cdot \rho_b, \quad (3.9)$$

kus Y_{tt} – lineaarkahanemine tangentsiaalsuunas, Y_{tr} - lineaarkahanemine radiaalsuunas.

Kui on teada puiduliik, baastihedus ja niiskus, on kerge leida oodatavat kuivamiskahanemist. Selleks leitakse kõigepealt täielik kuivamiskahanemine, viimase jagamisel 30-ga saadakse kuivamiskahanemise tegur ning kasutades viimast leitakse kuivamiskahanemise Y_w väärtus.

Vaadeldud seaduspärasused kehtivad rangelt vaid puidu niiskuse ühtlasel muutumisel. Puidu tööstuslikul kuivatamisel võib niiskus olla jaotunud puidus ebaühtlaselt ja lisaks sellele võib esineda muid mõjutegureid (nt sisepinged), mistõttu mõõtmete muutumine võib alata juba niiskusel üle 30% ja muutuse väärtus võib erineda väärtusest puhta kuivamiskahanemise puhul.

3.2.5 Temperatuuri ja niiskuse mõju puidu tugevusele

Puidu tugevus sõltub puiduliigist, niiskusest, temperatuurist ja jõu mõjumise suunast.

Niiskusest (*moisture*) sõltub puidu tugevus ainult allpool rakuseina küllastuspiiri. Niiskuse vähenemisega puidu tugevus suureneb tunduvalt. Puidu tugevuse muutumine olenevalt niiskusest madalal temperatuuril on pööratava iseloomuga.

Temperatuuri tõstmine vähendab puidu tugevust, kusjuures lühiajaline, mitte eriti kõrge temperatuuri mõju on pööratava iseloomuga.

Kõrge temperatuuri pikaajalise mõju korral tekivad puidus pöördumatud muutused, mis vähendavad puidu tugevust. On kindlaks tehtud, et temperatuur alla 60 °C ei vähenda puidu eksploatatsioonitugevust. Kõrgema temperatuuri puhul hakkab puidu tugevus vähenema, kui mõju kestus ületab näiteks 80 °C juures 40–50 h ja 120 °C juures 2–3 h. Märgatav puidu tugevuse vähenemine leiab aset ainult kõrgtemperatuurisel kuivatusel temperatuuridel üle 100 °C. Esmajoones väheneb puidu vastupidavus löökoormusele.

3.3 Saematerjalide kuivatus

3.3.1 Saematerjalide kuivatusmeetodid

Saematerjalide kuivatusmeetodeid (tabel 3.2) võib liigitada erinevate tunnuste järgi, milleks võivad olla protsessi kulgemise üldpõhimõtted, soojusülekanne viis, seadmete ja tehnoloogilise režiimi eripära jmt. Allpooltoodud liigituses ei ole püütud järgida kõiki võimalikke erisusi.

Tabel 3.2 Saematerjalide kuivatusmeetodid

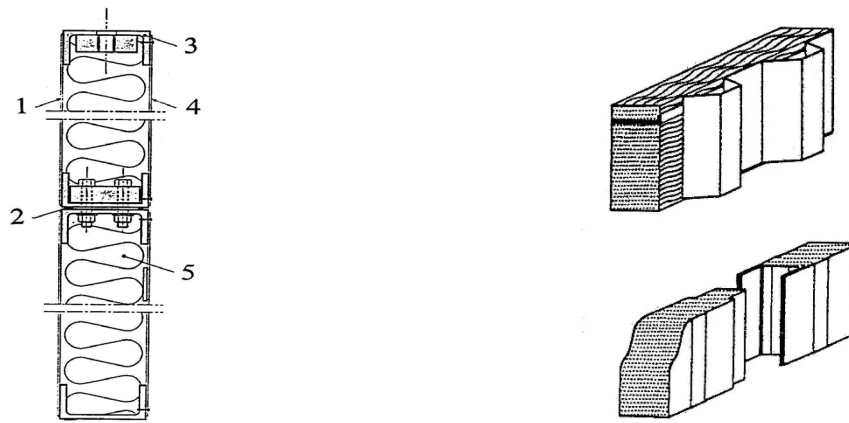
Saematerjali kuivatusmeetodid	
Atmosfäärne kuivatus	Tehiskuivatus
	Perioodiline madalatemperatuurne kamberkuivatus
	Pidev kamberkuivatus
	Kondensatsioonkuivatus
	Vaakumkuivatus
	Kõrgtemperatuurne kamberkuivatus
	Vedelikkuivatus

Lisaks loetletud meetoditele võib kuivatust läbi viia ka muul viisil, millel aga praktiline tähtsus puudub. Järgnev käsitus algab tehiskuivatuse meetoditest kui tähtsamatest ning on järjestatud vastavalt kuivatusmeetodi levikule.

3.3.2 Perioodiline madalatemperatuurne kamberkuivatus

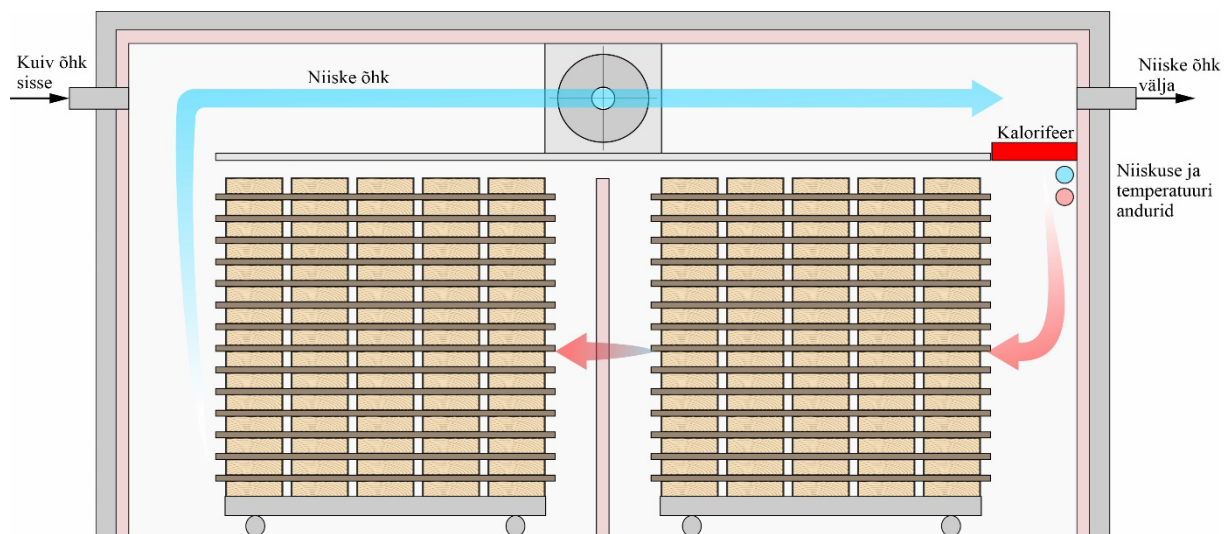
Kamberkuivatid

Kamberkuivatid koosnevad järgmistest osadest: piirded, soojusseadmed, tsirkulatsiooniseadmed, protsessi kontrolli- ja juhtimisseadmed. Piirete konstruktsiooni järgi jagunevad kuivatid statsionaarseteks ja monteeritavateks. Statsionaarsete kuivatite piirded ehitatakse kohapeal tavalistest ehitusmaterjalidest (tellised, betoon jm) ja soojustatakse. Ehituse käigus monteeritakse soojus- ja tsirkulatsiooniseadmed. Monteeritavate kuivatite piirdekonstruktsioonid, kõik sõlmed ja detailid saadakse valmistajatehasest. Piirded on valmistatud tavaliselt poltidega ühendavate kilpdetailidena, mis koosnevad siledade või profiilsete metall-lehtedega kaetud profiilmetallkarkassist ja kattematerjali vahel paiknevast soojusisolatsioonmaterjalist (vahtpolüstüreen, polüuretaanvaht või mineraalvill).



Joonis 3.3. Kuivati kilpdetailide ehituse näide: 1 – Al-plekist sisekiht (2 mm), 2 – tihend, 3 – Al-profiilkarkass, 4 – Al-plekist väliskiht (2 mm), 5 – soojusisolatsioonmaterjal (nt 100 mm).

Enamiku tänapäeva perioodiliste kamberkuivatite tööpõhimõte on sama, nende mahutavus on enamasti piirides 50–200 m³ ning erinevused piirduvad ventilaatorite ja soojusseadmetega, piiretes kasutatavate materjalide ning protsessi kontrolli ja reguleerimise seadmetega. Joonisel 3.4 on esitatud tüüpilise perioodilise kamberkuivati põhimõtteskeem.

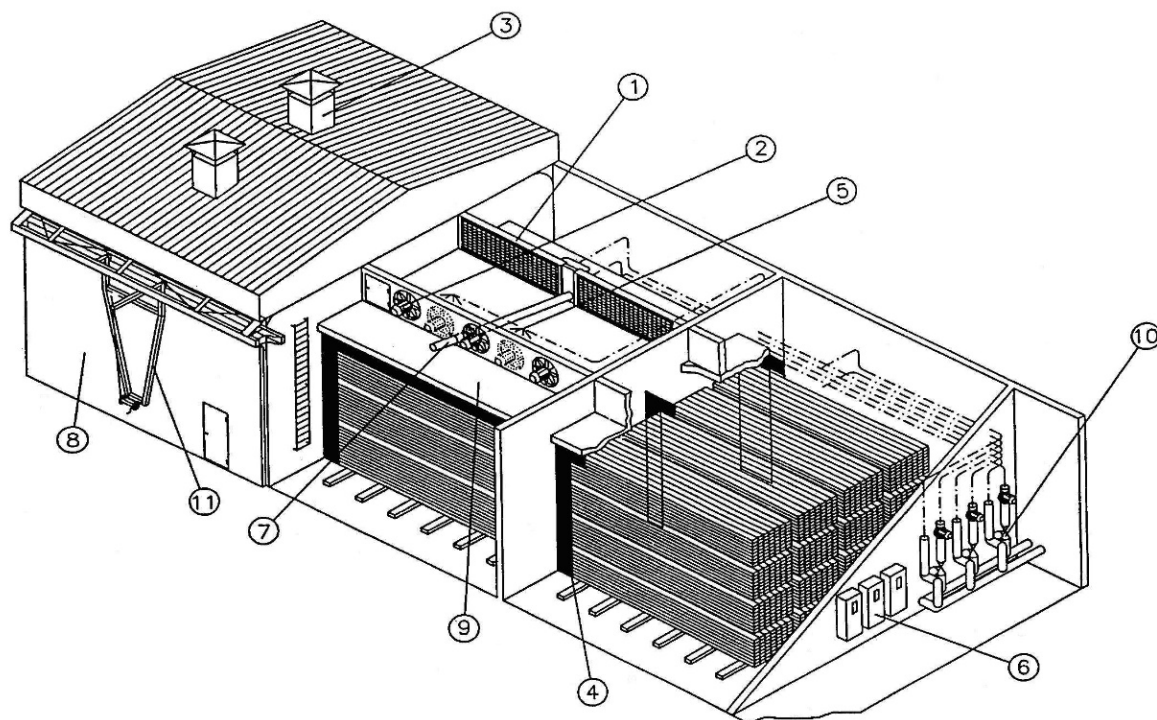


Joonis 3.4. Kamberkuivati põhimõtteskeem.

Kuivatusagensi tsirkulatsiooniring kuivatis võib olla vertikaal- või horisontaaltasapinnas põiki läbi materjalivirna. Eelistatum on vertikaal-põiktsirkulatsiooniga kuivati (joonis 3.4), mis võimaldab veidi ühtlasemat kuivatust võrreldes horisontaalpõiktsirkulatsiooniga.

Väikeste kuivatusmahtude puhul võib otstarbekaks osutuda ka pikitsirkulatsiooniga kuivatite kasutamine, mis nõuab materjali virnastamist spetsiaalsete läbitavate vahelippidega.

Vajalike tootmismahdade realiseerimiseks ettevõttes tavaliselt ühest kuivatist ei piisa ja kuivatusjaoskonnas paikneb mitu kuivatit ühiste külgsiintega kompaktses plokkina soojuskao vähendamiseks. Joonisel 3.5 on näidatud AS Hekotek kuivatiplokk.



Joonis 3.5. AS Hekotek kamberkuivati: 1 – kalorifeer, 2 – ventilaator, 3 – õhuvahetuskanal, 4 – õhuvoolu tõkestusekraan, 5 – niisutussüsteem, 6 – juhtkilp, 7 – temperatuuri ja niiskuse andur, 8 – liuguks, 9 – vahelagi, 10 – ventiilid ja pumbad, 11 – ukse avamismehhanism.

Kuivatite tsirkulatsiooniseadmed

Kuivatite tsirkulatsiooniseadmetena kasutatakse telgventilaatoreid (joonis 3.6 ja 3.7), mis võrreldes tsentrifugaalventilaatoritega annavad väiksema surve, kuid suurema tootlikkuse sama võimsuse juures. Kuna kuivatite tsirkulatsioonisüsteemi takistuste ületamiseks piisab suhteliselt madalast survest ja samal ajal on vajalik suur tootlikkus küllaldase õhu liikumiskiiruse tagamiseks materjalivirnas, on energia kulu arvestades telgventilaatorite kasutamine otstarbekohasem.



Joonis 3.6. Telgventilaatorid kuivati ülemises tsirkulatsioonikanalis. Allikas: Termolegno S.R.L.



Joonis 3.7 Telgventilaator. Allikas: Termolegno S.R.L.

Tsirkulatsiooniventilaatorid kuivatites on enamasti rootori läbimõõduga 50–100 cm, kuid valmistatakse ka kuivateid, mille ventilaatorid on rootori läbimõõduga kuni 3 m. Ventilaatorite parameetrid määratakse lähtudes survekadudest tsirkulatsioonisüsteemis ja vajadusest tagada optimaalne kuivatusagensi liikumiskiirus materjalivirnas, mis tänapäeva kuivatites on tavaliselt 3–4 m/s, mõningatel erijuhtudel ka kuni 10 m/s.

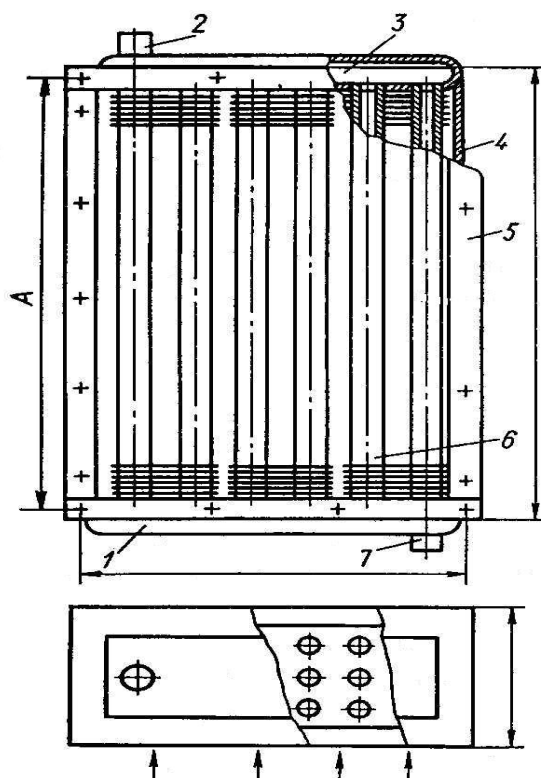
Optimaalse kuivatusagensi kiiruse saavutamiseks kuivatuse eri faasides kasutatakse ventilaatorite pöörlemissageduse muutmist sagedusmuundurite abil. Kuivatites kasutatavad ventilaatorid on reverseeritavad, s.t nad võivad juhtida õhuvoolu ühesuguse efektiivsusega mõlemas suunas. Reverseeritavate ventilaatorite kasutegur on väiksem võrreldes mittereverseeritavate ventilaatoritega, kuid saematerjalide kuivatites on reverseeritavus vajalik materjali ühtlase kuivuse saavutamiseks kogu kuivatis.

Ventilaatorite valiku aluseks on nende karakteristikad. Karakteristika kujutab endast graafikut koordinaatides surve-tootlikkus, millele on tavaliselt kantud ka muid parameetreid iseloomustavad kõverad (ventilaatori tüüp, pöörete arv, labade kaldenurk, kasutegur).

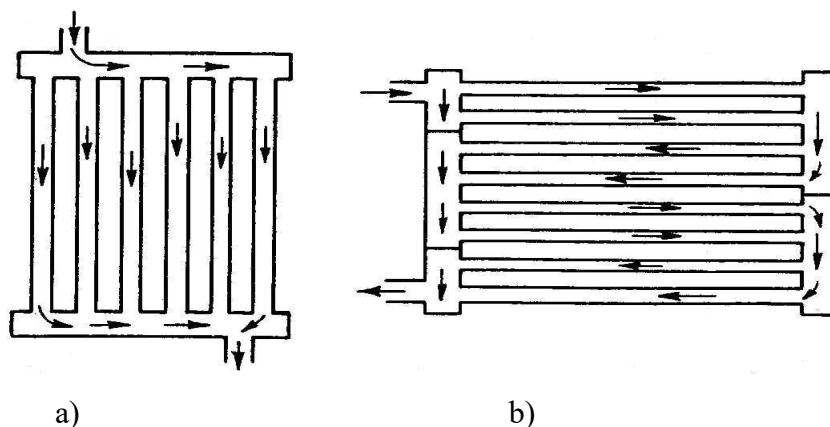
Kalorifeerid

Kalorifeer on soojusvahetusaparaat, mille ülesanne on anda soojus soojuskandjalt kuivatusagensile. Kalorifeere liigitatakse soojuskandja tüübi ja konstruktsiooni järgi. Soojuskandja järgi jagunevad kalorifeerid vee-, auru- ja elektrikalorifeerideks. Kuivatites kasutatakse enamasti veekalorifeere. Aurukalorifeere kasutatakse juhul, kui on vajalik kõrge kuivatustemperatuur. Elektrikalorifeere kasutatakse erandjuhtudel siis, kui vajalik küttevõimsus on väike, kuna elektriküte on kallis.

Konstruktsiooni järgi võib kalorifeerid jaotada plaat- ja ribitorukalorifeerideks. Enamlevinud on plaatkalorifeerid (joonis 3.8).

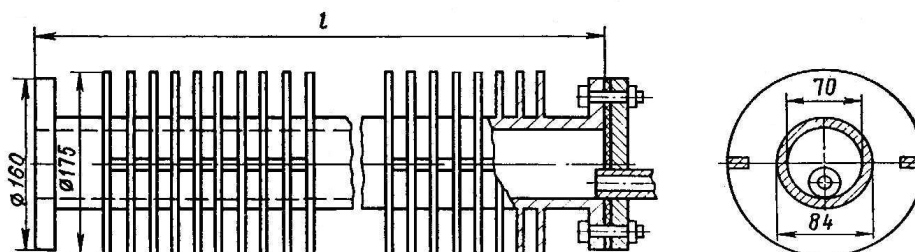


Joonis 3.8. Plaatkalorifeer: 1, 3 – kollektorid, 2, 7 torujätkud, 4 – külgsein, 5 – äärik, 6 – toru.



Joonis 3.9. Soojuskandja liikumine kalorifeeris: a – ühekäiguline kalorifeer, b – mitmekäiguline kalorifeer.

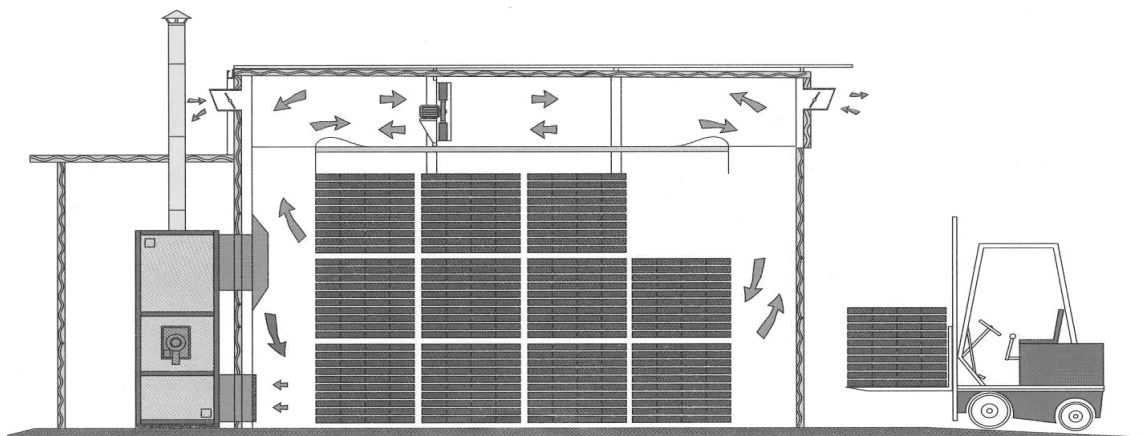
Vähemal määral leiavad kasutamist kalorifeerid, mis monteeritakse kuivatis kokku ribitorudest.



Joonis 3.10. Suuremõõtmeline kalorifeeri ribitoruelement.

Madalatemperatuurisel kuivatusel on kalorifeerides tsirkuleeriv soojuskandja tavaliselt katlamajast saadav kuum vesi temperatuuriga 90–100 °C.

Toodetakse ka autonoomse soojusseadmega kuivateid, kus puudub vajadus kalorifeeride kasutamiseks (joonis 3.11).



Joonis 3.11. Gaasiküttel töötava autonoomse soojusseadmega kuivati (Incomac).

Materjali paigutus kuivatuskambris

Kaasaegsetesse suure mahutavusega kuivatuskambrites koostatakse materjalivirnad kuivatuspakettidest, kasutades autolaadureid. Pakettides paikneb materjal tihedate ridadena, mis on eraldatud vahelippidega. Vahelipid peaksid olema sirged ja ühtlase paksusega. Kiirelt kuivavale okaspuidule soovitatakse vahelippe ristlõikega 45 x 20 mm, aeglaselt kuivavale lehtpuidule 30 x 30 mm. Kuni 30 mm paksuse materjali puhul peaksid vahelipid paiknema vahekaugusega 300–450 mm, paksema materjali puhul vahedega 450–600 mm.

Sisepingetest tekkivaid materjali deformatsioone aitab vähendada virnade koormamine olenevalt materjalist raskusega 500–1500 kg/m².

Materjalivirnas oleva puidu maht V sõltub virna mõõtmetest ja mahulisest täitetegurist β_v , viimane omakorda täiteteguritest virna pikkuses β_l , laiuses β_b ja kõrguses β_h .

$$V = l \cdot b \cdot h \cdot \beta_l \cdot \beta_b \cdot \beta_h, \quad (3.10)$$

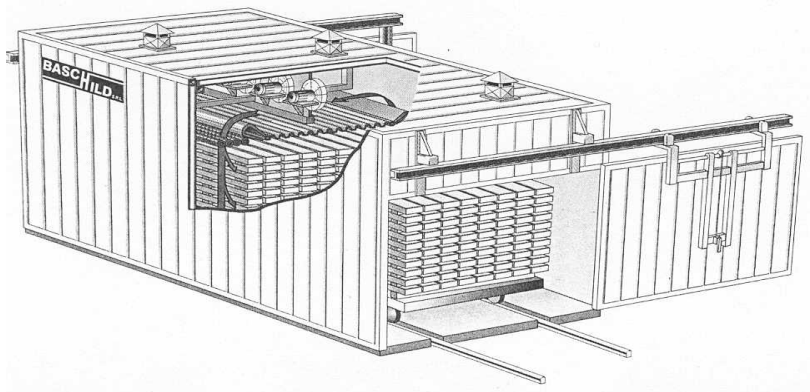
kus β_l – tegur, mis sõltub üksikute laudade pikkuse erinevusest virna pikkuses, β_b – tegur, mis sõltub üksikute laudade vahekaugusest ridades, kuid ka vahedeta ladumise korral võetakse tavaliselt laudade kõveruse tõttu $\beta_b = 0,9$.

β_h – laudade- ja vahelippide paksusest sõltuv tegur:

$$\beta_h = \frac{s}{s+s_l}, \quad (3.11)$$

kus s – materjali paksus, s_l – vahelippide paksus.

Materjali sisse- ja väljalaadimine toimub tavaliselt kahveltõstukitega, kuid kasutusel on ka kuivatid, milles laadimistöödest tingitud seisuaaja vähendamiseks kasutatakse rööbasteel liikuvaid vankreid, millele materjal virnastatakse väljaspool kuivatit (joonis 3.12).



Joonis 3.12 Materjali paiknemine kuivatusvankril.



Joonis 3.13 Kuivatuskambri kardinad.

Materjalivirnade koostamisel tuleb ühtlase kuivatustulemuse saavutamiseks jälgida, et kuivatusagens pääseks ühtlaselt ligi kogu materjalile. Kuivatusagensi liikumisteel ei tohi olla suurema ristlõikega vaba läbipääsuga kanaleid, seepärast kasutatakse materjalivirnade peal ja otstes kuivatusagensi liikumist takistavaid kardinad (joonis 3.13). Kuivamist tuleb takistada materjali otstest, kuna otstest on niiskuse aurumine palju kordi kiirem võrreldes muu piirkonnaga, mis põhjustab otste lõhenemist sisepingete mõjul. Otsi saab kaitsta kas kuivatusagensi liikumise tõkestamisega või niiskuse aurumist takistavate pinnakatetega.

3.3.3 Niiskuse liikumine puidus ja aurumine

Puidu kuivatamisel on vajalik, et sisekihtides paiknev niiskus liiguks välispinnale ja auruks. Kuivamiskiirus on seejuures määratud peamiselt niiskuse liikumiskiirusega materjali sisemusest väliskihitide poole. Aurumine pinnalt on lihtsam ja kiirem füüsikaline protsess, mis on määratud ümbritseva keskkonna suhtelise niiskuse ja temperatuuriga ja mida mõjutab õhu liikumise kiirus materjali pinna kohal. Niiskuse aurumine puidu pinnalt toimub juhul, kui keskkond ei ole küllastunud niiskusega. Aurumine lakkab, kui keskkonna veeauruga küllastuse aste on 1 (suhteline niiskus 100%), s.t suurim võimalik.

Puidu keemilise koostise ja ehituse tõttu on niiskuse liikumine puidus võrdlemisi keerulise iseloomuga. Liikumapanevate jõududena toimivad niiskusgradient, rõhugradient ja temperatuurigradiend.

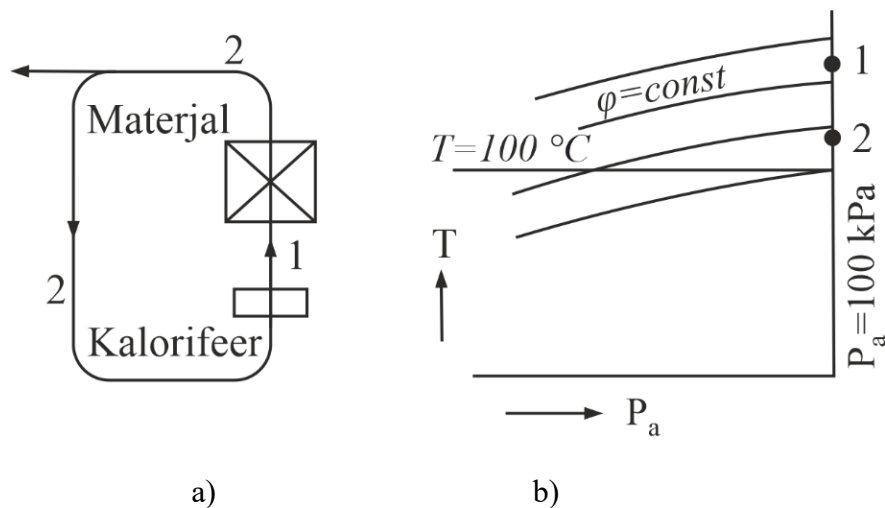
Niiskusgradient (*moisture gradient*) (niiskuste erinevus materjali ristlõikes) tekib materjalis kohe kuivatuse alguses, kuna niiskuse liikumine sisekihtidest väliskihtidesse ei jõua tasakaalustada pinnakihtidest auruva niiskuse kogust. Niiskuse liikumiskiirus niiskusgradiendi mõjul suurema niiskuse piirkonnast väiksema niiskuse piirkonda sõltub niiskusgradiendi suurusest ja puidu niiskusjuhtivusest. Niiskusjuhtivus sõltub puiduliigist (puidu tihedusest), vaadeldavast suunast ja temperatuurist. Tüve (kiudude) pikisuunas on niiskusjuhtivus 10–20 korda suurem kui tangentsiaal- ja radiaalsuunas. Radiaalsuunas on niiskusjuhtivus veidi suurem (1,1–1,5 korda) võrreldes tangentsiaalsuunaga, kuna radiaalsuunas paiknevad säsiikiired, milles takistus niiskuse liikumisele on väike. Niiskusjuhtivus kasvab temperatuuri tõustes. Kuivatuse algstaadiumis on niiskusgradient suurima väärtusega ja seega ka kuivamiskiirus suurim. Kuivamise lõpus niiskuse jaotus materjalis ühtlustub, niiskusgradient väheneb ja kuivamine aeglustub.

Rõhugradiendi (*pressure gradient*) osatähtsus niiskuse liikumisel puidus tavalisel kamberkuivatusel on suhteliselt väike. Olulist rolli mängib rõhugradient aga kõrgtemperatuurisel kuivatusel (temperatuur üle 100 °C) ja vaakumkuivatusel. Nende kuivatusmeetodite korral läheb materjalis olev vaba niiskus keema, tekitades materjali sisemuses surve, mille mõjul toimub niiskuse intensiivne liikumine väliskihtide poole auru ja osaliselt ka vedelikuna.

Temperatuurigradiendi (*temperature gradient*) toimele liigub niiskus materjalis kõrgema temperatuuri tsoonist madalama temperatuuri poole, s.t tavaliste kuivatusmeetodite korral on temperatuurigradiendi mõju suunatud väliskihtidest sissepoole ja seega on tal kuivatust aeglustav toime. Erandiks on kõrgsageduskuivatus, mille puhul soojus tekib materjali sisemuses ja sisekihtide temperatuur on kõrgem väliskihtide temperatuurist. Temperatuurigradiendi mõju on suurim kuivatusprotsessi alguses, kui välis- ja sisekihtide temperatuuride erinevus on suur.

Kõrgtemperatuurne kuivatus ülekuumendatud auruga

Kõrgtemperatuurne kuivatus toimub ülekuumendatud auru keskkonnas mitmekordse tsirkulatsiooniga. Protsessi kujutatakse T-P-diagrammil (joonis 3.14).

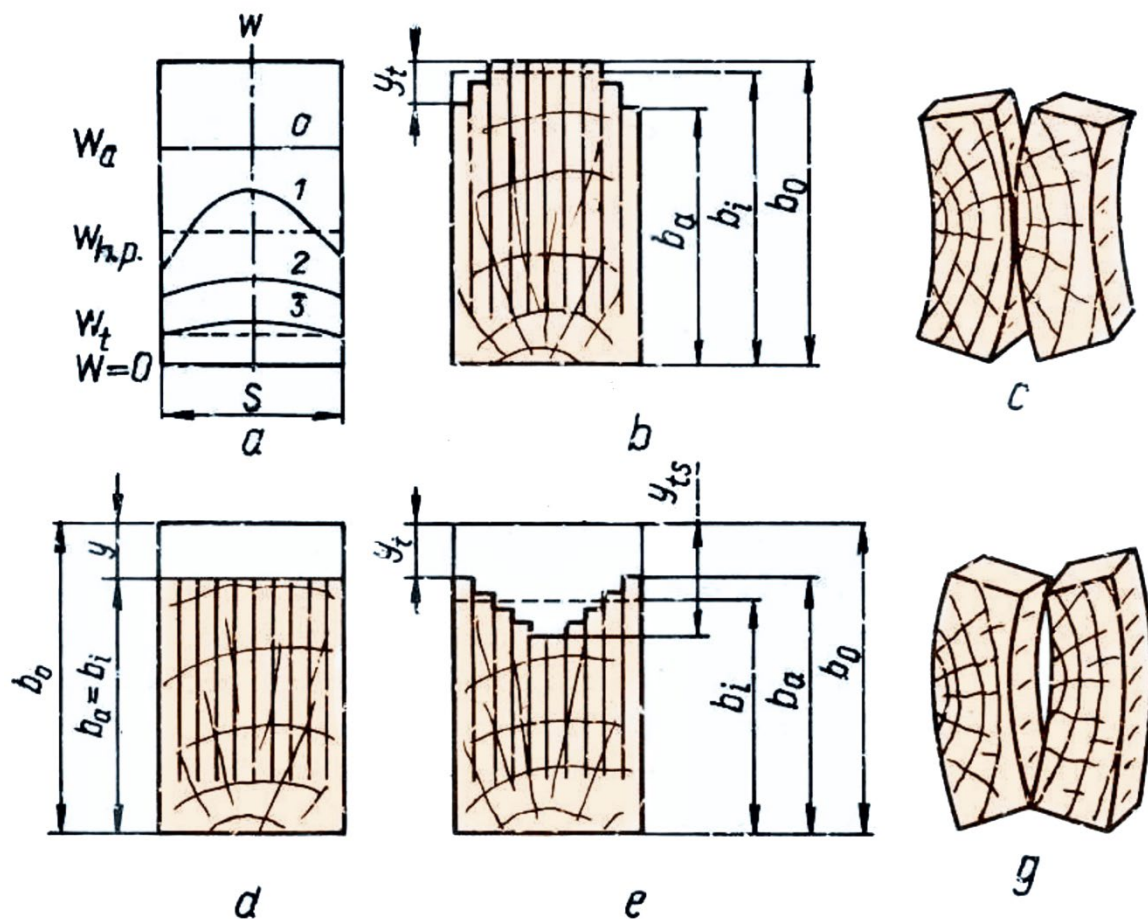


Joonis 3.14 Kõrgtemperatuurse kuivatuse skeem: a – protsessi skeem, b – T-P diagramm.

Atmosfäärirõhul ülekuumendatud aur, millega kuivati on täidetud, tsirkuleerib seal pidevalt, läbides materjalivirna ja kalorifeeri. Aur suundub materjalivirna olekus (1) (joonis 3.14), materjalivirnas selle temperatuur alaneb niiskuse aurumise tõttu ja see väljub virnast olekus (2). Puidu niiskuse aurustumise tõttu juurde tekkinud auru kogus juhitakse kuivatist välja. Seejärel suunatakse aur jällegi läbi kalorifeeri, kus kuumutamiseega taastatakse selle esialgne olek (1).

Sisepinged

Sisepingete tekkimine puidu kuivatamisel on tingitud niiskuse jaotumise ebaühtlusest ja puidu struktuuri anisotroopsusest. Niiskuse intensiivse aurumise tõttu välispinnalt langeb kuivatatava materjali väliskihitide niiskus juba kuivatusprotsessi alguses allapoole rakuseina küllastuspiiri. Väliskihitides peaks seega juba toimuma kuivamiskahanemine, mille suurus sõltub antud kihi niiskusest. Kuna pinnast eri kaugustel olevate kihtide niiskus on erinev, peaks ka nende kuivamiskahanemine olema erinev ja sisekihtides, kus niiskus on esialgu suurem rakuseina küllastuspiirist, ei tohiks üldse kuivamiskahanemist aset leida. Kui lõigata sellel hetkel materjalist ristlõikesektsioon ja viimane omakorda lõigata üksikuteks ribadeks, siis tõmbuvad külgnervate kihtide mõjust vabanenud ribad kokku vastavalt nende niiskusele (joonis 3.15).



Joonis 3.15 Niiskuse jaotus ja deformatsioonid kuivamisel: a, b, c – kuivatuse algus, d, e, g – kuivatuse lõpp.

Kuivatatavas materjalis on aga kõik kihid üksteisega seotud ja nende vaba kokkutõmbumine ei ole võimalik. Sisemised kihid takistavad välimiste kihtide kokkutõmbumist sel määral, mis vastaks nende kuivamiskahanemisele antud niiskusel. Välimiste kihtide kokkutõmbav mõju põhjustab omakorda sisemiste kihtide kahanemise, vaatamata sellele, et rakuseina küllastuspierist kõrgema niiskuse tõttu neis kuivamiskahanemist ei toimu. Kogu materjal omandab seejuures vahepealse mõõtme b_i , võrreldes sellega, mis peaks olema välis- ja sisekihtidel antud tingimustes (joonis 3.15 b).

Sellises olukorras on väliskihid tõmbepingete mõju all (sisekihtide mõjul on nad pikemad, kui nad peaksid olema) ja sisekihid survepingete mõju all (väliskihide mõjul on nad lühemad, kui nad peaksid olema). Joonisel 3.15 c on näidatud ka ristlõikesektsiooni osade deformeerumist, kui sektsiooni pooleklõikamisega kaotada pingete tasakaal. Selline pingete jaotus on iseloomulik kuivatuse algstaadiumile. Ebaühtlasest niiskusest põhjustatud pingeid võib nimetada niiskuspingeteks σ_n . Niiskuspinged on pööratava iseloomuga, s.t nad tekivad koos niiskusgradienti tekkimisega ja kaovad niiskuse ühtlustumisel.

Puit on materjal, milles elastsete deformatsioonide kõrval arenevad ka plastised ehk jääkdeformatsioonid. Erinevate niiskuspingtonite mõjul tekivad materjali eri kihtides eri suurusega jääkdeformatsioonid ja nende mõjul jääkpinged σ_j , mis on niiskuspingtonitele vastupidise suunaga. Joonisel 3.15 e on näidatud ristlõikesektsioon, mis on saetud kuivatuse lõppstaadiumis. Sektsiooni jaotamisel üksikuteks ribadeks tekib vastupidine olukord, võrreldes kuivatuse algstaadiumiga. Materjali väliskihid jäävad pikemaks, kuna nad on kuivatuse algstaadiumis valitsenud tõmbepingtonite mõjul välja venitatud. Sisekihtides on aga survepingtonite mõjul arenenud lühenemise jääkdeformatsioonid. Kuna lahtilõikamata materjalis on aga üksikud kihid omavahel seotud ja vabad deformatsioonid takistatud, omandab materjal vahepealse mõõtme b_i . Seejuures mõjuvad väliskihides survepinged ja sisekihtides tõmbepinged.

Summaarsed sisepinged materjalis võrduvad niiskus- ja jääkpingete algebralise summaga:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_j, \quad (3.12)$$

kus σ_n – niiskuspinged, σ_j – jääkpinged.

Niiskuspingtonite mõjul tekivad jääkdeformatsioonid materjalis ainult kuivatuse algstaadiumis. Kohe pärast jääkpingete tekkimist on deformatsioonid materjalis tingitud summaarsetest pingtonetest, mis on esialgu samasuunalised niiskuspingtonetega ja hakkavad seejärel vähenema jääkpingete kasvades. Ajamomendil, mil jääkpinged saavad võrdseks niiskuspingtonetega, summaarsed pinged materjalis puuduvad. Niiskuspingtonite edasisel vähenemisel materjali niiskuse ühtlustumise tõttu omandavad summaarsed pinged jääkpingete märgi.

Sellest momendist hakkavad summaarsed pinged vähendama tekkinud jääkdeformatsioone ja seega ka jääkpingeid, aga kuna materjal on kuivades muutunud jäigemaks, toimub see protsess aeglaselt. Kuivatuse lõpus, kui niiskus on ühtlustunud ja niiskusgradient on materjalis peaaegu kadunud, koosnevad summaarsed pinged peaaegu ainult jääkpingetest.

Selline sisepingtonite käsitus on teatud määral lihtsustatud, sest see ei arvesta puidurikkeid, puidu omaduste varieerumist ja lisapingtoneid materjalis kuivamiskahanemiste erinevusest radiaal- ja tangentsiaalsuunas. Eriti suured lisapinginged tekivad ümarmaterjali ja suure ristlõikega prusside kuivatamisel, mistõttu võivad tekkida lõhed ka ettevaatlikul kuivatamisel. Lauamaterjali kuivatusel põhjustavad lisapinginged kõmmeldumist.

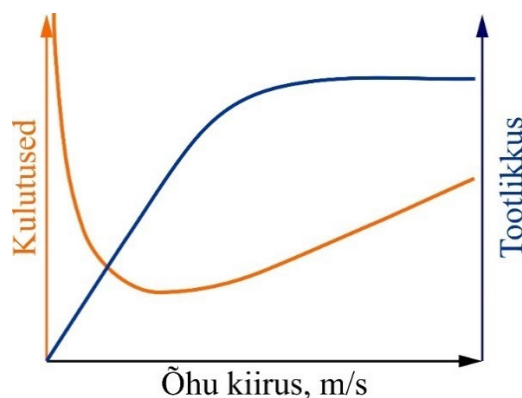
3.3.4 Saematerjali perioodiline kamberkuivatus

Kuivatusrežiimid

Perioodilise kamberkuivatuse tsükli etapid on: kambri ülevaatus, saematerjali sisselaadimine, puidu alghuumutus, kuivatus, töötlus sisepingetest vabanemiseks, konditsioneerimine, jahutamine ja materjali väljalaadimine. Kuivatamne toimub kindla režiimi järgi. Kuivatusrežiim on tehnoloogiliste parameetrite selline kombinatsioon, mis peab tagama võimalikult lühikese kuivatusajaga materjali soovitud lõppniiskuse ja vajaliku kuivatuskvaliteedi. Režiimi reguleeritavateks parameetriteks on kuivatuskeskkonna temperatuur ja suhteline niiskus (küllastusaste). Režiimi intensiivsus suureneb temperatuuri kasvades ja suhtelise niiskuse vähenedes. Temperatuuri reguleerimine toimub kalorifeeride temperatuuri reguleerimise kaudu ning suhtelise niiskuse reguleerimine õhu sisselaske- ja kuivatusagensi väljalaskekanalite avatuse reguleerimisega või kuivatusse vee pihustamisega. Sama ajal tuleb arvestada, et temperatuurimuudatused mõjutavad ka suhtelist niiskust ning sisse- ja väljavoolukanalite avatus temperatuuri.

Lisa-režiimiparameetriks on ka kuivatusagensi liikumiskiirus, mis on sagedusmuunduriga reguleeritav. Optimaalne kiirus sõltub kuivatatavast materjalist ja kuivatustemperatuurist.

Kuivatusagensi kiiruse kasv suurendab tootlikkust vaid teatud piirini, kiirendades niiskuse aurumist materjali pinnalt. Mida rohkem on kuivatuskiirus määratud niiskuse liikumiskiirusega materjali sisekihtidest pinnale, seda vähem kasu on kuivatusagensi liikumiskiiruse suurendamisest.



Joonis 3.16 Kuivatusagensi liikumiskiiruse optimeerimine.

Joonis 3.16 iseloomustab kuivatusagensi liikumiskiiruse mõju kuivatusprotsessile. On kindlaks tehtud, et mida paremini läbitava kapillaarsüsteemiga ja kergemini kuivatatav on puit, seda suuremat kiirust (kuni 10 m/s) on otstarbekas kasutada. Parema läbitavuse korral soovitatakse ka kõrgemat temperatuuri.

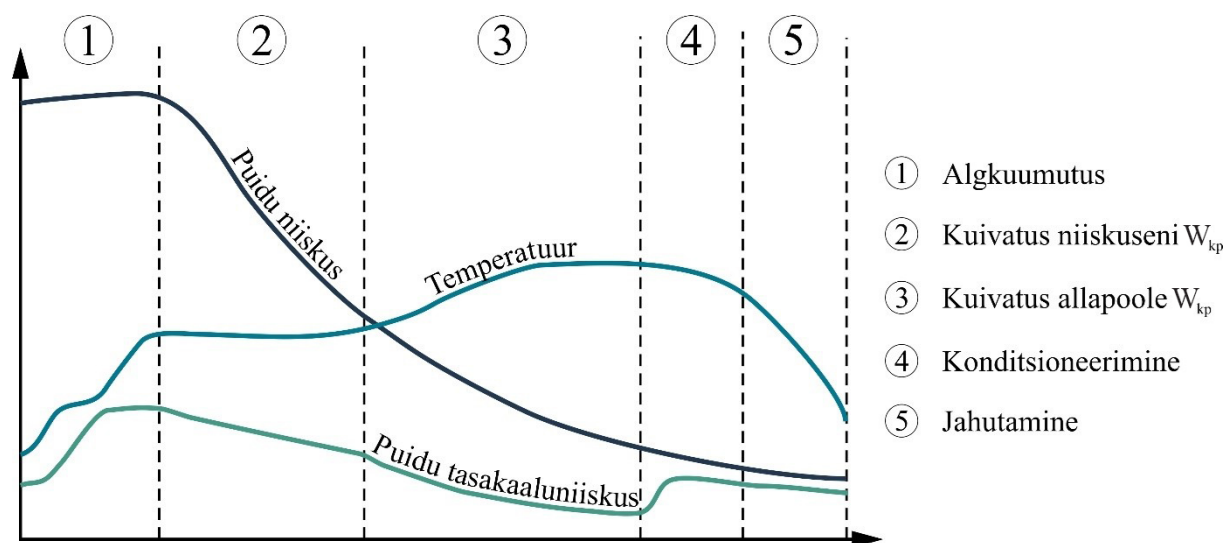
Kuivatusrežiimi intensiivsust piirab ebasoovitav mõju kuivatatava materjali kvaliteedile, esma-
joones sisepingete kasvu tõttu. Mida intensiivsemalt aurustub niiskus, seda suuremad on
niiskusgradiendid ja seega ka sisepinged materjalis. Kui tõmbepinged kasvavad suuremaks
materjali purunemiskiirist, tekivad materjalis lõhed. Lisaks lõhedele põhjustavad sisepinged ka
ebasoovitavaid deformatsioone.

Kuivatusintensiivsus peab olema selline, et ühelgi ajahetkel ei ületaks sisepinged materjali
purunemiskiiri. Kuna kuivatuse algstaadiumis on sisepingete oht suurim ja kuivatuse lõppstaa-
diumis kasvab materjali enda tugevus, on otstarbekas kasutada kasvava intensiivsusega kuiva-
tusrežiime.

Konkreetses režiimi valikul tuleb arvesse võtta puiduliiki ja materjali paksust, sest need tegurid
mõjutavad oluliselt sisepingete arengut.

Kuivatusrežiimides võib kuivatuskeskkonna suhtelist niiskust iseloomustada kas otseselt õhu
suhtelise niiskuse protsentides lähtudes kuiva ja märja termomeetri näitude vahega – psühro-
meetrilise vahega – või tasakaaluniiskuse W_t väärtusega. Mida väiksem on kuiva ja märja ter-
momeetri näitude vahe, seda suurem on õhu suhteline niiskus. Suurima võimaliku suhtelise
niiskuse korral (100%) on kuiva ja märja termomeetri näit võrdne ning kuivamist ei toimu.
Puidu tasakaaluniiskus sobib kuivatusrežiimi parameetrikaks seetõttu, et ta on otseses sõltuvuses
keskkonna suhtelisest niiskusest antud temperatuuril.

Joonisel 3.17 on esitatud kuivatusprotsessis toimuva puidu niiskuse ja kuivatusrežiimi para-
meetrite muutumise põhimõtteline graafiline kujutis.



Joonis 3.17 Puidu parameetrite muutus kuivatusrežiimi eri etappidel.

Kuivatusrežiimides võib kuivatuse intensiivsust suurendada lähtuvalt kuivatusajast või puidu niiskuse vähenemisest. Esimene moodus on lihtsam, kuid vajab kindlate omadustega materjali kuivatamise kogemust. Kuivatusprotsessi reguleerimine puidu niiskuse järgi eeldab puidu niiskuse pideva registreerimise küllaldast täpsust. Võimalike režiimiparameetrite kombinatsioonide näide temperatuuri ja tasakaaluniiskuse kasutamisel on esitatud tabelis 3.3.

Tabel 3.3 Näide režiimiparameetrite võimalikest kombinatsioonidest

Puidu niiskus, %	Kuivatustemperatuur T_k , °C							Tasakaaluniiskus W , %						
	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3	4	5	6	7
→ 50	40	45	45	50	55	60	65	18	18	17	16	15	15	14
50 → 40	40	45	48	52	58	62	68	18	17	16	15	14	14	13
40 → 35	43	48	50	55	60	65	70	17	16	15	14	14	13	12
35 → 30	46	50	52	58	62	68	73	16	15	14	13	13	12	11
30 → 25	49	52	55	60	65	70	76	15	14	13	12	12	11	10
25 → 20	54	54	58	62	68	73	80	12	11	11	10	10	9	8
20 → 17	58	56	63	65	70	76	80	10	9	8	8	7	6	6
17 → 14	62	58	67	68	72	76	80	7	7	6	6	5	5	5
14 → 11	66	60	70	72	72	76	80	5	5	5	5	4	4	4
11 →	66	60	70	72	72	76	80	4	4	4	4	4	4	4

Olenevalt materjalist ja nõutavast kuivatuskvaliteedist valitakse tabelist režiimikood, mis koosneb temperatuuri ja tasakaaluniiskuse indeksitest (nt C4, E5).

Kuivateid tootvad firmad on lähtudes pikaajalisest kogemusest välja töötanud täpsed kuivatusrežiimid ja annavad need kaasa kuivati ostul kuivatusprotsessi juhtimisprogrammiga kaasa. Kuna puidu omadused ja kuivatuskvaliteedi nõuded suurel määral varieeruvad, tuleb neid režiime sageli korrigeerida. Tabelis 3.4 on esitatud näide võimalikust protsessi juhtimisest puidu niiskuse ja psühromeetri näitude järgi.

Tabel 3.4 Näide 35 mm paksuste männilaudade kuivatusest lõppniiskuseni 12 %

Aste	Kuiv termomeeter °C	Märg termomeeter °C	Psühromeetriline vahe, °C	Õhu suhteline niiskus, %	Puidu niiskus, %
0	55	53	2	90,1	70
1	56	54	2	90,2	65
2	57	54	3	85,6	59
3	58	54	4	81,1	55
4	58	53	5	77,0	50
5	59	53	6	73,8	48
6	60	53	7	70,0	43
7	61	53	8	65,8	39
8	62	53	9	62,5	36
9	63	52	11	57,0	32
10	64	52	12	54,0	30
11	65	52	13	51,1	28
12	66	52	14	48,3	25
13	67	51	16	43,7	22
14	68	51	17	41,8	20
15	69	51	18	39,9	18
16	69	50	19	37,6	16
17	70	50	20	35,7	14
18	70	50	20	35,7	12

Kuivatusprotsessi juhtimine

Kuivatusprotsessi edukaks juhtimiseks on vaja jälgida nii kuivatusagensi ehk õhu parameetreid kui ka kuivatatava puidu seisundit. Kuivatusõhu puhul peame teadma selle suhtelist niiskust ja temperatuuri ning parimal juhul ka liikumise kiirust. Kiiruse mõõtmiseks kasutatakse anemomeetreid, suhtelist niiskust mõõdetakse tavaliselt spetsiaalsest paberist lehekese elektrilise takistuse mõõtmise kaudu. Märga termomeetrit kasutatakse harva, sest see on tunduvalt tülikam.

Anduriplokki (joonis 3.18, kinnitatakse kuivati siseseinale, plekist kaitsekate väldib selle niisutusveest märjaks saamise) ühendatakse pistikutega puidu niiskuse mõõtmiseks kasutatavad nõelad, ploki küljes on ka kaks klambrit, mille vahele ühendatakse õhu suhtelist niiskust mõõtev spetsiaalsest paberist leheke. Lehekesi tuleb teatud kuivatustsüklite arvu järel vahetada. Puitu

löödavate nõelte vahekaugus peab olema võimalikult täpne, näiteks 30 mm, ja nõelu ühendav mõtteline joon puidu pikisuunaga risti.

Kuivamisintensiivsuse määrab see, kui palju erineb puidu tegelik niiskus kuivatis ringleva õhu parameetritele vastavast tasakaaluniiskusest. Seda erinevust iseloomustab kuivamisgradient DG (*drying gradient*),

$$DG = AWM / EMC , \quad (3.13)$$

puidu keskmise niiskuse (*average moisture content*, AWM) arvutamiseks kasutatakse kas kõigi andurite keskmist mõõtetulemust, maksimaalsete näitude keskmist või minimaalsete näitude keskmist.

Kui niiskus on suurem kui küllastuspiir 30%, siis on valemis tegeliku niiskuse asemel 30%.

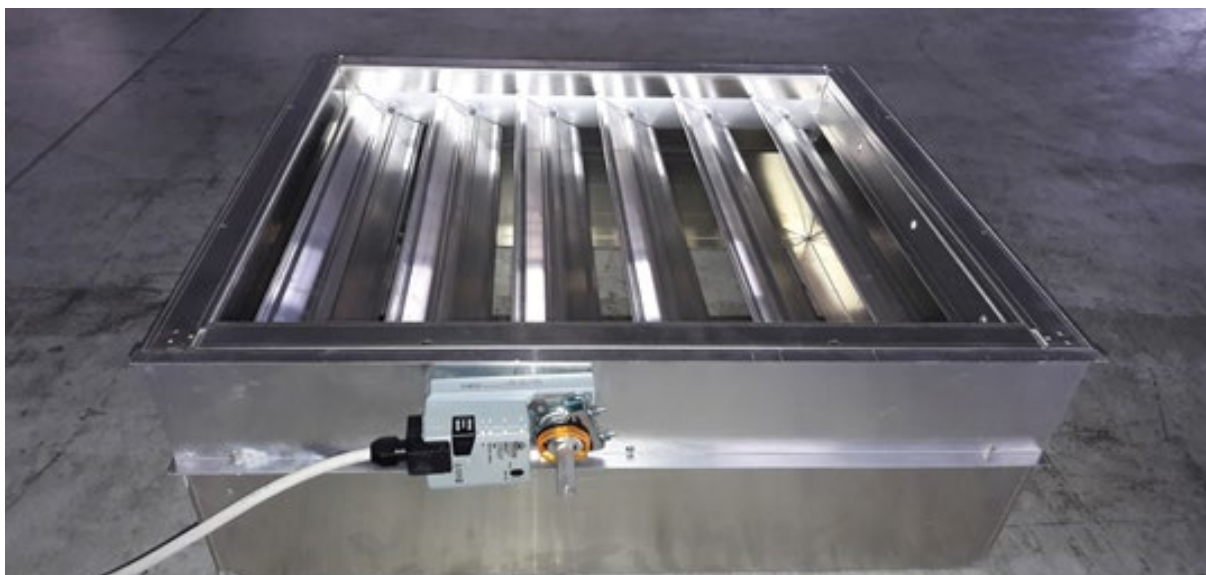
Kui $EMC = AWM$, siis kuivamist ei toimu, puit on antud õhuniiskusele ja temperatuurile vastava niiskusega.

Kui $EMC < AMC$, toimub kuivamine, pehmele režiimile vastav $DG = 2$, intensiivsele (sobivam okaspuidule) vastav $DG = 4$.

Kui $EMC > AMC$, siis imab puit õhust niiskust juurde.



Joonis 3.18 Kuivati anduriplokk. Foto: JS Inseneribüroo OÜ



Joonis 3.19 Kuivati tuulutuskorsten sulgurribide asendi aktuaatoriga. Foto: Termolegno S.R.L.

Kuivamistsükli erinevates faasides on vaja ringleva õhu niiskustaset nii tõsta kui ka vähendada. Vähendamiseks lastakse osa õhku tuulutuskorstnate (joonis 3.19) kaudu välja, õhuniiskuse suurendamiseks pritsitakse õhu ringluskanalisse kõrgsurvedüüsidega vett. Kuna õhu liikumine kambris on reverseeritav, on soovitatav vee sissepritse kuivati mõlemas otsas. Näide kuivati juhtimisprogrammist on toodud joonisel 3.20.



Joonis 3.20 Kuivati juhtimisprogrammi näide.

Kuivatuskvaliteet

Saematerjalide kuivatuskvaliteedi määravad nähtavad kuivatusdefektid, materjali keskmine lõppniiskus, lõppniiskuse ühtlus materjalivirnas, niiskuse ühtlus materjali paksuses, sisepinged ja materjali tugevusnäitajad. Standard EVS-EN 14298 „Saematerjal. Kuivatuskvaliteedi hindamine“ normeerib keskmise nõutava lõppniiskuse lubatud hälbed ja üksiktulemuste standardhälbed (tabel 3.5).

Tabel 3.5 Lõppniiskuse lubatud hälbed

Nõutav lõppniiskus, %	Nõutava lõppniiskuse lubatud hälve, %	Üksikmõõtmiste suurim lubatud standardhälve
7–9	–1/+1	1,0
10–12	–1,5/+1,5	1,2
13–15	–2,0/+1,5	1,5
16–18	–2,5/+2,0	2,0

Nähtavateks kuivatusdefektideks on lõhed, deformatsioonid, värvuse muutused jm. Pindmised lõhed tekivad materjalis kuivatuse algstaadiumis väliskihtides tekkivate tõmbepingete mõjul ja sisemised lõhed kuivatuse lõppstaadiumis sisekihtides tekkivate tõmbepingete mõjul. Lõhede tekkimise peamine põhjus on liiga intensiivne kuivatusrežiim ning ka materjali struktuuri ja keemilise koostise ebaühtlus.

Otsmised lõhed tekivad teistest kergemini, kuna materjali otstes on niiskuse aurumine alati intensiivsem ja seega sisepinged suuremad. Selle vältimiseks võib materjali otsad katta niiskuskindla määrdega või aeglustada kuivatusagensi liikumist virna otstes ekraaniga.

Radiaallõhesid põhjustavad lisa-sisepinged, mis on tingitud kuivamiskahanemise erinevusest radiaal- ja tangentsiaalsuunas. Üarmaterjali ja tüve keskosast saetud prusside kuivatamisel on sisepinged väga suured ja radiaallõhesid peaaegu võimatu vältida.

Kõmmeldumine on tingitud samuti kuivamiskahanemiste erinevusest eri suundades ja seda on võimalik vähendada materjali parema fikseerimisega (surve all hoidmisega) kuivatuse ajal.

Värvuse muutusi ja vaigu väljasulamist põhjustab enamasti liiga kõrge kuivatustemperatuur.

Paljud kuivatusdefektid võivad olla tingitud puiduriketest ja puidu omaduste varieerumisest sama materjali külgnEVates piirkondades. Allpool on kirjeldatud nende tegurite mõju kuivatuskvaliteedile.

Okste mõju kuivatuskvaliteedile

Suured kokkukasvamata oksad kukuvad tavaliselt välja, sest nende ja ümbritseva puidu kuivamiskahanemine on kiudude erineva suuna tõttu erinev. Oks kuivab kokku ühtlaselt ristikiudu, ümbritseva puidu kuivamiskahanemine kiudude pikisuunas on aga minimaalne ja seetõttu säilitab oks mõningase kontakti ümbritseva puiduga vaid ristsuunas materjali pikiteljega. Oksad kuivavad kiiremini, kuna niiskus eraldub kiudude pikisuunas kiiremini ja ka algniiskus on väiksem. Okste väga väike kuivamiskahanemine pikisuunas võib põhjustada nende väljaulatumise materjali pinnast. Kokkukasvanud oksad põhjustavad vähem probleeme, kuid kipuvad lõhenema.

Okste maht puidus on umbes 1–2%. Oksi ümbritseb aga muutunud kiusuunaga puit, mille maht on okste omast umbes kolm korda suurem, ja see põhjustab ebameeldivaid deformatsioone kuivatusel.

Lisadeformatsioonide põhjused

Lisadeformatsioone põhjustavad puidu loomulik anisotroopsus ja puidurikked. Olulisteks mõjuriteks on ränipuit, kaldkiulisus ja mikrofibrillide kaldenurk rakuseinas; seda mitte niivõrd nende esinemine, kuivõrd nende gradiendid. Samuti on tähtis baastiheduse ja hemitsellulooside sisalduse varieerumine. Hemitselluloosid on väga hügrooskoopseid ja mõjutavad seetõttu oluliselt niiskuse muutustest tingitud deformatsioone.

Kaldkiulisus põhjustab keerdumust ja kaldkiulisuse erinevus materjali eri külgedel ka kaardumist. Kaldkiulisuse kriitiliseks väärtuseks loetakse 6°. Keerdumus kasvab ladva ja säsi suunas vastavuses kaldkiulisuse kasvuga. Seda esineb suurimal määral ladvapalgi siseosas, kus kaldkiulisus on suur ja muutub kiiresti.

Kaardumused on suurimad tüükapalgi siseosast saetud materjalis, kus mikrofibrillidel on suur kaldenurk, mis väheneb kiiresti, ja kus on sageli ka ränipuitu. Nii näiteks toimub pikisuunalise kuivamiskahanemise järsk suurenemine mikrofibrillide kaldenurga suurenemisel üle 30°.

Deformatsioonid sõltuvad ka puidu vanusest. **Juveniilpuit** (*juvenile wood*) deformeerub kuivamisel suuremal määral. Keemilise koostise ja struktuuri erinevuse tõttu deformeerub suuremal määral ka **reaktsioonpuit** (*reaction wood*). Deformatsioonide tekkimist saab osaliselt vähendada õige lahtisaagimisega, mille käigus vabanevad juba puidus algselt olnud pinged.

Kuivatuskvaliteeti tagavad tehnoloogilised abioperatsioonid

Algkuumutus peab tagama materjali sisekihtide temperatuuri tõusu võimalikult lähedale kuivatustemperatuurile. Keskkonna küllastusaste algkuumutusel peab olema võimalikult kõrge ($> 0,9$), et ei tekiks pinnakihtide kuivamisest tingitud niiskusgradienti ja sisepingeid ning materjali temperatuur tõuseks võimalikult kiiresti hea soojusülekande tõttu.

Töötlust sisepingetest vabanemiseks teostatakse vajaduse korral, kas kuivatuse lõppedes või vahepealse töötlusena raskesti kuivatatava materjali puhul. Töötluste eesmärk on muuta materjal plastsemaks, tõstes selle temperatuuri ja pinnakihtide niiskust. Selle tulemusena tekivad materjalis sisepingete mõjul plastsed deformatsioonid, mistõttu pinged vähenevad. Vajalik on tõsta kuivatusagensi temperatuur kõrgemale antud režiimifaasi temperatuurist ja küllastusaste võimalikult lähedale maksimaalsele.

Konditsioneerimine on vajalik materjali niiskuse ühtlustamiseks kuivatis vajaliku lõppniiskuse tasemel. Selleks reguleeritakse kuivatusagensi parameetrid kuivatis lähedaseks vajalikku tasakaaluniiskust tagavale väärtusele. Liigniiske materjal seejuures jätkab kuivamist ja liigkuiv materjal imab niiskust juurde.

Puidu niiskuse määramine

Kuivatusmeetodil (*oven dry method*) niiskuse määramisel katsekeha kaalutakse, kuivatatakse temperatuuril 102–105°C absoluutkuivaks ja määratakse absoluutkuiv kaal. Puidu niiskus arvutatakse valemiga 3.1.

Standardis EVS-EN 13183-1 sätestatud kuivatusmeetodiga saab maksimaalselt täpse tulemuse. Lihtsamad, kuid ebatäpsemad meetodid on elektritakistuse (EVS-EN 13183-2) ja mahtuvustakistuse mõõtmine (EVS-EN 13183-3).

Elektritakistuse meetodil (EVS-EN 13183-2) mõõdetav puidu elektrijuhtivus sõltub niiskusest. Kuiv puit on dielektriline materjal, kuid puidu sees paikneva niiskuse kasv suurendab elektrijuhtivust oluliselt.

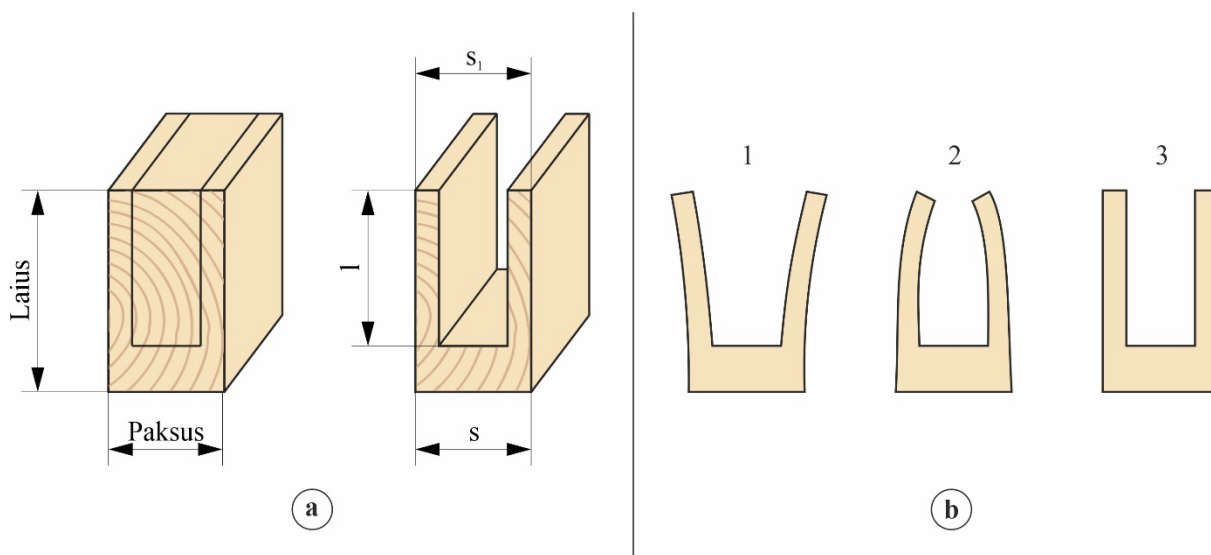
Elektrilised niiskusemõõtjad gradueeritakse puidu tiheduse (puiduliigi) ja temperatuuri järgi. Mida tihedam on puit, seda paremini juhib see elektrit. Elektrilise meetodi puhul surutakse puitu kindlal vahekaugusel elektroodid. Elektroodide läbimõõt ja pikkus võib olla erinev. Elektrilist meetodit kasutatakse ka kuivatuskambrites kuivatusprotsessi pidevaks kontrolliks.

Kolmanda meetodina kasutatakse puidu **mahtuvustakistuse mõõtmist** (EVS-EN 13183-3). Sel meetodil saab mõõtmise teostada ilma puidu pinda rikkumata. Olenevalt niiskusemõõturist võib määrata niiskust erineva paksusega materjalil, kuni 40 mm sügavusel. Niiskusemõõtur seadistatakse arvestades puidu tihedust. Mida suurem on puidu tihedus, seda rohkem väheneb mõõdetud tulemus. Nende niiskusemõõturite eeliseks on asjaolu, et neid ei mõjuta materjali temperatuur, kuid puuduseks on ainult allpool rakuseina küllastuspiiri asuv mõõtepiirkond.

Sisepingete määramine

Sisepingete määramine toimub kaudselt pingetest tekkivate materjali deformatsioonide määramisega. Jõusektsioonide meetodil saetakse saematerjalist 10 mm paksune ristlõikesektsioon, mis saetakse omakorda lahti nii, nagu näidatud joonisel 3.21. Saadakse nn jõusektsioon, mille harude kaardumise järgi saab hinnata pingete suurust ja iseloomu.

Kui jõusektsiooni harud kaarduvad väljapoole (joonis 3.21 b, 1), siis on materjali väliskihitides tõmbepinged ja sisekihtides survepinged, mis on iseloomulik kuivatuse algstaadiumile. Kuivatuse lõppstaadiumis on pingete iseloom vastupidine ja jõusektsiooni harud kaarduvad sissepoole (joonis 3.21 b, 2). Kui jõusektsiooni harud ei kaardu, siis materjalis pinged puuduvad (joonis 3.21 b, 3).



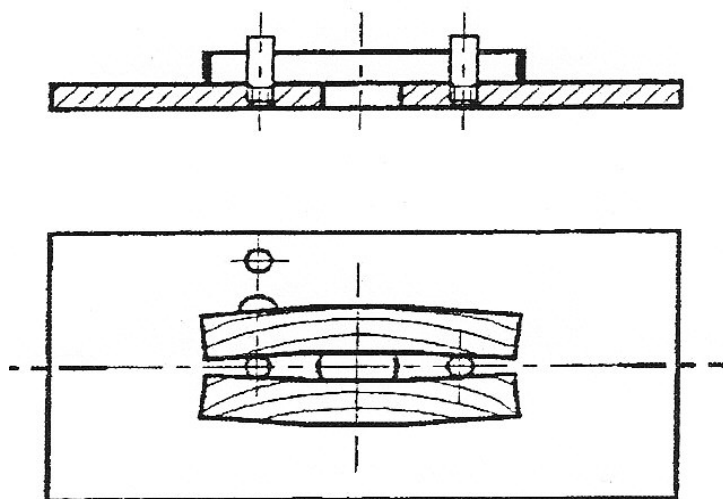
Joonis 3.21 Sisepingete määramine jõusektsioonidega: a – sektsioonide väljasaagimine b – sektsioonide võimalikud deformatsioonid.

Jõusektsiooni harude kaardumine kohe pärast väljasaagimist iseloomustab materjalis olevaid summaarseid pingeid. Olulisem on teada jääkpingete suurust. Selleks tuleb jõusektsioonis kaotada niiskuspinged, kas niiskuse ühtlustamise teel või materjali kuivatamisega absoluutkuivaks.

Sisepingete suurus määratakse kaudselt jõusektsiooni harude deformatsiooni mõõtmisega ja arvutatakse järgmiselt:

$$\sigma = \frac{s-s_1}{2 \cdot l} \cdot 10\%. \quad (3.14)$$

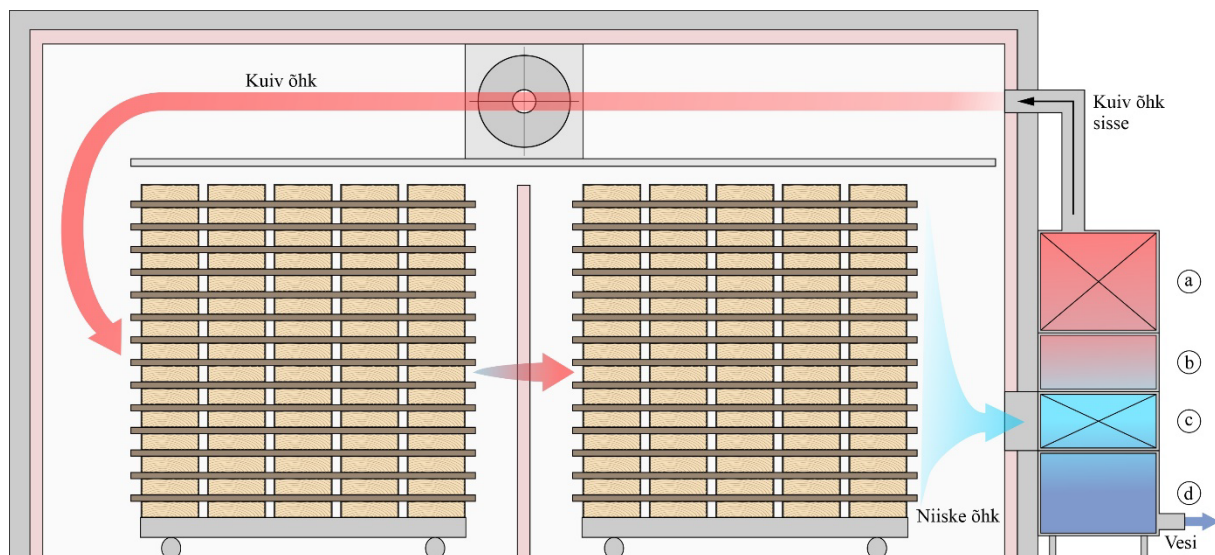
Sisepingete määramise standard *CEN/TS 14464 Saematerjal. Sisepinge hindamise meetod* põhineb samuti deformatsioonide mõõtmisel pärast materjali lahtilõikamist (joonis 3.22). Deformatsioonide mõõtmiseks on vaja kasutada katserakist, kus laiema materjali ristlõikesektsioonide osapoolte deformatsioonid mõõdetakse 100 mm vahekaugusega tugede vahel ning kitsama materjali puhul 75 mm vahekaugusega tugede vahel. Viimasel juhul korrutatakse tulemus üleminekuteguriga.



Joonis 3.22 Sisepingete määramine standardi CEN/TS 14464 järgi.

3.3.5 Kondensatsioonkuivatus

Kondensatsioonkuivatus toimub väljuvas niiskes õhus sisalduva veeauru aurumissoojusega ja siseneva värskes õhu kuumutamisega. Selle eeliseks on soojuslik ökonoomsus, kuna minimaalse õhuvahetuse tõttu praktiliselt puuduvad soojuskaod.



Joonis 3.23 Soojuspumbaga kondensatsioonkuivati tööpõhimõte: a – õhusoojendi kuivatusagensi soojendamiseks, b – kompressor, c – soojusvaheti – niiske ja sooja õhu sisseimamine ja mahajahutus, (d) – kondensaator – kondensvee väljund.

Joonisel 3.23 on toodud kondensatsioonkuivati tööpõhimõte, milles on kasutatud tavalise külmutusseadme tööpõhimõtet ja soojuspumpa soojusenergia lisakokkuhoiuks.

Materjalivirna läbinud kuivatusagens läbib soojusvaheti (joonis 3.23 c), milles kuivatusagensis sisalduv aur kondenseerub ja viiakse kuivatist välja madala soojussisaldusega kondensaadina – veena (joonis 3.23 d). Järgmise soojusvaheti läbimisel saab kuivatusagens tagasi eelmises soojusvahetis ära antud soojuse ning suundub uuesti tsirkulatsiooni, läbides enne soojusvaheti, milles kompenseeritakse soojuskaod läbi piirete. Külmutusagens aurustub soojusvahetis (joonis 3.23 c), surutakse kokku kompressoris (joonis 3.23 b) ja kondenseerub soojusvahetis, andes ära soojuse kuivatusagensile. Välisõhus sisalduv soojus lisandub külmutusagensile soojusvahetis. Kuivatis on ka võimalus otseseks õhuvahetuseks väliskeskkonnaga.

3.3.6 Kõrgtemperatuurne kuivatus

Kõrgtemperatuurisel kuivatusel kuivatisse välisõhku ei juhita ja kuivatus toimub materjalist aurunud ülekuumendatud auruga atmosfäärirõhul. Niiskust materjalist läheb keema ja tekib rõhugradient, mis on peamiseks mõjuteguriks niiskuse eemaldamisel. Kuna niiskus liigub materjalist välja peamiselt rõhugradiendi mõjul, siis on niiskusgradient väike ja ka sisepinged väikesed. Pinged on väiksemad ka materjali suurema plastisuse tõttu kõrgemal temperatuuril.

Soojuslikult on kõrgtemperatuurne kuivatus ökonoomne seetõttu, et puudub vajadus värsket õhku kuivatisse juhtida. Materjalist aurunud niiskuse arvel suurenenud kuivatusagensi kogus

eemaldatakse kuivatist läbi hüdrooluku. Kõrgtemperatuurisel kuivatusel võib temperatuur maakselt tõusta kuni 130 °C. Kõrgete temperatuuride saamiseks kasutatakse soojusvahetitena aurukalorifeere ning suurendatakse küttepinda, paigutades kalorifeere sageli ka materjalivirnade vahele. Kõrgtemperatuurse kuivatuse probleemideks on vaigu väljasulamine, materjali tumenemine ja mõningane tugevuse vähenemine.

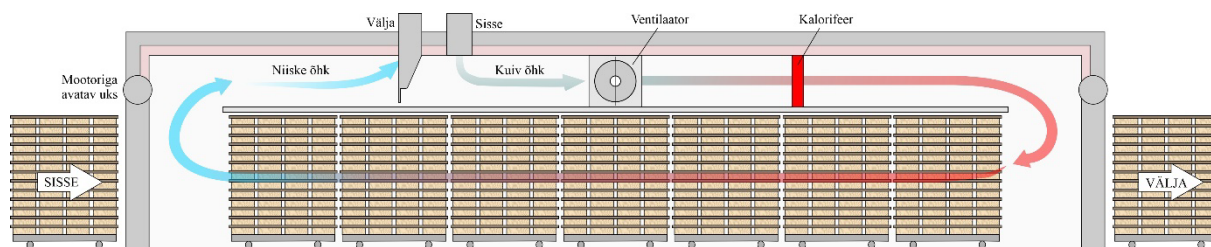
3.3.7 Pidevkuivatus

Pidevkuivatite kasutamine on otstarbekas vaid väga suurte tootmismahutudega ühetüübilise materjali kuivatamisel transpordiniiskusele 18–22%.

Pidevkuivati (nimetatakse ka tunnelkuivatiks) kujutab endast pikka tunnelitaolist kambrit, milles materjalivirnu nihutatakse perioodiliselt edasi ühe virna võrra kuivati märja otsa poolt (märj materjal) kuiva otsa poole (kuiv materjal), lükates seejuures uue märja virna kuivatisse ja viimase kuiva virna kuivatist välja. Kuivati võib olla varustatud eelsoojenduskambriga enne sisenemist kuivatustsooni ja jahutuskambriga pärast väljumist kuivatustsoonist. See vähendab soojuskadusid ja kuivatusrežiimi kõikumisi välisõhuga kontakti puudumise tõttu.

Kasutuses on pikitsirkulatsiooniga ühetsoonilised ja kahetsoonilised ning põiktsirkulatsiooniga mitmetsoonilised pidevkuivatid.

Ühetsoonilise kuivati (joonis 3.24) kuivatustsooni pikkuses on sujuvalt muutuvad keskkonnamitingimused: märja otsa poolt kuiva otsa poole tõuseb pidevalt temperatuur ja väheneb õhuniiskuse. Seetõttu suureneb järk-järgult kuivatuse intensiivsus.



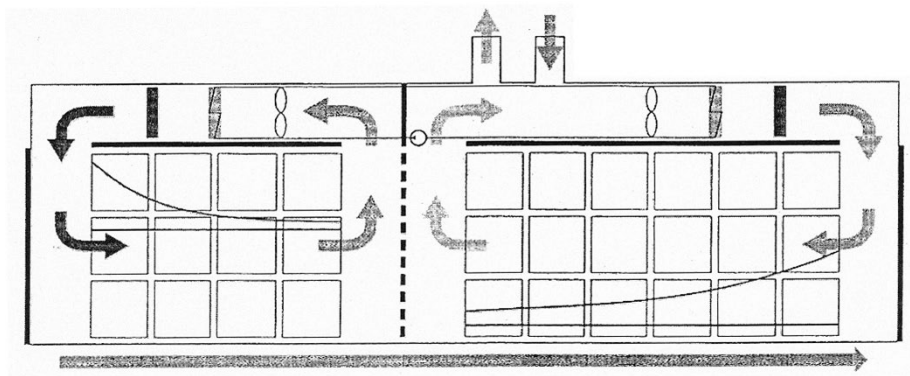
Joonis 3.24 Ühetsooniline pidevkuivati.

Kuivatusrežiimi parameetreid registreeritakse tavaliselt vaid kuivati märjas ja kuivas otsas. Nii näiteks võib okaspuidu kuivatamisel transportniiskusele kasutada järgmisi režiimiparameetreid:

- kuivati märjas otsas temperatuur 50–55 °C ja psühromeetriline vahe 1–2 °C,
- kuivati kuivas otsas temperatuur 65–70 °C ja psühromeetriline vahe 10–20 °C.

Pidevkuivatid on varustatud rekuperatsiooniseadmetega, mille ülesandeks on kuivatisse sisenewa välisõhu soojendamine kuivatist väljuva kuuma kuivatusagensiga.

Kahe autonoomse töötsooniga kuivatis (joonis 3.25) tsirkuleeritakse tsoonides kuivatusõhku eri suunas ja luuakse erinevad kliimatingimused, mille paindlikuma reguleerimisega on võimalik saavutada kvaliteetsem kuivatus.



Joonis 3.25 Kahetsoonilise pidevkuivati kuivatustsoonid.

Mitmetsoonilises põiktsirkulatsiooniga kuivatis paiknevad materjalivirnad kuivati pikitelje suunas ning igas kuivatustsoonis on võimalik kasutada ja reguleerida erinevat optimaalset kuivatusrežiimi, mis tagab vajaliku kvaliteedi ja kõrge tootlikkuse.

3.3.8 Vaakumkuivatus

Vaakumkuivatuse meetodid

Vaakumkuivatuse meetodeid võib liigitada lähtudes soojusülekande tüübist (tabel 3.6):

Tabel 3.6 Vaakumkuivatuse liigid ja alaliigid

Vaakumkuivatusmeetodite liigid	Alaliigid
Kuivatus konvektiivse soojusülekandegaga	Kuivatus pideva kuumutamisega
	Kuivatus perioodilise kuumutamisega
Kuivatus konduktiivse soojusülekandegaga	
Vaakumdielektriline kuivatus	
Kuivatus radiatsioonkuumutusega	

Loetletud meetoditest enamlevinud on pideva kuumutamisega konvektiivse soojusülekanega kuivatusmeetod, vaatamata olulisele puudusele, milleks on konvektiivse soojusülekande vähene efektiivsus hõredas kuivatuskeskkonnas. Sellest puudusest on püütud vabaneda kuivatusagensi liikumiskiiruse suurendamisega ja ka perioodilise kuumutamisega, kus kuivatustsükliid vaakumis vahelduvad kuumutustsüklitega atmosfäärirõhul.

Konduktiivne, vaakumdielektriline ja radiatsioonkuumutus võimaldavad ka vaakumis efektiivset soojusülekannet. Neist levinum on konduktiivse soojusülekanega kuivatusmeetod. Kõrgsageduselektriväljas toimuv vaakumdielektriline kuivatus on küll kõige kiirem ja kvaliteetsem kuivatusviis, kuid tema levikut piirab keerukus ja väga kõrge hind. Radiatsioonkuumutuse puhul toimub soojuse ülekande materjalile kiirguselementidelt infrapunakiirgusega. Selle meetodi vähese leviku üheks põhjuseks tuuakse enamasti materjali ebaühtlast lõppniiskust.

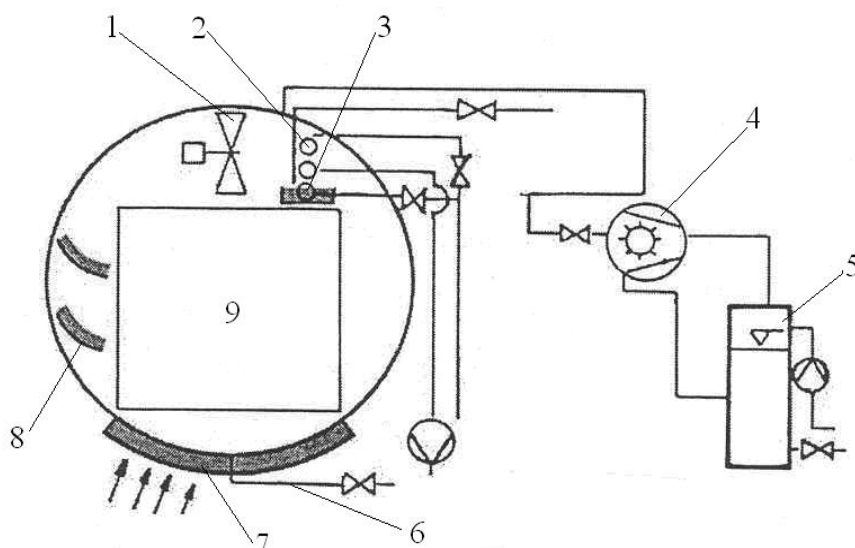
Kuivatus konvektiivse soojusülekande ja pidevkuumutusega

Kuivatuseks kasutatakse enamasti kuni 3 m läbimõõduga silindrilisi autoklaave, mille valmistamiskulutused suurenevad ligikaudu ruudus mahu suurenemisega. Autoklaavid võivad töötada jääkrõhul 50 mbar ja peavad taluma seejuures rõhku kuni 9 t/m². Autoklaavide valmistamiseks kasutatakse peamiselt alumiiniumi, mis on suurema korrosioonikindlusega kui odavamad legeritud terased. Samas aga peab alumiiniumi puhul seinapaksus olema tunduvalt suurem.

Uuemaid kuivatusautoklaave on täiustatud ekraanidega kuivatusagensi liikumise suunamiseks eelistatult virna niiskematesse piirkondadesse, mis määratakse kindlaks saematerjalisse paigaldatud niiskusanduritega. Materjalist auruv niiskus kondenseeritakse autoklaavi põhja jahutamisega ning eemaldatakse perioodiliselt käivituva pumbaga.

Hõredas kuivatuskeskkonnas soojusülekande intensiivsuse tagamiseks suurendatakse oluliselt kuivatusagensi liikumiskiirust, mis ulatub piiridesse 20–40 m/s. Selleks paigaldatakse kuivatisse suurel arvul suure tootlikkusega ventilaatoreid.

Joonisel 3.26 on kujutatud konvektiivse soojusülekandega vaakumkuivatuse tehnoloogiline skeem. Kuivatus toimub tavaliselt materjalist eralduva ülekuumendatud auru keskkonnas. Vaakumis alaneb materjal sisalduva vaba niiskuse keemistemperatuur märgatavalt ning jääkrõhul 100 mbar on see vaid 45 °C. Niiskuse keemise tulemusena tekib rõhugradient, mis on peamiseks niiskuse eraldumise mõjuteguriks analoogselt kõrgtemperatuurse kuivatusega, kindlustades lühikese kuivatusaja ja kõrge kvaliteedi.

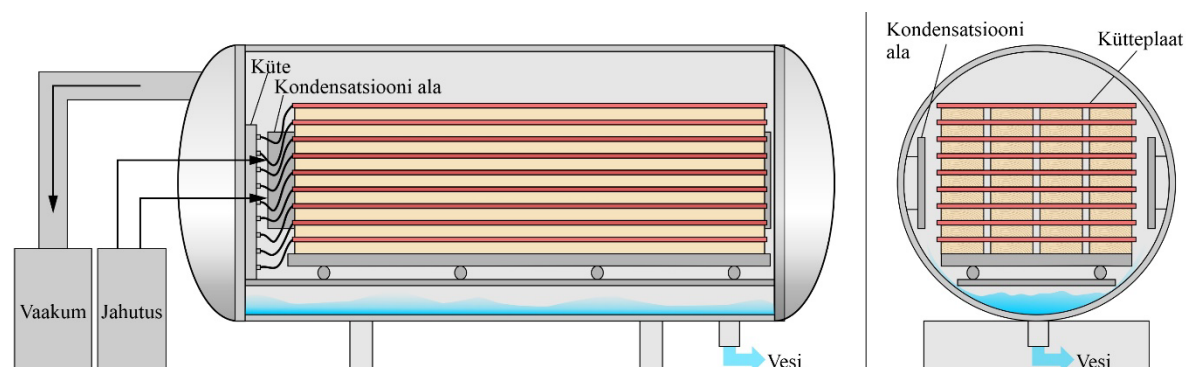


Joonis 3.26 Konvektiivse soojusülekandega vaakumkuivatuse skeem: 1 – ventilaator, 2 – kaloreifer, 3 – niisutusseade (aurusti), 4 – vaakumpump, 5 – veepaak, 6 – kondensaadi eraldus, 7 – jahutusõhu kanal, 8 – reguleeritav ekraan, 9 – materjalivirn.

Kuivatus konduktiivse soojusülekandega

Konduktiivse soojusülekandega kuivatis toimub soojusülekanne materjaliridade vahel paiknevate kuumutusplaatidega, milles tsirkuleerib läbi voolikute sinna juhitud soojuskandja. Kuivatuseagensi tsirkuleerimiseks sel juhul vajadus puudub.

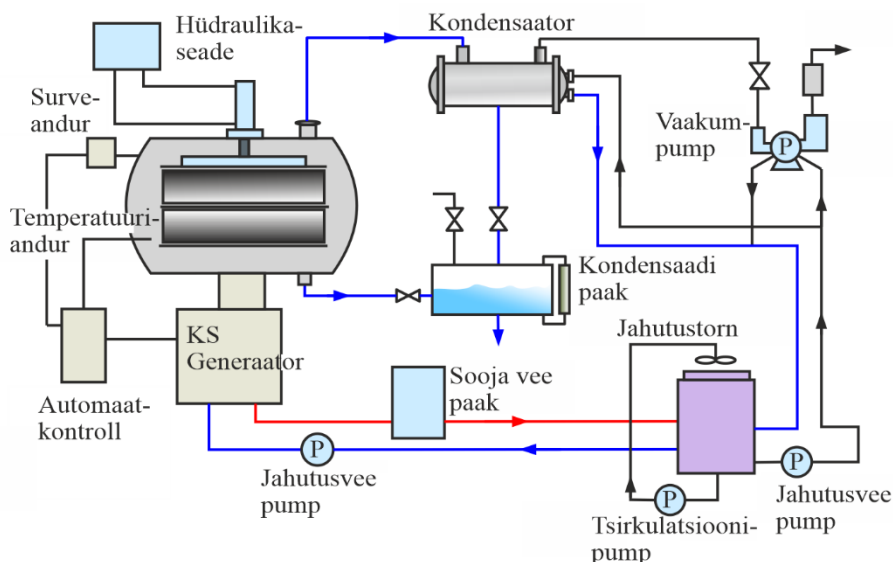
Joonisel 3.27 on kujutatud konduktiivse soojusülekandega vaakumkuivati, kus materjal on ladustatud vaheldumisi kuumutusplaatidega. Sellised kuivatid on tihti ristkülikukujulise ristlõikega, mis võimaldab kuivati siseruumi maksimaalselt ära kasutada. Kuivati piirded peavad olema sel juhul varustatud jäikusribidega neile langeva koormuse talumiseks.



Joonis 3.27 Konduktiivse soojusülekandega vaakumkuivati.

Vaakumdielektriline kuivatus

Vaakumdielektriline kuivatus põhineb puidu kuumutamise väga efektiivsel meetodil – puidu kuumutamisel kõrgsageduselektriväljas. Joonisel 3.28 on kujutatud selle meetodi tehnoloogiline skeem.



Joonis 3.28 Vaakumdielektrilise kuivatuse tehnoloogiline skeem.

Puit, mis on asetatud kõrgsagedusvõnkekontuuri kondensaatorisse, kuumeneb dielektriliste kadude arvel vaba niiskuse keemistemperatuurini vaakumis ning tekib rõhugradient.

Kuivatusmeetodi eeliseks on kõrge kuivatuskvaliteet ja enam kui 10 korda lühem kuivatuskestus võrreldes tavalise konvektiivkuivatusega. Kõrge kuivatuskvaliteet on seotud kuivatusega väga väikese niiskusegradienti tingimustes niiskuse liikumisega väliskihitidesse rõhugradienti ning lisaks veel temperatuurigradiendi täiendaval mõjul. Temperatuurigradiendi mõju on selle meetodi puhul suunatud materjali seest väljapoole, kuna soojus tekib materjali sisemuses.

Elektrienergia kulu on vaakumdielektrilisel kuivatusel väga suur ning seadmed kallid, mis teeb selle meetodi sobivaks vaid väga kvaliteedilise rasketikuivatatava materjali kuivatamiseks.

3.3.9 Vedelikkuivatus

Puitu on võimalik kuivatada hüdrofoobsetes vedelikes, mis ei segune ega lahustu vees. Mõningat praktilist kasutamist on leidnud petrolaatum, mis on tahkete küllastunud süsivesinike ja õli segu. Kuivatust teostatakse kalorifeeridega varustatud basseinis kõrgtemperatuurisel režiimil. Kuivatusajad on lühikesed, kuid puuduseks on materjali määrdumine. Otstarbekohane on

vedelikkuivatust kasutada õlidega kaitseimmutuse tehnoloogias. Sel juhul kuivatatakse immutatavat materjali autoklaavis enne immutust immutusõliga vajaliku niiskuseni, mis tagab immutusprotsessi optimaalsuse.

3.3.10 Korrosioon ja lenduvad orgaanilised ühendid kuivatusel

Enamiku puiduliikide pH on happelises piirkonnas väärtusega 4–6. Peamiseks happesuse allikaks kuivatusel on puidus olev vaba äädikhape ja peamiselt hemitsellulooside atsetüülrühmadest hüdroolüüsil eralduv äädikhape. Happesus põhjustab metallide korrosiooni, millele on vastupidavad alumiiniumisulamid ja happekindel teras. Tanniinide ja fenoolide sisaldus mõnedes puiduliikides (nt tamm) võib katalüüsida seotud atsetüülrühmade autohüdroolüüsi. Hüdroolüüs kiireneb temperatuuri ja keskkonna niiskuse kasvuga.

Järjest karmistatakse nõudeid ohtlikeks klassifitseeruvate lenduvate orgaaniliste ühendite emissioonile, nt formaldehüüd ja päikesekiirguses osooni tekitavad ühendid, mida kuivatusel tekib siiski suhteliselt vähe. Üheks suuremaks lenduvate orgaaniliste ühendite allikaks kuivatusel on männipuit (α - ja β -pineen, terpeenide hüdroolüüsi saadused jm). Osa ühendeid tuleb ligniini ja hemitsellulooside termilisest lagunemisest (formaldehüüd). Lehtpuidu kuivatamisel eraldub lenduvaid ühendeid tunduvalt vähem võrreldes okaspuiduga.

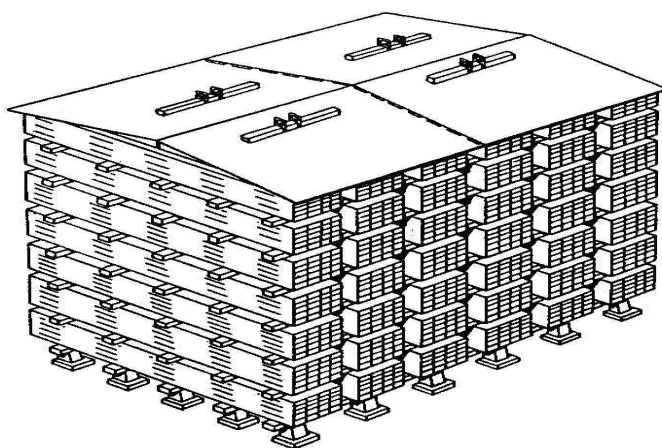
3.3.11 Atmosfäärne kuivatus

Atmosfäärne kuivatus (joonis 3.29) on vanim kuivatusmeetod ja odavuse tõttu ei ole tähtsust kaotanud tänapäevalgi. Peamiseks puudusteks on pikk kuivatusaeg, sellest sõltuvalt suurte laopindade vajadus kuivatuseks ning võimatus kuivatada väikese lõppniiskuseni.

Atmosfäärse kuivatuse kulgemine sõltub kliimavööndist, aastaajast ja ilmastikust. Õhu parameetrid muutuvad oluliselt ka ööpäeva jooksul. Suurte tootmismahdade puhul erinevad teataval määral õhu parameetrid ka saematerjali laos võrreldes ümbritsevate keskkonnaoludega (madalam temperatuur, kõrgem õhuniiskus, väiksem õhu liikumiskiirus). Kuivamisel puidu niiskuse vähenemisega toimub ka õhu oleku muutumine.

Õhu liikumine materjalivirnas on keerulise iseloomuga, tuulevaikuses toimub see valdavalt vertikaalsuunas, mida võimaldab materjali ladumine vahedega. Päeva esimesel poolel soojenenud õhk jahedas virnas jahtub ja liigub allapoole, õhtul aga jahenenud õhk virnas soojeneb ja liigub ülespoole. Tuulise ilmaga toimub valdavalt külgsuunaline liikumine.

Kuivatusprotsessi edukus sõltub peamiselt materjali ladumistihedusest. Kuivatuse väikese intensiivsuse korral võivad puitu mõjutada värvusrikkeid tekitavad seenhaigused. Soe ja kuiv õhk võib ka atmosfäärsel kuivatusel tekitada lõhenemist põhjustavaid sisepingeid. Kuivatusrežiimi reguleerimise peamine võimalus on materjali sobiva ladumistiheduse valimine. Ladumistihedust reguleeritakse peamiselt vahede laiusega lauaridades. Sobiv ladumistihedus sõltub puiduliigist, materjali paksusest ja laiusest ning kliimatsoonist.



Joonis 3.29 Saematerjali virnad atmosfäärsel kuivatusel.

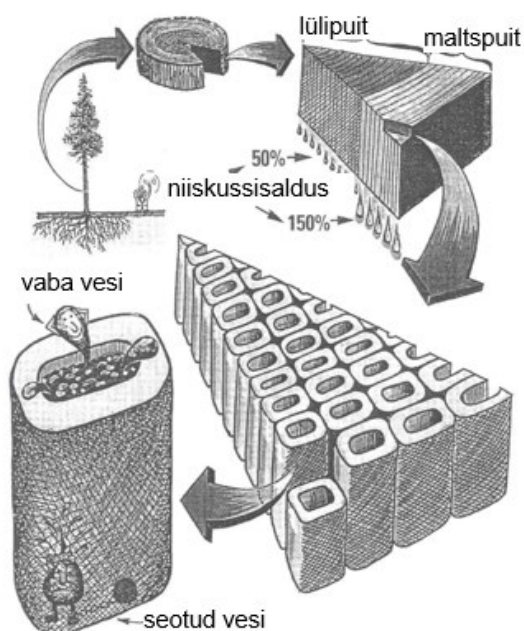
Lattu suunatavad saematerjalid tuleks virnastada kiiresti: soojal aastaajal tähtajaga 1 ööpäev ja külmal aastaajal mitte üle 3 ööpäeva. Virn peaks olema paigutatud alusele, mis võimaldab õhu läbivoolu. Alus koosneb tavaliselt tugedest ja neile paigaldatud taladest. Avatud laos paiknevad virnad peavad olema varustatud katusega.

3.4 Spooni kuivatus

3.4.1 Spooni kuivatuse iseärasused

Spoonikuivatuse eesmärk on kuivatada spoon sellisele niiskusele, mis on sobiv vineeri valmistamiseks. Treimisest tulnud spoon on väga niiske (60–80%) ega sobi liimimiseks. Liiga suur spooni niiskus takistab liimimist ja kuumpressimist, spoonis olev vesi aurustub liimikihis, tekib aururõhk ja kuumpressi avamisel toimuvad auruplahvatused, mistõttu vineerikihid delamineeruvad. Liigniisked spoonid tuleb uuesti kuivatada või konditsioneerida, mis omakorda on nii energiamahukas kui ajakulukas. Spooni algniiskus sõltub palkide niiskusest. Palkide niiskus varieerub sõltuvalt hoiustustingimustest, aastaajast, individuaalsetest omadustest (nt väikese mädanikuga kasepaku südamik on niiskem). Joonisel 3.30 on toodud skeem niiskussisaldusest

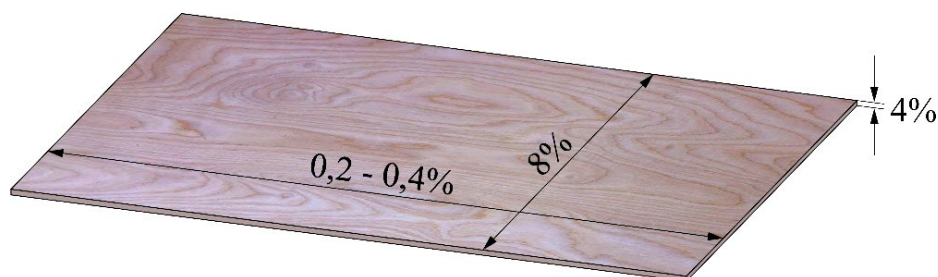
puidus. Okaspuit ja lehtpuit on erineva niiskussisaldusega. Okaspuidu maltspuit on palju niiskem kui lülipuit. Lehtpuidu puhul on maltspuidu ja lülipuidu niiskus sarnane. Puidu tiheduse kasvades suurenevad tavaliselt õhuniiskuse kõikumisest tingitud spooni mõõtmete muutused – pundumine ja kuivamiskahanemine. Puidu niiskust (puidutehnoloogias protsentides) väljendatakse puidus oleva vee (nii vaba kui rakuseinas seotud vee) ja puidu kuivmassi suhtena (jaotis 3.2.1). Puidu niiskus ei ole absoluutväärtus, kuna see varieerub vastavalt suhtelisele õhuniiskusele. Seda niiskust nimetatakse puidu tasakaaluniiskuseks. Puidu tasakaaluniiskus on seisund, kus puidu niiskus püsib konstantsena, kusjuures märgspoonis on sageli kaaluliselt rohkem vett kui puitu. Lehtpuidu spooni niiskus võib varieeruda vahemikus 70–110% ja okaspuidust spooni niiskus võib varieeruda 25–180%. Vesi võib puidus esineda nii „vabas olekus“ kui ka „rakuseinas seotult“. Vabavesi ja veeaur paiknevad rakuõõnsustes ja seotud vesi paikneb rakuseintes (joonis 3.30).



Joonis 3.30 Niiskuse sisaldus puidus.

Kuivatamise etapis väljub vesi kõigepealt rakuõõntest ja seejärel, kui puiduniiskus väheneb alla 30%, ka rakuseintest, mis põhjustab puidu kuivamiskahanemist. Puit on anisotroopne materjal, mis tähendab, et see kahaneb ja pundub kõige rohkem tangentsiaalsuunas (ristikiudu spooni laiusmõõt) ja 2 korda vähem radiaalsuunas (spooni paksuses) ning ligi 10 korda vähem puidukiisuuanliselt ehk spooni pikisuunas. Näiteks on treitud kasespooi kuivamiskahanemine kuivatamisel 5% lõppniiskuseeni (joonis 3.31) spooni laiuses ehk tangentsiaalsuunas 8%, radiaalsuunas 4% ja pikisuunas ainult 0,2–0,4%. Seega tuleb spooni treimisel arvestada ka spooni paksuse kahanemisega kuivatamisel (joonis 3.31). Märja spooni lõikamisel tuleb arvestada ka

spooni laiuse kahanemisega kuivatamisel. Puidu rakuseina küllastuspiiri 30% niiskuse juures võib spoonil esineda väikest pundumist ja kahanemist, mistõttu lõigatakse erineva niiskustaseme spoonid eri laiusele. Spooni pikisuunaline kahanemine on väike ja selle arvestamine tööprotsessides ei ole nii oluline.



Joonis 3.31 Treitud kasespooni kahanemine pärast kuivatust.

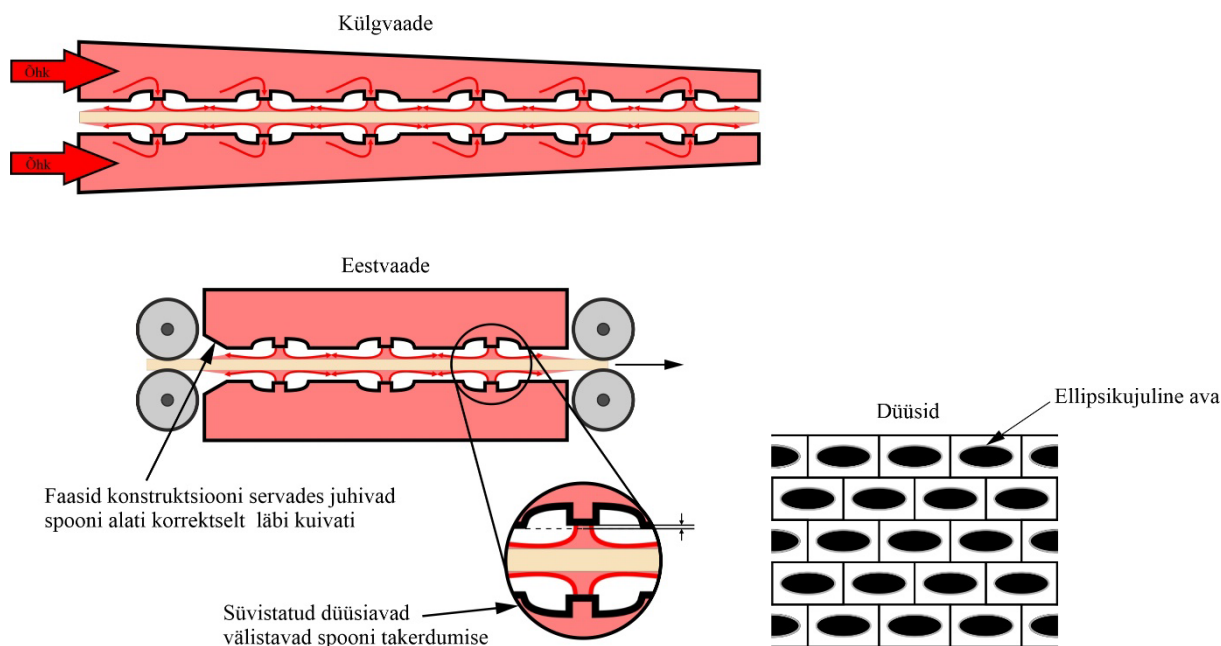
Joonisel 3.2 on näha, et puidu tasakaaluniiskus hakkab temperatuuri tõustes langema. Sellel põhjusel kasutatakse spooni kuivatamisel temperatuure 165–200 °C.

Fenoolliidide puhul peab kasespooni niiskus jääma vahemikku $4 \pm 1,5\%$ (soovitud keskmine spooni niiskus on 4,5%). Pinnaspooni niiskus võib olla natuke kõrgem (kuni 6%) vineeri sise- miste kihtide spooni niiskusest. Okaspuidu korral peab spooni niiskus jääma vahemikku 6–8%. Spoonliimpuidu puhul on suurema paksusega (tavaliselt 3,2 mm) okaspuidu spoonide niiskuseks 3–5%. Kasevineeris valdavalt kasutatava väikese paksusega spooni (tavaliselt 1,5 mm) tõttu toimub kuivamine kiiresti ning kuivatusaega mõõdetakse minutites, olenevalt materjalist, kuivatitüübist ja režiimist tavaliselt piirides 5–10 min. Õhukese kasespooni kuiva- tamine võtab aega alla 3 min, kuid paksema okaspuiduspooni kuivatamine võtab neli korda rohkem aega. Temperatuuri tõustes kiireneb vee liikumine spooni sisekihtidest väliskihidesse. Kasespooni kuivatustemperatuur on vahemikus 165–190 °C. Okaspuidust treitud spooni kui- vatustemperatuur on kõrgem kui kasel ja jääb vahemikku 175–200 °C. Spooni maksimaalne kuivatustemperatuur määratakse spooni pinnavärvuse tumenemise ja tuleohutusnõuetega. Temperatuur võib olla kõrgem kuivatusprotsessi alguses, kui spoon on kõige niiskem. Väikese paksuse tõttu ei ole kuivatusel probleemiks niiskusgradiendid ja sisepinged, mis võimaldab kasutada väga intensiivseid kuivatusrežiime. Kuivatusel peab spoonileht olema fikseeritud tasapinnalisuse säilitamiseks, kuid mitte liialt tugevasti, et võimaldada kuivamiskahanemist ja vältida lõhede tekkimist. Kuivatamine tekitab spoonis pingeid, mis proovivad seda lõhestada, mis omakorda tekitab spooni lainetamist ja muhkusid. Treimisel tuleb arvestada spoonilehe laius- ja paksusmõõtmete kokkutõmbumisega kuivatamisel.

Kuivatamisaega mõjutavad tegurid sõltuvad puiduliigist, spoonipaksusest ja kuivati tööst. Neist olulisemad on kuivatusõhu temperatuur, kuivatusõhu suhteline niiskus ja õhu kiirus spooni pinnal, spooni niiskussisaldus kuivamise ajal, spooni lõplik niiskus, spooni paksus, puiduliik, puiduraku struktuur, mahukaal, pindmine ja sisemine kiht.

3.4.2 Spooni kuivatusmeetodid

Peamisteks seadmeteks spooni kuivatamisel on rullkuivatid ja võrkkuivatid. Mõlemad kuivatitüübid järgivad sama põhimõtet eraldada puidust vesi soojuse ja õhuringluse abil. Soe õhk puhutakse läbi düüside spooni mõlemale pinnale (joonis 3.32). Spoonikuivatites on eelistatud ellipsikujulised düüsid (joonis 3.32), sest need tagavad laminaarse õhuvoolu torude kaudu ning on ka efektiivsemad ja energiasäästlikumad.

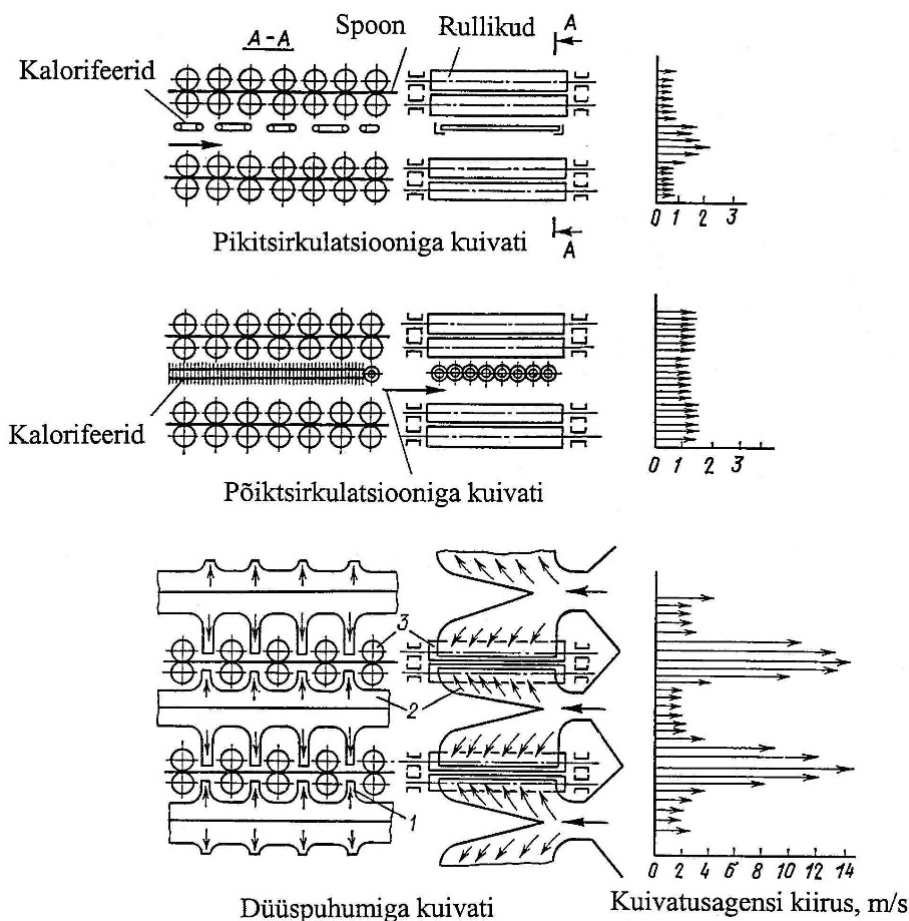


Joonis 3.32 Sooja õhu liikumine spooni pinnale läbi ellipsikujuliste düüside.

Rullkuivatites toimub soojusülekanne rullikutel liikuvale spoonile nii tsirkuleerivalt kuivatusagensilt kui ka otseselt transportrullikutelt. Võrkkuivatis liigub spoon transportöörlintide (võrkude) vahel läbi kuivatuskambri, milles tsirkuleerib kuivatusagens. Spooni kuivatusprotsess on kiire. Õhukese kasespooni kuivatamine võtab aega vähem kui kolm minutit, aga paksema okaspuu spooni kuivatamine võtab neli kuni viis korda kauem aega. Rullkuivatis on materjali liikumise kiirus tavaliselt 5–12 m/min ja võrkkuivatis 60–90 m/min. Kuivatis tekitatakse kuumus peamiselt radiaatorites ringleva kuuma auru, termoõli või gaasiga.

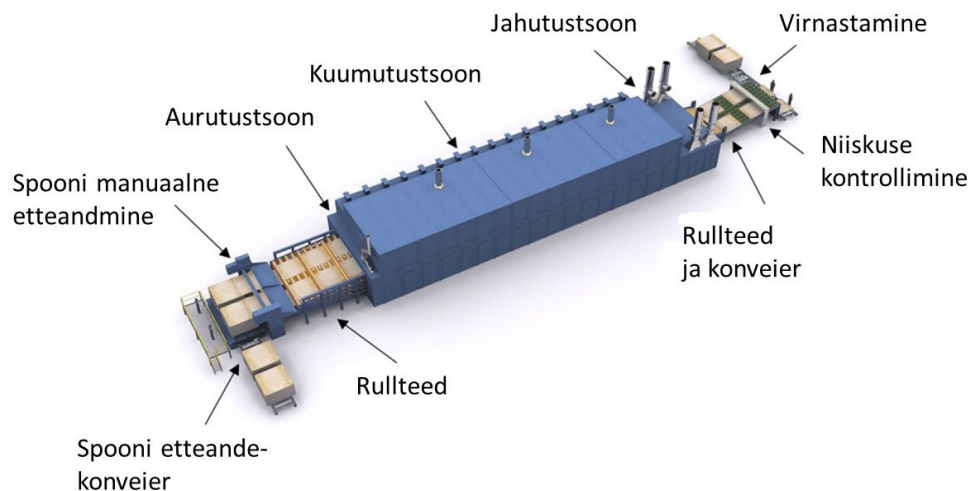
Spooni kuivatamine rullkuivatist

Rullkuivatid kujutavad endast mitmekorruselisi (2–8) rulltransportööre, milles liiguvad spooni-lehed. Kasutusel on õhkuivatid, milles on kuivatusagensiks õhk, ja gaaskuivatid, milles on kuivatusagensiks suitsugaaside segu õhuga. Tsirkulatsiooni tüübi järgi eristatakse piki- ja põik-tsirkulatsiooniga ning dүүspuhumiga kuivateid (joonis 3.33).



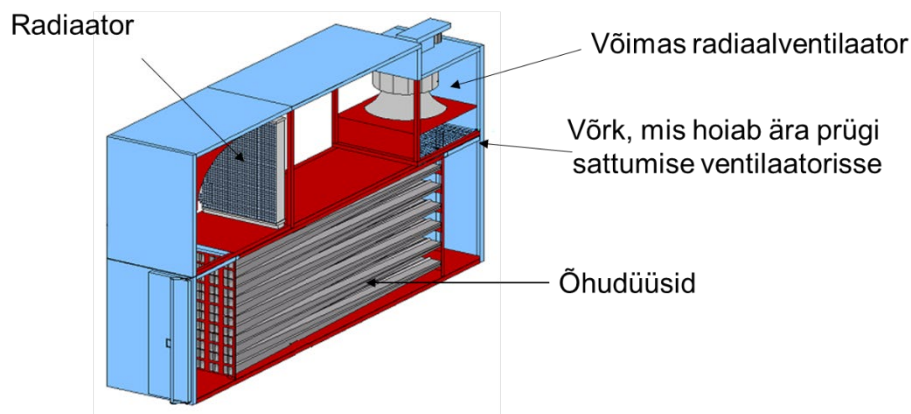
Joonis 3.33 Rullkuivatite tüübid: 1 – dүүsid, 2 – tsirkulatsioonikanalid, 3 – rullikud. Joonis: R. Reiska

Joonisel 3.34 on kujutatud rullkuivatusliini, kus rullkuivatisse saabuval märjal spoonil pärast treimist ning on eelnevalt lõigatud mõõtu ja sorditud mõõtmete, niiskussisalduse ning kvaliteedi järgi virnadesse. Niiskuse järgi kvaliteediklassidesse sortimine toimub pideva niiskuse mõõtmise järgi või okaspuidu spooni puhul jagades spooni malts- ning lülipuitspooniks. Spooni niiskuse järgi jagamist malts- ja lülipuitspooniks kasutatakse okaspuiduspoonide puhul, kus maltspuudu niiskus on ligi kolm korda suurem kui lülipuidus.



Joonis 3.34 Rullkuivatusliin. Allikas: Raute Oyj

Kuivatusprogrammides on eesmärk järgida sama niiskustasemega partiisid, et vältida sagedasi kvaliteedi muutusi. Rullkuivati on varustatud spooni söoturi ja mahalaadijaga. Kuivatis võib olla 4–6 korrust, mis koosnevad rullipaaridest. Rulle juhitakse hammas- ja kettülekandega, et viia spoonid ühtlaselt edasi. Kuivati on jagatud moodulitest koosnevateks tsoonideks (joonised 3.35 ja 3.36). Igas moodulis on tsirkulatsioonõhkventilaator, millest ristsuunaline õhuvool suunatakse läbi düüside spooni pindadele.

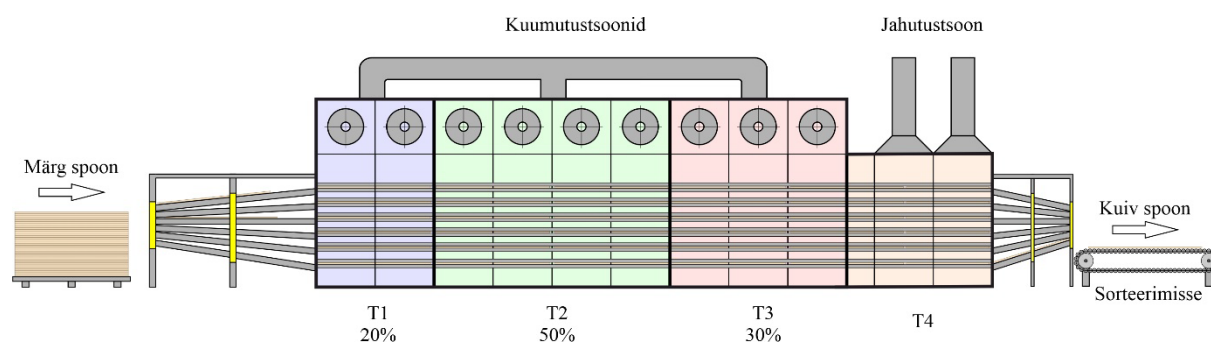


Joonis 3.35 Rullkuivatusliini sektsioon. Allikas: Raute Oyj

Põiktsirkulatsiooni puhul on kuivatusagensi liikumiskiirus spooni pinnal suurem võrreldes pikitsirkulatsiooniga ja seetõttu on ka kuivatusintensiivsus 15–30% suurem. Maksimaalse kuivatusintensiivsusega on düüspuhumiga kuivatid, milles kuivatusagensi liikumiskiirus spooni

pinnal on kuni 15 m/s ja kuivatusintensiivsus *ca* kaks korda suurem võrreldes põiktsirkulatsiooniga kuivatitega. Kuivatusintensiivsust mõjutab oluliselt kuivatusagensi temperatuur. Õhkuivatites ei ületa temperatuur tavaliselt 130 °C, gaaskuivatites aga võib temperatuur kuivati märjas otsas olla kuni 300 °C ja kuivati kuivas otsas kuni 180 °C. Võrreldes õhkuivatitega on neis kuivatusintensiivsus kuni 2,5 korda suurem.

Soojust ja siseõhu niiskust reguleeritakse iga tsooni jaoks eraldi. Automaatjuhtimissüsteem reguleerib kuivati õhuniiskust väljatõmbekanalites asuvate siibrite abil. Alarõhk hoiab ära niiskuse või lõhnade väljavoolu kuivatist tehasehalli. Suitsul ei ole lubatud tehasehalli siseneda ja see juhitakse kuivatist välja kuivati otstesse paigutatud suitsuärastusseadmete kaudu. Õhk jahutustsooni võetakse kas väljast või tehasehallist. Kuivati seinad ja põrandad on hästi isoleeritud, et vältida soojuse pääsemist tehasehalli, mis tooks kaasa ruumi temperatuuri liigse tõusu. Joonisel 3.36. on toodud spooni kuivatusprotsessi kirjeldus rullkuivatis.



Joonis 3.36 Rullkuivatuslini tsoonid.

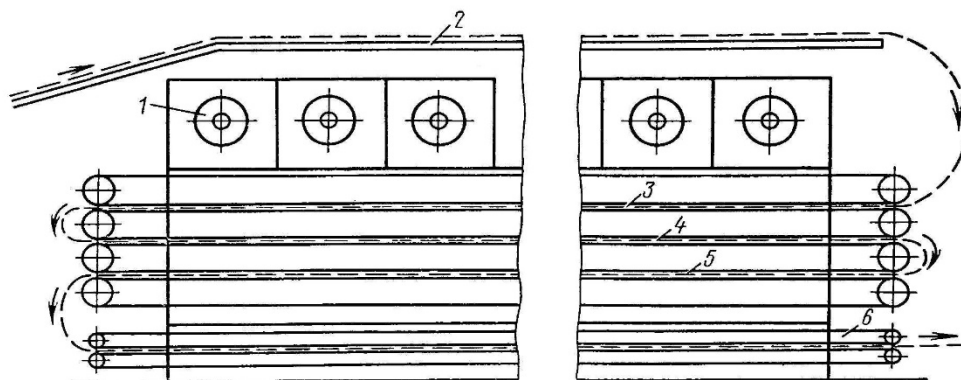
Selleks, et vältida erinevate mõõtmetega spoonilehtede kuivatisse sisestamisel tekkivat kuivatusaja ja energia kulu, kasutatakse ainult täismõõdus spoonilehtesid. Väiksemad spooniribad õmmeldakse märjalt kokku täismõõdus spoonileheks ja seejärel söödetakse kuivatisse. Kuivati võimsuse maksimeerimiseks peab olema kuivati algusest lõpuni spoonidega täidetud. Kuivati täituvuse suurendamiseks on võimalik sisestada ka kattuvaid spoonilehti. Okaspuidust spooniga võib kattuvus olla kuni 10 cm. Spoonid, mida soovitakse hiljem pikisuunas kokku liimida kaldliitega, ei tohi siiski kuivatis kattuda, sest see raskendaks liimliite tekkimist. Joonisel 3.37 on kujutatud spooni etteandmine rullkuivatisse. Kuivatatud spoonid laaditakse kuivatist välja lintkonveierile, mille kiirus on sünkroniseeritud nii, et kuivatist saabuvad spoonilehed asetsevad spooni sortimiseks kõrvuti.



Joonis 3.37 Rullkuivatusliini automaatne spooni etteandeseade. Allikas: Grenzebach Maschinenbau GmbH

3.4.3 Spooni kuivatus võrkkuivatis

Võrkkuivatites kuivatatakse spoonitreipingist tulnud katkematut lahtilõikamata spoonilinti, mis on ökonoomsem nii materjali- kui ka tööjõukulust lähtudes. Kuivatuskorrustel liigub spoon transportvõrkude (joonis 3.39) vahel, mis tagavad kuivatusagensi ligipääsu spooni pinnale. Spoon söödetakse kuivatisse kõige ülemisele korrusele ja liigub sealt edasi läbi kuivati alumiste korrustele. Kuivatustemperatuur on enamasti 140–160 °C piires. Transportvõrgud liiguvad kuivati otstes olevate rullikute abil ülevalt alla. Spoonilint jahutatakse alumisel korrusel ja suunatakse sealt edasi kuivatist välja spooni lõikamise ja sortimisse. Transportvõrgud ei fikseeri spooni küllaldase tugevusega ning seetõttu spooni kvaliteet on kortsumisvõimaluse tõttu tavaliselt madalam võrreldes rullkuivatites kuivatamisega. Joonisel 3.38 on näidatud spooni võrkkuivati põhimõtteskeem.



Joonis 3.38 Võrkkuivati põhimõtteskeem: 1 – telgventilaator, 2 – lintkonveier, 3, 4, 5 – kuivatuskorused, 6 – jahutuskorrus.



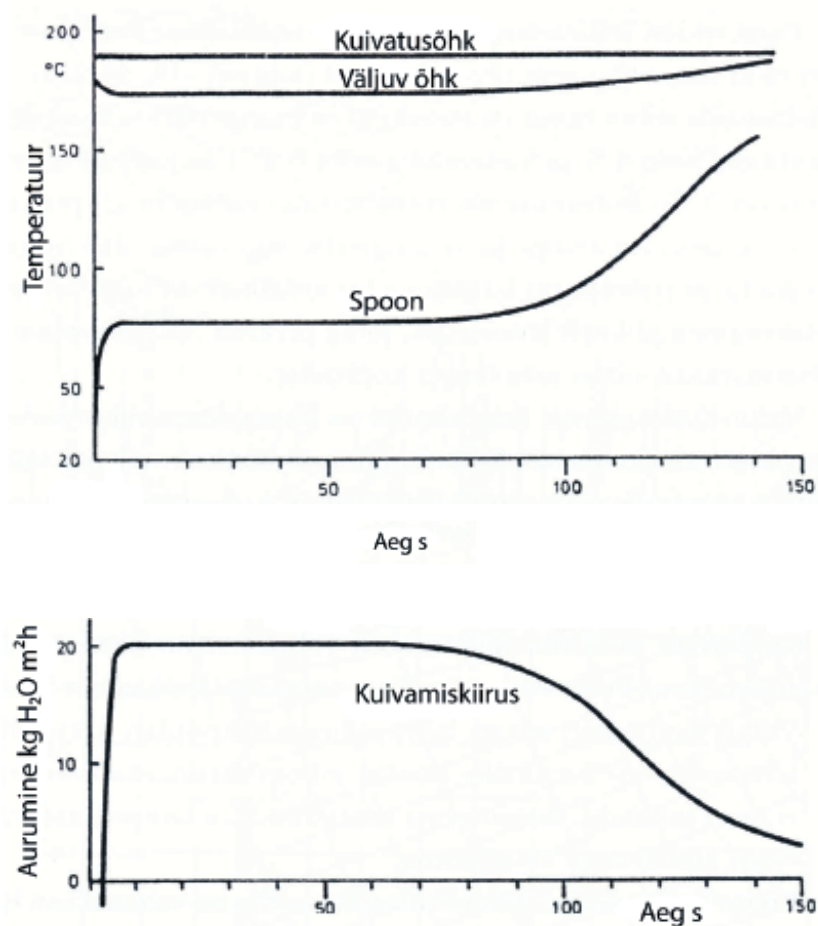
Joonis 3.39 Võrkkuivati transportvõrgud ilma spoonita (vasakul) ja spooniga (paremal). Fotod: Balti Spoon OÜ ja UPM-Kymmene Otepää OÜ

Õhuringluse põhimõte on sarnane rullkuivatite põhimõttega. Õhk ringleb ventilaatoritelt läbi radiaatorite ja puhutakse düüsikarpidest spooni pindadele. Õhk liigub surveküljelt imemis-poolele ja edasi radiaatoriteni. Võrkkuivatite eelis seisneb paremas efektiivsuses ja täpsemates lõikemõõtmetes, kuna spoonilint lõigatakse alles kuivana. Spoon võib olla mõnevõrra kõveram kui rullkuivatis kuivatatud spoon. Võrkkuivatite võimsus on väiksem kui rullkuivatite võimsus, mis võivad olla kuni kuus meetrit laiad. Võrkkuivati laius sõltub spoonipakkude pikkusest. Võrkkuivatite energiatarve toodetud spooni kuupmeetri kohta on selgelt suurem kui rullkuiva-tite oma. Samuti on investeerimiskulud võimsusega võrreldes suuremad. Teisalt on tööjõu-vajadus väiksem. Probleeme esineb aeg-ajalt ja need on sageli põhjustatud traatvõrgu purune-misest, mis võib spoonilinti kahjustada. Samuti võib esineda spooni õhema esiserva kahekorra kokkuvoltimist ning sel juhul tuleb see jäätmetena välja lõigata.

3.4.4 Õhuniiskuse ja spooni niiskuse reguleerimine kuivatis

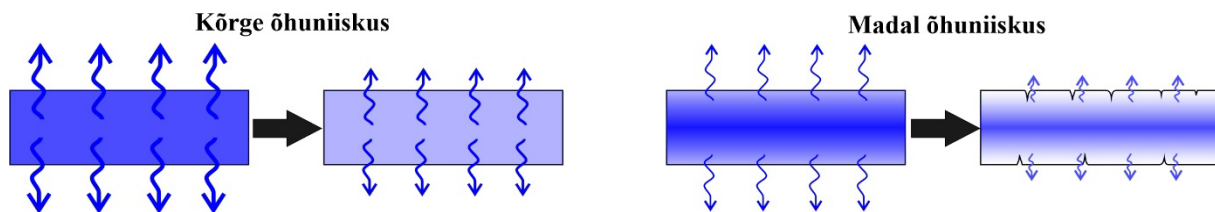
Kuivatusõhus sisalduval veehulgal on kuivatustehnika seisukohalt oluline tähendus, mis on piiratud sellel temperatuuril õhus sisalduda võiva suurima veekogusega. Kuivatusõhu suhtelise niiskuse langedes kuivab spoon kiiremini, mistõttu spooni pind muutub ebaühtlaseks ja kujult muhklikuks. Spooni tuleb kuivatada sellise suhtelise õhuniiskuse juures, kus kuivatis kaste-punkti ei ületata, s.t kuivatisse ei kondenseeru vett. Puiduniiskus mõjutab kuivatamise algetapis eriti intensiivselt just kuivatamisega. Kiire kuivatusprotsessi ajal tuleb reguleerida kuivati sisemist õhuniiskust, et vältida vee liiga kiiret aurustumist, mistõttu spoonis tekivad pinged ja

spoon võib üle kuivada. Joonisel 3.40 ülemisel graafikul on toodud spooni kuivatusõhu ja väljuva õhu ning spooni temperatuuri väärtuste muutumine kuivatamise ajal. Alumisel graafikul on toodud aurustunud vee kogus pindalaühiku kohta aja jooksul kg/m^2 , kus on näha kuivamiskiiruse olulist langust seotud vee aurustumisel ja spooni jahutusel.



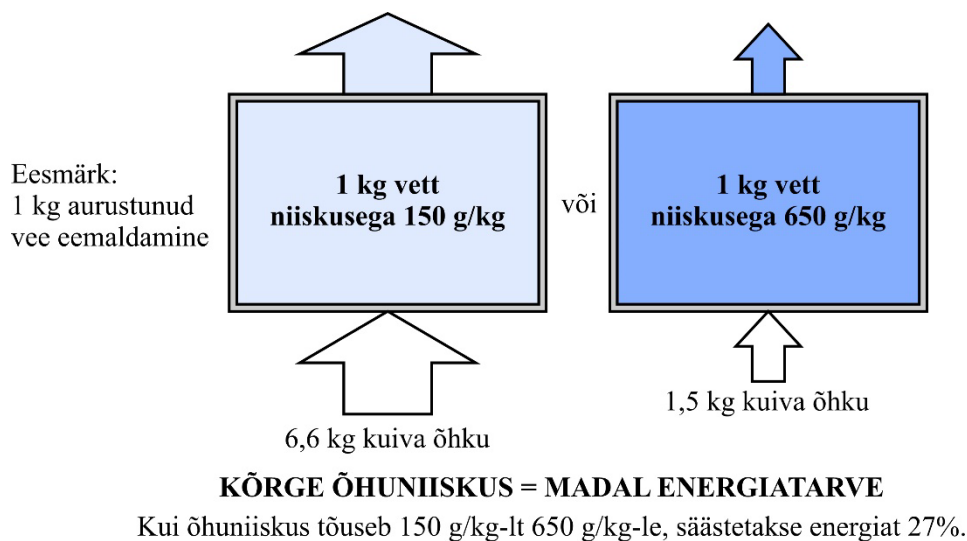
Joonis 3.40 Temperatuuri ja vee aurustumise mõju spooni kuivamiskiirusele.

Mida suurem on õhuniiskus kuivati sees, seda parem on kuivatatud spooni tehniline kvaliteet ja ühtlasem niiskus. Õige niiskussuhe vähendab ka energiatarbimist. Kuivatis ringleva õhu niiskus esitatakse auruhulgana ühe kilogrammi kuiva õhu kohta (g/kg). Näiteks võrkkuivatite segusuhe on 400–500 g/kg . Okaspuuspooni kuivatamisel kasutatakse segusuhet 700–900 g/kg ja pöõgi korral võib see olla 1000 g/kg või isegi suurem. Kuivati kõrge õhuniiskus kiirendab soojusülekannet spooni pinnalt selle südamikku. Spooni madala või kõrge õhuniiskuse mõju spooni kvaliteedile on selgitatud joonistel 3.41 ja 3.42.

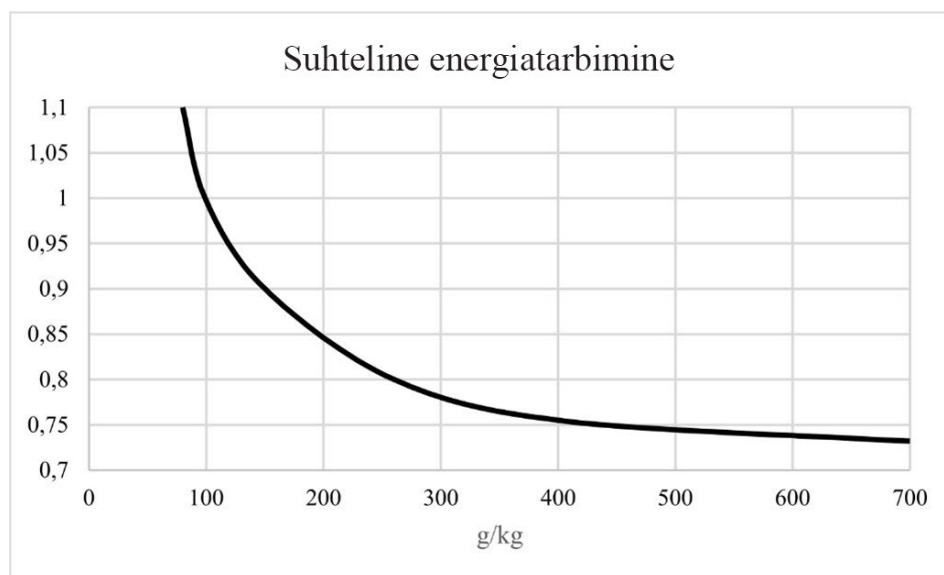


Joonis 3.41 Kõrge ja madala õhuniiskuse mõju spooni kvaliteedile.

Spoonikuivatis ringleva õhu niiskus mõjutab energiatarbimist spooni kuivatamisel, sest suure õhuniiskuse ($> 650 \text{ g/kg}$) korral on soojusülekanne kiirem (vt joonised 3.42 ja 3.43).



Joonis 3.42 Spoonikuivati õhuniiskuse mõju energiatarbele.



Joonis 3.43. Spoonikuivati õhuniiskuse mõju energiatarbele spoonikuivatusel.

Spoonil kuivatamisel on oluline küsimus vee eraldamine puidust. Kuivatamise võib jagada nelja etappi ehk tsooni (vt joonistel 3.36 ja 3.44) ning nendes neljas tsoonis toimuv kuivatusprotsess on järgmine.

Tsoon 1 – spooni kuumutus

1. Spooni temperatuur on umbes 20 °C.
2. Vee efektiivseks eemaldamiseks tuleb kiiresti tõsta spooni temperatuuri.
3. Spooni temperatuuri tõus kuivatusõhu temperatuuri mõjul suhtelise niiskuse jaoks vajalikule tasemele, kus päris kuivamist põhimõtteliselt veel ei toimu.
4. Vee aurustumine hoiab spooni temperatuuri suhteliselt madalana.
5. Selles tsoonis on vee aurustumine aeglane. Suurt õhuniiskust on loomulikult teel raske saavutada.
6. Kuivatusõhu suur niiskustase parandab soojusvahetust spoonis.
7. Kuivatusõhu suur niiskustase vähendab spooni 'pealiskihi kõvenemist'.

Tsoon 2 – vaba vee aurustamine

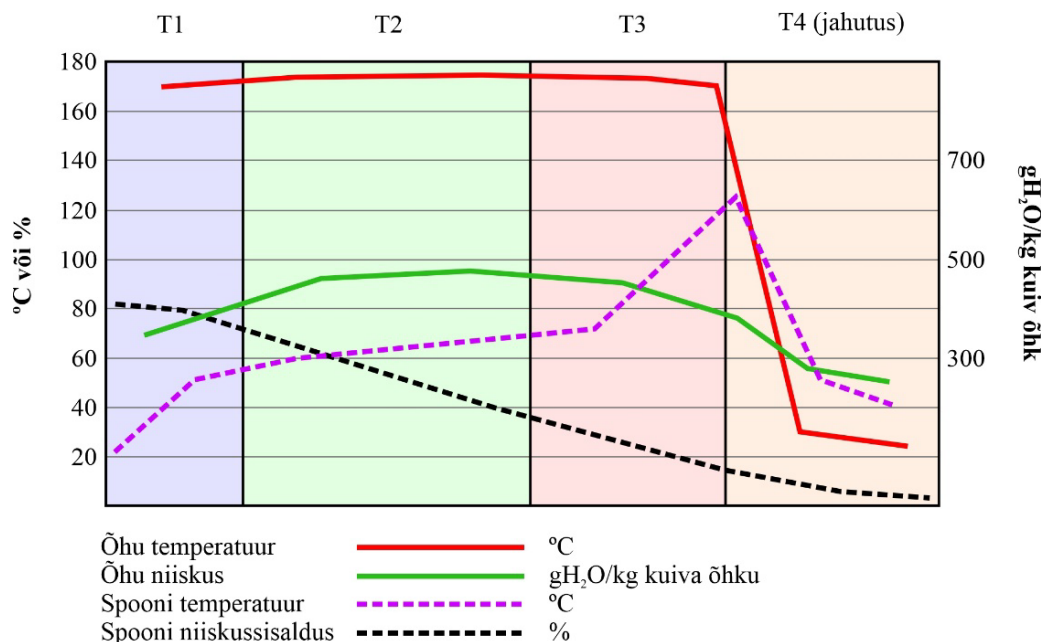
8. Spooni kuivamisetapp, kus spooni temperatuur on intensiivse niiskuskao tõttu vee keemispunkti lähedal.
9. Kõigepealt eemaldatakse vaba vesi.
10. Kuivamine on kiirem.
11. Selles sektsioonis tuleb hoida õhuniiskuse taset.
12. Kuivatusõhu suur niiskustase väldib 'pealiskihi kõvenemist'.
13. Spooni temperatuur jääb suhteliselt madalaks.

Tsoon 3 – seotud vee aurustamine

14. Spooni kuivamine puidukiudude küllastumispunktist madalamal on aeglasem ja spooni temperatuur hakkab lähenema kuivatusõhu temperatuurile.
15. Võrreldes vaba vee aurustumisega on rakuseinast seotud vee aurustumine aeglane.
16. Selles sektsioonis on suurt õhuniiskuse taset hoida keeruline.
17. Selles sektsioonis võib vajaliku niiskuse hoidmiseks kasutada veeauru või vihmutamist.

Tsoon 4 – jahutus

18. Spooni jahutamine edasiseks töötlemiseks sobiva temperatuurini.
19. Selles etapis ühtlustuvad ka spooni välis- ja sisekihtide vahelised niiskuseerinevused ning vähenevad spooni kuivatamisega kaasnevad sisepinged (põhjustavad spooni lainelisust jt väliskuju muutusi).



Joonis 3.44 Spooni kuivatusprotsessi neli etappi ehk tsooni.

Praktikas aurustub vesi kõige lihtsamal teel ka kattuvate etappide/tsoonide kaupa. Vaba vesi asub raku õõntes ja seotud vesi rakuseintes. Kõigepealt aurustub vaba vesi ja kui puidu rakuseina küllastuspunkt 30% on saavutatud, algab seotud vee aurustumine.

Spoonid kuivatatakse üle poole vineeritehases tarbitavast energiast. Kuivatusel tekkinud jääsoojus võetakse uuesti kasutusse soojustagastusseadmete abil, kus soe õhk ringleb soojusvaheti kaudu tagasi tehase ruumide kütmiseks ja soe vesi läheb läbi puhastusseadmete palkide leotusbasseini.

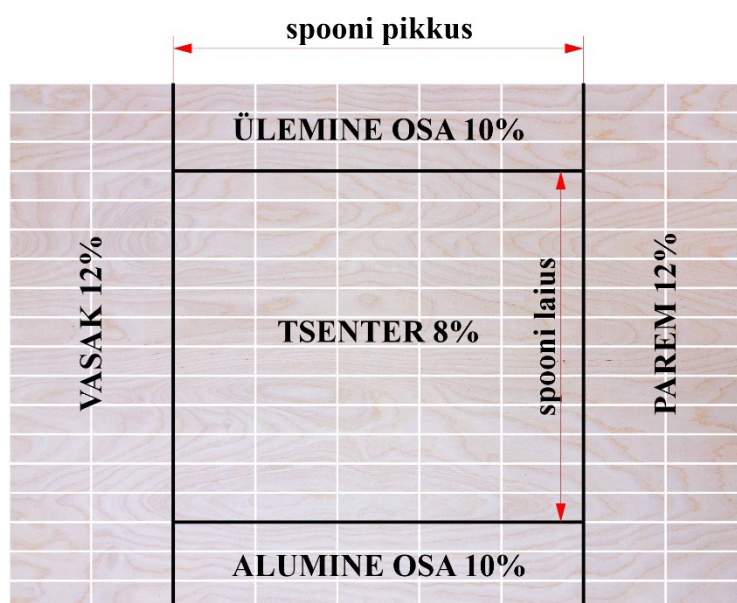
3.4.5 Kuivati töö kontrollimine ja spooni kvaliteet

Kuivatusprotsessi kontrollitakse automaatselt temperatuuri, kiiruse, niiskuse ja hapnikusisalduse põhjal. Lisaks reguleeritakse kuivatusvalemi parameetreid vastavalt spoonigiljotiinil mõõdetud niiskusklassidele (joonis 3.45).



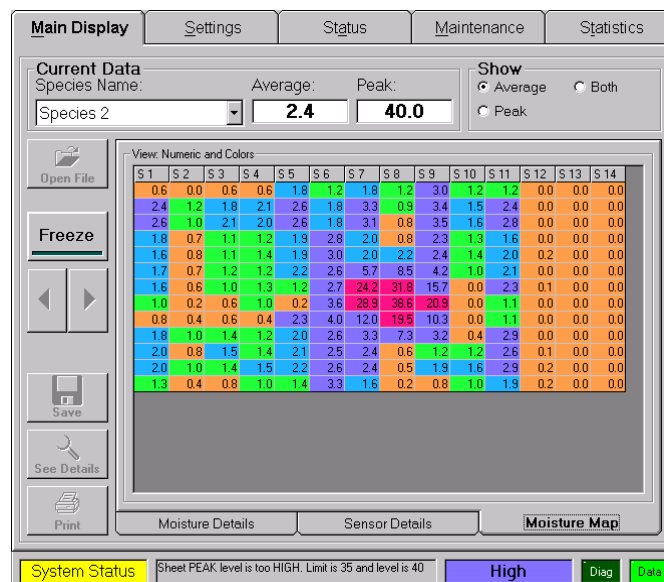
Joonis 3.45 Spooni niiskuse automaatkontrollisüsteem. Allikas: Raute Oyj

Okaspuuspoonil võib olla 2–3 sellist niiskusklassi ja neile viidatakse kui M1, M2 ja M3, millest esimene on kõige kuivem. Kuivatatud spoonid laaditakse kuivatist välja lintkonveierile, mille kiirus on sünkroniseeritud nii, et kuivatist saabuval spoonilehed asetsevad spooni sortimiseks kõrvuti. Täpse niiskuse analüüsi abil on võimalik määrata servapiirkondi, kus on lubatud kõrgemad niiskuse väärtused (joonis 3.46).



Joonis 3.46 Spooni niiskuse piirkonnad.

Samuti on võimalik seada erinevate spoonilehtede sektsioonide keskmised niiskustasemed ning oluliselt kõrgemad piigi väärtused, mida ei tohi ületada (joonis 3.47). Süsteemi saab kasutada virnade konditsioneerimiseks pärast sortimist.



Joonis 3.47 Spooni niiskuskaart.

Kuivatus on vineeritööstuse kõige energiamahukam protsess. Selleks tuleb kuivatusprotsessi maksimaalselt optimeerida. Kuivati optimeerimise eesmärgiks on ühtlane spooni lõppniiskus. Kuivatuse ajal tuleb jälgida kuivati täituvust vastavalt tootmisplaanile. Kuivati peab olema alati spoonidega täidetud ning kuivati laiust tuleb täies ulatuses kasutada. Tähtis on ka spoonide pausideta etteandmine, et vältida kuivatuskeskkonna muutust. Spoon läbib kuivati sõltuvalt kuivatist 6–8 minutiga. Fenool- ja karbamiidliimiga liimimiseks on spooni keskmine niiskussisaldus 4,5% kõige parem. Kasevineeri sisekihtide niiskus peaks jääma vahemikku 4–4,5% ja pinnaspoonil võib olla niiskus 5–6%.

Kuivati töö kontrollimiseks mõõdetakse spooni alg- ja lõppniiskust, tsirkuleeriva õhu temperatuuri, suhtelist niiskust ja vooluhulka ning väljuva õhu temperatuuri, suhtelist niiskust ja kuivati kiirust.

Spoonikuivatuse kõrge kvaliteedi tagamine

1. Tagada pidev kuivatusprotsess. Alati on märja spooni sama kõrgusega virnad ootel, et kuivatuses ei tekiks pause, hoida kuivatustemperatuuri ja õhuniiskust, et oleks tagatud asendaja pauside ajaks, vajalik temperatuur, niiskus, tuleohutus.
2. Tagada kuivatatud spooni ühtlane niiskus, selle ühtlus, sirgsus, pingeteta olek ja mittelainelisus. Kuivatatud spoon peab olema terve ja ilma kuivatuspragudeta.
3. Kuivatuse ootel märgspooni ei ole soovitatav ladustada rohkem kui 24 h.

Spooni kvaliteedi tagamine

1. Vineeri liimimise õnnestumise eelduseks on spooni kuivatamist puudutavate nõuete täitmine, sest kuivatamine mõjutab oluliselt valmis vineeri kvaliteeti.
2. Liiga kuumas spoonivirnas tekib uuesti vee kondentsatsioon spoonikihtide vahele. Samas liiga kuum spoon põhjustab liimi enneaegset kõvenemist.
3. Kuivatuse kvaliteedi tagab eelkõige kuivati veatu ja pidev töötamine ning kuivatusprotsessi täpne seadistamine vastavalt puuliigile.
4. Tuleb teada kuivatamise olulisemaid mõjureid; need on spooni kuivatamisega kaasnevad nähtused, spooni lubatud niiskusesisaldus, kuivati konstruktsioon ja tööpõhimõte, spooni kuivatamisel esinevate probleemide likvideerimine, kuivatamise energiatarve ja seda mõjutavad tegurid.

Tabelis 3.7 on toodud spooni kuivatamisel peamiselt esinevad probleemid ja nende kõrvaldamine.

Tabel 3.7 Probleemid ja nende lahendused spooni kuivatamisel

Probleem	Seletus ja lahendus
Lõhenenud spoon	Ottest lõhenenud spoon tekib siis, kui spooni otsad kuivavad kiiremini kui keskmine osa. Lahendus on treimisseadistuste muutmine. Kui spoon on läbinisti lõhenenud, võib olla põhjuseks kuivati liiga suur kiirus või kuivatusõhu liiga madal suhteline niiskus üle kuivatamisest – tuleb vähendada väljuva õhu hulka.
Muhklik spoon	Muhklik spoon tuleneb eelkõige liiga õhukeseks treimisest või spooni ülekuivatamisest. Sellisel juhul tuleb suurendada kuivatamiskiirust või ringleva õhu suhtelist niiskust, vähendades selleks väljuva õhu kogust.
Spoon lainetab	Lainetus tuleneb puidu tiheduse erinevustest, nt kevadise ja suvise puidu vahel või spooni eri osade niiskuse erinevustest.
Spooni värvi-muutus	Spooni tugev tumenemine või värvusvead tulenevad liiga kõrgest temperatuurist või liiga pikast kuivamisajast.

Spoonikuivati on massiivse konstruktsiooniga seade ja seda tuleb regulaarselt puhastada. Isegi kui spooni pinnad puhutakse enne kuivatisse sisenemist puhtaks, võivad kuivatisse sattuda puidujäätmek, nt spooni tükid ja lahtised oksad, mis võivad kuivatusprotsessil süttida ja põhjustada tulekahju. Okaspuidu kuivatamisel koguneb vaik kuivati pindadele ja see tuleb eemaldada.

3.5 Peenestatud puidu kuivatus

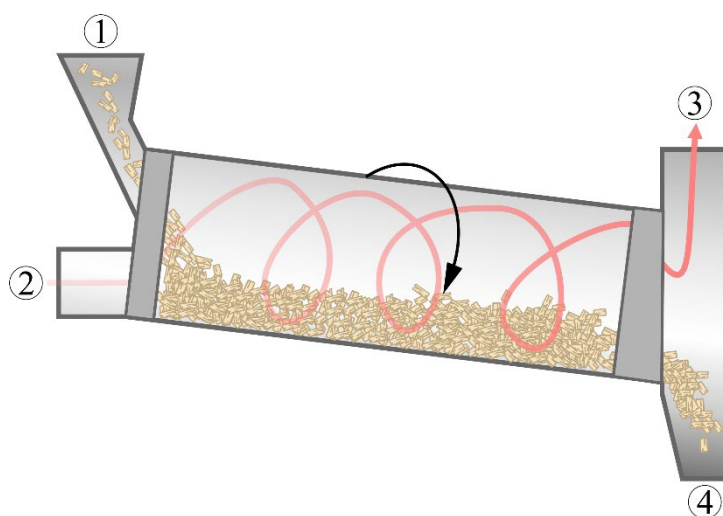
3.5.1 Peenestatud puidu kuivatuse iseärasused ja meetodid

Enamik peenestatud puitu kuivatatakse puitlaastplaatide tehnoloogias, kus varasematel aegadel kasutati väiksemõõtmelist eritehnoloogiaga saadud laastu, tänapäeval aga toimub üha enam üleminek saepurule. Väga erineva algniiskusega materjal tuleb seejuures kuivatada lõppniiskuseni ligikaudu kuni 3%. Peenestatud puitu kuivatatakse ka teistes tehnoloogiates, nt puidugraanulite ja puitbriketi tootmisel ning puidukiududeni peenestatud puitu MDF-plaatide ja puitmassi tehnoloogias. Puiduosakeste väikesed mõõtmed, suur eripind ning võimalus väga intensiivseid režiime kasutada lühendavad oluliselt kuivatusprotsessi, mille kestus on enamasti alla minuti.

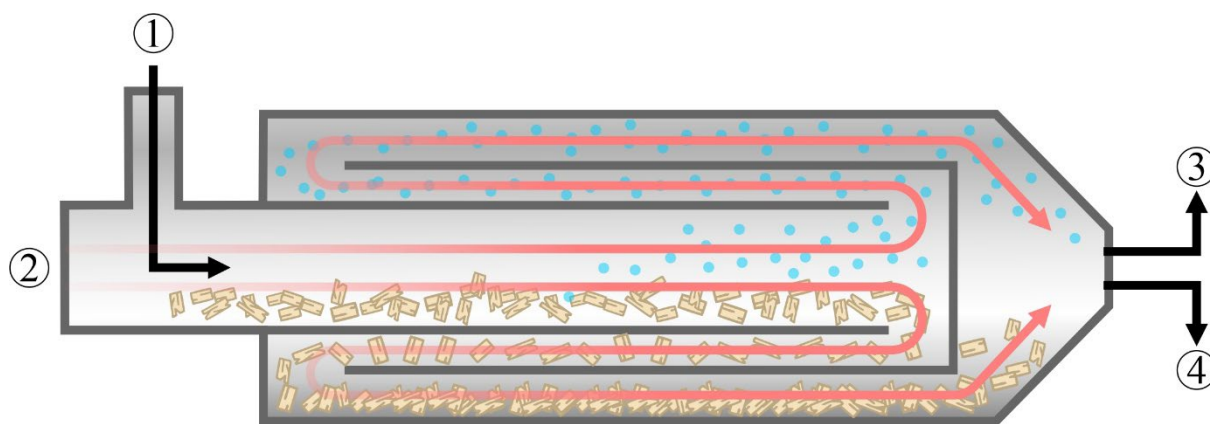
Levinumateks kuivatitüüpideks on trummelkuivatid ja vähesel määral pneumokuivatid. Kuivatusagensiks on tavaliselt suitsugaaside ja õhu segu, harvemini kuum õhk. Valdavaks on konvektiivne soojusülekanne, vähemal määral leiab kasutamist konduktiivne soojusülekanne. Puiduosakeste transport läbi kuivati võib toimuda kas mehaaniliselt, pneumaatiliselt või pneumomehaaniliselt.

3.5.2 Trummelkuivatid (*drum dryer*)

Trummelkuivatid on kõige levinumad peenestatud puidu kuivatusseadmed. Peenestatud puidu transport läbi trummelkuivatite toimub pneumomehaaniliselt, s.t puiduosakesed pannakse liikuma trumli pöörlemise ja trumli seintele kinnitatud labade abil gaasivoolus (joonis 3.48).



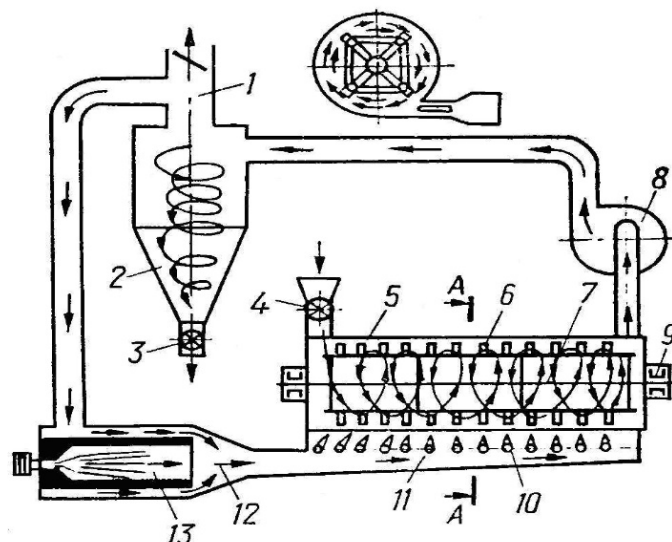
Joonis 3.48 Trummelkuivati: 1 – toitesead, 2 – küttekolle, 3 – gaasikäik kuivatusagensi retsikulationiks, 4 – kuivatatud laast välja.



Joonis 3.49 Kolmekäiguline Bizoni trummelkuivati: 1 – toitesead, 2 – küttekolle, 3 – gaasikäik kuivatusagensi retsirkulatiooni; 4 – kuivatatud laast välja.

Bizoni trummelkuivatis (joonis 3.49) moodustub kontsentriliste trumlite vahel kolm kanalit, mille järk-järgult läbib kuivatusagens koos peenestatud puiduga. Sõltuvalt vaba ristlõike suurenemisest toimub liikumiskiiruse vähenemine kiiruselt 20 m/s tsentraalses kanalis kuni kiiruseni 4–5 m/s välimises kanalis. Suurem käikude arv pikendab teepikkust ja kuivatusaega ning võimaldab suurendada kuivati tootlikkust, suurendamata märkimisväärselt ta mõõtmteid.

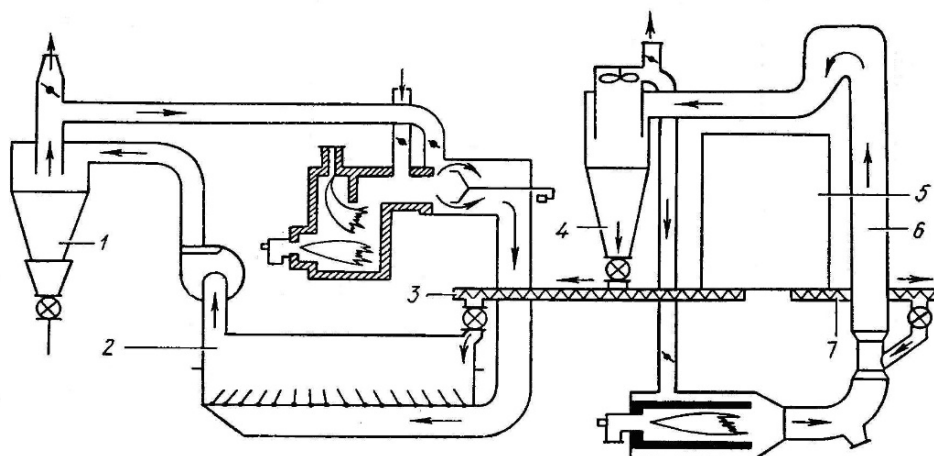
Büttneri kuivati (joonis 3.50) kujutab endast liikumatut trumlit, millesse puhutakse puutuja suunas läbi düüside suitsugaaside ja õhu segu. Trumlis doseeritavad puiduosakesed saavad spiraalse liikumise kuivatusagensilt ning trumlis pöörlevalt labadega varustatud rootorilt.



Joonis 3.50 Büttneri düüs-trummelkuivati: 1 – kuivatusagensi väljumistoru, 2 – tsüklon, 3 – dosaator, 4 – toitesead, 5 – trummel, 6 – rootorilaba, 7 – rootor, 8 – ventilaator, 9 – laager, 10 – düüsid, 11 – gaasikäik, 12 – segamiskamber, 13 – küttekolle.

3.5.3 Pneumokuivatid ja kombineeritud kuivatid

Pneumokuivatites toimub puiduosakeste transport täielikult kuivatusagensi liikumise toimetel. Eeltingimuseks on, et kuivatusagensi liikumiskiirus oleks suurem puiduosakeste hõljumiskii-rusest, mis sõltub nende massist, mida oluliselt mõjutab niiskus. Kasutatakse tavaliselt väga kõrgeid temperatuure, kuna kuivati läbimise aeg on lühike. Lihtsaim pneumokuivati on toru-kuivati, mille puuduseks on väga lühike puiduosakeste viibimise aeg kuivatis. Spiraalse toru-kuivati puhul on kuivati kompaktse konstruktsiooni juures oluliselt pikendatud kuivatuskestust. Pneumaatilisi torukuivateid kombinatsioonis trummelkuivatiga kasutatakse sageli puidukiu-dude kuivatamiseks, nt MDF-plaatide ja puitmassi tehnoloogias. Kombineeritud kuivatite loo-mise eesmärgiks oli kuivatite tootlikkuse suurendamine. Kuivatid on kaheastmelised: esimene astme on pneumokuivati (torukuivati) ja teine astme trummelkuivati. Joonisel 3.51 on näidatud firmade Babcock, Büttner, Schilde ja Haas koostööna loodud BBSH kuivati tööskeem.



Joonis 3.51 BBSH kombineeritud kuivati skeem: 1, 4 – tsüklonid, 2 – Büttneri trummelkuivati, 3, 7 – tigukonveierid, 5 – peenestatud puidu punker, 6 – torukuivati.

3.6 Puidu modifitseerimine

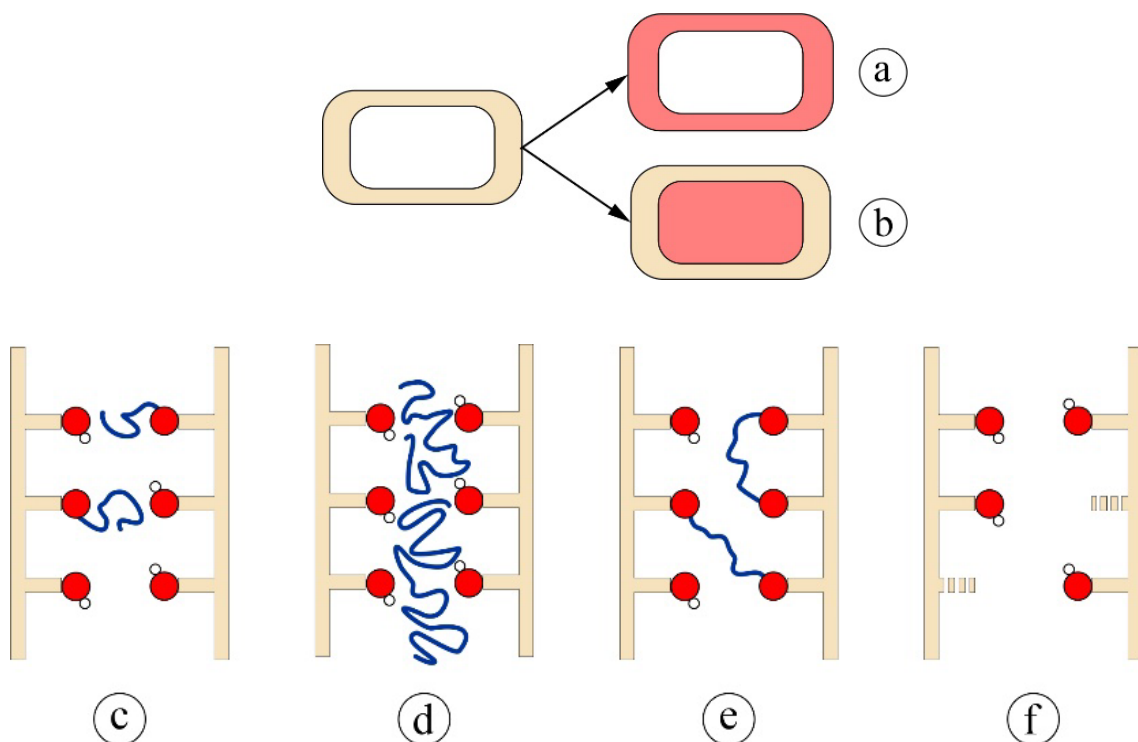
Puidu modifitseerimist (*wood modification*) teostatakse puitmaterjali teatud omaduste paran-damiseks, mis on tavaliselt seotud niiskustundlikkuse, mõõtmete stabiilsuse, kõvaduse ja kulumiskindlusega, madala vastupidavusega bioloogilisele toimele (seened, termiidid, laeva-oherdid) ja vähese UV-kiirgusele vastupanuga. Enamik väljatöötatud või katsetatavaid puidu modifitseerimisprotsesse põhineb täielikult või osaliselt Alfred J. Stammi ja tema kolleegide teedrajal uurimistööl 1940.–1950. aastatest. Tänapäeval nimetatakse puidu modifitseerimi-seks protsessi, mida kasutatakse saematerjali, puitkomposiitide tootmisel kasutatava spooni või puiduosakeste füüsikaliste, mehaaniliste või esteetiliste omaduste parandamiseks.

Puidu modifitseerimiseks võib kasutada järgmiseid töötlemisprotsesse:

- 1) termo-hüdro (TH) töötlus
- 2) termo-hüdro-mehaaniline (THM) töötlus
- 3) keemiline töötlus
- 4) füüsikaline töötlus elektromagnetilise kiirguse või plasma abil.

Nendest töötlustest on keemilisi protsesse kõige arvukamalt ja keemiliste reagentide valik äärmiselt lai, kuigi TH- ja THM-töötlemisel kasutatakse ainult soojust, vett ja mehaanilist jõudu. Puidu modifitseerimine võib tähendada aktiivset modifitseerimist, mille tulemuseks on materjali keemilise olemuse muutus, või passiivset modifitseerimist, mille tulemuseks on omaduste muutus ilma materjali keemilist struktuuri muutmata. Enamik aktiivse modifitseerimise meetodeid uurib reagenti keemilist reaktsiooni rakuseina polümeeride hüdroksüülrühmadega. Need hüdroksüülrühmad mängivad võtmerolli puidu ja vee vastasmõjus, olles samal ajal kõige reaktiivsemad kohad.

Niiskes puidus paigutuvad veemolekulid puidu polümeeride vahele, moodustades hüdroksüülrühmade ja üksikute veemolekulide vahel vesiniksidemed. Nende veemolekulide arvu muutus põhjustab puidu kahanemist ja pundumist. Kõik võimalikud puidu modifitseerimisviisid mõjutavad puidu ja vee koostoimet. Peamised puidu modifitseerimise mehhanismid, mis põhjustavad puidu omaduste muutumist, on toodud joonisel 3.52.



Joonis 3.52 Puidu modifitseerimise mehhanismid: a – rakuseina täitmine, b – rakuõõne täitmine, c – pookimine, d – täitmine, e – ristsidumine, f – termineline.

Mitu puidu modifitseerimise mehhanismi võivad esineda korraga. Näiteks termilise modifitseerimise käigus muudetakse rakuseina polümeeride osi, mis võib põhjustada ristsidumist, OH-rühmade redutseerumist (joonis 3.52 e ja f) ja polümeeriahelate soovimatut lõhustumist. Puidu keemiline modifitseerimine toimub siis, kui toimeaine reageerib puidu polümeersete koostisosadega (ligniin, hemitselluloosid või tselluloos), mille tulemusel moodustub toimeaine ja rakuseina polümeeride vahel kovalentne side. Selline side võib tekkida kas ühe OH-rühmaga (joonis 3.52 c) või tekib ristsidumine kahe OH-rühma vahel (joonis 3.52 e). Seega on puidu keemiline modifitseerimine aktiivne modifitseerimine, kuna see põhjustab keemilisi muutusi rakuseina polümeerides. Modifitseeritud puidul võib olla kolm toimimismehhanismi:

- 1) modifitseeritud puidu tasakaaluniiskus langeb ja seentel on raskem saada lagundamiseks vajalikku niiskust;
- 2) puitu lagundavate seente sissepääsu füüsiline blokeerimine rakuseinte mikropooridest;
- 3) spetsiifiliste ensüümide toime.

Puidu immutamiseega modifitseerimine on veel üks modifitseerimise viise. See tähendab, et puidu rakuseina immutamine toimub kemikaali või kemikaalide seguga, mis reageerib, moodustades rakuseinas „lukustatud“ materjali (joonis 3.52 d). See on passiivne modifitseerimisprotsess, mis tähendab, et kuigi puidu omadused on muudetud, ei toimu puitmaterjalis keemilisi muutusi. Seda tüüpi puidu modifitseerimine hõlmab ka rakuseina immutamist monomeeriga, mis seejärel polümeriseeritakse *in situ*, s.t et toimub rakuseina (joonis 3.52 a) või rakuõõne täitmine (joonis 3.52 b) immutamise teel. Kui rakuõõne täitmine ei mõjuta mõõtmete stabiilsust ega vastupidavust, peavad rakuseina immutamiseks immutusvahendi molekulid olema piisavalt väikesed, et siseneda rakuseina, s.t rakuseina mikropooride läbimõõt peaks olema umbes 2–4 nm. Puidu modifitseerimise olulisemaid keemilisi protsesse käsitletakse järgnevalt.

3.6.1 Keemiline modifitseerimine (*chemical modification*)

Atsetüleerimine (*acetylation*)

Äädikhape anhidriidi reaktsioon puidu polümeeridega põhjustab rakuseinas ligipääsetavate hüdroksüülrühmade esterdamist koos kõrvalsaaduse äädikhape moodustumisega. Sarnaselt töötlemata puiduga koosneb atsetüleeritud puit ainult süsinikust, vesinikust ja hapnikust ega sisalda toksilisi koostisosi.

Praegu Accsys Technologies poolt rakendatud atsetüleerimisprotsess annab keemiliselt modifitseeritud (*chemical modification*) puidu, millel on suures osas paranenud füüsilised, mehaanilised ja bioloogilised omadused. Atsetüleeritud puidu bioloogilist vastupidavust on parandatud kõrgeima vastupidavusklassini (1. klass) ja sellel on märkimisväärselt suurenenud bioloogiline vastupidavus. Veelgi enam, pundumine ja kahanemine on vähenenud kuni 80%, võrreldes töötlemata puiduga, ja atsetüleeritud puit võib muutuda 15–30% kõvemaks kui töötlemata puit. Atsetüleeritud puitu turustatakse tänapäeval kui „rohelist“ toodet, mis on keskkonnale kasulik. Piiranguks on see, et protsessis kasutatakse praegu ainult kiirjat mändi (lad k *Pinus radiata*) ja leppa (lad k *Alnus* spp.) ning vaja oleks laiendada kasutatavate puiduliikide arvu.

Furfurüülimine (*furfurylation*)

Furfurüülalkohol on vedelik, mis toodetakse põllumajandusjätmetest, nt suhkruroost ja maisitõlvikutest. Furfurüülimise eesmärk on parandada vastupidavust bioloogilisele lagunemisele ja mõõtmete stabiilsust, kasutades selleks mittetoksilist, patentitud furfurüülalkoholi polümeeri. Polümerisatsioon toimub mikroskoopilistes rakuõõnsustes ja on optilise mikroskoopia abil hõlpsasti tuvastatav. Tänapäeval toodab furfurüülitud puitu tööstuslikult Kebony AS Norras.

Furfurüülimisprotsessi tulemusel saadakse modifitseeritud puittoode, millel on selgelt paranenud omadused, nt bioloogiline vastupidavus, mädanikukindlus, puidu mehaanilised omadused, mõõtmete stabiilsus ja vastupidavus ilmastikule. Sel moel saadud modifitseeritud puidu pundumise ja kahanemise väärtused on töötlemata puidust üle 50% madalamad.

Modifitseerimine DMDHEU-ga (*DMDHEU modification*)

Holger Militz oli esimene teadlane, kes 1993. a raporteeris edukalt 1,3-dimetüülool-4,5-dihüdroksüetüleenurea (DMDHEU) kasutamisest puidu töötlemisel. DMDHEU tehnoloogia on üle võetud teistest tööstusharudest, see reagent oli laialt kasutuses tekstiilitööstuses kuni 1980. aastateni.

Sellised immutamisega modifitseeritud tooted on turul kaubandusliku nimetuse Belmadur® (BASF) all. Seda tehnoloogiat peetakse uuenduslikuks modifitseerimisprotsessiks, mille käigus männipuitu immutatakse kõrge rõhu all (1,2–1,4 MPa) ja polümeriseeritakse termotöötluste teel. Esimeses etapis immutatakse puit DMDHEU vesilahusega. Järgmine etapp koosneb immutatud puidu kuivatamisest aeglasel kiirusel temperatuuril 100–120 °C niisketes tingimustes. See põhjustab toimeaine molekulide kõvenemise polükondensatsiooni teel, mille järel eraldub vesi.

Modifitseeritud tootel on suurel määral vähenenud hügroskoopsus, paraneb mõõtmete stabiilsus ja vastupidavus.

Seni on peamisteks rakendusteks olnud terrassid ja aiamööbel. Kuid Saksamaa akende ja fassaadide ühendus (VFF) on heaks kiitnud lamineeritud Belmaduri toote kasutamiseks välisakendes. Puudusteks on siiski haprus, kalduvus pragunemisele ja toote suur formaldehüüdi eraldamine.

Indurite protsess (*Indurite process*)

See protsess on välja töötatud laiaulatusliku uuringu tulemusel, mis käsitles puiduraku seina võimalikke reaktsioone polümeeride süsteemidega. Uus-Meremaal asuv ettevõtte Engineered Wood Solutions arendas seda tehnoloogiat, mille järel selle omandas ettevõtte Osmose. Indurite protsessi algne idee oli kiirja männi (lad k *Pinus radiata*) omaduste parandamine immutades seda vees lahustuva polüsahhariidi lahusega (soja- ja maisitärklis). Immutatud materjali hoiatakse mõni tund kaetud alal ja seejärel toimub kõvendamisetaap reguleeritava temperatuuriga kambris, kasutades lahuses teatud katalüsaatoreid. Protsessi suur eelis on see, et pole vaja märkimisväärsed investeeringuid seadmetesse. Seda modifitseeritud puitu kasutatakse välisoludes, nt voodrilaudade ja terrassidena.

Modifitseermine monomeere kasutades

Madala loodusliku vastupidavusega puiduliikide vinüülmonomeeriga immutamine, millele järgneb polümeriseerimine *in situ*, on veel üks paljulubav viis mehaaniliste omaduste, mõõtmete ja termilise stabiilsuse, samuti vastupidavuse suurendamiseks seentele ja putukatele. Uuritud on erinevaid kaubanduses saada olevaid vinüülmonomeere, nagu akrüülnitriil, glütsidüülmetakrülaad, metüülmetakrülaad, hüdroksüetüleenmetakrülaad, etüleenglükool, dimetakrülaad, butüülakrülaad, butüülmetakrülaad, stüreen, akrüülamiid ja akrüülnitriil. Sõltuvalt kasutatava monomeeri olemusest võib polümerisatsioon toimuda kas rakuõõnsustes, rakuseinas või mõlemas. Polümerisatsioonireaktsiooni saab algatada eri viisidel, kasutades kas termilist-vabaradiikaalset initsiaatorit või gammakiirgust. Röntgenikiirgust, mis lähtub suure energiaga elektronkiirtest, saab samuti kasutada ka vinüülmonomeeride *in situ* polümerisatsiooni algatamiseks. Röntgenikiirgus algatab polümerisatsiooni ja tungib läbi paksude puidutükkide, võimaldades rakuseintes monomeeride polümerisatsiooni. Sellegipoolest ei ole kõik ülalnimetatud protsessid siiani kommertsiaalset rakendust leidnud.

3.6.2 Termo-hüdro- ja termo-hüdro-mehaaniline protsess

Üks esilekerkiv puidu modifitseerimiste rühm hõlmab temperatuuri ja niiskuse kombineeritud kasutust, mille kaudu saab jõudu rakendada: termo-hüdro- (TH) ja termo-hüdro-mehaaniline (THM) protsess. Protseduurid, mis hõlmavad immutamist või liimimist kuju fikseerimiseks, on tavaliselt kaasatud nendesse modifitseerimisprotsessidesse.

3.6.3 Termiline modifitseerimine

Standardi CEN/TS 15679 järgi on termiliselt modifitseeritud (*thermal modified*) puit selline puit, mille rakuseina koostis ja selle füüsikalised omadused on modifitseeritud, rakendades temperatuuri üle 160 °C vähendatud hapniku tingimustes. Puitu muudetakse nii, et vähemalt osa puidu omadustest on püsivalt mõjutatud läbi puidu ristlõike.

Selle protsessi läbiviimiseks on erinevaid protseduure, millest enamik erinevad selle poolest, kuidas nad õhu/hapniku süsteemist välja jätavad. Termilise modifitseerimise protsesse saab rakendada paljudele puiduliikidele, kuid neid tuleb iga liigi jaoks optimeerida. Omaduste paranemine sõltub suuresti protsessi tingimustest, töötuse intensiivsusest (temperatuur, kestus), puiduliigist ja saematerjali mõõtmest.

Termilise modifitseerimise mõju puidu omadustele on kirjanduses kajastatud juba 20. sajandi alguses, kui leiti, et puidu kuivatamine kõrgel temperatuuril suurendas selle mõõtmete stabiilsust ning vähendas hügroskoopsust ja tugevust. 1950. aastatel teatati esimestest süstemaatilistest katsetest suurendada puidu vastupanu puitu hävitavatele seentele, kuumutades puitu temperatuuridel 140–320 °C. Jätkati uuringuid puidu termiliseks modifitseerimiseks erinevates gaasilistes keskkondades.

Termilise modifitseerimise protsessid viiakse läbi peamiselt kuivas inertgaasi keskkonnas või niiske auru keskkonnas temperatuuridel 160–240 °C. Nendes tingimustes hüdrolüüsitakse hemitselluloosid ja tselluloosi kristallilisus suureneb, kuid ligniini mõjutab see protsess vähem. Vältida tuleb hemitsellulooside pürolüüsi, mis algab umbes 270 °C juures, millele järgneb tselluloosi pürolüüs. Termiline modifitseerimine mõjutab oluliselt puidu omadusi, nt hügroskoopsust ja mõõtmete stabiilsust, vastupidavust seentele ja putukatele, mehaanilisi omadusi ning selliseid omadusi nagu värv, lõhn, liimitavus ja pinnaviimistluse püsivus. Puidu termilisele modifitseerimisele on iseloomulik puidu massikadu. Olenevalt protsessi tüübist võib massi vähenemine olla kuni 20%.

Enamikku termiliselt modifitseeritud puidu omadusi mõjutab lisaks tooraine omadustele ka kuumtöötlusprotsessi intensiivsus, see tähendab protsessi temperatuur ja kestus. Enamik termilise modifitseerimise protsesse vähendab puidu hügrokoopset, s.t puidu võimet õhust niiskust imada, juba madalal temperatuuril. Mõnel juhul on vähenenud hügrokoopset taastatav niisutamise teel. Hügrokoopsete hemitselluloosi polümeeride kadumise tagajärjel termilise modifitseerimise käigus väheneb puidu tasakaaluniiskuse ja sellest tulenevalt väheneb suurel määral puidu pundumine ja kahanemine. Keskmiselt väheneb puidu tasakaaluniiskuse umbes poole võrra võrreldes töötlemata puidu tasakaaluniiskusega. Termiliselt modifitseeritud puidu hügrokoopset võib oluliselt varieeruda sõltuvalt protsessi parameetritest. Puidu termiline modifitseerimine alandab tugevust ja muudab puidu purunemisviisi, see kaldub haprale purunemisele. Juba aastaid uuritud saematerjali termiline modifitseerimine on nüüdseks kommercialiseeritud ning seda peamiselt Euroopas. Kõige levinum kaubanduslik termilise modifitseerimise protsess on ThermoWood®, mis töötati välja Soomes (1993).

Tihendamine (*densification*)

Viimastel aastakümnetel on uuritud puidu tihendamist, s.t ristsuunalist kokkusurumist puidurakkude püsiva deformatsiooni saavutamiseks ja seeläbi ka madala tihedusega liikide tiheduse suurendamist. Saematerjali tihendamise peamine eesmärk on suurendada selle kõvadust ja pinna kulumiskindlust ning mõnel juhul ka selle tugevust. Puidu tihendamine viib puidurakkude kokkusurumiseni kogu saematerjali mahus. Viimasel ajal on paljud uuringud keskendunud mitte kogu mahu, vaid ainult pinna lähedal olevate puidurakkude tihendamisele, s.t pinna tihendamisele. Võrreldes kogu mahu tihendamisega pakub pinna tihendamine mitmeid eeliseid. Kui pinna all on soovitud puitmaterjali maht pehmenenud, tuleb see maht välise jõu abil kokku suruda. Peamiseks probleemiks on tihendamise juhtimine nii, et kokku surutakse ainult pinna all olevad rakud ja seejärel lukustatakse rakud kokkusurutud olekus, mis talub ümbritseva keskkonna niiskuse kõikumist.

Pinna tihendamisega on võimalik saavutada mitmete puidu omaduse märkimisväärne paranemine ja tiheduse stabiliseerimine isegi korduval kokkupuutel niiskusega. Need tehnoloogiad on siiski aega- ja energiat nõudvad, mis tähendab, et kaotatakse potentsiaalsed eelised hinnalise mate puiduliikide või taastumatute materjalide ees. Sel põhjusel on vaja välja töötada pinna tihendamise kiirem protsess, mis oleks nii kulu- kui ka energiasäästlik.

3.6.4 Koroona- ja plasmatöötlus (*corona and plasma treatment*)

Puidu pindasid saab aktiveerida ka plasmaga. Sellel meetodil on palju kasulikke külgi. Pinnaomaduste muutmine toimub ainult materjali kõige pindmises kihis. Seega ei muuda plasmatöötlus materjali põhiomadusi, nagu võib juhtuda keemilise aktiveerimise kasutamisel. Plasmatöötlus on osutunud kulutõhusaks ja keskkonnasõbralikuks meetodiks; probleemideks on energiamahukus ja eralduv osoon. Plasmatöötluse alternatiivina saab kasutada koroonalahendust. Selle elektrilahenduse energiatihedus on madal, seetõttu jääb ka töötlemise intensiivsus üsna madalaks, kuna laetud osakeste tihedus väheneb drastiliselt, kui kaugus elektroodi tipust suureneb. Energiatiheduse suurendamine tõstaks ka temperatuuri, mis on puidu töötlemisel ebasoovitav.

Plasmaaktivatsiooni mõju on märgatav ja peamiselt positiivne, ehkki see sõltub ka puiduliikidest ja kasutatud gaasisegust, mis võib viia hüdrofoobsuse suurenemiseni. Parimal juhul saab aktivatsiooniprotsessi rakendada tootmisvõimsust kahjustamata. Koroonatöötlus on näidanud suurt potentsiaali spooni pinna märguvuse parandamiseks, mida näitasid vähenenud vee kontaktnurga väärtused nii kasel kui ka kuusel.

3.7 KORDAMISKÜSIMUSED

1. Millised on saematerjali kuivatamismeetodid?
2. Millest koosnevad kamberkuivatid?
3. Millest sõltub niiskuse liikumine puidus?
4. Millised niiskuse liikumise mõjutegurid on määravad erinevatel kuivatusmeetoditel?
5. Millised on sisepingete tekkimise põhjused puidu kuivatamisel?
6. Kuidas toimub kuivatusrežiimi valimine?
7. Kuidas hinnatakse kuivatuskvaliteeti?
8. Mis mõjutab kuivatuskvaliteeti?
9. Kuidas määratakse puidu niiskust?
10. Kuidas määratakse sisepingeid?
11. Millest sõltub kuivatusaeg?
12. Milles seisneb kondensatsioonkuivatuse eripära?
13. Kuidas muutub kuivatusrežiim pidevkuivatusel?
14. Millised on erinevate vaakumkuivatusmeetodite eripärad?
15. Kuidas hinnata erinevate kuivatusmeetodite ökonoomsust?
16. Kuidas on võimalik reguleerida atmosfäärsel kuivatuse režiimi?
17. Millised on saematerjali kuivatamise tehnoloogilise režiimi parameetrid?
18. Mis on spooni kuivatamise eesmärk?
19. Millise niiskuseeni on vaja spooni kuivatada?
20. Milliseid kuivatusmeetodeid kasutatakse spooni kuivatamiseks?
21. Mis temperatuuri ja õhuniiskust kasutatakse spooni kuivatamisel?
22. Miks on vaja kasutada õhuniiskust spooni kuivatamisel?
23. Miks peab olema kuivati alati spooniga täidetud?
24. Mis on vaba vesi ja mis on seotud vesi puidus?
25. Kuidas jaotub niiskus spooni lehes?
26. Kui palju ja mis suunas tõmbab spoon kokku peale kuivatamist?

27. Miks on spoonikuivatil tsoonid?
28. Millised on peenestatud puidu kuivatusmeetodid?
29. Millised on peenestatud puidu tehnoloogilise režiimi parameetrid?
30. Millised erinevused on pneumokuivatitel ja kombineeritud kuivatitel?
31. Milliseid meetodeid kasutatakse puidu modifitseerimiseks?
32. Milles seisneb puidu termiline modifitseerimine?
33. Kuidas puitu tihendatakse?

ALLIKAD

Kirjandus

Keey, R.B., *Kiln-drying of lumber*. Berlin: Springer, 2000.

Perre, P., *Fundamentals of Wood Drying*, 2007 A.R.BO.LOR, ENGREF, 14, rue Girardet, F-54 042 Nancy, France

Rasev, A.I.; Kosarin. A.A., *Gidrotermitsheskaja obrabotka i konservirovanije drevesinõ*, M, 2010 (vene k).

Reiska, R., Meier, P., *Puidu kuivatamine*. TTÜ Kirjastus, 2008.

Thomassen, T., *Puidu kuivatamine*. Praktiline käsiraamat. 1999.

Trübswetter, T., *Holztrocknung*. Carl Hanser Verlag, 2005.

Internetiallikad

Rullkuivati automaatne spooni etteandmine ettevõttelt Grenzebach Maschinenbau GmbH. <https://www.grenzebach.com> (Kasutatud 30.05.21)

Raute OY koduleht https://marketing.raute.com/veneer-drying?_ga=2.223007003.1297834403.1600852001-1121478232.1600852001 (Kasutatud 30.05.21)

Spoonid kuivatamine – miks ja kuidas seda teha? Raute OY <https://www.raute.com/blog/industry-insights/veneer-drying-why-to-do-it-and-how-to-do-it/>

De Nardi puidukuivatid [Traditional timber drying kilns – De Nardi Srl](#)

Hildebrand Brunner puidukuivatid [Hildebrand Brunner | Weltweiter Spezialist im Holztrocknen](#)

Incomac puidukuivatid [Leading Manufacturer of Wood Drying Kilns | Incomac Srl](#)

Mühlböck puidukuivatid [Mühlböck Holztrocknungsanlagen - Ihr Partner für Trocknungstechnologie](#)

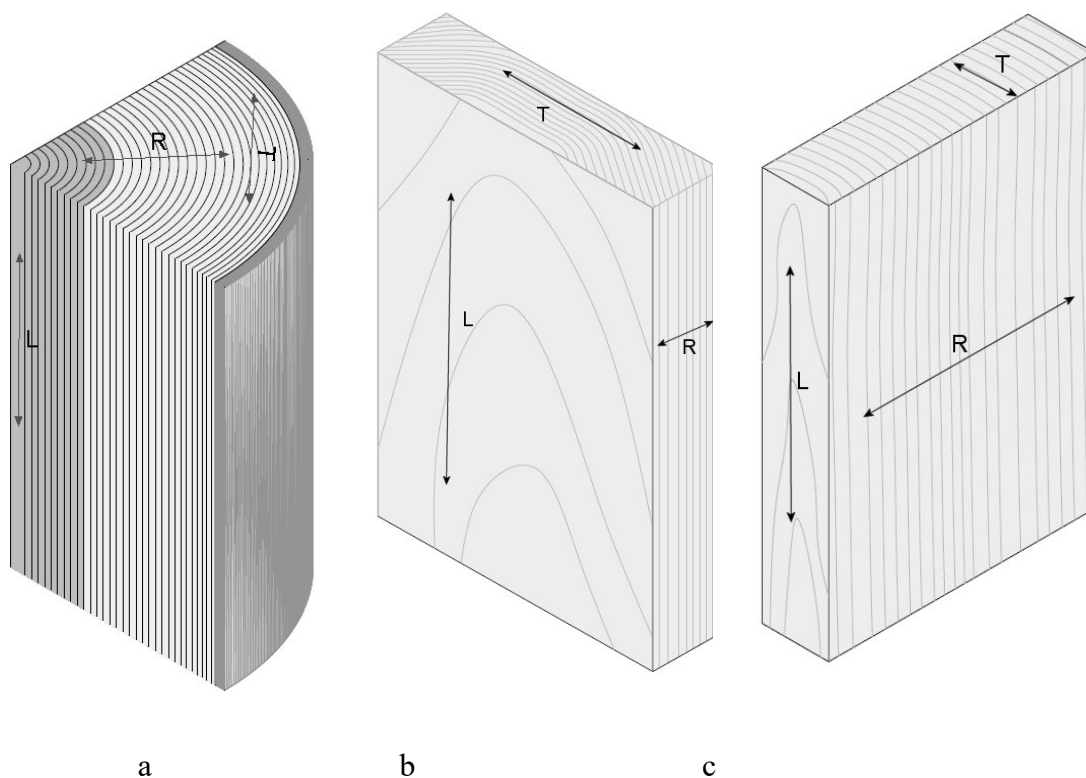
Termolegno puidukuivatid [Termolegno - Timber drying kilns and drying technologies](#)

Valutec puidukuivatid [Valutec - History](#)

4 TÄISPUIDU TÖÖTLUS

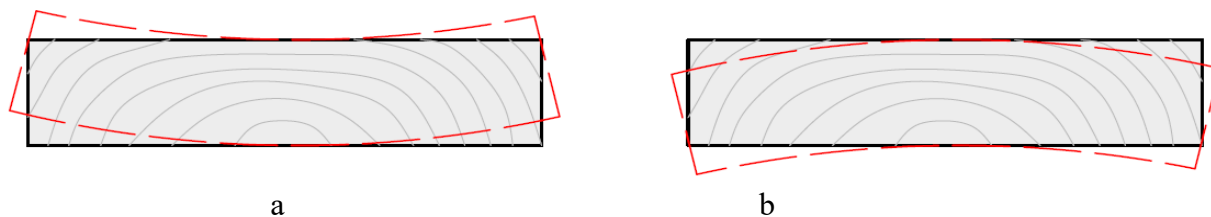
4.1 Puittoorikute niiskusdeformatsioonid

Tingituna puidu ehitusest on selle pundumine ja kuivamiskahanemine piki-, radiaal- ja tangentsiaalsuunas erinev (joonis 4.1) Seotud niiskuse lisandumisel/eraldumisel muutuvad mõõtmed tangentsiaalsuunas umbes 2–3 korda rohkem kui radiaalsuunas. Pundumine pikisuunas ei ole väga suur.



Joonis 4.1 Puidu struktuur: a – tinglikud suunad aastarõngaste suhtes: L – pikisuund, R – radiaalsuund, T – tangentsiaalsuund; b – tangentsiaallaud; c – radiaallaud.

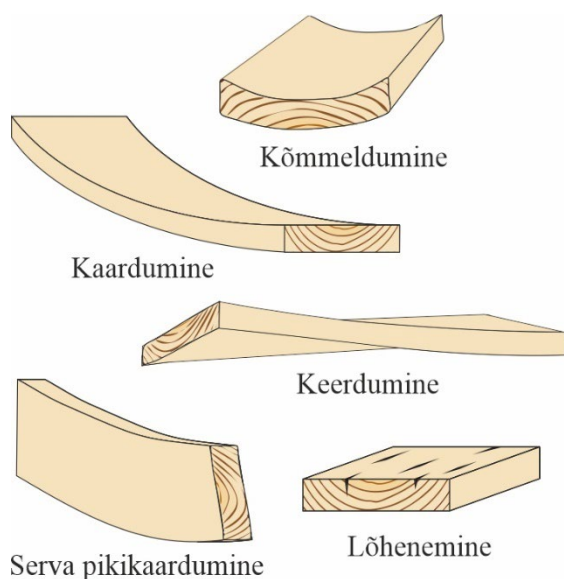
Tangentsiaalsuunalist suuremat kujumuutust võrreldes radiaalsuunalisega põhjustab puidu ülesehitus. Niiskusmuutused allpool rakkude küllastuspiiri ($W = 30\%$) on tingitud niiskuse lisandumisest/eraldumisest puidu rakuseinas mikrofibrillide vahelt. Tangentsiaalsuunas on rakuseinad suunatud pidevalt ühes suunas, seetõttu on seal kujumuutused suuremad kui radiaalsuunas.



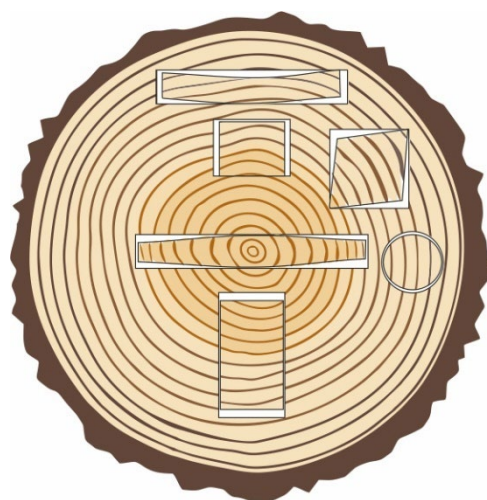
Joonis 4.2 Puidu kõmmeldumine: a – kuivamisel, b – niiskumisel.

Tangentsiaallaua puhul on laua ülemine pind „tangentsiaalsem“ kui alumine, seetõttu tõmbub see pind rohkem kokku kui alumine (joonis 4.2 a). Tulemuseks on joonisel kujutatud kõmmeldumise deformatsioon. Laua niiskumisel pikeneb ülemine külg rohkem kui alumine ja tulemuseks on joonisel 4.2 b kujutatud deformatsioon. Hõõvelmaterjali (eeskätt põrandalauad, voodrilauad) tootmisel tuleb sellega arvestada, freesides suurema deformatsiooniga külge sooned.

Puidu anisotroopsest ehitusest tingituna esinevad puidu pundumisel/kuivamisel niiskusdeformatsioonid kõmmeldumine, kaardumine, keerdumine, serva pikikaardumine ja lõhenemine (joonis 4.3). Enamasti ei esine korraga ainult üks deformatsioon, vaid mitu, tekivad liitdeformatsioonid.



Joonis 4.3 Niiskusdeformatsioonid lauamaterjalis.



Joonis 4.4 Niiskusdeformatsioonid tüve ristlõikes.

Deformatsioonide kuju sõltub puitmaterjali ristlõike paiknemisest tüve ristlõikes. Suhteliselt kujukindlamad on materjalid, mis on välja saetud aastarõngaste radiaalse paiknemisega (joonis 4.4).

Niiskuse tõttu ei toimu puittoote (detaili) kuju ja mõõtmete muutust juhul, kui töödeldav puit on kuivatatud eksploatatsiooniniiskuseni. Ekspluatatsiooniniiskuseks (*end use moisture content*) loetakse mööblidetailidel $8 \pm 2\%$, ehitusdetailidel 12–15%. Risttahukakujuline puitmaterjal saetakse palgist enamasti selle niiskusesisaldusel 60–100%, sellele järgneb kuivatamine. Seetõttu on puitdetailide valmistamisel lähtematerjalil – toorikutel – enamasti alati kujudeformatsioonid ja ka sisepinged. Need võivad põhjustada deformatsioone puittoodete hilisema kasutuse käigus. Detaili mõõtmete muutumise ärahoidmiseks tuleb puit kuivatada

tasakaaluniiskuseni või ekspluatatsiooniniiskuseni. Kuivamisel/niiskumisel muutuvad mõõtmised eriti ristikiudu. Mida rohkem pikkusmõõte on ristlõikes, seda suuremad on hälbed niiskusest ja seda suurem on ebatäpsuste oht.

Ühendatavate detailide niiskus võiks olla 1–2% madalam kui ekspluatatsiooniniiskus, see kindlustab ühenduse tiheduse.

Arvestades, et puidu mehaanilisel töötlemisel võivad selle mõõtmised muutuda, peab tootmisruumides, kus töödeldakse detaile ja sõlmi, olema suhteline niiskus 40–70% ja temperatuur 18–23 °C. Kui detailid ja koostud niiskuvad liimimisel, pealistamisel või muul töötlemisel, tuleb neid lõplikult töödelda alles pärast niiskuse alandamist tasakaaluniiskuseni. Väikest mõju töötlemistäpsusele avaldab puidu kõvadus, mida peab arvestama masinate häälestamisel.

4.2 Saematerjali ristlõike orientatsioon puidu aastarõngaste suhtes

Saematerjali kõmmeldumise määr kuivamisel sõltub sellest, kuidas paikneb tema ristlõige saetava palgi ristlõikes (joonis 4.3). Materjal, mille laiemad küljed on tangentsiaalsuunalised, kõmmeldub märksa enam kui radiaalsuunas saetud külgedega materjal. Samuti tekib välisoludes puidu tangentsiaalpinna märksa enam mikrolõhesid kui radiaalpinna. Dick Sandberg (KTH, Stockholm) uuris männi ja kuuse tangentsiaal- ja radiaalpinna pärast nende 36-kuulist hoidmist välisoludes. Selgus, et männil oli lõhede kogupikkus pinnaühikul tangentsiaalpinna 13 korda suurem kui radiaalpinna, kuusel oli see näitaja 6. Sel põhjusel peaks näiteks aknaraamide tootmisel kasutatavad liimpuidust komponendid olema valmistatud sellistest lamellidest, mille väljapoole jääv osa on võimalikult radiaalsuunaline. Orientatsioon aastarõngaste suhtes on oluline ka välisvoodrilaudade tootmisel, kus laua väljapoole jääv külg peaks olema palgi südamikupoolne külg.

