

ELMAR JUST

PUITKONSTRUKTSIOONID

EEP0011

EEK0050

Tallinn 2012.a.

KURSUSE OMANDAMISEL ON SOOVITATAV KASUTADA ALLJÄRGNEVAT KIRJANDUST:

1) ÕPIKUD JA ABIMATERJAL:

- L.ALLIKAS PUITKONSTRUKTSIOONID. TALLINN, 1985;
- L.ALLIKAS PLASTMASSKONSTRUKTSIOONID. TALLINN, 1972;
- KONSTRUKTSII IZ DEREVA I PLASTMASS. POD RED. KARLSEN G.G. Moskva, 1975;
- TIMBER ENGINEERING (STEP1, STEP2) 1995;
- EPN 5.1.1/AM-1 PUITKONSTRUKTSIOONIDE ARVUTUSNÄITED

2) NORMID /STANDARDID

- EVS-EN 1990:2002 EUROKOODEKS. EHITUSKONSTRUKTSIOONIDE PROJEKTEERIMISE ALUSED
- EVS-EN 1991-1-1:2002 EUROKOODEKS 1: EHITUSKONSTRUKTSIOONIDE KOORMUSED. OSA 1-1: ÜLDKOORMUSED. MAHUKAALUD, OMAKAALUD, HOONETE KASUSKOORMUSED (KOOS RL) ja vastavad teised osad
- EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009 EUROKOODEKS 5: PUITKONSTRUKTSIOONIDE PROJEKTEERIMINE OSA 1-1: ÜLDIST. ÜLDREEGLID JA REEGLID HOONETE PROJEKTEERIMISEKS koos rahvusliku lisaga
- EVS-EN 1995-1-2:2006 EUROKOODEKS 5: PUITKONSTRUKTSIOONIDE PROJEKTEERIMINE . OSA