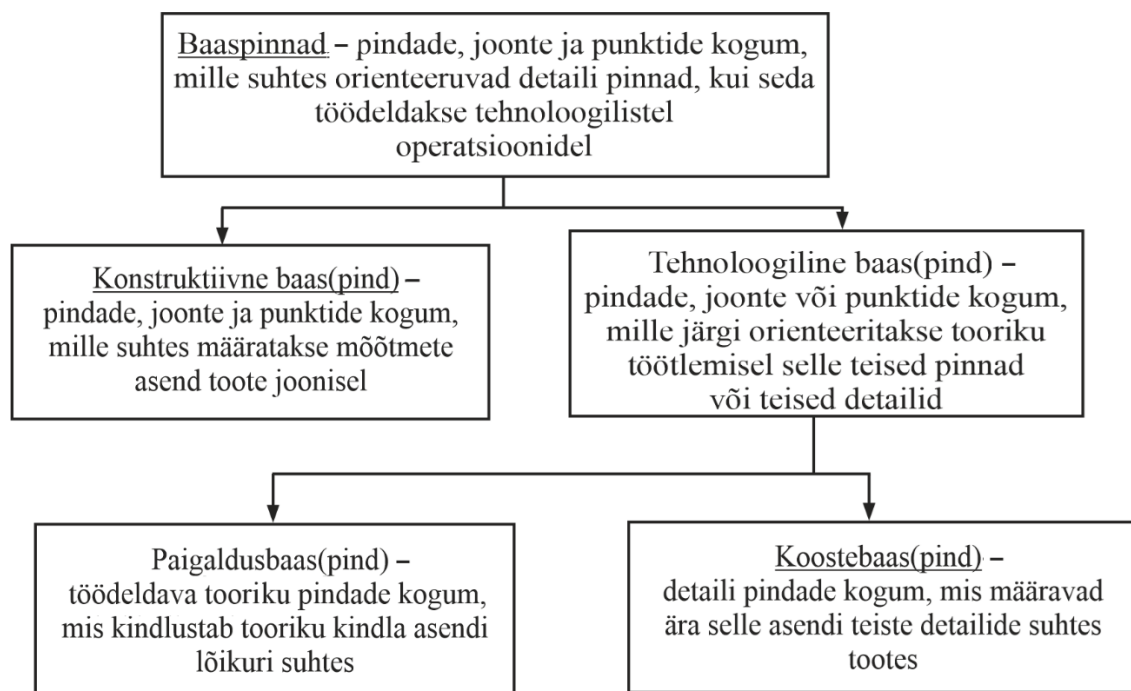
Seda, kummale poole lauda jääb kõmmeldumisest tekkinud kumerus, saab kontrollida laua profiili kõrguste mõõtmisega. Kui keskosa on kõrgem kui servad, on kumerus suunatud ülespoole. Orientatsiooni määramiseks kasutatakse ka laua otspinna kujutise analüüsi.

4.3 Baaspinnad ja nende loomine töötamise käigus

Puitdetailide töötlusel on vajalik need kindlalt orienteerida masina pindade suhtes, see tagab vajaliku töötlustäpsuse. Seda operatsiooni nimetatakse tooriku baseerimiseks (*basing*). Lisaks

töötlustele (tehnoloogiline baaspind, jaguneb paigaldusbaaspinnaks ja koostebaaspinnaks), on kasutusel veel konstruktiivne baaspind (joonis 4.5).

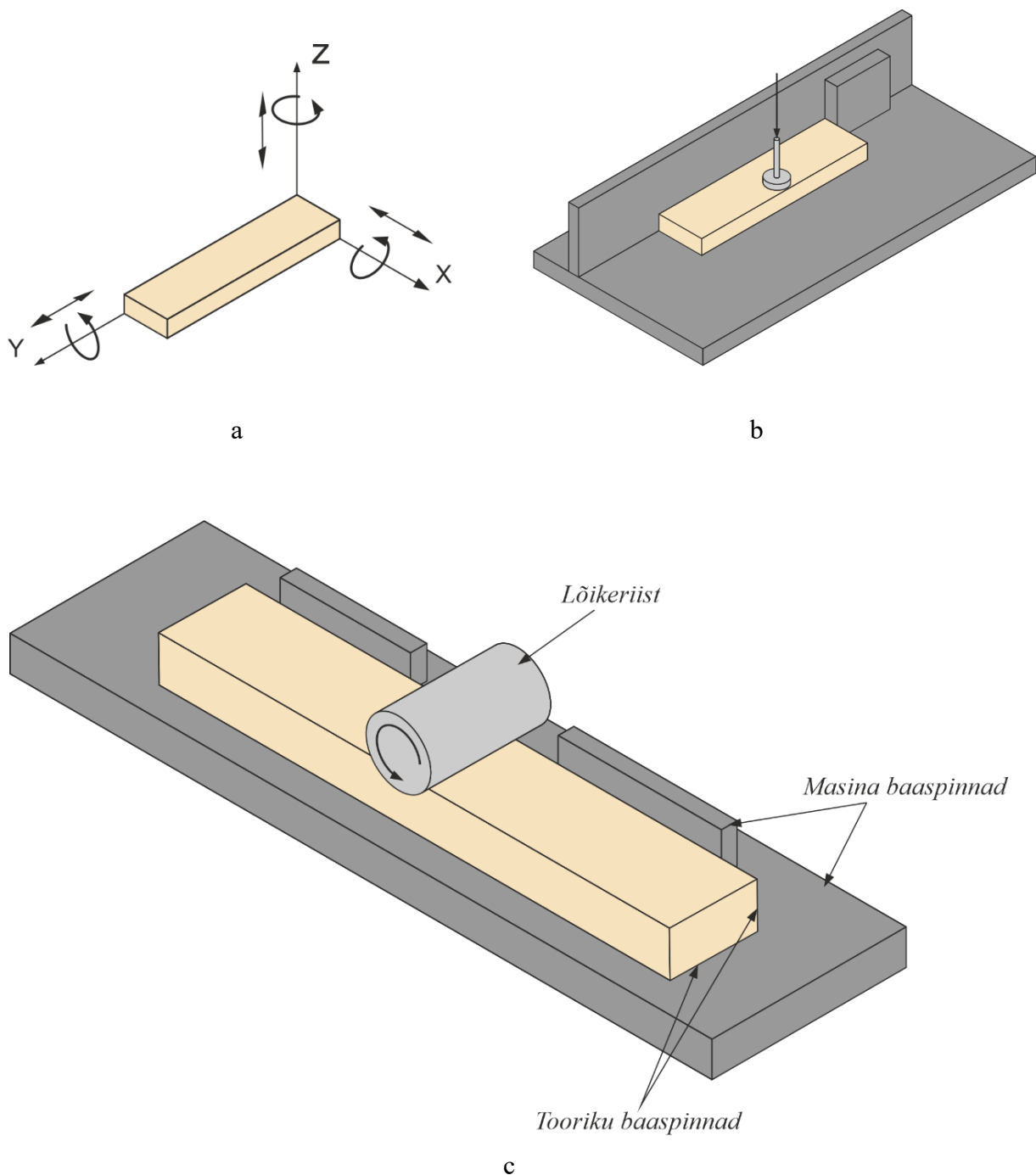
Baseerimisel on vajalik aga puittoorikute täpne kuju, eelistatult risttahukas. Ebakorrapärase kuju (tingitud enamasti kuivamiskahanemisest) eemaldamine on üks esimesi prusstoorikute töötlusoperatsioone ja selleks on vajalik toorikule baaspindade töötlemine.



Joonis 4.5 Baaspinna puidutöötlemise jaotus.

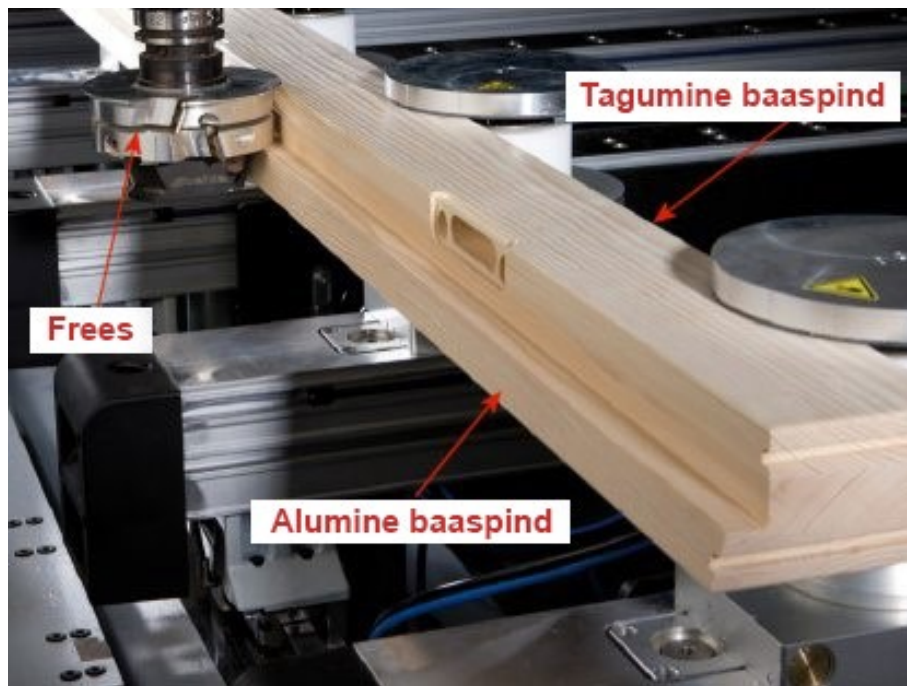
Mingil kehal ruumis on kokku kuus vabadusastet: nihe piki kolme telge ja pööre ümber iga telje (joonis 4.6 a). Baseerimine tähendab keha (tooriku) vabadusastmete likvideerimist.

Joonisel 4.6 b on kujutatud olukord, kui tooriku kõik kuus vabadusastet on kõrvaldatud ja tooriku baaspinnad on orienteeritud masina vastavate pindade suhtes. Surudes tooriku töölauale, kõrvaldame selle kolm vabadusastet: kaks pöörlemist ümber horisontaaltelgede x ja y ning vertikaalse ümberpaigutamise vertikaaltelje z sihis. Lisades juhtlati, kaob veel kaks liikumise võimalust: nihe juhtlatiga risti (x -telje suunas) ja pööre ümber z -telje. Ilma piirajata jääb toorikule liikumise võimalus y -telje suunas, lisades piiraja, kaob ka see viimane vabadusaste. Joonisel 4.6 c on kujutatud masintöötlusel paljukasutatud baseerimisviis, kus toorikul on võimalus liikuda ühe koordinaattelje suhtes, tegemist on liikuva baseerimisega. Liikuva baseerimise näide on ka joonisel 4.7.



Joonis 4.6 Baaspinnad puitdetailide töötlusel: a – keha kuus vabadusastet ruumis, b – liikumatu baseerimine, c – liikuv baseerimine.

Joonisel 4.7 on kujutatud puitdetaili töötlus CNC-töötluskeskuses. Töötlemiseks on vajalik tooriku täpne paigaldamine nullpunkti suhtes ja orienteerimine masina telgede suhtes, kasutades selleks masina baseerimispindu. Orienteerimine ja paigaldus on võimalik läbi viia, kui detailile on enne töödeldud korrapärane kuju, ja see toimub detaili alumise, külgmise ja otspinna kaudu.



Joonis 4.7 Liikumatu baseerimise näide, puitdetaili töötlemine CNC-töötluskeskuses (detaili otsmine baaspind on tähistamata).

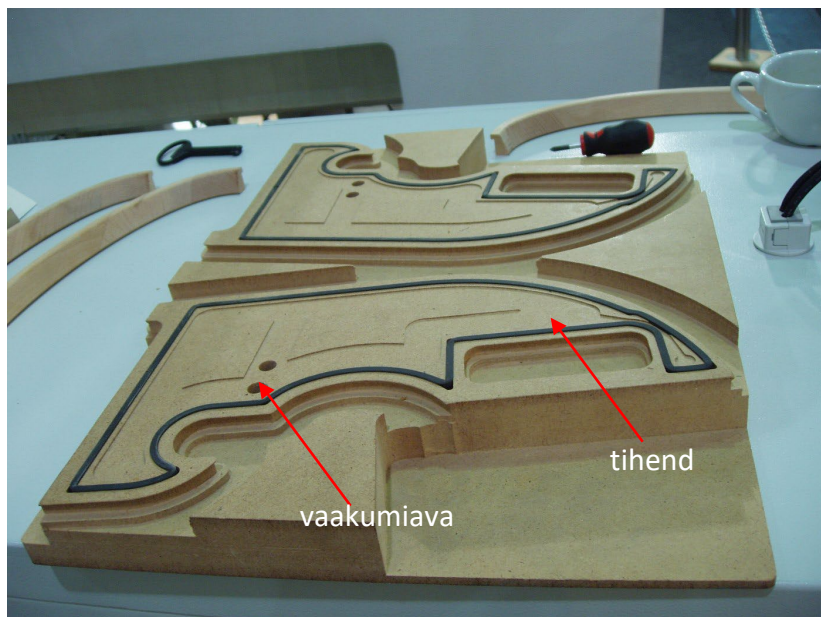


Joonis 4.8 Liikuva baseerimise näide, kõverpindade lõikamine lintsael rakise abil. Foto: firma Aigner kataloogist

Kirjeldatud baaspinnad on tehnoloogilised baaspinnad (*processing datum surface / technical base*) ehk paigaldusbaaspinnad masina pindade suhtes eesmärgiga tooriku/detaili täpne töötlus.

Tihti kasutatakse toorikute töötlusel spetsiaalrakiseid, mille ülesandeks on peale tooriku kinnitamise ka selle baseerimine. Kinnitusrakis tuleb valmistada väga täpselt, rakise valmistamise täpsus peab olema suurem kui selles töödeldava detaili täpsus. Kinnitus- ja baseerimisrakise näiteks on joonisel 4.9 kujutatud rakis. Selle abil toimub plaatdetaili kinnitus vaakumiga ja

baseerimine masina nullpunkti suhtes CNC-töötlemiskeskustes. Rakis baseeritakse masina juhtpindade järgi ja toorik kinnitatakse sellele. Et töötlus toimub masina koordinaatsüsteemi järgi, on töödeldud tooriku mõõtmed täpsed.



Joonis 4.9 Tooriku baseerimise ja kinnitusrakis CNC-töötluceskuses. Foto: Ü. Luga

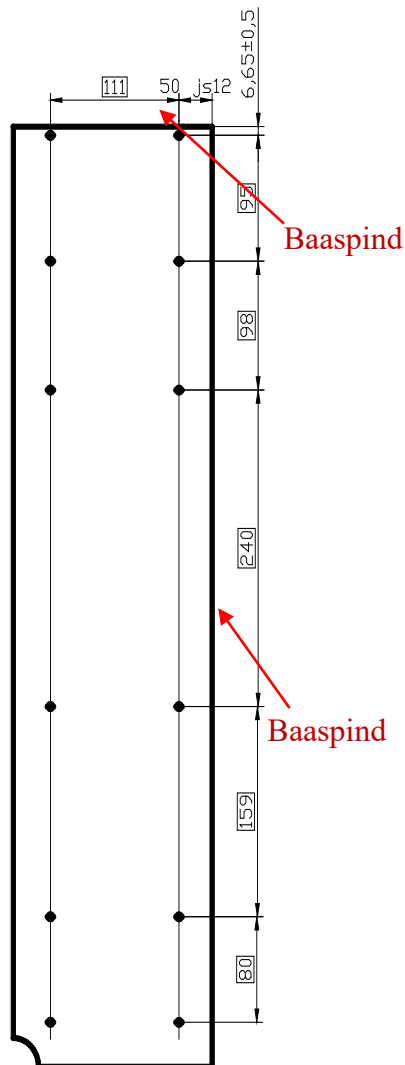
Detailide töötlusel kasutatakse ka konstruktiivse baaspinna (baasi) mõistet. Konstruktiivne baaspind (*construction base*) kujutab endast pinda, millest toimub detaili mõõtmete lugemine, sellele orienteerub kavandaja/konstruktor toote kavandamisel.

Joonisel 4.10 on kapi külgedetaili mõõtmed näidatud kahe pinna suhtes, mis on detaili konstruktsioonilisteks baaspindadeks. Soovitav oleks, et detaili töötlemisel langeksid konstruktsioonilised baaspinnad kokku masina tehnoloogiliste baaspindadega.

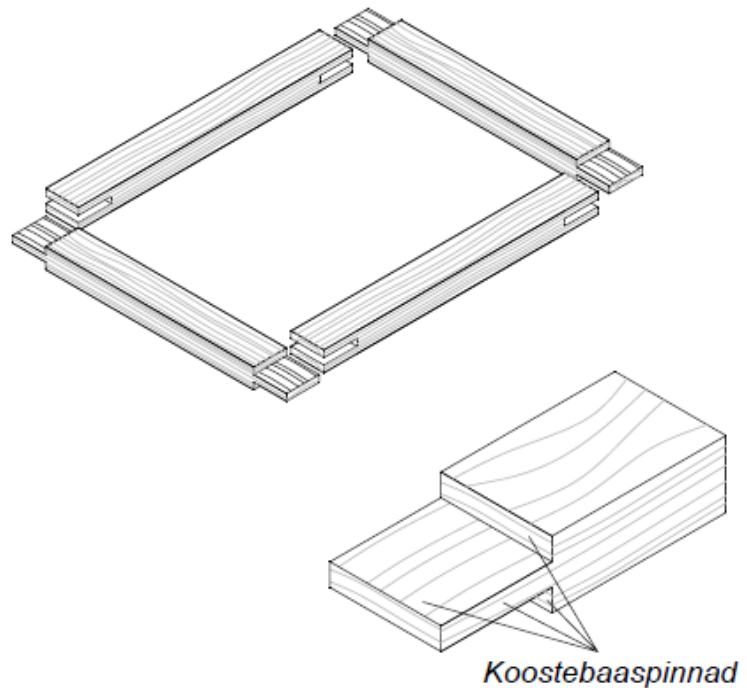
Koostebaaspind (*assembly base*) on detaili pindade kogum, mis määravad selle asendi teiste detailide suhtes. Näiteks raami monteerimisel neljast detailist lahtiste raamtappidega sõltub monteerimise täpsus tapi õlgade vahelisest kaugusest. Koostebaasiks on detaili tappide pinnad (joonis 4.11).

Tehnoloogiliselt on toorikute töötlusel vajalikud baaspinnad. Kuna lahti saetud puittoorik on enamasti kuivamise tulemusena minetanud oma risttahuka kuju, alustatakse baaspindade loomist õgvendushööveldusest (rihthööveldus) (joonis 4.12). Tooriku alumine pind hööveldatakse ühe- või mitme läbimiga tasapinnaliseks. Höövli eesmine töölaud on tagumisest pikem ja asetseb mahatöödeldava kihi paksuse (enamasti 1,5–2,5 mm) võrra madalamal. Kahelt vastasküljelt hööveldamisega ei saavutata täpset vajalikku paksusmöödet, seetõttu on vajalik järgnev

paksushööveldamine paksusmasinas, kus kasutatakse rihthööveldamisel tekkinud baaspinda. Korrates neid kahte operatsiooni ülejäänud kahel paralleelsel tooriku küljel ja lisades täppisjärkamise saemasinas, tekib risttahukakujuline paralleelsete tahkudega ja vajalike baaspindadega puhastoorik.

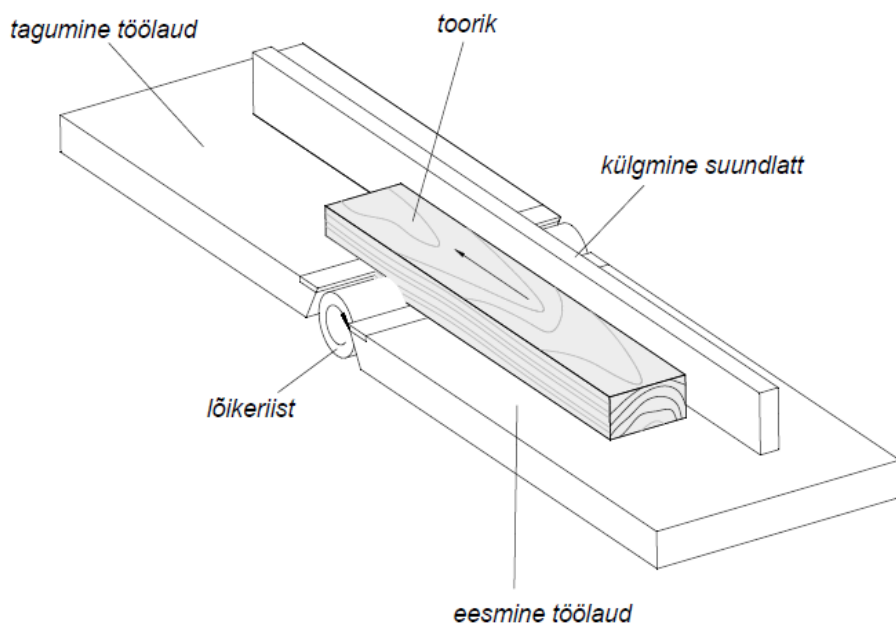


Joonis 4.10 Detaili mõõtmed kahe konstruktiivse baaspinna suhtes.



Joonis 4.11 Koostebaaspinnad.

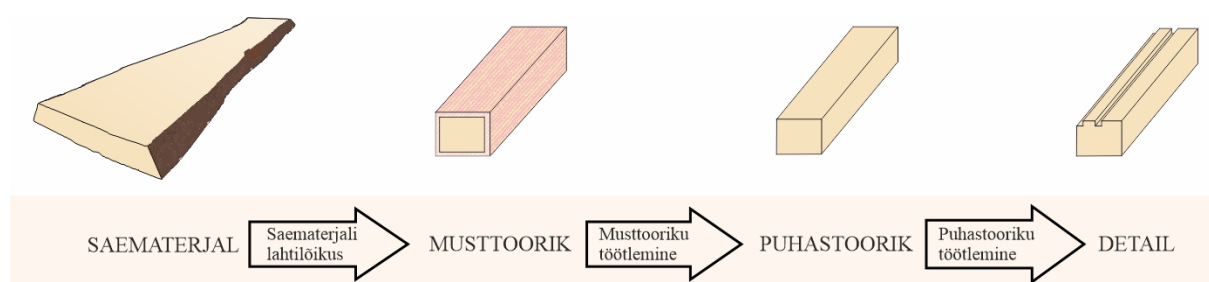
Toorikute freesimine on võimalik ka otse nelikantfreesmasinais, kus toimub mitmekordne õgvendus ja paksushööveldamine ning ka detailide kujupindade töötlus.



Joonis 4.12 Puittooriku baaspindade loomine rihthööveldamisel.

4.4 Must- ja puhastoorikud. Töötlusvarud

Puitdetaili töötlus seisneb sellele baaspindade loomises ja sellele järgnevas töötluses. Esmalt lõigatakse välja nn musttoorik (*rough workpiece*) – töötlusvarude ja kujuhälvetega toorik. Töötlusvarud on vajalikud järgnevas kujuhälvete eemaldamiseks ja baaspindade loomiseks, mille käigus tekib nn puhastoorik (*clean workpiece*) – täpsete mõõtmetega ja kujuhälveteta toorik. Täispuidust prussdetaili töötlustapid on kujutatud joonisel 4.13.



Joonis 4.13 Saepuidust prussdetaili töötlemisskeem.

Töötlusvaru on detaili nimimõõtmete ja tooriku joonmõõtmete vahe mitme töötlustapi peale kokku. Toorikute mõõtmete vahet ühelt töötlustapilt teisele üle minnes, mis saadakse kihi mahavõtmisega, nimetatakse etapi töötlusvaruks (*cutting allowance*). Mõõtmete erinevus mää-

ratakse mööda töödeldava pinna normaali. Ilma selliste mõõtmete arvestamiseta ei ole praktiliselt võimalik teostada tehnoloogilisi operatsioone. Materjali kihti, mis eemaldatakse kogu tehnoloogilise protsessi jooksul, nimetatakse üldiseks ehk summaarseks töötlusvaruks (*general cutting allowance*). See arvutatakse tooriku ja detaili mõõtmete erinevusest kindlast baasist normaali suhtes. Töötlusvarud võivad olla ühepoolsed ja kahepoolsed. Kahepoolsed võivad olla sümmeetrilised ja asümmeetrilised.

Töötlusvarud on vajalikud järgmistel põhjustel: viga tooriku paigaldamisel rakisesse ja masinasse, tooriku kuju ebatäpsuse kompenseerimiseks, kui see väljub lubatud tolerantsi piiridest või toimub niiskuse mõjul, ning eelneval töötlemisel tekkinud defektse kihi ja pinnakareduse eemaldamiseks.

Töötlusvarud peavad arvestama materjali kujudeformatsioone (joonis 4.3) ja kahanemist kuivamisel (joonis 4.2) ning vajalikku mehaanilist töötlemist. Kahanemisvaru oleneb puidu liigist, kuivatatava materjali alg- ja lõppniiskusest ning toorikute eelnevatest mõõtmetest. Tooriku mõõtmete vähenemist kuivamisel aitab arvestada kahanemiskoeffitsient (*shrinkage coefficient*). Wagenführi „Puiduatlasest“ pärit Euroopa puiduliikide kahanemiskoeffitsiendid (tangentsiaal-, radiaal- ja pikisuunalised) on Perre esitanud tabelis vahemikena, mille keskvaartuse kasutamisel tuleb arvestada, et need on ligikaudsed. Kahanemiskoeffitsiendi arvutamisel on lähtutud märja saematerjali algmõõtmete kahanemisest selle absoluutkuivaks kuivatamisel. Praktikas kuivatatakse märg saematerjal näiteks hõõvelduskuivaks (niiskussisaldus 15–19%) või liimimiskuiivaks (14%). Kahanemine pärast kuivatamist võib isegi sama puiduliigi korral erineda kuni kaks korda, sest kasvukoht ja -olud mõjutavad puidu ehitust ja omadusi, sh tihedust. Tihedam puit kahaneb rohkem. Saepuidu kahanemiskoeffitsient sõltub ka sellest, millisest palgi ristlõike osast (juveniil-, lüli- või maltspuit) ja kuidas on laud aastarõngaste suhtes (radiaal- või tangentsiaalsuunaliselt) saetud (joonis 4.4). Ameeriklaste poolt 2021. aastal võrguväljaandena avaldatud käsiraamatus (*Wood handbook – wood as an engineering material*, ptk 13) on välja arvatatud USA puiduliikide mõõtmete muutumise koefitsient (*dimensional change coefficient*, DCC) tangentsiaal- (C_T) ja radiaalsuunaliselt (C_R) 10% lõppniiskuse juures. Pärast niiske puidu kuivatamist üle puidu rakuseina küllastuspiiri 30% niiskuse juurest kuni 10% toimub suurem mõõtmete kahanemine. Puittoorikute niiskus võib tootmises muutuda – liimimiskuiivast (14%) mööblikuivaks (6–10%). Mõõtmete muutus 6–14% niiskuse juures toimub väikestes piirides, kus puidu kahanemise ja niiskuse muutumise kõver on lineaarne. Tooriku mõõtme muutumise Δ_D saab arvutatada valemiga 4.1:

$$\Delta_D = D_I [C_T (M_F - M_I)], \quad (4.1)$$

kus

D_I – tooriku algmõõt, mm; C_T – tangentsiaalsuunalise mõõtmise muutumise koefitsient (radiaalsuunaliselt kasutades C_R – radiaalsuunalise mõõtmise koefitsient); M_F – tooriku lõppniiskus pärast kuivamist, %; M_I – tooriku algniiskus enne kuivamist. Materjali kahanemisvaru paksuses ja laiuses ei võeta eraldi arvesse, vaid lisatakse summaarsele töötlemisvarule.

Võttes arvesse joonistel 4.3 ja 4.4 esitatud niiskusdeformatsioone, on praktiliselt vältimatud kaardumised nii tooriku piki- kui ka ristisuunas, need tuleb edasisel töötlusel eemaldada. Kaardumise varu 1000–1500 mm ja 1500–2000 mm pikkustele toorikutele on vastavalt 1 mm ja 2–3 mm. Alla 1 m pikkustele toorikutele kaardumisvaru ei arvestata.

Kuivatamisel võivad tekkida ka lõhed, mis ei ole kohe nähtavad. Nähtavaid lõhesid on tavaliselt võimalik eemaldada otspindade töötlusega. Selliseks töötluseks on vajalik töötlusvaru otspinnas.

Arvestatakse, et töötlusvarudeks kulub umbes 12% tootele kuluvast puidu mahust. Puidu maksumus on enamasti 60–80% puittoote maksumusest (töötlusvarudele läheb seega 7–9% toote hinnast) ja seetõttu on vajalik uurida töötlusvarude vähendamist. Kuna töötlusvaru on otseses seoses tootmistingimustega, saab selle suurust optimeerida ainult konkreetsetes oludes.

Kui töötlusvaru on 0, siis ilmselt praagi protsent läheneb 100%-le, kuna selliste mõõtmetega ei ole töödeldav ükski toode. Töötlusvaru suurendamisel suureneb materjali töötlusmaht ja praagi protsent väheneb eksponentsiaalselt kuni praagini, mis sõltub puidu looduslikest vigadest ehk puiduriketest (okaspuidust ja lehtpuidust toorikud –3%). Teiselt poolt kasvab töötlusvaru suurendamisel materjalikadu lineaarselt. Nende liitmisel tekib summaarne kadude kõver, millel on miinimum. Töötlusvarusid võib arvutada valemitega, mida leidub standardites, kuid enamasti valitakse need kogemuslikult (tabelid 4.1–4.3).

Töötlusvaru pikikiudu lahtilõikuseks on arvutatav valemiga

$$\Delta_{la} = (n - 1) b + 2 \text{ mm}, \quad (4.2)$$

kus

n – toorikute kordsus laiuses, b – saetee laius mm.

Töötlusvaru ristikiudu lahtilõikuseks on arvutatav valemiga

$$\Delta_r = (n_1 - 1) b_1 + 5 \text{ mm}, \quad (4.3)$$

kus

n_1 – toorikute kordsus pikkuses, b_1 – saetee laius mm.

Tabel 4.1 Töötlemisvaru tooriku otspindadele

Tooriku laius, mm	Töötlemisvaru tooriku mõlemale otsale, tooriku pikkusel, mm	
	pikkus kuni 1500	pikkus 1500–3000
kuni 150	15	20
150–290	20	25

Allikas: Tering, 2002

Lihvimisoperatsiooniks võib arvestada töötlemisvaru 0,3 mm pärast hõõveldamise/freesimise operatsiooni ja 0,8 mm pärast saagimise operatsiooni.

Tabel 4.2 Töötlusvarud tooriku hõõveldamiseks kahelt vastasküljelt (enne rihitud toorik)

Tooriku paksus, mm	Töötlusvarud tooriku kahe vastaskülje töötlemisel, mm							
	laius tooriku laiusel, mm				paksus tooriku laiusel, mm			
	kuni 55		55–95		kuni 55		55–95	
	okaspuit	lehtpuit	okaspuit	lehtpuit	okaspuit	lehtpuit	okaspuit	lehtpuit
kuni 30	3,5	4,0	4,0	4,5	4,0	4,5	4,5	5,0
30–95	4,5	5,0	5,0	5,5	4,5	5,0	5,0	5,5

Allikas: Tering, 2002

Tabel 4.3 Töötlusvarud tooriku hõõveldamiseks kahelt vastasküljelt (enne rihtimata toorik)

Tooriku mõõtmed, mm		Töötlusvarud tooriku kahe vastaskülje töötlemisel, mm							
		paksuses tooriku paksuse puhul, mm				laiuses tooriku paksuse puhul, mm			
		kuni 30		30–95		kuni 30		30–95	
pikkus	laius	okaspuit	lehtpuit	okaspuit	lehtpuit	okaspuit	lehtpuit	okaspuit	lehtpuit
300–800	kuni 95	4,0	5,0	4,5	5,5	4,5	5,5	5,0	6,0
	95–195	4,5	5,5	5,0	6,0	5,0	6,0	5,5	6,5
800–1600	kuni 95	4,5	5,5	5,0	6,0	5,0	6,0	5,5	6,5
	95–195	5,0	6,0	5,5	6,5	5,5	6,0	6,5	7,0
1600–2400	kuni 95	5,5	6,0	6,5	7,0	6,0	7,0	6,5	7,5
	95–195	6,0	7,0	6,5	7,5	6,5	7,5	7,0	8,0

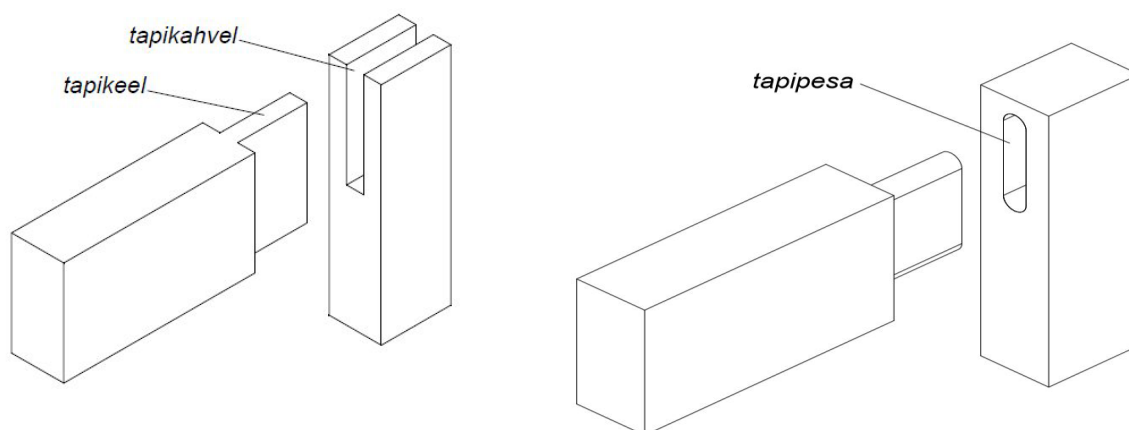
Allikas: Tering, 2002

4.5 Tappfreesimine, puitdetailide tappühendused mööbli tootmisel ja ehituses

Tappe on puitdetailide liitmiseks kasutatud juba väga ammu, kuid nende osatähtsus on järkjärgult vähenenud. Mööblitööstuses on põhjuseks täispuidu asendumine mitmesuguste puitplaatidega ja lahtivõetavate liidete levik, kus mööbel pannakse lõplikult kokku alles kliendi kodus. Ehituses on tappliited asendunud naelte, kruvide ja metallist kinnititega, siiski on tehnoloogia ja seadmete areng tappe uuesti kasutusse toomas, seda eriti sõrmjätkamise laialdase leviku tõttu.

Liidetavate detailide vastastikuse asendi järgi võib tappliited jagada serv-, jätk-, rist-, nurk-, T- ja kaldliiteks (joonis 4.14). Servliite levinuim näide on laudade liitmine punn- soonliitega ehk sulundservliitega. Sel viisil on seotud näiteks põranda- või voodrilauad, kuid kuna neid toodetakse kui hõõveldatud materjali üht liiki, siis selle materjali käsitlemine tappliitena ei ole põhjendatud. Servliide on ka veedriga liide, seda aga käsitleme koos teiste irdtapiga liidetega mööbliliidete peatükis.

Jätkliitena on sõrmtapp teised jätkliited nii täielikult välja tõrjunud ja sõrmjätkatud materjali kasutamine nii laialt levinud, et pärast traditsiooniliste tappliidete lühitutvustust pühendame sellest alapeatükist suurema osa sõrmtapile. Selline tähelepanu jaotamine vastab hästi kõnesolevate liidete osatähtsusele puidutööstuses.

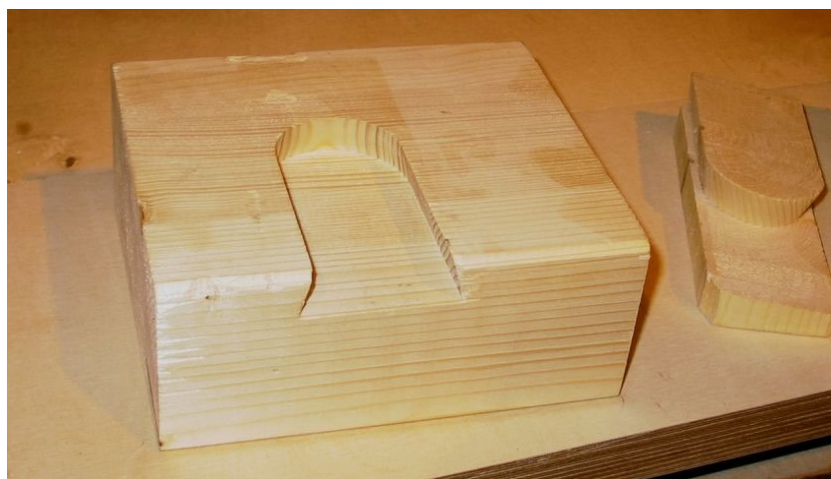


Joonis 4.14 Tappliite elemendid nurkliite näitel.

Traditsioonilise tappliite moodustavad tapikeel ja tapipesa, nurkliites võib tapipesa asemel olla ka tapikahvel. Sellisel juhul saab nii tapikeele kui ka tapikahvli töödelda nt ketasfreesidega. Tapikahvel saab esineda ainult nurkliidetes, muudel juhtudel on tegemist tapipesaga. Täisnurksete nurkadega tapipesa on tööstuslike seadmetega väga tülikas töödelda; selleks sobivad näiteks kettfrees või õõnsa peitliga peitelduspink. Viimane on tööstuses vähe levinud, eriti Euroopas. Kettfrees on sisuliselt sama, mis kettsaag, keti ja juhtplaadi mõõdud määravad tapipesa mõõdud. Kui tapipesa on mitteläbiv, jääb tema põhi kumer. Kettfrees on mõnede tehase majade tootmisel kasutatavate seadmete lisavarustuses.

Peamine tapipesade töötlemise meetod on otsfreesiga ja pesa on otsfreesi läbimõõduga määratud kumerusega. Sama kumerusega peab olema ka tapikeel, seepärast ei saa sellist tapikeelt ketasfreesiga valmistada. Ketasfreesitud tapikeele servade ümardamine on võimalik, kuid tootmises raskesti rakendatav. Tänapäevastes seadmetes valmistatakse ümarate servadega tapikeeled arvprogrammjuhtimisega masinates otsfreesidega, kus toorik seisatakse freesimise ajaks ja otsfrees liigub ümber tooriku otsa.

Tappliites võib olla ka mitu tapikeelt ja tapipesa. Traditsioonilistes kasti- ja kalasabatappides on neid sageli 4–5 või enam, aga sellistena neid tänapäeval vähemalt tootmises enam eriti ei kasutata. Kalasabatapp aga on jälle levimas ehituses, kus seda kasutatakse nt liimpalgist palkmajade nurgatapina või puitkarkassi postide-talade liitmiseks (joonis 4.15). Vähem koormatud liidetes võib kalasabatapist liite tugevuse tagamiseks piisata. Mitme tapikeelega kalasabatappi ehituses üldiselt ei kasutata.



Joonis 4.15 Kalasabatapp puitkarkassi tappliitena, fragment. Foto: M. Riistop

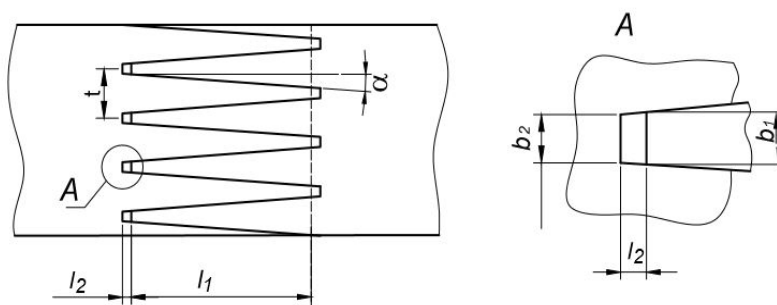


Joonis 4.16 Karkassipostide T- seotis. Foto: M. Riistop

Tappliites võib tapikeeleks olla ka liite ühe poole kogu ristlõige. Tehasemajade tootmises on levimas karkassipostidele pesade freesimine (joonis 4.16), mis tagab postide paiknemise täpselt õiges kohas.

4.5.1 Sõrmtapi põhimõõtmed ja liigid

Sõrmtapi peamine kasutusala on materjali jätkamine pikkuses. Hästi sobib see ka nurkliideteks. Katsetootmise tulemuste põhjal saaks isegi ogaplaatfermide ogaplaadid asendada sõrmtappliidetega.



Joonis 4.17 Sõrmtappliite põhimõõtmed.

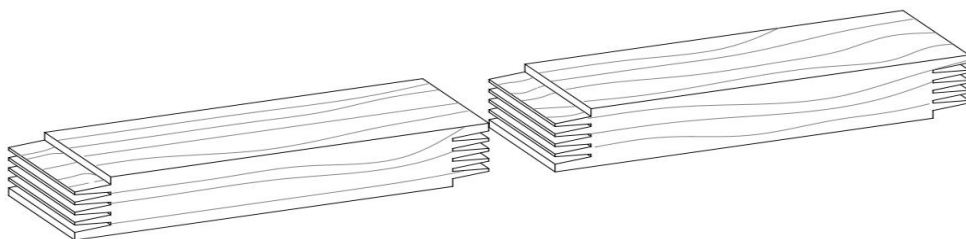
EVS-EN 15497:2014 „Sõrmjätkatud ehituslik täispuit. Teostusnõuded ja tootmisele esitatavad miinimumnõuded“ kohaselt on sõrmtappliite põhimõõtmeks on pikkus l_1 , samm t ja kalle α . Ehitusliku ehk koormustkandva sõrmtapi sõrme otsa peab jääma tipulõtk l_2 (joonis 4.17). Kalle peab olema väiksem või võrdne kui 7° , see tagab liite iselukustumise pressimisel. Üldiselt on sõrmtappliited iselukustuvad ka konstruktsioonides mittekasutatavates puidu liidetes. Ehkki

sõrmtapp tugevuslikus mõttes vähendab liidetava materjali efektiivset ristlõiget umbes 12–17%, on sõrmjätkatud materjal tugevam kui selle tootmiseks kasutatav materjal, sest madalama tugevusega osad lõigatakse välja. Liimühendus aga peab olema nii kvaliteetne, et katsetustel puruneb sõrmjätkatud materjal puidust, mitte liitest.

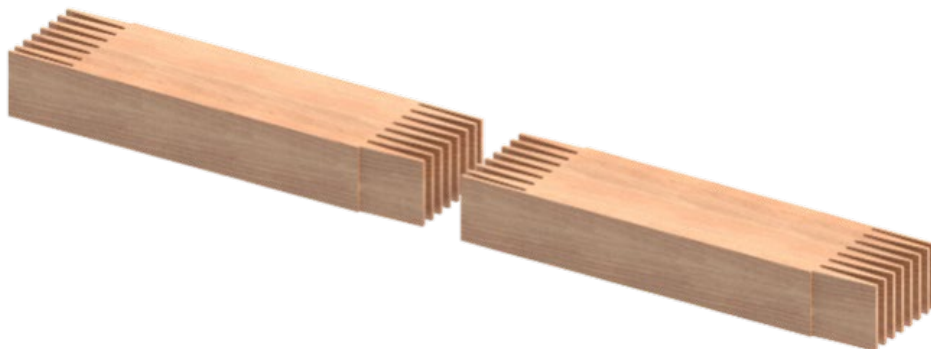
Tabel 4.4 Soovituslikud sõrmtapi mõõtmed erinevates kasutuskohdades

Pikkus, mm	Samm, mm	Kasutukoht
4	1,6	Liistud ja liimpuitskilbi sõrmjätkatud lamellid, akende ja uste nurkliited
10	3,8	Akna- ja mööblitööstuse sõrmjätkatud toorikud
15	3,8	Ehitusliimpuidu lamellid
20	5,0	Ehitusliimpuidu lamellid, suurem samm parandab tapikeele stabiilsust liite koostamisel
20	6,2	Eriti sobiv ehituspuidus

Tabel 4.4 pärineb ühe levinuma sõrmtapifreesi kasutussoovitustest, teiste freeside puhul on soovitusel üldiselt väga sarnased. EVS-EN 14080:2013 „Puitkonstruktsioonid. Lamell-liimpuit ja plankliimpuit. Nõuded“ lubab ehituspuidu jaoks ka tapi pikkust 30 mm ja sammu 6,2 mm, mida suurema puidukao tõttu siiski praktikas ei kasutata.



Joonis 4.18 Horisontaalsõrmtapp.



Joonis 4.19 Vertikaalsõrmtapp.

Sõrmjätkataval materjalil on sageli laius paksusest tunduvalt suurem ja vastavalt tapikeelte suunale laiema külje suhtes eristatakse horisontaalset (joonis 4.18) ja vertikaalset sõrmtappi (joonis 4.19). Konstruksioonpuidu tootmisel kasutatakse vertikaalsõrmtappi, sest see annab sama materjali puhul suurema liimühenduse pinna kui horisontaalsõrmtapp. Valikul vertikaalse ja horisontaalse sõrmtapi vahel on tihti oluline ka see, kas nähtavamal pinnal soovitakse sõrmtapi profiili näha.

Aknaraamidel on nähtavam materjali kitsam külg ja seetõttu levinum vertikaalsõrmtapp. Kuna materjal ei ole väga paks, näib serval nähtav liitejoon sirge. Horisontaalsõrmtapi liitekoht ei pruugi silmale täiesti sirge paista, seepärast on sageli kasutusel õlaga profiilid nagu joonisel 4.18. Sirge freesitud serva saamiseks lisatakse sõrmtapi freesile ketasfrees(-id), mis freesib sõrmtapile sirge servaga astme. Nii jääb liide nähtaval pinnal tihe ja sirge. See on ka põhjus, miks ristkihtpuidu nähtavate pindade lamelle võidakse soovitada liita horisontaalsõrmtapiga, ehkki tegemist on konstruktiivpuiduga. Argumendina horisontaalsõrmtapi kasuks märgitakse ka paremat õhupidavust.

4.5.2 Sõrmjätkatud puidu tootmisele esitatavad nõuded

Sõrmtappliides kasutatav liim valitakse jätkatava materjali kasutuskoha järgi; kandekonstruktsioonides kasutatavale ehituspuidule esitatakse oluliselt suuremaid nõudmisi kui mitteehituslikule puidule. Jaotus ehituslikuks ja mitteehituslikuks puiduks on kahjuks pisut eksitav, sest osa sellise liigituse järgi mitteehituslikuks nimetatud puitu, nt akende ja uste tootmises kasutatav sõrmjätkpuit, on lõpptootena kasutusel ikkagi ehituses.

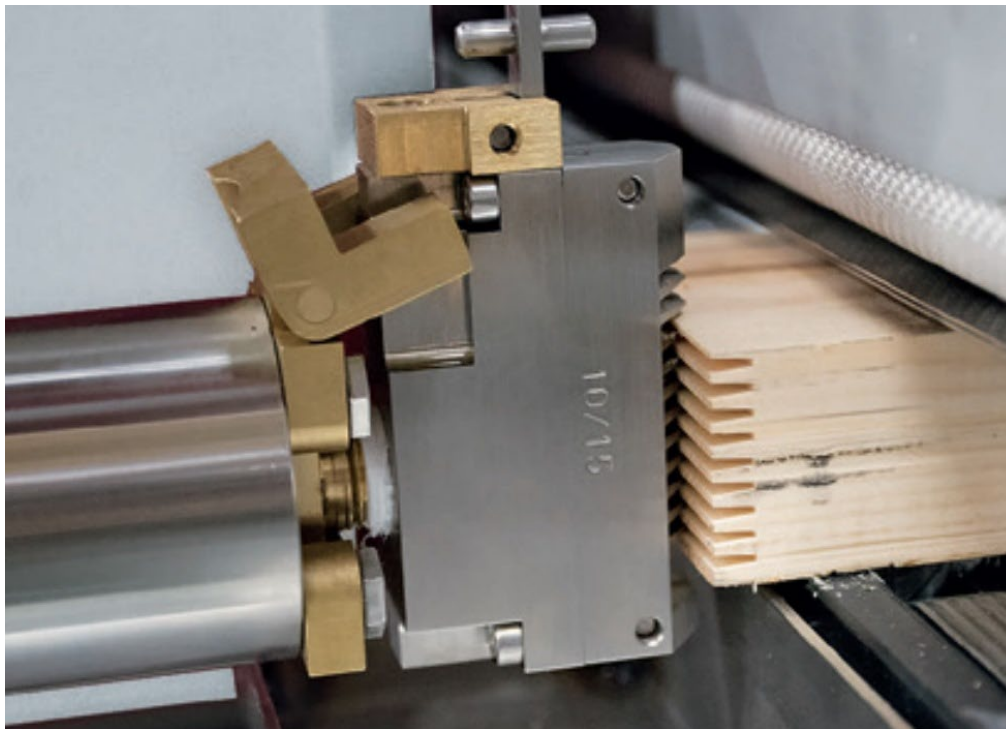
Mitteehitusliku sõrmjätkpuidu liimimiseks kasutatakse üsna valdavalt PVAc liimi, sest selle kasutamine on lihtne, ta on ühekomponentne, s.t ta ei vaja kõvendit ja seega on tehnoloogiliselt lihtsam kasutada. PVAc liimidel on neli niiskuskindluse klassi (D1–D4). Neist niiskuskindlamat (D4) kasutatakse aknaraamide jt välioludega kokku puutuvate detailide valmistamiseks. Seejuures nõuab standard, et aknaraamide välispind peab olema kaetud adekvaatse pinnakaitsekihiga.

Termopuidu liimimine on mõnevõrra raskem ja siis kasutatakse ka emulsioonpolümeerset isotsüanaatliimi (EPI).

Ehituspuidu sõrmjätkamisel kasutatavad liimid on kas ühekomponentsed polüüretaanliimid (PUR) või kahekomponentsed, s.t kasutatavale liimile lisatakse kõvendit. Variante on mitu,

nt melamiin-formaldehüüd (MF), melamiin-karbamiid-formaldehüüd (MUF) liim, vähem levinud on EPI liim.

Ehkki polüuretaanliime (PU) kasutatakse ka koos kõvendiga, on ehituspuidu sõrmjätkamisel lubatud just ühekomponentne niiskusega kõvenev polüuretaamliim (PUR). Üldiselt on polüuretaanliimid kallimad, kuid võimaldavad ilma liimikammita (nn kontaktivaba) liimitavatele pindadele kandmise lahendust.



Joonis 4.20 Liimi pealekandmine sõrmpile metallist kammiga. Foto: System TM

Peale liimi on oluline ka tootmisruumi õhuniiskus ja temperatuur. Üks tähtsamaid parameetreid on aga liimitava puidu niiskus. EVS-EN 14080:2013 „Puitkonstruktsioonid. Lamell-liimpuit ja plankliimpuit. Nõuded“ kohaselt peab sõrmjätkatava puidu niiskusesisaldus jääma vahemikku 6–15%, liidetava puidu otste niiskuse erinevus aga ei tohi olla suurem kui 5%. Seepärast on sõrmjätkamiseks toorikuid valmistavate kaasaegsete järkamisliinide koosseisus puidu niiskuse mõõtmise andurid, mis märgistavad või lükkavad liinilt välja liiga märjad ja liiga kuivad toorikud. Eelnimetatud standard annab väga detailsed juhised liimpuidu tootmiseks, katsetamiseks ja tootmisohjeks. Ehituspuit on kasutusel kandekonstruktsioonides ja selle tootmiseks on üldjuhul vaja sertifikaate, mis kinnitavad tootmise nõuetekohasust.

Liimi kandmiseks sõrmpile kasutatakse enamasti nn kamme (joonis 4.20). Plastist või metallist kammi profiil vastab liimitava tapi profiilile ja liimitav tapp liigub üle kammi. Kammi

profili tippudes on peened avad, mille kaudu liim tapile pihustatakse. Liimi kogus on täpne ja andurite abil tagatakse see, et pritsimine toimub ainult õigel ajal. Kontaktivaba (ilma kammita) meetodi puhul pritsitakse polüuretaanliimi tapile suhteliselt jämedate düüsidega ribadena ja liim täidab tapi sõrmevahed tapi kokku pressimisel.

Liimi võib kanda kas ühele liimitavatest tappidest või mõlemale. Ehituspuidu korral võib liimi kontaktivaba meetodi puhul ainult ühele liite poolele kanda juhul, kui liimi kogust pidevalt kontrollitakse vastava kaamera abil. Sageli salvestatakse sel juhul kõigi liidete liimi jaotumise pildid, nii saab hiljem kinnitada, et kõik liimpuittala lamellid on sõrmjätkatud korrektselt. Kahekomponendilise liimi puhul kasutatakse ka varianti, kus liite ühele poolele pihustatakse liimi, teisele aga kõvendit.

Liimitavatel sõrmtappidel ei tohi olla rebendeid ega oksakohti, materjali järkamisel peab tapile lähim oksakoht jääma tapi põhjast vähemalt 3 cm kaugusele. Oksi läbimõõduga alla 6 mm ei arvestata.

4.5.3 Sõrmjätkamisliinid

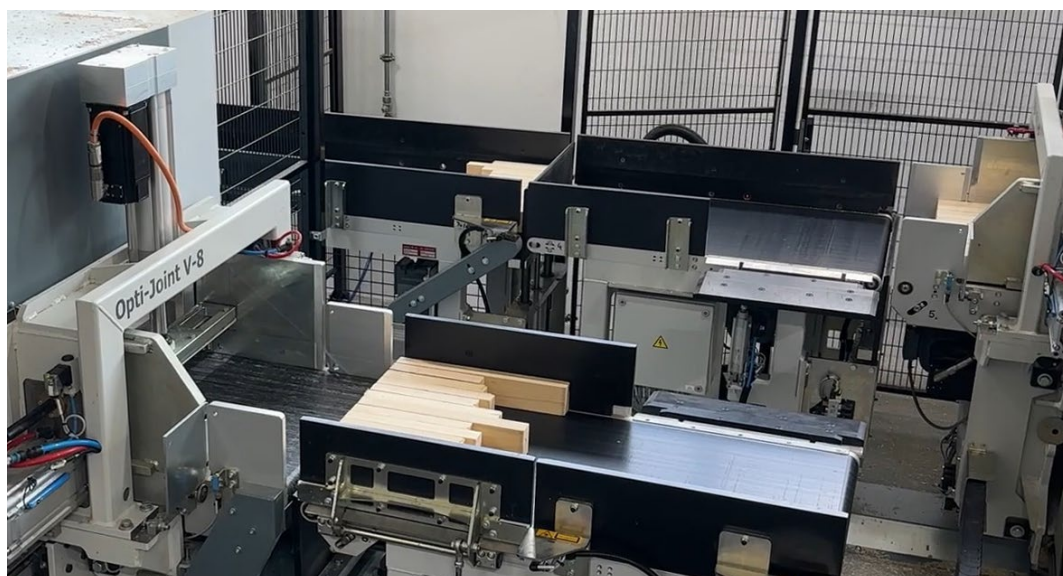
Sõrmtappe saab valmistada ka positsioonpinke kasutades, kuid enamasti tehakse seda siiski sõrmjätkamisliinis, mis koosneb sõrmtapi freesimise ja liimitamise seadmest, pressist ja sõrmjätkatud materjali mõõtu saagimise seadmest.

Vertikaalsõrmtapi freesimiseks on levinum moodus selline, kus serviti asetatud toorikud moodustavad kompaktse paki, mille ots saetakse esmalt tasaseks, seejärel freesitakse tapikeeled ja liimitatakse need.

Edasine töösükkel on järgmine:

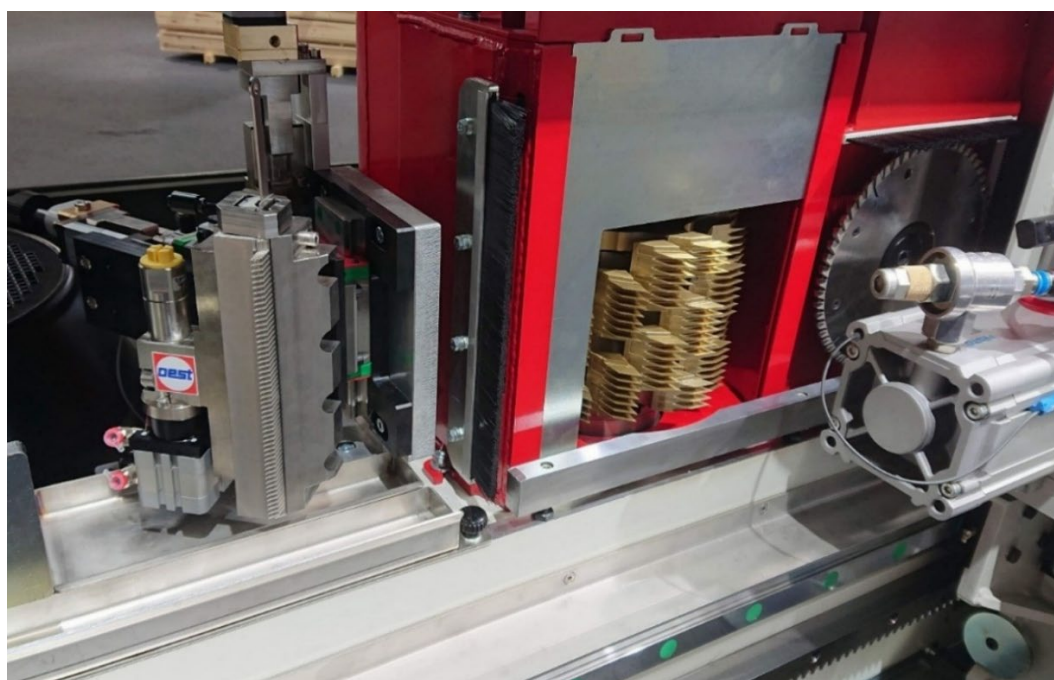
- töölaud koos toorikutega liigub konveierite vahelt teise piirasendisse;
- lintkonveier viib toorikud paremale vastu piirikut. Toorikud on küll erineva pikkusega, kuid lint surub kõigi otsad vastu piirajat;
- paki ots surutakse kokku ja töölaud liigub tagasi algasendisse. Paki ots saetakse tasaseks, freesitakse ja liimitatakse tapikeeled (liimikamm on fotol töölaua otsa varjus ja mittenähtav);
- töölauda pööratakse 180° ja see liigub uuesti teise piirasendisse, toorikud surutakse vastu piirajat ja fikseeritakse, töölaud liigub uuesti algasendisse;

- mõlemast otsast freesitud ja liimitatud toorikute pakk liigub parempoolsele konveierile, uus pakk liigub töölauale. Liimitada võib ka ainult ühte tooriku otsa, siis on ühel freesimiskäigul liimikamm töötsoonist eemale tõmmatud.



Joonis 4.21 Vertikaalsõrmtapi freesimis- ja liimitamisseade. Foto: S. Kooli

Tootlikkuse suurendamiseks (joonis 4.22) võib sarnase seadme varustada kahe tapifreesimis- ja liimitamisseadmega.



Joonis 4.22 Pakett-tüüpi sõrmjätikuseade ettelõikussaa (paremal), sõrmtapi freesid (keskel) ja metallist kamm liimi pealekandmiseks (vasakul). Foto J. Salla

Joonisel 4.22 paremal on näha ettelõikussaag, mis lõikab paketi serva sirgeks, keskel oleva sõrmtapi freeside komplektiga freesitakse tapikeeled ja vasakul paikneva teraslamellidest koostatud liimikammiga kantakse sõrmtapikeeltele peale liim.

Lühikeste toorikute sõrmjätkamisel on eesmärgiks ühelt kuni kõigilt neljalt küljelt oksavaba materjali saamine. Ehituspuidul ei ole valikukriteeriumiks oksad, vaid materjali tugevus, jätkavad toorikud on üsna pikad ja neist serviti pakkide koostamine ei ole otstarbekas.



Joonis 4.23 Vertikaalsõrmtapi freesimis- ja liimitamisseade. Foto: J. Salla

Joonisel 4.23 on toodud kompakt-tüüpi seadmes vertikaalse sõrmtapi freesimine ja liimitamine korraga ühe prussi eesmisse ja eelmise prussi tagumisse otsa. Freesid (näha on ainult üks neist) ja liimikammid on ülemises asendis. Kui materjal on õiges asendis ja fikseeritud, liiguvad need alla ja liimikammid pööratakse tööasendisse. Materjali kohal on näha liimikammi sarnased plastist tugiprofiilid. Need pööratakse enne freeside üles liikumist samuti tööasendisse ja nende ülesanne on vähendada kildude väljalöömist materjali pinnal, kus freesi hambad väljuvad puidust. Sarnaseid tugiprofiile kasutatakse ka paljudes teistes sõrmtappe freesivates masinates. Freeside üles liikumisel toimub tapikeelte freesimine ja liimitamine.

Eriti suure ristlõikega materjali sõrmjätkamiseks tapikeelte freesimine toimub kettetteandega masinates (joonis 4.24). Jooniselt on näha, et freesimise ajal on materjal kõigilt külgedelt täpselt fikseeritud, pikisuunas vastu piirajat surumiseks on kettide vahel tõstetavad rullid.



Joonis 4.24 Vertikaalse sõrmtapi freesimine. Foto: M. Riistop

Horisontaalsõrmtapi töötlemiseks ei ole materjali vaja pakettidesse koguda ega töötlemise ajaks seisata, ehkki lihtsamates masinates, mis võimaldavad töödelda nii horisontaal- kui ka vertikaaltappi, seda siiski tehakse. Suure tootlikkusega liinides toimub ühe otsa töötlemine materjali edasi liikumisel laia lindi ühes ääres ja teise otsa töötlemiseks lükatakse materjal lindi teise äärde teise töötlemisseadme tsooni.

Pressimine ja saagimine toimuvad samas seadmes. Saagimiseks materjal seisatakse, etteandevaltsid aga jätkavad pressimiseks vajaliku aja jooksul materjali edasi lükkamist. Sellest tekibki pressimiseks vajalik surve. Kui saagimine on lõppenud, materjal vabastatakse ja see liigub vajaliku pikkuse võrra edasi ning tsükkel kordub.

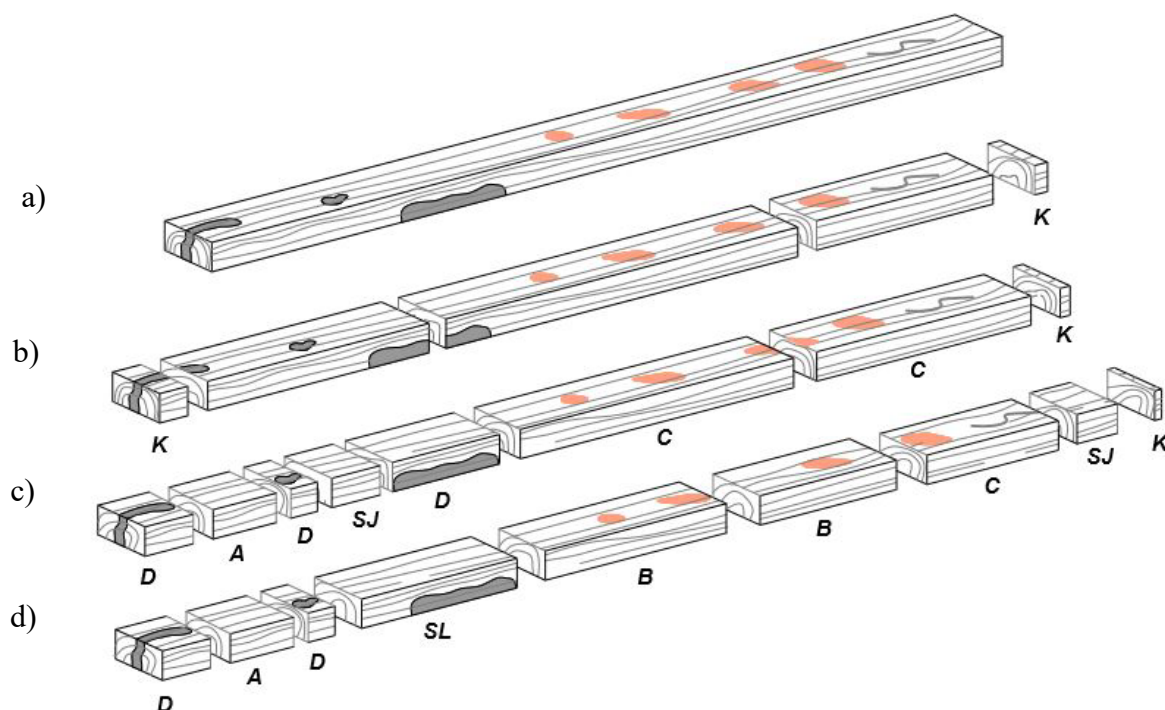
Sõrmjätkamisliinide tootlikkus on määratud lühikese klotsi jätkamisel eelkõige materjali liini andvate seadmetega või freesimis/liimitusüksuse tootlikkusega. Pressist väljuv materjal on nii pikk, et selle virnastamine ei vaja kuigi keerulisi seadmeid. Optimeerivates järkamisliinides järgatakse materjali paremaks ära kasutamiseks see paljudeks ja sageli üsna lühikesteks klotsideks. Klotsid kogutakse kvaliteedi ja kasutusotstarbe järgi kastidesse ning transporditakse nendes sõrmjätkamisliini etteandetsooni. Lihtsamal juhul laaditakse kast suurele tööpinnale tühjaks ja antakse klotsid sealt liini käsitsi. On olemas ka mehhanismid, mille põhiosaks on pöörlev koonus, klotsid puistatakse koonuse keskossa. Raskus- ja tsentrifugaaljõud suunavad klotsid koonuse äärtele, kust need suunatakse lintkonveierile. Olemas on ka seadmed, mis suudavad

lindil lapiti asetsevad klotsid vertikaalse sõrmtapi töötlemiseks serviti tõsta. Suure tootlikkusega efektiivsed liinid, kus klotsid optimeerivast järkamisliinist otse sõrmjätkamisliini suunatakse, on tänapäeval juba üsna levinud.

Sõrmjätkamisliinides jätkatakse klotse pikkusega alates 150 mm või vahel ka vähem, maksimumpikkus on tavaliselt 900–1000 mm, kuid ka 2 m või enam. Liinid suudavad jätkata kuni 220 klotsi minutis.

4.5.4 Optimeerivad järkamisliinid

Saematerjalis on pikkuse ulatuses sageli erineva kvaliteediga osi ning otstarbekas on see erineva kvaliteediga osadeks tükeldada ja seejärel sama kvaliteediga tükid uuesti vajaliku pikkusega materjaliks kokku liimida. Viimast tehakse sõrmjätkamisliinides, materjali tükeldamist aga tavalistes või optimeerivates järkamisliinides (joonis 4.25).



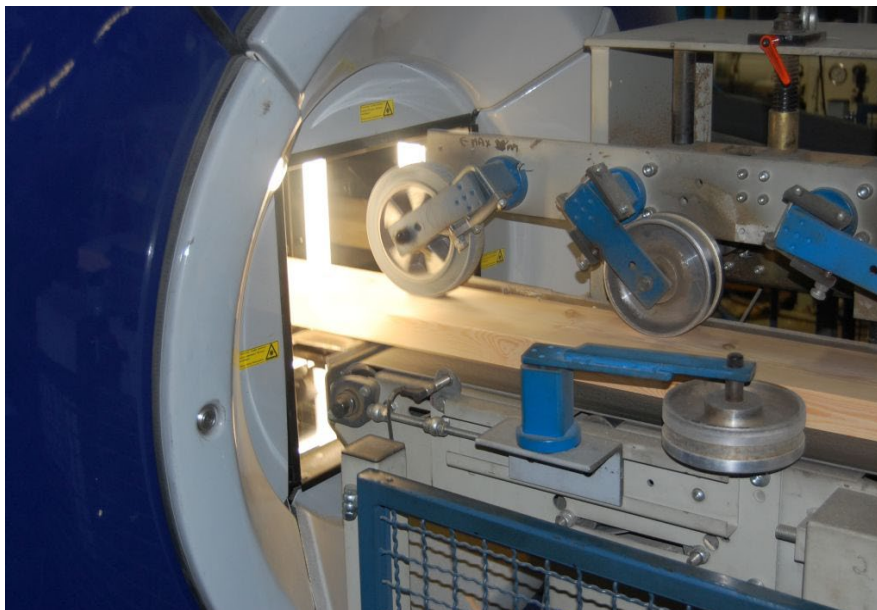
Joonis 4.25 Saematerjali järkamise optimeerimine: a – saematerjal enne järkamist, b – järkamine pikkuste optimeerimisega, c – optimeeritud järkamine kriidimärgete järgi, d – optimeerimine skaneerimistulemuste põhjal. Tähisted: A, B ja C – erinevad kvaliteedid, D – defekt, K – kappimisjääk või trimlõige, SJ – sõrmjätkamisse, SL – saagimisse laiuses.

Saematerjali järkamise optimeerimist on selgitatud joonisel 4.25. Kui eesmärgiks on järgata materjal vajalikesse pikkustesse, valides pikkustest kombinatsiooni, mis minimeerib kappimisjäägid, ei saa järgatud tükkide kvaliteeti arvestada. Kui järgatakse tööliste poolt materjalile kantud kriidimärgete järgi, toimub eelkõige defektide väljalõikamine. Töölistel on vähem infot ja nende töötempo on kiire, nii et otsuste kvaliteet, eriti valitud pikkuste osas, jääb tunduvalt alla arvuti poolt skanneri mõõtmistulemuste põhjal saele antud käsklustele.

Skannerid

On kasutusel erinevaid skannereid (joonis 4.26) ja tehnoloogiat läbiva materjali defektide määramiseks: värviskanner, laserskanner, röntgenskanner, 3D-lasermõõdistus ja puidukiudude kõrvalekalde määramine.

Lihtsamates skannerites on kasutusel kolm esimest sensoritüüpi (värvi-, laser- ja röntgenskanner), keerukamates rohkem. Samuti on erineva keerukusastmega andmeid töötlevad programmid. Skannerid on kohandatud konkreetse materjali ja seadme jaoks, nt on palgiskannerid, järkamisliini skannerid jne.

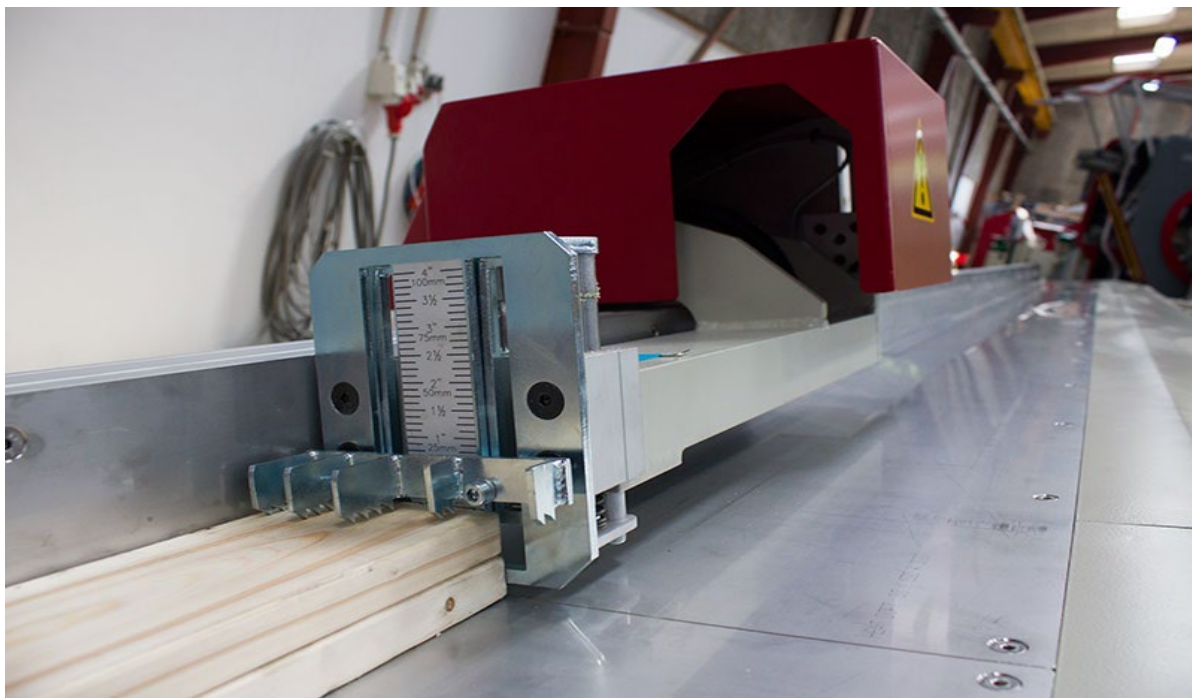


Joonis 4.26 Saematerjali skaneerimine. Foto: M. Riistop

Optimeerivad järkamissaed

Optimeerivad järkamissaed jagunevad kahte rühma: tõukuriga järkamissaed (joonis 4.27) ja valtsetteandega järkamissaed (joonis 4.28).

Mõlemad saetüübid võivad töötada nii kriidimärgete kui skaneerimistulemuste järgi. Valts-etteandega saagide töökiirus on suurem, kuid tõukuriga saed on täpsemad, nende viga võib olla ainult $\pm 0,1$ mm. Seetõttu kasutatakse tõukuriga saage rohkem seal, kus nõutakse järgatud materjali mõõtude suurt täpsust, nt järkamisel seadmetel, kus materjal antakse seadmesse kassettide abil. Vajalikust isegi vähesel määral pikem materjal jääb kassetti kinni ja põhjustab seadme seiskumise. Mõõtu järkamisel saab saagi anda materjali ka mitmekaupapaakis (joonis 4.27). Materjali liikumiskiirus materjali etteandmisel ulatub üle 100 m/min ja tagasikäigul üle 300 m/min.



Joonis 4.27 Optimeeriva järkamissaet tõukur. Foto: System TM

Tagasikäigul mõõdab saag materjali pikkuse pikkusoptimeerimise jaoks või salvestab kriidimärkiste paiknemise.

Valtsetteandega järkamissaet korral toimub materjali etteanne rihveldatud valtsidega (joonis 4.28). Rihveldus ja valtside surve võimaldavad materjali kiiresti ja täpselt edasi liigutada ja seisata. Saagimistäpsus võib olla isegi $\pm 0,75$ mm. Nii tõukuriga kui ka valtsetteandega järkamissaagides asub ketassaag töölaua all. Kui materjal ette nähtud asendis seisatakse, tõstetakse saag üles ja toimub saagimine. Sae töökiirude arv võib olla üle 400 löike/min, seetõttu on sae tõstmiseks kasutusel enamasti nukk-vm mehhanism. Servomootor pöörab nukki ühe ringi ning saag liigub üles ja alla tagasi.



Joonis 4.28 Valtsetteandega optimeeriva järkamissae etteandevaltsid. Foto: System TM

Järgatud materjali viib saest välja lintkonveier, mille ääres paiknevad tõukurid klotside vajalikku kasti tõukamiseks. Sae järel võib olla niiskusemõõtur, mis märgistab liiga märjad ja liiga kuivad klotsid.

Tootmisliinides kasutatavad niiskusemõõturid võib jagada kaheks selle järgi, milline on materjali liikumise suund mõõtmise ajal: 1) materjal liigub pikema külje suhtes ristsuunas, 2) materjal liigub pikisuunas.

Levinum on niiskuse mõõtmine materjali liikumisel ristsuunas. Sel juhul on materjali liikumiskiirus väiksem ja liiga märja või liiga kuiva materjali saab liinilt välja juhtida, nt kettkonveierite vahele suunates. Samuti sorditakse vale niiskussisaldusega materjal välja enne järkamist ja on muuks otstarbeks kasutatav täispikkuses. Puuduseks on see, et mõõture sensorite plokid ei kata kogu materjali pikkust.

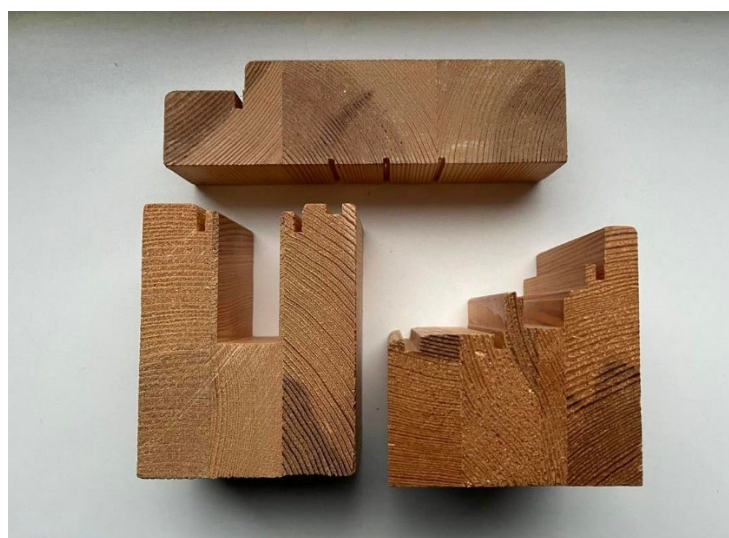
Materjali pikiliikumisel võib niiskuse mõõtmine toimuda ka enne järkamissaagi ja vale niiskusega materjal lastakse läbi sae ilma järkamata. Sel juhul peab seade olema võimeline eristama üht prussi või lauda teisest ka siis, kui materjal liigub vahedeta.

Eri otstarbega komponentide tootmine toimub üha suuremates tehastes, mis varustavad komponentidega erinevaid mööblit või uksi-aknaid tootvaid tehaseid. Seejuures võib lisaks sõrmjätkamisele teostada teisigi liimimisoperatsioone (joonis 4.29).



Joonis 4.29 Kahe laiuse ja paksusega sõrmjätkatud tooriku kokkuliimimine Foto: M. Riistop

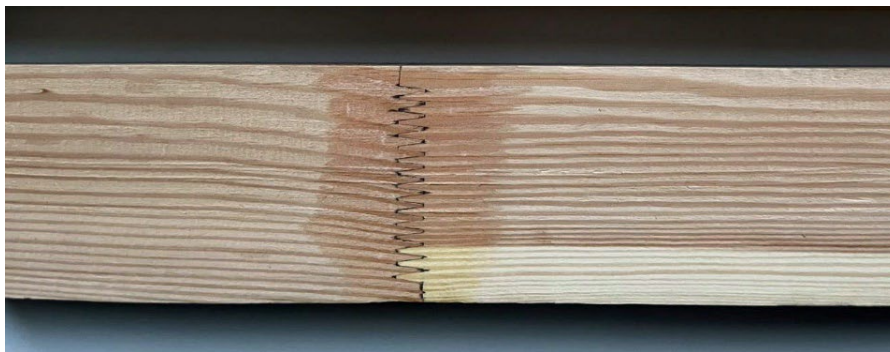
Sõrmjätku kasutatakse erinevates rakendustes nii akna- ja ukse kui ka mööblitööstuses. Joonisel 4.30 on toodud kolmest sõrmjätkatud lamellist aknaprofiili (all) ja ukسلengiprofiili (üleval) ristlõiked. Oluline on kontrollida, kas sõrmjätkus on olemas piisavas koguses liimi, et liite tugevus oleks tagatud.



Joonis 4.30 Mitmest sõrmjätkatud lamellist aknaprofiili (all) ja ukسلengiprofiili (üleval) ristlõiked.

Tootmises kontrollitakse sõrmjätkuühenduse liimikogust kaamera pildistamise ja kujutiste analüüsi teel. Pärast tootmist on olemas aga risk, et vesialusel liimist imendub vesi kuiva puidu sisse ja ei moodustu tugevat liimühendust. Teine probleem on, et sõrmjätku kokkupressimisel surutakse osa sellest liimist ühendusest välja ja ühendus jääb osaliselt kuivaks.

Sõrmjätku liimühenduse kontrollimiseks kasutatakse jooditesti, kus puiduliim värvub joodiga tumepruuniks ja muudab sõrmjätku kontrastseks ja hästi nähtavaks (joonis 4.31).



Joonis 4.31 Sõrmjätatud tooriku liimliite kontrollimine joodiga.

Sõrmjätku kasutatakse ka mööbli valmistamisel. Joonisel 4.32 on see näha puittoolide konstruktsioonis kasutatavas nurkliites.



Joonis 4.32 Sõrmjätku kasutamine nurkliites puittoolide konstruktsioonis.

4.6 KORDAMISKÜSIMUSED

1. Missuguses suunas toimub pundumine ja kuivamiskahanemine kõige suuremas ulatuses, missuguses kõige vähem?
2. Millised on puittoorikute kujudefektid ja millest on need põhjustatud?
3. Millisesse lapikpinda tuleks põranda- ja voodrilaudadel freesida sooned ning miks?
4. Milleks kasutatakse konstruktiivset baaspinda ja milleks tehnoloogilist baaspinda?
5. Mis on liikuv ja mis on liikumatu baseerimine?
6. Mitu vabadusastet on kehal kolmemõõtmelises ruumis?
7. Kuidas toimub puittoorikute tehnoloogiliste baaspindade töötlemine?
8. Selgitage mõistet „tehnoloogiline varu“.
9. Milleks on vajalik puitdetailide töötlemisel tehnoloogiline varu?
10. Mis on musttoorik ja mis on puhastoorik?
11. Mis on rihthööveldamine ja mis on paksushööveldamine?
12. Kui palju puittooriku mahust kulub töötlemisvarudele?
13. Mis on kõige levinum lõikeriist tapikeelte ja -pesade töötlemiseks?
14. Miks peaks sõrmtapi keele kalle olema väiksem kui 7°?
15. Kas ehituspuidu jätkamisel kasutatakse horisontaal- või vertikaalsõrmtappi?
16. Millist liimi saab sõrmtapile kanda kontaktivaba meetodiga?
17. Millised on optimeerivate järkamissaagide põhitüübid?

ALLIKAD

Kirjandus

Hunt D.G., Shelton C.F. *Longitudinal moisture-shrinkage coefficients of softwood at the mechano-sorptive creep limit*. 1988 Wood Science and Technology 22, 199–210

Perre, P., *Fundamentals of Wood Drying*, 2007 A.R.BO.LOR, ENGREF, 14, rue Girardet, F-54 042 Nancy, France

Ross, R., *Wood handbook—wood as an engineering material*. 2021, General Technical Report FPL-GTR-282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 543 lk

Tering, T., *Puittoodete tehnoloogia loengukonspekt*, 2002 Väimela, Võrumaa Kutsehariduskeskus

Varis, R., *The Sawmill Industry*, 2018 Otava Book Printing Ltd, Keuruu

Varis, R., *Wood-based panels Industry*, 2018, Otava Book Printing Ltd, Keuruu

Wagenführ R., *Holzatlas*, 1996, Fachbuchverlag Leipzig.

Walker, J. C. F., *Primary wood processing : principles and practice*, 2006 Dordrecht : Springer

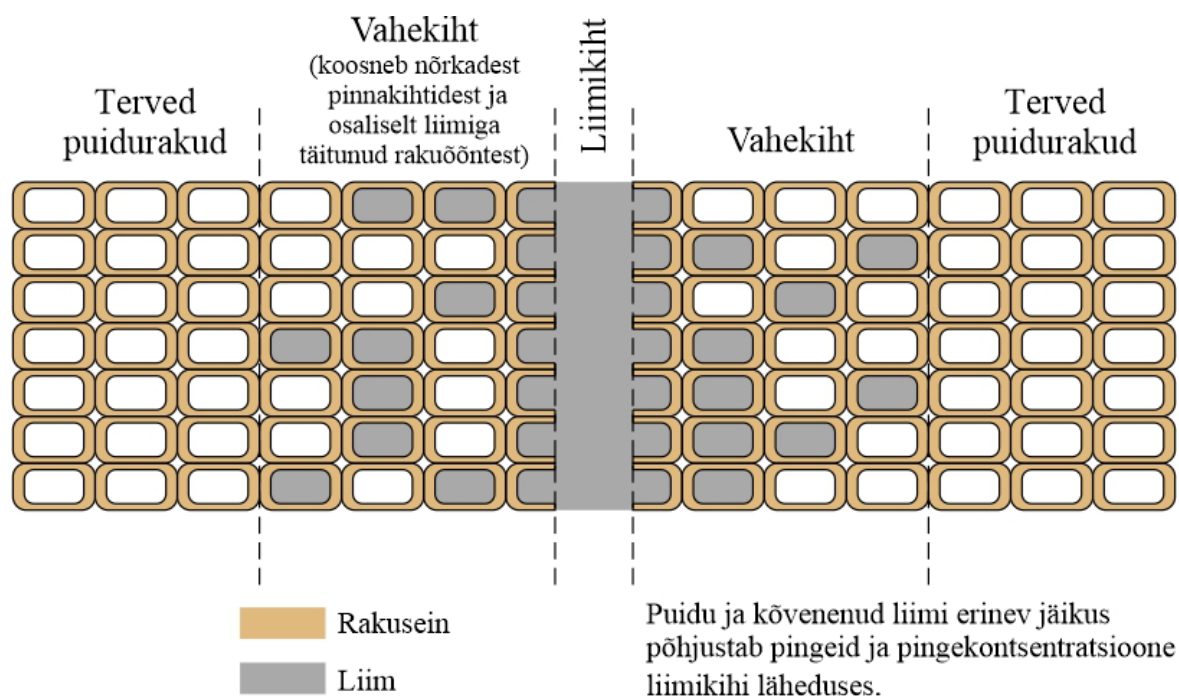
5 PUIDU LIIMIMINE, INSENERPUIDUST TOODETE JA PUITPLAATIDE VALMISTAMINE

5.1 Sissejuhatus liimimise teoriasse

Liimimist kasutatakse erinevate materjalide liitmiseks, liimliite tugevus sõltub liimi ja liimitava materjali vahelisest adhesioonist ning liimikile või liimitava materjali kohesioonist ehk nakketugevusest.

Adhesioon (*adhesion*) on molekulaarjõududest põhjustatud seos eri faaside või kehade kokkupuutepindade vahel. Kahe tahke keha vaheline adhesioon on nõrk, tahke keha ja seda märgava vedeliku vaheline adhesioon on aga tugev, mis enamasti tugevneb vedeliku tahkestumisel. See ongi põhjus, miks liim peab liimimisprotsessi mingis faasis olema vedel ja miks pinna märgamine liimi poolt on adhesiooni selgitamisel üks peamisi käsitletavaid protsesse.

Märgamise korral ei moodusta liim materjali pinnal tilku, vaid valgub üle liimitava pinna laiali. Selleks peab liimitilga pindpinevus olema väiksem kui liimitaval materjalil. Puidul kui lignotselluloosel materjalil on madal pinnaenergia ja seetõttu on märgamisvõime liimi puhul oluline parameeter.



Joonis 5.1 Liimliite skeem.

Liimi märgamisvõime sõltub liimitavast materjalist (puiduliigid erinevad tiheduselt), ekstraktiivainete sisaldusest jpm näitajatest. Tähtis on ka pinnatöötlus, nii nt võib väga väikese laastupaksusega freesimine viia olukorrani, kus laastu praktiliselt ei teki ja selle asemel toimub pinna muljumine. Tulemusena tekkiv klaasjas pind sobib liimimiseks vähem mitte ainult seepärast, et liim märgab seda halvemini, vaid liim ka nakkub pinnaga halvemini.

Liimi mehaaniline haardumine liimitava materjali ebatasasustesse on liimühenduse tugevuse saavutamiseks samuti oluline, aga kui suurel määral, ei ole veel päris selge. Protsessi mõistmise muudab keerukaks selle seotus märgamisega ja liimitava materjali võimaliku pundumisega. Samuti võivad tekkida keemilised sidemed liimi ja materjali vahel.

Puit on mittehomoogeenne materjal ning erinevad on ka selle sisemiste ja välimiste kihtide omadused. Joonisel 5.1 on skemaatiliselt kujutatud liimliidet, liimikiht (nimetatakse ka liimivuugiks), on kontaktis liidetavate materjalide nõrkade pinnakihtidega (*weak boundary layers*). Pinnakihte nimetatakse nõrkadeks, sest neis olevad puidurakud on kahjustunud ja kahjustamata puidurakkudest nõrgemad. Nõrku pinnakihte saab vaadelda erinevas mõõtkavas: molekulaarsel tasemel käsitletakse keemiliselt nõrku pinnakihte ja puiduosakeste tasemel mehaaniliselt nõrku pinnakihte.

Keemiliselt nõrgad pinnakihid on seotud puidus olevate ekstraktiivainete liikumisega pinnakihti. Üldiselt peetakse ekstraktiivaineid liimühenduse tugevust vähendavaks teguriks, pinnakihti liikunud madala polaarsusega väikesed molekulid võivad halvendada märgumist. Siiski ei too ekstraktiivained alati kaasa liimliite nõrgenemist. Ekstraktiivainetega seotud probleeme ei tohi segi ajada üldisemate puidu ülemäärase kuivatamisega kaasnevate ilmingutega. Liialt kuiv puidupind märgub halvemini, lisaks võivad kõrge temperatuuri toimel esineda keemilised muutused. Neil põhjustel on ka termopuidu liimimine raskendatud ja veepõhised liimid selleks ei sobi. Veel on suur pindpinevus ja selle vähendamiseks kasutatavad pindaktiivsed lisandid liimis võivad põhjustada keemiliselt nõrkade pinnakihtide teket.

Mehaaniliselt nõrgad pinnakihid tekivad puidurakkude puruks muljumisest ja murdmisest pinna liimimiseks ette valmistamise ajal. Puidurakud on ristsuunas suhteliselt nõrgad, eriti kevadpuit, ja kui liim ei suuda tungida läbi puruksmuljutud rakukihi, mille paksus võib saagimisel ja hõõveldamisel olla 0,1–0,2 mm, võib liimliite purunemiskoht olla just selles kihis. Üldiselt tungib liim paremini puitu, kui pinnal on rohkem avatud rakuõõnsusi, nii toimib ka mehaaniline haardumine. Rakkude puruksmuljumise ja pikisuunas lahtimurdmise osakaal sõltub rakuseinte paksusest jm omadustest, seetõttu on ka tihedam puit raskemini liimitav, s.t erineb

lüli- ja maltspuidu liimitavus. Peatüki algul käsitletud klaasja pinna teke liiga väikese laastu paksusega hõõveldamisel tähendab seda, et olukorras, kus laastu teke on pinna muljumise ja tihendamise kõrval väheoluline, vähendavad adhesiooni nii pinna halvem märgamine, liimi väiksem mehaaniline nake kui ka mehaaniliselt nõrgad pinnakihid.

Kui adhesioon on molekulaarjõududest põhjustatud seos eri faaside või kehade kokkupuutepindade vahel, siis kohesioon (*cohesion*) on molekulaarjõududest põhjustatud seos ühe ja sama aine molekulide vahel. Ideaalne liim peaks lisaks heale adhesioonile liimitavate pindadega omama ka suurt liimikihisest tugevust ehk kohesiooni.

5.2 Liimliite tugevuse mõjurid

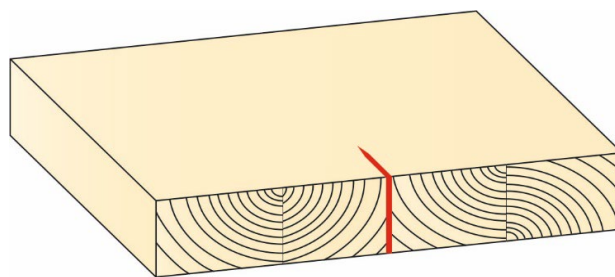
Puidutööstuses kasutatavad liimid on kõne all järgmises alajaotuses. Liimitavad materjalid mõjutavad liimliidet oma pinna ettevalmistamise kvaliteedi, pinna poorsuse, tiheduse (suurema tihedusega puiduliigid on raskemini liimitavad) ja märgamisomadustega, neid teemasid käsitleti peatüki sissejuhatuses.

Peamised liimliite tugevust mõjutavad tegurid on liim, liimitavad materjalid, puidu niiskusesisaldus, liimi kogus pinnaühikul, koosteaeg, temperatuur ja pressimissurve.

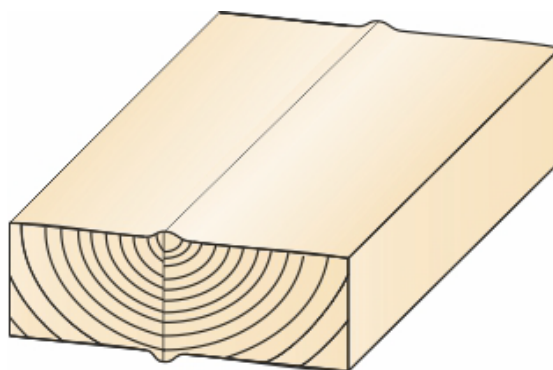
Oluline on ka kõvenenud liimi jäikus; liialt jäik liimikiht põhjustab lokaalseid pingekontsentratsioone nii liimikihis kui ka nõrkades pinnakihtides. Sobiv liim stabiliseerib nõrku pinnakihte.

Puidu niiskusesisaldus on üks olulisemaid liimliite kvaliteeti määravaid tegureid. Ehkki on tehtud edukaid katseid märja puidu liimimiseks, peetakse optimaalseks niiskusesisalduseks 6–12% ja kahe liidetava pinna niiskusesisaldus ei tohiks erineda rohkem kui 4–5%. Erineva niiskusesisaldusega kaasnev pundumine või kahanemine põhjustavad pingekontsentratsioone, mis võivad viia liite purunemiseni või lõhede tekkimiseni liimitavates materjalides.

Liimpuitkilbi tootmisel esineb mõnikord lamellide vahel otsalõhesid (joonis 5.2). Nende põhjuseks võib olla lamellide otste „hammustamine“ nelikanthöövliis, aga ka asjaolu, et lamellid seisid enne liimimist liiga kaua ruumis, mille õhu niiskusesisaldusele vastav puidu tasakaalu-niiskus oli lamellide niiskusesisaldusest väiksem. Kuna niiskus eraldub lamellide otstest kiiremini, toimus seal ka suurem kuivamiskahanemine ja tulemuseks oligi otsalõhe. Üldiselt soovitatakse liimimine teostada mitte hiljem kui 24 h jooksul pärast hõõveldamist.



Joonis 5.2 Otsalõhe liimpuitkilbis.



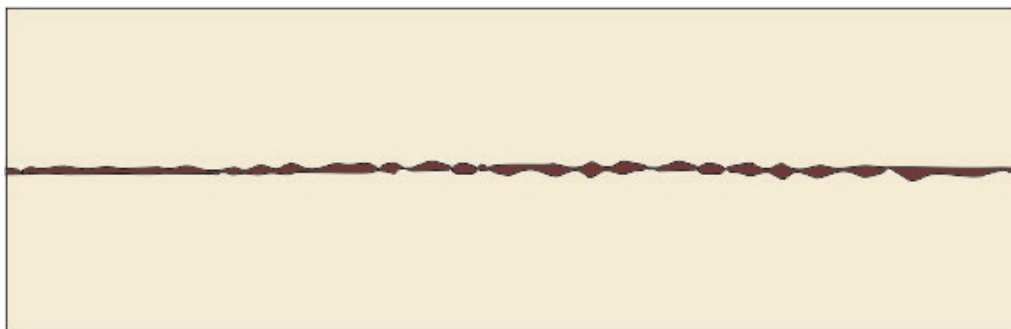
Joonis 5.3 Liimõmbluse deformeerumine pärast liimimist pundumise tagajärjel.

Liimi tungimisel puitu toimub mingis ulatuses puidu pundumine ja selle tagajärjel kerkib puit liimivuugi läheduses ülejäänud liimpuitkilbi pinnast pisut kõrgemale (joonis 5.3). Kui sellist kilpi lihvida enne liimikihti ümbritseva puidu kuivamist kilbi keskmise niiskusesisalduseni, siis tekib hiljem liimivuugi kohale lohk.

Pinnaühikule kantav liimikogus peab olema piisav selleks, et tekiks katkematu liimikiht, samal ajal aga võimalikult väike. Liiga paksus liimikihis tekivad lahusti eraldumisel pinged, mis võivad viia isegi liimliite purunemiseni. Enamasti saab pinnale kantava liimi kogust kontrollida kaalumismeetodil, kaaludes teadaoleva pindalaga katsekeha enne ja pärast liimi pealekandmist. Üldjuhul kantakse liimi vaid ühele kahest kokku liimitavast pinnast, mõlema pinna liimitamist kasutatakse ainult raskesti liimitavate pindade korral.

Pinnaühikule kantav liimikogus sõltub nii liimitavatest materjalidest kui ka liimist, üldiselt jäävad soovitatavad kogused järgmistesse piiridesse:

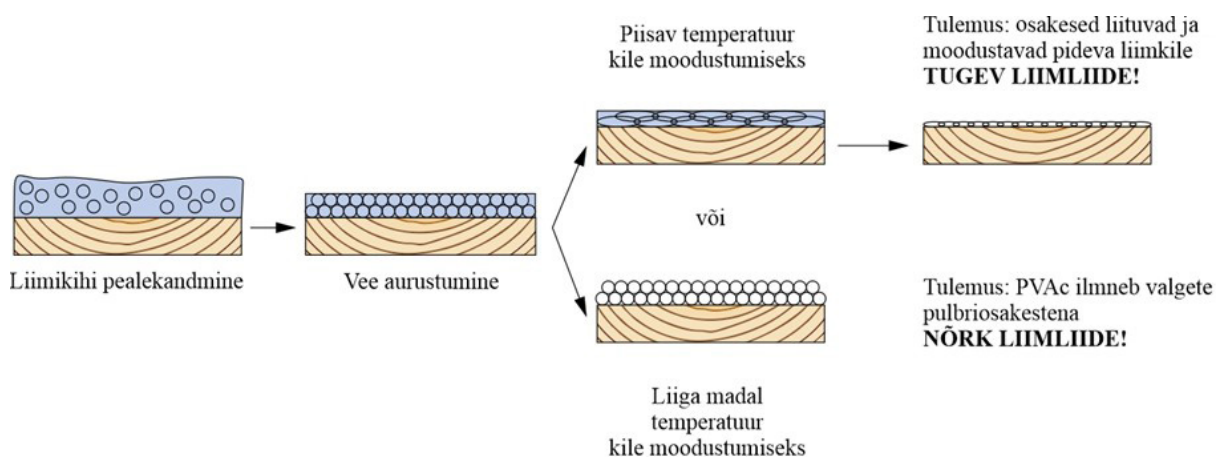
- spoonimine 80–130 g/m²,
- puittooted 120–180 g/m²,
- liimpuitkomponendid 130–250 g/m²,
- liimpuittalad 200–500 g/m².



Joonis 5.4 Kui liimi on liites piisavalt, tuleb seda pressimisel liitest pisut välja (ideaalsel juhul on liimitilgad ja nende vahele jäävad alad lähedase pikkusega).

Koosteaeg (*assembly time*) liimimisel on aeg, mis jääb liimi kandmisest liimitavale pinnale pindade kokkupressimise ja surve rakendamiseni. Koosteaeg jaguneb kaheks: avatud ja suletud koosteaeg. Avatud koosteaeg on aeg liimi kandmisest pinnale kuni pinna kokkupuuteni teise liimitava pinnaga. Suletud koosteaeg on aeg liimitavate pindade kokkupuutest surve rakendamiseni. Näiteks liimpuittalade tootmisel laotakse lamellid ükshaaval pressi, avatud koosteaeg on siis aeg liimi lamellile pealekandmisest kuni järgmise lamelli talle peale tõstmiseni. Kuna tavaliselt laotakse pressi mitu tala (tala viimane lamell jääb liimita, nii ei liimu talad omavahel kokku), võib pressi täitumine aega võtta ja alumiste lamellide suletud koosteaeg võib olla tunduvalt pikem kui ülemistel lamellidel. Kui tegelik koosteaeg on antud liimile lubatust suurem, võib liimliite tugevus oluliselt langeda. Mõningatel juhtudel võib ka liialt lühike koosteaeg halvasti mõjuda.

Temperatuur mõjutab liimliite kvaliteeti esmalt asjaoluga, kas puit ja liim on liimi pealekandmisel piisavalt soojad. Selleks, et tekiks korralik liimikile, peab enamiku liimide puhul temperatuur olema vähemalt 8–15 °C, PVAc liimil aga isegi vähemalt 18 °C.



Joonis 5.5 PVAc liimikile moodustumine ja kõvenemine liiga madalal ja piisaval temperatuuril.

Liimi kõvenemiseks liimliites on sageli lisaks survele vaja ka kõrgendatud temperatuuri. Kui tegemist ei ole kõrgsageduspressiga, on vaja arvestada ka aega, mis kulub soojuse jõudmiseks läbi puidu liimini.

Tabelis 5.1 on antud puidus soojusülekaneks kuluv aeg. Paksu materjali korral on soojusülekaneks kuluv aeg liiga pikk ja kasutatakse külmalt kõvenevaid liime.

Tabel 5.1 Soojuseülekanne läbi puidu

Pressi temperatuur, °C	Soojusülekanne kiirus, mm/min
50–60	3
70–80	2
90–100	1

Näiteks liimides pressiplaatide temperatuuril 75 °C kahte 25 mm paksust lauda, kulub 50 min momendini, kui ka liimikiht saavutab temperatuuri 75 °C. Seepärast ei ole nt liimpuittalade tootmisel kuumutatavate plaatidega presside kasutamine eriti sobiv, soojuse jõudmine sisse mistesse liimivuukidesse võtab liiga palju aega. Pressi temperatuuri tõstmine kiirendab küll soojusülekanne, kuid liiga kõrge temperatuur võib kaasa tuua liimi enneaegse kõvenemise või aurulöögid, liimi tungimise läbi spooni pealistamisel vm probleeme. Madal temperatuur annab küll stabiilsemad tulemused, kuid pikenev pressimisaeg on sageli vastuvõetamatu.

Surve pressimisel on vajalik, et

- viia liimitavad pinnad kontakti ja kompenseerida pindade ebatasasusi;
- ületada liimi viskoossus ja tagada liimi tungimine puitu.

Üldjuhul soovitatakse pressimisel järgmisi surveid:

- spoonimisel 0,5 N/mm²;
- vineeri kuumpressimisel 1,4–1,8 N/mm²;
- okaspuu lamellide liimimisel 0,6–1,2 N/mm²;
- lehtpuu lamellide liimimisel 1,2–1,6 N/mm².

Tavaliselt kasutatakse surve saamiseks hüdrocilindreid, surve neis määrab pressimisel saadava surve. Oluline on survet korrigeerida sõltuvalt liimliite pindalast.

5.3 Termoreaktiivsed ja termoplastsed liimid

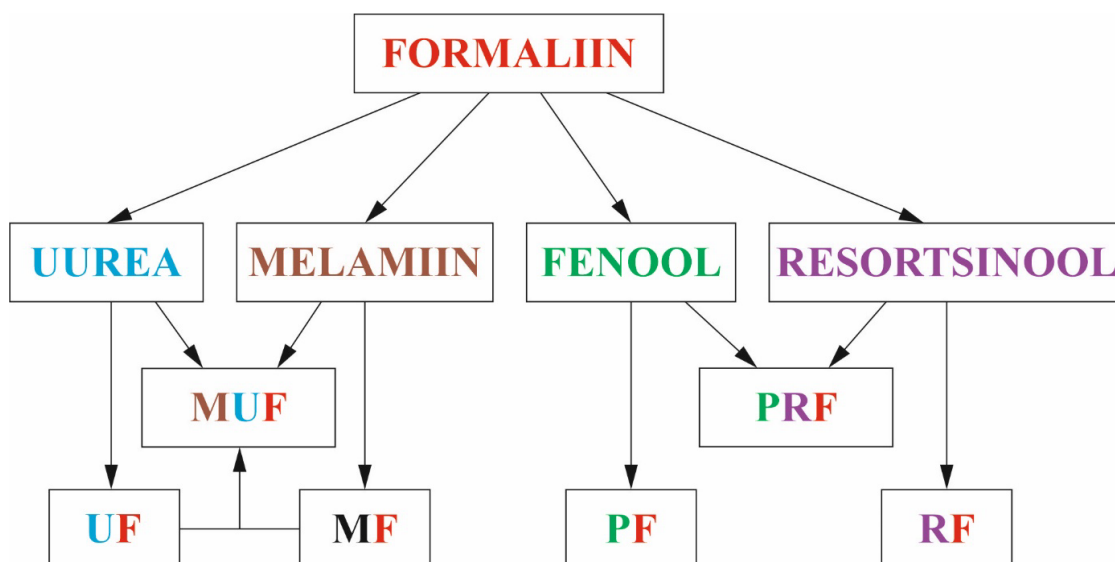
Puidutööstuses kasutatavad liimid jagunevad termoreaktiivseteks ja termoplastseteks. Termoreaktiivsete liimide kõvenemine on kombinatsioon füüsikalistest ja keemilistest protsessidest, mille tulemusena moodustub küllaltki kuumuskindel ja vees lahustumatu liimi. Termoreaktiivsed liimid sobivad konstruktsioonpuidu tootmiseks, sest liimliite pikaajalisel koormamisel ei esine roomet. Nende liimide tootmisel katkestatakse vajalikud reaktsioonid ajutiselt kindla viskoossuse juures, lõplik kõvenemine toimub liimi kasutamisel kõvendi lisamise ja temperatuuri toimetel.

Termoplastsete liimide kõvenemine toimub füüsikaliste protsesside tulemusena, nt vee eraldumisega PVAc-liimist. Termoplastsete liimide kuumuskindlus on madal ja liimliite pikaajalisel koormamisel tekib liites roome.

Termoreaktiivsed liimid:

- fenoolformaldehüüdliimid (PF);
- karbamiidformaldehüüdliimid (UF);
- polüuretaanliimid (PU, PUR);
- emulsioonpolümeer-isotsüanaatliimid (EPI);
- epoksüüdliimid (EP).

Formaldehüüdliimid põhinevad formaldehüüdi reageerimisel erinevate ühenditega (joonis 5.6).



Joonis 5.6 Formaldehüüdliimide liigitus.

Karbamiidformaldehüüdvaik (*urea formaldehyde*, UF) saadakse karbamiidist ja formaldehüüdist kolmeastmelise sünteesi tulemusena. Polükondensatsioonis tekivad $[(O)CNCH_2]_n$ -rühmadest koosnevad ahelad. Formaldehüüdi ja karbamiidi suhet vähendatakse sünteesi lõppjärgus, et hoida lenduda võiva vaba formaldehüüdi kogus minimaalne. UF-liimide eeliseks on suur kõvenemiskiirus, odavad lähteained, lahustuvus vees ja hea adhesioon. Kõvenemistingimused on kõvendi koostise ja koguse muutmisega laiades piirides varieeritavad. Miinuseks on vähene veekindlus, mis tuleneb aminometüleensidemete hüdrolüüsi ohust. Samuti on UF-liimid piiratud kuumuskindlusega.

Melamiinformaldehüüdvaik (*melamine formaldehyde*, MF) toodetakse formaldehüüdist ja melamiinist, polükondensatsioonis tekivad NCH_2OCH_2N rühmadest koosnevad ahelad. MF-vaigud on sama kõvenemiskiirusega kui UF-vaigud, kuid suurema veekindlusega. Puuduseks on halvem vees lahustuvus ja eelkõige kõrge hind. Hinna tõttu kasutatakse MF-vaike harva, selle asemel on laialdaselt kasutusel erineva melamiinilisandiga melamiin-karbamiid-formaldehüüdvaigud (MUF). MUF-liim on enimkasutatav liimi liik. MUF-liime kasutatakse ka pulbrilisel kujul ning liimimiseks segatakse pulber veega. Kõvendit ei ole vaja liimile juurde lisada, kuna see on juba algselt pulbri koostises. Pulbri eeliseks on pikk säilivusaeg.

Fenoolformaldehüüdvaiku (*phenol formaldehyde*, PF) toodetakse fenooli ja formaldehüüdi polükondensatsioonis. PF-liim on veekindel, kuid vajab pikemaid pressimisaegu kui UF-liim. Samuti on PF-liimi puuduseks kõrge hind ja liimivuugi tumepruun värvus. Kasutatakse veekindla vineeri ja spoonkihtpuidu tootmisel.

Resortsinoolformaldehüüd (*resorcinol formaldehyde*, RF) ja fenool-resortsinool-formaldehüüdvaigud (PRF) annavad väga tugeva ja vee- ning ilmastikukindla liimliite. Nende omaduste saavutamisel on lähteainetest olulisim roll resortsinoolil, mis aga on kõrge hinnaga. Seepärast on PRF-vaikude tootmisel eesmärgiks hoida resortsinooli osa nii madal kui soovitud omaduste saavutamiseks võimalik. PRF-liimid sobivad hästi välisoludes kasutatava liimpuidu tootmiseks.

Polüuretaanliime (*polyurethane*, PU, ka PUR) saadakse diisotsüanaadi ja polüoolide reaktsiooni tulemina. PU-liim kõveneb puidu- ja õhuniiskusega reageerimisel. Samuti reageerib see puidus olevate OH-rühmadega. Peamiselt kasutatakse ühekomponentset PUR-liimi, konstruktsioonpuidu tootmisel on see ainus lubatud PUR-liimi liik.

PUR-liimi eelised:

- formaldehüüdivaba;
- liimikiht on heleda värvusega ja elastne;

- kõveneb madalal temperatuuril, pressimisaeg on lühike;
- lubatud on suurem puidu niiskussisaldus, liimida saab ka metalli.

PUR-liimi puudused:

- halb koostaja/pressimisaja suhe;
- reageerib õhuniiskusega (seetõttu on liimitamisseadmed keerukamad ja liimimahutisse saab õhku lasta ainult silikageelfiltri abil kuivatades);
- raskused puhastamisel;
- kõrge hind;
- sisaldavad allergilisi reaktsioone tekitavaid isotsüanaate.

Emulsioonpolümeer-isotsüanaatliim (*emulsion polymer isocyanate*, EPI) on veepõhine emulsioon, mille kõvendiks on metüleen-diisotsüanaat. Komponendid segatakse kokku vahetult enne liimi pindadele kandmist, sest liim kõveneb suhteliselt kiiresti. Liimimisel on vajalik avatud koostaja hoidmine võimalikult lühikesena, suletud koosteaeg on 5 min ja enam.

EPI-liimi eelised:

- hea vee- ja kuumuskindlus;
- ei sisalda formaldehüüdi;
- sobib raskesti liimitavate puiduliikide ja termopuidu liimimiseks;
- sobib puidu ja metallide, näiteks alumiiniumi liimimiseks, alumiiniumi pind peaks olema kaetud spetsiaalse krundiga.

EPI-liimi puudused:

- kokku segatud liimisegu lühike säilivusaeg;
- liimi on metallpindadelt raske eemaldada;
- pärast kõvendi lisamist kipub vahutama;
- kõvendi reageerib õhuniiskusega, seetõttu on liimitamisseadmed keerukamad ja kõvendi mahutisse saab õhku lasta ainult silikageelfiltri abil kuivatades;
- isotsüanaadid võivad tekitada allergilisi reaktsioone.

EPI-liimi kõvenemine on kombinatsioon keemilistest ja füüsikalistest protsessidest, liimikiht on heleda värvusega.

Epoksüliim (*epoxy adhesive*, EP) on eriti vee- ja kuumuskindel ühe- või kahekomponentne liim, kasutusvaldkonnad ulatuvad paatidest lennukiteni. Puidutööstuses kasutatakse harva.

Termoplastsed liimid

Polüvinüülatsetaatiim (PVAc) on vesiemulsioon, mille kõvenemine (joonis 5.5) on üksnes füüsikaline lahusti (vee) eraldumise protsess, sest kõik keemilised reaktsioonid on liimi tootmise käigus lõpuni kulgenud. PVAc-liimid on enamasti ühekomponendilised ning kahekomponendilist PVAc liimi kasutatakse ainult juhul, kui soovitakse paremat veekindlust.

PVAc eelised:

- ühekomponentne;
- hea säilivus;
- lühike pressimisaeg (aega on vaja ainult vee eraldumiseks liimist, temperatuuri tõstmisega saab aega veelgi lühendada);
- pinnad ja seadmed on kergesti puhastatavad, sageli piisab vaid soojast veest;
- hea adhesioon;
- ei sisalda formaldehüüdi.

PVAc puudused:

- lühike koosteaeg (liimikulul 100 g/m² ca 2 min, 150 g/m² ca 10 min);
- halb kuumuskindlus, 90 °C juures on tugevus ca kaks korda väiksem kui 20 °C juures;
- piiratud veekindlus;
- roome pikaajalisel koormamisel.

PVAc-liimi on mugav kasutada ja see on suhteliselt odav, seepärast kasutatakse seda kõikjal, kus selle omadused seda võimaldavad, peamiselt siseoludes kasutatavate toodete ja mittekonstruktiooniliste rakenduste korral.

5.4 Kuum- ja kontaktliimid

Kuumliimid (*hot-melt glues*) on tavatemperatuuril tahkes olekus ja viiakse adhesiooni saavutamiseks vajalikku vedelolekusse kuumutamise teel. Jahtudes muutub liim uuesti tahkeks ja moodustab liimliite.

Termoplastsete kuumliimide kõvenemine on füüsikaline protsess, mis saab toimuda korduvalt. Sel põhjusel on ka sellise liite kuumuskindlus halb, temperatuuri toimetel võib liide laguneda. Näiteks kuna etüleenvinüülatsetaat (EVA) polümeeri liimimistemperatuur on 180–200 °C ja rulliga peale kandmisel 200–220 °C, siis võib sellise liimliite kuumuskindlus siiski olla piisav.

Kasutatakse ka termoreaktiivseid kuumliime. PUR-kuumliimi kõvenemine toimub algul füüsilise protsessina jahtumisel, millele järgneb keemiline protsess puidus oleva niiskuse toimetel. Kuumliimid on hea säilivusega ja nt liimipüstoli abil lihtsalt kasutatavad.

Kontaktliimid (*contact glues*) kantakse alati mõlemale liidetavale pinnale, enne pindade kokku surumist peavad need saama kuivada. Kuivamisaeg sõltub liimi tüübist ja võib olla küllaltki pikk. Kontaktliimi eelis on see, et pindade kokku surumine võib olla lühiajaline.

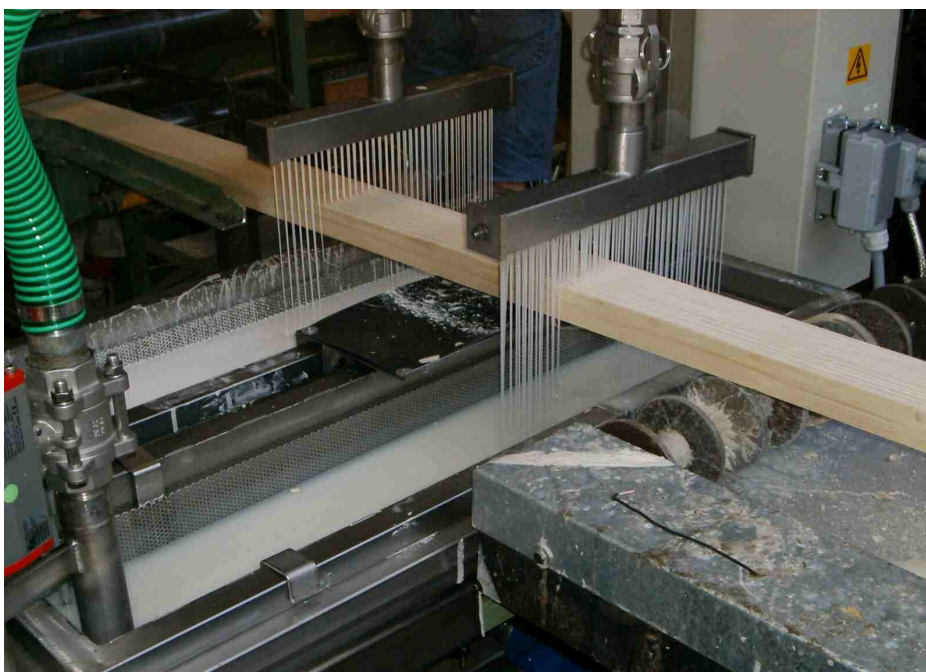
5.5 Liimitamisseadmed

Kuna sõrmjätkamist käsitleti eelmises peatükis, käsitleme siin tasapindade liimitamist. Liimi kandmist horisontaal-, vertikaal- või kaldpindadele kasutatakse mitmesuguste insenerpuidu liikide tootmisel, kuid põhiosas võib kasutatavad seadmed jagada kaheks: kardin-tüüpi liimitamisseadmed ja valtsidega liimitamisseadmed.

Kardin-tüüpi liimitamisseadmed (*curtain coater, ribbon spreader*)

Erinevalt viimistlusmaterjalide peale kandmisest ei ole liimikardin pidev, vaid koosneb üksikutest jugadest, mis moodustavad ühtlase liimikihi liite kokku surumisel.

Pidevvooluga kardin-tüüpi liimitamisseadmed (*constant flow curtain coater*)



Joonis 5.7 Pidevvooluga kardin-tüüpi liimitamisseade. Foto: JS Inseneribüroo OÜ

Seda tüüpi kardinseadmes on liim pidevas ringluses sõltumata liimitatava materjali liikumisest. Kui materjal liimikardina läbib, kantakse sellele liimiribad. Pealekantava liimi kogust muudetakse pumba tootlikkuse muutmisega sagedusmuunduri abil ja kontrollitakse ajaühikus läbiva liimi või kõvendi koguse mõõtmisega torustikus oleva kulumõõtja abil.



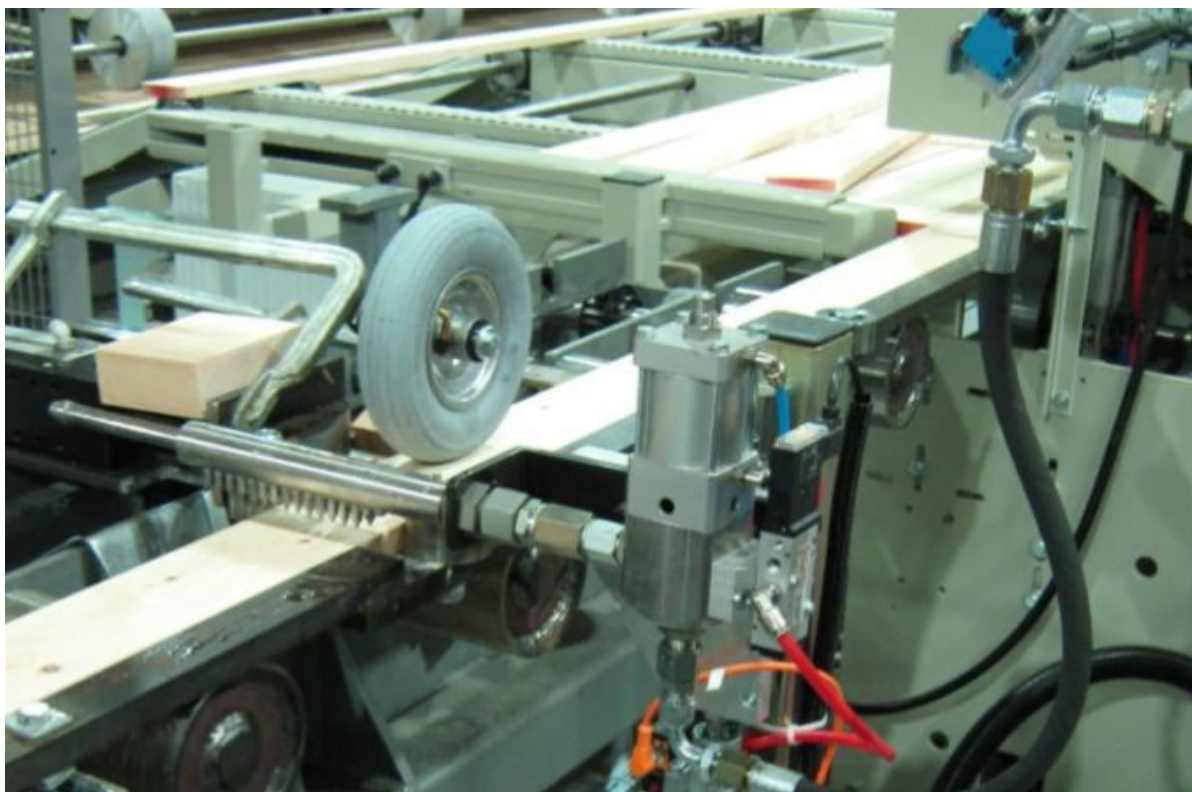
Joonis 5.8 Liimivaltsid (paremal) ja seinapress (vasakul). Foto: JS Inseneribüroo OÜ

Pidevvooluga kardin-tüüpi liimitamisseade ei sobi liimidele, mille õhuga kokkupuuteaeg on piiratud. Kuna enamasti ei ole oluline, kas esimesena kantakse materjalile liim või kõvendi, saab materjali etteanne toimuda mõlemalt poolt liimitamisseadet.

Start-stopp-süsteemiga kardin-tüüpi liimitamisseadmed

Selline seade pihustab liimi ainult siis, kui liimitatav materjal asub düüside all. Liim juhitakse düüsi täpselt siis, kui materjal jõuab düüside alla, ja pumpamine lõpeb materjali väljumisel. Andurite abil kontrollitakse materjali laiust ja liimi antakse ainult nendesse düüsidesse, mis asuvad materjali kohal. Võimalik on kasutada ka kahekomponentseid liime, segunemine toimub staatilises mikseris vahetult enne liimituspead iga tsükli käigus.

Start-stopp-süsteemiga düüsidega liimitamisseade on kasutatav ka liimi kandmiseks vertikaal- ja kaldpindadele, nt lamelli servpinna (joonis 5.9).



Joonis 5.9. Start-stopp-süsteemiga kardin-tüüpi liimitamisseade Foto: Mixon AB

Materjali asemel võib liigutada ka liimitamispead. Joonisel 5.10 on näha ristkihtliimpuidu kihtide liimitamisseade vaakumpressi kohal. Ristkihtliimpuidukihid laotakse vaakumpressi ja iga kiht liimitatakse üle materjali liikuva liimitamispea abil, mis ei pea olema sama pikk kui materjali laius. Joonisel 5.10 nähtavas seadmes liimitatakse ühel töökäigul pool materjali pinnast, ülejäänud aga tagasiliikumisel.

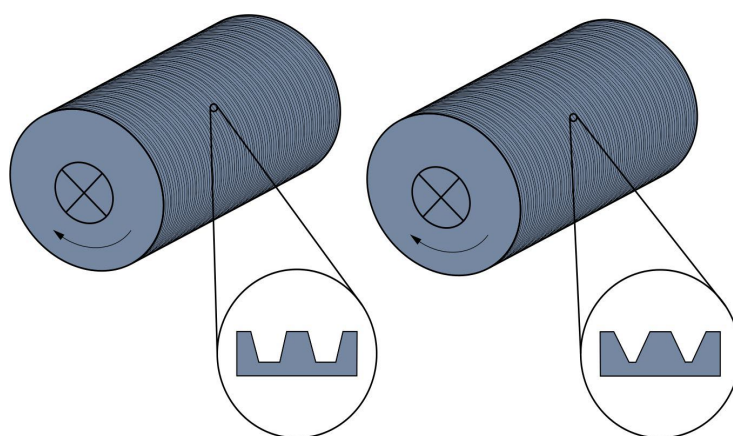
Düüsidega liimitamispea võib olla ka lihtne käsitsi piki materjali liigutatav päästikuga juhitud seade, millesse juhitakse liimi nt membraanpumbaga.



Joonis 5.10 Ristkihtliimpuidu tootmises kasutatav liimitamisseade. Foto: Lappia Finland

Valtsidega liimitamisseadmed

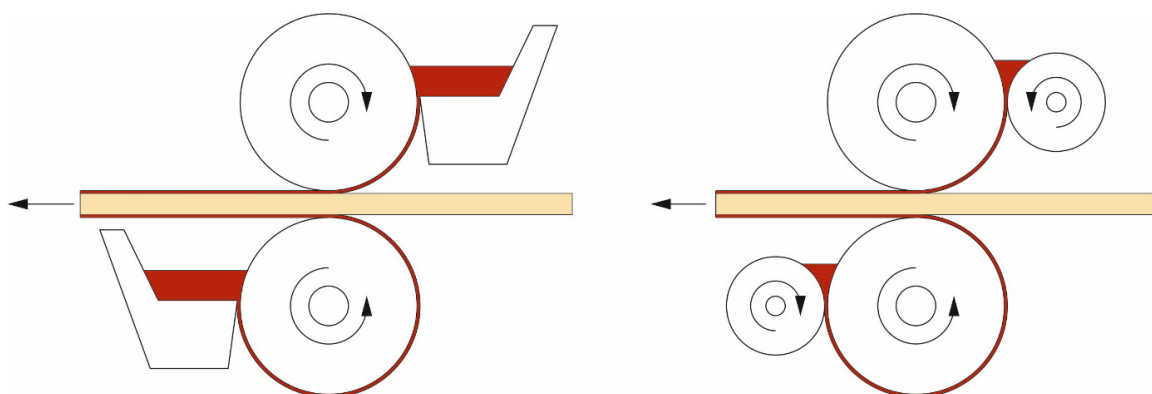
Jättes käsitlemata lihtsad liimianuma ja selle all paikneva rulliga käsiseadmed, on liimivaltsi olulisim osa soontega valts. Sooned lõigatakse terastrumlile kantud kummikihti ning nende profiil ja mõõtmed määravad pinnale kantava liimi jaotuse ja koguse.



Joonis 5.11 Liimivaltside soonte profiilid.

Liimitamisseadmete tootjate kasutatavad soonte profiilid erinevad tootjati, kuid on üldjoontes siiski sarnased. Profiili valik sõltub kasutatavast liimist ja selle pinnale kantavast kogusest. Joonisel 5.11 näidatud profiilidest parempoolne on mõeldud EPI-liimi jaoks, vasakul olev profiil sobib muud tüüpi liimidele.

Ühe valtsiga liimitamismasinaid kasutatakse harvem, levinumad on kahe- või neljavaltsilised masinad (joonis 5.12).



Joonis 5.12 Kahe ja nelja valtsirulliga liimivaltsid.

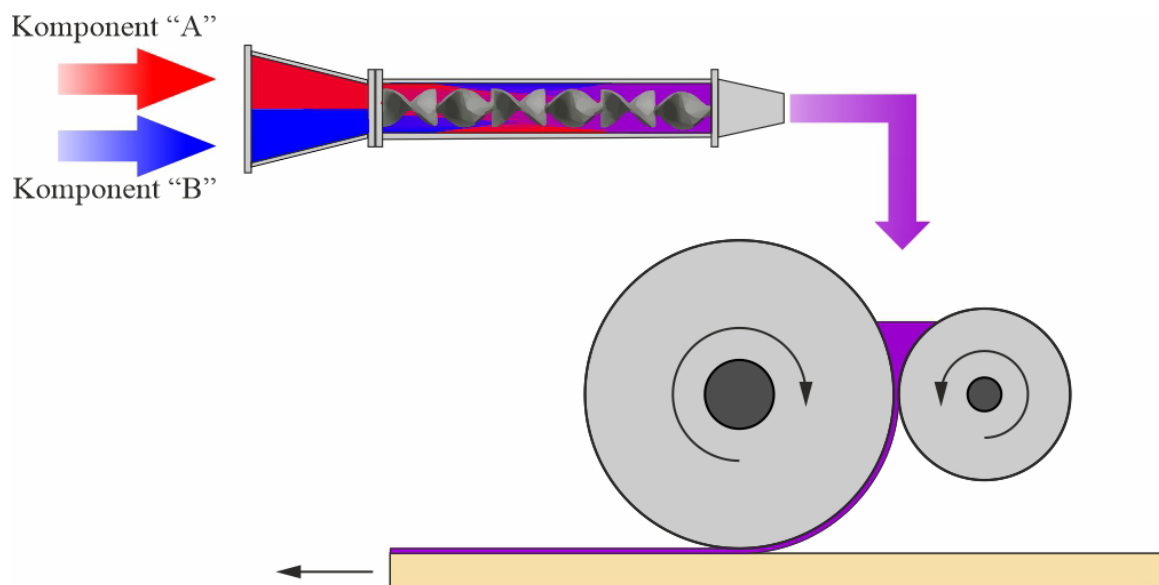
Liimivaltsid pöörlevad materjali liikumise suunas ja liigne liim pühitakse valtsi pinnalt ära liimikausi servaga (kahe valtsiga masinatel) või doseerimisvaltsiga (nelja valtsiga masinatel).

Liimvaigu ja kõvendi reageerimisel tekib soojus, vajadusel korral saab liimisegu ka jahutada. Kahevaltsilistes masinates (joonis 5.13) kasutatakse selleks jahutussärgiga liimivanne või liimivanni paigutatud jahutustorusid. Jahutustorudega süsteem on raskesti puhastatav ja seetõttu on parem kasutada jahutussärki või juhtida jahutusvesi liimivaltsi sisemusse. Liimivaltsil olev kummikiht küll halvendab soojusülekannet, kuid mitte sel määral, et seda varianti kasutada ei saaks. Neljavaltsilisel masinal on doseerimisvaltsid terasest ja jahutus nende kaudu toimib hästi.

Liimivaltse saab kasutada ka servpindade liimitamiseks.



Joonis 5.13 Kahevaltsiline liimitamismasin. Foto: Kadis UAB



Joonis 5.14 Liimi ja kõvendi segamine staatilise mikseriga.

Liimivaltsid on väga levinud PVAc-liimi peale kandmisel. Kahekomponentse liimi segamiseks kasutatakse sageli staatilist mikserit, mis kujutab endast spiraalilaadse profiiliga plastvarrast, mis komponentide pumpamisel segamistorusse suunab komponentide joad vaheliti igas elemendis ning segab komponendid ühtlaseks seguks (joonis 5.14).

Liimitamismasinal võib olla ka pesemissüsteem, sageli on selleks piki valtse liigutatavad pesuveedüüsid. See teeb masina küll kallimaks, kuid vähendab oluliselt pesuvee kogust ja pesuks kuluvat aega. Kuna pesuvett ei tohi kanalisatsiooni lasta, siis võimaldab pesuseade märgatavalt vähendada puhastamist vajava vee hulka.

Liimimispressid

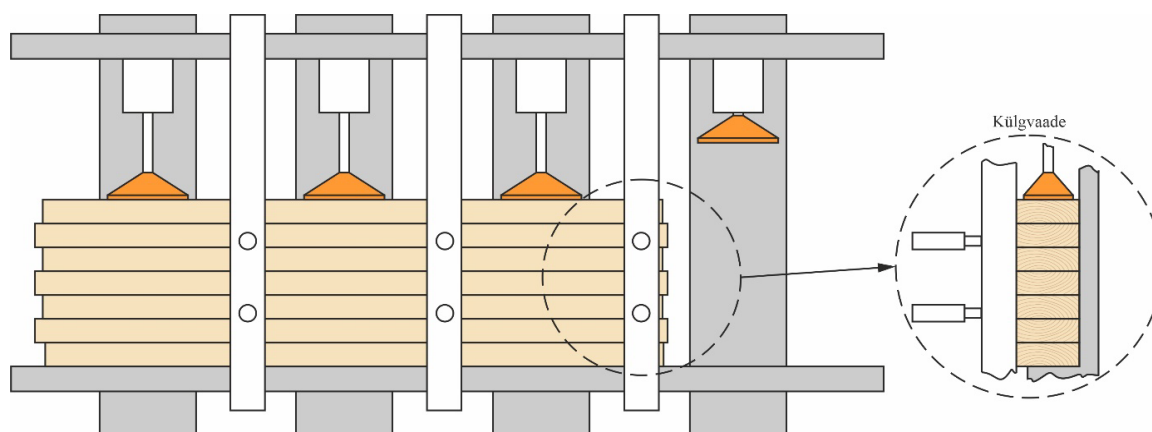
Liimimispressid liigitatakse:

- 1) külmpressid: raam- ehk seinpressid (liimpuittalade või komponentide tootmiseks), koostepressid, vaakumpressid;
- 2) kuumpressid: pressiplaatide kuumutamine vee, õli või auruga, kõrgsageduspressid.

Kuumpresside seas on veel ka mitmekorruselised pressid ja pidevpressid, mida kasutatakse puitplaatide tootmiseks (PLP, MDF ja vineer).

Külmpressid (*cold press*)

Külmalt kõvenevate liimide kasutus võtab aega ja selle kompenseerimiseks on tihti kasutusel mitu seinpressi nagu joonisel 5.8. Seinpress on suhteliselt lihtsa konstruktsiooniga, piki pressi paiknevad pressimissurve tagavad hüdrosilindrid ja külgsurve, mis väldib materjali välja vajumist, hüdrosilindrid on rullidel piki pressi liigutatavad (joonis 5.15). Pressi täitmise ajal on need kõrvale tõmmatud.



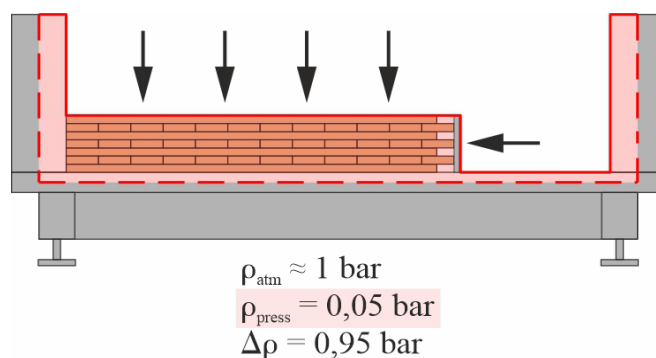
Joonis 5.15 Seinpress.

Seinpressid võtavad suhteliselt palju tootmispinda, seepärast kasutatakse vahel ka pööratava rootoriga presse, kus rootorile on kinnitatud kolm või enam raampressi.

Akende, korpasmööbli ja muude toodete kokku monteerimiseks kasutatavad koostepressid on tavaliselt külmpressid, sest liimliide on tootest sedavõrd väike osa, et kogu toote kuumutamine oleks ebaotstarbekas. Samuti piisab sageli surveks pneumosilindritega saavutatavast survest.

Vaakumpressid (*vacuum press*)

Vaakumpressides tekitatakse pressimissurve alarõhu abil. Vaakumpressi tööpõhimõtet on selgitatud joonisel 5.16.



Joonis 5.16 Vaakumpressi tööpõhimõte.

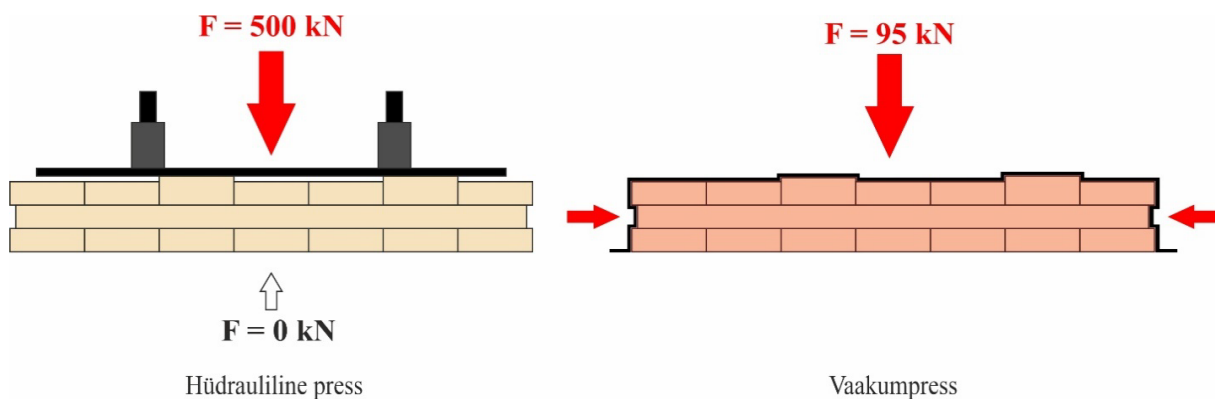
Pressitav materjal asetatakse õhutihedale alusele ja kaetakse elastse rebenemiskindla membraaniga, mis kinnitatakse samuti õhutihedalt raami külge (joonis 5.17).



Joonis 5.17 Ristkihtliimpuidu vaakumpress. Foto: hoechsmann.com

Kinnitus raami külge on kolmest küljest lahti võetav, et membraani saaks pressi täitmise ajaks kõrvale pöörata. Vaakumpress on ristkihtliimpuidu tootmisel vähe levinud vaatamata selle lihtsusele ja suhteliselt mõõdukale hinnale. Kihid laotakse pressi käsitsi, liimitamisel kasutatakse liimitamisseadet (joonis 5.10). Kuna ristkihtpuidu kihid tuleb ka külgsuunas kokku suruda, on ristkihtliimpuidu vaakumpressides ka hüdrosilindrid külgsurveks ühes otsas ja ühel küljel. Külgsurve tõttu tuleb lamellide pikkuse ja laiuse tolerantsid valida sellised, et nt pikisuunas kulgevate laudade pikkus on pisut väiksem kui risti suunatud kihi laudade laiuste kogusumma.

Kui hüdrosilinder surub ainult ühes suunas, siis vaakummembraan tekitab kolmemõõtmelise surve. Seepärast saab vaakumpressiga pressida väga keeruka kujuga detaile, nt spoonida kumeraid ja nõgusaid pindu. Ehkki maksimaalne pressimissurve on piiratud maksimaalse võimaliku alarõhuga, on see tavaliselt piisav, sest rõhk rakendub kõigile pindadele ega sõltu kujudetailidest ja muudest teguritest (joonis 5.18). Vaakumpressid sobivad hästi ka õõnespaneelide tootmiseks.



Joonis 5.18 Hüdraulilise ja vaakumpressi võrdlus.

Kuumpressid (*hot press*)

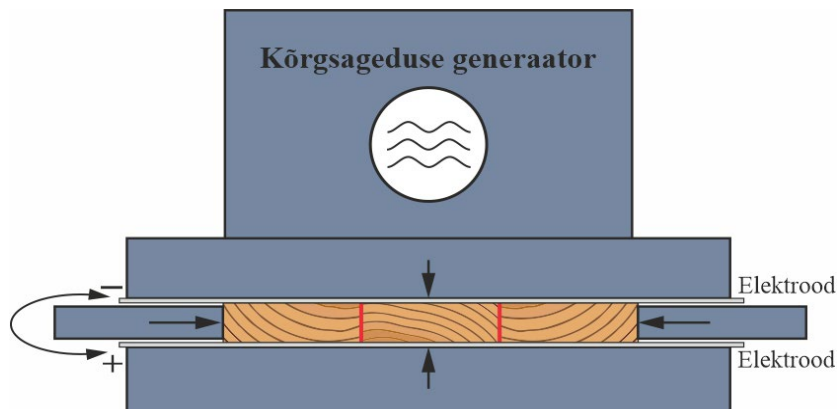
Kuumpresse kasutatakse liimpuitkilpide tootmisel, sest materjali paksus pole suur (joonis 5.19). Levinum on pressiplaatide kuumutamine neisse juhitava kuuma õli abil. Lisaks vertikaalsetele silindritele on külgsurvet tekitavad silindrid. Pressitavad kilbid formeeritakse lamellidest kas käsitsi sisseandmiselindil või vastavate seadmetega. Käsitsi formeerimise eeliseks on võimalus valida lamelle nii, et moodustuv kiht oleks visuaalselt kvaliteetne, puuduseks aga madal tootlikkus.



Joonis 5.19 Kuumpress liimpuitkilpide tootmiseks. Foto: JS Inseneribüroo OÜ

Kõrgsageduspressid (*high frequency press*)

Kõrgsageduspressis kuumutatakse mitte liimitavat materjali, vaid liimikihti. Kõrgsageduspressis kasutatakse bipolaarsete molekulide (peamiselt on kõne all vesi) omadust polaarsust muutvas elektriväljas ostsilleerima hakata.



Joonis 5.20 Kõrgsageduspressi tööpõhimõte.

Kõrgsageduspressi plaadid on kondensaatori plaatideks, millele rakendatakse kõrgsagedusgeneraatori genereeritav vahelduvvool (joonis 5.20). Bipolaarsed molekulid hakkavad pöörlema ja selle protsessi tulemusena tekib soojus. Ideaalne puidu niiskusesisaldus kõrgsagedusväljas liimimisel on 6–10%, kõrgemal niiskusesisaldusel kulub osa energiat puidus oleva vee soojendamiseks. Kui niiskus on üle 12%, võib tekkiv pinge olla liialt suur ja leiab aset elektriline läbilöök, mis halvemal juhul võib põhjustada isegi materjali süttimise.



Joonis 5.21 Kõrgsageduspress. Foto: JS Inseneribüroo OÜ

Kuna liimi kõvenemine kõrgsagedusväljas on üsna kiire, ei jõua liim enne kõvenemist puitu tungida ja liimliite kvaliteet on parem, kui liimikiht on enne kõrgsagedusvälja rakendumist veidi aega surve all.

Kõik veepõhised liimid on kõrgsagedusväljas kõvenevad, samuti spetsiaalne ühekomponentne PUR-liim. PUR-liim võib siiski vajada liimitava pinna niisutamist.

Kõrgsageduspressid on väga levinud eelkõige komponentide, liimpuittalade ja ristkihtliimpuidu tootmisel (joonis 5.21).

5.6 Inseneripuit

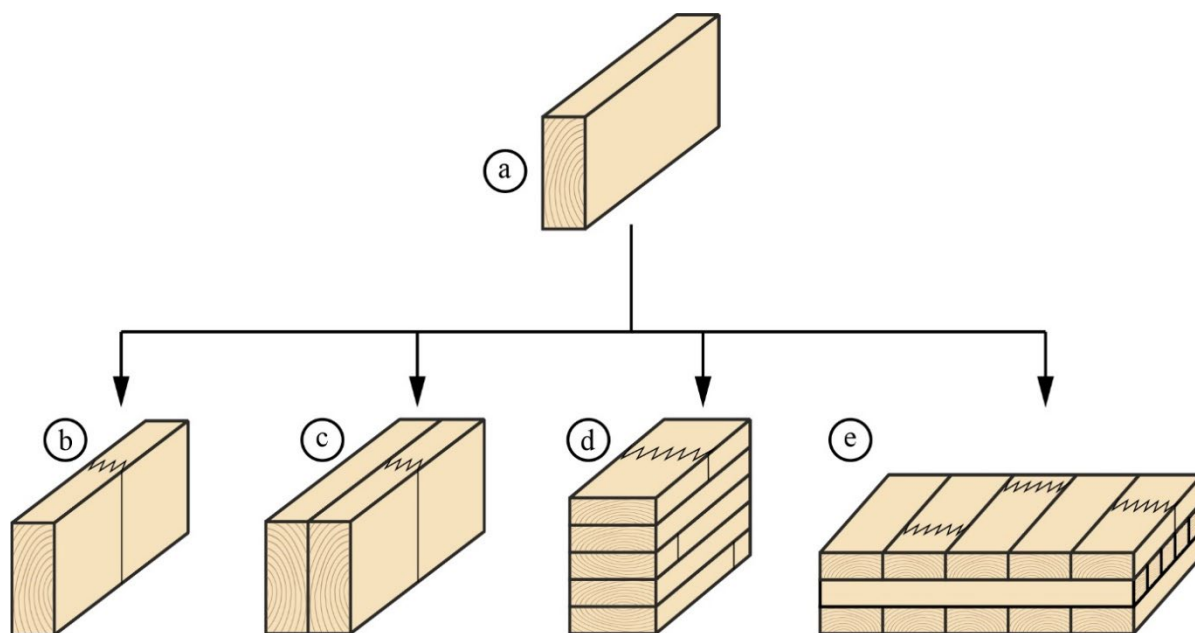
Inseneripuit (*engineered wood*) on puidust liimimise ja inseneriteadmiste abil toodetud materjal. Inseneripuidu tootmise eesmärk on saada materjal, mille omadused on lähtematerjali omadustest soovitud määral paremad. Enamasti tähendab see madalama tugevuse või mingi muu näitaja alusel ebasobiva osa välja lõikamist ja sobivate tükide uuesti kokku liimimist. Definitsiooni kohaselt võiks inseneripuiduks pidada ka peenestatud puidust (PLP, OSB, MDF jt plaatmaterjalid) või spoonikihtidest kokku liimitud materjale nagu vineer, kertopuu jt. Siin piirdume vaid mõningate sarnaste materjalide erijuhtudega nagu spoonkihtpuit ja Parallam.

Inseneripuidu põhiliigid:

- ehituskonstruksioonides kasutatav lamell-liimpuit ehk ehituslik liimpuit;
- mitte-konstruksiooniline liimpuit, näiteks mitmesugused komponendid;
- spoonkihtpuit;
- kergtalad, ParallamTM, õõnestalad ja -plokid jm.

Ehitusliimpuit (*glued laminated timber*)

Ehitusliku liimpuidu (joonis 5.22) tootmiseks tohib kasutada ainult tugevussorditud (jaotis 5.9) lamelle, enamasti on need sõrmjätkatud. Kui on täidetud tingimus, et sõrmjätkatud puidu purunemine toimub puidust, mitte sõrmjätkest, siis deklareeritakse sõrmjätkatud lamelli tugevusklass samaks kui lamellil enne sõrmjätkamist.



Joonis 5.22 Ehitusliku liimpuidu liigid ja standardid.

Joonisel 5.22 on kujutatud ehitusliku liimpuidu põhiliigid:

- a – tugevussorteeritud lamell, kõigi liimpuidu liikide lähtematerjal – EN 14081;
- b – sõrmjätkatud ehituspuit – EN 15497;
- c – plankliimpuit, tavaliselt kahe- või kolmekihiline (DUO või TRIO liimpuit) – EN 14080;
- d – lamell-liimpuit, enamasti nimetatakse liimpuitalaks – EN 14080;
- e – ristkihtliimpuit (CLT) – EN 16351.

Liimpuitalad (*glulam*)

Liimpuitala on praegu kõige levinum ehitusliimpuidu liik, toodetakse sirgeid, muutuva ristlõikega, kaarjaid või muu kujuga talasid ja taladest moodustatud raame (joonis 5.23) ja sõrestikke. Säilinud on väga vanu liimpuidulaadseid konstruktsioone, nt Luzernis oleva Spreueri sild (joonis 5.24) (selle juures on tahvel märkega: „Ehitatud enne aastat 1408“). Liimimise asemel on seal puidukihid ühendatud tüüblitega.

Joonisel 5.23 on näha raami nurkades naaglid, mis läbivad nii tala kui ka sellesse sisse freesitud terasplaate. Sellist võtet kasutatakse liimpuidu puhul väga sageli. Liimpuidust sõrestikega saab katta väga suuri avasid (suurte puitehitistega saab tutvuda Puuinfo kodulehel).



Joonis 5.23 Pühajärve veekeskus. Foto: E. Konze



Joonis 5.24 Spreueri sild Luzernis. Foto: M. Riistop

Ristkihtliimpuit (*cross laminated timber, CLT*)

Ristkihtliimpuit koosneb serviti kokku liimitud või liimimata lamellikihtidest, mis paiknevad üksteise suhtes risti (joonis 5.25). Kihte on alati paaritu arv nagu vineeriski, tavaliselt 3, 5, 7 või enam.



Joonis 5.25 Ristkihtliimpuit. Foto: M. Riistop

Ristkihtliimpuitu on nimetatud ka 21. sajandi betooniks, sest see on leidmas kasutust viisidel, mida seni ainult betooni puhul võimalikuks peeti: kõrged korrusmajad ja muud suurehitised.

Toodetava ristkihtliimpuidu pikkus võib olla 20 või enam meetrit, laius 3–4 m. Kuna plaadid on suured, on nende täpselt vajalikesse mõõtmetesse ning neisse avade ja kanalite lõikamiseks vaja suuri CNC-pinke, mis sageli on ristkihtliimpuidu tootja juures, sest tema suudab neid kõige ratsionaalsemalt tööle rakendada. Sama võib öelda ka pikemate liimpuidust talade tootjate kohta. Ristkihtliimpuidust on võimalik ehitada ka selliseid keeruka kujuga konstruktsioone, mida betooni puhul teha ei saaks, sest nende hind kujuneks betooni kasutamise korral ebamõistlikult suureks (joonis 5.26).



Joonis 5.26 Kaubanduskeskuse ehitus Viinis. Ehitatavast katusest on sel fotol näha alla vee-randi. Foto: M. Riistop

Kui vineer ei ole välioludes eriti vastupidav, siis ristkihtliimpuit sobib hästi fassaadil kasutamiseks (joonis 5.27). Arvatavasti on põhjuseks puidukihi suurem paksus, mis laseb puidul paremini oma looduslikke omadusi esile tuua.



Joonis 5.27 Ristkihtliimpuidust fassaad Austrias. Foto: M. Riistop.

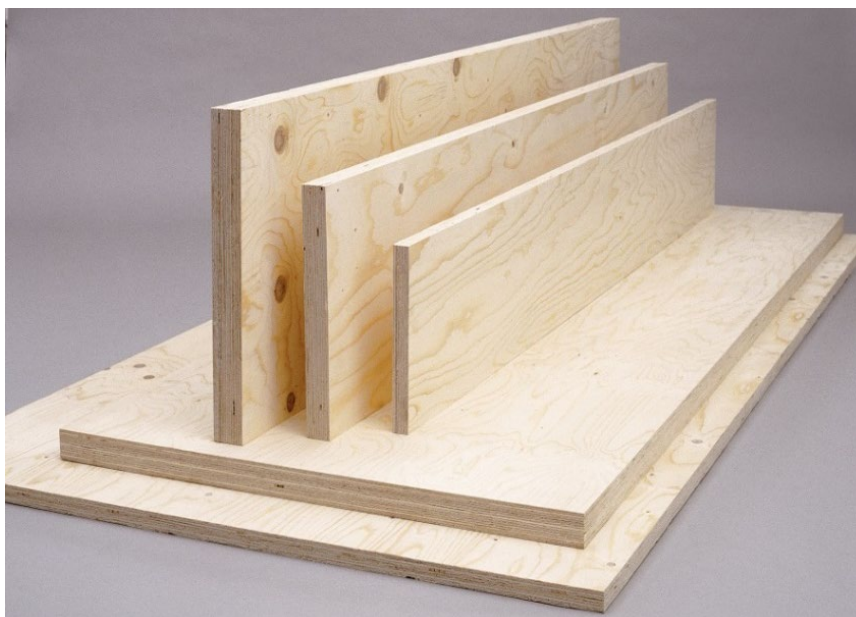
Väliskasutuseks toodetakse ristkihtliimpuitu ka lehisest ja Accoya™ puidust. Ristkihtliimpuitu toodetakse ka liimi kasutamata. Liimi asemel liidetakse puidukihid neisse puuritud avadesse pressitavate väga väikese niiskusesisaldusega pöökpuidust tüüblitega (joonis 5.28). Liidetav puit on tavalise niiskusesisaldusega ja tüüblid imavad endasse neid ümbritsevast puidust niiskust ning pundudes pressivad end puitu väga tugevasti kinni. Pöök on valitud seepärast, et ta paisub niiskudes teistest puuliikidest rohkem ja on küllalt tugev.



Joonis 5.28 Tüüblitega ühendatud ristkihtliimpuit. Foto: M. Riistop

Spoonkihtpuit (*laminated veneer lumber, LVL*)

Spoonkihtpuit (joonis 5.29) on mõneti vineeriga sarnane materjal, erinevus on selles, et spoon on paksem, tavaliselt 3 mm, ja kihid on paralleelsete kiududega või on 4–5 kihi järel üks risti suunatud kiududega kiht. Spoonkihtpuitu kasutatakse peamiselt talade, postide jm kandvate konstruktsioonide valmistamiseks (joonis 5.30).



Joonis 5.29. Spoonkihtpuit. Foto: Finnforest OY



Joonis 5.30 Spoonkihtpuidust rippkatus Hohenemsis. Foto: M. Riistop

Parallam™ (*parallel strand lumber*, PSL)

Põhja-Ameerikas toodetakse mitut suuremõõtmelist laastudest toodetud plaatmaterjali nagu OSB (orienteeritud laastuga puitplaat), *waferboard* (vahvelplaat), *flakeboard* (puitlaastplaat) jt. Eriti suurest laastust saab toota ka selliste mõõtudega plaate, millest välja saetavad tükid on kasutatavad selliste konstruktsioonelementide nagu talad ja postid valmistamiseks. Parallam™

(joonised 5.31 ja 5.32) toodetakse spoonist, mis peenestatakse ribadeks. Ribade pikkus on suhteliselt suur ja nad paigutuvad materjali nii, et kiudude suund on paralleelne lapikpinnaga, sellest ka nimetus Parallam™. Ehkki Parallam™ toodetakse madalakvaliteetsest puidust, on selle tugevusnäitajad piisava liimikoguse ja suure pressimissurve tõttu üsna head. Kui OSB on olnud edukas ka Euroopas, siis Parallam™ ei ole seda suutnud.



Joonis 5.31 Parallam™. Foto: M. Riistop



Joonis 5.32 Parallam™ postid Vancouveris. Foto: M. Riistop



Joonis 5.33 Parallam™ vöödega kergtalad (ülal). Foto: M. Riistop

Kergtalad (*I-beam*)

Tala koormamisel paindekoormusega tekivad selle ülaosas surve- ja alaosas tõmbepinged, keskel aga surve- ja tõmbepinged puuduvad. Seda asjaolu kasutatakse kergtalade tootmisel.

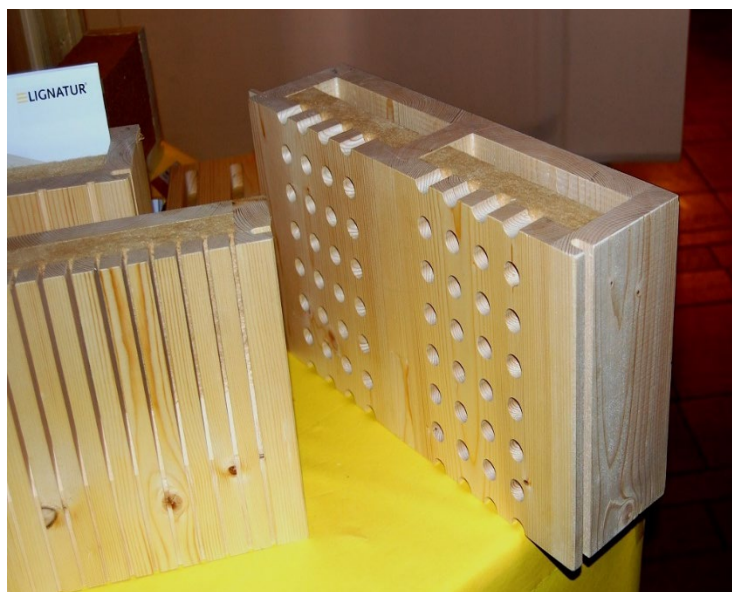


Joonis 5.34 Saville Gardeni kergtaladest võrekoorikust katus. Foto: M. Riistop

Kergtala koosneb kahest teineteisest küllaltki kaugel paiknevast mingi plaatmaterjaliga ühendatud vööst. Joonisel 5.33 on näha parallamist vöödega ja OSB-st vaheplaadiga kergtalasid, Euroopas on levinud sõrmjätkatud prussidest või spoonkihtpuidust vööd. Vaheplaadiks on enamasti puitkiudplaat. Vaheplaat liidetakse vööga freesitud soontesse liimimise teel.

Õõnespaneelid ja -plokid (*hollow panels; hollow blocks*)

Õõnespaneele toodetakse väga erineval otstarbel. Joonisel 5.35 on kujutatud akustilised õõnespaneelid, mille alumisse pinda on heli hajutamiseks puuritud avad või freesitud sooned.



Joonis 5.35 Akustilised õõnespaneelid. Foto: M. Riistop

Õõnsusse paigutatud klaasvill ei täida õõnsust täielikult, nii vähendab paneel heli läbikostvust paremini kui täielikult villaga täidetud õõnsustega paneel.



Joonis 5.36 Õõnesplokid. Foto: M. Riistop

Õõnesplokke on samuti konstruktsioonilt väga erinevaid, üks näide on joonisel 5.36. Nende laiemat levikut takistab kõrgevõitu hind.

5.7 Puidu niiskusesisalduse mõõtmine inseneripuidu tootmisel

Puidu niiskusesisaldus on inseneripuidu tootmisel sedavõrd oluline parameeter, et seda peab pidevalt jälgima. Selleks on kasutusel nii käsimõõteriistad kui ka tootmisliinidesse integreeritud mõõteseadmed. Ainus otsene meetod puidu niiskusesisalduse määramiseks on selle kaalumine enne ja pärast absoluutkuivaks kuivatamist kuivatusahjus. See meetod aga tootmises kasutamiseks ei sobi ja kasutusel on kaudsed meetodid, kus mõõdetakse niiskusesisaldusest sõltuvaid parameetreid – elektritakistust ja dielektrilist läbitavust. Viimast nimetatakse enamasti mahtvuslikuks meetodiks.

Puidu niiskuse mõõtmine elektritakistuse kaudu

Meetodit nimetatakse ka takistusmeetodiks. Puidu elektritakistus muutub niiskusesisalduse muutudes väga suurtes piirides. Kui rakuseinte küllastuspiiri $W = 30\%$ juures on see ca 100 k Ω , siis absoluutselt kuivana umbes 100 G Ω . See on ka põhjus, miks takistusmeetodil puidu niiskuse mõõtmise standard määrab kasutatavaks mõõtepiirkonnaks puidu niiskuse ligikaudu 7–30%. Enamik takistusniiskusmõõturite tootjaid annab oma seadmele märksa laiema mõõtepiirkonna, mainimata seejuures, et mõõteviga väljaspool standardset mõõtepiirkonda on tunduvalt suurem.

Takistusmeetodil mõõdetakse takistust kahe puitu surutud mõõtenõela otste vahel, tavaliselt kasutatakse selleks isoleeritud mõõtenõelu (joonis 5.37), mis surutakse puitu 1/3 paksuse sügavuseni.



Joonis 5.37 Isoleeritud mõõtenõelad. Foto: JS Inseneribüroo OÜ

Kasutatakse ka isoleerimata mõõtenõelu, kuid need ei mõõda takistust ehk niiskust kindlal sügavusel, vaid seal, kus takistus on väiksem ehk puit kõige niiskem. Puidu takistus sõltub lisaks niiskusele veel mitmest asjaolust, neist olulisimad on puiduliik ja temperatuur. Niiskusmõõturid kalibreeritakse erinevate puiduliikide niiskusesisalduse mõõtmiseks mingil kindlal temperatuuril, temperatuurierinevust võetakse arvesse kompensatsiooniteguriga.

Mõõtmistäpsus erinevate puiduliikide niiskusesisalduse mõõtmisel on küllalt erinev, selle isoleerimiseks kasutatakse nn S-väärtust. S-väärtus on statistiline väärtus, millesse mõõtmistulemuse võrdlus kuivatusahjukatsega mõõdetuga võrreldes jääb 95% tõenäosusega.

Tabel 5.2 Puiduliikide klassifikatsioon oodatava mõõtmistäpsuse järgi niiskusesisalduse mõõtmisel takistusmeetodil.

Klass	Mõõdetavus	Mõõtmistäpsus
1	Hea	$2 S < 1,6\%$
2	Mõõdetav	$1,6\% < 2 S < 2,5\%$
3	Halvasti mõõdetav	$2,5\% < 2 S < 3,5\%$
4	Mittemõõdetav	$3,5\% < 2 S$

Allikas: P. Rozema, COST Action E53 Final conference

Tabel 5.3 Mõningate puiduliikide niiskusesisalduse mõõdetavus takistusmeetodil vastavalt tabeli 5.2. klassidele.

1	2	3	4
Mänd	Pöök	Lepp	Pappel
Kuusk	Vaher	Abachi	
Tamm	Merbau	Tiik	
Kirss	Meranti	Sapel	

Allikas: P. Rozema, COST Action E53 Final conference

Mõõtmistulemuse usaldusväärsust saab suurendada kordusmõõtmistega, kuid puiduliigi mõju jääb ka sel juhul suureks. Näiteks selleks, et täpsus jääks vahemikku 0,9–1,1%, on tabeli 5.2. klassi 1 puhul vaja kolm mõõtmist, klassi 2 puhul kuus mõõtmist ja klassi 3 puhul üheksa mõõtmist. Arvestada tuleb ka seda, et niiskusesisaldus materjali eri osades võib olla erinev.

Tootmisliinidesse integreeritud takistusmeetodil töötavaid niiskusemõõtureid kasutatakse harva, sest materjal peab nõelte sissepressimise ajal paigal seisma ja seisak ei saa olla väga lühike. Väiksema tootlikkusega liinides selliseid mõõtureid siiski kasutatakse.

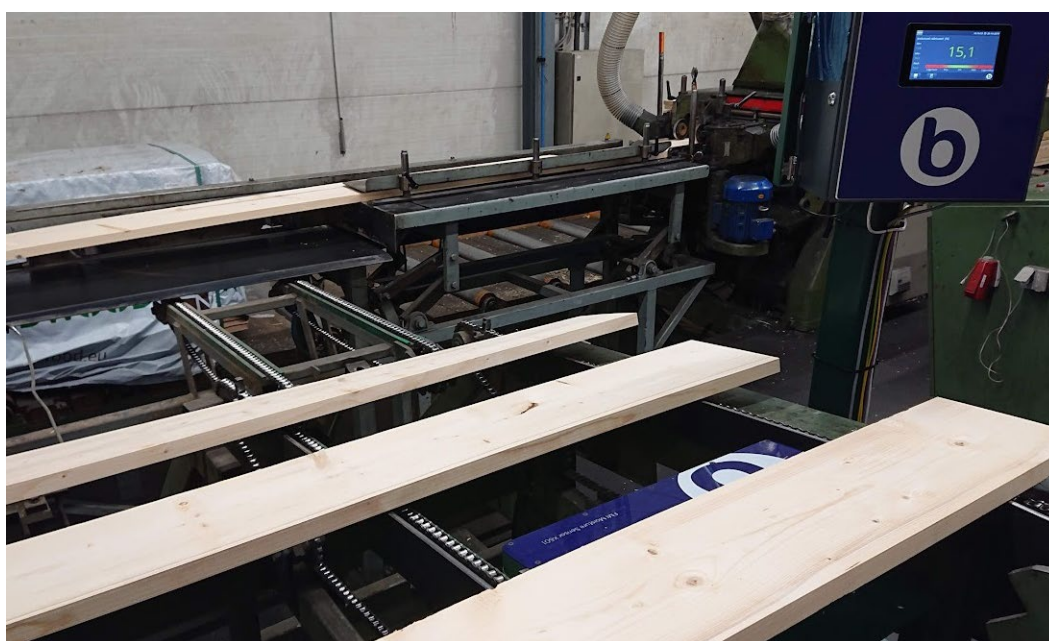
Puidu niiskuse mõõtmine mahtuvusmeetodil

Niiskusesisalduse mõõtmistäpsus mahtuvusmeetodil praktiliselt ei sõltu puidu temperatuurist, küll aga olulisel määral puidu tihedusest (tabel 5.4). Samuti on oluline, et kontakt anduri ja puidu vahel oleks tihe, kuna isegi kareda pinnaga puidu niiskuse mõõtmine võib põhjustada ebatäpsusi. Mahtuvusmeetodil ei saa mõõta niiskust mingil sügavusel nagu takistusmeetodil. Anduritel on mingi mõõtmissügavus, nt 24 mm, ja mõõdetakse kogu sellesse kihti jääva puidu niiskust. Kui mõõdetava puidu paksus on mõõtmissügavusest väiksem, tuleb mõõturisse sisetada materjali tegelik paksus.

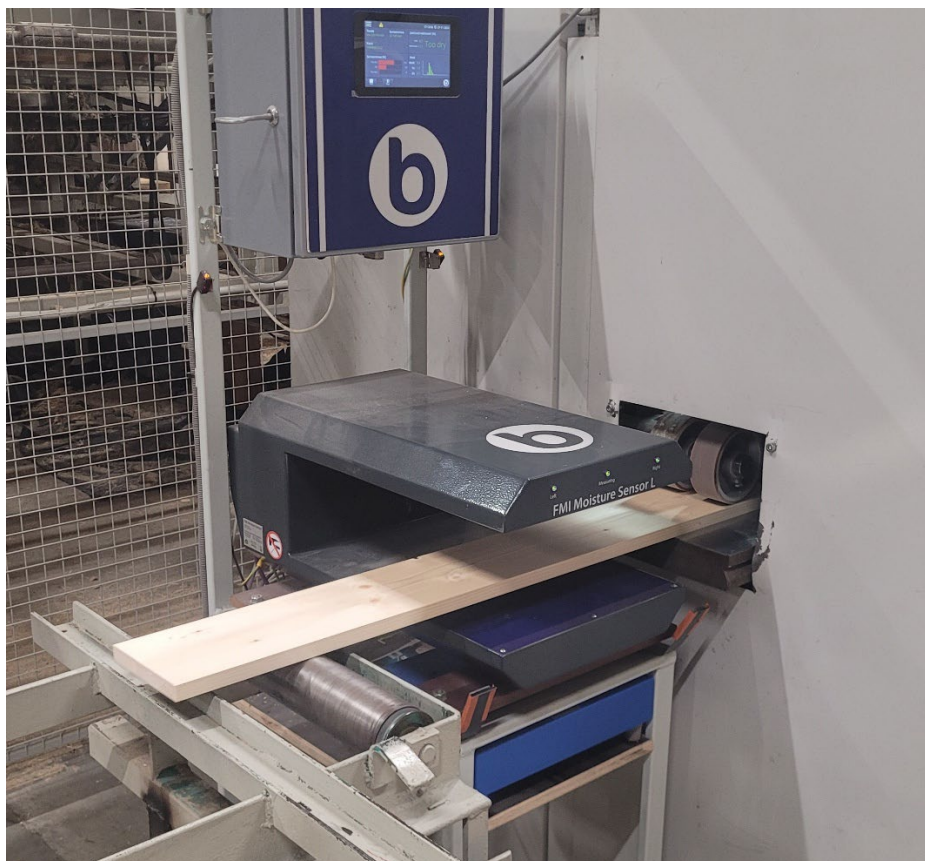
Tabel 5.4 Puidu niiskusesisalduse mahtuvusmeetodil mõõtmise täpsuse sõltuvus puidu tihedusest.

Puiduliik	Keskmine tiheduse varieeruvus, kg/m ³	Täpsus, %
Kuusk	40	+/- 0,8
Tamm	60	+/- 1,2
Meranti	100	+/- 2

Allikas: P. Rozema, COST Action E53 Final conference



Joonis 5.38 Niiskusemõõtur ristkettkonveieril. Foto: JS Inseneribüroo OÜ



Joonis 5.39 Niiskusemõõtur lintkonveieril. Foto: Brookhuis Applied Technologies B.V.

Mahtuvusmeetodil töötavad käsिमõõturid on mugavad kasutada ja annavad mõõtmistulemuse kiiresti, kuid ei võimalda hinnata niiskusesisalduse muutumist materjali paksuses. Seepärast kasutavad kuivatioperaatorid enamasti takistusmeetodil töötavaid niiskusemõõtureid.

Tootmisliinidesse integreeritud niiskusemõõturid töötavad valdavalt mahtuvusmeetodil, neid saab kasutada nii materjali rist- (joonis 5.38) kui ka pikisuunas (joonis 5.39) liikumisel.

Ristkonveierile saab paigutada mitu mõõturit, mis võimaldab kontrollida niiskuse jaotumist laua pikkuses. Materjali pikiliikumisel on võimalik saada täielik niiskuse muutumise profiil laua pikkuses. Konveierilint seejuures mõõtmistulemust ei mõjuta.

Tootmisliinidesse integreeritud niiskusemõõtureid kasutatakse kahel eesmärgil:

- kuivatatud materjalist liiga niiskete laudade välja sortimiseks, see väldib niiske materjali vältimiseks materjali põhiosa liiga kuivaks kuivatamist. Kuivatusprotsessi eesmärgiks seatud niiskusesisalduse seadmine tegelikult soovitud lähedale lühendab oluliselt kuivatusaega ja vähendab energiakulu;
- tootmisprotsessi jaoks ebasobiva niiskusega materjali välja sortimiseks.

Kuna puidu tihedusel on mahtuvusmeetodi mõõtmistulemusele suur mõju, siis kasutatakse nt kompenseerimist tiheduse järgi, kaaludes iga lauda ja arvutades sellest tegeliku tiheduse. See meetod on kasutatav ainult ristkonveieri puhul. Teine võimalus on mõõta dielektrilist läbitavust kombineerituna mingi muu parameetriga, mõõta mitmel voolusagedusel vmt.

5.8 Puidu tugevussortimine inseneripuidu tootmisel

Selleks, et puitu saaks konstruktsioonides kasutada, peab olema teada, millist koormust tohib talle rakendada. Seda iseloomustab puidu tugevusklass. Levinuim okaspuidu tugevusklass on C24, mis tähendab, et selle materjali paindetugevus on 24 N/mm^2 .

Tugevussortimiseks on kaks meetodit: visuaalne ja masinsortimine.

Visuaalsel meetodil hinnatakse eelkõige okste suurust, arvu ja paiknemist ning mädaniku jt defektide olemasolu. Välja on töötatud tugevusklassidele vastavad kirjeldused ja sortija peab iga laua puhul otsustama, millise tugevusklassi kirjeldusele see laud vastab. Sisuliselt samal viisil võib toimida ka arvutiprogramm, mis hindab röntgenikiirtega loodud kujutist igast lauast. Arvutile saab anda hindamiseks palju rohkem parameetreid, kui inimsilm on võimeline hindama. Masinsortimise levinud variant kasutab tugevusklassi määramiseks dünaamilise elastusmooduli MOE seotust puidu tiheduse ρ ja võnke levimiskiirusega v :

$$\text{MOE} = \rho \cdot v^2, \quad (5.1)$$

kus

v – võnke levikiirus, $v = L \cdot f$, L on materjali pikkus, f on pikisuunalise võnke sagedus.

Mõõdetava võnkumise tekitab vasaralöök laua otspinnale, mille sagedust mõõdetakse spetsiaalse mikrofoniga. Portatiivseadmetes on nii vasar kui mikrofoni ühes korpuses ja seade surutakse mõõtmiseks kergelt vastu materjali (joonis 5.40).



Joonis 5.40 Portatiivne seade puidu tugevussortimiseks. Foto: Brookhuis Applied Technologies B.V.

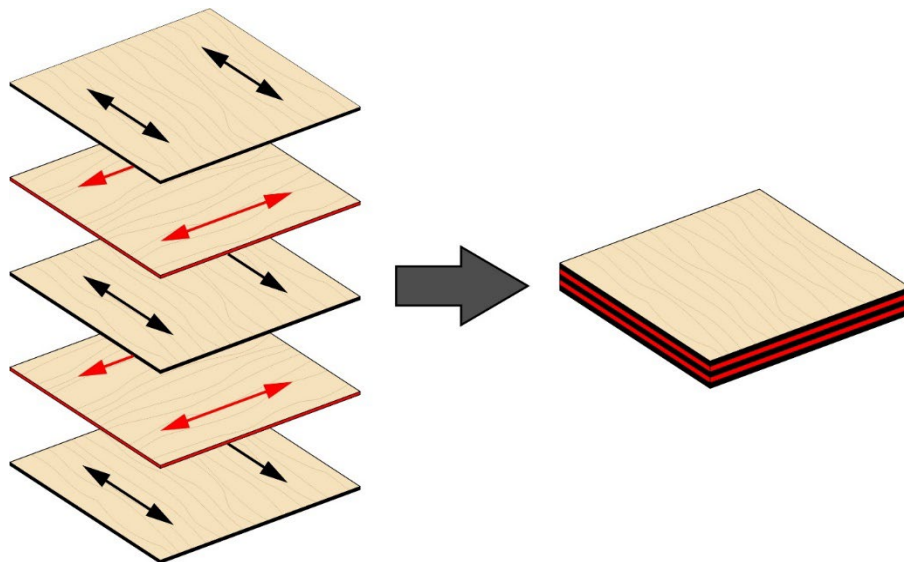
Valemis 5.1 olev puidu tihedus antakse ette puiduliigi järgi või määratakse täpsemalt materjali kaalumise ja mõõtmete abil. Kõrgemasse tugevusklassi (C35 või C40) sortimiseks on tiheduse mõõtmine kohustuslik. Lisaks mõõtmisele peab sortija siiski materjali ka visuaalselt hindama, näiteks ei pruugi mõni väiksem mädanik puidu elastsusmoodulit materjali praagiks hindamiseks piisaval määral vähendada.

Valemi 5.1 alusel töötavaid seadmeid toodetakse samuti tootmisliinidesse integreeritavatena, aeglasemates liinides peab materjal hetkeks seiskuma, suure tootlikkuse saavutamiseks saab võnkesagedust mõõta laserinterferomeetri või selleks kohandatud mikrofoniidga.

5.9 Vineeri tootmine

5.9.1 Vineeri mõiste

Vineer (*plywood*) on kihtpuit, mille kõik kihid on plaadi tasapinnaga paralleelselt paiknevad spoonilehed (joonis 5.41). Pikkusmõõt antakse vineeril alati esimesena ja pinnaspoonid puidusüü suuna järgi. Näiteks (pikkus $\times$ laius): 1200 $\times$ 2400, 2400 $\times$ 1200, 2400 $\times$ 3000. Vineeri kvaliteediklass määratakse pindmiste kihtide järgi vastavalt standardile EN 635 „Vineer. Liigitus pinna välisilme järgi. Osa 5: Näitajate ja defektide mõõtmise ja väljendamise meetodid“. Kvaliteediklass oleneb okste arvust ja läbimõõdust ning nende iseloomust, liitekohtade kvaliteedist, värvuse varieerumisest ning tootmisvigade olemasolust. ISO 2426 „*Plywood -- Classification by surface appearance*“ standardi kohaselt on kase-pinnaspooniga vineeride kvaliteediklassid A, B, S, BB ja WG ning neist klass A on harva esinev. Okaspuupinnaspooniga vineeri kvaliteediklassid on E, I, II, III ja IV. Põhjamaades kasutatakse vineeri kvaliteediklasside määramiseks palju ka Soome standardit SFS 2413, mis seab veel karmimad pinnaspoonid kvaliteedi nõudeid kui Euroopa standard EN 635.



Joonis 5.41 Vineeri spoonide ladumisskeem.

Alljärgnevalt on toodud ära erinevad standardvineeri tüübid.

- **Vineeri** (ristvineer, *cross grained plywood*) toodetakse kas lehtpuu- või okaspuuspoonist või kombineerituna neist mõlemast, liimides üksteisega risti olevaid spoonikihte üksteise peale. Soomes toodetakse ristvineeri kase- ja/või okaspuuspoonist. Kasutatavad spoonilehtede paksused on 1,4; 2,4 või 2,8 mm.
- **Kasevineeris** (*all birch, throughout birch*) kasutatakse ainult 1,4 mm paksuseid spoonilehti.
- **Segavineeris** kasutatakse lisaks kasespoonile ka okaspuuspooni, peamiselt kuuske.
- **Combi-segavineeris** on pinnaspoonid kasest ja seesmistes kihtides vahelduvad okaspuuspooni ning kasespooni kihid.
- **Twin-vineeris** on kasest ainult pinnaspoonid ning kogu sisemus koosneb okaspuuspooni kihtidest.
- **Okaspuuvineeris** (*softwood/conifer plywood*) on nii pindmised kui ka sisekihid üksnes okaspuuspoonist.

Tabel 5.5 Vineeri ladumisskeemid.

Nominaal, mm	Ladumis- skeem	Vineeri konstrukt- sioonid	Pinna- spoon	Vahespoon (lehtede arv)		Keskm. tihedus, kg/m ³	Kaal, kg/m ²	Paksustolerants Soome vineeri- käsiraamatust, mm
9	I-I-I-I	Baasvineer	Kask (2)	Kask (3) piki- jätkatud spoon (liimilehed)	Kask (2) õmmeldud lühike vahespoon	680	6,1	8,8–9,5 (keskm 9,2)
	I-I-I-I	Combi vineer	Kask (2)	Kask (3) piki- jätkatud spoon (liimilehed)	Kuusk (2) treitud lühike vahespoon 1300 mm	620	5,6	8,8–9,5 (keskm 9,2)
	I-I-I-I	Combi mirror vineer	Kask (2)	Kuusk (3) treit- tud pikk vahe- spoon 2500 mm	Kask (2) õmmeldud lühike vahespoon	620	5,6	8,8–9,5 (keskm 9,2)
	I-I-I-I	Twin vineer	Kask (2)	Kuusk (2) treit- tud pikk spoon 2500 mm	Kuusk (2) treitud lühike spoon 1300mm	560	5,0	8,8–9,5 (keskm 9,2)
	I-I-I-I	Okaspuu vineer (õhuke spoon)	Kuusk (2)	Kuusk (2) treit- tud pikk spoon 2500 mm	Kuusk (2) treitud lühike spoon 1300 mm	520	4,7	8,8–9,5 (keskm 9,2)
	-I-	Okaspuu vineer (paks spoon)	Kuusk (2)	-	Kuusk (2) treitud lühike spoon 1300 mm	460	4,1	8,4–9,0

I kasespoon õmmeldud

– kasespoon pikijätkatud

– pikk kuusespoon

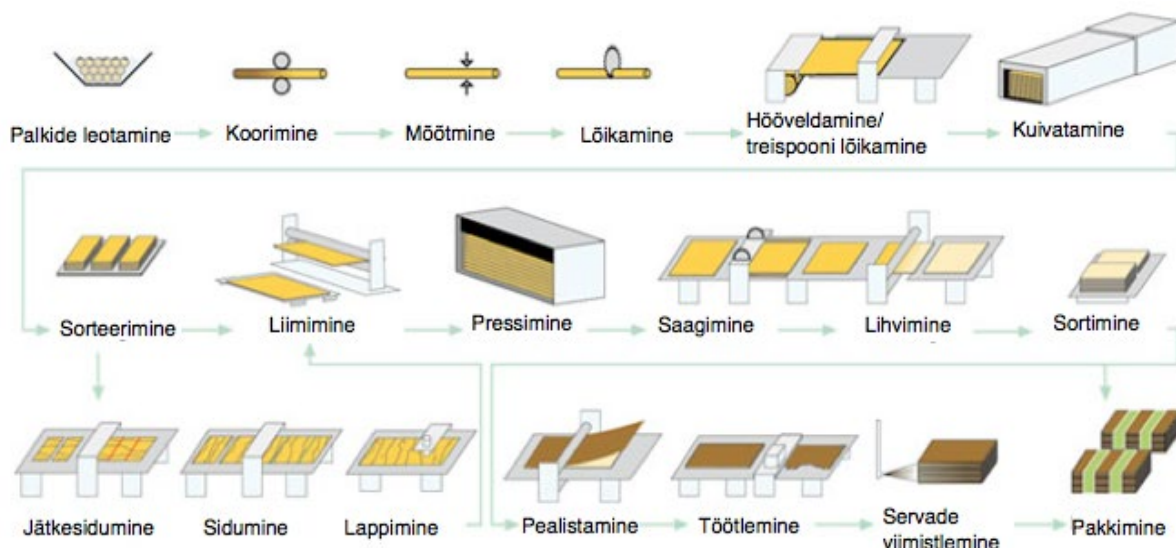
I lühike kuusespoon

5.9.2 Vineeri tootmisprotsess

Vineeri valmistamise põhiprotsess ei ole alates 19. sajandi lõpust palju muutunud. Olulised muutused on toimunud tööohutuses ja tootlikkus on kiiresti kasvanud. 20. sajandil toimunud tehnoloogia kiire areng ja tootmise automatiseerimine on vähendanud 1 m³ vineeri tootmiseks kulutatud töötundide arvu märkimisväärselt: 1940. a kulus 1 m³ vineeri tootmiseks 70 töötundi, 1960. a 25 töötundi, 1980. a 10 töötundi, automatiseerimise järel 1990. a 5 töötundi ning 2020. a 2 töötundi.

Vineeri valmistamine toimub etapiti, kus palkidest toodetakse spooni ja nendest edasi vineeri. Eesmärk on tooraine maksimaalselt ära kasutada. Oluline on veenduda, et vineeri tugevus- ja kvaliteedinõuded oleksid täidetud kõikides tootmisetappides. Vineeri tootmisprotsess on pikk

ja seda viiakse läbi mitmes automatiseeritud etapis. Operaatorite ülesanne on jälgida protsesse ning tagada masinate ja seadmete tõrgeteta toimimine. Vineeri tootmisprotsess on toodud joonisel 5.42.



Joonis 5.42 Vineeri tootmise skeem. Allikas: UPM-Kymmene Oyj

Tabelis 5.6 on toodud puidu keskmine kasutusmäär vineeritehases, arvutused on tehtud koorega palkide mahu järgi: 1 m³ kasevineeri tootmiseks on vaja 2,86 m³ palki ja 1 m³ okaspuuvineeri tootmiseks 2,22 m³ palki.

Tabel 5.6 Puidu keskmine kasutusmäär vineeritehases

Protsess	Kask, %	Okaspuu, %
Puittooraine söötmine vineeritehasesse	100	100
Kooritud palgid pikijätkamiseks	89	90
Spoonipakud treimisele	85	89
Märgspoon kuivatamisele	57	66
Spoon kuivatist välja	50	58
Spoonipaketi koostamine	43	54
Vineeri pressimine	41	51
Valmisbaasvineer	35	45
Saagikus	35	45

5.9.3 Spooni sortimine

Pärast kuivatamist sortitakse spoon kvaliteedi järgi kvaliteediklassidesse. Sortija tuvastab treimisest või kuivatist tulnud spooni kvaliteedi ja määrab lõigatava tüki laiuse. Spoonilint tükeldatakse pikisuunas vertikaalgiljotiiniga ja lõikamist juhitakse skanneri abil, mis tuvastab spoonilindis olevad augud ja optimeerib spoonilehtedeks lõikamise (joonis 5.43).



Joonis 5.43 Spooni vigade identifitseerimine skanneriga. Allikas: Raute Oyj

Seejärel sortitakse spoonilehed järgnevalt:

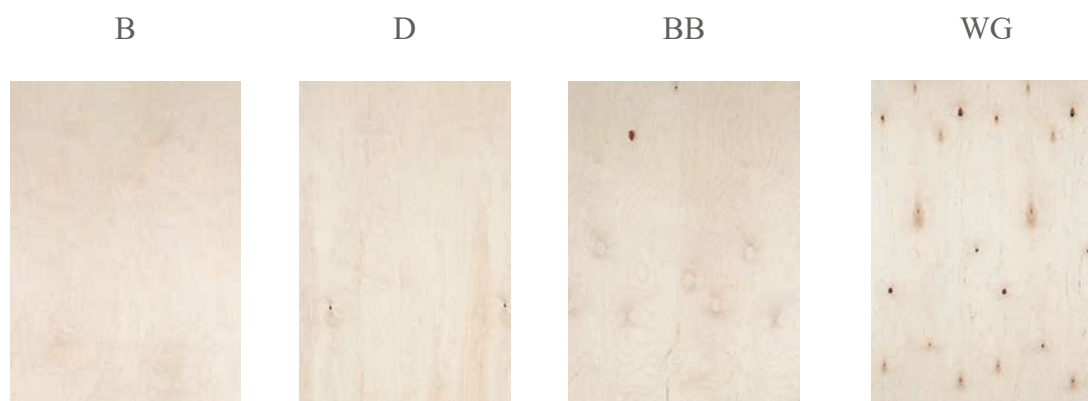
- pinnaspoon;
- vahekihtide spoon, tavaliselt kvaliteediklass 2–4;
- paigatav pinnaspoon;
- õmmeldavad lehed;
- jätkatav pinnaspoon;
- otsast jätkatav spoon.

Erinevate spooni kvaliteediklasside väljatulek on toodud tabelis 5.7 ja näidised joonisel 5.44.

Tabel 5.7 Kuivatatud ja sortitud spoonide jagunemine kvaliteediklassidesse

Klass	Kasespooni väljatulek, %	Kuusespooni väljatulek, %
A	0,1	—
B	1	—
S	2	16
BB	23	79
WG	11	5
Vahespoon	63	—

Spoonilehed viiakse kindlaksmääratud laadimistaskusse (joonis 5.45) ja virnastatakse alusplaatidele või euroalusele.



Joonis 5.44 Spooni kvaliteediklasside näidised. Allikas: Handbook of Finnish Plywood



Joonis 5.45 Spooni sortimise laadimiskeskus. Allikas: Raute Oyj

5.9.4 Spooni õmblus, jätkamine ja paikamine

Spoonide õmblemisel saab eri laiusega spoonitükid kokku panna vajaliku laiusega lehtedeks. Õmmeldud spoonilehti kasutatakse peamiselt vineeris kuiva vahespoonina. Olemas on ka vajadus ja tehnika pinnaspoonide õmblemiseks. Uusim meetod on märja spoonide õmblemine. Spoonide õmblemise eesmärk on toota spoonilehti, mis sobiksid oma mõõtmetelt ja omadustelt liimimiseks, ning seeläbi parandada puidu tooraine maksimaalset ärakasutamist kitsaste ribaspoonidena (joonis 5.46). Üksikute spoonitükkide käsitlemine on keeruline ja sageli võimatu, kuid kokkupanduna on need suured spoonilehed, mis hõlbustab eriti protsessi automatiseerimist. Spoonide väljatuleku parandamise teisteks viisideks on spoonide jätkamine ja paikamine. Selle tulemusena paraneb kehva spooni kasutegur ja laieneb vineeri kasutusvaldkond, kuna on võimalik toota treimispikkusest suuremaid vineere.



Joonis 5.46 Treimisel tekkiv ebaühtlane spoon.

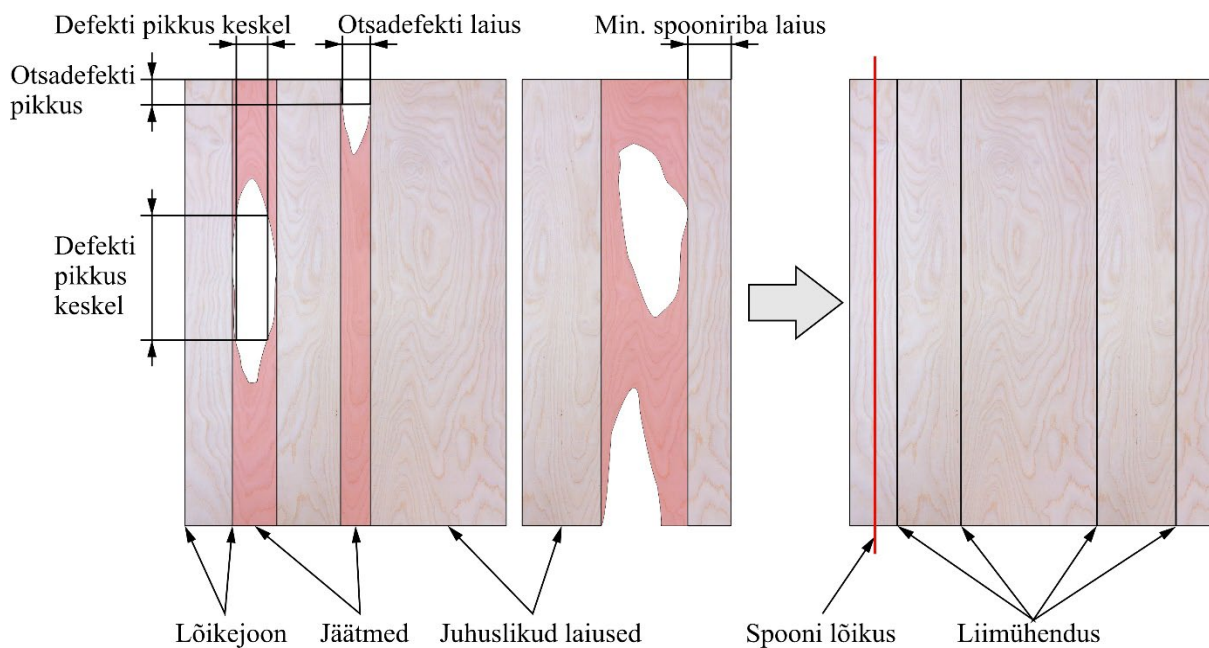
Kombineeritavad spoonid peavad vastama kehtestatud niiskuse- ja paksusnõuetele. Nende kvaliteet peab vastama ka vahespoonide üldistele kvaliteedinõuetele. Spoonide liited/õmblused peavad taluma edasist käitlemist ning olema ülekatteta ja suurte lõhedeta. Kattuvused põhjustavad valmis vineeripaneelide paksuse muutusi ja eriti õhemate paneelide korral muutub ülekattumine lihvimisel nähtavaks. Spoonipaketi koostamiseks kokku pandud spoonilehed peavad olema korralikult virnastatud. Õmmeldud spoonide pikkus on üldjuhul võrdne treitud spoonipaku pikkusega ja spooni saab õmmelda mis tahes protsessis nõutavaks laiuseks.

Üks ja sama spoon võib liikuda töötlemisel läbi mitme tööetapi. Lisaks kuivatamise ajal toimuvale sortimisele kuulub spooni kvaliteedi kontrollimine ja sortimine peaaegu kõikide spooni

töötlemistappide juurde. Töötlemise käigus töödeldakse üksikute tükkidena mitut spooni ning seetõttu tulebki pöörata suurt tähelepanu töötlemise tootlikkusele ja spooni efektiivsele kasutamisele. Kuivatatud ja sortitud spoonidest suundub töötlemisse spoone järgmiselt: paikamisele 22%, õmblemisele 25% ja jätkamisele 35%.

Spoonide ühendamisel liidetakse spoonipoognad või sagedamini ka ribaspoonilehed üksteisega liimimise teel või spetsiaalse sulatuspaelaga lehtede servadest puidukiusuunaliselt (joonis 5.47). Spoonide õmblemine on tüüpiline töötapp Põhjamaades vineeri tootmisel, kus kasutatakse väikese läbimõõduga pakkusid. Ühendatavateks spoonideks on:

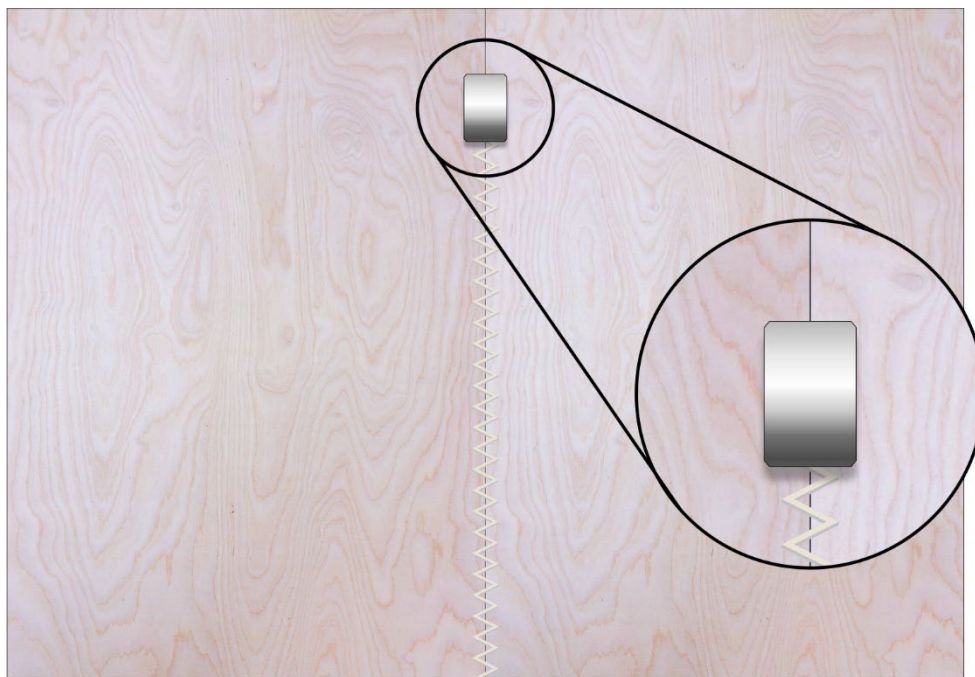
- treimise alguses ebaühtlasest spoonivaibast lõigatud lehed;
- spoonid, mis ühendatakse suuremate vineeriplaatide tootmiseks;
- tootmisest tulnud rikutud lehed.



Joonis 5.47 Spooni õmblus.

Spoonil on vaja õmmelda selleks, et see sobiks oma mõõtmetelt ja omadustelt liimimiseks. Lisaks aitab spooni õmblemine suurendada vineeritahvli mõõtmeid ja seeläbi ei ole vineeri mõõtmed piiratud treimispikkusega. Vineeritööstuses on oluline tooraine maksimaalne väljatulek (tabel 5.7). Spooni õmblemisel eristatakse vahespoonide õmblemist, märja spooni õmblemist ja pinnaspoonide õmblemist.

Vahespoon õmblus. Vahespoon õmblemisel liidetakse spooniribad või spoonilehed kokku liimimise teel ja/või termooniidiga (joonis 5.48). Vahespoon õmblemisel saab ära kasutada kitsaid ribaspoon lehti. Sisekihtides kasutatav spoon ei pea olema pinnaspooniga samaväärse kvaliteediga. Koostatud vahespoonilehti kasutatakse vineeris kuivade vahespoonidena. Termooniidiga õmbluskohad või liimliited takistavad spooni servade kattumist. Liimipunktid parandavad spooni pikisuunalist stabiilsust ja termooniidiga liimühendus parandab külgsuunalist spoonilehe tugevust.



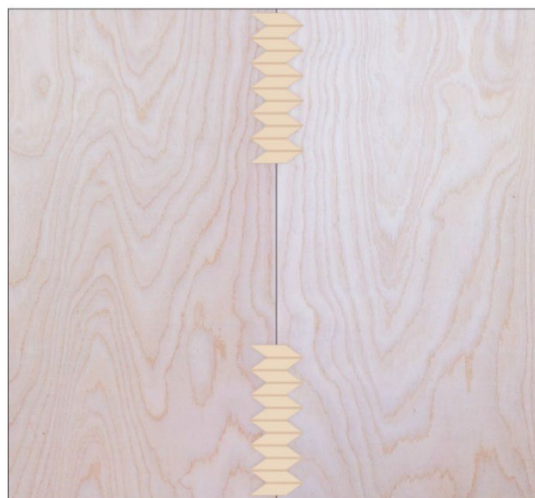
Joonis 5.48 Spooniõmblus termooniidiga.

Spoonidefektid tuvastatakse kaameraga ja seejärel lõigatakse defektigiljotiiniga välja. Kui spoonimatt on saavutanud vajaliku laiuse, lõigatakse see mõõtu lehegiljotiiniga. Okaspuuspoonid virnastatakse tavaliselt vaakumvirnastajaga ja kasespoonid enamasti külgsuunas sissetõmmatavate kätega. Spoonikoostaja tootlikus on umbes 400 lineaarmetrit tunnis (400 mm laiuse spoonilehe koostamisel). Spoonikoostaja kiirus on tavaliselt 45 m/min. Spoonidefektide väljalõikamisel on võimalik spooni õmbluseks ära kasutada vähemalt 50 mm laiuseid spooniribasid. Kaasaegsed liinid koosnevad moodulitest, mis võimaldavad erinevaid paigutusi tehases. Spoonikoosteseade on toodud joonisel 5.49.



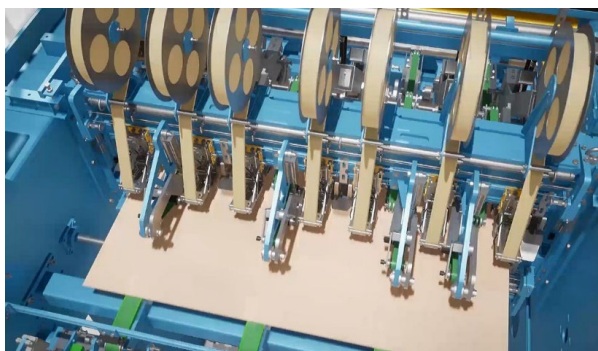
Joonis 5.49 Spooni õmblusmasin. Allikas: Heinrich KUPER GmbH

Märja spooni õmblus. Spoonitükid, mis jäävad alles pärast seda, kui spoonigiljotiin on defektid välja lõiganud, saab enne kuivatamist kokku panna täislehtedeks. Ka mujal protsessis tagasi lükatud spooni saab selliselt kokku ühendada. Märja spooni õmblus sarnaneb kuiva spooni õmblusega. Nende kahe meetodi erinevus seisneb selles, kuidas spoonitükid on omavahel ühendatud. Märja spooni ühendamiseks kasutatakse termoniidi asemel kleeplinti (joonis 5.50). Märja spooni õmblus parandab kuivati tõhusust, kuna kuivatatakse ainult täislehti. Kuivati täituvus on selliselt kõrge. Märja spooni õmblus parandab ka spooni väljatulekut, järgnevates protsessides saab kasutada suuremat kogust treitud spooni.

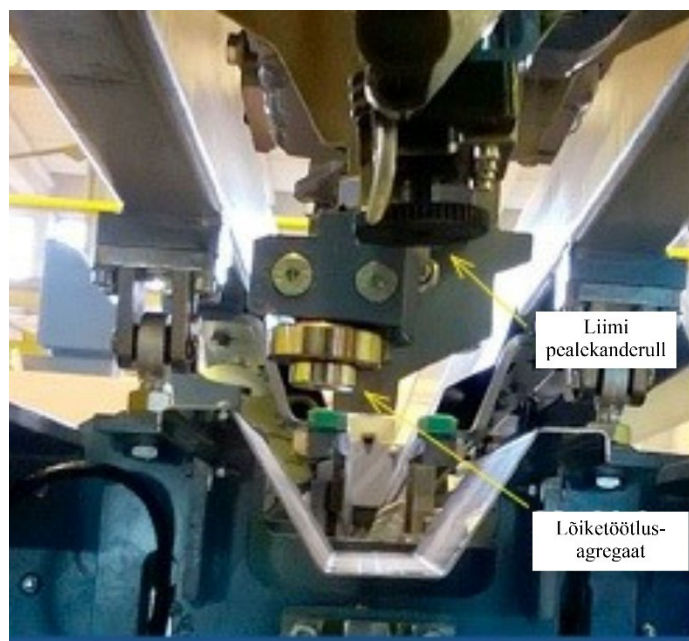


Joonis 5.50 Märja spooni õmblus.

Märja spooni õmbusliinil liiguvad spoonid läbi kaamera alt, mis tuvastab spoonidefektid. Vigased osad eemaldab lõikur automaatselt kaamerast saadud teabe põhjal. Värvikaamera kõrval kasutatakse ka paksuse mõõtmist. Ülejäänud spoonid ühendatakse kleeplindiga. Näiteks 1600 mm pikkusele spoonide ühenduskohale paigutatakse kuni seitse kleeplindi riba. Vähim õmmeldava märja spooni laius on 150–200 mm. Märja spooni koosteseadme tootlikus on umbes 400 lineaarmmeetrit tunnis (400 mm laiuse spoonilehe koostamisel). Tööstuses on olemas ka kombineeritud liinid märjaspooni ja kuiva spooni õmblemiseks (joonis 5.51).



Joonis 5.51 Märja spooni koosteseade. Allikas: Raute Oyj



Joonis 5.52 Pinnaspooni õmblus. Allikas: Raute Oyj

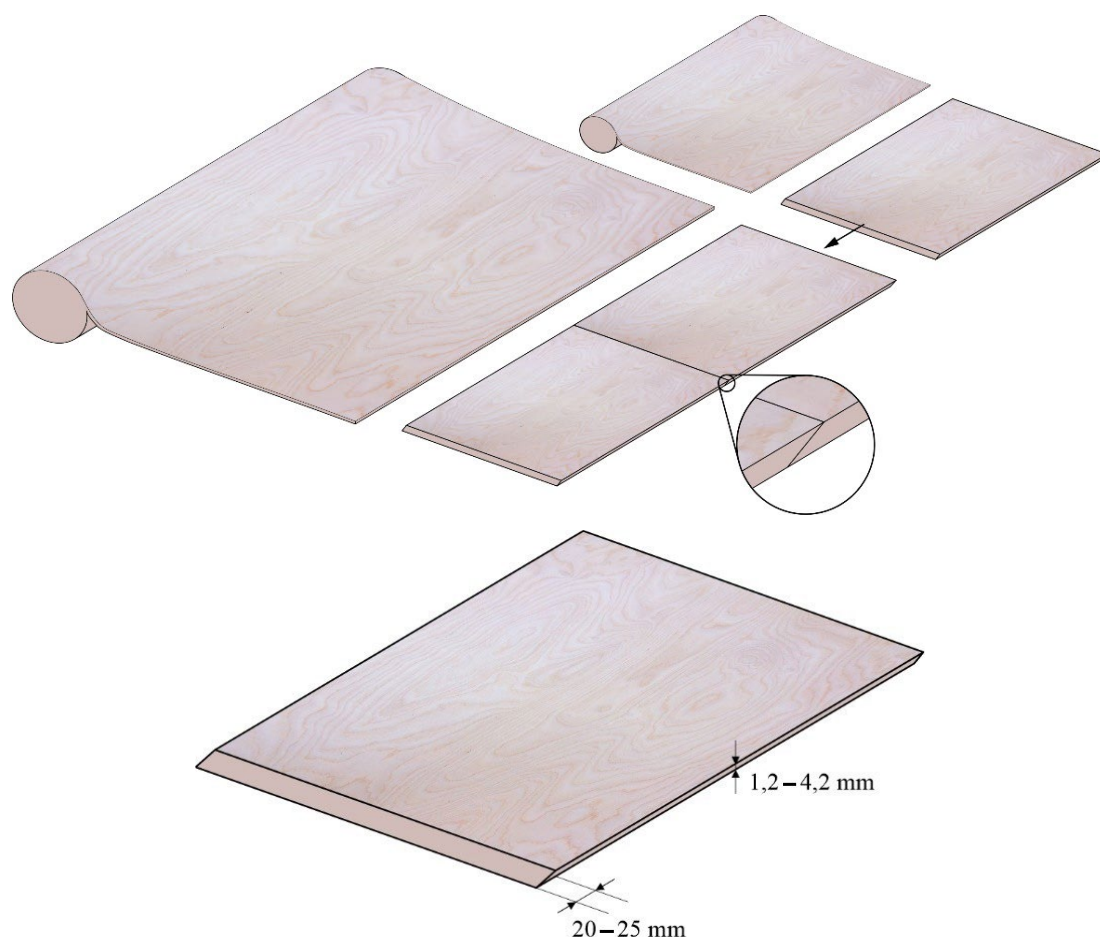
Pinnaspooni õmblemine. Pinnaspooni õmblus tehakse sarnaselt kuiva vahespooni õmblusega (joonis 5.52). Peamine põhimõtteline erinevus seisneb kasutatava spooni ja liite kvaliteedis. Kõik servad lõigatakse enne liimimist, liim kantakse peale kogu serva ulatuses.

Liide pressitakse kuumpressis. Madalama klassi spoonidest defektsete osade eemaldamine võimaldab pinnaspoonide optimaalset kasutamist. Kõik õmmeldud pinnaspoonid peavad vastama pinnaspoonide kvaliteedinõuetele.

Spoonide jätkamine. Jätkamise eesmärk on selliste spoonide tootmine, mille pikkus on suurem kui treimistoorikute pikkus. Selleks tehakse jätk spooni otsa pikikiudu. Nii on võimalik liimida suuremõõtmelisi vineeriplaate. Enamasti on spoonide jätkamiseks ehitatud liinid automatiseeritud. Sellest hoolimata tuleb nõutud kvaliteeditaseme saavutamiseks kontrollida jätkukohtade kvaliteeti ja jätkamismasinatööd. Kasevineeritehastes moodustavad vineeri sisekihtides kaldliitega spoonid 45% spooni kogusest ristikihis, kui iga teine kiht on valmistatud kaldliitega spoonist. Okaspuuvineeritehases piisab 2,54 m spooni pikkusest vineeri ristikihist, mistõttu okaspuuspoonid on harva kaldliitega ühendatud.

Täisautomaatliinidel saadakse ühendamiseks vajalikud lehed automaatselt kaameraga skaneerimise teel, kus kontrollitakse spoonide kvaliteeti ja kuju. Ristküliku kuju on oluline edukaks kaldliitega ühendamiseks. Poolautomaatliinidel, kus tavaliselt ei ole kaameraga skaneerimist, sööda spoonilehed kaldliite tegemiseks ette söötur või operaator.

Spoonide jätkamiseks lõigatakse spooni otstesse nurga all kaldliide, tänu millele kontaktpind suureneb (joonis 5.53). Tavaliselt piisab 1,5 mm kasespoonide töötlemisel ühest kaldliite saest 4–5 kaldliite pressi jaoks. Kaldliited saetakse kahe paari ketassaega. Kaldliite pikkus on 1,5 mm kasespoonide puhul tavaliselt 20–25 mm (joonis 5.53). Seejärel kantakse töödeldud pinnale liim ja toimub kuumpressimine. Liim kantakse kaldliite ülaosale kas triipude või rullidega. Liimid on samad mis vineeril, enamasti fenoolformaldehüüdliim, kuid läbipaistvate liimijoonte tootmiseks kasutatakse ka karbamiidformaldehüüd- või melamiinformaldehüüdliime. Kaldliitega saetud ja liimitud spoonid liiguvad edasi pressimisele, kus vastupidised kaldliited asetatakse täpselt üksteise peale ja ühenduskohad pressitakse presstalde vahel kokku. Pressimisaeg on paar sekundit, sõltuvalt liimi omadustest ja spooni paksusest. Kaldliitega saetud lehtede söötmissükkel võib ulatuda kuni 36 tk/min, mis tähendab, et kaheksatunnise vahetusega on võimalik nelja pressi liiniga pressida 12 000 kaldliidet. Ühe tehase töövahetuse tootlikus 1,5 mm paksuse ja 1600 mm laiuse kasespoonide kaldliite tegemisel on umbes 40 m³. Kui spoon on saavutanud vajaliku pikkuse, lõigatakse see giljotiiniga mõõtu ja virmastatakse. Spoonivirmade kõrgus on tavaliselt 1200–1500 mm ja need on paigutatud tõsteplatvormidele, mis langevad iga lehe järel allapoole.



Joonis 5.53 Pikijätkamise spoon ja pikijätku mõõtmed.

Jätkatud spoon peab vastama järgmistele nõuetele:

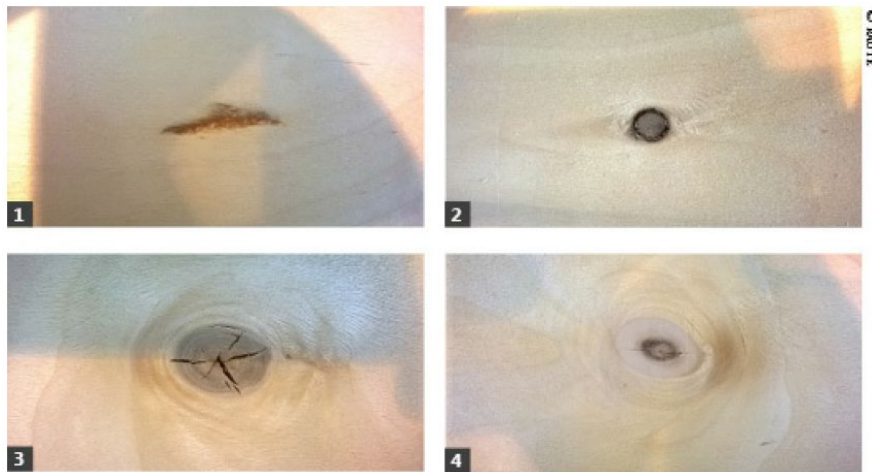
- jätkukoht peab taluma vineeri kasutusolusid ja vineeri töötlemist järgmistes tööetappides;
- jätkukoha ja spoonide vahel ei tohi olla liiga suuri paksuse erinevusi;
- jätkamiskoht peab olema sile ega tohi olla põlenud (et jätkatud spooni saaks liimimida);
- spoon peab olema pärast kärpimist ja kaldsaagimist piisavalt pikk ja lai, kui mõlema serva kogupikkuses pole kaldeid, tuleb need praakida;
- spoonilehed peavad olema piisavalt tugevad, vähese tugevusega spoon puruneb töötlemisel;
- spooni paksus peab olema õige (kui liinile satub õhem spoon, ei tule jätkud õige kvaliteediga. Kaldliite paksuse lubatud kõikumine on $\pm 0,10-0,12$ mm);
- spooni kvaliteet peab vastama „normaalse“ sisekihispooni kvaliteedinõuetele (tavaliselt on parema kvaliteediga sisekihispoon);
- spoon peab olema piisavalt ühtlane (vastasel juhul on kaldlõigete kvaliteet kehv).

Tabel 5.8 Probleemid ja defektid spooni jätkamisel

Defekt/probleem	Võimalik tagajärg
Lühike spoon	Täismõõdus lehte ei saa teha
Õhuke spoon	Pressimissurve ei pruugi olla piisav kogu jätku ulatuses
Katkised või pragunenud spooniservad	Kalded pole kvaliteetsed
Liiga kõrge pressimistemperatuur Liiga pikk pressimisaeg	Põlenud jätkud
Kaldpinnal on ebapiisavalt liimi Liim kuivas enne pressimist Liiga kiire liimimine (liiga lühike aeg enne pressimist)	Nõrk liimliide
Liimidüüs on osaliselt ummistunud või on liimijälg vales kohas	Halb liimi pealekandmine
Kaldpinnal on liiga palju liimi	Spoon jääb kuumpressi plaatidele kinni

Spoonide paikamine. Kuna vineeri tootmisel ei ole pinnaspoonide väljatulek vajaduste rahuldamiseks piisav, saab pinnaspoonide kogust suurendada spoonide defektide parandamise (paikamise) teel. Mida õhemad on valmistatavad vineertahvlid, seda suurem on vajadus pinnaspoonide järele. Mida väiksem on vineerpaki läbimõõt, seda väiksem on puhta pinnaspoonide väljatulek. Kasevineeritehases paigatakse veidi üle 10% spoonide toodangust. Vastavalt vineeri kvaliteedinõuetele, saab enamiku pinnaspoonide omadusi parandada nende paikamisega. Paigad pole lubatud ainult kõrgema, A- ja B-kvaliteediga vineerides. Kvaliteedis S võib olla mõningaid paikaseid ja kvaliteet BB on peamine paigatav kvaliteediklass. Ka madalamas kvaliteediklassis WG võib olla paikaseid. Suurem osa kasevineeritoodangust on kattedega vineer, seega on ka suurem vajadus pinnaspoonide paikamise järele.

Spoonide paikamise käigus eemaldatakse spooni pinnalt defektid, nt oksad, väikesed augud ja lõhed, ning koor (joonis 5.54). Selleks tuleb teha spooni sisse stantsiga auk, kuhu kinnitatakse terve spoonist paik. Paiga püsimise tagamiseks kasutatakse liimi või liimipaberit. Paikamine tõstab pinnaspoonide kõrgemasse kvaliteediklassi. Kasutatav spoonide paikamise meetod sõltub puiduliikidest ja vineeriturst. Soomes, Balti riikides ja Poolas paigatakse tavaliselt 1,5 mm paksust kasespoonide, Põhja-Ameerikas aga peamiselt 2,0–4,2 mm paksust okaspuuspoonide.



Joonis 5.54 Spoonidefektid, mis tuleb paigata: 1 – niin või koor, 2 – must lahtine oks, 3 – kinnine mädaoks, 4 – umboks.

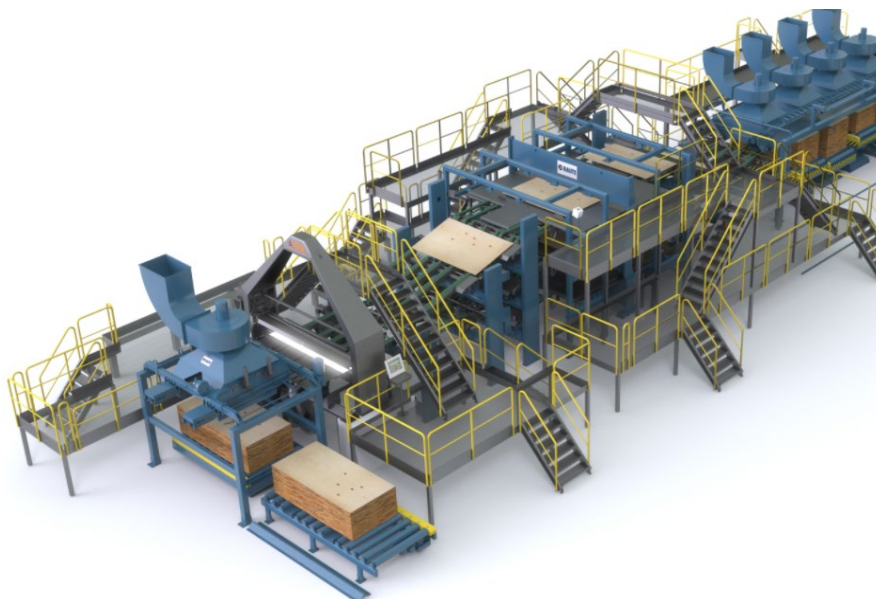
Tänapäevastes tehastes on kogu protsess automatiseeritud ja spoonide analüüs toimub masin-
nägemise tuvastussüsteemide abil, mis analüüsivad spoonidefekte vastavalt määratud para-
meetritele. Süsteem kontrollib paikamispäid ja optimeerib nende marsruuti spooni pinnal. Iga
kvaliteedi jaoks sisestatud parameetreid on lihtne muuta, et need vastaksid kliendi nõuetele.
Näiteks pakub ettevõtte Raute Oyj masinnägemise süsteemi VDA (*Veneer Defect Analyzer*),
mis tuvastab paigatava spooni defektid ja ühtlasi sordib spooni kvaliteediklassidesse (joonis
5.55). See tagab, et spoon vastab kõigile kvaliteedistandarditele. Kaameratehnika areng on
olnud kiire ja pildi analüüsimine võtab vaid millisekundi. Kõige arenenuma F-pildistamise
(fluorestsentskujutise) korral tuvastatakse defekte ka altpoolt, mis muudab nt mikrolõhed sel-
gelt nähtavaks.



Joonis 5.55 Spoonidefektide tuvastamine Raute Oyj VDA masinnägemise süsteemi poolt.
Allikas: Raute Oyj

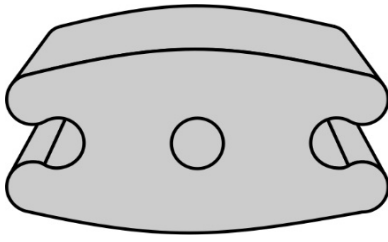
Paikamisliinil (joonis 5.56) on paikamispea kinnitatud statsionaarsele portaalile. Spoonid tuuakse lintkonveieriga paikamisjaama ja joondatakse. Iminappaaratsitega robot liigutab spooni määratletud marsruudil. Liin võib sisaldada mitut tasandit, millel üheaegselt paigatakse spooni. Kui defektne ala on suurem kui ühe paiga katvus, võib kasutada kõrvuti või üksteise järel topeltpaikasid. Defektideta lehed mööduvad paikamisjaamast ja jätkavad teed otse virnas-tamisse.

Väiksemate spoonide korral kasutatakse ühte paikamispead ühe taseme kohta, suuremate lehtede jaoks aga kahte paikamispead. Spooni liigutamiseks mõeldud robotid on paigutatud paikamisportaali mõlemale küljele, nii et esimene robot liigutab lehe esimese poole esimese paikamispea alla, misjärel teine robot võtab spooni ja liigutab selle teise paikamispea alla.

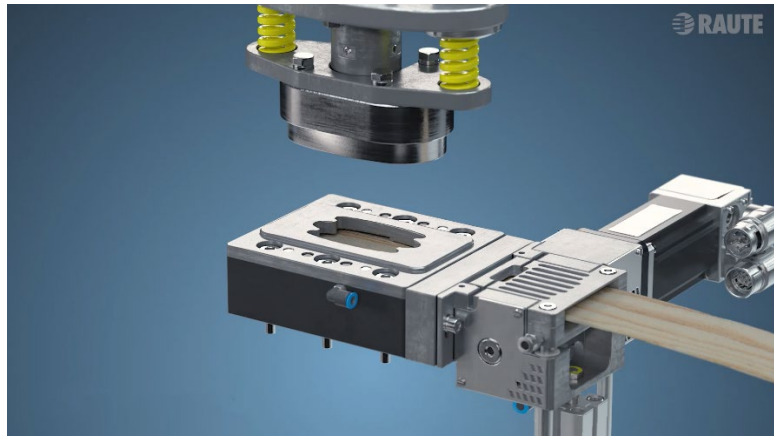


Joonis 5.56. Spooni paikamis- ja sortimisliin. Allikas: Raute Oyj

Paikamispead (joonised 5.57 ja 5.58) on varustatud ülemiste ja alumiste löikeriistade või stantsidega. Ülemine stants lööb defekti spooni pinnalt välja. Defektne spoonitükk eemaldatakse vaakumi ja plaastririba etteandeliigutuse abil. Alumine stants lööb automaatselt etteantud spooniribast välja paiga otse paigatavasse auku spooni pinnal. Paikamispaid veavad servomootorid. Sel ajal, kui spooniriba liigub edasi, eemaldatakse kasutatud spooniriba osa prügikasti. Spooniribade söötmine salvedesse on ainus manuaalne tegevus tänapäevalisel paikamisliinil. Spooniribad on enne saetud vajalikule laiusele ja pistetakse kimpudena salvedesse. Paikamispeade mõõtmete tolerantsid on nii täpsed, et paigad jäävad spoonis omaale kohale ega vaja üldiselt lisakinnitusi. Selleks peab olema paikadeks kasutatava spooni niiskus olema sobiv. Võimalik on veel lisaks kasutada paiga kinnitamiseks kleeplinti või sulaliimi tilkasid.

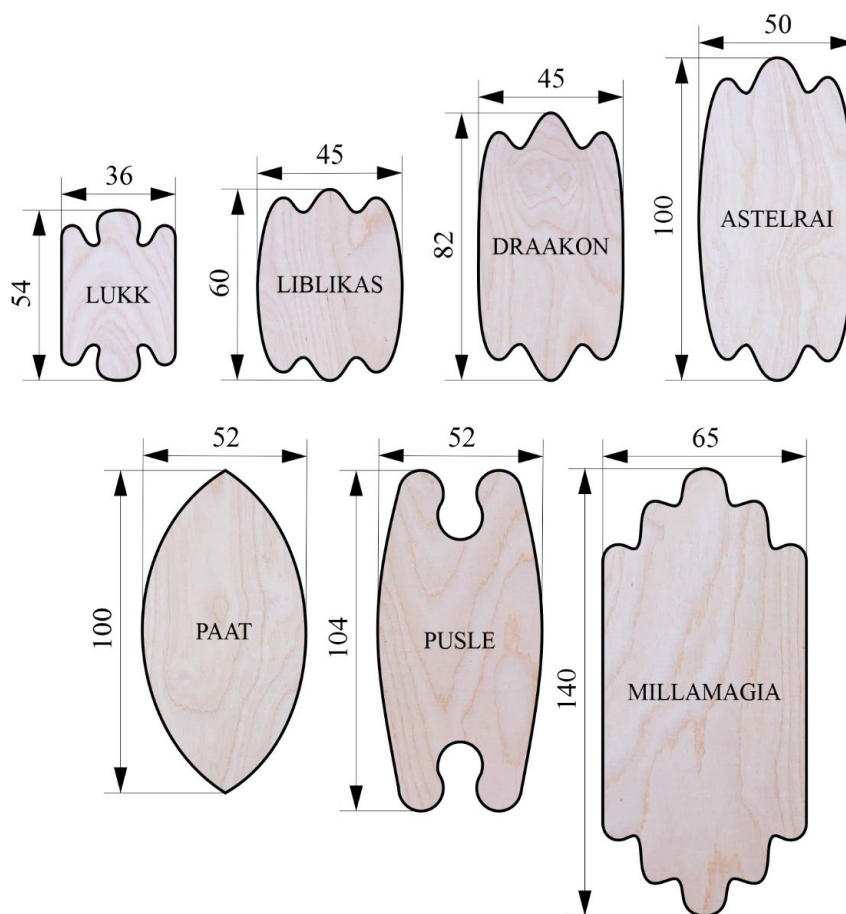


Joonis 5.57 Spooni paikamis-pea.



Joonis 5.58 Spooni paikamisseade. Allikas: Raute Oyj

Paikade suurus ja kuju võib varieeruda (joonised 5.59 ja 5.60). Kõige levinum paiga tüüp on liblik-tüüpi paigad, sest need kinnituvad tihedalt pinnaspooniga ega hüppa. Liblikatüüpi paigad tagavad suurema kontaktpinna ja parema nakkuvuse kui ovaalsed paigad. Liblikatüüpi paikadega on võimalik kokku hoida kuni 25% paikamismaterjali kulust võrreldes paaditüüpi paikadega.



Joonis 5.59 Spoonipaikade kujud.



Joonis 5.60 Spooni liblikpaigad. Allikas: Raute Oyj

Nõuded paigatud spoonile on: paigad on spooniga samas tasapinnas, paiga kiudude suund ühtib paigatava spooni kiudude suunaga, paiga värvus on samasugune spooni omaga, paik on tihedalt oma pesas kinni ja puuduvad paikade ülekatted (joonis 5.61).



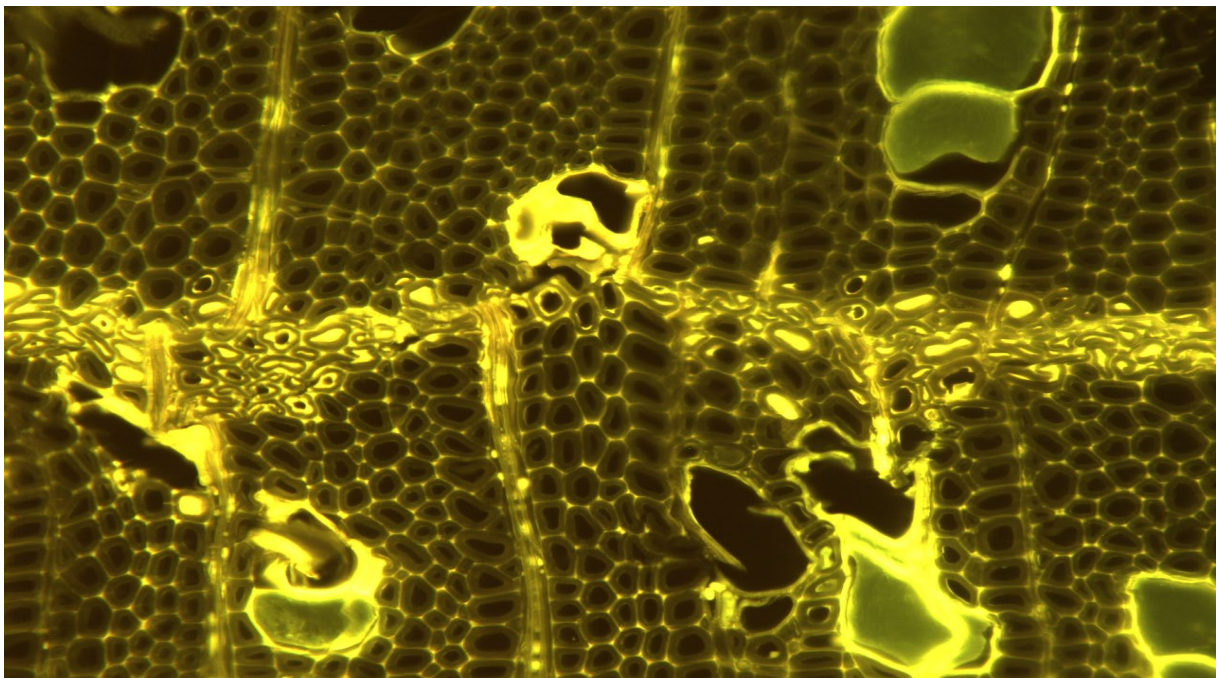
Joonis 5.61 Spoonipaikade vale paigutus.

Nõuded paigatavale pinnaspoonile on: kvaliteet vastab nõuetele, pole liiga kõrge kvaliteediga (pole A–S), pole liiga madala kvaliteediga (pole C), pole vaja liiga palju paigata (kuni > 10 paika/m²), pole liiga suuri defekte, on paigatud vastavalt kvaliteedinõuetele ja on hästi virnas-tatud.

5.9.5 Vineeri liimimine

Pärast spoonide klassifitseerimist ja töötlemist on vineeri valmistamise järgmine etapp spoonide liimimine ja ladumine vineeritoorikuteks. Spoonide ladumisskeemis kombineeritakse pinnaspoonid ning pikad ja lühikesed vahespoonid omavahel vineertahvliks. Kasevineeris on pinnaspoonid tavaliselt paigutatud ristisuunas ja okaspuuvineeris pikisuunas plaadi pikkusega.

Vineeri tootmine tähendab plaadi valmistamist liimimise teel, kui spooni pinnale kantakse liimikiht ning spoonikihid seotakse kokku kõrgendatud temperatuuri ja rõhu all. Vineeri liimimine on tootmise tähtsaim tööetapp, kuna plaadi omadused, nt tugevus ja vastupidavus erinevates oludes on vineeri kasutuskõlblikkuse hindamisel otsustavad tegurid. Liimimise eesmärk on siduda kaks või enam detaili (spooni) liimiga (liimiseuga) kokku. Liim peab märgama mõlemat pinda. Liim peab spoonidesse tungima 3–4 rakukihi paksuselt (vt joonis 5.62). Valmis liimliide on tugevam kui selle ümber olev puit.



Joonis 5.62 Liimi tungimine puidu rakkudesse.

Vineeri liimimisel kasutatakse vedelaid liime. Liimid koosnevad vaigust, kõvendist ja veest. Vineeri valmistamisel kasutatakse peamiselt vees lahustuvaid fenoolformaldehüüd- ja karbamiidformaldehüüdvaike. Siseoludes kasutatava vineeri (*interior plywood*) liimimiseks kasutatakse karbamiidformaldehüüdliimi. Karbamiidliimid vajavad lühikest pressimisaega ja on odavad, kuid neil puudub veekindlus ning valmistoodangust eraldub vaba formaldehüüdi. Välioludes kasutatakse vineeri (*exterior plywood*) liimimiseks fenoolformaldehüüdliime.

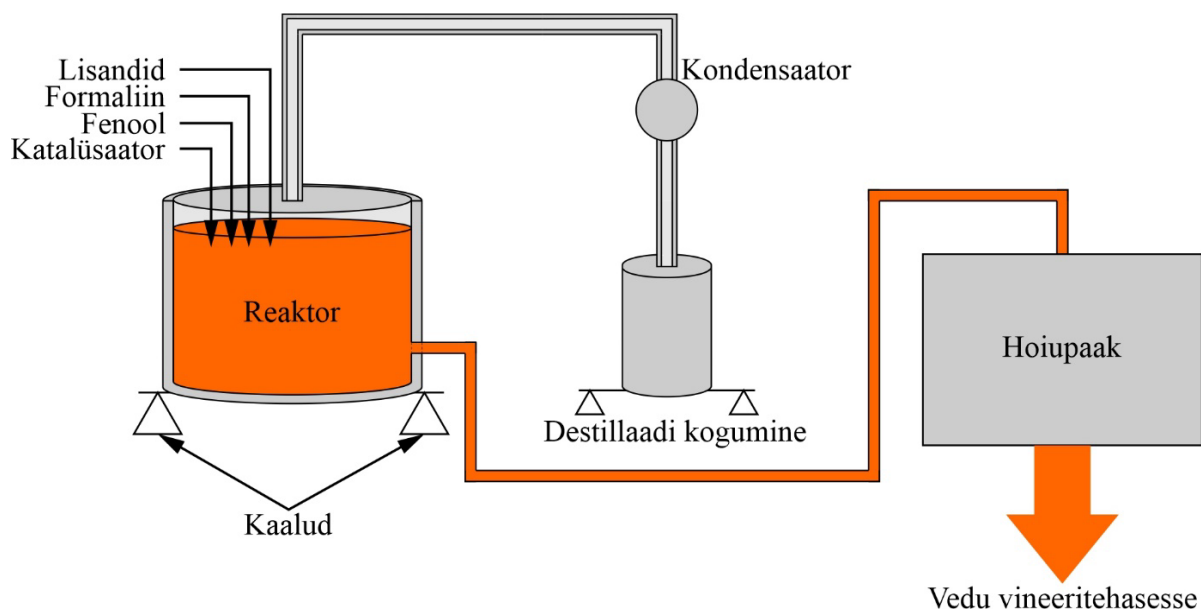
Fenoolliidide puhul on pressimisaeg umbes kaks korda pikem ja nad on kallimad, kuid neid iseloomustab suur niiskuskindlus ning valmistoodangust ei eraldu vaba formaldehüüdi. Liimkilet kasutatakse nt käsitöövineeri jaoks õhukeste spoonide liimimisel. Fenoollüümi ja karbamiidliimi omadused on toodud tabelis 5.9.

Tabel 5.9 Vineeritööstuses kasutatavate liimide omadused

Parameeter	Fenoollüüm	Karbamiidliim
Kuivainesisaldus, %	41–52	65–67
pH	11,0–12,5	7,8–8,6
Säilitusaeg 25°C, kuud	3	1
Spoonide niiskuskus, %	6	6
Pealekantav kogus, g/m ²	145–165	140–160

Vineeriliimidest levinuim on fenoollüüm, mille põhikoostisosa – fenoolvaiku – saadakse fenooli reaktsioonil formaldehüüdiga (joonis 5.63). Mainitud kondensatsioonireaktsioon toimub vesilahuses leeliselistes tingimustes, mis tekitatakse naatriumhüdroksiidiga. Karbamiidvaikude tootmine toimub sama põhimõtte järgi. Vaik suunatakse liimitehasesse olekus, kus vaik on vees lahustuv ja veel reaktsioonivõimeline. Vineeritehasesse lisatakse vaigule kõvendit ja kõvenemine viiakse lõpuni pressis kõrgel temperatuuril. Liimühendus moodustub sellisel juhul põhimõtteliselt ühest suurest liimimolekulist.

Kõvendid on pulbrilised ained, mis sisaldavad lisaaineid nagu puidujahu ja/või kriit, täiteaineid nagu nisujahu ja/või tärklis ning katalüsaatorit. Katalüsaatorina on sageli kasutusel naatriumhüdroksiid (NaOH). Muudeks katalüsaatoriteks võivad olla tanniin, paraformaldehüüd, kaaliumkarbonaat (K₂CO₃), resortsinool, estrid, ammoniaak, amiinid, kaaliumhüdroksiid (KOH). Kõvendi valmistab liimitootja, lähtudes vineeritehase nõudeist. Kõvendite ülesanne liimise on luua õige viskoossustase ja hoida seda, vähendada liimliite kahanemist, muuta liimliide elastsemaks ja paremini täitvaks, parandada pressimiseelset nakkuvust ning kiirendada ja/või aeglustada liimi läbitungimist. Kõvendi niiskussisaldus on tavaliselt 3–10% ja see tarnitakse vineeritehasesse puisteveosena punkrisse või suurtes 1000 kg kottides.



Joonis 5.63 Liimvaigu valmistusprotsess liimitehases.

Lisaainete, täiteainete ja katalüsaatorite eesmärk liimisekus on mitmene: need takistavad liimil liialt spooni imenduda, parandavad liimi laotuvusomadusi, pehmen­davad liimliidet, vähenda­vad liimi pindpinevust, parandavad liimi täiteomadusi, seovad vett ja reguleerivad kuum­pressimisel viskoossust, parandavad taluvust spooni niiskuse suhtes, põhjustavad eelpressi­misel kleepumise ja vähendavad liimisegu hinda.

Liimide valmistamisel tuleb jälgida mitmesuguseid protsessiga seotud tegureid, mis mõjutavad liimliite kvaliteeti: spooni niiskus, väliskuju ja pinnaomadused (pinnakaredus, puhtus jt), liimi omadused (viskoossus), liimi retsept, segatud liimi kasutusaeg, liimisegu ja vaigu vanus, liimi kasutusaeg pealekandmise ja eelpressimise vahel, eelpressimise ja kuumpressimise ajaline vahe ning kuumpressimise surve ja temperatuur. Ka aasta­aeg ja ümbritsevad keskkonnaolud mõju­tavat liimi koostist.

Vineeritehas on liimi ettevalmistuskoht (joonis 5.64), mida nimetatakse „liimiköögis“ ja selles on vaigumahutid, silohoidlad kõvendi jaoks, segunõu ja nende vahel kulgevad konveierid ja torud. Vaik doseeritakse pumpamise teel ja kõvendi viiakse konveierite abil segamiskoosse. Protsessivesi tarnitakse torustiku kaudu. Annustamine toimub automaatkaalumisega. Iga vineeritehas segab liimiköögis liimi sisse UV-pigmenti, mis on unikaalne värvikombinatsioon, mis võimaldab selles tehases valmistatud vineeri eristada teiste tootjate omast.

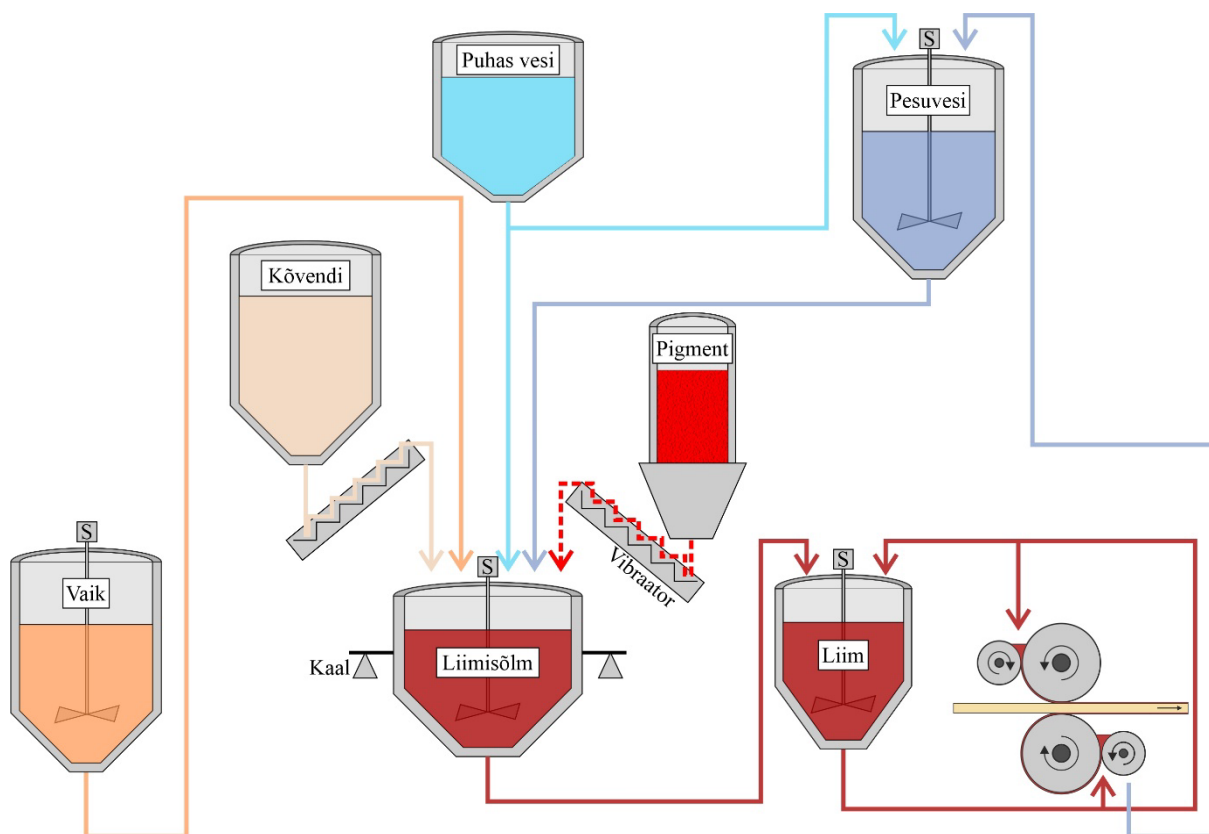
Fenoolfomaldehüüdvaigu ladustamisaeg on kolm nädalat 20–25 °C juures. Temperatuuril üle 30 °C lüheneb vaigu säilivusaeg. Liimi ettevalmistusjaamas toimub vedela vaigu ja pulberkõvendi, protsessivee, UV-värvipigmenti segamine tehase tootmisretsepti(de) alusel. Pideva segamise käigus jälgitakse ja testitakse, millal liim saavutab nõutud viskoossuse.

Liimi viskoossus oleneb vaigu vanusest, liimi segamisjärgsest vanusest, vee kogusest, puhtast veest / pesuveest, liimi temperatuurist ning kõvendi toorainetest.

Liimi liiga väikese viskoossuse korral võib see liialt spooni tungida. Suure viskoossusega liimi on raske peale kanda ja see võib liiga ruttu kuivada. Kui liim on saavutanud vajaliku viskoossuse, on see valmis kasutamiseks. Liimi viskoossust saab muuta vee (puhta vee või pesuvee) koguse muutmise teel. Näiteks 1% vett liimi üldkogusest muudab viskoossust umbes 20% ja 2% vett umbes 30%. Samuti saab liimi viskoossust muuta ka liimisegu vanuse muutmise teel ladustatava koguse muutmise kaudu. Liimi viskoossust mõõdetakse *Ford cup*-meetodil või viskosimeetriga.

Liimi (vaik, kõvendi, vesi) segamine toimub vähemalt kaks tundi enne kasutamist. Valmis-segatud fenoollüimi kasutusaeg (*pot life*) toatemperatuuril suletud anumaski on tavaliselt 1–3 päeva ja avatult kuni 30 minutit (töö algusest eelpressimiseni). Fenoollüimist eelpressitud vineeritoorikute vahelaos seisuaeg eelpressimise ja kuumpressimise vahel on 0,5–6 h. Segatud liimi partii suurus võib olla nt 1000–2500 liitrit ja segamise aeg 0,5–1 h. Liimi segamismahutist pumbatakse liim päevasesse liimimahutisse, kust seda doseeritakse torusid mööda liimitamisseadmetesse (liimikardin, liimivaltsid). Segatud liimi tsirkuleerimisel kasutatakse suletud protsessi, kus liimi ülejäägid tsirkuleeritakse pesuvee mahutisse ning sealt uuesti ringlusesse ja liimisegusse. Liimi valmistamisel liimiköögis tuleb jälgida tootmisprotsessi mõjutavaid tegureid: liimi viskoossust, vaigu säilivustähtaega ja segatud liimi kasutusaega, liimi imendumist spooni sisse, vineeri ladumise aega, liimi lahtioleku aega liimitamise ja eelpressimise vahel, liimühendust eelpressimisel, eelpressimise ja kuumpressimise vahelist aega. Liimi valmistamisel on oluline ka aastaaja ja keskkonna mõju liimi koostisele.

Fenoollüim on niiskuskindel liim, mis talub ilmastikumõjusid ja vastab ilmastikukindlale vineerile esitatavatele nõuetele (EN 314 „Vineer. Liimühenduse kvaliteet“ klass 3 kasutusala). Fenoollüim tekitab tugeva liite, mis on tugevam kui liidet moodustav spoon. Fenoolvaik on punakaspruun, kõvenenud fenoollüim tumepruun. Fenoollüim on vees lahustuv ja seega käib seadmete puhastamine lihtsalt sooja veega. Pesuvesi on suletud ringluses ja seda kasutatakse liimisegu valmistamiseks. Liimiga töötamisel tuleb kaitsta nägu ja käsi.



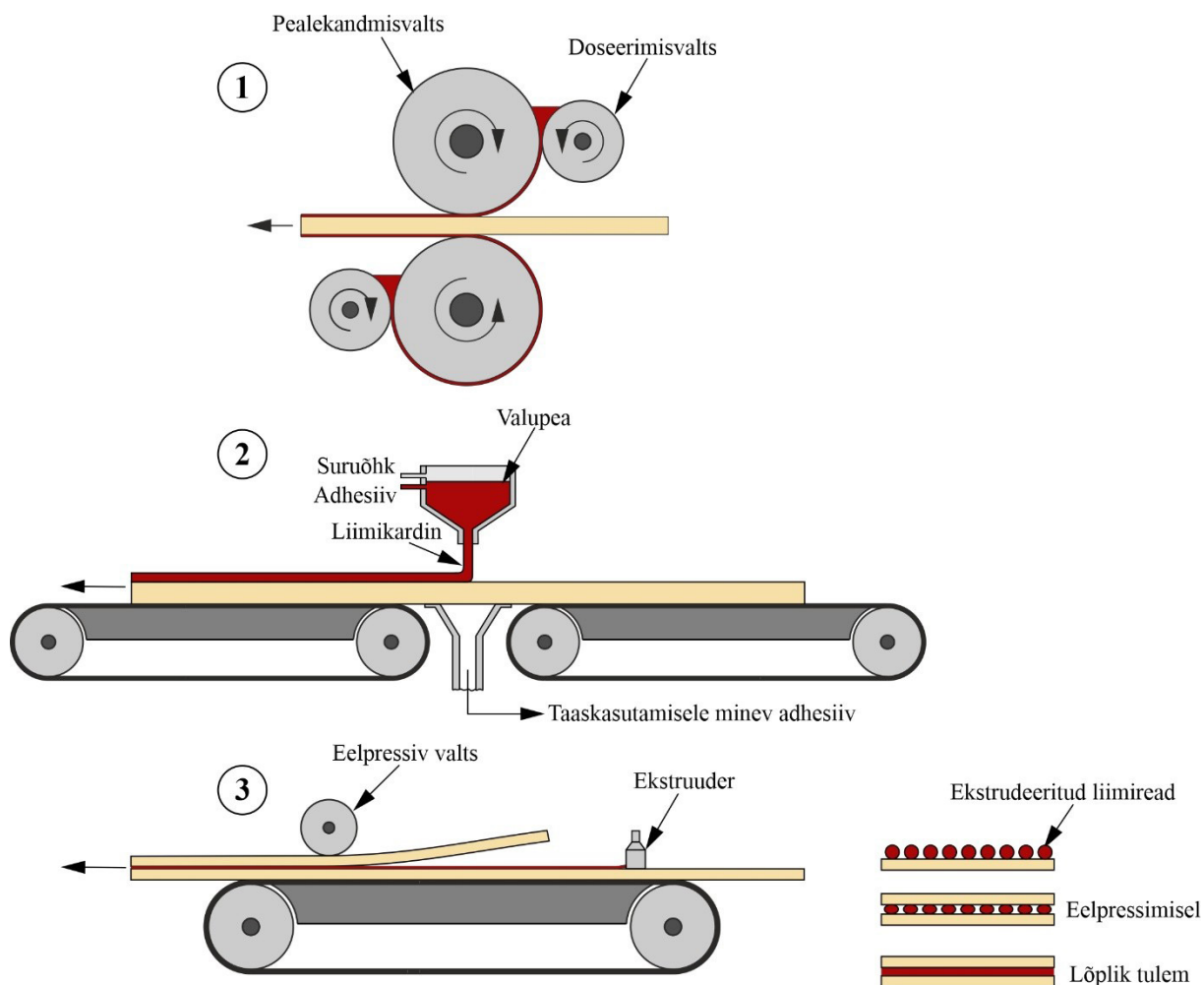
Joonis 5.64 Vineeritehase liimi pealekandejaam.

Liimi pealekandmismeetodid

Tugeva liimliite ja ökonoomse liimimise põhieeldus on ühtlane ja piisavalt õhuke liimikiht. Liimi pealekandmine võib toimuda kas liimivaltsidega, liimikardinaga või ekstrusioonimeetodil. Pihustusmeetod ja vahustatud liimide kasutamine on väga haruldane. Erinevaid liimi pealekandmise meetodeid ja seadmeid on kirjeldatud peatükis 5.6 ja joonisel 5.65. Liimikulu erinevate meetoditega on välja toodud tabelis 5.10.

Tabel 5.10 Keskmise liimikulu erinevate meetoditega

Meetod	Kasespoon g/m ²	Kuusespoon g/m ²
Kardin	145	160
Ekstruuder	150	160
Valtsid	155	200

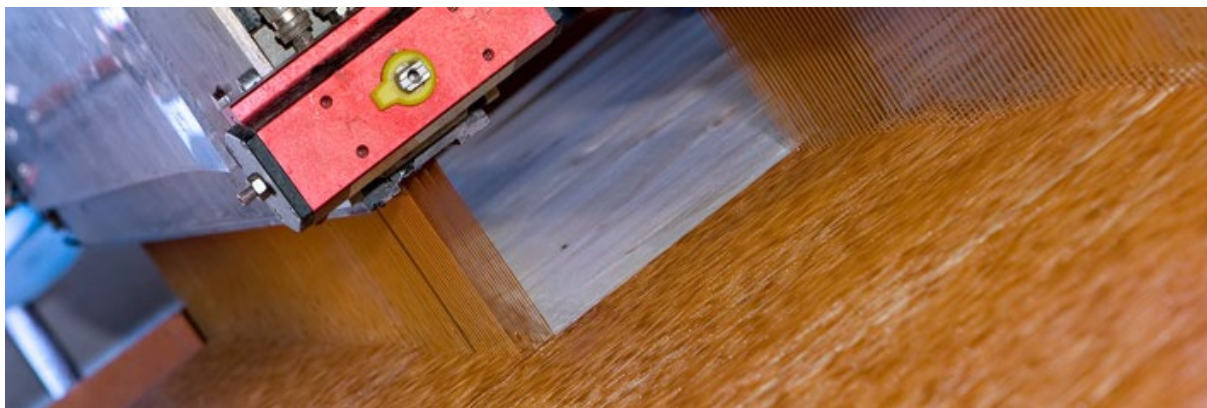


Joonis 5.65 Liimi pealekandmise seadmed: 1 – liimivaltsid, 2 – liimikardin, 3 – liimi ekstruuder.

Liimivaltsidega liimi pealekandmine spoonile on vineeritööstuses enamlevinud meetod. Liimivaltsimeetod on kahepoolne liimi levitamismeetod (joonis 5.27). Liimivaltside eeliseks on vähene ruumivajadus ja need on teistest liimiseadmetest odavamad. Liimi pealekandmise kogus kasespoonile on tavaliselt 140–165 g/m². Valtside survet on kerge muuta vastavalt spooni paksusele. Liimi pealekandmise kogust võib aga mõjutada spooni lainelisus, paksuse muutumine ja ebaühtlane pind, mistõttu võib peale kantav liimikogus olla ebaühtlane. Alumisel spooni pinnal on raske tuvastada võimalikke liimita alasid. Lainelised spoonid võivad valtsrullide vahel kergesti puruneda.

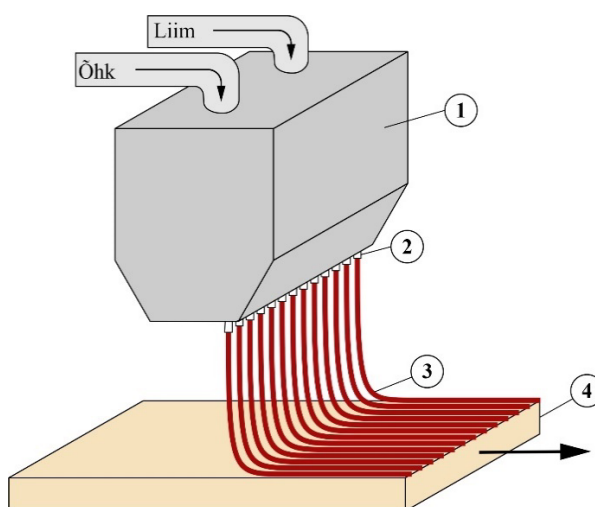
Liimikardinaga liimi pealekandmine on ühepoolne liimitamismeetod, mille korral spoon liigub läbi düüside abil tekkiva liimikardina (vt jaotis 5.6, joonised 5.22 ja 5.66). Sellise liimi pealekandmise meetodi puhul ei toimu spooni purunemist. Meetod ei ole tundlik spooni lainelisusele ega paksuse muutusele. Kasutatava liimi kogus jääb rangelt seatud piiridesse, isegi kui liimi temperatuur ja viskoossus võivad varieeruda. Liimi ühtlane pealekandmine optimeerib liimi-

kogust, mis on 125–150 g/m². Liimi koguse reguleerimine on kiire ja lihtne. Liimikardinas olev liim peab olema ilma õhumullide ja võõristeta. Liimikardinad on võrreldes liimivaltsidega kallimad. Liimimise programm kontrollib pidevalt liimi voolu ja temperatuuri ning pealekantavaid koguseid. Seadmeid saab seisakute korral mõne minuti jooksul pesta väikese koguse veega. Tavaliselt pestakse seadmeid üks kord 24 h jooksul.



Joonis 5.66 Liimikardinaga liimi pealekandmine spoonile. Allikas: Raute Oyj

Ekstruuderiga pealekandmine on ka ühepoolne meetod täpsetes kogustes liimitamiseks (joonised 5.67 ja 5.68). Ekstrudeeritavad kogused jäävad tavaliselt vahemikku 140–170 g/m². Väljapressitud liimikoguseid saab reguleerida samade parameetritega nagu liimikardinaga seadmel. Ekstruuderliimitus sobib hästi kiiresti kõvenevate liimide jaoks. Liimitamise kvaliteet on äärmiselt ühtlane ja koguseid on lihtne reguleerida. Meetod on kasulik erineva viskoossusega liimide kasutamisel ja sobib ka suurema viskoossusega liimi pealekandmiseks.



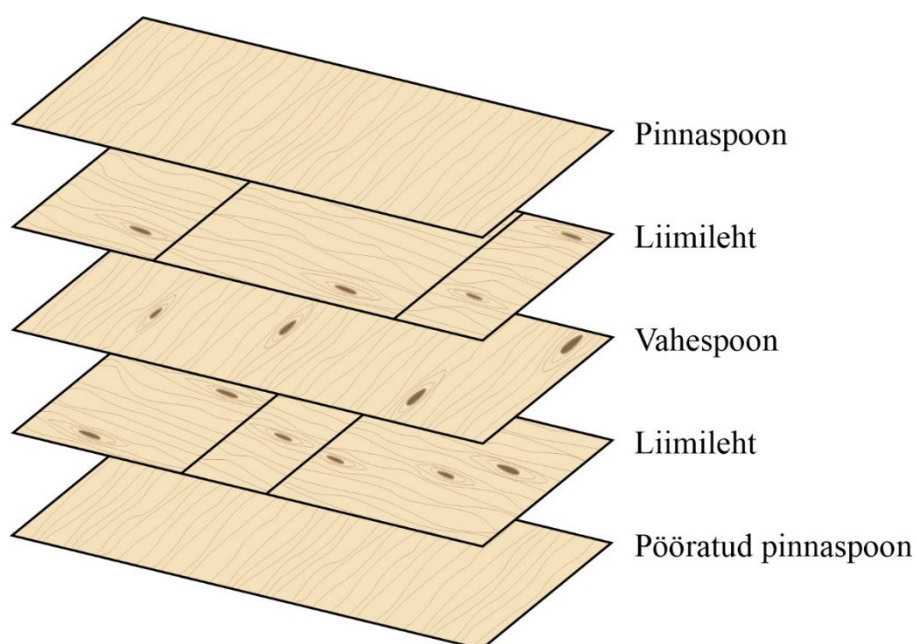
Joonis 5.67 Liimi ekstruuder: 1 – liikumatu ekstruuder, 2 – düüsid, 3 – liimiriba, 4 – spoonileht.



Joonis 5.68 Ekstruuderiga liimi pealekanne spoonile. Allikas: Raute Oyj

5.9.6 Vineeritoorikute koostamine

Vineeritoorikute koostamise eesmärk on paigutada spoonid õigesse kohta ja õigesse järjekorda. Ladumise teel koostatakse vineeritoorikud, kus määratakse vineeri struktuur läbi õige kihtide arvu ning õige kvaliteedi ja mõõtmetega spoonide kasutamise. Vineeritoorikute koostamine seisneb kuivade ja liimitatud spoonilehtede kihiti ülestikku ladumises. Seda tehakse käsitsi, poolautomaatselt või täisautomaatselt. Spoonid asetatakse vineeritooriku koostamisliinile vastavalt spooni kvaliteedile, kus pinnaspoon ja vahespoon on eraldi pakkidena. Ladumist alustatakse pikisuunalisest pinnaspoonist, millele järgnevad kordamööda ristisuunaline ja pikisuunaline vahespoon, viimasena asetatakse peale pinnaspoon, mida ei kaeta liimiga (joonis 5.69).



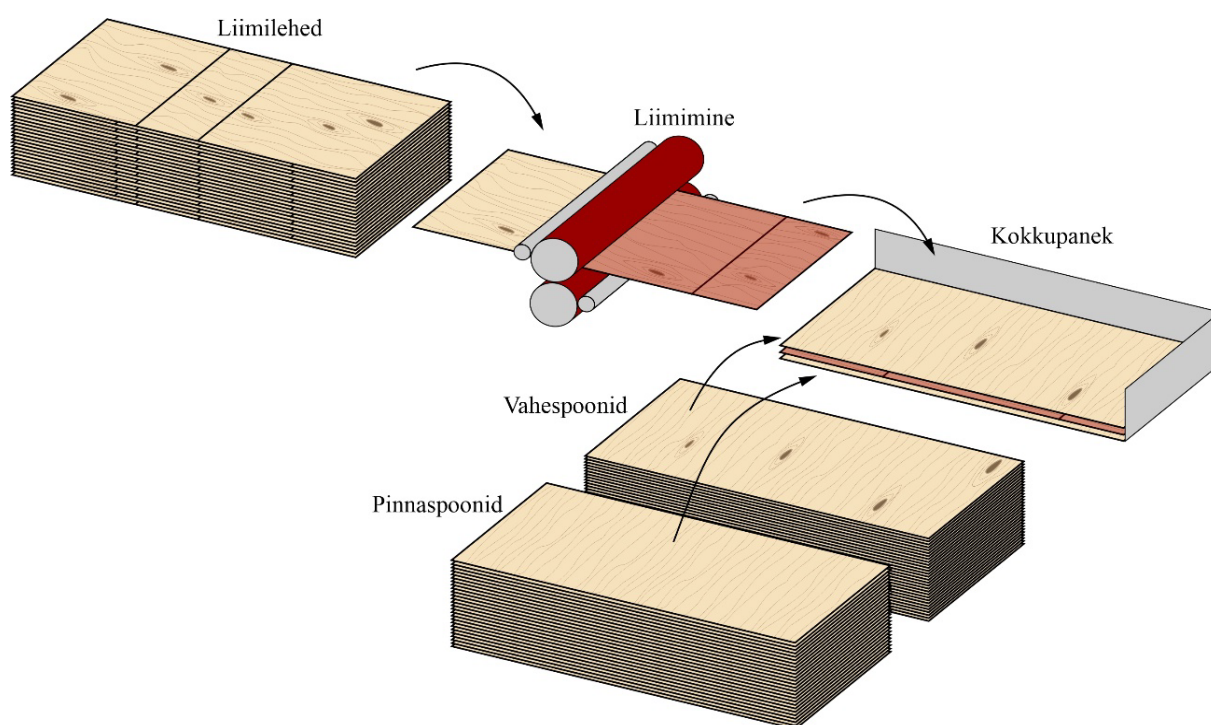
Joonis 5.69 Spoonide ladumisskeem.

Spoonid tuleb laduda korrektse nurga all. Spoonid laotakse vastu külgsuunajad, mis moodustab vineeritahvli baasserva. Seda baasserva kasutatakse hiljem vineeritahvli paigutamiseks ja joondamiseks pressimisel ja saagimisel (joonis 5.70). Koostatud vineeritoorikute arv sõltub pressimistsüklist ja pressivahede arvust. Liimi reageerimisaeg seab vineeritoorikute koostamisele täpse ajalise piiri, mille jooksul virn tuleb viia eelpressi. Fenoollimi puhul on ladumisaeg maksimaalselt 30 min.



Joonis 5.70 Spoonid on laotatud vineeritoorikuks vastu külgsuunajad. Allikas: Raute Oyj

Vineeritoorikute koostamise skeem on toodud joonisel 5.71. Suurem tootmisvõimsus saavutatakse ekstruuderi või liimikardinaga varustatud automaatsete koostamisliinide kasutamisega (joonis 5.72).



Joonis 5.71 Vineeritoorikute koosteskeem.



Joonis 5.72 Vineeritoorikute automaatkoosteliin. Allikas: Raute Oyj

Automaatliinil toimub spooni etteandmine iminappade või robotkäppadega. Spooni kvaliteeti kontrollib kaamera, mis juhib ka spooni paiknemist vineeritoorikus. Protsessi juhitakse automaatselt, programmis määratakse ära spoonikihtide arv ja vineeritoorikute arv. Täisautomaatliinidel liiguvad spoonid ilma käsitsi sekkumata (joonis 5.73). Ladumisliini konveierid on enamasti lint- või rullkonveierid.

Vineerikihtide ja vineeritoorikute arv, liimi kogus, liimi ringlus ja liimiseadme pesuaeg määratakse programmis. Programm näitab ladumisprotsessi edenemist ja väärtusi nii graafiliselt kui ka arvuliselt. Samuti saab programmeerida spetsiaalseid ja paralleelseid struktuure.



Joonis 5.73 Spoonide automaatne etteandmine vineeritooriku koostamisliinil. Allikas: Raute Oyj

Pikemad paneelid paigutatakse platvormidele, kus tõhusus on suurem nii vineeritoorikute ladumisel kui ka eelpressimisel. Vineeritooriku koostamise maht suure kasuteguri korral on umbes 13 000 spoonilehte 8 h jooksul, mille tulemuseks on toodangumaht $130 \text{ m}^3 / 8 \text{ h}$ või $390 \text{ m}^3 / 24 \text{ h}$.

Liimi pealekandmine ja spooni ladumine vineeritoorikuteks moodustavad tervikliku tööetapi, milles vineeri konstruktsioon ja mõõtmed saavad oma kuju. Seetõttu tuleb hoolikalt jälgida operatsioonide aegu, mis on kasutusel vineeritooriku koostamisel (tabel 5.11).

Tabel 5.11 Vineeritooriku koostamise, liimimise ja pressimise operatsiooniajad

Aeg	Protsess
Kasutusaeg	Aeg, mille jooksul liimomadused ei muutu
Vineeritoorikute ladumisaeg	Aeg, mis kulub vineeritoorikute koostamiseks
Avatud aeg	Aeg, mis sisaldab vineeritoorikute koostamisaega ja ooteaega eelpressimiseni
Ülekandeaeg	Aeg eelpressimise ja kuumpressimise vahel
Eelpressimisaeg	Aeg, mille jooksul press on suletud ja toimub eelpressimine
Kuumpressimisaeg	Aeg, mille jooksul press on suletud ja toimub kuumpressimine

5.9.7 Vineeri pressimine

Pärast liimitamist laotakse vineeritoorikud virna järgmiste pressimise tööetappide jaoks. Vineeri pressimisel kasutatakse peamiselt toatemperatuuril eelpressimist, lõplik liimliite moodustamine toimub kuumpressis kõrgel temperatuuril ja rõhul.

Eelpressimine (*cold pressing*)

Eelpressimise eesmärk on parandada liimi nakkumist spoonidega ja vältida liimi kuivamist enne kuumpressimist. Eelpressimine on külmpressimine, mis toimub toatemperatuuril. Eelpress on ühe avaga press vineeritooriku virna pressimiseks (joonis 5.74). Eelpressimisel surutakse vineeritoorikud hüdrosilindrite abil kokku vineerplaadi kujuks. Keskmine surve on $1,0 \text{ MPa}$ (10 baari) ja pressimisaeg on 6–10 min. Eelpressimiseks suletakse ja avatakse press automaatselt ning seda juhivad tavaliselt vineeritoorikute koostamise operaator, kes annab virnade tellimuspõhiseks tuvastamiseks vajaliku teabe. Pressiava kõrgus on tavaliselt 1500 mm, võimaldades pressida vineeritoorikuvirnasid kõrgusega kuni 1200–1300 mm. Üleminekuaeg eel- ja kuumpressimise vahel määratakse liimomaduste järgi ja see on tavaliselt 0,5–6 h. Virnastamise ja

eelpressimise vahelist aega nimetatakse enamasti eelseisuaajaks, mis ei tohi kesta liiga kaua. Pärast eelpressimist võib vineeritoorikud automaatselt sisestada kuumpressi. Eelpressimise käigus ühtlustub niiskus erinevate spoonikihtide vahel.



Joonis 5.74 Vineeritoorikute eelpressimine. Allikas: Raute Oyj

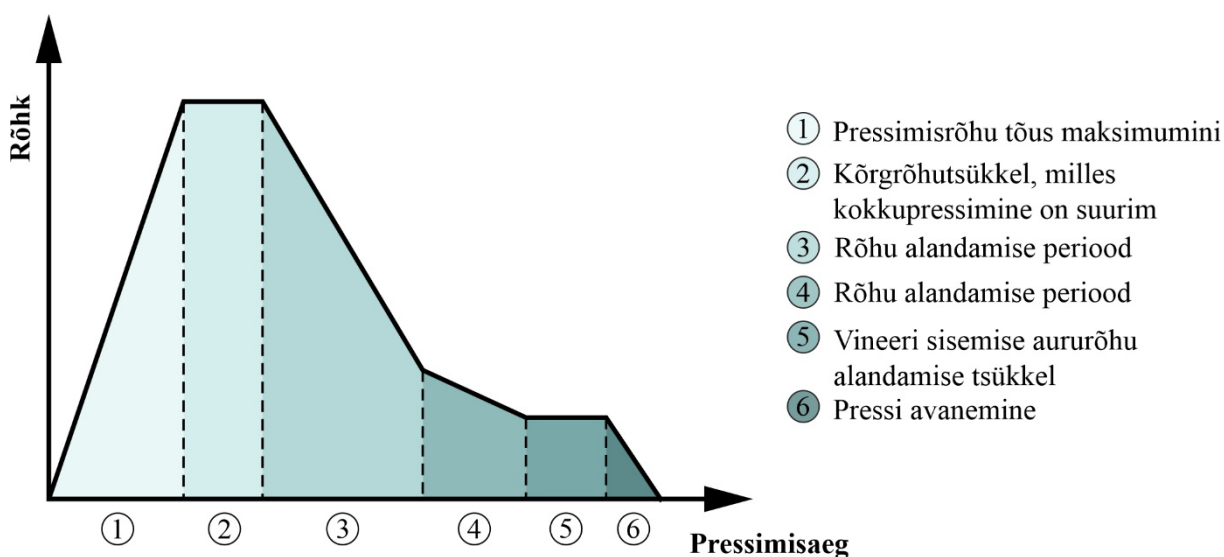
Vineeritoorikuid on vaja külmalt eelpressida, et tagada vineeritoorikute piisav tugevus ja nende võimalikkus ladustamiseks (0,5–6 h) enne kuumpressimist, vältida liimliidete kuivamist enne kuumpressimist, parandada liimliite kvaliteeti ning jaotada paneelides sisalduv niiskus ühtlaselt enne kuumpressimist (kuumpressimisel tekib vähem poore). Liimliite temperatuur tõuseb eelpressimise ajal kuni 40 °C, mis lühendab liimi kõvenemisaega kuumpressimisel.

Kuumpressimine (*hot pressing*)

Eelpressimisest tulnud vineeritoorikud saadetakse ühekaupa kuumpressi etteandseadmesse kust need liiguvad kuumpressiplaatide vahele ja sealt edasi pressi avanedes mahavõtuseadmesse. Kuumpressis surutakse spoonid kokku kõrge temperatuuri ja rõhu juures. Fenoolformaldehüüd- ja karbamiidformaldehüüdvaigud vajavad minimaalselt 100 °C. Fenoolliimiga liimitud vineeride pressimistemperatuur on 125–135 °C, karbamiidiliimiga vineeride puhul 100–125 °C. Pressimissurve sõltub puiduliigist (mida tugevam/tihedam on puit, seda suuremat rõhku on võimalik kasutada). Kasevineeri pressimisel kasutatakse survet 1,5–2,0 MPa, keskmiselt 1,8 MPa. Okaspuuvineeri pressimisel kasutatakse survet 1,0–1,5 MPa. Pärast pressi sulgemist

tõstetakse surve maksimaalseks ja vastavalt pressimise programmile vähendatakse seda automaatselt pressimisfaasi lõpus.

Pressimisaeg sõltub paneelipaksusest, pressimistemperatuurist ja liimist. Pressimisaega mõjutavad liimi tahenemiseks vajalik nn põhiaeg ja sisemiste liimühenduste soojenemiseks kuluv aeg. Fenoolvaikude korral koosneb pressimisaeg: 2–3 min (põhiaeg) + (0,5 min × plaadi paksus mm-s). Karbamiidvaikude puhul on pressimisaeg veidi lühem, nagu reaktiivsete liimide puhul 1,5 min + (0,5 min × plaadi paksus mm-s). Kuumpressimise etapis, kui vineeritoorik tuleb kuumade pressiplaatide vahele, hakkab soojus liikuma plaadi sisemistesse osadesse. See kiireneb pressi sulgudes ja ajal, mil surve saavutab oma suurima väärtuse. Siis hakkab fenool- ja karbamiidliimide viskoossus oluliselt vähenema ja liim imendub spoonidesse. Kui liimühendus on piisavalt soojenenud, hakkavad kondensatsioonireaktsioonid suurendama liimühenduse viskoossust, kuni täiesti tahke ühenduskoha vorm on saavutatud. Samal ajal toimub vineeris oluline niiskuse liikumine; niiskus liigub plaadi pinnalt selle keskossa. Kõrge temperatuuri korral muutub puit tunduvalt plastilisemaks ja kokkupressimise vähendamiseks alandataksegi pressimise lõpus survet. Pressi avanedes hakkab plaadis olev vesi oluliselt aurustuma ja võib põhjustada liimühenduste riknemist. Joonisel 5.75 on toodud vineeri kuumpressimise jagunemine etappidesse. Kuumpressimisel toimub liimi lõplik kõvenemine, kus tekib fenoolliimi ühendus lõplikult umbes +110 °C juures. Enne kõvenemist väheneb liimi viskoossus ja see valgub paremini spoonide vahel laiali. Liim tungib spoonide pinda ja moodustab liimliite. Paneelisisest aururõhku tuleb alandada, vähendades pressimissurvet pressimise ajal.



Joonis 5.75 Vineeri kuumpressimise etapid.



Joonis 5.76 Vineeri pressimine mitmekorruselises kuumpressis. Allikas: Raute Oyj

Pärast kuumpressimistsükli lõppu avanevad kuumpressivahed ja need tühjendatakse valmispressitud vineeritahvlitest. Selleks laaditakse teiselt poolt pressi pressivahedesse uued külmpressitud toorikud. Pressimisvahede kõrgus on 100 mm. Kaasaegsetes vineeritehastes toimub kuumpressist paneelide etteandmine ja vastuvõtmine automaatselt. Kuumpressi kuumutatakse auruga või termoõliga. Kuumpress (joonis 5.76) on tugevast terasest kõrgkonstruktsioon, mis koosneb korpusest, plaatidest, hüdraulikaseadmetest, kuumutusseadmetest, paneeli etteande- ja vastuvõtuseadmetest ning juhtimisseadmest. Pressplaadid on kõva kroompinnaga siledad 45–55 mm paksused plaadid, mis on varustatud küttekehadega. Plaat kuumutatakse protsessiauru ja vee või termoõliga. Plaadid on suurusega kas 1400×2800 mm või 1750×3500 mm, kuid valmistatakse ka suuremate plaatidega presse eriotstarbeks. Pressimisrõhk antakse hüdrosilindrite kaudu.

Vineeri kuumpressid on mitmekorruselised pressid 25–50 avaga, mille korruste arv sõltub tehase võimsusnõuetest. Pressitava kihi maksimaalne paksus on 50–60 mm, paksemaid paneele saab valmistada kahe või kolme pressitud paneeli kokkuliimimisega. Kuumpressid on varustatud automaatse etteandega ja vastuvõtmisega, mis töötavad nagu liftid (joonis 5.77).



Joonis 5.77 Kuumpressi automaatne laadimine. Allikas: Raute Oyj

Eelpressitud vineeritoorikud sisestatakse laadijasse, mis juhib kõik vineeritoorikud korraga pressi. Pressilaadijat võib täita kas käsitsi või automaatselt. Automaatse pressi etteande korral viiakse vineeritoorikud iminappade abil laadimisseadmesse. Käsi pressi etteande korral tõmmatakse vineeritoorikud rullikutega laadijasse või alustele. Enne pressi sisestamist tuleb paneelidel eemaldada mustus harjamise või puhumise teel. Vineeritoorikud, millel on pinnaspoon küljest lahti kukkunud, saab uuesti pressi sisestada enne selle sulgumist.



Joonis 5.78 Valmispressitud vineerplaadid kuumpressis.

Kuumpressi eelseisuaeg enne surve rakendumist, ei tohiks olla üle 1 minuti, et vältida liimi enneaegset kuivamist ja kõvenemist. Enne pressi sulgemist kontrollitakse vineeritoorikude asukohta, et need asetseksid pressis õigesti ja oleksid pressplaatidel võimalikult täpselt tsentreeritud. Pressmahtu on võimalik suurendada kahe õhema vineeritooriku paigutamisega ühte pressiavasse. Kuumpressimisaja saab seejärel seada lühemaks kui ühe sama paksusega paneeli korral, kuna vineeritoorikute vahelised pinnad ei vaja täielikku läbikuumutamist. Kuumpress võib olla varustatud automaatse paksusanalüsaatoriga. Pressimistingimusi saab reguleerida paksuse reguleerimisega vineeri optimaalse ühtlase paksuse saamiseks, mis parandab paneeli kvaliteeti ja vähendab kalibreerimisvajadust. Pressi väljalaadimisseade on võimalik varustada veeauru pihustussüsteemiga, et paneele sirgena hoida.

Liimimiskvaliteeti jälgitakse standardite järgi, et tagada mõõtmetele ja tugevusele esitatavate nõuete täitmine. Liimi pealekandmiskvaliteeti, liimi viskoossust ja temperatuuri ning paneeli paksust jälgitakse tõmbe-, nihke- ja paindekatssetega. Liimühenduse kvaliteeti hinnatakse nihketugevuse ja puidu purunemisprotsendi määramisega katsekeha purunemispinnalt. Defektid paneeli sees tuvastatakse paneelide lõplikul hindamisel. Tabelis 5.12 on kõige tüüpilisemad liimimis- ja pressimisdefektid ning nende tekkepõhjused.

Tabel 5.12 Vineeri liimimisel esinevad defektid

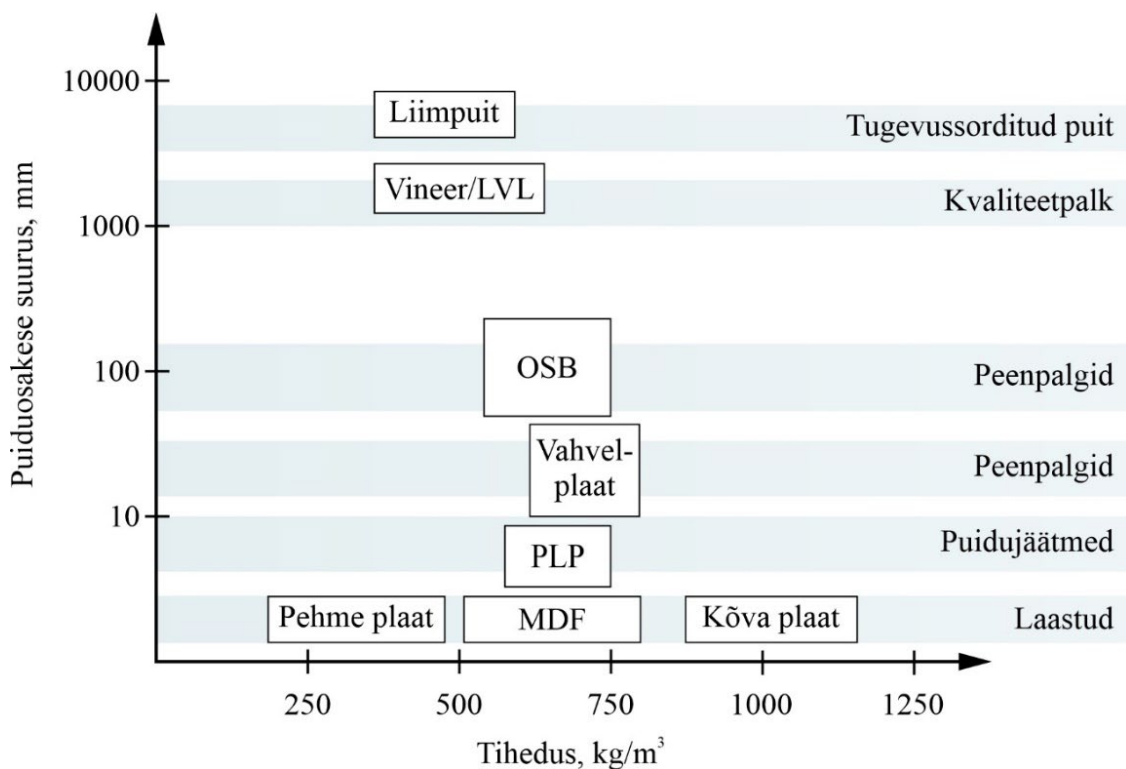
Defekt	Põhjus
Liimi kuivamine	Liimi kuivamine ühenduskohas on levinud liimimisviga, mis on enamasti raskesti avastatav. Liim ei niisuta sellisel juhul kuivi spoone piisavalt. Viga tuleneb liimis oleva vee liigsest imendumisest spooni või aurustumisest. Põhjuseks võivad olla liiga pikad ladumis- või eelseisuajad või pressi töös esinevad viivitused.
Liimi imendumine	Liiga palju liimi on spooni imendunud, sideainest ei piisa ühenduskoha moodustamiseks. Põhjuseks on liiga niiske spoon, liiga väike viskoossus või madal pressimistemperatuur.
Plaadid on õõnsad	Õõnsad plaadid tekivad pressi avamisel, mil liimiühenduskohtades olnud liigne vesi aurustub rõhu langedes ja tekitab liimi ühenduskohas defekte. Põhjuseks võib olla liigne niiskus, liiga kõrge pressimistemperatuur või ebapiisav surve alanemine.
Tahkestumata liimiühendus	Põhjuseks on enamasti liiga lühike pressimisaeg või liiga madal ühenduskoha temperatuur.
Delaminatsioon – kihtide eraldumine (mullid, tühimikud) kuumpressi avamisel	Liimiühendus ei vasta tugevusnõuetele. Puidust purunemise protsent on väike. Liim on kõvenenud enne pressimist, kas oli liiga pikk ooteaeg enne kuumpressi või liiga kõrge ruumitemperatuur. Liimitamisel liiga väike kogus liimi või liimiga katmata alad spooni pinnal. Liigne liimi imendumine spooni sisse, mida võis põhjustada spooni suur pinnakarvedus, spooni ülemäärane niiskus või liimi viskoossus. Liim on lõpuni kõvenemata (keemiline reaktsioon ei läinud lõpuni) – liiga madal kuumpressimistemperatuur, liiga lühike kuumpressimisaeg.
Liimi tungimine pinnale	Põhjuseks on liiga väike liimi viskoossus või hõre spoon.
Paksuse erinevused	Levinuim põhjus on plaaditooriku puudulik tsentreerimine pressis
Muud vead	Puudulik liimimine võib tuleneda spoonide paksuse erinevusest või lahtistest defektidest, nt lahtistest okstest või paikadest.

5.10 Plaatmaterjalid peenestatud puidust

Puidupõhised plaatmaterjalid (*wood based panel material*) on välja töötatud täispuidu asendamiseks ehitistes paneelide ja taladena. Puit peenestatakse väikesemõõtmelisteks laastudeks või kiududeks, segatakse või kaetakse liimiga ning kuumpressitakse plaatideks või taladeks. Puidupõhiste materjalide eelised on paindlikkus paneeli suuruse määramisel ja kvaliteedi kõikumise minimeerimine puidu defektide hajutamise kaudu. Seega saab laastudest või kiududest valmistatud puidupõhiste plaatmaterjalide valmistamiseks kasutada madalakvaliteetset puitu.

Kõige levinum plaatmaterjal on vineer, mille tootmine on läinud kallimaks, sest suure diameetriga kvaliteetpalk pole enam nii kättesaadav.

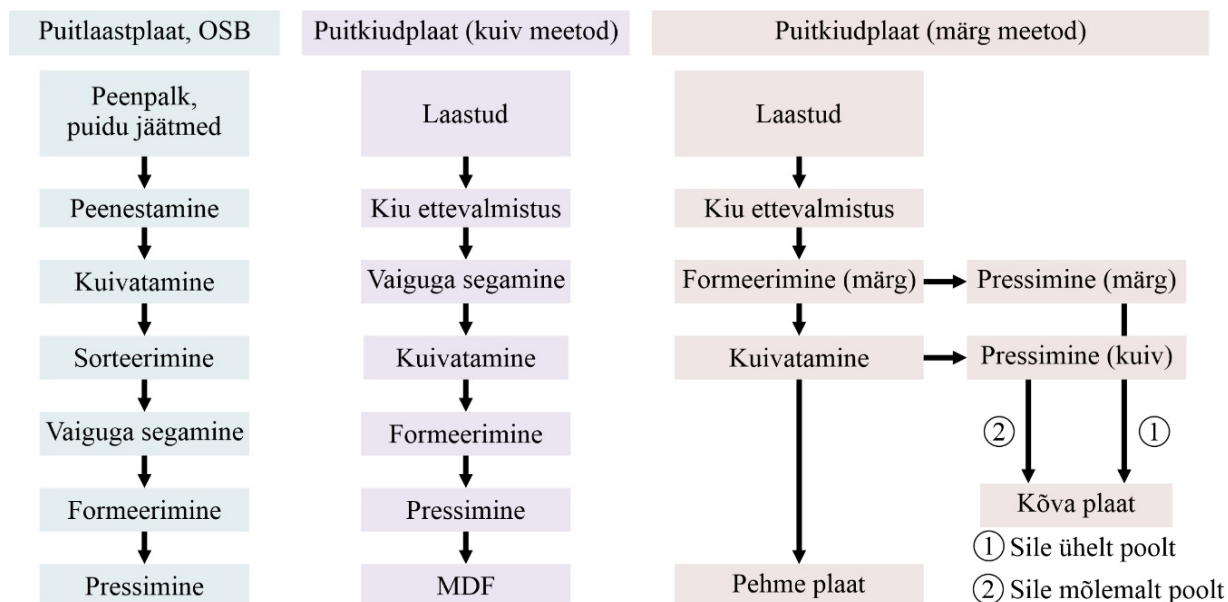
Puidupõhiseid plaatmaterjale saab iseloomustada nende tiheduse järgi, võrreldes seda kasutatava puitelemendi pikkusega, nagu on näidatud joonisel 5.79.



Joonis 5.79 Puitplaatide klassifikatsioon tiheduse ja puiduosakese suuruse järgi.

Enamlevinud peenestatud puidust plaatmaterjalid (komposiitplaadid) on puitlaastplaat ja puitkiudplaat, mis omakorda jagunevad veel eri tüüpi plaatideks. Komposiitplaatide valmistamise etapid (joonis 5.80) on üldiselt järgmised: puidu peenestamine, peenestatud puidu kuivatamine, vaiguga segamine, laastu- või kiuvaiba formeerimine, plaadi pressimine ja plaadi viimistlemine (lihvimine, lõikamine, jne).

Plaatide toormeks võib olla ka ümarmaterjal, mis laastustatakse. Puidu peenestamine toimub kahes astmes: laastustamine ja laastu peenestamine.



Joonis 5.80. Puitlaastplaadi ja puitkiudplaadi tootmise skeem.

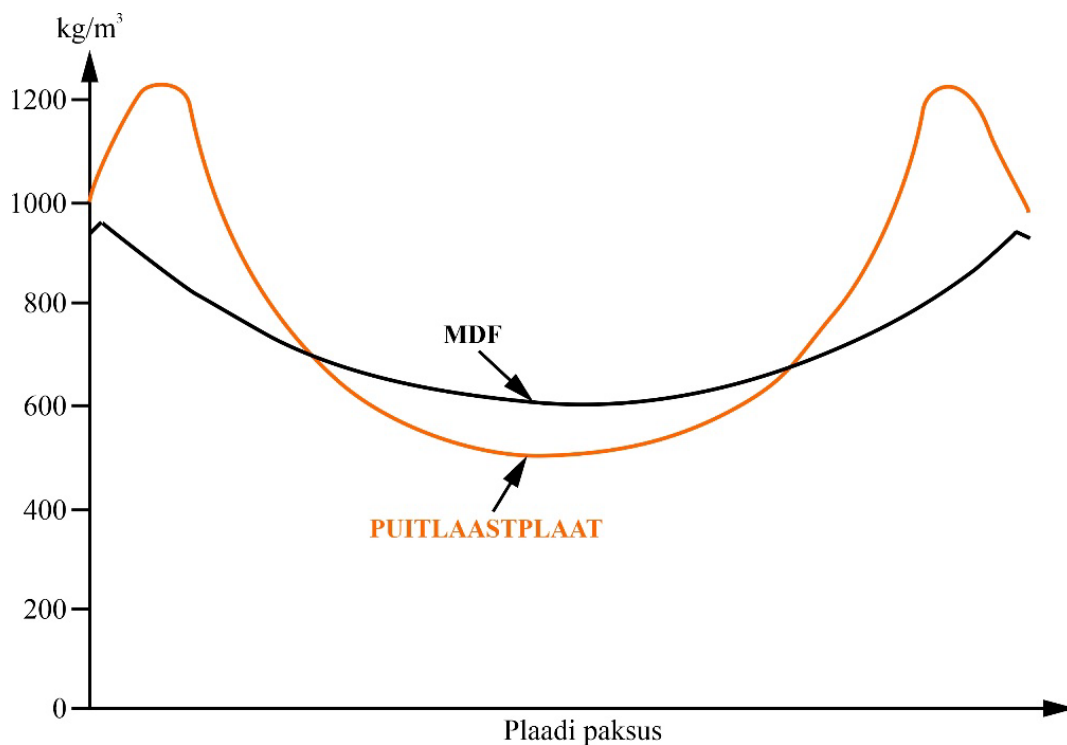
5.10.1 Puitlaastplaadid

Puitlaastplaat (*particleboard*) on plaatmaterjal, mis on valmistatud kokkupressitud puiduosakestest ja sideainest (liimist) kõrgel temperatuuril ja surve all. Liimi põhikomponent on vaik (enamasti karbamiidformaldehüüdvaik), millele võib olla lisatud parafiini, karbamiidi, kõvendit jt lisandeid, mis moodustavad ühtse süsteemi (liimi).

Puitlaastplaatide hulka kuuluvad ka vahvelplaat (*waferboard*, WB) ja orienteeritud laastuga plaat (*oriented strand board*, OSB).

Puitlaastplaadid on kas ühe- või mitmekihilised. Mitmekihilises puitlaastplaadis on tavaliselt kolm kihti: välimine-sisemine-välimine. Väliskihid on tehtud peenematest ja sisekiht on valmistatud jämedamatest puiduosakestest.

Seetõttu ei ole puitlaastplaadi tihedus kogu plaadi paksuse ulatuses sama ja tiheduse profiil on U-kujuline (joonis 5.81).



Joonis 5.81 Puitlaastplaadi ja MDF-plaadi tiheduse profiil plaadi ristlõikes.

Enamik ettevõtteid toodab tänapäeval mitmekihilisi puitlaastplaate, sest see võimaldab kasutada puidu kõiki fraktsioone ja valmistada heade füüsikalise-mehaaniliste omadustega (paindetugevus, sisesidusus) puitlaastplaati, mis vastab EN-standarditele.

Puitlaastplaatide peamine kasutusvaldkond on mööbel – lauad, kapid, riiulid jne. Ehituses kasutatakse puitlaastplaate peamiselt voodri- ja alusmaterjalina.

Mööblitööstuses kasutatakse puitlaastplaate juba pikemat aega täispuidu asemel nii korpusmööbli kui ka pehme mööbli konstruktsioonelementides. Nähtavate pindade puhul kasutatakse puitlaastplaate lamineerituna või spoonituna.

Lamineeritud puitlaastplaat saadakse termokõveneva vaiguga immutatud paberi pressimisel plaadi pinnale kõrgel temperatuuril ja surve all. Laminaat (lamineeritud puitlaastplaadi pealiskiht) võib olla ühevärviline või dekoratiivkattega. Lamineeritud plaati kasutatakse odavama korpusmööbli valmistamiseks. Spoonitud puitlaastplaat saadakse samal meetodil, kuid immutatud dekoratiivpaberi asemel on naturaalne puiduspoon, harilikult lehtpuidust, kuna see on tavaliselt kõvem kui okaspuit ja ilusama tekstuuriga. Puiduspooni korral eristatakse kahte spooni põhitüüpi: hõõveldatud spooni ja treispooni.

Puitlaastplaatide liigitus ja omadused

Puitlaastplaate saab liigitada lähtuvalt erinevatest kriteeriumidest ja seetõttu on võimatu esitada nende kõikehõlmavat liigitust. Lähtudes standardist EVS-EN 309 „Puitlaastplaadid. Määratlus ja liigitus“ võib puitlaastplaate liigitada järgmiselt.

1. Valmistusviisi järgi: lamepressitud, valtspressitud ja ekstrusioonplaadid (ühtsed, torujate õõnsustega).
2. Pinna oleku järgi: töötlemata (lihvimata), lihvitud või hõõveldatud, kaetud (vedel katte segu, nt värv) ja surve all tahke materjaliga pealistatud (nt spoon, immutatud dekoratiivpaber, dekoratiivne lamineeritud lehtmaterjal, kile).
3. Plaadi ehituse järgi: ühekihilised, mitmekihilised, sujuvalt muutuva struktuuriga ja torujate õõnsustega ekstrusioonplaadid.
4. Kasutusotstarbe järgi: üldotstarbelised plaadid kasutamiseks kuivades oludes, sisustuse plaadid (k.a mööbliplaadid) kasutamiseks kuivades oludes, koormust mitte kandvad plaadid kasutamiseks niisketes oludes, kandetarindite plaadid kasutamiseks kuivades oludes, kandetarindite plaadid kasutamiseks niisketes oludes, kõrgendatud vastupidavusega kandetarindite plaadid kasutamiseks kuivades oludes ja kõrgendatud vastupidavusega kandetarindite plaadid kasutamiseks niisketes oludes.

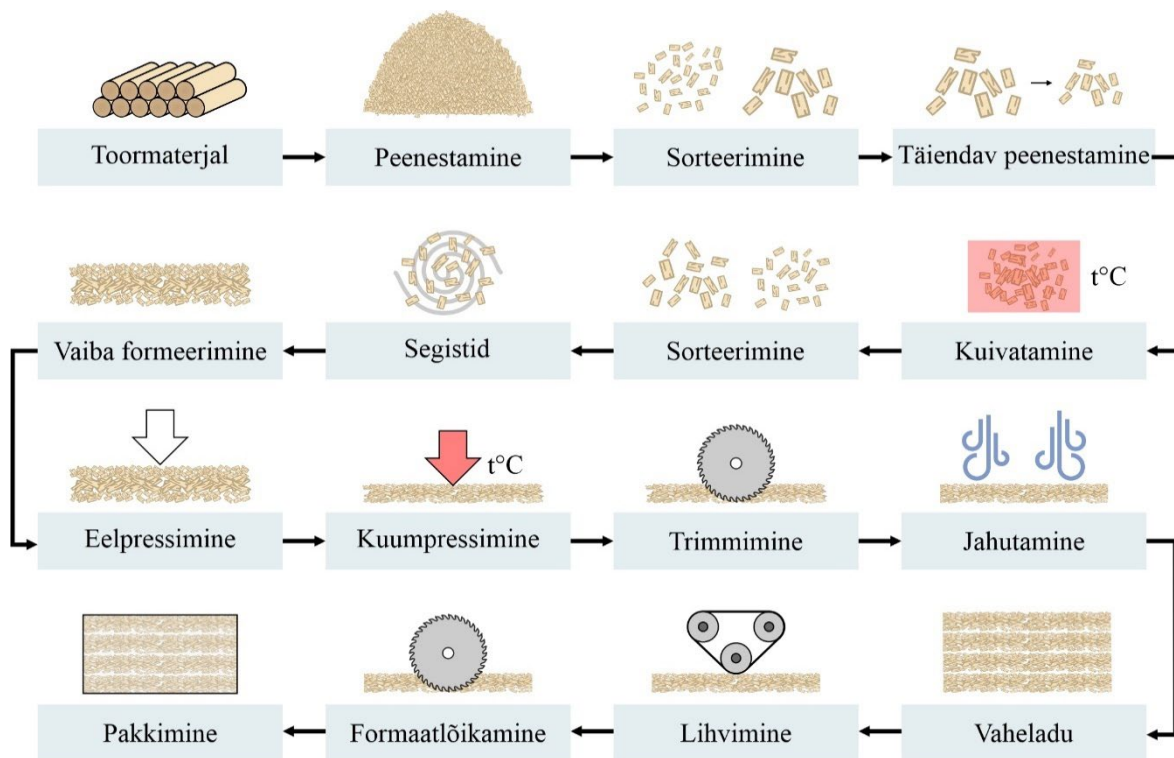
Laastplaatide omadusi mõjutavad tegurid on: laastu kuju, suurus, tihedus (puiduliik), laastu suund plaadis, niiskussisaldus kuumpressimisel, liimi tüüp ja kogus, tootmisviis (meetod, pressi surve ja temperatuur).

Puitlaastplaatide tehnilised andmed on liimi kogus (arvestatakse 4–12% laastu kuivkaalust), tihedus (450–750 kg/m³) ja plaadi normaalpaksus (10–25 mm).

Ligikaudne tugevuse alammäär 18 mm plaadi korral: paindetugevusele 10 N/mm²; tõmbetugevusele risti pinnaga 0,24 N/mm².

Puitlaastplaatide tootmisprotsessi üldiseloostus

Puitlaastplaatide tootmisprotsess on kõikides tootmisettevõtetes sarnane ning koosneb samadest tootmisliini osadest (joonis 5.82).



Joonis 5.82 Puitlaastplaadi tootmisprotsess.

Tootmine algab materjali toormaterjali laost, kuhu toore transporditakse ümar- või jäätmepuiduna laastu ja saepuru sisseostmisel saeveskitest. Materjaliladu asub tavaliselt ettevõtte territooriumil õues ega vaja eraldi hoonet. Materjaliladust läheb laast peenestamisele ja seejärel eelsortimisele, kus toimub laastu eraldamine fraktsioonideks. Laastu on laos tavaliselt üsna vähe, saeveskid müüvad laastu parema hinna korral tselluloosi tootmiseks.

Sobiva peensusastmega fraktsioon läheb edasi otse kuivatisse, jämedam fraktsioon läheb lisapeenestamisele ning seejärel suunatakse kuivatisse. Jäägid põletatakse katlamajas energia tootmiseks.

Pärast kuivatamist laast sortitakse sortimismasinas plaadi sise- ja väliskihi fraktsioonideks, jäägid kõrvaldatakse. Sortitud laast ja saepuru lähevad segistisse, kus toimub segamine vaigu, kõvendi, parafiini ja teiste lisaainetega. Iga komponendi jaoks on eraldi pump ja voolik, mille kaudu neid segistisse juhitakse. Iga tootmisliini kohta on kaks segistit: väliskihi ja keskkihi laastu jaoks. Pärast segisteid läheb puit pikietteandetranspordil laoturitesse, mille eesmärk on moodustada jooksva lindi peale esmalt alumine kiht, siis keskmine kiht ja ülemine kiht. Edasi läheb laastuvaip eelpressi, kus vaipa tihendatakse ja selle paksus väheneb märgatavalt. Seejärel viiakse eelpressitud laastuvaip kuumpressi, kus toimub vaigu kõvendamine ja plaadi moodustumine. Pooltoote servad lõigatakse (trimmitakse), tootmisliinis on puhverala, kus plaat

jahutatakse. Pärast jahutust lõigatakse plaat õigesse formaati ja kalibreeritakse nõutud paksusse. Valmisplaat viiakse valmistoodangu lattu, kus toimub plaadi pakendamine. Sageli läheb plaat lamineerimisele/spoonimisele.

Puittooraine iseloomustus ja saamine

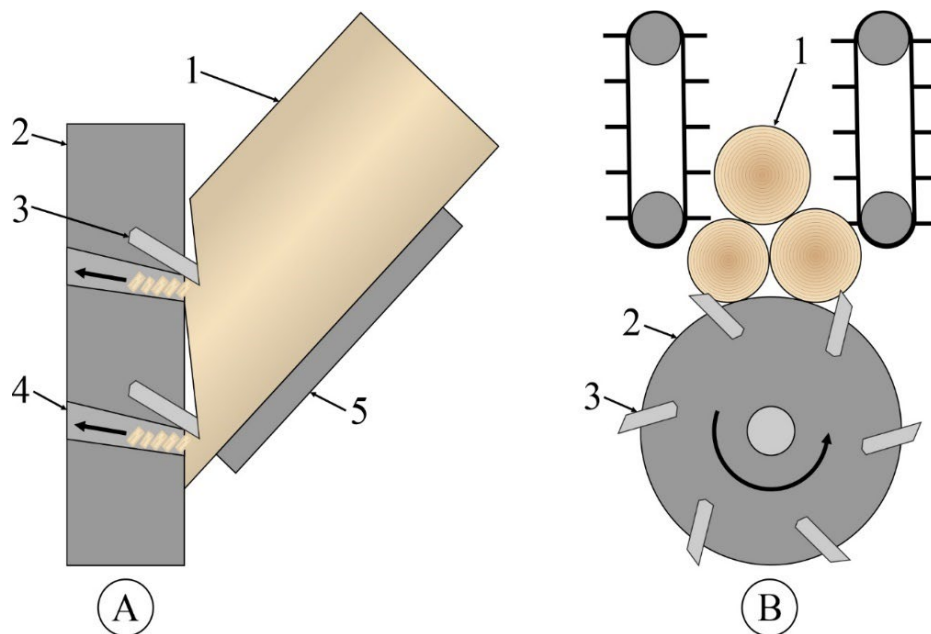
Puittooraineks sobivad kõik puiduliigid, mida on lihtne töödelda. Eesmärgiks on aga kasutada madalakvaliteetset toorainet ja tootmisjääke: ümarpuitu, sae-, vineeri- ja puusepatööstuse kõrvaltoodangut, metsahaket, üheaastaseid taimi, puuvillatööstuse jääke (puuvilla puitunud osi) ja suhkrutööstuse jääke (suhkruroo pressjääk – bagass).

Puitlaastplaadi tootmise põhiliseks toormeks on puidulaast ja saepuru. See võib tulla puitlaastplaatide tootmisesse kahel eri moel: tehnoloogilise ümarpuidu või jäätmepuidu laastustamisel, laastu ja saepuru sisseostmisel saeveskitest.

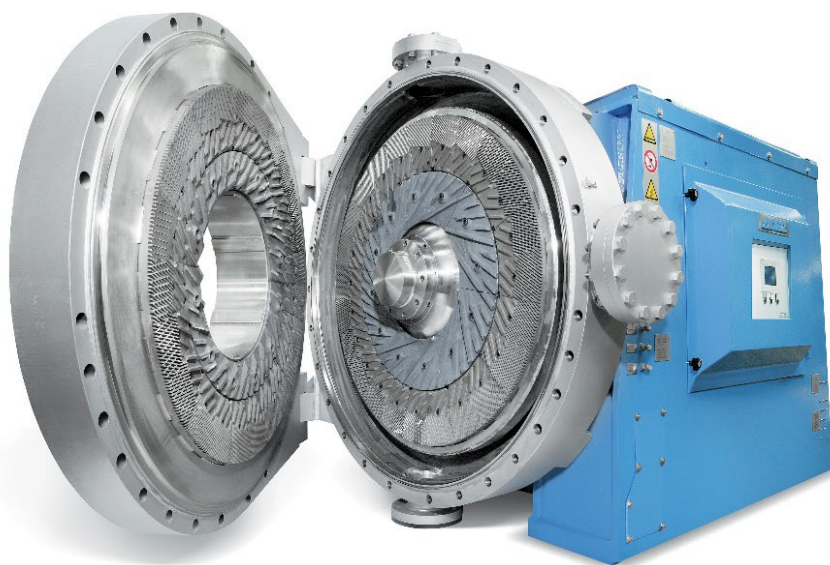
Puitlaastplaat on peamiselt kolmekihiline plaat, mille väliskihid on tehtud puidu peenemast fraktsioonist ja sisekiht on valmistatud jämedamast fraktsioonist. Laastu ja vähemal määral ka saepuru sorditakse sorterites. Toorme kvaliteedist ja laastu suuruselt sõltuvad lõplikud plaadi omadused.

Puiduosakestele esitatud nõuded on: laastu pinna siledus, laastu kiusuund on laastu pikisuunas, laastu sirgus, laastude mõõtmete ja omaduste sarnasus, laastu pikkus, laius ja paksus sobivad plaadi valmistamiseks. Väliskihi laastu paksus on 0,2–0,3 mm ja sisekihi laastu paksus 0,4–0,7 mm.

Puitu peenestatakse lõikepeenestamise ja löökpeenestamise teel (joonised 1.6. ja 1.7), laastustamine ketasraiemasinales (hakkurites) toimub nii, et raieimasinas lõigatakse kiud läbi ja lõhestatakse laast lahti. Kasutatakse ketasraiemasinaid ja trummellaastureid (joonis 5.83). Põhierinevus kahe peenestamisviisi vahel seisneb selles, et lõikepeenestamisel lõigatakse puitu paralleelselt kiududega, aga löökpeenestamisel lõigatakse puitu teatud nurga all. Neid seadmeid kasutatakse väliskihi peenema fraktsiooni valmistamiseks. Tüüpilises järelpeenestusseadmes (joonis 5.84) peenestatakse hake sooniliste rootori- ja staatoriketaste vahel peaaegu kiuliseks. Järelpeenestamise optimaalne niiskus on 50–70%.



Joonis 5.83 Puidu lõikepeenestusseadmete tööpõhimõtted: A – ketasraiemasin üarmaterjalile, B – trummellaastur üarmaterjalile: 1 – töödeldav pakk, 2 – terasketas, 3 – noad, 4 – ava kettas, 5 – puidu sisenemistoru.



Joonis 5.84 Seade hakke järelopeenestamiseks. Foto: Audritz AG

Puitlaastplaatide valmistamisel on põhiline tooraine tehnoloogiline ümarpuit, haket kasutatakse vähem. Märja laastu eriti ei hoita, see läheb kohe kuivatisse. Talvel külmuks märg hakkpuit ära. Ladustada on vaja tehasesse sissetulev tehnoloogiline ümarpuit ja märg hake, märg laast ja kuiv laast.

Tehasesse tulevat märga haket ja laastu säilitatakse punkrites, kuiva laastu säilitamiseks kasutatakse säilitussalve, mis on väiksem ning seetõttu kasutusel tootmisprotsessi kulgemise ühtlustamiseks. Laastu säilituspunkrites ja -salvedes toimub säilitusajal laastu liikumine klompumise ja soojendamine kokkukülmumise vältimiseks. Seejärel suunatakse laast konveieri abil kuivatamisele.

Laastu kuivatus ja sortimine

Puitlaasplaatide valmistamisel võib laastu algne veeisaldus varieeruda ja olla vahemikus 12–150%. Seetõttu tuleb laastu kuivatada, et liimiga segatud laastu niiskuse oleks pressimise õnnestumiseks piisavalt väike. Laastu niiskus peab olema pinnakihi laastudel vahemikus 5–8% ja sisekihi laastudes ligikaudu 3%, et vältida auruplahvatusi pressimisel ning vähendada pressimisega. Kuna laastud on õhukesed ja suure pinnaga, saab kuivatada kiiresti. Samuti ei takista laastude kuivatamisel tekkivad lõhed plaatide valmistamist.

Laastu kuivatamiseks kasutatakse peamiselt kaht tüüpi kuivateid: kontaktkuivatid (laastu kuivatatakse auruga) ja konvektiivkuivatid (laastu kuivatamine toimub suitsugaasiga).

Kontaktkuivati tööpõhimõte seisneb selles, et pöörlevasse aurutorustikupatareisse on kinnitatud laastu vedavad kulbid, mis suunavad laastu kuumade aurutorude peale.

Konvektiivkuivatite töö põhineb kuivatisse suunatava kuumade suitsugaasi ja laastu vahelisel konvektiivsel soojusülekanDEL. Tuntumad on Bioni ja Büttneri kuivatid. Bioni trummelkuivatis moodustuvad kontsentriliste trumlite vahel 3 kanalit, mille järk-järgult läbib kuivatusagens koos peenestatud puiduga. Suurem käikude arv pikendab teepikkust ja kuivatusaega ning võimaldab suurendada kuivati tootlikkust, suurendamata märkimisväärselt selle mõõtmeid.

Büttneri kuivati kujutab endast liikumatut trumlit, millesse puhutakse puutuja suunas läbi düüside suitsugaaside ja õhu segu. Trumlisse doseeritav puidulaast saab spiraalse liikumise kuivatusagensilt ja trumli pöörlevalt labadega varustatud rootorilt.

Täpsemalt on peenestatud puidu kuivatamisest räägitud peatükis 3.5.

Laastu sortimisel jaotatakse laastud välis- ja sisekihi laastuks. Kõigepealt sortitakse välja liiga suured ja liiga väikesed puidulaastud ning puidutolm.

Eristatakse järgmisi sorteritüüpe: mehaanilised sõelsorterid, pneumosorterid ja kombineeritud sorterid.

Mehaaniline sõelsorter sordib puiduosakesi mehaaniliselt liikuva sõelaga. Puiduosakesed, läbi-des erinevate mõõtmetega sõelu, sorditakse peenemaks ja jämedamaks fraktsiooniks. See ope-ratsioon toimub kas masina suurema kiirusega ja väiksema võnkeamplituudiga või, vastupidi, väiksema kiirusega ja suurema võnkeamplituudiga.

Õhu liikumisel põhinevad sõelsorterid on kasutusel liiga suurte ja liiga väikeste laastude eral-damiseks. Sortimise põhimõte seisneb selles, et õhuvool kannab väiksemad osakesed kauge-male kui suuremad osakesed.

Sideained

Puiduosakeste sidumiseks kasutatakse liime (vaik + teised komponendid). Nendeks on fenool-vaigud (puuduseks on aeglane kõvenemine), karbamiidvaigud (puuduseks on formaldehüüdi eritamine) ja isotsüanaatvaigud (eeliseks tugev liimühendus väiksema liimihulgaga, ei erita formaldehüüdi).

Eelmisel sajandil kasutati fenoolvaike, mis olid saadud fenooli ja formaldehüüdi polükonden-satsioonil. Praegu neid enam ei kasutata aeglase kõvenemiskiiruse ja kõrge hinna tõttu, kuid kõrge veekindluse tõttu kasutatakse neid OSB- ja vahvelplaatide valmistamisel. Tänapäeval on fenoolvaikude asemel reaktiivsemad (kiiremini kõvenevad) ja odavamad karbamiidformalde-hüüdvaigud ja melamiinformaldehüüdvaigud.

Vaigud on nii külm- kui kuumkõvenevad. Külmalt kõvendamiseks kasutatakse kõvendina oblikhapet ($\text{pH} = 3\text{--}5$), kuumalt kõvendamiseks aga ammooniumkloriidi NH_4Cl ja ammoo-niumsulfaati $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, praegusel ajal püütakse üle minna ammooniumnitraadile NH_4NO_3 , mille lagunemisel tekib hape ning vabanev ammoniaak reageerib vaba formaldehüüdiga.

Karbamiidformaldehüüdvaikude eeliseks on suur kõvenemiskiirus, odavad lähteained ja lahus-tuvus vees, kõvenemistingimuste varieeritavus ja hea adhesioon. Puuduseks on aga piiratud veekindlus ja väike elastsus. Kõvenemine toimub analoogselt karbamiidvaikudega metülool-rühmade täiendava polükondensatsiooni arvel happelise kõvendi NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ või NH_4NO_3 juuresolekul.

Melamiinformaldehüüdvaikude eeliseks on parem veekindlus võrreldes karbamiidformalde-hüüdvaikudega sama kõvenemiskiiruse juures. Puuduseks on aga halvem vees lahustuvus ja kõrgem hind. Melamiinformaldehüüdvaigud on samuti kasutusel puitlaastplaatide tootmisel, kuid nende kasutamine on piiratud kõrgema hinna tõttu võrreldes karbamiidformaldehüüd-

vaikudega. Sagedamini kasutatakse vähest kogust melamiinformaldehüüdvaiku segus karbamiidformaldehüüdvaiguga, et anda puitlaastplaadile suuremat veekindlust.

Tänapäeval kasutatakse kõvenditena peamiselt kolme keemilise aine vesilahust: ammooniumkloriid NH_4Cl , ammooniumsulfaat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, ammooniumnitraat NH_4NO_3 .

Kõvendeid kasutatakse karbamiidformaldehüüd-, melamiinformaldehüüd-, karbamiidmelamiinformaldehüüdvaikude kõvendamiseks. Kõvendi roll puitlaastplaadi tootmisprotsessis on märkimisväärne: see kiirendab vaigu kõvenemisreaktsiooni kuumpressi all ning seob plaadis oleva vaba formaldehüüdi.

Muud lisandid

Peale puidulaastu, saepuru, vaigu ja kõvendi lisatakse komponentidena ka parafiini, karbamiidi, mõnikord ka eraldusaineid ja värve.

Parafiinil (*wax*) on lihtne ja selge kasutuseesmärk – see annab valmisplaadile parema niiskuskindluse. See vähendab puitlaastplaadi pundumist niisketes kasutsoludes kõrgel suhtelisel niiskusel (95–100%). Parafiin tuleb ettevõttesse lahusena või tahkena (sellest tehakse vesilahus). Parafiini sisaldus plaadis on alla 1%.

Karbamiid (*urea*) on tahke lisand liimisegudes. Karbamiidi lisatakse vaba formaldehüüdi emissiooni vähendamiseks, kuna karbamiid seob vaba formaldehüüdi, vähendades selle sisaldust vaigus. Sellisel juhul saavad ettevõtted täita E1 puitlaastplaadi vaba formaldehüüdi emissiooni normi vastavuses EN ISO 12460-5 „Puitplaadid. Formaldehüüdi eraldumise määramine. Osa 5: Ekstraktsioonmeetod (perforaatormeetod)“ nõuetega. Karbamiidi kasutatakse kas tahkel või vedelal kujul (~ 40% vesilahusena). Karbamiidi lisamisel peab väga ettevaatlik olema, kuna selle liigne lisamine toob kaasa füüsikalise-mehaaniliste omaduste (painedugevus, sisesidusus) halvenemise.

Eraldusaine (*release agent*) on vedel lisand, mida kasutatakse tänapäeval harva, juhul, kui on tekkinud probleeme plaadi kleepumisega pressis plaadide või tootmisliini lindi külge pärast plaadi tulekut peapressist. Kleepunud plaat eraldatakse mehaaniliselt, kuid eraldusaine võimaldab lihtsalt vältida kleepuvust tänu sellele, et see parandab vaigu jaotumist plaadis. Eraldusaine ei aita juhul, kui plaat on juba kleepunud pressplaadi külge (saab eraldada mehaaniliselt).

Värve (*dye*) lisatakse puitlaastplaatidele, et näidata nende eriomadusi: roheline – niiskuskindel puitlaastplaat, punane – tulekindel puitlaastplaat.

Laastu segamine liimiga

Kõik need kemikaalid (vaik, kõvendi, parafiin, karbamiid, eraldusaine) moodustuvad ühtse süsteemi, mida nimetatakse liimiks.

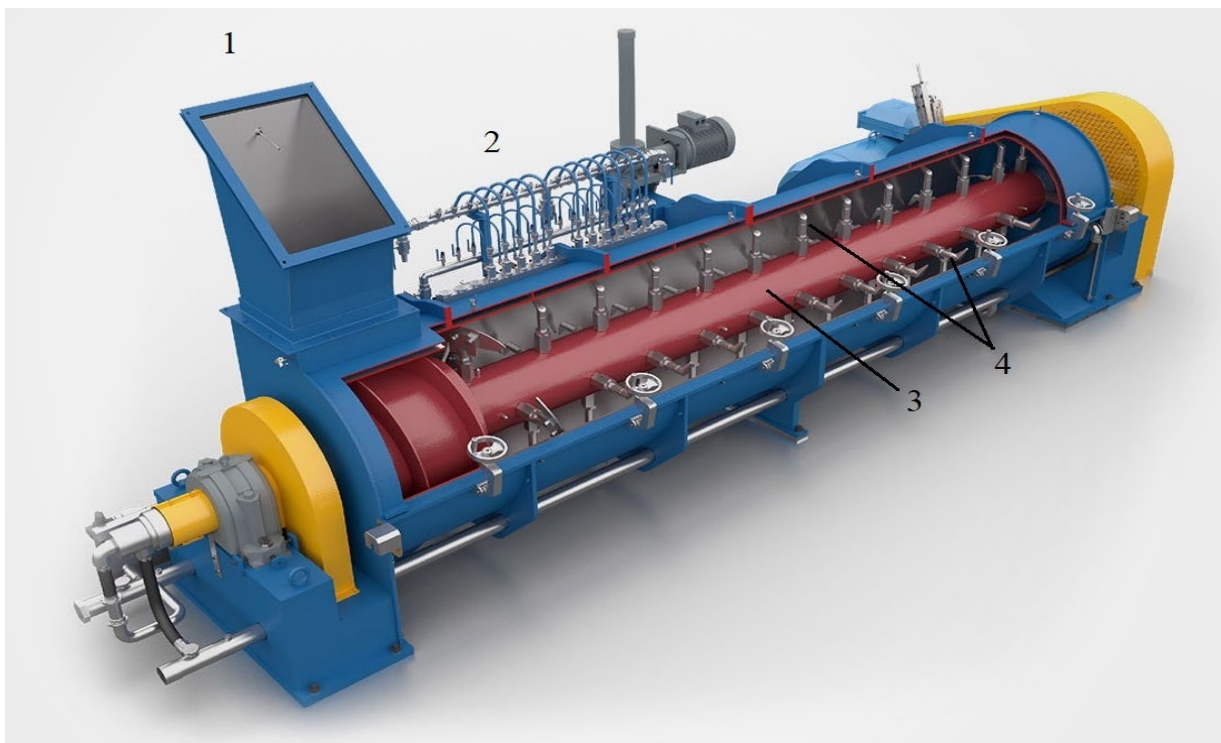
Liimi koostis sõltub plaadi tüübist, puiduliigist, kõvendist, vaba formaldehüüdi emissioonidest ja tootmisliinist.

Tähtsaim sideaine sisetingimustes kasutatavate puitlaastplaatide tootmiseks on karbamiidvaik. Niisketes oludes kasutatavate puitlaastplaatide tootmiseks kasutatakse karbamiid-melamiinvaike.

Laastu doseerimiseks kasutatakse kaaldosaatoreid ja mahtdosaatoreid.

Kahe doseerimismeetodi erinevus seisneb ainult lisatava komponendi õige koguse määramises: kas kaalude abil või mõõtsilindritega, teades ainete kindlaid tihedusi. Enim kasutatakse kaaldosaatoreid, mis eeldab laastu niiskuse stabiilsust.

Kasutatav liimi kogus sõltub laastu omadustest (fraktsioonist). Probleemiks on liimikihi tasane ja ühtlane jaotumine laastu pinnale, sest laastu liimitav pind on suur. Laastul paksusega 0,2 mm korral on liimitav pindala umbes $20 \text{ m}^2/\text{kg}$ ja paksusega 0,4 mm umbes $10 \text{ m}^2/\text{kg}$. Seetõttu liimitatakse erinevate kihtide laastud eraldi. Pinnakihi laastude liimisisaldus on karbamiidvaigu korral 6–12% ning sisekihi laastudel 4–8%.

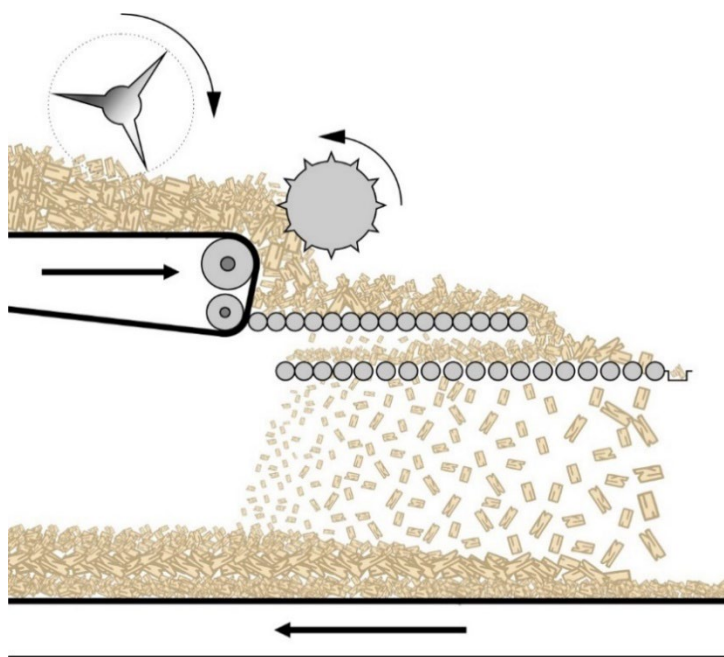


Joonis 5.85. Laastusegisti: 1 – laast sisse, 2 – liimi ja lisandite sisselaske torud, 3 – segisti võll, 4 – segisti labad. Foto: Dieffenbacher GmbH Maschinen- und Anlagebau

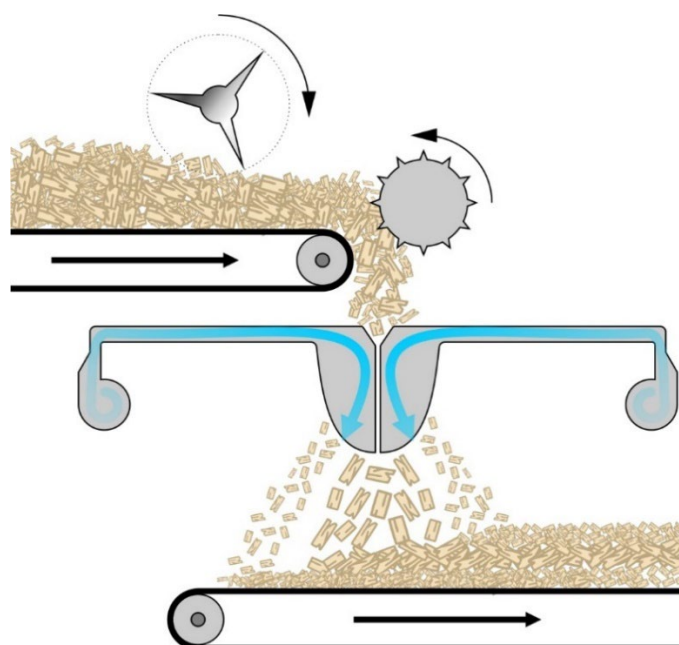
Liim suunatakse segistisse korpust läbivate torukeste kaudu (joonis 5.85, 2) ja haaratakse kaasa kiirelt liikuva laastu poolt. Laast pannakse liikuma labade abil, mis paiknevad kogu võlli pikkuses. Liimitatud laast suunatakse laoturisse.

Laastuvaiba formeerimine ja pressimine

Laastuvaiba laotamine teostatakse ühtlaselt või kihiliselt. Kihiline laotamine toimub kahel viisil: mehaanilise (joonis 5.86) või pneumaatilise fraktsioneerimisega (joonis 5.87).



Joonis 5.86 Laastuvaiba moodustamine mehaanilise fraktsioneerimisega.



Joonis 5.87 Laastuvaiba moodustamine pneumaatilise fraktsioneerimisega.

Mehaanilise fraktsioneerimise tööpõhimõte seisneb pöörlevatel ribivaltsidel liikuva laastu separeerimises vastavalt valtsidevaheliste pilude suurusele. Pneumaatilise fraktsioneerimise korral toimib laotur kui horisontaalne filter: õhuvoolus lendavad kergemad (väiksemad) osakesed kaugemale. Teatud juhtudel toimub nt kolmekihilise plaadi valmistamine kombineeritud laotamisega – väliskihid pneumaatilise ja sisekiht mehaanilise fraktsioneerimisega.

Puitlaastplaatide pressimiseks on kaks varianti: see kuumpressitakse kohe pärast laastuvaiba moodustamist või kasutatakse eelpressimist järgneva kuumpressimisega.

Eelpressimise eelisteks on võimalus plaaditoorikud suunata otse kuumpressi ilma alusplaatideta ja lühem pressimisaeg.

Tänapäeval kasutab enamik plaaditööstusest eelpressimist, mis aitab suurendada tootlikkust. Pärast eelpressimist on laastuvaiba paksus 50–70% tema algpaksusest, väheneb ka õhu sisaldus laastuvaibas. See võimaldab kuumpressi avasid avada vähem ja sulgeda kiiremini.

Pressimine võib toimuda perioodilises või pidevpressis.

Pressimisel eristatakse kolme etappi.

- Esimeses etapis pressitakse laastuvaip soovitava paksuseni ja soojus liigub peamiselt veeauruna plaadi keskele ja veeaur kondenseerub.
- Teises etapis hoitakse maksimaalset survet. Kui plaadi keskosa temperatuur on saavutanud 100 °C, siis liimi koostisosad reageerivad ja liimühendused tugevnevad. Tingituna suurest survest ja kõrgest temperatuurist on plaat elastne ja plaadi paksus hoitakse konstantsena.
- Viimases etapis alandatakse pressimissurvet, et vähendada plaadi sees tekkinud auru rõhku ja sisepingeid ning tagada, et surve eemaldamisel ei toimu plaadi lõhenemist. Kui siin etapis press avada enne sisepingete vähendamist, võib plaat puruneda.

Pressimistemperatuur ja -aeg sõltuvad liimist ja pressi tüübist. Kuumpressimise temperatuur on karbamiidformaldehüüdvaikudel 150–160 °C ja fenoolvaikudel 180–200 °C. Pressitegur, mida väljendatakse kui sekundit plaadi paksusmillimeetri kohta, on pidevpressi puhul 8–10 s/mm, mis on väiksem kui perioodilistel pressidel. Mitmekorruselistel pressidel on pressimise aeg tüüpiliselt 12–16 s/mm.

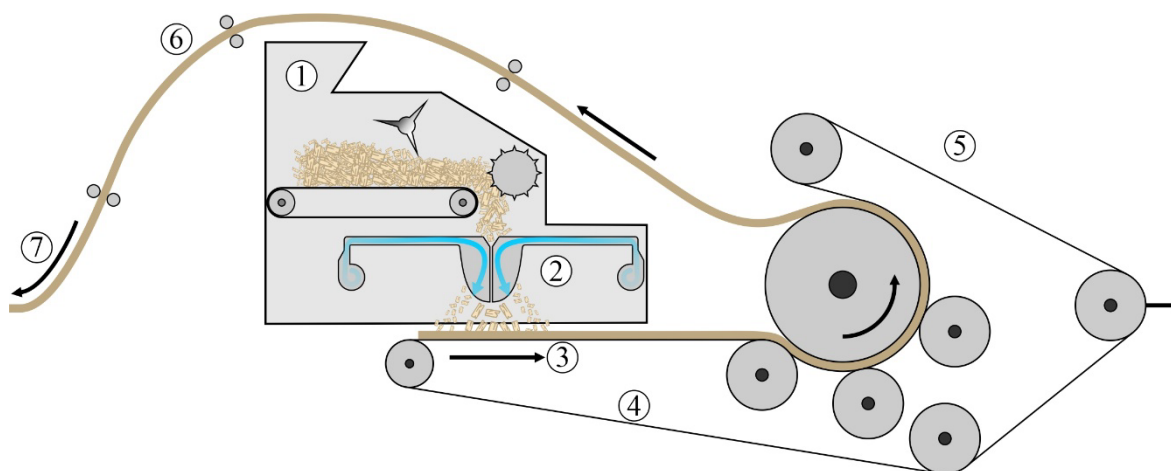
Perioodilised kuumpressid (*batch presses*)

Ühekorrulise pressiga tootmisliinidel toimub pressimistsükkel järgmiselt: laotatud laastuvaip lastakse metalliotsija alt läbi, mõõdetakse tihedust, saetakse mõõtu ja transporditakse kuumpressi. Selle plaadi kuumpressimise ajal laotatakse uus laastuvaip, mis suunatakse kuumpressi eelneva plaadi eemaldamisel kuumpressist. Enamik tänapäeval kasutatavaid ühekorruselisi perioodilisi presse on vähemalt 25 m pikad, kuid nende laius on tavaliselt alati alla 2,8 m. Seda põhjusel, et plaadis kuumpressimisel tekkiv aur saaks eralduda plaatide külgedelt. Seda tüüpi press on kõige madalama tootlikkusega, sest korraga saab pressida ainult ühte plaati.

Mitmekorruseliste presside suurim eelis võrreldes ühekorruseliste pressidega on võimalus pressida mitu plaati korraga. Plaadi tootmisprotsess kulgeb järgmiselt: laastuvaip lastakse metalliotsija alt läbi, mõõdetakse tihedust, eelpressitakse, saetakse mõõtu ja laastupakett kogutakse vertikaalselt liikuv asendusseadmes. Kogutud plaadid suunatakse korraga statsionaarselt asetsevasse kuumpressi ja pärast kuumpressimist viiakse tühjendusseadme abil jahutamisele. Ühe plaadipartii kuumpressimise käigus toimub eelneva partii eemaldamine ja uue partii sisseviimine etteandeseadmesse. Tänu mitme plaadi üheaegsele pressimisele on mitmekorruselise pressi tootlikkus võrreldes ühekorruse pressiga tootmisvõimsusega suurem.

Pidevpressid (*continuous presses*)

Pidevpresside korral toimub laastuvaiba pressimine kahe lõputu teraslindi vahel. Üheks pidevpressi tüübiks on Bison-Mende kalanderpress, kus ühe teraslindi rolli täidab kuumutatav kalandrivalts (joonis 5.88). Laastuvaip moodustatakse teraslindil, mis viib selle kalandrivaltsile ja liigub siis ümber valtsi. Lisavaltsidega saab laastumatile avaldada täiendavat kuumust ja survet. Laastumatt kõveneb liikudes ümber kalandrivaltsi, pärast valtsilt eemaldamist on valmis pidev laastplaat, mis liigub edasi saagimisele. Sellises pressis moodustub plaat painutatud olekus, pärast valtsilt eemaldumist painutatakse plaat tagasi, et seda sirgestada, kuid see seab piirid plaadi paksusele. Praktikas valmistatakse selliste pressidega harva paksemat plaati kui 6 mm. Kasutatavate kalandrivaltside diameetrid on tavaliselt 3–5 m.



Joonis 5.88 Bison-Mende kalanderpress.

Paksemate plaatide pidevpressimiseks on kasutusel tasapinnalised pidevpressid, esimene taoline oli Küsteri press. Selles liigub laastumatt kahe teraslindi vahelt läbi.

Pidevpressid jaotatakse teraslindi liikumise mehhanismi järgi järgmiselt: a) teraslindid liiguvad kettide abil, b) teraslindid liiguvad mööda kuumaplaate, c) teraslindid liiguvad rullide abil.

Tootmisprotsess on kõikide meetodite korral on sama: pärast metalliotsijat ja tiheduse mõõtmist suunatakse laastuvaip eelpressimisele, kust toorplaat läheb kuumpressi. Pressimist teostatakse kahe lõputu teraslindi omavahelise paksuse reguleerimisega: kõigepealt surutakse plaat suure surve all soovitud paksuseni ning seejärel alandatakse survet liimi kõvenemiseks. Selles pressimisprotsessis on tootmisliini konveierite kiirus alati ühtlane laastu laotamisest kuni plaadi jahutamiseni.

Tänu presslintide pidevale liikumisele on pidevpressid kõrgeima tootlikkusega puitlaastplaatide tootmiseks ning tänapäeval eelistatuimad pressitüübid. Mida pikem on pidevpress, seda suurem on tootmisliini tootlikkus, sest liini kiirust saab suurendada, säilitades vajaliku pressimisaja. Näiteks võib pressimiskiirus olla 3 mm plaadi puhul 120 m/min, 38 mm plaadi puhul aga 5 m/min. Pidevpresside laius on tüüpiliselt 1,8–3,0 m ja pikkus 50 m.

Liinilt tulnud puitlaastplaadid jahutatakse, et võimaldada liimi järelkõvenemist ja niiskuse ühtlustumist, ning viimistletakse. Karbamiid- või melamiinkarbamiidformaldehüüdlimidega valmistatud plaadid vajavad tingimata jahutamist. Kui need plaadid ladustada kuumalt, siis hakkab plaatides toimuma termiline degradatsioon. Fenoollimidega valmistatud plaate aga soovita- takse ladustada kuumalt, sest liim vajab järelkõvenemiseks aega ja selliste plaatide omadused paranevad ajaga.

Levinud on puitlaasplaatide pindade katmine erinevate materjalidega (lamineerimine).

Puitlaastplaatide üldnõuded ja füüsikalisi-mehaanilised omadused on kehtestatud standardiga EVS-EN 312 „Puitlaastplaadid. Spetsifikaadid“. Puitlaastplaatide üldnõuded on toodud tabelis 5.13.

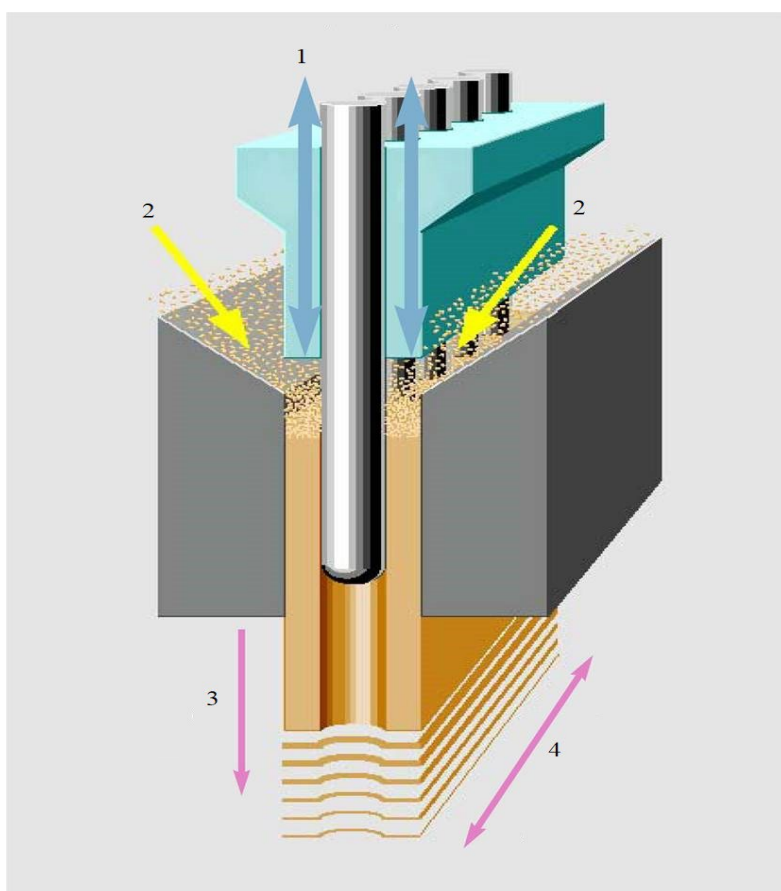
	Omadus	Katsemeetod	Nõuded
1	Nimimõõtmete tolerantsid: paksus (lihvitud) üksikul plaadil ja plaatidel paksus (lihvimata) üksikul plaadil ja plaatidel pikkus ja laius	EN 324-1	$\pm 0,3$ mm $-0,3$ mm + $1,7$ mm ± 5 mm
2	Serva sirgjoonelisuse tolerants	EN 324-2	$1,5$ mm/m
3	Täisnurksuse tolerants	EN 324-2	2 mm/m
4	Niiskussisaldus	EN 322	5% – 13%
5	Üksiku plaadi keskmise tiheduse tolerants	EN 323	$\pm 10\%$
6	Formaldehüüdi emissioon EN 13986 järgi: Klass E1 Perforaatorarv	EN 120	≤ 8 mg/100 g abso- luutkuivas plaadis
	Formaldehüüdi emissioon	EN 717-1	Emissioon $\leq 0,124$ mg/m ³ õhus
	Klass E2 Perforaatorarv	EN 120	> 8 mg/100 g abso- luutkuivas plaadis ja ≤ 20 mg/100 g abso- luutkuivas plaadis
	Formaldehüüdi emissioon	EN 717-1	Emissioon $> 0,124$ mg/m ³ õhus ja $\leq 0,3$ mg/m ³ õhus

5.10.2 Puitlaastplaatide liigid

Ekstrusioonplaadid (*extruded particleboards*)

Ekstrusioonplaadid on puitlaastplaadi alaliik, mis valmistatakse pidevprotsessina ekstrusioonpressis (joonis 5.89). Standardi EVS-EN 309 „Puitlaastplaadid. Määratlus ja liigitus“ järgi võivad ekstrusioonplaadid olla kas ühtsed või torujate õõnsustega. Ekstrusioonpressimine on ainuke meetod torujate õõnsustega plaatide valmistamiseks.

Löökvasar surub rütmilise liikumisega liimitatud laastu kuumutusplaatide vahelt läbi. Kui tegemist on õõnsustega plaatidega, siis on vasara sees kuumutatavad vardad, mis ulatuvad pressikanalisse. Ekstrusioonikiirus on 500–1200 mm/min.



Joonis 5.89 Ekstrusioonpress torujate õõnsustega plaadi valmistamiseks: 1 – löökvasar, 2 – puidulaast, 3 – plaadi pikkus, 4 – plaadi laius. Foto: Sauerländer Spanplatten GmbH & Co

Valdavalt kasutatakse puitlaastplaatide valmistamiseks okaspuidulaastu ja karbamiidformaldehüüdi. Plaat iseloomustab paksuses vähene pundumine ja hea survetugevus, sest puidulaastud on valdavalt orienteeritud risti plaadi pinnaga. Paindetugevus on väiksem võrreldes lamepressitud plaatidega.

Vahvelplaat (*waferboard*)

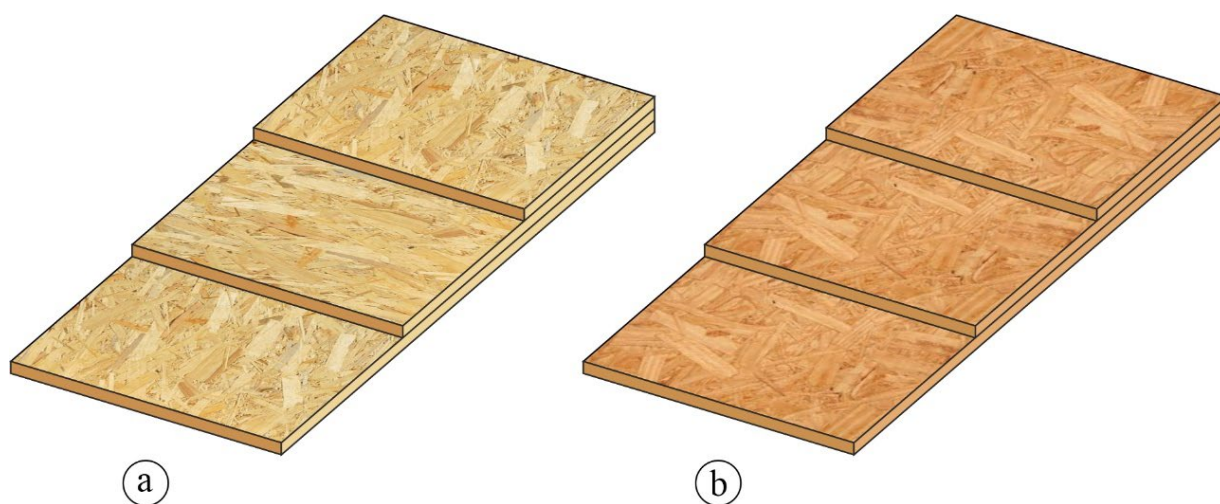
Kanadas välja töötatud vahvelplaat on suurte, õhukeste, lamedate laastudega plaat, mille valmistamiseks kasutatakse tangentsiaalsuunaliselt lõigatud haavapuidu laaste. Liimimiseks kasutatakse pulbrilist fenoolvaiku. Liimi kogus plaadis on ainult 2–5%. Plaadi veekindluse parandamiseks lisatakse enne liimi sissesegamist umbes 1,5% parafiini.

Laastud on 15–70 mm laiad ja 30–40 mm pikad, teatud plaadisortide puhul ka ruudukujulised 75×75 mm. Laastu paksus 0,4–1 mm.

Vahvelplaate kasutatakse peamiselt välioludes seinavooderdusena, aluspõrandates ja muldlaledes ning konstruktsioonmaterjalina (heast nihketugevusest tingituna sobib kandva komponendina I-talade keskosaks).

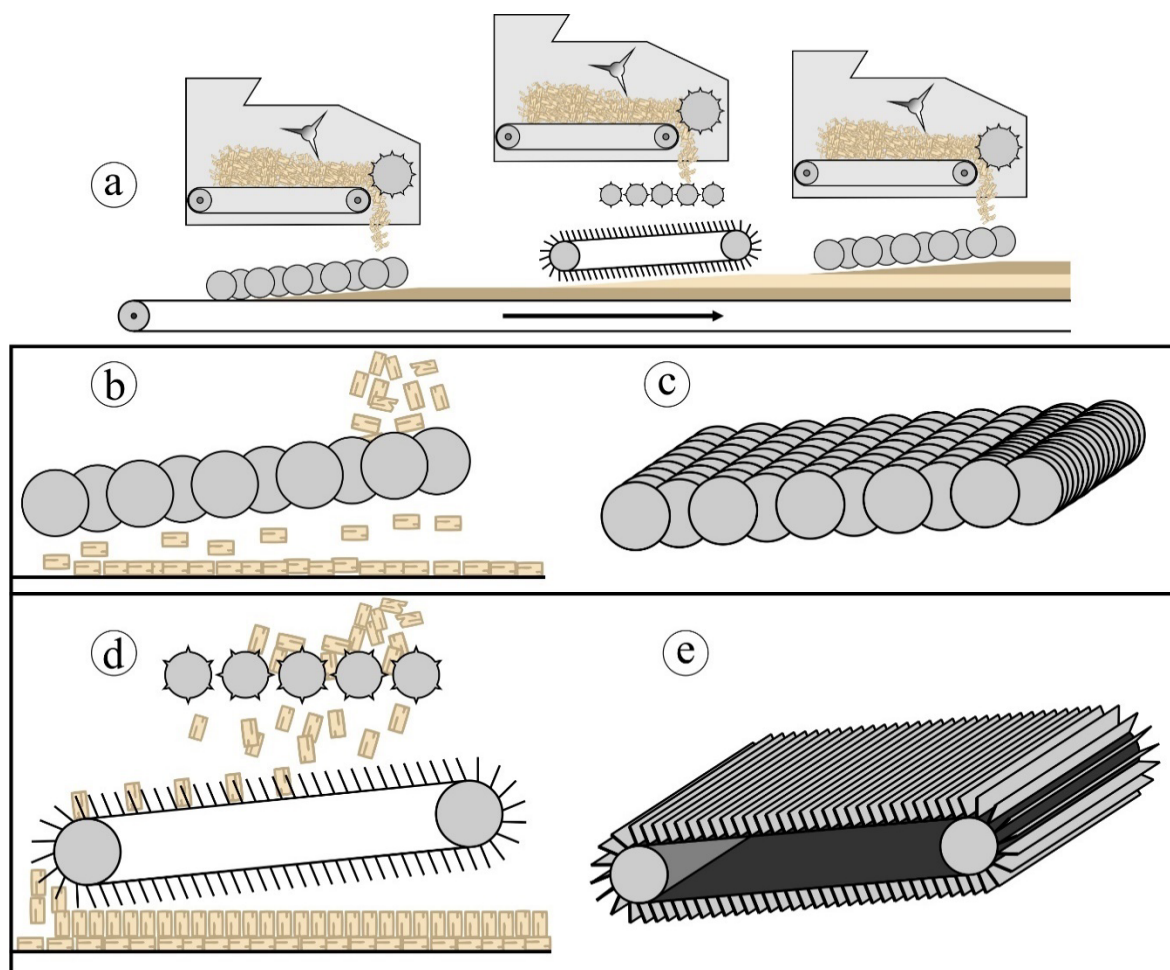
Orienteeritud laastuga plaat (*oriented strand board, OSB*)

Orienteeritud laastuga plaat on välja töötatud USA-s, see koosneb õhukestest, pikkadest, kitsastest laastudest. OSB-plaat töötati esialgu välja vineeri alternatiivina, et leevendada kvaliteetse suure diameetriga palgi puudust. OSB-plaadi eeliseks võrreldes vineeriga on asjaolu, et selle valmistamiseks saab kasutada väikese diameetriga palki. Puidutoormena ei kasutata jäätmeid, ent pole ka vajadust küpse puidu järele. Enamasti on toormeks noor kiirekasvuline puit, USA-s nt mänd või haab. OSB-plaat koosneb laastudest, mis asetsevad kolmes või viies üksteise suhtes risti paiknevas kihis (joonis 5.90). Sellist tüüpi plaat on harilikust laastplaadist kallim.



Joonis 5.90 OSB-plaat (a) ja vahvelplaat (b).

OSB-plaadi laastud on veidi väiksemad kui vahvelplaadi omad ning nende pikkuse ja laiuse suhe on vähemalt kolm. Keskmiselt on laastude laius 15–25 mm, pikkus 75–150 mm ja paksus 0,3–0,7 mm. OSB-plaadi laastude niiskus on tavaliselt madalam kui puitlaastplaadi laastudel, sisekihtidel 2% ja pinnakihtidel 3%, sest laastude ülekate ei võimalda kuumpressimisel aurul eralduda. Liimidenä kasutatakse fenool- või isotsüanaatliime, mis pihustatakse laastudele. Liimi sisaldus on pinnakihtides 3–6% ja sisekihtides 4–8%. Laastumati formeerimine toimub kihiliselt (joonis 5.91 a ja 5.92) Pinnakihtide laastud orienteeritakse plaadi pikitelje suunas pöörlevate ketaste abil (joonis 5.91 b ja c), sisekihi laastud risti plaadi pikiteljega pöörleva ribivaltsi abil (joonis 5.91 d ja e).



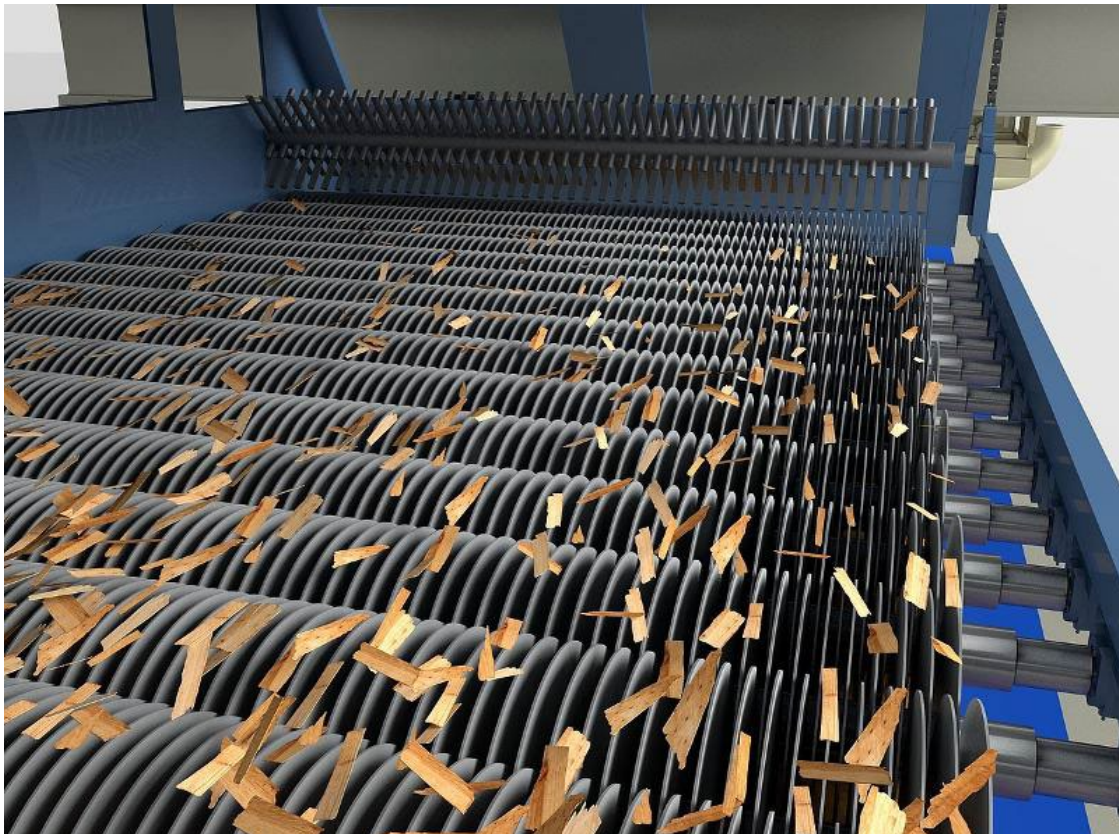
Joonis 5.91 OSB-plaadi laastumati formeerimine.

OSB plaadid jaotatakse neljaks tüübiks vastavalt standardile EN 300 „Orienteeritud kihtidega plaadid (OSB) Määratlused, liigitus ja spetsifikatsioonid“:

- 1) OSB/1 üldotstarbelised mittekandetarindite plaadid ja plaadid sisekujunduses (sh mööbel) kasutamiseks kuivades oludes;
- 2) OSB/2 kandetarindite plaadid kasutamiseks kuivades oludes;

- 3) OSB/3 kandetarindite plaadid kasutamiseks niisketes oludes;
- 4) OSB/4 kõrgendatud vastupidavusega kandetarindite plaadid kasutamiseks niisketes oludes.

OSB-plaadi kasutusalaadeks on mööblitööstus (nt vahekihina vineer-sandwich-konstruktsioonides), ehitus (põranda-, seina- ja laeplaatidena) ja muudes konstruktsioonides (I-talade kõikides osades).



Joonis 5.92. OSB-plaadi pinnakihtide formeerimine: pöörlevate ketastega formeerimissõel.
Foto: G. Siempelkamp GmbH & Co. KG

5.10.3 Puitkiudplaadid (*fibreboards*)

Puitkiudplaatide liigitus ja omadused

Puitkiudplaatide definitsiooni ja liigituse annab standard EVS-EN 316 „Puitkiudplaadid. Määratlus, liigitus ja tähised“.

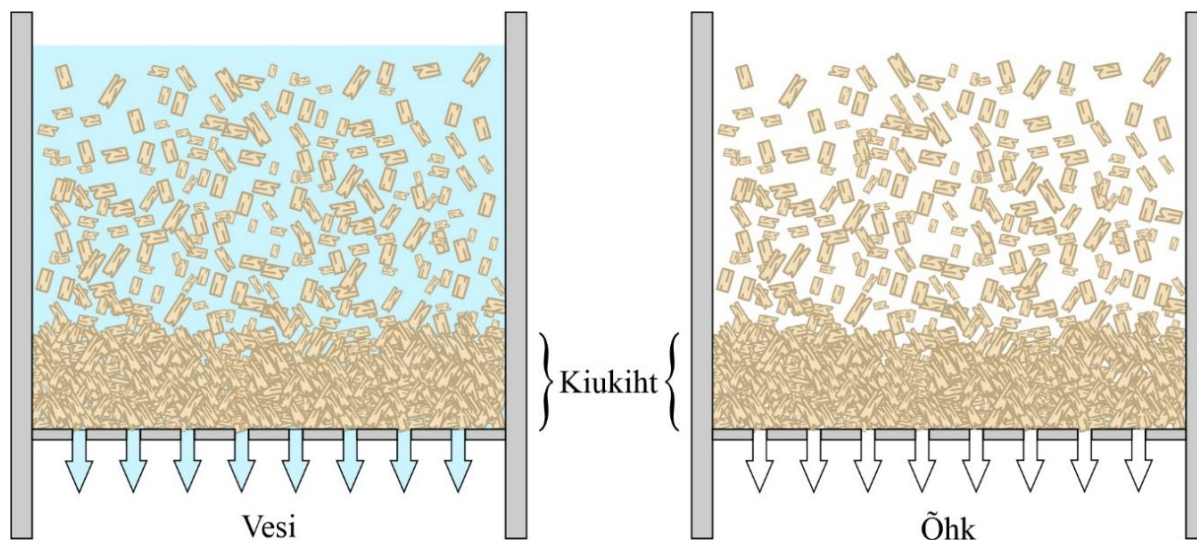
Puitkiudplaat on plaatmaterjal paksusega 1,5 mm või enam, mis on valmistatud lignotselluloosetest kiududest kuumuse ja/või surve kasutamisega.

Plaadid võivad olla valmistatud kas märjal või kuival meetodil (joonis 5.93). Märjal meetodil on kiumassi niiskus kiuvaiba moodustamisel üle 20%, kuival meetodil alla 20%. Märjal meetodil on võimalik valmistada väga erineva tihedusega plaate (joonis 5.94).

Standard liigitab puitkiudplaate erinevate kriteeriumide alusel.

1. Liigitus valmistusmeetodi järgi:

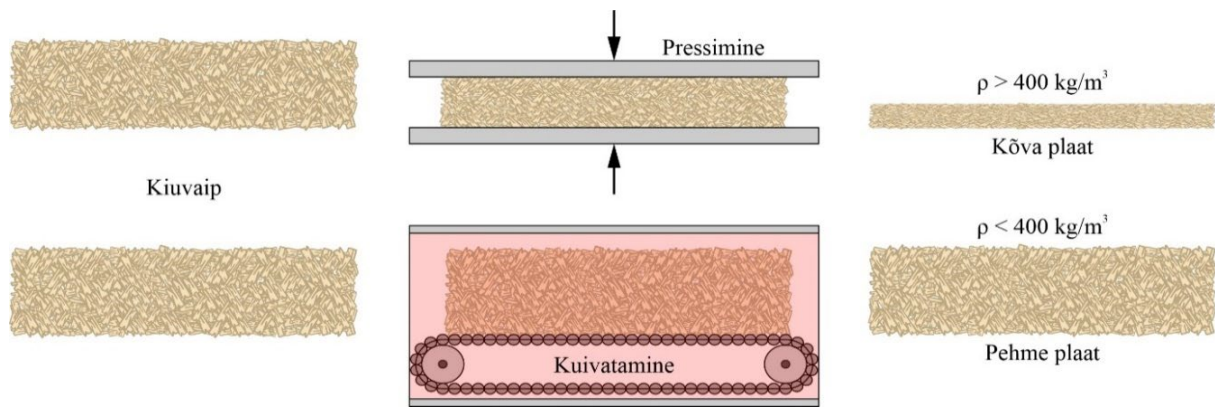
- märgmeetodi plaadid;
- kuivmeetodi plaadid (tähistus EVS-EN 316 järgi MDF, *medium density fibreboard*).



Joonis 5.93. Kiuvaiba moodustamine märjal ja kuival meetodil.

2. Märgmeetodi plaatide liigitus tiheduse järgi:

- kõvad plaadid (tähistus EVS-EN 316 järgi HB, *hardboards*), tihedus $\geq 900 \text{ kg/m}^3$;
- keskmised plaadid (MB, *medium boards*), tihedus $\geq 400 - 900 \text{ kg/m}^3$;
 - madala tihedusega keskmised plaadid (MBL, *low density medium boards*), tihedus $400 - < 560 \text{ kg/m}^3$;
 - kõrge tihedusega keskmised plaadid (MBH, *high density medium boards*), tihedus $560 - < 900 \text{ kg/m}^3$;
- pehmed plaadid (SB, *softboards*), tihedus ≥ 230 kuni $< 400 \text{ kg/m}^3$.



Joonis 5.94. Märgmeetodil kõvade ja pehmete puitkiudplaatide valmistamine.

3. Liigitus kasutusolude järgi:

- kuivad kasutustingimused (tähistuseta);
- niisked kasutustingimused (tähistus EVS-EN 316 järgi H, *humid conditions*);
- väliolud (E, *exterior conditions*).

4. Liigitus kasutuseesmärgi järgi:

- üldotstarbelised (tähistuseta),
- kandetarindites kasutamiseks (tähistus EVS-EN 316 järgi L, *load-bearing applications*):
 - kõigile koormuse kestvuse kategooriatele (A, *all load duration categories*),
 - ainult hetkelisele või lühiajalisele koormusele (S, *instantaneous or short-term durations only*).

Puitkiudplaatide olulisteks standarditega normeeritud omadusteks on mõõtmete täpsus, mehaaniline tugevus (väljendatuna paindetugevuse ja kiududevaheliste sidemete tugevuse väärtustega) ja niiskusomadused (väljendatuna pundumise väärtusega). Sideainet sisaldava MDF-plaadi puhul on normeeritud ka vaba formaldehüüdi sisaldus, mis iseloomustab plaadi toksilisust. Üldnõuded puitkiudplaatidele on määratud standardiga EVS-EN 622-1 „Puitkiudplaadid. Spetsifikatsioonid. Osa 1: Üldnõuded“ ning esitatud tabelites 5.14 ja 5.15.

Tabel 5.14 Üldnõuded puitkiudplaatidele

Omadused	Katsemeetod	Plaadiliik			
		HB	MBL ja MBH	SB	MDF
Nimimõõtmete tolerantsid – paksus – pikkus ja laius	EVS-EN 324-1 EVS-EN 324-1	Vt tabel 5.15 $\pm 2,0$ mm/m; max $\pm 5,0$ mm			
Täisnurksuse tolerants	EVS-EN 324-2	2,0 mm/m			
Serva sirgjoonelisuse tolerants	EVS-EN 324-2	$\pm 1,5$ mm/m			
Niiskussisaldus	EVS-EN 322	4–9%	4–9%	4–9%	4–11%
Tiheduse tolerants	EVS-EN 323	–	–	–	$\pm 7\%$
Formaldehüüdi potentsiaal:	EVS-EN 120 või ENV 717-1				
Klass E1					
Perforaatorarv	EVS-EN 120 või	–	–	–	≤ 8 mg/100 g ahjukuiv plaat
Stabiilse oleku emissiooni väärtus	ENV 717-1	–	–	–	Eraldumine $\leq 0,124$ mg/m ³ õhus
Klass E2					
Perforaatorarv	EVS-EN 120 või	–	–	–	≤ 30 mg/100 g ahjukuiv plaat
Stabiilse oleku emissiooni väärtus	ENV 717-1	–	–	–	Eraldumine $> 0,124$ mg/m ³ õhus
Perforaatorarv on kehtestatud niiskussisaldusele 6,5%, sellest erineval niiskussisaldusel tehakse ümberarvutus (vt EVS-EN 622-1)					

Tabel 5.15 Puitkiudplaatide nimipaksuse tolerantsid

Plaadi liik	Kõvad plaadid HB	Nominaalpaksus, mm		
		≤ 3,5	> 3,5 kuni ≤ 5,5	> 5,5
		± 0,3 mm	± 0,5 mm	± 0,7 mm
	Keskmised plaadid MBL ja MBH	Nominaalpaksus, mm		
		≤ 10		> 10
		± 0,7		± 0,8
	Pehmed plaadid SB	Nominaalpaksus, mm		
		≤ 10	> 10 kuni 19	> 19
		± 0,7 mm	± 1,2 mm	± 1,8 mm
	Kuivmeetodi plaadid MDF	Nominaalpaksus, mm		
		≤ 6	> 6 kuni 19	> 19
		± 0,2 mm	± 0,2 mm	± 0,3 mm

Nõuded tugevus- ja niiskusomadustele (paindetugevus, sisesidusus, pundumine) märjal meetodil valmistatud plaadiliikidele kasutamiseks erinevates keskkonnaoludes on esitatud järgmistes standardites:

- EVS-EN 622-2 „Puitkiudplaadid. Spetsifikaadid. Osa 2: Nõuded kõvadele plaatidele“;
- EVS-EN 622-3 „Puitkiudplaadid. Spetsifikaadid. Osa 3: Nõuded keskmise tihedusega plaatidele“;
- EVS-EN 622-4 „Puitkiudplaadid. Spetsifikaadid. Osa 4: Nõuded pehmetele plaatidele“.

Tabel 5.16 Nõuded kuivades oludes kasutatavatele üldotstarbelistele kõvadele plaatidele (EVS-EN 622-2)

Omadus	Katsemeetod	Nominaalpaksuse vahemik, mm		
		≤ 3,5	> 3,5 – 5,5	> 5,5
Pundumine paksuses, 24 h, %	EVS-EN 317	35	30	25
Sisesidusus, N/mm ²	EVS-EN 319	0,50	0,50	0,50
Paindetugevus, N/mm ²	EVS-EN 310	30	30	25

Tabel 5.17 Nõuded niisketes oludes kasutatavatele üldotstarbelistele kõvadele plaatidele (EVS-EN 622-2)

Omadus	Katsemeetod	Nominaalpaksuse vahemik, mm		
		≤ 3,5	> 3,5 – 5,5	> 5,5
Pundumine paksuses, 24 h, %	EVS-EN 317	25	20	20
Sisesidusus, N/mm ²	EVS-EN 319	0,60	0,60	0,30
Paindetugevus, N/mm ²	EVS-EN 310	35	32	30
Sisesidusus pärast keetmiskatset, N/mm ²	EVS-EN 319 EVS-EN 1087-1	0,30	0,30	0,25

Tabel 5.18 Nõuded kuivades oludes kasutatavatele üldotstarbelistele pehmetele plaatidele (EVS-EN 622-4)

Omadus	Katsemeetod	Nominaalpaksuse vahemik, mm			
		≤ 10	> 10 – 19	> 19 – 36	> 36
Pundumine paksuses, 2 h, %	EVS-EN 317	10	10	10	10
Paindetugevus, N/mm ²	EVS-EN 310	0,9	0,8	0,8	0,4

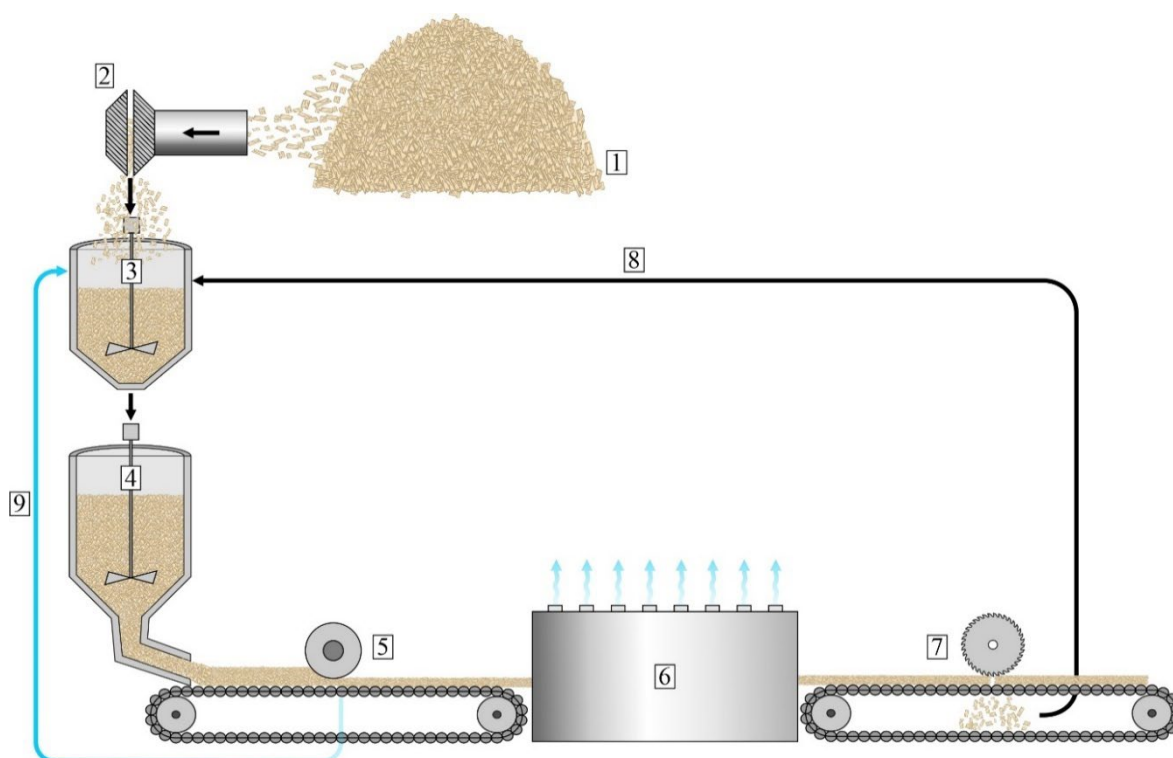
Nõuded keskmise tihedusega (MDF) plaatidele on esitatud standardis EVS-EN 622-5.

Tabel 5.19 Nõuded kuivades oludes kasutatavatele üldotstarbelistele keskmise tihedusega puitkiudplaatidele (MDF) (EVS-EN 622-5)

Omadus	Paksusvahemik, mm								
	1,8–2,5	>2,5–4	>4–6	>6–9	>9–12	>12–19	>19–30	>30–45	>45
Pundumine paksuses, 24 h, %	45	35	30	17	15	12	10	8	6
Sisesidusus, N/mm ²	0,65	0,65	0,65	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50
Paindetugevus, N/mm ²	23	23	23	23	22	20	18	17	15
Elastsusmoodul, N/mm ²	–	–	2700	2700	2500	2200	2100	1900	1700

5.10.4 Puitkiudplaatide tootmine märgmeetodil

Puitkiudplaatide tootmise märgmeetodi olulisemad tehnoloogilised operatsioonid on (joonis 5.95) tooraine ettevalmistamine, laastu pesemine, kiumassi valmistamine, kiuvaiba moodustamine, plaatide kuumpressimine, plaatide kuivatamine (pehmed plaadid), kuumtöötlemine (kõvad plaadid) ja niisutamine (kõvad plaadid).



Joonis 5.95 Puitkiudplaatide tootmise tehnoloogiaskeem (märgmeetod): 1 – puidulaast, 2 – jahvatus, 3 – veega segamine, 4 – lisandite lisamine, 5 – mehaaniline press, 6 – kuivatamine, 7 – lahtilõikamine, 8 – puidutolmu ja jäätmete kogumine, 9 – plaadist välja pressitud vee taaskasutus.

Kiumassi ettevalmistamine

Puitkiudplaatide tooraineks on puidulaast, mille optimaalsed näitajad on järgmised: pikkus 10–35 mm, paksus < 5 mm, niiskus > 30%, koosisaldus < 5% ja mädanikusisaldus < 5%.

Plaatide valmistamiseks märgmeetodil on eelistatud okaspuut, kuna lühikesed lehtpuidukiud ei võimalda saavutada nõutavat plaadi tugevust või tekib vajadus lisakulutusteks liimvaikudele. Sama kehtib ka saepuru kasutamisel.

Ettevõttesse võib tooraine saabuda mujal põhiliselt jääkpuidust valmistatud laastuna või ümarpuiduna, mis kooritakse ja laastustatakse raiemasinates ehk hakkurites. Sellele järgneb laastu pesemine, pesuvee temperatuur on tavaliselt 75–85 °C. Pesu ülesanne on eemaldada rasked lisandid (liiv, kivikesed, metalliosakesed), kerged lisandid (saepuru, koor) ja õhk, lisada ja ühtlustada niiskust ning tõsta laastu temperatuuri.

Laastust kiumassi valmistamiseks kasutatakse defibraatorseadet (*defibrator*), mille olulisemaks koostisosaks on ketasveski. Ketasveskis toimuv jahvatusprotsess (kiudude eraldumine ja lisatöötlus) on määrava tähtsusega plaatide mehaaniliste omaduste kujunemisel. Enamasti jahvatuses defibraatorseadme ketasveskis ei piisa nõutava tulemuse saavutamiseks ning mass suunatakse läbi sekundaarjahvatuse, mis kujutab endast samasugust ketasveskit nagu defibraatorseadme koostises.

Jahvatamine peab tagama laastu lagundamise kiududeks ja kiudude sellise töötuse, et nad hiljem moodustaksid tugevad omavahelised sidemed. Jahvatuse eesmärgiks ei ole puidukiudude lühendamine, sest see vähendab kiudplaatide tugevust.

Jahvatamine vee keskkonnas põhjustab laastu pundumist, muljumist, lõhestamist ja lõikamist jahvatusgarnituuri ja hüdrotermilise töötuse mõjul. Intensiivne mehaaniline töötus tõstab keskkonna temperatuuri (kuni 170 °C) ning kõrgetemperatuurne veeaur põhjustab puidu osalist hüdrolüüsi ja komponentide vaheliste sidemete lagunemist, eriti just vahelamellis. Tekivad vabad hüdroksüülrühmad, mis suurendavad materjali hüdrofiilsust ja muudavad selle plastsemaks. Moodustub mass, mis koosneb eraldunud puidukiududest, kiukimpudest ja fibrillidest.

Jahvatamise käigus toimub kiudude edasine pundumine, nende sisemine ja välimine fibrilleerimine. Fibrilleerimine (*fibrillation*) tähendab fibrillide eraldumist üksteisest, mille tulemusena kiuseina tungib rohkem vett ja tekib rohkem vabu OH-rühmi, mis vett seovad. Sisemise fibrilleerimise tulemusena muutuvad kiud plastsemaks, hilisemal pressimisel on seetõttu suurem kontaktpind ja tekib rohkem mehaanilist tugevust tagavaid sidemeid (vesiniksidemed vabade

OH-rühmade kaudu). Välise fibrilleerimise tulemusena eralduvad fibrillid kiupinnalt ja kiud muutuvad piltlikult öeldes karvaseks, mis suurendab samuti seostusvõimalusi fibrillide vabade hüdroksüülrühmade kaudu.

Kiumassi liimitamisel lisatakse kiumassi mitmesuguseid keemilisi lisandeid, mis peavad parandama kiudplaatide omadusi. Kasutatakse peamiselt kahte liiki lisandeid: pundumist ja veeimavust vähendavaid hüdrofoobseid aineid (nt parafiin) ning tugevust suurendavaid liime.

Jahvatamisel on eesmärgiks saada võimalikult palju vabu OH-rühmi, mis tagab kiududevaheliste sidemete moodustumise. Osa OH-rühmi jääb aga vabaks ka pärast kiududevaheliste sidemete moodustumist ning neid on vaja blokeerida hüdrofoobse ainega, et vähendada plaatide hüdrofiilsust. Kiumass valmistatakse tavaliselt kontsentratsiooniga ligikaudu 2% ja hüdrofoobsed ained lisatakse massi hulka vesiemulsioonina, mille stabiilsuse suurendamiseks kasutatakse emulgaatoreid.

Kiuvaiba formeerimine

Kiuvaiba moodustamiseks on ajalooliselt kasutatud nii lamesõel- kui ka ümarsõelmasinaid. Tänapäeva tavatehnoloogia baseerub lamesõelmasinatel, mis koosnevad pealejooksukastist, registerosast, imevosast ja pressiosast.

Kiuvaiba moodustamine peab tagama plaatide ühtlase ja maksimaalselt omavahel seostunud üksikelementidega struktuuri. Protsess toimub pidevmeetodil, kiumass juhitakse liikuvale sõelale, vaba vesi eraldub läbi sõela, sellele järgneb vee eraldamine imevkastide vaakumi abil ning vee eraldamine pressimisega.

Massi juhtimisel sõelale on massi kontsentratsioon tavaliselt 0,9–1,8%. Vibraator lisab kiududele kineetilist energiat, mis takistab nende voolusuunalist orienteerumist ja ühtlustab kiuvaiba struktuuri. Vee eraldumist soodustavad sõela all paiknevad registervaltsid, mille pöörlemine tekitab sõela all kerge vaakumi. Edasi liikudes kaotab kiumass voolavuse ja kiuvaip hakkab omandama mõningast tugevust. Vabafiltratsiooniga kasvab massi kontsentratsioon kuni 6%-ni. Edasine vee eemaldamine toimub vaakumpumbaga imevkastides tekitatava vaakumi toimele ning kiuvaiba kuivainesisaldus kasvab 15%-ni.

Vee eraldumine peab olema sujuv ja mitte liialt intensiivne. Intensiivsuse järsk tõus põhjustab juba moodustunud kiuvaiba struktuuri lagunemist, millega kaasneb plaatide tugevuse vähenemine. Pressimine algab eelpressi väikese läbimõõduga paarisvaltside vahel ning jätkub seejärel

suurema survega suure läbimõõduga pressivaltside vahel. Pressimisega tõstetakse kiuvaiba kuivainesisaldus 28–32%-ni. Pressiosast väljumisel toimub kiuvaiba servade lõikamine ja vaiba tükeldamine vajalikku mõõtu.

Kõvade plaatide kuumpressimine

Märgmeetodil valmistatud kõvade plaatide kuumpressimine toimub mitmekorruselistes pressides, mille konstruktsioon on sarnane puitlaastplaatide ja vineeri valmistamisel kasutatavate pressidega.

Niiske kiuvaip asetatakse pressivahesse sõelte ning transport- ja läikeplaatide vahele. Pressimisfaasis pressitakse ligikaudu 1/3 veest kiuvaibast välja. Maksimaalset survet hoitakse lühikest aega, mille kestel toimub mehaaniline vee eemaldamine. Järgmises faasis algab temperatuuri tõusuga aurustumine. Auru vabamaks väljapääsuks kiuvaibast alandatakse survet ning plaadi jääniiskuseks on ligikaudu 7%. Karastamise faas suurendab plaatide mehaanilist tugevust ning hüdrofoobsust.

Pressimisel toimub pundunud ja plastifitseerunud kiudude lähenemine ja kokkusurumine. Samal ajal algab vee aurustumine suuremate pooride kaudu. Kiuvaiba temperatuur ei tõuse vee keemistemperatuurist kõrgemale seni, kuni kiudude niiskus ei ole langenud rakuseinte küllastuspini. Edasisel niiskuse aurumisel hakkab temperatuur jälle tõusma ja samal ajal pressimiskahanemisega leiab kiududes aset kuivamiskahanemine. Kokkusurutud pinnad seostuvad, peamiselt vesiniksidemete tekkimisega.

Pressimisel toimub rida keemilisi protsesse, mis on seotud hemitsellulooside termohüdrolyütilise lagunemisega ning madalmolekulaarsete ühendite osakaalu suurenemisega, uute karboksüülrühmade moodustumisega, tselluloosi polümerisatsiooniastme vähenemisega ja ligniini pehmenemisega. See kõik soodustab kiududevahelise kontaktpinna suurenemist ja parandab sidusust.

Plaatide tugevus sõltub kahest tegurist: kiudude tugevusest ja kiududevaheliste sidemete tugevusest. Kiudude endi tugevus on väga suur võrreldes kiududevaheliste sidemete tugevusega ja määravaks osutub viimane, mis on määratud vesiniksidemete arvuga. Tekkinud vesiniksidemete arv sõltub omakorda kontaktpinna suurusel. Puitkiudplaatide tugevuseks soodsate eelduste loomine algab seega jahvatamisega ja lõpeb kuumpressimisega.

Ülikõvade ja pehmete plaatide tootmise iseärasused

Ülikõvad plaadid immutatakse pärast pressimist linaseemneõli ja tallõli seguga. Immutamine toimub pidevmeetodil plaatide liikumisega rulltransportööril läbi immutusvanni. Pehmete plaatide valmistamisel on paremate tugevusnäitajate saamiseks jahvatusprotsess tavaliselt intensiivsem ja massi jahvatuskraad suurem. Kuumpressimise asemel toimub kuivatamine mitmekordsetes rullkuivatites lõppniiskuseeni 2–3%.

5.10.5 Puitkiudplaatide tootmine kuivmeetodil

MDF-plaadi tootmine, mis toimub kuivmeetodil, leiutati USA-s. Euroopas hakkas tootmine laialdaselt levima alles 1980. aastatel. Kuigi plaat kannab keskmise tihedusega kiudplaadi nime (*medium density fiberboard*), valmistatakse teda tänapäeval laiades tiheduspiirides 500–900 kg/m³ ja paksusega 2–100 mm. Oma väga ühtlase struktuuri tõttu on MDF-plaat väga kvaliteetne mööblimaterjal, kuid leiab laialdast kasutamist ka muudes valdkondades. MDF-plaati on võimalik väga hästi lamineerida, värvida ja liimida.

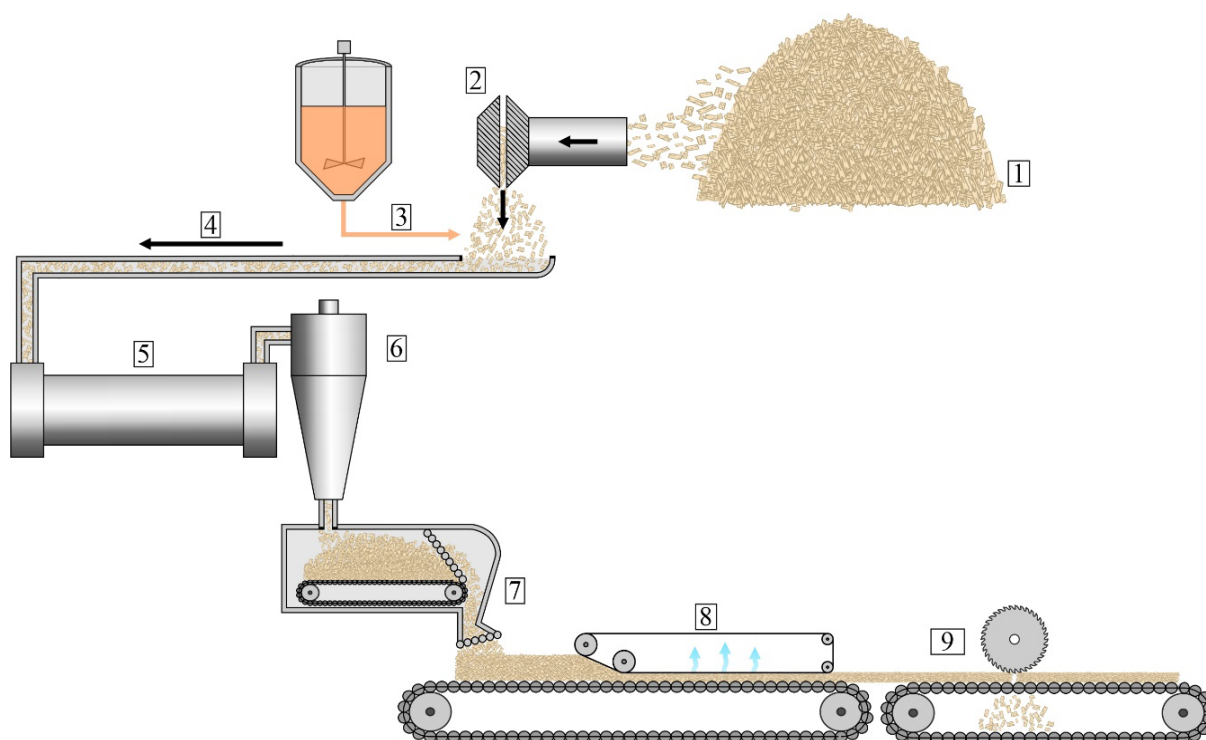
Puitkiudplaatide tootmise kuiva meetodi olulisemad tehnoloogilised operatsioonid on tooraine ettevalmistus, laastu pesemine, kiumassi valmistamine, kiumassi kuivatamine (kuivmeetodil MDF-plaat), kiuvaiba moodustamine, plaatide kuumpressimine ja lihvimine (MDF-plaat).

Protsessi iseloomustus ja tehnoloogia

MDF-plaatide tootmisel esitatakse toorainele väiksemaid nõudeid võrreldes märgmeetodil kõvade plaatide tootmisega, kuid laastus ei tohiks olla üle 10% saepuru ja üle 10% puukoort. Oluline on, et tooraine oleks ühtlaste omadustega. Eelistatum on lehtpuit. Lühikesed lehtpuidukiud annavad kiuvaiba moodustamisel ühtlasema struktuuri ja paremad plaatide omadused. Uuritakse ka võimalusi muude lignotselluloossete kiudude, peamiselt põllumajanduse jäätmete kasutamiseks.

Puitkiudplaadi kuivmeetodil tootmise põhimõtteline skeem on esitatud joonisel 5.96. Esmalt peenestatakse puit võimalikult ühesuurusteks osadeks, sõltuvalt sellest, kas kasutatakse värsket või ümbertöötatud puitu. Seejärel toimub laastu pesu, et eemaldada koore- ja pinnasejäägid ning pärast seda pressitakse laastust liigne vesi välja. Enne jahvatust kuumutatakse laastu 0,6–1 MPa rõhu juures sisetemperatuurini 175–190 °C, sellele järgneb kiudude jahvatus, mis on termomehaaniline protsess ega erine jahvatusest märgmeetodil valmistatavate plaatide kiudude ettevalmistusest. Kasutatakse ketasveskeid ketaste vahekaugusega ligikaudu 1 mm. Laastust

saadakse kiudude kimbud. Pärast jahvatamist ketasveskist väljumisel doseeritakse märgade kiudude hulka sideaine ja muud lisandid. Kiudude väljapuhumine veskist toimub rõhu all ja edasi liiguvad kiud kuivatisse atmosfäärirõhule. Väljapuhumisel tekkiv intensiivne turbulentne vool eraldab kiudude kimbud üksikuteks kiududeks ning kuivatisse jõudes on sideaine ja kiud ühtlaselt segunenud. Sideaineks võib olla karbamiidvaik või isotsüanaatvaik. Isotsüanaatvaik jaotub kiududel ühtlasemalt, kulu on väiksem ja plaadid on veekindlad. Vaigu kulu on 8–15% (vaigu kuivaine absoluutkuiva puidu kohta). Sellise segamismeetodi puuduseks on, et sideainega segatud kiud lähevad edasi kuivatisse, kus toimub osaline liimi kõvenemine. Seetõttu on vajalik suurema liimikoguse kasutamine võrreldes kuivliimitamisega.



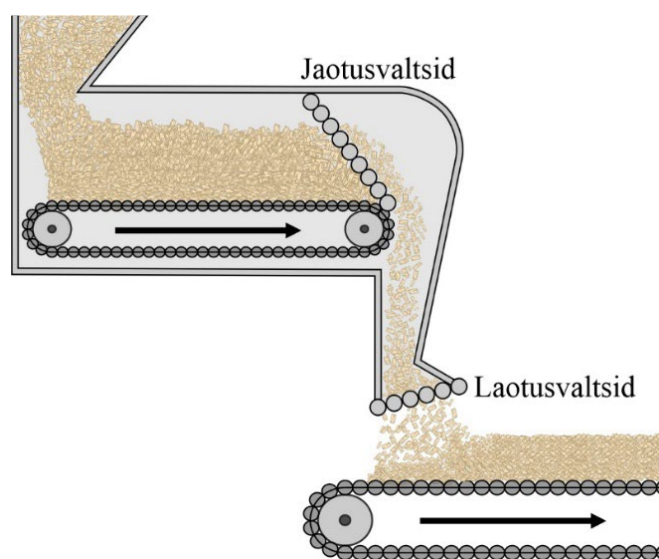
Joonis 5.96 MDF-plaadi tootmise tehnoloogiaskeem: 1 – puidulaast, 2 – jahvatus, 3 – sideaine, 4 – väljapuhe, 5 – kuivati, 6 – tsüklon, 7 – kiuvaiba formeerimine, 8 – press, 9 – lahtilõikus.

Teise variandina kasutatakse sideaine lisamist kahes etapis. Esmalt lisatakse 3–5% sideainet pärast jahvatust väljapuhumisel märgadele kiududele, seejärel kiud kuivatatakse ja lähevad edasi segistisse, kus lisatakse ülejäänud sideaine.

Kiumassi kuivatus ja kiuvaiba moodustamine

Liimitatud kiudaine kuivatamine toimub ühe- või kaheastmeliselt ning võib mõlemas astmes toimuda torukuivatis või vaheldumisi trummel- ja torukuivatis. Torukuivati võib olla kuni 100 m pikk ja 1–3 m läbimõõduga. Kiumassi niiskus enne kuivatust on umbes 120%. Kuivatamine on küllalt raske tehnoloogiline operatsioon. Ühtlase lõppniiskuse 8–12% saavutamiseks peab arvestama mitut mõjurit: puiduliiki, algniiskust, kiudude peenestusastet (jahvatuskraadi), kuivatusagensi temperatuuri ja liikumiskiirust. Kuivatile järgneb tsüklon (läbimõõt 3–5 m), kus eraldatakse aur kiududest.

Kiuvaip moodustatakse liikuvale sõelale kas ainuüksi mehaanilise laotamise teel või ka vaakumi kasutamisega. Laoturi tööpõhimõte on teatud määral sarnane laastplaatide tehnoloogias kasutatavaga, sõeltransportööri kohal paiknevad kobestamis- ja silumisvaltsid, mis peavad tagama ühtlase paksusega kihi. Erinevus laastplaatidest seisneb selles, et ei toimu kihistamist nagu kolmekihiliste puitlaastplaatide puhul ja kasutatakse ainult ühte laoturit. Kiuvaip moodustatakse kiirusega 9–50 m/min liikuvale sõelale. Sõela liikumiskiirus sõltub toodetava plaadi paksusest. Kiuvaiba tihedus on esialgu ligikaudu 25 kg/m^3 ja sõltub paljuski materjali omadustest. Kui valmistada 18 mm paksust MDF-plaati, siis kiuvaiba paksus pärast laotamist võib olla kuni 680 mm. Sõela all tekitatakse vaakum, mis tagab ühtlase jaotuse sõela laiuses. Mehaaniliste laoturite tööpõhimõtet on kujutatud joonisel 5.97 ning vaadet kiupunkri sisemusse joonisel 5.98. Kiukiht silutakse tasaseks silumis- ja kalibreerimisvaltsiga ning jaotatakse sõelale puistevaltsidega.



Joonis 5.97 Mehaaniline laotur.



Joonis 5.98 MDF-plaadi kiupunker sissevaade (ribivaltsid kiumassi ühtlustamiseks). Foto: G. Siempelkamp GmbH & Co. KG

Kiuvaiba pressimine

Moodustunud kiuvaip liigub edasi eelpressi, kus toimub esmane tihendamine. See aitab lühendada kuumpressimise aega ja muudab ka kiuvaiba tihedamaks. Kuumpressimine sarnaneb puitlaastplaadi pressimisega ja teostatakse kas ühe- või mitmekorruselistes hüdraulilistes pressides või tänapäeval üha enam pidevpressimist kasutades. Kuumpressimisel rakendatakse temperatuuri (180–210 °C) ja rõhku (0,5–5,0 MPa). Pressimisel toimub eelistatult plaadi väliskihtide tihenemine, kuid tiheduse erinevus sise- ja väliskihtide vahel on tunduvalt väiksem kui sama paksusega puitlaastplaadil (joonis 5.81). Pärast kuumpressimist ladustatakse plaadid serviti, et võimaldada pindade kokkupuudet õhuga ja kiiret jahutamist (joonis 5.99).

Pidevpressimisel liigub materjal läbi pressi 3 mm paksusel teraslindil, mis on pressi kalleimaid koostisosi ja mille vastupidavus on seetõttu väga oluline. Lint peab olema väga tugev, deformatsioonikindel, parandatav ja kestev. Kuumpressimistsoonist väljumisel toimub plaadi jahutamine.



Joonis 5.99 Plaatide jahutus pärast kuumpressimist. Foto: G. Siempelkamp GmbH & Co. KG

Pidevpressimistehnoloogia eelisteks on suur tootlikkus (tänapäeval ületab juba 2000 m³/ööp), plaadi ühtlasem paksus (võimaldab vähem lihvida: pidevpressi puitkiudplaatidelt 0,2–0,3 mm, ühekorruselise pressi puitkiudplaatidelt 0,4–0,6 mm, mitmekorruselise pressi puitkiudplaatidelt 0,6–1,0 mm), plaadi ühtlasemad omadused (võimaldavad vähendada tihedust 5–6%), väiksem elektri- ja soojusenergia kulu, tootlikkus sõltub vähe plaadi paksusest (saab toota ka väga õhukest plaati) ja presside pikem eluiga võrreldes perioodiliste pressidega (mille eluiga on ~ 20 a).

5.11 KORDAMISKÜSIMUSED

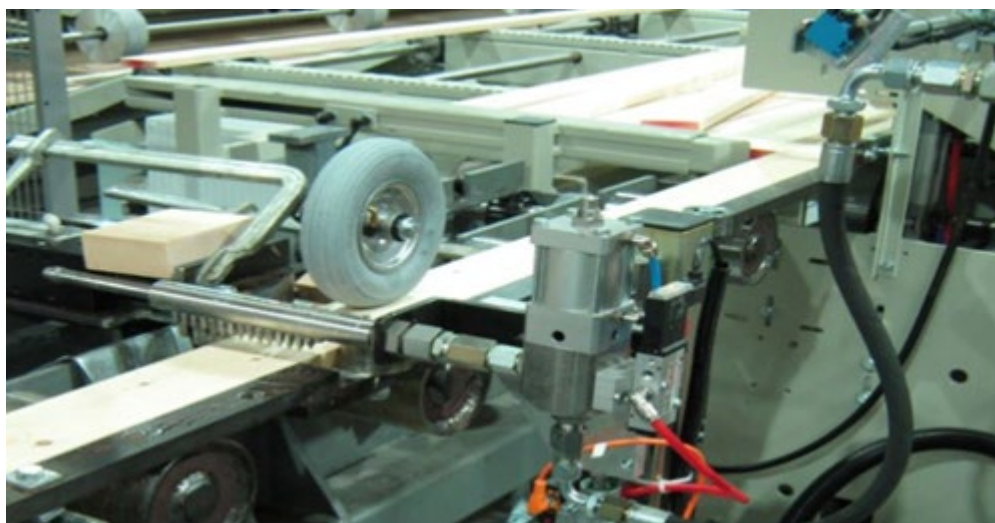
1. Kas liimimisel peab suurem olema liimi või liimitava materjali pindpinevus? Miks?
2. Milliseid nõrku piirkihte eristatakse puidu liimimisel?
3. Milline on optimaalne niiskusesisaldus puidu liimimisel?
4. Kui palju tohib erineda liimitavate puitpindade niiskusesisaldus?
5. Millest võib olla põhjustatud fotol näha olev otsalõhe liimpuitkilbis?



6. Mis võib juhtuda liiga paksu liimikihi korral?
7. Mis on liimliite avatud koostaeg?
8. Kas roome tekib termoplastsete või termoreaktiivsete liimide liimliites?
9. Millist liimi tüüpi tähistatakse lühendiga MUF?
10. Kuidas toimub polüuretaanliimi kõvenemine?
11. Millised liimid sobivad metalli ja puidu liimimiseks?
12. Kuidas toimub termoreaktiivse kuumliimi kõvenemine?
13. Kas välioludes kasutamiseks sobib paremini vineer või ristkihtliimpuit?
14. Kuidas nimetatakse järgmisel fotol olevat materjali?



15. Mis on kergtalad?
16. Kas kardin-tüüpi liimitamisseadmes tuleb materjalile enne kanda liim või kõvendi või tuleb need enne segada?
17. Mis tüüpi liimitamisseade on järgneval fotol?



18. Kuidas toimub liimisegu jahutamine neljavaltsilises liimitamisseadmes?
19. Kas liimivaltsidega on võimalik liimi ja kõvendit eraldi pinnale kanda?
20. Milline on kõrgsageduspressi tööpõhimõte?
21. Mis on staatiline mikser?
22. Millise meetodiga saab mõõta puidu niiskusesisaldust mingil kindlal kaugusel puidu pinnast?

23. Millist seadet on kujutatud järgmisel fotol?



24. Kas kuivamisel tekib rohkem mikrolõhesid radiaal- või tangentsiaalpinnaile?

25. Milliseid liime kasutatakse vineeri pressimisel?

26. Miks on vaja vineeri külmpressida?

27. Mis on spoonipaik ja miks seda vaja on?

28. Mille poolest erineb märja spooni õmblus kuiva spooni õmblusest?

29. Miks on vaja spooni õmmelda?

30. Mis on liimiköök?

31. Millise koostisega on vineeri liim?

32. Milliseid liimimisseadmeid kasutatakse vineeri valmistamisel?

ALLIKAD

Kirjandus

Petrie E. M., Handbook of Adhesives and Sealants 2nd Edition, 2007

Varis, R., The Sawmill Industry, 2018 Otava Book Printing Ltd, Keuruu

Varis, R., Wood-based panels Industry, 2018, Otava Book Printing Ltd, Keuruu

Walker, J. C. F., Primary wood processing : principles and practice, 2006 Dordrecht : Springer

Internetiallikad

Andritz ametlik kodulehekülg. <https://www.andritz.com/panelboard-en> (Kasutatud 18.12.2024)

Dieffenbacher ametlik kodulehekülg. *Glue bender*. <https://dieffenbacher.com/en/wood-based-panels/products/gluing/glue-blender> (Kasutatud 18.12.2024)

Sauerland Spanplatte ametlik kodulehekülg. <https://www.sauerland-spanplatte.de/en> (Kasutatud 18.12.2024)

Europages ametlik kodulehekülg. <https://www.europages.co.uk/en/company/siempelkamp-maschinenfabrik-gmbh-22218794/products/swivel-hooks-grade-10-ring-bolts-hoist-rings-swivel-bales-35457619> (Kasutatud 18.12.2024)

Siempelkamp ametlik kodulehekülg. *Fiber-Mat Formers*. <https://www.siempelkamp.com/en/products-and-technologies/machine-and-plant-engineering/wood-based-panel-plants/#mdf/fibreboard-forming-line/2> (Kasutatud 18.12.2024)

Siempelkamp ametlik kodulehekülg. *Cooling Section*. <https://www.siempelkamp.com/en/products-and-technologies/machine-and-plant-engineering/wood-based-panel-plants/#mdf/cooling-and-stacking/4> (Kasutatud 18.12.2024)

6 PUITPLAATIDE TÖÖTLUS

6.1 Plaatmaterjalid mööblitööstuses

Peamised mööblitööstuses kasutatavad plaatmaterjalid on puitlaastplaat (PLP) ja keskmise tihedusega puitkiudplaat (MDF). Vähemal määral kasutatakse kõva puitkiudplaati (HDF) ja vineeri, nt mööbli tagaseintes. Vineer on kasutusel ka tellimusmööbli valmistamisel ja väike-seeriatootmises. Oma olemuselt on plaatmaterjal ka liimpuitkilp, seda aga valmistatakse sageli lõppmöödule lähedastes mõõtmetes ja detailide töötlustehnoloogia erineb selles peatükis käsitletust.

Valdavalt vajab puitplaat mööblidetailimaterjalina pealistamist, erandiks on vaid MDF-plaadi kasutamine värvitud mööbli tootmisel ja vineer. Sageli liigitataksegi mööblitööstuses plaatmaterjale pealustusmaterjali järgi. Levinumad pealustusmaterjalid on

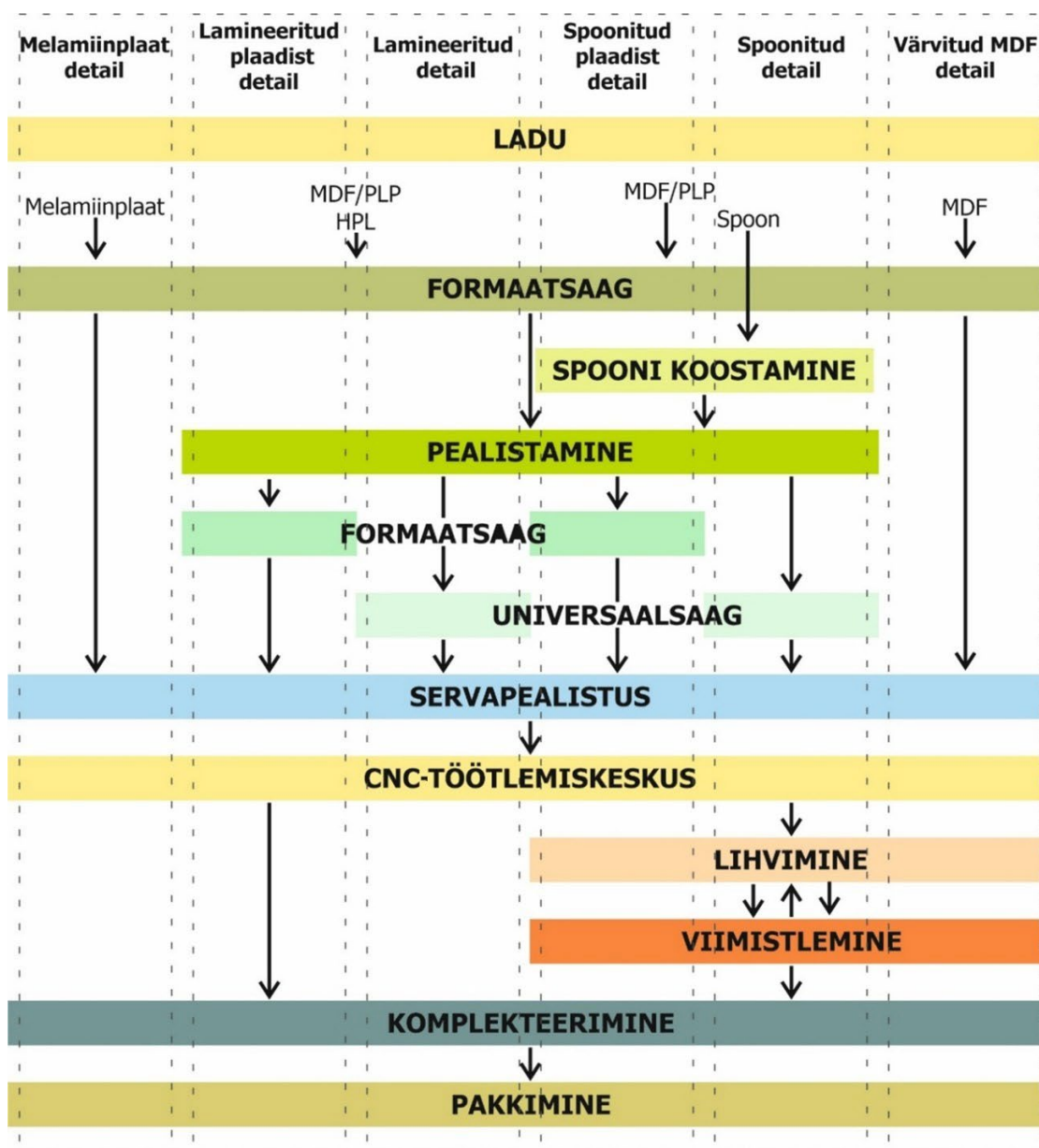
- melamiinlaminaat – melamiinformaldehüüdvaiguga immutatud paberist pealustusmaterjal;
- kõrgsurvelaminaat (*high pressure laminate*, HPL) – valmistatud melamiinlaminaadist kõrgema surve all ning on sellest vastupidavam kemikaalide toimele ja kulumiskindlam;
- spoon – hõövel- ja treispoon, viimast kasutatakse harvemini (vt ptk 1.8 Treimine ja spooni treimine ning hõöveldamine).

Laminaatide mustrite valik on väga lai, alates erinevate puiduliikide imitatsioonidest kuni kõik-mõeldavate kujundite ja värvideni. Laminaat võib olla ka ühevärviline. Laminaatplaate ostetakse sageli suurte plaatidena, mis tuleb vajalikesse mõõtudesse lahti saagida, kuid lamineerimine võib toimuda ka mööbli tootmisprotsessi osana. Odavama hinnaklassi mööbli korral valmistatakse melamiinlaminaadiga pealisted puitlaastplaadist lisaks kapi korpustele ka fassaade ja tööpindu; kallimate toodete puhul kasutatakse melamiinlaminaadiga puitlaastplaati ainult korpuste ja vähenähtavate pindadega detailide valmistamiseks.

6.2 Plaatdetailide töötlusoperatsioonid

Plaatdetailide tootmise operatsioonid on esitatud joonisel 6.1. Toodud on detaili tüüp ja operatsioonid, mis on vajalikud selle tootmiseks. Kuigi puitplaatide tootjafirmadest on võimalik osta ka mõõtu lõigatud ja isegi kanditud servadega toorikuid, vaatleme siin siiski levinumat varianti, kus lähtematerjaliks on suured lahtilõikust vajavad plaadid.

Melamiinplaatdetailid ja värvitavad MDF-detailid lähevad formaatsaest otse servapealistusliini. Värvitava MDF-plaadi puhul on serva pealistamine vajalik, kuna MDF-plaadi serv imab värvi tunduvalt rohkem kui lapikpind ja servakant võimaldab nende pindade omadusi ühtlustada.



Joonis 6.1 Plaatdetailide töötlemise operatsioonid. Joonis: K. Kiiman

Silmas tuleb pidada, et skeemi aluseks on kõrgsurvelaminaadi ja spooniga pealistatud plaatide kohapeal valmistamine. Samuti on arvestatud, et kasutusel on vaakumpatjadega CNC-töötlemiskeskus. Nesting CNC-pingi korral muutub operatsioonide järjekord märkimisväärselt. Nesting-pink võimaldab nt materjale lahti freesida ning seega toimub plaatide lahtilõikamine ja

CNC-töötlemine koos. Detailide lahtifreesimise korral võidakse servapealistusliinis loobuda freesimiseoperatsioonist, sest CNC-pingis on see juba tehtud.

6.3 Plaatmaterjali lahtilõikus

Väiksema tootmismahu korral saab plaatmaterjali lahti lõigata universaalketassaaga (*sliding table saw*) (joonised 1.37 ja 1.38). Juhtjoonlaudade programmjuhtimise olemasolul on selliste saagide tootlikkus väga suur. Nende peamine kasutuskohd on siiski pealistatud detailide mõõtu lõikamine.

Vertikaalformaatsaag ehk seinsaag (*vertical panel saw or wall saw*)

Vertikaalformaatsaes (joonis 6.2) paikneb saetav plaat vertikaalselt ja seinsaag võtab seetõttu palju vähem ruumi kui universaalsaag või tavaline formaatsaag.

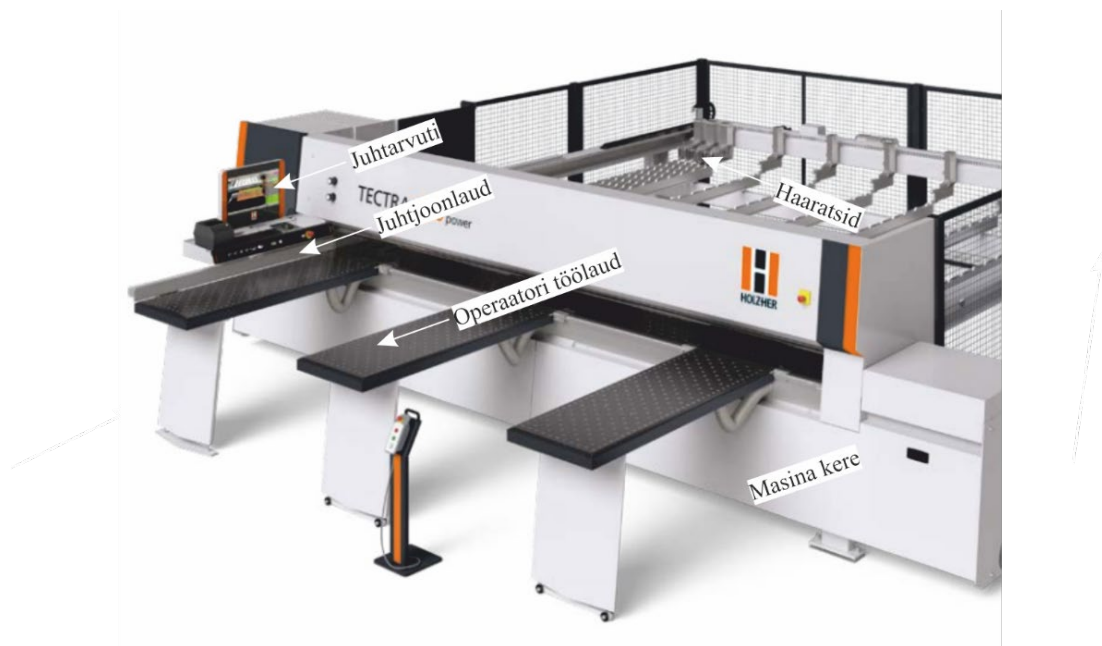


Joonis 6.2 Vertikaalformaatsaag. Foto: HOLZ-HER GmbH

Ettelõikamise olemasolu lubab seinsaaga saagida pealistatud plaate. Seinsaagide jaoks on olemas tarkvara lahtilõikuskavade optimeerimiseks ja täiuslikumas varustusastmes on sae töö automaatne.

Horisontaalne formaatsaag ehk talasaag (*beam saw*)

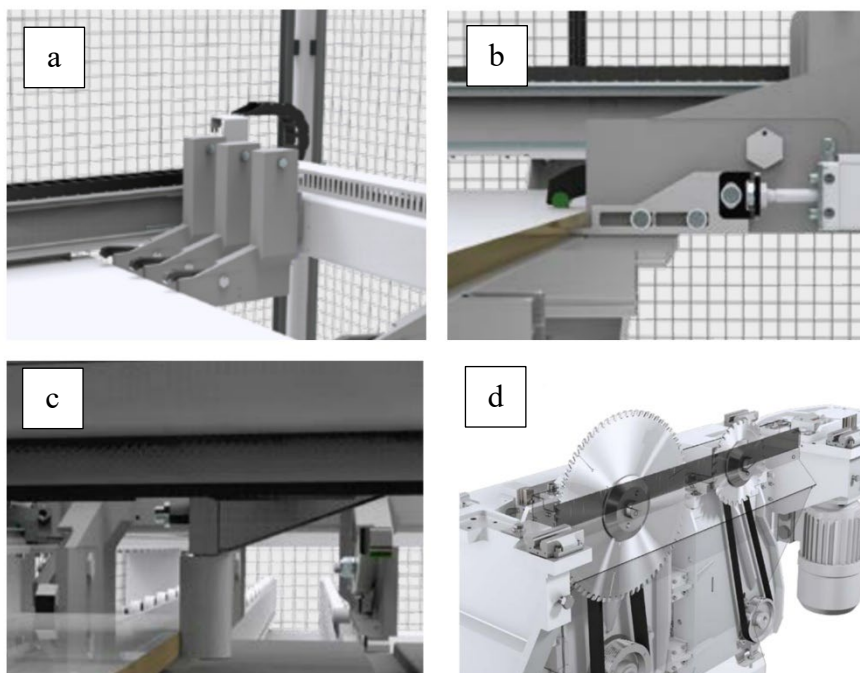
Formaatsaaga (joonis 6.3) saab lahti lõigata suuri plaate nii ükshaaval kui ka pakina. Pealistatud materjali lahtisaagimiseks võib talasael olla ka ettesaagimisseade. Talasae põhiosad on operaa-
tori mitmeosaline töölaud õhkpadjaga, juhtarvuti, masina kere, saekelk koos ettelõike- ja
põhisaega, survetala plaadi kinni surumiseks saagimisel, surverullik, juhtjoonlaud ja haaratsid
materjali servast kinni hoidmiseks.



Joonis 6.3 Formaatsaag. Foto: HOLZ-HER GmbH

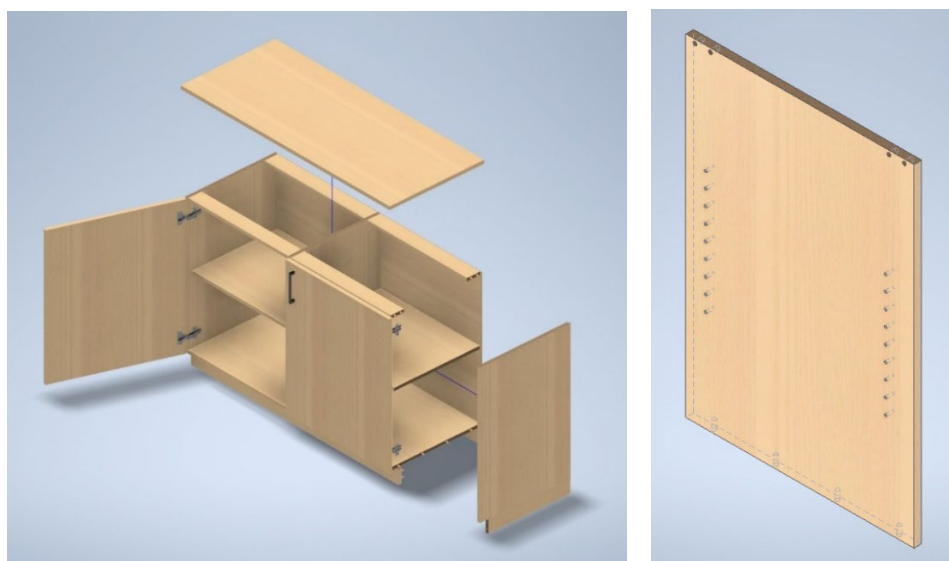
Saemasinad kasutavad plaadi lahtilõikamisel optimaalse detailide paigutuse saamiseks ja jää-
kide minimeerimiseks optimeerimistarkvara. Lahtilõikamise operatsioon algab optimeeritud
lahtilõikuskava genereerimisest vastava tarkvaraga.

Seejärel laeb operaator lõigatava plaatmaterjali töölauale, liigutab materjali vastu külgmist juht-
joonlauda ja haaratsite põhjasid, mis moodustavad külgmise juhtjoonlauaga risti oleva baas-
pinna. Tagamaks, et vähemalt üks baaspind on kindlalt paigas, surub surverull materjali masin-
jõul vastu külgmist juhtjoonlauda. Seejärel haaratsid sulguvad ja masin fikseerib esimese
lõikejoone kauguse, survetala stabiliseerib lõigatava materjali ning masinakerest väljub sae-
ketas, vajaduse korral ettelõikesaekettaga, ja sooritab lõike.



Joonis 6.4 Formaatsae agregaadid: a – haaratsid, b – haarats koos ülekatte detailide piirajaga, c – külmine surverull, d – saagimisüksus põhiketta ja ettelõikesaekettaga. Foto: HOLZ-HER GmbH

Järgnevalt vaatleme töölusetappe melamiinlaminaadiga kaetud puitlaastplaadist (edaspidi melamiinplaat) valmistatud bürookapi näitel. Mööblidetaili valmistamiseks täismõõdus melamiinplaadist tuleb esmalt lõigata plaat väiksemateks detailideks, kasutades selleks formaatsaagi, seejärel pealistada vajalikud servad servapealustusliinis ja töödelda avad CNC-töötlemis-keskuses. Alustame melamiinplaadi lahtilõikusest formaatsaega.

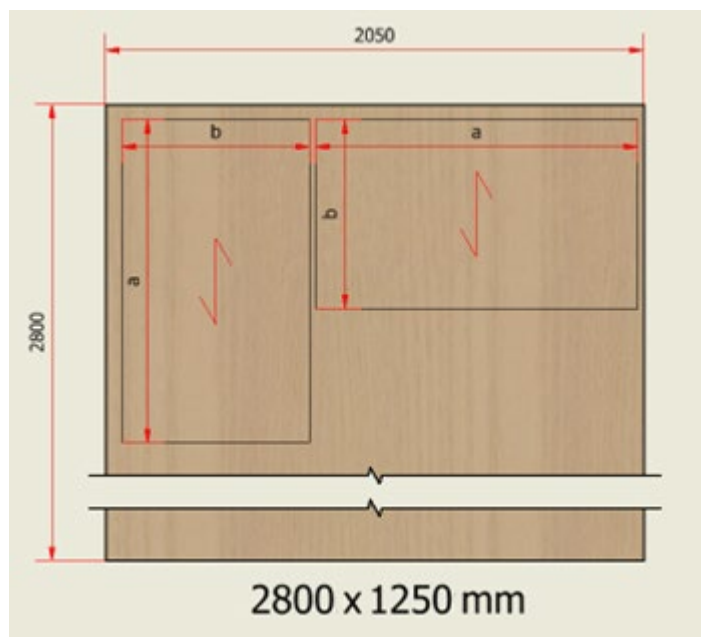


Joonis 6.5 Melamiinplaadist bürookapi elemendid ja ühe pealistatud servaga kapi keskmine kül. Joonis: K. Kiiman

Esimese etapina tuleb sisestada detailide mõõtmed optimeerimistarkvarasse. Selleks otstarbeks kasutatakse vabavara programmi MaxCut, kuid on võimalik kasutada ka muid programme. Mõõtmeid ja detaile on võimalik sisestada käsitsi või importida *.csv failist (lihtsustatud *.xls failiformaat). Paljud modelleerimistarkvarad suudavad gabariitmõõtmed ja materjalid ning nendest valmistatavate detailide mõõtmed ise 3D-mudelst lugeda ja MS Excelisse eksportida.

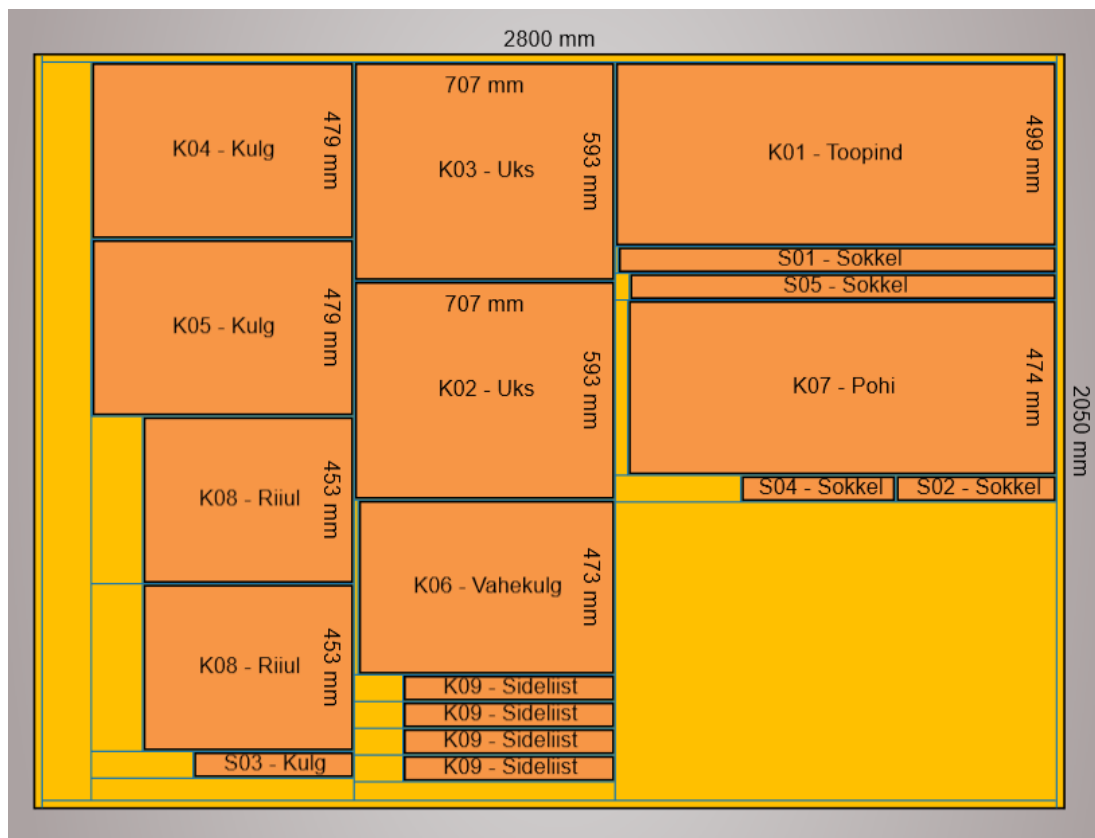
Pärast mõõtmete sisestamist MaxCut-i tuleb defineerida materjal (juhul kui antud materjali pole juba varem defineeritud): sisestada materjali nimi, paksus, mõõtmed ja süüsuuna olemasolu. Süüsuund näitab täispuidu korral puidukiudude pikisuunda. See termin on edasi kantud mööblitööstuses kõigile plaatmaterjalidele, millel on muster, puiduimitatsioon jms – materjalidele, mille puhul väljalõigatavaid detaile paigutades omab tähtsust materjali suund.

Joonisel 6.6 on kujutatud melamiinplaat, mille mustri süüsuund on plaadi pikima külje suunas. Plaadile on paigutatud kaks sama suurusega detaili. Vasakpoolne detail on pikisüüsuunaga ja parempoolne ristisüüsuunaga. Programmis ja mööblitööstuses defineerib esimene mõõt süüsuuna, nt kui allolev plaat on kirjeldatud kui melamiinplaat 2800×1250 mm siis on materjali süüsuund nagu alloleval joonisel piki plaati, kui aga plaat on kirjeldatud kui 1250×2800 mm, siis jookseb süüsuund risti plaadi pikema küljega. Sama kehtib ka detailide puhul: vasakpoolne detail oleks kirjeldatud kui $a \times b$ mm ja parempoolne kui $b \times a$ mm. Kui samad detailid paigutatakse materjalile, mis on defineeritud kui süüsuunata materjal (nt nagu värvitud MDF), siis pöörab programm paigutamisel detaile parima väljatuleku saavutamiseks, olenemata kirjeldatud mõõtude järjestusest.



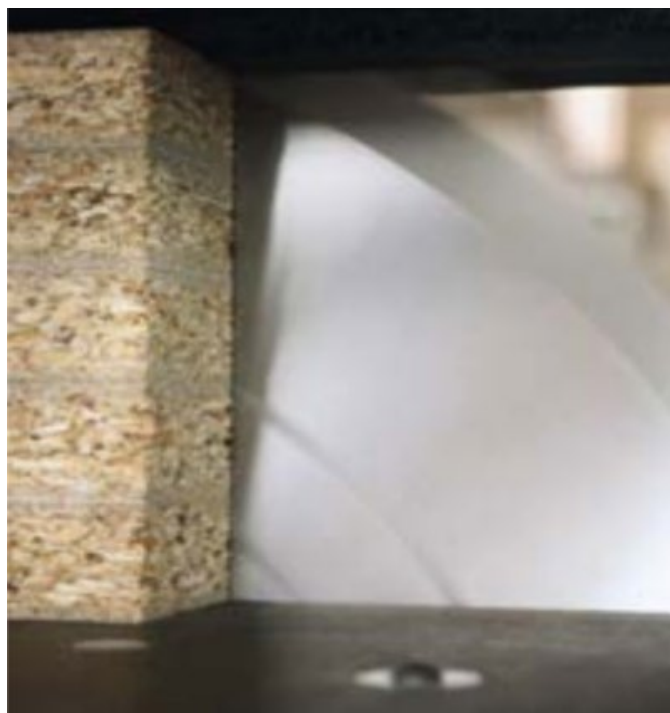
Joonis 6.6 Pikisüüsuunaga plaat koos piki- ja ristisüüsuunaga detailidega. Joonis: K. Kiiman

Detailide kirjeldus programmis peab sisaldama vähemalt järgmist infot: materjal, pikkus ja laius (NB! esimene mõõt näitab süüsuunda) ning kood/nimi, mille järgi hiljem detaile identifitseerida. Optimeerimisel saab teha erinevaid valikuid, nt kas esimene lõige toimub alati risti või piki plaati, kas jääk grupeeritakse paneeli ühte serva või mitte. Pärast valikute tegemist saab kätte optimeeritud lahtilõikuskava. Joonisel 6.7 on kujutatud optimeeritud lahtilõikuskava valikuga esimene lõige risti plaati.



Joonis 6.7 Optimeeritud lahtilõikuskava kapi melamiinpladist detailidele (kasutatud MaxCut vabavara). Joonis: K. Kiiman

Üldjuhul on igal masinal kaasas firmapõhine optimeerimisprogramm, nt Homag masinatel Cut Rite, Biesse masinatel OptiPlanning jne. Pingi maksimaalsete töötundide tagamiseks optimeeritakse detailide väljalõikusprogramm eraldiseisvas arvutis, mis seejärel tehakse kättesaadavaks pingi juhtarvutile. Kui töö jõuab operaatorini, siis avatakse töökäsk juhtarvutist ja algab detailide väljalõikamine pladist. Operaatorile on pingiekraanil ette visualiseeritud iga liigutus. Pärast töö käivitamist juhtarvutist tõstab operaator lõigatava materjali töölauale (käsitsi või vaakumtõstukit kasutades), kusjuures formaatsaag võimaldab sama lahtilõikuskava korral lõigata läbi mitu vinnastatud plaati korraga. Plaatide arvu piiravaks teguriks on pingikerest välja ulatuva saeketta osa mõõt.



Joonis 6.8 Viie vinnastatud plaadi saagimine formaatsaega. Foto: HOLZ-HER GmbH

Pärast materjali töölauale tõstmist liigutatakse õhkpadjaga operaatori töölaua peal materjal vastu haaratsite põhjasid, mis moodustavad esimese baaspinna, ja seejärel vastu külgmist joonlauda. Inimvea tekkimise võimaluse vähendamiseks surub külgmist surverull materjali vastu juhtjoonlauda. Järgmisena haaratsid sulguvad ja positsioneerivad plaatmaterjali lahtilõikuskava järgi esimesse lõikeasendisse. Survetala langeb ja fikseerib detaili ja pingikerest väljub saag ja teeb esimese lõike. Esimene lõige on tavaliselt materjali serva sirgeks ja puhtaks lõikamine. See tähendab, et enne detailide väljalõikamist lõigatakse materjali servast maha 10–15 mm materjaliriba, tagamaks, et lõppdetaili servad on sirged, paralleelsed ja kahjustusteta (materjali transportimise käigus võivad plaatmaterjali servad kahjustada saada).

Järgmise lõike jaoks nihutavad haaratsid programmi järgi materjali operaatori töölaua poole ja tehakse esimese lõikega paralleellõige, millega jagatakse plaat kaheks. Operaatoripoolne detail jääb järgmise lõike ootele. Seejärel liigutavad haaratsid jällegi plaati operaatori poole ja tehakse kolmas paralleellõige ning pannakse jällegi üks osa plaadist ootele. Kolmas plaadi osa eemaldatakse haaratsite vahelt, keeratakse 90° ja fikseeritakse uuesti. Protsess jätkub samal põhimõttel, kuni kõik ettenähtud detailid on välja lõigatud. Valmis detailidele kleebitakse kleebis detaili infoga, mille järgi detaili hiljem identifitseerida. Kleebis võib sisaldada ka infot detaili edasise liikumise kohta tehases. Näiteks selle lahtilõikuse puhul liiguvad kõik detailid järgmisena edasi servapealistusse, kuna kõikidel detailidel peab olema vähemalt üks serv pealistatud, ning sealt

edasi CNC-töötlemiskeskusesse, v.a tööpind (kapi lagi), mis liigub edasi otse montaaži või vahelattu, sest tööpind ei vaja ühtegi töötlust. Tööpind kinnitatakse kruvidega läbi sidelattide kapi külge.

6.4 Plaatdetailide servade pealistus

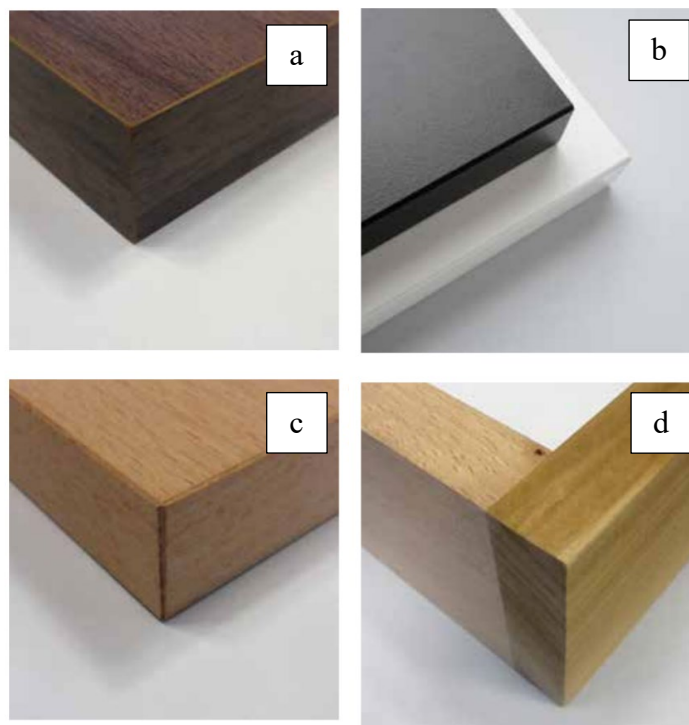
Servapealistamine (*edge banding*) on vajalik, et katta mööbliplaatide viimistlemata servad ja kaitsta plaate niiskuse eest. Servapealistus katab kinni plaadi lahtilõikamisel tekkinud heledad ja karedad lõikeservad. Ühtlasi ei lasse kaetud serv materjalil sisse imada niiskust, kaitstes detailiserva pundumise eest.

Servapealistusmaterjale nimetatakse mööblitööstuses laialdaselt „kandiks“ ja täispuit-servapealistust „krepiks“ ning protsesse vastavalt kantimiseks ja kreppimiseks. Kõigi detaili külgede servapealistamine oleks kulukas ja omahinna optimeerimiseks pealistatakse ainult vajalikud ja nähtavad detailiservad. Joonisel 6.5 toodud kapi näites kaetakse kapi külgede servapealistamisel kindlasti eesmine nähtav serv ja jäetakse kantimata ülemine serv. Tagumise ja alumise serva kantimine oleneb kapi lõplikust asukohast ja soovitatavast kvaliteedist. Kui kapp on mõeldud paigutamiseks vastu seina, siis on tagumise serva kantimine ebamõistlik lisakulu. Kui ruumi põrandakatteks on vaip, pole ka alumise serva kantimine vajalik. Kapi paigutamisel märgpuhastatavale põrandale tuleks alumine serv kantida. Kui alumine serv oleks pealistamata, hakkaks see põranda puhastamisel tekkivat niiskust sisse imama ja seejärel punduma ning pideva pundumise ja kuivamise tulemusena hakkaks kapi melamiinlaminaat (või muu pealistusmaterjal) möranema ja seejärel purunema.

Servapealistusmaterjalid

Servapealistusmaterjale toodetakse rullis, liistude ja ribadena. Rullina pakutakse plaste: polüpropeeni (PP), polüvinüülkloriid (PVC), akrüül/polümetüülmetakrülaati (PMMA) ja akrüül-nitriilbutadienstüreeni (ABS).

Samuti saab rullina kasutada spoonkanti ja melamiinkanti. Ribastatuna kasutatakse serva pealistuseks kõrgsurvelaminaati ja spooni. Ribastatud servakant on vähelevinud ning seda kasutatakse juhul, kui rullkanti pole saada või kui on vaja kantida vähe meetreid ja rullkandi rulli ostmise pole majanduslikult mõistlik.

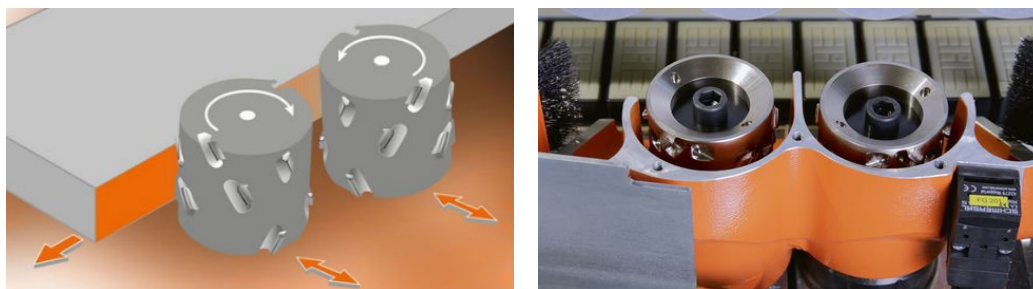


Joonis 6.9 Servapealistused: a – melamiin, b – PVC/ABS, PP, c – ribastatud spoon, d – krepp ehk täispuit. Foto: SCM Group

Servapealistusliinis teostatavad operatsioonid

Ettelõikusfreesimine (*pre-milling*)

Esimene töötlusoperatsioon pingis on ettelõikusfreesimine, mis tagab, et detaili mõõt on töötuse lõpus sama, mis ta oli servapealistusliini sisse söötes, s.t ettelõikusfreesid freesivad detaili servast maha servapealistusmaterjali paksuse jagu materjali. Freesüksus koosneb kahest eraldi liikuvast freespeast, mis töötavad suurtel pööretel, kuni 10 000 p/min. Esimene frees pöörleb päripäeva, teine vastupäeva. Esimene frees lülitub sisse detaili algusosas, keskosas vahetab teine frees ta välja. Erinev pöörlemissuund tagab selle, et detaili otsad jäävad terveks. Freesterad on kaldu materjali serva suunas. See hoiab ära detaili pealistuskihi servadest kildude väljatuleku. Freesterad on valmistatud teemandist.



Joonis 6.10 Servapealistusliini ettelõikusfreesimine. Foto: HOLZ-HER GmbH

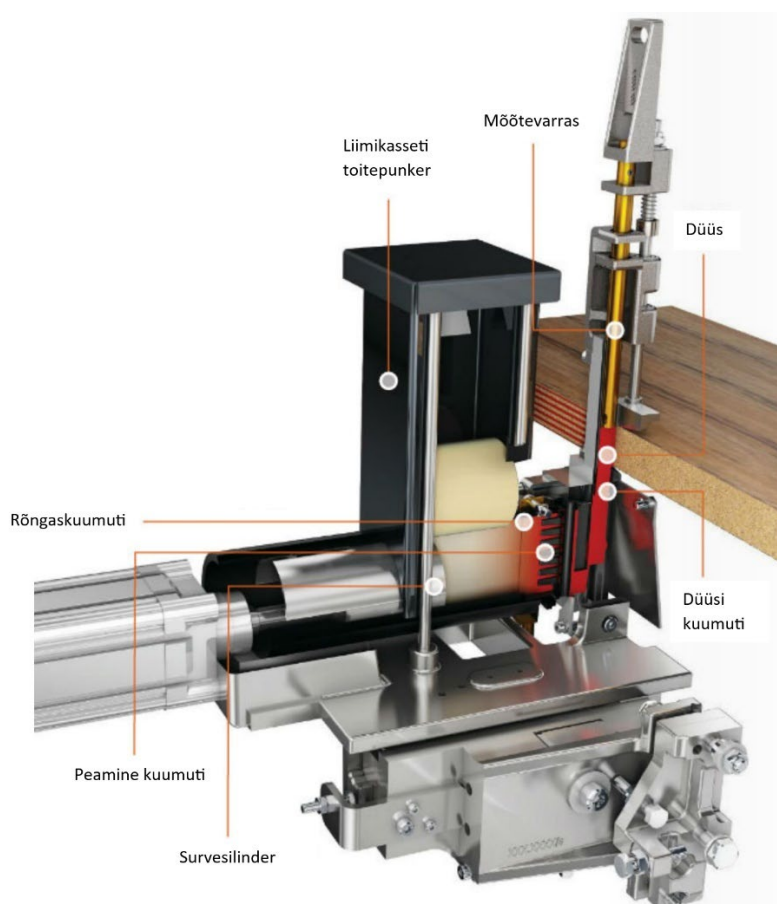
Servapealistusliinis kasutatavad liimid ja nende pealekandmine

Valdavalt on kasutusel kuumad termoplastsed liimid, levinumad on EVA- ja PUR-liimid. Etüleenvinüülatsetaati (EVA) kasutatakse graanulitena. Liimipoti temperatuur on 180–200 °C, surverullide temperatuur 200–220 °C. Füüsiliselt kõveneb liim jahtudes ja seda on võimalik sulatada korduvalt.

Polüuretaanliimi (PUR) kasutatakse graanulitena või padrunitena. See on madalama sulamis-temperatuuriga kui EVA-liim. PUR-liim on EVA-liimist kallim, kuid liide on parema veekindlusega ja talub temperatuuri kuni 150 °C.

Liimi pealekandmiseks on kolm varianti:

- liimipotist liimitusrulli abil (vajab aega potis olevate graanulite sulatamiseks);
- liimipadrundi otsast sulanud liimi kandmine vöödina plaadiservale düüside abil (joonis 6.10). Liimipadrundi punkri asemele võib panna ka graanulite punkri;
- liimi eelnev kandmine kandimaterjali pinnale (see sulatatakse vahetult enne kandi plaadi servale rullimist kuuma õhuga, laseriga vm viisil).

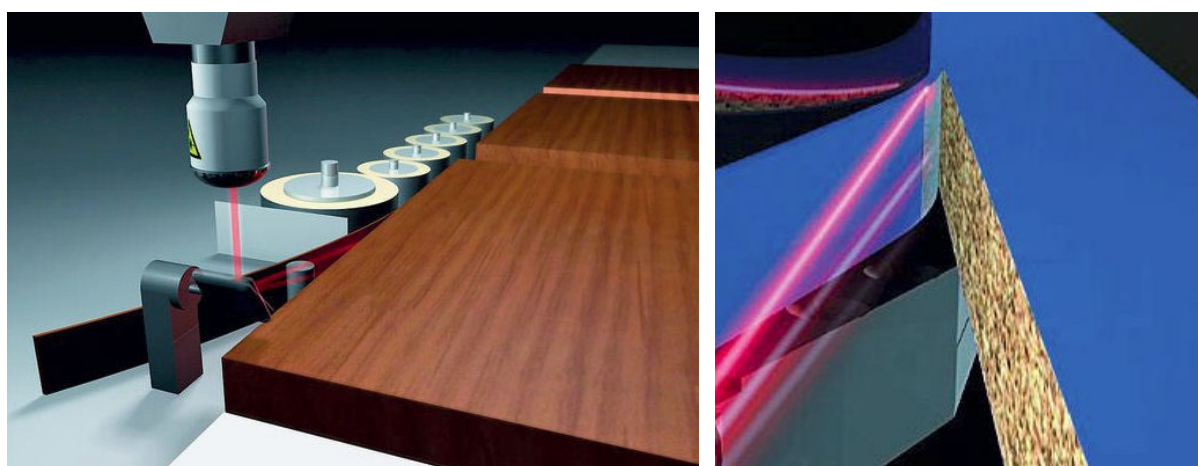


Joonis 6.11 Servapealistusmasina düüsidega liimitusseade (liim on padrunitena ja seda kuumutatakse kahes astmes, sulaolekus on väike osa ja seade on töövalmis 3 min pärast sisselülitamist). Foto: HOLZ-HER GmbH

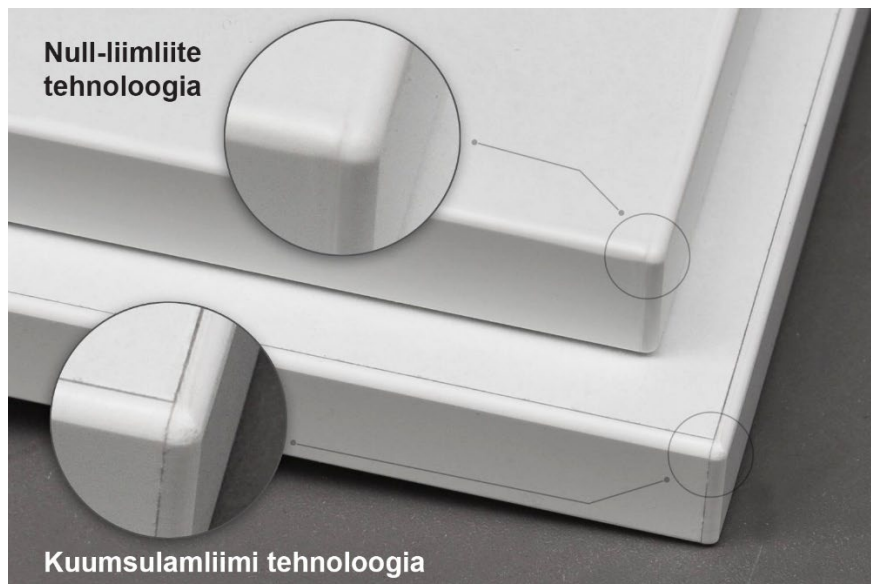


Joonis 6.12 Servapealistusmasin. Foto: SCM Group

Null-liimliite (*zero-joint*) tehnoloogia korral on servakant kahekihilise ehitusega. Tagumisel kandipoolel on liimikiht (*fusion layer*), mis on sobitatud kandi põhitooniga, mis soojendatakse kuuma õhu või laserkiirega ja seejärel sulatatakse mööbliplaadiga ideaalilähedaselt kokku. Lõpptulemuseks on püsiv ilma nähtavate liimivuukideta liide mööblidetaili väliservas. Null-liimliite ühenduse saamiseks kasutatakse nelja erinevat kuumutusmeetodit: laser, plasma, kuumõhk ja NIR (*near-infrared*). Parima kiiruse ja kvaliteedi annab laser, aga enam levinud on kuumõhksulatus, sest see tehnika on märkimisväärselt odavam.



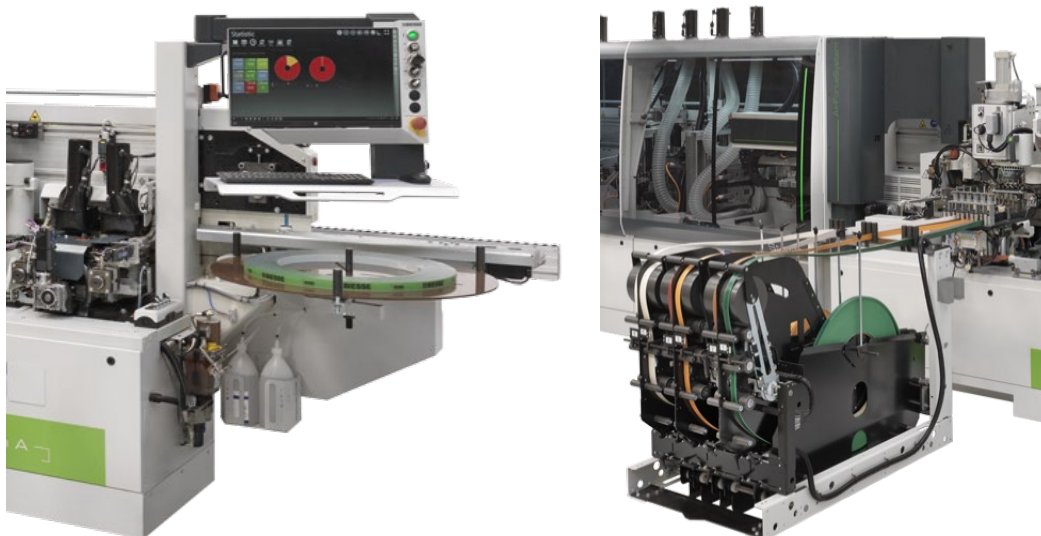
Joonis 6.13 Servakandi liimi kuumutamine null-liimliite korral. Foto: vasak – ABRA IMPORT AB; parem – Stiles Machinery Inc



Joonis 6.14 Servapealistatud detailid: null-liimliide (ülemine) ja traditsiooniline servapealistus (alumine). Foto: Höchsmann GmbH

Magasin ja surverullid

Servapealistusmaterjali etteanne toimub magasinist. Levinumad on magasinid, mis mahutavad ühe servapealistusmaterjali rulli, kuid on ka lahendusi, mis mahutavad kuus või rohkemgi rulli. Suurem magasin vähendab pealistusmaterjalide vahetusele kuluvat aega.



Joonis 6.15 Servapealistusmasina magasinid. Foto: BIESSE S.P.A.

Liimitav servakant eraldatakse rullist giljotiiniga ja surutakse vastu liimitatud serva (liimitus-seadmega masinatel) surverullidega.



Joonis 6.16 Surverullid ja krepri etteanne. Foto: HOMAG Group AG

Servapealistusmaterjale on võimatu servale liimida nii täpselt, et saaks kasutada täpselt detailipaksust ja pealistatava serva pikkust materjali. Servapealistusmaterjal on liimimise hetkel alati ülemõõdus nii pikkuses kui ka laiuses (detaili paksuses). Täpsed ülemõõdu väärtused sõltuvad konkreetsest masinast. Uuematel masinatel, millel toimub kandi etteanne servoetteandega, võib rullkandi pikkuse ülemõõd olla ainult 2,5 mm ja vanematel servoetteandeta masinatel nt 25 mm.

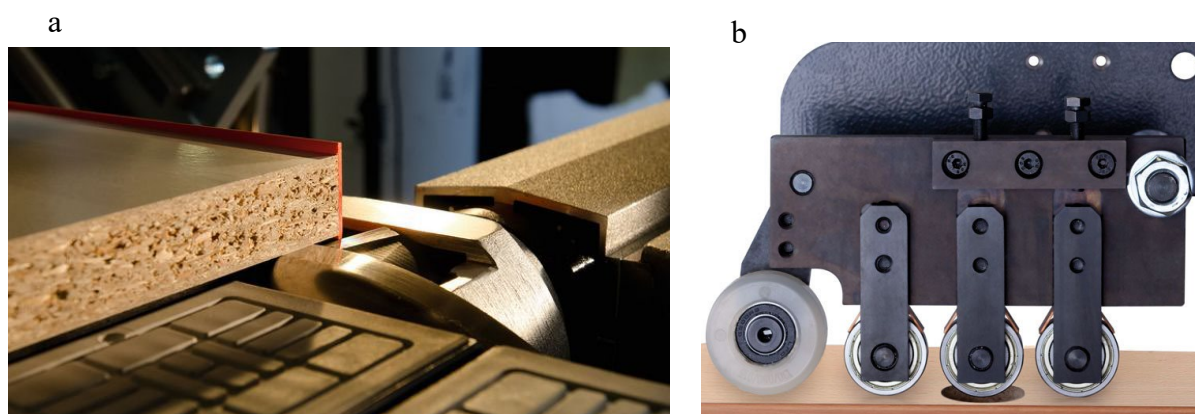
Otsalõikesaad ja freesagregaat

Pärast servapealistusmaterjali liimimist eemaldatakse materjali ülemõõd. Tööstuslikel masinatel toimub see tavaliselt kahes etapis. Esiteks lõigatakse pikkuse ülemõõd maha otsalõikesaagidega ja seejärel kõrguses freesagregaadiga.



Joonis 6.17 Servapealistusmaterjali pikkuse ülemõõdu eemaldamine otsalõikesaega. Foto: HOLZ-HER GmbH

Freesagregaadil on kaks pead, üleval ja all. Kumbki pea koosneb freesist ja sensorrullist. Sensorrulli ülesanne on kopeerida materjali paksust. Teistsuguseid sensorrulle on vaja, kui detailid tulevad mitte formaatsaest, vaid *nesting*-CNC-töötlemiskeskusest.



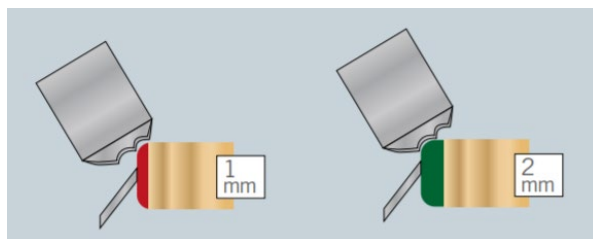
Joonis 6.18 Freesagregaadi pea: frees ja sensorrull. *Nesting* sensorrullid. Fotod: a – HOLZ HER Gmbh, b – Felder Group

Korduvtöötlusagregaat ja raadiusekraabits

Järgnevalt toimub nn servade puhaslõikus korduvtöötlusagregaadiga. Agregaat freesib pehmen-duse (faasi või raadiuse) servapealistusmaterjali servadesse ja kopeerib vajadusel detaili ots-pinna kontuuri kandi otstesse. ABS-, PVC- ja PP-kandi puhul saavutatakse parim kvaliteet, kasutades lisaks veel raadiusekraabitsat. Raadiusekraabitsa tasandusterad hõõveldavad ühtlase u 0,1 mm paksuse laastu (eelnevates etappides jäetakse 0,1 mm üleaste).



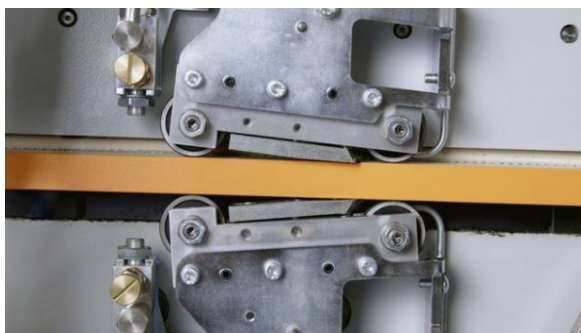
Joonis 6.19 Korduvtöötlusagregaadi frees ja selle liikumine. Foto: HOLZ-HER GmbH



Joonis 6.20 Raadiusekraabitsa tööpõhimõte. Foto: SCM Group

Liimieemaldusnuga ja puhastusrullid

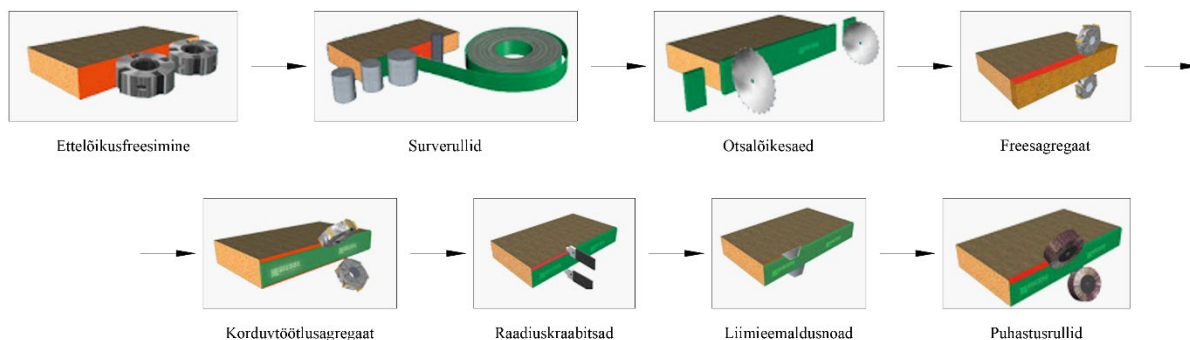
Liimieemaldusnuga lõiketerad eemaldavad üleliigse liimi. Nugasid saab kasutada melamiini ja HPL-ga pealistatud detailide puhastamiseks. Teiste materjalide puhul lõikavad nad materjali sisse ja on välja lülitatud. Lõpetuseks pealistatud serv puhastatakse ja poleeritakse.



Joonis 6.21 Liimieemaldusnood ja puhastusrullid. Foto: HOLZ-HER GmbH

Näidiskonfiguratsioon

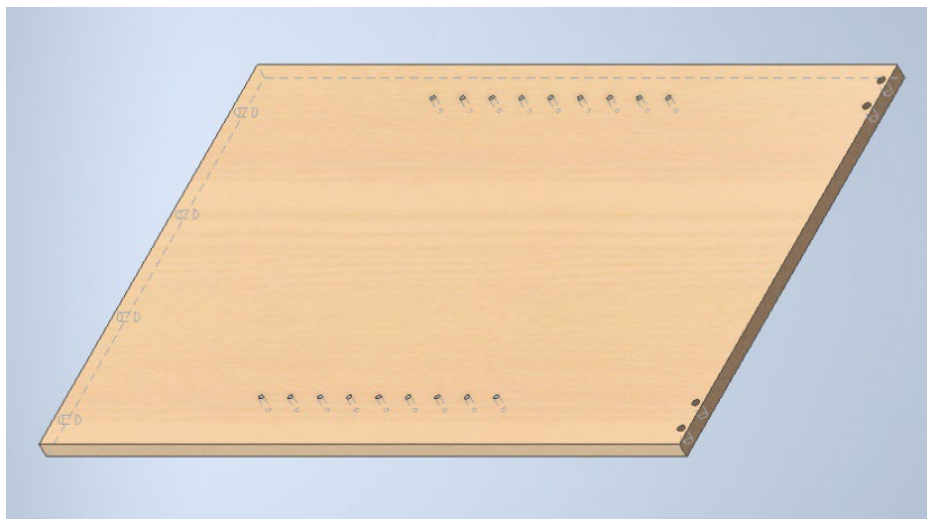
Masinaid toodetakse väga erinevates varustusastmetes ja tootjate tööstusüksuste tööpõhimõtted erinevad suuremal või vähemal määral. Allpool on kujutatud väiketootmise jaoks sobiv konfiguratsioon.



Joonis 6.22 Võimalik servapealistusmasina konfiguratsioon Foto: BIESSE S.P.A.

6.5 Plaatdetailide töötlemine CNC-töötlemiskeskuses

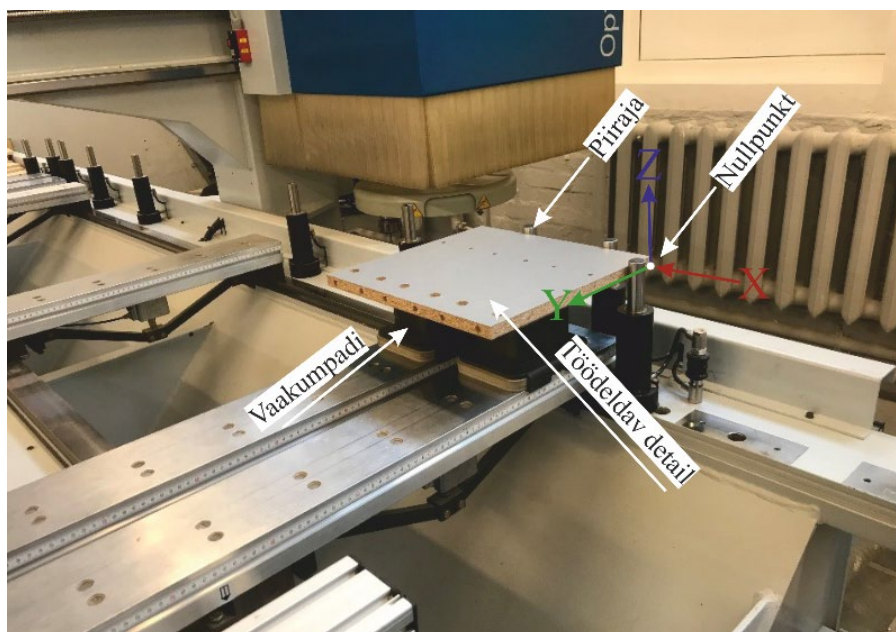
CNC-töötlemiskeskusi kirjeldatakse põhjalikumalt järgmises peatükis, seega vaatleme siin CNC-töötlemise protsessi ilma erinevatesse aspektidesse süvitsi minemata, joonisel 6.5 kujutatud bürookapi melamiinplaadist vaheseina näitel.



Joonis 6.23 Bürookapi melamiinplaadist vahesein. Joonis: K. Kiiman

Sellel detailil (joonis 6.23) on järgmised töötlusted: vertikaalpuurimine (sideliistude tüüblite avad), vertikaalridapuurimine (riiulikandurite avad) ja horisontaalpuurimine (külje ühendus põhjaga). Selleks hetkeks, kui detail jõuab servapealistusest CNC-töötlemiskeskuseni, on üldjuhul juba eelnevalt koostatud pingile programm avade töötlemiseks. Programm kirjeldab, kuhu ja milliseid töötlusti tehakse, milliseid tööriistu kasutatakse jms.

Operaatori ülesandeks on avada pingi juhtarvutis töötlusti kirjeldav programm. Mõõdetakse detaili gabariidid ja paksus. Paksuse mõõtmine on vajalik pisteliselt, aga alati plaatmaterjali vahetusel (nt 18 mm melamiin muutub 16 mm melamiiniks või 15 mm vineeriks). Paksuserinevusel tuleb juhtarvutis korrigeerida detaili paksust. Vale gabariidi korral tuleb hinnata vea suurust ja otsustada, kas lõigata uus detail või korrigeerida programme. Viga kuni 1 mm on tavaliselt lahendatav, suurema eksimuse korral tuleks valmistada uus detail. Siiski oleneb kõik soovitud lõpptoote kvaliteedinõutest ja ettevõttesisestest kokkulepetest.



Joonis 6.24 CNC-töötlemiskeskuse piirajad ja nullpunkt. Joonis: K. Kiiman

Seejärel operaator paigaldab (korrigeerib asetust) masina vaakumpadjad. Vaakumpadjad peavad olema täielikult detaili all, vastasel juhul vaakum kaob. Samuti ei tohi padjad olla läbivate töötluste tööradade all, nt läbivad puuringud, sest läbiv puur lõhuks padja ja läbi ava kaoks ka vaakum. Meie näites läbivtöötlust ei ole ja detaili kinnitamine ja vaakumpadjade paigutamine on lihtne.

Kui padjad paigas, siis tuleb asetada detail padjadele ja õrnalt see suruda detaili masina nullpunkti poole (vastu piirajaid) ning aktiveerida vaakum, mis kinnitab detaili lõplikult. Pärast seda käivitatakse töötlus ja töötluste lõppedes võetakse detail töötlemiskeskusest. Pisteliselt kontrollitakse töötlustäpsust. Täpne intervall (kui tihti kontrollitakse) on ettevõtte ja operaatori omavahelise kokkuleppe küsimus. Näiteks võiks kontrollida $D = 8$ mm külgpuuringu sügavust iga vahetuse alguses pärast esimest kasutuskorda. Pärast detaili töötlemiskeskusest eemaldamist on CNC-töötlus lõppenud ja detail võib liikuda edasi komplekteerimisse.

6.6 Plaatdetailide pealistus kõrgsurvelaminaadiga

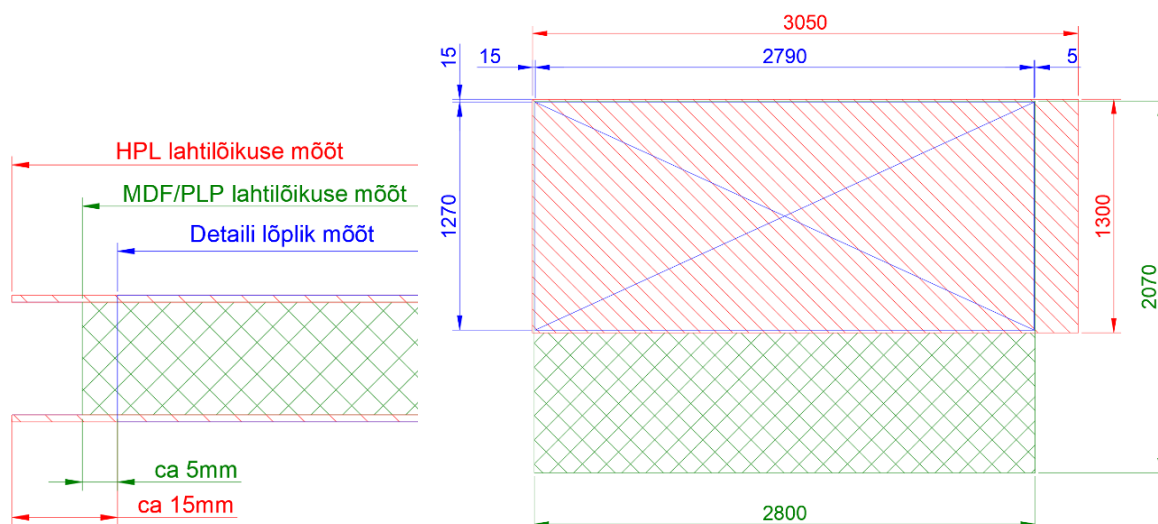
Oletame, et soovitakse bürookapi hinnaklassi ja kvaliteeti tõsta ning uste ja tööpinna valmistamiseks kasutatakse kõrgsurvelaminaadiga (HPL) pealistatud plaati. Tavaliselt lamineeritakse kas puitlaastplaati (PLP) või MDF-i. Lamineeritud plaat võib jõuda tööstusesse/töökotta juba lamineeritult või võidakse valmistada pressimise teel mööblit valmistavas ettevõttes. Kui plaat

saabub juba lamineeritult, toimub sellest detailide valmistamine niisamuti nagu melamiinplaadi puhul. Kui lamineeritud materjal valmistatakse kohapeal, lisanduvad võrreldes melamiini kasutamisega mõned operatsioonid.

Esiteks on vaja välja lõigata lisaks plaatmaterjalile ka pealistusmaterjali HPL-kiht, teiseks on vaja see plaadile pressida ja viimaseks teha pärast pressimist puhaslõikus. HPL-leht lõigatakse lahti formaatsaaga. Üks võimalus on lõigata igale detailile eraldi laminaaditükk, teine võimalus on lõigata suur laminaaditükk ja pressida suuremas formaadis plaat, mis läheb pärast uuesti formaatsaagi. Teine võimalus on sarnane valmisplaadi ostmisega – erinevuseks on, et võimalik on valmistada erisuuruses plaate. Kasutatakse erinevaid võimalusi, sest standardplaatmaterjali ja HPL-lehe mõõdud ei pruugi omavahel klappida. Enamlevinud HPL-lehe mõõt mööblitööstuses on 3050×1300 mm, PLP mõõt on aga tavaliselt 2800×2070 mm. Mõlemat materjali leidub ja kasutatakse ka teistes mõõtmetes, aga tihti juhtub, et kiiresti kättesaadavad on just need mõõtmed.

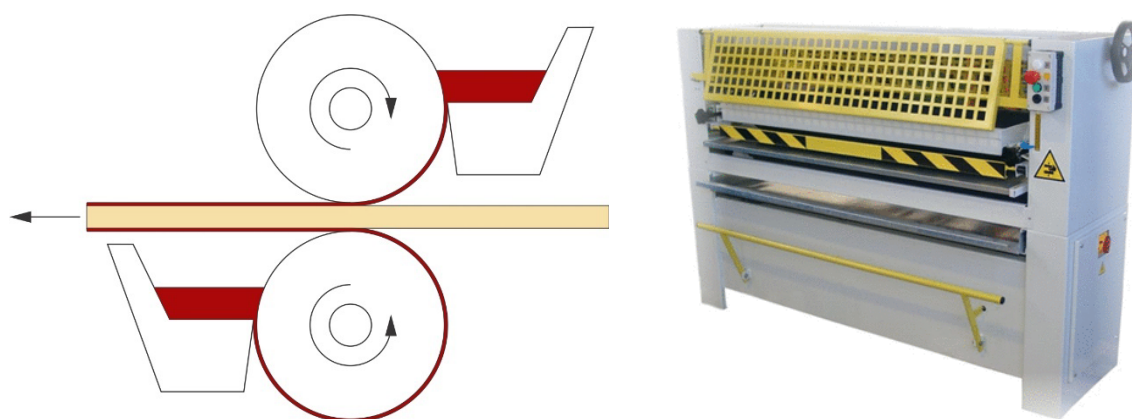
Vaatleme antud juhtu allpool graafiliselt joonisel 6.25. Tasub tähele panna, et laminaatleht tuleb lõigata umbes 15 mm ülemõddus, et vältida laminaadi ja plaadi vahelise liimi sattumist pressi plaatidele, ning jätta ka varu plaadi puhaslõikuseks (pressiplaatidelt võib järgmise pressitava plaadiga pressiplaadile sattunud liim minna laminaadi nähtavale pinnale, rikkudes sellega plaadi). Näeme, et PLP-plaadist jääb järele märkimisväärne jääk. Jäägi vähendamiseks saame kasutada klappivate mõõtmetega materjale või üksikdetailide puhul detailipõhist valmistamist.

Alustame protsessist, kus töökojas pressitakse valmis üks täismõõtmetes plaat. Kõigepealt lõigatakse välja PLP mõõtmetega 1290 mm, eeldades, et laminaadi üleaste pressimise ajal on 10 mm ja puhtakslõikamiseks on laminaadi varu ümberringi 15 mm ja PLP varu 5 mm. Seejärel lõigatakse välja dekoratiivlaminaat mõõtmetega 2820×1300 mm PLP-plaadi mõlemale detaili poolele või ühele poolele dekoratiivlaminaat ja teisele poolele vastukaalulaminaat. Tunduvalt odavamast vastukaalulaminaati saab kasutada siis, kui valmistatav detail jääb ainult ühelt poolt nähtavaks. Laminaat tuleb liimida mõlemale küljele, et vältida detailide hilisemat kõverdumist. Antud kapikülje korral pressitakse mõlemale poolele dekoratiivlaminaat, sest mõlemad küljed on nähtavad.



Joonis 6.25 Näide standardmõõtmedega PLP-plaadi ja HPL-lehe lahtilõikuse ülemõõtmetest.
Joonis: Karmo Kiiman

Pärast lahtilõikust liiguvad detailid pressimisse. Pressimine koosneb kolmest etapist: liimivalt-sidega plaatmaterjali liimitamine, koostamine (laminaat alla, plaat peale ja laminaat peale) ja kuumpressimine. Liimivalt-sid kannavad plaadi kahele poolele õhukese fikseeritud koguse liimi. Liimina kasutatakse nt polüvinüülatsetaat (PVAc) liimi. Mööblitootjad kasutavad pressina tavaliselt ühekorruselist kuumpressi. Valmisplaate müüvad ettevõtted kasutavad ka korrus-presse.



Joonis 6.26 Kahe valtsiga liimitamisseadme tööpõhimõte. Foto: Gottfried Joos Maschinenfabrik GmbH & Co. KG

Pressimisel vastupidava liimühenduse saamise eeldus on, et liimi kõvenemisstaadiumis oleksid elementide pinnad teineteisega piisavalt tihedalt kokku pressitud. Survejõud sõltub pressitava

materjali liigist. Mida kõrgem on temperatuur, seda lühem on pressimisaeg. Detaili pressimisurve tekitavad hüdrosilindrid. Ülemist ja alumist plaati kuumutatakse termoõliga, mis voolab plaatide sees olevates kanalites.



Joonis 6.27 Ühevaheline hüdrauliline kuumpress ja detailide paigutamine pressi. Foto: ITALPRESSE S.P.A.

Pressi (joonis 6.27) täitmisel on tähtis, et see oleks täidetud ühtlaselt, st detailid peavad olema sama paksusega ja paigutatud nii, et kõikidele silindritele avalduks võrdne vastupanu. Kui jätta nt ühe silindri pealne tühjaks, surub see silinder pressiplaadi kõveraks. Laminaadi pressimiseks sobib pressimistemperatuur on umbes $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja surve umbes 9800 N/m^2 . Pressitav plaat peab olema pressis u 3,5 min. Tasub tähele panna, et läikiv laminaat ei kannata kõrget temperatuuri (kaotab läike) ja tuleb pressida toatemperatuuril olevate pressiplaatidega, mis pikendab pressimisaja rohkem kui kahekordseks. Pressitud detail liigub edasi formaatsaagi või tavalisse universaalketassaagi. Formaatsaes kasutatakse spetsiaalseid haaratseid, millel on ülekatte piiraja (vt joonis 6.4). Plaatide töötlemine toimub samamoodi nagu eespool kirjeldatud. Edasi liigub detail täpselt nagu melamiinplaadi töötlemise korral.

Kui valmistada detaile ükshaaval, lõigatakse ülesuuruses detailid nii PLP-st kui ka HPL-ist lahti universaalketassaaga. Pressitakse mitu detaili korraga. Detailid laotatakse ühtlaselt pressi vahele, detailide vähesuse korral tuleb kasutada sama paksusega täiteid, et vältida pressiplaatide kõverdumist.

Universaalketassaaga lõigatakse detail neljast küljest puhtaks, s.t eemaldatakse ülekate ja varud, pärast seda liigub detail edasi täpselt nii nagu melamiinplaadist detaili puhul. Valik selle

vahel, kas pressida uus lamineeritud plaat ja saata materjal arvjuhitavasse formaatsaagi või pressida üksikuid detaile, sõltub paljudest tegurites, nt töötajate palgatasemest (üksikute detailidega on rohkem tööd), laminaadi hinnast (üksikute detailidena on materjali kadu üldjuhul märkimisväärselt väiksem), pressi, universaalsae ja arvjuhitava formaatsae ootel olevatest töödest (kui universaalsae töökoormus on väike ja formaatsae oma suur, võib kaaluda üksikute detailidena valmistamist, et masinaid ühtlasemalt koormata).

Nagu peatüki alguses mainitud, on HPL-lehe pealistusega detailid kallimad kui melamiin, sest esiteks on HPL võrdlemisi kallis pealistusmaterjal, teiseks lisandub ettevõttes endas plaate lamineerides detaili valmistamisel märkimisväärne ajakulu nii tööjõule kui ka masinapargile.

6.7 Plaatdetailide pealistus spooniga ehk spoonimine

Spooniga kaetud detaili valmistamine spoonimisel (*veneering*) on veelgi protsessirohkem. Spoon ehk kattedvineer on õhuke puiduleht, mis on saadud puidupakust hõõveldades või koorides (vt ptk 2.2). Spooni kasutus võimaldab kokku hoida väärtuslikku puitu, sest pealistamiseks kasutatakse ainult õhukest lehte. 1 m³ palgist saab tavaliselt 600–1000 m² spooni.

Spoon kvaliteet

Lisaks erinevatele tekstuuridele liigitatakse spooni veel puiduliigi, kvaliteediklassi, paksuse ja pikkuse järgi.

Spoon sorteeritakse vastavalt puidu eripärasustele ning defektidele erinevatesse kvaliteediklassidesse. Põhilised kvaliteediklassid on järgmised.

A+ – esinevad minimaalsed defektid (väikesed oksad, üksikud täpid) ning eripärasused (maltspuit); kasutus – mööbli esipinnad ja ukсед.

A – esinevad väikesed defektid (väikesed oksad, üksikud täpid) ning eripärasused (maltspuit); kasutus – mööbli esipinnad ja ukсед.

AB – võib esineda suuremal määral defekte (kinnised ja lahtised oksad, erinevad täpid) ning rohkem eripärasusi (värvimuutus, maltspuit); kasutus – mööbli sisepinnad, peitsitud või värvitud mööbel.

B – esineb palju defekte (kinnised ja lahtised oksad, täpid, lõhed) ning suurel määral eripärasusi (värvimuutus, maltspuit); kasutus – mööbli sisepinnad, peitsitud mööbel või ukсед ja muud sisustuselemendid;

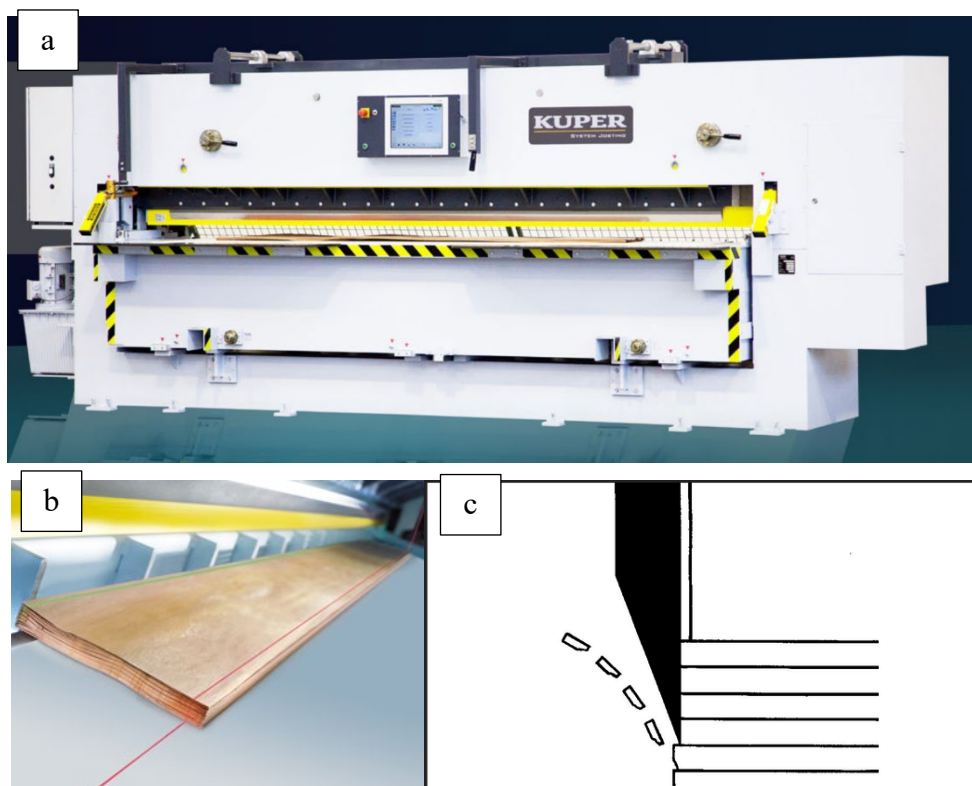
Spooni paksus ja pikkus

Vastavalt kasutusotstarbele valmistatakse spooni paksuses 0,3–3 mm. Standardpaksused on 0,6 mm, 1,5 mm ja 2,5 mm. Põhilised pikkuseklassid on järgmised: mööblispoon pikkusega 0,6–5,0 m, uksepoon pikkusega 2,1–2,55 m ja paneelispoon pikkusega 2,6–3,5 m.

Spoonisärgi (*veneer layon*) koostamine

Võrreldes spoonitud detaili valmistamist lamineeritud detaili valmistamisega, jääb küll ära laminaadi lahtilõikuse operatsioon, kuid selle asemel lisandub spoonisärgi koostamise operatsioon, mis omakorda koosneb mitmest väiksemast operatsioonist.

Treispoon on dekoratiivspoonina väga vähe kasutusel, seega keskendume edaspidi ainult hõövelspoonile. Kuna hõövelspooni lehelaius on piiratud, tuleb laiemate detailide pealistamiseks spooni lehed omavahel liita – liimida. Enne spoonilehtede liitmist tuleb spooni servad sirges-tada, kasutades selleks giljotiini. Seejärel tuleb sobivad spoonilehed omavahel tekstuuri ja värvi järgi kokku sobitada ning servad omavahel ühendada, et moodustuks spoonisärk – kõiki neid operatsioone kokku nimetatakse spoonisärgi koostamiseks.



Joonis 6.28 Spoonigiljotiin (a), noa lõikejoone visuaalne märkimine laserikiire abil (b), lõikamise skeem (c). Joonis: Heinrich KUPER GmbH

Spoonigiljotiin (joonis 6.28) koosneb formaatlauast, survetalast ja kaldlõikenoast. Pingioperaatori töökoht paikneb esipoolsel pikiküljel. Noa liigutamine toimub hüdrauliliselt. Enne lõikamist pressitakse vineeripakk survetala abil kokku. Pressimissurve tekitatakse hüdrauliliselt. Tööõnnetuse vältimiseks on seadme esikülg varustatud valguskardinaga. Kui valguskiir survetala sulgemisliigutusel või noasuporti liikumisel katkestatakse, lähevad need automaatselt tagasi algasendisse. Lisaks sellele kaitseb seadme operaatorit lõikamise käivitus kahekäelülitusega. Spoonilehtede ühendamiseks on kolm laialdasemalt levinud meetodit.

- 1) Soovitud spoonilehed ühendatakse vette kastetud liimipaberi ribadega (joonis 6.29). Paberlint kinnitatakse spoonilehe liimimisel väljapoole jäävale pinnale, kust see pärast liimimist lihvimisega lõplikult eemaldatakse. See lihtne meetod sobib väikeste koguste ja väiksemate koostude tegemiseks.



Joonis 6.29 Spooniribade ühendamine liimipaberi ribadega. Foto: JoeWoodworker.com

- 2) Spoonilehtede ühendamine siksak-meetodil. See on kiire, ka suuremate spoonikoostude jaoks sobiv seade. Oma nime on see meetod saanud muustrist, mida ühendusniit töö käigus teeb (joonis 6.30). Kvaliteetse tulemuse tõttu sobib see meetod igasuguste spoonimistööde jaoks, ent kõige paremini siiski seeriatootmisse.

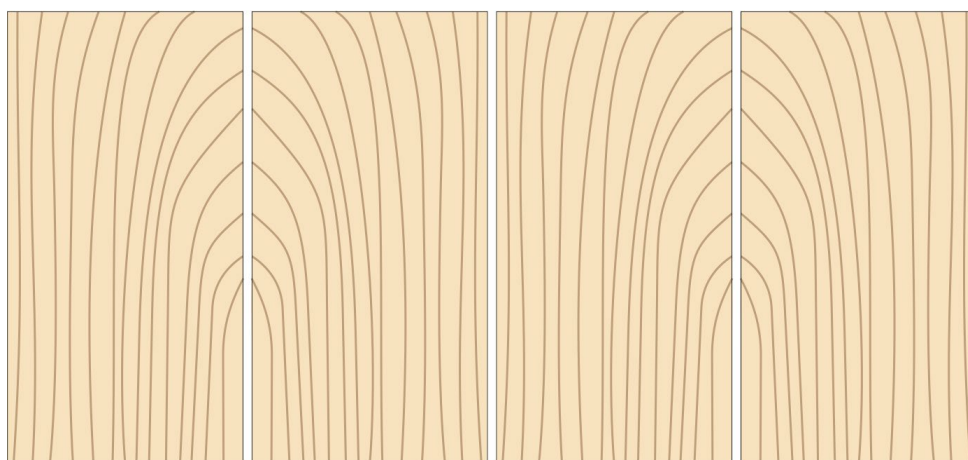


Joonis 6.30 Spooniribade ühendamine siksak-meetodil. Foto: Tarmeko AS

- 3) Kõige uuem spoonilehtede ühendamiseviis on serv-servaga liimimise meetod. See on kallim meetod, kuid annab parema liimikihi kvaliteedi ja tugevuse. Vajadusel kasutatakse liimi, mis on pigmenteeritud spooni värviga samasse tooni. Esmalt liimitakse spoonilehtede servad pakis etтелиimitusseadmes, seejärel liitekoht kuumutatakse läbivetteandega pingis ja surutakse kokku.

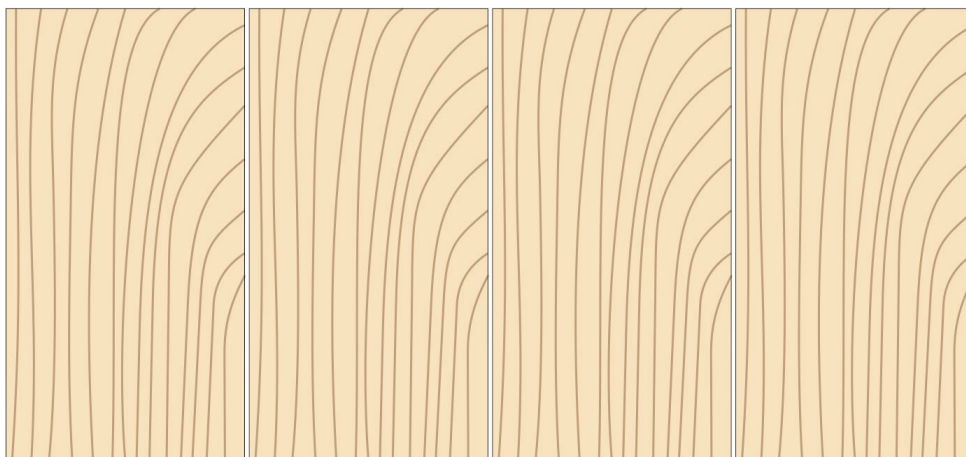
Spoonisärgi levinumad koosteviisid

Raamatliite (*bookmatch*) puhul on iga teine spoonileht keeratud ümber oma pikitelje, moodustades eelmise lehega sümmeetrilise mustri. Raamatliide rõhutab puusüüd ja mustrit.



Joonis 6.31 Spooni raamatliide. Joonis: doogeveneers.com

Järjestikliite (*slipmatch*) puhul on järjestikku asetatud spoonilehed üksteisega kõrvuti ja moodustub korduv muster. Tulemuseks on nn „puhas ja sirge“ välimus.



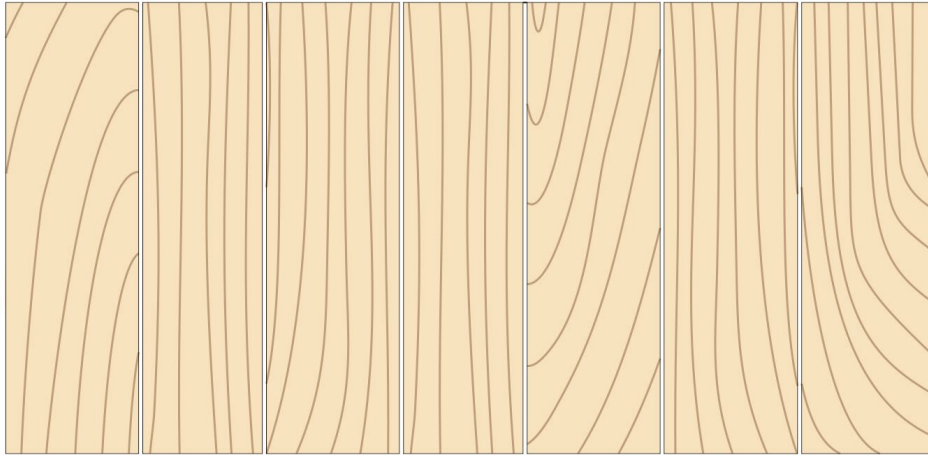
Joonis 6.32 Spooni järjestikliide. Joonis: doogeveneers.com

Pööratud-järjestikliite (*reverse slip match*) korral on spoonilehed sobitatud kõrvuti, nii et iga teine spoonileht on pööratud ümber oma lühema telje. Selline koostamine peidab tavalise järjestikliite puhul näha jääva korduva mustri veelgi enam ja on nimetatud kolmest kõige tagasihoidlikuma välimusega.



Joonis 6.33 Spooni pööratud-järjestikliide. Joonis: doogeveneers.com

Segaliite (*random match*) puhul sobitakse spoonilehed kõrvuti neid teadlikult segades. Võidakse segada spoonilehti eri palkidest, kasutades nii tumedamaid kui ka heledamaid spoonilehti, või sortida ja segada sarnase tooni ja mustriga lehti. Olenevalt kasutatavatest spoonilehtedest võib lõpptulemus olla vägagi erinev.



Joonis 6.34 Spooni segaliide. Joonis: doogeveneers.com

Spoonisärk, nagu ka laminaat, valmistatakse ülemõõdus, et vältida liimi sattumist pressiplaatidele (ja muudele pindadele). Pressimisel oleneb pressimisaeg ja pressiplaatide temperatuur spooni paksusest. Õhukese spooni korral ($< 1,5$ mm) võiks pressi surve olla umbes 2550 kN/m^2 , pressi temperatuur umbes 65°C ja pressimisaeg umbes 2 min. Paksema spooni korral ($> 1,5$ mm) peab pressimiseks kasutama toatemperatuuril olevat pressi, millest tulenevalt pikeneb pressimisaeg umbes 10 minutini.

6.8 Spoonitud detailide lihvimine

Lihvimise eesmärk on eemaldada pinnalt defektid ja valmistada pind ette viimistlemiseks. Täpsemalt on lihvimismasinaid ja protsessi kirjeldatud alajaotuses 1.10. Lihvimiseks kasutatakse lailintlihvpinkki, käsilihvmasinaid ja käsilihvi. Selles peatükis keskendume peamiselt lailintlihvmasinatele.

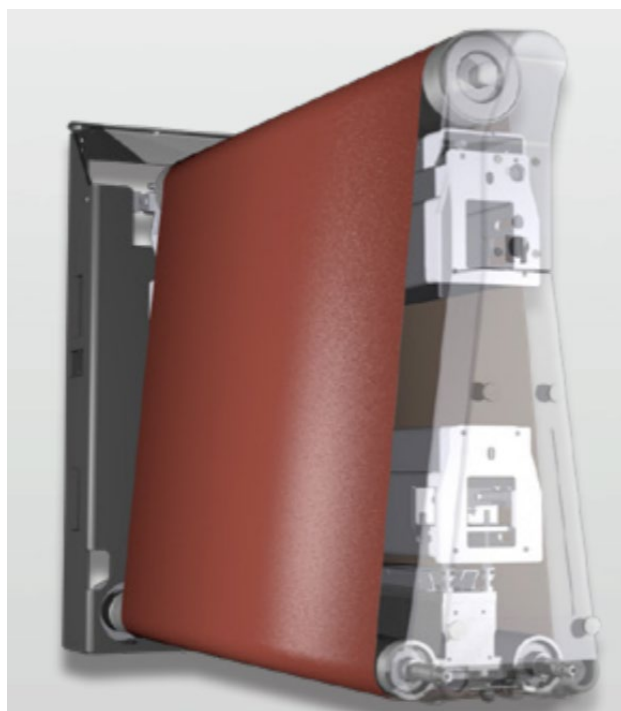
Lailintlihvmasinas on tavaliselt vähemalt kaks lihvpead: esimese ülesanne on pind kalibreerida (tasandada) ja eemaldada defektid. Selleks kasutatakse jämedamat lihvpaberit, mis eemaldab kergema vaevaga rohkem materjali, aga jätab pinna karedaks. Järgnevate lihvimisetappide ülesanne on see pinnakaredus eemaldada. Lisaks defektide eemaldamisele on lihvitud materjal ka kergemini viimistletav. Mida rohkem on lihvpäid, seda parem on lõppkvaliteet. Samuti vähendab see lihvpaberi kulumist, sest üks tööorgan peab vähem tööd tegema ja see pikendab lihvpaberi eluiga.

Tavaliselt on esimene lihvpea metallvalts või kõvakummiga kaetud kontaktvalts läbimõõduga umbes 240–320 mm. Esimene tööorgan kasutab lihvlinti karedusega P36–P100, mis on sobilik materjali kalibreerimiseks.



Joonis 6.35 Kontaktvaltsiga lailintlihvmasina lihvpea. Foto: HOMAG Group AG

Järgnevalt eemaldatakse esimese lihvpeaga tekitatud karedus, kasutades ühte või enamat lihvpead, mille kontaktvalts on kaetud pehmekummiga või lihvimine toimub survepadjaga. Sellistes lihvpeades kasutatakse lihvlinti karedusega P120–P320.



Joonis 6.36 Survepadjaga lailintlihvmasina lihvpea. Foto: HOMAG Group AG

Vahe- või lõpplihvilihvimisel, kui paneel on kaetud vähemalt ühe viimistluskihiga) kasutatakse väga pehme kummiga kaetud kontaktvaltsi või pehmet survepatja. Uuem tehnoloogia on kasutada survepatja koos kummilindiga. Selliseks otstarbeks sobivad lihvlinidid karedusega P320–P800.



Joonis 6.37 Survepatja ja kummilindiga lihvpea. Foto: HOMAG Group AG

Valides lihvlinde erinevatele lihvpeadele on soovitus valida neid karedusega üle ühe sammu (vt ptk 1), nt annab kvaliteetse tulemuse P80–P120–P180. Kasutades kombinatsiooni P60–P120–P220 väheneb viimase lihvlinde eluiga ja ka lõppkvaliteet.

Pärast lihvimist liigub detail edasi viimistlusse. Tehakse kruntlakkimine/õlitamine/peitsimine ja detail saabub tagasi lihvimisse, kus tehakse vahelihv, et eemaldada viimistlemisega üles kerkinud puidukiud. Detailide viimistlemist on põhjalikumalt kirjeldatud 8. peatükis.

6.9 KORDAMISKÜSIMUSED

1. Kirjeldage formaatsaagimise protsessi (alustades lahtilõikuskava koostamisest ja lõpetades kleebite kleepimisega).
2. Mida mõeldakse mööblitööstuses termini süüsuund all? Kuidas eristatakse risti- ja piki-süüsuunaga detaile ja plaate?
3. Kirjeldage servapealistusoperatsiooni servapealistusliinis.
4. Mida nimetatakse mööblitööstuses kandiks ja mida krepiks?
5. Milliseid erinevaid servapealistusmaterjale oskate loetleda?
6. Miks on plaatmaterjalist mööblidetailide servade pealistamine vajalik?
7. Milleks on vajalik kõrgsurvelaminaadi ülemõõt pressimisel?
8. Mis vahe on trei- ja hõövelspoonil?
9. Kirjeldage plaatdetaili pealistusprotsessi hõövelspooniga.
10. Mis on spoonitud detaili lihvimise eesmärk? Miks kasutatakse detaili lailintlihvimisel erineva karedusega lihvpaberit?
11. Missugused operatsioonid ja mis järjekorras on vajalikud melamiinlaminaadiga kaetud plaadist kapi külje valmistamiseks?
12. Missugused operatsioonid ja mis järjekorras on vajalikud spoonitud kapi külje valmistamiseks?
13. Miks on melamiinlaminaadiga kaetud plaadist mööblit odavam valmistada kui spoonitud plaadist?

ALLIKAD

Kirjandus

Rowell, R. M., *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, 2013, CRC Press, Taylor and Francis, United States

Smardzewski, J., *Furniture design*, 2015, Springer, Switzerland

Varis, R., *The Sawmill Industry*, 2018 Otava Book Printing Ltd, Keuruu

Varis, R., *Wood-based panels Industry*, 2018, Otava Book Printing Ltd, Keuruu

Walker, J. C. F., *Primary wood processing : principles and practice*, 2006 Dordrecht : Springer

Internetiallikad

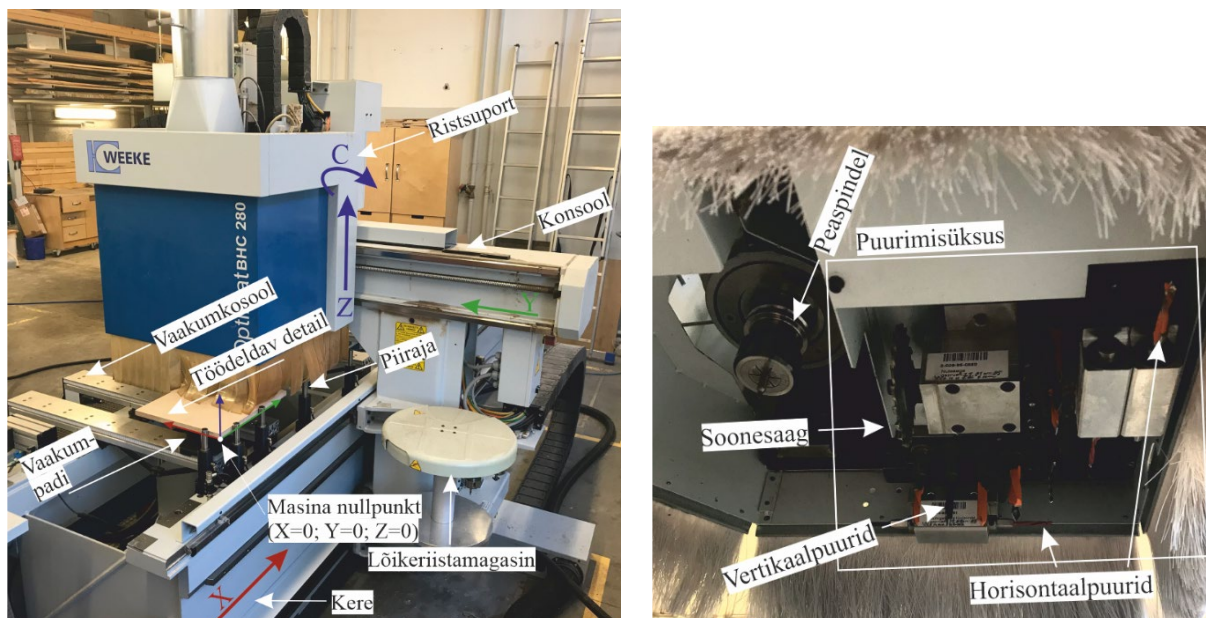
Weining ametlik kodulehekül. *Vertical Panel Saw*. <https://www.weinig.com/en/panel-processing/vertical-panel-saws.html> (Kasutatud 18.12.2024)

7 CNC-TÖÖTLEMISKESKUSED PUIDUTÖÖSTUSES

7.1 CNC-töötlemiskeskused mööblitööstuses

CNC-töötlemiskeskus on arvuti juhitud, programmi (G-koodi) kasutav mitmeagregaadiline masin. CNC-töötlemiskeskuse põhiülesanne mööblitööstuses on erikujuga detailide valmistamine ning furnituuri avade freesimine ja puurimine. Võrreldes käsitöömasinatega võimaldab CNC-töötlemiskeskuste kasutamine kiiremaid ja täpsemaid töötlusi.

Tüüpilise mööblitööstuses kasutatava CNC-töötlemiskeskuse (joonis 7.1) osadeks on masinakere, mille külge kinnitub suport, mis saab liikuda mööda masina X-telge. Konsooli külge kinnitub ristsuport, mis saab liikuda mööda konsooli ehk mööda Y-telge. Ristsuporti külge kinnituvad peaspindel ja puurimisreduktor koos soonsaeagregaadiga; viimast kahte nimetatakse puurimisüksuseks. Peadspindel ja puurimisüksus saavad liikuda Z-telje suunaliselt.



Joonis 7.1 3+1-teljeline Weeke CNC-töötlemiskeskuse põhiosad. Joonis: K. Kiiman

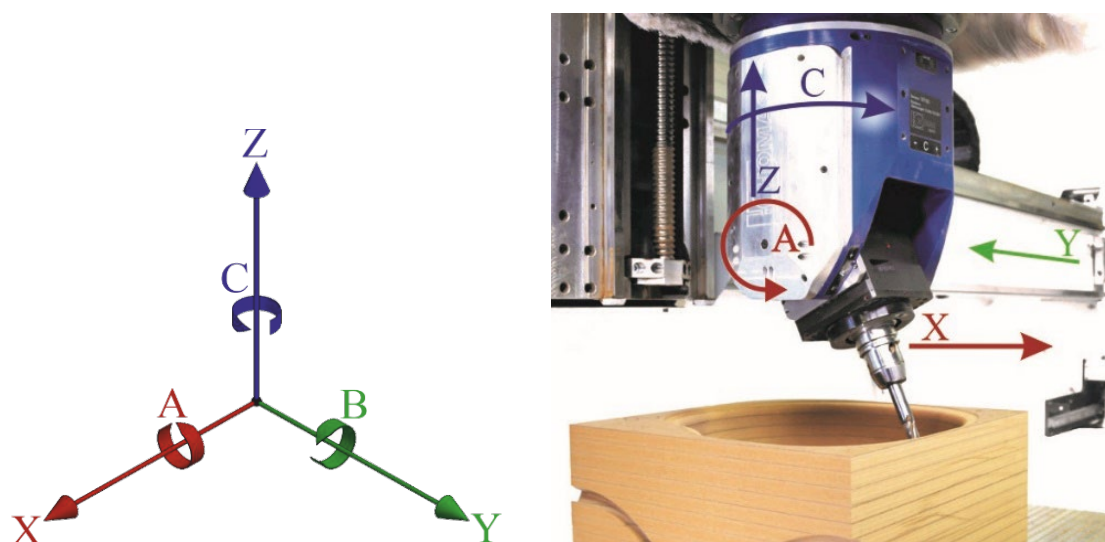
CNC-töötlemiskeskusi kirjeldavad ja eristavad laias laastus kolm parameetrit. Need on liikuvate telgede arv, masinakere konstruktsioon ja töödeldava(te) detaili(de) kinnitusviis.

7.1.1 Plaatdetailide tötlusoperatsioonid

CNC-tehnoloogias kasutatavad põhikoordinaadid ja pöördteljed on X(A), Y(B), Z(C). Olenevalt vabadusastmete arvust (joonis 7.2) liigitatakse masinaid kolme-, nelja-, viie- või kuueteljelisteks. Eestis on mööblitööstuses enimlevinud pinkideks praegu veel kolme- ja neljateljelised masinad. Kolmeteljelised masinad saavad liikuda X-telje suunas (vasakule ja paremale), Y-telje suunas (ette ja taha) ning Z-telje suunas (üles ja alla). Neljateljelise masina korral lisandub üks pöördtelgedest. Kui välja arvata CNC-treipingid, siis tavaliselt on neljandaks teljeks C-pöördtelg. Viieteljelise masina korral lisandub juurde veel üks pöördtelg, mis tavaliselt on A-pöördtelg. Kuueteljelise masina puhul on kasutusel kõik kuus vabaduseastet – neid maailmas populaarsust koguvaid CNC-töötlemiskeskusi tuntakse kui tööstusroboteid.

Liikumised X, Y ja Z suunal saavutatakse kas tööorgani, töödeldava detaili või nende kahe kombineeritud liikumisena. Näiteks võib kolmeteljelise pingi korral liikuda tööorgan X, Y ja Z suunal, kuid X-telje suunaline liikumine võib olla asendatud ka töölaua samasuunalise liikumisega.

Lisaks eelmainitud variantidele on olemas ka 3 + 1 ja 4 + 1 teljega lahendused. Kui nt neljateljelise masina puhul liiguvad kõik teljed interpoleerivalt, s.t ühel ajal, siis 3 + 1 teljega pingi puhul saavad liikuda korraga kolm telge ja näiteks neljas C-telg lubab tööriista positsioneerida õige nurga alla, aga ei luba seda nurka muuta hetkel, kui masinad teised teljed on liikumises. Sellist positsioneerivtelge nimetatakse mitteinterpoleerivaks teljeks.

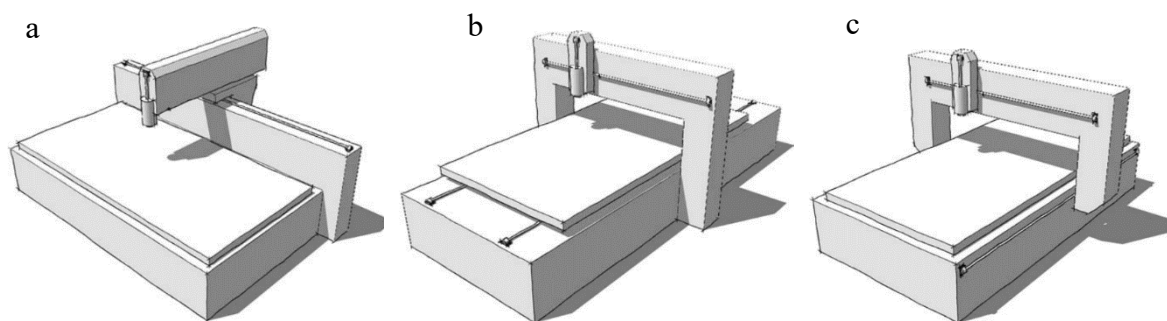


Joonis 7.2 CNC-töötlemiskeskuste vabadusastmed ja vabadusastmed viieteljelisel pingil. Joonis: K. Kiiman. Foto: HOMAG Group AG

7.1.2 CNC-töötlemiskeskuse kere ehitus

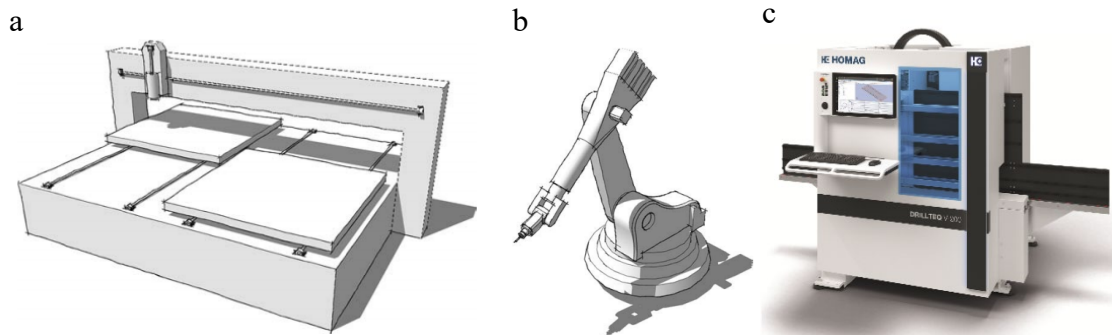
Masinate kere ehituse järgi võib esile tuua järgmised konfiguratsioonid (joonis 7.3). Konsoolpink (*cantilever*) on masin, mille konsool on toetatud vaid ühest servast. Sellise konstruktsiooni eeliseks on lihtne ja hea ligipääs töölauale, mis tagab detailide kiire peale- ja mahalaadimise. Puuduseks on selle läbivajumine, kuna konsool on toetatud ainult ühest servast. Väiksemgi läbivajumine muudab aga horisontaalavade töötlemise ebatäpseks. Seetõttu on enamik pingi-tootjaid asendanud konsoolpingi portaalpingiga (*gantry*), kus konsool on toetatud kahest servast ja läbivajumine ei ole enam probleem.

Portaalpingid jagunevad kaheks vastavalt sellele, et kuidas saavutatakse nende x-telje suuna-line liikumine, kas töölaua või portaali liigutamisega. Neid pinke võib vastavalt nimetada paigalseisva portaaliga ja liikuva portaaliga CNC-töötlemiskeskusteks. Liikuva portaali eeliseks on ruumi kokkuhoid: sama töötlemispikkuse jaoks peab paigalseisva portaaliga pink olema pea poole pikem.



Joonis 7.3 Konsoolpink (a), paigalseisva portaaliga pink (b) ja liikuva portaaliga pink (c).
Joonis: Alain Albert

Pendellauaga pingil (*pendulum*) töödeldakse detaili korraga ühel töölaual, samal ajal laaditakse teiselt töölaualt maha valmis detailid ja pannakse peale uued (joonis 7.4, a). Pinki kasutatakse suurte mahtude puhul, et maksimeerida pingi kasulikku tööaega. CNC-töötlemiskeskuste hulka loetakse ka vertikaalsed töötlemiskeskused (joonis 7.4, c), mille põhiülesanne on avade puurimine, kuid mis lubavad ka freesimis- ja saagimistöötlusi. Nende hind on võrreldes pendellauaga pinkidega madalam ning need võtavad vähem põrandaruumi ja lubavad väiksemate detailide lihtsamat kinnitust. Peamisteks miinusteks on limiteeritud detaili mõõtmed ja erikujuliste detailide tootmine. Viimasena võib välja tuua tööstusrobotid ehk kuuateljelised CNC-pingid (joonis 7.4 b).



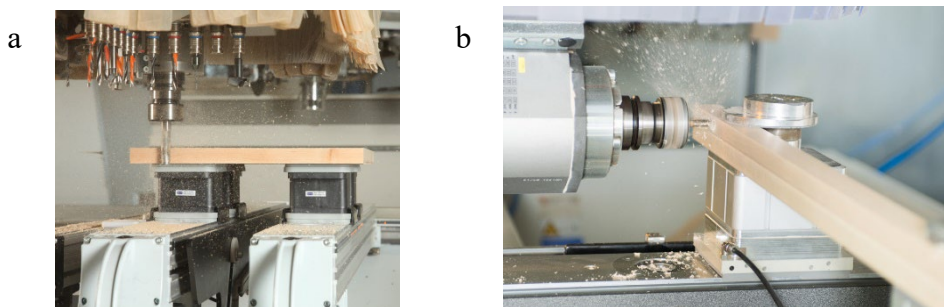
Joonis 7.4 Pendellauaga pink (a), kuueteljeline tööstusrobot (b) ja vertikaalne CNC-töötlemiskeskus (c). Joonis: A. Albert. Foto: HOMAG Group AG

Need masinad on olnud kasutusel peamiselt kui tõsterobotid, aga viimasel ajal, tänu parematele tarkvaralahendustele, on hakatud neid rohkem kasutama ka töötluste läbiviimiseks. Eeldada võib, et lähitulevikus on neid masinaid rohkem näha ka mööblitööstuses.

7.1.3 Töödeldavate detailide kinnitus

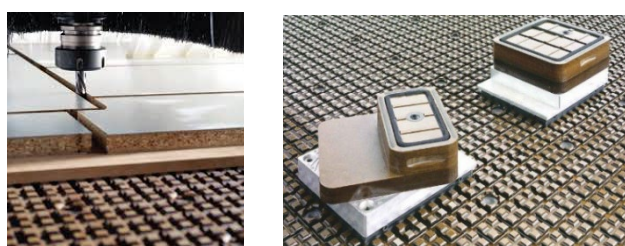
Mööblitööstuse CNC-töötlemiskeskustes kinnitatakse detailid enamlevinult kas rasterlauale või vaakumpatjadele, vähemlevinud on detailide kinnitamine vaakummehaaniliste klambritega. Seda kinnitust kasutatakse peamiselt kitsaste ja/või profiilsete materjalide kinnitamiseks eriti just täispuidu korral. Eristada võib laias laastus kolme tüüpi kinnitust.

Vaakumkonsoolile kinnitatavateks kinnitusteks on vaakumpadjad ja vaakumiga töötavad klambrid (joonis 7.5). Spetsiifiliste detailide kinnitamiseks valmistatakse ka eritellimusel tehtud kinnitusi. Vaakumkonsooli kinnituste puhul on põhiprobleemiks läbivate töötluste tegemine, kuna padi ei tohi jääda läbiva ava alla, aga samal ajal peab töödeldav detail olema piisavalt paljudest punktides toetatud, et vältida läbivajumist. Näteks kui on vaja valmistada perforeeritud MDF-plaat paksusega 12 mm, mille servas on perforeerimata osa 30 mm, siis ükski standardkinnitus ei mahu 30 mm serva alla, kus on välistatud patja puurimine (kui ka on parasjagu olemas selline spetsiaalne padi, siis tuleb töödeldavat plaati toetada ka plaadi keskelt). Lahendusena kasutatakse detaili kinnitamist kruvidega alusplaadile. Kuna aga kruviavad lõpp-tootel ei ole lahendus, siis valmistatakse algne plaat ülemõõdus ning pärast töötlemist lõigatakse lisaoperatsioonina plaat lõppmõõtu ja eemaldatakse kruviavadega osa. Võimalikud on ka teistsugused „ümburnurga lahendused“, nt võib kinnituskruvid paigutada tulevikus tehtavatesse avadesse ja teha töötlus kahes etapis: esmalt töödelda avad, mis ei jää patjade kohale, ja seejärel tõsta padjad ümber kohtadesse, kus avad on juba töödeldud. Sellisel juhul peab aga avad kuidagi uuesti sulgema, nt teipides, sest muidu kaoks vaakum.



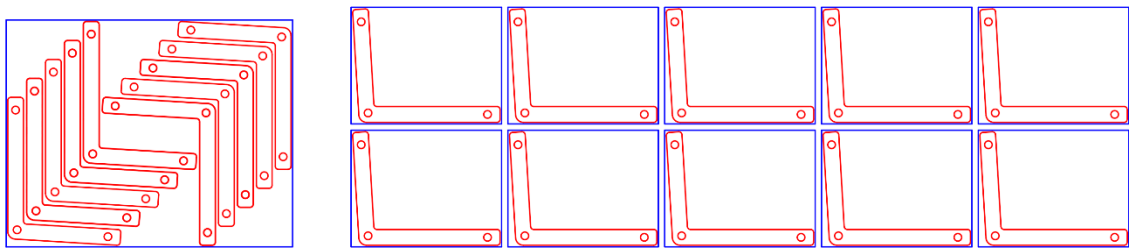
Joonis 7.5 Vaakumkonsoolile kinnitatud vaakumpadi (a) ja vaakumklamber (b). Fotod: J. Schmalz GmbH

Teiseks kinnitustüübiks on rasterlaud (joonis 7.6), mis lahendab eespool kirjeldatud probleemi. Rasterlauale asetatakse nn alusplaat, mis peab olema parasjagu poorne, et laseb vaakumit läbi, aga mitte liiga poorne, et vaakum kaoks. Enamlevinud alusplaadi materjaliks on MDF-plaat. Selle plaadi peale asetatakse omakorda töödeldav plaat. Kuna alusplaati võib sisse lõigata, on sellise kinnituse puhul eelkirjeldatud perforeeritud plaadi tootmine võimalik ühe operatsioonina.



Joonis 7.6 Rasterlauale kinnitatud alusplaat ja töödeldav plaat ning rasterlauale paigaldatud vaakumpadjad. Fotod: BIESSE S.P.A.

Rasterlaua pingi põhiliseks ostuargumendiks on *nesting*-operatsiooni võimalikkus. *Nesting*-operatsioon koosneb kahest osast: esiteks paigutatakse lõigatavad detailid spetsiaalset programmi kasutades optimaalselt etteantud suurusega plaadile, teiseks lõigatakse (tavaliselt freesides) need detailid välja. See annab võimaluse tehases loobuda formaat- ehk talasae kasutamisest või vähendada selle koormust ning toota erikujulise detaile väiksema materjalikuluga. Ainult vaakumkonsoolpingiga mööblitööstuses toimuks erikujuga detaili valmistamine järgmiselt: esiteks lõigatakse formaatsaega välja neljakandiline detail, seejärel antakse sellele detailile erikuju CNC-töötlemiskeskuses. Näiteks L-kujuga detailide (joonis 7.7) valmistamisel ei ole selline meetod materjalikasutuse seisukohalt optimaalne. Kasutades vaakumlaua *nesting*-operatsiooni, on materjali väljatulek palju parem. Loomulikult saab detailide tootmist ka vaakumkonsoolpingi kasutamisel optimeerida, aga see nõuab mittesandardseid lahendusi ja rohkem aega.



Joonis 7.7 L-kujuga detailide töötlemine *nesting*-meetodil ja *nesting*-meetodita. Joonis: K. Kiiman

Probleemiks rasterlauaga pingi puhul on servatöötlemine, kuna lõikeriistad ei mahu külgtöötlosti tegema. On võimalik küll asetada vaakumlauale vaakumpadjad, mis tõstavad töödeldava detaili piisavalt kõrgele võimaldamaks külgtöötlosti, ent see nõuab pinke, mis peamiselt on mõeldud *nesting*-operatsiooniks ja millel oleks olemas ka külgtöötluseks vajalikud agregaadid, nagu nt horisontaalpuurid. See aga tähendab, et masina hind tuleb märkimisväärselt kõrgem, kuna masina töötunnid on piiratud ja masina hinna tagasiteenimise aeg pikeneb. Seepärast on enamlevinud pigem osta kaks CNC-pinki, mitte üks maksimaalse võimekusega. Kusjuures *nesting*-pingist ja vaakumkonsoolidega pingist odavam ja tootlikum kombinatsioon on tihti vaakumlaud ja vertikaalne CNC-töötlemiskeskus.

Kolmandat kinnitusviisi kasutatakse mõnedel vertikaalsetel CNC-pinkidel, kus detail kinnitatakse pneumoklambritega alumisest servast.

Vaakumpatjade positsioneerimine

Vaakumpatjade ja konsoolide asukoha määramiseks on kasutusel peamiselt viis meetodit. Kõige odavam neist on positsioneerimine joonlaudade järgi (joonis 7.8). Konsoolid positsioneeritakse masinakere küljes oleva ja vaakumpadjad konsoolil oleva joonlaua järgi.



Joonis 7.8 Vaakumpatjade positsioneerimine joonlaua järgi. Foto: Höchsmann GmbH

Teine võimalus on kasutada laserpositsioneerimise abi (joonis 7.9). Laser on kinnitatud tavali- selt masina ristsuporti külge ja iga padi positsioneeritakse eraldi. Ristsuport liigub eelprogram- meeritud asukohta ja selle küljes olev laserseadeldis projekteerib jooned vaakumpadja paiguta- miseks.

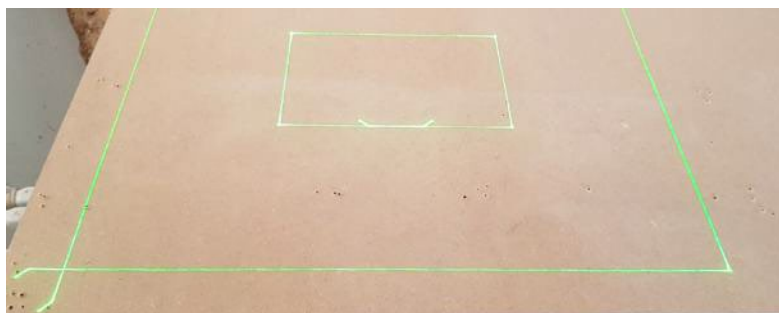


Joonis 7.9 Laserpositsioneerimisabi. Foto: Höchsmann GmbH

Üks kiiremaid võimalusi on LED-positsioneerimisabi (joonis 7.10). LED-tuled asendavad tra- ditsioonilist joonlauda. LED- tuled asuvad masinakerel X-telje suunas konsoolide positsioneerimiseks ja Y-telje suunas konsoolidel patjade positsioneerimiseks. Patjade asukoht on eelprog- rammeeritud ja põlema lähevad need tuled, kuhu peab konsooli ja padjad positsioneerima.



Joonis 7.10 LED-positsioneerimisabi. Foto: Höchsmann GmbH



Joonis 7.11 Laserkontuurpositsioneerimisabi. Foto: Höchsmann GmbH

Kõige informatiivsem on laserkontuurpositsioneerimisabi (joonis 7.11), mille korral laser projekteerib nii tööriistarajad kui ka patjade asukohad.

Viimane, ühtlasi kõige kallim ja kiirem, on automaatpositsioneerimisega töölaud (joonis 7.12), kus mootorite abiga juhitakse programmi alusel konsoolid ja vaakumpadjad vajalikesse asukohtadesse.



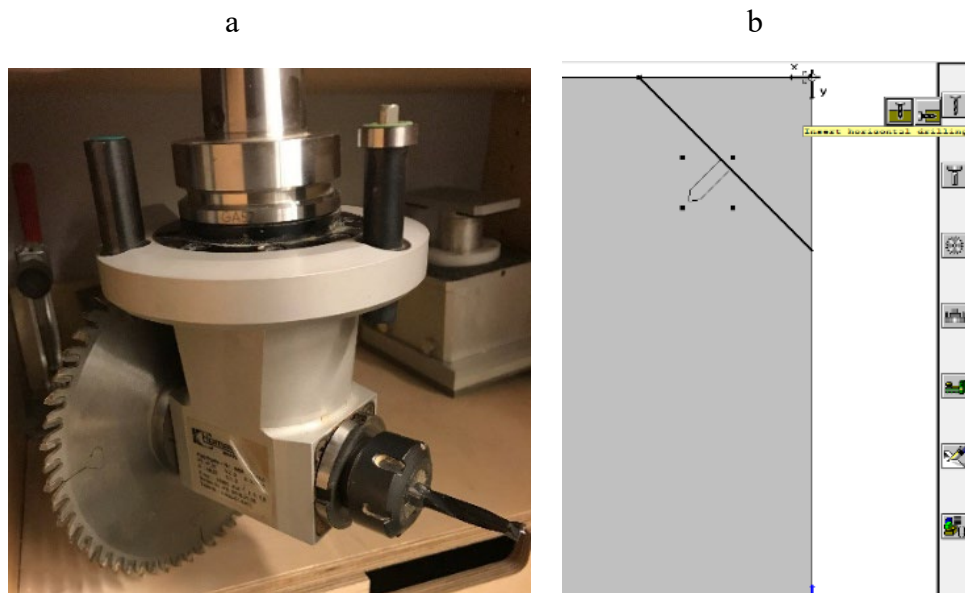
Joonis 7.12 Automaatpositsioneerimisega töölaud. Foto: HOMAG Group AG

7.1.4 CNC-töötlemiskeskustega tehtavad töötlusted

Erinevad pingitootjad nimetavad töötlusti erinevalt. Masinate erinev konfiguratsioon annab erinevaid valikuid. Järgnevalt on toodud levinumad töötlusted CNC-töötluskeskus Homag Weeke 3 + 1 teljega masina põhjal. Selle pingi tähtsamad lõiketöötlemisoperatsioonid on

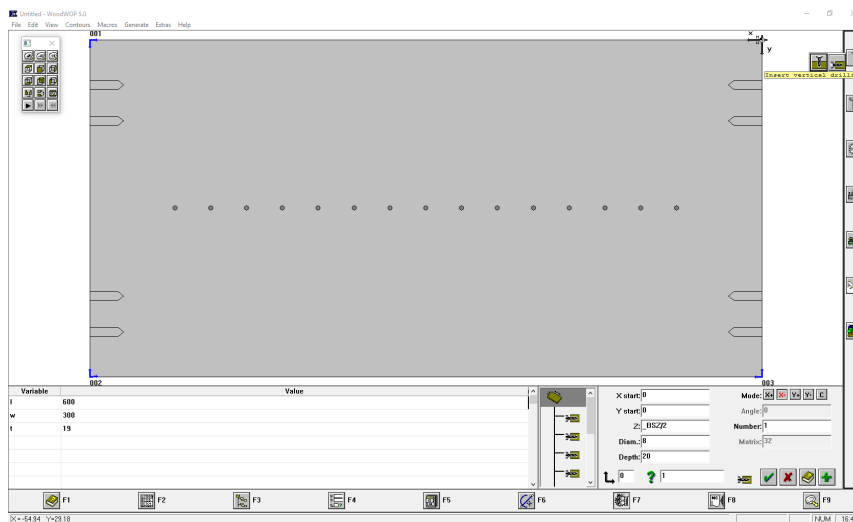
- puurimine (vertikaalne puurimine, horisontaalne puurimine ja nurga all puurimine, mis vajab ristagregaati);
- pesa freesimine (horisontaalne vajab ristagregaati) (neljakandiline ja ümmargune);
- kontuuri freesimine;
- saagimine (X-telje suunal ja erinurga all, vajab ristagregaati).

Nagu selgus, on osa operatsioone võimalikud ainult ristagregaadiga (joonis 7.13). Ristagregaat on liigend, mis võimaldab kinnitada lõiketööriistu 90° nurga all võrreldes peaspindliga ja seega teeb võimalikuks külgfreesimise. Neljateljelise või $3 + 1$ teljega masina korral teeb see võimalikuks ka nurga all külgpuurimise, saelõiked ja külgfreesimised. Ristagregaat kinnitub masina peaspindlisse.



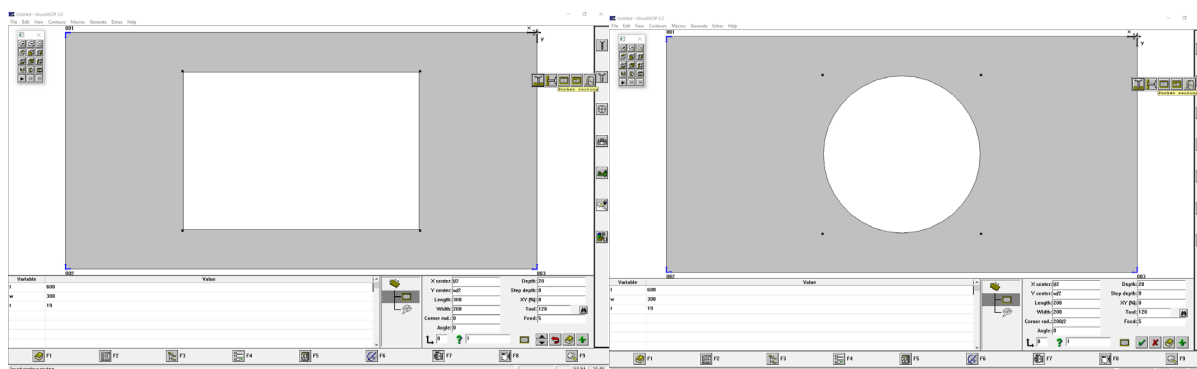
Joonis 7.13 Saag-puur-frees ristagregaat 4- ja 3+1-teljelistele masinatele (a) ja ekraanitõmmis programmeeritud nurga all külgpuuringust sama seadmega (b). Foto: K. Kiiman

Vertikaalpuurimine toimub puurimisagregaadiga, mis suudab automaatselt valida erineva puuri läbiva ja mitteläbiva ava jaoks. Horisontaalpuurimine toimub samuti puurimisagregaadiga. Nurga all puurimine toimub ristagregaadiga, mis kasutab nurga saavutamiseks sellel masinal positsioneerivat C-telge.



Joonis 7.14 Ekraanitõmmis pingi juhtprogrammist, programmeeritud vertikaal- ja horisontaalpuurimiseks. Foto: K. Kiiman

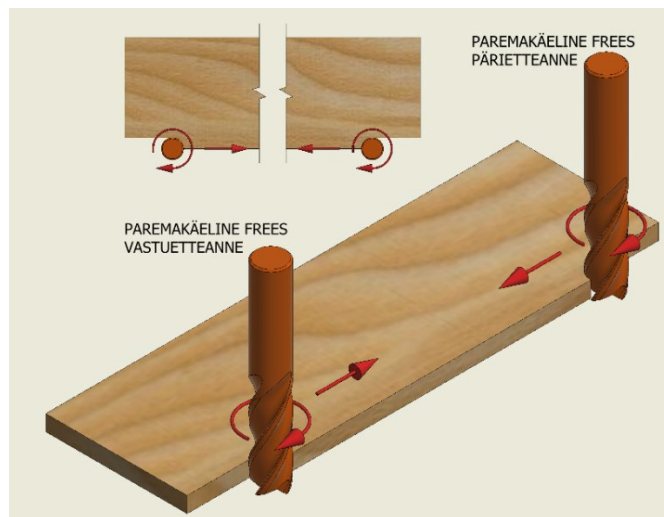
Horisontaalpesade freesimiseks kasutatakse peaspindlit, millesse on valitud töödeldavale materjalile sobiv freestera (freestera vahetus tööriistamagasinist määratud tööriista olemasolul toimub automaatselt). Pesa saab defineerida nelinurksena – kui on vajalik ümmarguse pesa freesimine, siis defineeritakse ruudukujuline pesa ja määratakse nurga raadiuseks pool ruudu külje pikkusest. Kusjuures tuleb tähele panna, et nurga freesimisel jääb nurka igal juhul raadius, mis on minimaalselt võrdne kasutatava freesi raadiusega. Selle raadiuse eemaldamiseks on võimalik kasutada spetsiaalset nurgapuhastusagregaati. Vertikaalpesade freesimiseks kasutatakse jällegi eelkirjeldatud ristagregaati.



Joonis 7.15 Ekraanitõmmis pingi juhtprogrammist, programmeeritud neljakandilise ja ümmarguse läbiva pesaga. Foto: K. Kiiman

Kontuuri freesimiseks tuleb defineerida kontuur, kasutades selleks *woodWOP*'i (Homag kontserni CNC-töötlemiskeskuste programmeerimissüsteem) kontuuri joonestamise tööriistu, ja seejärel valida peaspindlisse sobiv frees. Saagimine saab toimuda X-telje suunal, kasutades puurimisüksuse küljes olevat soonesaagi. Nurga all saagimine toimub jällegi ristagregaadiga.

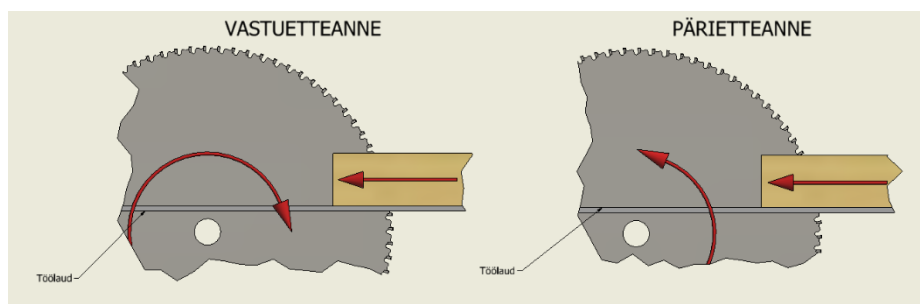
Puurimis-ja saagimisoperatsioonide puhul on töötuse defineerimine võrdlemisi lihtne ega ole vaja mõelda töödeldavale materjalile. Freesimise korral on see keerulisem. Vajalik on mõista freesi käelisust ning seda, kuidas missuguste materjalidega kasutada pärietteannet või vastuetteannet (joonis 7.16). Vastuetteanne on fikseeritud lauaga CNC-masinate korral olukord, kus lõiketööriist liigub oma pöörlemissuunaga samas suunas (tasub tähele panna, et näiteks kelguga sae korral liigub töödeldav toorik lõiketööriista pöörlemisesuunaga vastassuunas). Pärietteande korral liigub lõiketööriist oma pöörlemissuunaga vastassuunas.



Joonis 7.16 Päri-ja vastuetteanne paremkäefreesi ja fikseeritud tooriku korral. Joonis: K. Kiiman

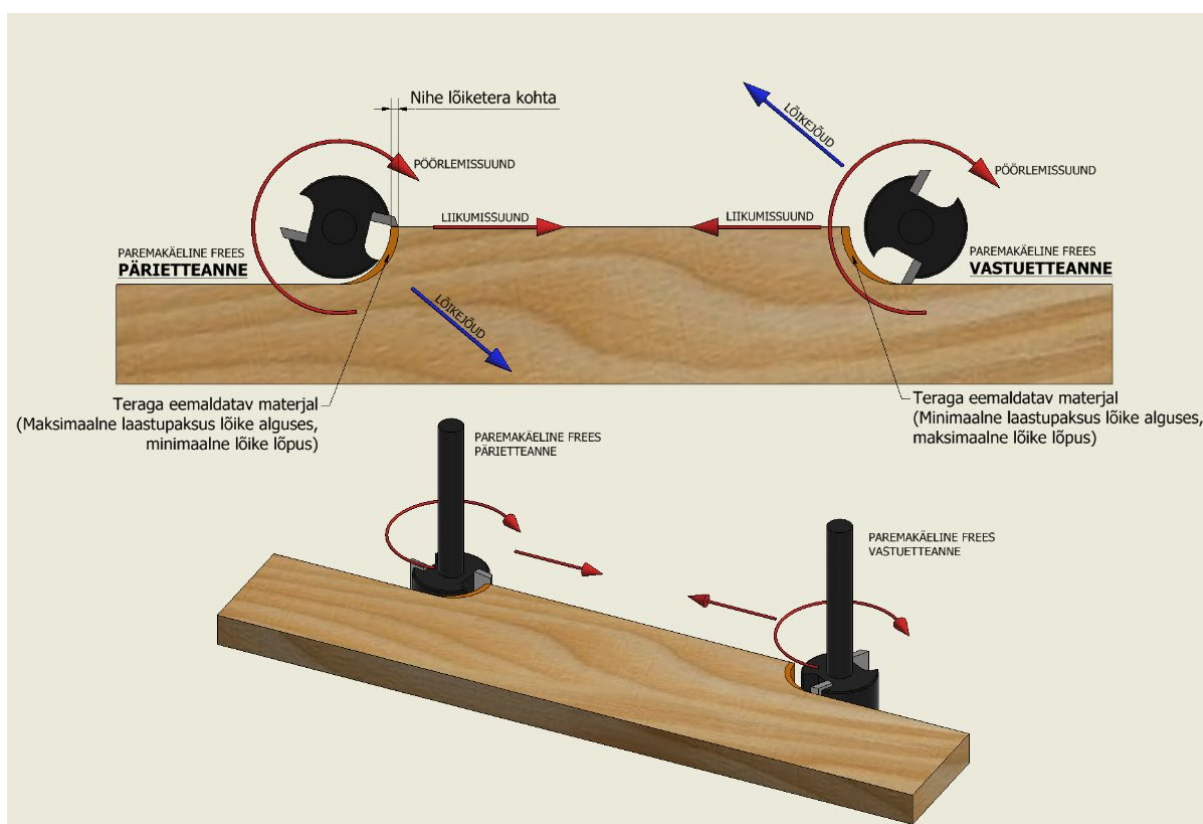
Freesi käelisus määratakse, vaadates freesi kinnituse suunast: kui frees peaks lõikamiseks pöörlema päripäeva, siis nimetatakse seda paremkäefreesiks, vastupäeva pöörlevat freesit vastavalt vasakukäefreesiks.

Juhtudel, kus töödeldav toorik fikseeritakse käsitsi (nt kelguga plaadisaag), kasutatakse peamiselt vastuetteannet, et hoida toorikut stabiilsemana ja saavutada parem lõikekvaliteet. Kasutades pärietteannet, võib juhtuda, et saag „rebib“ tooriku käest ehk saag n-ö tõmbab toorikut samas suunas, kuhu operaator toorikut lükkab.



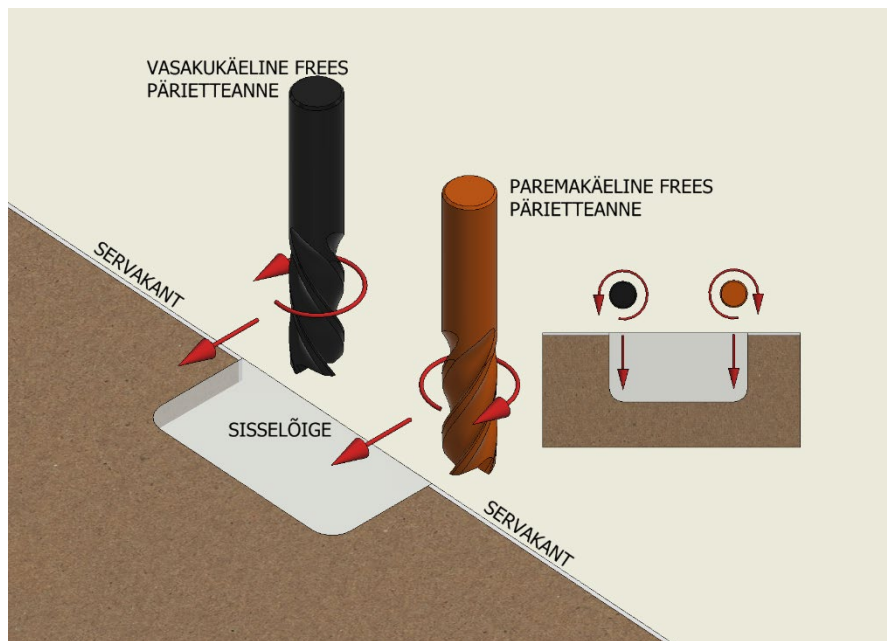
Joonis 7.17 Päri-ja vastuetteanne fikseeritud sae ja liikuva tooriku korral. Joonis: K. Kiiman

CNC-masinate korral on toorik fikseeritud ja tooriku liikumise oht on väike, see tähendab, et saab vabalt kasutada nii vastu- kui ka pärietteannet (joonis 7.18). Enamikul juhtudel annab pärietteanne parema tulemuse ja pikendab tööriista eluiga: esiteks laast eemaldatakse tööriista taha, mis vähendab laastude korduvat lõikamist erinevalt vastuetteandest, kus laast liigub lõiketera ees (see vähendab pärietteande korral tööriista kulumist ja parandab lõikepinna kvaliteeti); teiseks pärietteande korral puutub tera kõigepealt lõigatava materjali pealispinda ja alles lõike lõpus pinda, mis jääb lõikepinnaks. Mida rohkem on lõigatavat materjali, seda enam hakkab rolli mängima freesi (odavamate masinate korral ka masina) läbipaine, mis halvendab lõikepinna kvaliteeti. Läbipainde avastamise korral võiks proovida vastuetteannet, sest siis ei ole lõikejõud lõikepinnaga nii risti ja läbipaine on väiksem.



Joonis 7.18 CNC-freesimine päri- ja vastuetteandega (liiguvad freesid mitte toorik). Joonis: K. Kiiman

Kokkuvõtlikult on üldine soovitus puidu- ja puidupõhiste materjalide lõikamisel kasutada pärietteannet. Kui tulemus on kehv, tasub vähendada lõigatava materjali hulka, kui see ei ole võimalik, siis proovida kasutada vastuetteannet ning kui sooviks on parim tulemus, kasutada jämelõikuseks pärietteannet ja puhaslõikuseks vastuetteannet.



Joonis 7.19 Sisselõike tegemine kanditud servaga detaili. Joonis: K. Kiiman

Teine teema on vasaku- ja paremakäefreeside kasutamisega. Kanditud detaili sisselõike tegemisel (joonis 7.19), tuleb kvaliteetse lõpptulemuse jaoks alati kasutada järgmist lähenemist: siseneda freesiga esiteks ühelt poolt nii, et tera surub servakanti vastu materjali, tagamaks, et tera ei tõmbaks servakanti materjali küljest lahti, ja seejärel korrata vastupidikäelise freesiga teiselt poolt sama operatsiooni.

7.1.5 CNC-töötlemiskeskuste lisaagregaadid

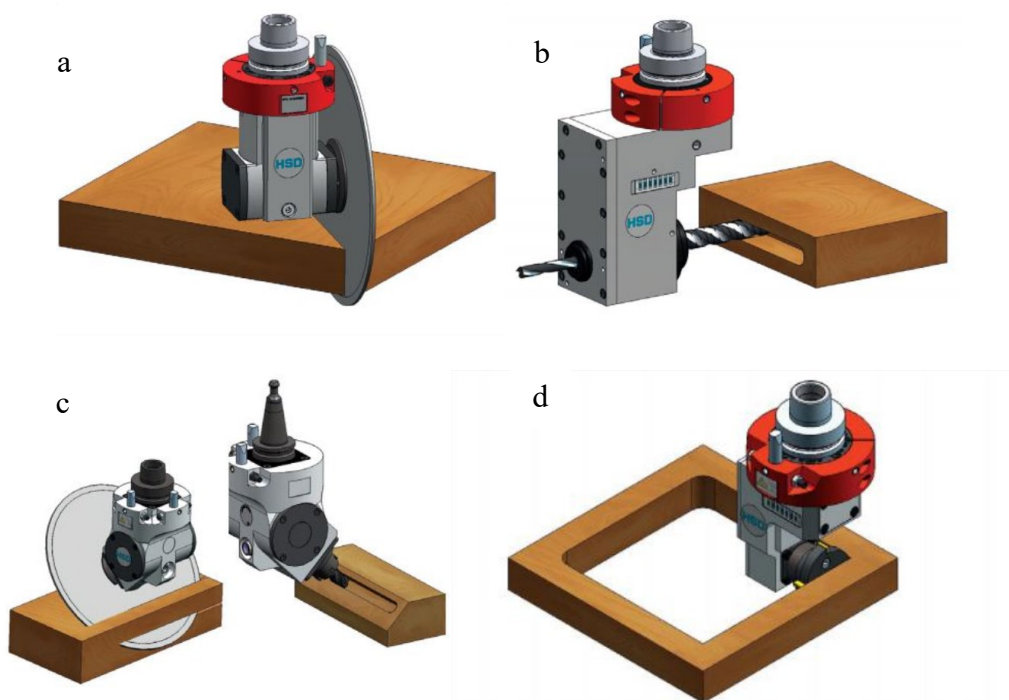
CNC-töötlemiskeskuse lisaagregaat (joonised 7.20, 7.21) on tööriistahoidik, mis lubab suurendada konkreetse CNC-pingi võimekust. Enamikku agregaatide saab hoiustada lõikeriistamagasiinis, kust masin on võimeline neid automaatselt vahetama. Lõiketeri, mis kinnituvad agregaatidele, tuleb vahetada käsitsi.

Laias laastus on masinale agregaatide lisamiseks kaks põhjust. Esiteks kasutatakse neid selleks, et muuta tööriista nurka töödeldava detaili suhtes, võimaldamaks nt külgtöötlust. Sellised agregaadid pole vajalikud viieteljelisele masinale. Teiseks selleks, et saavutada uus funktsionaalsus, nt kandiliste avade freesimine, kuumtraadilõikus, kopeerfreesimine, perforeerimine jne.

Enim agregaatide leidub 3 + 1 teljega ja neljateljelistele masinatele. Meeldetuletuseks olgu öeldud, et 3 + 1 teljega masinal on kolm interpoleerivat telge ja üks positsioneeriv pöördtelg. Neljateljelistel masinal on kõik teljed interpoleerivad. Ilma lisaagregaatideta ei oma kumbki masina-

tüüp eelist kolmeteljelise masina ees. Lihtsaim näide 3 + 1 teljega ja neljateljelise masina erinevusest on külgfreesimine. Esimesel juhul on võimalik kasutada ainult sirge põhjaga, teisel juhul ka kaarja põhjaga külgfreesimist.

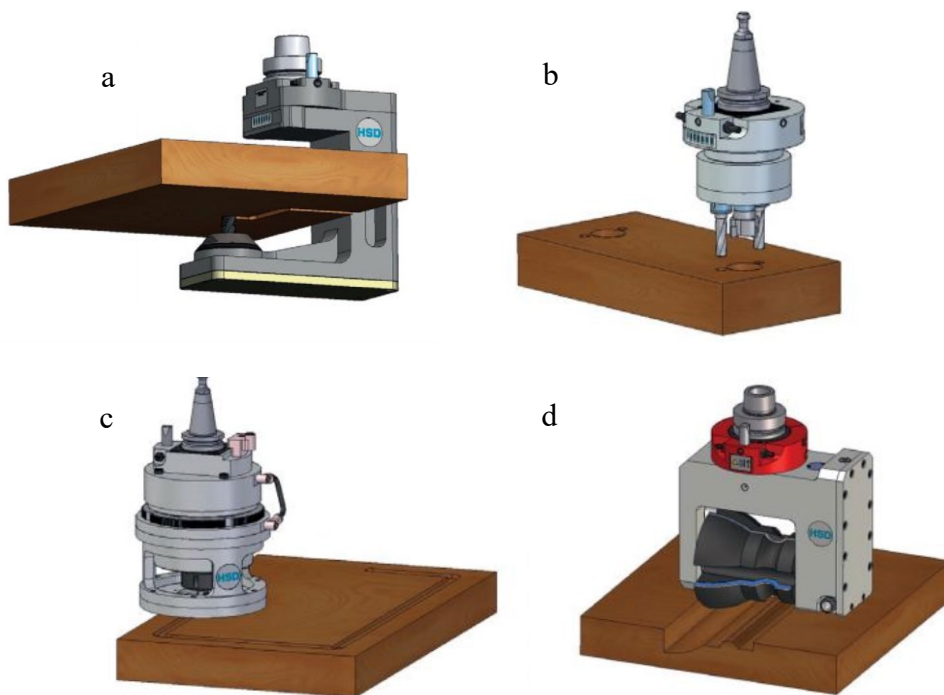
Nagu eespool mainitud, saab agregaadid jagada kaheks: nurka muutvad agregaadid, mis pole vajalikud viieteljelistele masinatele, ja funktsionaalsust lisavad agregaadid. Järgnevalt tuuakse välja mõned levinumad nn nurgaagregaadid.



Joonis 7.20 Valik lisaagregaat: a – ristagregaat saega, b – ristagregaat puurimiseks ja freesimiseks, c – fikseeritud 45° nurgaga sae- ja freesagregaat ja d – nurgapuhastusagregaat. Fotod: HSD SpA

Ristagregaat saega võimaldab lõigata masina X- ja Y-telje suunas ja ka diagonaalselt. Puurimis- ja freesimisagregaat võimaldab teha külgfreesimisi ja puurida erinurga all (s.t külgedesse, mis ei ole paralleelsed ei X- ega ka Y-teljega). Fikseeritud nurgaga agregaadid (tavaliselt 45°) võimaldavad saeoperatsiooni korral faasida detaili saega ja freesimisoperatsiooni korral lisada faasitud serva töötluse. Nurgapuhastaja võimaldab eemaldada kandilise kontuuri freesimisel nurkadesse jäävad raadiused (minimaalne raadius on võrdne freesi raadiusega). Nii nagu enamiku külgtöötlusagregaatidega, on juhtumeid, kus neid ei saa kasutada, nt väikemõõduliste läbivate pesade korral.

Lisaks nurgaagregaatidele kasutatakse ka funktsionaalsust lisavaid ja tööprotsesse kiirendavaid lisasid, mis parandavad ka viieteljeliste pinkide võimekust.



Joonis 7.21 Valik lisaagregaate: a – aluspinnafrees/puur, b – mööblihinge avade puurimis-agregaat, c – pinda kopeeriv frees ja d – kahepoolse kinnitusega agregaat. Fotod: HSD SpA

Aluspinnafrees/puur lubab teha detaili servades aluspinnas töötlust ja annab võimaluse töödelda detaili kahelt poolt ilma detaili pööramata, andes paljudel juhtudel olulise tööaja kokkuhoiu. Mööblihinge puurimisagregaat lubab teha kolm ava korraga, kiirendades sellega tootmisprotsessi, sest avade töötlemisoperatsioon toimub kolm korda kiiremini. Pinda kopeeriv frees võimaldab freesida ühtlase sügavusega töötlust ebaühtlase pinnaga materjalidesse. Kahepoolne kinnitus vähendab võrreldes peaspindlisse otsekinnitusega massiivsete freeside kasutamisel masina kulumist ja suurendab lõiketera stabiilsust. Samuti võimaldab sama agregaat kasutada saekomplekti, et valmistada nt soonelist, st painduvat MDF-i.

Lõplikku loetelu võimalikest agregaatidest ei ole võimalik luua. Eritellimusel lisandub agregaat igal aastal ja töö optimeerimiseks leitakse üha uusi ja uusi lahendusi. Joonisel 7.22 on kujutatud nt mootorsae-tüüpi lahendus tappide valmistamiseks. Mõned lahendused jäävad üksikeksplarideks, mõnda hakatakse tootma ja pakkuma standardlahendustena.



Joonis 7.22 Mootorsae-tüüpi agregaat suuremõõtmeliste tappide tootmiseks. Foto: Peak Toolworks

7.1.6 CNC-töötlemiskeskuste lõiketöölusterad

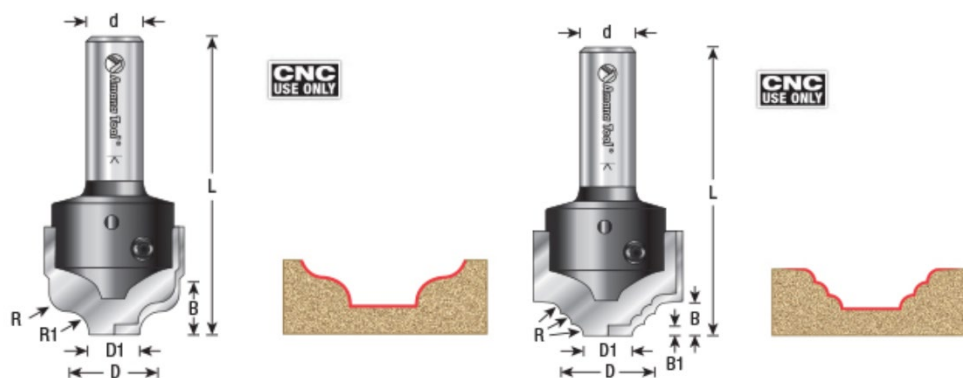
Üldiselt võib jagada lõiketöölusterad kaheks: freesid ja puurid. Freese (joonis 7.23) saab jagada kuju ja lõiketerade järgi. On olemas vahetatavate teradega freesid ja tervikfreesid (mittevahetatavate teradega). Enamlevinud on tänapäeval kõvasulamtervikfreesid ja vahetatavate kõvasulamteradega freesid ning loomulikult ka teemanthammastega freesid. Tänapäeval on erinevate freeside valik väga suur, siin vaatame järgnevalt ainult enamlevinud freese nende otstarbe järgi.

Kui ülesandeks on nt lõigata vineerist välja kettaid või lisada detailidele pesasid, on kindel, et vaja läheb spiraalotsfreesi. Paneeli õhendamiseks või tasandamiseks sobib hästi laupfrees, mida kasutatakse laialdaselt just rasterlauaga CNC-masinate MDF-ist alusplaadi sisselõigete tasandamiseks. Detaili servadesse soone freesimiseks saab kasutada T-kujulist freesi, millel esmane otstarve ongi T-kujulise soone freesimine. See frees võimaldab lihtsasti teha lihtsamat külgfreesimist kolme- ja neljateljepinkidega ilma nurkagregaati kasutamata. Ümar- või faasitud servade jaoks kasutatakse V-kujulisi ja ümardusfreese. V-freese ja ka ümarpeafreese kasutatakse graveerimiseks ja muudeks nikerdustöödeks.



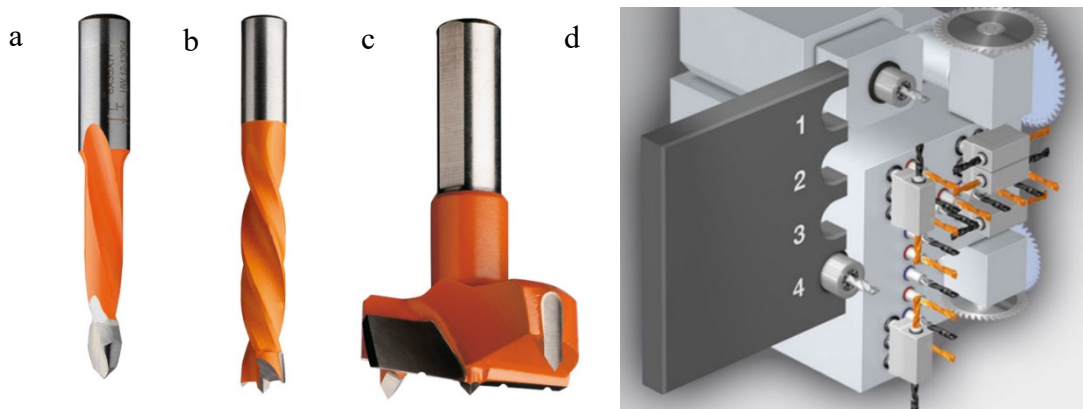
Joonis 7.23 Valik enamlevinud freese: a – spiraalotsfrees, b – vahetatavate teradega laupfrees, c – T-kujuline frees, d – ümardusfrees, e – V-kujuline/kooniline frees ja f – ümarpeafrees. Fotod: C.M.T. UTENSILI S.P.A

Erinevate profiilide freesimiseks kasutatakse kujufreesi (joonis 7.24), s.t freese, mille tööosa kuju vastab töödeldava pinna kujule. Eespool mainitud T-kujuline frees on ka üks võimalikest profiilidest, aga tänu oma multiotstarbele on see frees laiemalt kasutuses. Kujufreesi saab osta valmiskujul, kusjuures valik on võrdlemisi lai, või lasta valmistada eritellimusel.



Joonis 7.24 Kujufreesid. Fotod: Amana Tool Corporation

CNC-pingi puure liigitatakse peamiselt kaheks: läbistavateks ja mitteläbistavateks puurideks (joonis 7.25). Eraldi kategooriana võib käsitleda suurelääbimõõdulisi puure, mis oma ehituselt meenutavad rohkem freese ja mille üks levinumaid otstarbeid mööblitööstuses on hingepesade puurimine. Puuride puhul tasub tähele panna, et CNC-puurimisagregaadid kasutavad tavaliselt nii vasaku- kui ka paremakäepuure. Seda mitte sellepärast, et see käelisus annaks puidupõhiste materjalidega lisavõimalusi, vaid põhjus on selles, et puurimisagregaadi ehitus on üldjuhul selline, et üle ühe pöörlevad puurid vastupidiselt. Põhjuseks tõenäoliselt see, et selline ehitus on kõige tõhusam. Et töödeldavaid detaile mitte rikkuda, tuleb puuride vahetamisel ja lisamisel sellele kindlasti tähelepanu pöörata.

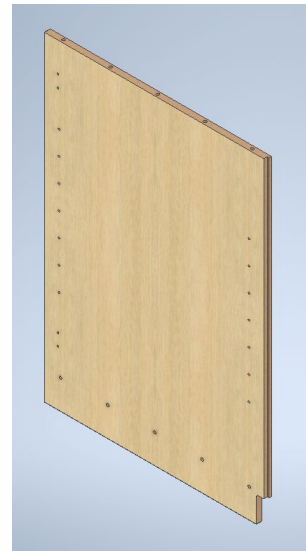


Joonis 7.25 CNC-pingi puurid: a – läbistav puur, b – mitteläbistav puur, c – mööblihinge pesa puur, d – vertikaalse CNC-masina tööriistad (oranžid puurid pöörlevad ühtepidi ja mustad vastupididi). Fotod: C.M.T. UTENSILI S.P.A & HOMAG Group AG

7.1.7 CNC-töötlemiskeskuste võrdlus

CNC-töötlemiskeskusi leidub paljudes variatsioonides ja arvestades kõiki võimalikke lisasid, on keeruline jaotada CNC-masinaid kindlatesse võrreldavatesse kategooriatesse. Selles alajao- tuses on võrdluse jaoks valitud viis CNC-töötlemiskeskuste konfiguratsiooni: vertikaalne, kolmeteljeline vaakumpatjadega, kolmeteljeline rasterlauaga horisontaalpuurideta, neljatelje- line vaakumpatjade ja ristagregaadiga ning viieteljeline vaakumpatjadega.

Kõige lihtsam ja odavam masin on vertikaalne CNC-töötlemiskeskus (joonis 7.26). Selle pin- giga saab teha kõiki lihtsamaid töötusi: detaili avade puurimine pinda ja servadesse ning detai- lide freesimine. Pingi miinuseks on piiratud töötlemiskõrgus ja erikujuliste detailide freesimis- võimatus. Plussiks on see, et pink vajab võrreldes teiste CNC-pinkidega võrdlemisi vähe pörandapinda.



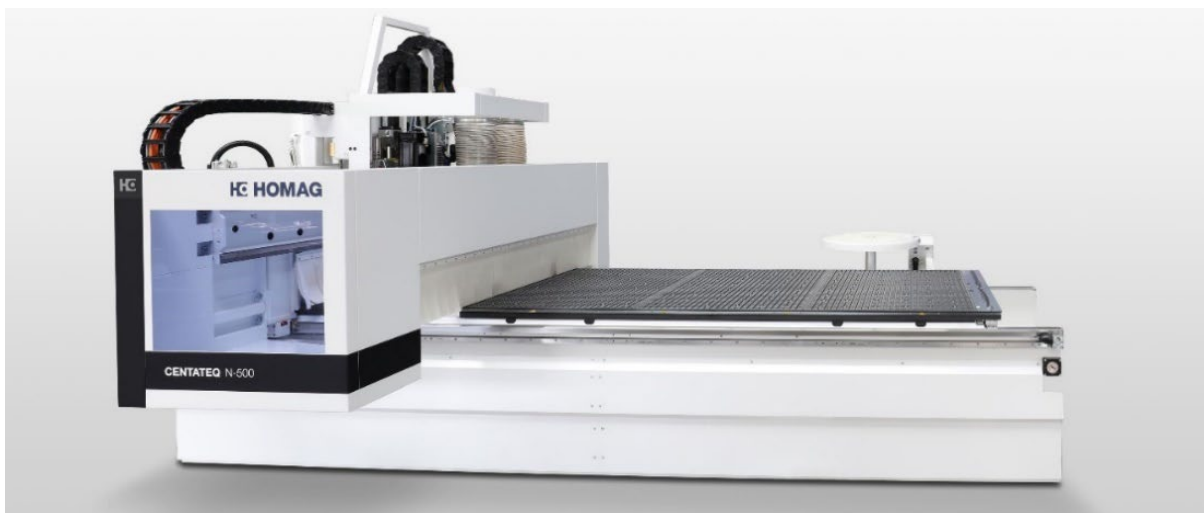
Joonis 7.26 Vertikaalne CNC-töötlemiskeskus ja näide võimalikust töödeldavast detailist. Foto: HOMAG Group AG. Joonis: K. Kiiman

Hinnatasemelt järgmine on kolmeteljeline töötlemiskeskus (joonis 7.27), mille võimekus on põhimõtteliselt sama, aga millega saab töödelda suuremaid detaile ja lihtsamini valmistada erikujulisi detaile.



Joonis 7.27 Kolme või neljateljeline CNC-töötlemiskeskus. Foto: HOMAG Group AG

Kolmeteljelse pingiga samasse hinnaklassi jääb lihtne *nesting*-pink. *Nesting*-pingi puhul on raskendatud külgtöötluste tegemine ja vastavate vajalike lisadega pingi ostmine ei pruugi olla tootmise seisukohast kõige tõhusam lahendus. Rasterlauaga pingi (joonis 7.28) suurim eelis on *nesting*-funktsioon, mis võimaldab vähendada talasae koormust ning lõigata välja erikujulisi detaile kiiremini ja säästlikumalt.



Joonis 7.28 Rasterlauaga viieteljeline *nesting*-CNC-töötlemiskeskus. Foto: HOMAG Group AG

Hinnalt kallim on neljateljeline CNC-töötlemiskeskus. Iseenesest ilma lisaagregaadita ei oma see pink erilist eelist kolmeteljelise masina ees. Nurkagregaatidega on võimalik pingi võimekust märkimisväärselt suurendada. Näiteks saab sellisel juhul teha keerukaid servafreesimisi, saagida diagonaalselt, kasutada nurgapuhastajat jpm. Täpsustuseks olgu lisatud, et servafreesida on võimalik ka eespool nimetatud pinkidega, kasutades selleks nt T-kujulist freesitera, aga sellisel juhul on töötuse sügavus ja geomeetria tugevalt piiratud. Kolmeteljelisele pingile saab ka paljudel juhtudel lisada nurkagregaadi, aga ilma neljanda teljeta saab see teha töötusi servadesse ainult eeldefineeritud ja fikseeritud nurkade all.

Kõige kallim on soetada viieteljeline CNC-töötlemiskeskus. Sellel pingil on kõik eelnevate pinkide võimekused v.a *nesting*-funktsioon. Viies telg võimaldab valmistada ka keeruliste 3D-pindadega detaile, mida eelnevad masinad ei suuda. Käsitletud CNC-töötlemiskeskuste võrdlus on esitatud tabelis 7.1



Joonis 7.29 Rasterlauaga *nesting*-CNC-töötlemiskeskus ja näide võimalikust töödeldavast detailist. Foto: HOMAG Group AG, joonis: K. Kiiman

Tabel 7.1 CNC-töötlemiskeskuste võrdlus

	Vertikaalne CNC	Nesting ilma külgpuurida	3-teljeline	4-teljeline	5-teljeline
Puurimine	Pind ja serv	Pind	Pind ja serv	Pind ja serv	Pind ja serv
Freesimine	Pind	Pind	Pind	Pind ja serv	Pind ja serv
Muu	Väike pinnavajadus	Lahtilõikus	Nurkagregaadi lisamise võimalus	Erinurgaga töötlus lisagregaatidega	3D-pindade freesimine
Hind	Madal	Keskmine	Keskmine	Kõrgem	Kõrge

7.2 CNC-töötlemiskeskused uste tootmisel

Uste ja akende tootmisel kasutatavate CNC-keskuste tööpõhimõtted on sarnased mööblitööstuses kasutatavate seadmete omadega, küll on aga nende kavandamisel arvestatud töödeldavate detailide suuri mõõtmeid ja massi.

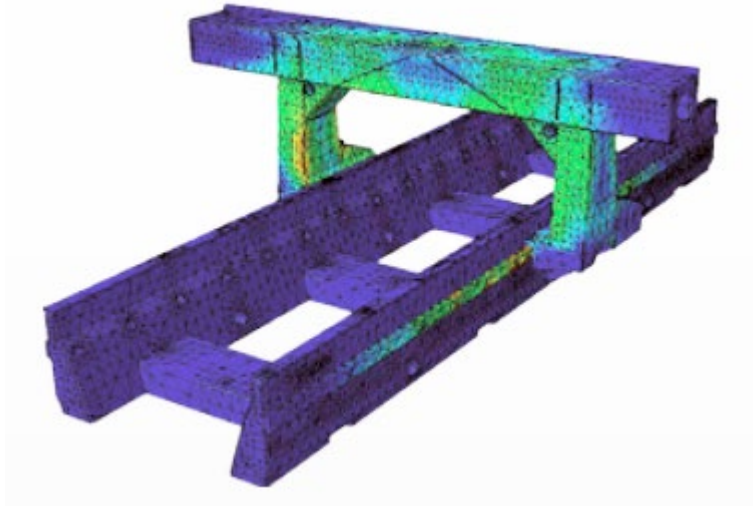
Uksetööstuses kasutatavad CNC-töötlemiskeskused on samad, mis mööblitööstuses, kuid tulevalt suurematest töödeldavatest ristlõigetest ja seoses sellega suuremast lõiketera kõrgusest, läbimõõdust (üldjuhul kuni 180 mm) ja massist (kuni 6–7,5 kg), on vibratsiooni summutamiseks ja lõiketäpsuse tagamiseks suurem ka masina keremass. Näiteks Homag kasutab alates 2011. a oma raskeseeria seadmete kerede valamiseks teraskiududega tugevdatud mineraalset komposiitmaterjali *SORB TECH* (joonis 7.32), mis tagab tunduvalt parema vibratsioonisummutavuse võrreldes enamlevinud teraskerega (sängiga) CNC-seadmetega.

Suuremad lõikeinstrumendid nõuavad ka võimsamaid, hübriid- või keraamiliste laagritega peamootoreid (15–24 kW) pöörete arvuga 0–24 000 min⁻¹. Ülekuumenemise vältimiseks on sellised mootorid vedelikjahutusega ning varustatud vibratsiooni- ja temperatuurianduritega.

X-Y-telgede sihis juhtimine toimub hammaslatti-hammasratas ülekandega (*rack and pinion*) ning Z-telje suunaliselt kuulkruviga koos automaatlõituslaagritega. Hammaslati ja -rataste kontaktpinnad on kaldu (*helical*), mis tagavad täpsema, lõtkuta positsioneerimise.

7.2.1 Uksetööstuses kasutatavate CNC-keskuste kered

Kuigi laialdaselt on veel kasutuses konsoolpingid, minnakse töötlemistäpsuse huvides üha enam üle portaalpinkidele, mille portaali koormusjaotus on ühtlasem (joonis 7.31).



Joonis 7. 30 Portaalpingi liikuvsuporti ehk portaali koormuse jaotus.

Seadme tööaja maksimaalse ärakasutamise huvides on otstarbekas pendellauaga pinkide (joonis 7.4) kasutamine (alajaotis 7.1.2).



Joonis 7.31 Pendellauaga konsoolpink.



Joonis 7.32 Pendellauaga portaalpink SORB TECH tehnoloogiaga valatud 9 t kerega, liikuva suporti kaal 3 t.

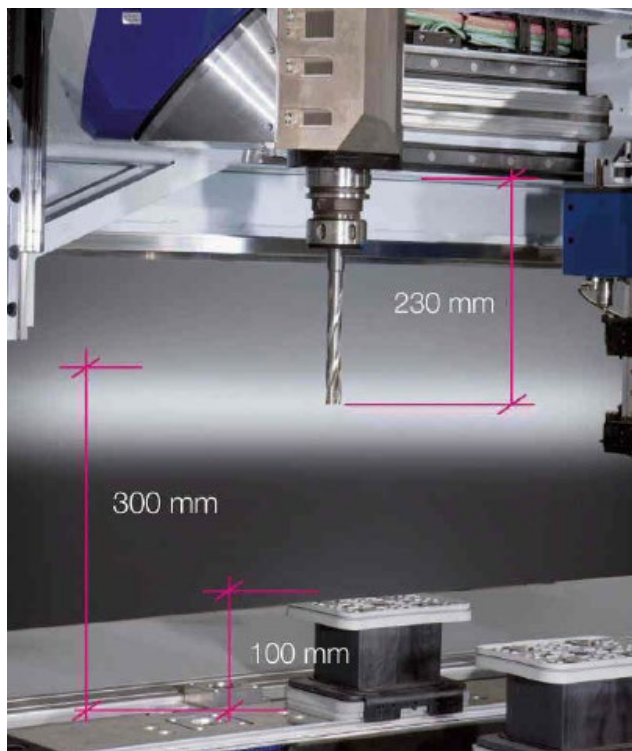
7.2.2 Lõikeinstrumendid

Peale eespool mainitud füüsikaliste parameetrite on suuremad ka töödeldavate profiilide ristlõiked ja eemaldatava laastu maht, nt tänapäevastele soojusisolatsiooninõuetele vastavate välisuste paksus võib ulatuda kuni 90 mm ja rohkemgi, see aga eeldab pikemate lõikeinstrumentide kasutamist.

Suurem eemaldatava laastu maht vajab peaspindli C-telje abil pööratava laastusuunaja (joonised 7.34 ja 7.36) ehk deflektori kasutamist (laastusuunaja liikumine on programmeeritav), et juhtida laast võimalikult äratõmbetsooni (aspiratsioonikolu) lähedusse. Parema- ja vasakukäeliste lõikeinstrumentide laastusuunajad on erinevad. Viieteljeliste spindlite juures laastusuunajaid üldjuhul ei kasutata. Neid on võimalik kasutada, sest sellel on samuti C-telg, kuid et mitte koormata viieteljelist keerukamat spindlit suurte profiilfreesidega, on mõistlik töödelda profiilid neljateljelise võimsama spindliga.

Uksetööstuses lepitakse tulevase CNC-portaalpingi konfiguratsioon kokku koos seadmevalmistajaga olenevalt konkreetse kasutaja vajadustest, eesmärgiga minimeerida tööriistavahetuseks kuluvat aega ja optimeerida töötlusprotsessi. Tihtilugu loobutakse mööblitööstuses klassikalisest puurimisagregaadist ja kasutatakse suporti peal vabaks jäävat kohta nt tööriistakarusselli paigutamiseks. Nii saab tekitada olukorra, kus ühel pool suportit on kaks peamootorit, nt nelja- ja viieteljeline, ning kummalgi oma karusell (8–10 positsiooni) kiireks tööriistavahetu-

seks, lisaks veel ühiselt kasutatav tööriistakarusell või kettmagasin. Korraga oleks kahel peamootoril kasutada 38–50 erinevat tööriista, lisaks kuni 350 mm läbimõõduga saeketas, mis paikneb eraldi pesas ja võimaldab viieteljelise mootori otsas lõigata mistahes nurga all. Laastusuunajaga profiilfreesid aga hõivavad igaüks karusellil kaks positsiooni, seega väheneb tööriistakohtade arv poole võrra.



Joonis 7.33 Tooriku suurim paksus (võib ulatuda kuni 200 mm).



Joonis 7.34 Kombiprofiiltera vahetatavate plaatide ja laastusuunajaga.



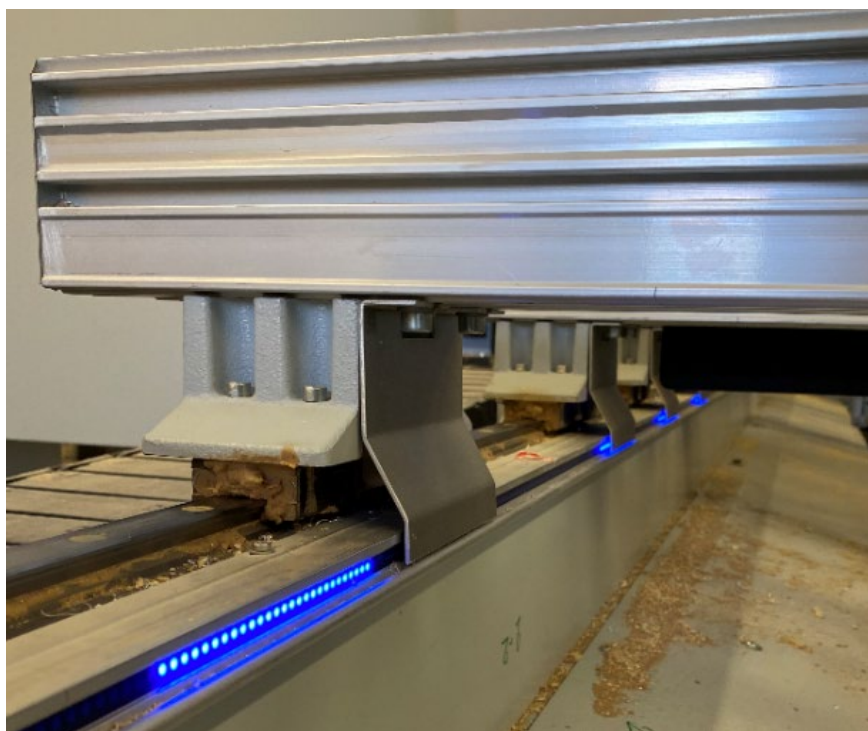
Joonis 7.35 Kümnekohaline tööriistakarusell erinevate puuride ja sõrmfreesidega.



Joonis 7.36 Tööriistakarusell laastusuunajatega varustatud profiilfreesidega.

7.2.3 Töödeldavate detailide kinnitus

Plokkuste (*sandwich door*) kinnitamiseks kasutatakse vaakumkonsoolile kinnitatavaid erinevate mõõtmetega vaakumtaldasid ja klassikaliste raamuste (*framed doors*) detailide kinnitamiseks **suruõhuklambreid** (*clamps*). Vaakum- ja rasterlaudasid ukse- ja aknatööstuses ei kasutata. Sõltuvalt vajadusest on saadaval ka automaatpositsioneeruvad vaakumkonsoolid koos automaatpositsioneeruvate taldadega.



Joonis 7.37 Töötlusprogrammile sobiv vaakumkonsooli asetus (asukohad on operaatori töö hõlbustamiseks näidatud LED-tuledega).

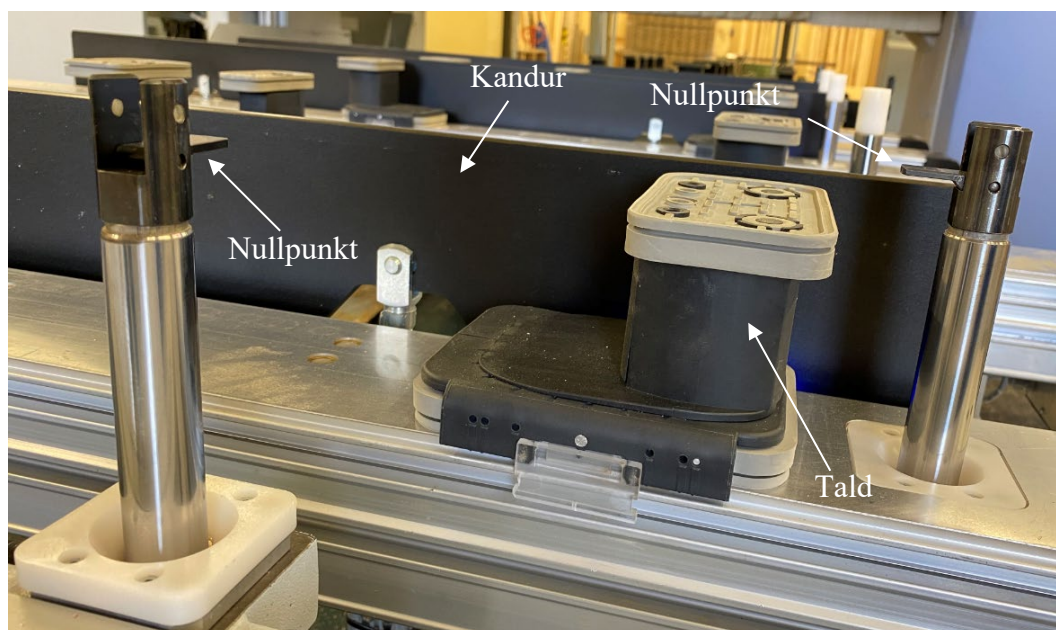


Joonis 7.38 Vaakumtald koos konsoolil olevate LED-tuledega (markeerivad sobiva koha, mis oleks löiketsoonist eemal).



Joonis 7.39 Suruõhuklambrid raamukse detaili profileerimisel.

Kuna plokkuste gabariidid ja mass on mööblidetailidega võrreldes suuremad, siis ei saa toorikut kohe asetada vaakumtaldadele ja suruda seda vastu nullpunkte. Töödeldav toorik asetatakse esmalt tekstoliidist kanduritele, mille libe pind võimaldab toorikut kergesti nullpunktide vastu nihutada, seejärel langetatakse kandurid ja aktiveeritakse vaakum ning protsess võib alata.



Joonis 7.40 Tekstoliidist kandurid, vaakumtallad, külgmised ja eesmised nullpunktid.

Plokkuste korral ulatuvad katteplaadid nullpunktist 5–10 mm üle sisemise raami, mistõttu kasutatakse spetsiaalseid ärapöörduvate plaadikestekega nullpunkte, mis enne töötuse algust langetatakse vaakumkonsooliga samasse tasapinda (joonis 7.41).



Joonis 7.41 Ärapöörduvate plaadikestega nullpunktid plokkuste korral.

7.2.4 Uste töötlus

Oma olemuselt on uste töötlusoperatsioonid küll samad, mis mööblitööstuses (alajaotis 7.1.4), siiski nimetatakse neid veidi erinevalt. Erinev on ka tehnoloogiaprotsessi skeem. Plokkustel on üldjuhul vajalik ka servade pealistamine, seega käivad nad keskusest läbi kaks korda: kõigepealt üleulatuvate katteplaatide servade mahafreesimine (trimmimine) ja servade profileerimine, seejärel servade pealistamine eraldi seadmes ning siis uuesti töötlust CNC-seadmes.

Levinumad töötluste juures on

- 1) trimmimine ja servade profileerimine;
- 2) servade pealistamine eraldi seadmes (servapealistusliinis, tavaliselt ainult vertikaalsed servad);
- 3) lukupesa(de) freesimine – kuna mõnede lukukorpuste süvised on väga sügavad, hotellustelukkudel nt kuni 150 mm, siis tavalist ristiagregaati siin kasutada ei saa, vaid seadme konfiguratsiooni kavandamisel tuleb ette näha eraldi horisontaalpaigutusega spindel (3–4 kW), millesse kinnitub sobiva pikkusega sõrmfrees, mida vahetatakse käsitsi, või kasutada viieteljelist spindlit, mis saab lõikeinstrumendid kätte tööriistakarussellilt. Isegi kui lukuavade süvised on väiksemad, ei saa ristiagregaati igapäevatööks soovitada; 90° ülekanne ei pea koormusele vastu;

- 4) hingepesade freesimine – kuna hingepesade süvised on madalad (v.a peithinged), siis sobivad kasutamiseks kahe või nelja väljundiga ristiagregaadid vasaku- ja paremakäeliste freesidega killendite vältimiseks. Sama agregaadiga saab ette puurida ka kruviavad;
- 5) käepideme-, lukusüdamiku- ja klaasiavade freesimine – kasutatakse vertikaalspindlisse kinnituvaid kõvasulamist või vahetatavate teradega sõrmfreese läbimõõduga 18–20 mm. Töötlemine on astmelise etteandega või spiraalselt. Spoonitud uste töötlemisel tuleb kasutada sõrmfreesi, millel on positiivne/negatiivne lõikeserv vältimaks reben-deid;
- 6) käepideme ja südamikuroseti kinnituspoltidele avade töötlemine (vertikaalne puuri-mine) ja luku esiplaadi kinnituskruvide avade ettepuurimine (horisontaalne puurimine);
- 7) pesade freesimine lisavarustusele – horisontaalfreesimine nt peitsulgurile, elektrikaabli üleviigule, magnetkontaktile, mehaaniliselt alla laskuvale lävele, servariividele, tule-tõkke tihendile jne; vertikaalfreesimine, nt võtmetorule, postkastile, ukseilmale, kiir-riivi pesale jne;
- 8) servade pehmendamine ja pindornamendi freesimine kopeerrõngasagregaadiga või kopeerrõngaga varustatud peaspindliga (nt sensoFLEX Homagil);
- 9) soonte saagimine uksepinda kinnituva ornamendi või laagliistu jaoks.

7.2.5 CNC-töötlemiskeskuste lisaagregaadid ustetöötlusel

Võimalike lisaagregaatide on väga palju ja kõik, millest oli juttu alajaotises 7.1.5, on kasutatav ka uksetööstuses. Tihtilugu lasevad suurtootjad enda tarbeks valmistada spetsiifilisi agregaatide, nt eri paigutusega puurimagasine vms. Lisaagregaadi soetus tuleb hoolikalt läbi mõelda, kuna koos lõikeinstrumentidega võib see tööriistakarussellil või -magasini võtta märgatavalt ruumi, lisaks veel agregaadid enda mass. Uksetööstuses on enimlevinud kopeerrõngasagregaadid servade pehmendamiseks ja pindornamendi freesimiseks, samuti nelja väljundiga puurimis- ja alttöötlusagregaadid.



Joonis 7.42 Nelja väljundiga puur-freesagregaat.



Joonis 7.43 Alttöötlus-agregaat 125 mm õlaga.



Joonis 7.44 Peamootori kõrval asuv mõõteandur.

CNC-pingis kasutatakse tihti mõõtesensorit, millega saab mõõta detaili paksust, pikkust ja laiust. Paksuse mõõtmise käigus langetatakse Z-telge, kuni mõõteandur puudutab töödeldava detaili pinda. Seejärel telg peatub, arvuti teostab mõõtmise, mõõtmistulemus automaatselt salvestatakse ja programmi kirjutatakse uus detailipaksuse väärtus. Mõõteandurit kasutatakse nt siis, kui on vaja freesida soon täpselt Z-telje suunas detaili keskele. Samuti on võimalus anduri rattakesega puudutada detaili külgpindu ja saada tegelikud laiuse ja pikkuse väärtused. Põhimõtteliselt on võimalik nelja puudutusega määrata detaili täpne asukoht laual, isegi kui see ei paikne korrektselt vastu nullpunkte. Programm arvutab sellisel juhul uued koordinaadid mõõtmistulemuste põhjal.

7.2.6 CNC-uksetöötluskeskuste spetsiifilised lõikeinstrumendid

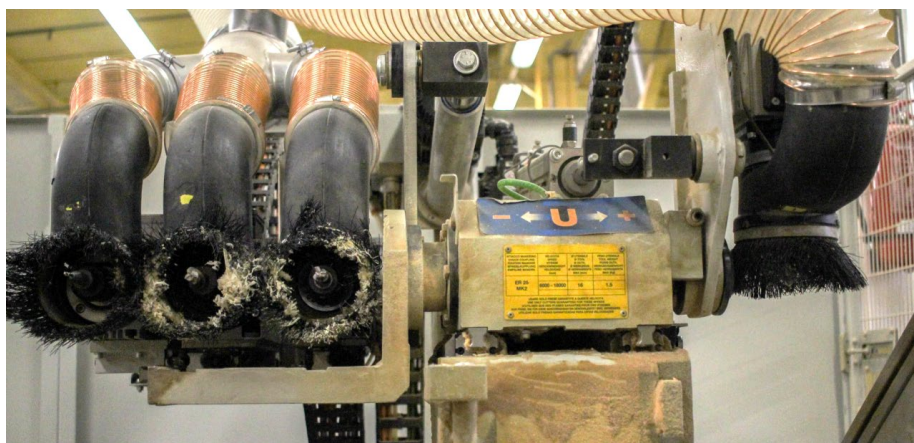
Nagu juba eespool mainitud, on uksetöötluskeskustes kasutatavad kombiprofiilterad massiivsemad kui mööblitööstuses. Lisaks peab olema lukusüvise freesimiseks kasutuses vähemalt üks pikk, umbes 200 mm, frees tööosaga 150 mm ja läbimõõduga vähemalt 16 mm.



Joonis 7.45 Sõrmfreeside näidised: vasakul kõvasulamist pos/neg nurgaga sõrmfrees spoonitud toodetele ja vahetatavate kõvasulamplaatidega sõrmfreesid.

Lengitöötlus

Ükselengi detailide (hinge- ja lukupool ning ülappu) töötlemiseks kasutatakse tavaliselt selleks otstarbeks mõeldud lihtsamaid CNC-pinke, kus puudub tööriistamagasin ja mille igas spindlis on oma lõikeinstrument, mida vajaduse korral vahetatakse käsitsi.



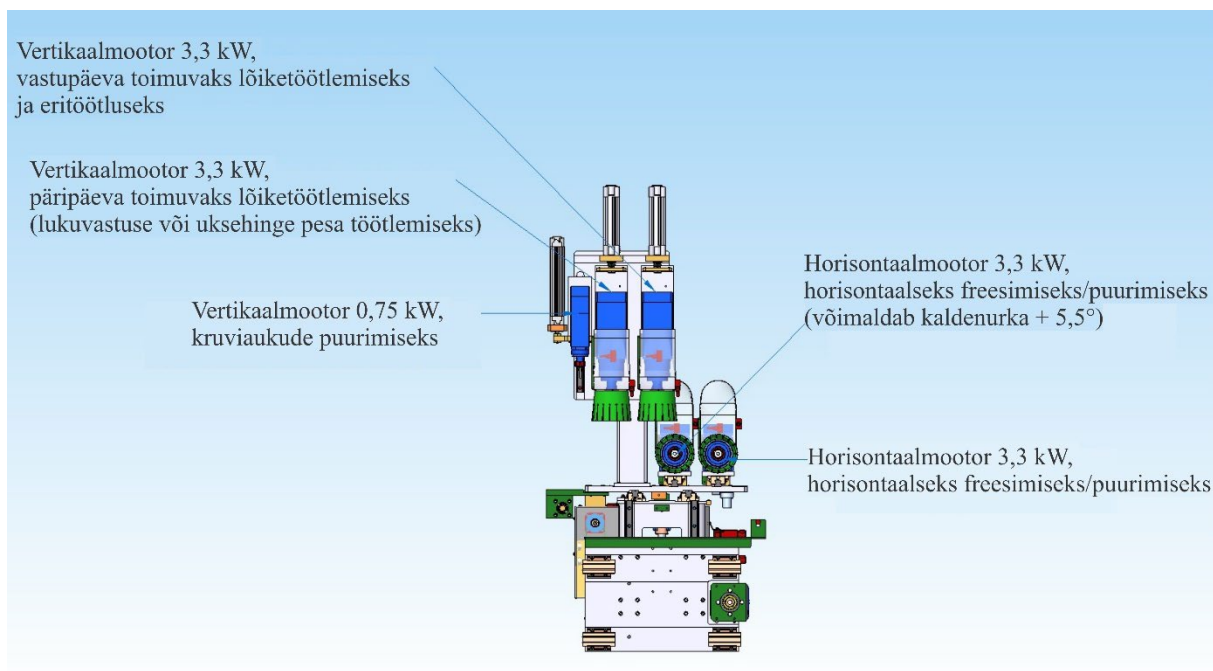
Joonis 7.46 Kahe suporti ja nelja mootoriga CNC-pink lengide töötlemiseks.

Üks suport on 90° pööratav, et teostada töötlust nii pealt kui küljelt. Vältimaks killendeid näiteks hingepesade freesimisel, on üks spindlitest reeglina vastupäeva pöörlemisega.



Joonis 7.47 Ukselengide fikseerimiseks kasutatakse suruõhuklambreid.

Teatud tootmismahust alates on lengitöötluksiks õigustatud läbisöödetavate CNC-puurfreesimisautomaatide kasutus, kuhu on integreeritud täppismõõtu lõikamine ja detaili samaaegne töötlemine erinevates suurtides olevate spindlitega.



Joonis 7.48 CNC-pingi suurti konfiguratsioon lenglade läbisöötmiseks (teine suurti on samasugune, aga peegelpildis).

7.2.7 CNC-töötlemiskeskuste laadimissüsteemid

Tänapäevaste avalike ruumide sisustamisel ei ole haruldased ka 1300×2400 mm teatud erinevatele vastavad ukse, nt tule- ja helikindlad ühelehelised uksekomplektid, kus ukselehe mass võib ulatuda kuni 100 kg. Sellise massiga detailide sisse- ja väljalahutamiseks tuleb kasutada laadimisseadmeid, näiteks manuaal- või automaatrežiimis töötavaid vaakumtõstukeid.



Joonis 7.49 Manuaalne teleskoopmastiga vaakumtõstuk.



Joonis 7.50 Laadimisrobot.

Loomulikult peab ka kõikide järgnevate tehnoloogiliste protsesside – lihvimise, viimistluse, komplekteerimise, koostamise ja pakkimise – juures olema võimalik sellise mõõtmete ja massiga detailide peale- ning mahalaadimine ja nende 180° pööramine.



Joonis 7.51 Vaakumkäppadega 180° pöördeseade.

7.3 CNC-töötlemiskeskused akende tootmisel

7.3.1 Aknatööstuses kasutatavate CNC-keskuste kered

Kuigi ka akende tootmisel on veel laialdaselt kasutuses konsoolpingid, on enamik seadme-kasutajaid üle läinud portaalpinkidele. Põhjused on samad, mis uste CNC-töötlemiskeskuste puhul – koormuste ühtlasem jaotus, vibratsioonisummutavus ja parem töötlemistäpsus. Akna-tootmises on kasutuses kolme tüüpi portaalinke:

- a) liikuva laua ja paigalseisva portaaliga;
- b) paigalseisva laua ja liikuva portaaliga;
- c) liikuva laua ja liikuva portaaliga.

7.3.2 Töödeldavate detailide kinnitamine

Akna tootmise teeb keeruliseks töödeldavate detailide gabariitide suur varieeruvus, nt pikkus 130–3500 mm (käsilaadimisel kuni 6000 mm), laius 40–260 mm ja kõrgus 15–150 mm.

Klassikalise keel- ja harktape valmistamine (joonis 7.52) nõuab suure läbimõõduga lõikeinstru-mentide kasutamist (kuni 340 mm) ja kombitera võlli kõrgus võib ulatuda kuni 290 mm; see eeldab veelgi võimsamaid mootoreid (kuni 30 kW), mis oleksid võimelised kandma kuni 12 kg kogukaaluga tööriistu.



Joonis 7.52 Klassikalise tappühenduse töötlemine.

Tänapäeval on paljud tootjad loobunud klassikalise tapi kasutamisest ja kasutavad teistsuguseid nurkseotisi, mis ei vaja nii suure läbimõõdu ja massiga lõikeinstrumente. Kasutatakse tüübelühendusi, tüübel + polt ühendusi jne. Enim probleeme tekib siiski lühikeste ja väikese ristlõikega detailide töötlemisel, nagu klaase jagavad või pealeliimitavad prosspulgad. Detailide kinnitamiseks kasutatakse eranditult suruõhuklambreid (käppasid) ja korraga peavad detaili kinni hoidma vähemalt kaks klambrit (joonis 7.53).

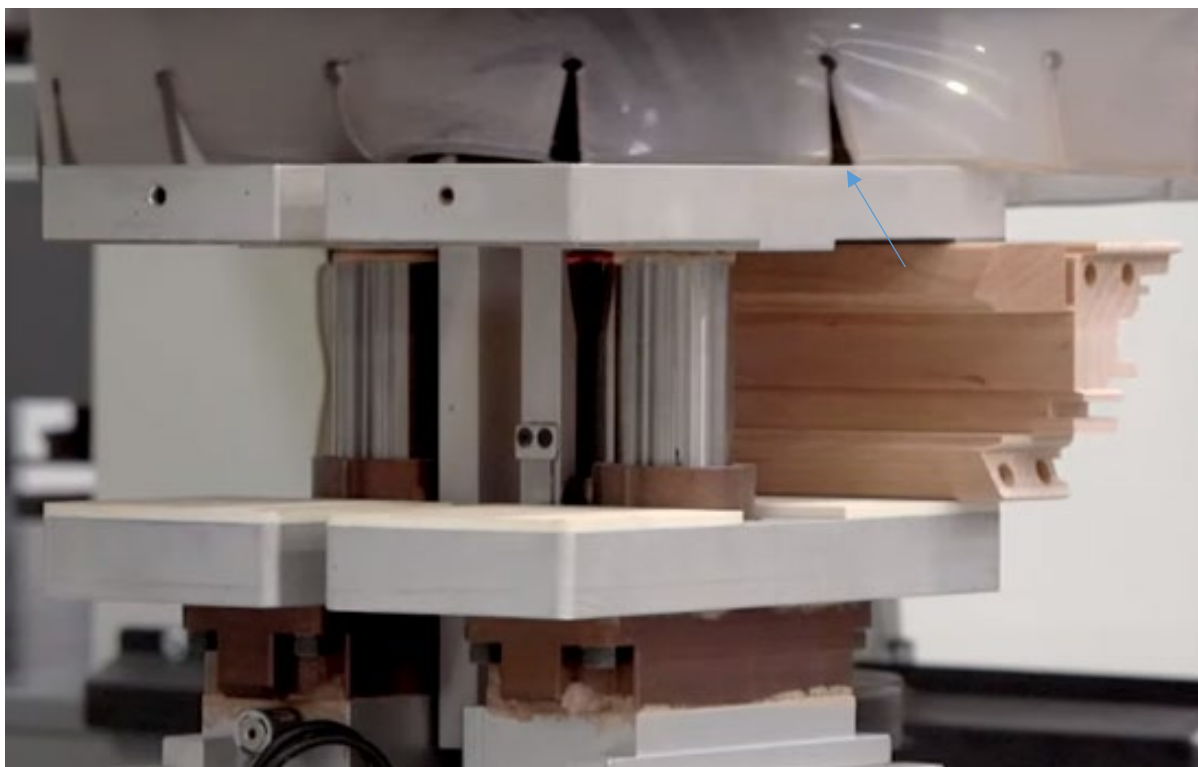


Joonis 7.53 Lühikese detaili fikseerimine kahe klambriga.

Puitakende tootmistehnoloogiaprotsess algab toorikute pikkusesse lõikamisega etteantud spetsifikatsiooni alusel, jättes CNC-keskusele pikkustöötlusvaru vastavalt tehnoloogiale või umbes +10 mm.

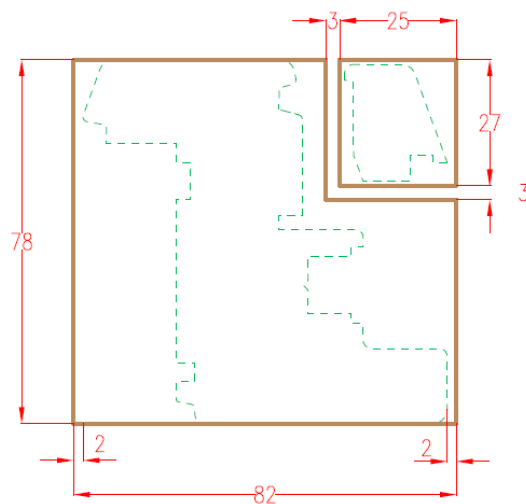
Kuna tootmise logistika on ettevõtetes erinev (triipkoodid, markeerimislipikud jne), siis seda siinkohal ei käsitleta. Erinevus on lisaks sari- ja üksiktootmises, kus enamasti toodetakse leng ja aknatiib koos; masstootmises on kasulik toota aga partiidena, nt kõigepealt kõik lengid ja siis tiivad.

Sobiva keskuse valikul on oluline see, kus ja millal valmistatakse klaasiliistud – kas eraldi toormest või eemaldatakse klaasiliistu toorik nelikanthöövelpingis samal ajal toormaterjali (aknakandi) eeltöötlemisega ja hiljem profileeritakse, või hoopiski valmistatakse see keskusel samal ajal detailide töötlemisega (joonis 7.54). Teatud klaasiliiste on võimalik lõpuni profileerida ka aknakandi eeltöötamise käigus.



Joonis 7.54 Keskuses valmistatud klaasiliist.

Kuna akende puhul töödeldakse detaile ainult otstest (nurkseotised, kontraprofiilid) ja külgedelt (pikiprofileerimine) ja pealt (Z-telje suunas) ning tehakse ainult pesade puurimis-freesimis-operatsioone, siis peab detail olema keskusesse mineku hetkel täpse kõrgusega (paksusega). Võimalike kujumuutuste vältimiseks kuivamiskahanemise käigus (eriti ilma niiskuskontrollita tootmisruumide puhul), soovitatakse täpsesse kõrgusesse töötlus teha maksimaalselt 24 h enne keskusesse minekut. Laiuses ei ole kujumuutus nii oluline, kuna töötlusvaru külgedelt on reeglina jäetud 2 + 2 mm (joonis 7.55).



Joonis 7.55 Saksa-tüüpi puitakna tiivaprofiili toorik enne töötluskeskusesse minekut (töötlusvaru külgedelt 2 + 2 mm, klaasiliistu toorik 25 × 27 mm on eemaldatud eeltöötlemise käigus nelikanthöövelpingis).

Üldjuhul töödeldakse toorikuid viiest küljest, kuid mõnel aknakeskusel on võimalik detailide töötlus vajadusel kõigist kuuest küljest.

Nelikanthöövelpingi olemasolu puidust avatäidete tootmisel on vägagi oluline, sest kõiki vajaminevaid profile akende, rõdu- ja terrassiuste tootmisel ei ole võimalik keskuses teha.

Kuna kombiterade mõõdud ja mass on suured, kasutatakse aknakeskustes tavaliste tööriistakarussellide asemel kettkarusselle, lisaks on vajaminevate lõikeinstrumentide arv olenevalt toodetava akna tüübist tunduvalt suurem kui plokkuste puhul. Näiteks sissepoole avanevate nn saksa-tüüpi puitavatäidete korral kasutatakse peamootoris umbes 50 instrumenti.



Joonis 7.56 Kaks 22-kohalist kettkaruselli, üks kummalegi 19 kW peamootorile.

Kuna kõik instrumendid korraga kettkarussellile ei mahu, tuleb kasutada eraldi asetsevat vaheladu (joonis 7.57). Programmi käivitamisel kontrollib arvuti, kas kõik vajalikud tööriistad on kettkarussellil. Vajaduse korral paigutab manipulaator tööriistad ringi, viies parajasti mitte-vajaliku tööriista vahelattu ja vajaliku kettkarussellile. Kui kõik vajalikud tööriistad on omal kohal, käivitab arvuti programmi.

Tööriistad on kiibistatud, mis välistab vale tööriista kasutamise vales pesas. Kui on kasutusel kaks peaspindlit, siis ühes neist saab tööriista vahetada, samal ajal kui teine töötab. Kahe peaspindli olemasolu võimaldab keerulisemaid pikiprofiile teha mõlema spindliga korraga, kusjuures üks teeb ühe osa profiilist ja teine teise osa profiilist. Selline lahendus aitab töötlemisaega oluliselt kokku hoida.



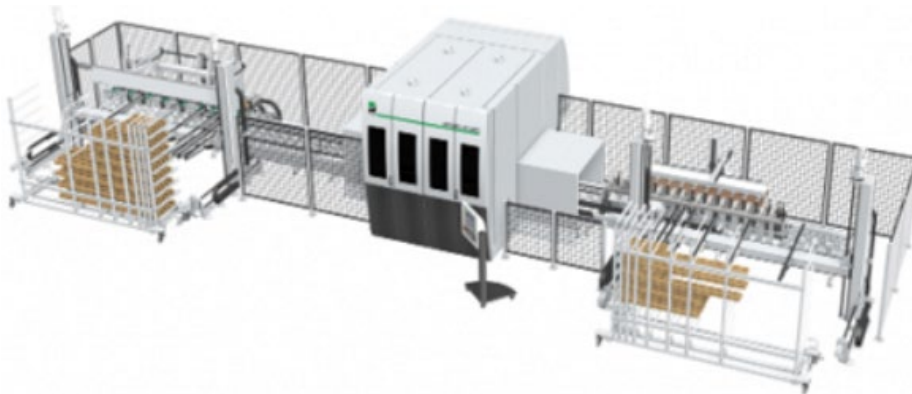
Joonis 7.57 Vaheladu 50 instrumendile.

7.3.3 Akende töötlemine

Töötlemine algab pikkusesse lõigatud toorikute asetamisega etteandekonveierile, manuaalselt operaatori poolt (joonis 7.58) või laadimisseadme abil (joonis 7.59).



Joonis 7.58 Aknatöötluskeskus detailide käsitsi sisse- ja väljalaadimisega.



Joonis 7.59 Aknatöötluskeskus automaatse sisse- ja väljalaadimisega.

Levinud tööoperatsioonide järjekord puitakende valmistamisel ilma klaasiliistu eraldamiseta on järgmine.

1. Etteandekonveier on varustatud tuvastussüsteemiga, mis mõõdab toorikute pikkust, laiust ja paksust, vältimaks juhuslikke vigu toorikute sisselaadimisel. Manipulaatorid toimetavad toorikud töötsooni, kus need fikseeritakse ühelt küljelt suruõhuklambritega (käppadega). Hingede, käepidemeava ja muu furnituuri jaoks pesade töötlemine toimub spetsiaalsete puurpeadega.

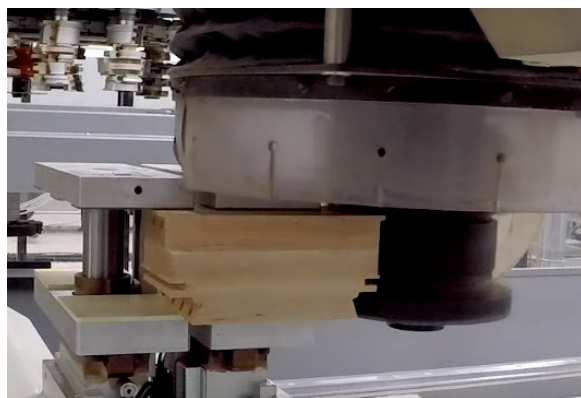


Joonis 7.60 Etteandekonveier ja manipulaatorid, mis toimetavad detaili töötlemistsooni.

2. Tüübliavade puurimine otpindadesse ja kontraprofiili freesimine või keel-harktapi freesimine sõltuvalt nurkseotisest.

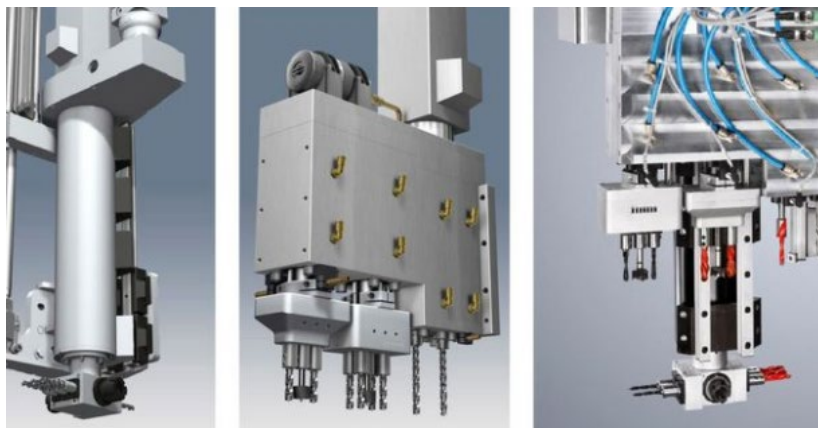


Joonis 7.61 Tüübliavade puurimine otpindadesse.



Joonis 7.62 Kontraprofiili freesimine tooriku otstesse.

3. Hingede, käepidemeava ja muu furnituuri jaoks pesade töötlemine spetsiaalsete puurpeadega.



Joonis 7.63 Erinevad puurikastid furnituuri pesade töötlemiseks.

4. Pikiprofileerimine klambritest vabalt küljelt.



Joonis 7.64 Pikiprofileerimine.

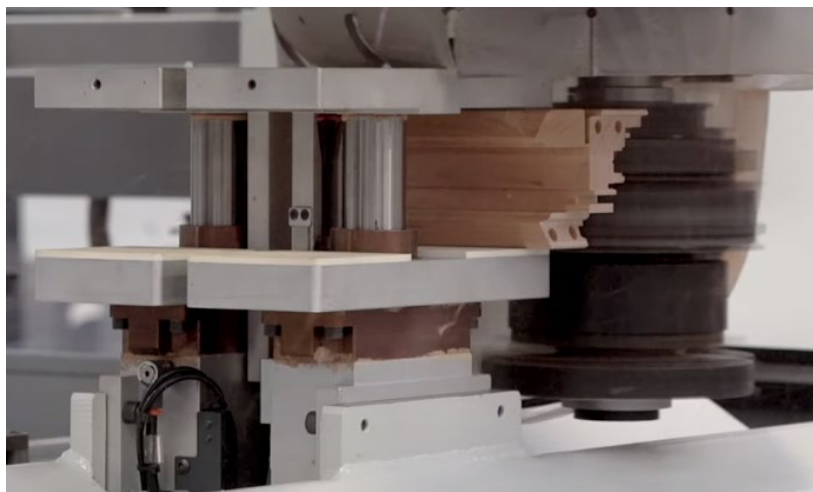
5. Tooriku ringitõstmine manipulaatoritega ühelt klambri küljelt teisele.



Joonis 7.65 Tooriku ringitõstmine manipulaatoriga.

Olemas on ka lahendusi, kus toorikut pikiprofileerimiste vahepeal manipulaatorite abil ringi ei paigutata. Sellisel seadmel on kaks suruõhuklambritega varustatud liikuvat kelku. Pärast ühe külje pikiprofileerimist sõidab teine kelk töötsooni ja haarab profileeritud poole pealt tooriku ning alles pärast seda vabastatakse seni toorikut hoidnud kulguklambrid ja see liigub töötsoonist eemale ning teise poole profileerimine võib alata. Selline lahendus tagab suurema täpsuse, kuna toorikut füüsiliselt ümber ei paigutata.

6. Teise külje pikiprofileerimine.



Joonis 7.66 Teise külje pikiprofileerimine.

7. Detaili väljatõstmine manipulaatoritega väljalaadimiskonveierile.



Joonis 7.67 Detaili väljalaadimine konveierile.



Joonis 7.68 Etteande- ja väljalaadimiskonveieri paiknemine (teineteise all, ergonoomiliselt samas töötsoonis).

7.4 KORDAMISKÜSIMUSED

1. Mis erinevus on 3+1 ja nelja teljega CNC-töötlemiskeskusel?
2. Mis erinevus on konsoolpingil ja portaalpingil?
3. Nimetage kaks erinevat töödeldava detaili kinnitusviisi, võrrelge neid omavahel.
4. Loetlege viis võimalust CNC-töötlemiskeskuse konsoolide ja vaakumpatjade positsioneerimiseks.
5. Milleks ja millal on vaja kasutada CNC-töötlemiskeskuste ristagregaati?
6. Mis vahe on pärietteandel ja vastuetteandel?
7. Kuidas ja missuguseid freese kasutades tuleks teha sisselõige servapealistusega kaetud detaili serva?
8. Mis eeliseid on vertikaalsel CNC-töötlemiskeskusel võrreldes viieteljelise CNC-töötlemiskeskusega?

ALLIKAD

Kirjandus

Nutsch, W., *Holztechnik Fachkunde*, 24. Auflage, 2017, Europa Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten

Riives, J. *Uuenduslik Tootmine*, 2011, TTÜ Kirjastus

Smardzewski, J., *Furniture design*, 2015, Springer, Swizerland

Internetiallikad

HOMAG CNC Woodworking Machinery, Software and Service <https://www.homag.com/en/>

Mööblitööstuse seadmed: <https://www.projecta.ee/masinad-ja-seadmed/mooblitoostuse-seadmed/> (21.11.2021)

Täispuidu töötlemisseadmed <https://www.projecta.ee/masinad-ja-seadmed/massiiv-puidu-tootlemisseadmed/> (29.11.2021)

8 PUIDU PINNATÖÖTLUS, VIIMISTLUSMATERJALID JA -TEHNOLOOGIAD

Puidu pinnatöötlus, viimistlusmaterjalid ja -protsessid aitavad luua kvaliteetset pinnakatet ja kaitsta puidupinda. Tehniliselt ja esteetiliselt täiusliku ning kvaliteetse ja vastupidava pinna katte saamise eelduseks on viimistlemisele eelnev hoolikas puitpinna ettevalmistus.

8.1 Puitpinna ettevalmistus

8.1.1 Puitmaterjali pinna iseloomustus

Viimistlusmaterjali pealekandmisel on peamiseks probleemiks puidu pinna ebaühtlus. Puidurakkude läbilõikamisel jäävad viimistletavale pinnale ebaühtlaste mõõtmetega rakuõõned (trahheidid, libriformkiud, säsikiirte parenhüümrakud jne). Neid paratamatult esinevaid pinna süvendeid vaadeldakse viimistlusprotsessis kui poore, mis suurendavad lakikulu, ja seetõttu kasutatakse pinnalaki või pinnavärvi aluskihina pooritäitesegusid (krunte).

Puidu ehituse anisotroopsuse tõttu on viimistlusmaterjali difusioon puitu väiksem tangentsiaal- või radiaalsuunaliselt ja tunduvalt suurem puidu ristlõikepinnalt. Kõige suuremad värvitooni erinevused on treitoodete tangentsiaal- ja ristlõikepinnal. Probleemiks on ka puitmaterjalis esinevad värvusmuutused ja -erinevused.

Puidu viimistlemist mõjutab ligniini ja ekstraktiivainete sisalduse erinevus puiduliigiti ja puutüve ristlõikes – lülipuiduliste puiduliikide (mänd, tamm, saar) lülipuidus sisalduvad ekstraktiivained. Läbipaistva viimistluskihi korral põhjustab UV-kiirgus okaspuidu tumenemist (okaspuidus sisalduva ligniini fotodegradatsiooni tõttu).

Viimistletavust halvendab ka okaspuidu vertikaal- ja horisontaalvaigukäikudes sisalduv vaik. Troopiliste puiduliikide puhul on probleemiks kummikogumid soontes jne, samuti nn palisandriefekt, mille korral puittoote pinnale difundeeruvad ekstraktiivained kiirendavad (inhibeerivad) mõnede lakitüüpide ja isegi ka liimi kõvenemist. Palisander on siinkohal võetud sisemiseks standardiks.

Eksootiliste puiduliikide pinna lihvimisel tuleb arvestada puidutolmu mürgisuse ja allergilisi reaktsioone põhjustava aspektiga.

Puidu viimistlemist mõjutavad puidus esinevad puidurikked – oksad, lõhed, puidu ehituse rikked, seenkahjustused jne.

Oksakohtade tume värvus ja okaspuidus olevate okste puhul ka vaigueritumine põhjustavad läbikumamist ja kollasust heledat värvi viimistluskihi alt. Tammepuidus täidetakse poore ja oksakohtades esinevaid lõhesid puidutooni pahtliga või musta värvi poliüuretaanpastaga. Pahleldatud kohad puidus imavad rohkem sisse viimistlusmaterjali ja matistavad pinda.

Mõned puidurikked loetakse aga hoopis puitu vääristavaks – nt sasisalmilisus (*curly grain*), maarjakase puidu tekstuur või ka oksad, mis on kindlaks tunnuseks, et tegemist on naturaalpuiduga.

Puidu niiskus võib olla suur või ebaühtlane ja tooteid tuleb enne viimistlemist konditsioneerida.

Ühtlase puidutekstuuri saamiseks profiiltoodete puhul (liistud, ukse- ja aknalengid) järgatakse puidust oksakohad välja ja ühendatakse detailid sõrmjätku abil pikkadeks, kuni 6 m profiilideks. Sõrmjätkukohtades tekkivad ebatasasused ja liimühendusjoon võivad jääda viimistluskihist läbi kumama.

Veepõhised puiduimmutusained ja -peitsid põhjustavad lihvitud või hõõveldatud puitprofiili pinnakihi puidukiudude pundumist ja pinnast „ülestõusmist“, mis suurendab pinnakaredust ja annab viimistlemisel ebaühtlase kvaliteediga viimistluskihi. Viimistlusmaterjali ja aluspinna adhesiooniparameetrid võivad mitte sobida. Tabelis 8.1 on välja toodud puitmaterjali omaduste ja puidurikete mõju viimistlusele.

Tabel 8.1 Puitmaterjali pinnaomaduste ja puidurikete mõju viimistlusele

Puidurikked ja puidu omadused	Mõju viimistluse tulemusele
Puiduliik	Erinevatel okas- ja lehtpuidu liikidel on kasutatavale viimistlusmaterjalide süsteemile suur mõju
Tihedus	Kõvemad ja tihedamad puiduliigid imavad vett aeglasemalt kui väiksema tiheduse ja kõvadusega puiduliigid
Hõõvelpuit	Hea koostoime tavapäraste värvisüsteemidega
Saepuit	Hea koostoime lahusti- ja veepõhiste peitsidega
Servatud puit	Viimistletud puitprofiili teravad servad põhjustavad pingeid värvikiles, mis võib puruneda või puidupinnalt lahti tulla. Kanditud või ümardatud servaga puitmaterjal võimaldab värvikilel osutada vastupanu puidu pundumisest või kuivamisest põhjustatud mõõtmete muutustele tänu minimaalsetele sisepingetele
Tangentsiaalsaematerjal vs. radiaalsaematerjal	Okaspuidust radiaalsaematerjali mõõtmete stabiilsus on parem kui tangentsiaalsaematerjalil (pundumine ja kuivamiskahanemine on tangentsiaalsuunas kaks korda suurem kui radiaalsuunas), seetõttu

	püsib viimistluskiht paremini ja kauem. Lehtpuidu liikidel on radiaal- ja tangentsiaalsaetud puidupinnal viimistluskihi erinevused minimaalsed
Ilmastiku mõju vananenud puidupinnale võrreldes värske puidupinnaga	Puidu välispinnal toimub ilmastiku mõjul puidukiudude fotodegradatsioon ja vananemine. Puidupinna välikihis ligniin laguneb ja eraldub ning tselluloosikiud pleegivad UV-kiirguse mõjul halliks. Vananenud puidupinnal on nõrk adhesioon pinnakatematerjaliga. Halli vananenud puidupinna adhesiooni omaduste parandamiseks tuleb pinda lihvida või hõõveldada. Vananenud puidupinda saab peitsidega toonida, kuid ülelihvitud või hõõveldatud pinna peitsimisel on värvitoonid erksamad ja seejärel peale kantava pinnakatematerjali adhesioon puiduga tugevam
Ekstraktiivained	Puidus sisalduvad ekstraktiivained võivad põhjustada lõppviimistluskihi (<i>topcoat</i>) värvitooni muutusi või õhutühimike teket. Puidupinna töötlemine lahustiga võimaldab eraldada ekstraktiivaineid välispinnalt. Seejärel aluspind krunditakse. Aluskrundi kuivamine ja vahelihvi järel saab hinnata töötluse efektiivsust ja teha parandusi enne pinnaviimistluskihi peale kandmist
Vastupidavus välioludes, lülipuit võrreldes maltspuiduga	Okaspuiduliikide (mänd, lehis jt) lülipuit sisaldab rohkem ekstraktiivaineid ja on suurema vastupidavusega kui maltspuit. Lehtpuiduliikidest on tamme lülipuit väga vastupidav. Lülipuidust radiaalsaetud laudad on välioludele vastupidavamad ja nende viimistlemine välioludesse sobivate värvidega annab vastupidavama pinnakatte kui maltspuidulaudade korral. Suurte niiskusdeformatsioonide (kaardumused, kõmmeldumine) tõttu võib maltspuidust tangentsiaallaudade viimistluskate praguneda ja välioludes olla vähem vastupidav kui pinnakate lülipuidust radiaallaudadel, mis õhuniiskuse muutumisel deformeeruvad vähe
Kevadpuit vs sügispuut	Maltspuidust lõigatud tangentsiaallaudade puhul on probleemiks okaspuidu aastarõngastes oleva kevadpuidu ja sügispuidu kahekuni kolmekordne tiheduse erinevus, mistõttu võib õhuniiskuse suurenemisel ja pinna niiskumisel toimuda värvikihi pragunemine ning kevad- ja sügispuidu piirpinnal puidutekstuuri servadel pinnakareduse suurenemine ning pikema aja jooksul delaminatsioon ja puidukihi maha koorumine. Väliolude pikaajalise mõju korral võib viimistluskiht praguneda, mistõttu võib tihedam sügispuut hakata lõhenema Pinnakatted püsivad kauem puidupinnal, kus okaspuidu aastarõngas oleva sügispuidu osakaal on väiksem ehk nähtav kitsa ribana
Peentekstuuriga vs. jämetekstuuriga puit	Väiksema pinnakaredusega ja siledama puidutekstuuriga pindadel on värvikihi adhesioon ja vastupidavus parem kui suure pinnakaredusega reljeefsema tekstuuriga puidupindadel. Viimati nimetatud pindade viimistlemiseks on vaja parema katvusega ja viskoosemat värvi (nt nn rootsi punane värv, Allbäck linaõlivärv)
Kummikäigud	Mõningate lehtpuuliikide (kirss, ploom) puidus on kummikäigud, millest välja immitsev kummi vähendab puidupeitsi imendumist,

	nõrgestab pinnavärvi naket ja aeglustab viimistluskihi kuivamist. Seetõttu tuleks puidupinda enne värvimist keemiliselt töödelda ja kruntida
Oksakohad	Oksapuidus olevad oksakohad lõhenevad, neist võib immitseda vaiku, mis põhjustab pinnavärvi kolletumist. Oksakohti saab töödelda oksalakiga või muu spetsiaalse vahendiga. Oksakohtade pahteldamine ja lihvimine ning aluskrunt enne lõppviimistlust tagab tugeva nakke ja vähendab viimistluskihi pragunemise ohtu
Puukoor	Puukooretükid tuleb puidupinnalt eemaldada enne viimistlemist, kuna need põhjustavad viimistluskihi pragunemist või koorumist
Putukakahjustused	Nähtavad putukakahjustused, lennuavad, käigud ja näripuru tuleb täita pahtliga, lihvida ja kruntida enne viimistlemist
Puiduniiskus	Sobilik puiduniiskus viimistlemiseks on 10–15%, suurem veesisaldus on kahjulik viimistluskihi jaoks, sh lahustipõhiste värvide korral, sest neil on väike veeauru läbilaskvus. Soovituslik puiduniiskus viimistlemiseks: välisvoodrilaud 18±2%, põrandalauad nt 7±2%, puitaknad 12±2%
Kuivamiskahanemine ja pundumine	Pinnakatted püsivad paremini mõõtnetelt stabiilsemate puiduliikide korral, nt punane seeder (<i>Thuja plicata</i>), küpress (<i>Taxodium distichum</i>), tiikpuu (<i>Tektona grandis</i>), kus suuremast ekstraktiivainete sisaldusest rakuseinas tingitud pundumine ja kuivamiskahanemine ei põhjusta suuri nihkepingeid puidupinna ja pinnakatte vahel
Kuivatamata puit	Liigniiske puidu viimistlemisel võib viimistluskihti tekkida gaasitühikuid. Viimistluskiht võib pinnalt kooruda

8.1.2 Puitmaterjali pinna puhastus ja lihvimine

Puidupind tuleb puhastada tolmust, pritsmetest, plekkidest (liimi-, värvi-, silikooni-, hallitusjms) ja vaigujääkidest. Tolmukiht puidu pinnal halvendab naket puitu tooniva peitsi- ja viimistlusaine vahel ning kuna suure eripinna tõttu imenduvad vedelikud puidutolmu kiiremini kui puidupinda, suureneb viimistlusaine kulu ning viimistletav pind võib jääda ebatasane ja laiguline. Puidupinna puhastamiseks võib kasutada kuivpuhastust harjaga või puhastamist vee ja niiske lapiga. Puidupinna puhastamiseks raskemini eemaldatavatest plekkidest (silikooni-, liimi- ja hallitusplekid) kasutatakse erinevaid puhastusaineid ning ka lihvimist liivapaberitega. Liimainejääkide eemaldamine on oluline, kuna puidupinnal olevad plekid vähendavad oluliselt viimistluse kvaliteeti. Seega tuleks plekkide teket vältida. Enne peitsimist ja lakkimist tuleb eemaldada liimiplekid. Parafiinijääke saab puidu pinnalt maha pesta nitrolahusti, etüülatsetaadi ja atsetooniga. Kuivanud plekid saab puidupinnalt eemaldada mehaanilise kraapimise või pinna ülelihvimise teel. Liimpuidu puhul on oluline enne viimistlust puhastada pind liimijääkidest.

Oluline on vältida silikooniplekke, kuna määrdunud kohad on puidupinnal vaevu nähtavad, kuid takistavad puidupeitside imendumist puidupinda. Lakiga töötlemisel takistavad plekid adhesiooni puidupinnaga, mistõttu tekivad lakiga mitte märguvatesse kohtadesse lakikihi sisse kraatrikujulised katmata alad. Silikooniplekid tuleb eemaldada mehaanilise kraapimise või liivapaberiga lihvimise teel ja seejärel eemaldada tolmu. Vajadusel tuleb pesta plekid välja orgaaniliste lahustite või silikoonieemaldajaga või söögisoodast pulberabsorbendiga.

Õli- ja rasvapekid eemaldatakse magneesiumoksiidist või kriidist valmistatud pastaga, mis määratakse plekkidele ja lastakse kuni ööpäev seista. Pärast lahusti aurustumist imab pulber lahustunud ained endasse, seejärel harjatakse pulber maha.

Lubja-, kipsi- ja tsemendiplekid saab puidu pinnalt eemaldada lahjendatud äädikhappe või lahjendatud vesinikkloriidhappega. Töödeldud ala tuleb mitu korda pesta puhta veega, et puitu ei jääks happejääke.

Puidupinnal nähtavate oksüdatsiooniplekkide, mis tekivad metallide kokkupuutumisel parkaineid sisaldava puiduga, pleegitamiseks tuleb kasutada vesinikperoksiidi või sidrunhapet. Oluline on veega pesu kohe pärast pleki eemaldamist – see väldib puidu edasist plekimist. Veeplekid saab eemaldada, pestes pinda sooja puhta veega. Veele võib lisada äädik- või sidrunhapet, et eemaldada plekid tanniini sisaldavast puidust (nt tammepuit). Tahked saasteained eemaldatakse puidupinnalt kemikaalide abil või mehaanilise kraapimise teel. Vana värvi saab eemaldada kuumaõhupuhuriga soojendamise ja kaabitsa abil. Pärast igat plekieemaldust tuleb ülejäänud tahked osakesed ja puru puidupinnalt pehmete plastharjastega pintsliga või harjaga eemaldada. Paakunud ja sissesööbinud mustuse eemaldamiseks võib kasutada messingharju.

Terastraatharja harjased kahjustavad puidu pinda ja rauajäägid võivad pinnatöötlemise käigus reageerida peitside või viimistlusainetega, mis toob kaasa värvimuutuse pinnal.

8.1.3 Vaiguplekkide eemaldamine keemiliste ainetega

Okaspuidust puitdetailide viimistlemisel eriti vaiguliste puiduliikide (lehise ja männi) puhul avaldab suur vaigusisaldus negatiivset mõju pinnatöötlemisele. Vaik takistab puidupeitsi ühtlast imendumist, mis muudab puidupinna pärast peitsimist laiguliseks. Läbipaistva lakikihiga töödeldud pinnast võivad kuumutamisel välja pääseda vaigutilgad, mis tekitavad lakikile alla tumedad laigud. Vaiguplekkide eemaldamiseks keemiliste ainetega on kaks peamist moodust: seebistamise teel (lahustamine veeslahustuvate või emulgeerivate ühenditega) või lahustitega lahustamise teel.

Puitpõrandate puhastuseks kasutatakse 2–5%-st sooda, kaaliumkloriidi, majapidamisseebi, vedelseebi või puiduseebi (kookos- ja sojaõli derivaatidel põhinev puhastusaine) lahuseid, millele võib olla lisatud veidi ammoniaaki.

Vaiguplekkide sulgemiseks, et vaik ei hakkaks viimistlusainega reageerima, kasutatakse lahuseid, nt kergestilenduvat bensiini, tärpentiniõli, alkoholi, atsetooni ja etüülatsetaati.

Vaigu eemaldamine toimub juba lihvitud puidupinnalt, niisutades puidupinda ja harjates tugevalt naturaalsest või sünteetilisest harjastest harjaga puidukiudude suunaliselt. Seejärel eemaldatakse puidupinnalt selle harjamisel tekkinud vaht sooja veega. Vaiguplekkide eemaldamisel sooda või kaaliumkloriidilahusega tuleb puidupind neutraliseerida nõrgalt happelise vesilahusega (nt nõrga äädikhappe lahusega).

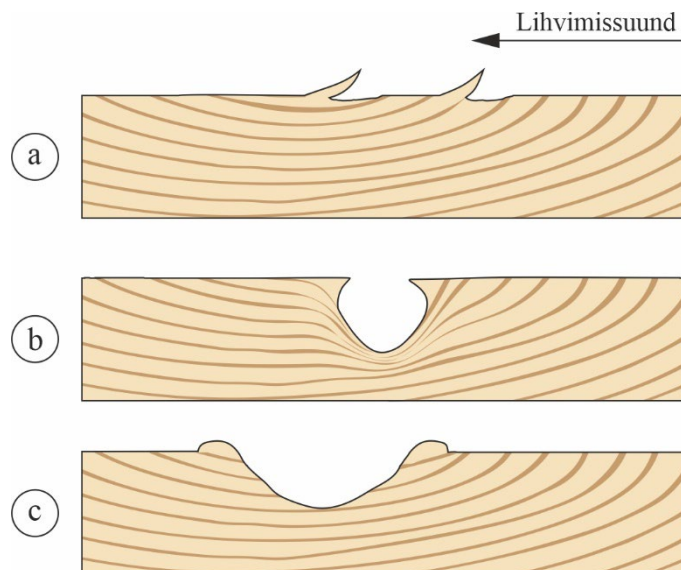
Vaiguplekkide keemilise eemaldamise maksimaalsügavus puidupinnalt on ainult umbes 1 mm. Seetõttu tuleks vaiguplekkide mehaaniliseks eemaldamiseks kasutada käsilihvi. Kaubanduses saada olevad puiduvaigu-eemaldid sulgevad puidu poorid ja lahustavad vaigu. Pärast seebilahuse või lahustiga töötlemist ei ole puidupinna ülepeseimine enamasti vajalik, kuna pinnatöötlemise tulemusena on lahustunud vaigujäägid ühtlaselt jaotunud puidupinnale, ühtlustades puidupeitsi või viimistlusaine puitu imendumist. Okaspuidu oksakohtade kinnikatmiseks kasutatakse spetsiaalseid oksakrunte, mis kaitsevad viimistluskihti oksakoha kolletumise ja värvikihist läbikumamise eest.

8.1.4 Lihvitud puidupinna eeltöötlus enne peitsimist või viimistlust

Puidu peitsimisel vesipeitsiga võivad pinnakihi olevad puidukiud niiskuse mõjul punduda ja üles tõusta (joonis 8.1a), suurendades pinnakaredust. Kuid juba peitsitud pinda, kus kiud on pinnalt üles tõusnud, ei saa enam üle lihvida, sest see muudaks värvitooni ebaühtlaseks. Seega pärast lihvimist on soovitatav niisutada puidupinda sooja vesilahusega (*ca* 50 g/m²); sellega välditakse puidu pinnakareduse suurenemist peitsimisel vesipeitsiga ja hilisemat värvitooni ebaühtlust. Vesilahus sisaldab 5 g majapidamisseepi (taimse õli sisaldus 72–75%) 1 liitri kohta ja 5–10% ammoniaagi vesilahust. Ammoniaaki ei tohi kasutada tanniini sisaldavate puiduliikide korral (nt tammepuit), kuna see võib põhjustada värvimuutusi.

Juba veepõhise pleegitusvahendiga töödeldud puidupinda ei ole vaja enam vesilahusega niisutada, sest eesmärk on juba saavutatud.

Pärast puidupinna töötlemist vesilahusega tuleb lasta puidul kuivada. Pärast pinna kuivatamist tuleb kasutada pinna ülelihvimiseks teravat peeneteralist liivapaberit ja seejärel eemaldada tolm harjamise või suruõhuga.



Joonis 8.1 Kiulise või muljutistega puidupinna ebatasasused.

Joonisel 8.1 a on näha, kuidas puidukiud on niiskuse mõjul pundunud ja pinnalt üles tõusnud. Joonisel 8.1 b on puidupinnal näha muljumisjälgi, mille põhjas kokku pressitud puidukiud punduvad niiskumisel vähem kui muljutise väliservas läbilõigatud puidukiud. Joonisel 8.1 c on näha puidupinda muljutud süvendi servade suuremat pundumist. Puidu pinnakareduse ja ebatasasustega seotud probleemide kõrvaldamiseks on puidupinna eeltötlusmeetod: veega niisutamine, kuivatamine ja ülelihvimine, et vähendada pinnakaredust, tasandada muljutised ja tagada viimistlemiseks kvaliteetne puidupind.

Kui puidupinna veega niisutamine ja ülelihvimine ei vähenda pinnakaredust ega kõrvalda nähtavaid muljumisjälgi, siis tuleb puidupinda pahteldada ja lihvida.

8.1.5 Puidupinna pahteldamine ja kruntimine

Puidupinna pahteldamiseks on eri puiduliikide jaoks kasutusel erinevat värvi pahtlid, mis toimivad paremini vastavalt heledama (kuusk, mänd, kask) või tumedama tekstuuriga (tamm) puiduliikide puhul. Oluline on, et pahtlil oleks väga hea nake puidupinnaga. Probleemiks on juuspeente kuivamislohede pahteldamine neljast küljest hõõveldatud okaspuulaudades, mis puhul lõigatakse või kraabitakse käsitsi lõhet välisservadest laiemaks, sest pahtli fikseerimiseks

on vaja laiendada puidupinda, kuna lõhesse pressitud pahtel võib puiduniiskuse muutudes praguneda ja sealt välja kukkuda. Tammeliimpuidust lauaplaatide puhul kasutatakse oksakohades olevate aukude täitmiseks madala viskoossusega musta värvi PUR-täiteaine süstimist peene süstlanõela abil. See meetod on siiski vähetootlik ja sobib väikesaritootmiseks.

8.1.6 Puidupinna lihvimine

Puidupinna lihvimist kasutatakse pinnakaredust suurendavate lahtiste puidukiudude eemaldamiseks ja nakke parandamiseks pinnakattematerjali ja puidupinna vahel. Lihvpaberi terasuurus peab ühtima ka lihvitava materjali ja nõutava pinnakvaliteediga (tabel 8.2). Sõltuvalt lihvpaberi terasuurusest võib eristada jäme-, eel-, vahe- ja peenlihvimist (enne lõppviimistlust). Peitsitud ja läbipaistvate pinnakattematerjalidega kaetavate puidupindade puhul toimub lihvimine paralleelselt puidukiudude suunaga. Eriti oluline on see viimases lihvimisetapis ja nii väldime lõppviimistluseks peenlihvitud puidupinnal lihvimisjälgi. Mõningate lõppviimistlevate pindade puhul kasutatakse pinnakareduse ühtlustamiseks ja peenete puidukiudude eemaldamiseks ka ristikiudu lihvimist. Näiteks muutub saetud puidu ristlõikepind siledamaks kõvemate sügispuidu aastarõngaste ülelihvimisel.

Tabel 8.2 Puitpindade lihvimine enne lõppviimistlust ja viimistluskihtide vahel

Lihvpaberi teralisus	Kasutusala	Lihvimise tüüp
P40–P80	Täispuidu eellihvimine, vanade laki- või värvikihtide eemaldus. Puitmaterjali või vineeri paksusesse kalibreerimine (P60 ja P80)	Jämelihv
P60–P120	Hööveltäispuit, liimpuitkilbid, spoonitud pinnad, vineeripind	Eellihv
P120–P220	Täispuit, liimpuitkilbid, spoonitud pinnad (plaatmaterjalid)	Pinnalihv
P280–P600	Krunditud puidupinnad, vahelihv lakikihtide vahel enne lõppviimistlust	Vahelihv/ Peenlihv

Lihvimine toimub alati uue lihvpaberi ja mõõduka pinnasurvega, tagamaks, et puidukiude ei suruta alla ega teki kõrbemisjälgi. Lihvpaber peab olema vaba rauaosakestest, kuna need põhjustavad puidupinnaga kokkupuutes või hilisema viimistlusainega töötlemise järel puidus tumedaid plekke.

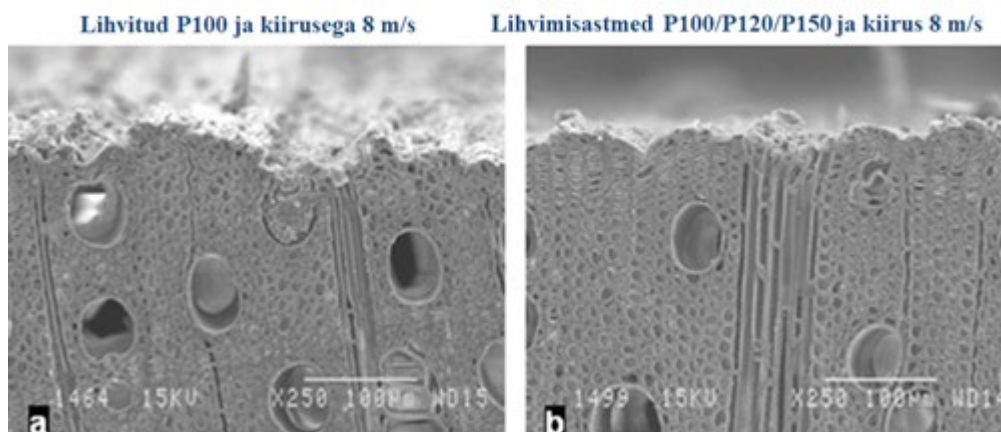
Käsilihvimiseks kasutatakse korgitamme koorest, pärnast või paplist valmistatud lihvklotse (*sander block*), kuid on kasutusel ka vahtplastist ja kummitallaga lihvimisklotsid. Profileeritud puitmaterjali lihvimiseks sobivad spetsiaalsed nn vastuprofiiliga lihvimisklotsid. Puidupinna

lihvimiseks on kasutusel elektriline käsilihtlihvmasin (*portable belt sander*) ja elektriline käsi-vibrolihviija (*portable vibratory sander*), mis on tolmu ärastuseks ühendatavad tolmuimejaga. Pärast igat lihvimist tuleb puidu pinnale ja rakuõõntesse (nt tamm, saar) kogunev lihvimistolm suruõhu või harjamisega (mitte metallharjaga) eemaldada, sest puidutolm toimib sarnaselt pind-aktiivsete ainetega – tolmuosakesed märguvad suure eripinna tõttu hästi peitsi või lakiga, kleepuvad puidupinnale, muudavad pinna ebaühtlaseks ning suurendavad viimistlusaine kulu ja vahelihvi (pärast kruntimist) töömahukust.

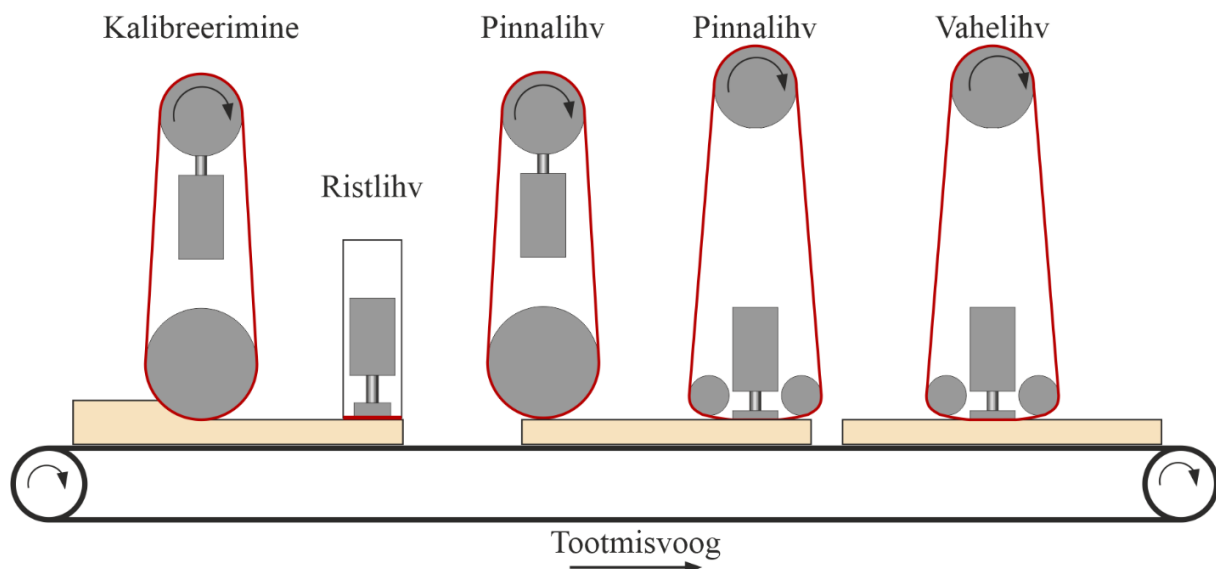
Lihvastmete valik toimub astmekaupa – üle ühe. Liiga suured lihvastmed masinlihvimisel ei eemalda jämeteralise liivapaberi poolt jäetud lihvimisjälgi ja kulutavad lihvlinti. Lihvimisprotsessi töömahukus suureneb oluliselt, kui kasutada puidupinna lihvimisel erineva teralisusega lihv-pabereid järjestikku. Seetõttu on soovitatav valida puidupinna lihvimisastmed üle ühe lihv-paberi teralisuse (tabel 8.3), et oleks võimalik järgmisel lihvimisel eelmise lihvastme lihvimis-jäljed puidupinnalt eemaldada. Kasutades lihvastmeid üle kahe või kolme lihv-paberi teralisus-astme, nt P80 ja seejärel P120, ei pruugi olla võimalik kõiki varasema lihvimise jälgi puidu-pinnalt peenema lihv-paberiga eemaldada. Valitud lihvimisastmed sõltuvad puidu pinnakvali-teedist, mis on saavutatud varasema töötlemisega, ja lõppviimistlusest (nt peitsimine, lakkimine ja värvimine). Alates lihv-paberi teralisusest P180 kuni P320 on tegemist vahelihviga kahe viimistluskihi vahel. Skaneeriva elektronmikroskoobiga saab hinnata puidupinna karedust (joonis 8.2).

Tabel 8.3 Puidupinna soovituslikud lihvastmed (**lihv-paberi teralisus**)

P80	P100	P120	P150	P180	P220	P240	P280	P320
P80	P100	P120	P150	P180	P220	P240	P280	P320
P80	P100	P120	P150	P180	P220	P240	P280	P320



Joonis 8.2 Lihvastme mõju puidupinna karedusele: a – lihvitud ühe lihvastmega (P100), b – lihvitud kolme lihvastmega (P100/P120/P150). Allikas: de Moura, 2006



Joonis 8.3 Puidupinna masinlihvimine ja töötused.

Kalibreerimine

Kalibreerimine (joonis 8.3) on tavaliselt esimene lihvimisetapp pärast hõõveldamist. Lailintlihv on esimene lihvimisoperatsioon, millega eemaldatakse suurem osa lihvimiseks jäetud pinnatöötlusvarust, et saavutada plaatmaterjali nominaalpaksus ja ühtlane pind. Kalibreerimisel eemaldatakse hõõvlitera jäljed, sh kinemaatilised lained. Kalibreerimiseks kasutatav lihvipaberi teralisus hõõvelpinnal on P100, vineeri esimesel lihvil on teralisus P80.

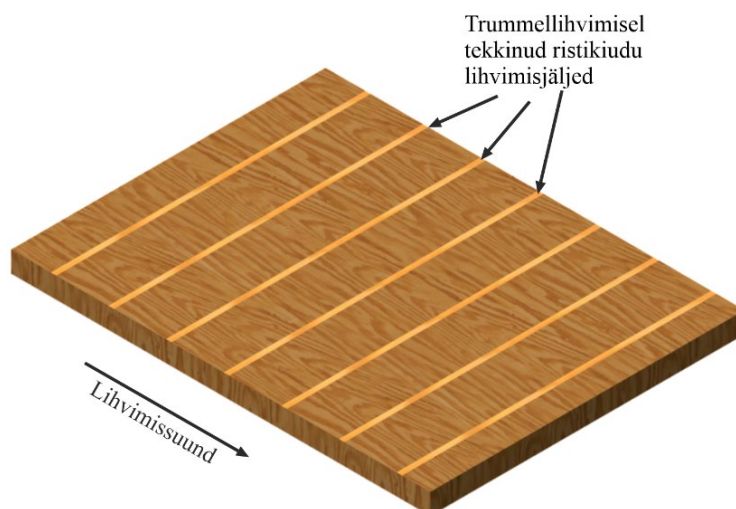
Ristlihvimine

Ristlihvimine (joonis 8.3) toimub kitsaste lihvlintidega ja lihvipaber on minimaalse teralisusega (P100). Ristlihvimist kasutatakse servliimitud või teibitud pinnaspooni lihvimisel, kuna puidukiudude ristlihvimine minimeerib puidukiudude üleskerkimist pinnast pärast viimistlusainega määrgumist. Sageli kasutatakse ristlihvimist aluskrundi lihvimiseks, vahel ka lakikihi vahelihviks enne poleerimist. Ristlihvimisel pikeneb lailihvlindi tööiga.

Pinnalihvimine trumliga

Pinna lihvimine lailihvlindiga toimub tavapäraselt kummipinnaga pöörlevat trumlit (joonis 8.3) või lihvimistalda kasutades. Trumli kasutamine lihvimistalla asemel on tõhusam puidu pinnakihi eemaldamiseks ja vähendab lihvimisjälgede tekke ohtu. Trummellihvimisel on lihvimiskontakt pinnaga väiksem. Kuna trummellihvimisel on lihvitava pinnaga joonkontakt, siis on

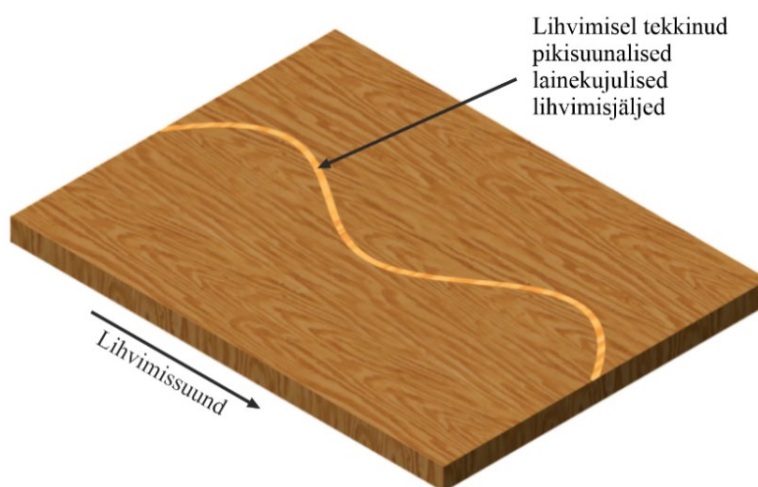
suurem võimalus ristikiudu sügavamate soonekujuliste lihvimisjälgede tekkeks. Pinnalihvimisel on lihvpaberi teralisused vahemikus P120–P180.



Joonis 8.4 Trummellihvimisel tekkinud ristisooned puidu pinnal.

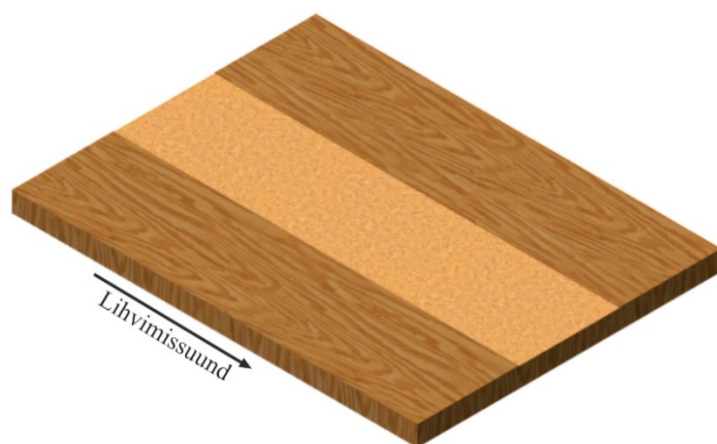
Pinnalihvimine või vahelihvimine lihvimistallaga

Lihvimistalla kasutamisel lihvimiseks on pinnakontakt laiemal alal kui trummellihvimisel ega teki ristikiudu asetsevad soonekujulisi lihvimisjälgi (joonis 8.4). Vahelihvimisel kasutatakse lihvpaberi teralisust P240. Lihvimistalla kasutamisel lailihvlindiga lihvimisel võib lihvlindi külge kinnitunud puidutolm või paakunud puiduosakesed jätta lihvitud pinnale pikisuunalisi lainekujulisi lihvimisjälgi (joonis 8.5). Lihvimistallaga lihvimist ei kasutata paksema puidukihi eemaldamiseks, vaid puidu pinnakareduse vähendamiseks enne viimistlemist.

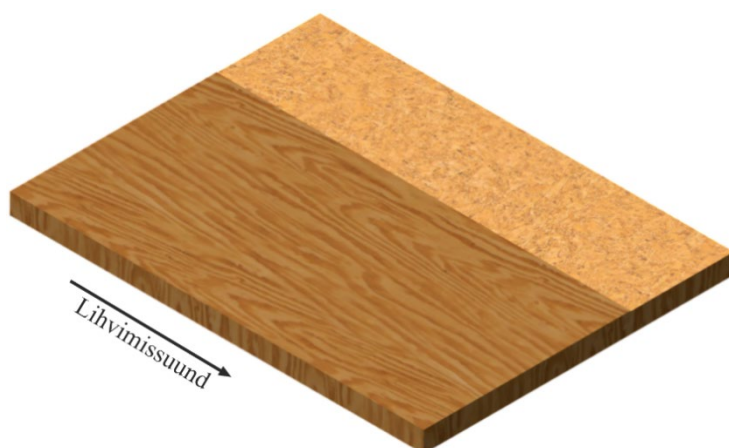


Joonis 8.5 Lihvimisel tekkinud pikisuunaline laineline joon.

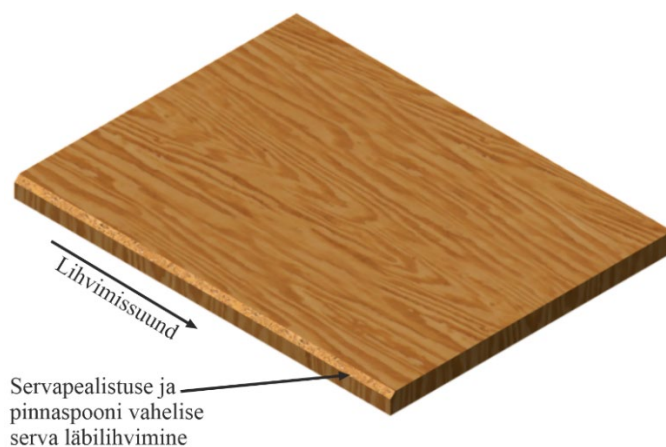
Puitplaatide spoonpindade lihvimisel peab valima õige teralisusega lihvpaberid ja tuleb vältida spoonpinna läbilihvimist. Läbilihvimine võib leida aset spoonpinna keskel (joonis 8.6), ääres (joonis 8.7) või servalt (joonis 8.8).



Joonis 8.6 Spooniga pealistatud puitlaastplaadi läbilihvimine keskel.



Joonis 8.7 Spooniga pealistatud puitlaastplaadi läbilihvimine äärest.



Joonis 8.8 Spooniga pealistatud puitlaastplaadi läbilihvimine servapealistuse ja pinnaspoonide vahelise serva servpinnalt.

8.1.7 Puidupinna pleegitus ja pinna ettevalmistus viimistluseks

Puidu naturaalse värvitooni heledamaks pleegitamist (*bleaching*) kasutatakse puidu värvitooni ühtlustamiseks, värvitooni heledamaks muutmiseks või loomulikest värvimuutustest tulenevate toonierisuste kompenseerimiseks. Puidu pleegitamist kasutatakse liimpuidust paneelide puhul enne lakkimist. Pleegitamine hävitab suuremal või vähemal määral puidu looduslikud värv-aineid, mis sageli ei ole väga UV-kindlad. Värvained võivad olla helestatud (osaline pleegitus) või täielikult pleegitatud (täielik pleegitus). Pärast pleegitamist saab puitu peitsida soovitud toonipeitsiga. Pleegitamiseks kasutatakse vesinikperoksiidi, oblikhapet, ristikhapet, sidrunhapet, soolhapet ja spetsiaalseid pleegituspeitse. Puidupinna pleegitus on keemiline protsess, mil toimub hapniku lisandumisel oksüdatsioon, näiteks pleegitamisel vesinikperoksiidiga, või hapniku puudumisel reduktsioon, näiteks pleegitamisel oksaalhappe, ristikusoola ning sidrun- ja soolhappega. Oksaalhape ja ristikusoolad sobivad hästi tammepuidu pleegitamiseks ja värvitooni heledamaks muutmiseks. Kuumalt peale kantud pleegituslahus tuleb pärast veega maha pesta, et järgnev viimistluskiht ei häviks. Pleegitatud pinnad ei sobi õli ega õlilakkidega töötlemiseks.

8.1.8 Puidupinna adhesioon viimistlusmaterjalidega

Analoogselt liimliitele püsib viimistluskiht puidust alusmaterjali pinnal tänu adhesioonile.

Adhesioon (*adhesion*) on aine eri faaside või kehade kokkupuutel tekkivate molekulaarjõudude mõjumise tulemus nendevahelises piirkonnas. Liimide ja viimistlusmaterjalide ning vastava alusmaterjali piirpinnal toimivad sisuliselt samad seaduspärasused. Siiski tuleb arvestada asjaoludega, mis liime ja viimistlusmaterjale eristavad:

- liimitud tootele rakendatud pinget saab üle kanduda liimliite kaudu, mis toimib ühtse kogumina. Viimistluskihist ehk kilest kanduvad faaside piirpinnale praktiliselt ainult selle vananemisel tekkinud sisepinged;
- vedelate viimistlusmaterjalide pealekandmisel on oluline alusmaterjali pinna **märguvus** (*wettability*), mis võib olla – arvestades kasutatavate puiduliikide suurt arvu – vägagi erinev ja tekitada probleeme. Tüüpiliste puiduliimide märguvus tüüpilistel liimimiseks kasutatavatel puiduliikidel on aga tehnoloogiliselt lahendatud küsimus;

Nõuetekohase adhesiooni saavutamiseks tuleb tagada tihe kontakt viimistlusmaterjali ja aluspinna vahel – tingimus, mis on täidetud, kui valitud viimistlusmaterjali **pindpinevus** (*surface tension*) on väiksem kui aluspinna kriitiline pinnaenergia (tabel 8.4).

Tabel 8.4 Vedelike pindpinevus

Vedelik*	γ_{LV} , mJ/m ²	$\cos \Theta$
DEG	44,6	0,7837
DEG / EG 50 : 50	46,1	0,7007
EG	47,2	0,5600
EG / G 80 : 20	50,0	0,5134
EG / G 60 : 40	52,8	0,5093
EG / G 40 : 60	55,6	0,4160
EG / G 20 : 80	58,3	0,3373
G	61,1	0,2303

*DEG – dietüleenglükool, EG – etüleenglükool; G – glütserool.

- puidu pinnaenergiat saab määrata otsesel (keerukad optilised mõõtmised) ja kaudsel meetodil. Kaudsel meetodil määratakse puidu pinnaenergia erineva pindpinevusega vedelike või nende segude kaudu, mõõtes kontaktnurga, mille iga vedelik moodustab uuritava aluspinnal (nt krunditud saarepuidul);
- üldiselt on viimistlusmaterjalide pinnaenergia liimidega võrreldes väiksem (tabel 8.6).

Youngi võrrand:

$$\cos \Theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}} \cdot R_w, \quad (8.1)$$

kus

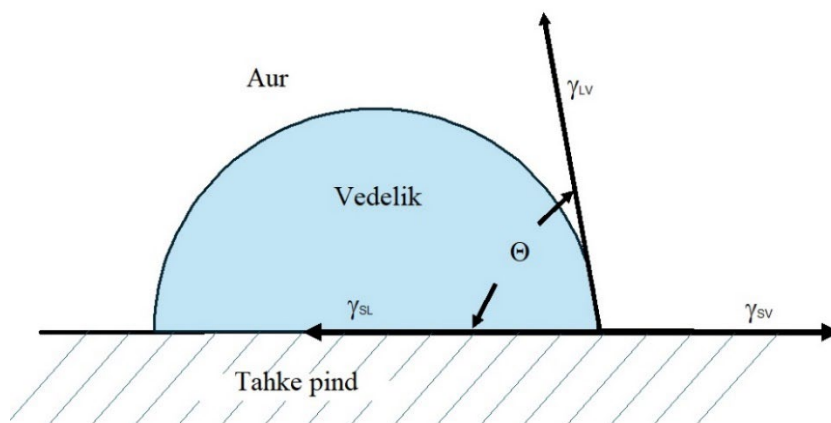
Θ – kontaktnurk,

γ_{SV} – pinnaenergia tahke pinna ja auru vahelisel piirpinnal, mJ/m²,

γ_{SL} – pinnaenergia tahke pinna ja vedeliku vahelisel piirpinnal, mJ/m²,

γ_{LV} – pinnaenergia vedeliku ja auru vahelisel piirpinnal, mJ/m²,

R_w – pinna tõelise pindala ja geomeetrilise pindala suhe (tihti võetakse ka $R_w = 1$).



Joonis 8.9 Kontaktnurga mõõtmine.

Tahke pinna (antud juhul puidupind) ja auru vahelise piirpinna energia γ_{SV} on aga väike võrreldes tahke pinna energiaga vaakumis. Youngi-Dupré võrrand (8.2) elimineerib piirpinna energia γ_{SL} ja adhesioonitöö W_a on määratav viimistlusaine pindpinevuse ja kontaktnurga abil.

$$W_a = \gamma_{LV} (1 + \cos \Theta), \quad (8.2)$$

kus

W_a – adhesioonitöö,

Θ – kontaktnurk,

γ_{LV} – pinnaenergia vedeliku ja auru vahelisel piirpinnal, mJ/m^2 .

Kui $\Theta > 90^\circ$, siis on puidu pinnal hüdrofoobsed omadused ja pind märgub halvemini. Kui $\Theta < 90^\circ$, siis on puidu pinnal hüdrofiilsed omadused ja pind märgub hästi.

Vedeliku pindpinevus ja kontaktnurk, mille iga vedelik moodustab tahkel pinnal, on omavahel võrdelises sõltuvuses, mida saab ekstrapoleerida tingimustele kui $\Theta = 0^\circ$ mistõttu $\cos \Theta = 1$ ja sellega on substraadi pinna täieliku märgamise tingimus täidetud. Zisman võttis kasutusele mõiste substraadi kriitiline pinnaenergia (*critical surface energy*), mille tähiseks on γ_c ja ühikuks on mJ/m^2 või düün/cm. Seejuures γ_c on sellise hüpoteetilise vedeliku pindpinevus, mis märgab tahke pinna täielikult. Seda meetodit kasutatakse laialdaselt tahkete materjalide pinnaenergia iseloomustamiseks. Termodünaamiline pinnaenergia määratakse otsesel meetodil, mis põhineb pööratud gaasikromatograafial (*inverse gas chromatography*), mil määratakse gaaside adsorptsioon uuritava materjali pinnal.

Aluspinna kriitiline pinnaenergia sõltub puiduliigist (tabel 8.5), pinnakaredusest (lihvimisel oluline mõju), mõõtmisel kasutatud vedelike molekuli ehitusest, mõõtmismetoodikast jne.

Tabel 8.5 Puiduliigi ja pinnatöötluste mõju kriitilisele pinnaenergiale

Puiduliik ja pinnatöötlus	Kriitiline pinnaenergia γ_c , dyn/cm	Muutus, korda
Mänd hõõveldatud, lihvitud	45,1 66,1	– 1,46
Kuusk hõõveldatud, lihvitud	44,3 83,2	– 1,88
Kask hõõveldatud, lihvitud	39,0 74,2	– 1,90
Tamm hõõveldatud, lihvitud	14,8 68,9	– 4,66

Tabel 8.6 Mõnede viimistlusmaterjalide ja liimide pinnaenergiad

Viimistlusmaterjalid ja liimid	Kriitiline pinnaenergia γ_c , dyn/cm
Stüreeniga modifitseeritud alküüdlakk	25,1
Nitrolakk	25,8
Karbamiidformaldehüüdlim	70,6
Fenoolformaldehüüdlim	47,7

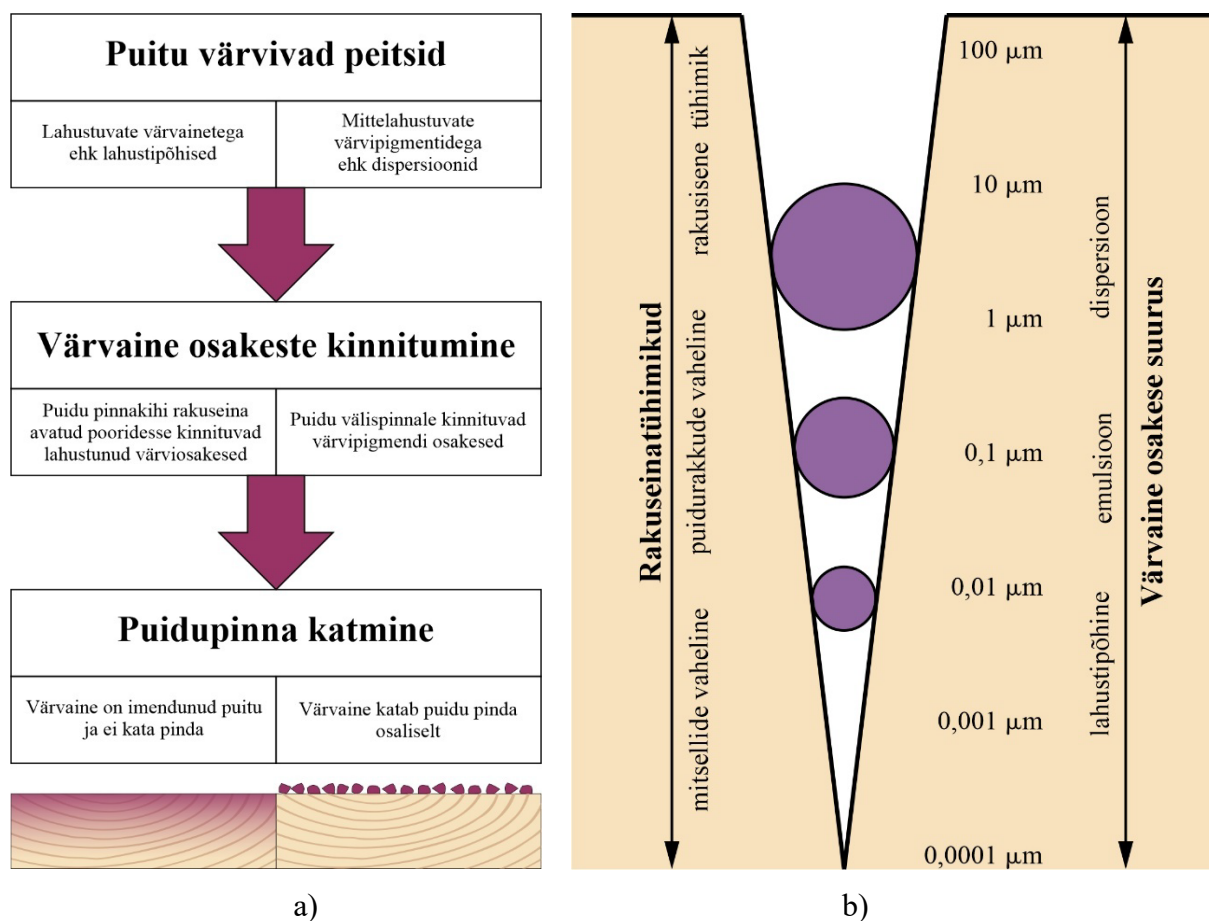
8.2 Peitsid ja puidupinna peitsimine

Peits (*stain*) on lahus, mis puidupinnale kantuna ilmestab selle tekstuuri, muudab ja ühtlustab värvustooni enne viimistlemist. Tehnoloogilised operatsioonid enne pinnakatte pealekandmist on puidupinna lihvimine, pahteldamine ja peitsimine. **Puitu kaitsev peits** (*protective wood stain*) sisaldab kilemoodustajat. **Peitsvärv** (*adjective dye*) on puidutekstuuri tooniv värv. Peitse liigitatakse orgaanilise lahusti järgi: vesi-, piiritus-, lahusti- ja õlipeits. Puidu peitsimisel tulevad nähtavale lihvimisjäljed. Puituvärvivad peitsid võib jaotada kaheks: lahustuvate värvainetega peitsid (lahused) ja mittelahustuvate värvipigmentidega peitsid (dispersioonid).

Joonisel 8.10 on näidatud, kuidas puitu värvivates peitsides mittelahustuvad värvained katavad puidu pinda osaliselt. Peitsi imendudes tekivad puidupinda säravad ja sügavad värvimustrid koos puidu tekstuuriga.

Dispersioonpeitsides olevad 0,05–5 μm suurused värviosakesed on liiga suured, et tungida läbi puidu rakuseinte (joonis 8.10 b).

Lahustipõhistes peitsides on lahustunud (joonis 8.10 b) ülipeened värviosakesed, mistõttu suudavad need koos lahustiga (vesi, alkohol, lahusti) tungida puidu pinnakihi olevatesse rakuseina tühimikesse ja pärast lahusti aurustumist on puidu pinnakiht ühtlase värvitooniga, kuid puidupinnal ei ole katvat värvikihti. Dispersioonpeitsides on kuni 10 000 korda suuremad mitte-lahustuvad pigmendiosakesed, mis ei tungi puidu rakuseina tühimikesse, vaid kinnituvad puidu välispinnal olevaisse avatud pooridesse ja peitsitud puidu välispind on osaliselt värvainega kaetud. Dispersioonpeitsides olevad värviosakesed kinnituvad puidu välispinnale (joonis 8.11 b, negatiivpilt) ning võivad okaspuidu korral värvida ära poorse ja õhukese rakuseinaga ja väiksema tihedusega kevadpuidu. Kui lahustipõhiste peitsidega peitsimisel värvitakse puidu pinnakiht läbini ja puidumuster jääb värviga katmata, siis dispersioonpeitside kasutamisel on puidumuster osaliselt värviga kaetud. Üldjuhul võib ühe seeria peitse omavahel segada. Tabelis 8.7 on toodud veepõhiste ja lahustipõhiste peitside võrdlus.



Joonis 8.10 Puituvärvivad peitsid ja värvaineosakeste suuruse võrdlus puidurakuseina tühimike suurusega: a – lahustipõhise ja dispersioonpeitsi võrdlus, b – puidurakuseina tühimike suurus võrrelduna peitsides/lakkides värviosakeste suurusega.

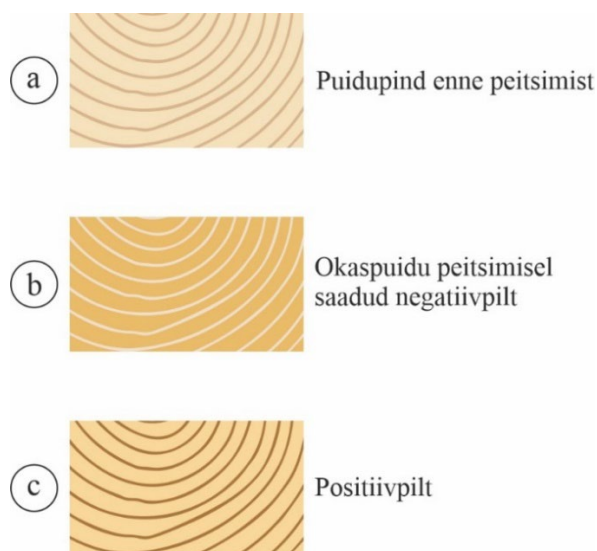
Tabel 8.7 Veepõhiste ja lahustipõhiste peitside võrdlus

Veepõhised peitsid	Lahustipõhised peitsid
–On keskkonnasõbralikumad (lahustiks vesi) –Lihvitud puidupinna vesilahusega kastmine, kuivatamine ja karestamine peeneteralise lihpaberiga (P180–240) enne peitsimist annab väiksema pinnakareduse ja ühtlase värvitooni –Peitsitud pind on pikema kuivamisajaga ja pärast esimest lakikihti karedam, mistõttu on vajalik vahelihv –Veepõhine peits sobib veepõhise lakiga katmiseks	–Lihvitud puidupinda ei ole vaja enne peitsimist karestada. Üldjuhul võib pinna veega kastmise ja lihvimise ära jätta –Lühike kuivamisaeg võrreldes veepõhiste peitsidega ja pärast peitsimist on esimese lakikihi pind siledam; vajadusel kerge vahelihv –Peitsitud pinna lakkimine on võimalik enamiku lakisüsteemidega (sh veepõhiste lakkidega) –On väga valguskindlad

Keemilistes puidupeitsides ehk reaktiivsetes peitsides kasutatakse metallisoolade lahuseid, mis reageerivad puidus sisalduvate tanniinide, fenoolide, ekstraktiivainete ja puidusuhkrutega, muutes puidu värvust seestpoolt. Üheks reaktiivseks puidupeitsiks on tõelised peitsid (*true stains*), mis on anorgaaniliste ühendite vesilahused, mis puidu pinnale kantuna reageerivad puidus (eelkõige lülipuidus) leiduvate fenoolilaadsete ekstraktiivainetega, mille tulemusel tekivad puidu tekstuuris värvilised ühendid. Reaktiivse peitsiga toonitud puidu värvus on valguskindlam ehk UV-kiirgusele vastupidavam kui puitu värvivate peitsidega töödeldud puidul. Tõeliste peitsidena kasutatakse Cr, Cu, Fe ja teiste metallide soolalahuseid. Tinglikult kuuluvad tõeliste peitside hulka ka pleegitussegud, mis on oksüdeerivate kemikaalide (nt vesinikülihapendi) aluselised vesilahused.

Okaspuidu peitsimisel pleegitussegudega saadakse negatiivpilt (joonis 8.11 b), sest aastarõnga tihedasse sügispuidu ossa (rohkem ligniini ja ekstraktiivaineid) ei imendu nii palju pleegitusainet kui poorsesse kevadpuitu, mis seetõttu muutub tumedamaks.

Lehtpuidul saab keemilisi pleegitusaineid sisaldavate peitsidega muuta puidutekstuuri positiivpildiks, kombineerides pleegitusaineid puidus sisalduvate parkainetega (nt tanniinid). Kuna parkaineid on kontsentreeritud tihedamas sügispuidus (nt tamme- või punapöögipuit), reageerib see tugevamalt kui poorem kevadpuit. Selle tulemusel tekibki puidumustrist positiivpilt (joonis 8.11 c). Keemiline reaktsioon toimub sügavamates puidu rakuseinakihtides. Klassikalisi keemilisi puidupeitse tuntakse ka kui topeltpeitside, reaktsioonpeitside (*reactive wood stains*) või tõeliste puidupeitsidena (*true wood stains*). Aga kuna tõelistes peitsides kasutatud metallisoolad on tervisele ohtlikud, on need peitsid tänapäeval peaaegu täielikult asendatud ühekordse



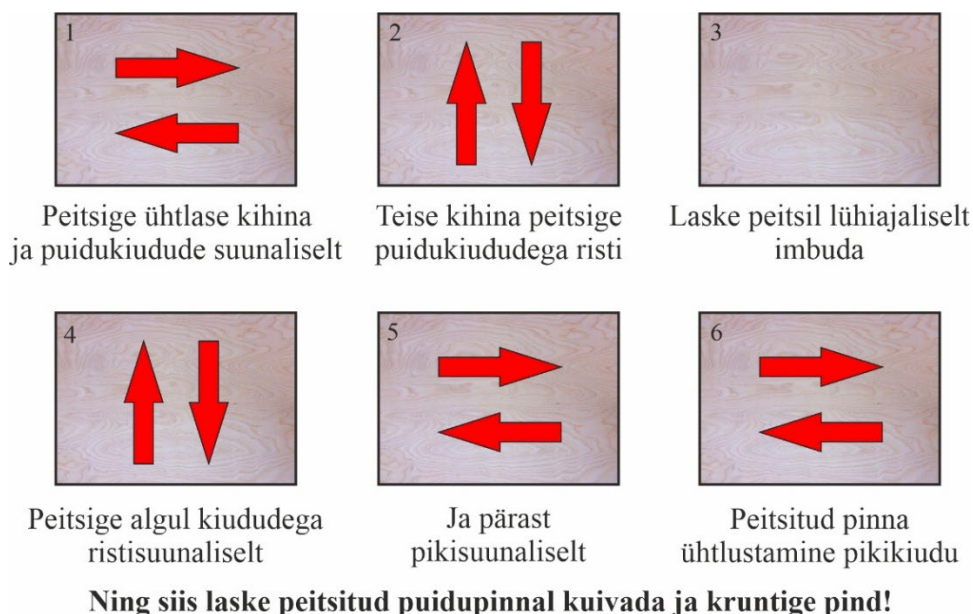
Joonis 8.11 Negatiiv- ja positiivpilt puidu peitsimisel pleegitussegudega.

positiivpeitsiga, mis on vabad metallisooladest. Positiivpeitside reaktsiooni- ja kuivamisaaeg on 4–10 h. Topeltpeitsid on sellised tooted, milles on ühendatud puidu eel- ja järelpeitsimine, kasutades kaheastmelist keemilist peitsimist. Positiivpildi saamiseks okaspuidu keemilisel peitsimisel kaetakse puidupind kõigepealt tanniini sisaldava eelpeitsiga ja siis järelpeitsiga, mis sisaldab värvaineid ja metallisoolalahuseid, mis reageerivad enne puitu imendunud tanniinidega ja annavad tulemuseks soovitud puidutekstuuri värvuse muutuse.

Käsipeitsimine

Puidupinna käsipeitsimine koosneb järgmistest etappidest (joonis 8.12): a) peitsitava pinna ettevalmistus, b) peitsilahuse valmistamine või segu valmissegamine ühtlase tooni saamiseks, c) proovipeitsimine kasutades proovidetaili või näidist, ja d) lõpp-peitsimine. Esimese peitsikihi puidupinnale kandmiseks kasutatakse pehmete harjastega laia pintslit, svammi või villast kangast, et puidupinda ühtlaselt peitsiga immutada. Esimene peitsikiht kantakse puidupinnale puidukiusuunaliselt, et detaili pinnale ei jääks ristitriipe. Eelpeitsitud pind võib lihvitud pinnaga võrreldes tunduda karedana. Oluline on meeles pidada, et peitsitud puidupinda ei lihvita enne ega pärast järelpeitsimist, sest see muudab detaili värvitooni ebaühtlaseks ja lõpp-peitsimisel võivad jääda puidupinnale plekid. Teist korda peitsitakse puidupinda puidukiuristisuunaliselt (joonis 8.12). Seejärel lastakse peitsil lühiajaliselt puidu pinda imbuda (eelpeitsitud pind peab olema enne lõpp-peitsimist täielikult kuivanud). Järelpeitsimisel peitsitakse puitu algul puidukiu ristisuunaliselt ja pärast pikisuunaliselt. Seejärel tõmmatakse kiu pikisuunaliselt ära üleliigne peits. Puidupinnalt eemaldatud peitsijääke ei ole soovitatav lisada värsket peitsi sisse,

kuna see võib põhjustada tumedaid plekke peitsimisel. Peitsitud puidupinnal lastakse kuivada ja seejärel kantakse pinnale kruntlakikiht. Lõpp-peitsitud puidupinda ei lihvita enne kruntlakiga katmist.



Joonis 8.12. Tööjärjekord puidupinna käsipeitsimisel.

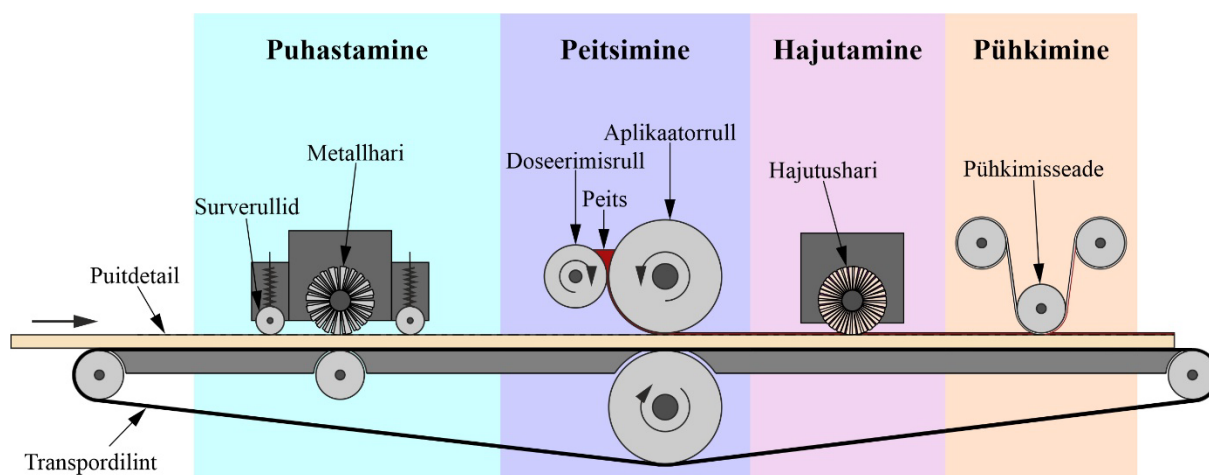
Pihustuspeitsimine

Peitsi pihustamiseks puidupinnale kasutatakse käsipüstolit, automaatpihustusliini või pihustusroboteid. Käsi- ja automaatsepihustamisel tuleb tähelepanu pöörata ülekattele pihustusradadel. Kui üleliigset peitsi kohe ei eemaldata, siis ilmuvad peitsitud puidupinnal hiljem nähtavale ribad. Pihustamisel kasutatakse suruõhku 2–3 bar ja pihustusdüüsi ava suurus on 1,0–1,5 mm. Peitsi pealekandmiseks saab kasutada ka kõrgsurvemeetodit.

Peitsimine valtsirullidega

Peitsi pealekandmisel valtsirullidega (joonis 8.13) toimub kõigepealt metallharjadega puidupinna puhastus puidutolmust. Järgmine etapp on peitsimine, mille käigus doseerimisrull doseerib peitsi vahtkummist või kummist aplikaatorrullile, mis kannab selle detaili pinnale.

Järgneb puitdetaili pinnale kantud peitsi surumine puidu pooridesse peitsihajutusharja abil ja liigse peitsi detaili pinnalt maha pühkimine. Puidupinnale valtsirullidega peale kantava peitsi kogus jääb vahemikku 10–60 g/m². Tänapäeval kasutatakse hajutusharju harva, kuna peitsi vahetamisel peab neid tihti puhastama. Valtsidega pealekandmist saaks teha ka kahepoolsest, kuid eelistatakse sissekastmismeetodit, mis annab parema tulemuse servpindade katmisel.



Joonis 8.13 Valtsirullidega peitsmasina põhimõtteskeem.

Peitsitud puitpinna kuivatus

Peitsitud detailid kuivatatakse toatemperatuuril või kuivatustunnelis. Lahustipõhiste ja dispersioonpeitside kuivamisel moodustub ühtlane värvitoon lahusti aurustumisel. Toatemperatuuril kuivades on peitsitud pind tolmuks 1–10 h järel. Kuivamisaeg sõltub ruumi temperatuurist ja õhuniiskusest, puidu imavusest ja temperatuurist, peitsi tüübist (lahustipõhine, dispersioonpeits vm), pealekande viisist (käsitsi, pihustades, valtsirullidega). Keemilise reaktsiooni tulemusena kuivavatel peitsidel tekib loomulik värvitoon pikema aja jooksul, mistõttu on peitsitud pind tolmuks ja edasiseks töötlemiseks valmis alles järgmisel päeval. Reaktsioonkuivavate peitside puhul toimub kuivamine toatemperatuuril ja seda protsessi ei saa kiirendada. Kui keemiline reaktsioon on juba toimunud, võib järelkuivatamiseks kasutada kuivatustunnelit.

8.3 Kuivavad õlid, vahad ja looduslikud vaigud puidu viimistlusel

8.3.1 Kuivavad õlid puidu viimistlemisel

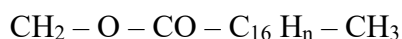
Puidu viimistlemiseks kasutatavates õlivärvides ja -lakkides on sideaineks loodusliku päritoluga kuivavad õlid (triglütseriidid, glütserool ja küllastamata rasvhappeestrid), mis ristseotakse reaktsioonil õhuhapnikuga.

Looduslikku päritolu kilemoodustite liigitus on toodud tabelis 8.8. Kilemoodustamise mehhanismi järgi jagunevad need mitte-polümeriseeritavateks ja polümeriseeritavateks oligomeerideks ning polümeerideks.

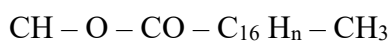
Tabel 8.8 Kilemoodustite liigitus.

Oligomeerid				Polümeerid		
Mittepolümeriseeritavad		Polümeriseeritavad				
Looduslikud	Süntet- ilised	Loodus- likud	Süntees- vaigud	Loo- dusli- kud	Modifit. loodusli- kud	Sün- tees- vaigud
Munavalge Šellak Merevaik Burgundia vaik Kanada palsam Kongo kopaal Eleemi Kummiaraabik Sandarak Damar Kampol	Novolak	Taimeõlid Tungaõli Linaõli	Alküüdid Polüestrid Polüakrülaadid Karbamiid- form.-d vaigud Polüuretaanid	Kaseiin	Tsellu- loos- nitraat	PVC

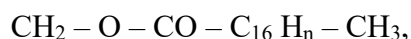
Puiduimmutusõlised liigitatakse mitmel erineval viisil. Üks võimalikest liigitustest on järgmine:



I



I



kus n on C-aatomite arv (sõltuvalt kaksiksidemete arvust rasvhappe molekulis võib n olla 32, 30, 28 või 26).

Rasvhappe molekulis on kõige sagedamini 18 C-aatomit ja 0, 1, 2 või 3 kaksiksidet. Näiteks linaõlis (levinuim puiduimmutusõli) on 52% linoleenhapet, mille struktuuris on kolm kaksiksidet konjugeeritud paigutusega (9, 12 ja 15 aatomi C juures).

Mittekonjugeeritud kaksiksidemetega õlised on võimalik polümeriseerida termilise töötlemisega temperatuuridel 300–320 °C inertses atmosfääris, mille tulemusena saadakse tihkestatud õli (*bodied oil*). Sama protsessi viiakse pehmemates tingimustes läbi ka konjugeeritud struktuuriga õlide puhul, et kiirendada nende kuivamist.

Õli viskoossust suurendatakse tehnoloogilise protsessiga, milles õlist puhutakse läbi õhku temperatuuril 140–145 °C. Saadud produkti nimetatakse läbipuhutud õliks (*blown oil*).

Kasutatakse ka õlide katalüütilist töötlemist aktiivsavide juuresolekul, kus saadakse nn **dimeersed rasvhapped** (*dimer acids*) C₃₆.

Kaksiksidemete kaudu toimub õli kuivamine õhuhapniku osavõtul (nn oksüdatiivne polümerisatsioon). Näiteks linaõli mass kasvab kuivamise käigus õhuhapnikuga reageerimise tõttu kuni 12%. Hinnatav immutusõli on ka tungaõli (*tung oil*), mis on aga kõrgema hinnaga. Tungaõli on tungpuuseemnetest pressimisel saadud kollane viskoosne mürgine vedelik. Põhikomponendina sisaldab see väärtuslikke kolme kaksiksidemega C₁₈ rasvhappe glütseriide. Õhuhapniku toimele tekib tungaõli pinnal tugev ja läikiv kile:



Paljud looduslikud õlid (nt oliiviõli) ei kuiva õhuhapniku toimele. Õli kuivamise kiirus oleneb rasvhapete kaksiksidemete arvust ja paigutusest. Kõige soodsam on kaksiksidemete nn konjugatiivne paiknemine:



Otseõli (*direct oil*):

- tungaõli (kas 100-protsendiliselt puhas või Hiina puiduõli);
- lina toorõli, keedetud linaõli. Viimane ei ole läbinud kuumutamist keemistemperatuurini, vaid on läbi teinud mõningase temperatuuritõusu, soodustamaks sikatiivide lahustumist.

Polümeriseeritud õlid (*polymerized oils*) on suhteliselt kallid ja **tihkestatud** (*condensed oils*), nagu näiteks tungaõli ja linaõli.

Sünteeiline värnits (*synthetic varnish*) saadakse õli ja sünteesvaigu (alküüdvaik, fenoolvaik, polüuretaanvaik) koos kuumutamisega. Annab puidu pinnale suure mehaanilise tugevuse.

Otseõli ja sünteetilise värnitsa segu (*a mixture of direct oil and synthetic varnish*) on tuntud ka Taani õli nime all. Võimaldab kaitsta puitu paljude füüsikaliste ja bioloogiliste tegurite eest.

Sikatiiv (*siccative*) on metalli (Pb, Co, Zn, Zr, Mn vm) ühend, mis lahustub õlis ja millel on katalüütilised omadused õli kuivamisel kulgeva oksüdatiivse polümerisatsiooni suhtes.

8.3.2 Vahad puidu viimistlemisel

Vahadeks (*waxes*) nimetatakse rasvataolisi aineid, mille iseloomulikuks komponendiks on küllastatud rasvhapest ja pika ahelaga ühealuselisest alkoholist moodustunud ester. Kõige sagedamini kuulub vaha koostisesse palmitiinhape ($C_{15}H_{31}COOH$). Peale nimetatud happe leidub vaha koostises veel vabu kõrgalkohole, rasvhappeid, kõrgmolekulaarseid süsivesinikke ja värvaineid.

Üldtuntud loodusliku toote – mesilasvaha (*beeswax*) – koostises on rasvhapete estrid (72%), vabad happed (13,5%), süsivesinikud (12%), muud ained (2,5%).

Mesilasvaha sulab vahemikus 62–70 °C; temperatuurivahemikus 40–50 °C on see materjal plastiline. Vees ei lahutu, kuid lahustub orgaanilistes lahustites (tabel 8.9).

Tabel 8.9 Mesilasvaha lahustuvus, g/100ml

Lahusti	25 °C	35 °C	45 °C
Etanool, (95%)	0,41	0,97	1,56
Benseen	24,2	64,2	106,8
Tärpentin	8,0	26,0	59,0
1,2-Dikloroetaan	1,67	4,97	20,3

Viimistlusmaterjal mesilasvaha baasil (ajalooline retsept):

Mesilasvaha kuumutatakse vesivannil ja segatakse tärpentiniga vahekorras 1 massiosa vaha ja 2–3 massiosa tärpentinini. Segu mehaaniliste omaduste parandamiseks lisatakse sellele 15–20% kampolit ja segatakse hoolikalt läbi. Puudusena võib välja tuua, et mesilasvahaga töödeldud naturaalpuidu pind määrdub kergesti, sest mustus tungib puidu pealispinda.

Kaasaegse viimistlusvaha (Osmo Wood Wax Finish, OWWF- Osmo Holz und Color GmbH&Co) omadused:

- poolläbipaistev (läbikumav) või läbipaistev interjööripuidu viimistlusmaterjal. Difundeerub sügavale puitu ja sobib eriti hästi troopilistele puiduliikidele nagu jatoba, meranti, wenge, merbau, eebenipuu. Välja on töötatud 15 erinevat viimistlusvaha enamikasutatavate puiduliikide jaoks. Lisaks on võimalik segada eri värvitooni vahasid;
- puidukiud ja puidusüümuster on vahakihi all toonitatud. Puit ei lõhene ega kestenda. Materjal on vett-tõrjuv ega määrdu, vesi ei jäta pinnale jälgi. Võib kasutada puitpõrandatel ja tööpindadel köökides ja vannitubades. Vahakiht on tiksotroopne. Vahatatud pind on vastupidav õlle, veini, koolajookide, kohvi, tee, mahlade, piima ja vee suhtes.

Osmo vaha pealekandmist on kirjeldatud tabelis 8.10.

Tabel 8.10 Osmo vaha pealekandmine

Pinna ettevalmistus	Pind olgu puhas, kuiv ($W_{\max} = 20\%$), tolmuva, vabastatud vanast värvist. Sinavuse riskiga puiduliigid töödelda üks nädal varem vahendiga Osmo Wood Protector
Pealekandmine	Pintsliga, harjaga, riidelapiga (kodukasutuses), harimasinaga, pihustiga, sissekastmisega (kommertskasutuses). Müügil olev toode on kasutamiseks valmis, kuid vajab hoolikat segamist. Mitte lisada lahusteid! Pinna läikeastme tõstmiseks võib 12 tundi kuivanud toodet poleerida puhta kuiva puuvillalapiga
Pealekandmiste arv põrandad ja lauapinnad	2 kihti
Kulunorm	1 liitri kohta 20 m ²
Põrandate jaoks	Pakutakse toodet Osmo Hardwax-Oil, mille kasutamisel muutub põrand kulumis- ja määrdumiskindlaks ning vett-tõrjuvaks
Tööriistade puhastus	Lakibensiin
Kuivamisaeg	12 h

8.3.3 Looduslikud vaigud puidu viimistlemisel

Loodusliku pärioluga kilemoodusteid tuntakse ja kasutatakse mitmel pool maailmas. Mööblilakkide valmistamiseks kasutatakse taimset päritolu vaike: merevaik, burgundiavaik, kanada palsam ehk nuluvaik, kopaalvaik, eleemivaik, sandarakkvaik, damarvaik, kampil ehk männivaik. Tuntuim ja kõige suurema kasutusega on aga loomne produkt šellaklakk (lad k *Coccus lacca*) putukalt Indiast Sumatralt. Prantsusmaal patenteeriti 1730. a mööbli poleerviimistlus šellaklakiga (nn prantsuse poleer), mida kasutati laialdaselt mööbli kõrgpoleerviimistlusel sajandeid. Kuigi uued sünteetilised vaigud asendasid šellaklaki 20. sajandil, siis kasutatakse seda tänapäevalgi nii mööbli viimistlusel kui ka vana mööbli restaureerimisel.

Libeline pärlmutriläikega materjal šellak koosneb umbes 8% vahast ja 92% vaikhappetest, selle tihedus ρ on 1,04–1,18 g/cm³ ja pehmenemistemperatuur 100–115 °C. Kvaliteetsemast šellakist on etanooliga sadestatud välja vahad, et ära hoida lakikelme tuhmumine, ja seejärel on materjali pleegitatud, et sellega oleks võimalik katta heledama tekstuuriga puiduliike. Tooted kaubandusliku nimetusega *Dewaxed Extra Light*, *Dewaxed Golden Orange Shellac* ja *Dewaxed Garnetlac* on lisaks veel teinud läbi etanoolilahuse aktiivsöetötluse, et muuta toon heledamaks ja pikendada polümeriseerumise aega. Šellakvaigust tehakse paljusid tooteid. Šellaklakkid sisaldavad umbes 30% kuivainet, ülejäänud osa koosneb lahustist ehk etanoolist. Šellakpolituurid

ehk poleervedelikud sisaldavad lahustit ehk etanooli ja umbes 8–15% kuivainet. Šellakpahtlid on oksapahtlid, mille pealekandmine toimub sulas olekus. Šellakikihi omadused on toodud tabelis 8.11.

Tabel 8.11 Šellaklakikihi omadused

Šellaki positiivsed omadused	Šellaki negatiivsed omadused
Piisav adhesioon puidul	Tundlik vee suhtes; niiskes keskkonnas veeaur tungib läbi šellakikile ja kutsub esile hallid niiskuseleilakid lakikile all
Lahustub etanoolis ja võimaldab valmistada polituure ja lakke	Kestval kokkupuutel veega pundub
Siidine, pehme läige, toob hästi esile näiteks kreeka pähkli puidu tekstuuri	Pealekandmine käsitsi õhukeste kihtide kaupa, seega töömahukas ja toimub etanooli aurude keskkonnas
Ei emiteeri toksilisi või allergiat esile kutsuvaid aineid	Probleem VOC-kriteeriumiga
Toote pinnadefektid on suhteliselt lihtsasti kõrvaldatavad	Pealekandmine nõuab kogemust ja kvalifikatsiooni
Lakikile on kõva ja kulumiskindel ja vastupidav UV-kiirgusele	Transpordil läbi troopiliste piirkondade on ette tulnud šellaki sulamist ja libleda kokkupaakumist
Võimalik kanda peale ka metallidele, klaasile, kummile jne	Ettevaatust – turul võib kohata ka madalama kvaliteediga tooteid Bysaki ja Siam

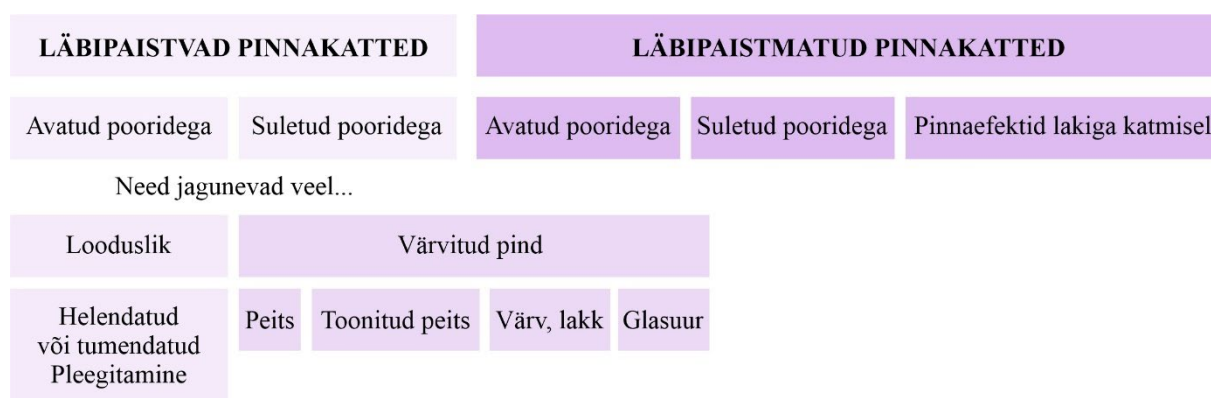
8.4 Lakk- ja värvpinnakatted kilemoodustajana

Lakk- ja värvpinnakatted (*laquer and paint coatings*) kaitsevad puidupinda niiskuse, agressiivsete vedelike, mehaaniliste vigastuste, UV-kiirguse jms eest.

Värv (*paint*) on pigmenti sisaldav viimistlusmaterjal läbipaistmatu pinnakatte saamiseks (joonis 8.14). Värv saab viskoosse vedelikuna kanda puidupinnale käsitsi (pintsli või rulliga) või pihustades (madal- või kõrgsurvepihustusega). Puidupinnale märjalt kantud värvikelm (*wet film*) moodustab kuivamisel elastse, tugeva ja õhukese viimistluskihi värvikile (*dry film*), mis kaitseb puidupinda sise- või väliskeskkonnas. Värvid koosnevad tavaliselt järgmistest põhi-komponentidest (tabel 8.12): a) polümeerne kilemoodusti (*coating binder, film former*), b) lahusti (*solvent*), c) täiteaine (*filler*), d) pigment (*pigment*) ja e) plastifikaator (*plasticizer*). Värv pigmentide ja värvainete oluline sisemine omadus on valguse murdumisnäitaja (*refractive index*), mis mõjutab valguse hajumist (*light scattering*). Kilemoodustaja ja värvipigmenti valguse murdumisnäitajate suur erinevus tagab värvi hea kattevõime. Värvi halb kattevõime (*grinning through*) on tingitud kilemoodusti ja pigменти murdumisnäitajate sarnasusest. Välioludes vastupidav värv ehk välisvärv (*exterior paint*) peab olema ultraviolettkiirguse mõjul keemiliselt mittelagunev. Ultraviolettkiirgusele vastupidav pinnakate (*ultraviolet radiation*

resistant coating) sisaldab UV-absorberit (*UV-absorber*) ja plastifikaatorit, mis pidurdavad vananemisprotsessi.

Lakk (*varnish, lacquer*) on vedelik või pulber, mis puidupinnale kantuna moodustab kuivades või kõvenedes läbipaistva viimistluskihi (*transparent film*) ehk kile (joonis 8.14). Lakkide koostises tavaliselt puudub värvipigment, kuid nn peitslakkides (*stain and varnish*) kasutatakse lakis lahustunud värvaineid, et ühe töölusastmega saavutada ühtlase aluspinna värvus ja puidupinda kaitsev viimistluskiht.



Joonis 8.14 Puidu ja puidupõhiste materjalide pinnakatete jagunemine.

Tabel 8.12 Viimistlusmaterjali põhikomponendid

Koostisosad	Kirjeldus
Sideaine	Sideaineks on polümeer, mida nimetatakse ka vaiguks (<i>resin</i>), mille ülesanne on värvi koostisosade sidumine ühtseks süsteemiks. Sideainest sõltub viimistlusmaterjali nakkumine puidupinnaga, pealekandmise tehnoloogia, pinna puhastatavus, läikeaste. Enamlevinud sideained on alküüd, akrüül, nitrotselluloos, polüester jt
Kilemoodusti	Polümeerne kilemoodusti on laki või värvi põhikomponent, mis ühendab kuivamisel või kõvenemisel kõik värvi või laki koostisosad üheks tervikuks, tagab pinnakatte adhesiooni aluspinnaga ja moodustab viimistletaval pinnal välismõjude eest kaitsva kile
Lahusti	Lahusti on reeglina kerglenduvate ainete segu (või ka vesi), mis võimaldab valmistada tehnoloogiliselt sobiva viskoossusega viimistlusmaterjali. Lahustit kasutatakse värvi viskoossuse vähendamiseks, et saaks kasutada erinevaid pinnalekandmise tehnoloogiaid. Lahustiks võib olla vesi (vesialusel värvidel), nitrolahusti või piiritus (lahustiga värvidel). Lahusti kasutamisest sõltuvad peale tehnoloogiliste omaduste ka pinnakatvus ja värvitud pinna kvaliteet
Pigment	Looduslik või sünteetiline aine, mida silm näeb värvilisena. Läbipaistmatu pinnakatte värvitooni määrav mittelahustuv aine. Pigmentide ülesanne on

	anda värvitoon ja selle läbipaistmatus ning värvi katvusomadused. Pigment peab olema värvisüsteemis sideaine poolt hästi seotud ja ühtlaselt hajutatud
Plastifikaatorid	Raskestilenduv aine, mis tagab viimistlusmaterjali elastsed omadused toote kasutamise vältel. Plastifikaator tagab kilemoodusti klaasistumistemperatuuri alanemise ja aeglustab pinnakatte vananemisprotsessi
UV-absorberid	UV-absorberid ja plastifikaatorid pidurdavad vananemisprotsessi. Viimistluskile vananemise käigus toimub kilemoodusti keemilises struktuuris peamiselt UV-kiirguse toimele C – C-sidemete lõhestumine. See toob kaasa viimistluskile delaminatsiooni ja lõhenemise. Vananenud viimistluskile on jäik ja habras
Täiteaine	Looduslik või sünteetiline materjal, mis võimaldab suurendada viimistlusmaterjali kuivainesisaldust või anda sellele eriomadusi (nt vähendada läiget). Viimistlusmaterjali koostises on täiteaine silmale nähtamatu. Täiteaine tagab viimistlusmaterjali kuivainesisalduse tõusu suhteliselt odavate materjalidega ja võimaldab kokku hoida kallist pigmenti. Mitmel täiteainel on ka spetsiifilisi omadusi (nt: sünteetiline kolloidränioksiid SiO ₂ (Aerosil) on efektiivne matistav komponent)
Lisa- ja abiained	Lisaaineid kasutatakse vedela värvi või kuivanud värvikile omaduste modifitseerimiseks. Täiteained mõjutavad värvikihi paksust, struktuuri ja läikeastet ning tiksotroopsust või voolavust. Lisaainetega saab parandada värvisüsteemi omadusi: pealekandmise lihtsus, läige, vastupidavus, nakkuvus puidupinnaga, kuivamisaeg. Vesialuselised tooted sisaldavad tavaliselt tiksotroopseid aineid, need teevad viimistlusained paksemaks. Segades muutub värv vedelamaks ja mõne aja pärast tiksotroopsus taastub ning värvaine on jälle paksem

Avatud ja suletud pooridega pinnaviimistlus

Puidu viimistlemisel eristataksegi avatud pooridega viimistlust (*open-pore finishing*), mil puidupinna poorid jäävad täielikult täitmata, ja suletud pooridega viimistlust (*closed-pore finishing*). Avatud pooridega viimistluse korral järgib viimistluskile aluspinda – puidu ehitust ja on lehtpuidu viimistlemisel nn läbivajunud soonte (nt tamme jämesoonte) ja rakuõõnte kohal. Lakikile on tihti matistatud ja selle pealispinda ei lihvita. Suletud pooridega viimistluse korral täidab viimistluskile tühimikud puidupinnal ja moodustab pealispinnal peegelpinna. Kõrgläike saavutamiseks kasutatakse vahelihvi ja poleerimist.

Suletud pooriga pinnakatted moodustavad puidu pinnale värvipigmenti sisaldava kaitsva laki- või värvikile (joonis 8.14), mis suurendab viimistluskihi vastupidavust väliskeskkonnale, külmadele vedelikele (kohv, ketšup, puuvilja- ja marjamahlad jne) ja mehaanilistele kriimustustele ning kulumisele. Samas võib õhuniiskuse suurenemine ja vähenemine tekitada puidust aluspinnas nii pundumist kui ka kuivamiskahanemist, mis paneb proovile värvi- või lakikile elastsuse ning vananemise tulemusena pinnakatte praguneb ja koorub maha.

Avatud pooriga pinnakatete puhul kilet puidupinnale ei moodustu, kuid viimistlusaine tungib sügavamale puidu rakuseina sisse ning puidu pundumine või kuivamiskahanemine ei põhjusta avatud pooridega pinnakatte pragunemist ja maha koorumist, kuid õhukesed pinnakatted on alati mehaanilistele vigastustele ja vedelikuplekkidele ning väikese kulumiskindlusega.

8.4.1 Laki- ja värvisüsteemid

Välioludes kasutatavate looduslike viimistlusmaterjalide osakaal on pidevalt vähenenud väikese niiskuse- ja veekindluse tõttu. Ilmastikukindlate puidu pinnakattematerjalide puhul on kasutusel sideained nagu õlid ja õlidel baseeruvad alküüdvaigud.

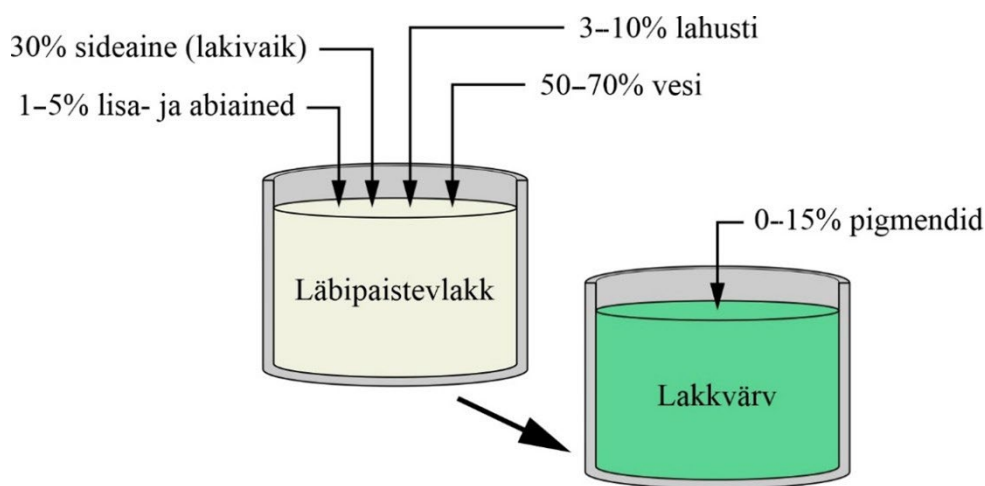
Lakke kasutatakse dekoratiivtekstuuriga puiduliikide viimistlemisel ja värve tagasihoidlikuma tekstuuriga puidu katmiseks. Näiteks on okaspuidust ukse- ja aknalengide viimistlemisel tüüpilahenduseks värvimine. Mööblitööstuses kasutatakse okaspuidust liimkilpe, sõrmjätkatud ja hõõveldatud toorikuid toolide, laudade, riiulite, voodite ja kappide valmistamisel, mis loetakse dekoratiivseteks ja need viimistletakse läbipaistva või toonitud lakiga.

Turul pakutakse paljusid lakisüsteeme, mida liigitatakse kasutusala (mööblilakk, autolakk, paadilakk), pealekandetehnoloogia (käsilakk, pihustuslakk, rullkantavlakk), kuivamisviisi (füüsikaline, keemiline) ja kile omaduste (läiklakk, mattlakk) järgi. Kõrgläikega pinnakate (*high-gloss coat*) on värvikile, millel on kõrge läiketegur, ja matistavatel pinnakattel (*dead finish, matt finish*) on suure pinnakareduse tõttu madal läiketegur. Põhiliselt liigitatakse lakke pidevat õhukest kilet moodustava polümeerse sideaine või vesialusel (*water-based finish*) lakkide korral põhilahusti järgi. UV-kõvenevate lakisüsteemide puhul on liigituse aluseks keemilise kõvenemise protsessi käivituse mehhanism.

Oluline on vahet teha lakil (*lacquer*) ja õlilakil (*varnish*). Lakk on vesialusel või lahustiga pinnakattematerjal, mis on mitteristsillatavate polümeeride lahuses ja millele võib lisada pigmente; lahusti aurustumisega kõvenev lakikile ei ole kuigi kulumiskindla pinnaga. Õhuke laki kiht kulub lakitud puidupinna intensiivsel kasutamisel läbi ja lakikile võib hakata pinnalt maha kooruma. Seetõttu tuleks puidu pinda lakkida vähemalt kaks korda ja lakikihtide vahel teha vähesese survega käsivahelihv P380 või peenema lihvpaberiga, et saada ühtlasem aluspind. Õlilakk on polümeeri lahus kuivavas õlis, mis sisaldab ka lisaaineid, nt katalüsaatorit reaktsiooni kiiruse tõstmiseks. Õlilaki kile moodustab modifitseeritud taimeõliga. Õlilaki valmistamisel võidakse kasutada sideainena värnitsat, mis on keedetud taimeõli (nt linaseemneõli), mille polümeriseerimise kiirendamiseks õhuhapniku toimel lisatakse sikatiivi (*siccative*). Õlilaki (õli + polümeer) saamiseks on vaja lisaks värnitssideainele ka polümeersideainet, lahustit ja

lisaaineid. Õlilakk kõveneb õhuhapniku toimet toimuva polümeeri ristsidumise tulemusena. Ristsidumine muudab lakikile kõvaks ja lahustumatuks. Õlilakk moodustab puidupinnale kantult paksu, kõva ja lahustipõhisest lakist kulumiskindlama läbipaistva kile.

Joonisel 8.15 on toodud vesialusel laki koostis, milles kasutakse orgaanilise lahustina vett või vett väikese orgaanilise lahusti sisaldusega. Kasutatakse sideaineid, vaiku või ka kilemoodustavaid lahusteid. Sideained, vaigud või kilemoodustajad annavad pärast kuivatamist lakikihi. Lisandid ja abiained määravad lakikihi töötlemis- ja kasutusomadused. Lakkide toonimiseks kasutatakse pigmente ja täiteaineid. Laki valiku määravad viimistletavale pinnale seatud nõuded ning vastupidavus kasutus- ja keskkonnaoludele. Välioludes lisatakse viimistlusmaterjalile püsivuse tagamiseks värvipigmenti või UV-absorberit.

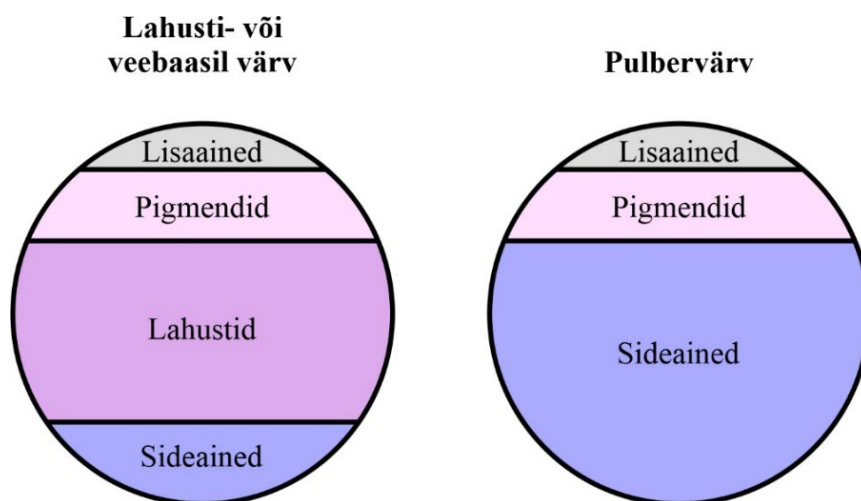


Joonis 8.15 Vesialusel laki põhikoostisosad.

Pigment on kõrgdispergeeritud, värvitooni omav pulbriline aine, mis ei lahustu vees ega orgaanilistes lahustites ja millel on kilemoodustiga (looduslik või sünteetiline vaik) võrreldes kõrge murdumisnäitaja. Pigmenti dispergeerimisel kelmemoodustises tekib stabiilne suspensioon.

Pigmenti otsene funktsioon on anda viimistluskilele värvustooni küllastus- või heledusomadused. Looduslike kiudude, sh puidukiudude, pinnal olevad keemilised rühmad tingivad, et nähtavast valgusest neelduvad sinised spektriribad (435–480 nm). Järele jäävat peegelduvat valgust tajub silm kollasena. Valgendid absorbeerivad UV-piirkonna valguskiiri (435–375 nm) ja fluorestseeruvad neeldunud energia arvelt spektri sinises piirkonnas. Siniseid toone tajub inimene kui tundemärki puhtusest (näiteks vesi basseinis, valgendatud pesu jne).

Titaandioksiid (TiO_2) on aastakümneid olnud kõrgeima murdumisnäitajaga valge pigment, ületades märkimisväärselt teisi valgeid pigmente, nagu tsinkoksiid, tsinksulfiid, pliivalge, bariidijahu ja litopoonid. Pigmendiga saab muuta pinnakatte füüsikalisi-mehaanilisi omadusi. Pigmentidel võivad olla järgmised omadused: võime neelata, peegeldada või hajutada elektromagnetilist kiirgust (eriti UV-piirkonnas), anda happe- või alusekindluse, bakteritsiidsuse, termotundlikkuse, tiksotroopsuse ja õlimahutavuse omadused.



Joonis 8.16 Lahusti- või vesialusel värvi ning pulbervärvi põhikoostisosad.

Võrdluseks on joonisel 8.16 näidatud lahustiga või vesialusel värvi ja pulbervärvi põhikoostisosad.

Kilemoodustite liigituse põhialuseks on kilemoodusti keemiline koostis, nt $-\text{O}-\text{CO}-$ rühma sisaldavad kilemoodustid kuuluvad põhimõtteliselt kõik polüestrite (*polyesters*) hulka. Kilemoodustite omadusi varieeritakse sünteesiks valitavate lähteainete keemilise koostisega. Kilemoodusteid on võimalik liigitada vastavalt kuivamismehhanismile. Nitrolakkide, emailide ja poleervedelike kuivamisel domineerib lahusti aurustumine, mis on omane füüsikaliselt kõvenevale pinnakattele (*physically drying coating*). Lahustipõhiste lakkide (NC, AC) korral moodustuvad lahusti aurustumise teel tselluloosiestrid, polüvinülideenkloriid, polüakrülaadid jt (joonis 8.17).

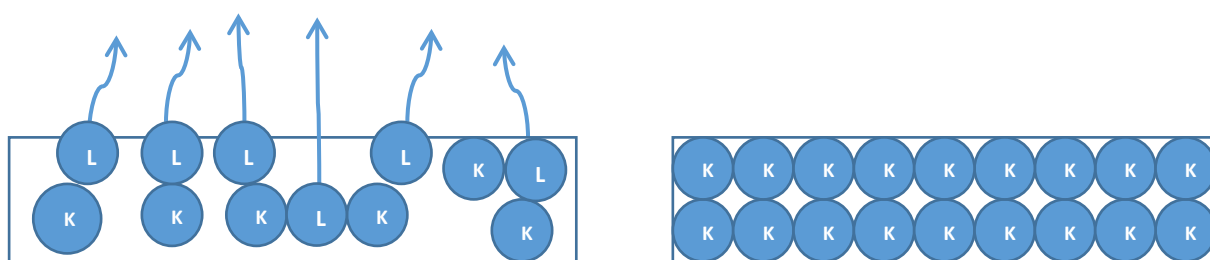
Happekõvenevate (*acid curing*, AC) lakkide sideainena kasutatakse nt amiinvaiku (urea- või melamiinvaik) ja alküüdvaiku, mida modifitseeritakse sageli ka nitrotselluloosiga.

Karbamiidformaldehüüdvaigu ja melamiinformaldehüüdvaigu kuivamisel (tabel 8.13) domineerib kõvenemisel (*curing, setting*) keemiline protsess lahusti eemaldumise ja/või keemilise

reaktsiooni tõttu. Viimistlusmaterjali lahusti koostisesse kuuluvad kuivamisel ja/või kõvenemisel lenduvad orgaanilised ühendid (*volatile organic compounds, VOC*).

Tabel 8.13 Tavakasutuslakisüsteemide kilemoodustid

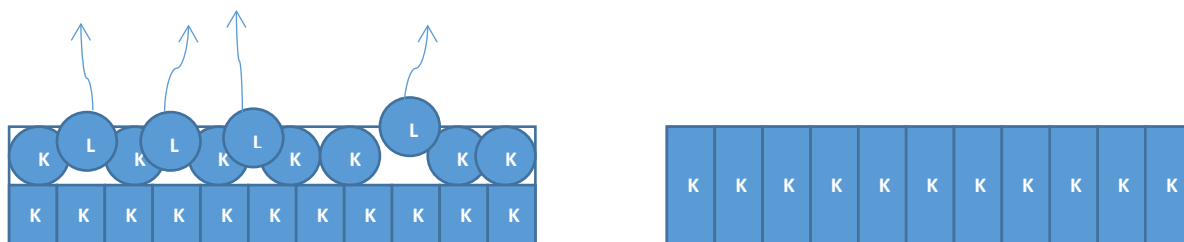
Lahusti/ disper- geerimis- keskkond	Kilemoodusti ehk sideaine	Lühiiseloostus	
		Eelised	Puudused
Orgaanilised ained	Tselluloosnitraat + täitevaik	Kiire kuivamine, hea pealekantavus, soodsam hind	Töömahukus, VOC, töötingimused, tuleohtlik, madal niiskuskindlus
	Alküüdvaik modifitseeritud kuivavate õlidega	Head mehaanilised omadused, ilmastikukindlus, osaliselt looduslik	VOC, aeglane kuivamine, sikatiivide kasutus, tumenev
	Karbamiidformaldehüüdvaik, melamiinformaldehüüdvaik	Hea adhesioon, matistatav, ilmestab puitu, ei tumene, hea hind, veekindlus	VOC
	Polüestervaik	Kõvadus, läikeastme reguleeritavus (kõrgläikest matini)	VOC, palisandriefekt, praagi mitteparandatavus, kile vananemine
	Polüuretaanvaik	Hea adhesioon, kõvadus ja löögikindlus, kulumiskindlus, kemikaali- ja lahustikindlus, matistatav	VOC töötingimused, tekstuuri ähmastumine, mürgised põlemisproduktid
Vesi (+ orgaaniline aine)	PVA, polüakrülaat	VOC minimaalne, töötingimused	Vee aeglane aurustumine, külmumisoht, koalestsents, kile mehaanilised omadused
	Polüakrülaat + polüuretaan	VOC minimaalne, väga head mehaanilised omadused (järelkõvenemine)	Madal viskoossus, liigvoolav, vertikaalpinnale kantav õhukeste kihtidena



Joonis 8.17 Kilemoodustumine lahustipõhiste värvide kuivamisel: L – lahusti, K – kile moodusti (polümeerne sideaine, vaik).

Poolfabrikaatlaki ristsidumisel ehk polümeriseerumisel polükondensatsiooni teel (joonis 8.17), aga ka kõvendiga reageerimisel (nt polüesterlakk) toimub kilemoodustumine. Sellega paralleelselt toimub ka füüsikaline protsess lahusti aurustumisel lakikilest. Uue viimistluskihi lisamine

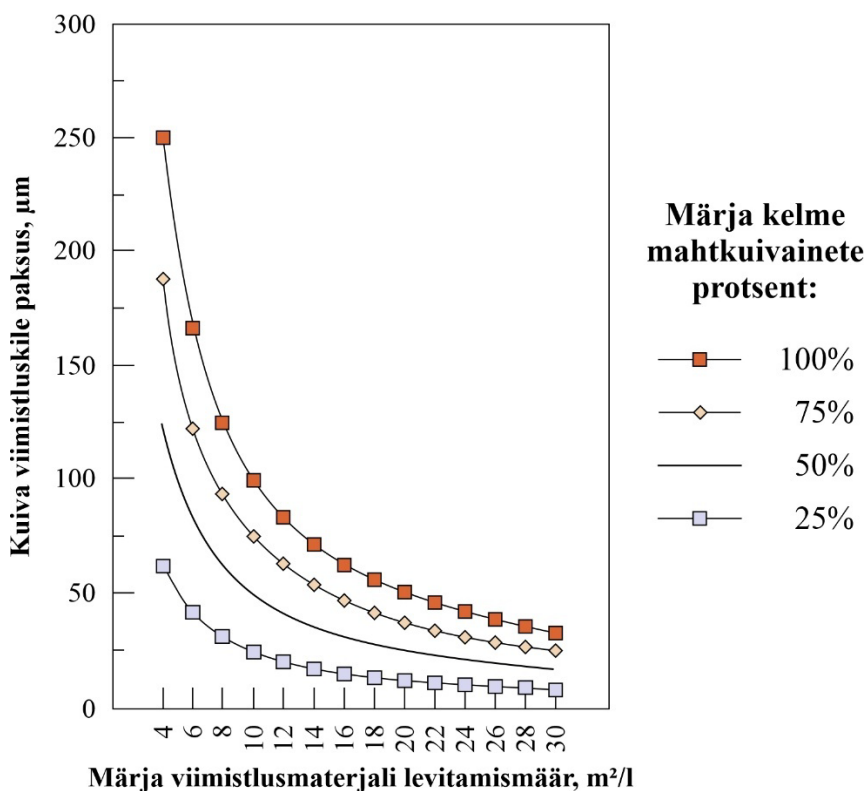
lahustipõhisele värvikilele lahustab eelmist värvikihti ja võimaldab seeläbi uuel värvikihil eelmisega nakkuda (joonis 8.18). Tabelis 8.14 on toodud lakkide kuivainesisaldus ja joonisel 8.19 kuivanud lakikile paksus.



Joonis 8.18 Kilemoodustumine uue viimistluskihi lisamisel kuivanud lahustipõhisele värvikihtile: L – lahusti ja K – kilemoodusti.

Soovitud paksusega lakikihi saamiseks tuleb vähese ja standardse kuivainesisaldusega lakkide puhul peale kanda mitu kihti. Värvipigmenti lisamisega läbipaistvatele akrüül- ja alküüdlakkidele (tabel 8.14) on võimalik kuivainesisaldust tõsta 25%-lt 30%-le. Kuivainesisaldus mõjutab toote kuivamiskiirust ja seda, milline on ühe lakikihi katvus (et viimistletud pind oleks ühtlaselt kaetud).

$$\text{Märja viimistluskelme paksus } (\mu\text{m}) = \frac{1000}{\text{pinnale levitatud viimistlusmaterjali kogus } \left(\frac{\text{m}^2}{\text{l}}\right)} \quad (8.3)$$



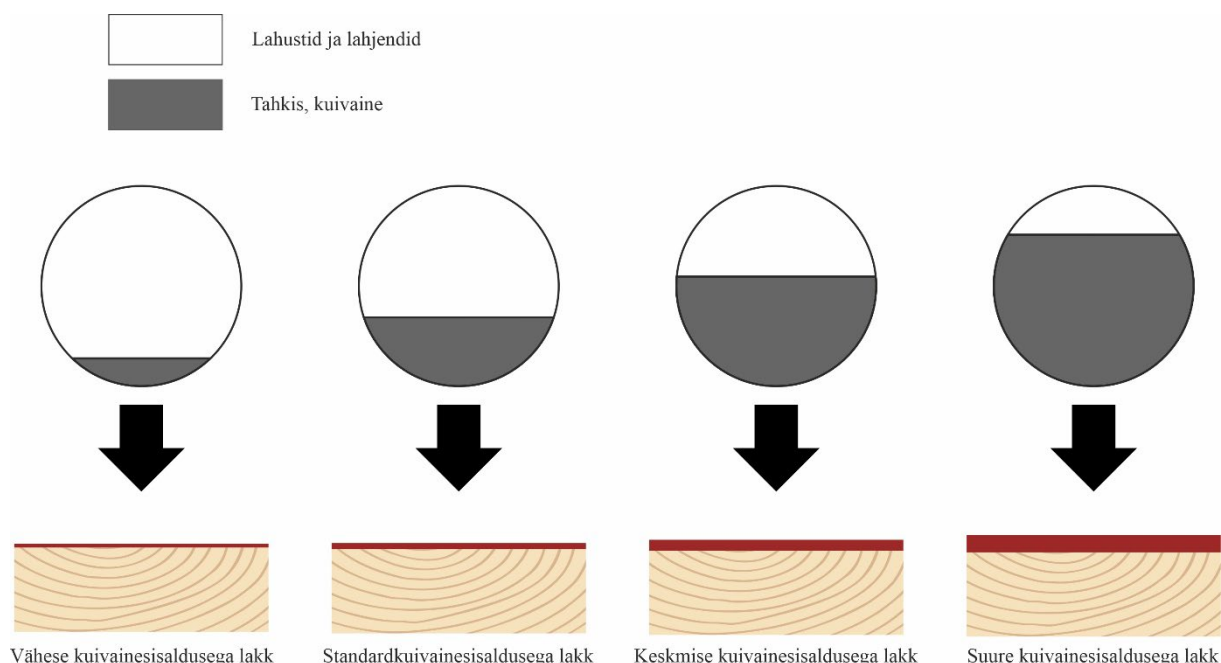
Joonis 8.19 Pinnale kantud märja viimistlusmaterjali kogusele vastav viimistluskile paksus.

Teoreetiline kuivanud viimistluskile paksus (joonis 8.19) on arvutatav värvi kuivainesisalduse põhjal valemiga 8.3. Kui ühe liitri värviga on üle värvitud 10 m² pind ja kui kuivainete kogus värvis on 50%, siis märja viimistluskelme paksus on 100 µm ja kuiva viimistluskihi paksuseks on 10 µm × 0,5 = 50 µm.

Lahusti- ja kuivainesisaldusest tulenevad viimistluskile paksused on näidatud joonisel 8.20.

Tabel 8.14 Läbipaistvate puidulakkide kuivainesisaldus

Väikese kuivainesisaldusega lakid 10–30%	Keskmise kuivainesisaldusega lakid 30–60%	Suure kuivainesisaldusega lakid 61–100%
Õhukesekihilised lasuurid 20–25%	Paksukihilised lasuurlakid 35–40%	Polüesterlakid, epolakid 85–95%
Nitrotsellulooslakid 20–30%	Nitrotsellulooslakid 30–50%	
Alküüdlakid 30–35%	Vesialuselised lakid 30–60%	
Akrüüllakid 25%	Polüüretaanlakid 30–50%	
	Happekövenevad lakid 30–50%	



Joonis 8.20 Lahusti- ja kuivainesisaldus erinevates lakkides ning lakikihi paksus.

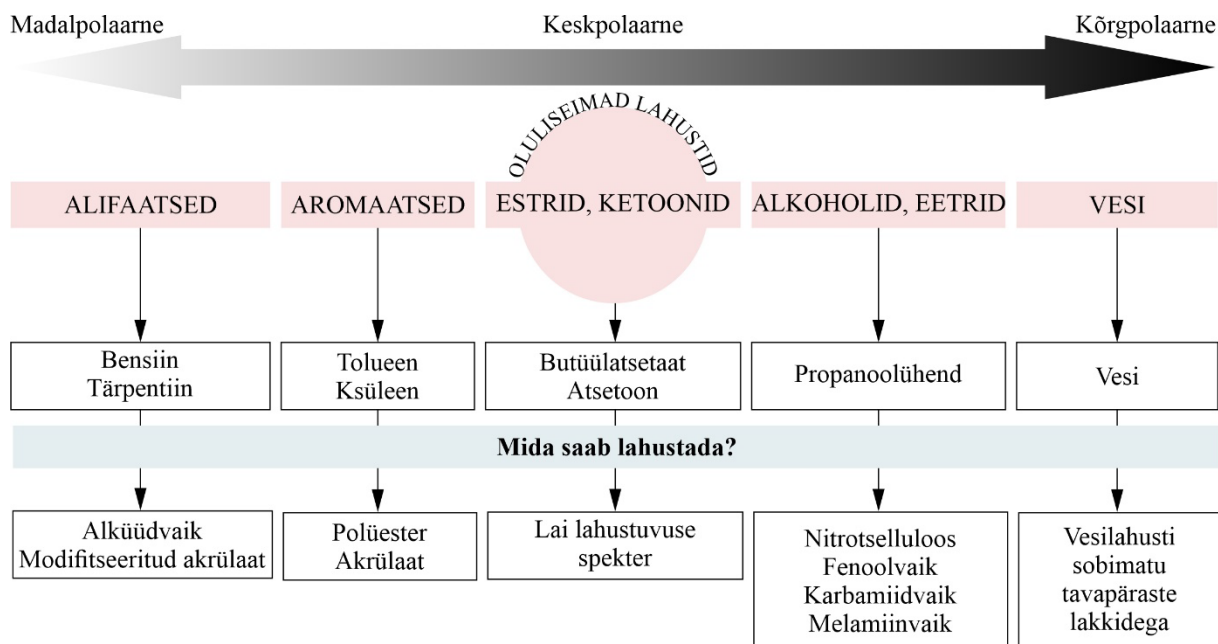
Lahustite muud omadused.

- lenduvus määratakse filterpaberilt aurustumise suhtelise ajaga, võttes ühikuks dietüüleetri aurustumise aja;
- keemistemperatuur sõltub olulisel määral näiteks vesiniksidemete moodustumise võimalustest molekulide vahel;
- leektäpp määratakse kui temperatuur, millest alates on lahusti aurustumine nii intensiivne, et aurud süttivad kokkupuutel lahtise leegiga,
- sanitaarsetest nõuetest kinnipidamiseks on vajalik järjekindel efektiivsete isikukaitsevahendite kasutamine. Võimalik risk on hingamisteede ja naha krooniline kahjustus.

Laki- ja värvilahustid ja -vedeldid

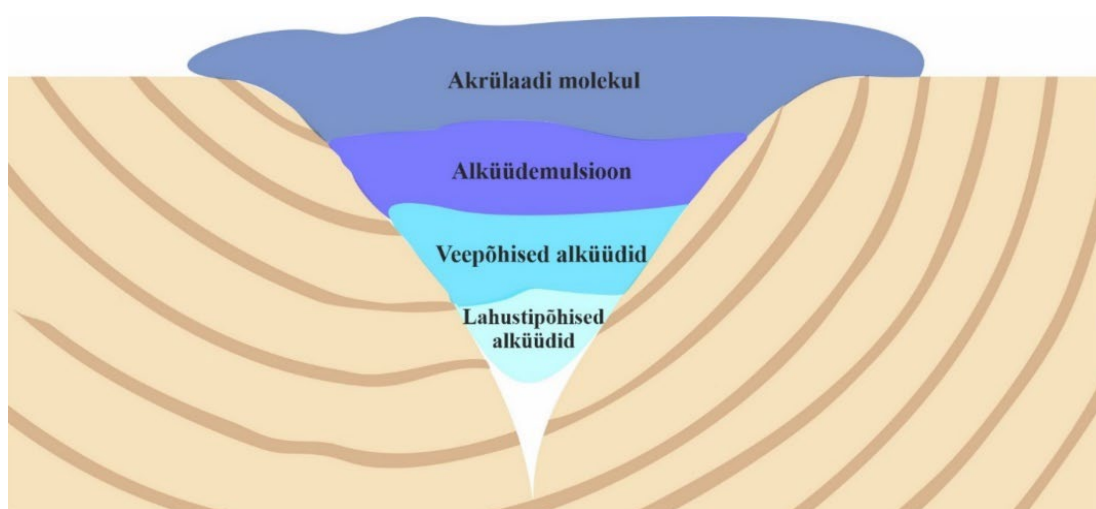
Viimistlusmaterjalide pealekandmise hõlbustamiseks on kasutusel orgaanilised ja looduslikud lahustid (vesi), mida kasutatakse alküüdvaikude dispersioonides või emulsioonides. Lahustite polaarsus ja kilemoodustajate ehk sideainete lahustuvus on oluline lakkide ja värvide viskoossuse muutmiseks valitud viimistlustehnoloogiale sobivaks. Joonisel 8.21 on näidatud lahustite polaarsus ja polümeersete sideainete lahustuvus nendes. Näiteks bensiin ja looduslik tärpentin sobivad hästi mittepolaarsete sideainete lahustamiseks, nendega saab lahustada mitmesuguseid alküüdvaike ja modifitseeritud akrülaate. Tolüeeni ja ksüleeniga saab lahustada polüester- ja akrülaatvaiksideainetega lakke.

Butüülatsetaat või atsetoon on laia lahustuvusspektriga ja seetõttu on estrid ja ketoonid on praegu kõige olulisemad ja laialdasemalt kasutusel olevad lahustid. Alkoholid ja eetritel põhinevad propanooliühendid lahustavad nitrotselluloosi, fenool-, karbamiid-, melamiinvaikudel põhinevaid lakke ning on veega lahjendatavate lakkide abiaineteks. Vesi või vesilahusti on tavapäraste lakkidega täiesti kokkusobimatu. Spetsiaalse keemilise lakistruktuuri puhul sobib vesi lahjendiks.



Joonis 8.21 Lahustite polaarsus ja kilemoodustajate (sideainete) lahustuvus.

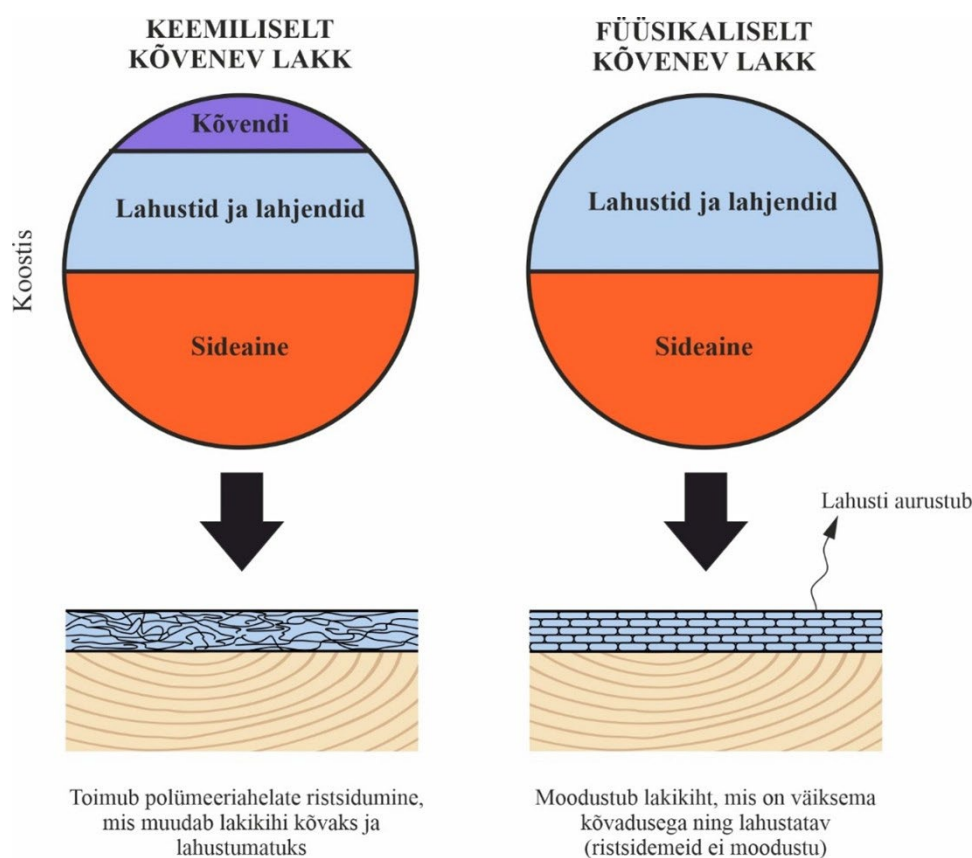
Sideaine molekulisuurus (joonisel 8.22) mõjutab selle läbitungimisvõimet puidu rakuseinast või lõhedest. Kui puiduviimistlusel kasutatavad põhilised sideaine ja lahustisüsteemid reastada molekulisuuruse järgi, siis lahustipõhised alküüdid on kõige kergemini puidu tühimikesse (poorid, lõhed) tungivad ja neile järgnevad veepõhised alküüdid ning alküüdemulsioonid, mis tungivad puidu tühimikesse ja moodustavad puidupinnale avatud pooridega õhukese kile. Akrüülvaigu osakesed ei suuda suurte molekulide tõttu tungida puidu tühimikesse ja moodustavad puidu pinnale paksema kile, mis suleb puidu poorid.



Joonis 8.22 Viimistlusmaterjalide molekulide suuruse võrdlus: akrülaadmolekuli suurus võrreldes vee- ja lahustipõhiste alküüdlakimolekulidega.

Veepõhised alküüdid ja alküüd-akrüüldispersioonvärvid on enamasti kasutusel välisvärvidena. Alküüdemulsioonide valmistamisel kasutatakse stabilisaatoritena väliseid pindaktiivseid aineid, et moodustuks tõeline emulsioon. Nende tootmine põhineb faaside eraldumise protsessil. Suure nihkeviskoossusega segamisel lisatakse alküüdile järk-järgult vett, kuni leiabki aset faaside eraldumine, mille tulemuseks on väiksemad värviosakesed kui emulgeerimisel. Alküüdide ja polüestrite probleemiks hoiustamisel on hüdroolüüs ehk lagunemine veetoimel (nt estrid lagunevad alkoholiks ja happeks), mistõttu tuleb neid enne kasutamist veega vedeldada ja sellest ka termin veega vedeldatavad vaigud (*water thinnable resins*). Hüdroolüüsi vältimiseks saab ftaalhappe anhüdriidi asendada isofteelhappega. Happerühmad saab omakorda ristsiduda veeslahustuva heksametülool-melamiiniga eriomadustega värvisegu saamiseks.

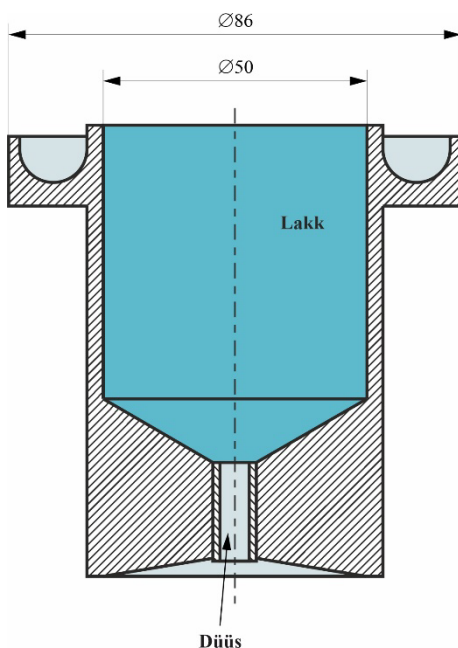
Joonisel 8.23 on näidatud lahusti või lahjendi eraldumine kahe erineva mehhanismiga toimival lakikihi kõvenemisprotsessil. Keemiliselt kõveneva lakikihi moodustumisel toimub polümeeriahelate ristsidumine, mis muudab värvikihi või lakikile kõvaks ja lahustumatuks. Füüsikaliselt kõveneva laki- või värvikihi kõvenemisel toimuv lahusti aurustumisel moodustuv viimistluskiht on väiksema kõvadusega ning lahustatav (ristsidemeid ei moodustu) ja seetõttu on võimalik järgmise lakikihi väga hea nake eelmise lakikihihiga.



Joonis 8.23 Lahusti või lahjendi eraldumine lakikihi kõvenemise protsessis.

Viimistlusmaterjali viskoossus

Viimistlusmaterjali viskoossust reguleeritakse pinnalekandetehnoloogiast olenevalt lahustite või lahjendite lisamisega. Viimistlusmaterjali hoiuruumi ja pealekandmiseks kasutatava ruumi temperatuuri muutumisel on otsene mõju viimistlusmaterjali viskoossusele. Laki viskoossust mõõdetakse *Ford Cup*’i meetodil (joonis 8.24). Toatemperatuuril (20 °C) on nt lahustipõhise laki viskoossus väiksem (nt *Ford Cup* 4 järgi 22 s) ja laki voolavus parem, kuid madalamal temperatuuril (12 °C) viskoossus suureneb 28 sekundini. Seetõttu on oluline, et transporditud või jahedast laost toodud viimistlusmaterjal oleks enne selle kasutamist ehk enne pinnalekandmist vähemalt 24 h seisnud tööruumi temperatuuril.

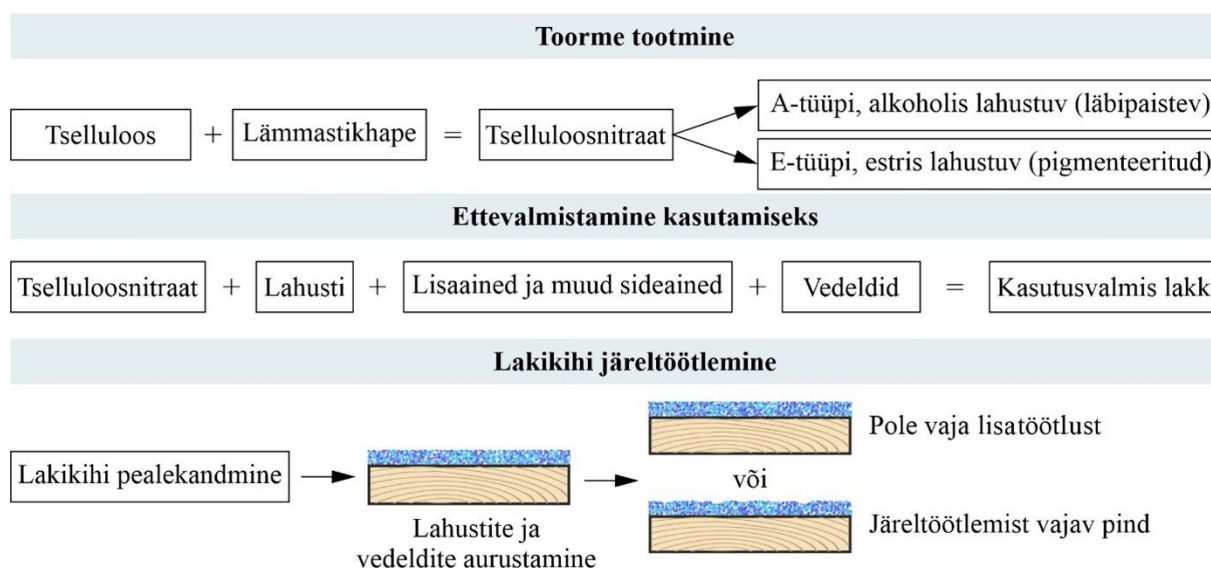


Joonis 8.24 Viimistlusmaterjali (laki, värvi jt) viskoossuse määramine EN 2431 kohaselt (*Ford Cup*’i meetod).

8.4.2 Nitrotsellulooslakid ja -värvid

Nitrotsellulooslaki (nitrolaki) ja -värvi (NC- või CN-lakk, -värv) kilet moodustavaks polümeer-sideaineks ehk põhikomponendiks on sobiva plastifikaatoriga pehmendatud tselluloosnitraat (keemiline rühm tselluloosnitraat C–O–NO₃). Nitrotsellulooslaki lahustiteks sobivad estrid, ketoonid (etanool, butanool) ja glükoolleetrid, vedelditeks tolupeen ja ksüleenid. Sõltuvalt lämmastiksisaldusest eristataksegi a-tüüpi (alkoholilahustuv) ja e-tüüpi (estri lahustuv) nitrotsellulooslakke (joonis 8.25). Alkoholilahustuv tselluloosnitraat on sobiv sideaine mööbli polümeeridele (polituuride) ja matistamisvedelike saamiseks, estrilahustuv tselluloosnitraat aga

toonitavate lakkide (pigmenteeritud dispersioonlakk) valmistamiseks. Lakikile plastifitseerimiseks kasutatakse lisaideainena alküüdvaiku. Puittoodete viimistlemisel asendasid nitrotsellulooslakid šellakviimistluse ja olid laialt levinud kuni suurema kuivainesisaldusega polüuretaanlakkidele üleminekuni. Muud komponendid ja lisandid on plastifikaatorid, matistav lisand (Aerosil), lihvimist hõlbustavad lisandid ja valguskaitsestabilisaatorid, lahustid ja vedeldid. NC- ja CN-lakkidel on üldiselt väga hea ühilduvus teiste lakkidega ja neid on odavuse ja hea alkoholis ja estrites lahustuvuse tõttu kasutatud teiste lakkide modifitseerijatena (voolavus, kuivamine, välimus).

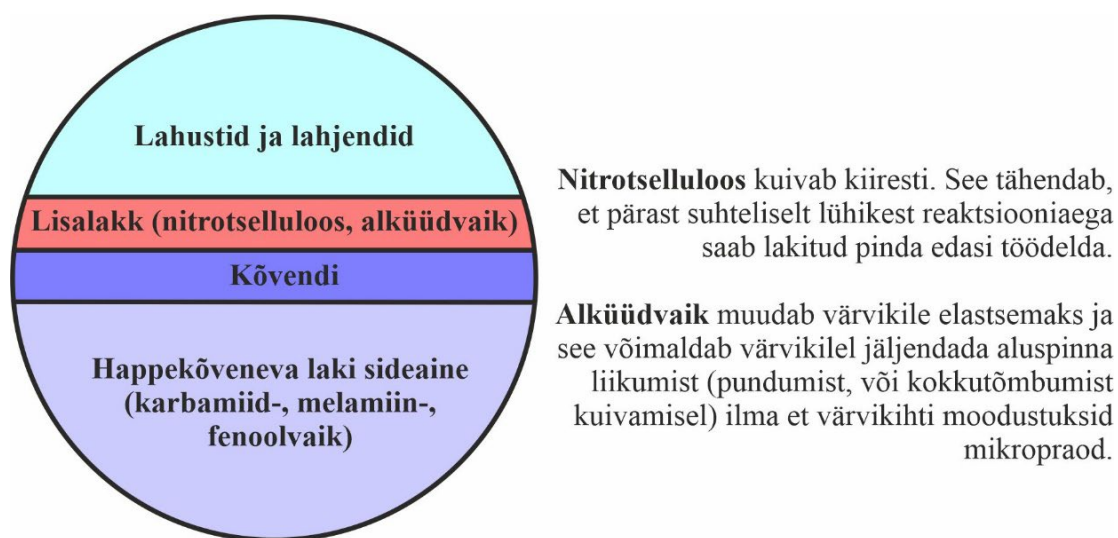


Joonis 8.25 Lakikile moodustumine nitrotsellulooslakikihi kuivamisel.

Lakikiht on väikese kuivainesisalduse tõttu (20–30%) õhuke ja paksema lakikihi saamiseks on vajalik suurem pealekandmise arv. Märg lakikiht kuivab lahusti füüsikalise aurustumisprotsessi tulemusel kiiresti lakikileks, millel on hea läbipaistvus, kõva pind ja mõningane vastupidavus veele. Õhukesel nitrolakikilel on küll kõva pind, kuid piiratud vastupidavus kemikaalidele (sh orgaanilised lahustid), niiskusele, kuumusele, kriimustustele ja halb kulumiskindlus. Lakikile värvitoon võib aja jooksul kolletuda. Lakikile tuleohtlikkuse tõttu peab jälgima, et kuivamistemperatuur oleks optimaalne. Nitrolakikilega kaetud pinda on kerge uuesti töödelda ja seetõttu kasutatakse NC-lakke harvemini kasutuses olevate pindade katmisel nii siseviimistluses kui ka mööbli viimistlusel. Välioludes vananevate puitpindade viimistlemisel tuleks kasutada nitro-kombilakke või nitro-kombivärve (nitrotsellulloossideaine ja alküüdsideaine kombinatsioon).

8.4.3 Happekõvenevad lakid

Happekõvenevate pinnakatete, sh katalüütlakkide ja -värvide, kilet moodustavaks polümeerseks sideaineks on aminoaldehüüdvaik, põhikomponentideks aga karbamiid- ja melamiinvaik, sageli kombinatsioonis alküüdvaigu või nitrotselluloosiga (nitro-kombilakk) (joonis 8.26). Melamiinvaik suurendab laki veekindlust. Keemiliselt kuivava lakikile moodustub keemilise reaktsiooni tulemusena, millega kaasneb lahusti füüsikaline aurustumisprotsess. Happekõveneva laki kõvenemine toimub etapiti: kõigepealt aurustuvad lahusti ja vedeldi, seejärel toimub happekõveneva lakivaigu (karbamiid-, melamiinvaik) ja kõvendi (aminorühmade ja formaldehüüdi) vaheline keemiline reaktsioon (polükondensatsioon), vabanevad formaldehüüd ja laguproduktid (vesi). Karbamiid- ja melamiinvaiku kasutatakse vajalike keemiliste ristsidemete tekitamiseks ka alküüdvaikudel, kuid kile kõvenemiseks toatemperatuuril või kõvenemise kiirendamiseks on vaja katalüsaatoreid. Alküüdvaigu peamine ülesanne happekõvenevas lakis on lakikihi plastsemaks muutmine.



Joonis 8.26 Lakikile moodustumine happekõveneva lakikihi kuivamisel.

Lakikiht on keskmise kuivaine sisalduse (30–50%) tõttu väga hea katvusega ja kasutatakse nii läike- kui ka mattlakkidena. Kuivanud lakikiht on kõva pinnaga ja kulumiskindel, kuid väikese elastsusega. Happekõvenevaid lakke kasutatakse kontori-, kooli- ja köögimööbli (toolide, pindide, laudade) ning siseuste viimistlemisel. Kuivanud lakikihil on väga hea keemiakindlus ja melamiinvaigul põhinevatel toodetel ka hea niiskuskindlus. Lühiajaline kindlus orgaaniliste lahustite ja vedeldite vastu. Happekõvenevad lakid ei sobi ebapiisava niiskuskindluse tõttu

kasutamiseks välioludes vananevate puitpindade viimistlemiseks. Probleem on ka vastupidavusega veeaurule. Alküdvaikude (plastsemaiks) ja nitrotselluloosi lisamine happekõvenevale lakile muudab kuivanud lakikihi omadusi vastavalt massiprotsendile kas rohkem või vähem sarnaseks neist lisaainetest valmistatud lakkide omadustega.

Vaba formaldehüüdi (*free formaldehyde*) emiteerimine kõvenemisel ja ka pärast kõvenemist toob endaga kaasa keskkonnatasude kasvu, mistõttu hinnalt soodsa värvisüsteemi kasutamine mööblitööstuses vähenes. Happekõvenevate lakkide ja värvide uued formaldehüüdivabad versioonid on taas suurendanud nende kasutust mööbli viimistlemisel (vt tabel 8.15).

VOC-id

Viimistlusainetes kasutavate lahustite aurustumisel asetleidvate kergesti lenduvaid ühendeid (VOC-e) defineeritakse järgmiste füüsikaliste parameetrite abil:

- keemistäpp;
- aururõhk;
- kemikaal, mis on fotokeemiliselt aktiivne ja reageerib atmosfäärirõhul ja emiteerib saasteaineid keskkonda (osoon, vabad formaldehüüdid jt).

Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiviga 2004/42/EÜ muudeti direktiivi 1999/13/ EÜ. Direktiivi eesmärk on vähendada dekoratiivvärvidest ja sõidukite viimistlustoodetest pärinevate lenduvate orgaaniliste ühendite (*volatile organic compound*, VOC) heitest tulenevat negatiivset keskkonnamõju. Selleks kehtestatakse nendele toodetele VOC-i sisalduse piirnormid. VOC on iga orgaaniline aine või ainete segu, mille keemistäpp on normaaltemperatuuril 20 °C ja aururõhul 0,01 kPa. Euroopa ehitussektoris kehtiv direktiiv 2004/42/CE defineerib VOC-id igas orgaanilises ainesegus, mille keemistäpp rõhul 101,3 kPa on madalam kui 250 °C. Mõningate läbipaistvate pinnakattematerjalide indikatiivsed kuivainesisaldused ja VOC-id, mille emissioon toimub pinnale peale kandmisel, on toodud tabelis 8.15.

Tabel 8.15 Läbipaistvate pinnakattematerjalide VOC-id

Pinnakattematerjal	Kuivainesisaldus, %	VOC, %
Lahustipõhised puidupeitsid	1–10	90–99
Vesialusel puidupeitsid	1–20	3–10
Lahustipõhised immutuspetsid	10–20	80–90
Vesialusel immutuspetsid	10–20	2–8
Alküüdlakid	30–50	50–70

Nitrotsellulooslakid	15–25	75–85
Karbamiidformaldehüüdlakid	25–40	60–75
Kahekomponentsed polüuretaanlakid	30–40	60–70
Kahekomponentsed suure kuivaine-sisaldusega polüuretaanlakid	45–60	40–55
Kahekomponentsed akrüüllakid	15–30	70–85
Polüesterlakid	60–85	15–40
UV-kõvenevad polüesterlakid	60–95	5–40

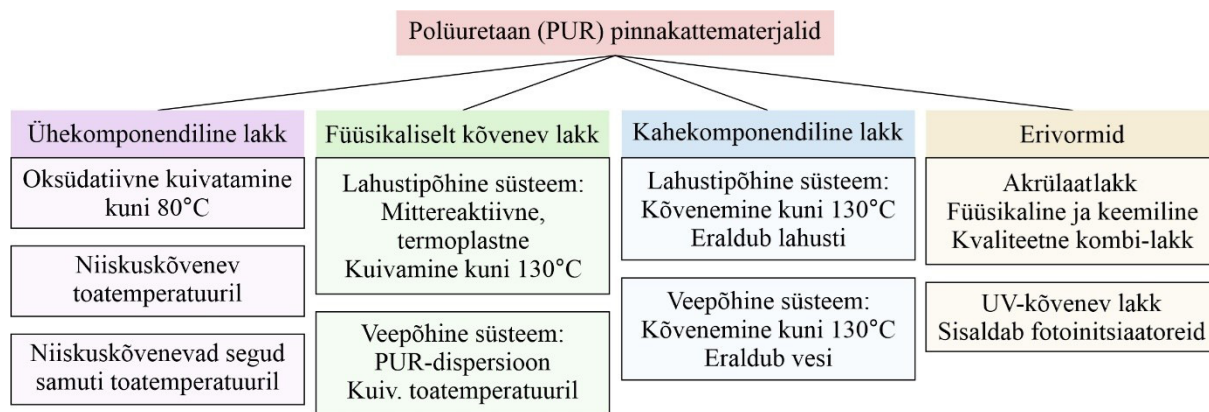
VOC-ide mõõtmiseks lahustipõhistes toodetes kasutatakse standardit ISO 11890-1 ja mittelen-
duvate ühendite mõõtmiseks ISO 5251 ning tiheduse määramiseks ISO 2811-1 meetodit. Vee-
sisalduse määramiseks kasutatakse tiitrimist Karl Fischeri reagentiga ISO 760 meetodi järgi ja
VOC-i sisaldus arvutatakse g/l kohta. Vesialusel viimistlustoodetes kasutatakse standardit ISO
11890-2 ja VOC-ide eraldamiseks gaaskromatograafia meetodit, mida saab kasutada ka lahus-
tipõhiste lakkide iga üksiku komponendi tuvastamiseks.

8.4.4 Polüuretaanlakid ja -värvid

Kahekomponentsete polüuretaanlakkide ja -värvide komponentideks on baassideainena spet-
siaalne polüestervaik ehk polüool ja kõvendi diisotsüanaat või metüleen-difenüüldiisotsüanaat
(MDI). PUR-laki omadusi saab modifitseerida suure pinnakõvadusega lakist elastse lakini.
Lakikile saamiseks on olemas nii füüsiliselt kuivavad kui ka keemiliselt või oksüdatiivselt
ristseotud polüuretaanlakid (joonis 8.27). Põhilakki saab toonida, lisades värvaineid. Tabelist
8.16 nähtub, et tolueendiisotsüanaadist (TDI) saadud isotsüanuraadist toodetud PUR-lakkidel
on suurem pinnakõvadus kui heksametüleendiisotsüanaadist (HDI) saadud isotsüanuraadist
toodetud PUR-lakkidel, millest saadud pinnakatetel on suurem elastsus ja mis ei kolletu (tabel
8.16).

Tabel 8.16 TDI ja HDI isotsüanaatide mõju lakikile omadustele

Kiire ristsidumine	TDI (tolueendiisotsüanaadist) saadud isotsüanuraat	Kõva pinnakate	Kolletuv lakikiht
	TDI (tolueendiisotsüanaadist) ja HDI (heksametüleendiisotsüanaadist) saadud isotsüanuraat		
Aeglane ristsidumine	HDI (heksametüleendiisotsüanaadist) saadud biureet (trimeerse struktuuriga)	Elastne pinnakate	Mittekolletuv lakikiht

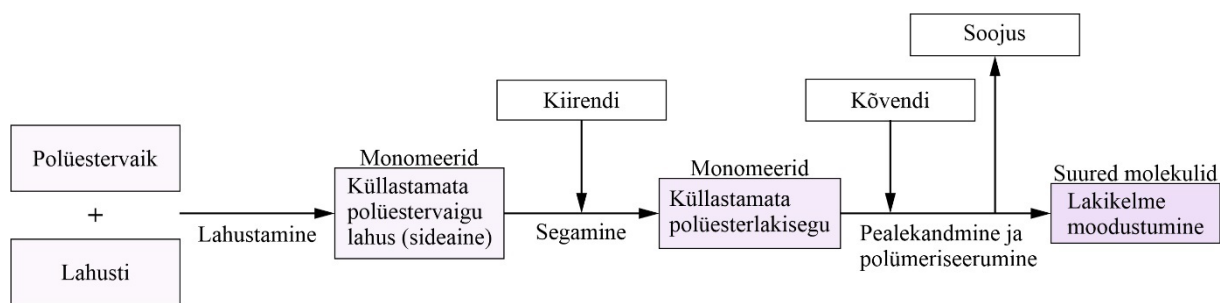


Joonis 8.27 Lakikile moodustumine PUR-laki kuivamisel.

PUR-lakikiht võib kolletuda, kui seda kantakse vesinikperoksiidiga pleegitatud puidupinnale. Selle kolletumise vältimiseks tuleb enne pleegitatud puidupinnale kanda isoleeriv aluskrundi kiht. PUR-lakikile on täielikult kõvenenult väga vastupidav kemikaalidele (nt leelised ja alkohol) ning rasksüttiv. PUR-lakid sobivad viimistluseks paljudele puiduliikidele, kuid ei sobi õlise pinnaga tiikpuule (lad k *Tectona grandis*) ega õlitatud puidupindade viimistlemiseks, sest õlitatud pinnale tekib PUR-lakikihi kandmisel hallikas hägune kiht. Isoleeriva aluskrundi kihina võib kasutada vastavat PUR-kruntlakki, mis kaitseb vahe- või pealislakikihti selle kõvenemist takistavate puidu ekstraktiivainete eest. PUR-lakk nakkub elastse või kõva lakikihi hästi ka raskviimistletavatele pindadele. Sõltuvalt kõvendi tüübist on PUR-lakkidel väga hea valguskindlus. Läbipaistvad PUR-lakid ei sobi praguliste pindade viimistlemiseks. PUR-lakke kasutatakse eelkõige seal, kus on oluline suur vastupidavus ja niiskusekindlus, nt põrandate ja treppide, iste-, kooli-, labori-, köögi- ja vannitoamööbli viimistlemisel.

8.4.5 Polüesterlakid ja -värvid

Polüesterlakid olid kõrgläikega mööbli tootmisel väga levinud, kuna neid sai peale kanda paksu kihina (0,3–1 mm), mis ei pragunenud ja mida sai poleerida kõrgläikeneni (nt klaverite viimistlemisel). Kemikaali- ja tuleohtlikkuse ning keeruka töötamise tõttu kasutati neid selleks spetsiaalselt varustatud ettevõtetes, et vähendada lenduvate orgaaniliste ühendite (VOC) keskkonda satumist. Nüüdseks on keskkonnamõju vähendamiseks polüesterlakkide kasutus vähenenud, sest tavakasutuse jaoks saab kõrgläikega pindu toota PUR-lakisüsteemide abil. Küllastumata polüesterlakid ja -värvid on mitmekomponentsed: a) aluslakk (küllastumata polüester- või -polüstüreenvaik), b) kõvendi (peroksiidiühendid, nt metüületüülketoon, MEK), c) kiirendi (koobaltiühendid), d) parafiin või vaha (kaitseb hapniku sissetungi eest), e) stabilisaatorid, f) värvained, g) lahustid ja vedeldid (vt joonis 8.28).



Joonis 8.28 Lakikile moodustumine polüesterlaki kuivamisel.

UV-kõvenevad polüesterlakitid avatud pooridega pinnaviimistlemiseks on parafiinivabad ja sisaldavad rohkem kuivaineid. Polüesterlaki pealekandmine rullvaltsidega on kasutusel plaatmaterjalide ja plaatjate mööblidetallide viimistlemisel. Polüesterlaki voolavusomadused on head (madalaim töötemperatuur 12 °C), s.t. värskest peale kantud lakk voolab hästi ühtlaseks pinnakattekihiks. Soovitud lakikihi paksuse saamiseks saab peale kanda ühe paksu kihi või mitu kihti koos vahelihviga. Lakikiht on võrreldes teiste pinnakatematerjalidega paksem, kõva ja kõrgläikeni poleeritav.

8.4.6 Alküdolakid ja -värvid

Alküüdid on küllastumata rasvhappega (kuivava õliga) modifitseeritud polüestrid ftaalhappe anhüdriidist ja mitmealuselisest alkoholist (pentaftel- ja glüftaalvaigud) või kopolümeerid (uretaanalküüdid). Alküüdid sisaldavad 30–60% rasvhappeid ja neid liigitatakse väikese, keskmise ja suure õlisisaldusega (*short, medium, long oil*) alküüdideks. Alküüdlakid ja -värvid on odavad, elastsed, hästi vastupidavad keskkonnaoludele (ilmastik, temperatuur kuni 130 °C) ja kulumisele. Seetõttu kasutatakse neid ehitusdetailide viimistlemisel. Alküüdvaigul põhinevad tooted on pealekantavad elektrostaatiliselt väljas, kuid ei kuiva tehnoloogiliselt vastuvõetava aja jooksul, mistõttu ei kasutata neid mööblitööstuses. Vanade hoonete restaureerimisel kasutatakse alküüdvärve uste ja akende tööstuslikul viimistlemisel.

Alküüdlakke iseloomustab keskmine või suur kuivaine sisaldus ja nende kuivamine toimub nii füüsikalise kui ka keemilise protsessina (aeglaselt kuivav, väike kuivamiskiirus). Neid kasutatakse peamiselt välioludess. Probleemiks on suure lahustikoguse aurustumisel vabanevad VOC-id. Enam kasutust leiavad veepõhised alküüdid.

Olenevalt modifikatsioonist jagatakse alküüdlakid ja -värvid füüsikaliselt kuivavateks, oksüdeeruvateks või keemiliselt kõvenevateks (joonis 8.29). Oksüdatiivselt ja keemiliselt kõvenevad alküüdlakid on tavaliselt elastsemad kui füüsikaliselt kuivavad alküüdsüsteemid. Oksüda-

tiivselt kuivavatel alküüdvaikudel on esterifikatsioon kuivava õliga või selle rasvhappega (nt lina-, soja- või männiõli), mistõttu alküüdvaigud jagunevad ka linaõlialküüd-, sojaalküüd- ja männiõlialküüdvaikudeks. Oksüdeerudes kuivamiseks vajalik kuivava õli sisaldus on 40–80%, sellest väiksema õlisisalduse (< 40%) korral alküüdvaik ei kuiva. Oksüdatiivselt kuivavate alküüdide puuduseks on lakikile aeglane kuivamine (6–24 h). Oksüdeerudes kuivava suure õlisisaldusega (60–80%) alküüdlaki või -värvi saab dispergeerida vette ja kasutada veega vedeldatuna puitfassaadide ja -siseseinte viimistlemisel. Veega lahjendatavate alküüdvaigusüsteemide kõrval kasutatakse alküüdvaike ka alifaatsete lahustipõhiste süsteemidena.

Alküüdvaigud võivad sisaldada lisaaineid, mis kiirendavad kuivamist ja värvipigmente. Oksüdeerudes kuivavaid alküüdvaike saab modifitseerida tselluloosnitraadi, stüreeni, isotsüanaadi, epoksüvaigu, silikooni või polüamiidiga (nt stüreenalküüd-, uretaanalküüd-, epoksüesteralküüd-, silikoonalküüd-, polüamiidalküüdvaik). Modifitseerimine (segamine) tagab järgmised omadused: lakikile parem esimene kuivamine (tselluloosnitraadiga), lakikile parem nake ja keemiline vastupidavus (epoksüvaiguga), lakikile parem kulumiskindlus, veekindlus ja keemiline vastupidavus (uretaaniga), lakikile parem kuumus-, vee- ja ilmastikukindlus (silikooniga), märja laki parem stabiilsus kile moodustamiseks (polüamiidiga) ja suur kuivainesisaldus (kõik alküüdid).

Alküüdvaikude kuivamismehhanism on sama nagu kuivavatel õlidel, kuid kuna nende molekulaarmass on suurem, siis toimub polümeeriahelate ristsidumine ja viimistluskihi kuivamine lühema aja jooksul. Pikaahela õlidega alküüdid autooksüdeeruvad toatemperatuuril. Tööstuslikuks kasutamiseks modifitseeritud lühema ahelaga õlile antakse ka võime toatemperatuuril autooksüdeerida.

Kuivavad alküüdid. Kuivavad alküüdid on peamiselt keskmise või pika ahelaga ja neid kasutatakse laialdaselt välioludes fassaadivärvina. Siseoludes kasutamist piiravad lahustipõhiste toodetele kehtivad regulatsioonid.

Polüamiidiga modifitseeritud tiksotroopsed alküüdid. Kontrollitud tingimustes reageerivad alküüdid osaliselt polüamiidiga. Selliselt modifitseeritud vaigul on tiksotroopsed omadused, mis muudavad vaigu viskoossust segamisel ja käsivärvimisel nihkejõudude mõjumise tõttu. Kui jõu mõju lakkab, siis värv tihkestub ja suurema paksusega peale kantud vedela värvi kiht ei tilgu ega voola gravitatsiooni mõjul värskelt värvitud seina- ega laepinnalt maha. Neid värve kasutatakse välioludes fassaadivärvina.

Polüuretaaniga modifitseeritud alküüdid. Alküüdimolekulis olevad vabad hüdroksüülrühmad reageerivad isotsüanaadiga ja tekitavad uretaansidemed ja suurendavad molekulmassi. Uretaansidemed suurendavad kuivanud värvikihi kõvadust, läiget ja parandavad mehaanilisi omadusi. Kuivamisprotsess on lahusti kiirema aurustumise tõttu kiire. Polüuretaaniga modifitseeritud alküüdides ei sisaldu vaba isotsüanaati ja need on kasutatavad värvides kas üksi või teiste alküüdidega segatult. Neid kasutatakse laialdaselt välioludesse mõeldud värvides ja õlilakkides.

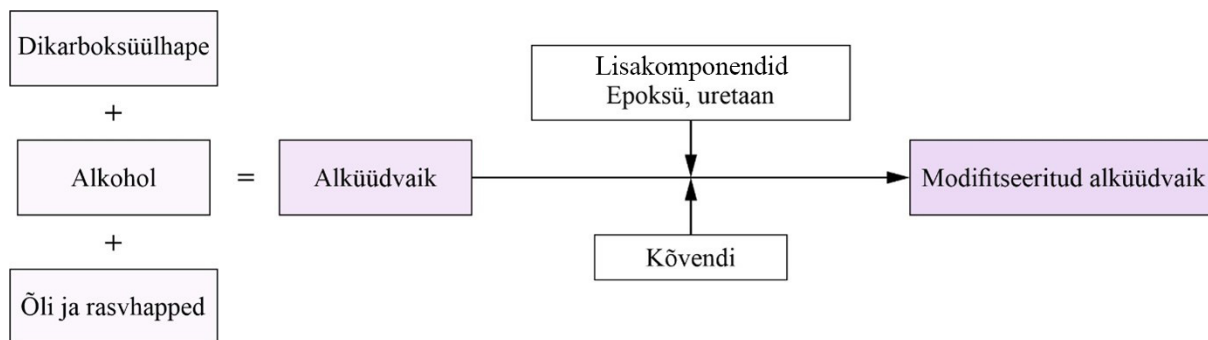
Polüestritega (vinüüli ja stüreeniga) modifitseeritud alküüdid. Stüreeni ja tolueeni saab kopolümeriseerida rasvhapetega moodustuvate kaksiksidemetega, mille tulemusel suureneb kõvadus ja lüheneb kuivamisaeg, kuid korduvate viimistluskihtide nakkumine ei pruugi olla piisav. Peamiselt kasutatakse tööstuslikes viimistlusmaterjalides.

Slikoonidega modifitseeritud alküüdid. Silikoonvaikude funktsionaalsed hüdroksüül- ja metok-süülrühmad reageerivad alküüdimolekulis olevate vabade hüdroksüülrühmadega ja selle tulemusena moodustub hüdrofoobsem polümeer. Värvikihi vastupidavus ja läikepüsivus paranevad, kuid kasvab hind. Välioludes vananemisel ei teki kriitjat pinnakihti, kuid samas sadestub rohkem tolmu ja mustust, kuna pinnakatte isepuhastumise võime väheneb.

Mittekuivavad alküüdid. Mittekuivavatel õlidel põhinevad alküüdid on kasutausel plastifikaatoritena ja kombineerituna kõvade pinnakatetega nagu nitrotselluloos.

Veeslahustuvad (lahustatud või emulgeeritud) alküüdid. Need on vähese keskkonnamõjuga materjalid.

Suure kuivainesisaldusega alküüdid. Kergesti lenduvate ühendite emissiooni vähendamiseks on paljud tootjad välja arendanud suure kuivainesisaldusega alküüdid, mille VOC-i lenduvus on küll alla 200 g/l, kuid sellega kaasneb ka kõrgem hind. Teine võimalus on asendada lahusti suurema reaktiivsusega väikese molekulmassiga oligomeerse vedeldiga. Suure kuivainesisaldusega alküüdid on moodustunud suure molekulmassiga 12 000–20 000 (u.m.a), selleks kasutatakse suuresti hargnenud rasvhapete estreid, millel on allesjäänud funktsionaalseid vabu hüdroksüülrühmi reageerimaks polüfunktsionaalsete hapetega. Suure kuivainesisaldusega alküüdvaikude probleemiks on see, et kile moodustumiseks vajalik polümeeriahelate ristsidumine toimub tavapärasest erineval viisil, mistõttu värvikiht võib peale kandmise järgselt vertikaalpinnalt maha tilkuda või vajuda (*sagging*). Seetõttu on pihustamise teel neid pinnakatteid raskem peale kanda õhukese kihina, mistõttu on rohkem levinud veepõhiste alküüdide kasutamine.



Joonis 8.29 Lakikile moodustumine alküüdlaki kuivamisel.

Alküüdvaigulaki struktuuri ja modifitseeritud lakisegude erinevuste tõttu on võimalik saada väga erinevate omadustega lakikiled. Alküüdvaiklakkidel ja -värvidel on palju häid omadusi ja lai kasutusvaldkond: põrandate, parketi, treppide, akende ja puitfassaadide, sise- ning välisuste, köögi-, vannitoa- ja aiamaa viimistlemisel. Alküüdlaki või värvikiht on ilmastikukindel, kuid ei talu pidevat kokkupuudet veega. Alküüdvaiklakkid kinnituvad hästi puidust aluspinnale. Vananenud puitpindadele sobivad ainult pigmenteeritud värvid. Alküüdide puudusteks on suhteliselt madal keemiline vastupidavus (eriti leeliseliste ainete suhtes), järk-järgult toimuv lakikile rabedaks muutumine, pragunemine ja kolletumine ning pinnaläike kadumine (seotud kriidi kasutamisega lakisegus).

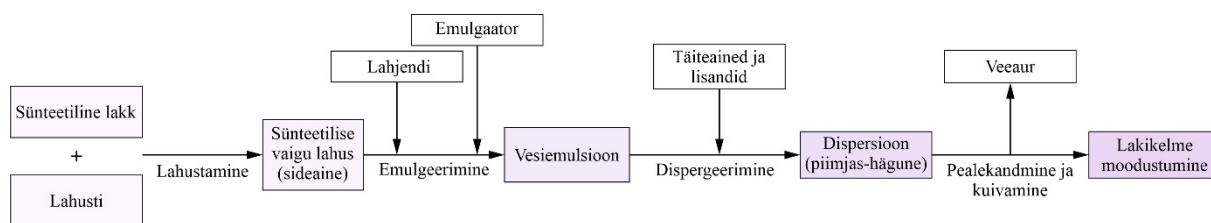
8.4.7 Akrüüllakid ja -värvid

Akrüülvaigud saadakse akrüülmonomeeride CHFCH-COOH polümeriseerumisel. Termoplastsetel molekulidel võib olla võõrmolekulide ühenduste kaudu erinevaid funktsionaalrühmi. Akrüüllakid võivad sõltuvalt molekulaarstruktuurist olla füüsikaliselt kuivavad, õhu käes toatemperatuuril kuivavad, kuumaõhu käes kõvenevad või keemilise ristsidumise teel kõvenevad. Ristsidumata akrüüllakkidel funktsionaalsed rühmad puuduvad. Pigmenteeritud värvid ja pigmenteerimata lakid, mille kuivainesisaldus on 40–60%, kõvenevad tavaliselt ainsa kilemoodustaja ehk sideaine toimele. Akrüülvaikude lahustiteks on alifaatsed lahustid ja veega lahjendatava akrüüllakisüsteemides vesi. Ristsidumata akrüüllakid võib pinnaläike alusel jagada kõrglääkest kuni tuhmi matini. Väliselt ristseotavad akrüüllakid kas ühekomponentsete lakkide või kahekomponentsete süsteemidena ja ühekomponentsed vesilakid (nn vesialusel lakid) moodustavad lakikile füüsikalise kuivamise teel, seejärel mõnikord osaliselt oksüdatiivselt kuivades või täiendava ristsidumisega. Kahekomponentsed vesialusel lakid on happelise kõvenevad ja sisaldavad tavaliselt ka veega lahjendatavaid ristsiduvaid vaike (nt melamiinvaiku). Kõrge kuivai-

nesisaldusega akrüülvaigud kõvenevad UV-kiirguse mõjul ja on seega keskkonnasõbralikumad. Akrüüllakiga töötamine ja pealekandmistehnoloogia on sarnane alküüdvaigulaki omaga. Lakikile nakkub hästi aluspinnaga, on kõva, kuid elastne. Lakikile on suure vee- ja leelisekindlusega. Mõned akrüülvaigulakid kollanevad välioludes ning on vastuvõtlikud rabadusele ja läike kadumisele.

8.4.8 Vesialusel lakid ja värvid

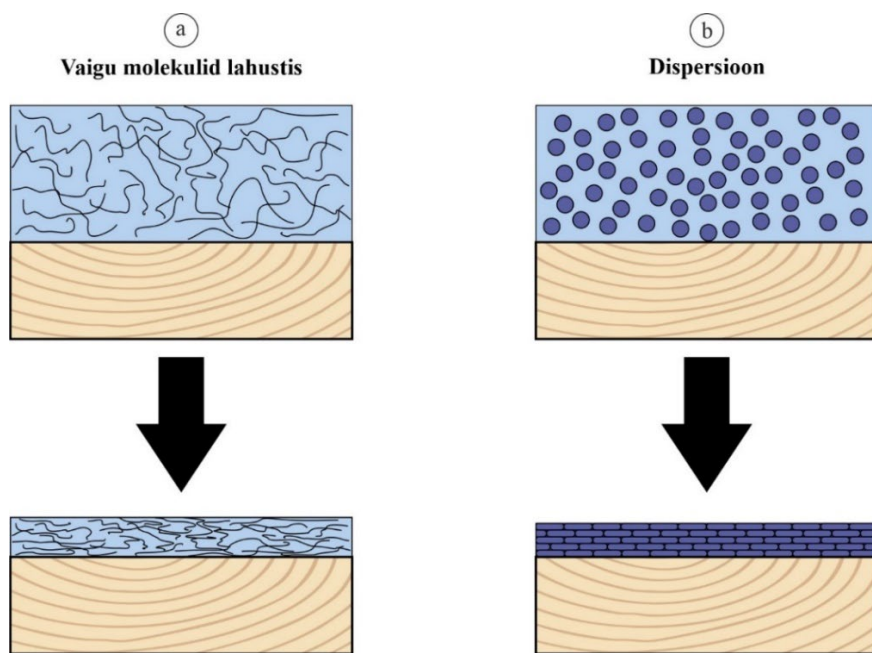
Vesialusel lakkides on vesi peamine lahusti või lahjendi. Orgaaniliste lahustite ja vedeldajate osakaal jääb vahemikku 3–10%, nii et vesialusel lakkide keskkonnamõju väheneb. Vesialusel lakid on klassifitseeritud vähese keskkonnamõjuga viimistlusmaterjalideks.



Joonis 8.30 Lakikile moodustumine vesialusel lakikihi kuivamisel.

Nende lakkide sideaine koosneb sünteetilistest vaikudest, nagu polüüretaan-, polüester-, alküüd- ja akrülaatvaigud (joonis 8.30). Need modifitseeritud vaigud lahustuvad vees ja orgaanilistes lahustites.

Vesialusel sünteetilisi vaike toodetakse dispersioonina nende sideaineosakeste suuruse tõttu umbes 1–40 nm, mitte tegelikult värvilahusena (*true solvent*). Kuivaine sisaldus on tavaliselt 30–35%. Pärast vee aurustumist moodustavad vesialusel laki sideaineosakesed lakikile. Pärast füüsikalist kuivamisprotsessi ehk vee aurustumist toimub keemiline protsess ehk ristsidumine UV-kiirgusega kiiritamise teel (joonis 8.31). Lakikiht kõveneb pärast vee aurustamist sideaine reageerimisel ristsiduva komponendiga (kõvendi). Vesialusel ühekomponentsete lakkide (nt puhas akrülaatdispersioon ja akrülaat-PUR-dispersioon) kõvenemine toimub füüsikalise kuivamise teel, mil pärast vee aurustumist moodustavad sideaineosakesed koalestseerumise teel lakikile. UV-kõvenevate vesialusel lakkide või küllastumata akrüülvaikude korral toimub füüsikalise-keemiline kuivamine ehk kõvenemine kuni vee aurustumiseni, mille järel lakikiht kõvendatakse lõplikult UV-kiirguse mõjul toimuva keemilise ristsidumise teel. Füüsikaliselt



Joonis 8.31 Lakikile moodustumine: a – lahustipõhise laki kuivamisel, b – vesialusel lakikihi kuivamisel.

ja keemiliselt kuivavatele ja kõvenevatele kahekomponentsetele lakkidele lisatakse kõvendit (nt kahekomponentsed vesialusel lakisüsteemid, akrülaat-PUR-dispersioonid), vee aurustumisele järgneb keemiline kõvenemine kõvendiga ristsidumise teel. Lakikihi moodustumine on akrüül- või polüuretaandispersioonlaki puhul aeglasem, kuna lisaks veele sisaldab see ka muid lahusteid (lakikihi õhupooride ja toote servadelt alla tilkumise vältimiseks). Vesialuselise lahustisüsteemi korral mõjutab vee aurustumiskiirust ruumi õhuniiskus ja latentne soojus, ehk vaja on tõsta temperatuuri ja selleks tuleb kulutada rohkem energiat, et lakikihi kõvenemist kiirendada. Vesialusel lakikiht on väiksema kõvaduse ja kulumiskindlusega ning madalama pinnaläikega võrreldes lahustipõhiste ja hapekõvenevate lakkidega.

8.4.9 UV-kõvenevad lakid ja -värvid

UV-kiirgusega kokkupuutel vabanevad lakki või värvi sisseviidud radikaalidest fotoinitsiaatorid, mis seejärel käivitavad lakikelme polümerisatsiooni. Akrülaatidel või küllastamata polüestertervakudel põhinevaid ultraviolettkiirguse mõjul kõvenevaid lakisüsteeme iseloomustab vastupidavus, neid saab toota 98–100% kuivainesisaldusega. UV-kõvenevaid lakke kasutatakse valdavalt siseruumides, peamiselt parketi ja laminaadi tootmisel ja mööblitööstuses, kuna nende ilmastikukindlus on väike. Neid lakisüsteeme kantakse rullvaltside abil puidu pinnale nii krunt- kui pinnalakina ning need kõvenevad UV-kiirguse mõjul mõne sekundi jooksul. Kasutatakse polüakrülaatide baasil vees lahjendatavaid lakisüsteeme kuivainesisaldusega 35–40%.

Pealekantud lakikile kuivatatakse kõigepealt füüsiliselt, millele järgneb eelkuivatatud laki-pinna keemiline kõvendamine ultraviolettkiirgusega. UV-kiirgusega kõvendatavates lakkides kasutatakse suure keemilise reaktiivsusega tooraineid, mistõttu lakkidega töötamise ajal tuleb täita kemikaalide ohutu käitlemise nõudeid ja kasutada isikukaitsevahendeid. Igati tuleks vältida UV-kõvenevate lakkide kokkupuudet nahaga. UV-kõvastuvaid lakisüsteeme iseloomustab väga kõrge keemiline ja mehaaniline vastupidavus. Kui kõvenenud UV-lakikihile kantakse peale järgnev lakikiht, tuleb vahelihvimise abil tagada, et järgnev lakikiht saaks piisavalt hästi mehaaniliselt kinnituda varem lakitud pinnale. UV-kõvastuva lakisüsteemi kõvenemine toimub ainult ultraviolettkiirguse abil. Tuleb tagada, et kõiki lakiga kaetud pinnaosi oleks UV-kiirgusega piisavalt kiiritatud. UV-lampide kasutamisega on piiratud ja nende kiirguse intensiivsust tuleb regulaarselt kontrollida. Lisaks UV-kõvenemisliiniga seotud investimiskulule tuleb arvestada ka muude kuludega (elekter, UV-lampide vahetus). Eesmärk on asendada RLVD kõrgsurveelavhõbeda UV-lambid energiasäästlike LED-UV-lampidega.

8.5 Viimistlustehnoloogia põhiprotsessid

Edukas puidupinna viimistlus sisaldab mitut tööetappi: aluspinna eeltöötlus, viimistlusmaterjali kihi pealekandmine ning selle kileks kuivamine ja lõplik kõvenemine. Protsess võib sisaldada ka vaheoperatsioone, nt vahelihvi kahe viimistluskihi vahel ja viimistluskihi poleerimist soovitud läikeastme saavutamiseks.

Kokkuvõtvalt võib neid tööetappe nimetada viimistlustehnoloogia põhiprotsessideks, mis on peamiselt seotud tööstuslikult tehases viimistletavate puittoodetega – tiseritooted, mööbel, põrandakatted, ukSED ja aknad, fassaaditooted. Viimistlusmaterjalide pealekandmismeetodite klassifitseerimiseks on mitu võimalust:

- kontaktmeetodite või kontaktivabade pihustusmeetodite järgi;
- mehhaniseerimise taseme järgi:
 - käsitsi pealekandmine;
 - mehhaniseeritud pealekandmine;
 - robotiseeritud pealekandmine;
- pealekantava viimistlusmaterjali suhtelise hulga järgi:
 - pinnale kantakse vajalikul hulgal viimistlusmaterjali;
 - pinnale kantakse ülehulgaga viimistlusmaterjal ja seejärel liigne materjal eemaldatakse.

Pealekandmisprotsessi käigus muudetakse pakendisse kondenseeritud viimistlusmaterjal enam-vähem ühtlaseks kileks siledaks lihvitud puitpinnal. Viimistlusmaterjale kasutatakse nii pulbrilisel kui ka vedelal kujul ning seetõttu on ka nende pealekandmiseks kasutatavad meetodid erinevad. Vedelal kujul viimistlusmaterjalide pealekandmiseks kasutatakse kontaktmeetodeid (*contact coating methods*) ja pihustusmeetodeid (*spray coating methods*).

Kontaktmeetodid põhinevad kolme elemendi – pealekandmissüsteemi, peale kantava viimistlusmaterjali ja viimistletava pinna – omavahelisel pideval kontaktil.

Pihustusmeetodid põhinevad viimistlusmaterjali vedeldamisel vajaliku viskoossuseni ja pihustamisel piiskadena viimistletavale pinnale.

Viimistlusmaterjali pealekandmise protsessi valikukriteeriumiteks on nii majanduslikud, keskkonna- kui ka tehnoloogilised parameetrid: tehniline võimekus ja sobivus, töökiirus, viimistlusmaterjali adhesiooniomadused, tootlikkus, pealekandmise tõhusus, seadme hooldus ja tööaeg, pinnakvaliteet.

Kulunormi (*consumption norm*) ehk viimistlusmaterjali kulu pinnaühikule on vajalik teada selleks, et toota kindlaksmääratud töötingimustes ühtlase kuiva kile paksusega tooteid. Viimistlusmaterjali kulu pinnaühikule väljendatakse mahu või massiühiku kuluna pindalaühiku kohta (nt l/m^2 g/m^2 või kg/m^2). Kulunorm sõltub peamiselt seadmete pealekandmiseefektiivsusest, viimistlusmaterjali viskoossusest ja kuivainesisaldusest. Tavaliselt väljendatakse kasutusnormi vahemikuga, mis sisaldab tootest ja tehnoloogiast sõltuvaid miinimum- ja maksimumväärtusi. Kattevõime (*spreading capacity*) on kulunormi pöördväärtus, mida väljendab pindala, mida peaks olema võimalik antud viimistlusmaterjali kogusega katta vajaliku paksusega kile saamiseks (m^2/l või m^2/kg). Viimistlustehnoloogia valimisel peab protsess olema võimeline tagama viimistlusmaterjali kulunormi, mis vastab määratud kattevõimele kindlaksmääratud kile paksuse korral.

Tootlikkust (*productivity*) ehk tootmise läbilaskevõimet väljendatakse pindalaühikutes ajaühiku kohta, nt m^2/min . Kuid tihti on olulisem viimistletud toodete tükiarv ajaühikus ja arvestada ka praagi ja parandatud toodete kogusega. Tootlikkust ja tootmiskulu mõjutab seadistus- ja puhastusaeg viimistlusmaterjali vahetamisel ning tekkinud jäätmete (sh lahusti) kogus.

Pealekandmise efektiivsust (PKE) (application efficiency) väljendatakse puidupinnale kantud viimistlusmaterjali koguse ja tehnoloogilises protsessis selleks kasutatud koguse suhtena protsentides.

$$PKE = 100 * \frac{Q_a}{Q_t} \% , \quad (8.4)$$

kus PKE – tähistab pealekandmise efektiivsus, Q_a , – puidupinnale kantud viimistlusmaterjali kogus, Q_t – kogu tehnoloogilises protsessis kasutatud viimistlusmaterjali kogus.

Mida suurem on PKE, seda väiksem on suhteline viimistlusmaterjali kulu, ehk mida väiksem PKE, seda suurem tooraine kulu ja jäätmete. Pealekandmise efektiivsust suurendades väheneb kergesti atmosfäärilenduvate orgaaniliste ühendite, (VOC) kogus.

Pihustusprotsessil väljaspoole puitdetaili pinda pihustatud viimistlusmaterjali puhul on tegemist selle liighajumisega (overspray), mistõttu tekivad ülejäägid. Tehnoloogilisest protsessist sõltuvalt saab laki või värvi ülejäägi aluspaberi või -kile pinnalt kokku koguda ja osaliselt või täielikult ringlusesse võtta. Sellisel juhul tuleb pealekandmise efektiivsuse arvestusse lisada ka ringlusesse võetud viimistlusmaterjali kogus. Kui pealekandmise protsessi muudetakse, tuleb uuesti arvutada ka pealekandmise efektiivsus, mis on vajalik näiteks lenduvate orgaaniliste ühendite (VOC) emissiooni vähendamiseks. Järgneva valemiga 8.5 saab arvutada värvikulu protsentuaalset vähenemist. Valem 8.5 kehtib juhul, kui kõik protsessi parameetrid (nt laki või värvi vedeldamine) jäävad samaks, sest viimistlusmaterjali viskoossuse vähendamisel tuleb kuivaine sisalduse osas teha arvutamisel parandus.

$$\text{Värvikulu vähenemine (\%)} = 100 * \frac{PKE' (\%) - PKE (\%)}{PKE (\%)}, \quad (8.5)$$

kus

PKE – pealekandmise efektiivsus ja PKE' – lõplik pealekandmise efektiivsus.

Erinevate viimistlustehnoloogiatega saavutavad pealekandmise efektiivsused (vt tabel 8.19) on küll kirjanduse andmete põhjal võrreldavad, kuid sõltuvad nende arvutamisel aluseks võetud viimistlusmaterjali süsteemi, tehnoloogilise protsessi, ringlusessevõtu ja keskkonnanõuete arvestamisest. Tabelis 8.17 toodud PKE protsentuaalseid väärtusi ei võeta absoluutväärtustena.

Tabel 8.17 Erinevate viimistlustehnoloogiatega saavutatav pealekandmise efektiivsus

Pealekandmisviis	PKE, %
Rullvaltsidega pealekandmine	95–100
Kardinaga pealekandmine	95–100
Vaakumis pealekandmine	95–100
Pneumaatiline pihustamine	30–45
Õhuvaba pihustamine	35–50
Elektrostaatilise meetodi abiga pihustatavad süsteemid	40–60
Elektrostaatilise meetodi abiga pöörlevad süsteemid	80–90
Pulberpihustus	95–100

8.5.1 Puidupinna kruntimine

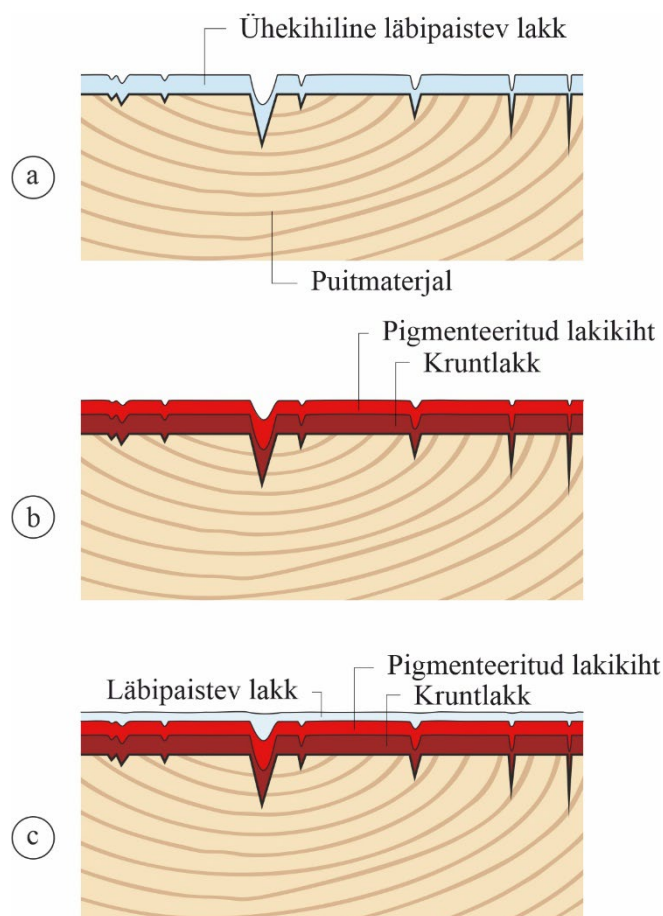
Olenevalt sellest, kas puidu või puidupõhise toote viimistlemiseks on valitud läbipaistev (*protective clearcoat*), poolläbipaistev (*translucent coat*) või läbipaistmatu pinnakate (*opaque paint*) tuleb puidupinda enne viimistlemist kruntida, et suurendada pinnasiledust ja parandada naket lõppviimistluskihiga. Kruntimisele eelnevad puidupinna lihvimine pinnakareduse vähendamiseks ja pinnakihi olevate ebatasasuste pahtliga täitmine. Enne puidupinna lõppviimistluskihi pealekandmist kasutatakse kruntimist erinevate materjalide nakketugevuse suurendamiseks ja ekstraktiivaineid, vaigu või pleegitusaine jääke sisaldava puidupinna isoleerimiseks. Kuid puidupinna viimistlemisel on oluline küsimus, kas puidutekstuur jääb pärast pinnakatte kuivamist nähtavaks või mitte. Aasias on levinud puidu pinnakatted, kus puidutekstuuri ei jää näha; Euroopas rohkem pinnakatted, millest jääb puidutekstuur läbi kumama – ei teki nn plastisarnast pinnaefekti.

Enne laki või värviga katmist tehakse ära ettevalmistustööd: puhastatakse puidupind, seejärel kantakse peale aluspinnakate (esmane viimistluskiht nakke suurendamiseks ja põhiviimistlusmaterjali kulu vähendamiseks).

Aluskrundiga saab puidutekstuuri muuta järgneva pinnavärvi või lakikihi alt mitteläbikumavaks ning suurendada ka UV-kindlust, et puidust aluspind UV-kiirguse mõjul ei tumeneks. Pooritäitelakk (*grain filler*) on kruntlakk (*primer coat, basecoat*), mis täidab eriti rõngassoone-liste puiduliikide pinnal olevad tühimikud ja vähendab sellega lõpp-viimistluslaki kulu. Kruntkihi (*binder coat, undercoat*) pealekandmist nimetatakse kruntimiseks (*laying-in, priming, padding, sealing*). Kruntkihi kuivamise järel ja laki mitmekordsel pealekandmisel kasutatakse pinnakareduse vähendamiseks tehnoloogilist operatsiooni lakk-katte vahelihvimine (*interim sanding of varnish coating*).

8.5.2 Pinnalakid ja -värvid avatud ja suletud pooridega puidupinna viimistluseks

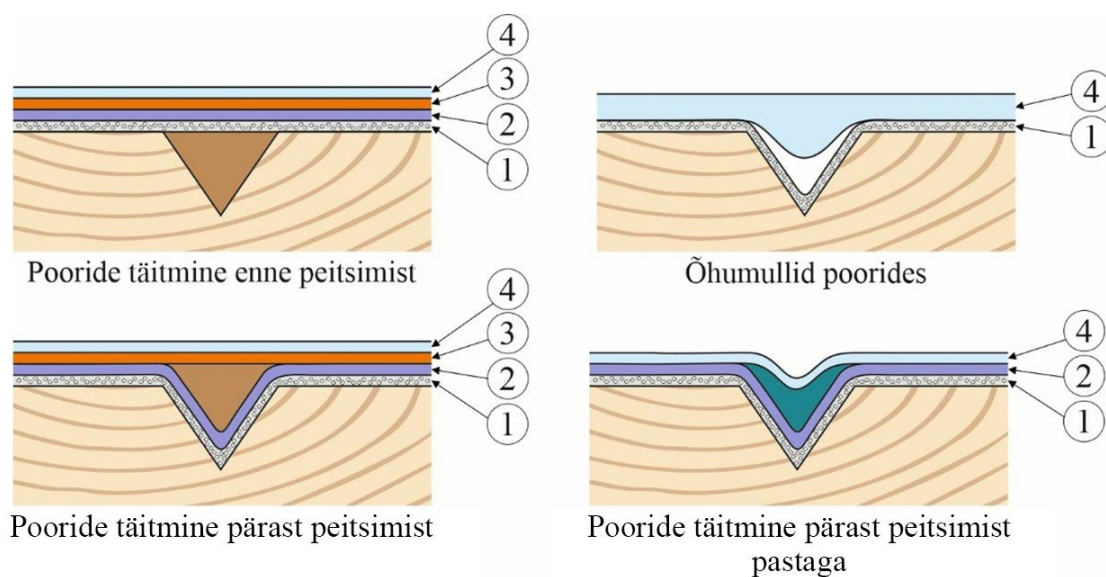
Lõppviimistluskiht võib koosneda ühest või mitmest pinnalaki- või -värvikihist. Pinna lõppviimistluse peamine ülesanne on anda puidupinnale soovitud värvuse ja läikeastmega kaitsekiht, mis taluks pinnale mõjuvaid mehaanilisi, keemilisi ja väliskeskkonnast tingitud pingeid. Kui viimistletavale pinnale ei esitata suuri nõudmisi, võib krundikihi ära jätta (joonis 8.32 a). Kui viimistletava pinna värvitoonile ja läikele esitatakse kõrged nõuded, siis kasutatakse aluspinna kruntimist. Avatud pooridega viimistlusel ei täida kruntlakk puidupinnas olevaid rakutühimikke ega mikrolõhesid. Kui lõppviimistluseks kasutatakse läbipaistvat pinnalakki või ka värvipigmentidega toonlakki, siis kopeeruvad aluspinna konarused järgnevasse viimistluskihtidesse (joonis 8.32). Toonitud avatud pooridega puidupinna puhul kantakse pigmenteeritud toonlakk ühe- või mitmekihilisena aluspinnale või vahekihile. Kui viimistletud pind on suurest värvipigmenti sisaldusest tingitult vähese hõõrdkulumiskindlusega, kantakse toonitud aluspinnale kaitseks 1–2 kihti läbipaistvat pealislakki (joonis 8.32 c).



Joonis 8.32 Puitpinna lõhede ja ebatasasuste kopeerumine läbi ühe- ja kahe- ning kolmekihilise pinnakatte avatud pooridega viimistluse korral.

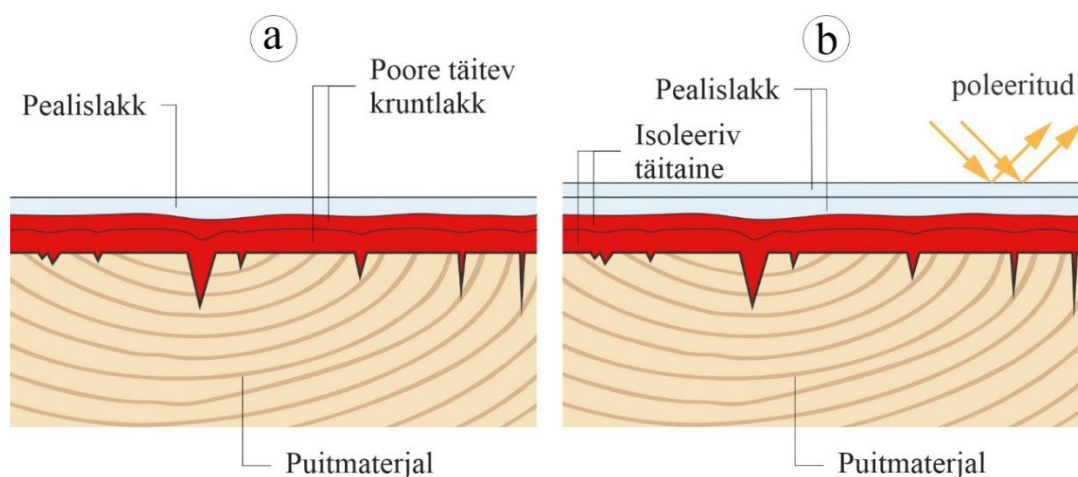
Suletud pooridega pinnaviimistlusel täidetakse aluspinnas poorid pahtliga ja lihvitakse siledaks enne kruntvärviga katmist. Kui pinnakihis suuri tühimikke ei ole, siis kantakse puidupinnale pooretäitev kruntlaki- või -värvikiht ning tehakse vahelihv kahe kruntlaki/kruntvärvikihi vahel ja käsilihv enne pinnavärviga katmist. Pooretäitva krundikihi kasutamine tagab selle, et aluspinna konarused täidetakse ja aluspind lihvitakse enne järgmist viimistluskihti siledaks, mis tagab selle, et ka järgnevad viimistluskihid on pinnakonarusteta (joonised 8.33 ja 8.34). Lõppviimistlusele võib järgneda poleerimine.

Pinnakonarusteta viimistlus saavutatakse mitme viimistluskihi jaoks sobiva vahelihvimisega või märg-märjale süsteemiga krundi pealekandmisega, milles iga järgnev viimistluskiht peab olema nii elastne, et puidust aluspinna pundumisele ja/või kuivamiskahanemisele ei järgne viimistluskihi pragunemist. Pealislaki või -värvi läikeaste võib ulatuda matist (samuti struktureeritud pinnal) kuni kõrgläikeni. Suure värvipigmentdisaldusega pinnavärvide puhul võib puidust aluspinna katta ühe kruntvärvikihiga. Olenevalt nõutavast pinnakvaliteedist võib pooride pahtliga täitmise ja lihvimise ära jätta ning asendada pooretäitva krundiga.



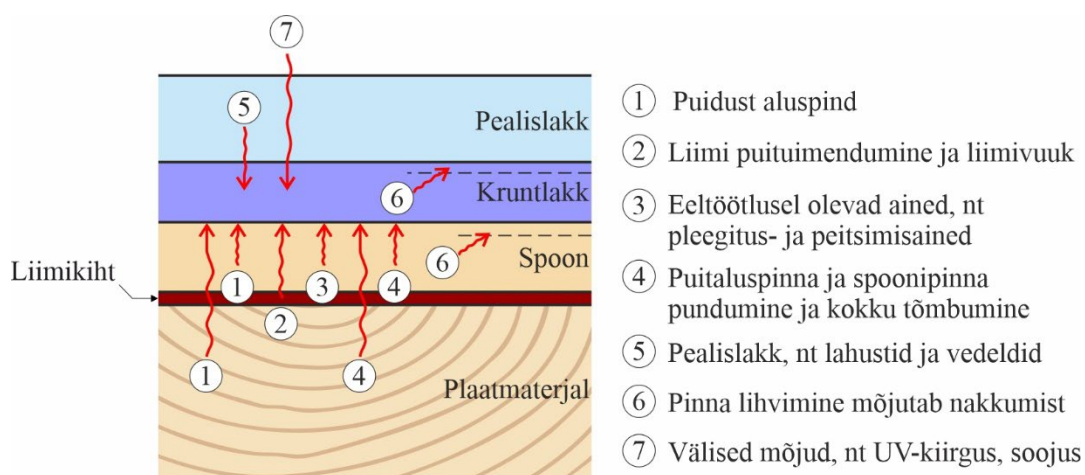
Joonis 8.33 Puidupinnas olevate pooride täitmine enne või pärast peitsimist: 1 – peitsitud poorne puidupind, 2 – kruntlakk, 3 – vahelakk, 4 – pinnalakk.

Puidupinnas olevad tühimikud ehk poorid tuleks täita pahtli või pastaga. Puidu värvitooni ühtlustamiseks kasutatud peitsikihist heledama tooniga pasta või pahtel ei tohi jääda läbi kumama. Peitsitud puidust aluskihti võivad jääda õhumullid, seda aitab vältida aluspinna kruntimine.



Joonis 8.34 Pinnakatted suletud pooridega puidupinal: a – läbipaistev sile pealislakikiht ning b – poleeritud ja pigmenteeritud lakikiht.

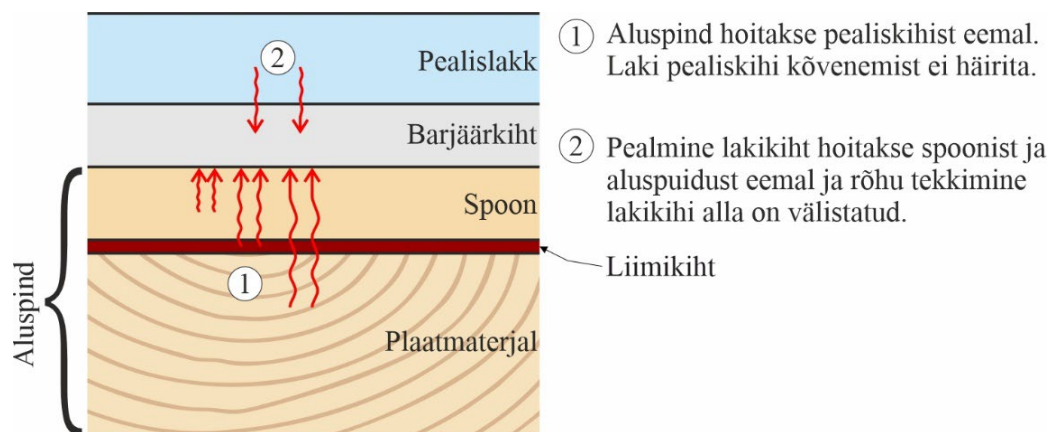
Suletud pooridega puidupinnal kasutatakse aluskihis spetsiaalset elastsete ja isoleerivate omadustega kruntlakki, millega täidetakse aluspinna lõhed ja ebatasasused (joonis 8.34). Kuna pind kaetakse 3–4 lakikihiga, tuleb iga lakikihi järel teha vahelihv, sest märg-märjal süsteemil lakikihte peale kandes kopeeritakse pinnakihi ebatasasused lakikihtide lõplikul kuivamisel edasi järgmisse kihti. Samuti tuleb ka mitme pinnalakikihi korral teha käsitsi ja vähese survega vahelihv. Pinnalakki peab viimistluskihi pealekandmise järel kuivama mitu tundi (vahel kuni 24 h) enne järgmise kihiga katmist, et vältida kopeeruvaid pinnadefekte. Kõrgläike saavutamiseks on oluline lakikihi poleerimine.



Joonis 8.35 Spooniga kaetud puidupinna krundikihi mõju pinnalakikihile.

Joonisel 8.35 on näidatud liimpuitkilbi ja selle pinnale liimitud spooni pundumisest ja kuivamiskahanemisest ning pinna eeltöötluks kasutatud pleegitus- ja peitsimisainetest tulenev mõju kruntlakikihile. Krundikihil on oluline funktsioon kaitsta puidu aluspinda välisniiskuse,

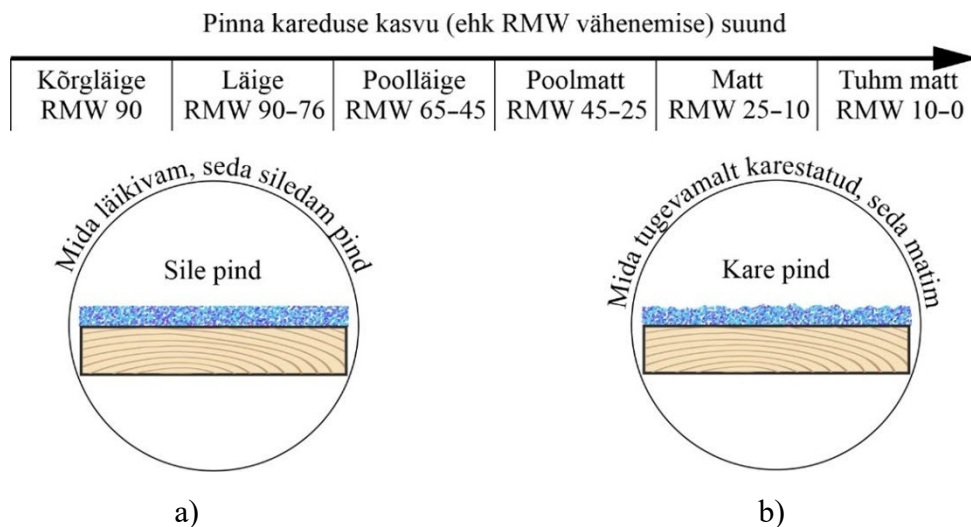
UV-kiirguse ja soojuse eest. Samuti on oluline puidupinna lihvimine enne kruntimist, et parandada kahe kihi vahelist naket. Tähtis on vältida õhuniiskuse kondenseerumisel tekkivat rõhku pealislaki kihi alla. Pealislaki kõvenemiseks on oluline, et puitaluspinna niiskusdeformatsioonid ei häiriks kõvenemist ja kuivamist (joonis 8.36).



Joonis 8.36 Barjäärkiht, mis kaitseb pealislakki ja puidust aluspinda.

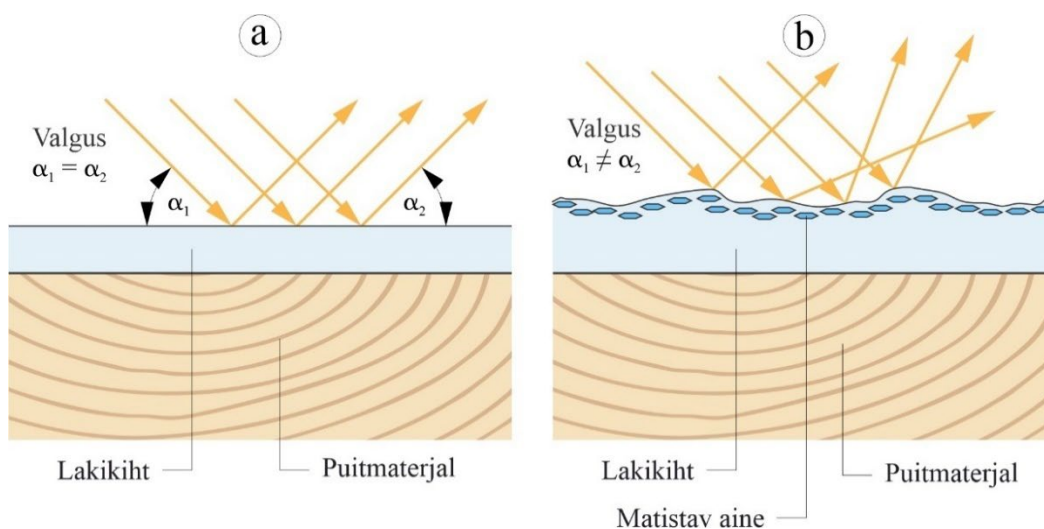
Enamasti PUR-il põhinevate kõrgläikega lakkide kasutamiseks on nõutud võimalikult tolmu- vaba keskkond ja püsivad töökeskkonnatingimused (temperatuur, niiskus). Pärast kuivamist lihvitakse pealiskiht mitmes etapis peenlihvpaperitega tasaseks. Poleeritakse erinevate poleeri- mispastadega mitmeastmeliselt, kas käsi- või ekstsentriklihvmasinaga, millele on kinnitatud poleerimistald. Suuri ja tasapindu saab töödelda mehaaniliselt, detailide servad ja keerulise kujuga profiilpinnad tuleb käsilihvida ja -poleerida.

Värvi läikeastet (joonis 8.37) klassifitseeritakse numbriliselt standardi EN ISO 2813 järgi. Mida siledam on aluspind (joonised 8.37 ja 8.38), seda suurema läikeastmega on värvikile. Kõrg- läikega pinnad saadakse suure kuivainesisaldusega värviga, mis kantakse aluspinnale võimalikult tolmuvas ruumis. Pärast kuivamist ei ole vaja poleerida. Kõrgläikega pinna saavutamiseks nn suletud pooridega puidupinna viimistlusel on puidust aluspind vaja katta puidupoore täitva kruntvärviga ja pinnavärvi- või lakiga (joonis. 8.38). Kõrgläike saavutatakse spetsiaalse pastaga poleerides. Mattpinna saamiseks on vaja suletud pooridega krunditud aluspinda ühtla- selt karestada enne pinnavärvi pealekandmist või lisada värvile pinnaletõusvat matistavat lisan- dit, millega saavutatakse mikropinnakaredus. Pinna matistusaste on mõõdetav reflektomeetriga (joonis 8.38 b).

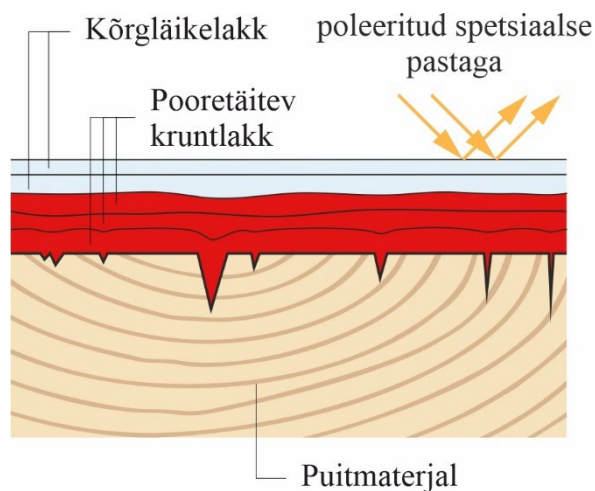


Joonis 8.37 Viimistletud puidupinna töötlemismeetodid: a – kõrgläike või b – tuhmi mattpinna saavutamiseks ja pinnakareduse RMV (reflektomeetri) mõõteväärtused kõrgläikest tuhmi matini.

Läikeastme mõõtmisel võrreldakse valgusallika kiiratud valguse hulka pinnalt tagasi peegeldunud ja fotoelemendi poolt vastuvõetud valgusehulgaga. Värvitud pinnalt tagasipeegeldunud valgushulga mõõtmiseks kasutatavat mõõteseadet nimetatakse reflektomeetriks (*gloss meter*), millega mõõdetud RMV (*gloss unit*, GU) arvvärtus on skaalal 0–100 sõltuvalt värvikihi läikeastmest või pinnakaredusest. Mattvärvi pinda tabavad valguskiired peegelduvad viimistletud puidupinnalt, mille aluspinda on enne viimistlemist mehaaniliselt metallkäsnaaga karestatud, või matistava lisandiga pinnakihi tõttu hajutatult tagasi. Matistatud pinnalt jõuab reflektomeetri fotoelemendini ainult vähesel määral valgust ja seetõttu jääb RMV väärtus 0–10 vahele (mõõtmisnurk 85°). Kõrgläikega pinnalt on mõõdetud RMV väärtus >70 (mõõtmisnurk 20°) ja poolläikivalt 10–70 (mõõtmisnurk 60°).

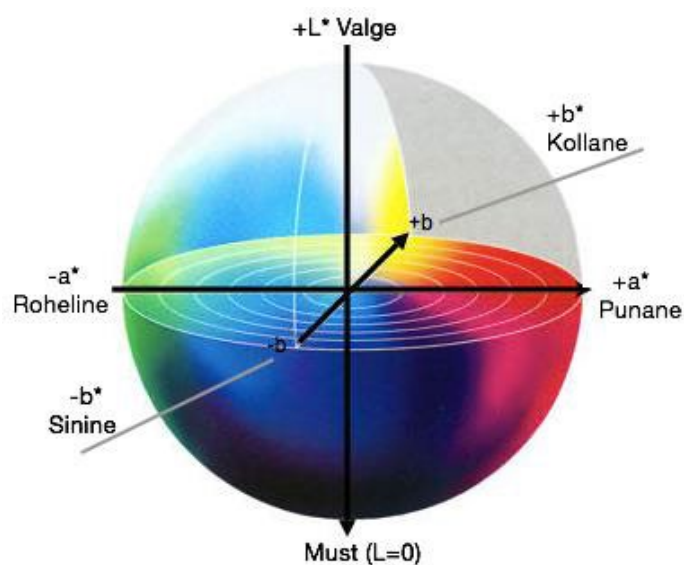


Joonis 8.38 Kõrgläikega pinnakate (a) ja matistatud pinnakate (b).



Joonis 8.39 Läbipaistev kõrgläikega lakkpind.

Värvuse kirjeldamiseks kasutatakse rohesinine-purpurpunane-kollane-must (*Cyan-Magenta-Yellow-black*, CMYK), punane-roheline-sinine (*red-green-blue*, RGB) ja CIELAB (pr k *Commission Internationale de l'Eclairage*) mudeleid. Joonisel 8.39 on toodud ühe kõige täpsemaks peetav värvusmudel CIELAB. CIELAB värvusmudel põhineb värvide kvantitatiivsel suhtel kolmel teljel: L^* väärtus näitab värvitooni heledust, a^* ja b^* on kromaatilised koordinaadid. Värvikoordinaadistiku vertikaalteljel z-telg on L^* heledus kujutatud väärtustega (must) kuni 100 (valge). Värvusmudeli (joonis 8.40) horisontaalteljel x-telg $+a^*...-a^*$ on esitatud kromaatilised koordinaadid punane-roheline-teljel, kus $+a^*$ (positiivne) tähistab punast ja $-a^*$ (negatiivne) tähistab rohelist värvitooni.



Joonis 8.40 CIELAB-süsteemi värvusmudel.

Värvusmudeli horisontaalteljel y-telg on toodud kromaatilised koordinaadid $+b^* \dots -b^*$ kollane-sinine-teljel, kus $+b^*$ tähistab kollast ja $-b^*$ sinist värvitooni. Praktikas kasutatakse värvuse muutumise mõõtmiseks kolorimeetrit (*colorimeter*) ja ISO 7724/1 standardi meetodikat.

Kolorimeetriga mõõdetud tulemuste põhjal saab arvutada värvusmuutused (ΔL^* ; Δa^* ; Δb^*) järgmiste valemitega:

$$\begin{aligned}\Delta L^* &= L^* - L^*_t \\ \Delta a^* &= a^* - a^*_t \\ \Delta b^* &= b^* - b^*_t\end{aligned}\tag{8.6}$$

kus L^*_t , a^*_t , ja b^*_t – mõõdetud värvuse muutused ja L^* , a^* , ja b^* – värvuse mõõdetud algväärtused.

Kolorimeetriga mõõdetud tulemuste (L^* , a^* , b^*) põhjal arvutatakse värvuse kogumuutus (ΔE) valemiga

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}\tag{8.7}$$

Värvitoonide segamiseks kasutatakse RAL-värvikaarte ja iga värvikaardil kujutatud värvuse segamiseks värvilaboris on olemas retsept. Värvitoonide valimiseks on kasutusel umbes 60 erinevat värvikaarti. RAL-kaart on jäänud enamjaolt tööstuslikeks lahendusteks, kuid juba valitakse ka seal toone NCS (*Natural Color System*) värvikaardist.

8.5.3 Viimistlusmaterjali pealekanne kontaktmeetodil

Käsi- ja rulliga pealekanne pintsliga, rulli või käsnaga

Pintsliga (*brush*) kasutamine värvi pealekandmiseks on ajalooliselt kõige vanem meetod. Värv kantakse pinnale pintsliharjastega hõõrumise teel. Pintsliga värvimine on vähetootlik meetod (umbes 1 m²/min) ja seda kasutatakse värviparanduste tegemisel, väikeste profiilpindade või nt pihustamise teel raskesti kaetavate servade ja nurkade värvimisel. Pintsliga värvimine ei sobi suurte pindade viimistlemiseks, kuna sellega ei saavutata ühtlast kihipaksust ja värvitooni ja pintslijälg võib jääda nähtav. Pintsleid valmistatakse vastavalt kasutusotstarbele. Harjastena kasutatakse valdavalt tehiskiudusid, mis erinevalt looduslikest kiududest ei pundu vees ja on elastsed ka pärast veepõhise laki või värviga märgumist. Värvide tilkumise vältimiseks kasutatakse tiksotroopse lisandiga (plaatja kujuga täiteaine) värve.

Rulliga (*hand roll*) kaetakse väiketootmises suuri siledaid detaili- ja plaadipindu, sest pealekandmisel saavutatakse suurem tootlikkus ($1\text{--}3\text{ m}^2/\text{min}$) kui pintsliga. Ei saa viimistleda väikseid ebatäpseid ja profiilseid pindasid. Rulliga pealekandmisel on probleemiks pinnale kopeeruv rullitekstuur, ühtlase kihipaksuse ja värvitooni saavutamine ning värvi tilkumise jäljed detaili välisservadel. Rullimaterjalideks on nailon või polüester (dispersioon- ja lateksvärvid), tehiskarusnahk, vahtkumm (kulub kiiresti), mikrokiud (väga vedelad värvid) ja polüakrüül (sobib paljude värvisüsteemidega). Kuid rulle toodetakse ka looduslikest materjalidest nagu veluur, mohäär (lahustipõhine värv, läikega dispersioonvärv), vilt (veepõhised värvid) ja lamabanahk (lateksvärv).

Pintsliga ja rulliga pealekandmisel on probleemiks laki või värvi viskoossus ja kasutusaeg, sest puidupinna katmisel märja viimistlusmaterjaliga on oluline, et sellele ei jääks nähtavaid jätku-kohti. Värvisegu kasutusaeg (*pot life*) sõltub ruumi või väliskeskkonna temperatuurist ja õhuniiskusest, mistõttu viskoossust reguleeritakse lahusti või kuivamist aeglustavate lisanditega. Pintsliga pealekandmisel tungib lakk või värv hästi puidu pinnakihi olevatesse pooridesse ning kuna lakk või värv on suurema viskoossusega (nt alküüdvärvid), on ka kuivainesisaldus suurem, pinnakatvus parem ja kihi paksus suurem kui pihustamisel.

Käsna või lapiga (*sponge or cloth*) pealekandmist kasutatakse avatud pooridega pinna viimistluse korral (näiteks liimpuidust töötasapindade viimistlemisel mööblivaha, Osmo õlivaha või kuivavate õlidega). Meetod on vähetootlik (*ca* $0,5\text{--}1\text{ m}^2/\text{min}$) ning kuivamisaeg 8 h ja rohkem. Viimistlusmaterjal hõõrutakse puidu rakuseina pooridesse ja saavutatakse ühtlase tooniga õhuke viimistluskiht (ei moodusta kilet). Viimistluskihti tuleks iga aasta uuendada.

Šellakpolituuride (*shellac polishes*) (šellaki lahus metüülpiirituses) pealekandmisel mööbli või muusikariistade kõrgläikega viimistluskihi saamiseks kasutatakse poleerimisballi, mis kujutab endast linasesse riidetükki keeratud lambavilla, mida kastetakse polituuri lahusesse ja seejärel palli kergelt surudes ja silmusekujulisi ringe tehes kantakse polituuri viimistletava toote pinnale. Poleerimisballis on kasutusel linane materjal, kuna linakiud pundub etanoolis ja kelme- paksus polituuri jäljes on seetõttu ühtlasem. Lambavill kogub polituuri endasse palli lahusesse kastmisel ja loovutab seda palli surumisel nii, et ei teki tilkasid. Kokku 6–8 kihi pealekandmine toimub vahelduvalt kihi kuivamise ja poleerimisega. Vajadusel kasutatakse P1200 teralisusega lihvpaberit. Poleerimisel kasutatakse paari tilka oliiviõli ja poleerimisjärgse liigse õli eemaldamiseks kasutatakse paari tilka denatureeritud alkoholi. Šellakviimistluse välimise kaitsekihina võib kasutada mööblivaha. Šellakviimistlusel on lakikile elastne, vastu- pidav pragunemisele ja kriimustustele, ei kolletu (õlilakkide probleem) ning lakikiht on kergesti

parandatav. Šellakviimistlus ei sobi niiskesse keskkonda. Ettevaatust kohvilaua katmisel, sest suure kuumusega kokkupuutel võib värvikile süttida ja suure niiskuse kondenseerumise korral võib lakikile alla tekkida heledaid laike. Käsitsi pealekande plussid ja miinused on toodud tabelis 8.18.

Tabel 8.18 Käsitsi pintsli, rulli või käsnaga pealekandmismeetodi eelised ja puudused

Eelised	Puudused
Pintsli ja rulliga saab viimistleda väga erineva kuju ja keerukusega puitdetailidele	Eriti töömahukas, raske on tagada kvaliteeti ning ühtlast kihipaksust
Pealekandmine ei vaja eriseadmeid ega spetsiifilisi oskusi	Pealekandmise töötingimused on rasked, tööline puutub kokku lahustiaurudega
Hea pinnakatus suure viskoossusega lakide ja värvide pealekandmisel. Lihtne teha värviparandusi	Meetod ei ole võrdväärse mööblitootmise tehnilise taseme ja tootlikkusega, kui pidada silmas pihustustehnoloogiat. Kulu pinnaühikule sõltub töölise oskustest
Universaalne, sobib kõigi vedelate viimistlusmaterjalide pealekandmiseks	Laki- või värvi avatusaeg, viskoossus ja kuivamine sõltuvad temperatuurist ja õhuniiskusest

Sissekastmismeetod

Toode riputatakse ühe- või mitmekaupaga metallraami külge ja kastetakse pealt lahtisesse värvianumasse. Oluline on jälgida tehnoloogilise režiimi nõudeid just toote väljatõstmisel. Meetod sobib väiketoodete (mänguasjad, keeruka kujuga treitooted, valgustite puitdetailid jne) viimistlemiseks. Meetodi eelised ja puudused on toodud tabelis 8.19.

Tabel 8.19 Sissekastmismeetodi eelised ja puudused

Eelised	Puudused
Lihtne, kiire ja odav Materjalikaod on väikesed	Lahusti aurustub ja viskoossust tuleb tihti reguleerida
Langevad ära puidu anisotroopiast tulenevad probleemid	Sanitaartingimused on nigelad, töökultuur madal ja töötingimused tagasihoidlikud
Sobib eriti hästi keeruka kujuga toodetele	Käsiopereerimine on töömahukas
Sobib puitprofiilide kaitseimmutuseks, treitootede peitsimiseks ja lakkimiseks veepõhistest süsteemidega	Lahustipõhiste puidupeitside ning nitroemalide ja -lakkide kasutamine ei ole soovitatav VOC-ide tõttu
Veepõhised väikse viskoossusega lakid ja värvid. Sobivad VOC-i normide tõttu	Kvaliteediprobleemid (valgumisnired, tilgad, pinnakatte ebaühtlus jne)
Sobib madala hinnaga toodete korral	Toodete mõõtmed on piiratud
Värvivanni sissekastmist ja väljavõtmist saab automatiseerida ja parandada kvaliteeti	Vajadus kindlaks teha igale tootele optimaalne värvivannist väljatõstmise kiirus

Ekstrusioonimeetod

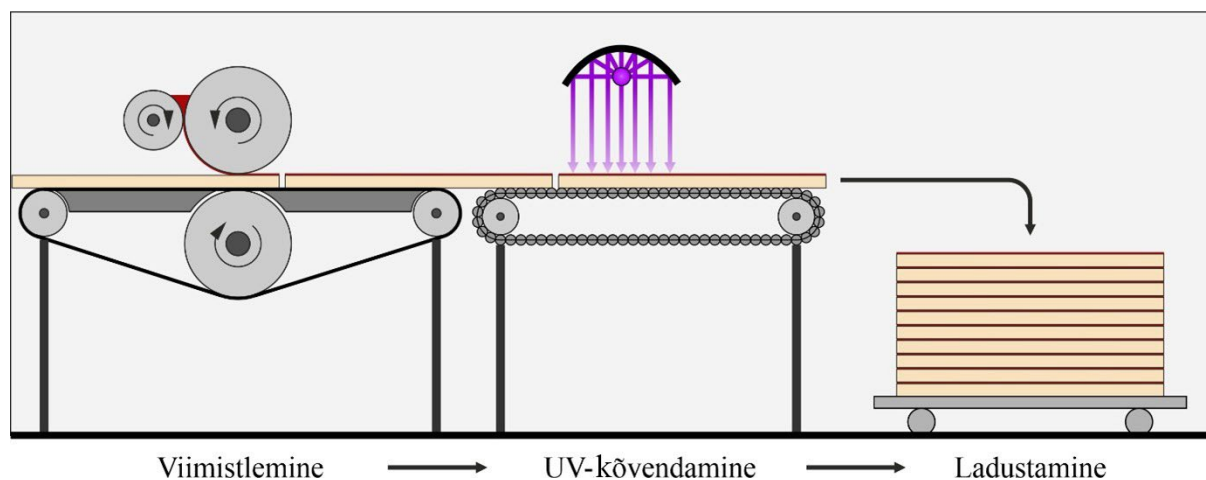
Ühesuguse ristlõikega tooted (nt pliiaatsid) surutakse läbi lakivannide rea. Sisenemis- ja väljumisavad on varustatud kaliibreeritud elastsete tihenditega. Ekstrusioonimeetodit saab kasutada ka profiilsete toodete katmisel pahtli või kruntvärviga, kasutades profiilikuju kopeerivat matriitsi. Meetodi eelised ja puudused on toodud tabelis 8.20.

Tabel 8.20 Ekstrusioonimeetodi eelised ja puudused

Eelised	Puudused
Tagab masstoodetele väga ühtlase kvaliteedi	Sobib ainult väga kitsale ühtlase ristlõikega profiiltoodete valikule
Kiire ja suhteliselt odav liintootmine	Tihendite ja matriitside probleemid ja puitprofiili kujuhälbed

Rullvaltsidega pealekandmine

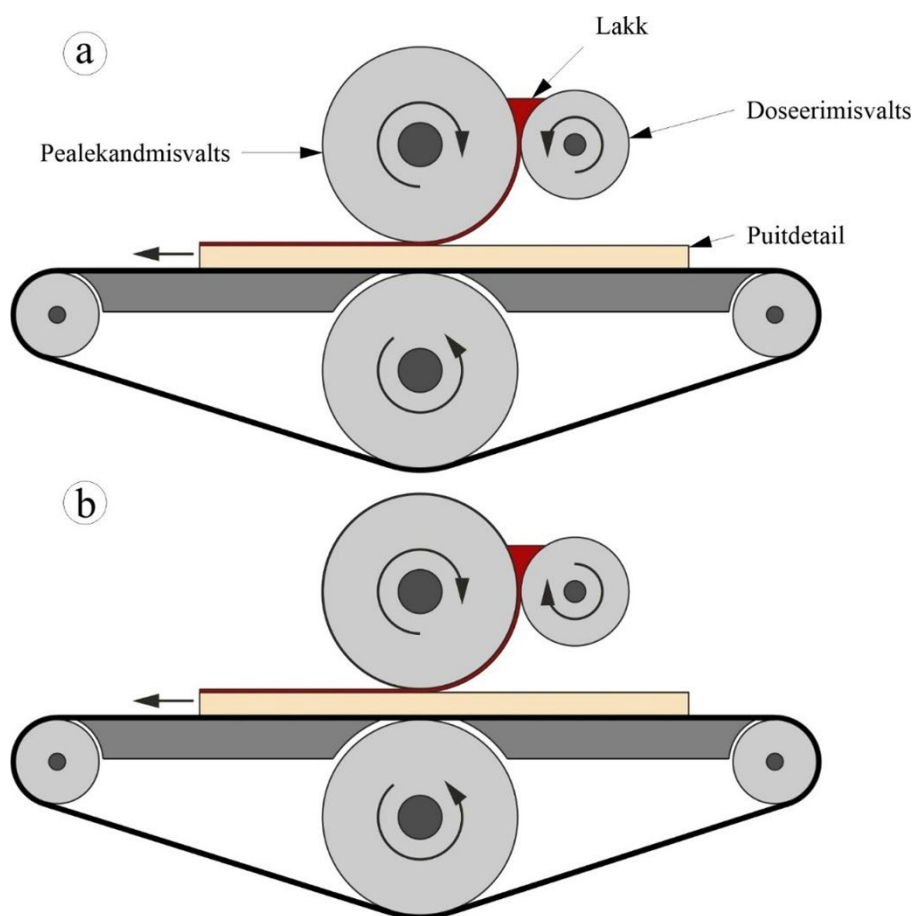
Rullvaltsidega pealekandmist kasutatakse tasapinnaliste plaatmaterjalide ja plaatdetailide viimistlemiseks. Meetod on sobiv rullvaltsidega pealekantava viimistluskihi suure viskoossuse ja kuivainesisalduse tõttu, mis võimaldab viimistluskihti radiatsioonkuivatusmeetoditega (IR või UV) kõvendada (joonis 8.40, UV-kõvendamine). Kitsaste detailiservade ja profiiltoodete viimistlemisel tuleb kasutada pihustusmeetodit. Rullvaltsidega pealekandmise meetodi põhiolemus seisneb puidupeitsi või viimistlusmaterjali (kruntlakk, -värv või pinnalakk, -värv) pealekandmises pöörlevate valtside vahelt läbi liikuva toote pinnale kas ühelt poolt või kahelt poolt korraga. Viimistluskihi valtsidega pealekandmise seade koosneb kummiga kaetud pealekandevaltsist ja metallpinnaga doseerimisvaltsist, valtside vastu toetatud nugadest (valtside puhastamiseks ja kihi paksuse ühtlustamiseks) ja lintkonveierist (joonised 8.41 ja 8.42).



Joonis 8.41 Täielikult UV-kõveneva lakiga pinnaviimistluse tehnoloogiline protsess.

Sellel meetodil saab plaatdetaili pinnale kanda ka pahtlikihi, mida tasandatakse pealekandmisvaltsile vastassuunaliselt pöörleva tasandusvaltsiga, et suruda pahtel ebatasase puidupinna tühemikesse (oksakohad, lõhed, lõiketerajäljed). Pealekandevaltside vahekauguse reguleerimisega tagatakse viimistluskihi paksuse hoidmine etteantud piires. Pealekantavale viimistlusmaterjalile vastavalt valitakse ka pealekandevaltsi kummikate, lähtudes Shore'i meetodil määratud pinnakõvadusest (lahustipõhised peitsid – 30, krundid – 50, pahtlid – 50 Shore'i ühikut). Lisaks pealekandevaltsi kummikatte pinnakõvadusele määrab selle välispind (kummipinnas olevate soontega või ilma) koos õigesti valitud viimistlusmaterjali viskoossusega õige pealekantava laki või värvi koguse. Doseerimisvaltsi ülesanne on tagada, et pealekantava viimistlusmaterjali kulu oleks kulunormi piires. Rullvaltsidega pealekandmisel saab üleliigse viimistlusmaterjali ringlusse võtta ja uuesti pinnale kanda, mistõttu ei sobi rullvaltsid piiratud kasutusajaga (*pot life*) kahekomponentse keemiliselt kõvenevate viimistlusmaterjalide (nt kahekomponentne PUR, epoksüvaik) pealekandmiseks.

Kulu reguleeritakse kas doseerimisvaltsi ja pealekandevaltsi vahelise pilu kõrguse muutmisega, viimistletavale detailile mõjuva pindsurve muutmisega või doseerimisvaltsi suuna ja kiiruse muutmisega (joonis 8.42, alumine).



Joonis 8.42 Laki doseerimine doseerimisvaltsidega: a – päri-, b – vastassuunas.

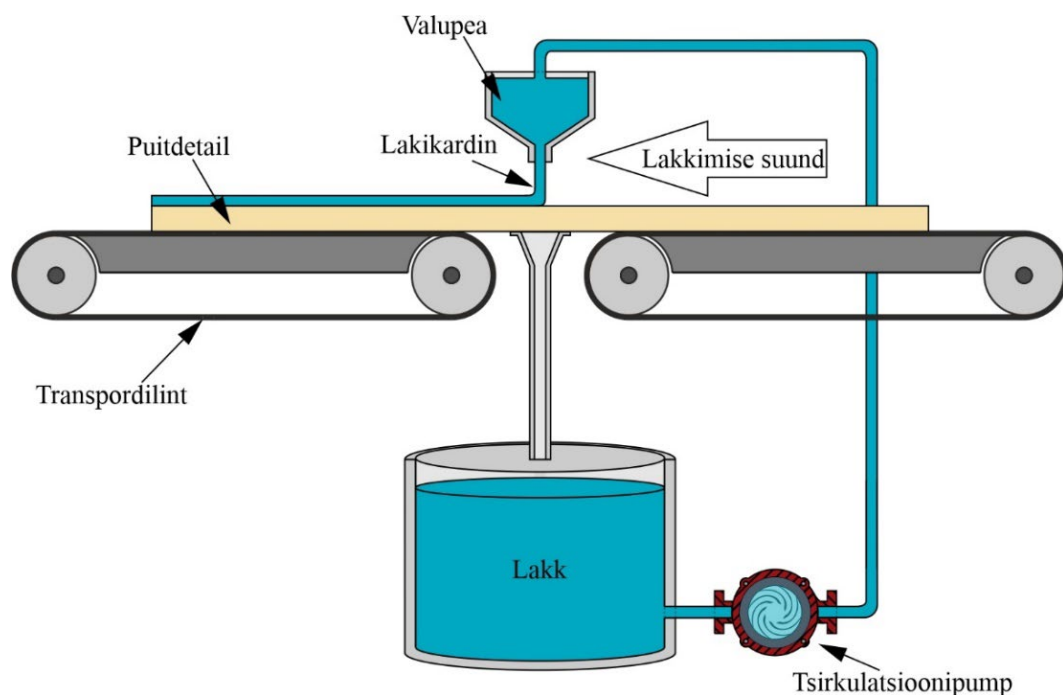
Puitpindade ja mööbli viimistlemisel on kasutusel erinevad rullvaltsidega pealekandemasinate modifikatsioonid. Kui rullvalts ja doseerimisvalts pöörlevad sama kiirusega ja samas suunas, mis ühtib puitdetaili liikumissuunaga, on tegemist standardse töörežiimiga, mis sobib peitside, lakkide ja värvide pealekandmiseks. Kui doseerimisvalts pöörleb vastassuunas, on tegemist reverseerimisega ja võimalik saavutada tasasem viimistluskiht. Detailide liikumiskiirus rullvaltsidega pealekandmise liinil on reguleeritav vahemikus 5–40 m/min. Silepindsete kummi-valtsidega saab peale kanda 5–20 g/m² lõppviimistluskihi koguseid ja peente soontega kummi-valtsidega 20–60 g/m² pinnakrundi koguseid; veepõhiste peitside pealekandmiskogus on 10–50 g/m². Ühele krundikihile tehakse üldjuhul mitu pealekandmist, kusjuures on oluline jälgida, et kruntlaki- või värvikiht ei oleks kõvastunud, kui järgmine pealekandmine toimub märg-märjale süsteemis ilma vahepealse lihvimiseta. UV-kiirguse mõjul kõvenevate kruntlakkide pealekandmisel kasutatava kahe pealekandevaltsiga varianti (kokku neli rulli) teine valtsirull pöörleb detaili liikumissuunale vastupidiselt, mistõttu on viimistlusmaterjali kulu laias vahemikus 10–100 g/m² ja täpsemalt seadistatav ning viimistluskiht on ühtlasem ning tasasem. Valtsidega pealekandemeetodi eelised ja puudused on toodud tabelis 8.21.

Tabel 8.21 Valtsidega pealekandemeetodi eelised ja puudused

Eelised	Puudused
Viimistlusmaterjali kulu on väike ja pealekandmise kulunormi järgi saab seadme tootlikkust reguleerida piires 5–100 g/m ²	Kallid seadmed, kuid kõrge kvaliteedi saamiseks on vaja liini koosseisu lülitada mitu järjestikkust valtsipinki
Kvaliteet kõrge ja ühtlane (pealekandmine õhukeste kihtidena)	Kõrged nõuded plaadile
Sobiv tehnoloogia liini komponendiks; on ühendatav radiatsioonkõvendusmeetodiga (nt UV-kambrid)	Ainult tasapinnalised tooted. Pole võimalik kitsaste välisservade viimistlemine
Võimalus peale kanda suure viskoossusega viimistlusmaterjale (pahtlid). Suur pealekandmise efektiivsus (kuni 100%)	Valtsipindade kulumine
Lihtne automatiseerida ja taaskasutada pinnale kandmata jäänud viimistlusmaterjali	Hooldus ja puhastus

Kardinlakkimine ja -värvimine

Kardinmeetodi korral kantakse lakk viimistletavale pinnale toote läbijuhtimisega lakikardina alt, kusjuures etteantud kelmepaksust reguleeritakse toodet liigutava kiirendustranspordööri liikumiskiirusega (joonis 8.43). Lakikardina pidevus tagatakse tsirkulatsioonipumbaga.



Joonis 8.43 Lakikihi puidupinnale kandmine lakikardinmeetodil.

Kardinlakkimis- ja -värvimismetodiga viimistletakse tasapinnalisi ja ka kergprofileeritud pindu ühelt poolt. Kitsaste servade viimistlemiseks asetatakse detailid liinile viltu. Valumasinaga saab reguleerida tootlikkust (25–150 m/min) ja viimistlusmaterjali kulunorm on reguleeritav (vahemikus 60–450 g/m²), mis võimaldab peale kanda erinevaid viimistlusmaterjale (happekõvenevad, nitrotselluloos-, veepõhised, polüester-, polüüretaanmaterjalid). Kardinlakkimist ja -värvimist kasutatakse peamiselt mööblitööstuses.

Väga olulised on kasutatava viimistlusmaterjali pindpinevusomadused – see ei tohi vahutada, sest siis võib kardinasse tekkida auke. Selle vältimiseks tuleb viimistlusmaterjalile lisada vahutõkestit ja kasutada sobivat vedeldit.

Lakivalumasina peamiseks osadeks on valupea, tsirkulatsioonipump ja etteandekonveier. Valumasina töötamisel kogutakse viimistletavate detailide pindadest kõrvale läinud vedellakk või -värv uuesti kokku ja suunatakse lakimahutist tsirkulatsioonipumbaga uuesti ringlusesse. Kui viimistlusmaterjali töösegu on lühikese avatusaja tõttu piiratud kasutusajaga (nt polüesterlakid), siis kantakse detaili pinnale kahe valupeaga järjest kaks kihti, millest üks sisaldab sideainet koos kiirendiga ja teine kiht kõvendit. Lakivalumeetodi eelised ja puudused on toodud tabelis 8.22.

Tabel 8.22 Lakivalumeetodi eelised ja puudused

Eelised	Puudused
Suur tootlikkus ja väike tootmiskadu	Lahusti aurustumine kardinast
Võimalik katta peale plaatdetailide ka profiileeritud tooteid	Kardinaga valatud lakikelme tundlikkus aluspinna kareduse, niiskuse jne suhtes
Võimalik peale kanda ühe- ja kahekomponentseid lakke; selleks kasutatakse kahepealisi lakivalumasinaid	Laki vahutamine põhjustab tühimikke kardinast ja kraatreid detailipinnal
Kõrge viimistluskvaliteet	Suhteliselt kallis seade
Sanitaartingimused rahuldavad, sest suhteliselt lihtsalt saab ehitada kohtventilatsiooni, kuid see ei tohi destabiliseerida lakikardinat	Kardina tundlikkus õhuvoolude suhtes
Liinis kasutatav seade	Sobib ainult plaatdetailidele ja ühelt poolt kergprofiileeritud pindadele
Ei ole tundlik plaadipaksuse kõikumiste suhtes	Detaili kitsaste välisservade viimistlusprobleemid
Võimalik katta väga erineva suurusega plaate ilma seadet ümber häälestamata	

Jugapealekandmine

Jugapealekandeseadmes (*flow coating device*) pumbatakse viimistlusmaterjal läbi paikse torustikusüsteemi ja värvijoad suunatakse madala (0,5–1,0 bar) survega läbi horisontaalselt paiknevate suure läbimõõduga värvidüüside vertikaalselt ülesriputatud puitdetailidele. Puitdetaili pind ujutatakse viimistlusmaterjaliga üle ning üleliigne materjal voolab kambripõhjas olevasse kogumissüsteemi ja viiakse pumbaga uuesti ringlusse. Teine jugapealekandeseadme tüüp kasutab vertikaalselt värvi pealekandmist läbi detailide all edasi-tagasi liikuva torustikusüsteemi. Jugapealekandeliinil on suur tootlikkus. Viimistluskambris on oluline tagada ühtlane õhuliikumine, temperatuur ja õhuniiskus, mis võimaldavad viimistlusmaterjalil ühtlaselt puitdetaili pinda katta ja üleliigselt jäägil maha valguda. Kasutatavad viimistlusmaterjalid on väikese viskoossusega (hea valgumise ja pinnakattevõimega), nt puidupeitsid, puidukaitsevahendid, viimistluse alus- ja vahekihimaterjalid. Viimistlusmaterjal ei tohi ringlussevõtul vahutama hakata. Viimistletavateks detailideks sobivad juba koostatud toolid, aknad ja ukSED jms. Oluline on jälgida, et detailid oleksid vertikaalselt üles riputatud sellises asendis, mis tagab üleliigse viimistlusmaterjali mahavalgumise, et detaili servadele ega nurkadesse (aknad, ukSED) ei jääks värvitilkasid. Keskkonnanõuetest ja -maksudest tingitult on lenduvaid orgaanilisi ühendeid

(VOC) emiteerivad lahustipõhised värvisüsteemid asendatud veepõhistega. Profiildetailide jugapealekandesüsteemid on modifitseeritud liinivoolu-tüüpi masinateks, mis võimaldab puitdetailide pinda töödelda biotsiide sisaldavate immutitega, kus üleliigne kogus puhutakse õhudüüsidega pinnalt minema. Pärast puidupinna kuivamist järgneb vajadusel pahteldamine, kruntimine ja viimistluskihtide pealekandmine. Jugapealekandemeetodi eelised ja puudused on toodud tabelis 8.23.

Tabel 8.23 Jugapealekandemeetodi eelised ja puudused

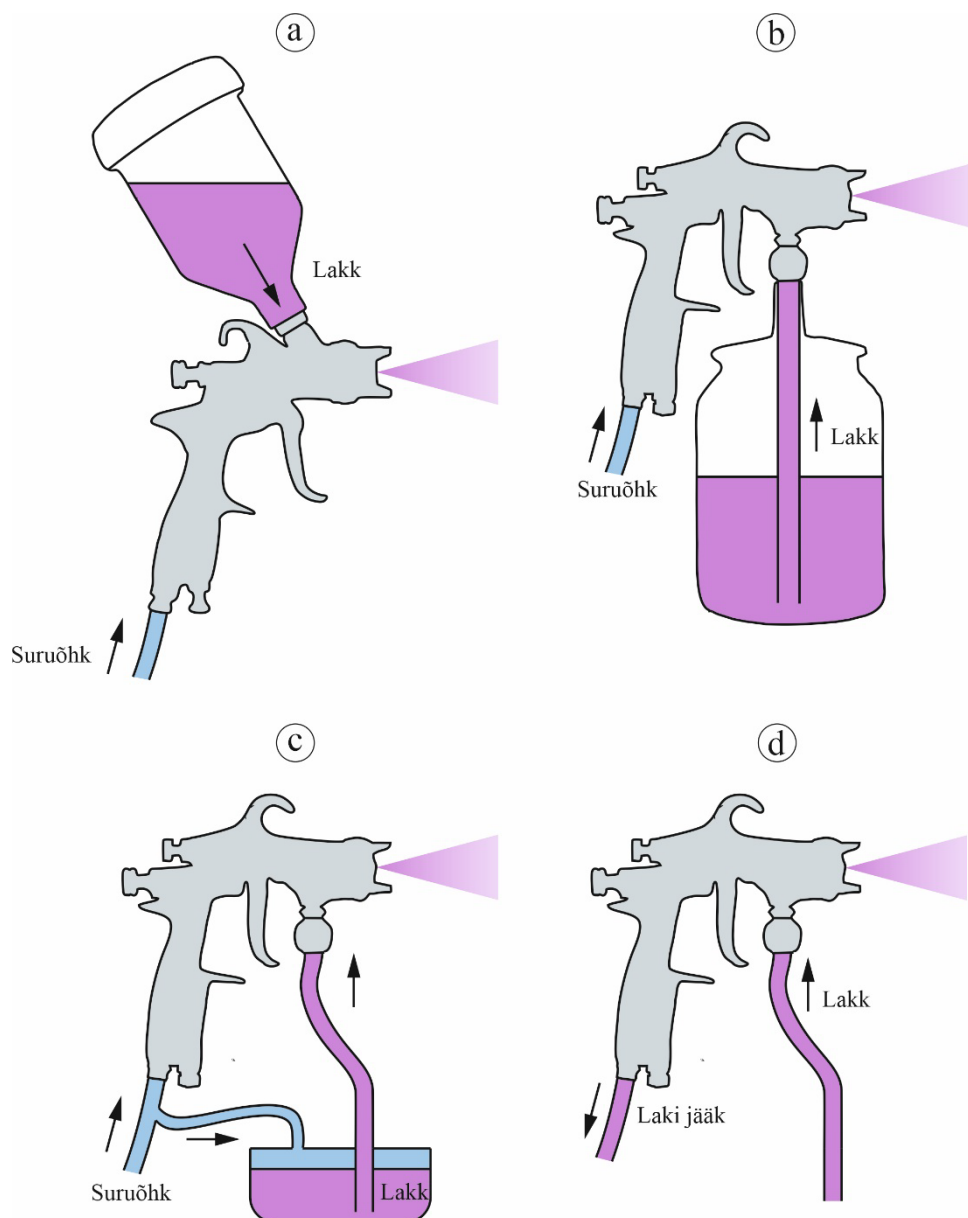
Eelised	Puudused
Lihtne, kiire ja odav, materjalikaod ja tööjõukulu on väikesed	Lahustipõhiste süsteemide puhul lahusti aurustub ja viskoossust tuleb tihti reguleerida. Viimistlusmaterjali ringlussevõtul ei tohi see hakata vahutama
Sobib füüsiliselt või oksüdeerudes kuivavatele lakkidele ja värvidele ja kõrgkuumusvärvidele	Lühikese tööaja tõttu ei saa kasutada kahekomponentseid värve
Sobib suurtele ja keeruka kujuga kolmemõõtmelistele toodetele: toolid, aknad, ukSED	Viimistluskambris tuleb tagada ühtlane õhu liikumine, temperatuur ja õhuniiskus
Sobib puidust profiildetailide kaitseimmutuseks, peitsimiseks ja kruntimiseks veepõhiste süsteemidega	Ülesriputatud detaili õige asendi jälgimine; kvaliteediprobleemid (valgumisnired, tilgad, pinnakatte ebaühtlus jne)
Veepõhised, väikese viskoossusega peitsid, immutid, kruntlakid ja -värvid (VOC-i normide tõttu)	Lahustipõhiste puidupeitside ja kruntlakide ja -värvide kasutus ei ole soovitatav (VOC-ide tõttu)
Protsess on automatiseeritud ja vertikaalselt üles riputatud detailide transpordiliini tootmispinna kasutus on optimaalne	Detailide kuivamiseks vajalike ühtlase ruumitemperatuuri ja õhuniiskuse tagamine tootmises

8.5.4 Viimistlusmaterjali pealekandmine pihustusmeetodil

Mööblidetailide ja suurte puitpindade tööstuslikul viimistlemisel kasutatakse enim erinevaid pihustusmeetodeid.

Käsitsi pihustamine pneumaatiliselt, madalsurve, kõrgsurve ja õhusegamisega

Käsipneumopihustus on paindlik ja lihtsasti kasutatav meetod, mille korral pihustatakse viimistlusmaterjali läbi pihustuspüstoli düüsi suruõhuga (3–6 bar) ja viimistlusmaterjali viskoossusest sõltuvalt pihustusdüüsi avaga 0,8–2,5 mm.



Joonis 8.44 Käsipihustusel kasutatavad laki etteandesüsteemid: a – ülaanumaga gravitatsiooni- line laki pealeandepüstol, b – alaanumaga ja laki alarõhuga kaasa imemisega püstol, c – surve- anumaga pealeandepüstol, d – pihustus laki pealeandega tsentraallakimahutist.

Lakk või värv juhitakse ülaanumast raskusjõu või alaanumate korral rõhu- või alarõhuga ime- mise kaudu pihustuspüstoli teljel asuvasse kanalis (joonis 8.44). Laki või värvi pealekandmist juhitakse pihustuspüstoli nõelklapiga (värvinõelaga). Suruõhku antakse püstoli ringkanalisse ja seejuures eksisteerib terve hulk erinevaid suruõhu pealeandmise skeeme, (*AIR COAT*, *airmix* jpt), mis peavad tagama pihustatud laki- või värvikoonuse koospüsimist ja loomulikult vähen- dama laki- või värvikulu. Püstoli konstruktsioon tagab, et alati enne paiskub pihustuspüstolist välja suruõhk ja seejärel piiskadeks disperseeritud lakk või värv. Alternatiivsete värvietteande- meetoditena on kasutusel membraanpump või surveanum (joonis 8.44 c ja d).

a

Lakk

Suruõhk

b

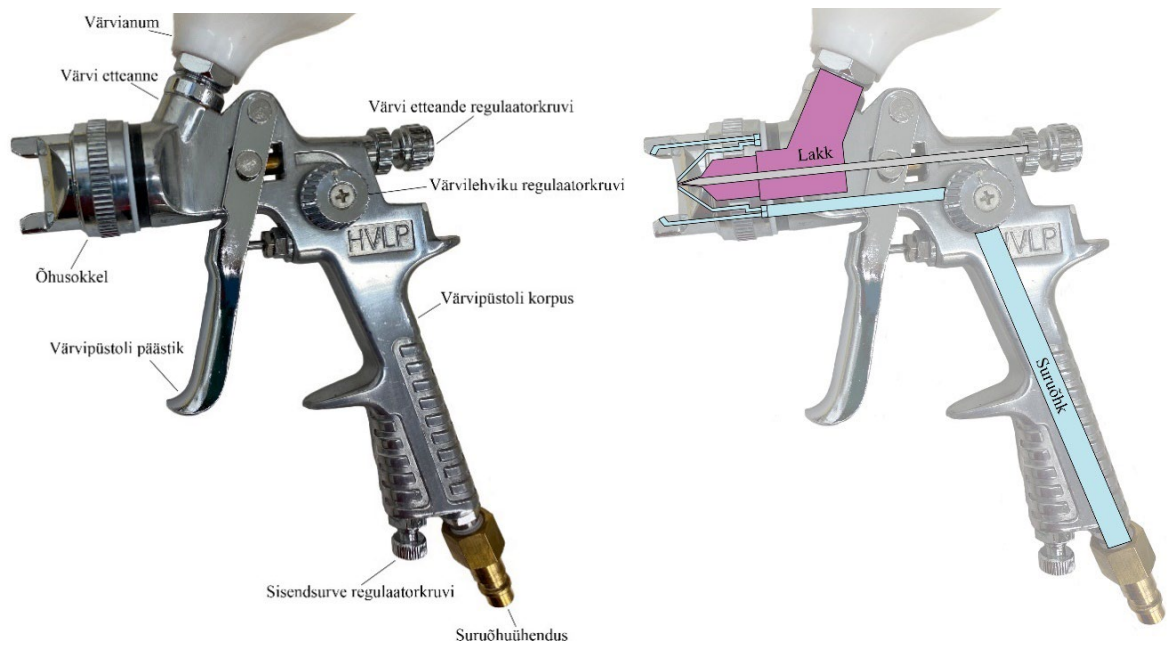
Lakk

c

Suruõhk

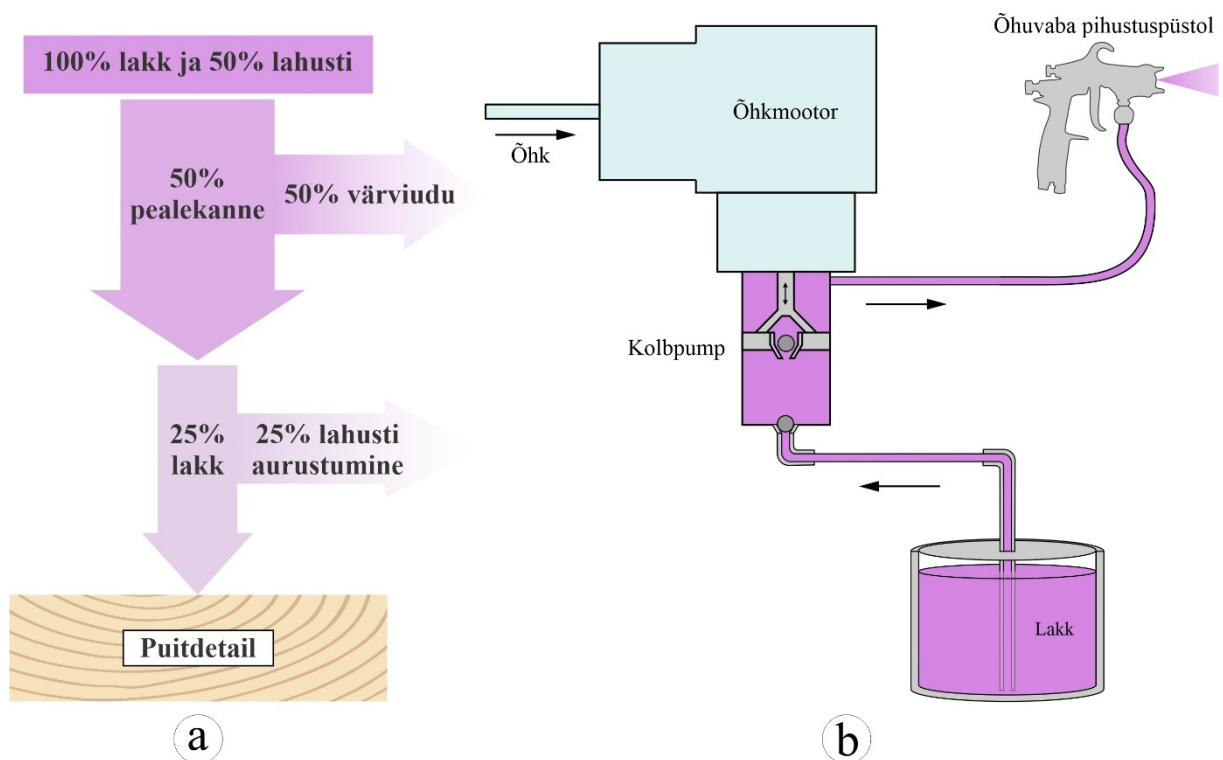
Lakk

518



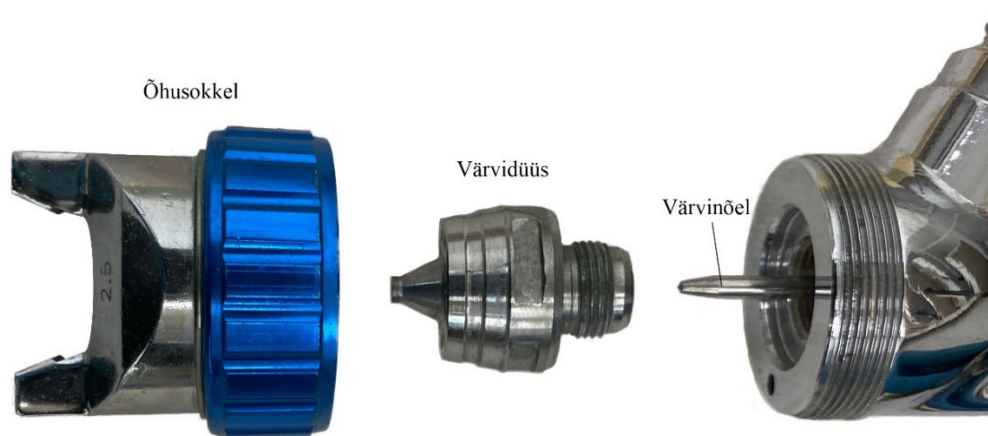
Joonis 8.46 Viimistlusmaterjali madalsurve käsipihustuseks kasutatava HVLP-püstoli ehitus.

Madalsurvepihustus on välja arendatud tavapärasest kõrgsurvekäsipihustusest. Joonisel 8.46 on kujutatud HVLP-püstol.



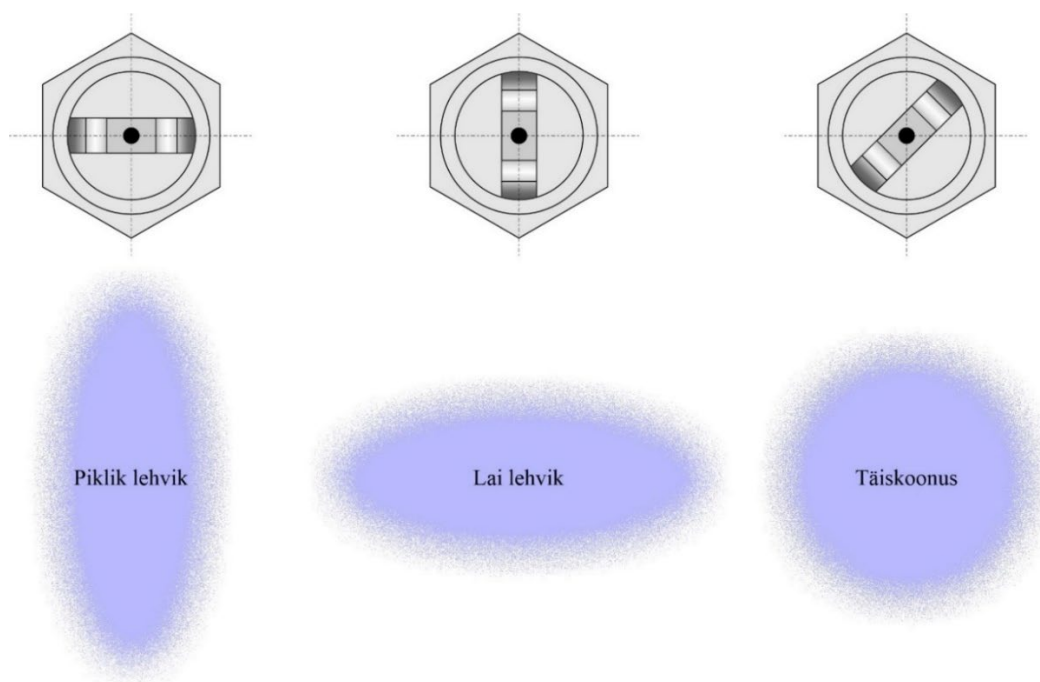
Joonis 8.47 Lahustipõhise laki käsipihustamine suruõhuga puitdetailile (a) ja laki pihustamine kõrgsurvega õhuvaba pihustussüsteemiga (b).

Kõrgsurve- ehk õhuvaba pihustus (*airless spray*) (joonis 8.45 b ja 8.47 b) pihustamisel kasutatakse kõrgsurvepumpa ja viimistlusmaterjal surutakse läbi 0,18–0,38 mm kõvasulamdüüsi rõhuga 80–360 bar. Pihustuslehviku kuju saab reguleerida ainult kõvasulamist düüsiotsiku väljavahetamise teel. Kõrgsurvepihustusmeetodi eeliseks on suure viskoossusega viimistlusmaterjale võimalik pihustada paksema kihina kui madalsurvepihustusel. Kõrgsurvepihustusmeetodi eeliseks on võimalus pihustada suure viskoossusega viimistlusmaterjale paksema kihina kui madalsurvepihustusel, samuti suur tootlikkus ja väike materjalikadu pihustamisel.



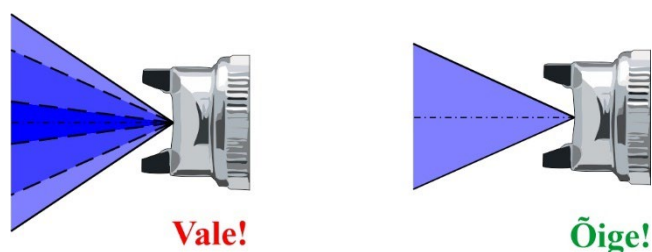
Joonis 8.48 Käsipihustuspüstoli õhusokkel, värvidüüs ja värvinõel.

Pihustuslehviku reguleerimine toimub värvilehviku regulaatorkruvi abil, mis reguleerib suruõhu etteannet (joonised 8.46, 8.47 ja 8.48).

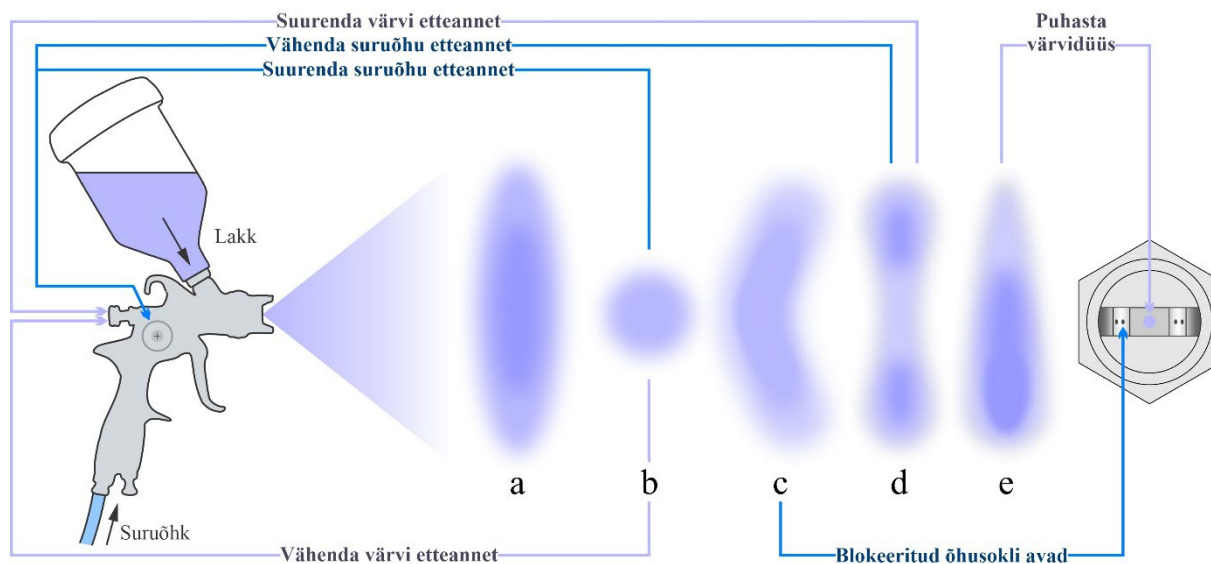


Joonis 8.49 Pihustuslehviku kuju reguleerimine käsipihustusel lakipüstolist.

Piklik lehvik (joonis 8.49) on kasutusel horisontaalsete detailide viimistlemisel (joonis 8.52 b). Lai lehvik on kasutusel vertikaalsete pindade viimistlemisel (joonis 8.49 keskel ja joonis 8.52 a). Täiskoonusekujulist lehvikut (joonis 8.49 paremal) kasutatakse värske puidupinna kunstlikuks vanandamiseks vajalike kemikaalide pealekandmiseks, nt patineerimiseks (*patination*), et anda puidupinnale vanamööblile sarnanevat pronksjat värvitooni. Pihustuslehvik ei tohi olla liiga lai, siis on värviosakeste tihedus lehviku keskosas ja välimises osas erinev ja värvitava pinna viimistluskiht jääb ebaühtlane ning võivad jääda triibud. Seetõttu tuleb pihustuslehvik reguleerida selliselt, et see oleks ühtlane (joonis 8.50). Kui pihustuslehvik on vale kujuga, siis võivad olla mõned õhusokli avad blokeeritud või tuleb vähendada värvi etteannet. Selleks viiakse pihustamisel läbi düüside kontroll (joonis 8.51).

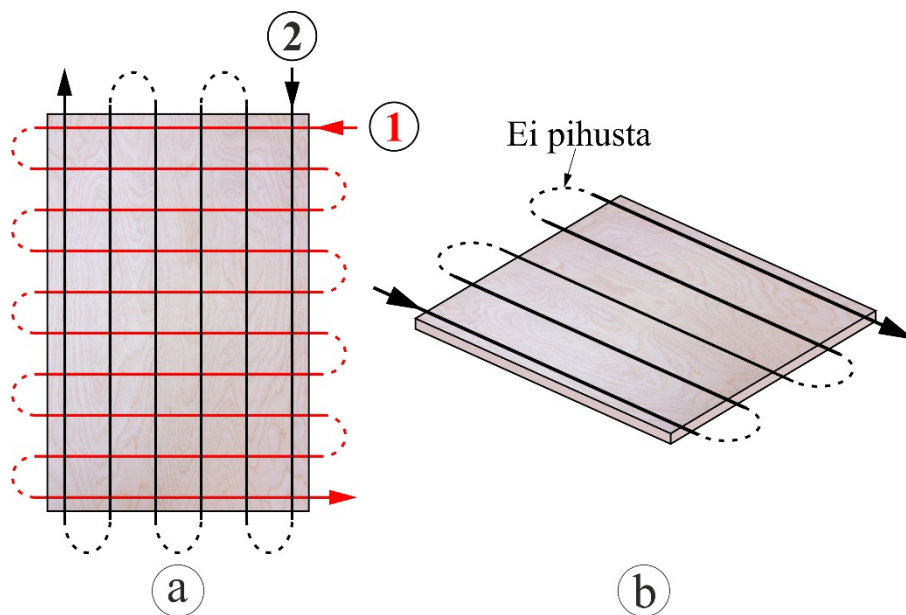


Joonis 8.50 Pihustuslehviku kuju käsipihustamisel.



Joonis 8.51 Pihustusotsiku düüside kontroll.

Käsipihustamisel on oluline jälgida, et püstol oleks pihustatava pinnaga paralleelselt, et käsi liiguks noolega näidatud suunale ühtlase vahekaugusega pihustades, saavutades 50% katvust iga järgmise pihustamisega, ning üle pinna, et katta ühtlaselt ka detaili välisservasid. Joonisel 8.52 on kujutatud a) vertikaalse detailipinna püstoliga värvimine piki- ja ristisuunaliselt (1, 2) ja b) horisontaalse plaatdetaili viimistlemine pihustuspüstoliga (ühesuunalise liikumisega edasi-tagasi ja 50%-se ülekattega eelmisele pinnale).



Joonis 8.52 Käsihihustusel kasutatavad pihustusrajad arvestatud 50%-se ülekattega: a – vertikaalpindadele ja b – horisontaalpindadele.

Käsi liigub kogu pihustustekonna püstoliga kaasa, kuid päästikule vajutatakse siis, kui liigutakse detaili pinnale, ning päästik vabastatakse, kui püstol väljub detaili pinnalt (joonisel 8.52 näidatud punktiirjoonega).

Kõrgsurvepihustamine õhusegamisega (*high pressure airmix spray*) pihustuslehvikusse (joonis 8.45 alumine skeem) on kombinatsioon suruõhu- ja kõrgsurvepihustusest, kus viimistlusmaterjali pihustusotsikust väljutamiseks kasutatakse kõrgsurvet 20–120 bar ja pihustuslehviku reguleerimiseks suruõhku 1,5 bar. Düüsi suurus on sama mis kõrgsurvepihustamisel 0,18–0,38 mm. Kõrgsurvepihustusel koos suruõhuga on kõrgsurve tootlikum, tekib vähem värviudu kui madalsurvel, aga ühtlasem ja peenemate värviosakestega pihustuslehvik. Kuna meetod on suure tootlikkusega ja viimistluskiht on kvaliteetsem kui kõrgsurvepihustusel, on see meetod levinud mööbli suursaritootmises. Käsihihustamisel kasutatavate erinevate meetodite eelised ja puudused on esitatud tabelis 8.25.

Tabel 8.24 Soovituslik pihustusdüüsi otsiku läbimõõt sõltuvalt viimistlusmaterjali viskoossusest

Viimistlusmaterjali viskoossus <i>Ford cup 4</i>	Pihustidüüsi otsiku läbimõõt
Väga väike viskoossus, 10–12 s	Kõrgsurvepihustus 0,7 mm Madalsurvepihustus 1,2 mm
Väike viskoossus, 13–17 s	Kõrgsurvepihustus 1,0 mm Madalsurvepihustus 1,5 mm
Keskmine viskoossus, 10–12 s	Kõrgsurvepihustus 1,2 mm Madalsurvepihustus 1,8 mm
Suur viskoossus, 28–40 s	Kõrgsurvepihustus 1,5 mm Madalsurvepihustus 2,2 mm
Väga suur viskoossus (paks lakk/värv), 45–60 s	Kõrgsurvepihustus 1,8 mm Madalsurvepihustus 2,8 mm

Madalsurve pihustuseks kasutatakse peamiselt ülaanumaga gravitatsioonilisi või alaanumaga püstoleid (vt joonis 8.44 a ja b), mis peaksid olema tavaliselt saadaval düüsi suurusega 1,4–2,2 mm, kuid vastavalt vajadusele kasutatakse ka väiksemat (0,7–1,3 mm) või suuremat (2,4–2,8 mm) pihustusdüüsi otsiku läbimõõtu. Kõrgsurvepihustusel (ilma õhuta või õhusegu pihustus) on kolbpumpa abil võimalik suruda väiksema viskoossusega viimistlusmaterjali läbi kõvasulamdüüsi läbimõõduga (0,18–0,38 mm) või suurema viskoossuse puhul kasutades suurema läbimõõduga düüsi (0,7–1,8 mm) ning saavutatakse suurem tootlikkus ja paksem kiht.

Viimistlusmaterjalid ehk tooted, mille viskoossus on suur ja sobivat pihustusdüüsi otsikut kohe ei leidu, peaksid olema siiski lahustiga/kõvendiga vedeldatavad, et need töötaksid sarnaste püstolitega ja pihustusdüüsi otsiku läbimõõdudega 1,5–1,8 mm.

Toodete puhul, mida ei õnnestu väga hästi ära vedeldada (nt täitekrundid), tuleks kasutada gravitatsiooniga püstolit ja veidi suuremat düüsi, 2,0–2,2 mm.

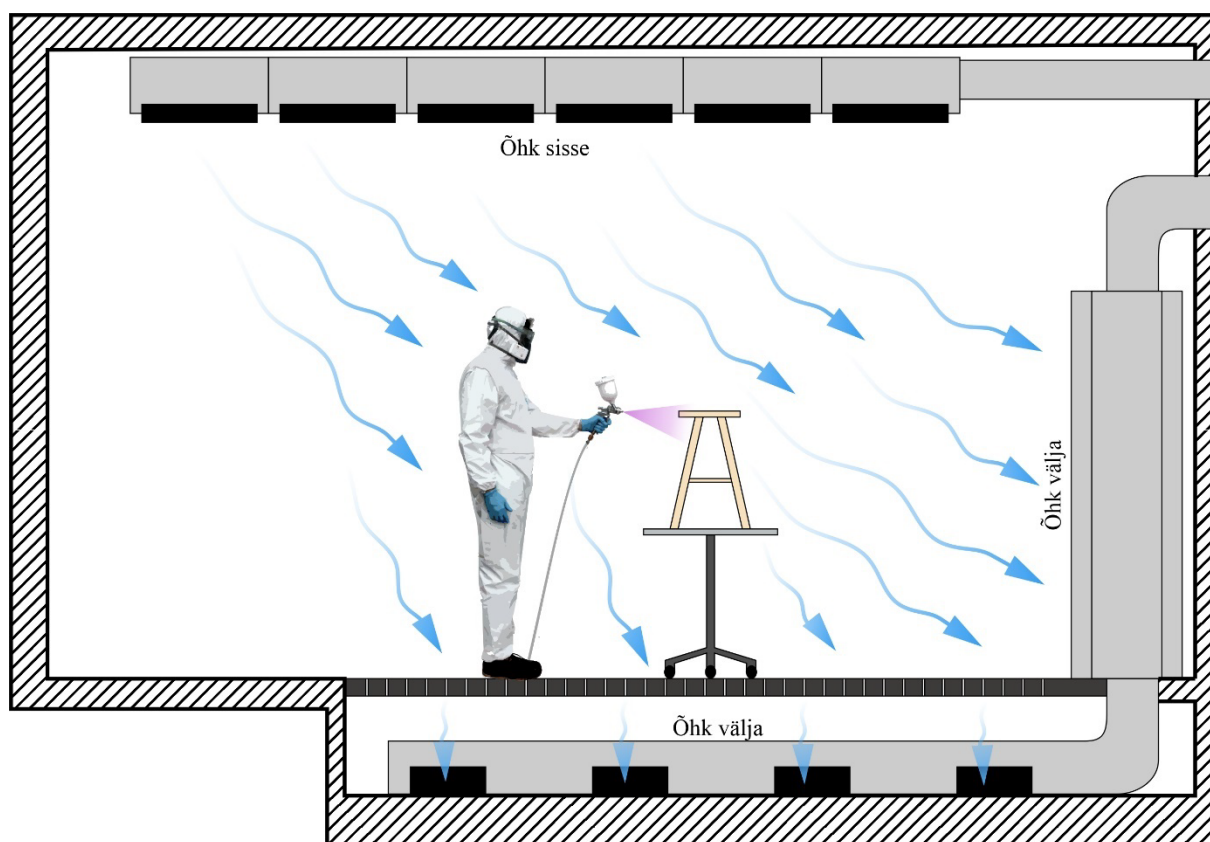
Sisetooted on alati vedelamad, kui välitöödel kasutatavad tooted ja alati tuleks siinkohal lähtuda tootja poolsest tootejuhendist!

Värvitootjad ise kasutavad laborites peitside näidiste pihustamiseks düüse 1,3–1,4 mm ja värvide/lakkide pihustamisel düüse 1,6–2,0 mm. Madalsurvepüstolitega töötatakse enamjaolt düüsidega kas 1,3 mm või 1,8 mm. Enamasti kasutatakse pihustustehnikas juba kõrgsurvepumpa ja -püstoleid õhuvabaks või õhuseguga pihustamiseks.

Tabel 8.25 Käsipihustusel kasutatavate pneumo-, madalsurve-, kõrgsurve- ja *airmix*-meetodite eelised ja puudused

Eelised	Puudused
Suhteliselt odavad seadmed pneumaatilisel käsipihustusel	Kallid seadmed kõrgsurve- ja <i>airmix</i> -meetodil pihustusel
Saab viimistleda peaaegu iga suurusega ja konfiguratsiooniga toodet	Pneumo- ja madalsurvega pihustusel väike tootlikkus, suur materjali ja lahustikulu; käsitöö ja rasked töötingimused
Vajaduse korral on võimalik kasutada mitut lakki paralleelselt; igaühele muidugi oma pihusti	Pealekandmisel suur laki- või värvikadu, eriti karkassmööbli viimistlemisel
On võimalikud tehnilised täiendused: eelkuumendatud laki pealekandmine, laki elektrostaatiline laadimine, pihustite täiustus jne)	Lakiudu teke – disperseeritud laki koonus põrkub vastu viimistletavat toodet ja tekib turbulentne vastuvool, mis tekitab ülimalt tuleohtliku lakiudu ja vähendab laki pealekandmise efektiivsust (PKE)
Protsessi käivitamisel (häälestamisel) suhteliselt väikesed lakikaod; hea viimistlus kvaliteet, lihtne pihustusjoo ja materjali pealeande reguleerimine	Suur tuleohtlikkus lahustipõhistel süsteemidel
Oluline uuendus, mis tervikuna tõstis viimistluse tehnoloogilist taset, on pihustuspüstolite mehhaniseeritud kasutamine traaverskambrites	Raske utiliseerida emulsiooni lakijäätmeid ja tsirkulatsioonivett. Pihustuskabiinide veekardinate veest on võimalik välja koaguleerida emulgeerunud lakijäätmeid, kasutades flokulante. Puhastatud vesi võib minna uuesti ringlusse
Viimistluskambrite kasutusel langeb ära enamik pihustamisega seotud probleeme (sh töötingimuste osas)	Turbulents profiiltoodete pinnal – profiilliistudega pindade viimistlemisel tekib liistu läheduses kergesti disperseeritud laki turbulents, mida iseloomustavad valgumisnired
Madalsurve meetodi (surve 0,7 baari) (HVLP-püstol) puhul saab kasutada erinevaid viimistlusmaterjale, viimistluskihi kvaliteet on ühtlasem ning materjalikulu väiksem võrreldes tavapihustusmeetodiga (surve 3–6 baari)	Suruõhuga pihustusel on probleemid kvalifitseeritud tööjõuga, mistõttu on kvaliteet ebaühtlane
Kõrgsurvepihustusel koos õhusegamisega parim tootlikkus ja viimistluskihi kvaliteet	Kõrgsurvepihustusel on probleemid lahustipõhiselt lakilt üleminekul veepõhisele ja vastupidi. Selleks kasutatakse liinidel eri süsteeme lahusti- ja veepõhiseks pihustuseks

Parima tulemuse saavutamiseks ja töökohta sanitaarolude parandamiseks tuleks mööblidetailide viimistlemiseks kasutada pihustuskambreid. Pihustuskambrites on võimalik väljatõmmatavast õhust kuiva, märja või kombineeritud filtriga eraldada lenduvad lahustid ja viimistlusmaterjaliosakesed (joonis 8.53). Kuna pihustuskambris toimub pidev õhu väljatõmme, siis on vajalik tagada selle kompensatsiooniks õhu sissepuhe. Õhuliikumine viimistlusmaterjali käsipihustusel on toodud joonisel 8.53. Soovitatav õhu sissepuhkekiirus on 0,2–0,5 m/s. Sisepuhutavast õhust tuleb välja filtreerida tolmuosakesed ja kütteperioodil tuleks külm õhk enne sisepuhumist kalorifeeri abil eelsoojendada (joonis 8.53). Väikesaritootmises kasutatavad kuivfiltrid on valmistatud kokkuvolditud paberist või klaaskiudkangast ning nende kasutusel pihustuskambris on efektiivsus 70–90%.

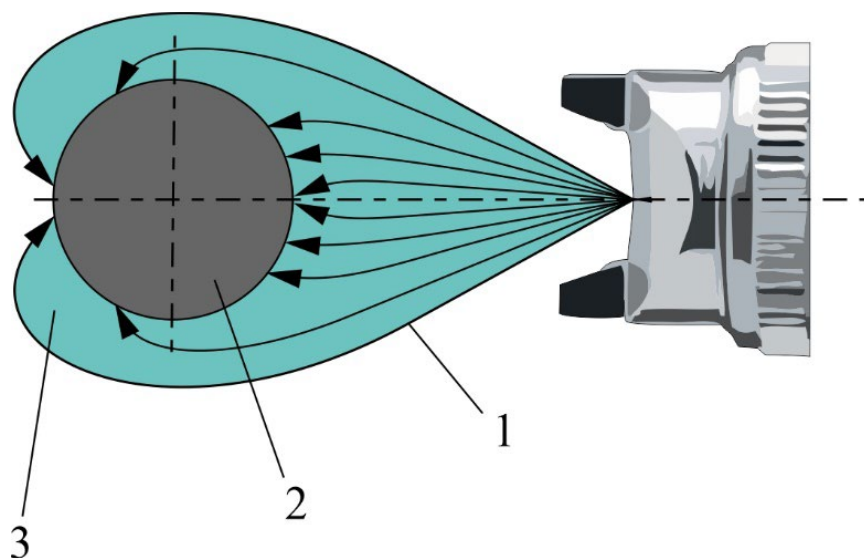


Joonis 8.53 Viimistlusmaterjali käsipihustus hästiventileeritud viimistlusruumis.

Suursaritootmistes on kasutusel märgfiltrimine, kus pihustusjäägid kogutakse vette. Värv- ja lahustijääkide eraldamiseks tuleb veele lisada värvisüsteemiga sobivaid koagulante, mis võimaldavad värvijäägid kas pinnalt või põhjast kokku koguda. Tööprotsessis tuleb lisada koagulante pihustusjääkide kokkukogumiseks, kuni vesi on kuivainejääkidega üleküllastunud, millele järgneb pihustuskambri ja puhastusvee ning mahuti süvapuhas.

Pihustus elektrostaatilises väljas

Elektrostaatilisel pihustusel liigub pihustusjuga mööda elektromagnetvälja jõujooni, mis tekitatakse värviosakestele negatiivse laengu andmisega ja viimistletavate detailide maandamisega. Meetod seisneb laki disperseerimises (pihustuspüstolites, kiirestipöörlevatel ketaselektroodidel jne) ja disperseeritud osakeste laadimises potentsiaalide vaheni laki ja toote vahel. Viimistletav toode on alati „+“ laenguga ja lakk „-“ laenguga (joonis 8.54). Elektromagnetvälja tugevus sõltub pihustusotsiku ja töödeldava detaili vahelisest kõrgepingest (100 kV) pihustusotsiku ja pihustuskaugusest (umbes 0,3–0,5 m). Puit on halb elektrijuht ja vajalik on niiskus 10–12% ja ümbritseva õhu suhteline niiskus vähemalt 60%. Elektrostaatilisel pihustusel kasutatakse madalsurve- ja kõrgsurvepihustust õhusegamisega. Elektrostaatilisel pihustusel on peamisteks ohtudeks plahvatus- ja elektrilöögioht, mille vältimiseks tuleb seadmed nõuetekohaselt maandada, et neisse kogunenud laengud ei vabaneks sädelahenduse kaudu.



Joonis 8.54 Elektrostaatiline pihustus: 1 – negatiivse laenguga lakiosakesed, 2 – positiivse laenguga viimistletav detail, 3 – laenguga lakiosakesed elektrostaatilises väljas.

Elektrostaatilisel pihustusel tuleb kasutada kõrge leektäpiga viimistlusmaterjale. Elektrostaatilise meetodi eelised ja puudused on toodud tabelis 8.26.

Tabel 8.26 Elektrostaatilise pihustuse eelised ja puudused

Eelised	Puudused
Viimistlusmaterjali kokkuhoid (hinnanguliselt kuni 25%)	Nõuded puidu pinna elektrijuhtivusele (võib reguleerida puidu niiskusega, tekib vastuolu mööblitööstuse tehnoloogiliste nõuetega);
Sobib eriti karkassmööblile; tootel võib olla keerukas kuju, sest laetud lakiosakesed liiguvad elektriväljas mittelineaarselt ka horisontaalpinnas	Sobivad ainult teatud lakid (katalüütlakid, ka alküüdlakid)
Sanitaarolud on rahuldavad	Ohutustehnika – kõrgepinge (kuni 100 kV)
Protsessi kõrge mehhaniseerimisaste	Kallid seadmed, sh konveierid
Suur tootlikkus	Ruumivajadus on suurem seoses mahukate pealekandmiskambritega
Ühtlane kvaliteet	Sobib suursaritootmisele, kasutatakse põhiliselt toolide katmiseks
Võimalus peale kanda pulberlakke	Detailide sisenurkade viimistlemine on raske

8.5.5 Viimistlusmaterjaliga töötamine

Nitrotsellulooslaki sideaine tselluloosnitraat on kõrgmolekulaarne aine ja seetõttu sõltub selle lahuse viskoossus polümeeri kontsentratsioonist, mistõttu on nitrolaki tehnoloogiliseks pihustamiseks vajalik suur lahusti massiprotsent (66–80%). Teisalt on vaja lakkide ja värvide kuivaine kontsentratsiooni tõsta, et vähendada viimistlusprotsessi töömahukust ja peale kanda vähem lakikihte. Kuivainesisalduse suurendamine üle 12% suurendab nitrolakkide viskoossust, muutes laki tehnoloogiliselt raskemini pealekantavaks. Seetõttu lisatakse nitrolakile madalmolekulaarset 12–18% täitevaiku (räniorgaaniline vaik, oksiterpeenvaik, tsükloheksanoonvaik, alküüdvaik). NC-lakkide ja NC-värvide pealekandmisel kasutatakse tavapäraseid pealekandemeetodeid (rullimine, sissekastmine, kardinkatmine, pihustamine). Väikeettevõtetes kasutatakse enamasti pihustusmeetodit. Nitrolakkidel on konteineris hoidmisel väga pikk säilivusaeg.

Nitrotsellulooslaki pealekandmisel tuleb silmas pidada, et see peab toimuma ruumitemperatuuril ja madalaim töötemperatuur on 15 °C. Laki pihustamiseks valida sobiva läbimõõduga pihustusdüüs ja pihustamisrõhk on 2,5–3 bar. Suur õhuniiskus pihustusprotsessi käigus muudab lakikelme valgeks. Kruntimisel puidupinnale on suurim pealekantav kruntlaki kogus 200 g/m² (vastasel juhul muutub krundikiht häguseks, varjutades puidutekstuuri ja värvust). Kui puidupind on krunditud nitrolakiga, siis tuleb sellega teha ka lõppviimistlus. Kui puidupind on krund-

ditud polüuretaan- või polüesterkruntlakiga, saab pinnalakina kasutada nitrolakki. Lakkide sobivust tuleb kontrollida kruntlaki ja pinnalaki tehnilistelt andmelehtedelt (*technical datasheets*). Nitrotsellulooslaki kilepaksus jääb tavaliselt vahemikku 20–60 µm, erijuhtudel 100 µm. Nitrolakkide lakikile kuivatamistemperatuur ei tohi ületada 45 °C, kuna nitrolakid (lahustiaurud ja lakitolm) on kergesti süttivad. Kuivamisaeg sõltub puidupinnale kantud lakikogusest g/m², mida väiksem see on, seda õhem on lakikiht, ja mida kõrgem on kuivamistemperatuur, seda lühem on kuivamisaeg. Toatemperatuuril kuivab kruntlakikiht 20–30 min lihvimiskuivaks. Nitrolakkidel on märjana peale kandes lahustite ja lahjendite osakaal lakisegus suur, 66–80 massiprotsenti, mis on vajalik viskoossuse vähendamiseks. Seetõttu lendub lakikihi kuivamisel palju kergesti lenduvad ühendeid (VOC), millega seotud keskkonnatasud on põhjuseks nende kasutuse vähendamisel mööblitööstuses ja asendamisel vesialusel lakisüsteemidega.

Happekõvenevate kahekomponentsete lakkide pealekandmisel ühe lakikihi kasutatakse tavaliselt pealekandmismeetodeid, kuid neid saab peale kanda ka elektrostaatilisel meetodil (nt puittoolide viimistlemisel). Happekõvenevad lakid liigitatakse kahekomponentseiks (lakivaik ja kõvendi segatakse enne pealekandmist), nitrokombilakkideks (lakivaik segatakse suurema osa füüsikaliselt kuivavate kilemoodustajate, nt nitrotselluloosi ja kõvendiga) ning happekõvenevaiks vesilakkideks. Nitrokombilaki korral saab kokkusegatud lakki kasutada ainult piiratud kasutusega (*pot life*), mis võib ulatuda kuni 5 päevani. Lahenduseks on kasutada enne nõrga happe – katalüsaatoriga segatud lakki, mis sisaldab väikeses koguses füüsikaliselt kuivavaid sideaineid. Happekõvenevate lakkide pealekandmisel tuleb silmas pidada, et see peab toimuma ruumitemperatuuril ja madalaim töötemperatuur on 15 °C. Pihustamiseks tuleks valida pihustusdüüsi läbimõõt vastavalt laki viskoossusele (*Ford cup*’i test) ja pihustamisrõhk 2,5–3 bar. Lakkimisel puidupinnale kantav suurim happekõveneva laki kogus on 350 g/m² (vastasel juhul võib lakikiht hakata pragunema). Lakikile paksus jääb tavaliselt vahemikku 20–60 µm, erijuhtudel 100 µm. Lõppviimistluseks on vaja peale kanda mitu lakikihti: märg-märjale kombinatsioonina või kõvendada ära esimene lakikiht, teha vahelihv ja kanda peale teine lakikiht. Kõvendi kogus peab vastama lakireseptile (kui kõvendit on liiaga, muutub lakikiht pärast kõvenemist kõvaks ja hapraks, ning kui kõvendit on vähe, jääb lakikiht plastseks ja kleepuvaks). Kahekomponentse happekõveneva laki korral lisatakse kelmemoodusti kõvendina 10 massiprotsenti happelist katalüsaatorit (hüdrokloorhape, para-tolueensulfoonhape, väävel- või soolhape), mistõttu neid lakke nimetatakse happekõvenevateks. Happekõveneva lakiga töötamisel ei tohi olla ammoniaagiaure töökeskkonnas ega lakitud pinnal, vastasel juhul muutub lakikiht valgeks (vale kõvenemine happe ja leelise koosmõjul). Laki happesus võib mõne puiduliigi (kuusk, lehis, pöök ja kirsipuu) korral põhjustada värvimuutusi. Puidu värvimuutuse

ära hoidmiseks on vaja puidupinnale teisest lakist aluskihti, nn kruntlakki, milleks sobib näiteks polüüretaanlakk. Kruntlakile saab teise kihina peale kanda happekõveneva laki.

Lakikihi happesus ja viskoossus põhjustab korrosiooniohtu pealekandmiseks kasutatud pihustusseadmete metallpindadel ja ka laki pihustusudu sattumisel metallile. Korrosiooniohu vältimiseks on vajalikud vastavad meetmed. Kuna happekõvenevate lakkidega töötamisel ja keemilisel kõvenemisel (reaktoplasti moodustumine polümeeriahelate ristsidumisel) lendub vaba formaldehüüdi (VOC), tuleb töökohal tagada väga hea ventilatsioon.

PUR-lakke saab kasutada kõigi enamlevinud pealekandmismeetodite ja -tehnoloogiatega, sest välja töötatud lakkide avatud kasutusaeg (*open time*) võib varieeruda mõnest minutist kuni kaheksa päevani. PUR-lakkide pealekandmisel tuleb silmas pidada, et see peab toimuma ruumitemperatuuril (vähemalt 20 °C). Pinnatöötlemisel tuleb jälgida ettenähtud õhuniiskust ja puiduniiskust. PUR-lakiga lakkimisel varieerub puidupinnale kantava laki kogus 80–400 g/m² olenevalt nõutavast kihipaksusest. Suurim puidupinnale ühe korraga peale kantav PUR-laki kogus on 120g/m², vastasel juhul hakkab lakikiht mullitama. PUR-lakikile on 20 °C juures 1–6 h pärast puutekuiv, 2 h pärast lihvitav, 6–24 h pärast läbikõvenenud ja 2–3 päeva pärast on saavutanud lõpliku vastupidavuse kemikaalidele. Oluline on tagada nii mati kui ka kõrglääikega lakikihi täielik kõvenemine. PUR-laki kuivainesisaldus jääb vahemikku 30–50, mõnikord isegi 80 massiprotsenti. Kruntlakis on kuivainesisaldus väiksem, umbes 30 massiprotsenti, vahelakis ja pinnalakis suur, umbes 40–50 massiprotsenti. PUR-lakikile paksus jääb tavaliselt vahemikku 40–100 µm, erijuhtudel üle 100 µm.

Küllastumata polüesterlaki komponentide terviseohtlikkuse tõttu tuleb lähtuda kemikaalide ohutuskaartidest ja täita lakiga töötamisel kõiki kemikaalide käitlemisel ette nähtud ohutusnõudeid ja kasutada isikukaitsevahendeid. Polüesterlakkidega töötamisel saab kasutada pihustus-, valamis- ja rullvaltsiga pealekandemeetodeid. Puidupinnale kantava polüesterlaki kogus sõltub viimistletavale pinnale seatud nõuetest ja kasutusvaldkonnast ning on 300–800 g/m². Avatud pooridega pindadele kantakse peale väiksem kogus. Lakikihi paksus on kõrglääikega pindade puhul vahemikus 300–500 µm ja mattpindade puhul vahemikus 20–50 µm. Polüesterlakkide korral kantakse ühe töötlusoperatsiooniga pinnale kogu viimistluskiht, sest erinevalt teistest lakkidest ei hakka paks polüesterlakikiht kuivamisel pragunema. Kui pinnale on siiski vaja kanda kaks lakikihti, kantakse teine kiht peale 10–30 minuti pärast, kui esimene kiht on hakanud geelistuma. Väiksema tootmiskoguse valmistamisel segatakse lakk kõvendiga vahetult enne töötlemist ja seejärel pihustatakse või kantakse käsivalamise teel puidu pinnale. Pihusta-

miseks tuleb polüesterlakki lahjendada. Suurte lakikoguste pealekandmine toimub kahekomponentse pihustussüsteemiga. Laki pihustamiseks tuleks valida pihustusdüüsi läbimõõt vastavalt laki viskoossusele ja pihustamisrõhk vahemikus 1,5–2 bar. Kruntlaki pealekandmisel valuseadmega segatakse esimeses valupeas küllastumata polüestervaik kõvendiga (MEK) ja kantakse pinnale kruntlakikiht 80–100 g/m² (kruntlakina võib kasutada ka nitrolakki), teises valupeas segatakse kõvendiga kruntlaki sisse kiirendi ja valatakse peale teine lakikiht. Kruntlaki kihid valatakse peale märjalt-märjale süsteemis ja need kõvenevad korraga. Pärast 2–3 h pikkust kruntlaki kõvenemist kantakse sellele polüesterpinnalakk. Pärast lahusti lendumist toimub kõvenemine keemilise reaktsioonina.

Alküüdvaiklakid kantakse puidupinnale rulli või pintsliga värvimise, pihustuse, sissekastmise või valamise teel. Väiksemates ettevõtetes enamasti pihustamisega (mööbel, aknad), renoveerimisel käsivärvimisega (aknad, puitfasaadid), kuna värvid on tiksotroopsed (*shear thinning*), ei tilgu need pintsliga värvimisel. Suure kuivava õli sisaldusega (> 60% õli) alküüdlakki või -värvi kasutatakse puitpinna kruntlaki, vahe või pinnaviimistluskihina nii väli- kui siseoludes. Pealekandmiseks vajaliku viskoossuse saamiseks kasutatakse lahustina lakibensiini ja kuivamisaeg on 6–12 h. Keskmise õlisisaldusega (40–60% õli) alküüdlakkides või -värvides on kasutusel aromaatsed tugevad lahustid, nt ksüleen, mistõttu saab neid peale kanda pihustuse teel. Märjaviimistluskelme kuivab 1–3 h viimistluskileks. Kasutamiskogused jäävad 70–500 g/m², kilepaksus on 30–120 µm. Laki pihustamiseks tuleks valida väikese düüsi läbimõõduga pihustamisotsik ja vastav pihustamisrõhk 3–5 bar. Alküüdlaki voolavusomadused on head, värskelt peale kantud lakk voolab ühtlaseks pinnakattekihiks. Madalaim töötlemistemperatuur on 8 °C. Kui puidust aluspind on külm, võib veega lahjendatav lakikiht valgeks tuhmuda. Lakikihi kuivamisaeg on 1–48 h, olenevalt lakikihi paksusest ja laki koostisest. Õhu käes kuivavaid lakke (lakkide kuivamine toatemperatuuril) ei tohi peale kanda liiga paksu kihina, sest esimesena laki pinnale moodustuva lakikile all peavad olema võimalikult head tingimused ülejäänud vedela laki läbikuivamiseks oksüdeerimise teel, et moodustuks ühtlase kvaliteediga ja vastupidav lakikile. Kui peale kantud märg lakikiht on liiga paks, tekib lakikile kuivamisel kihistumine ja moodustub paksem väliskiht, mis ei lase aluskihil lõpuni kuivada, ja see jääb nätskeks, hilisem kuivamine põhjustab lakikihi pragunemist. Alküüdlaki head voolavusomadused annavad ühtlase sileda pinnaga lakikile, mida ei ole vaja järeltöödelda (nt poleerida).

8.6 Viimistlusmaterjalide kuivatus ja kõvenemine

Õhkkuivatus on tavapärane viis viimistluskihi kuivatamiseks normaalingimustel. Enamiku puiduviimistlusmaterjalide kuivamine algab pärast märja viimistluskihi pealekandmist toatemperatuuril. Kuivamiskiirus sõltub temperatuurist, õhuniiskusest ja õhuvahetuskiirusest. Värvid kuivavad välioludes kiiremini kui ruumis samal temperatuuril, kuna lahusti aurudifusioonile aitavad kaasa päikesekiirgus ja tuul. Kuivatusprotsessi parameetreid saab seadistada ja kontrollida kamberkuivatusprotsessi käigus. Märja viimistluskihi kuivamise kiirendamiseks on vaja tõsta temperatuuri ja kiirendada õhuvahetust, mis kiirendab omakorda nii füüsikalist kuivatusprotsessi lahusti aurustumise teel kui ka keemilist kõvenemisprotsessi. Kuivatustemperatuuri tõstmine 10 °C võrra kiirendab kuivamist ligi 2 korda, ent suurendab protsessi energiakulu eriti vesialusel viimistlusmaterjalide korral. Sobiv kõvendustemperatuur valitakse enamasti vahemikus 20–70 °C. Kuigi temperatuuri tõstmine kiirendab kuivamist, siis mõnikord aitab kuivamist kiirendada ka õhu tsirkulatsiooni kiiruse suurendamine. Näiteks vesialuselise värvikihi kuivatamisel kõrgema temperatuuriga tuleb arvesse võtta alusmaterjali tüüpi. Männipuidule ei saa teha pikaajalist kuumutust 60–70 °C juures, sest vaik koguneb puidu välispinnale. Värvitud või lakitud viimistluskihi kiiremaks kuivatamiseks ja kõvenemiseks hoitakse detaile ja esemeid konvektiiv-, radiatsioon- või kõrgsageduskuivatis. Konvektsioon- ja radiatsioonkuivatust on võimalik protsessi kiirendamiseks kasutada kombineeritult. Detaili eelsoojendusega on võimalik kiirendada märja viimistluskihi kuivamist. Viimistluskihi kuivamine algab puidupinnalt, sest detaili poolt viimistlusmaterjalile üle kandunud soojus kiirendab lahusti aurustumist. Viimistlusmaterjalide pealekandmise järel toimub viimistluskihi füüsikaline või oksüdatiivne kuivamine või keemiline kõvenemine.

Füüsikaline kuivatus

Füüsikaliselt kuivavad laki- ja värvisüsteemid on puidupeitsid (vee- ja lahustipõhised), nitrotselluloosi-, mõnede alkoholi- ja veepõhised tooted, ühekomponentsed akrüül- ja vinüülsideainetega tooted. Lahusti aurustumiskiirus on tehniliselt oluline, kuna see mõjutab märjast viimistluskihist kile moodustumiskiirust, mis omakorda mõjutab kile struktuuri. Kui lahusti aurustumine on liiga kiire, võib moodustunud laki- või värvikile struktuur olla ebaühtlane ja kilesse võib jääda ümbritsevast keskkonnast tulnud niiskust. Käsitsi pintsliga peale kantavates viimistlusmaterjalides on tärgentin asendatud lakibensiiniga, kuna sellel on ligikaudu sama aurustumiskiirus. Kuna ksülool aurustub viimistlusmaterjalides kiiremini, ei sobi see pintsliga peale kantavatesse värvidesse; kasutatakse eelkõige pihustusviimistlusel, kus on nõutud kiirem lahusti aurustumine. Butüülatsetaati kasutatakse peamiselt lahustina lakkide ja värvide tootmisel, kus

see tagab viimistlemisel suurepärase tasanduse ja väldib tuhmide laikude teket kiles. Butüülatsetaadi aurustumiskiirus erinevatel kuivatustemperatuuridel: 15 °C juures 0,57, 25 °C juures 1 ja 35 °C juures 1,7; see tähendab, et 15 °C on aurustumine 40% aeglasem kui 25 °C juures ning kui tõsta temperatuuri 10 °C võrra, on lahusti aurustumine 70% kiirem.

Märja viimistluskihi kuivamiskiirust mõjutab lisaks lahusti aurustumiskiirusele ka sideaine ehk kilemoodustaja molaarmass; mida kõrgem see on, seda suurem on viskoossus ja värvi või laki pealekandmiseks on vaja vähendada viskoossust – tuleb lisada lahustit, nt nitrotselluloosi puhul 66–80%. Mõnel sideainel on suurem lahustuvus ja võime siduda rohkem lahustit, mis kõik ei aurustu. Kilesse jäänud lahustijääk võib viimistletud ja kuivatatud detailide virnastamisel põhjustada detailide kokkukleepumist, kuigi väliselt tundus, et viimistluskile on täielikult kuivanud. Viimistlusmaterjalides kasutatavate sideainete reastamisel lahusti aurustumiskiiruse ja kilesse jäänud lahustijääkide koguse järgi oleks paremusjärjestus järgmine: nitrotselluloos-, happekõvenevad-, polüuretaan-, polüester- ja akrüülpolüuretaansideainega viimistlusmaterjalid.

Kui viimistlusmaterjalides kasutatakse lahustisegusid, siis erineva aurusurvega lahusti komponendid aurustuvad samal temperatuuril erineva kiirusega. Selle tulemuseks on lahusti komponentide proportsioonide muutumine laki või värvi pealekandmisel kuni kelme täieliku kuivamiseni, mis ei tohi mõjutada viimistluskihi struktuuri ja omadusi. Suletud mahutis luuakse lahusti ja sideaine vahel dünaamiline tasakaal. Avatud anumast algab aga lahusti aurumolekulide difusioon keskkonda ning lahkunud aurumolekulide asendamiseks lahkuvad pinnalt uued molekulid, kiirendades seega aurustumist. Sama aurustumisprotsess jätkub viimistlusmaterjali pealekandmisel puidupinnale. Lahusti aurustumiskiirust mõjutab õhutemperatuur, õhuniiskus ja õhu liikumiskiirus. Õhk mahutab teatud koguse niiskust (kõrgemal temperatuuril rohkem, madalamal temperatuuril vähem) ja äkilisel jahutamisel võib õhk küllastuda ning niiskus kondenseerub ja sadestub. Oluline on teada, et vesialusel viimistlusmaterjalides vajab lahustina kasutatav vesi aurustumiseks soojussisendit, mis on 5–6 korda suurem kui enamikul orgaanilistel lahustitel. See tähendab et vesialusel materjalid vajavad reeglina rohkem kuivamisaega ja nende puhul on füüsikaline kuivamine tugevalt sõltuv temperatuurist ja niiskusest. Kui kuivatustemperatuuri 25 °C ja 50% suhtelise õhuniiskuse korral on vee aururõhk 23,7 mm, siis temperatuuri langedes 15,6 °C-ni langeb aururõhk 13 mm-ni. Sellest tulenevalt tõuseb suhteline õhuniiskus kuni 90%-ni, mis põhjustab kuivamise märgatava aeglustumise. Viimistletud detailide õhkuivatus kõikuval siseruumitemperatuuril ja õhuniiskusel on ajakulukas ja vähetootlik.

Füüsikalist kuivamist kiirendab temperatuuri tõstmine, milleks vajalikku soojusenergiasisendit saab arvutada laki- või värvisegus olevate lahustite latentse aurustumissoojuse põhjal (on enamiku lahustite kohta teada).

Oksüdatiivne kuivamine

Õlivärvides ja -lakkides on sideaineks looduslikku päritolu kuivavad õlid (triglütseriidid, glütserool ja küllastamata rasvhappete estrid), mis ristseotakse reaktsioonil õhuhapnikuga – seda nimetatakse oksüdatiivseks kuivamiseks (*oxidative drying*). Oksüdatiivselt kuivavad on lisaks looduslikku päritolu kuivavatele õlidele veel õlilakid, alküüdid ja modifitseeritud alküüdvaikudel põhinevad lakid ja värvid. Sünteetiliste alküüdvaikude kuivamine ja lõplik kõvenemine algab lahusti aurustumisega ja jätkub sideaineks oleva polümeeri reageerimisel õhuhapnikuga. Temperatuuri tõstmine mõjutab oksüdatiivse kuivamise kiirust vähesel määral.

Keemiline kõvenemine

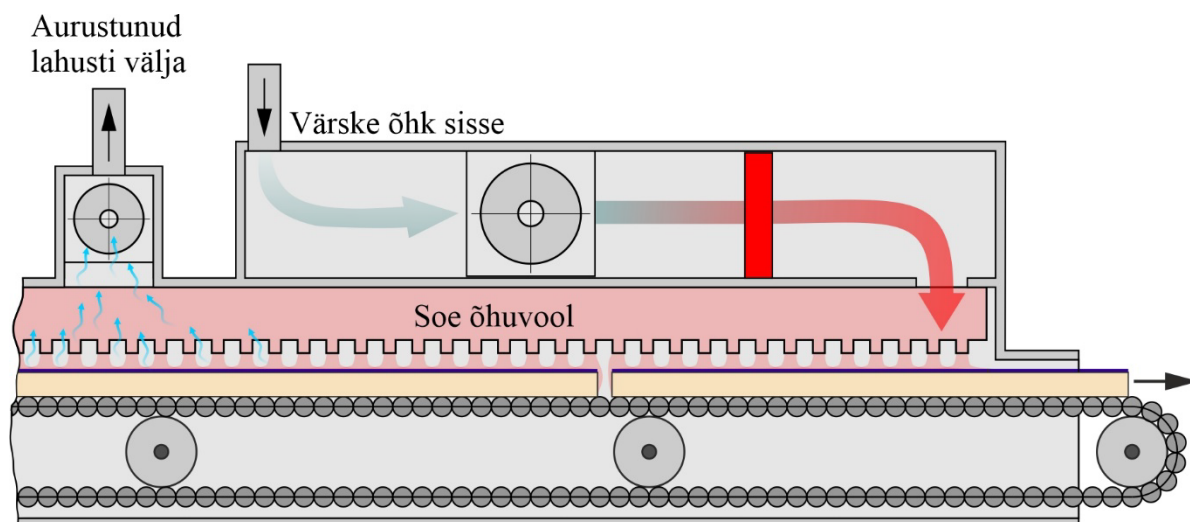
Happekõvenevate lakkide ja värvide kõvenemine ehk polümerisatsioon algab pärast happelise kõvendi lisamist. Happekõveneva ehk katalüütlaki kõvenemine toimub etapiti: kõigepealt aurustuvad lahustid ja vedeldid (füüsikaline protsess), seejärel toimub happekõveneva lakivaigu (karbamiid-, melamiinvaik) ja kõvendi (aminorühmade ja formaldehüüdi) vaheline keemiline reaktsioon (polükondensatsioon) ning vabanevad formaldehüüd ja laguproduktid (vesi). Polüuretaanviimistlusmaterjalide kõvenemine algab pärast isotsüanaadiga segamist. Temperatuuri tõstmisega saab kiirendada lahusti aurustumist ning initsieerida või kiirendada keemilist reaktsiooni sideaine ja kõvendi vahel.

8.6.1 Konvektsioonkuivatus

Konvektsioonkuivatites on kasutusel eelsoojendus-, aurustumis-, kuivatus- ja jahutustsoon. Eelsoojendustsoonis toimub puitdetaili soojendamine enne viimistlusmaterjaliga katmist. Eelsoojendusega tõuseb puidu temperatuur ja väheneb puiduniiskus ning kiirendatakse lahusti aurustumist märjast viimistlusmaterjalist. Aurustumistsoonis eraldub enamik viimistlusmaterjalis olevast lahustist ning viimistluskiht valgub puidupinnal ühtlasemalt laiali ja toimub pinnale tõusvate gaasimullide lõhkemine. Konvektsioonkuivatite puhul on õhukiirus lahusti aurustustsoonis tavaliselt 0,5–2 m/s. Kuivatustsoonis rakendatakse aurustumistsoonest tunduvalt

kõrgemat temperatuuri, et jätkuks viimistluskihi kuivamine kileks ning pinnakõvaduse, tugevuse ja elastsuse saavutamine. Jahutustsoonis detailid jahtuvad, mille käigus toimub kile kahanemine ja pinnakõvaduse suurenemine. Jahutustsoonis, nagu aurustumistsoonis, on oluline intensiivne õhuvahetus.

Konveksioonkuivatust saab läbi viia spetsiaalsete kanalikujuliste düüskuivatitega, milles soojendatud õhk puhutakse läbi düüside või kitsaste pilude töödeldava detaili pinnale kiirusega kuni 25 m/s (joonis 8.55). Düüsidega konveksioonkuivatites kasutatava tehnoloogiaga saab olenevalt värvisüsteemist lühendada kuivamisaega mõne minutini. Konveksiooniprotsessi saab tõhustada kuivatisse suunatava õhu eelkuivatamisega, suurendades seeläbi oluliselt kuivatiõhu veeimavusvõimet. Teine võimalus protsessi kiirendamiseks on reguleeritava kõrgusega infrapunakiirgurite lisamine. Kuivatussüsteemis on mitu IR-kiirgurite kiirgusvälja, mida saab vajadusel mõne sekundi jooksul sisse või välja lülitada. Sel viisil saab IR-kiirgureid väga kiirelt kohandada individuaalvajadustele ja seda kasutatakse valdavalt plaadikujuliste toodete korral konveksioonkuivatatusprotsessi kiirendamisel.

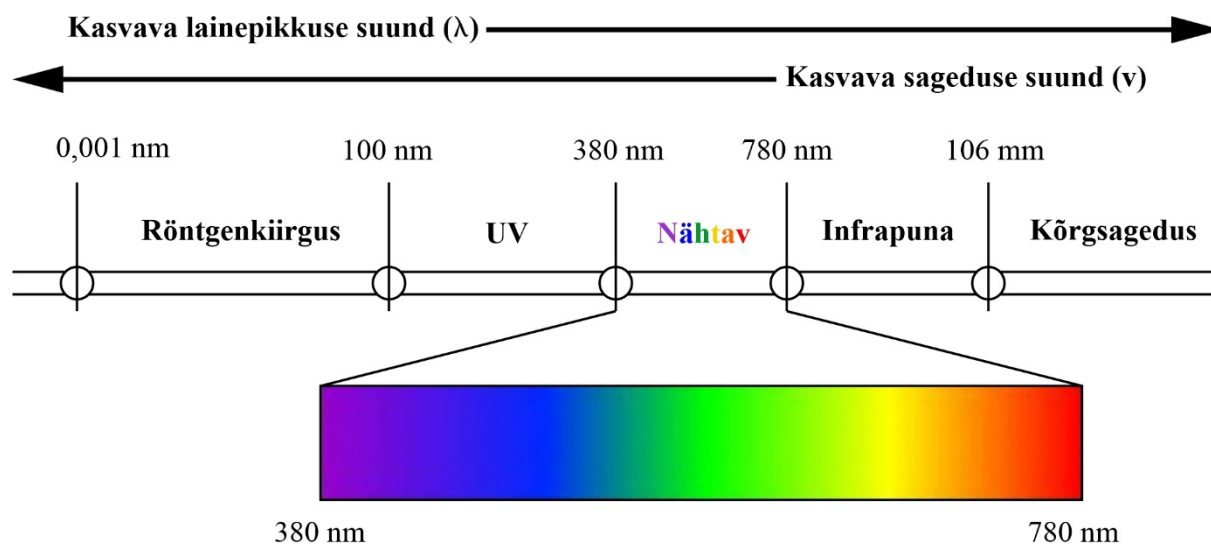


Joonis 8.55 Düüsidega konveksioonkuivati tööpõhimõtteskeem.

Konveksioonkuivatuse puuduseks on pikkadest kuivatusaegadest tingitud suur põrandapind, suur energiakulu tingituna õhu kuumutamisest ning soojuskadudest kuivati avamisel ja läbi transportisüsteemi ja hajumisega tooriku pinnalt.

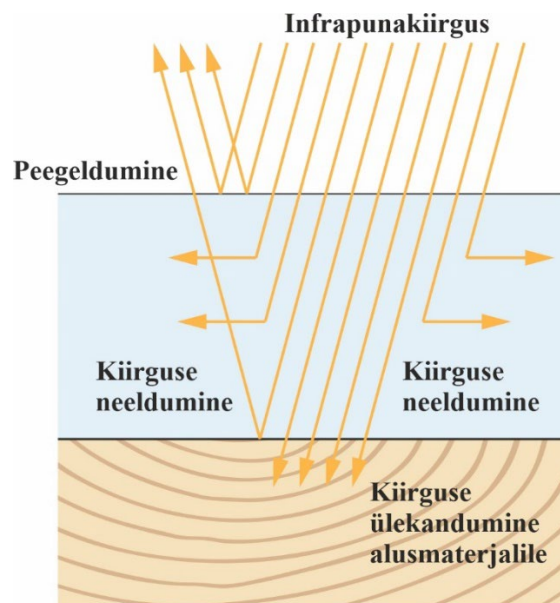
8.6.2 Radiatsioonkuivatus

Lakikihi radiatsioonkuivatuseks sobivad kaks protsessi: kuivatamine infrapunakiirguse (IR-kiirgus) või ultraviolettkiirguse (UV-kiirgus) abil (joonised 8.56, 8.57 ja 8.58). Radiatsioonkuivatust kasutatakse peamiselt kiireks kuivatamiseks või vähese lahustisisaldusega või lahustivabade värvi- ja lakisüsteemide kõvendamiseks.



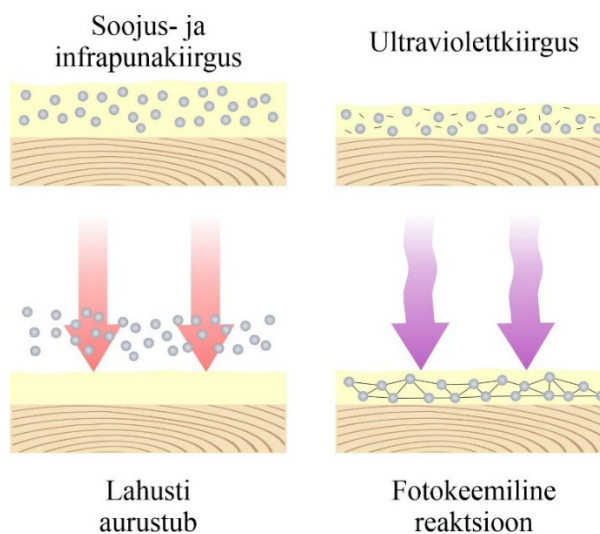
Joonis 8.56 Valguskiirgus ja selle lainepikkused.

Vesialuseliste lakkide kuivatamisel IRM-kiirgusega (*infrared heater medium wave*) sobib keskmise lainepikkusega (2–4 μm) kiirgus. Selle lainepikkusega IR-kiirte pinnatemperatuur võib süsinikkesklaine infrapunalampide (*carbon medium wave infrared lamp*) kasutamisel ulatuda kuni 1200 °C. Lühema lainepikkusega IRS-kiirte (*infrared heater short wave*) (0,8–2 μm) pinnatemperatuur on 2600 °C. IR-kiirte võimsus ruutmeetri kohta on 50–100 kW/m², kilovatte IR-kiirguri (lambi) pikkuse kohta 50–100 kW/m² ehk 25–70 W/cm. Infrapunakiired osaliselt neelduvad ja osaliselt peegelduvad töödeldava detaili pinnal (joonis 8.56), kusjuures neeldunud kiirguskomponent viib värvikihi kiire kuumenemiseni. Töödeldav detail ei kuumene üldse.



Joonis 8.57 Lakikihi kuivatus infrapunakiirguse mõjul: kiirguse neeldumine, peegeldumine ja ülekandumine.

Infrapunakiirguslambid jagunevad emiteeritava IR-kiirguse lainepikkuse järgi lühi- ja kesk-lainekiirguslampideks; see sõltub omakorda lambi temperatuurist. Mida kõrgem on IR-lambi temperatuur, seda lühema lainepikkusega on selle kiirgus. Lühikese lainepikkusega IR-kiirgus läbib hästi läbipaistvaid lakikihte ja kuumutavad selle aluspinda, samas tuleb vältida õhumul-lide ja naha moodustumist pinnakihi. Kuna infrapunakiired võivad peegelduda lakikihi pinnalt või neelduda lakikihis, siis tõstab see lakikihi sisetemperatuuri kõrgeks ja kuivatab lakikihi kii-resti kileks (joonis 8.57). Kiiret kuumutust lühi- või kesk-laine IR-kiirguslampide abil kasuta-takse vesialusel pinnakatete kõvendamiseks, kus on vee aurustamiseks vaja latentset kuumu-tust, või pulbervärvide puhul pinnakihi sulatamiseks ja kõvendamiseks.



Joonis 8.58 Lakikihi kuivatamine soojus-, infrapuna- ja ultraviolettkiirguse mõjul.

Pika lainepikkusega IRH-lampe ($> 0,4 \mu\text{m}$), mille pinnatemperatuur kuni 600°C , kasutatakse aeglasema konveksioonkuivatuse jaoks, mis on vähem tundlik aluspinna või pinnakatte värvi-tooni suhtes. Alusmaterjali ehk puitu üle kandunud infrapunasoojuskiirgus ei tõsta puidu temperatuuri märkimisväärselt, sest puit on halb soojusjuht. IR-süsteemide eelisteks on sobivus enamiku viimistlussüsteemidega ja madal hind.

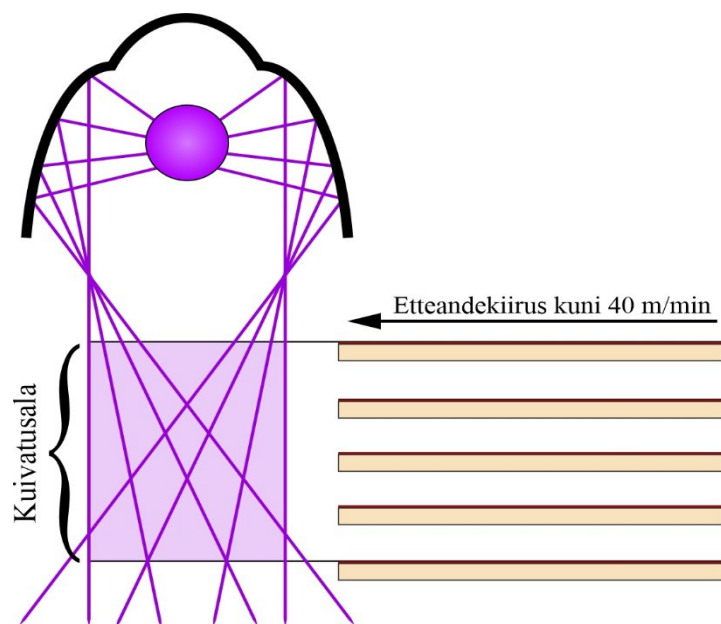
UV-kiirgusega kõvendus

UV-kiirgus on elektromagnetkiirgus lainepikkuste vahemikus $100\text{--}400 \text{ nm}$ (joonis 8.56). Tavalised UV-lambid kiirgavad lisaks UV-valgusele ka IR-kiiri, mis tekitavad soojust. Külma UV-valgust saab tekitada UV-kiirguse eraldamisel IR-kiirgusest spetsiaalsete peeglite abil. UV-kiirgus jaguneb lainepikkuse järgi kolme vahemikku, mis sobivad erinevatest viimistlusmaterjalidest viimistluskihtide UV-kõvendamiseks:

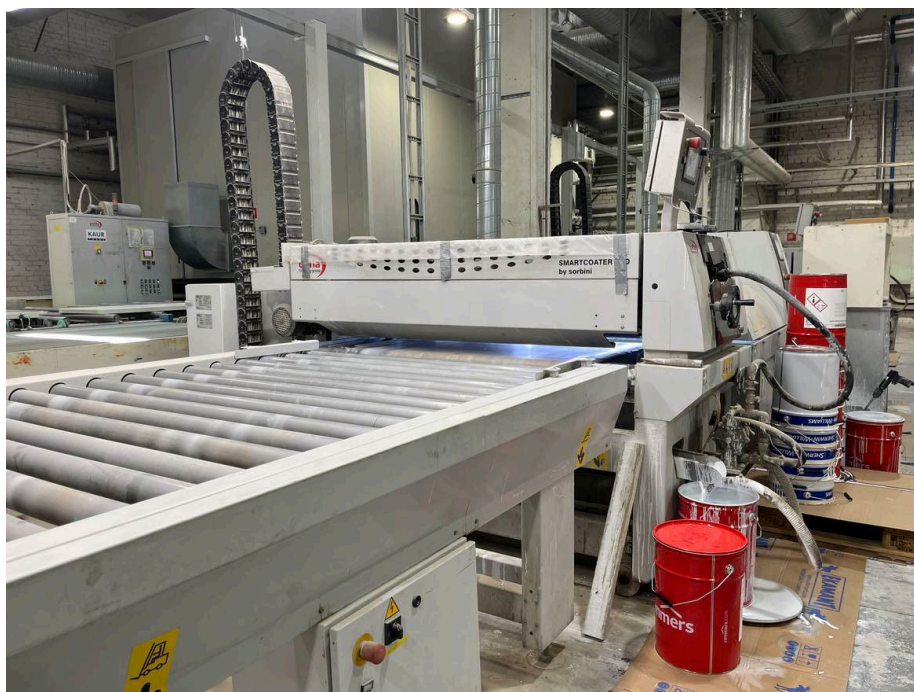
- UVC lainepikkus $100\text{--}280 \text{ nm}$, läbipaistvate lakkide jaoks (elavhõbedalambid);
- UVB lainepikkus $280\text{--}315 \text{ nm}$, kõvenemise soodustamiseks;
- UVA lainepikkus $315\text{--}380 \text{ nm}$, värvi- ja toonlaki kihtide jaoks (galliumlambid).

UV-kõvenevad lakid, mis põhinevad enamasti akrülaat- või polüestersideainel, sisaldavad fotoinitsiaatoreid, mis aktiveeritakse UV-kiirgusega. UV-kiirgusega kaasneb radikaalide moodustumine, mis käivitavad polümerisatsiooni. Veepõhised UV-kõvenevad lakikihid tuleb enne UV-kõvendamist füüsiliselt kuivatada. Täielikult kõvenevad UV-lakid kõvendatakse kohe nende pealekandmise järel. Viimistletud detaili värvi- või lakikihi UV-kõvendamiseks nii horisontaal- külgpinnal kui ka kitsastel välisservadel on vaja tagada, et iga pind on piisavalt UV-kiirgusega kiiritatud.

UV-lampide karakteristikuteks on kiirguse lainepikkus ning intensiivsus. UV-lambid jaotatakse kiirguse intensiivsuse järgi kolme kategooriasse: madala intensiivsusega (kuni 10 W/cm), keskmise intensiivsusega ($30\text{--}50 \text{ W/cm}$) ja kõrge intensiivsusega ($80\text{--}120 \text{ W/cm}$). Paraboolse reflektoriga UV-lampide (joonised 8.41, 8.59) UV-kiirgust saab koondada soovitud kitsasse piirkonda tootmisliinil. Elliptilise reflektoriga saab UV-kiirguse jaotada laiemale alale. Reflektori materjaliks on anodeeritud alumiinium, mis sobib nii IR- kui ka UV-kiirguse peegeldamiseks. UV-kõvendatavate pinnakatete kuivatusliin on näidatud joonisel 8.60.



Joonis 8.59 UV-reflektoriga kõvendatavate pinnakatete kuivatusliini tööpõhimõte.



Joonis 8.60 UV-kõvedatavate pinnakatete kuivatusliin. Foto: Viljandi Aken ja Uks AS

8.6.3 Kuivatusmeetodite võrdlus

Peamisteks viimistlusmaterjalide kuivatusmeetoditeks on konvektsioon-, ettesoojendus- ja radiatsioonimeetodid. Ettesoojendusmeetod ei ole otseselt seotud kuivatamisega, kuid seda kasutatakse värvimisliinides nii värvi kui ka pinna ettesoojendamiseks, mis kiirendab värvikihi tasandumist ja kuivamist. Kuivatusmeetodite võrdlus on toodud tabelis 8.27.

Tabel 8.27 Kuivatusmeetodite võrdlus

Konvektsioonimeetod	Ettesoojendusmeetod	Radiatsioonimeetod
Universaalne – sobib kõigile pealekandeviisidele ja materjalidele. Temperatuuri on võimalik varieerida (saab töötada toatemperatuuril). Toote mõõtmed ja konfiguratsioon pole eriti olulised. Võimalik on detailide paigutamine eri korrustele. Odav ja lihtne. Vaja on palju/suurt tootmispinda. Protsessi pikk kestus. Kvaliteediprobleemid – protsessi juhitavus keerukas.	Sobib liinimeetoditega: lakivalu ja rullvaltsidega pealekandmise korral. Sobib ka pihustusmeetodite korral. Sobib suhteliselt õhukeste pinnakatete jaoks ($\leq 80 \mu\text{m}$). Sobib paremini väikestele detailidele. Protsess on juhitav, eriti IR kasutamisel.	UV- ja IR-meetodite kõrge efektiivsus. Minimaalne vajadus tootmispinna järele. Liini suur töökiirus. Hästi juhitav protsess. Tänapäevane tehnika. Kvaliteet. Sobivad ainult teatavad lakid ja värvid. Riskitegurid (UV-kiirgus, osoon).

8.7 Viimistluskile järeltöötlus

Vajaduse korral allutatakse viimistluskile järeltöötlusele – lihvimisele, poleerimisele (nt parafiini sisaldavate polüesterlakkide puhul). Kõrglääikega pinnakatte saamiseks, nt MDF-ist köögi- kapiuste viimistlustehnoloogia korral, on protsess mitmeastmeline. Enne pinnakattematerjali pealekandmist läbib materjal lihvmasina lailintlihv (teralisus P150), ristlihv (P180), lailihvi (P220) ja lailintlihv (P280). Kantakse peale esimene kruntvärvikiht, mis läbib UV-kõvendamisprotsessi. Seejärel toimub vahelihv (teralisused P320 ja P400). Kantakse peale teine viimistluskiht (alusvärv), mis kõvendatakse UV-kiirgusega. Vahelihv teostatakse lailintlihviga (P600), ristlihviga (P600) ja lailintlihviga (P800). Seejärel kantakse peale polüuretaanlakist või polüesterlakist pinnavärvikiht. Pinnavärvikihti lihvitakse kõigepealt pika lintlihviga (teralisus P800) ja seejärel (P1200), millele järgneb poleerimine peene poleerpastaga.

8.8 Viimistlusmaterjalide ja pinnakatete omaduste hindamise põhilised meetodid

Pinnakatete mehaanilisest vastupidavusest olulisem on kulumiskindlus (kriimustus-, löögi-, abrasioonikindlus) ning temperatuurimuutustest ja puitaluspinna pundumisest ja kahanemisest

tingitud pragunemiskindlus. Pinnakatete keemiline vastupidavus seisneb eelkõige keemiakindluses eeskätt külmade vedelike suhtes. Viimistletud puittoodete pinnakatte keemilise ja mehaanilise vastupidavuse hindamiseks on välja töötatud mitu standarditud katsetamismeetodit. Viimistlusmaterjalide omaduste testimiseks on riiklikke meetodikaid välja töötanud standardimisega tegelevad organisatsioonid ASTM USA-s DIN Saksamaal, BS Suurbritannias, AENOR Hispaanias, AFNOR Prantsusmaal, UNI Itaalias. Riiklike DIN- ja BS-standardite kasutus on turupõhiselt levinud eri riikide tarnijate ja klientide seas. EL-i riikideülesed standardid on välja töötanud Euroopa Standardikomitee (CEN). Nende eesmärk on, et kõik riiklikud standardid, mis käsitlevad sama teemat, asendatakse automaatselt EN-standardiga. Rahvusvahelise Standardimise Organisatsiooni (ISO) väljatöötatud ISO-standardi valmimisel kohanduvad riiklikud ja Euroopa EN-normid sellega, et saavutada ühtsele meetodikale üleminek ja selle kasutuselevõtt kogu maailmas.

8.8.1 Pinnakatete katsetamine

Pinnakatete omaduste katsetamiseks on välja töötatud standardsed katsemeetodid nii märja viimistluskihi (tabel 8.28) kui ka kuivanud viimistluskile hindamiseks (tabel 8.29).

Tabel 8.28 Märja viimistluskihi näitajad ja standardsed katsemeetodid

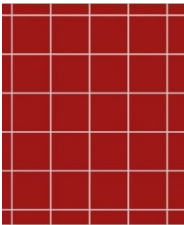
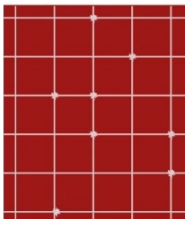
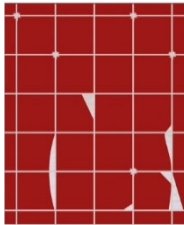
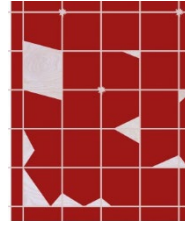
Näitaja	Katsemeetod	Standard
Kuivainesisaldus	Kuivainesisaldus, massi-%	EN-ISO 3251
Kuivainesisaldus	Kuivainesisaldus, mahu-%	EN-ISO 3233-1
Pigmendisaldus	Pigmendi ja täiteaine sisaldus	EN-ISO 14680-1-2-3
Lenduvad orgaanilised ühendid	VOC, %	EN-ISO 11890-1/-2
Lenduvad orgaanilised ühendid	VOC, % (vesialusel lakid, värvid)	EN-ISO 17895
Tihedus	Suhteline tihedus	EN-ISO 2811-1-2-3-4
Viskoossus	Ford cup'i meetod	EN-ISO 2431
Viskoossus	Dünaamiline viskoossus palli või ketta meetodil	EN-ISO 2884-2
Leekpunkt	Leekpunkt	EN-ISO 3679
Täiteaine	Osakese suurus dispersioonis	EN-ISO 1524
Elektrijuhtivus	Elektrijuhtivus ja -takistus	EN-ISO 15091
Kuivamine ja kõvenemine	Kuivamine kihi paksuses	EN-ISO 9117-1
Kuivamine ja kõvenemine	Rõhu all	EN-ISO 9117 -2
Vastupanu voolamisele	Voolavusindeks	EN-ISO 16862
Märja kile paksus	Kammi meetodil	EN-ISO 2808

Tabel 8.29 Kuivanud viimistluskile omaduse hindamise standardised katsemeetodid

Karakteristik	Test	Standard
Kõvadus	Pliiatsikõvadus	EN-ISO 15184
Kõvadus	Persozi pendelkõvadus	EN-ISO 1522
Kõvadus	Buchholzi indentorkõvadus	EN-ISO 2815
Elastsus	Pragunemistest kukkuva kuuliga	EN-ISO 6272-1-2
Pinnakatte adhesioon	Pinnakatte ristilõikamise test	EN-ISO 2409
Nakketugevus	Liimitud nupu (dolly) tõmbetest	EN-ISO 4624

Kuiva värvikile ja puidupinna vahelise nakketugevuse määramiseks kasutatakse standarditud kuue piki-ristilõike katsemeetodit EN ISO 2409. Selle järgi tehakse värvipinda käsitööriistaga kuus paralleelset võrdsete vahedega lõiget. Lõigete vahekauguse (1–3 mm) valik sõltub lisaks aluspinnale värvikihi paksusest – kuni 60 µm kihipaksuse ja kõva aluspinna puhul on lõigete vahekaugus 1 mm, pehme aluspinna puhul 2 mm. Kihipaksuse 61–120 µm korral on vahe 2 mm, kihipaksusega 121–250 µm on vahe 3 mm. Lakikihti lõigatakse 1–3 mm laiuselt (risti kuue varem tehtud pikilõikega) veel kuus üksteisega paralleelset lõiget, luues ruudustikuna piki-risti läbi lõigatud pinna. Mida rohkem lakiosakesi läbilõikamise tagajärjel viimistluskihist lahti tuleb, seda nõrgem on nake. Viimistluskihi nakketugevust hinnatakse karakteristikute tabeli abil (tabel 8.30). Mõnel juhul kaetakse lõikepinnad ka kleepuva kilega (liimiga kaetud teip) ja kleepkile eemaldatakse pinnalt ühtlase kiirusega rebides ja seejärel hinnatakse visuaalselt piki-risti lõigatud pinna kvaliteeti. Pinnakatete vastupidavuse standardised katsemeetodid on toodud tabelis 8.31.

Tabel 8.30 Pinnakatte nakketugevuskatse ristilõikamisega

0	1	2	3	4	5
					
Väga hea pinnakatte nake aluspinnaga	Hea pinnakatte nake aluspinnaga	Piiratud ulatuses pinnakatte nake aluspinnaga	Ebapiisav pinnakatte nake aluspinnaga	Halb pinnakatte nake aluspinnaga	Väga halb pinnakatte nake aluspinnaga

Tabel 8.31 Pinnakatete vastupidavuse standardsed katsemeetodid

Karakteristikud	Katse	Standard
Vastupidavus kemikaalidele	Vastupidavuskatse külmadele vedelikele	EN-12720
Mehaaniline vastupidavus	Vastupidavuskatse abrasiivsele kulumisele (TABER)	EN-ISO 5470-1
Termiline vastupidavus	Termokindluskatse (kuiv)	EN-ISO 3248
Vastupidavus vananemisele	UV/ksenoon lambikatse	EN-ISO 16474-1-2-3
Pinnakatte adhesioon	Pinnakatte piki-ristilõike katse	EN-ISO 2409

8.8.2 Võimalikud viimistlusdefektid ja nende tekkepõhjused

Viimistlemisel võib tekkida mitmesuguseid defekte; tabelis 8.32 on toodud (mittetäielik) loetelu enamlevinutest.

Tabel 8.32 Viimistlemisel tekkivad defektid ning nende põhjused ja vältimine

Defekt	Tagajärjed	Võimalikud põhjused	Vältimine
Lakinaha tekkinine anumaski (skinning)	Lakk läheb kaotsi, määrab kilet	Ebatihedus pakend (soe hoiuruum)	Poolleli nõusse valada lahustit, jahe hoiuruum, lakk kurnata
Põhjasete (sediment)	Kelme jääb laiguliseks	Liiga kaua hoitud; soe hoiuruum	Hoolikalt segada, hoida jahedas
Lakk ei kuiva (drying troubles)	Lakk jääbki kleepuma	Kõvendi puudub või selle kogus on vale; paks lakikiht	Aluskiht peab olema kuivanud; vältida kaetava pinna niiskust
Lakk tõmbub kipra (wrinkling)	Kelme ei moodustu; määrdub	Kaeti liiga värske krunt, liiga paks lakikiht, palisandriefekt	Jälgida krundi kuivamisastet ja lakikile õiget paksust
Rikutud toon – värvi läbitungimine (bleeding)	Värvikiht on kirju	Krundist lahustunud värvaine lööb kelmest läbi	Kasutada isoleerivat värvi
Lakk voolab – valgumisnired (running)	Näotu välimus	Liiga paks kelme (laki reoloogilised omadused)	Õhem kiht, tiksotroopne lakk
Lakikiht „kerkib“ (lifting)	Kelme lööb aluselt lahti	Krunt ei pea vastu lakilahustile; pundub ja lööb lahti	Valida lahusti lakile

Apelsinikoor, šagrään (<i>orange peel</i>)	Lakipind on kurruline	Vale lahusti, laki viskoossus on vale, lühike geelistussae	Valida lahusti, initsiaator ja kiirendi
Mügarpind (<i>grain</i>)	Inetu välimus	Tolmune aluspind; sobimatu lahusti – komponendid sadenevad välja	Aluspind ja töökoht puhastada; võtta õige lahusti
Ebaühtlane läige (<i>unequal gloss</i>)	Pind on triibuline	Vale lahusti; poorne, imav või ebatasane aluspind	Sobiv lahusti; alus krun-tida; ühtlase paksusega lakikile
Poorsus (<i>porosity</i>)	Kelme poorne, määrdub kergesti	Sobimatu lahusti; niiske pihustusõhk	Sobiv lahusti; pihustus-õhk kuivatada
Kriidistumine (<i>chalking</i>)	Pigment eraldub	Värv on liialt vedel-datud	Jälgida värvi kasutus-juhendeid
Mullitamine (<i>blistering</i>)	Lakk tuleb aluspin-nalt lahti ümmar-guste mullidena	Poorne alus ja poori-des on õhk; niiskus on pääsenud lakikihi alla	Kasutada vedelat krunti; jälgida, et lakki segami-sel ei pääseks sinna õhku
Värvustooni muutus (<i>discoloration</i>)	Värvitoon heleneb või tumeneb	Võimalik pleekumine	Lasta krundil korralikult kuivada
Koorumine (<i>scaling, peeling</i>)	Osa pinnakattest eraldub alusest	Värvitud on niisket pinda, alusele sobi-matu viimistluskombi-natsioon	Lakkida kuiva pinda, täita kasutusjuhiseid
Kestendamine (<i>chipping</i>)	Pealmine kiht koo-rub aluskihilt maha	Kihtide pealekandmi-sel on olnud liiga pikk ajavahe	Vajadusel aluspind matistada (aktiveerida)

8.9 KORDAMISKÜSIMUSED

1. Tooge viis näidet puittoodetest, mis vajavad viimistlust, ja viis näidet puittoodetest, mille puhul viimistlus on üleliigne.
2. Millise kahjuliku keskkonnamõju eest peab viimistlusmaterjal puittoodet kaitsma?
3. Mis on tärpentini tooraine?
4. Milline erinevus on avatud ja suletud pooridega pinnakatetel?
5. Kas matistatud lakiga viimistlemisel kasutatakse suletud või avatud pooridega viimistlust?
6. Kuidas ületada puidupinnaga seotud probleemid?
7. Kuidas seletada puidupinna nakke erinevust lihvitud ja hõõveldatud pinna korral?
8. Milline erinevus on immutusõlidel ja viimistlusvahadel?
9. Millised on väljavaated mesilasvaha kasutamiseks puidu viimistlemisel?
10. Milline koosõla peaks olema aluspinna ja lakikile adhesiooniparameetritel?
11. Kas õlide ja vahade kasutamisel puidu viimistlemisel ilmneb ka probleeme ja negatiivseid momente?
12. Miks kasutatakse palliga käsitsi pealekandmisel viimistlusmaterjalina just polituure?
13. Miks tekib laki pneumaopihustamisel lakiudu?
14. Mida kujutab endast traaverskamber?
15. Kuidas dispergeeritakse lakki elektrostaatiliselt pealekandmisel?
16. Kuidas on võimalik peale kanda pulberlakke?
17. Kuidas on võimalik lakivalumasinaga peale kanda kahekomponentset lakki (nt küllastamata polüesterlakk)?
18. Kuidas saab viimistleda mööblidetailide külgpindu (nt kapiuksi)?
19. Kas defekti „apelsinikoor“ on võimalik mingite insenerlike võtetega heastada?
20. Miks on oluline, millises IR-kiirguse piirkonnas lakikile on läbipaistev elektromagnetilisele kiirgusele?

ALLIKAD

Kirjandus

Akzo Nobel, „*Puitpindade tööstuslik viimistlemine*“ (brožüür)

Alen, H., *Värvid ja nende kasutamine*, OÜ Demostar „Ehitame“ kirjastus, Tallinn 2004

Bulian F, Graystone J.A. *Wood Coatings: Theory and Practice*, 2009, Elsevier B.V.

Böttcher, P. *Oberflächenbehandlung von Holz und Holzwerkstoffen*, 2004 Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co

Christjanson, P. „*Adhesioon ja adhesiivid*“, TTÜ, 2004

Dresdner, M. *The New Wood Finishing Book*, 1999 Taunton Press Inc.

Flexner, B., *Understanding wood finishing: How to Select and Apply the Right Finish*, The Reader's Digest Inc., Pleasantville, New York/Montreal

Jewitt, J. *Spray Finishing: made it simple*, 2010 The Taunton Press

Nutsch, W., *Holztechnik Fachkunde*, 24. Auflage, 2017, Europa Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten

Surface Coatings, Oil and Colour Chemists Association of Australia St, Springer, Dordrecht, 1983

Internetiallikad

Osmo Holz und Color GmbH&Co, KG; www.osmo.de

<https://et.glosbe.com/de/et/l%C3%B6sbar>

Automaalri õpik ametikoolidele [Võrguteavik] / Peeter N. Sarevet, Tõnu Tammist, Margus Raud, Tallinn : Innove, 2014 <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:228923/115094/page/5>

de Moura, L.F., Hernández, R.E. Effects of abrasive mineral, grit size and feed speed on the quality of sanded surfaces of sugar maple wood. *Wood Sci Technol* 40, 517–530 (2006).
<https://doi.org/10.1007/s00226-006-0070-0>

UV-kiirguse mõjul kõvenevate pinnakatete tööpõhimõte:

<https://www.hoenle.de/hoenle.de/pdfs/produktbroschueren/de/grundlagen-funktionsprinzip-uv-reaktiver-fertigungsprozesse.pdf>

Devilbiss pihustidüüside suurused. <https://www.bsc-technik.com/tips-tools/conversion-charts-and-tools/the-devilbiss-code/>

9 MÖÖBLI KAVANDAMINE, KONSTRUEERIMINE, SEOTISED JA FURNITUUR

9.1 Nõuded mööblile ja standardimine

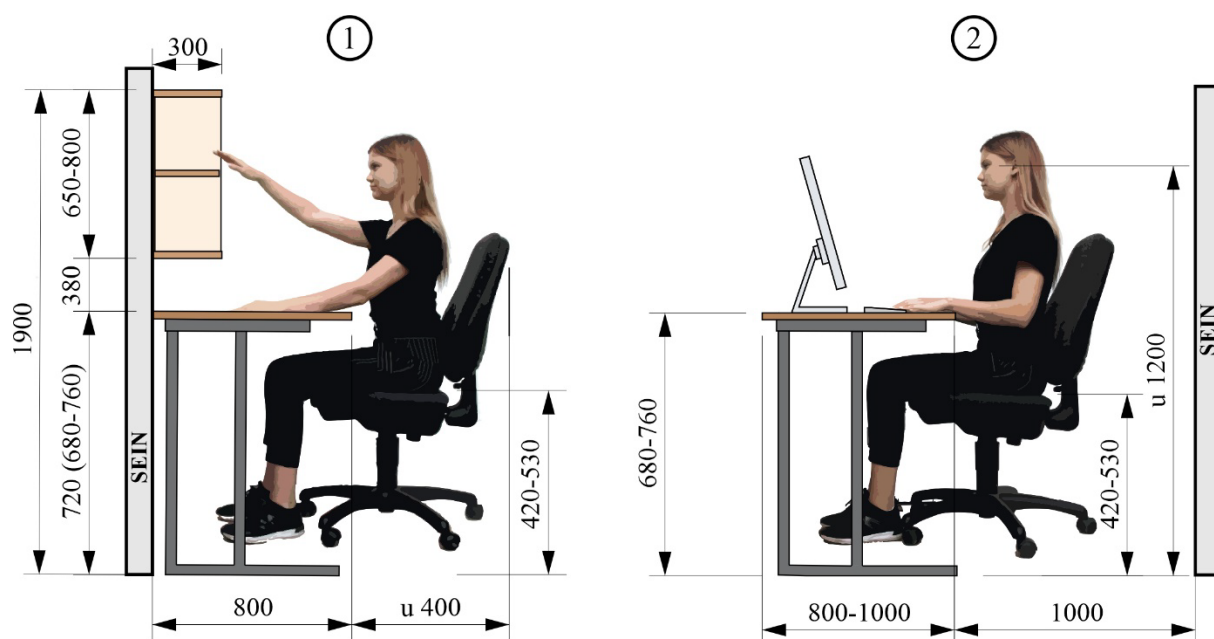
Mööblile esitatakse nüüdisajal palju mitmesuguseid nõudeid, sest mööbliesemete kasutus põhjustab olmetraumasid ja mööbliohutusele on hakatud järjest rohkem tähelepanu pöörama. Peamine osa Euroopa standarditest ongi just ohutuse kohta. Eestis läbi viidavate avalike ruumide mööbli või koolimööbli riigihangete puhul on EN-normidele vastavus kohustuslik.

9.2 Ergonoomika mööbli kavandamisel

Mööbel peab olema funktsionaalne, kaunilt kujundatud, vastama kasutaja nõudmistele ja vajadustele. Mööbli otstarbekuse määravad õiged mõõtmed, mis võimaldavad erineva kehapikkuse ja proportsioonidega inimestel mööbliesemeid mugavalt kasutada. Mööbel peab vastama soovitud funktsionaalsusele ja sobima ruumi, kus seda kasutatakse. Selleks tuleb mööbliesemed disainida ja konstrueerida nii kvaliteedilt kui ka hinnalt sobivatest materjalidest ja vastupidava pinnatöötlusega. Mugava ja ergonoomilise kasutuse tagamiseks peavad mööbli mõõtmed põhinema inimese kehamõõtmel. Oluline on, et mööbel oleks ehitatud nii, et seda saaksid kasutada eri pikkusega inimesed.

Seetõttu kasutatakse mööbli kavandamisel inimkeha keskmistatud näitajaid (normaalsuurst) ja kehaosade omavahelisi proportsioone. Erandiks on puuetega inimestele ja ratastooliskasutajatele mõeldud mööbel ja seadmed. Mööbli mõõtmed peavad olema seotud mööbli ergonoomilise ja mugava kasutamisega.

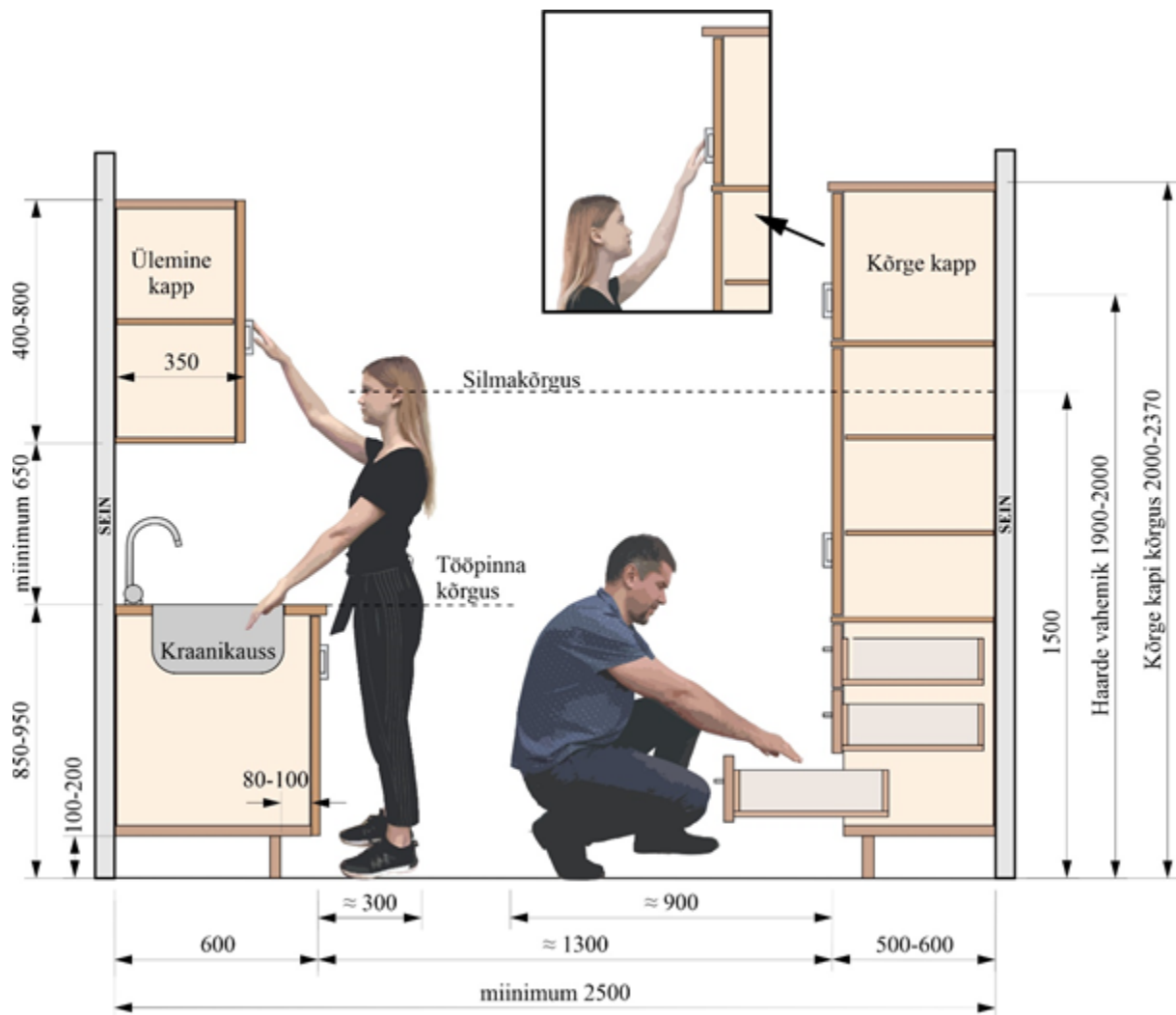
Kontori töölaudade kõrgus on 720–760 mm, ratastel liikuva kontoritooli kõrgust saab reguleerida piires 420–530 mm (joonis 9.1). Töölaua taga istudes peab laua ja seina vahele jääma 1000 mm vaba ruumi tooli edasi-tagasi liigutamiseks istumisel ja püsti tõustes. Reguleeritava kõrgusega töölaua puhul püstises asendis töötamisel on töökõrguseks 1100–1150 mm.



Joonis 9.1 Mõõtmed töötamisel: 1 – töölauda taga istudes, 2 – arvutiga töötamisel.

Köögimööbel

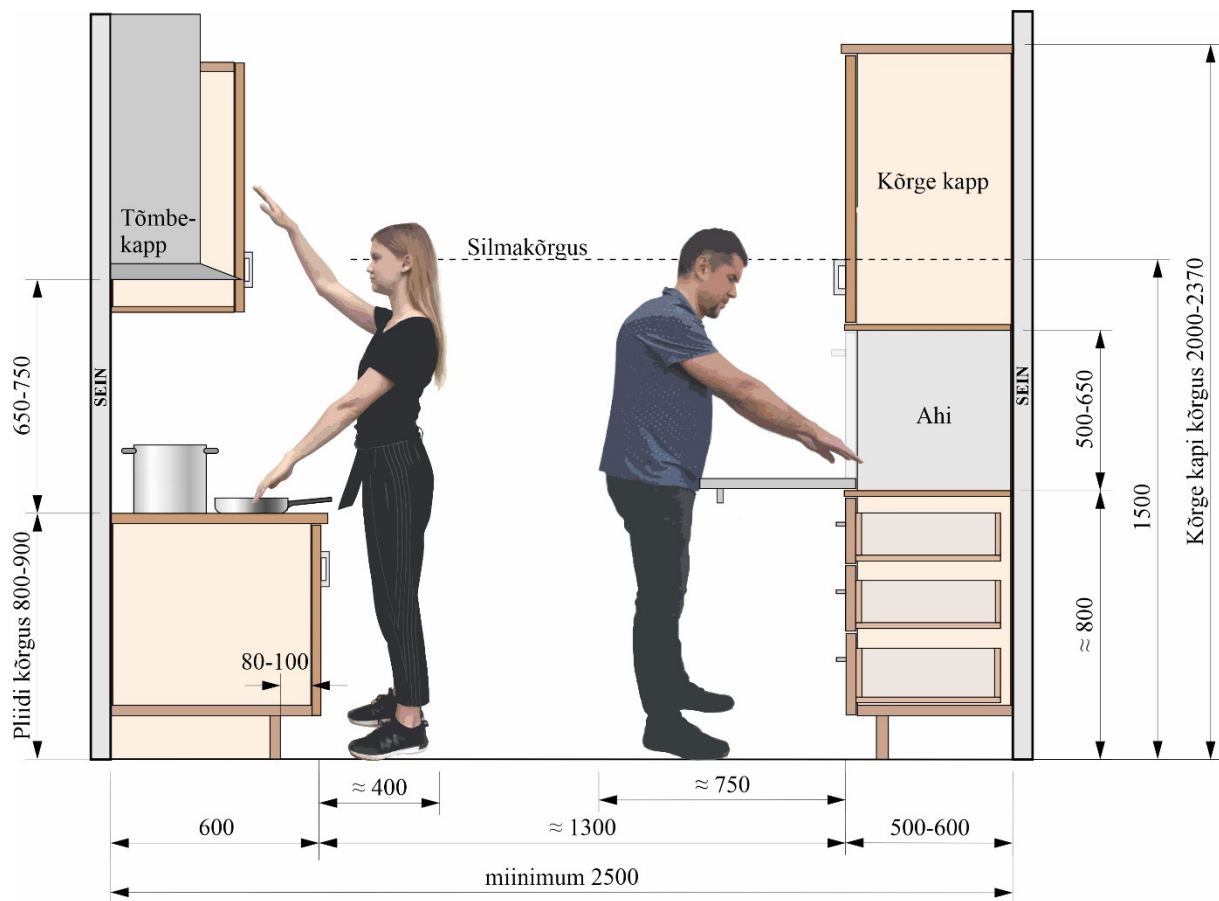
Köögimööbli töötasandi kõrguseks on 800–950 mm, eeldades, et tööd tehakse enamasti seistes. Köögikappide mõõtmed, sahtlite pikkuse ja kõrguse määravad sinna paigutatavate köögimasinate, keetmiseks ja praadimiseks kasutatavate toidunõude mõõtmed. Näiteks ülemiste köögikappide riiulivahede kõrguse määravad erinevate joogiklaaside kõrgused ja riiulite pikkuse ja kapi sügavuse toidunõude läbimõõdud. Sahtlite puhul on väga oluline rasketest toidunõude virnadest lähtudes ka arvestada vastava kandevõimega (30–50 kg). Köögis on eriti tähtis õige töötasandi kõrgus ning kappide ja riiulite kõrguse puhul tuleb arvestada inimeste erinevast pikkusest tuleneva haaramisulatusega. Samuti peab köögis olema piisavalt ruumi liikumiseks ka siis, kui sahtlid on välja tõmmatud või nõudepesumasina uks on avatud ja sahtel välja tõmmatud (joonis 9.2).



Joonis 9.2 Kööginõu mõõtmed ja ruumivajadus kasutamisel.

Ergonoomilise ja mugava haardeulatusega arvestatakse nii köögitehnika (induktsioonpliidi keeduplaadi, köögivalamu ja integreeritud küpsetus- või mikrolaineahju) kui ka seinakappide riiulite kasutamisel (joonis 9.3).

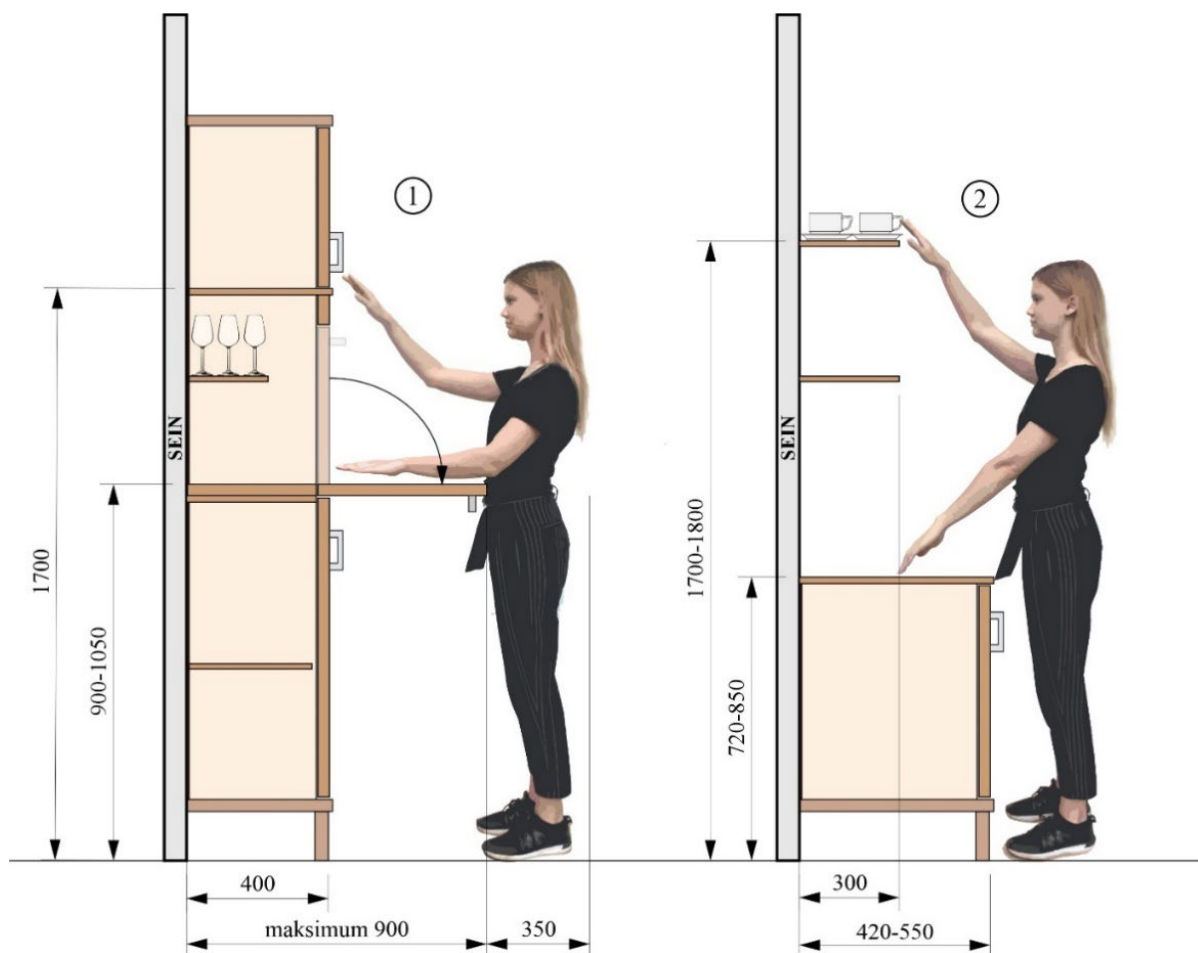
Ülemiste köögikappide kasutusel jäävad küljele avanevad ukse ette nõudepesumasina toidu- nõude väljatõstmisel, kappi panemisel või kapist väljavõtmisel, mistõttu võib avatud ukse vastu pea ära lüüa. Ergonoomiliselt parem lahendus on ülespoole avanev, ühe- või kaheosaline horisontaaluks (joonis 9.4).



Joonis 9.3 Kööginõu mõõtmed köögitehnikaga töötamiseks.



Joonis 9.4 Kööginõu ülemiste kapiuste lahendused (vasakul kõrgem kapp kaheosalise uksega, paremal madalam kapp üheosalise uksega).



Joonis 9.5 Köögimööbli mõõdud ja ruumivajadus.

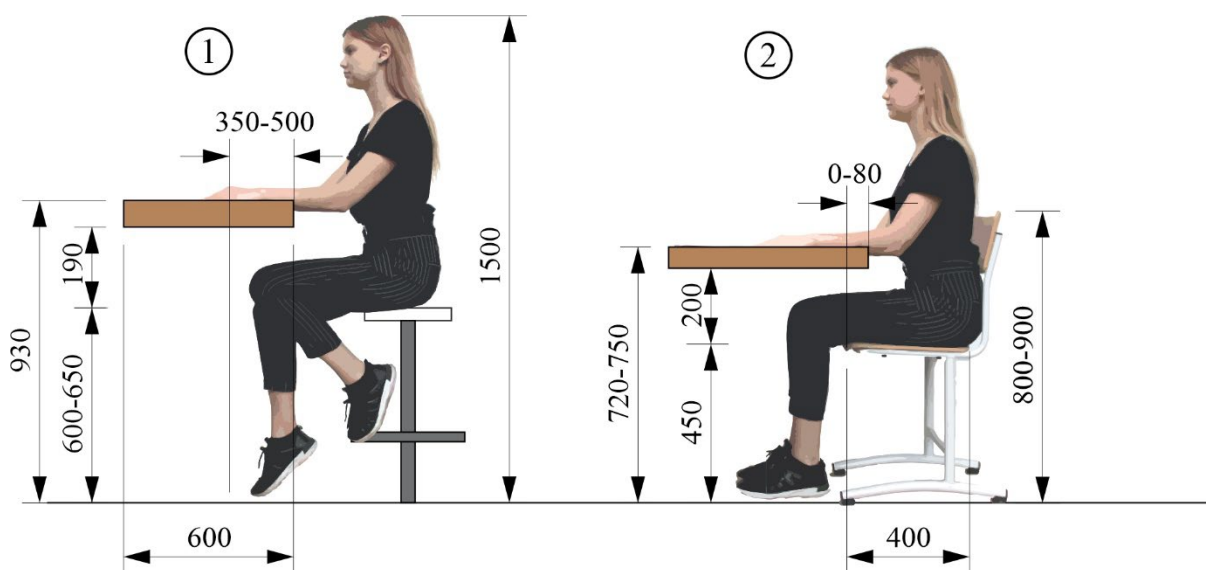
Toidunõude (mõõtmete tabel 9.1), sh joogiklaaside ja kohvitasside mugavamaks kappidesse paigutamiseks võib kasutada allapoole avaneva uksega kappi (joonis 9.5, baarikapp) või kitsamaid 300 mm riuleid, kui alumine kapp on sügav (joonis 9.5, köögikapp).

Tabel 9.1 Toidunõude mõõdud

Toidunõud	Läbimõõt, mm	Kõrgus, mm	Pikkus, mm
Eelrootaldrik	190	–	–
Söögitaldrik	250	–	–
Kohvitassitaldrik	150	–	–
Kohvitass	120	50	–
Söögiriistad	–	–	210
Teelusikas	–	–	160
Kohvikann	260–300	220	–
Õlleklaas	–	260	–
Vahuveiniklaas	–	220	–
Veiniklaas (valge vein)	–	190	–
Veiniklaas (punane vein)	–	165	–
Konjakiklaas	–	110	–
Mahlaklaas	–	130	–
Veinipudel	80	330	–
Vahuveinipudel	90	310	–
Likööripudel	100	280	–

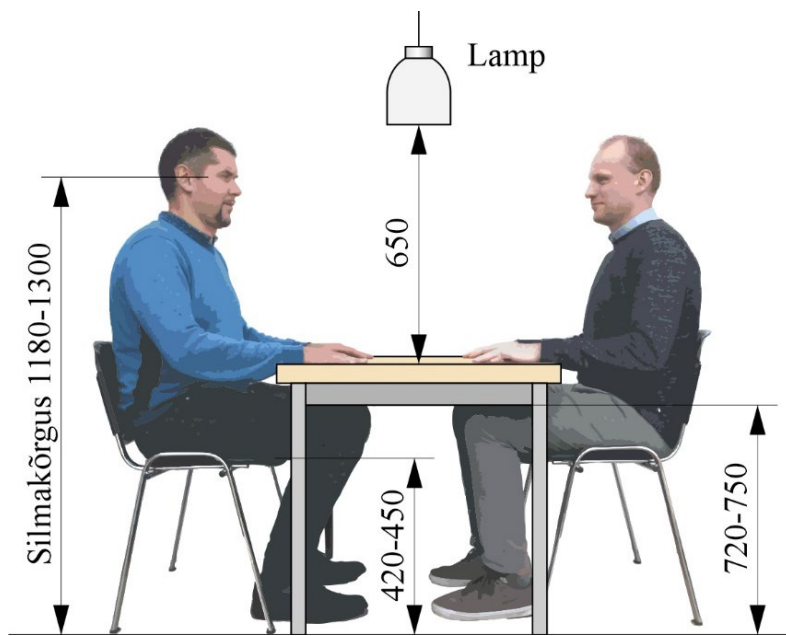
Söögitoa ja baarimööbel

Söögilaua sobilik kõrgus on 720–750 mm ja köögitooli sobilik istmekõrgus on 420–460 mm. Söögilaua äärne ruumivajadus tuleneb plaanitud inimeste arvust, kes peaksid laua taga istuma, ja istumiseks vajalikust ruumist. Söögilaua väikseim laius on 800 mm.



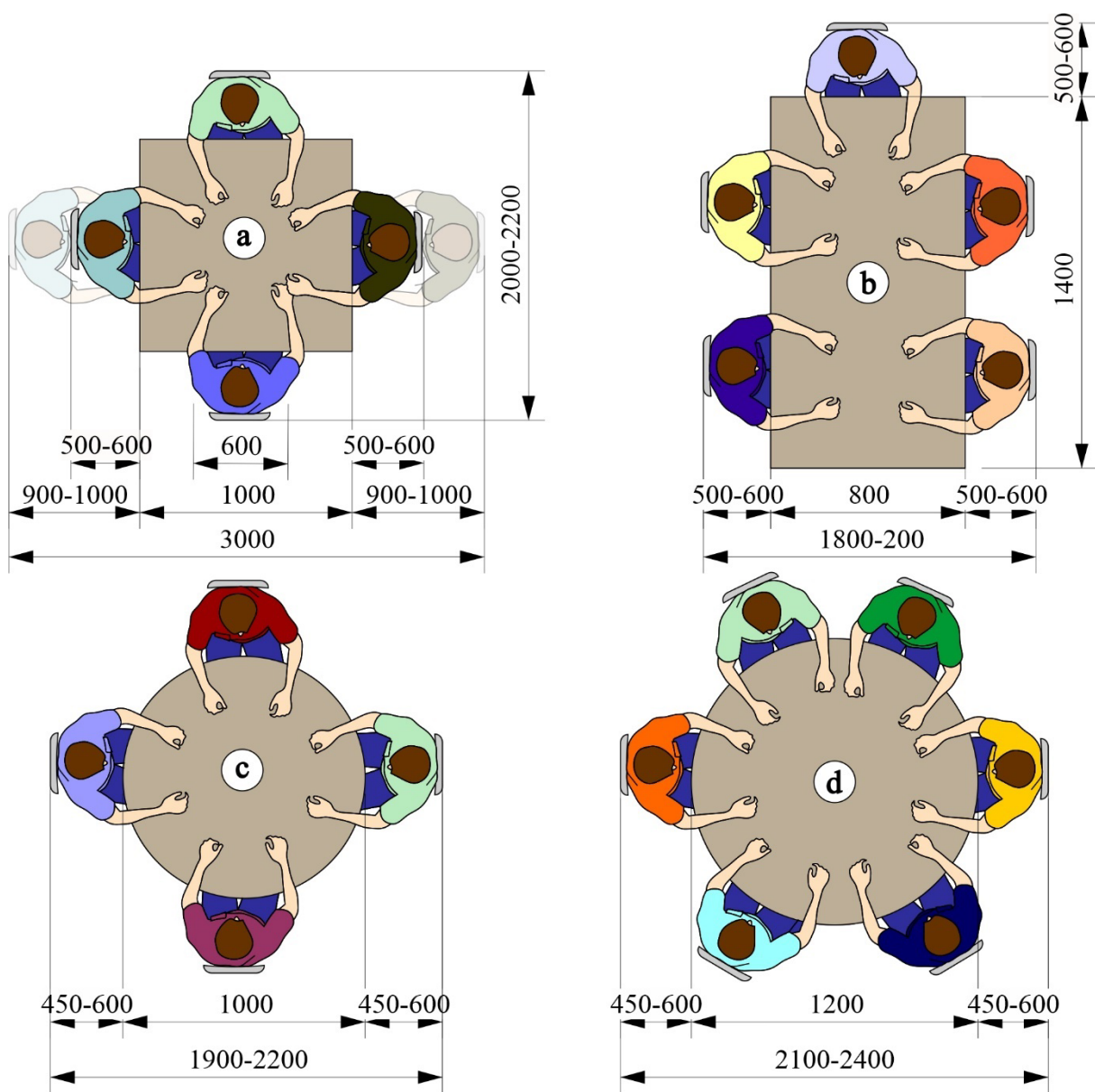
Joonis 9.6 Söömine kõrgema laua ääres baaripukiga (1) ja söömine söögilaua ääres (2).

Kui söögilaud on paigutatud kahe seina vahelisse või seina ja kapi vahelisse nišši, on vaja arvestada ruumiga toolide taga liikumiseks. Toolile istumiseks ja sellelt tõusmiseks on vaja 500 mm ning toolirea taga kõndimiseks 700 mm. Laua all peaks inimeste jalgadele kõrguses olema vähemalt 600 mm ruumi ja laua kõrgus põrandast vähemalt 720 mm. Laua kohal olevad rippvalgustid võiksid valgust hajutada või tuleb need reguleerida sobivale kõrgusele, et need ei pimestaks istuja silmi.



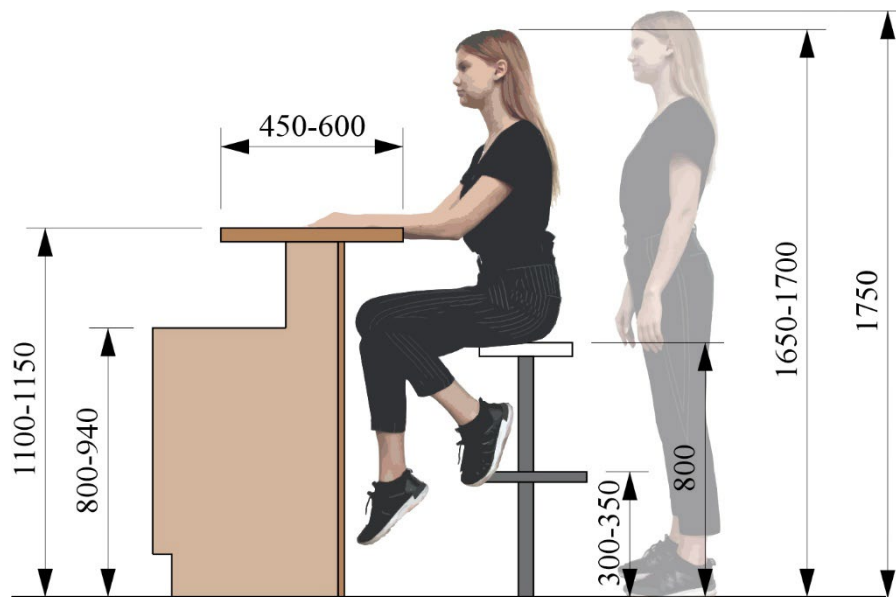
Joonis 9.7 Kahekohaline söögilaud.

Iga inimese istumislaiuseks tuleb arvestada vähemalt 600 mm. Kui ristkülikukujulise laua taga istub neli inimest, on vajaliku laua pikkus kahe inimese kohta 1200 mm. Kui lauaotsas istub viies inimene, tuleb lauda pikendada 200 mm võrra ehk 1400 mm. Ümmarguse söögilaua puhul kehtib 1000 mm läbimõõt neljale inimesele ja 1200 mm läbimõõt kuuele inimesele (joonis 9.8).



Joonis 9.8 Istujate paigutamine ruudu- (a), ristkülikukujulise (b) ja ümara söögilaua taha läbimõõduga 1000 mm (c) ja 1200 mm (d).

Baarileti kavandamisel tuleb arvestada nii baaripukil istuva inimese istumiskõrgusega (et tal oleks mugav baariletile kätega toetuda ja süüa) ning ka seisva inimese käte kõrgusega (et ka püstises asendis oleks võimalik baariletile mugavalt toetuda ja süüa) (joonis 9.9). Püstine asend on söömiseks tavapärane ka nt konverentsidel, kus parema ruumikasutuse saavutamiseks kasutatakse pukklaudu, sest seisev inimene kasutab vähem ruumi kui istuv inimene.

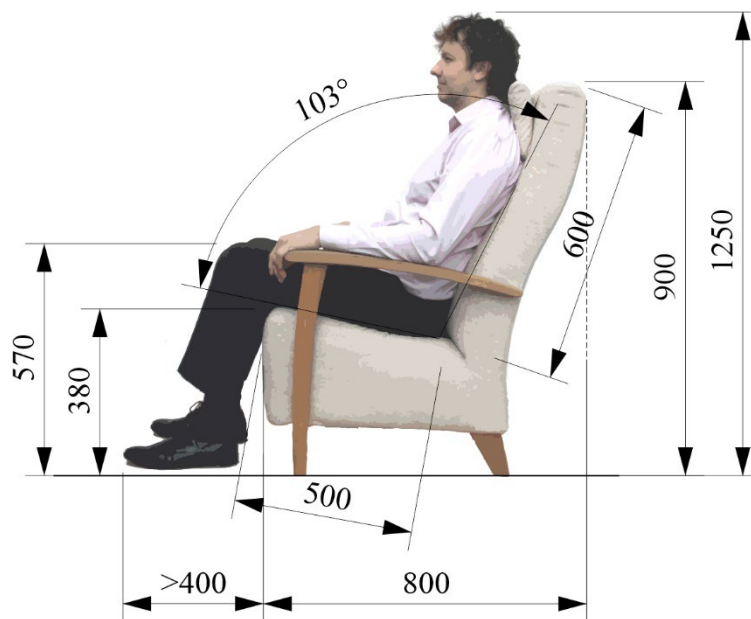


Joonis 9.9 Baarileti ja baaripuki kõrgus.

Elutoa ja magamistoa mööbel

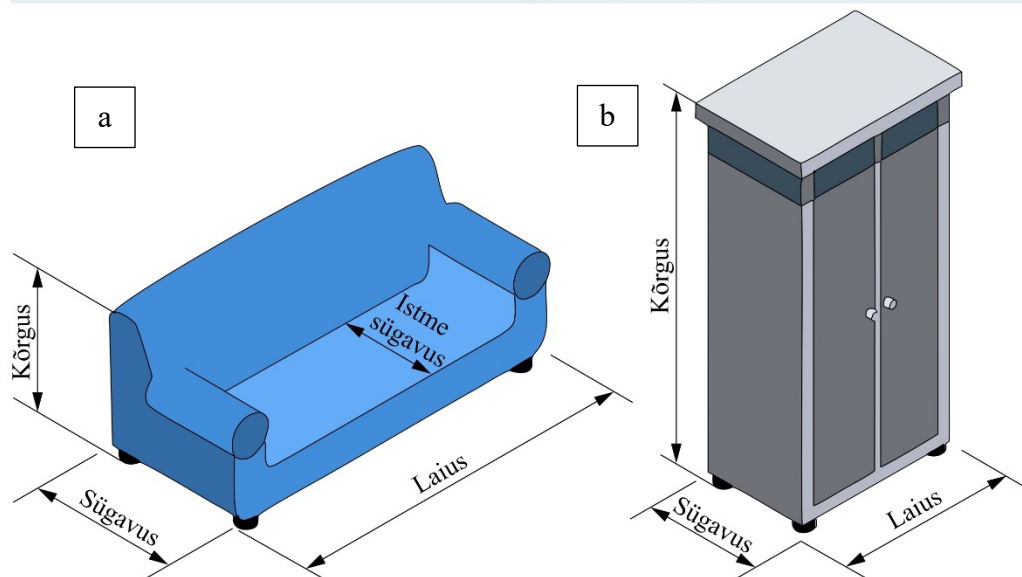
Elutoas või hotelli ooteruumis tugitoolis (joonis 9.3) või sohval istujatele sobiv istmekõrgus on 380–400 mm, millega on vastavuses ka nende kasutuses oleva laua kõrgus 400–650 mm.

Erineva otstarbega mööbliesemete puhul on oluline, et gabariitmõõtmed oleks välja toodud koos selgitusega, kas gabariitmõõt, mõõdetud toote laiuses, sügavuses ja kõrguses, on oluline (joonisel 9.11).

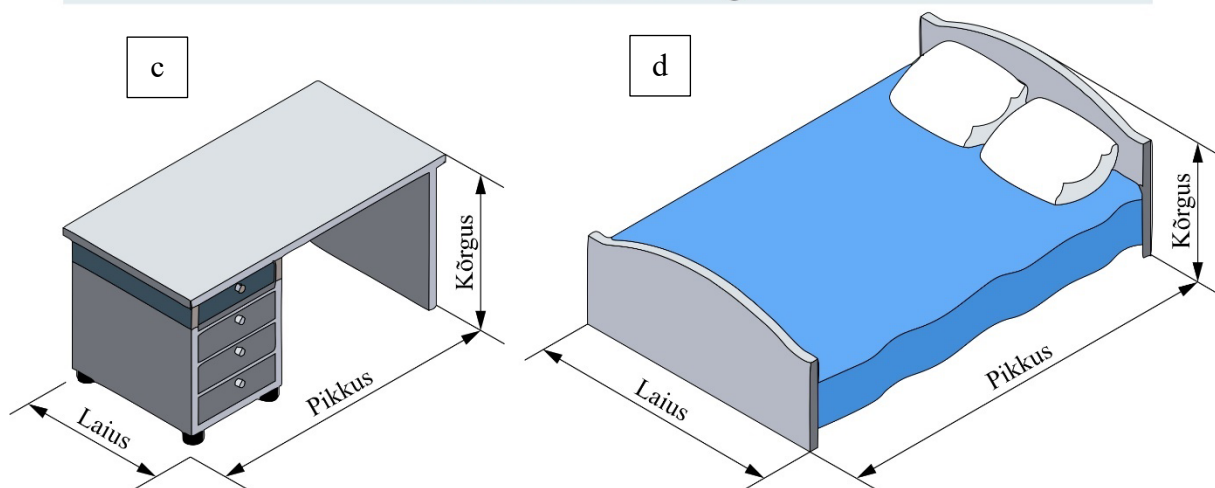


Joonis 9.10 Käetugedega tugitooli mõõtmed.

Laius x Sügavus x Kõrgus



Pikkus x Laius x Kõrgus



Joonis 9.11 Erineva otstarbega mööbliesemete gabariitmõõtmed: a – kolmekohaline sohva, b – riidekapp, c – kirjutuslaud, d – kahekohtaline voodi.

Mahutusmööbel

Mahutusmööbli (riidekapid, kummutid, sahtlikapid) kasuliku ruumi välja arvestamine eeldab kapi või kummuti kõrguse, riulite või sahtlite omavaheliste kauguste või riiete riputamisel riidepuudega olemasolevate objektide mõõtmetega arvestamist. Näiteks tuleb riidekapi sügavust ja kõrgust arvestada vastavalt kas laste, naiste või meeste rõivaste mõõtmetele (tabel 9.2). Kummutite sahtlite sügavust ja kõrgust tuleb arvestada kokkuvolditud pesu mõõtmete järgi. Riidepuule riputatud mantel nõuab riidekapi sisesügavust 560 mm ja kõrgusest vähemalt 1400 mm. Liugustega garderoobikappide puhul tuleb kapi sügavust suurendada 20–40 mm, sest

vastasel juhul hõõruks sisemine lükanduks garderoobi paigutatud riiete vastu. Raamatukappide kujundamisel määravad riiulite kõrguse raamatute mõõtmed ja riiuli pikkuse (600–800 mm) ning raamatute raskusest tulenev võimalik läbipaine kasutatava riiulimaterjali (liimpuitplaat, vineer, puitlaastplaat, MDF) paksuse (18 mm või 21 mm). Mööbli puhul, mis peab korraga toimima mitmel eesmärgil, määrab peamised mõõtmed suurim mahutatavatest esemetest. Kappide ja riiulite reguleeritava kauguse ja kõrgusega siseseinad võivad parandada siseruumi kasutamist.

Tabel 9.2 Rõivaesemete mõõdud

Riideesemed	Pikkus, mm	Laius, mm
Püksid	1100–1300	420
Kleit	1400–1550	480
Jakk	1300–1500	560
Volditud riideesemed	Pikkus, mm	Laius, mm
Triiksärk	480	300
Rätik	550	300



Joonis 9.12 Garderoobikappides kasutatavad lahendused: toru pintsakute ja särkide riidepuudele ja siinidel korvid kokkuvolditud riidele või jalanõudele.

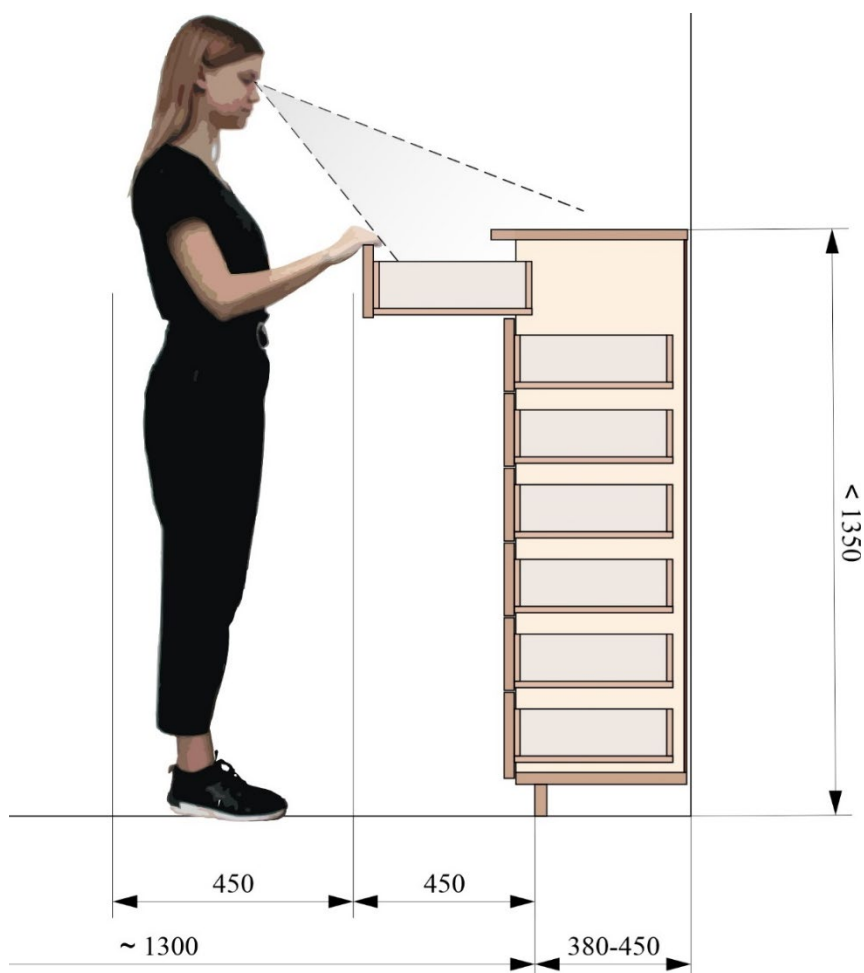
Garderoobikappide sügavuse (joonis 9.12) puhul on oluline arvestada riiete laiussega (kapi min sügavusmõõt 595 mm) ja riiete pikkusega, et pintsakud (min 1000 mm), särgid (min 1000 mm), kleidid ja mantlid (min 1300 mm) püsiks ilma kortsudeta. Garderoobikappides kasutatakse torusid riiete riidepuuga riputamiseks; seejuures on oluline arvestada riidepuu kõrgusega (ca 250 mm) ja erinevate riidepuude laiussega naistel (400 mm) ja meestel (440 mm).

Raamaturiiulite ja kontorikappide korral tuleb arvesse võtta raamatute ja kiirkõitjate kõrgust (püstiasendis, mis määrab riiulite vahekauguse) ja laiust (mis määrab riiuli või kapi sügavuse) (tabel 9.2). Oluline on ka see, et riiulikõrgust saaks muuta, kasutades riiulikandureid ja selleks ettepuuritud avasid. Riiulite ja kontorikappide konstrueerimisel tuleb vähemalt kolm riiulit jäiga ühendusega fikseerida ja kuna riiuli tagasein on nähtav, siis on soovitatav kasutada riiuliga sama värvi tagaseina, mis on vajalik ka riiuli külgsuunalise jäikuse tagamiseks. Levinud riiuli laiusseks on 800 mm. Puitlaastplaadist kapiseinte paksuseks on tavapäraselt 16 mm ja riiulite paksuseks 18 mm.

Tabel 9.3 Kontoritarvete mõõtmed

Kontoritarbed	Pikkus, mm	Laius, mm	Paksus, mm
Pastakas	140	–	–
Pliiats	165	–	–
Raamat	200–250–290	130–170–200	10–30–50–70
Kiirkõitja (registraator)	320	290	30–50–75
A4 paber	297	210	–
Ümbrik	115	230	–

Kõrgete sahtlikappide või kummutite puhul on oluline arvestada inimese pikkusega, et sahtli sisu oleks nähtav (joonis 9.13) ja turvalisuse tagamiseks tuleb kõrged kapid kinnitada seina külge.



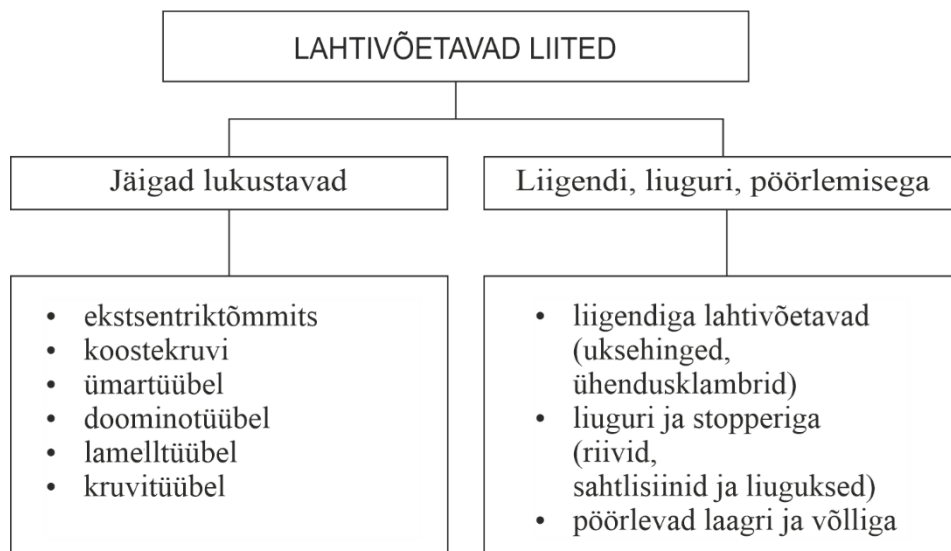
Joonis 9.13 Ülemise sahtli kõrgus.

Ostetava mööblieseme gabariitmõõtmete puhul tuleb arvestada ka selle transpordiks vajamineva transpordivahendiga ning välisukse, liftiuste ja lifti ja korteriukse mõõtmetega. Enamasti põhjustab transpordil ja mööbli treppidest üles tassimisel suuremaid probleeme kapikere diagonaali pikkus, mis takistab kapi lifti tõstmist või trepikojas ümberkeeramist. Kitsaste treppide ja koridoride korral on vaja mööblit, mida saab koost lahti võtta ja jälle kokku panna, mis muidugi eeldab selleks vajalike tööriistade ja õigeks kokkupanekuks vajaliku juhendi olemasolu.

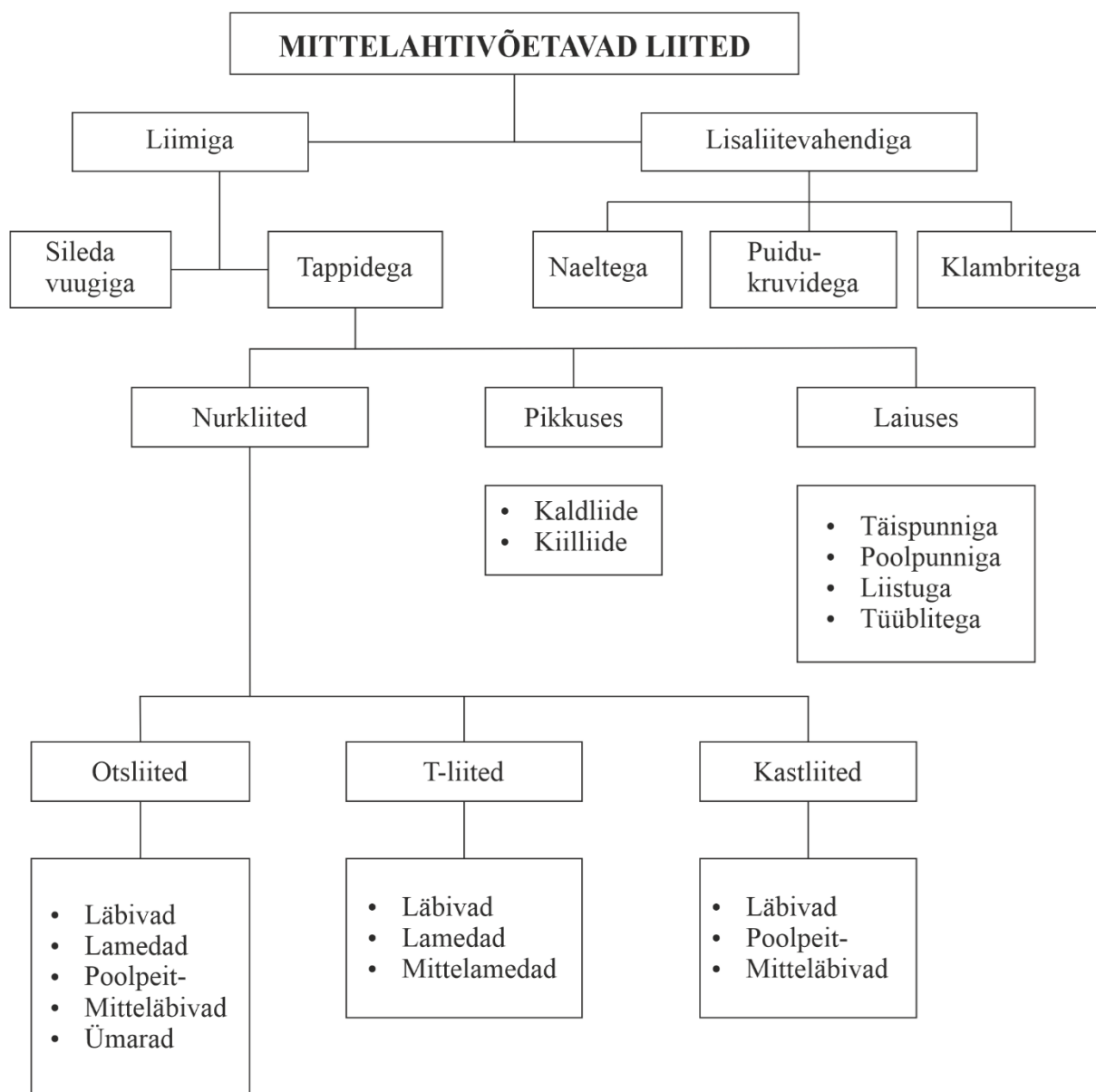
9.3 Mööbliliited

Puittoodete raamide ja mööblikarkasside valmistamiseks on vaja omavahel ühendada horisontaal- ja vertikaaldetaile ja selleks on kasutusel nt nurkliitmikud, T-liitmikud, tapid ning puidust, plastist ja metallist furnituur. Puittoote ja korpusmööbli konstruktsioon peab tagama funktsionaalsuse toote kasutamisel, olema vastupidav aastatepikkusele kasutamisele ning mööblidisaini seisukohalt olema esteetiline ja sobima kokku mööbli stiiliga. Kodumööbli esemete

pakendamisel on oluline kompaktsus, et pakendid võtaksid vähe ruumi ja neid saaks transportida ka sõiduauto või väikebussiga. Tehase komplekteerijal tuleb tagada mööblieseme kompaktsus, et oleksid olemas kõik detailid, mööblifurnitureer ja töövahendid ning juhendid, et kodukasutajal oleks võimalik tööriistu kasutades toode iseseisvalt kokku panna. Lahtivõetavaid liiteid ja furnituuri (joonis 9.14) kasutatakse nii tootmises toodetavate standardsete mööbliesemete kui ka eritellimusmööbli koostamisel. Puitraamide või mööblikarkassi koostamiseks kasutatakse jäikuse tagamiseks nii liimitud kui ka kinnitusvahenditega mittelavetavaid seotisi (joonis 9.15).



Joonis 9.14 Lahtivõetavad liited.



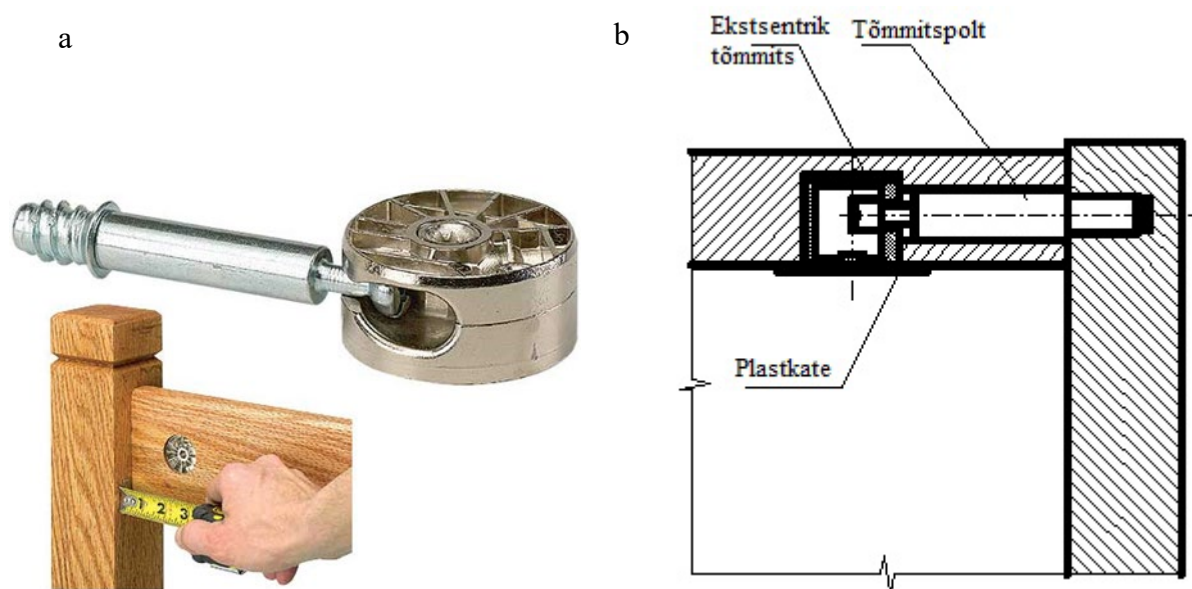
Joonis 9.15 Mittelahtivõetavad liited.

Mittelahtivõetavaid liiteid on võimalik valmistada kinnitusvahendite abita, kasutades puiduliimi ja nt silenurkliitmist, eerungliitmist või tappe. Mittelahtivõetava liite fikseerimiseks liimi kõvenemiseni või liite jäikuse ja tugevuse suurendamiseks kasutatakse ka puidust või metallist lisaliitevahendeid (naelu, puidukruvisid või klambreid). Erineva jalgade pikkusega kinnitusklaambrid on kasutusel pehme mööbli karkasside ja voodikarkasside valmistamisel, lühemate jalgadega klambrid aga mööbli katteriide paigaldamisel. Lahtivõetavaid ja mittelahtivõetavaid liiteid ning nende kasutusvõimalusi on üksikasjalikumalt kirjeldatud edaspidi.

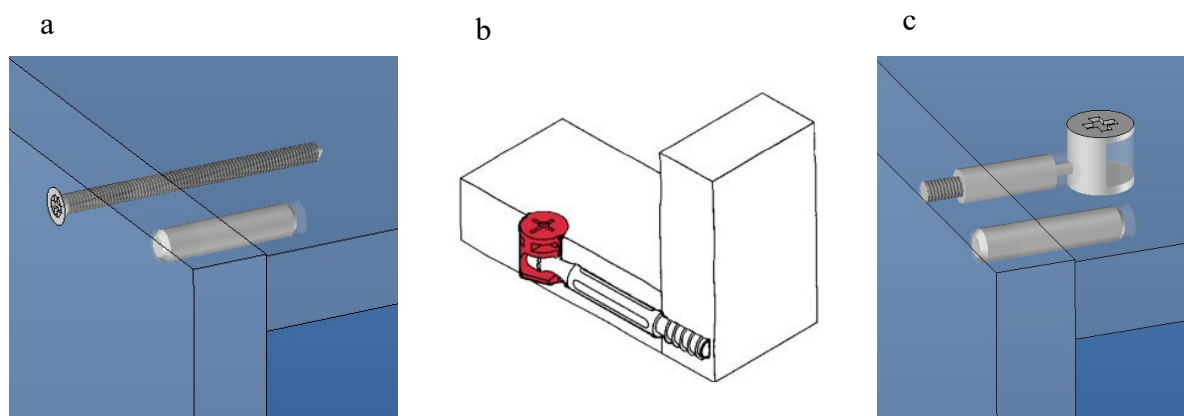
9.3.1 Lahtivõetavad liited

Tõmmitsad

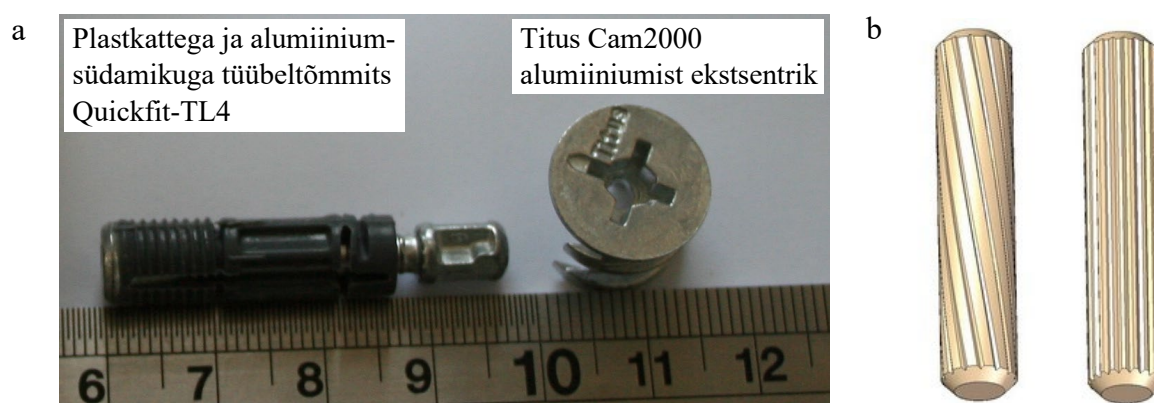
Mööblitööstuses on enimkasutatavateks liideteks ekstsentriktõmmitsast (*joint fastener with eccentric housing*) Minifix, Maxifix või koostekruvist ($\text{Ø}5 \times 70 \text{ mm}$) ja puittüüblast kombineeritud paarisühendus. Ekstsentriktõmmitsad on enamasti kasutusel saritoodetud mööbli puhul, mida klient saab ise juhendi järgi koostada. Koostekruviga tüübelühendus on kasutusel köögmööbli korral, kus kruvipead ei jää näha. Ekstsentrikute puhul on mõistlik jälgida nende paiknemist nii, et need võimalikult vähe näha jääksid. Näiteks seinakapi puhul võiks lae ekstsentrikud olla väljaspool ja põhjal seespool. Joonisel 9.16 on näidatud ekstsentriktõmmitsaga lahtivõetav liide, kus on näha, et polt keeratakse kõigepealt keermega mööblitoote külgsena sisse 2/3 materjali paksuse ulatuses kuni randini ja seejärel ühendatakse horisontaalne plaatdetail ja ekstsentriktõmmitsa pööramisega päripäeva fikseeritakse ja pingutatakse nurkliide. Joonisel 9.16 a on näidatud ekstsentriktõmmitsa tööpõhimõte ja koostatud voodijala ja detaili liide (kasutatud on kahte äärmist tüüblit ja ühte ekstsentriktõmmitsat keskel). Joonisel 9.17 a on näidatud tüübli ja koostekruviga liide, joonisel 9.17 c aga tüübli ja ekstsentriktõmmitsaga liide. Joonisel 9.18 on näha Titus Minifix tüübeltõmmitsat ja erinevaid puittüübleid. Joonisel 9.19 on näidatud horisontaalne plaatmaterjalist mööblidetail, mille ühendamisel vertikaalse külgsenaga kasutatakse puittüübleid (4 tk) ja ekstsentriktõmmitsaid (4 tk). Puittüüblite ülesanne on joondada ja ühendada horisontaalne plaatdetail külgsenatega. Metalltüüblite ülesanne on fikseerida ja tõmmata koostatavad detailid tihedalt üksteise vastu, et saavutada jäik ja tugev ühendus, mis peab vastu nii tõmbe- kui külgsuunalistele jõududele. Metalltüüblitest suurema ristlõikega puittüüblite teine ülesanne on kompenseerida vertikaalsuunalist lõikejõudu (riiulile või kapile asetatud esemete raskus). Puittüüblid võidakse paigaldada liimiga, kuid siis ei ole liide enam lahtivõetav. Ekstsentriktõmmitsa eelisteks on liite kiire fikseerimine ja see, et metalltüübliga ühendust ei ole näha, horisontaalse detaili alumisel pinnal nähtavad umbes 15 mm läbimõõduga augud saab pärast ühenduse fikseerimist katta plastist või spoonist kattega. Minifix on korpusmööbli koostamiseks kasutatav tõmmits, mis koosneb ekstsentrikust Cam2000 ja plastkattega sissekeeratavast tõmmitspoldist Quickfit-TL4.



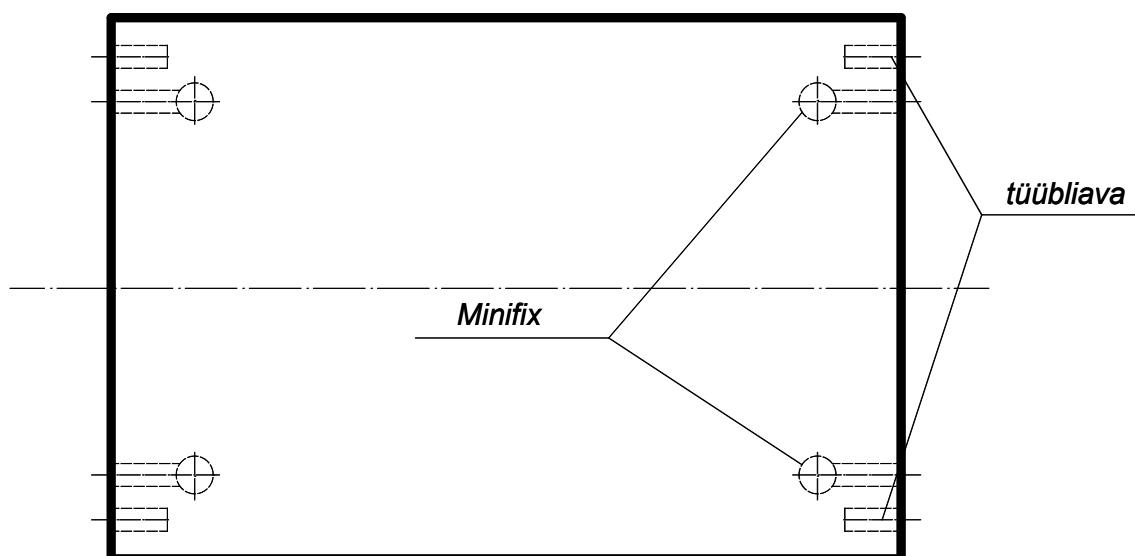
Joonis 9.16 Ekstsentriskõmmitsaga lahtivõetav liide: a – ekstsentriskõmmits ja koostatud liide, b – laeliide lõikes.



Joonis. 9.17 Korpasmööbli seotistes kasutatavad tõmmitsad: a – tüübel ja koostekruvi, b – ekstsentriskõmmits, c – tüübel ja ekstsentriskõmmits.



Joonis 9.18 Liitekinnitusdetailid: a – Titus Minifix tüübeltõmmits koos ekstsentriskuga, b – kõvast lehtpuidust (kask, pöök) kald- ja pikisoontega tüüblid.



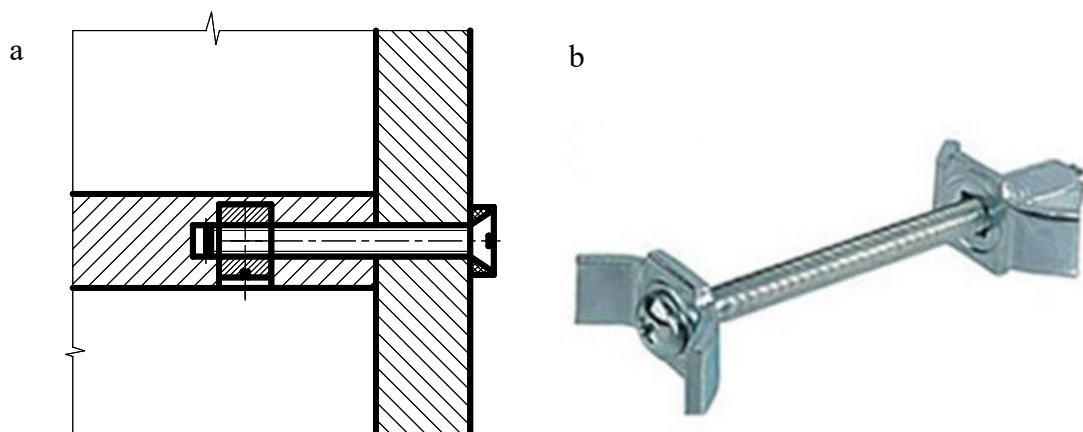
Joonis 9.19 Mööblidetail puittüüblite ja ekstsentriktõmmitsate jaoks puuritud avadega (kahe tüübli ja ühe ekstsentriktõmmitsaga liide pealtvaates).

Tapimutritõmmits (joonis 9.20) sobib mitmesuguste nurkühenduste koostamiseks, sest tagab tugeva ja jäiga ühenduse. Laua- või voodijala sisse puuritakse ava, millesse pannakse mööbli-polt (joonis 9.20), mis keeratakse sarja sisse puuritud auguga risti asetsevasse auku asetatud tapimutri sisse. Joonisel 9.21 on näidatud tapimutriga tõmmitsa abil koostatud nurkliide. Ühe tapimutriga tõmmitsühendus ei ole jäigalt fikseeritud ja detaili saab poldi ümber mehaaniliselt pöörata. Sageli kasutatakse fikseerimiseks tapimuttertõmmitsaga kõrvuti asetsevat puittüüblit, mis aitab liites ühendatavate detailide asendit fikseerida ja paigal hoida, kuni liide on tõmmitsaga pingutatud. Kahe tapimutritõmmitsaga koostatud ühendus (joonis 9.20, all keskel) on samuti jäik ja fikseerib ühendatud detailid kindlas asendis ja lõtkude tekkimisel saab tõmmitsate pingutamise liidet tihendada. Tõmmitsa jaoks vastasdetaili (sari, põiklatt, plaat) puuritud auk peab olema piisavalt sügav, et tapimutrist saaks poldi läbi keerata ning liidet vajadusel pingutada. Sellise liite jaoks vajalike avade puurimisel on oluline tagada mõõtmete täpsus, et tapimutter ei hakkaks pesas loksuma ega kukuks paigaldamise ajal pesast välja ja oleks õigel sügavusel tõmmitsa fikseerimiseks. Tapimutri peas on sälk, mis võimaldab selles oleva keermestatud ava tõmmitsa otsaga kohakuti seada. Selle liite puuduseks on, et mööblitoote külgsinal on näha poldipea (võib kasutada peitpeaga polti), vastasdetailis näha jääva oleva tapimutripea saab kinni katta plast- või spoonkattega.



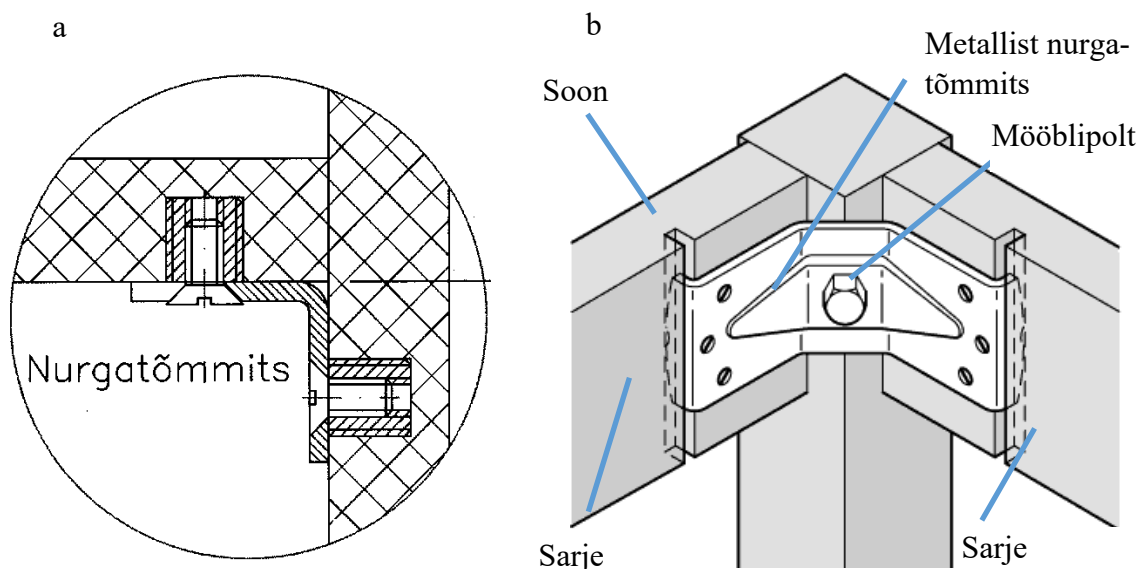
Joonis 9.20 Tapimutriga tõmmitsad.

Plaatmaterjalide liidetes on kasutusel üheosalised tõmmitskruviliited ja plastist või metallist nii välikeermega kui ka sisekeermega tüübtõmmitsad, mis kinnitatakse detaili külje sisse puuritud avasse välikeermega, mis hoiab tüüblit või mutrit tugevalt paigal ja liide pingutatakse tihe- daks läbi teise detaili puuritud ava läbiva poldi kinnitamisega plasttüübli või metallmutri sisse. Pehme mööbli karkasside valmistamisel on kasutusel ka löökmutriga tõmmitsad, mille abil ühendatakse tugitooli või nurgadiivani vineerkarkassi külge käetoed. Kõrvuti seisvate raamatu- riiulite või seinakappide korpuste omavaheliseks ühendamiseks kasutatakse ühendustõmmi- said, mille üks osa, ribidega mutter keeratakse ühe seinadetaili sisse ja selle sisse keeratakse liite pingutamiseks teist kapiseina läbiv polt. Töötasandite ühendamiseks puuritakse mõlema detaili alumisele küljele mitteläbiv ava ja freesitakse pesad, et saaks ühendamiseks kasutada plaaditõmmitsaid (joonis 9.21).



Joonis 9.21 Tapimutriga nurkliide: a – tõmmits külgvaates (lõige), b – detailide ühendustõm- mits. Foto: Häfele

Joonisel 9.22 a on näidatud metallist stantsitud plaadiga nurgatõmmits, mis fikseerib ja pingutab plaatmaterjali sisse keeratavate kruvitüüblite ja tõmmitsatega kahe detaili vahelise liite. Joonisel 9.22 b on näha metallist tugevdatud nurgatõmmits, mis on mööblipoldiga fikseeritud lauajala külge ning mille ülesanne on pingutada sarjade ja lauajala vahelist tappühendust. Tugev ja vastupidav ühendus saavutatakse metallnurgiku servade painutamisega 90° alla ning selle fikseerimisega sarjadesse vertikaalselt lõigatud soonte sisse. Metallist nurgatõmmitsa ja sarjade vahelise ühenduse fikseerimiseks tuleks kasutada ka puidukruvisid (6 kruviava).



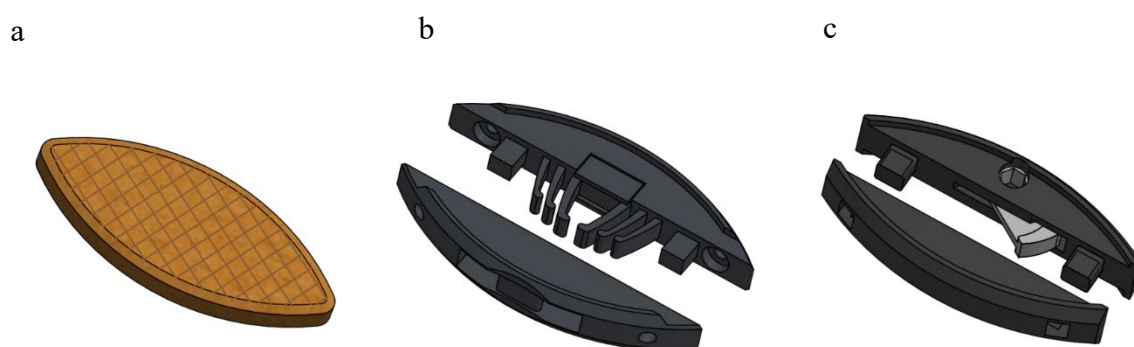
Joonis 9.22 Nurgatõmmits: a – pealtvaade metallnurgikust, mis on fikseeritud kahe poldi ja puitu väliskeermega sisse keeratavate mutrite vahelise keermesliitega ilma mööblipoldita, b – metallist tugevdava ribiga nurgatõmmits, mis on fikseeritud mööblipoldiga lauajala külge ning soone ja kruvide abil sarjade külge.

Metallist nurgatõmmits on lahtivõetav liide, kuid lauajala ja sarjade vahelise tappühenduse fikseerimiseks võidakse kasutada ka liimi ning siis ei ole see ühendus enam lahtivõetav ja lauda tuleb transportida tervikuna.

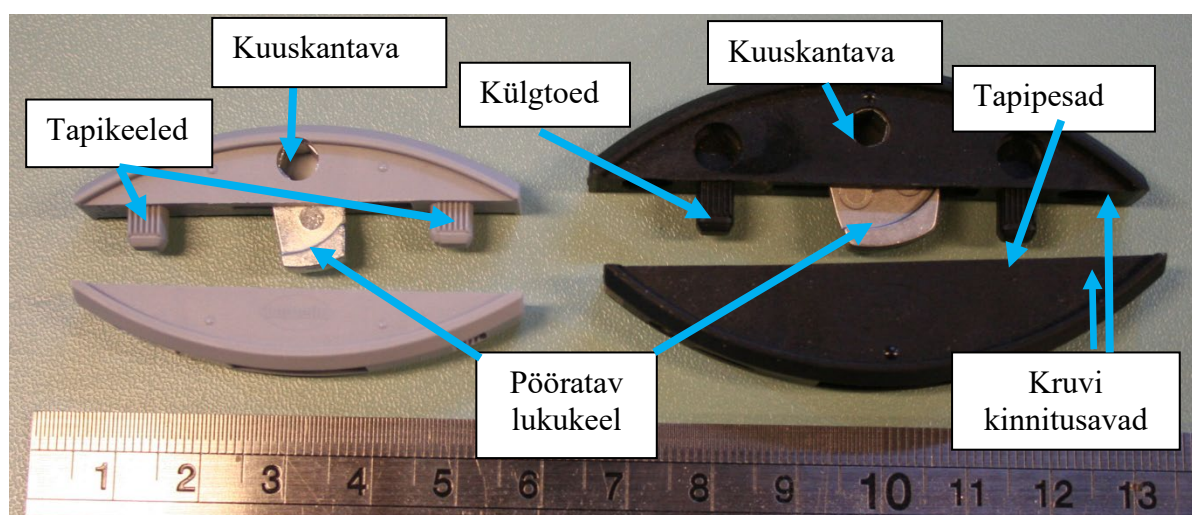
Lamelltüüblid

Lamelltüübleid valmistati esialgu tihedaks pressitud pöögipuidust (joonis 9.23 a), sest lapiku pinnaga tüübel suurendas liidese jäikust ja tugevust. Pöök on suure tihedusega (750 kg/m^3) puit, mis veepõhisest puiduliimist saadava niiskuse mõjul pundub ja tihendub lamelltüüblipessa. Kaheosalised lukustatavad Tenso ja Clamex plastlamelltüüblid (joonis 2.23 b ja c) töötas välja Šveitsi firma Lamello AG. Tenso plastlamelltüüblid on pärast koostamist mittelahtivõetavad ja

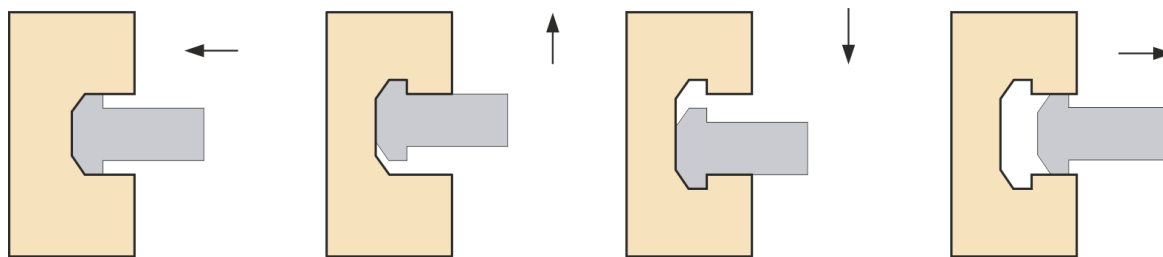
nende eesmärk on fikseerida liimitavaid nurk- ja T-liiteid ilma pitskruvide abita. Clamex P10 ja P15 on kaheosalised plastlamelltüüblid (joonis 9.24), mis koosnevad kahest klaaskiuga tugevdatud ja kahepoolse välisserva valtsiga plastkerest. Plastlamelltüübli ülemise poole sees on plastist tapikeeled ja ava kuuskantvõtme jaoks, et pöörata metallist lukukeelt. Plastlamelltüübli alumise poole välisservades on kaks tapikeelte pesa ja keskel vastus lukukeele fikseerimiseks ja liidese pingutamiseks. Clamex P10 ja P15 peamine erinevus on süvistussügavuses, mis on vastavalt 10 mm ja 15 mm. Tootlikkuse saavutamiseks on lisaks käsifreesiga freestavatele lamelltüüblipesadele (joonis 9.26) välja töötatud CNC-agregaadid ja lõikeriistad horisontaal- ja vertikaallamellipesa freesimiseks P-seeria plastlamelltüübli jaoks (joonis 9.26).



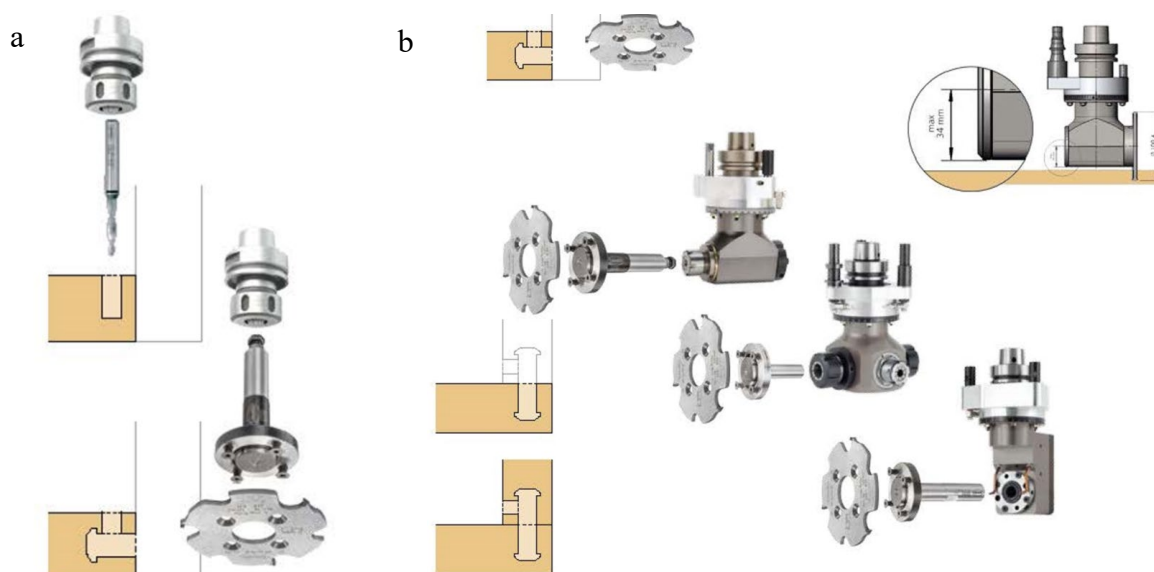
Joonis 9.23 Lamelltüüblid: a – pöögipuidust lamelltüübel, b – plastlamelltüübel Tenso painduvate ja pesadesse lukustuvate tapikeeltega, c – Clamex lukustuva tapikeelega plastlamelltüübel. Joonis: M. Mäetalu



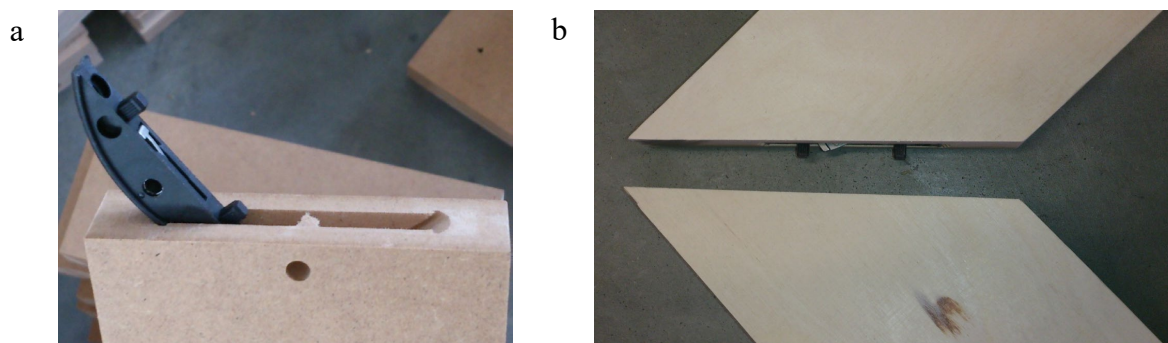
Joonis 9.24 Clamex P10 ja P15 sarnase konstruktsiooniga kaheosalised plastlamelltüüblid. Foto: K. Saar



Joonis 9.25 Lamello AG plastlamelltüüblite Clamex P10 ja P15 pesafreesimine plaatmaterjali sisse süvistava külgsuunas ostsilleeriva lamellifreesiga.



Joonis 9.26 CNC-keskuse lõikeriistad P-seeria plastlamelltüübli jaoks: a – horisontaalse ja b – vertikaalse lamellipesa freesimiseks. Fotod: Lamello AG



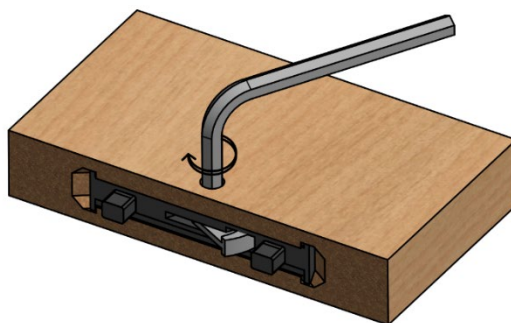
Joonis 9.27 Clamex 15 paigaldus tapipesasse: a – ja b – eeringliides. Fotod: K. Saar

Plastlamelltüüblipesad freesitakse spetsiaalse käsifreesi Zeta P2 või CNC-keskusega, mis on varustatud spetsiaalse lõikeinstrumendiga (joonis 9.26). Lamelltüüblipesa on ühesugune mõlema lamelltüübli mõlemal küljel. Lamellifreesi Zeta P2 unikaalsus seisneb patentitud lõikeinstrumendi külgsuunalisel ostsilleerimisel, millega lõigatakse kaarja kujuga tapipesa

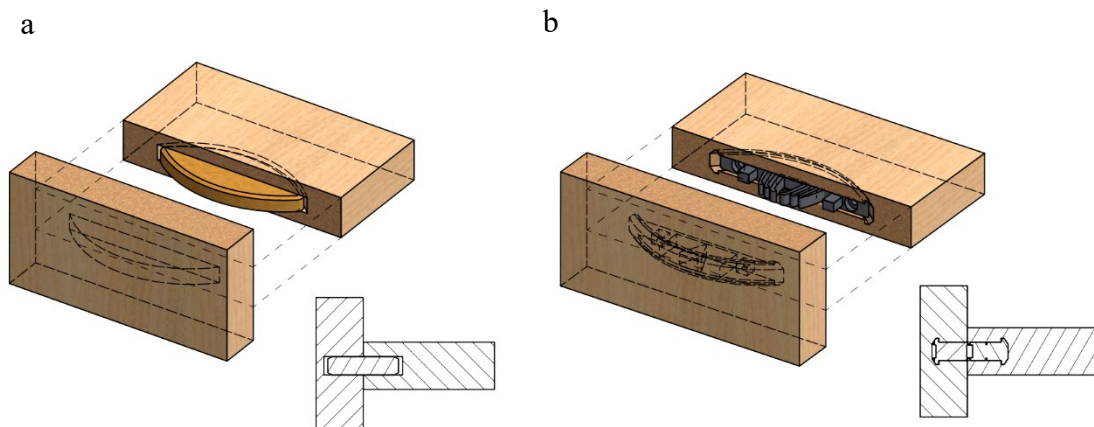
põhja kaks soont plastlamelltüübli valtsitud serva fikseerimiseks (Lamello AG 2014). Clamex P10-l puuduvad väliservades kinnitusavad kruvidega fikseerimiseks, sest plastlamelltüübli väliskülje servas olev valts tagab furnituuri püsimise pesas ka liitele mõjuva tõmbejõu korral. Plastlamelltüüblitest koosnev liide fikseeritakse 4 mm kuuskantvõtmega (joonis 9.29). Kuuskantava jaoks puuritakse üks ava läbimõõduga 6 mm (joonis 9.27) detaili külgpinnale. Clamex 15 lamelltüüblitega koostatud riuli sisepinnal on vaevumärgatavad avad kuuskantvõtme jaoks (joonis 9.28), mis on lahtivõetava liite puhul visuaalselt parem lahendus võrreldes näiteks ekstsentriktõmmitisaga, mis on näidatud joonisel 9.16. Liited puitlamelltüübli ja lukustatava plastlamelltüübliga on toodud joonistel 9.30 ja 9.31 ning painduva ühenduslüluga ja lukustatava Domino tüübliga liide joonisel 9.32.



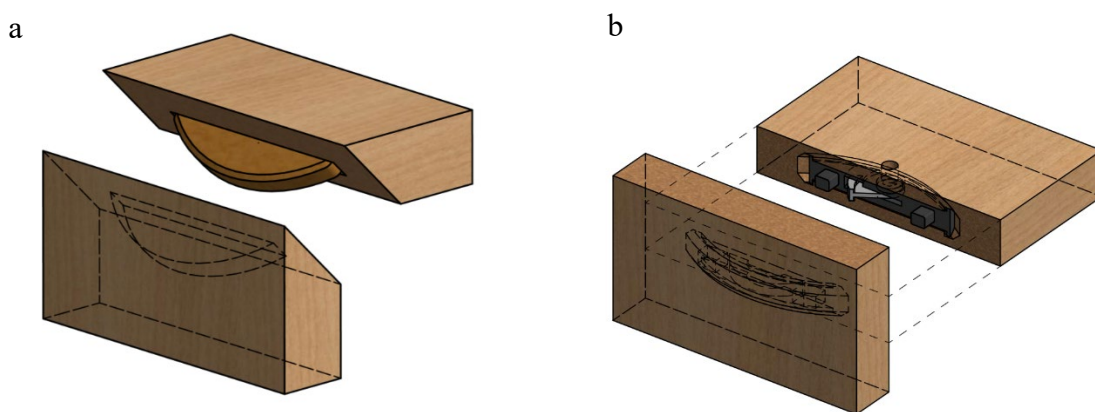
Joonis 9.28 Clamex 15 lamelltüüblitega koostatud riul.



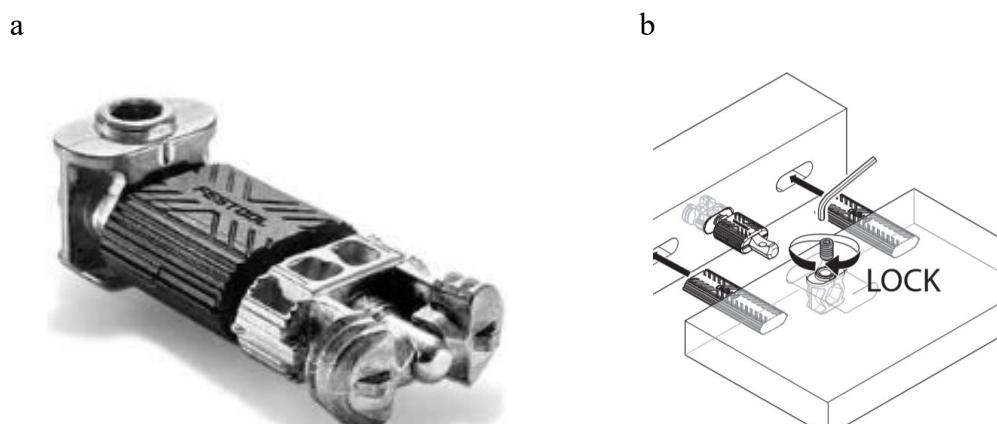
Joonis 9.29 Clamex lamelltüübli lukustamine kuuskantvõtmega lukukeele välja keeramise teel.
Joonis: M. Mäetalu



Joonis 9.30 Lamelltüübli T-liited: a – liimitava puitlamelltüübliga ja b – kahest poolest koosneva ja keelega lukustatav Lamello Tenso plastlamelltüübliga fikseeritav T-liide. Joonis: M. Mäetalu



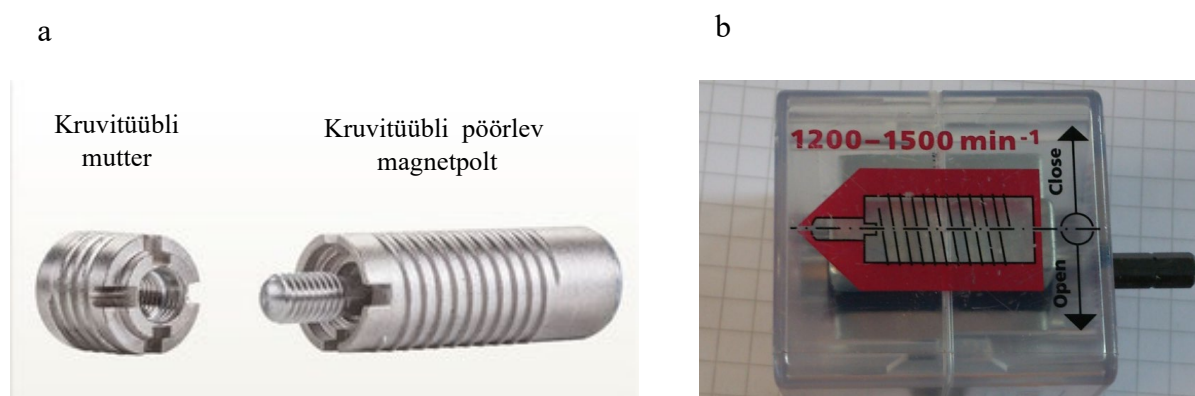
Joonis 9.31 Lamelltüübli nurkliited: a – liimitava puitlamelltüübliga eerungliide ja b – kahest poolest koosneva Lamello Clamex plastlamelltüübli keelega lukustatav liide. Joonis: M. Mäetalu



Joonis 9.32 DOMINO lukustatavad ühendused SV-SYS D14: a – metallist ja plastist lukustatav doominoühendus, b – lukustatav doominoliide koos detaile joondavate puidust doominotüüblitega.

Kruvitüübelmagnettõmmits Invis Mx

Firma Lamello AG on välja töötanud kahest metallkruvitüüblist koosneva magnettõmmitsa Invis Mx, millega on võimalik teha mittenähtavaid liiteid. Magnettõmmits Invis Mx fikseeritakse akutrelli otsa paigaldatava pöörismagnetvälja tekitava otsiku abil. Lahtivõetav liide (joonis 9.33) koosneb kahest 12 mm läbimõõduga kruvitüüblist, millest üks on 13,5 mm pikkune kruvitüübel keermestatud avaga ning teine pool 29 mm pikk kruvitüübel pöörleva poldiga. Lamello AG pakub erineva läbimõõdu ja pikkusega kruvitüübelmagnettõmmitsaid. Pöörlev magnetväli tekitatakse trelli spindlisse kinnituva MiniMag Mx seadmega.

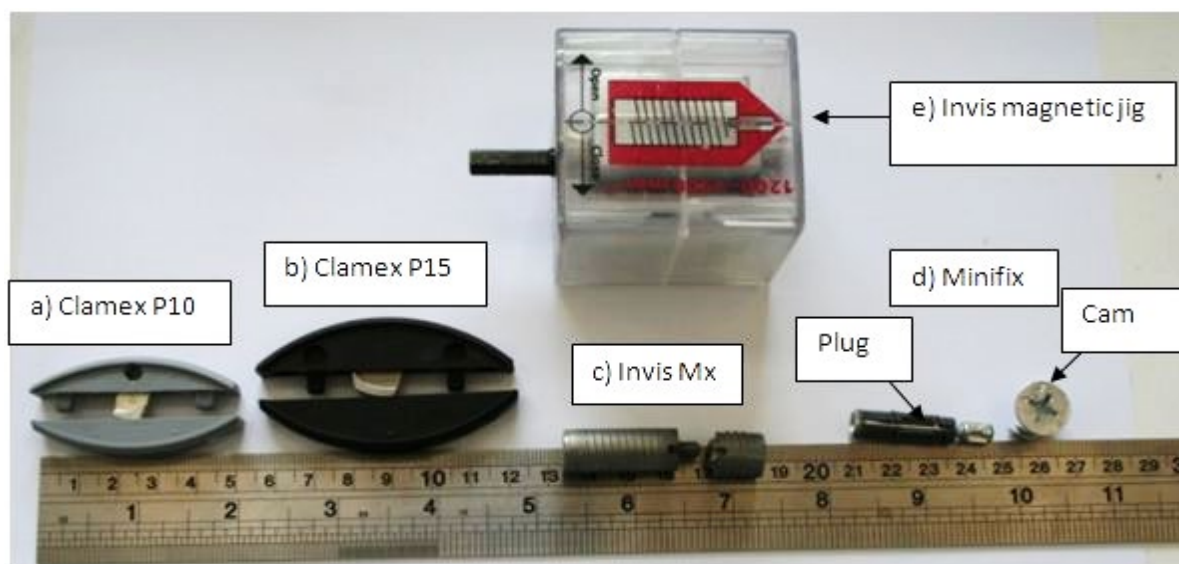


Joonis 9.33 Lamello AG Invis pöörismagnetväljaga fikseeritav kruvitüübeltõmmits: a – materjali sisse puuritud avadesse keeratavad kruvitüübliga tõmmitsa osad, b – Minimag Mx pöörlev magnetvälja tekitav seade. Fotod: K. Saar

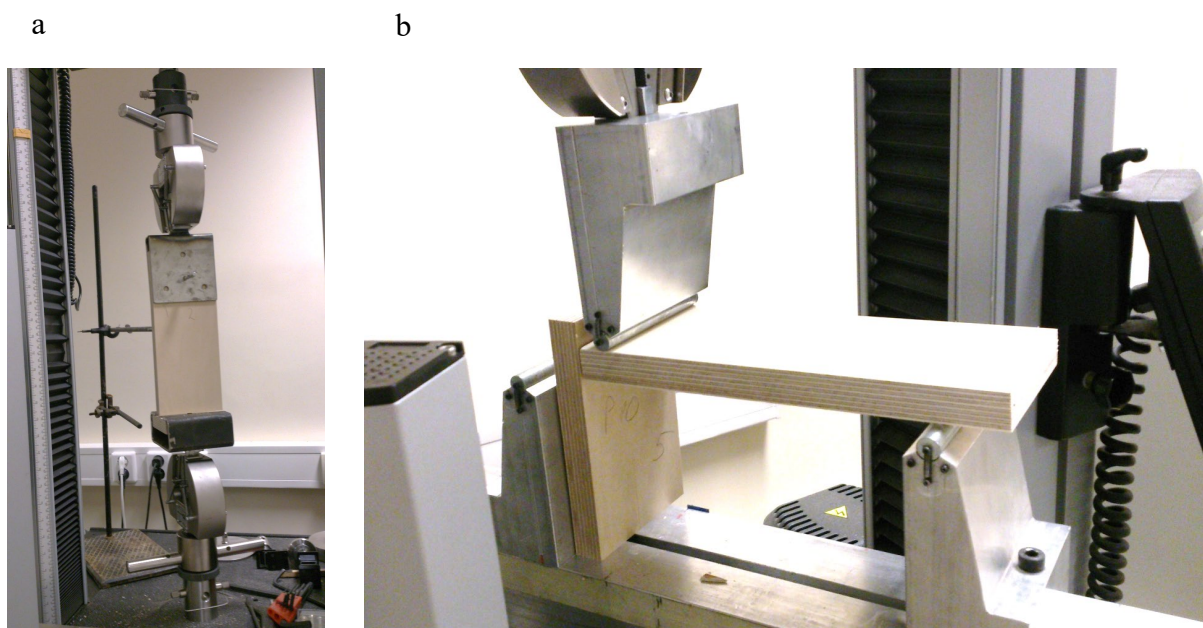
Akutrelli padrunisse kinnitatakse spetsiaalne MiniMag Mx seade, mis toetatakse vastu ühendatava detaili pinda, kus on poldiga kruvitüübel. MiniMag Mx seade tekitab pöörlemisel 1200–1500 min⁻¹ magnetvälja, keerates poldi metalltüübli pesas kontaktivabalt mutri sisse. Trelli otsiku pöörlemise suuna vastupidiseks muutmisel kruvitakse polt jälle mutrist välja. Sellisel viisil saab kontaktivabalt fikseerida kahe detaili vahelise pikisuunalise või nurkliite. Pöörismagnetvälja abil ei saa liidet täielikult lõtkuvabaks, kuna juba 0,1 mm-ne pilu fikseeritud detailide vahel vähendab liite jäikust.

Tõmmitsate ja tüüblitega koostatud ühenduste katsetamine tõmbele ja nihkele

Lahtivõetavate nurkliidete ja T-liidete koostamiseks võib furnituuriks kasutada eri liiki ekstsentriktõmmitsaid, plastlamelltüübleid, kruvitüübleid ja magnettõmmitsaid (joonis 9.34). Lahtivõetavate liidete puhul on oluline nii tõmbe- kui ka nihketugevus ja vastavate tugevuskatsete läbiviimiseks kasutatakse erikatserakiseid (joonis 9.35).

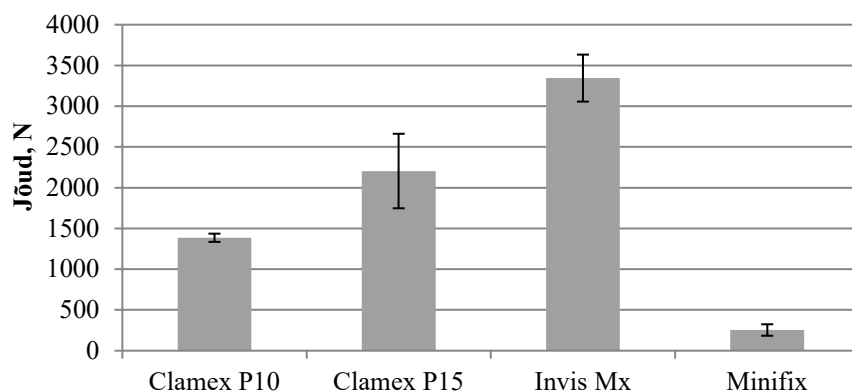


Joonis 9.34 Lahtivõetavate nurkliidete ja T-liidete koostamiseks kasutatavad liited: Clamex P10 ja P15 plastlamelltüüblid, Invis Mx kruvitüübel ja magnet tõmmits ning Minifix eksstsentrik-tõmmits.



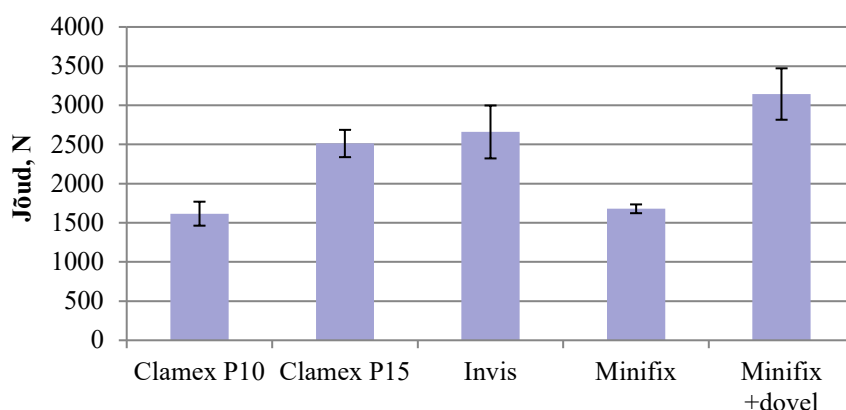
Joonis 9.35 Liidete tõmbe- ja nihkekatse: a – tõmmitsaga sileservliite katsetus tõmbele, b – T-kujulise tõmmitsaga nurkliite katsetus nihkele katseseadmél Instron 5866. Fotod: K. Saar

Lahtivõetavate sileservliidete tõmbekatsete (joonis 9.35 a) tulemusel selgus, et kõige tugevam liide on magnet tõmmits Invis Mx kruvitüüblitega ja kõige nõrgem liide Minifix eksstsentrik-tõmmitsaga (joonis 9.36).



Joonis 9.36 Erinevate sileservliidete tõmbetugevuse võrdlus.

Lahtivõetava furnituuriga koostatud T-liidete nihkekatsete tulemusena selgus, et kõige tugevam T-liide on Minifix ekstsentriktõmmitsa ja puittüübliga koostatud ühendus (joonis 9.37)

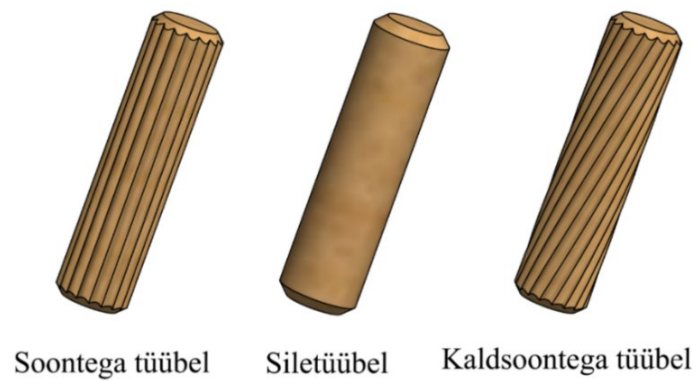


Joonis 9.37 Erinevate T-liidete nihketugevuse võrdlus.

9.3.2 Mittelahtivõetavad liited

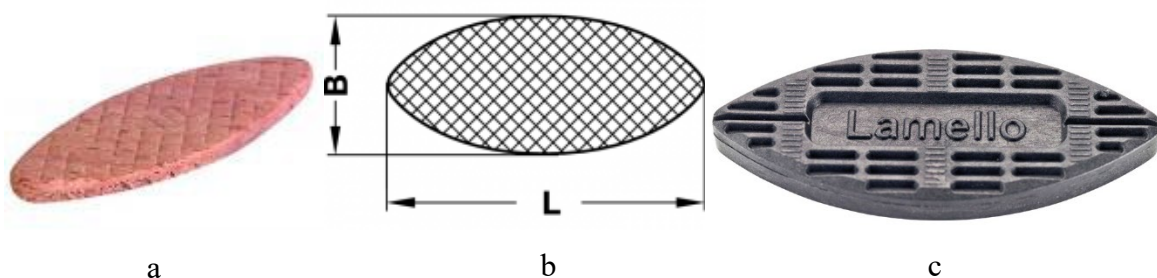
Järgevalt käsitletakse mittelahtivõetavaid liiteid, kus tüübel-, doomino-, veeder- ja lamell-liite tugevuse ja jäikuse suurendamiseks kasutatakse fikseerimist liimliite abil.

Puittüübleid valmistatakse sookase (lad. k *Betula pubescens*), arukase (lad. k *Betula pendula*), või hariliku pöögist (lad. k *Fagus sylvatica*) puidust freesitud pulkadest läbimõõduga 8, 10, 12, 15, 16 mm ning pikkusega 30–150 mm. Tüüblitoorik võib olla nii sileda pinnaga kui ka sisefreesitud pikisuunaliste või kaldsoontega (joonis 9.38), mis suurendavad liimitavat pinda ja mida mööda tõuseb tüübli sissesurumisel liim tüüblipesa põhjast ülespoole. Kaldsooned tugevdavad kokkuliimitud tüübelliidet.



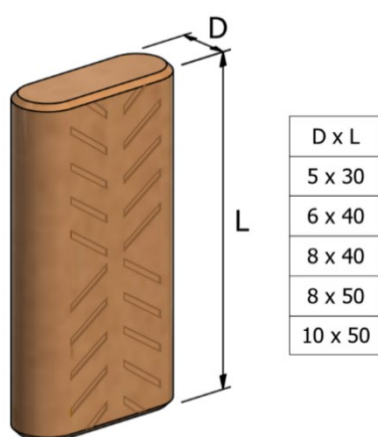
Joonis 9.38 Pikisoontega tüübel (vasakul), siletüübel (keskel) ja kaldsoontega tüübel (paremal).
Joonis: M. Mäetalu

Erinevalt ümmarguse ristlõikega puittüüblist, annab laiema külgpinnaga doominokiviga sarnanev lapik doomino-puittüübel suurema liimliite pinna. Doominotüübli ja lamelltüübli puhul on detaile võimalik külgsuunas nihutada ja seega kompenseerida töötlushälbeid. Näiteks kui tegemist on rist- või eerungliites tootega, mis peale koostamist läheb värvimisele, siis tüübelkinnituse puhul tuleb silmas pidada tolerantse ja hilisem viimistlemine on keerukam. Tüübelühenduste tegemiseks kasutatakse puurimis-tüübelduspinki, mis vähendab oluliselt montaažile kuluvat aega. Kasepuidust suurema tiheduse ja kõvadusega harilikust pöögist (lad k *Fagus sylvatica*) valmistatakse doominotüübleid (funktsioon on sama, mis puittüüblitel) lõiketötluse ja sellele järgneva pressimise teel. Doominotüüblid paigaldatakse PVA-liimiga ühendatavatesse detailidesse freesitud tapipesadesse. Veepõhise PVA-liimi mõjul avasse pressitud puidust doominotüüblid paisuvad ning moodustavad tugeva ühenduse. Saadaval on kuut erinevat doomino-tüübli suurust ($B \times L$): 4×20 ; 6×40 ; 8×40 ; 8×50 ja 10×50 mm (joonis 9.39).



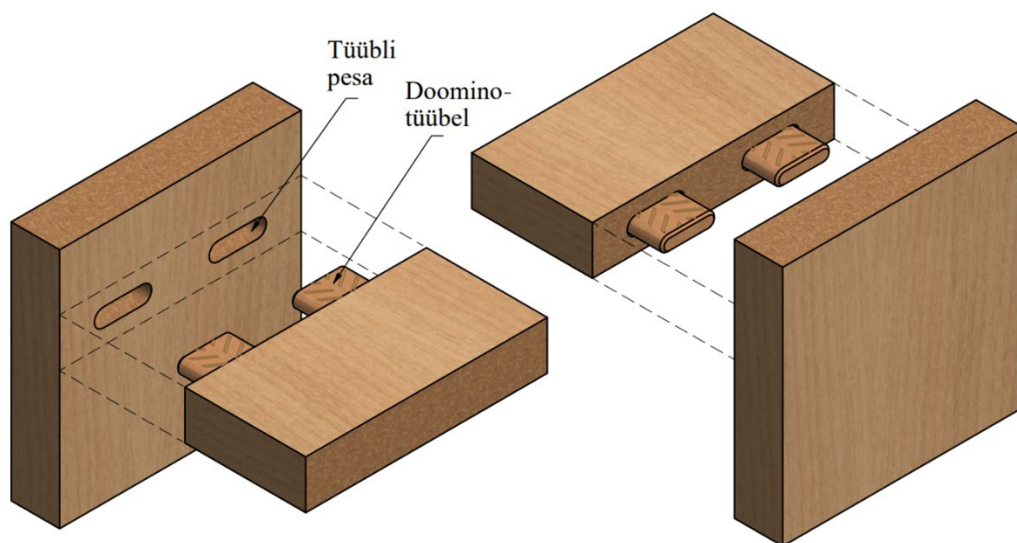
Joonis 9.39 Lamelltüüblid: a – puitlamelltüübel, b – lamelltüüblite mõõtmete tähistused, c – plastlamelltüübel paksusega 7 mm detailide joondamiseks ja ühendamiseks.

Puitlamelltüübleid (joonis 9.39 a) valmistatakse harilikust pöögist (lad k *Fagus sylvatica*) lõiketöötuse ja sellele järgneva pressimise teel. Pöögipuidust lamelltüüblid paigaldatakse PVA-liimiga ühendatavatesse detailidesse freesitud pesadesse. Veepõhise PVA-liimi mõjul pesadesse kokkupressitud puidust lamelltüüblid paisuvad ning moodustavad tugeva liimühenduse. Lähtudes ühendatavate materjalide paksustest (10–12 mm, 13–18 mm ja 19 mm ja enam), valmistatakse kolme suurusega lamelltüübleid (paksus D, laius B ja pikkus L) 4 × 15 × 47; 4 × 19 × 53 ja 4 × 23 × 56 mm (joonis 9.39 b). Lamelltüübli paigaldamiseks freesitava pesa sügavus on 1 mm rohkem kui ½ lamelltüübli laiusest.



Joonis 9.40 Dominotüübel ja selle mõõtmed.

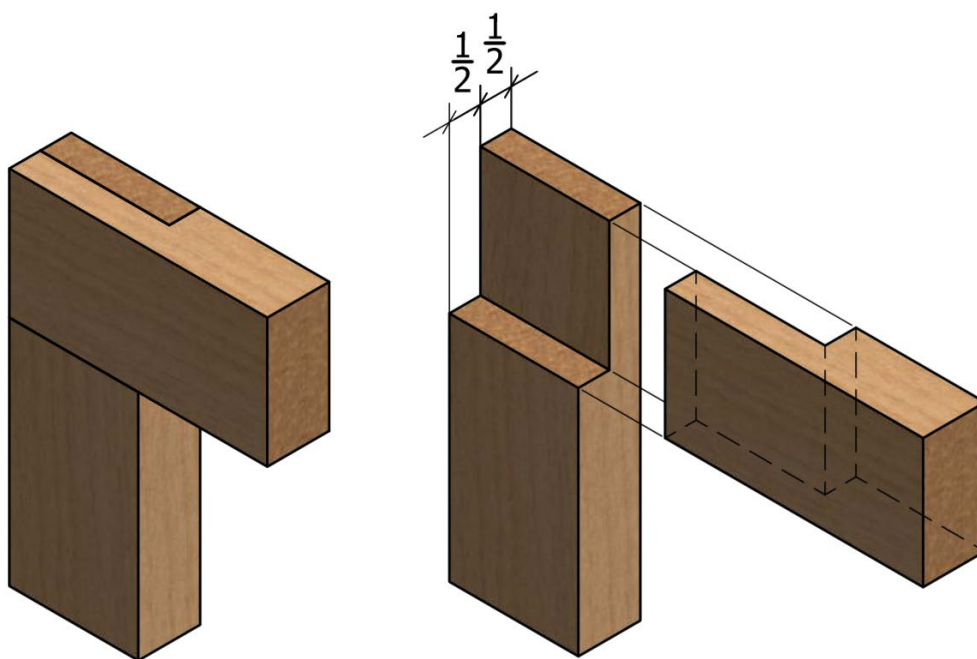
Dominotüübli (joonis 3.40) pesad töödeldakse ovaalsed ja täpse sügavusega spetsiaalse Festooli käsifreesi abil (nii pöörlev kui ka õõtsuv liikumine) või CNC-pingis.



Joonis 9.41 Dominotüübli kasutus T-liite ja nurkliite fikseerimisel.

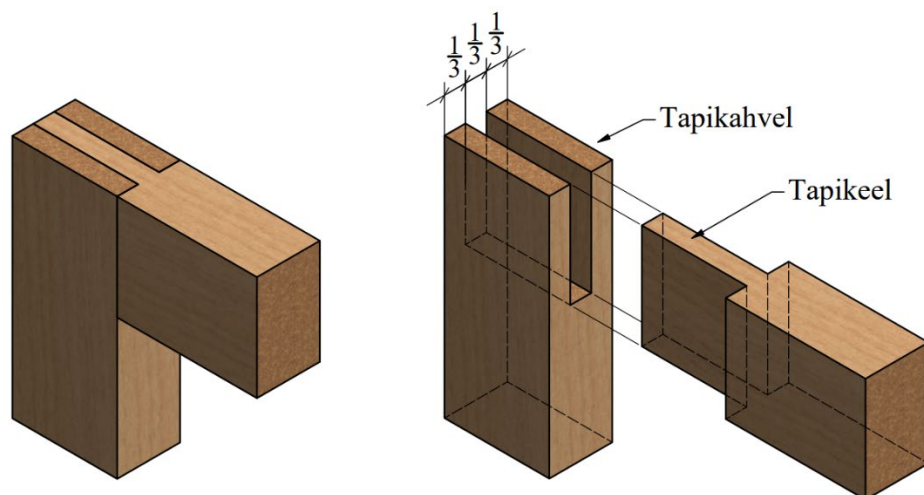
9.3.3 Tappide ja liimiga fikseeritavad liited

Liimiga fikseeritavate liidete hulka kuuluvad ka tappühendused. Tappühendusi on võimalik valmistada nii käsitsi (käsitööriistadega, plaadisaega), spetsiaalsete puidulõikemasinate ja CNC-masinatega. Järgnevalt tutvustatakse enimkasutatavaid masintööluse teel valmistatavaid tappide ja liimiga fikseeritavaid liiteid. Peamiselt kasutatakse tappide ja liimiga fikseeritavaid pool-poolega või harktapiga liiteid mööbliukse raamide ja kastitappi sahtlite valmistamisel. Pool-poolega liidet (joonis 9.42) kasutatakse lihtsama ukseraami koostamiseks ning lauajala alumise ja ülemise põikpuu kinnitamiseks. Pool-poolega T-liide ehk rööplukk on kasutusel ukseraami põikpuu kinnitamiseks.



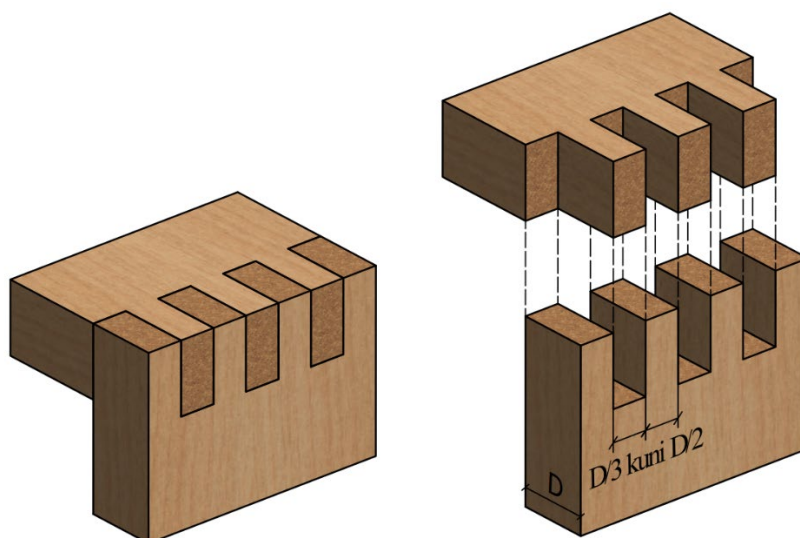
Joonis 9.42 Pool-poolega liimühendusega fikseeritud liide.

Keeltapid on kasutusel tooli- ja lauajalgade ühendamiseks sarjaga ning ukse- ja aknaraamide valmistamisel. Keeltapi kuju ja mõõtmed määravad tooli- ja lauajalgade horisontaaldetaili ehk tapikeele laiuse, pikkuse ja paksuse. Kui omavahel ühendatakse võrdse paksusega detaile, siis on tapikeele paksus üks kolmandik detaili paksusest. Kui laua sarje ühendatakse nt kaks korda paksema lauajalaga, siis võiks tapikeele laius olla pool sarje paksusest. Keeltapid on kas läbivad või mitteläbivad. Läbiva keeltapiga sarnaneb harktapp, mis ei ole küll sama tugev, kuid on lihtsalt masinvalmistatav. Harktappi kasutatakse T- ja nurkliidetes ukse- ja aknaraamide valmistamisel (joonis 9.43). Harktappliide on nõrk külgsuunaliste jõudude vastu, kuid seda saab tugevdada ristisuunaliselt puittüüblitega.



Joonis 9.43 Harktapi koostisosad: tapikahvel ja tapikeel, mille asend fikseeritakse liimiga.

Rööptapp ehk kastitapp (joonis 9.44) koosneb korrapärase paigutusega tapikeelte ridadest, mis ühel detailil algavad tapi põsega ja teisel tapikeelega. Tapikeele laiuks on $1/3$ või $1/2$ detaili paksusest. Rööptappi kasutatakse kastide ja sahtlite nurkliidete või riulite kinnitamiseks T-liidetes.



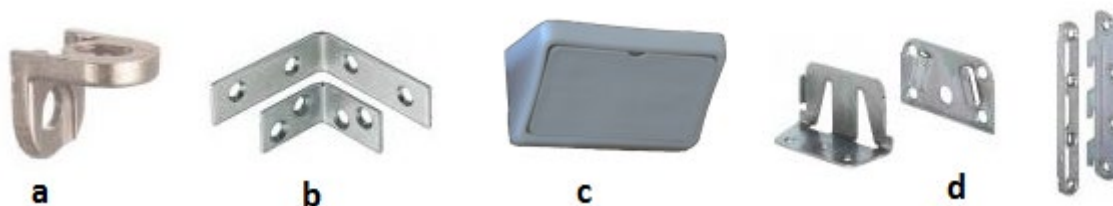
Joonis 9.44 Rööptapp.

9.4 Mööblifurnituur

Mööbli koostamisel kasutatakse lisaks detailide ühendamiseks vajalikele liidetele ja kinnitustahenditele erineva otstarbega furnituuri. Järgnevalt vaatleme mõningaid enamlevinud mööblifurnituure.

9.4.1 Kinnitusvahendid

Kinnitusvahenditest (liidetest) oli eespool juba juttu, kuid peale nende kuuluvad kinnitusvahendite hulka ka muud karkassi/riiuliühendused, ühendusnurgad, puit- ja klaasriiulite kandurid, konsoolriiulite kandurid jpt. Karkassi ühendusviisid jagunevad kolme gruppi: 1) objektil koostatava mööbli kuivühendused (ekstsentrik või koostekruvi + tüübel), 2) tootmises koostatava mööbli liimühendused, 3) objektil koostatav, kuid kõik kinnitusviisid on sellised, et mööblit saab kokku panna nišis (peamiselt garderoobid, kuid ka muud erilahendused).



Joonis 9.45 Erinevad kinnitused: a ja b – nurgikud, c – plastkattega nurgik, d – voodi koostamise klambrid.



Joonise 9.46 Riiulite kandurid: a – siduv riiulikandur, b – pulkkandur, c – klaasriiulite kandurid.

9.4.2 Uksehinged

Mööbliustele on palju erinevaid uksehingi. Järgnevalt anname ülevaate enim kasutust leidvatest hingetüüpidest: mööblihinged, peithinged, lehthinged ning latthinged ja ülakapisüsteemid.

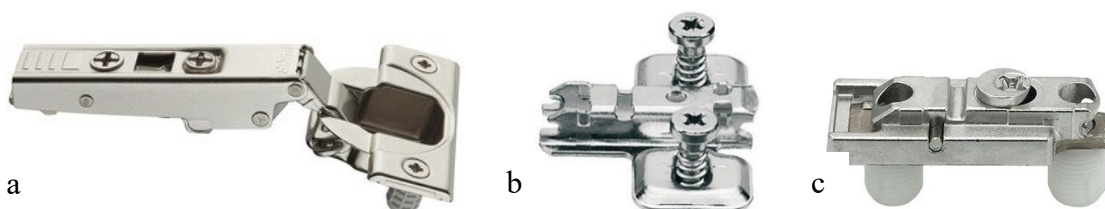
Mööblihinged (*cup hinges* / *euro hinges* / *concealed hinges*)

Mööblihinged on kahtlemata kõige laialdasemalt kasutatavad hinged mööblitööstuses. Need hinged koosnevad kahest osast: hingetallast ja hingekerest. Kaheosaline ehitus võimaldab kapiuksi eemaldada ilma furnituuri eemaldamata. Mööblihinged paigaldatakse kapi sisse nii, et suletud ukse korral pole uksehinge näha.



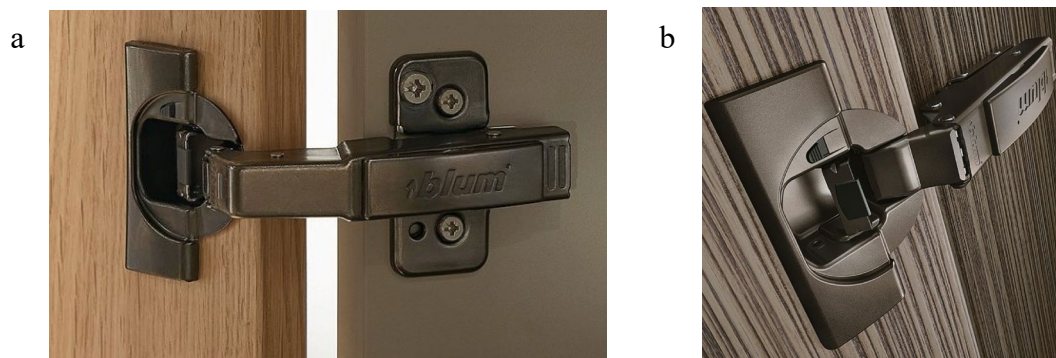
Joonis 9.47 Mööblihinge tald ja hing. Foto: This Old House Ventures, LLC

Hinge kinnitamiseks puuritakse/freesitakse tavaliselt ukse sisse ava läbimõõduga 35 mm (harvem 26 mm) ja sügavusega kuni 13 mm ning küljele kaks ava. Küljepealsete avade suurus sõltub kinnitusviisist. Enimlevinud on kinnitus kruviga või tüübli + kruviga. Kruvikinnituse jaoks puuritakse tavaliselt ette nn märketäpp nt läbimõõduga 3 mm ja sügavusega 3 mm, mis määrab kruvi asukoha. Tüübli puhul on ava laiem, ca 8–11 mm, olenevalt tootjast. Hingetaldade korral on levinud ka eurokruvide kasutamine, puuritud augu läbimõõt on tavaliselt 5 mm ja sügavus kuni 13 mm.



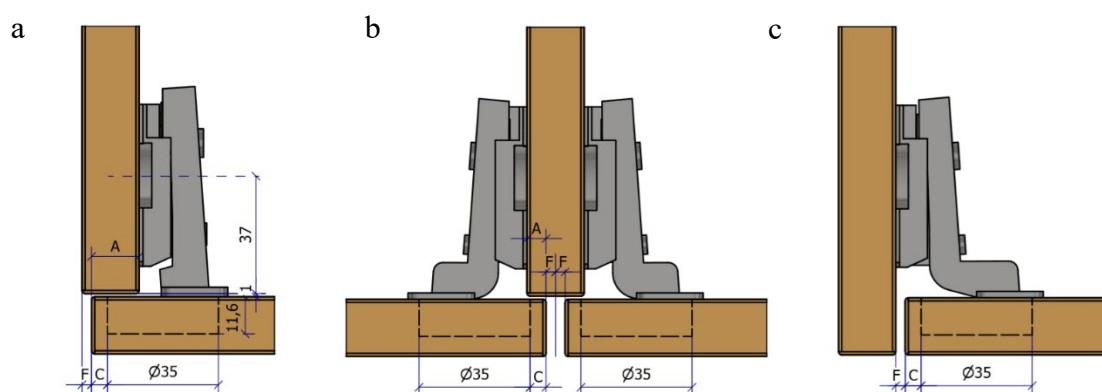
Joonis 9.48 Mööblihinged: a – tüübelkinnitusega, b – T-kujuline tald eurokruvidega, c – sirgetald sissepressitavate tüüblitega. Fotod: Häfele

Hingetaldasid jagatakse kuju järgi T-kujulisteks ja sirgeteks. T-kujuline tald on suuteline vastu võtma suuremaid jõudusid, kuid sirgetald on välimuselt märkimisväärselt minimalistlikum.



Joonis 9.49 Mööblihinge kinnitus: a – tasapindne T-tallaga hing ja b – pealekäiv sirgetallaga hing. Fotod: BLUM

Olenevalt ukse paiknemisest kapi külje suhtes jagatakse uksehingi oma geomeetria alusel kolme kategooriasse: pealekäivad, poolpealekäivad ja sissekäivad hinged. Allolevalt jooniselt on näha, et erinevus seisneb hingede kujus. Idee poolest on võimalik kasutada nt poolpealekäivat hinge pealekäiva hingena, kui kasutada paksemat hingetalda.



Joonis 9.50 Eri tüüpi uksehinged: a – pealekäiv hing, b – poolpealekäiv hing, c – sissekäiv hing (hingede avanemisnurk on $\sim 110^\circ$). Joonis: M. Mäetalu

Veel üks parameeter, mis iseloomustab mööblihingi, on sulgumise viis. Levinumad variandid on vedruga, vedruta ja vaikseltsulguvad hinged. Vedruga hinge puhul sulgub uks mingist nurgast alates vedru abiga, mille tagajärjel kostab tavaliselt kolks. Sellise hinge eeliseks on see, et pole vaja paigaldada magnetit ega muud sulgurit, mis hoiaks ust kinnises asendis. Heliprobleemi lahendas vaikseltsulguvate hingede turule tulek. Vaikselt sulguvate uste puhul sulgub uks samuti alates mingist nurgast ise, aga teeb seda aeglaselt. Aeglaselt sulgudes kostab vähem heli. Kui soovitakse, et uks avaneks sellele vajutades (*push to open*), ei tohi uksevedrud ust kinni hoida. Selle saavutamiseks kasutatakse vedruta hinge ja ukse kinniolekus hoidmiseks magnetit (joonis 9.51).



Joonis 9.51 Vajutusel avanev uks. Foto: Salice

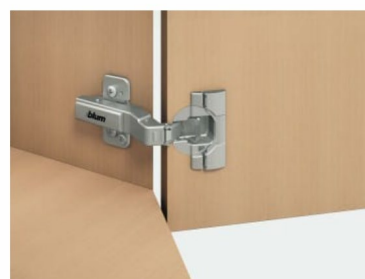
Lisaks eespool kirjeldatud nn mööbli standardhingedele on olemas sama tüüpi hinged ka erijuhtumitele (joonis 9.52). Lainurklahenduse korral on kasutusel laia avanemisnurgaga ($> 110^\circ$) hinged. Seda lahendust kasutatakse kapi sisule parema ligipääsu tagamiseks. Profiiluste (paksude uste) jaoks on kasutusel eraldi hinged, kuna standardhing on mõeldud tavaliselt ainult kuni 24 mm paksuste uste jaoks. Kui uks on paksem, on vaja kasutada nn erihinge. Kui kapi külg ei ole uksega 90° nurga all, tuleb kasutada kas erinurkhingi või 180° nurga puhul tasapindseid hingi. Peale selle on eraldi lahendused veel alumiiniumraamiga ja klaasustele (joonis 9.52).



Lainurga lahendused



Profiilukse lahendused



Nurga lahendused



Pimenurga lahendused



Alumiiniumraami lahendused



Klaasukse lahendused

Joonis 9.52 Mööblihinged erilahendustele. Foto: BLUM

Täpsemat informatsiooni erinevate võimaluste ja piirangute kohta saab, sirvides tootjate katalooge. Euroopas on levinud firmade Blum, Hettich, Häfele, Salice, Grass jt toodang.

Peithinged

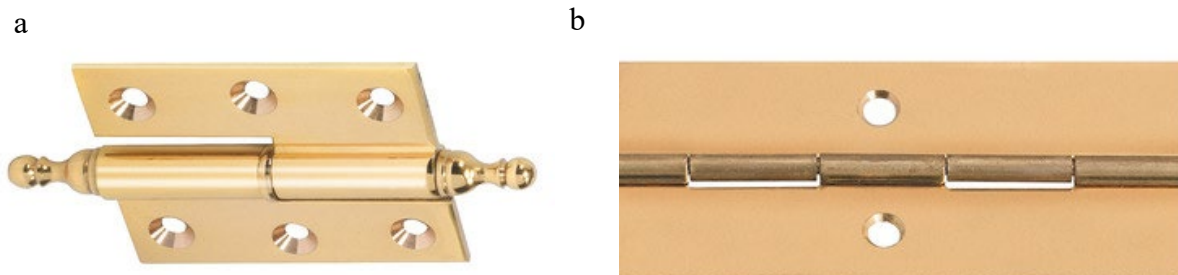
Peithinged (joonis 9.53) on laialdaselt kasutusel kaheks otstarbeks: lauaklappide ja voldikuste hinged. Tasapindsete paneelide korral on hing kinnises asendis mõlemalt poolt nähtamatu. Hing süvistatakse mõlemalt poolt täies ulatuses, mis annab tugeva ühenduse hinge ja paneeli vahel. Suurte ja raskete paneelide puhul on soovitatav kasutada vineeri või täispuitu, et vältida materjali purunemist. Olenevalt paneeli suurusest võivad peithingede mõõtmed olla vägagi erinevad.



Joonis 9.53 Peithing. Foto: Hettich

Lehthinged ja latthinged

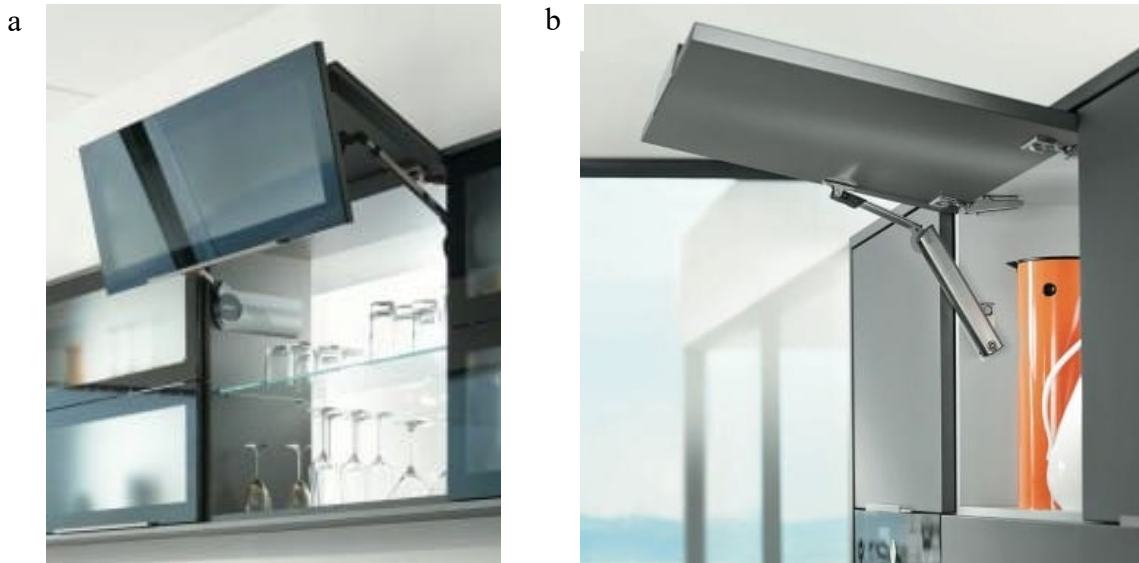
Lehthinged (joonis 9.54) on ühed vanemad ja lihtsama ehitusega hinged mööblitööstuses. Neid kasutatakse peamiselt dekoratiivsetel eesmärkidel ja väga raskete uste korral. Latthinged on samuti kasutusel peamiselt dekoratiivsetel eesmärkidel.



Joonis 9.54 Lehthing (a) ja latthing (b). Fotod: Häfele

Ülakapisüsteemid

Hingesüsteemide juures moodustavad ülakapisüsteemid eraldi kategooria, mis on laialdaselt kasutusel köögimööblis. Kui ülakappide ukсед avanevad küljele, saab kasutada tavalisi mööblihingeseid. Parema ligipääsu tagamiseks kasutatakse aga ka ülesavanevaid lahendusi. Ülesavanevad ukсед disainitakse ühes ja kahes osas (joonis 9.55). Üheosalise ülaukse puhul kinnitatakse ühe lahendusena kapi lakke hinged ja selleks, et uks seisaks avatud asendis, lisatakse juurde kas fiksaator, amort või liftsüsteem. Sarnase lahendusena kahes osas oleva ukse korral kasutatakse topelthingeseid, paar hingeseid lisatakse ukse üla- ja alapoolse vahele.



Joonis 9.55 Ülauksed: a – kaheosaline ja b – üheosaline liftsüsteemiga. Foto: BLUM

9.4.3 Sahtlisiinid ja sahtliküljed

Sahtlite puhul on olulised sahtlikasti materjal, siinitüüp, kandevõime, avanemisulatus ja lisafunktsionaalsus.

Sahtlikasti materjalidena on enamlevinud puit ja puidupõhised plaatmaterjalid (puitlaastplaat, MDF, vineer) ning lehtmaterjal. Metallsahtlid jagatakse ühekordse ja kahekordse küljega sahtliteks (joonis 9.56). Vähemlevinud on plastsahtlid (kontorimööbel) ja korvsahtlid. Korvsahtlite võivad olla nii metallist (traadist) kui ka kangast ning on levinumalt kasutuses garderoobides ja köögimööblis.



Joonis 9.56 Sahtlitüübid: a – kahekordse küljega, b – ühekordse küljega. Fotod: Hettich

Vähekasutatavad siinisüsteemid on

- vineerist või täispuidust ribaliuguritega (liuglemiseks hõõrutud küünlavahaga);
- plastliuguritega;
- nailonrulliksiinidega;
- ratassiinidega.



Joonis 9.57 Nailonrullikutega siinid. Fotod: Hettich

Tänapäeval kasutatavamad siinisüsteemid on aga

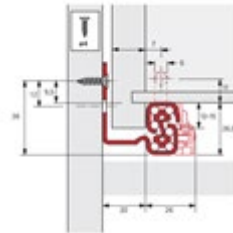
- sissefreesitud kuulsiinidega (joonis 9.58);
- pinnapealsete teleskoopkuulsiinidega (joonis 9.59);
- põhjaaluste teleskoopkuulsiinidega (joonis 9.60).



Joonis 9.58 Sisefreesitud kuulsiinid. Fotod: Hettich



Joonis 9.59 Pinnapealsed teleskoopkuulsiinid. Fotod: Hettich



Joonis 9.60 Põhjaalused teleskoopkuulsiinid. Fotod: Hettich

Olenevalt sahtli avanemisest (joonis 9.61) jagatakse siinisüsteeme veel

- rohkem kui 100% avanevateks;
- 100% avanevateks;
- $\frac{3}{4}$ avanevateks;
- mõlemale poole avanevateks.



Joonis 9.61 Erineva avanevusega siinid: a – üle 100%, b – 100%, c – $\frac{3}{4}$ avanevad siinid. Fotod: Hettich

Siinidel on olemas ka lisafunktsioone, millest levinumad on

- vaikselt sulgumine
- puutele avanemine
- elektriline avanemine (kõrge hinna tõttu vähemlevinud)

Tuntumad siinisüsteemide tootjad on Blum, Hettich ja Grass. Siin alapeatükis kasutatud nimetused on eestikeelsed tõlked, tootjad nimetavad sahtlite omadusi erinevalt, nt Blum nimetab oma vaikselt sulgumise süsteemi *bluemotion*’iks ja Hettich *silent system*’iks.

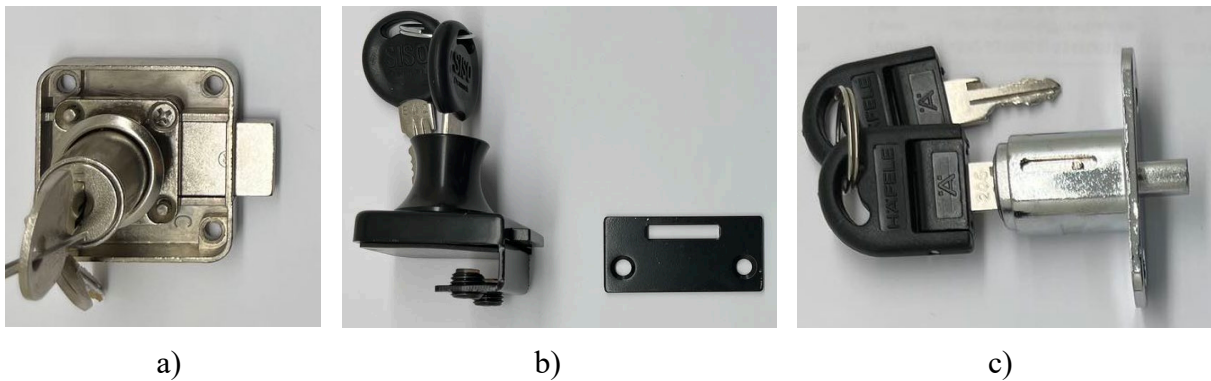
Erisugused sahtlisüsteemid on kasutusel kööginurgakappides. Sellised süsteemid annavad parema ligipääsu kööginurka jäävasse kappi (joonis 9.62).



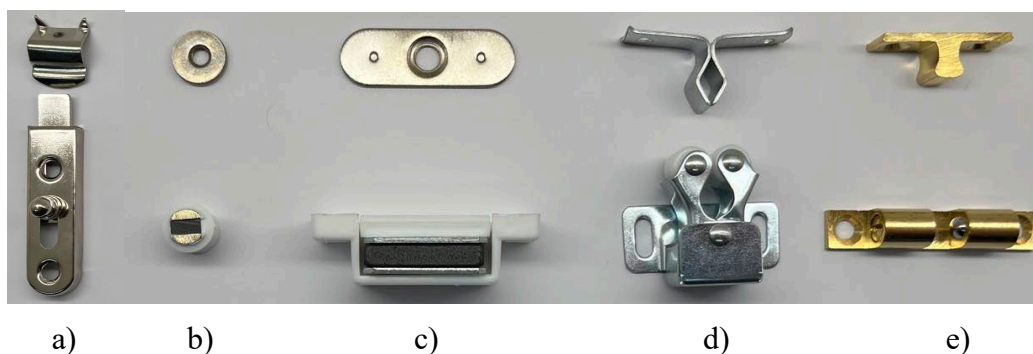
Joonis 9.62 Näited kööginurgakapi süsteemidest. Fotod: Hettich

9.4.4 Lukud ja riivid/sulgurid

Lukkude ja riivide valik on sarnaselt hingede ja käepidemetega väga suur. Suurema alagrupi moodustavad puituste ja puitsahtlite, klaas- ja lükanduste lukud (joonis 9.63). Omaette grupp on kõikvõimalikud elektroonilised lukud ühiskondlikuks kasutamiseks (riidekapid, hotellimööbel jms). Siia alla kuuluvad ka magnetid: süvistatavad ja pinnapealsed, erineva tugevusklassi ja viimistlusega. Lukkude puhul on jagunemise kriteeriumiks ka sarjastamise võimekus, seda just ühiskondlikus ruumis kasutamise tõttu. Riive (joonis 9.64) kasutakse vähem ja need on asendunud erinevate sulguritega (rullik-, kuul- või magnetsulgurid).



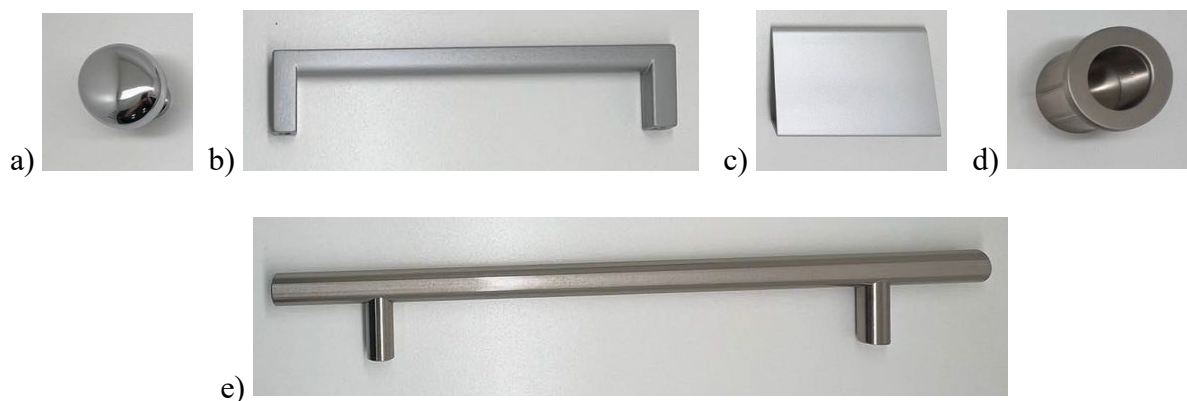
Joonis 9.63 Sahtlite ja uste lukud: a – puitsahtli ja -ukselukk, b – klaasukse lukk, c – lükandukse lukk.



Joonis 9.64 Riivid ja sulgurid: a – riiv, b – süvistatav magnetsulgur, c – pinnapealne magnetsulgur, d – rullsulgur, e – kuulsulgur.

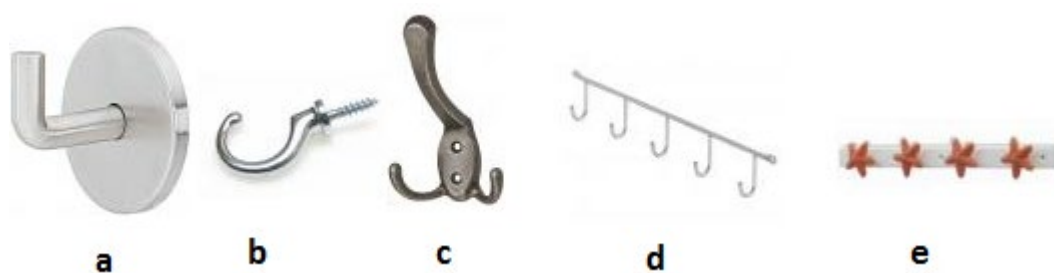
9.4.5 Käepidemed ja nagid

Käepidemed ja nagid on eranditult kõige mahukama tootevalikuga rühm. Käepidemed jagunevad süvistatavateks, pinnapealseteks, lastemööbli-, disain-, profiilkäepidemeteks ning viimistluse ja materjali järgi: värvitavad, roostevabad, metallist, antiiksed, portselanist, nahast ja plastist käepidemed. Disainikäepidemete materjalid võivad olla kombineeritud, nt metall-puit, puit-nahk vms.



Joonis 9.65 Käepidemed: a – nupp-, b – sang-, c – reeling-, d – profiil-, e – süviskäepide.

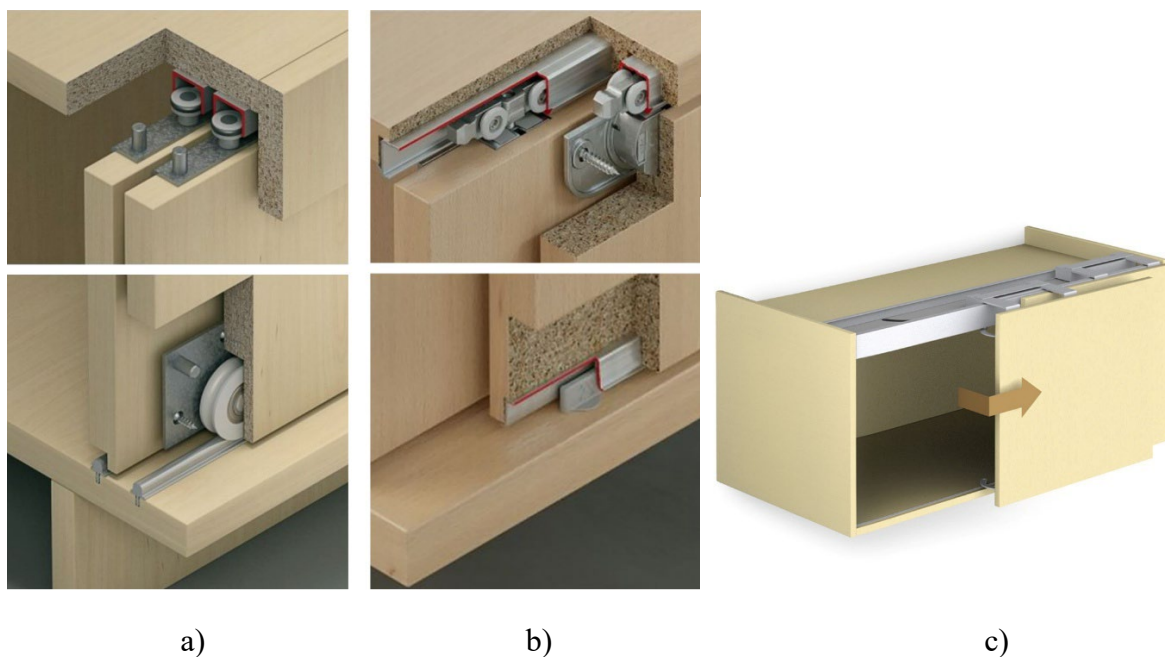
Nagid jagunevad kõigepealt konksude arvu järgi ja siis viimistluse põhjal (joonis 9.66).



Joonis 9.66 Nagid: a – peitkinnitusega, b – sissekravitav, c – pealkinnitusega, d – 5 konksuga, e – laste nagi.

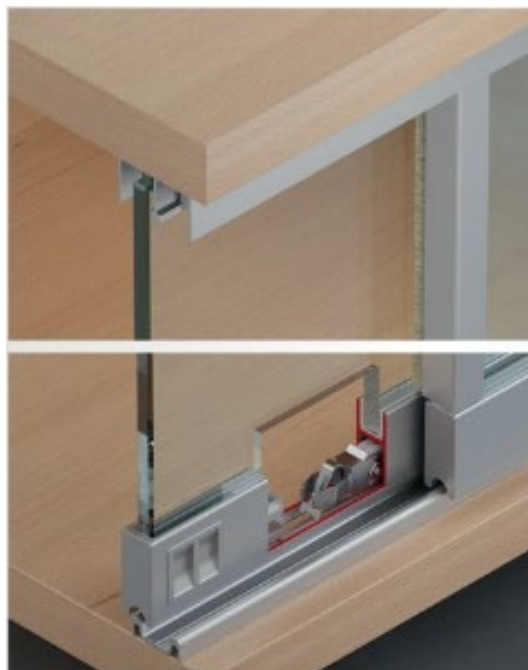
9.4.6 Lükanduste süsteemid

Lükandused jagatakse kahte kategooriasse: alarullikutega ja ülarullikutega ukSED (joonis 9.67). Hiljuti on lisandunud valikusse eri tootjate loodud süsteemid, kus rullikud on nii all kui üleval ja avamisel üks uks katab teise täielikult (Coplanar-süsteem). Viimaste korral on suletud asendis ukSED samas tasapinnas, mitte astmes nagu tavapärased lükandused. Võrreldes tavalise lükandusega on nende mehhanism tunduvalt keerulisem ja käepidemed paigutuvad teisiti. Vasaku ukse käepide on paremal ja parema ukse käepide vasakul. Lükanduste eeliseks käänduste ees on suurem raskuse talumine. Tugevamad rullikud taluvad kuni 120 kg koormust, erilahenduste rullikud kuni 400 kg koormust. Tänu sellele võivad lükanduste mõõtmed olla 3000 × 1200 mm.



Joonis 9.67 Lükanduste süsteemid: a – alarullikutega, b – ülarullikutega, c – Coplanar-tüüpi uks. Foto: Häfele

Lükanduste materjalide valik sõltub valitud süsteemist ja sellest tulenevalt on võimalik kasutada sileust, alumiiniumprofiilides olevat kilpi või siis klaasust. Klaasist lükanduste (joonis 9.68) puhul on enamasti alumine serv alumiiniumprofiilis, milles omakorda on rullikud. Ülemine klaasi serv on juhtsiini sees, mille sisekülgedel on kas vilt või karvtihend müra summutamiseks.



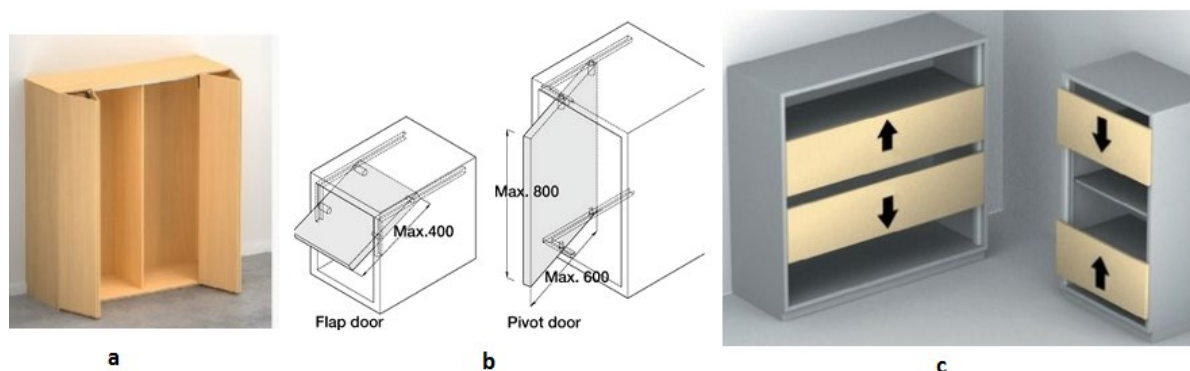
Joonis 9.68 Klassikaline klaasist lükandukse süsteem. Fotod: Häfele

Lükanduksed on enamasti paaris kahese siini peal (üks siin ukse kohta), kuid garderoobide puhul võib samas siinis olla ka rohkem uksi. Erandid on üksikud lükanduksed, mis liiguvad väiksema ava puhul kas seina peale või seina sisse. Samuti võib esineda variante, kus kahesele siinile pannakse üks siin lisaks ja nii on kõik kolm ust eraldi siinidel – sellisel juhul saab ava suuremas osas korraga avada.

Lükanduste peamised kasutuskohad on garderoobid, kontorikapid ja muud kitsamad kohad, kus käänduste kasutamine on raskendatud (nt laevad, jahid, teeninduslettidetagused kapid jms).

Siini ja rullikute abil liiguvad veel voldikuksed, kapi sisse liikuvad ukse, horisontaalis ja vertikaalis liikuvad avakatted. Voldikuste eeliseks on võimalus katta suurem pind ja samas see peaaegu täies ulatuses avada, suurem efekt on kahepoolse süsteemi puhul. Kapi sisse liikuvad ukse ehk nn TV-kapi ukse on kasutusel peamiselt tehnika nagu TV- ja audioseadmete varjamiseks, kui neid parasjagu ei kasutata. Enimlevinud kasutuskohtadeks on hotellitoad, aga need leiavad kasutust ka kontorites ja kodudes. Horisontaalselt ja vertikaalselt liikuvad avakatted on

osaliselt peidetud süsteemiga lükandlahendused ja sobivad hästi erilahenduste puhul kasutamiseks (joonis 9.69).



Joonis 9.69 Lükand- ja voldikuste lahendused: a – kahepoolne voldikuks, b – kapi sisse liikuvad uksed, c – horisontaal- ja vertikaalpaneelid.

9.4.7 Laudade furnituur

Laud on oma olemuselt üks lihtsamaid sisustuselemente, kuid mõnevõrra keerukamad on pikendatavad lauad. Õigesti valitud furnituuri ja konstruktsiooni kooslusega võib 1200 mm pika laua teha 6000 mm pikkuseks. Söögilaudadel üldjuhul on puidust jalad, kontorilaudadel seevastu metallist, et vähendada kulumist ja vältida löögijälgi. Eraldi kategooria on klapplauad, mida saab kinnitada kas seinale või mõnele mööbliesemele ning suletud asendis on lauaplaat rippuvas asendis. Laudades kasutatava furnituuri näited on toodud joonisel 9.70.

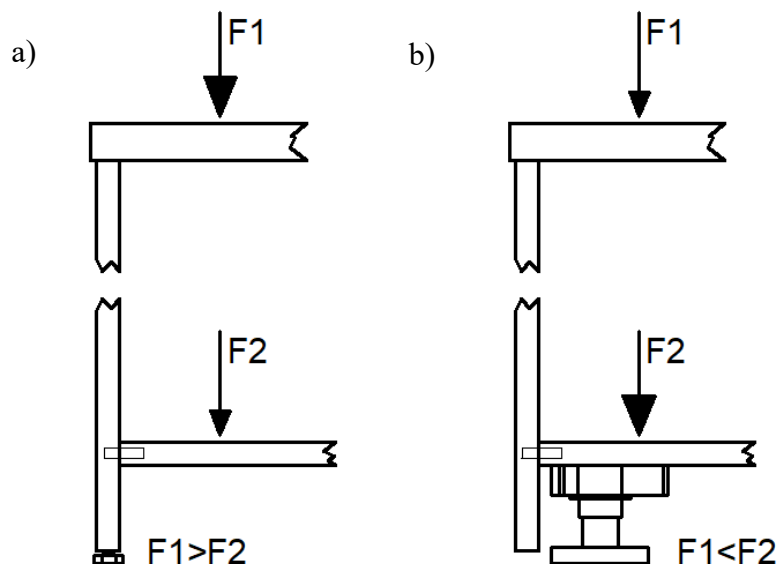


Joonis 9.70 Laudades kasutatav furnituur: a – bistroolaua jalg, b – klapplaua mehhanism, c – kokkuklapitava lauajala mehhanism, d – pikendatava laua siinid, e – kontorilaua jalg.

9.4.8 Soklikorrigeerijad

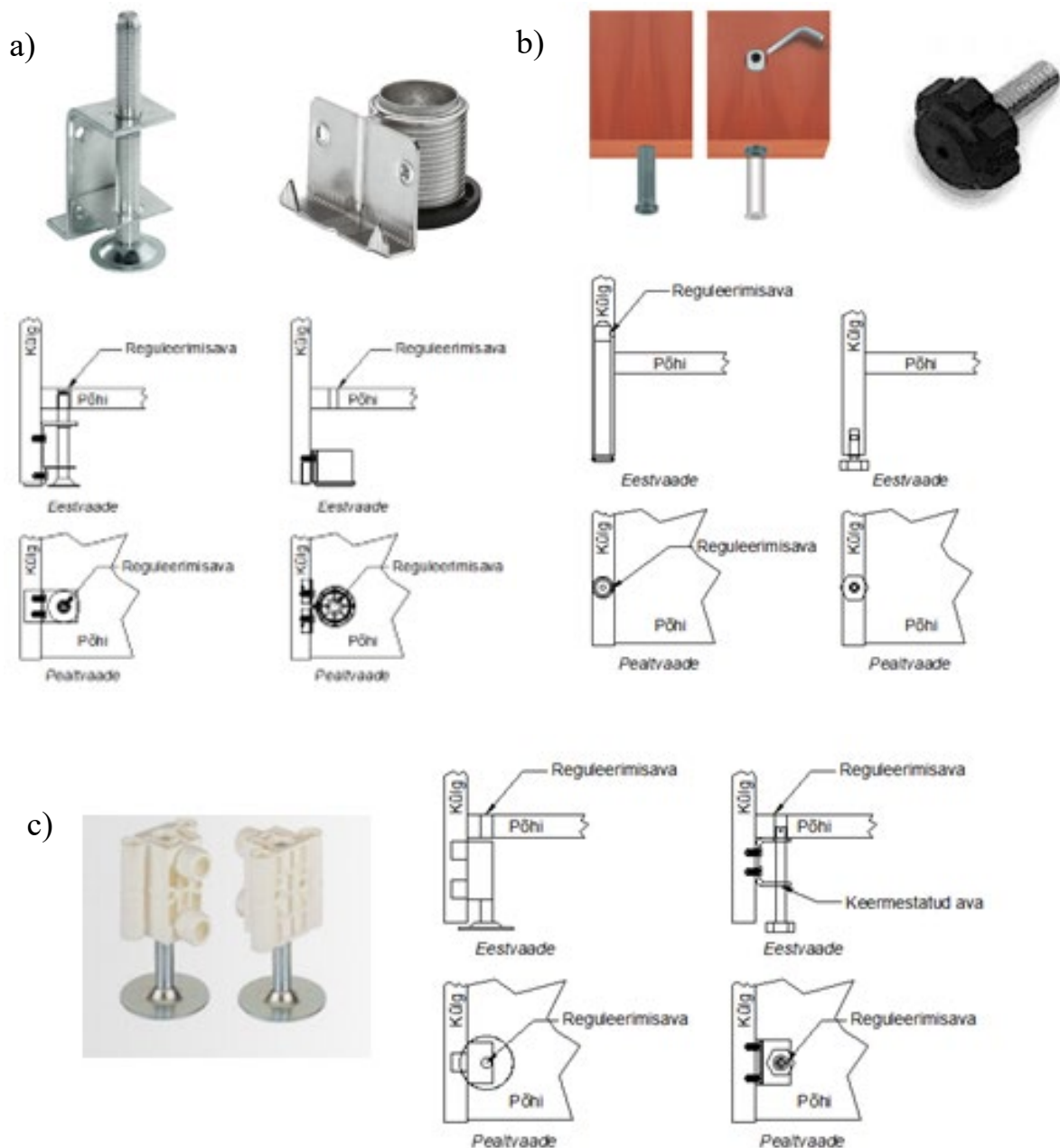
Mööblialgasid võib jagada nähtavateks/dekoratiivseteks ja mittenähtavateks, mis omakorda jagunevad reguleeritavateks ja mittereguleeritavateks. Mööblialgade esmane funktsioon on tõsta mööblit põrandast kõrgemale. Seda tehakse peamiselt kolmel põhjusel: esiteks selleks, et

saavutada sobiv (kasutus)kõrgus, teiseks selleks, et mööblit loodida, ja kolmandaks, et mööbel ei oleks vastu põrandat. Eriti tähtis on neist viimane märgpuhastavate põrandate korral, nt köögis. Kui mööbliplaat on vastu põrandat, siis hakkab niiskus kogunema põrandale toetuva plaadiserva ja põranda vahele ning võib servapealistuse puudumise või väiksemagi defekti korral imenduda plaadi sisse. Selle tagajärjel plaat pundub ja plaadipealistus möraneb ja puruneb. Mööbli loodimine on vajalik, sest põrandad võivad olla kalde all või ebatasased.



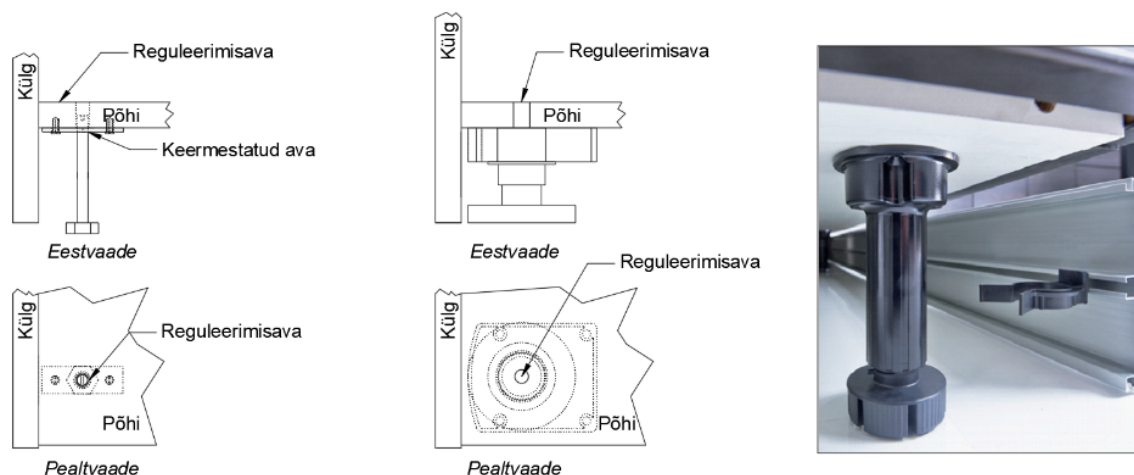
Joonis 9.71 Soklikorrigeerija lahendus: a – külge toetav jalg, b – põhja toetav jalg. Joonis: K. Kiiman

Mittenähtavad mööblijalad ehk soklikorrigeerijad (joonis 9.71) paigutatakse üldjuhul nii, et nad toetavad kapipõhja või -külge, mõningatel juhtudel mõlemat. Kui mööbliesemele mõjuv raskus ei ole väga suur, pole oluline, missugust varianti kasutada. Kui tegu on suurte raskustega, tuleb teha valik mõjuvate jõudude suuruse järgi. Suurim oht on, et ühendus kapi põhjaplaadi serva ning kapikülje vahel puruneb. Rakendades ülaloleval joonisel kujutatud konstruktsioonile mõjuvaid jõude F_1 ja F_2 ja eeldades, et jõud F_1 on märkimisväärselt suurem jõust F_2 , siis tuleks valida külge toetav jalg. Selline paigutus vähendab põhja ja külje vahelise ühenduse koormust. Kui jõud F_2 on märkimisväärselt suurem kui F_1 , siis tuleks, vastupidi eelistada põhjatoetavat jalga. Kui mõlemad jõud on suured, võib vajadusel kasutada lahendust, kus kapi põhi konstrueeritakse kapikülje alla ning kasutatakse põhja toetavaid soklikorrigeerijaid. Valik soklikorrigeerijaid on kujutatud joonisel 9.72.



Joonis 9.72 Erinevad külge toetavad soklikorrigeerijad: a – toetavad, b – serva süvistatavad, c – külge kinnitatavad. Joonis: K. Kiiman. Fotod: Häfele, Hettich

Põhja alla kinnitatavatest jalgadest on kõige populaarsemad plastist soklijalad, mida kasutakse köögikappide all. Selliste jalgade puuduseks on nõrkus külgjõudude suhtes; külgsuunas fikseeritud mööbli korral on need jalad väga tugevad. Reguleeritavate plastist soklijalgade eeliseks on võimalus kinnitada sokkel ilma raamita (joonis 9.73).



Joonis 9.73 Põhjatoetavad soklikorrigeerijad. Joonis: K. Kiiman. Foto: Volpato

Pehme mööbli toodete (tugitoolid, sohvad, diivanid, nurgadiivanid) puhul kasutatakse fikseeritud kõrgusega jalgu, mille oluline ülesanne on kanda toote ja sellel istujate raskust ning vastu pidada külgsuunalistele nihkejõududele, kui toodet mööda pörandat nihutatakse. Pehmet mööblit transporditakse nii jalgadel (joonis 9.74, vasakul ja paremal) kui ka ilma. Seetõttu on toodetega kaasas tikkpoldiga alla kruvitavad mööbliljalad (joonis 9.74, keskel).



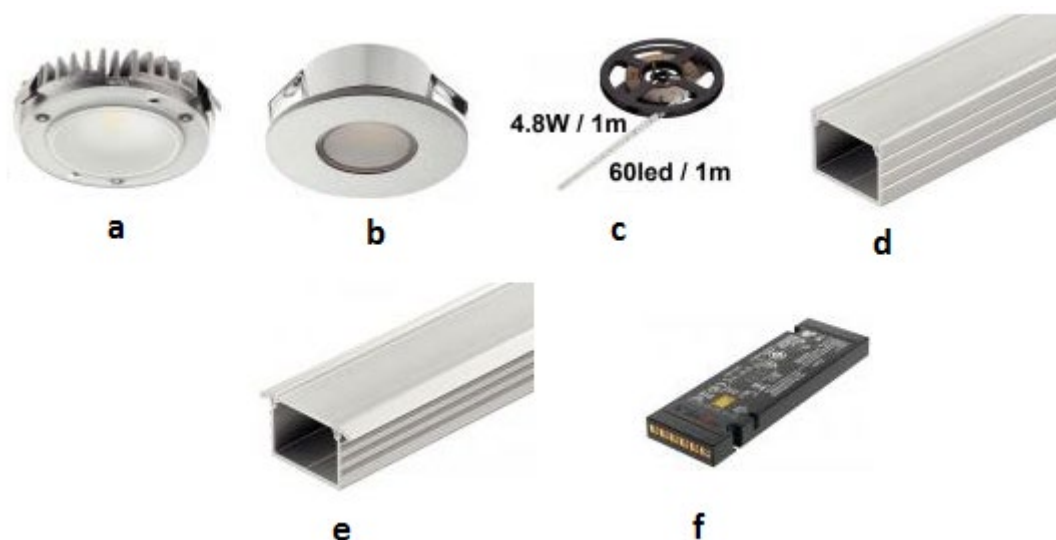
Joonis 9.74 Pehme mööbli toodetel kasutatavad jalad. Foto: Alpek OÜ

9.4.9 Valgustid

Valgustitest on sisekujunduses enim levinud LED-valgustid. Halogeen- ja luminofoorlampe enam eriti ei kasutata, põhjuseks nende vähene eluiga ja kõrge töötemperatuur. Kõige temperatuuritundlikumad tooted on kosmeetika ja toit, seega LED-valgustid sobivad sellistesse kohtadesse ideaalselt.

LED-valgustid jagunevad kaheks: kohtvalgustid ja ribavalgustid (kasutatakse nii profiili sees kui ka ilma). Mõlemad LED-valgustite tüübid (joonis 9.75) on olemas nii pinnapealsete kui ka süvistatavatena. LED-ide kasutuse puhul tuleb jälgida tootja juhiseid, et vältida nende kahjustumist niiskuse või ülekuumenemise teel. Ribavalgusti liimitakse üldjuhul alumiiniprofiili sisse, mis töötab jahutuselemendina. Ribavalgusti võib liimida ka otse mööbliplaadile, kuid sel juhul peab olema tagatud hea õhuliikumine. Ribavalgusti puhul tuleb jälgida ka seda, et voolusaav riba ei oleks liiga pikk. Näiteks 8 m pikkuse riba ühest otsast toitega varustades toimub teises otsas pingelang ja valgusti ei põle ühtlaselt. Selle vältimiseks tuleb anda toide mõlemast otsast ja vajadusel ka keskelt. Ribade puhul jälgitakse LED-ide arvu ja nende võimsust ühe meetri kohta. LED-valgustite transformaator tuleb paigutada sellisesse kohta, kus see ei saa ülekuumeneda. Vajadusel tehakse mööbli sisse tuulutusavad õhu liikumise tagamiseks. Transformaatorid valitakse vastavalt valgusti võimsusele, et ei tekiks ülekoormust.

Erivalgustid on riidepuutorude, sahtlite ja riiulite valgustamiseks, kuid kõik nad põhinevad LED-tehnoloogial.



Joonis 9.75 Valgustid: a – pinnapealne kohtvalgusti, b – süvistatav kohtvalgusti, c – LED valgusriba, d – pinnapealne klaasiga profiil, e – süvistatav klaasiga profiil, f – transformaator.

Lülitid valgustuse kasutamiseks on pinnapealsed, süvistatavad ja varjatud. Varjatud lüliti asub mööbliplaadi taga ja käega viibates toimub sisse-välja lülitamine. Mõningaid valgustuse süsteeme on võimalik juhtida puldi või nutitelefoni abil.

9.4.10 Garderoobifurnituur

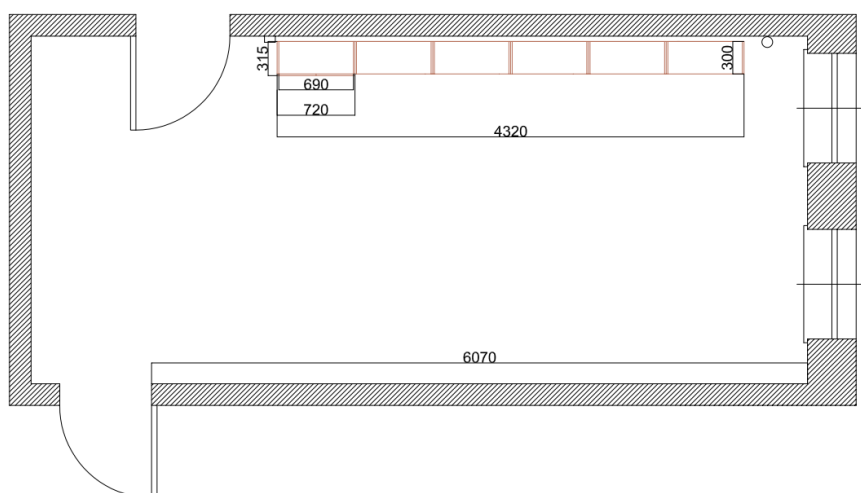
Garderoobifurnituur (joonis 9.76) on oma spetsiifikast tulenevalt kõige arvukam. Siia kuuluvad lükanduksed (alajaotus 9.4.6), korvid, korvipüstakud, riidepuutorud, riidepuuliugurid ja erinevad kandurid (sh elektroonilised), pükste- ja lipsuhoidikud, jalatsiriiulid, ehtesahtlid, puitsahtlid, väljatõmmatavad ja pööratavad peeglid, koristustarvete süsteemid jms. Vähemkasutatavad elemendid garderoobis on kappi sisse ehitatud allalastav voodi või kõrgete kappide puhul üla- siinil liikuv redel kõrgemalt asjade kätte saamiseks. Viimastel aastatel on garderoobis kasutatav furnituur teinud läbi olulise muutuse disaini alal seoses esmaklassiliste toodete turule tulemisega, seda peamiselt garderoobtubade laiema leviku tõttu, kus tavapärased lükanduksed puuduvad ja kogu kapisisu on korraga näha. Valgustust lisatakse riidepuutorudele, soklile, sahtlitele; kasutatakse elektroonikamehhanisme ja palju muud sellist. Samuti on sahtlite esipaneelid kas osaliselt või täielikult läbipaistvast materjalist (klaas, plast), et näha kinniste sahtlite sisu.



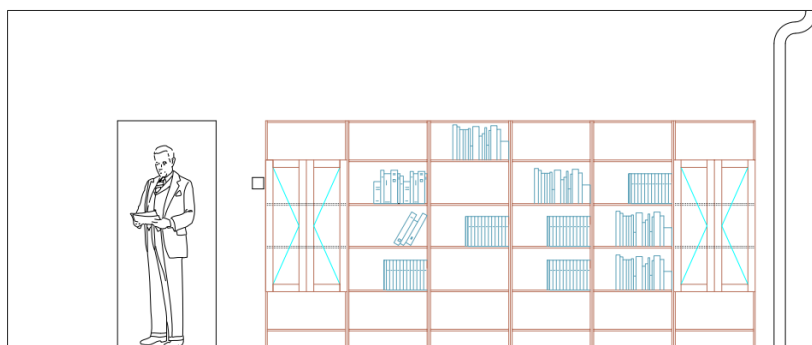
Joonis 9.76 Garderoobi furnituur: a – tolmuimeja vooliku- ja toruhoidja, b – ehtesahtel, c – väljatõmmatav jalatsiriiul, d – väljatõmmatav pükste riiul koos sahtliga rihmade hoidmiseks, e – väljatõmmatav stange.

9.5 Mööbli kavandamine ja koostamine

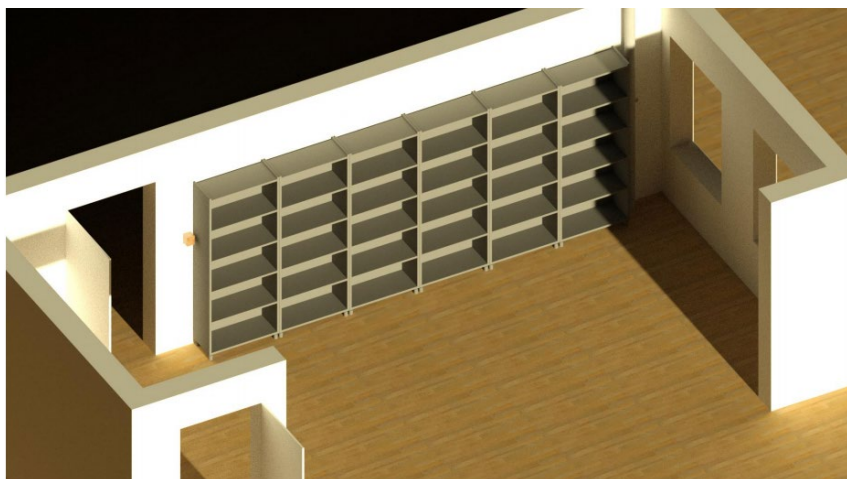
Mööbli kavandamisel võetakse aluseks arhitekti valmistatud joonised, kus on ruumide plaan (joonised 9.77 ja 9.78) ning kliendi vajaduste põhjal sisearhitekti tehtud ruumide sisekujundus ja materjalispetsifikatsioon. Sisearhitekti koostatud joonised ja materjalispetsifikatsioonid on aluseks mööblitootjatele mööbli kavandamisel ja kliendile hinnapakkumise koostamisel. Selleks tuleb konstruktoritel välja töötada mööblikoostesõlmede tehnoloogilised lahendused, valida välja furnituur ja pakkuda välja materjalid või asendusmaterjalid (kui välja pakutud materjale ei ole otstarbekas kasutada, et vähendada kulusid või on vaja suurendada mööblieseme tugevust). Kui ehitise projekteerimistarkvarad (ArchiCAD) ja mööbli konstrueerimistarkvarad (AudoDesk Inventor) võimaldavad kolmemõõtmelisele ruumiplaanile paigutada ruumi ka mööbli (joonis 9.79), on võimalik kontrollida mõõtmete paikapidavust ja võtta arvesse projekteerimise iseärasusi (ventilatsiooniseadmete ja kütteseadmete või torude asukohad). Mööblitootja hinnapakkumise ja tehnoloogilise lahenduse koos materjalispetsifikatsiooniga peab koostama klient.



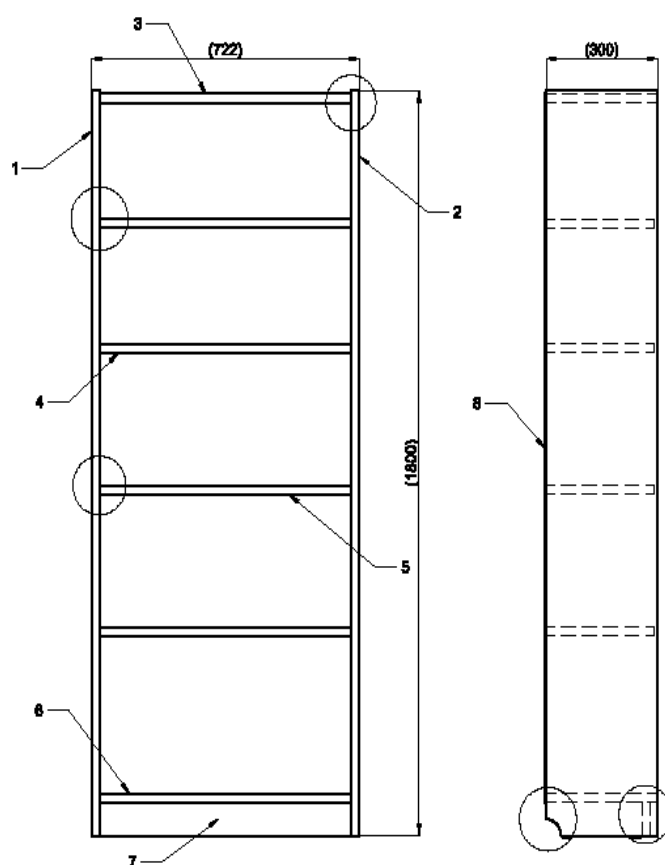
Joonis 9.77 Ruumiplaan ja sellesse paigutatud kapirivi pealtvaates. Joonis: R. Horta



Joonis 9.78 Klaasustega kappide ja raamaturiiulite eestvaade. Joonis: R. Horta



Joonis 9.79 3D-ruumiplaan ja sellesse paigutatud kapirivi. Joonis: S.-E. Sassi

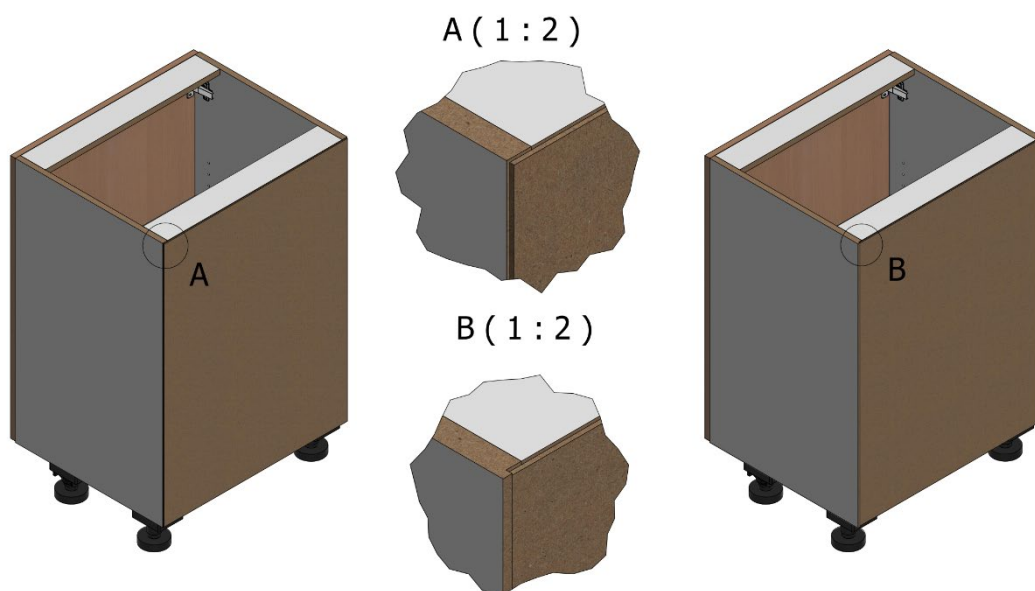


Joonis 9.80 Raamaturiiuli eest- ja külgsuuna gabariitmõõtmega.

Raamaturiiul on lihtsa konstruktsiooniga toode. Joonisel 9.80 näidatud raamaturiiuli laius on 300 mm, pikkus 722 mm ja kõrgus 1800 mm. Riiul koosneb kahest külgsuuna paneelist, üla- ja põhjapaneelist ning neljast riiulist. Ülemine ja alumine ning üks keskmine riiul tuleb fikseerida. Riiulite ja kappide konstruktsiooni tugevdamiseks ja külgsuunalise jäikuse suurendamiseks on

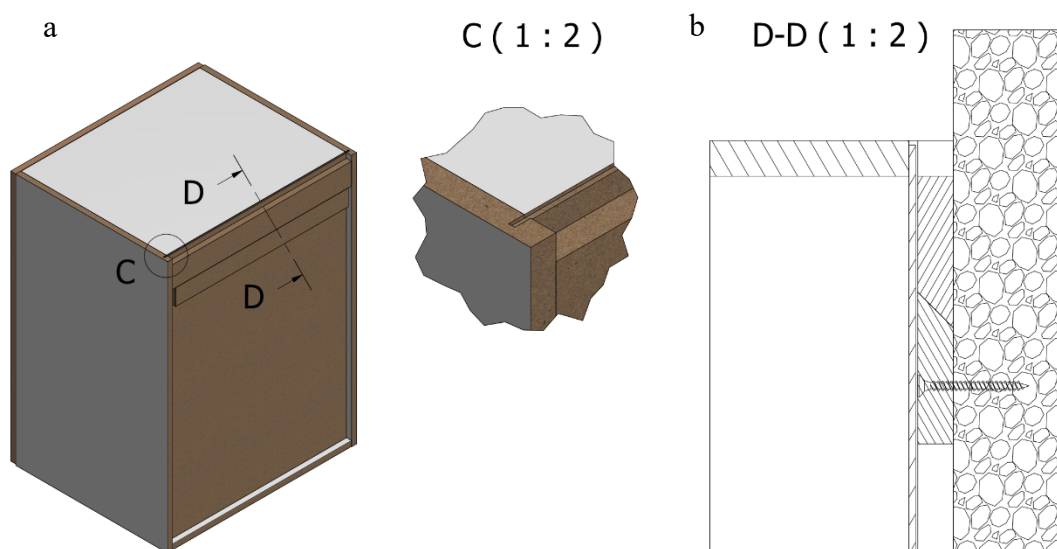
vajalik mööbli tagaküljele paigaldada tagasein, mis seob kapi küljed ja üla- ja põhjapaneeli üheks jäigaks tervikuks.

Mööbli tagumise küljena (taustana) kasutatakse võimalusel HDF-paneeli, mis on kas ühelt või kahelt poolt viimistletud. HDF on odavam ja kaalult kergem alternatiiv külgede ja põhjana kasutatavale puitlaastplaadile, liimpuitkilbile või muule materjalile. Olenevalt kapi paiknemisest kinnitatakse kapitaust eri meetoditel. Juhul kui kapp ei ole külgedelt nähtav, võib näiteks kasutada lihtsalt kapi tausta naelutamist/klammerdamist kapi tagaküljele (joonis 9.81). Kui tegemist on küljelt nähtava kapiga, varjatakse kapi tausta viimistlemata külg valtsiga (ühest küljest avatud soon). Joonisel 9.81 tuleks tähele panna, et kapimoodulitel puudub lagi ja seda asendavad sideliistud. Nende idee seisneb selles, et selliseid kapimooduleid paigutatakse üksteise kõrvale mitu ja hiljem asetatakse peale ühes tükis olev tööpind, mis kinnitatakse läbi liistude kapi seest kruvidega. Selline konstruktsioon muudab kapimoodulid kergemaks.



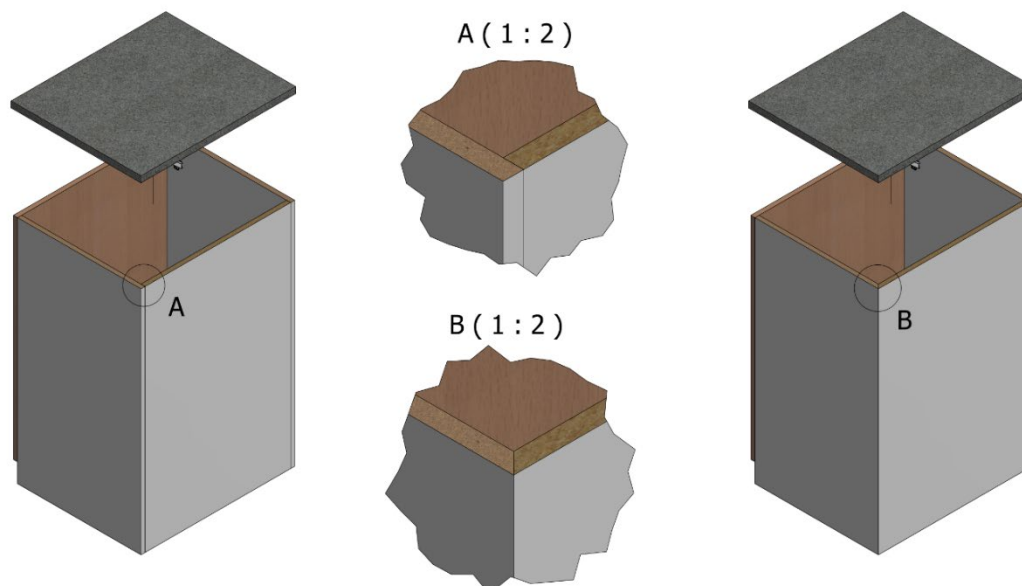
Joonis 9.81 Kapi tahta naelutatud/klammerdatud taust (a) ja valtsiga kinnitatud taust (b). Joonis: K. Kiiman

Kolmas variant tausta kinnitamiseks on selle paigutamine soonde (joonis 9.82). Mõningatel juhtudel on see ainus variant, kui soovitakse kasutada nt ülakappide kinnitamiseks kahe eerungisse lõigatud servaga seinakinnitust. Kinnituse idee seisneb selles, et üks liistudest on fikseeritud kapi seinte vahele ja teine kandev liist on fikseeritud seinale. Kinnituse eeliseks on see, et kapi loodimise saab teha ära ilma kappi seinale tõstmata ja seal hoidmata. Kõigepealt kinnitatakse seinale eerungis liist ja seejärel tõstetakse selle peale kapp. Tasub tähele panna, et soon või valts tuleb töödelda ka kapi põhja, sest kapp on altpoolt vaadeldav.



Joonis 9.82 Soonde paigutatud tagasein (a) ja ülakapi seinakinnitus (b). Joonis: K. Kiiman

Kui kapp on vaadeldav ka tagantpoolt, tuleks taustana kasutada sama materjali, mis külgedel. Sellisel juhul on lihtsaim variant kinnitada kapitaust külgede vahele (joonis 9.83). Kui ei soovita näha liiga palju materjali ühendusjooni, saab kasutada külgede ja tausta vahel eerungliidet. Viimane variant on kallim, sest selle koostamine nõuab tisleritelt rohkem aega. Selliste taustade kasutamine muudab kogu kapikonstruktsiooni jäigemaks, aga suurendab ka märkimisväärselt kapi kaalu.



Joonis 9.83 Külgede vahele kinnitatud taust (a) ja eerungis taust (b). Joonis: K. Kiiman

Söögilaua konstruktsioonid

Söögilauad võivad olla ruudu- või ristkülikukujulise või ümara lauaplaadiga. Sõltuvalt söögitoa suuruselt ja sööjate arvust ning vajadusest võivad lauaplaadid olla lisatavate vaheplaatidega (üks kuni kolm) pikendatavad, milleks kasutatakse puit- või kuullaagritel metallsiine, mis tagavad söögilaua pikendatavuse kummagi poole tõmbamisel vastassuundades.

Samuti on vaja tagada lauaplaatide fikseerimine lahtivõetavate liidete metalltööüblite või kuulsulguriga ja pingutusklaambritega (joonis 9.84).



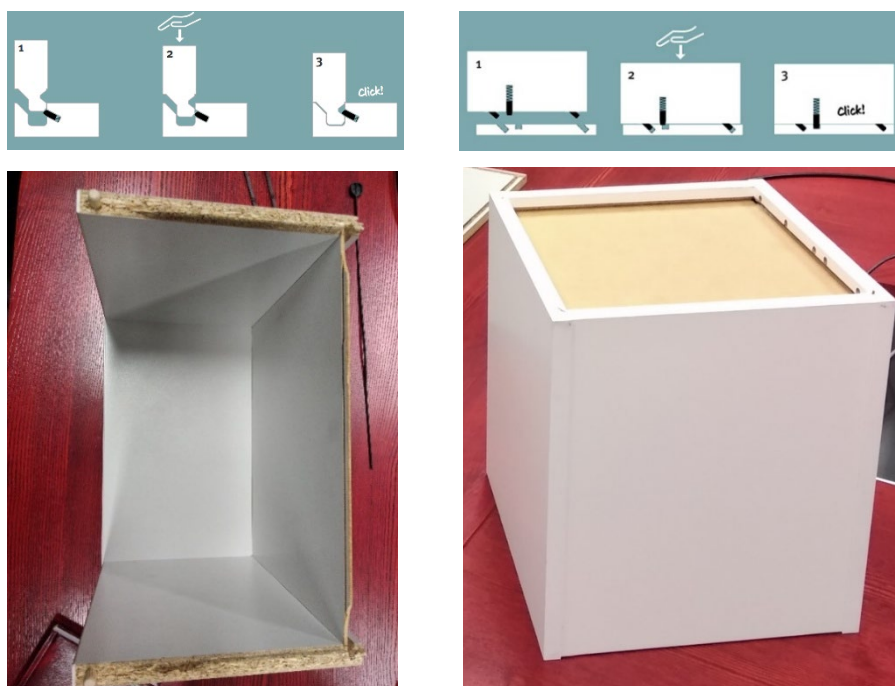
Joonis 9.84 Pikendatav söögilaud siinide ja kinnitusklambritega: a – lauajalg, c – lauajala kinnitus tikkpoltide, mutrite ja puidukruvidega, b – siinid söögilaua pikendamiseks ja d – plaate ühendav kinnitusklamber.

Threespine® tehnoloogia

Threespine® on uuenduslik tehnoloogia mööblitootmiseks kinnitusfurnituuri kasutamata. Korpusmööbli detailide ühendamiseks kasutatakse masintöödeldud tapikeele ja soonega klõpsliiteid. Rootsi tootja Välinge patenditud Threespine® Core tehnoloogial toodetakse kapi detaile suurserias läbiva kahepoolse tapifreesmasinaga. Melamiinplaadist (miinimumpaksus 6 mm) kapi detailile freesitakse sooned või soon ja tapikeeled ning puuritakse tüübliavad (joonis 9.85). Kapi saab kiiresti kokku panna, kasutades nurk- ja T-liiteid, mis fikseeruvad klõpsuga (joonised 9.86 ja 9.87 vasakul). Threespine® ID tehnoloogial puuritakse kapi detailidesse kaldsed tüübliavad ja kapi koostamine toimub tüübelliitega (joonis 9.86 ja 9.87 paremal). Kappide koost lahtivõtmine on lihtne ja selleks kasutatakse kahte plastvitsa.



Joonis 9.85 Threespine® Core tehnoloogial toodetud kapidetailid. Fotod: TNC Components OÜ.



Joonis 9.86 Threespine® Core tehnoloogial kapi koostamine (vasakul) ja Threespine® ID tehnoloogial koostatud kapp (paremal). Fotod: Välinge brošüür ja TNC Components OÜ.

9.6 KORDAMISKÜSIMUSED

1. Milliseid nõudeid esitatakse mööblile?
2. Millega tuleb arvestada mööbli kavandamisel?
3. Milliseid lahtivõetavaid liiteid kasutatakse mööbli valmistamisel?
4. Milliseid mittelahtivõetavaid liiteid kasutatakse mööbli valmistamisel?
5. Milleks kasutatakse mööblifurnituuri?
6. Milliseid kinnitusvahendeid kasutatakse mööbli valmistamisel?
7. Kuidas liigitatakse uksehingesid?
8. Milliseid materjale kasutatakse sahtlite valmistamisel?
9. Mis liiki sahtlisiine kasutatakse rohkem ja millised leiavad vähem kasutamist?
10. Kuidas liigitatakse sahtleid avanemise järgi?
11. Millist furnituuri kasutatakse mööbliuste ja sahtlite lukustamiseks?
12. Millised lükandustesüsteemid on kasutusel garderoobikappides ja millised hotellides?
13. Mida tuleb silmas pidada söögilaua jaoks sobilikku furnituuri valides?
14. Miks kasutatakse soklikorrigeerijaid?
15. Millised eripärad on garderoobifurnituuril?
16. Mida tuleb silmas pidada mööbli kavandamisel ja koostamisel?
17. Millised eripärad on Threespine® tehnoloogial võrreldes tavapärase mööbli tootmisega?

ALLIKAD

Kirjandus

Auvinen, S., Isomäki, O., Koponen, H., Saimovaara, J., Tiainen, J., Tiainen, J., Tolvainen, P., *Puidutööstus 3. Tisleritoodete tööstuslik tootmine*, Ehitame, Tallinn 2007

Eckelman, C. *Textbook of Product Engineering and Strenght Design of Furniture*. Prude University, West Laffayette, Indiana. 2003.

Davy, P., *Puutööraamat*, Varrak, 2008

Jackson, A., Day, D., *Puutöömeistri käsiraamat*, TEA, 2010P.

Saar, K., *Mööblikinnitusfurnituuri mehaanilised omadused erinevate puidupõhiste plaatmaterjalide kasutamisel*, magistritöö, TTÜ 2014

Smardzewski, J. *Furniture Design*, Springer, 2015

Vassiliou, V., Barboutis, I. *Screw withdrawal capacity used in the eccentric joints of cabinet furniture connectors in particleboard and MDF*. *Journal of Wood Science*. 2005. 51. 572–576

Yerlikaya, N.C., Aktaş. A. *Enhancement of load-carrying capacity of corner joints in case-type furniture*. *Materials and Design*. 2002, 37, 393-401

Yerlikaya, N.C. *Effects of glass–fiber composite, dowel, and minifix fasteners on the failure load of corner joints in particleboard case-type furniture*. *Materials and Design*. 2012. 39, 63-71

Internetiallikad:

Lamello AG koduleht. [WWW] www.lamello.com

Doomino tüübel https://www.woodcraft.com/blog_entries/the-new-festool-domino-jointing-system-now-at-woodcraft

This Old House Ventures, LLC <https://www.thisoldhouse.com/cabinets/21016567/how-to-install-concealed-cabinet-hinges>

Three spine [Design opportunities with Threespine® — Threespine®](#)

10 RAALPROJEKTEERIMIS- JA -TOOTMISSÜSTEEMID MÖÖBLITÖÖSTUSES. PUIDUTÖÖSTUSE DIGITALISEERIMINE

10.1. Ülevaade mööblitööstuses kasutatavatest raalprojekteerimissüsteemidest

Raalprojekteerimine (*computer aided design*, CAD) ja raalvalmistus (*computer aided manufacturing*, CAM) lahenduste vaates jaguneb mööblitööstus toote konstruktsiooni ning tehnoloogilise protsessi eripärade tõttu mitmeks spetsiifiliseks turusegmendiks:

- 1) korpusmööblitootjad – lihtsa konstruktsiooniga köögid ja garderoobid allhankena või jae-müügis tellimiseks;
- 2) eritellimismööbli tootjad – keerulisema disainiga tellimuspõhised ja hinnalt kallimad mööblitooted: köögi-, garderoobi-, hotellitoa-, kruisilaeva-, restorani- ja poesisustus.
- 3) pehmemööbli tootjad – mehhanismidega ja ilma mehhanismideta puitkarkassid: nurgadiivani-, sohva-, tugitooli-, tumba-, vaheseina karkassid jt.
- 4) komponentide ja liimpainttoodete tootjad.

Neist igaühes omakorda võib lahendamist vajavate ülesannete komplekti keerukusest (äri-mudel, tootmise läbilaskevõime ja seadmepark) lähtudes eristada kolme turusegmenti:

- üksiktootmine (värkstoad);
- kesksaritootmine;
- suursaritootmine.

Tarkvaratootjad on keskendunud ühele või teisele nimetatud turusegmentidest ja pakuvad oma toodet rahvusvahelisel turul juba pikemat aega ja on kõik tugevad tegijad. Põhjuseks asjaolu, et endast kontsentreeritud ja korrastatud *know-how*-konsentraati kujutav tarkvaratoode lihtsalt ei saa sündida „üleöö“ ehk eelduseks on, et arendusfaasis akumuleeritakse laiuti ja sügavuti sek-tori oskusteavet. Seda tehakse laias geograafilises ja ajalises ruumis, aga ka erinevate turu-segmentide kaupa. Kõik tarkvaralahendused on mööblisektori raames enamasti laiendatavad (üksiktootmisest kuni suursaritootmiseni), modulaarse ülesehitusega ning detailsuseni kohan-datavad regionaalsete eripäradega.

Kõnealused tarkvaratooted on ellu kutsunud paintootmissüsteem (*flexible manufacturing system*, FMS) ning oma olemusest tulenevalt mõeldud ärimudelile, mida nimetatakse eritelli-mus- või väikesariseeriatootmiseks. Arengud selles vallas (pidades silmas erasektorit, jättes

kõrvale kaitsetööstuse) on toimunud hilistest 1960. alates ning tõukunud paljuski sellistest seotud tehnoloogiatest nagu CNC-lõiketöötlemine, MRP-tootmise planeerimine jms.

Internetist võib leida väga erinevaid käsitlusi ja termineid tootmisinfosüsteemide kohta. Võib öelda, et eristub kolm suuremat koolkonda: USA, Jaapan ja Euroopa Liit. Raalintegreeritud tootmine (*computer integrated manufacturing*, CIM) on termin, mis viitab tootmise täielikule automatiseerimisele, kusjuures kõik põhi- ja alamprotsessid on raalistatud ning digitaalne andmevoog seob neid omavahel. Tunnusteks on, et juhtprotsessid on tagasisidestusega, igale detailile tekib reaajas ühekordne, individuaalne saamislugu. Mida suurem automatiseeritusaste, seda tihedam peab olema integratsioon alamsüsteemide (CAD, CAM, CAE, CAPP, CAQ, ERP) vahel. Mõtteviisid ja printsiibid arendati esialgu välja masina-, auto-, laeva- ning lennukitööstuses. Nüüd rakendatakse neid igal pool, kus soovitakse võimalikult vähese inimsekkumisega kiire ning veavaba toomisprotsessi kaudu saada innovatiivset ja kulusäästlikku konkurentsieelist. Puidutöötlemine ja puittoodete tootmine on üks selliseid valdkondi.

Konkreetsed tarkvaratooted, mida turul pakutakse ja ühes või teises tootmisettevõttes rakendatakse, on tihtipeale raskesti võrreldavad. Universaalseid ülesandeid nagu staatika- või kinemaatikaarvutused, samuti vabamodelleerimise ning visualiseerimise saab lahendada esialgu masinaehitusliku suunitlusega, aga nüüdseks laialt levinud arvutus- või modelleerimistarkvarade baasil neid sobilike teekide (*libraries*) ning lisafunktsioonidega täiendades. Keerukam on ettevõtjal aru saada suuremat integratsiooni ning vastavalt ka protsesside automatiseerimist pakkuvatest süsteemidest ja platvormidest. Funktsionaalsus ja toetatud protsessid enamasti üks ühele ei kattu. Turundusinfo globaalse konkurentsi tingimustes võib olla eksitav. Ettevõtete võimekus protsesse automatiseerida ja keerukaid süsteeme juurutada on erinev. Infosüsteemide teoorias sedastatakse, et vaid 20% juurutustest on arvestatavad edulood.

Jättes platvormist tulenevad erinevused kõrvale, võib spetsiaalselt korpusmööbli tootmise automatiseerimiseks rahvusvaheliselt pakutavate tarkvaratoodetest välja tuua järgmise nimistu: +2020; *ArtiCAD*; *CabMaster Software*; *Cabinet Solutions*; *CabinetPro*; *CABINET VISION*; *ClosetPro*; *Compusoft*; *+eCabinet Systems*; *EDypichler*; *+imos/HOMAG iX*; *interiorcad*; *+KCD Software*; *Kitchendraw*; *+Mebelchik*; *+Microvellum*; *+Mozaik Software*; *PRO100*; *ProKitchen*; *Polyboard*; *Pytha*; *RouterCAD*; *Spazio3D*; *Teowin*; *TopSolid Wood*, *Tri D Corpus*, *WoodWork for Inventor*.

See ei ole kaugeltki ammendav valik. Järgnevates alajaotustes on antud lühiülevaade mõnest Eesti puidu- ja mööblitööstuses kasutatavast programmist ja toodud mõningaid näiteid ka konstrueerimisprobleemide lahendamisest tarkvara abiga.

Nii nagu puidutöötlemispinkide puhul saab ühte ava materjali teha mitme erineva tööriistaga (puuri, freesi või saega), saab ka puit- või mööblitoote konstrueerimiseks valida erinevaid tarkvarasid, mis võimaldavad muuta toote modelleerimis- ja projekteerimisprotsessi kiiremaks, tehnoloogilisemaks ning hallatavamaks.

Mõnele väikesele tiseritöökojale piisab tootevalmistamiseks lihtsast 2D-eskiisist ja kogenud pingioperaator teeb toote valmis. Väikese ja keskmise suurusega tootmisettevõtetes on vaja tooteloomeprotsessi muuta kiiremaks ja selleks on vaja arvutis koostada piisava detailsusega tootmisdokumentatsioon, mis tagaks toote õigeaegse valmimise. Suursaritootmise jaoks on oluline inseneriprotsesside integreerimine äriprotsessidega ja hästijuhitavad töövood kliendi tellimusest kuni kauba väljastamise ja paigaldamiseni välja. Suursaritootmises on korraga töös palju projekte ning seetõttu on hädavajalik, et tootmisdokumentatsioon oleks uuendatud, täpne ja kiirelt leitav kõikide töötajate jaoks, kes toote valmistamisega seotud on.

Autodesk AutoCAD LT

AutoCAD on maailmas üks levinumaid joonestusprogramme, mille versiooni 1.0 lõi Autodesk Company turule 1982. a. 1993. a toodi turule tänapäeval levinud 2D-joonestustarkvara AutoCAD LT. AutoCADi 2D-modelleerimine seisneb joon-joone kaupa käsitsi kujundite arvutis joonestamises. Selle töö käigus tuleb konstrueerimisinseneril teha lisaks arvutis joonestamisele ka palju mõttetööd joonestusreeglite täitmiseks, et kuhu tõmmata detaili väliskontuuri näitav pidevjoon ja kuhu kriipsjoon, kui see osa detailist on tagaservas või teise detaili poolt varjatud. 2D-programmis on raske märgata loogikavigu, mistõttu võib neid esineda ka koostatavas tehnilises dokumentatsioonis. Seetõttu on äärmiselt oluline, et peakonstruktor või osakonnajuht joonised üle kontrolliks ja kinnitaks. Tootmisspetsifikatsiooni koostamine on pigem käsitöö, mis võib põhjustada mõõtmete ja plaat- ja pinnamaterjalide sisestus- ning furnituuri koguse arvestusvigu. Kuna 2D-joonestamises metaandmeid toote koostus olevate detailide kohta kaassas ei ole, siis tuleb need tootmise jaoks käsisisestada MS Exceli tükitabelisse detaili, gabariitide, materjali, furnituuri, detaili pealistuste (spoon või laminaat), servapealistuste (spoon või PVC-servapealistus) või värvitooni ja kihtide arvu kohta. 2D-programmid kiirendasid ja lihtsustasid küll joonestamist, kuid tootearendusprotsessis need suurt läbimurret ei toonud.

2D-mudelist ja tehnilisest joonisest detaili masinvalmistamiseks vajaliku töötlusprogrammini jõudmiseks on mitu võimalust. Osa CAM-süsteeme oskavad sisse lugeda .dxf/.dwg faililaidendiga mudeleid (mudelikontuure), et neist töötlusprogramme genereerida joonetüübi järgi.

Joonetüübid ja vastavalt määratud tööriistad on

LINE (kahe punktiga määratud sirglõik) = saag;

CIRCLE (ring) = puur;

POLYLINE (kaar- või sirglõikudest koosnev kogum) = frees.

Teine võimalus tootmise ettevalmistuseks on detailide 2D-jooniste põhjal koostada käsitsi töölusprogramm CNC-tööluskeskustele või tööpinkidele. See eeldab pingioperaatorilt vajalikke baasteadmisi CNC-töölusprogrammi koostamiseks. Kuid sellele kulub rohkem tööaega ja sisuliselt peab pingioperaator konstruktori tehtud töö uuesti üle tegema, nt sisestama jooniselt kõikide avade töölusinfo masinale loetavasse tarkvarasse. Selle käigus võib samuti tekkida inimlikke lugemis- ja sisestusvigu.

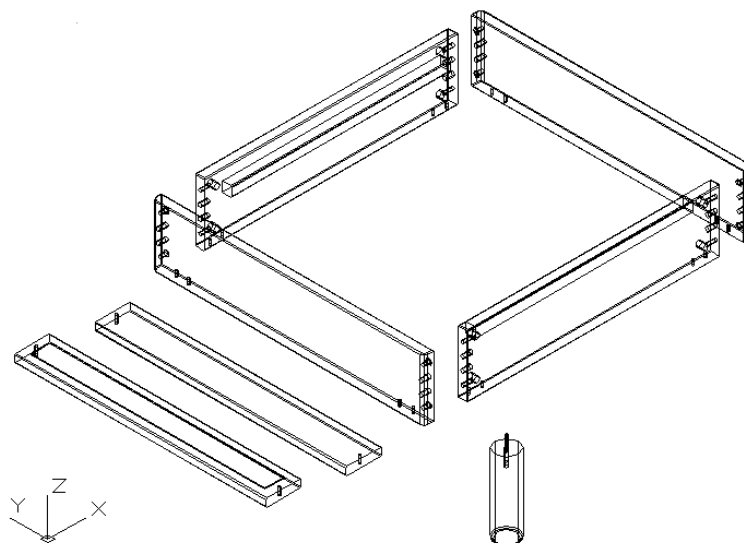
Autodesk AutoCAD-i 3D-programm

AutoCAD tuli oma esimese 3D-tarkvaraga välja 1996. a. 3D-programmid võimaldavad keha-dest, detailidest ja toodetest luua kolmemõõtmelisi mudeleid. See lihtsustab ja kiirendab märkimisväärselt tootearendusprotsessi. Detailidest ja toodetest saab kiiresti luua visuaalseid mudeleid, ühtlasi tulevad kiiremini ja kergemini välja võimalikud vead.

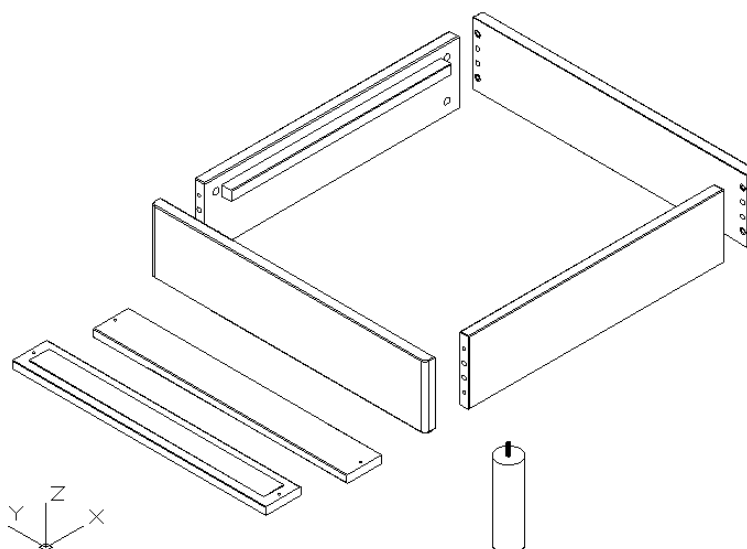
AutoCAD 3D korral käib modelleerimine läbipaistvate sõrestikkehadena (*wireframe*). Kehad modelleeritakse eraldi ning tõstetakse ja/või ühendatakse/lõigatakse omavahel detailiks või tooteks kokku. Kehanurgad, keskkohad jne haakuvad omavahel, lihtsustades protsessi. Valmis tahke keha, detaili või toote sõrestikud saab vastavate käskude abil ära peita. Loodud 3D-mudelist genereeritakse 2D-joonise vaated automaatselt vastavate käskudega. Detailide kahemõõtmelised tööjoonised saab valmistada loodud kolmemõõtmelistest mudelistest programmi abil, mis suudab eraldada detaili kontuurjooned ja punktiirjoonega välja tuua detaili sisemusse jäävad elemendid.

AutoCAD 3D ei ole parameetiline 3D-modelleerimisprogramm, nagu on teised Autodeski tooted Fusion 360, Autodesk Inventor. Näiteks gabariitmõõtmete või tüübliavade sügavuse ja aukoha muutmiseks tuleb teha muudatused 3D-mudelis iga ava ja detaili kohta eraldi. Kuna programm ei ole parameetiline, siis tuleb muudetud mudelist genereerida ka uued 2D-joonised. Kuna materjalide metaandmeid ei tule 3D-mudelist kaasa, käib tootespetsifikatsiooni loomine ikkagi käsitsi, nt MS Exceli tükitabelina. AutoCAD-i eeliseks on suur võimekus jooniste vormistamise seadistamise tööriistade rohkus, nt tehnilise joonise printfailil kuvatavate kontuurjoonte, kriipsjoonte, telgjoonte, mõõtjoonte nooleotste, tekstide, kirjanurga ja muude joonise

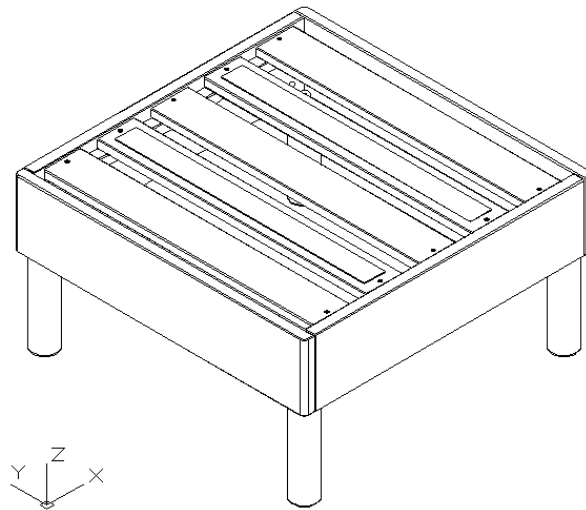
parameetrite seadistamises. Detaili masinvalmistamiseks saab toote 3D-mudelist võimekate CAM-programmidega (nt ALPHACAM) ja genereerida CNC-töötlusprogramme. Joonisel 10.1 on näidatud AutoCAD-i sõrestikesitlusena kuvatud eraldi asetsevad tumbadetailid. Modelleeritavad kehad saab küll ka läbipaistmatuks teha (*Shaded with Edges* või *Hidden*). Joonisel 10.2 on näidatud AutoCAD-i kompaktkehadena kuvatud eraldi asetsevad tumbadetailid. Sellisel juhul võivad erinevad kehad kuskil toote sügavuses üksteise sees olla, mis on raskesti tuvastatav. AutoCAD-tarkvara võimekus 3D-mudelite ilmestamisel ja pööramisel nende vaatlemiseks ruumis on aeglasem ning programm võib automaatselt minna sõrestikesitusele tagasi.



Joonis 10.1 AutoCAD-i sõrestikesitlusena kuvatud tumbadetailid. Autor: S.Vahemäe



Joonis 10.2 AutoCAD-tarkvaras tahkete kehadena kuvatud tumbadetailid. Autor: S Vahemäe



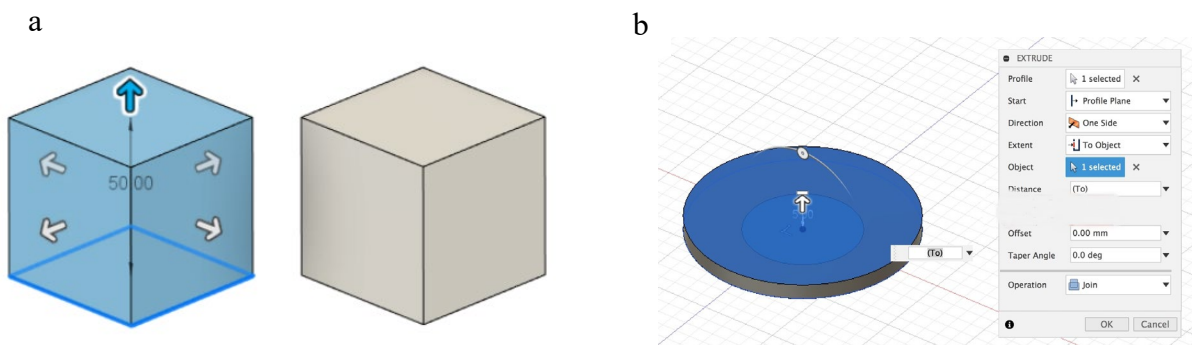
Joonis 10.3 AutoCAD-tarkvaras koostatud toode. Autor: S. Vahemäe

Mööblitööstuse infovajadustest lähtuvalt on välja arendatud spetsiifilised CAD-programmid IMOS, Woodwork for Inventor ja TopSolid. Kõiki neid programme on võimalik kasutada toodete kavandamiseks ka ilma mööblitoodete konstrueerimist hõlbustavate lisaprogrammideta sarnaselt AutoCAD-iga.

Autodesk Fusion 360

Fusion 360 (F360) on tänapäevane pilvepõhine 3D-modelleerimistarkvara, kus modelleerimine toimub tahkisena (*solid*). Töös olevad kompaktkehad on läbipaistvad, aga piisavalt defineeritud/valmis olevad kehad muutuvad läbipaistmatuks. Seetõttu on modelleerimine paremini teostatav ja tulemus kiiremini ja paremini mõistetav ning esitatav kui sõrestikkehade puhul. Erinevalt AutoCAD-ist, kus kehad modelleeriti enne valmis ja siis moodustati neist detailid, on F360 puhul on alati vajalik tasapind (*plane* või *planar face*), mille pealt keha modelleerimist alustada või jätkata. Alguses on see X-Y-, Y-Z- või X-Z-tasand. Selleks et uusi kehasid lisada /ühendada / välja lõigata, tuleb alati juba olemasolevalt kehalt valida uus tasand, mille peale uus keha modelleeritakse (joonis 10.4). Võimalik on ka eraldi luua uusi, oma vajadustele vastavaid tahke. See, et uus keha algab alati olemasoleva keha pinnalt, tagab, et kehad ei ole üksteise sees, kuskil pole vahe vahel vms. Tööjooniste kolmvaate saab genereerida automaatselt, kuid mõõtejoonte ja tekstide omadused annab ette programm. Seega saab tööjoonised valmistada lihtsamini ja kiiremini, aga ise midagi eriti muuta ja paremaks vormistada ei saa. Programmi väljundiks ongi pigem CNC-pink või 3D-printer.

F360 on parameetiline, mis tähendab, et kui muuta tööjooniste aluseks olevat mudelit, muutub koos sellega automaatselt tööjoonisel oleva detaili kuju ja ka muu detailiga liidetud info. Võrreldes vanemate programmidega, kus detaili muutmine tähendas ka uue tööjoonise nullist loomist ja muu info käsimuutmist, on see suur samm edasi. Samuti on võrreldamatult edasi arenenud kehade/detailide reaajas keeramise-pööramise-vaatlemise-kontollimise võimekus. Programmiga koos on ilmestamismoodul (*rendering module*), mis võimaldab toodete mudelitele lisada realistlikke matejale. Programm võimaldab koostada materjalide spetsifikatsiooni (*bill of material*, BOM). Fusion 360 eeliseks on odav pilvepõhine CAD-i baasversioon, mille lisamoduleid saab eraldi juurde osta ka ajutiseks perioodiks. Suurema võimekusega CAD-programmide kasutajalitsentside hinnad on kõrgemad. F360-ga vägagi sarnane tarkvara on *Dassault Systèmes*'i pakutav SolidWorks.



Joonis 10.4 Autodesk Fusion 360 töösolev ja täielikult defineeritud keha (a), tasand (*planar face*) olemasoleva keha pinnal (b). Autor: S. Vahemäe

IMOS 3D

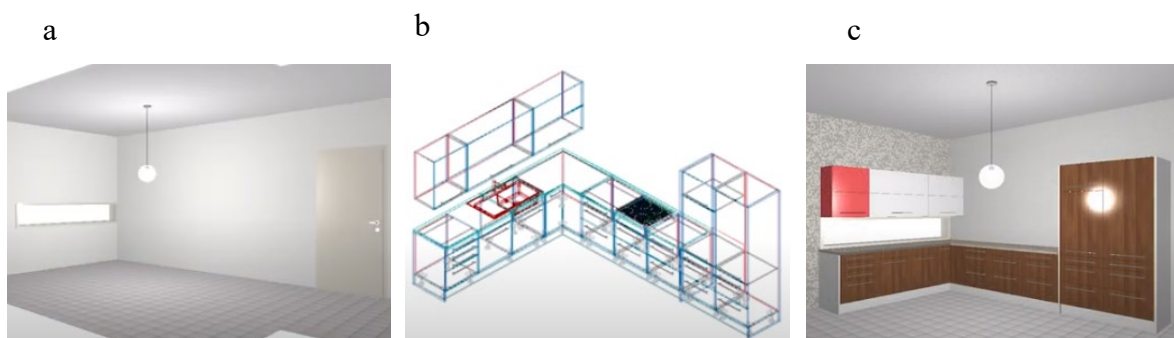
Imos AG poolt pakutav AutoCAD-il põhinev programm IMOS 3D võimaldab müügitöötajal kiiresti koostada kliendi jaoks hinnapakumise koos selle juurde kuuluva materjalimustritega ilmestatud toote pildimaterjaliga. Võimalik on luua ka toodet ümbritseva keskkonna realistlik mudel. IMOS on parameetiline mööbli ja sisustuselementide konstrueerimise tarkvara, milles on loodud eraldi tööala (*workspace*), mis sisaldab kõiki konstrueerimiseks vajalikke tööriistu ning enim vajaminevaid CAD-funktsioone.

Tarkvara sobib keskmisele või suurele tootmisettevõttele, kus tootearendusosakonnas mõeldakse välja tooteperekonna disain, konstruktsiooni ja tootmistehnoloogia lahendused. Näiteks köögimööblit või garderoobe tootev firma, kus kapi disaini, konstruktsiooni ja valmistustehnoloogia on paigas ja IMOS-es saab mõõtmeid teatud piirangutega muuta. Kliendile müüakse kogu ärilahendus automatiseeritud protsessina. Kliendi ärilahendus algab veebipõhisest müügi-

konfiguraatorist, millest tellimuse vormistamisel jõuab tootevalmistajale juba info, mille saab väga lihtsalt ja kiiresti saata tootmisesse, kus CAD-mudeli graafiliste andmete põhjal luuakse CAM-lõiketötlusprogramm, mida kasutav CNC-töötlemiskeskus alustab pärast tootmiskäsu kinnituse saamist juba detailide valmistamisega. Tarkvara on võimeline haldama ja ette valmistama kõik tootmise infomaterjalid kuni pakkimise jaoks vajalike ribakoodideni.

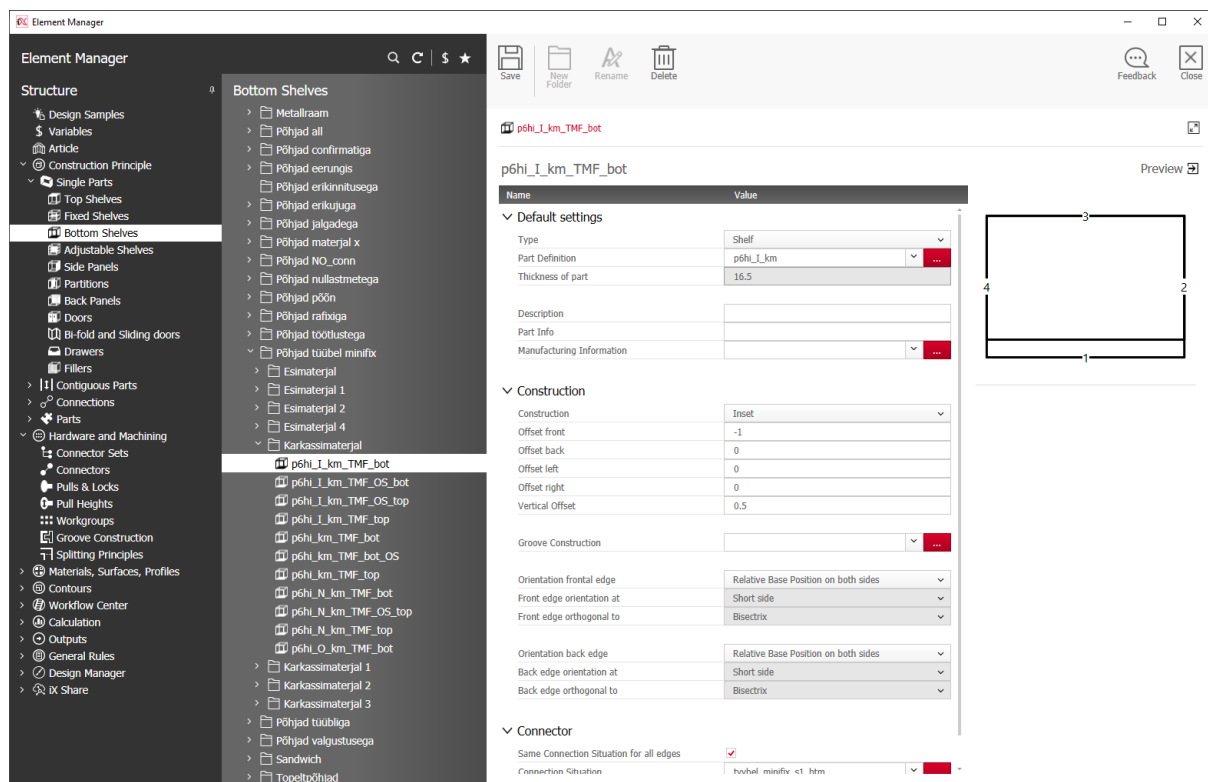
IMOS 3D-tarkvaraga on lihtne tooteid projekteerida ja valmistada, kui kapi ja selle moodulite põhikonstruktsioonid on paigas (joonis 10.5).

Programm töötab edukalt ja õigustab end piisavalt standardsete ja/või modulaarsete toodete puhul. Tooteid saab muuta nendes parameetrites ja piirides, mis on programmile ette antud. Liiga suurte ja keeruliste muudatuste korral tuleb sisendinfot käsitsi muuta ja lisada. IMOS 3D võimaldab tooteloome ja valmistusprotsessi automatiseerida, kuid enne selle kasutussevõtmist tuleks ettevõttel kindlasti põhjalikult oma toodete ja tootmise reaalsed vajadused läbi analüüsida.



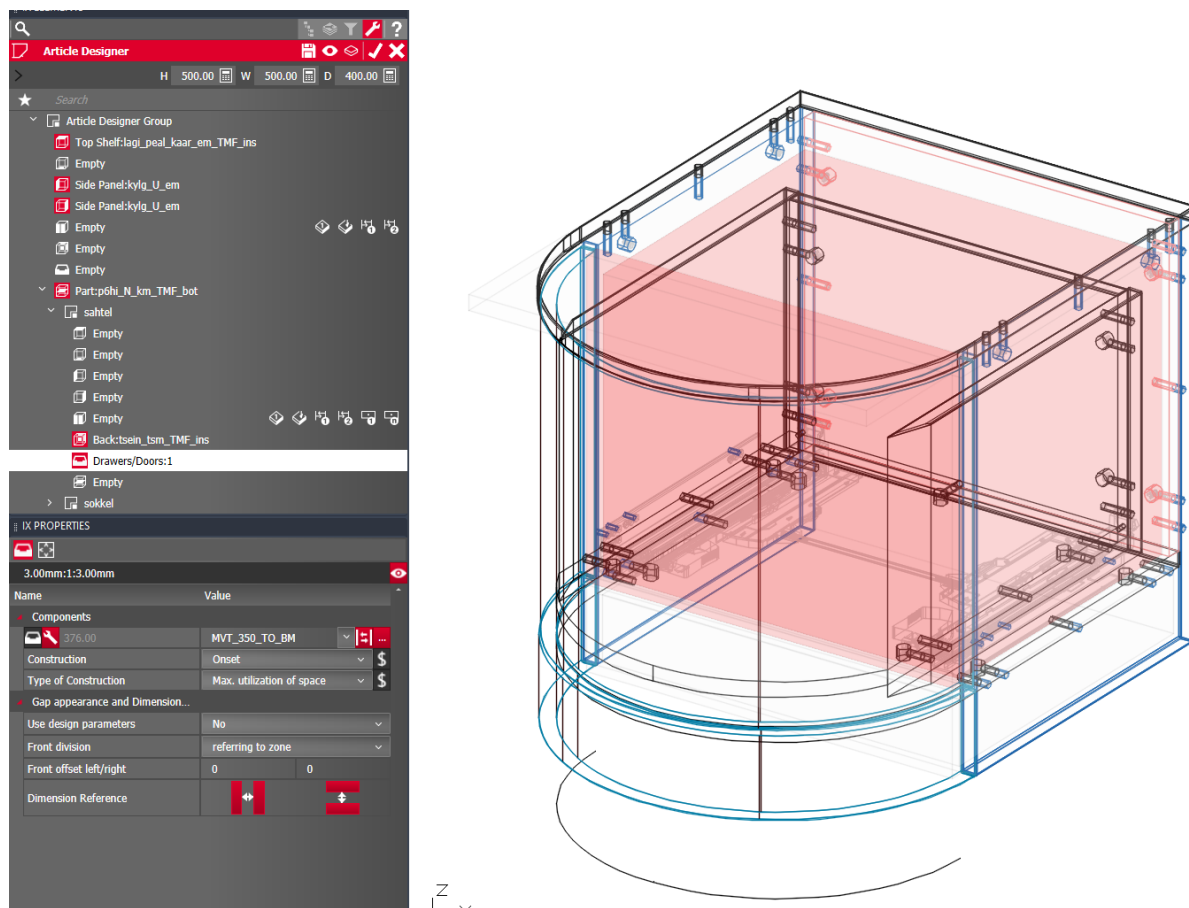
Joonis 10.5 IMOS 3D programmis loodud kööginõu: a) IMOS Plan ruumimudel, b) Article Designer sõrestikesitlusena kuvatav 3D-mudel ja c) IMOS Plan 3D-mudel.

Element Manager on IMOS-e andmebaas (joonis 10.6), mis sisaldab kõiki mööblitootmiseks vajalikke komponente: artiklid, detailid, materjal, furnituur jne. Kõik mööbli materjalid, detailid ja elemendid, mis kipuvad korduma, on mõistlik sisestada andmebaasi, see kiirendab oluliselt konstrueerimisprotsessi, tagades konstruktorite jaoks funktsionaalse, süsteemse, struktureeritud andmehaldusega töökeskkonna. Kogu mööbli spetsiifilist infot ja tellimuste metaandmeid hoitakse struktureeritud päringukeelega (*structured query language*, SQL) andmebaasis. Tellimuse 3D-info ehk 3D-mudel on salvestatud ühte DWG-faili. *Element Manager* andmebaas võimaldab arvutada materjalide ja toodete maksumust koos üldkuludega, kuvada töövoo andmeid tootmise jaoks koos CAM-andmete, protsessi ja tootmisnimekirja infoga. Väljundiks on raportid tootmiskulude või detailide lahtilõikuskaardi kohta.



Joonis 10.6 IMOS Element Manager andmebaasi kuvanäidis. Autor: P. Nool

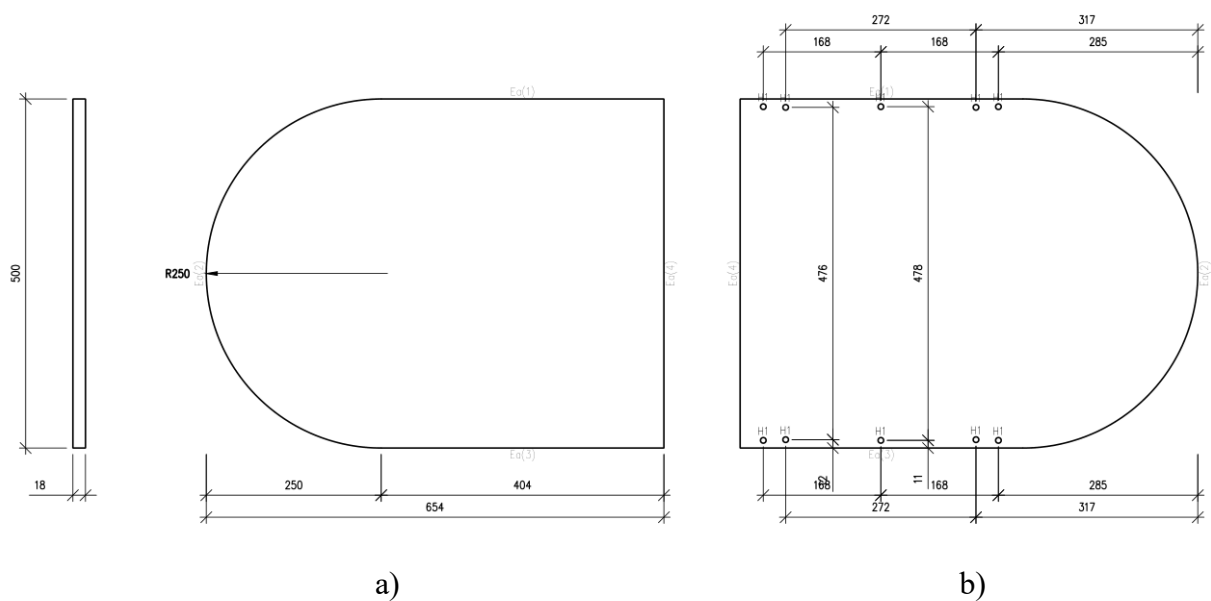
Article Designer (joonis 10.7) on IMOS-e põhiline mööbli konstrueerimistööriist ja abiline. Tegemist on risttahukaga sarnaneva tahkmudeliga, mille tahkudele saab lisada mööblidetaile. Tahukat on võimalik eri suundades ja proportsioonides jagada ning tekivad uued alamtahud, millele saab vastavalt vajadusele detaile või alamkoostusid lisada. Kinnitusfurniture on üldjuhul vahele minevate detailide küljes ja nii tekivad automaatselt seosed ristuvate ja kõrvalolevate detailidega. Kinnitusi ja muid tötlusi saab lisada kas otse Article Designeris või tagantjärele pärast mööbli modelleerimist. Kiire konstrueerimise tagavad just Element Manager andmebaasis olevad eeldefineeritud detailid ja integreeritud furniture. Kuna IMOS-e kasutamine ei eelda AutoCAD-i tundmist ning ka Article Designer võimaldab oma lihtsa ja loogilise ülesehitusega isegi ilma mööbli modelleerimise kogemusega kasutajatele programmiga töötamise ja lihtsama mööbli konstrueerimise mõne päevaga omandada.



Joonis 10.7 Article Designer tööriistaga loodud sahtliga öökapi 3D-mudel. Autor: P. Nool

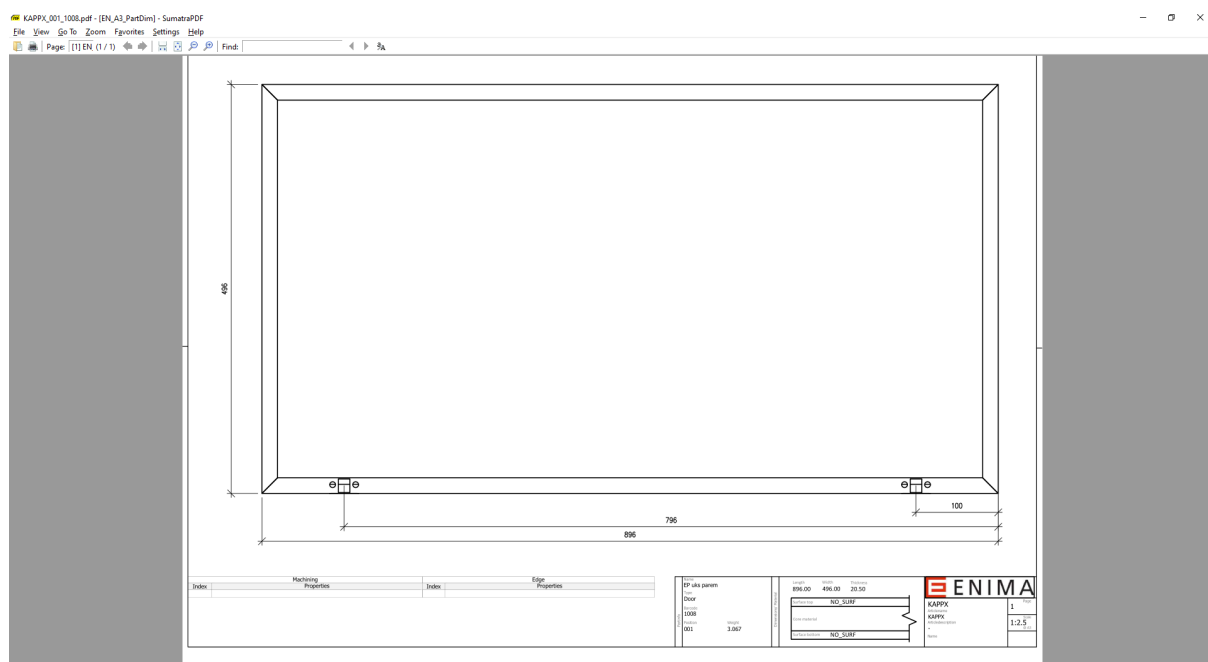
Mitmesuunaliste kumerustega mööbli konstrueerimine on IMOS-e nõrk koht, aga mitte võimatu. Selleks puhuks on ette nähtud osalise parameetrisusega tööriistad *Object* ja *Part Designer*. Suur osa keerulise väliskujuga kategooriasse liigitatavast mööblist koosneb tihtipeale väiksematest ja lihtsamatest alamkoostudest, nii on võimalik keerulisemaid positsioone ka Article Designeri ja mõne kumera elemendiga lahendada ehk säilib 3D-mudeli parameetrisus ja ka konstruktsiooni lihtsus.

3D-mudelitest saab IMOS-ega luua automaatselt vaatejoonised, joonistele on võimalik lisada ka automaatseid mõõdistusi ja metaandmete tähistusi (joonis 10.8). Metaandmeid on IMOS-es väga palju, lisaks kõigile mööblitootmiseks vajalikele infoväljadele on kasutusel ka individuaalselt kohandatud (*custom*) infoväljad, mis võivad olla nii detaili, koostu kui ka tellimuste põhised, neid on võimalik detailidele staatiliselt külge panna, aga ka töö käigus lisada. Metaandmeid on võimalik kajastada ka raportites ja tükitabelites.



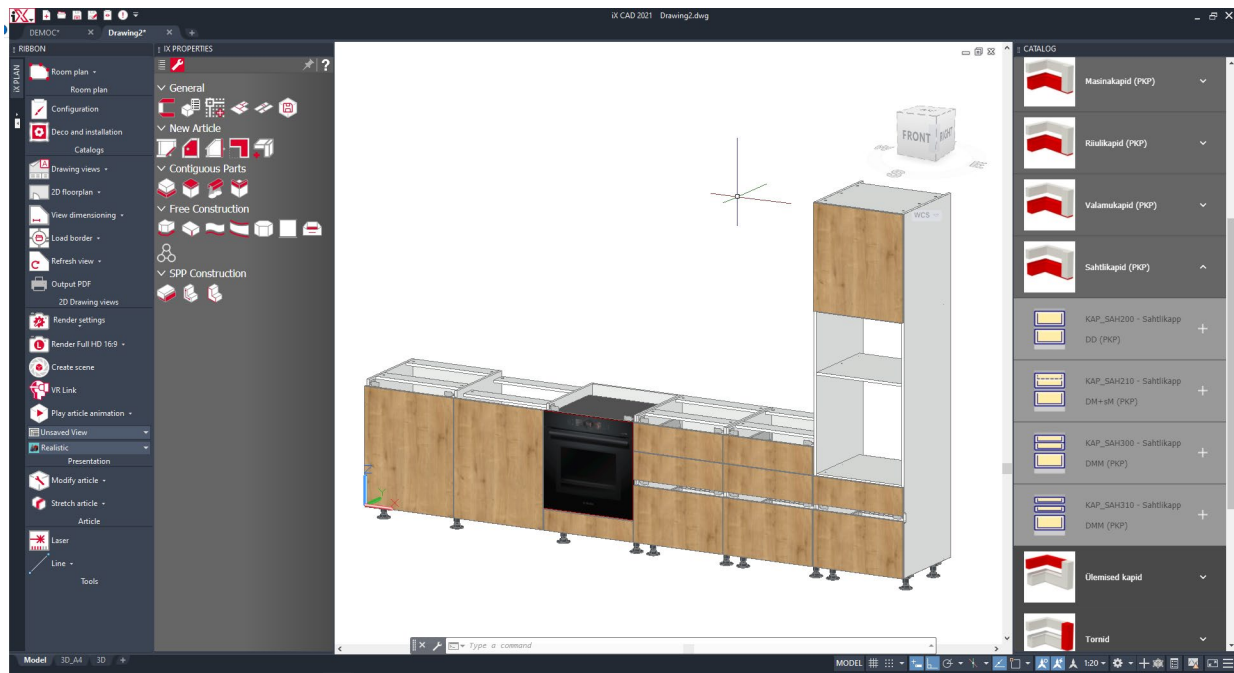
Joonis 10.9. Automaatselt genereeritud detaili failid: a – .dwg ja b – .pdf. Autor: P. Nool

Lisaks on võimalik 3D-mudelist luua spetsiifilised automaatsed väljundid. Näiteks alumiiniumist klaasraamuste tellimiseks on oluline ainult ukse gabariit ja töötluste keskkohad. Minimalistlik joonis (joonis 10.10) aitab ka vältida inimlike vigade teket detaili töötlemisel CNC-pingis.

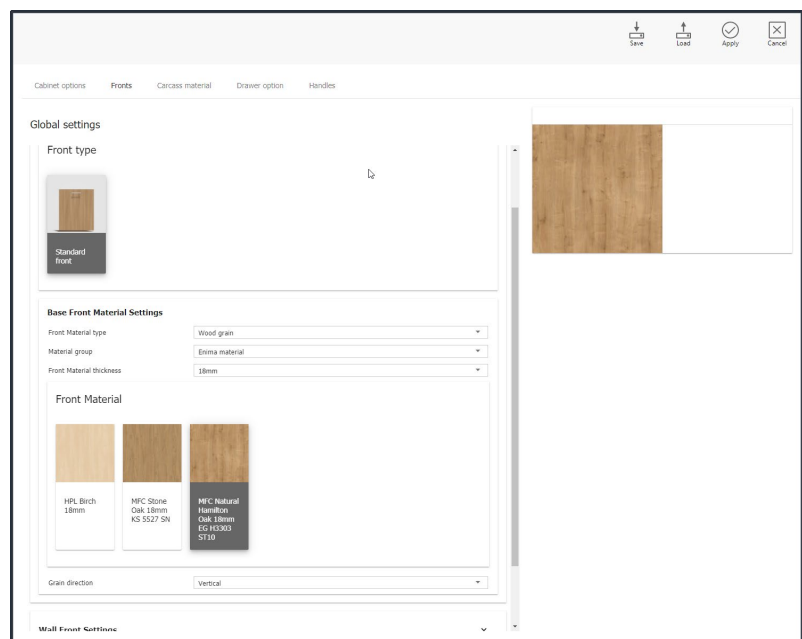


Joonis 10.10 Automaatselt genereeritud raamukse koostu joonis koos töötluste keskkohaga. Autor: P. Nool

IMOS Plan on müügisalongitöötajale mõeldud piirangutega režiim (joonis 10.11), kus on võimalik IMOS-e kataloogi juba varem 3D-modelleeritud mööblit kasutada ja sellest köök, garderoob või vannituba kokku panna.



Joonis 10.11 IMOS Plan lihtsustatud kasutajaliides ja artiklite kataloog. Autor: P. Nool



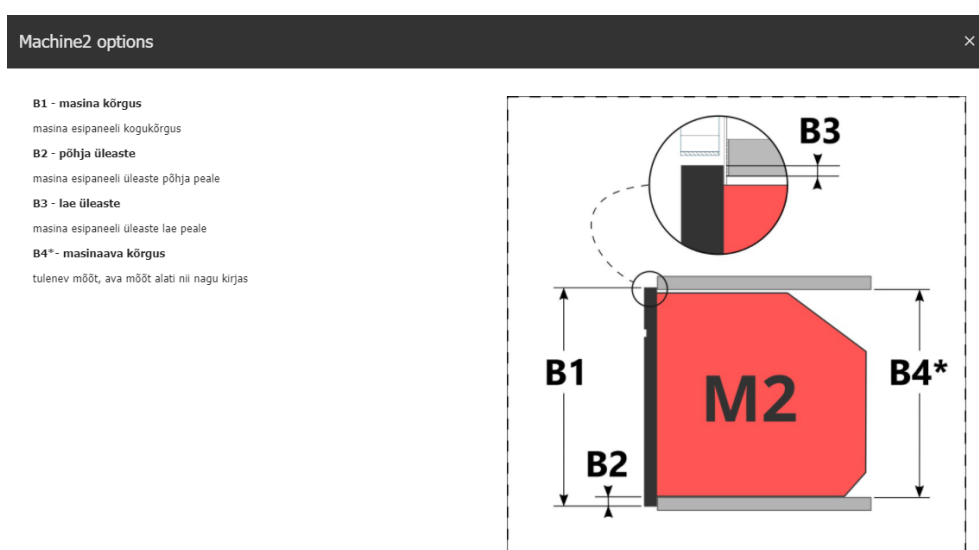
Joonis 10.12 IMOS Plan seadistusaken esipaneeli tüübi ja materjali valikuks. Autor: P. Nool

IMOS Plan režiimis on kapil oma seadistusaken (joonis 10.12), kus on valikuliselt välja toodud kappide seadistusvõimalused. Tüüpilisteks valikuteks on mõõdud, materjalid, käepidemed, esipaneelide tüübid jne.

Plan artiklid eeldavad lisaks IMOS-es tehtud artiklile ka üht .xml-faili, mis sisaldab artikli seadistusakna ülesehitust ja valikuid (joonis 10.13), ehk olenevalt vajadusest saab artiklid kas

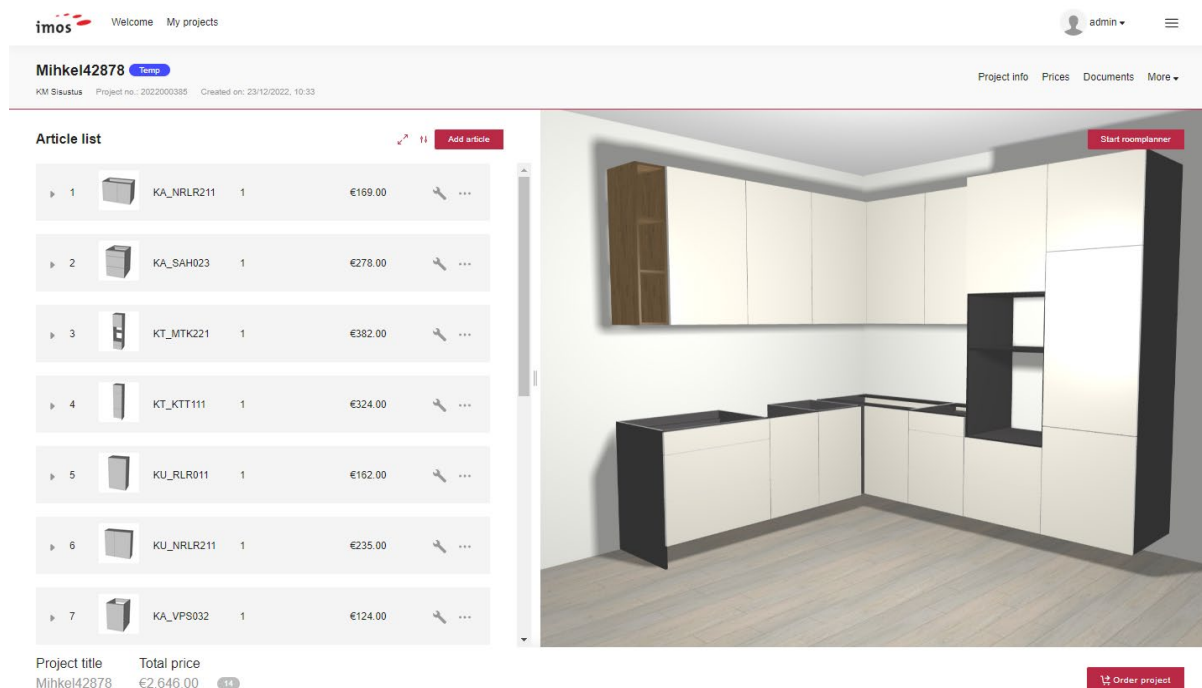
lihtsalt või väga keeruliselt üles ehitada. XML-failis saab artiklile ka loogikat lisada, näiteks teatud laiuusest kasutatakse paksemast materjalist riuleid. Köögikappide juures on sellest paindlikkusest kõige rohkem kasu masinakappide puhul. Keerulised masinatornid on üles ehitatud nii, et kui sisestada tehnika mõõdud ja eri parameetrid (joonis 10.14), siis kapp seadistab ennast vastavalt tehnikale paika.

Joonis 10.13 Plan artikli seadistusaken koos masinakapi parameetritega. Autor: P. Nool



Joonis 10.14 Plan artikli lisainfoaken koos selgitava infoga. Autor: P. Nool

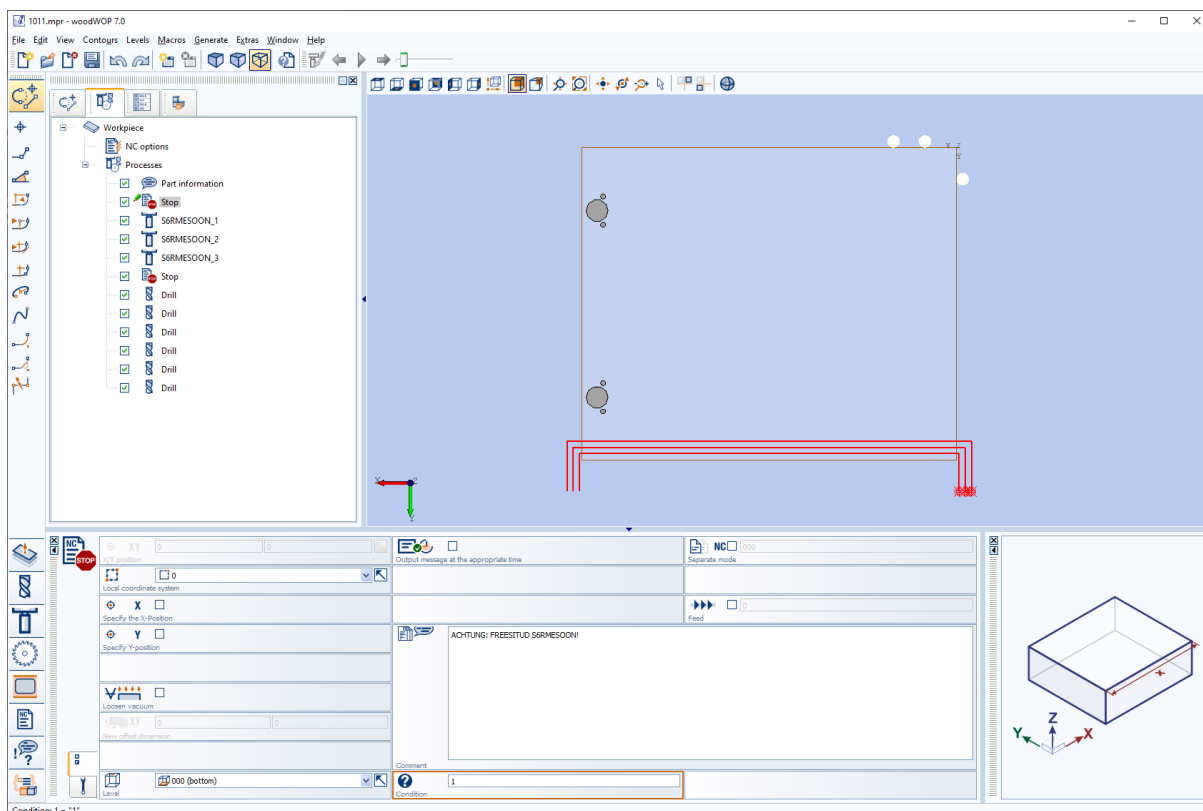
IMOS NET on nagu Plani veebiversioon (joonis 10.15), mis võimaldab veebilehitsejas oma kappe, kooke, garderoobe seadistada ja tellimusteks vormistada. Kui hinnastamine on määratud, siis saab ka hinna kätte. NET-is saab vormistada kogu toa, lisada uksi aknaid ja eraldiseisvat mööblit. Lihtsa vaevaga on võimalik välja vahetada näiteks kogu köögimaterjal või fassaad. Lisaks on võimalus lõppkliendile 3D-pilte teha. IMOS NET-is vormistatud tellimused importitakse IMOS-esse, vaja on genereerida lõiketabel ja CNC-programmid ja poolautomaatsed joonised.



Joonis 10.15 IMOS NET komplekteeritud köök veebilehitseja aknas. Autor: P. Nool

IMOS-e CAM-programm on samuti paindlik, võimaldades genereerida programme mitmele töötlusseadmele korraga ja positsioneerida detaile vastavalt omadustele. Kõikidele CNC-lõike-riistadele saab luua töötlushimõtteid (*multiple workflows*), kus täpsustakse vajalik töötlemis-tehnoloogia. Igal tööriistal – puur, frees, saag – on vaikumisi oma töötlushimõtte, mille järgi ta töötlust teeb. Vaikeseadistus on üldjuhul lihtne ja turvaline, mis aitab vältida kasutaja sisetusvigadest tulenevat kahju detaili lõiketöötlemisel. Seadistamine läheb keerulisemaks, kui on vaja sisestada spetsiaalseid eriomadustega töötlemispõhimõtteid, näiteks vertikaalse CNC-puurpingi piirangute tõttu või inimvigade vältimiseks. Üks tööpingi piirangust tulenev eriomadus on näiteks, kui suurte läbivate avade puhul freesitakse ainult kontuur ning 3 mm materjalist jäetakse läbi lõikamata. Vertikaalpuurpingis ei tohi töötluste käigus tekkida uusi lahtisi tükke, sest need võivad masina vahele kinni jääda ja midagi paigast lükata või ära tõmmata. Samuti, kui vertikaalpuurpink võimaldab kasutada ainult ühte freesi ehk tal puudub automaatne freesi-

valeti, siis on vaikumisi freesiks üldjuhul teemantfrees, millega saab freesida avasid ja lihtsaid kontuure. Kuid vahel on vajalik ka dekoratiiv- või sõrmesooni freesida, see eeldab aga freesi käsitsi vahetust. Et operaator neid tähelepanematuses tavalise freesiga ei teeks, on eritöötlustele juurde pandud hoiatus „NC-stop“ (joonis 10.16) ja visuaalne hoiatus, ehk puurpingis programmi käivitades jääb tööpink seisma ja hoiatab operaatorit, et hakkab nüüd sõrmesoont freesima. Kui operaatoril on frees juba vahetatud, saab ta seda programmis nupuvajutusega kinnitada. Kui mitte, siis ta kas katkestab programmi ja vahetab freesi või tõstab detaili kõrvale ja teeb kõik eritöötlustega detailid hiljem.



Joonis 10.16 IMOS-ega genereeritud programm koos NC-stop hoiatusega, et vältida inimlikke eksimusi. Autor: P. Nool

Autodesk Inventor ja Woodwork for Inventor

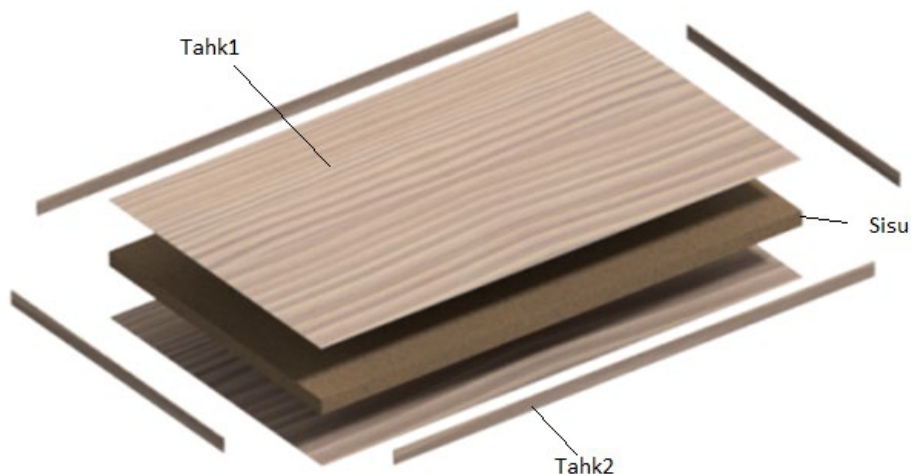
Autodesk Inventori puhul on tegemist on tehnoloogiliselt võimeka tarkvaraga, mis võimaldab luua keerukaid detailide 3D-mudeleid ja nendest omakorda liikuvaid koostumudeleid. Kõiki 3D-mudeleid saab vormistada 2D-tootmis- või paigaldusjooniseks. Autodesk Inventoris on ka olemas ilmestamisvõimekus (*rendering capability*) ja saab luua paigaldus- või koostamisvideo-sid. 3D-mudelitele saab lisada ka metaandmeid, nt detailikoodi, käelisuse ja kirjelduse. Autodesk Inventor oli esialgu mõeldud masinaehitustarkvaraks, kuid see võimaldab ka sama hästi

projekteerida täispuittooteid, mööblit (kapid, riiulid, toolid, lauad, voodid). Üldotstarbeline CAD-programm ei lahenda puidukiusuuna küsimust plaatide lahtisaagimisel ega määra spooni puidusüüsuunda pealistamisel. Mööblitööstuse infovajadustest lähtuvalt on välja arendatud spetsiifilised CAD- ja CAM-liidesed Autodesk Inventori jaoks. Autodesk Inventoris loodud 3D CAD-mudelitel ei ole juures piisavalt detailset infot puidusüüsuuna, pealistusmaterjalide ja viimistluse kohta. Seda on võimalik võrdlemisi lihtsasti kehadele juurde kirjutada, aga see oleks aeganõudev ja ilma graafilise tagasisideta.

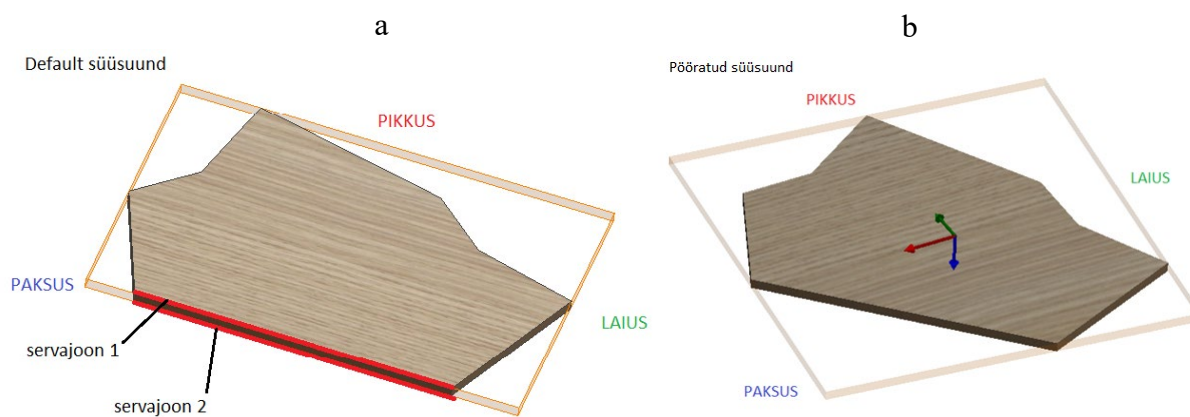
Woodwork for Inventor on konstruktorite jaoks kujunenud üheks paremaks eritellimismööbli projekteerimise tarkvaraks tänu metaandmete (sisuplaadid, pinnakatted, furnituurid) lisamise võimalusele. Tarkvara sisaldab automatiseeritud detailjooniste vormistust, avadega furnituuri nutiblokke, automaatset spetsifikatsiooni, visuaalselt head graafilist väljundit pinnakatete selekteerimiseks (spoonid, laminaadid, servapealistus, HPL-id) ja andmete viimist CAD-ist ERP-programmi.

Oluline on ka CAD/CAM-programmi ja ERP-süsteemi vaheline toimiv liides andmete viimiseks CAD-ist ERP-programmi, kus toimub projektijuhtimine ja elluviimine vajalike materjalide ostutellimuste või pooltoodete ja toodete tootmistellimuste ja nende tegemiseks vajalike töökäskude koostamise teel. See võimaldab ERP-programmis näha tootmises oleva toote omahinda ning teha vastavad ostusoovitused või laabroneeringud ja hilisemad laokanded automaatselt.

Tootmisprotsessi jaoks on tähtis tööpinkide ettevalmistus ja tööpingi programmeerimine CAM-programmis loodud graafilise 3D-mudeli järgi. CAD-programmide puhul ongi oluline võimekus luua vigadeta 3D-graafiline liides (*graphical interphase*), mille järgi saab CAM-programm teha lõiketöötlusprogrammi ning selle enne töösse rakendamist tööpingi simulatsioonina ära testida. Tänapäeval liigub järjest rohkem täpsemat informatsiooni toote 3D-mudelisse. Enamik detaile mööblitootmises on kujult neljakandilised plaatmaterjalist valmistatavad detailid, mis koosnevad tavaliselt omakorda sisumaterjalist ehk täidisest ja kuuest pealistustahust, mille kirjeldamiseks 3D-mudelil tulebki appi Woodworki liides.



Joonis 10.17 Mööblidetaili tahud: tahk 1 – välimine külgpind, tahk 2 – välisserv ja sisu (mööbliplaat). Autor: L. Link



Joonis 10.18 Mööblidetaili pealistusmaterjali puidusüüsuund: a – vaikumisi (*default*) pikisüunas ja b – pööratud süüsuund. Autor: L. Link

Kui Autodesk Inventoris on modelleeritud üks risttahukas, siis Woodwork analüüsib risttahuka mõõtmeid. Kõige väiksemale mõõtmele omistatakse paksus, kõige pikemale pikkus. Selline meetod võimaldab tarkvaral automaatselt defineerida, mis on tema jaoks lapikpinnad ja servpinnad, kuhu saab Woodworki servakante määrata (joonis 10.17). Mööblitootmise üks eripära on puitmaterjalide süüsuuna olemasolu (joonis 10.18). Vanade traditsioonide järgi näitab detaili pikkus paralleelselt olevat puusüü suunda. Woodworki programm otsib detaili puhul kahte kõige pikemat paralleelset servajoont ja omistab nende järgi detailile pikkuse. Kui sellisel erikujuga detailil pöörata spooni puusüü suunda, siis muutub ka koostatava spoonisärgi mõõt. Woodworki programmi abil on võimalik eksportida kõikidele tahkudele omistatud materjaliinfo ja nende omadused juba MS Exceli tabelisse (tabel 10.1) või tootmise ERP-süsteemi.

Erinevad omadused tahkudel võimaldavad selle, et metaandmetega 3D-mudeli (joonised 10.19 ja 10.21) olemasolu annab vastused juba järgmistele küsimustele, mida 2D-joonistelt ei selgu:

- kui palju plaatmaterjali kulub toote jaoks?
- kui palju spooni kulub toote pealistuseks?
- kui palju servapealistusmaterjali kulub toote jaoks?
- mis on detailide mõõtmed, arvestades puidusuundi?

Tabel 10.1 Detaili tahkude (välimiste külgede, kitsaste servade) ja sisu (mööbliplaatide) omadused. Autor: L. Link

Detaili välimiste külgede ja kitsaste servade omadused							
	W4I katte tüüp	Materjali tüüp	Katte paksus Kp	Värv	Omadus 5	Omadus 6	jne
Tahk 1	Spoon	HPL	1 mm	EggerH3451			
Tahk 2	Servapealistus	ABS	2 mm	EggerH3451			
Tahk 3	Spoon	HPL	1 mm	EggerH3451			
Sisu (mööbliplaat)							
	W4I sisu tüüp	Materjali kood	Geomeetriline paksus mudelist Gp	Arvutuslik sisu paksus	Geomeetriline pikkus mudelist	Geomeetriline laius mudelist	jne
Sisu	Plaat	PLP	20	Gp-KpTahk1 - KpTahk3 20-1-1=18	500	300	

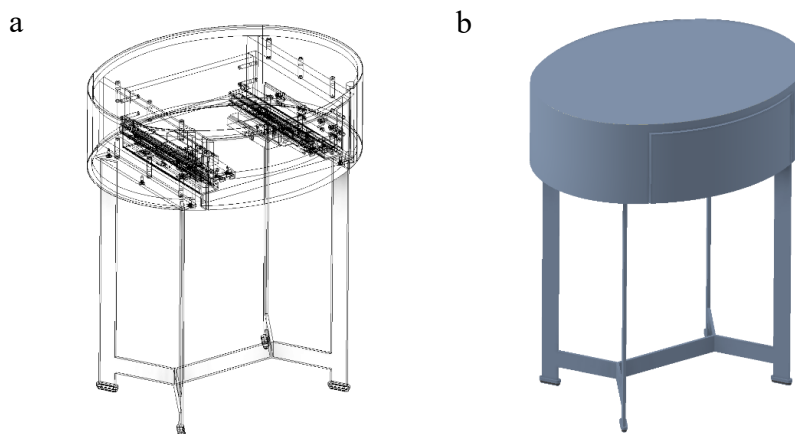
Woodworki abil on lihtne lisada mudelisse furnituuri mitmekaup. Ilma Woodworkita peaks iga üksiku tüübli paigutama detaili etteloodud avasse ükshaaval. Woodworki puhul on aga töötused ja avad juba furnituuride küljes. Näiteks sahtlisiini avad on juba sahtlisiini komplekti küljes või siis tüübliava on puittüübli küljes. Kui sellised nutikamad plokid on mudelisse sisse toodud, lõikavad need ümbritsevate detailide sisse ka vastavad töötused. Tekib vähem konstrueerimisvigu, nt et eraldi tehtud ava ei sobi kokku vastava furnituuri või asukohaga. Woodwork loeb kokku ka tootes olevad furnituurid ja avad, mille saab kanda Exceli tabelisse.

Näiteks ühes köögis (joonistel 10.20 ja 10.21) on 1358 detaili ja furnituuri, millest erinevaid detaile ja furnituure on 234 tk ja kokku on neis avasid 1174 tk. Seda infot saab kasutada nii hinnastamise kui toote keerukuse või töömahukuse hindamiseks juba enne tootmist. Kasutades funktsiooni *BOM*-report, saab Woodworkist MS Excelisse üle tuua programmis koostatud 3D-mudeli detailsed andmed, näiteks tabelis 10.2 on toodud öölaua tükitabel detaili mõõtmete, viimistluse, materjalide ja furnituuride andmetega. Väljatoodud detailide kaalud võimaldavad välja arvestada materjalikulu.

Tabel 10.2 Woodworkist MS Excelisse toodud öölaua tükitabel detailide ja furnituuride andmetega. Autor L. Link

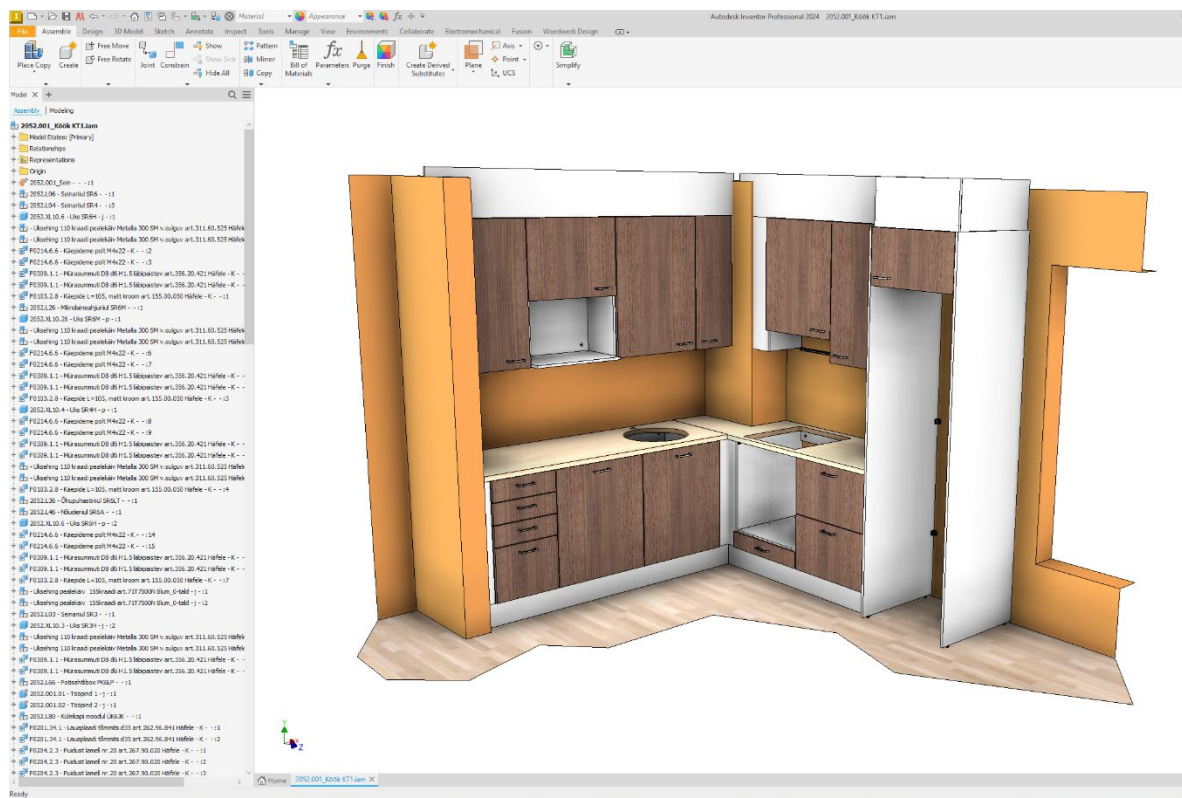
Kood	T/K	Fur	Detail/furnituur	Paksus	Materjal/vahvel	Plaat	Märkused	Varia Allhange	Parent Code	Item type	Materjali tüüp (sisu)	Needs processing
8031.005		Ei	Nachttisch	0		0				Assembly		
8031.005.1-6		Ei	Mahuline korpus	150	KOOST150	KOOST150	Käsitsi kantida, värvida ühise koostune		8031.005	Part	Board	TRUE
8031.005.01		Ei	Põhi	16	MDF.krunt16	MDF.krunt16			8031.005	Part	Board	TRUE
8031.005.02		Ei	lagi	16	MDF.krunt16	MDF.krunt16			8031.005	Part	Board	TRUE
8031.005.03		Ei	painutatud ümbris	143	KOOST143	KOOST143	Kinnitade liimi ja tihvtiga korpuse külge, käsitsi spoonide peale korpuse koostamist üle		8031.005	Part	Board	TRUE
8031.005.03.1		Ei	painutatud ümbrise sisu	8	8mm.x1.Paindvineer8	8mm.x1.Paindvineer8			8031.005	SheetMetal	Board	FALSE
8031.005.04		Ei	Vahesein 1	16	MDF.krunt16	MDF.krunt16	2serva nurga all		8031.005	Part	Board	TRUE
8031.005.05		Ei	Vahesein 2	16	MDF.krunt16	MDF.krunt16	2serva nurga all		8031.005	Part	Board	TRUE
8031.005.07		Ei	Painutatud Esitükk	57.9	KOOST57.9	KOOST57.9	Painutatud element		8031.005	Part	Board	TRUE
8031.005.07.1		Ei	Painutatud esitüki sisu	17	8mm.x2.Paindvineer17	8mm.x2.Paindvineer17			8031.005	SheetMetal	Board	TRUE
8031.005.08		Ei	Sahtlikül 1	16	MDF.krunt16	MDF.krunt16	1serva nurga all		8031.005	Part	Board	TRUE
8031.005.09		Ei	Sahtlikül 2	16	MDF.krunt16	MDF.krunt16	1serva nurga all		8031.005	Part	Board	TRUE
8031.005.10		Ei	Sahtli põhi	12	MDF.krunt12	MDF.krunt12			8031.005	Part	Board	TRUE
8031.005.11		Ei	Sahtli tagasien	16	MDF.krunt16	MDF.krunt16			8031.005	Part	Board	TRUE
8031.005.80	K	Jah	öölauda jalaraam	0		0	Materjal Teras Värvitud NCS S3020-R008 hallikassine, Keevised lihvida põhimetalliga tassa, Teravad servad pehmendada		8031.005	Purchased		
F1002.3.1	T	Jah	Teflon taldmik 38x10x6 art.BSO3810G Accurat	0		0			8031.005	Purchased		
F0706.5.2	T	Jah	Ssiin Tip-ON jaoks 560 H, L=270, 30 kg, art.560H2700C Blum	0		0			8031.005	Purchased		
F0706.3	T	Jah	Setüki kinnit. kpl. V_P art.T51.1700.04 Blum	0		0			8031.005	Purchased		
F0203.4.1	T	Jah	Eurokruvi 6,3x11 SP, pea d8, art.0276 063 11 Würth	0		0			8031.005	Purchased		
F0203.1.65	T	Jah	Kruvi 3,5x15 SP täisk.	0		0			8031.005	Purchased		
F0706.4	T	Jah	30kg S.silnile Tip-On kpl. VP art.T55.7150S Blum	0		0			8031.005	Purchased		
F0204.1.3	T	Jah	Puittüübel 8x35	0		0			8031.005	Purchased		
F0204.1.2	T	Jah	Puittüübel 6x35	0		0			8031.005	Purchased		
F0203.1.77	K	Jah	Kruvi 4x16 SP täisk.	0		0			8031.005	Purchased		

Detailidele lisatud tekstilised kommentaarid viimistluse kohta ja märkused võimaldavad vältida vigu tootmises. Programmi ilmestamismoodul (*rendering module*), võimaldab pärast tahkude defineerimist ja realistlike materjalide või pinnakatete tahkudele määramist kuvada toote 3D-mudeli tahketest kehast koosnevalt, kas sõrestikudelina või tahkistest mudelina. Joonisel 10.19 on esitatud ovaalne sahtliga öölaua. Tahud on esitatud värvitud pinnakattega.

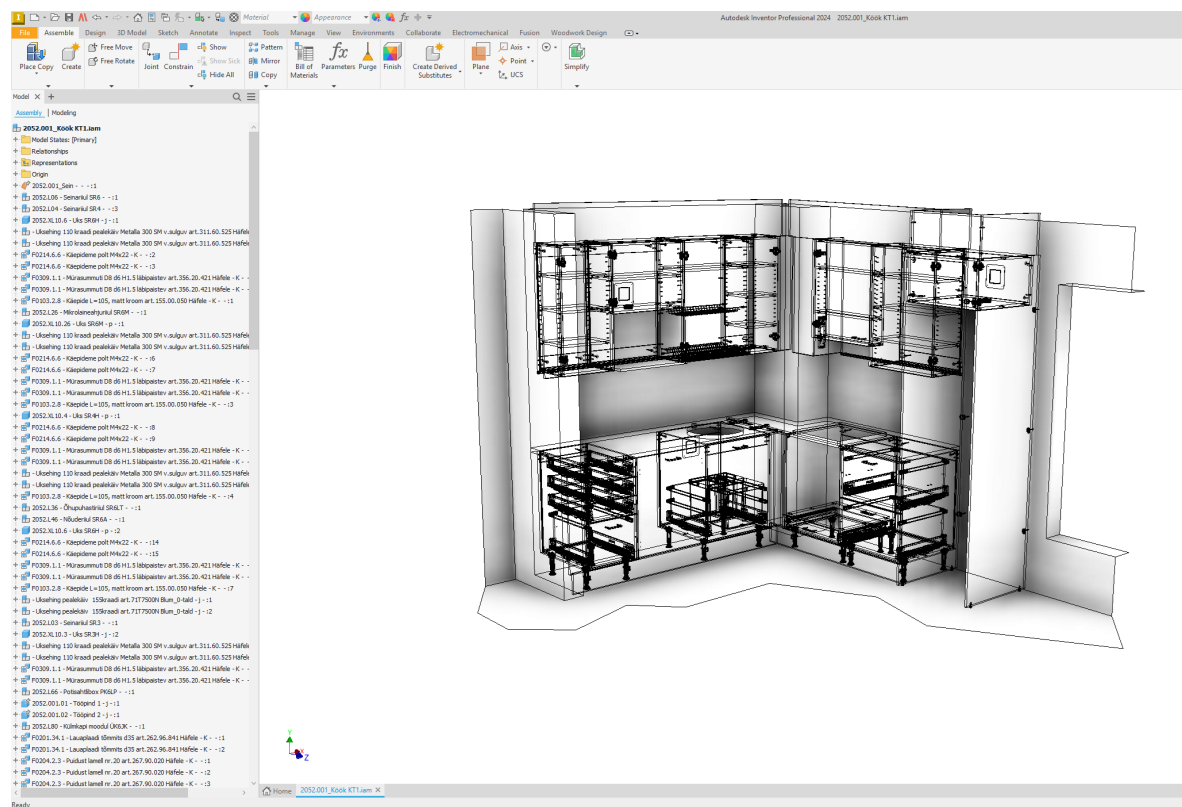


Joonis 10.19 Ovaalne sahtliga öölaua: a – toode sõrestikudelina esitatult, b – 3D-mudel defineeritud tahkudega tahkistest koosnevana. Autor: L. Link

Joonisel 10.20 on näidatud Woodwork for Inventori tööaken koos menüüga kuvamas köögi-mööbli koostus olevaid kappe, mille tahkudel on näidatud puidusüü suund. Joonisel 10.21 Woodwork for Inventori tööaknas kuvatud köögimööbli kapid sõrestikesitusena, kus on näidatud ka kappide koostud kokkupanekuks ning uste ja sahtlite kinnitamiseks kasutatud furnituur.



Joonis 10.20 Woodwork for Inventori tööaken koos menüüga kuvamas kööginööbli koostus olevaid kappe, mille tahkudel on näidatud puidusüü suund. Autor: L Link

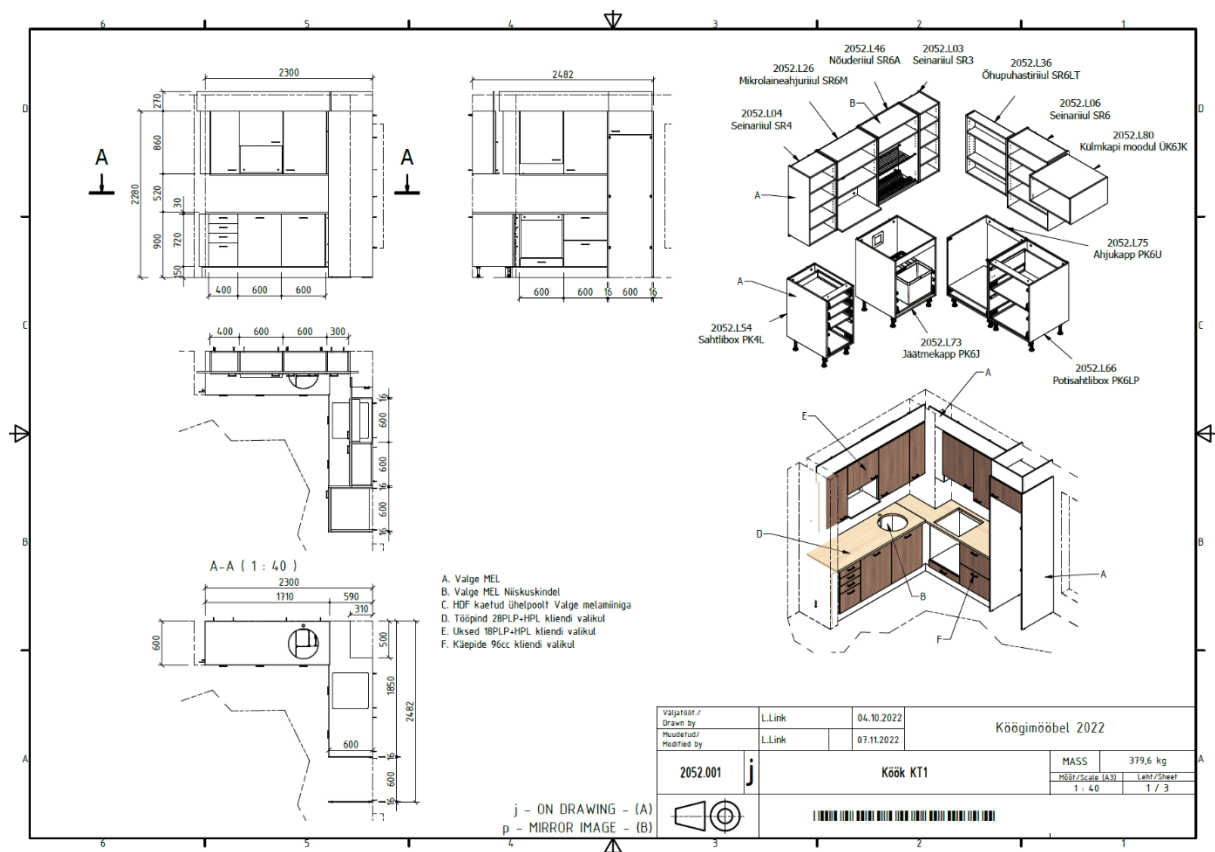


Joonis 10.21 Woodwork for Inventori tööaknas sõrestikesitlusena kuvatud kööginööbli kapid. Autor: L Link

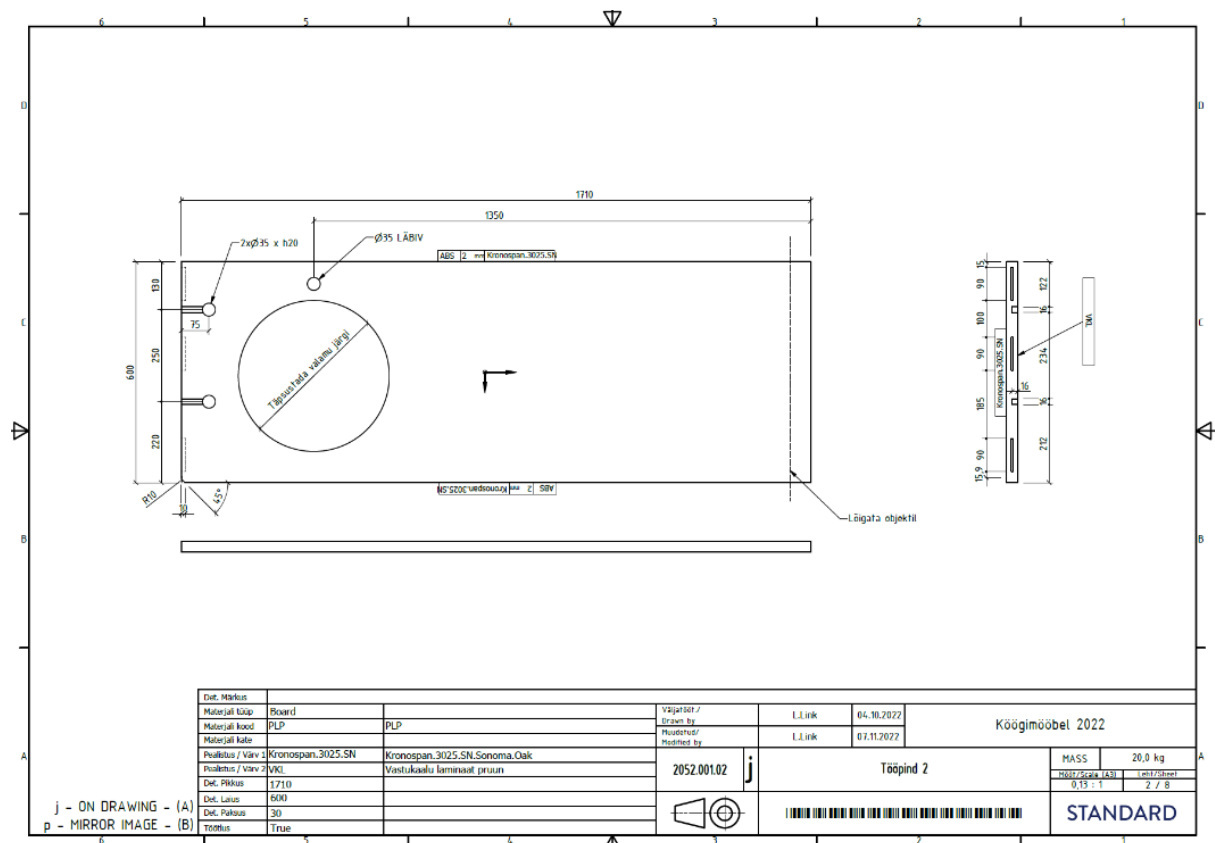
Joonisel 10.22 on esitatud Woodwork for Inventori ilmestatud köögimööbli koostu vaade ruumi paigaldatuna koos mööbli detailidele (seinad, ukSED, sahtli esipaneelid) ehk tahkudele defineeritud spooni või laminaadi puusüü suunaga. Joonisel 10.23 on kuvatud köögi üldvaated eest, pealt ja küljelt ning lõige töötasapinna juurest. Paremal on kuvatud köögimööbli alumiste ja ülemiste kappide koostud isomeetriliselt ja näidatud nende asukoht paigaldatuna. Joonised on vormistatud Woodwork for Inventori programmiga. Köögimööbli 3D-mudelist on genereeritud töötasapinna detailjoonis (joonis 10.24).



Joonis 10.22 Woodwork for Inventoris ilmestatud köögi vaade. Autor: L. Link



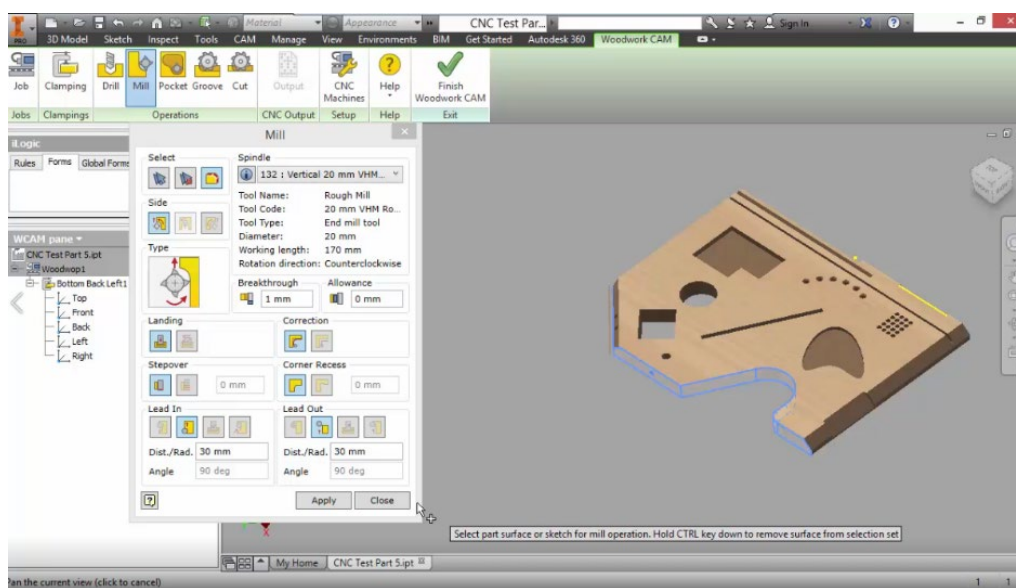
Joonis 10.23 Woodwork for Inventoris vormistatud köögi üldvaate joonis. Autor: L. Link



Joonis 10.24 Tööpinna detailjoonis. Autor: L. Link

Autodesk Inventor +Woodwork for Inventor CAM

Woodworki CAM-tarkvara võimaldab lisaks tavapärase Woodwork for Inventori funktsioonidele luua ka CNC-programme, lugedes töötluste jaoks otse infot detaili 3D-mudelitest (joonis 10.25). Kui varasemate 2D CAD-jooniste järgi (.dxf, .dwg) oli võimalik aru saada ainult kontuuri või avade X-Y-koordinaatidest, siis 3D-mudeli puhul on ka puuride ja freeside sügavuse Z-koordinaadi järgi info kättesaadav NC-koodi genereerimiseks. Hetkel viimane versioon V12 toetab 2,5-teljelisi töötlusti. Selle puhul saab enamiku tüüpiliste korpusedetailide ja erikujuga lauaplaatide CNC-programmid kiirelt ja mugavalt toomisele valmistada. Keerukamate kausspindade ja nurga all freesimist Woodwork CAM V12 praegu ei toeta.

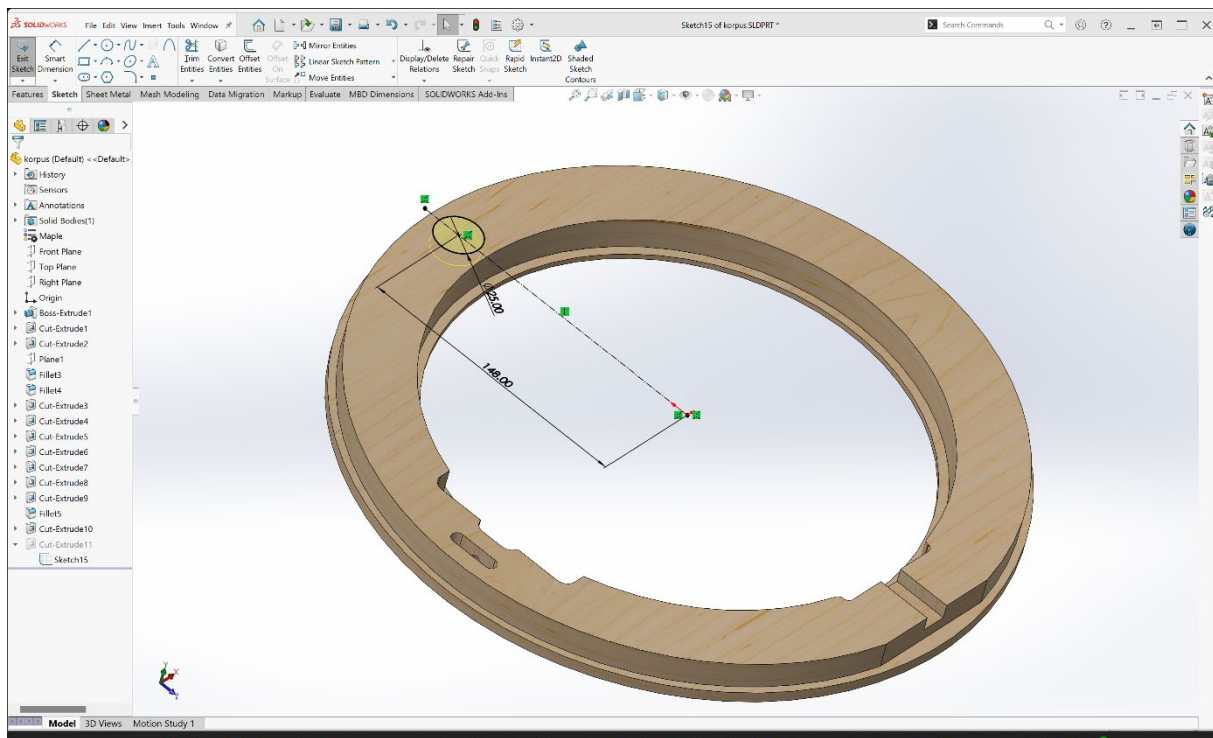


Joonis 10.25 Woodwork for Inventor CAM tööaken freesitava kontuuri valimisel. Autor: L. Link

Kui tootmises on mitu CNC-pinki, siis võimaldab Woodwork luua CNC-programmi mitmele erinevale pingile. See eeldab vastavate postprotsessorite olemasolu.

SolidWorks

SolidWorks on universaalne parameetiline 3D-modeleerimistarkvara, kus modelleerimine toimub peamiselt tahkistena (*solid*), aga on olemas eraldi tööriistad pindadega (*surface*) töötamiseks. Lisaks on vahendid lehtmetailist paindekonstruksioonide loomiseks ja realistlike piltide ilmestamiseks. Olemas on ka spetsiaalsed lisaprogrammid mööblitööstuse jaoks SWood Design ja CNC-töötluste jaoks SolidWorks CAM. Sobib hästi neile, kes konstrueerivad väga erinevat laadi tooteid.

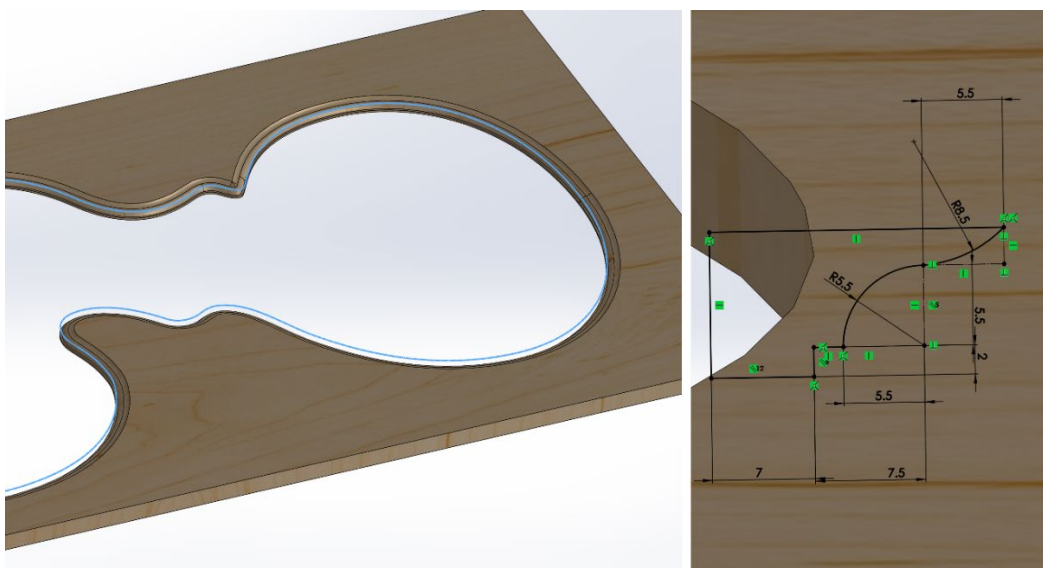


Joonis 10.26 Ümmarguse lõike (*Cut-Extrude*) lisamine detailile. Autor: T. Erik

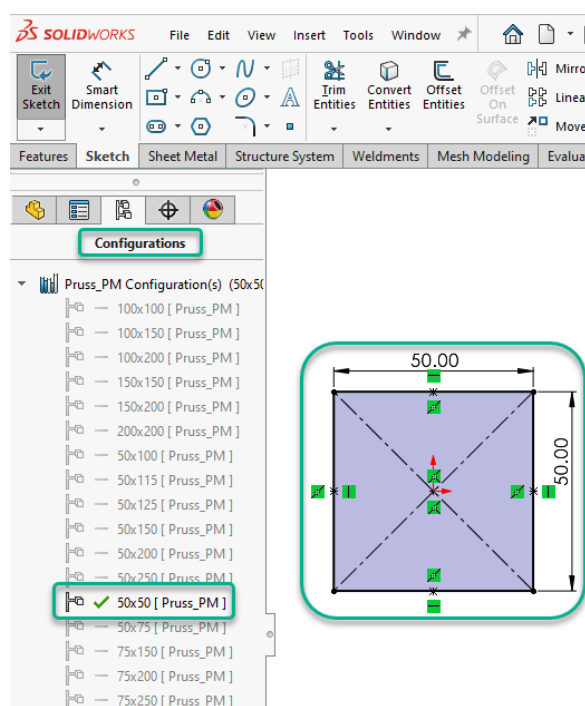
SolidWorksil on kolm põhilist töökeskkonda: osad (*parts*), koostud (*assembly*) ja joonised (*drawings*). Detailide loomine toimub *parts* keskkonnas, tehes eskiise (*sketch*) virtuaalsetele tasapindadele (*plane*) või olemasoleva keha (*solid*) pindadele. On palju mitmesuguseid tööriistu (*features*), mille abil saab eskiisidest luua väga erinevaid ja keerukaid kehasid, neid kasvatades või lõigates (joonis 10.26). Näiteks võib ühel eskiisil olla profiil ja teisel kõverjoon (2D- või 3D-eskiis), mida mööda toimub lõikamine (joonis 10.27). Kuigi on võimalik kogu toote keerukus joonestada välja esimesele eskiisile, on soovitatav alustada lihtsamatest vormidest (nt kuup) ja järk-järgult lisada töötlused (*features*), lõpetades serva pehmendustega (*fillet*). See muudab lihtsamaks ja kiiremaks tootearenduse käigus tekkivate muudatuste sisseviimise. Kuna tegemist on parameetrilise joonestamisega, siis tasub mõelda, kuidas erinevad asjad (*features*) on omavahel seotud. Näiteks, et kui üks ava peab olema teisest alati kindlal kaugusel, siis ka joonestame nii, et esimest muutest liigub teine kaasa. Osadest saab teha ka erinevaid konfiguratsioone (joonis 10.28).

Selleks tuleb anda sellele ka tähenduslik nimi, et hiljem kooste tehes oleks lihtsam õiget valida. Valitud konfiguratsiooni muutmine koostus käib kahe klikiga. Kõik detaili mõõdud ja omadused võivad olla konfiguratsiooni-spetsiifilised: ühes on 8 mm tüübli avad, teises 10 mm ja kolmandas ei ole üldse tüübliavasid. Osad (*parts*) saab muuta hiljem ka koostus (*assembly*) (joonis 10.29) ja siduda neid teiste detailide omadustega. Näiteks muutes tüübliava asukohta sahtli

esitükil, muutub see ka sahtli külje detailil. Igale osale saab lisada ka toote informatsiooni (*custom properties*): olulised mõõtmed, detaili koodid, materjali, kommentaarid, mida me tahame hiljem kindlasti joonisel kajastada. Selleks saab teha joonise malli, mis loeb automaatselt osa (*part*) või ka koostu failist vajalikud andmed ja täidab väljad. Osadele saab määrata ka tekstuure ja materjale koos massi ja tihedusega, mille järgi programm arvutab toote kaalu. Faile saab eksportida 2D-joonistena .dwg ja .dxf formaadis, *mesh*-failidena (.stl ja .ply) ja paljudes teistes formaatides.

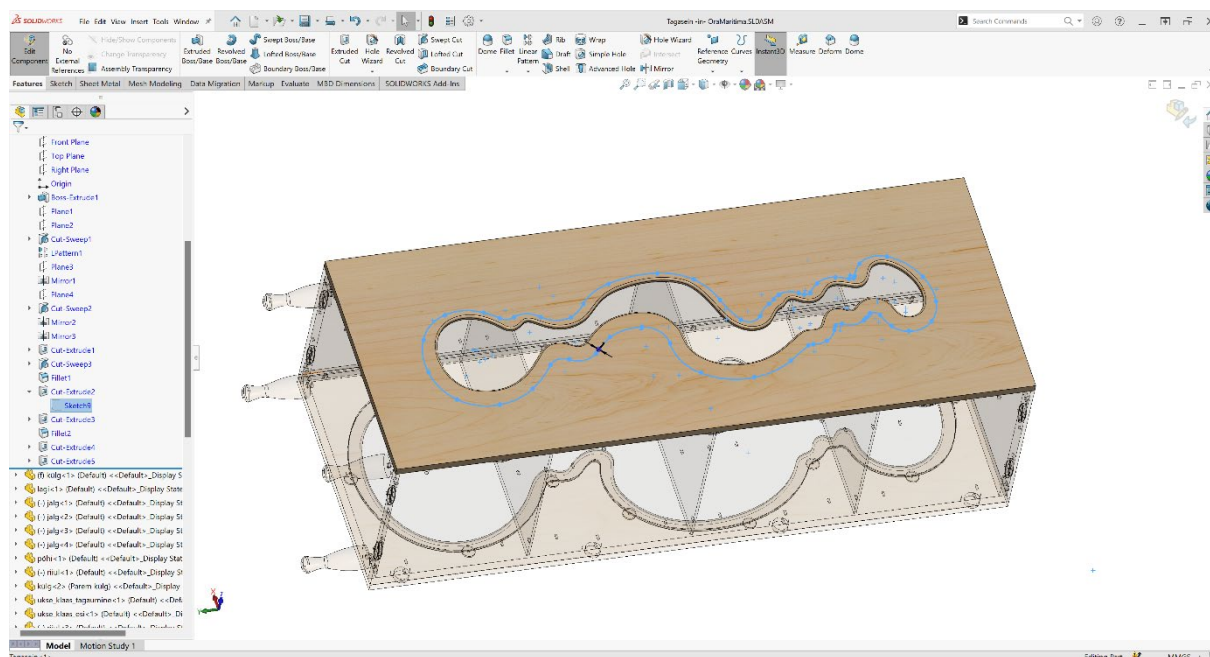


Joonis 10.27 Profiil (paremal) ja joon (sinine), mida mõõda toimub profiili lõikus detailisse.
Autor: T. Erik



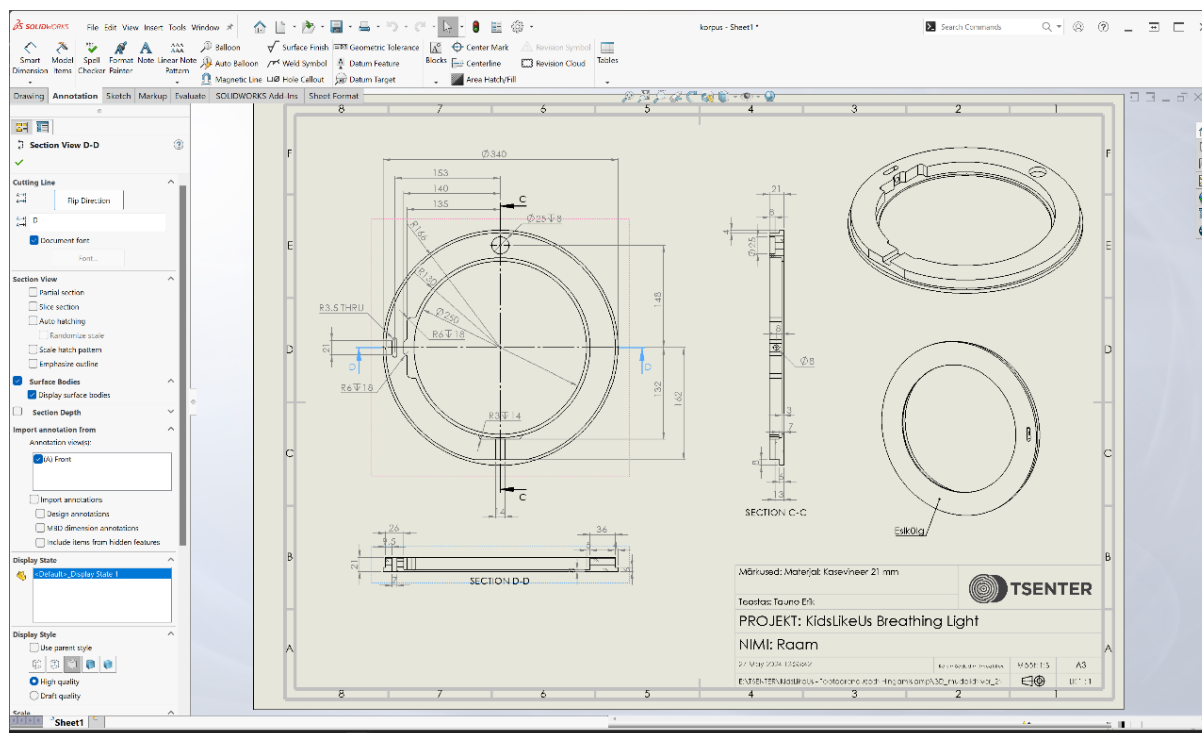
Joonis 10.28. Ristlõikeprofiili konfiguratsioonid ühtses failis.

Koostu (*assembly*) keskkond on koht, kus pannakse kokku loodud osadest ja väiksematest koostudest valmistoode. Osad liidetakse omavahel seostega (*mates*): puutuja, paralleelsus, tangentiaalsus, distant ja kaldenurk. Spetsiifilistes seoste liikides on võimalik rakendada nt profiilitsentrit, kus ümarprofiil paigutatakse ristküliku tsentrisse. Ka koostudest saab luua konfiguratsioone, korrata detaile ja peegeldada neid, et luua vastaskäelisi versioone. Kui on liikuvaid detaile, siis luua animatsiooni (*motion study*), et uurida, kuidas see toimub. Saab lisada ka teistes programmides loodud osasid (nt .step-failidena).



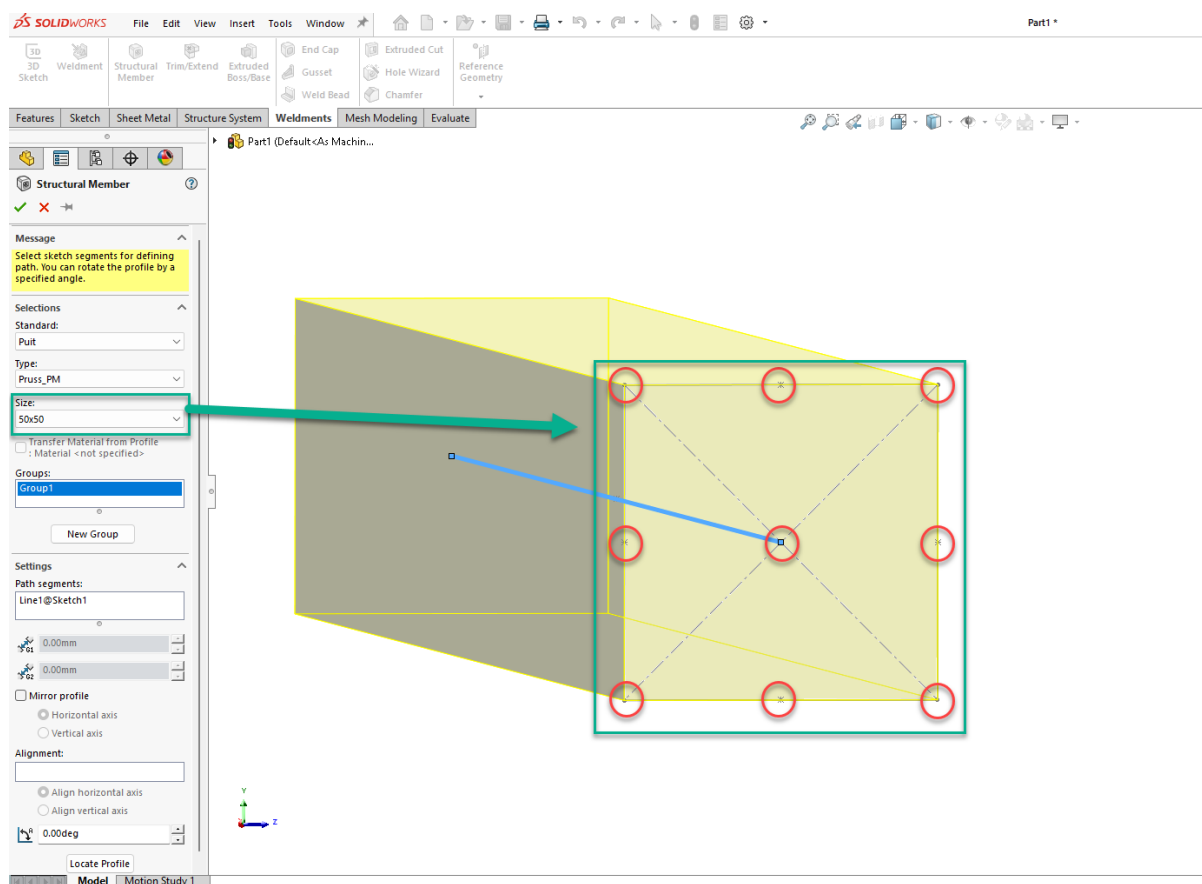
Joonis 10.29 Kapiukse muutmine otse koostus. Autor: T. Erik

Jooniste (*drawings*) keskkonnas saab teha loodud osadest ja koostudest jooniseid (joonis 10.30). Muudatused neis kajastuvad kohe ka joonistel. Joonistest saab teha erinevaid vaateid ja lõikeid, lisada detailide (BOM) ja puuritavate avade tabeleid (*hole table*).



Joonis 10.30 SolidWorksis jooniste loomine. Autor: T. Erik

Konstruksioonikeskkonna (*Structure System*) kasutamine võimaldab hõlpsalt luua puitkonstruktsioone. Puitkonstruktsiooni loomine eeldab kasutajalt 2D- või 3D-eskiisi, mille joontele määratakse ristlõikeprofiil. Profiili ristlõige on eraldi salvestatav failiformaat, mida avades on näha profiili ristlõiget koos määramispunktidega, millega profiil 2D- ja 3D-eskiisi joonte suhtes paika määratakse (joonis 10.31). Konstruksioonide modelleerimise keskkonnas loodud puitkonstruktsioonile on võimalik joonisekeskkonnas hõlpsasti luua standardsed kolm vaadet ning vajadusel lisada lõiked või isomeetriline vaade. Detailikeskkonnas täielikult defineeritud eskiisi ning 3D-keha mõõtmed on võimalik importida otse joonisele koos kasutatud standarddava tüübi ja asukohaga. Lisades joonisele lõiketabeli, kuvatakse selles kasutatud profiili mõõtmed, pikkus, lõikenurk, kogus. Lõikeinfotabelit saab kasutaja vastavalt oma eelistustele kohandada ning vajadusel lisada tulpasid, nt toodet ümbritseva virtuaalse kasti mõõtmed, et lõigata õiged nurgad.



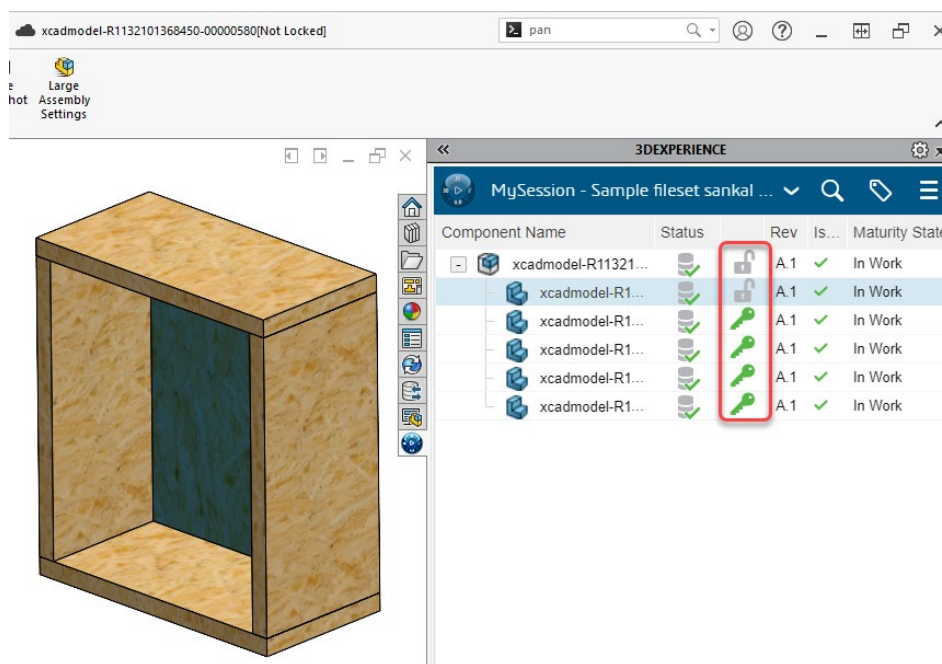
Joonis 10.31. Ristlõikeprofiili määramine 2D-joone suhtes määramispunktide kaudu.

Lehtmetalli (*Sheet Metal*) keskkonna kasutamine võimaldab hõlpsasti luua *Multi Body*-faili, kus detailikeskkonnas saavad kokku mitu eraldiseisvat keha. Toote valmimisel on võimalik kõik toote disainitud komponendid eraldi välja salvestada ning eksportida lõikefailiks .dxf või .dwg kujul. Lõikefailile saab kasutaja määrata defineerivate joonte värvused, kus näiteks sinine võib olla detaili välisgeomeetria ja roheline puuritava ava asukoht. Nagu konstruktsioonikeskkonnaski, on võimalik mudelis defineeritud mõõtmed importida joonisekeskkonda. Lehtmaterjalikeskkonna kasutamine lihtsustab tööprotsessi, kuna disainitud plaadid on võimalik kiiresti kuvada lõiketabelis sarnaselt konstruktsioonikeskkonnaga.

Suuremates organisatsioonides, kus on palju arendajaid ja meeskondi, võib olla kasutuses eraldi tooteandmete halduse programm ja server SolidWorks PDM, mis võimaldab jagada failide kasutamise õigusi ja salvestada tootearenduse ajalugu ja failiversioone. Tarkvara võimaldab kasutajal korraka tegeleda peakoostu kindlaks määratud osade muutmisega ning muudetud failile pannakse metaandmetena (*metadata*) külge faili muutmisõiguste kasutusaeg serveris ja serverisse tagasi saatmise aeg.

Toote elutsükkel PDM-is algab esmasest disainikuvandist ehk algfailist, mis võib läbida ettevõttes erinevaid osakondi. Disainifaili lõplik kinnitamine võib defineeritud reeglite kaudu eksportida automaatselt erinevaid failiformaate nii PDM-i kui ka eraldiseisvatesse serveritesse. Juba kinnitatud toote staatuseks määratakse muutmisel (*revision*); staatus muutub ainult siis, kui toote muudatuste tegemiseks esitatud taotlus kinnitatakse, mille järel muutuvad toote disainifailid kättesaadavaks inseneridele, kes on selleks saanud tööülesande. Viimistletud toote disainifailid läbivad muudatuste järel uuesti kontrolliahela ning muudatuste kinnitamisel muudetakse toote staatus kinnitatuks. PDM-i saab ühendada ERP-süsteemiga, et koos faili muudatuste kinnitamisega eksporditaks andmed ka ERP-süsteemi.

Hajusmeeskondadele sobib failiversioonide, muudatuste ning ajaloo halduseks pilveplatvorm 3D-experience. Platvormile sisenetakse kasutajakontoga ning vastavalt kasutaja rollidele ja õigustele saab sealtkaudu käivitada SolidWorks rakenduse. Tööprotsess on tööarvutis või serveris eelkirjeldatuga identne, kuid erinevus seisneb failide asukohas. Kõik ettevõtte kasutatavad programmfailid võivad paikneda 3D-experience platvormil. Administraator annab kasutajatele vajaliku juurdepääsu ja õigused failidega töötamiseks. Kasutajale broneeritakse andmete muutmisõigus ning ainult nende õiguste omanik saab sel perioodil teha muudatusi (joonis 10.32). Pärast muudatuste teostamist tagastab kasutaja faili kirjutusõigused ning sealt edasi on võimalik fail edastada kinnitamisele. Ühtne platvorm tagab failide arhiveerimise, et vältida failinimetuses erinevaid laiendeid, mis tekitaksid kasutajates segadust, nt "..._v2_õige_31okt.sldprt".



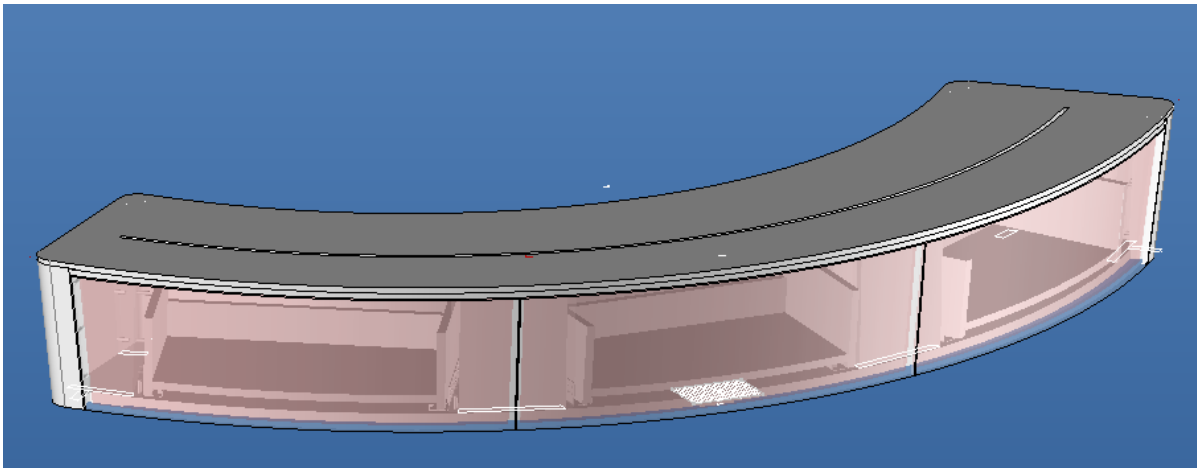
Joonis 10.32 Kirjutusõiguste indikatsioon SolidWorks 3D-experience-moodulis (avatud tabalukk tähendab kirjutusõigust, roheline võti aga kirjutusõiguste puudumist).

Disainiprotsessi automatiseerimiseks on olemas partnertoode DriveWorks, mis ühildub SolidWorksi tarkvaraga. See on automaatne ning reeglitepõhine disainitööriist, millega on võimalik otse kodulehel luua toote variatsioone, määrata kasutatavaid materjale, komponente jpm. Lõpp-toote kinnitamisel luuakse automaatselt joonised ning vajalikud failitüübid, mis kiirendab oluliselt tootmisprotsessi.

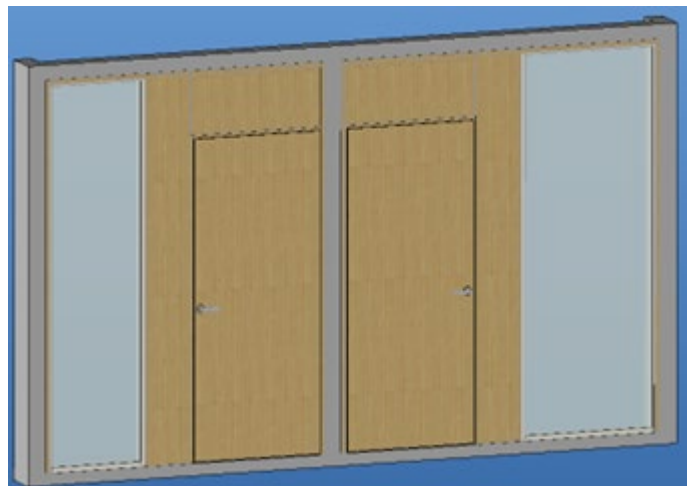
TopSolid Wood (TSW)

TopSolidi käekäik algas 1984. a, kui Prantsuse firma Missler Informatique selle see registreeris. Erinevate väiketarkvarade (Surf3D, Topcad, Catalpa jt) ühinemisel kujunes välja tarkvara nimetusega TopSolid. 1994 koliti üle Parasolid kernelile. 2001. a reorganiseeriti kõik allüksused Missler Software kaubamärgi alla, mis omakorda nimetati 2019. a ümber TopSolidiks. Esimene TopSolid Wood tuli Prantsusmaal välja 2003. a ja globaalsele turule jõudis 2005. a. Juba sel ajal oli võetud suund integreeritud CAD/CAM-lahendusele, kus on toetatud nii rasterlauad kui kolme-, nelja- ja viieteljelised talapingid, lisaks erinevad CNC-lahendused, nt puurimis- tüübelduspingid. TSW on laialdaselt kasutusel mitmes riigis. Poolas ja Türgis kasutatakse seda peamiselt korpusmööbli, Hollandis, Rootsis ja Saksamaal keerulise toodangu (luksusjahtide, restoranide-, laevade sisustuse) projekteerimiseks. Eestis on TopSolid Wood kasutusel üksikutes firmades. Laiemat levikut piirab vähene oskusteave ja kasutajakogemuse väike kandepind.

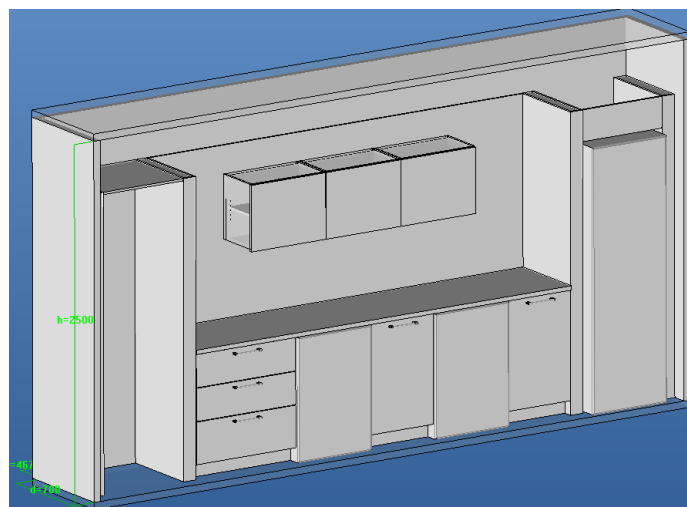
Järgnevalt tutvustatakse puittoodete ja mööbli projekteerimiseks mõeldud tarkvara TopSolid Wood (TSW) ja selle integreeritud lisamoduleid Planner, Nesting ja CAM. Neid moduleid on veel, nt Image, Ardis, 2,5D machining jt. TopSolid Wood CAD-tarkvara eeliseks toote konstrueerimisel on hästi integreeritud puidutööstuse funktsioonid, kus sooned, valtsid, kinnitusvahendid, tappühendused on lihtsasti kasutatavad. TSW võimaldab hõlpsasti projekteerida ja genereerida tükitabeleid ning lõikefaile CNC-pinkidele, kasutades selleks moduleid Nesting, Planner ja CAM. Programmi on integreeritud lahendused suurematelt furnituuritootjalt/müüjatelt: Egger, Blum, Ovvo, Hettich, Grass jt. Samuti on TSW-sse sisse ehitatud ilmes-tamismootor (Image), mis võimaldab 3D-mudelst genereerida realistlikke fotosid. See võimalus on oluline kliendi müügikonfiguraatorite tarbeks, kus klient soovib valida tootele värvi ning näha, milline toode välja näeb. Tootmisdokumentatsiooni on võimalik koostada järgmistele mööbli- ja puittoodetele: korpus- ja eritellimusmööbel, trepid, moodulvaheseinad, ukсед, aknad, aia-, puitkarkass- ja palkmajad jne. TSW-l on integreeritud võimalused TopSolid ERP kasutamiseks, seda on võimalik üsna hõlpsasti ühildada väliste ERP-tarkvaradega. Joonistel 10.33–10.35 on toodud erinevates programmides modelleeritud toodete 3D-mudelid.



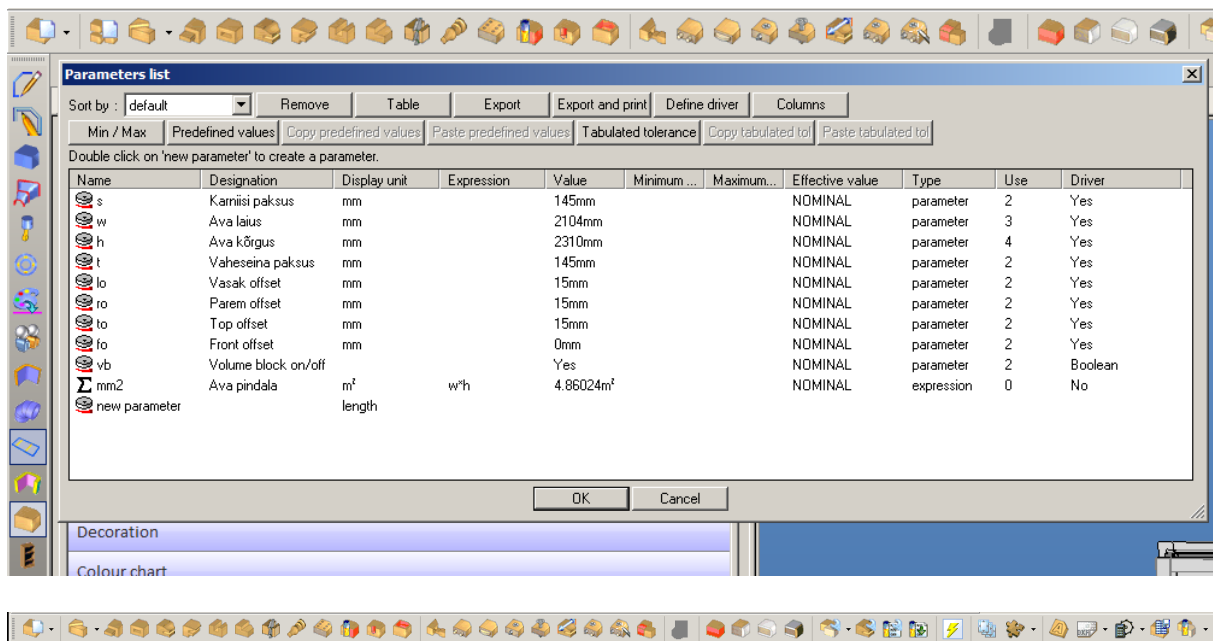
Joonis 10.33 Keeruka kujuga kapimoodul; 3D-mudel. Autor: M. Muru



Joonis 10.34 Uste ja akendega seinamoodul; 3D-mudel. Autor: M. Muru



Joonis 10.35 Kööginööbli koostus olevad kapid. Autor: M. Muru

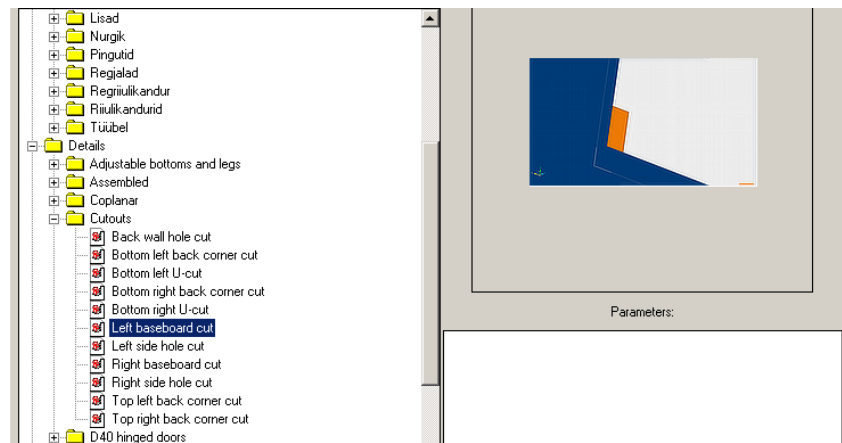


Joonis 10.36 Programmiaken detaili parameetrite sisestamiseks. Autor: M. Muru

Programmi CAM-töötluste kasutus on äärmiselt lihtne ja eristatakse kahte lähenemisviisi: täisautomaatsed, kus CAM valib tööriista ava järgi (puurimised-saagimised), käsitsi lisatud töötlusted keerukamate freesimiste tegemiseks (*user machining*). Viimase puhul kirjutatakse lõikekontuur endale sobiva töötlustega üle, vajadusel kasutatakse mitut tööriista.

Joonisel 10.36 on näidatud CAM-programmiaken detaili parameetrite sisestamiseks koos puidu- ja mööblitööstuse ikoonide ribaga koos vajalike operatsioonide, kinnitusvahendite lisamise ja CNC-töötlustega.

Samuti on võimalik detailidele CAM poolal seadistustes sisse kirjutada erinevused talapingis või rasterlaual töötlemiseks. Näiteks rasterlaual puuritakse avad läbi, kuid talapingis tehakse töötlusted mõlemalt poolt koos detaili ümberpööramisega. Üks väga hea võimalus on töötluste raamatukokku kirjutamine, kasutades ka parameetreid. Näiteks põrandaliistude, elektriläbivii-kude jms korduvate töötluste infot on hea andmebaasist võtta. CAM-programmis detaili juurde vajalike töötluste lisamine on toodud joonisel 10.37.



Joonis 10.37 Detaili juurde vajalike töötluste lisamine CAM-programmis. Autor: M. Muru

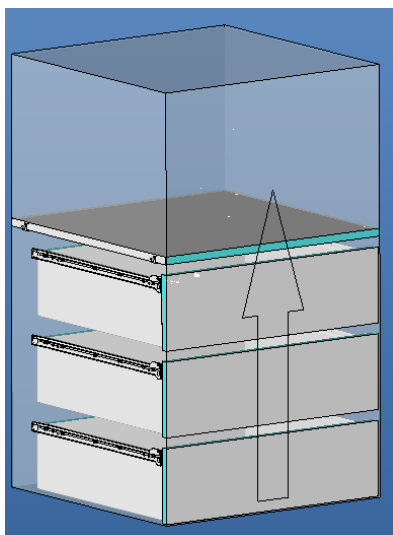
Kogu furnituurile on võimalik programmis detailidele juurde kirjutada kõik vajalikud töötused (sh parameetrisised), mis hõlbustavad konstruktori ja tehnoloogi tööd. Andmebaasiga töötamisel on võimalus kasutada sinna kataloogidesse struktureeritult sisestatud alamkomponente. Andmebaasi ülesehitus on lihtne ja loogiline, nt ühe hinge puhul on võimalus valida mitme erineva talla ja kinnitusviisi vahel, kuigi nimekirjas on näha ainult üks hing.

Nii furnituuri kui ka detailide puhul on võimalus tükitabeli jaoks lisada erinevat infot, millega täpselt on tegemist ja mis kategooriasse neid peab filtreerima.

Osa furnituurist pannakse mööblile külge tootmises, osa paigalduse käigus. Enamik furnituurist ja materjalist on laotooted, ent vastavalt vajadusele tellitakse midagi ka juurde. Selle info põhjal on võimalik genereerida vajalikud tellimislehed täiendava materjali ja furnituuri tellimiseks. Filtreid kasutades saab koostada erinevad tükitabelid (furnituur, plaatmaterjalid, tellimislehed, profiilmaterjalid jms) ja ka saatelehe, kus käsitöö osa on viidud miinimumini ja standardlahenduste puhul päris nulli.

Analoogsete tarkvaradega võrreldes on TSW-programmi loogikas mitu erinevust, mis lihtsustavad toodete modelleerimist. Vaatame lähemalt näiteid parameetrisise sahtliboksi puhul. Joonisel 10.38 on toodud Metabox-siinidega sahtlite komplekt.

Käskluse *constrained block* kasutus ei nõua kontuuri etteprojekteerimist, kasutatakse etteantud paksusega elementi ja projekteeritakse see teiste kehade kokku. Paksus võib olla samamoodi parameetiline nagu kõik teised mõõtmetega või kordustega seotud elemendid. Käsklused *constrained block* + *driver block* võimaldavad kandilisi tooteid projekteerida kiirmeetodil (*on the fly*). Käsklust *constrained block* saab kasutada ka nurga all paigutatud detailide projekteerimiseks.



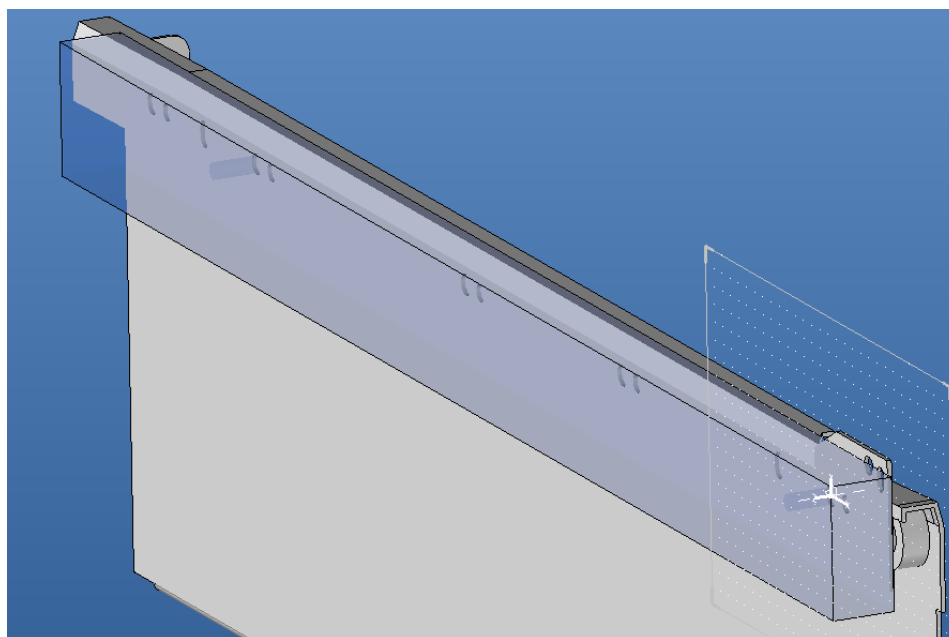
Joonis 10.38 Metabox-siinidega sahtlite komplekt. Rohelisega näidatud element on servakant.
Autor: M. Muru

Läbipaistev materjalimaht on TopSolidis kasutatav juhtblokk (*driver block*), mille sisse ehitatakse vajalikud komponendid sahtlite kasutamiseks. Sahtlite sügavus on parameetriliselt määratud nii, et juhtblokk loeb sahtli tagaseinast +10 mm ja valib kataloogist õige pikkusega siinid. Kõik detailid on parameetriliselt juhitud vastavalt etteantud ülesandele (st kuidas sahtleid plaanitakse projektides kasutada). Joonisel 10.39 on näidatud sahtlitega seotud parameetrid.

Parameters list									
Sort by : default Remove Table Export Export and print Define driver Columns									
Min / Max Predefined values Copy predefined values Paste predefined values Tabulated tolerance Copy tabulated tol Paste tabulated tol									
Double click on 'new parameter' to create a parameter.									
Name	Designation	Display unit	Expression	Value	Effective value	Type	Use	Driver	
t1	Bottomback thickness	mm		16mm	NOMINAL	parameter	0	No	
d	Drawer depth	mm		500mm	NOMINAL	parameter	1	Yes	
k	k	mm		352mm	NOMINAL	parameter	0	No	
p1	Click tick to use soft RIGHT side			Yes	NOMINAL	parameter	4	Boolean	
Σ p_ON	On or Off		when(p1==1,1,0)	1	NOMINAL	expression	0	No	
l1	Click tick to use soft LEFT side			No	NOMINAL	parameter	4	Boolean	
Σ l_ON	On or Off		when(l1==1,1,0)	0	NOMINAL	expression	0	No	
b	b	mm		352mm	NOMINAL	parameter	0	No	
h	Drawer front height	mm		175mm	NOMINAL	parameter	5	Yes	
l_o	Left offset	mm		2.5mm	NOMINAL	parameter	3	Yes	
r_o	Right offset	mm		2.5mm	NOMINAL	parameter	3	Yes	
b_o	Bottom offset	mm		3mm	NOMINAL	parameter	4	Yes	
Grain	Grain			0	NOMINAL	parameter	2	Optional	
g	Distance between fronts	mm		25mm	NOMINAL	parameter	4	Yes	
n	Number of drawers			3	NOMINAL	parameter	4	Yes	
d1	Distance from front	mm		2mm	NOMINAL	parameter	0	No	
Σ th	Shelf height from bottom	mm	b_o+(h+g)*n	603mm	NOMINAL	expression	1	No	
Σ s_ON	Click to take shelf OFF		when(s==1,1,0)	1	NOMINAL	expression	1	No	
s	Click tick to use top shelf			Yes	NOMINAL	parameter	3	Boolean	
t2	Detail thickness	mm		18mm	NOMINAL	parameter	3	Yes	
new parameter		length							

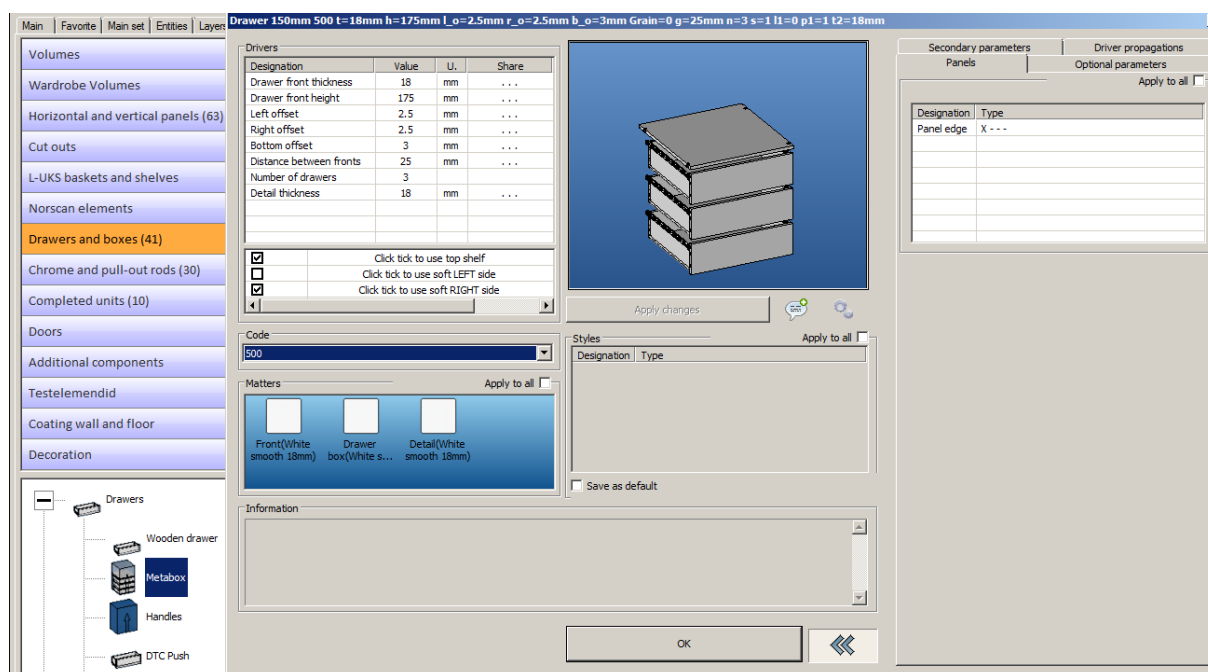
Joonis 10.39 Sahtlitega seotud parameetrid. Autor M. Muru

Joonisel 10.40 on toodud siinidega abikeha koos puuringutega. Töötlused on tehtud 5 mm puuriga ja see info liigub otse lõikefailideni välja.



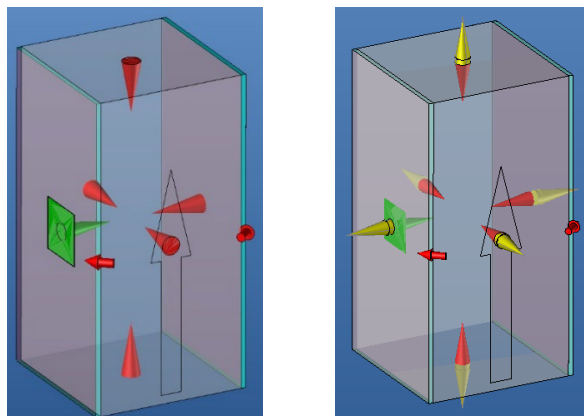
Joonis 10.40 Abikeha koos puuringutega. Autor M. Muru

Joonisel 10.41 on näidatud sama sahtlikomplekt Planneri keskkonnas, kus muudetavad parameetrid on lihtsalt käsitletavad. Samuti on toodud materjalivalikud.



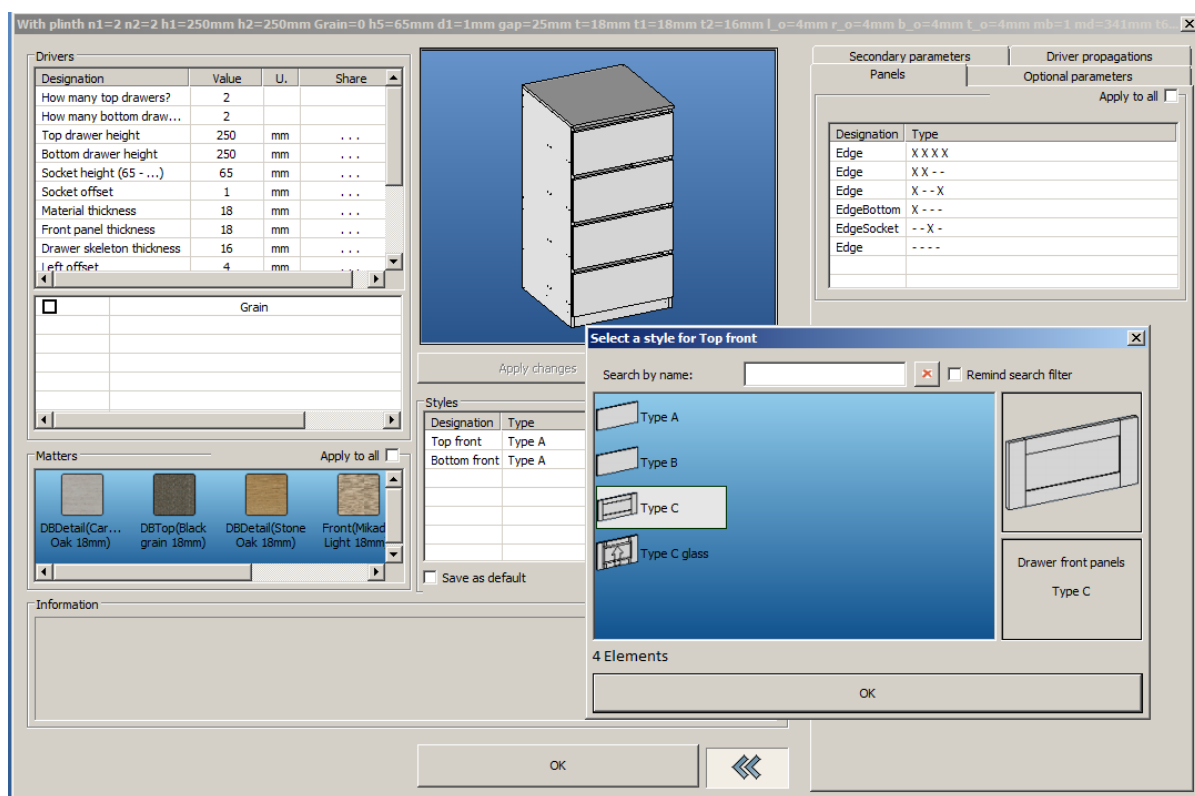
Joonis 10.41 Sahtlite komplekt Planneri keskkonnas. Autor: M. Muru

Joonisel 10.42 on näidatud sahtlitega komponendi lisamine projekti. Punaste nooltega on võimalik plokki juhtida endale sobivas suunas (sh ka väljapoole). Parempoolsel pildil on näha ka kollased nooled, siin on tegemist *double-wrap*-plokiiga. Ehk siis punased nooled märgivad ära plokki sees oleva detaili kaugused ja kollased nooled kaugused, mis jäävad plokist väljapoole. Seda lahendust on hea kasutada uste ja sahtlite puhul, kus külgseina paksused on muutuvad, kuid esitüki tagasiaste kapi gabariidist on püsiv.



Joonis 10.42 Sahtlitega komponendi lisamine projekti. Autor: M. Muru

Joonisel 10.43 on komplektne parameetriselt muudetav sahtliboks Planneri keskkonnas. Samuti on muudetavad viimistlusmaterjalid ja sahtli esitüki tüüp.

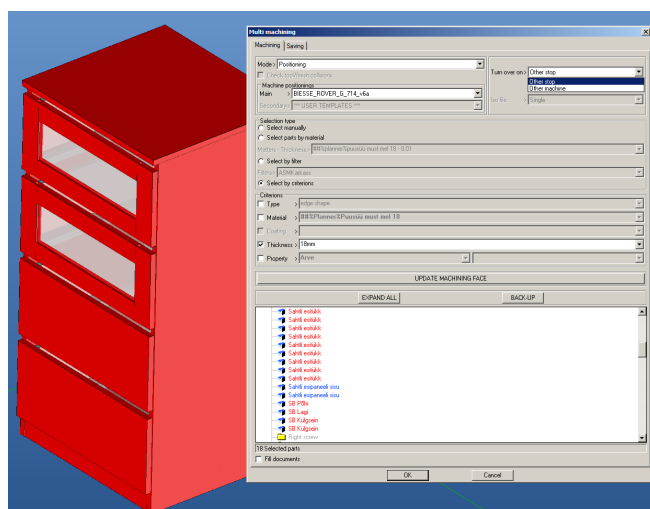


Joonis 10.43 Parameetiline sahtliboks Planneri keskkonnas. Aautor: M. Muru

Tabel 10.3 Sahtliboksi spetsifikatsioon. Autor M. Muru

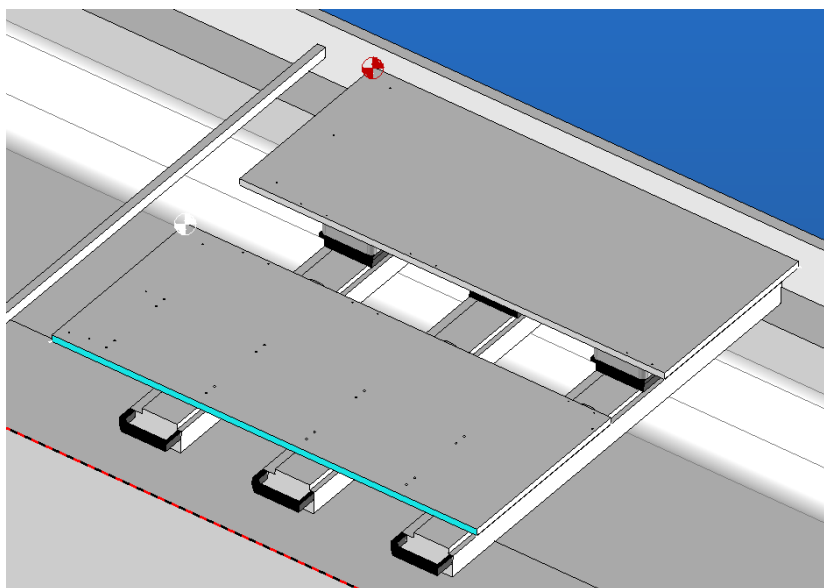
Pos	Material	Detail	INDEX3D	Tahis	Pikkus	Kant1	Kant2	Sugavus	Kant3	Kant4	Paisus	Kogus	Kood	Edge_code	Edges
1	##%Planner%Tamm Stone mel 18	SB Kõlgsain	1	KSN	1169.0	x	-	518.0	-	x	18.0	1	-	-	x - x
2	##%Planner%Tamm Stone mel 18	SB Kõlgsain	2	KSN	1169.0	x	x	518.0	-	-	18.0	1	-	-	x - -
3	##%Planner%Puus00 must mel 18	SB Lagi	3	LGI	538.0	x	x	600.0	x	x	18.0	1	-	-	x x x x
4	##%Planner%Tamm Carmen mel 18	SB Põhi	4	PHI	563.0	x	-	517.0	-	-	18.0	1	-	-	x - -
5	##%Planner%alge site mel 10	Sahtli esipanedi sisu	5	SEPS	481.0	-	-	160.0	-	-	10.0	2	-	-	- - -
6	##%Planner%alge site mel 18	Sahtli esitükk	6	SET	591.0	x	x	250.0	x	x	18.0	2	-	-	x x x x
7	##%Planner%alge site mel 18	Sahtli esitükk	7	SEP	451.0	x	x	60.0	x	x	18.0	4	-	-	x x x x
8	##%Planner%alge site mel 18	Sahtli esitükk	8	SEP	250.0	x	x	70.0	x	x	18.0	4	-	-	x x x x
9	##%Planner%alge site mel 16	Sahtli Kõlgsain	9	SKS	440.0	-	-	189.0	x	-	16.0	4	-	-	- x -
10	##%Planner%alge site mel 16	Sahtli Kõlgsain	10	SKS	440.0	-	-	189.0	x	-	16.0	4	-	-	- x -
11	##%Planner%alge site mel 10	Sahtli põhi	11	SAP	537.0	-	-	440.0	-	-	10.0	4	-	-	- - -
12	##%Planner%alge site mel 16	Sahtli tagasain	12	STS	521.0	-	-	168.0	x	-	16.0	4	-	-	- x -
13	##%Planner%alge site mel 16	Sahtli tagasain	13	STS	521.0	-	-	168.0	x	-	16.0	4	-	-	- x -
14	##%Planner%Tamm Carmen mel 18	Sokkal	14	SOK	563.0	-	-	65.0	x	-	18.0	1	-	-	- x -
15	##%Planner%Tamm Stone mel 18	Tugitüst	15	TLT	563.0	-	-	150.0	-	-	18.0	3	-	-	- - -
-	##%Metall%Tsingitud	20x17 MN nurgik	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	MN	-	- - -
-	-	DRAWER1A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	DRAWER1A	-	-
-	-	DRAWER1C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	DRAWER1C	-	-
-	##%Tarkvud%Metall	Eurokivi 63x10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	HTT002	-	- - -
-	##%Tarkvud%Metall	Puukivi 4x16UP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	SCREW16x4	-	- - -
-	##%Metall%Tsingitud	Puutahhli silind	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	TS10450H	-	-

Pärast tükitabeli koostamist saab detailidele koostada lahtilõikuskaardid vastavalt materjalide paksustele ja nimetusele. Seejärel tuleb genereerida lõiketöötlusfailid CNC-pinkidele (joonis 10.44). Rasterlaua ja talapingi erinevus selliste toodete puhul on detailide kahelt poolt töötlemise võimalused. Rasterlaua puhul tuleb esmalt kõik detailid puurida ja lahti lõigata, pärast seda pööratakse vastasküljele töötlust vajavad detailid ringi ja töödeldakse ükshaaval. Talapingis toimub detailide pööramine samas positsioonis ja vahetult pärast esimese poole töötlust. Lisaks on võimalus ISO-faili sisse kirjutada töötlus hoopis mõnes teises pingis. Näiteks lapikpindade töötlust rasterlaual või talapingis ja servapuuringud koos tüübeldamistega teises pingis.



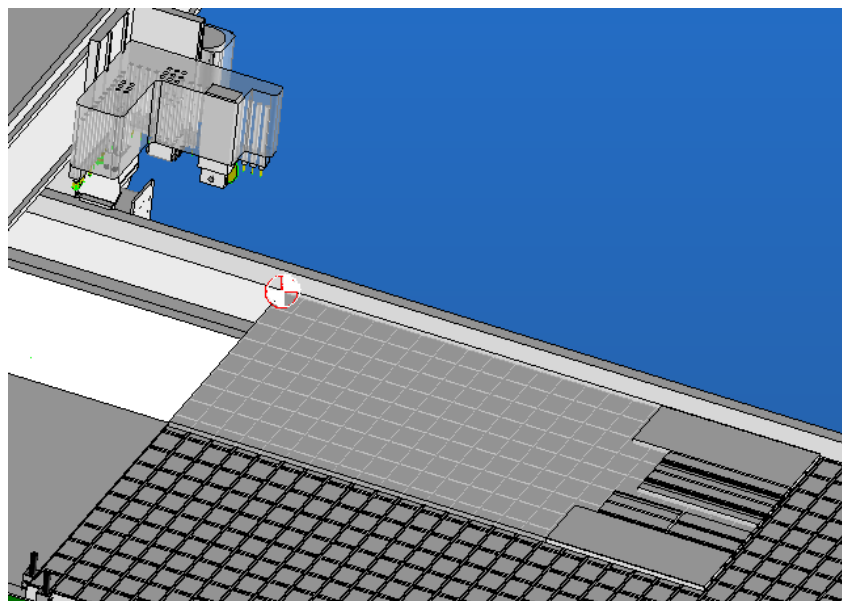
Joonis 10.44 Detailide lõiketöötlusfaili genereerimine CNC-pingile. Autor: M. Muru

Talapingis lõiketöödeldav mööblikapi külge sein koos kahepoolse töötusega on näidatud joonisel 10.45.



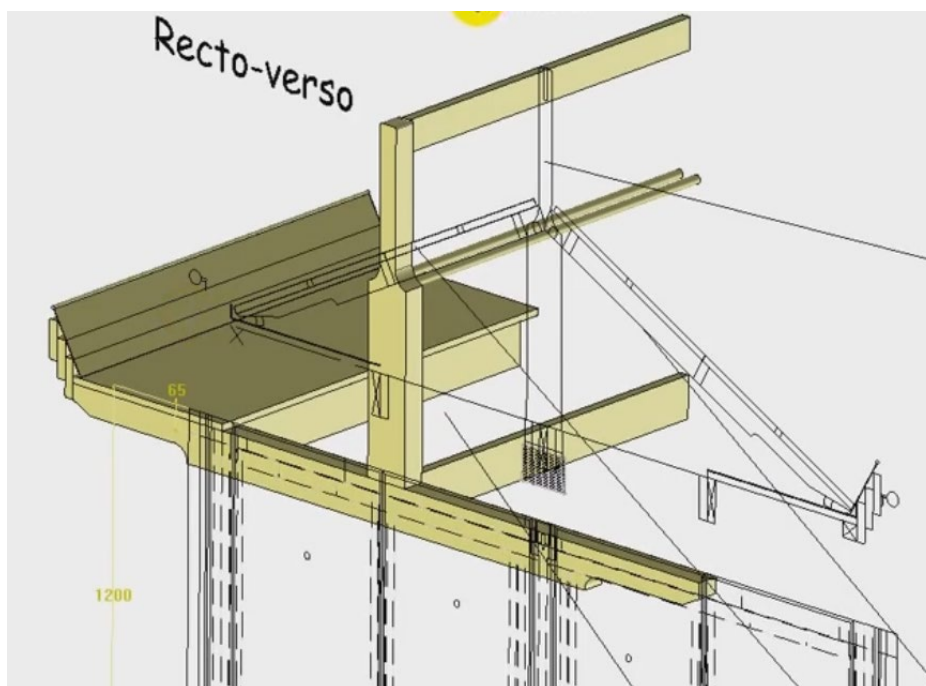
Joonis 10.45 Talapingi vaakumkonsoolis kapi külge sein, kahepoolse töötusega. Autor: M. Muru

CAM-programmis on kuvatud detail eri positsioonides, et oleks võimalik töötusi kontrollida. Tegelikult pööratakse detail pingis ümber samas positsioonis. Kapi ja sahtlite esitükkide detailid rasterlaual on näidatud joonisel 10.46. Detailide lahti lõikamisel rasterlaual arvestatakse detaili gabariitmõõtmete servakant maha. Selle vältimiseks võetakse servakandi paksuseks 0,01 mm.



Joonis 10.46 Kapi esitükkide detailid rasterlaual. Autor: M. Muru

Uue toote 3D-mudeli genereerimine DWG-failist on üsna lihtne. Joonisel 10.37 on näha 3D-elementide tegemine 2D-kontuuridest.



Joonis 10.47 3D-elementid 2D-kontuuridest. Autor: M. Muru

Kokkuvõtteks

Konstruktori põhitööriistad joonestuskombain ja pliiats asendati arvutis joonestamisega juba Autodesk AutoCAD 1.0 versioonis 1982. a, kuid arvutis joonestamise ja modelleerimise laialdasem levik toimus 1990-ndatel, kui toodi turule tänapäeval levinud 2D-joonestustarkvara AutoCAD LT.

2D-programmid kiirendasid ja lihtsustasid küll joonestamisprotsessi, kuid tootearendusprotsessis nad suurt läbimurret ei toonud. Kuna 2D-kujundeid, -detaile ja -tooteid ei saanud kolmemõõtmelisena vaadelda ja kontrollida, tekkisid ka loogikavead.

3D-modelleerimiseks on loodud palju CAD-programme ja nende kasutusaladest tingitud vajadused (puitmööbli, pehmemööbli, uste- ja akende, puitmajade tootmine) on samuti erinevad. Seega sõltub CAD-programmi valik äriprotsessist, millist toodet ettevõtte teeb, millised on reaalselt vajalikud omadused. CAD/CAM-programmide kasutuselevõtu eesmärgiks on muuta töövoog kiiremaks ja sujuvamaks.

Mööblitööstuse CAD/CAM- programmidel on kindlasti arenguruumi tulevikus viieteljelise töötamise võimekuse loomiseks. Loodetavasti on puidutöötlemistarkvaras võimalik kasutada

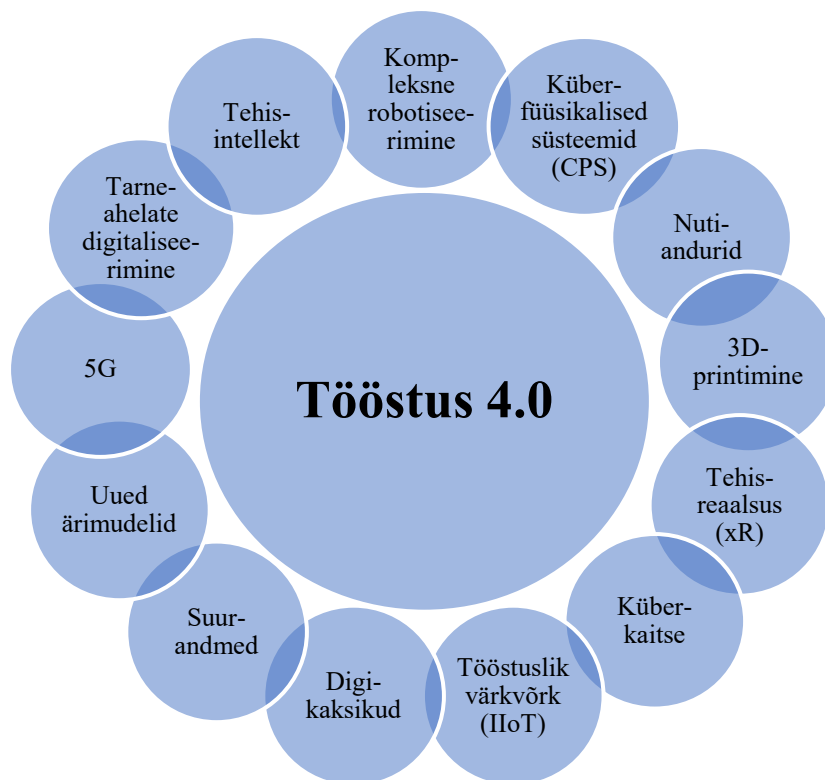
tulevikus ka tehisintellekti, mis suudab detaili kuju ja metaandmete järgi otsustada ka töötluste järjekorra ning mahu ja ühiste toorikute loomise. Kui detaili kohta on teada tehnoloogiline teekond ja selleks kuluv töötluste aeg, siis saab ka juba joonestamise protsessi ajal näha toote hinda, mis vastavalt 3D-mudeli muudatustele ennast ise korrigeerib.

10.2 Tööstus 4.0

Tööstus 4.0 on kujunenud sünonüümiks tööstuse digitaliseerimisele. Ajalooliselt eristatakse tööstusrevolutsioone järgmiselt:

- Tööstus 1.0 – aurumasinate kasutuselevõtt, manufaktuuri teke;
- Tööstus 2.0 – elektrimasinate kasutuselevõtt, masstootmise teke;
- Tööstus 3.0 – arvjuhtimise ja programmeeritavate loogikakontrollerite kasutuselevõtt, robot- ja paindootmise teke;
- Tööstus 4.0 – pilveteenuste kasutuselevõtt, masinatevahelise pilvepõhise suhtluse ja suurandmete kogumise teke, küber-füüsikaliste süsteemide (*cyber-physical systems* CPS) areng.

Tehnoloogiad, mida seostatakse Tööstus 4.0-ga, on toodud joonisel 10.48.



Joonis 10.48 Tehnoloogiad, mida seostatakse tööstus 4.0-ga.

Ettevõtte vaates on Tööstus 4.0-l kolm võrdselt olulist aspekti:

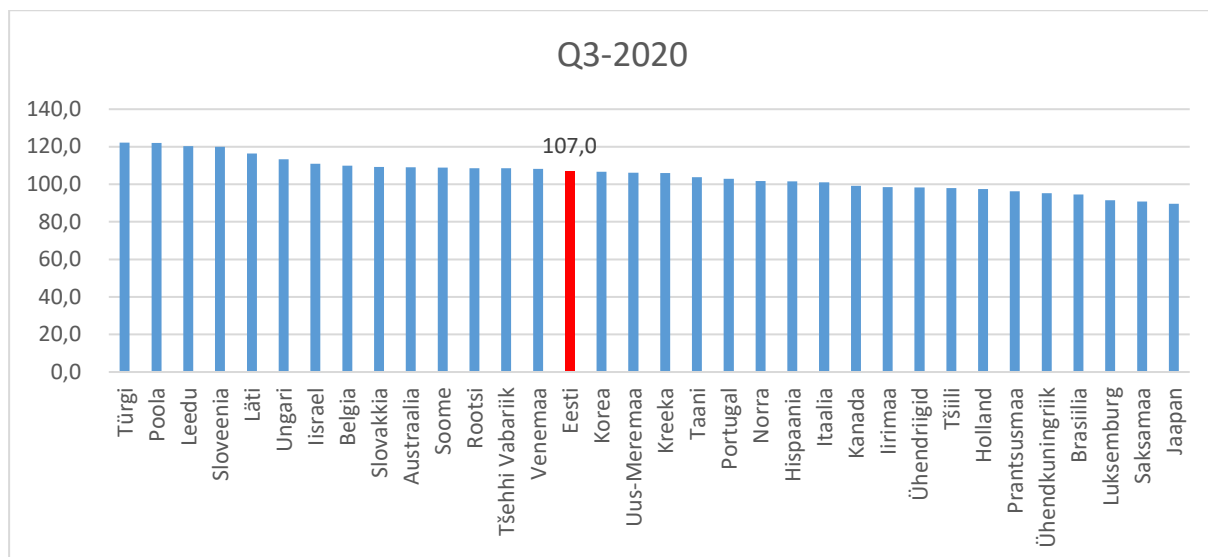
- digitaliseerimine – pilveteenused, IT arenduste kaudu andmete kogumine, analüüs ja tootmise tulemuslikum juhtimine; tehnoloogiseadmetest digikaksikute loomine;
- nutikad masinad – tehnoloogiaseadmete (tööpingid, robotid, laosüsteemid) varustamine nutianduritega ja ajamitega, mis võimaldavad kiiret andmevahetust ja reaajas juhtimist, samuti koostööd inimestega (koostöörobotid, isejuhtivad sõidukid);
- uued ärimudelid – et firma oleks stabiilselt edukas, peaks ta omama müügikanaleid ca 30 riigis; tavamüügiesinduste avamine on kulukas, kuid e-poodide ja e-teenuste kaudu on võimalik turgu laiendada. Digitaliseerimine algab ettevõtte juhtimisest – et panustatakse teadlikult e-ärile, selle võimaldamiseks omakorda toetatakse reaajas tootmis- ja müügiandmetele.

Olulisemad vead, mida ettevõtted teevad:

- digitaliseerimisel piirdatakse tarkvaraarendusega, nt võetakse kasutusele ettevõtte resursiplaneerimissüsteem (ERP), kuid tootmiseseadmetega reaajas infovahetust või ärimudeleid ei uuendata;
- investeeritakse üksikutesse tootmiseseadmetesse, eeldades näiteks, et üks robot asendab viie inimese tööd, kuid tehnoloogiline protsess ja ärimudel jäetakse muutmata. Tulemuseks on seade, mis tooteportfelli või turunõudluse muutumisel jääb kasutuseta;
- juhtkonna tasemel nähakse ette digitaliseerimist, kuid ei plaanita pikemas vaates uute turgude hõivamist ja piiriüleste e-teenuste pakkumist.

10.2.1 Tööstus 4.0 areng maailmas

Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsiooni (OECD) tootmisindeksi järgi oli Eesti tööstus 2020. a 3. kvartalis kasvutempolt maailmas 15. kohal, võrreldes 2015. aastaga on meie tootmine kasvanud ja vaatamata koroonaperioodile (joonis 10.49) tootis Eesti rohkem kui varem. Samas tuleb silmas pida, et OECD ei kajasta oma statistikas Hiina RV-d, kus ettevõtetest andmete kogumise ja analüüsi meetodid ei vasta rahvusvaheliselt tunnustatud nõuetele.



Joonis 10.49. OECD tootmisindeks (MEI), 2020 III kvartali tulemused. Allikas: OECD

Euroopa Liidus (EL) on tööstuse arengu plaanimiseks loodud ManuFuture tehnoloogiaplatvormi visioon 2030, mis näeb ette sammud Euroopa juhtrolli säilitamiseks tootmises. Selle visiooni väljatöötamisel oli oma roll ka Eestil, kus Tallinna Tehnikaülikoolis toimus 2017 EL aastakonverents Manufuture 2017. Tööstus 4.0 programmid Euroopas ajendasid ka Hiina RV looma oma strateegia „Made in China 2025“, mis näeb ette Hiina kujunemise maailma juhtivaks tööstusriigiks aastaks 2049 uue tehnoloogia arendamise kaudu. USA-s on loodud 14 juhtiva uurimisinstituudi võrgustik „Manufacturing USA“, mis keskendub tööstusinnovatsioonile ja koostöö arendamisele digitaalse tootmise, kihtlisandustehnoloogiate, robotika, küberturvalisuse, komposiitmaterjalide jms fookustemadel.

Fookuse seadmiseks moodustas Euroopa komisjon 2018 a. nn üleeuroopalist huvi pakkuvate tähtsate projektide strateegilise foorumi (IPCEI), kus liikmesriigid leppisid kokku tehnoloogia suhtes, mille väärtusahelate arendamine on tööstuse konkurentsivõime edendamiseks oluline. Varasemale tehnoloogiale (mikroelektroonika, patareid, kõrgjõudlusega andmetöötlus) lisandusid: küberturvalisus; tark tervis; keskkonnasõbralikud ja isejuhtivad sõidukid; tööstuslik asjade internet (*internet of things*, IoT, värgvõrk, nutistu); vesinikutehnoloogiad ja -süsteemid ning madalsüsinikutehnoloogiad. Ühiseks nimetajaks nende väärtusahelates oli andmete vabast liikumisest läbi väärtusahela tõusev tulu.

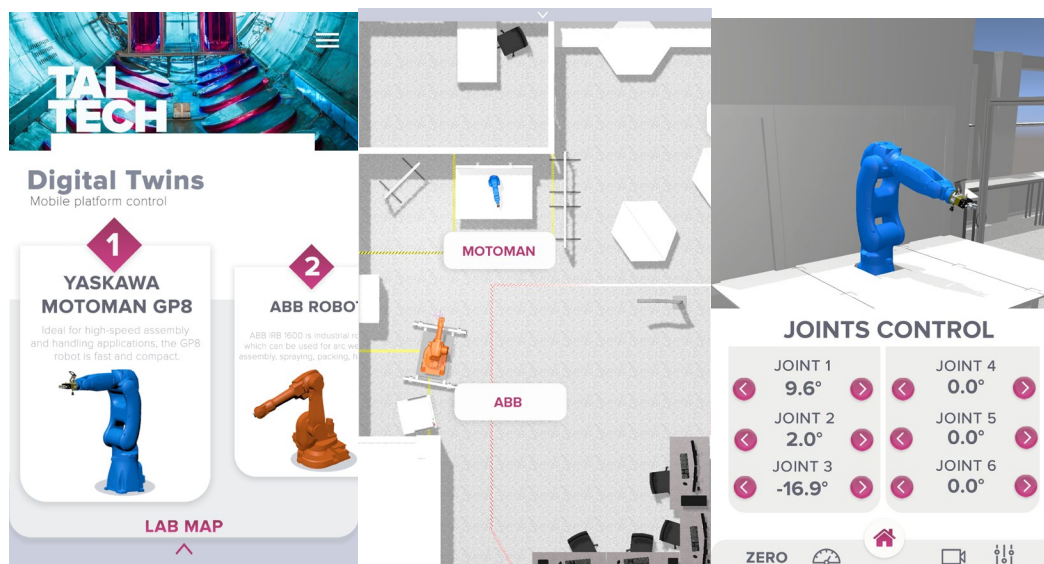
Eestis alustati riiklikult tööstuspoliitika nn rohelise raamatu loomist 2015. a, mil tööstuse digitaliseerimine polnud veel riiklikul tasemel päevakorral, ja dokumendi valmides 2017. a oli see juba moraalselt vananenud. Ühiskondlikult hakati Saksamaa suursaatkonna, erialaliitude ja ülikoolide algatusel 2015. a korraldama tööstuse digitaliseerimise konverentsi „Industry 4.0“, millest on saanud iga-aastane traditsioon.

Euroopa Komisjoni digimajanduse ja -ühiskonna ehk DESI indeksi kohaselt on Eesti eesrindlik e-riigi arenduses, kuid digitehnoloogiate integratsiooni poolest olnud pikalt sabassõrkija. Digitehnoloogiate integratsiooni indeks näitab digitaliseerimise mõju majandusele ja ettevõtete äri tulemuslikkusele. Viimastel aastatel on areng olnud aga kiirem, kui veel 2015. a olime selle näitajaga EL-s 23. kohal, siis 2020. a olime jõudnud 14. kohale.

2017. a loodi valitsuse määrusega „Nutika tootmise tuumiktaristu“ (*SmartIC*), et koondada nutika tootmise teadus- ja arendustegevuse hajusstruktuurid mehaanika, masinaehituse, automaatika, mehhatroonika, materjaliteaduse ja -tehnoloogia ning infotehnoloogia vallas. Tegu on nn hajusa üksusega, et koostöö ja turunduse ning ühtselt määratletud teenuste kaudu suurendada märkimisväärselt nutika tootmise valdkonna teadustööd ja taristute riskasutust nii Eestis (ülikoolid ja koostööpartnerid) kui ka rahvusvaheliselt (T&A koostööprojektid, rakendusuringud rahvusvaheliste ettevõtetega nt lennunduse, autotööstuse, laevanduse jm vallas). SmartIC on alates 2019. a kantud teaduse teekaardi objektide nimekirja. Aastani 2025 kokku lepitud strateegias keskendutakse järgmistele valdkondadele:

- keeruliste prototüüpide ettevalmistamine, valmistamine ja kvaliteedikontroll,
- digitaalsete kaksikute arendamine, VR & AR tehnoloogiate rakendamine,
- tööstusrobotika,
- isejuhtivad sõidukid tootmislogistikas,
- ennetav hooldus ja nutika tootmise optimeerimine,
- turvaline ja jätkusuutlik energiavarustus nutikale tootmisele.

Näiteks digikaksikute loomine võimaldab tootmisprotsessi virtualiseerida, programme simulatsioonis tootmist katkestamata testida, töötajate väljaõpet kiirendada ning kogu tootmisinfot vajadusel arvuti, virtuaalreaalsuse või nutitahvli kaudu distantsilt kuvada ja juhtida (joonis 10.50).



Joonis 10.50 Robootika ja paintootmise demokeskuses loodud digikaksikute juhtimine nutiseadmelt: ekraanipildid seadmete valiku, tootmise reaalajalise üldplaani ja tööstusroboti digikaksiku juhtimisvaates.

Eestis on Tööstus 4.0 temaatikat toetatud SA Archimedes „Nutika spetsialiseerumise rakendus-uuringute“ meetme ning mitme EAS-i digidiagnostika ja digitoetuste programmiga. 2021. a loodi Eestisse ka Euroopa digiinnovatsioonikeskus (DIH), mis läbi robootika ja tehisintellekti arenduste kaudu aitab suurendada ettevõtete Tööstus 4.0 võimekust. Selliseid keskusi luuakse EL-i algatusel kõigis EL-i liikmesriikides.

Tööstuses võimaldab „neljas tööstusrevolutsioon“ tootmisressursse nutikamalt kasutada ja juhtida, seeläbi suurendades äripotentsiaali ja tootlikkust. Euroopa on olnud maailmas tootmise esirinnas ja rõhuasetus nutikale tootmisele võimaldab seda positsiooni kinnistada – Aasia odav-tööjõumaades suudetakse Euroopas välja töötatud ja turule tulevaid tooteid kiiresti kopeerida, kuid nutiseadmete ja pilveteenuste puhul pole see enam nii lihtsalt tehtav. Teaduse mõttes tähendab Tööstus 4.0 rakendamine ka seda, et pole tingimata vaja kallite seadmetega laboreid dubleerida, vaid kasutades ja arendades digivahendeid, saab miljoneid maksvaid seadmeid ka digitaalsete kaksikutena kaugkasutada. Hariduses tähendab Tööstus 4.0 kasvavat nõudlust inseneri- ja IT-oskuste, samuti e-ettevõtluse ja uute ärimudelite alaste teadmiste järele. Tööhõives suureneb tootlikkuse kasvuga kõrgepalgaliste spetsialistide osakaal ning nõudlus nende järele kasvab.

Akadeemilistes ringkondades arutletakse juba järgmise tööstusrevolutsiooni ehk Tööstus 5.0 teemadel. Eeldatavalt on see seotud inimese rolli muutumisega – tehnoloogia areng võimaldab

inimest integreerida tooteloome- ja tootmisprotsessi, jälgida ja kohandada tootmist individuaalsetele parameetrite järgi ja toota individualiseeritud tooteid ning pakkuda teenuseid iga kliendi personaalseid vajadusi arvestades.

10.2.2 Moodne sidetehnoloogia puidutööstuses

Tööstus 4.0 lahendused, pilvetehnoloogiate ja digikaksikute rakendamine eeldab pidevat andmevahetust tööstusseadmete ja potentsiaalselt kaugel asuvate andmetöötlusserverite ja andmeaitade vahel. Tavapäraselt kasutatakse tööstuses andmete edastamiseks keerupaarvaskkaableid (*twisted pair of copper cables*) või, kõrge elektromagnetväljade fooni korral, nt suurte mootorite läheduses, optilisi kaableid. Mõistagi on kaabelühendused problemaatilised seadmete ümber paigutamisel. Seadmete hooldamisel, toote või tootmisliini digikaksikute kasutamisel leiavad järjest rohkem kasutust tahvelarvutid. Võib eeldada, et tulevikus rakendatakse tootmise juures liitreaalsuse printsiipi, mis kõik tingivad vajaduse piisavalt töökindla juhtmevaba side järele. Ouliseks osutub inimese sujuvam koostöö masinatega, mis samuti reeglina loob lisavajaduse (juhtmevaba) side järele, lähtudes distantjuhtimise funktsioonidest ja inimese ohutusest. Praeguseini kasutatakse tootmisettevõtetes peamiselt WiFi juhtmevaba andmesidet, madala energiatarbe vajaduse korral (IoT seadmete puhul) IEEE802.15.4 ZigBee tüüpi võrku (ISA100.11a, *WirelessHART*) ja ohutusrakendustes (kraanade juhtimine) tootjaspetsiifilisi raadiosidelahendusi. Need tehnoloogiad ei ühildu omavahel, põhinevad enamasti ülekoormatud vabaraadiosagedustel ja enamasti ka ei taga kindlat sidekvaliteeti. Alternatiivse universaalse raadiosidelahendusena hakkab tööstuses levima universaalne 5G-mobiilsidetehnoloogia, mis on edasiarendus 4G/LTE mobiilsidest ning 2030-ndate alguses asendub evolutsiooniliselt 6G-mobiilsidega. 5G toetab kolme põhilist rakendusprofiili: täiustatud mobiilne lairiba (*enhanced mobile broadband*, eMBB), massiivne masinatüüpi side (*massive machine type communication*, mMTC) ning kõrge usaldusväärsuse ja madala latentsusega side (*ultra reliable and low latency communication*, URLLC).

5G-rakendusprofiil eMBB ühtib tavamobiilikasutaja profiiliga, mille eesmärk on tagada suurim võimalik sidekiirus sõltuvalt hetkeolukorrast, st võrgu koormusest, kasutajate arvust. Võrreldes 4G-tehnoloogiaga pakutakse mitu korda kiiremat sidet – sajad megabaidid kuni mõned gigabaidid sekundis. Side katkematus ja andmevahetuse viide ei ole eMBB-profiili puhul esmatähtsad. eMBB-profiili tööstusrakenduste puhul kasutatakse vähekriitilise info edastuseks, videotransmissiooniks, virtuaal- ja liitreaalsuse rakendustes.

mMTC-profiil on loodud IoT-seadmete jaoks, mille puhul on oluline seadmete väike energia-
tarve ja tagatud seadmete suur paiknemistihedus – kuni miljon seadet ühel ruutkilomeetril.
mMTC-profiili kasutavate seadmete puhul on andmeedastuskiirus suurusjärgus kuni megabait
sekundis ja võivad esineda sekunditesse ulatuvad viited, mis IoT-rakendustes ei ole tavaliselt
kriitilised. mMTC kasutusvaldkond puidutööstuses on tooraine ja valmistoodangu jälgimine nii
tootmise ja transpordi ajal kui ka pärast toote kasutusse võtmist, nt ehituskonstruksioonide
seisundi pidev jälgimine IoT-niiskussensorite abil.

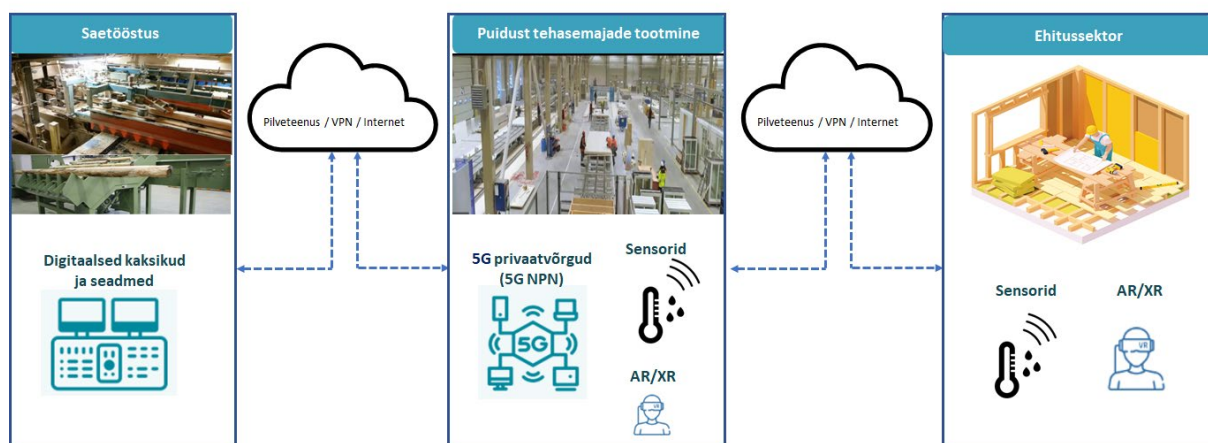
URLLC andmevahetuse profiil on loodud tööstusrakendusi silmas pidades ning tagab andme-
vahetuse töökindluse tasemel 99,99–99,999% koos raadiovõrgus toimuva maksimaalse and-
mete hilistumisega alla 20–25 ms. Vastavad näitajad ületavad oluliselt nt WiFi võrkudes saa-
vutatavat. URLLC-profiil võimaldab tööstusseadmete kaugjuhtimist ning on oluline andme-
vahetuseks nt transpordirobotite vahel.

5G-mobiilside IT arhitektuur erineb oluliselt varasemast, mille puhul sideseansside kommutee-
rimine toimus tsentraalselt nn CORE funktsionaalsust teostavas võrguseadmes, isegi juhul, kui
mobiilsideterminaalid asusid füüsiliselt koos. 5G puhul on CORE võrgufunktsionaalsus hajuta-
tud võrgu tuumikserverite ja raadioside tugijaamade juures paiknevate (*multi-access edge
computing*, MEC) seadmete vahel, mis võimaldabki luua kiire otseühenduse samas asukohas
paiknevate kasutajaseadmete vahel, vältides nii andmete transpordist paratamatult tulenevaid
viiteid. MEC-seadmete puhul nähakse ette, et tulevikus võivad need täita ka lokaalsete andme-
töötusjaamade rolli, nt teostada pildituvastust masinate ohutusrakendustes või marsruudi arvu-
tamist transpordirobotitele.

Erinevalt varasemast mobiilsidetehnoloogiast saab 5G puhul kasutada nn võrguviilutust
(*slicing*), mis võimaldab erinevatele kasutajatele või rakendustele tagada mingi võrguressursi,
nt tagada, et URLLC-seadmetel on alati kasutada 1 megabait andmeedastuskiirust, vähendades
selle tagamiseks vajaduse korral eMBB kanali kasutajate võrguressurssi.

Erinevalt eelmistest mobiilside põlvkondadest on 5G puhul ette nähtud privaatvõrkude loomise
võimalus, mis tähendab, et tööstusettevõtte saab enda piiratud territooriumil võrguoperaatoriks
ning saab luua enda vajadustele vastava raadiosidevõrgu, mis pakub sobivaid eMBB-, mMTC-
ja URLLC-teenusprofiile ja võrguviile. Eri riikide seadused 5G-privaatvõrkude puhul on erine-
vad, ka EL-i sees. Kehtiva Eesti seaduse kohaselt on saab 5G-privaatvõrke luua ainult 24 GHz
sagedusalas, mis on praegu veel tehnoloogilise keerukuse tõttu seadmetega vähe kaetud, kuid
tagab hetkel peamisest kuni 3.5 GHz 5G-sagedusalast mitu korda suurema andmeedastuskiir-
ruse. Puidutööstuse digitaliseerimine projekti 5G-Timber näitel on toodud joonisel 10.51 ning

siin on oluline roll digitaalsete kaksikute, liitreaalsuse, tehisreaalsuse ja sensorite kasutamisel andmete kogumiseks ning mitmesuguse sidetehnoloogia kasutamisel andmete kogumiseks pilveteenuse abil ja andmevahetuseks privaat- ja avalikus võrgus.



Joonis 10.51 Puidutööstuse digitaliseerimine projekti 5G-Timber näitel. Autor: Y. Le Moullec

10.3 Puidutööstluse digitaliseerimine ja automatiseerimine

Digitaliseerimise all mõistetakse tänapäeval pilveteenuseid, IT-arenduste kaudu andmete kogumist, analüüsi ja tootmise tulemuslikumat juhtimist. Puidutööstuses on mahutoodete (saematerjal, höövelmaterjal ja plaatmaterjalid) tootmisel oluline pidev andmete kogumine, analüüs ja tootmisprotsessi reaajas jälgimine ja otsuste vastuvõtmine tarkvara poolt, sest sellest sõltub ettevõtte kasumlikkus. Digitaliseerimise all mõistetakse ka tehnoloogiaseadmetest digikaksikute loomist, mis võimaldab protsesse simuleerida ja arendada ning kulusid kokku hoida. Puidutööstusettevõtete digitaliseerimisel ei piirduta ainult tarkvaraarendustega. Kui ettevõtte äriprotsesside juhtimiseks võetakse kasutusele majandustarkvara ehk ERP, siis tuleb see ära siduda ka tootmisprotsessi juhtimisega. Puidulõiketöötlemisprotsess on kiire (100–200 m/min), mistõttu digitaliseerimise eesmärgiks ei ole ainult andmeid koguda, vaid kiirendada otsuste vastuvõtmist ja suurendada tootlikkust ning parandada väljatulekut. Näiteks luuakse saepalgist või saelauast digitaalsed 3D-mudelid ja reaajas toimub infovahetus tootmiseseadmete vahel ning peetakse arvestust toodangu üle. Saeveskites kogub juhtprogramm andmeid tootmisliinidel olevatest seadmetest ja need seotakse kokku terviklikuks protsessijuhtimiseks.

Äriprotsesside ja sealhulgas ka tootmise digitaliseerimisega tagab ettevõtte, et kõigil töötajatel on reaajas (pilves) olemas pidevalt uuendatud värske info, mis vähendab vigade esinemist andmetes. Kvaliteedijuhtimisesüsteemi digitaliseerimisega saab vähendada ka inimlikust eksimusest tootmises tehtud vigu nagu materjalide või toodete kvaliteedinõuetele mittevastavusi.

Järjest keemulise on tootmisettevõtetel palgata tööjõuturult kvalifitseeritud tööjõudu ning kohapealne väljaõpe on aeganõudev ja kulukas, kuna iga kogenud töötaja, kes õpetab välja uut töötajat, ei saa täita oma tööülesandeid tõhusalt ja tootlikult. Hinnatõus, inflatsioon, tarneraskused ja turunõudluse kasv toovad kaasa ka palgakulu suurenemise.

Töökriisi üheks lahenduseks on investeerimine tehnoloogiasse, automatiseerimisse ja tööstusrobotitesse. Robotiseerimine aitab ettevõtetel leida lahendusi nii töökõpuudusele kui toodangu kvaliteedi tõstmisele.

Rohepöörde ja ringmajanduslike põhimõtete rakendamine tööstuses on samuti suurendanud digitaliseerimise vajadust. Tootmishoonete küttesüsteemide ja elektritarbimise jälgimine ja juhtimine pilveteenuse abil võimaldab reaajas või prognoositavast turuhinnast lähtudes kulusid paremini juhtida.

Süsinikuheitmete kohta digiandmete kogumine kogu ettevõtte äriprotsessi jooksul, sh tootmisprotsessil roheleppes ja kliimaeesmärkide saavutamise vajadusest tingitu, et muuta ettevõtete äriprotsessid kestlikumaks, vähendades heitmeid ja saavutada eesmärke, tulenevad programmidest „Fit55“ ja „Süsinikuneutraalne Euroopa 2050“. Metsamaa ja puittoodetes seotud süsiniku kohta tuleb kasvuhoonegaaside IPCC aruandluse kohustusest tingituna igal aastal aru anda.

10.3.1 Metsa ülestöötamise digitaliseerimine ja automatiseerimine

Metsast toodetakse metslangetustraktoriga (*harvester*) ümarmaterjali vastavalt kliendi tellimusele. Metslangetustraktori operaator saab metsaeraldise kaardi GPS-koordinaatidega. Harvester kogub andmeid sortimendi ja mahu kohta koos nende asukohtadega kaardil. Raie tööde käigus määratakse ära puutüvest järkamise teel (joonis 10.52) toodetud okas- ja lehtpuidu palkide kvaliteet sortimentide kaupa – peenpalk, jämpapalk, paberipuit, küttepuit, vineeripakk jt. Reaajas on pilves olemas info langetatud ümarpalkide koguse kohta sortimentide kaupa. Langetatud puutüvest ei ole võimalik toota ainult ühte sortimenti, sest puidustruktuur erineb tüükapalgi, keskosapalgi ja ladvapalgi esinevate puidurikete, sh okste esinemise tõttu. Metsalangeustraktori juhi visuaalse hindamise tulemusena on digitaalses andmevoos kindlaks määratud, kui palju erinevaid kvaliteete ja sortimente palki metsas koguseliselt toodeti. Palke kokku vedava ja virnastava etteveotraktori (*forwarder*) juht kontrollib veel kvaliteedi visuaalselt üle ning parandab digitaalandmeid. Metsas olevasse palgilattu toodetakse sortimendid kliendilepingute alusel ja igal metsaveokile laaditud palgikoormal on e-veoseleht, kus on olemas digitaalsed andmed puidu kasvukoha, koorma päritolu, puidu sertifikaadi (FSC, PEFC), sortimendi

ja koguse kohta. Joonisel 10.52 mõõdab harvester puid ja optimeerib järgatavaid pikkusi, arvutab sortimentide mahud ja salvestab andmed digitaalselt. Need andmed on seotud programmiga ELVIS – e-veoselehtede süsteem veokijuhtidele.



Joonis 10.52 Harvester metsas puid langetamas ja tüvesid palgi sortimentideks järkamas.

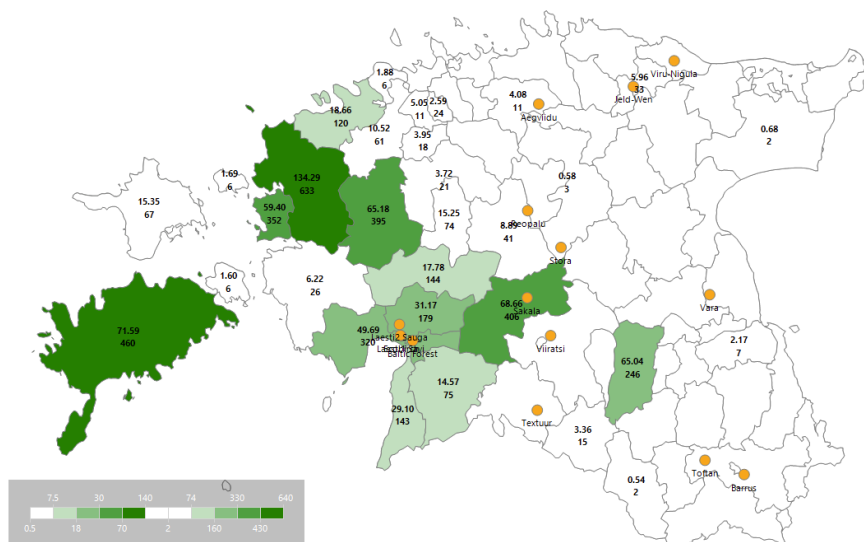
Kui tööstusel on olemas info tuleviku metsaressursi kvaliteedi kohta, siis on võimalik paremini planeerida investeeringuid tehnoloogiasse. Metsade majandamise paberivaba haldamise ja metsas toodetavate puidukoguste reaajas jälgimise eesmärgil on loodud uusi veebi- ja mobiilirakendusi, mis hõlbustavad andmete kogumist ja haldamist pilveteenuse kaudu. Kasutusel on Forestman tarkvara paberivabaks metsade majandamiseks ja raietest tulenevate muutuste tuvastamiseks satelliidilt. Timber on loonud mobiilirakenduse ümarpuidu mõõtmiseks nii virnas kui ka autokoormas ning andmete digitaalseks haldamiseks.

10.3.2 Saetööstuse digitaliseerimine ja automatiseerimine

Põhjamaade saetööstuses toimus tootmise automatiseerimine ja digitaliseerimine kogu tööprotsessi juhtimises juba 1980-ndatel. Metsa üles töötamisel raiutud ja metsas toodetud sortimentidena virnastatud puit laaditakse metsaveokitele tellimuste alusel. Peen- või jämealgikoorem transporditakse digitaalse e-veoselehega koorma tellinud saeveskisse. Palgi varumise analüüsimiseks on Combimill Sakala loonud kaardirakenduse (joonis 10.53), milles on võimalik jälgida, millisest maakonnast koormad pärinesid. Andmebaasis on iga palgi kohta olemas ka kvaliteediandmed. Nii on võimalik analüüsida, millisest piirkonnast tuleb kvaliteetset materjali, kus on

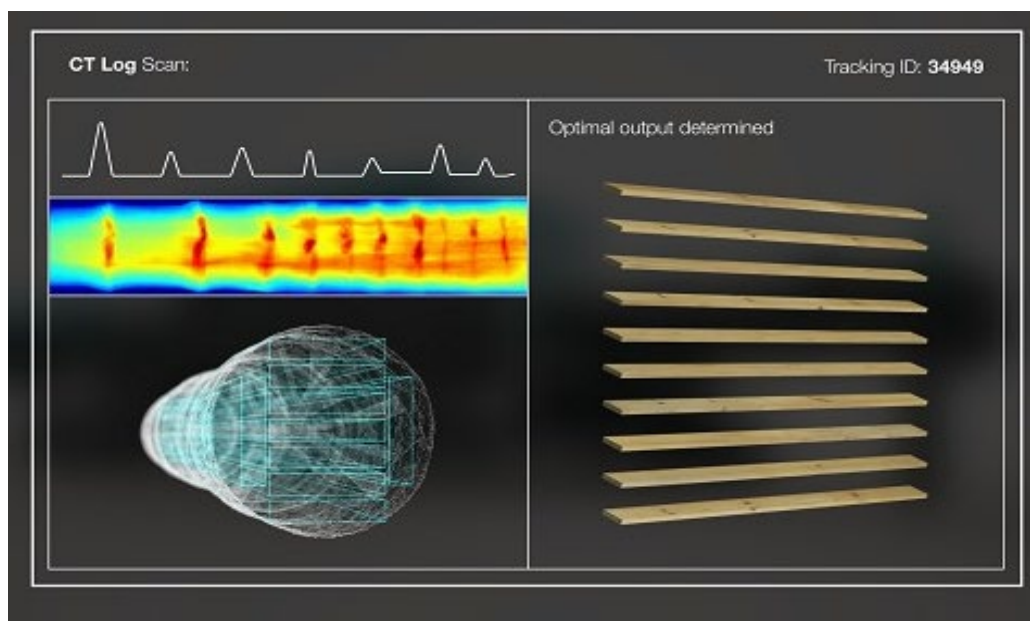
[Home](#) > [Combimill Sakala](#) > [Sakala_Palgitarned](#)

Jäita M3 ☒ True ☐ False	Aasta alates 2022	Kuu alates 9	Aasta kuni 2022	Kuu kuni 11
Jäita teised Saeveskid ☒ True ☐ False				
Jäita TK ☒ True ☐ False	Puuliik Mand	Muuja A&P Mets,Aarman Puit OÜ,Agmer	Sort Kvaliteet A,B,C,D,PRAAK	
Jäita M3 pros ☐ True ☒ False	Tarnija Eesti Kaugmetsaomanike Liit MTÜ	Praak Jäme,Kuiv,Kõver,Lühike,Metall,Mä		



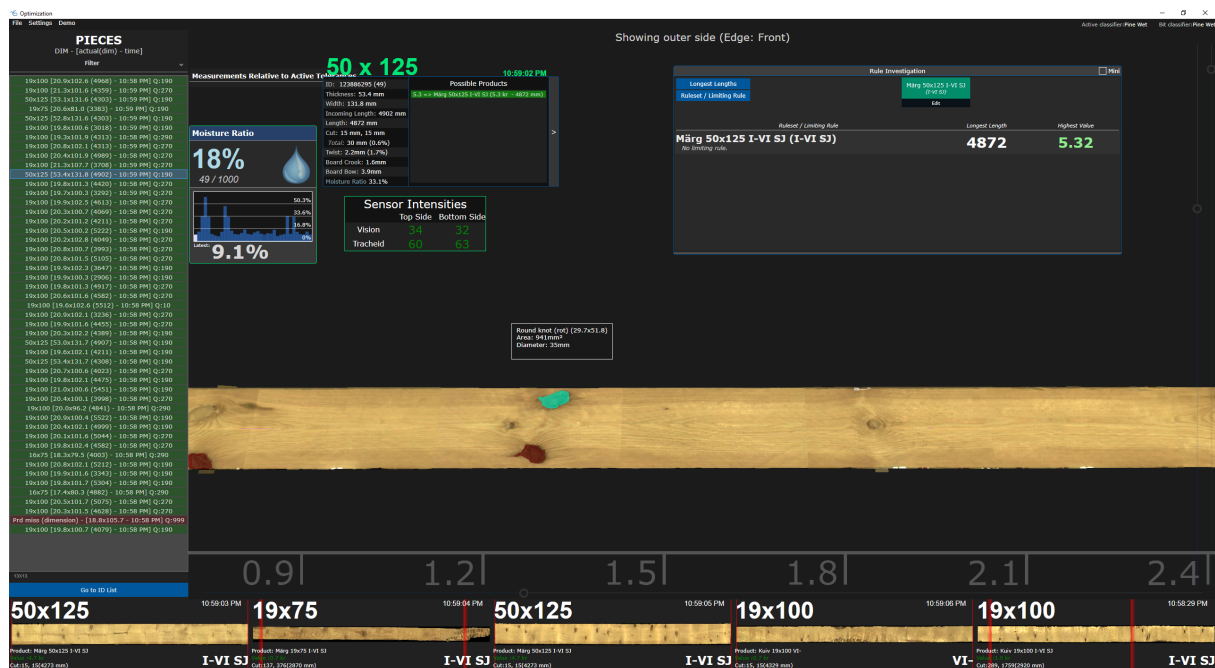
Saetööstuses on äriprotsessid hästi digitaliseeritud, kuna saematerjali toodetakse kliendi tellimuse alusel. Saeveskisse vastu võetud palgid mõõdetakse ja sorditakse palgisorteerliinil palgi kvaliteedi, ladva läbimõõdu täpsusega (0,5–1 cm) ja virmastatakse palgilaos. Palgikoorma vastuvõtul palgilattu mõõdetakse sorteerliinil iga palk koos puukoorega laserikiirte abil üle ja saadakse 3D-mudel selle väliskujust koos puukoorega, oksatüügaste jms ehk luuakse digikaksik. Palgi mõõtmisel kasutatakse ettevõtetes lisaks laserikiirele ka kompuutertomograafiat, millest röntgenikiire abil saadakse palgist veelgi täpsem 3D-mudel koos okste paiknemisega tüves, mis on veelgi detailsem digikaksik. Seega palgisorteerliinil saab iga palk digikaksiku, mille alusel tehakse individuaalne saekava prima väljatuleku arvestusega. Digikaksik, mille üks skanner palgisorteeril loob, salvestatakse koos saekava andmetega infosüsteemi. Tootmistellimuse alusel palgilaost palkide saeveski transpordiliinile suunamisel need kooritakse ja mõõdetakse uuesti üle ja väliskuju järgi tunneb lihtsam skanner kooritud palgi ära, tuvastades varem digikaksikuna skaneeritud palgile iseloomuliku väliskuju (ristlõikekujud, kõverused, oksad), ning rakendub ka palgile algul koostatud saekava, mille alusel palgipööraja keerab palki

täpsete kraadide võrra, et anda saagimisel maksimaalne väljatulek. Microtec-kompuutertomograafi tehnoloogial põhinev palgiskanneri pilt on toodud joonisel 10.54.



Joonis 10.54 Kuvatõmmis Microtec-kompuutertomograafi tehnoloogial põhinevast palgiskannerist.

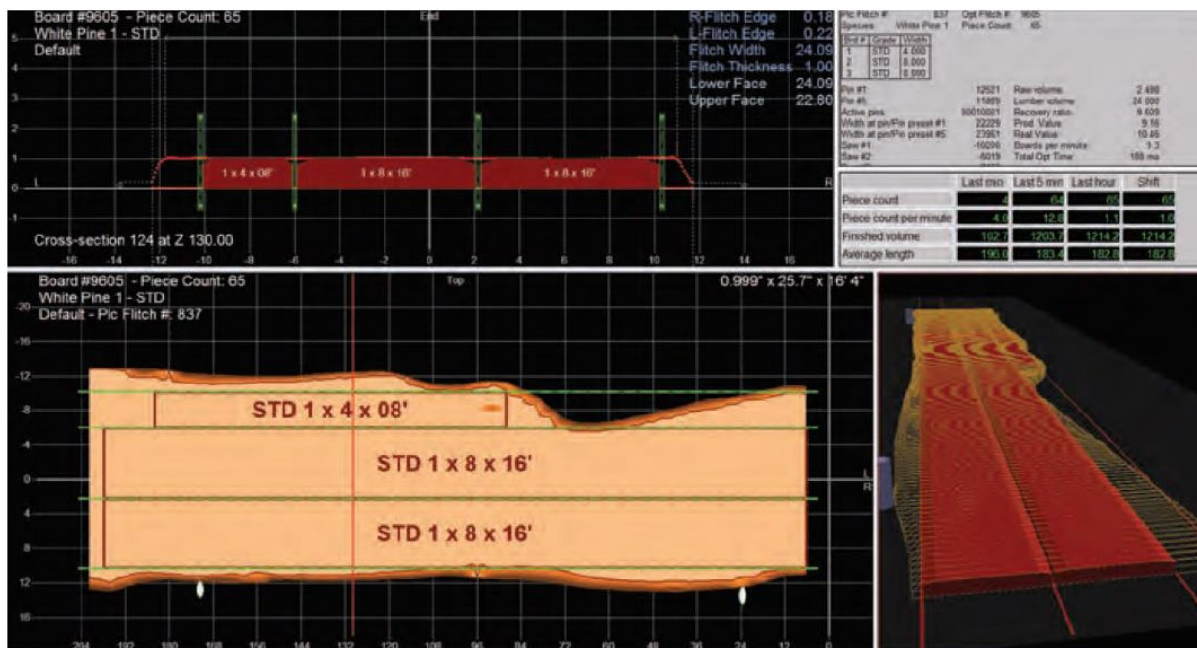
Digitaliseeritud andmed iga palgi kohta võimaldavad tarkvaral teha individuaalse saekava parima väljatuleku saavutamiseks vastavalt toodetavale sortimendile. Saematerjali sorditakse nii märjalt kui ka pärast kuivatamist (kuivamislõhed, kujudeformatsioonid). Märssortimine enne kuivatust aitab vähendada tootmiskulusid, sest tootmiseks kõlbmatu puit ei jõua kuivatisse. Saematerjali saab sortida käsitsi visuaalse vaatlusega, kuid 6 m laua puhul tuleb otsustada kiiresti 1–2 s jooksul ning kõiki puidurikkeid ei jõua sorteerija märgata. Saematerjali sortimine toimub digitaliseeritult kaamerate ja ka kombineeritult kaamerate ja infrapunakiirguriga, kuna lõhesid on keeruline muul viisil märgata. Kaamerasorteerid on õpetatavad süsteemid, mida saab fotode abil treenida eristama erinevaid puidurikkeid. Kaamerasortimise tulemusel pildistatakse iga lauda neljast küljest ja luuakse 3D-mudel 1,5 s jooksul ning otsustatakse kapipimise ehk ristisaagimisega otste äralõikamise vajadus (joonis 10.55). Saematerjali ristilõikamine on majanduslikult ettevõttele oluline, sest see võimaldab nt lõhenenud otsaga saelauast teha veidi lühema, kuid kõrgema kvaliteediga saelaua, mille eest saadakse kõrgemat hinda. Saetööstuse digitaliseerimine võimaldab tootmisseadmete puhul reaajas jälgida tootlikkust (m/min) ja väljatulekut. Saematerjal on mahutoode, mistõttu on oluline tagada infovahetus tootmisprotsessil reaajas, et operaator saaks seadme juures kiiresti otsuseid vastu võtta.



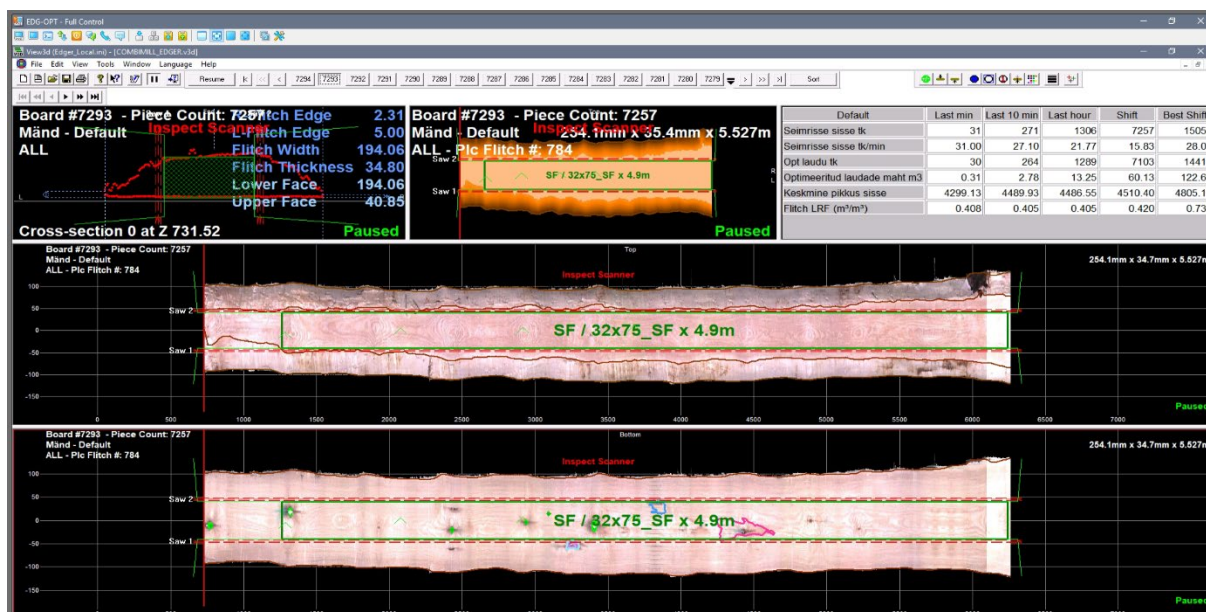
Joonis. 10.55 Kuvatõmmis kaamerasorteerist.

Tegelikult suudetakse tänapäeval juba ka palgisorterites skaneeritud mudelist ära tunda konkreetne laud ning laua kvaliteedi järgi tehakse soovitus palgidiametri valikuks. Näiteks kui konkreetne saekava oli lõigatud palgiklassist 180–185 (ladva diameeter, mm) ning poomkantse laua osakaal oli suur, siis soovitatakse sama kava tulevikus lõigata nt 185–190 mm -st palgist.

Saeveskites optimeeritakse tavaliselt iga äärelaud eraldi, et saada saekavast võimalikult suur väljatulek. Tänapäeval kasutatakse kaamerate ja laseritega varustatud seimreid, mis suudavad optimeerida isegi kuni 70 lauda minutis. Seimrid on enamasti varustatud joonlaseriga, et skaaneerida lauaprofiil ning seejärel optimeerida võimalikult lai laud. Hiljuti tuli turule ka USNR-i pakutav uus Catech seimer, mis on varustatud ka visuaalkaameratega. Esimene selline käivitati 2022. aasta sügisel Norras Moelven Mjösbruketi saeveskis. Combimill Sakala OÜ soetas Eestis esimesena endale sama süsteemi. Visuaalkaameratega seimrite eeliseks on võimalus juba saematerjali servamisel arvestada puiduriketega. Näiteks kui saelaul on sine või mädanik, siis ei ole ratsionaalne see servata saematerjali täiskantseks, vaid tegelikult tuleks optimeerida mahtu: sine ja mädanik on rikked, mis alandavad kvaliteeti samuti nagu poomkant ehk sellisel juhul tuleks see laud jätta võimalikult laiaks ja poomkantseks. Samuti on visuaalkaameratega võimalik tuvastada oksi, mis aitab saeveskil kõige väärtuslikuma kvaliteedi (oksavaba) US osakaalu suurendada. Oksteta saematerjal peaks alati olema täiskantne. Joonisel 10.56 on näidatud *Millexpert BioLuma* saelaua profiil lamellideks lahtisaagimise kavaga. Joonisel 10.57 on näidatud *Millexpert BioLuma Vision* saelaudade profiilid koos lamellideks lahtisaagimise kavaga.



Joonis 10.56 Millexpert Biohuma profiil lamellideks lahtisaagimiseks.

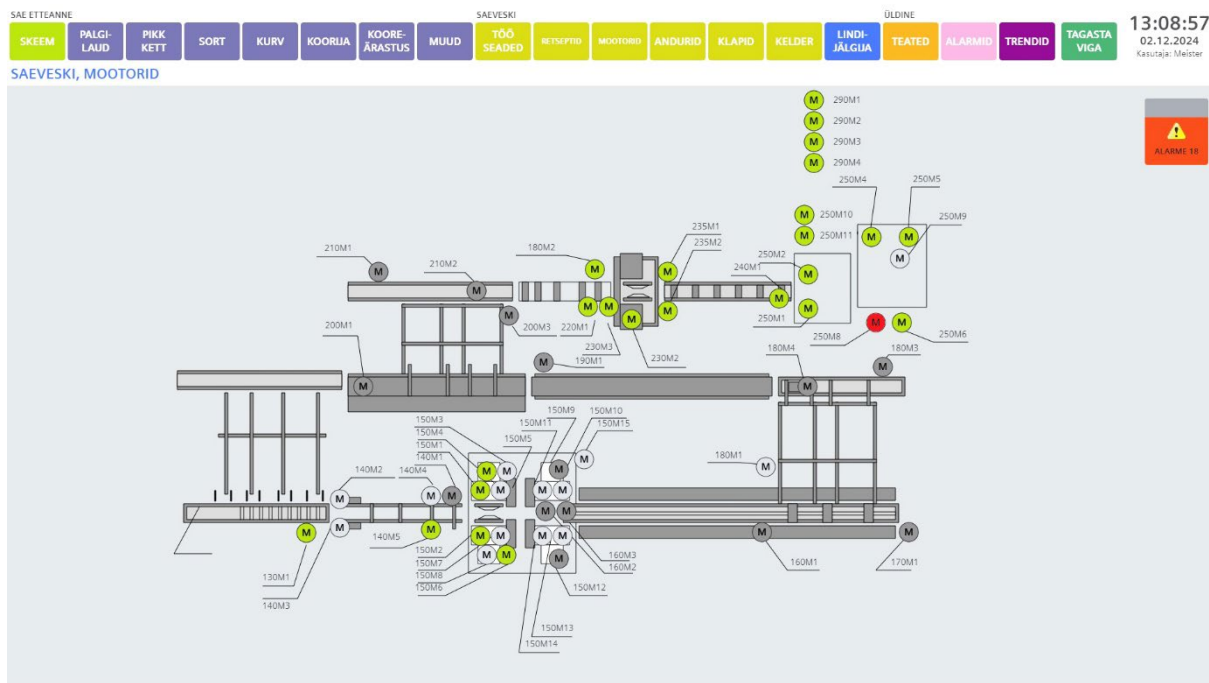


Joonis 10.57 Millexpert Biohuma Vision profiil koos lahtisaagimiskavaga. Foto: S. Tammeväli

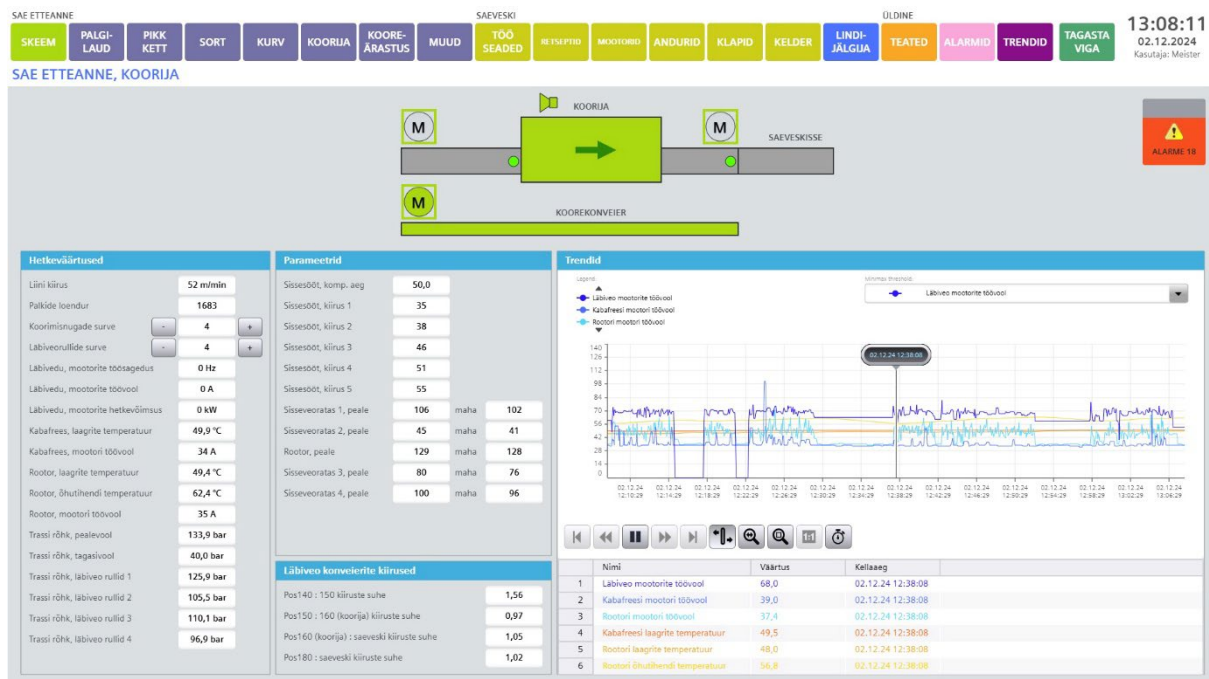
Ennetav hooldus

Ennetavaks hoolduseks kasutatakse tootmisliinide visualiseerimist koos muundurite parameetrite andmebaasiga. Näiteks SIMATIC WinCC Unified veebipõhine platvorm visualiseerib tootmisliine ja sellelt saab reaajajas vaadata, mis liiniosad millise kiirusega töötavad (joonised

10.58 ja 10.59). Lisaks saab seal kujutada ka graafikuna nt mootorite töövoolutugevust (A) ja temperatuuri. Trendide järgi saab vaadata, millistel hetkedel on mootoril koormus suur olnud, samuti näeb, kui mootor ülemäära kuumeneb (põhjuseks võib olla halb jahutus või nt laagri-riike).



Joonis 10.58 Koorimisprotsessi kuvatõmmis. Foto: S. Tammeväli



Joonis 10.59 Koorimisprotsessi parameetrite trendide visualiseerimine. Foto: S. Tammeväli

Ringmajanduspõhimõtete järgimine tootmisjääkide kasutamisel toimub saetööstuses juba aastakümneid, mis võimaldab jälgida tootlikkust ja väljatulekut ning kõrvaltoodangu koguseid. Puukoor suunatakse energiakasutusse saematerjali kuivatamisel vajaliku soojuse tootmiseks. Saepuru suunati varema puitlaast- või puitkiudplaatide tootmisse, kuid kuna nende tootmishud on Eestis vähenenud, toodetakse nüüd sellest peamiselt puidugraanuleid.

Puitmaterjali kohta kogutud digiandmestik võiks olla standarditud, mis võimaldaks järgmiseks töötlemisprotsessiks vajalikud andmed kaubaga kaasa anda, sest siis ei peaks järgmist töötlust tegev tootja materjali uuesti sortima hakkama.

Tulevikus võiks saeveskis kaamerasorteeris kogutud andmed saematerjali struktuuri ja omaduste kohta (sortimisel määratud kvaliteet, oksalisus, lõhelisus jne) liikuda ennetavalt edasi hõõvlitööstusesse või sõrmjätkatud profiilide ehk komponentide tootmisesse. Konkreetset saelauda või -prussi saaks puidusüümuistri järgi identifitseerida ja viia kokku saeveskist kaasa pandud 3D-mudeli andmetega. See vähendaks enne hõõvlit või sõrmjätkuliini skanneri poolt lauade uuesti sortimisele kuluvat aega ja võiks kiirendada otsustusprotsesse, määramaks igale lauale kasutuskohat, ning vähendada praagi ja tootmisjääkide kogust väljatulekut suurendades.

10.3.3 Pidevprofiilpuittoodete ja sõrmjätkatud komponentide tootmise digitaliseerimine ja automatiseerimine

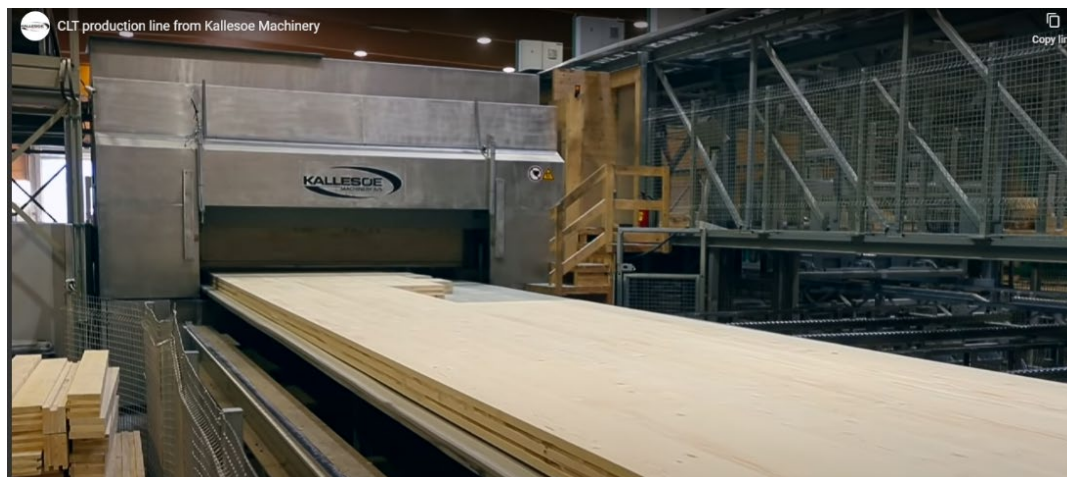
Kalibreeritud saematerjalist võidakse toota erineva pikkusega komponente ka ilma sõrmjätkuta, lõigates oksad lauast välja. Sellisel juhul on korraga tootmisplaanis 2–4 erineva pikkusega toodet, sest 3 või 6 m pikkusega lauast saab 1 m, 1,5 m või 0,6 m pikkuseid tooteid lõigata piiratud arvul. Sõrmjätkamise teel valmistatakse oksavabu tooteid ja selleks tuleb enne sõrmjätkamist lõigata saematerjalist või hõõvelmaterjalist välja puidurikked, sh oksad, lõhed, mehaanilised vigastused. Puidurikete kindlaks tegemiseks on kasutusel Woodeye skanner, mis on tootmisliinil paaris ristlõikeid tegeva kiire kappimissaaga. Woodeye'ga skaneeritud saematerjalist või hõõvelmaterjalist on olemas 3D-mudelid, mida on võimalik kasutada tootmise erinevate tootmisplaanide simuleerimiseks jaoks, et suurendada väljatulekut. Sõrmjätkatud komponentide tootmisel on vaja toota erinevaid tooteid; kas kaks, kolm või neli külge oksavabad. Selleks skaneerib Woodeye, Goldeneye või mõni muu skanner hõõvlis kalibreeritud saematerjal sisse ning programm otsustab 3D-mudeli järgi okste vahelt välja lõikamise üle; väikseim sõrmjätkamise minev oksavaba puuklotsi pikkus sõltub tootest, kuid levinud miinimumpikkus on 120–150 mm. Puuklotsid kogutakse ristlõike alusel konteineritesse ja suunatakse konteineri täitumisel vastavalt tootmistellimusele sõrmjätkuliinile, kus freesitakse mõlemasse otsa sõrmjätkad,

neile kantakse peale liim ja pressitakse kokku tooteks vastavalt tootmisplaanile ning lõigatakse lõplikku pikkusesse. Aknaprofiilide tootmisel pildistatakse üles iga puuklotsi või lamelli ristlõige ning jälgitakse aastarõngaste suunda, nende arvu ja männi lülipuidu osakaalu.

10.3.4 Täispuidu tootmise digitaliseerimine ja automatiseerimine

Täispuidust inseneripuidu tootmine käib tellimuse alusel. Kõigepealt sortitakse saematerjal vastavalt tugevusklassile, kas masinate poolt otpindu pildistades koputusmeetodil helilaine tagasipeegeldumise kiiruse järgi või visuaalselt. Tugevussorditud saematerjalist toodetakse liimpuittala pikkuse järgi sõrmjätkamise ja sellele järgneva hõõveldamise teel lamellid. Lamellid kaetakse liimiga ja laotakse talapressi. Liimitatud talatorik pressitakse horisontaal- või vertikaalpressides kas sirg- või painutatud kujul liimpuittalaks. Liimpuittala lõigatakse saega või CNC-töötlemiskeskuses õigesse pikkusesse. Seejärel toimub tala CAD-mudelitest loodud CAM-programmi alusel liimpuitalasse avade puurimine, soonte freesimine või saagimine. Talade paigaldamine toimub ehitusprojekti järgi, mille aluseks on puithoone 3D-mudel.

Täispuidust ristkihtliimpuitpaneelide valmistamisel lähtutakse ka ehitusprojektist ja selle alusel loodud tootmisdokumentatsioonist. Näiteks projekteeritakse akna- ja ukseavad ning elektri-, vee ja kanalisatsiooni läbiviigud juba seinamoodulisse sisse ja tehakse valmis tehases, mitte ehitusobjektile kohapeal. Tootmisjääkide vähendamiseks on ristkihtliimpuidu tootmisel võimalik digitaliseeritud mudeli järgi laduda liimiga kaetud puidukihid selliselt, et ukse ja akna avadesse puitu ei panda. Sellise uuendusliku tehnoloogilise lahenduse ristkihtliimpuitpaneeli tootrikute pressi ladumisel ja pressimisel on välja arendanud *Hasslacher Norica Timber* koostöös kõrgsageduspressi tootjaga Kallesoe (joonis 10.60).



Joonis 10.60 Hasslacher Norica Timber ja kõrgsageduspressi tootja Kallesoe kulusäästlik ristkihtliimpuitpaneelide pressimisliin, kus avadesse puitu ei panda.



Joonis 10.61 Ristkihtliimpuidu tootmisjääkidest bussiootepaviljoni projekt *ELEMENTary busstop* (S. Pihlak, S. Tuksam).

Ristkihtliimpuidust paneelidest välja lõigatud ukse- ja aknaavad on tootmisjäägid, mille kasutuselevõtuks on vaja nendest luua õigete mõõtmetega 3D-kujutised, et neid saaks CAD-projekteerimisel kasutada uute toodete valmistamiseks (toolid, lauad, bussiootepaviljonid, joonis 10.61).

10.3.5 Plaatmaterjalide tootmise digitaliseerimine ja automatiseerimine

Puidupõhiste plaatmaterjalide (puitlaastplaat, OSB, puitkiudplaat, MDF, vineer) tootmisel lähtutakse kliendi tellimusest. Plaatmaterjale toodetakse konstruktsiooniliseks ja mittekonstruktsiooniliseks otstarbeks ning sise- ja välioludes kasutamiseks. Plaatmaterjale kasutavad kliendid (üld-, auto-, bussi- ja laevaehituses ning mööblitootmisel) vajavad tootearenduseks ja toote 3D-mudelite loomiseks või projekteerimiseks ning tugevusarvutusteks toote tehnilisi andmeid digikujul. Üldjuhul esitatakse andmed tabelina. Tellimuspõhises tootmises peab tootmiseks olema loodud digidokumentatsioon, mis tagab kliendi tellitud toote nõuetekohase valmistuse ja tarne kliendile. Plaatmaterjalide tootmises on digiandmed materjalide, pooltoodete ja valmistoodangu kohta. Digitaliseerimisel on oluline roll toodangu kvaliteedi tagamisel, sest partiide lõikes tuleb tooteid katsetada, et tagada toote tehniliste näitajate vastavus tootedeklaratsioonile või sertifikaadile. Tootmise ja müügiosakonna vahel on reaalajas vaja infovahetust, et omada ülevaadet tellimuse täitmise aja ja tarnetähtajast kinnipidamise kohta.

Plaatmaterjalide tootmises võib viimase etapina toimuda järeltöötlus, kus plaat saetakse lahti detailideks ning selle CAD-mudeli alusel loodud CAM-mudeli põhjal puuritakse või freesitakse CNC-töötlemiskeskuses pesad.

Ringmajandusjätmeid vähendavate tootmispõhimõtete järgmisel on vaja digitaliseerida ka tootmisprotsessi tööetapis või tootmisliinil reaalajas tekkivate jätmete kogused, mis võimaldab langetada kiireid otsuseid jätmetekke vähendamiseks protsessi parandades ning suunata jäätmed ümbertöötlemisse ja taaskasutusse.

10.3.6 Mööblitööstuse digitaliseerimine ja automatiseerimine

Mööblitootmine on valdavalt tellimuspõhine. Mööblitööstuse digitaliseerimisel võidakse piiruda ainult tarkvaraarendusega, nt võetakse kasutusele ettevõtte ERP, millesse võib olla integreeritud ka tootmisjuhtimine. Eritellimusmööbli puhul on probleemiks paljude erinevate toodete tootmine projektipõhiselt, mis ei ole standarditud ning mille korral kasutatakse allhankijaid. Majandustarkvaraga ühildamise keerukuse tõttu toimub tootmise planeerimine ja juhtimine eraldi infosüsteemis ning andmed kantakse sealt majandustarkvarasse ajalise viitega üle, kui tooted on valmis saanud ning on vaja materjal kuludesse kanda ja toode vaja väljastada.

Mööblitootmine algab kavandamisest, mil arhitekti või sisekujundaja dokumentatsiooni või mudeli põhjal luuakse toodete 3D CAD-mudelid, kus lahendatakse konstruktsioonilised koostesõlmed. Kavandamisel loodud jooniste põhjal tehakse hinnakalkulatsioonid müügi ja tootmise jaoks. 3D-mudelite põhjal tehakse tootmise jaoks detailide 3D-mudelid, tehnilised joonised ja koostejoonised. Detailide CAD-mudeleid kasutatakse CAM-programmide tegemisel CNC-töötlemiskeskuste jaoks. Tavapäraselt erinevate tootmisseadmetega reaalajas infovahetust ei toimu. Seadmeoperaatorid teenindavad CNC-töötlemiskeskust ja täidavad tootmistellimusi ning sisetranspordiga viiakse valmisdetailid järgmisse töökohta töötlemiseks või koostamiseks. Kui CNC-töötlemiskeskusi teenindavad robotid, siis on vajalik infovahetus seadmete vahel reaalajas, sest robot toob materjali järgmise tellimuse jaoks ja viib valminud detailid järgmisse töökohta. Uuenduslikumad mööblitootmise digilahendused põhinevad mobiilirakendustel, mis võimaldavad kasutajaliidese abil jälgida töökohti reaalajas ning näha seadmete koormatust.

Mööblidetailide markeerimine prinditavate ruutkoodidega (QR) võimaldab materjale, pooltooteid ja valmistootmeid tootmises kergemini jälgida, millised materjalid või pooltooted on liikunud toote koostamisse või pakendamisele ning tuleb laost väljastada. Kuna mööblitooted sisaldavad

erineval arvul detaile, siis on kompleksuse tagamiseks pakendamisel oluline, et nii valmis detailid kui ka koostamiseks vajaminev furnituur oleksid komplekteeritud ning vajalik paigaldusjuhend pakendisse lisatud.

10.3.7 Puithoonete tootmise digitaliseerimine ja automatiseerimine

Ehitusprojektide andmete tootmiseks, koordineerimiseks ja haldamiseks projekti kogu elutsükli jooksul kasutatakse BIM-i (*building information modelling*). BIM-mudel koondab 3D-mudeli ja metaandmete abil kõik hoone komponendid ühte kesksesse kohta, mis sisaldab selle hoone projekteerimiseks, ehitamiseks ja hooldamiseks vajalikku teavet. BIM on tehnoloogia ja tööprotsesside kombinatsioon, mis võimaldab disainilahendusi virtuaalse mudeli abil hinnata, analüüsida ja kohendada vastavalt nõuetele ja vajadustele. Puithoone digitaliseeritud elutsükkel algab kliendi tellimusel valminud arhitektuurse 3D-mudeli projektiga, mille alusel toimub detailplaneeringu arutelu ja kinnitamine või juba ehitusloa taotlemine. Kui vajalikud load olemas, tuleb kliendil leida ehitusfirma ja edastada neile 3D-mudel ja ehitusprojekti täisdokumentatsioon. Ehitaja tellib vastavalt projektile allhankijatelt vajaminevad liimpuidust ehitusdetailid, ristkihtliimpuidust paneelid, puitkonstruktsioonid (puitsõrestikuga seina-, põranda-, laemoodulid, katusefermid jne). Allhanget tegeval puithooneid või puitkonstruktsioone tootval firmal tuleb ehitusprojekti alusel olemasolevad 3D-mudelid tootmistarkvaraga läbi töötada konstruktsiooniliste sõlmede tehniliseks projekteerimiseks ja tootmisdokumentatsiooni ning CAM-programmide tegemiseks CNC-töötlemiskeskustele. Arhitekt valib puithoonete ehitusprojekti teostamiseks tellijaga kooskõlastatult sobilikud ehitusmaterjalid, kuid tehnoloogiliste sõlmede lahendamine jääb ehitaja ja puitkonstruktsioonide või ehitusdetailide tootja tööks. ArchiCAD-is või mõne muu projekteerimistarkvaraga digitaliseeritud puithoone arhitektuurne 3D-mudel ja tehniline dokumentatsioon on puitmaja-, liimpuittalade-, ristkihtliimpuitpaneelide tootjatele aluseks tootmiseks vajaliku digitootmisdokumentatsiooni loomisel. Vastavalt ettevõttes olemas olevale tootmistehnoloogiale, tootmisliinidele ja seadmetele tehakse valmis 3D-mudelid puitkonstruktsiooniga seina-, põranda-, lae- ja katusemoodulite tootmiseks. Nendest moodulitest puithoone püstitamiseks ja olemasolevate kommunikatsioonidega ühendamiseks toodetakse ka tehniline dokumentatsioon puithoone püstitamiseks ehitajale. Seega on lõpuks puithoone 3D-mudelil palju erinevaid kihte, mida eri tööetappides muudetakse detailsemaks. Digitaliseerimine võimaldab kokku hoida tootmiskulusid töökohtade, töötlemisaja ja ka materjali arvelt. Puithoone elutsüklist tulenevalt on vaja leida viis, kuidas digiandmeid säilitada aastakümneid, et pärast hoone kasutusea lõppu oleks hoone lammutamisel kogu selleks vajalik

dokumentatsioon olemas. Seni on puithoonete lammutamine toimunud kopaga varustatud traktoriga, kus hoone mehaanilisel purustamisel saadakse raskesti taaskasutatav materjal, mis koosneb purustatud puidust, metallkinnitustest, krohvist, betoonist, kividest, terasplekist jms. Materjalide eraldamine järgneva purustamisega on küll võimalik, kuid väga töömahukas ja suure energiakuluga protsess, mistõttu ehitusjäätmeid kasutatakse kas energiatootmiseks või pinnasetäiteks või ladustatakse prügilasse.

Ringmajanduslik lähenemine tuleb võtta uueks suunaks ka puithoonete elutsükliks. Kui puithoonest on olemas digitaalne infomudel, siis on võimalik selle hoone lammutamisel ehitusmaterjalid ja inseneripuidust ehitusdetailid (aknad, uksed, liimpuittalad, riskihtliimpuitpaneelid) suunata korduvkasutusse teiste hoonete ehitamisel (akende kasutamine kasvuhoonetes, puidu kasutamine kuuri ehituses jne). Ringmajanduslike puitkonstruktsioonide projekteerimiseks on Euroopa Komisjon algatanud ka mitu projekti, analüüsima varem eri piirkondades ehitatud puithoonete koost lahti võtmise meetodeid 3D-mudelina loodud simulatsiooni abil, mis võimaldaks langetada paremaid otsuseid ehitusdetailide võimalikult väheseks kahjustamiseks lammutustööde käigus ning edasiseks korduskasutuseks.

Ehitise digimudelile ehk BIM-ile üleminekul saab hoonetega siduda hiljem ka rajatised nagu näiteks teed või sillad. Digimudelile üleminekul on võtmeisikuteks ehitiste omanikud ning tellijad, just neist algab edukas ja tõhus BIM-i kasutuspraktika.

Tehasemajade tootmise automatiseerimine

Puithoonete ehitusel kasutatakse laialdaselt puitsõrestikkonstruktsioone. Puitsõrestikkonstruktsiooniga hoone ehitamine objektil välioludes on töömahukas käsitöö tõttu ning puitsõrestik vajab ehituse ajal kaitset sademete ja nendest põhjustatud niiskuse eest. Tehnoloogiliselt on kiirem lahendus toota puithoone seina-, lae-, põranda- ja katusekonstruktsioonid eraldi moodulitena tehases ja paigaldada kraanaga objektile. Tehasemajade tootmisel kasutatakse seina, põranda, lae ja katuse tootmiseks eraldi tootmisliine. Puitsõrestikkonstruktsiooniga välis- ja siseseiinte koostamiseks mõõdusaetud detailidest (prussidest) on kasutusel naelutusrobotid või naelutuspüssid. ETH Zürich on teadustöö raames uurinud võimalusi puitkonstruktsioonide ehitamiseks robotitega (joonis 10.62).



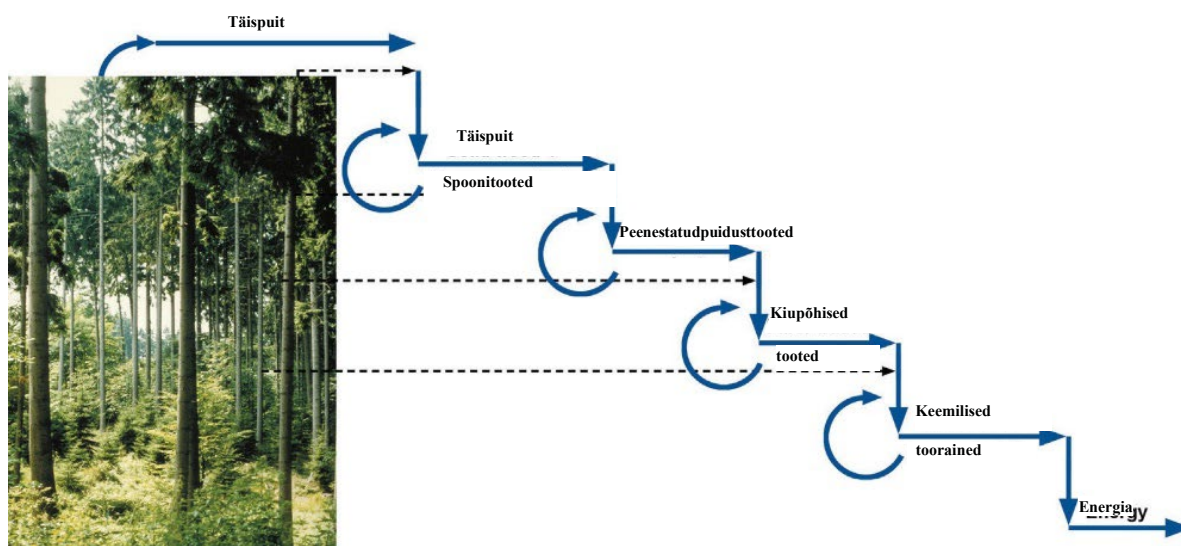
Joonis 10.62 Puitkonstruktsioonide ehitamine robotitega ETH Zürich.

10.4 Puidu kaskaadkasutus

Ringmajanduse põhialuseks on toodete ja materjalide kaskaadkasutus (joonis 10.63), mis võimaldab nii tootmisjääke kui ka tarbimisjärgseid jäätmeid ümber töötada ja neist uusi tooteid valmistada.

Puit on üks tulevikumaterjalidest ja pakub võimalusi nii värskelpuidu, vanapuidu ja puidujääkide nii mehaaniliseks kui keemiliseks väärimiseks. Iga kasvav puu seob süsinikku ja 50% igast puutüvest on süsinik. Puidu kui tooraine hind on viimastel aastatel tõusnud. Järgmiseks väljakutseks on puidu kaskaadkasutus, mis tähendab seda, et vanapuidule peab otsima uusi kasutusvõimalusi puidupõhistes toodetes. Puidu kaskaadkasutuse kohta võib tuua lihtsa näite vanade puithoonete lammutamisest. Kui lammutatakse mõni vana palkhoone, siis tuleks vaadata, kui palju palke on terved ja bioloogiliselt kahjustamata, ning sortida need eraldi virna. Puidu tugevusomadusi saab visuaalselt hinnata või puurida 3 mm ava, kasutades resistograafi (*resistograph*), mis väljastab graafiku, millelt on näha, kas palgi ristlõikes on selliseid mädanikuga kohti, mis tugevusomadusi nõrgestavad. Palke tuleks kontrollida ka metalliotsijaga, et leida üles metallkinnitusvahendid ja nende asukohad palgil märgistada. Visuaalse kontrolli läbinud vanu palke saab kasutada teiste palkhoonete renoveerimisel. Vanast puidust võib saagida laudu ja lamelle, mis pärast hõõveldamist ja toorikuks kokku liimimist sobivad nt mööbli valmistamiseks. Üheks trendiks on ka vanapuidust või kunstlikult vanandatud puidust kappide, laudade jm valmistamine. Vanapuidust on kaskaadkasutuse madalamatel astmetel võimalik toota puidulaastu puitlaastplaatide jaoks või puidukiudu isolatsioonimaterjali valmistamiseks. Peenestatud puidust eraldatud puidukiududest saab keemiliste tehnoloogiatega toota keemilist tselluloosi ja sellest valmistada kiupõhiseid tooteid – paberit, kartongi ja sellest omakorda laine-

pappi. Toiduainetööstus kasutab keemilisest tselluloosist valmistatud pakendimaterjale joogitööstuse pakendites. Puidukiududest saab valmistada termoplastiga segatuna biokomposiite, mis on vastupidavad väliskeskkonnale ning kasutatavad terrassimaterjalina. Puidujääkide keemilisel väärandamisel saab komponentideks lahutamise teel eraldada ekstraktiivained (tallõli) tselluloosi, hemitselluloosid ja ligniini. Eelhüdrolüüsitud puidukiududest saab edasise keemilise väärandamise teel toota keemilist tselluloosi, mida saab kasutada atsetaat- ja viskooskiust tekstiilmaterjalide tootmisel. Hemitselluloosidest toodetakse ksülitooli toiduainetööstuse tarbeks. Ligniini saab kasutada rohkem kui 50% fenooli asendajana fenoolformaldehüüdide puiduliimides. Ligniinist ja tselluloosist saab toota biopolümeere või peenkeemiatooted, mis asendavad fossiilset päritolu toorainest valmistatud tarbeplaste või toidupakendites kasutatavat kilet. Puidujääkidest saab keemiliseks tooraineks väärandamise astmel toota kütuseid ja energiat.



Joonis 10.63 Puidu kaskaadkasutus. Joonis: ajakiri „Kõik tööstustehnikast“, 2021

10.5 KORDAMISKÜSIMUSED

1. Mille poolest erines varem kasutusel olnud AutoCAD 2D programmis esitatud tooteinfo AutoCAD 3D programmis esitatust?
2. Mis puudused olid üldostarbelistel 3D CAD-programmidel võrreldes mööblitööstuse jaoks spetsiifiliselt arendatud tarkvaraga?
3. Kas IMOS tarkvara sobib eritellimusmööbli tootmiseks?
4. Kuidas defineerib Woodwork for Inventor programm pealistatavate mööbliplaatide külgpindasid ja külgservi ning sisu?
5. Millised võimalused CAM-töötlusteks on kasutusel TopSolidWood programmis?
6. Mille poolest erineb tööstus 4.0 tööstus 3.0-st?
7. Mitmendal kohal on Eesti DESI indeksi kohaselt digitehnoloogia rakendamisel tööstuses?
8. Milliseid aspekte tuleb tööstus 4.0 rakendamisel ettevõtte tasemel arvesse võtta?
9. Mis on levinumad vead tööstus 4.0 evitamisel ettevõttes?
10. Mis on olulisemad tehnoloogiad ja märksõnad, mida Tööstus 4.0-ga seostatakse?
11. Nimetage tööstus 4.0-ga sarnased tööstuse digitaliseerimisele suunatud riiklikud algatused Hiina RV-s ja USA-s.
12. Kas ja kus digitandmete kasutamine puidu omaduste, teostatud protsesside jms osas võiks anda suurimat efekti ahelas puidu langetamine metsas – saekaater – kuivati – hõõvliitööstus – puitmaja elementide tootmine tehases – majade paigaldamine – jäätmete taaskasutus (mitte põletamine).
13. Kui suuri sidekiirusi võimaldab 5G-mobiilsidetehnoloogia ja kuidas suhestub see Eesti püsivõrkudes tavapäraselt pakutavate internetikiirustega?
14. Kas ettevõttes kasutatavate tööriistade seisundi ja kasutusmäära jälgimiseks sobib paremini mMTC või URLLC võrguprofiil?
15. Mis võimalusi loob 5G-võrgu viilutamine e *network slicing*?
16. Miks on tulevikus kasulik asendada tootmisettevõtetes WiFi juhtmevaba side 5G-tehnoloogial baseeruvaga?
17. Kas puidumaterjali andmestik on standarditud?
18. Kuidas on digitaliseeritud ja automatiseeritud metsa ülestöötamise protsess?

19. Kuidas on digitaliseeritud ja automatiseeritud saetööstuse tootmisprotsess?
20. Kuidas on digitaliseeritud ja automatiseeritud pidevprofiilpuittoodete- ja komponentide tootmisprotsess?
21. Kuidas on digitaliseeritud ja automatiseeritud täispuidust toodete tootmisprotsess?
22. Kuidas on digitaliseeritud ja automatiseeritud plaatmaterjalide tootmisprotsess?
23. Kuidas on digitaliseeritud ja automatiseeritud mööbli tootmisprotsess?
24. Kuidas on digitaliseeritud ja automatiseeritud puithoonete tootmisprotsess?
25. Mis on BIM?
26. Kas puitmajatootmise jäätmeid (sh OSB-plaadid, liimpuidujäätmed) sobiksid põletamise asemel sisendiks keemiatööstusele?
27. Kas andmed toorme päritolu ja keemilise koostise kohta (liimide jms sisaldus jäätmetes) võiks olla olulised edasises puidukeemiaprotsessis?
28. Kas andmetel on mingi roll puitmajaehitusjäätmete kasutamisel jäätmekäitluses puidukeemia abil?
29. Milles seisneb puidu kaskaadkasutus?

ALLIKAD

Internetiallikad

Autodeski toodete AutoCAD LT AutoCAD, Fusion 360 tutvustused kodulehelt [Autodesk | 3D Design, Engineering & Construction Software](#)

AutoDesk Inventor koduleht [Inventor Key Features 2022 | Upcoming Advanced Features 2023 | Autodesk](#)

Woodwork for Inventor koduleht [Woodwork for Inventor – Assistant for professionals](#)

TopSolid koduleht [CAD software - CAM and ERP software - TopSolid](#)

SolidWorks'i lisaprogramm Swood: <https://www.solidworks.com/search?wocw=swood>

Constrained block käsklus ToPSolid <https://help.topsolid.com>

IMOS Element manager andmebaasi tutvustav video - imos 12 0 episode 5 – The Element Manager – data maintenance quickly and efficiently [EN] <https://www.youtube.com/watch?v=Vr21IwggSPI>

Eesti tööstuspoliitika roheline raamat https://www.koda.ee/sites/default/files/content-type/content/2018-01/toostuspoliitika_roheline_raamat.pdf.

OECD tootmisindeks (MEI) 2020 III kvartali tulemused.

<http://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=90#>

Euroopa Liidu ManuFuture tehnoloogiaplatvormi visioonidokument 2030 aastaks <http://www.manufuture.org/strategic-research-agenda/vision-2030/>

EL aastakonverents Manufuture2017 ,TTÜ 2017 <http://manufuture2017.eu/>

USA 14 juhtiva uurimisinstituudi võrgustik „*Manufacturing USA*“ <https://www.manufacturingusa.com/>,

Eckelman, C. Textbook of product engineering and strenght design of furniture. Prude University, West Laffayette, Indiana. 2003.

Hasslacher Norica Timberi Kallesoe kõrgsageduspressiga ristkihtliimpuidu tootmisliini lahendus (<https://kallesoemachinery.com/press-lines/clt-press-lines/clt-press-line/>

Tööstuse digitaliseerimise konverents Industry 4.0 <https://industry40.ee/>

Euroopa Komisjoni digitaalmajanduse ja -ühiskonna DESI indeksi <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/digital-economy-and-society-index-desi>.

Nutika tootmise tuumiktaristu (SmartIC), <http://smartic.ee/>

Ristkihtliimpuidu tootmisjääkidest bussiootepaviljon (Sille Pihlak, Siim Tuksam) <https://ehitusest.ee/wp-content/uploads/sites/2/2021/09/bussipeatus-veel-1-pilt.jpg>

ETH Zürich puitkonstruktsioonide ehitamine robotitega <https://www.ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2018/03/spatial-timber-assemblies.html>

BIM mudel [Building Information Modelling BIM | Woodhouse Workspace](#)

[Toostustehnika-v.pdf \(eestiturundusagentuur.ee\)](#) Jaan Kers „Tihe konkurents tooraine pärast annab eelise neile, kes väärindavad seda enim“ 2021,

Puidukeemia ja biomassi väärindamine, Puidukeemia.ee

REGISTER

- 2D-modelleerimine, 605
2D-programm, 605, 642
3D-graafiline liides, 619
3D-programm, 606
5G-mobiilsidetehnoloogia, 648
abrasiivlõikeriist, 29
adhesioon, 268, 461, 545
altlõikefrees, 18
animatsioon, 629
anisotroopsus, 12, 29, 210
asjade internet, 645
atmosfääriõhk, 173
automaatne detailijoonis, 613
avatud pooridega pinnaviimistlus, 476
baseerimine, 136, 240
BIM, 662
biokomposiit, 665
Bisoni trummelkuivati, 226, 345
Bison-Mende kalanderpress, 351, 352
Büttneri kuivati, 226, 345
CAD-programm, 608, 609, 619, 642
CAM-programm, 607, 617, 619, 635, 636, 641, 642, 659, 661, 662
CIELAB värvusmudel, 507
defibraatorseade, 363
dekoratiivlaminaat, 393
delaminatsioon, 337
digidokumentatsioon, 660
digikaksik, 644, 646, 648, 650
digitaliseerimine, 644, 650, 662
doomino-puittüübel, 573
eelpressimine, 331
eerung, 597
eesmine külglõikeserv, 20
ehitusliimpuit, 288
ekspluatatsiooniniiskus, 239
ekstrusioonimeetod, 511
ekstrusioonplaat, 354
ekstrusioonpressimine, 354
ekstsentriktõmmits, 561
emulsioonpolümeer-isotsüanaatliim, 276
ennetav hooldus, 656
epoksüliim, 276
eraldusaine, 347
eritöötlus, 618
esinurk, 22
esitahk, 20
eskiis, 627
etteandekonveier, 443
ettelõikusfreesimine, 384
etteveotraktor, 651
e-veoseleht, 651
fenoolformaldehüüdliim, 321
fenoolformaldehüüdvaik, 275
fibrilleerimine, 363
formaldehüüdliim, 274
frees, 29
freesagregaat, 388
freesimis-prussimis-saagimismasin, 124
füüsikaline kuivatus, 531
hambavahe täitumisindeks, 41
harktapp, 575, 576
HDF-paneel, 597
hemitselluloos, 173, 229, 232, 665
horisontaalne formaatsaag, 378
hulknurkne laast, 26
höövelspoon, 141, 142, 397
hüdrauliline käärloikur, 19
hüdrokinnitus, 62
ilmestamismoodul, 609, 622
irdoks, 115
isotsüanaatvaik, 346, 367
jooditest, 264
jugapealekandmine, 515
juhtblokk, 637
järeltöötlus, 10, 539, 661
järjestikliide, 400
kaamerasorteerid, 654
kahanemiskoefitsient, 247
kahanemisvaru, 247
kaldkiulisus, 114, 198
kaldteritusnurk, 24
kalibreerimine, 458
kamm, 255
kantimine, 383
kappimine, 108, 131
654
karbamiid, 347, 352, 470, 488
karbamiidformaldehüüdliim, 321, 354
karbamiidformaldehüüdvaik, 275
kardinlakkimine ja -värvimine, 513
kardin-tüüpi liimitamiseade, 278
kastitapp, 576
kattevoime, 499
keeltapp, 575
keemiline kõvenemine, 533
keemiline tselluloos, 664, 665
kergesti lenduvad ühendid (VOC), 489
kergtalad, 296
ketashakkur, 83
ketasraiemasin, 14
ketassaagimine, 37
ketassaed, 43
kettfrees, 251
kettfreesimine, 52
kettkarussell, 441
kiirlõiketerased, 30
kilemoodustite liigitus, 470
kinemaatiline kohtumisnurk, 38
kinemaatiline laine, 53
kinemaatiline nurk, 22
kiuvaiba formeerimine, 364
kiuvaiba pressimine, 369
klaasiliistud, 440
klapplaad, 589
kohesioon, 270
kolorimeeter, 508
kombineeritud sortimine, 108
komposiitplaat, 338
kompuutertomograafia, 653
konsoolpink, 408

konstruktiivne baaspind, 244
kontaktkuivatid, 345
kontaktmeetodid, 499
kontaktnurk, 462
kontuurnurk, 22
konvektiivkuivati, 345
kooniline freesimine, 50
koostatav frees, 57
koosteaeg, 272
koostebaaspind, 244
koostekruviga tüübelühendus, 561
koost, 240, 622, 624, 627
koostumudel, 618
korduvtöötlusagregaat, 389
korvsahtel, 582
kreppimine, 383
kriitiline pinnaenergia, 463
kruntimine, 501
kruvitüübelmagnettõmmit, 570
kuivamiskahanemine, 176, 177, 238
kujufreesimine, 51
kujupindade lihvimine, 91
kulunorm, 499
kuumpress, 286, 335
kuumpressimine, 332, 369
kõmmeldumus, 117
kõrglegeeritud tööriistateras, 30
kõrgsageduspress, 287, 288
kõrgsurvepihustus, 520
kõrgsurvelaminaat, 375
kõrgsurvepihustamine õhusegamisega, 522
kõvad sulamid, 30
kõva plaadi kuumpressimine, 365
kõvasulam, 31
kõvendi, 322, 347
kõverjooneline lahtilõikus, 105
käsilihvimine, 456
käsipeitsimine, 467
käsipneumopihustus, 516
kööginurgakapi süsteem, 585
küberfüüsikaline süsteem, 643
külmpressid, 284
laast, 19
laastu liikumise tasapind, 22
laastumurdik, 27, 92
laastusegisti, 348
laastusuunaja deflektor, 428
laastuvaiba laotamine, 349
lahkamissaag, 44
lahtilõikuskaart, 640
lahtilõikuskaava, 378, 381, 382, 404
lahustipõhine peits, 466
lailintlihvmasin, 401
lailintlihvpink, 88
lahusti, 483
lakk, 475
lamell, 253, 256, 270, 272, 659
lamello-tüübel, 573
lamelltüübel, 565, 566, 573
laminaat, 340, 375, 393
laserpositsioneerimisabi, 412
laserteritus, 37
latthing, 581
laupfreesimine, 51
LED-positsioneerimisabi, 412
LED-valgustid, 593
legeertööriistateras, 30
lehthing, 581
lehtmetall, 631
lengitöötus, 435
ligniini, 141, 208, 232, 365, 449, 665
lihtlõikus, 103
lihvimine, 85
liighajumine, 500
liikumistasapind, 22
liimi viskoossus, 324
liimieemaldusnuga, 390
liimimispress, 283
liimpuittala, 256, 289, 659
lintsaagimine, 46
lintsaemasin, 48
lukupesa freesimine, 432
luumen, 173
lõikamise tööliikumine, 18
lõikejõud, 16
lõikenuga, 29
lõikenurk, 22
lõiketabel, 630
lõiketasapind, 21
lõiketrajektor, 19
lõikevõimsus, 21
lõõkmutriga tõmmitad, 564
lüliti, 594
madalsurvegapihustamine, 518
mahtuvusmeetod, 300, 301
mahutoode, 650
mahutusmööbel, 555
manipulaator, 443
masinlõikeriistad, 29
materjalide spetsifikatsioon, 609
mehaaniline fraktsioneerimine, 350
melamiinformaldehüüdvaik, 275
melamiinlaminaat, 375, 383
melamiinplaat, 379, 380
metaandmed, 605, 606, 610, 619
metalltüübel, 561
metsalangetustraktor, 651
musttoorik, 246, 266
mõlu, 114, 116, 146
möötenõel, 298
möötesensor, 434
möötmete muutumise koefitsient, 247
mädanik, 113, 116, 303, 655
märgamine, 268
mööblihing, 577, 578, 580
mööblijal, 590, 592
müügikonfiguraator, 633
nakketugevus, 268
nelikanthöövel, 67
nelikanthöövelpink, 441
nesting-CNC-pink, 376
nesting-operatsioon, 410
niiskusgradient, 187
niiskustumõõtur, 263, 301
normaaltasapind *N*, 22
null-liimliide, 386
nurgatõmmit, 565
nutikas masin, 644
nõrk pinnakiht, 269
oksüdatiivne kuivamine, 533
optimeeriv järkamissaag, 261
orienteeritud laastuga plaat, 339, 355
otsalõhe, 270
otsalõikesaag, 388

otseõli, 471
 otseõli ja sünteetilise värnitsa segu, 471
 otsfrees, 59
 painttootmissüsteem, 603
 paksushöövel, 67
 palgisinavus, 98, 116
 palgiskanner, 96, 97
 palgisorteerliin, 653
 parafiin, 347
 Parallam™, 288, 294, 295, 296
 parameetriline, 606, 609, 626, 636
 parempöördfrees, 18
 patineerimine, 521
 pealekandmise efektiivsus (PKE), 500
 pealõikeserv, 20
 peithinged, 581
 peits, 464
 peitsimine valtsirullidega, 468
 pendellauaga pink, 408
 perioodiline kuumpress, 351
 pidevpressid, 351, 352
 pigment, 478
 pihustus elektrostaatilises väljas, 526
 pihustusmeetod, 499
 pihustuspeitsimine, 468
 pikendatav laud, 589
 pikikaardumus, 114, 117, 119
 pinnaenergia, 268, 461, 462, 463, 464
 pinnalihvimine trumlaga, 458
 pinnalihvimine lihvimistalaga, 459
 pinnaspoonide õmblemine, 313
 plaatmaterjali lahtilõikus, 8
 plokkuks, 430
 pneumaatiline fraktsioneerimine, 350
 polümeriseeritud õli, 471
 polüuretaanliim, 275
 polüvinüülatsetaatliim, 277
 pool-poollega T-liide
 rõõplukk, 575
 poomkant, 104, 107
 portaalpink, 408
 profiilitsenter, 629
 profiilsaagimine, 124
 protsessijuhtimine, 650
 prussimine, 103
 puhastoorik, 245, 246, 266
 puhastusrullid, 390
 puidu laastustamine, 14
 puidu puurimine ristikiudu, 14
 puidu ristsaagimine, 13
 puidu tasakaaluniiskus, 210
 puidu tugevusklass, 302
 puidugraanul, 658
 puidukiudude lahtirebestumine, 15
 puidulõhestamine, 13
 puidupõhised plaatmaterjalid, 337
 puidurakk, 12
 puitkiudplaat, 360
 puitlaastplaat, 353
 puitsõrestik, 663
 puittüübel, 572
 pundumine, 176
 puur, 29
 pärietteanne, 15, 416, 417
 pööratud-järjestikliide, 400
 raadiuskraabits, 389
 raalintegreeritud tootmine, 604
 raalprojekteerimine, 603
 raalvalmistus, 603
 raamatliide, 399
 raamaturiiul, 596
 raamuks, 430
 rakuseina küllastuspiir, 174
 rakuõõs, 173
 rasterlaud, 410
 reaalne lõiketera, 21
 reflektomeeter, 506
 resistograaf, 664
 resortsinoolformaldehüüd, 275
 ressursiplaneerimissüsteem, 644
 rihthöövel, 66
 ringsaagimine, 105
 ristagregaat, 414, 419
 ristkihtliimpuit, 280, 285, 288, 291, 659, 668
 ristkihtliimpuitpaneel, 659, 662
 ristlihvimine, 458
 rootorkoorimispink, 100
 rullvaltsidega pealekandmine, 511
 ruumiplaan, 595
 rõhugradient, 187
 ränipuit, 114, 198
 räsamine, 13
 kastitapp, 576
 saag, 29
 saagimine, 37
 saematerjali sortimine, 107
 saespoon, 138
 salmilisus, 114, 116
 seinsaag, 377
 segaliide, 400
 seimer, 41, 104, 124
 servapehmenus, 627
 servapealistamine, 383
 servapealistusmaterjal, 383
 sideaine, 86, 346, 478
 sikatiiv, 471
 silinderfreesimine, 49
 sine, 655
 sissekastmismeetod, 510
 skanner, 96, 121, 261
 soklijalg, 591
 sorterid, 345
 spoon, 75, 138, 150, 209, 307, 375
 spooni hõõveldamine, 82
 spooni treimine, 75
 spoonidefekt, 311, 317
 spoonigiljotiin, 398
 spoonikoostaja, 311
 spoonisärk, 397, 399
 spoonkihtpuit, 293, 294
 spoonliimpuit, 147
 stelliit, 30, 31, 33, 46, 92
 sõrestikkeha, 606
 säsi, 105, 109, 114, 198
 söögilaua konstruktsioon, 599
 sünteetiline teemant, 32
 sünteetiline värnits, 471
 süsiniktööriistateras, 30
 süüsuund, 380
 šellak, 473
 taganurk, 22

tagatahk, 20	tõmmitskruviliide, 564	veeaur, 172
tagumine külglõikeserv, 20	tööala, 609	veepõhine peits, 466
tahkis, 608	tööstusrobot, 408	vertikaalformaatsaag, 377
takistusmeetod, 298	töötuspõhimõtted, 617	vertikaalne töötlemiskeskus, 408
talapink, 640	töötlusvaru, 246, 247	vertikaalpuurpink, 618
talasaag, 378	tükitabel, 640	viimistlusdefekt, 542
tapikahvel, 251	tüübeltõmmitsad, 564	viimistlusmaterjali viskoossus, 486
tapikeel, 251, 576	uksehinged, 577, 579	vineeritoorik, 328, 331, 332, 335
tapimutritõmmits, 563	universaalfreesmasin, 64	virtuaalne tasapind, 627
tapipesa, 251, 567	universaalketassaag, 377, 395	VOC, 489
tappühendus, 7, 250, 575, 633	URLLC andmevahetuse protokoll, 649	voldikuks, 588
tasapind, 22, 24, 608	uued ärimudelid, 644	voolav laast, 26, 28
tasapinnaline pesafrees, 29	UV-kiirgusega kõvendus, 537	võrguviilutus, 649
teek, 604	vaakumkonsool, 409, 410	värv, 474
tehisteamant, 32	vaakumpadjad, 392, 409, 410, 411, 413	väärindamine, 664
tehnoloogiline baaspind, 243	vaakumpressid, 284, 285	õhuniiskus, 203, 208, 218, 255, 497, 515, 516, 527, 532
temperatuurigradient, 187, 207	vahelihvimine lihvimistalaga, 459	õhuvaba pihustus, 520
teritusnurk, 22	vahetatavate lõikuritega frees, 58	õlilakk, 478
termiliselt modifitseeritud puit, 232	vahvelplaat, 294, 339, 355	õõnespaneelid ja -plokid, 297
tervikfrees, 56	vaigupesa, 110, 114, 116	ühendustõmmitsad, 564
Threespine® tehnoloogia, 601	vaikpuit, 114	ülafrees, 66
tootmisinfosüsteem, 604	valtsidega liimitamiseade, 281	ülakapi seinakinnitus, 598
transformaator, 593	vasakpöördfrees, 18	ülakapisüsteem, 582
treilõhe, 139, 164	vastuetteanne, 15, 416, 417	ülaltlõikefrees, 18
treimine, 74	vastukaalulaminaat, 393	ümbertöötamine, 664
treispoon, 138, 397	vastutera, 77, 78, 80, 81, 150, 151, 152, 153, 157, 158, 162, 164	
treitera, 29	vedeldi, 483	
trummelhakkur, 83		
tsang, 61, 62, 92		
tselluloos, 173, 232, 365, 665		
tõmmits, 561		

Puidutöötlemise õpik on eelkõige mõeldud kõrgkooliõpikuna kasutamiseks nii bakalaureuseõppe ja rakenduskõrghariduse tehnikaalade üliõpilastele kui ka ametikoolide õpilastele erialateadmiste süvendamiseks. Õpiku rõhuasetus on täispuidu ja puidupõhiste plaatmaterjalide masintöötlemise tehnoloogiatel, mööbli ja puittoodete kavandamisel ning valmistustehnoloogiatel.

Peamised käsitletavat teemad on:

- puidu lõiketöötlemine;
- saematerjali ja spooni tootmine ning kuivatamine;
- puidu keemiline ja termiline modifitseerimine;
- täispuidu töötlemine;
- puidu liimimine, insenerpuidu valmistamine;
- puitlaast- ja puitkiudplaadi ning vineeri valmistamine ja töötlemine;
- CNC-töötlemiskeskuste kasutamine mööbli, uste ja akende tootmisel;
- puidu pinnatöötlemine ja viimistlustehnoloogiad;
- mööbli kavandamine, mööbliliited ja -furnituuri kasutamine;
- raalprojekteerimis- ja -tootmissüsteemid mööblitööstuses;
- puidu- ja mööblitööstuse digitaliseerimine;
- puidu kaskaadkasutus.

Õpikus käsitletud teemade paremaks edasiandmiseks on rohkelt kasutatud selgitavaid tabeleid ja jooniseid, mis muudavad õpiku lugemise põnevaks igale puidu- ja mööblihuvilisele.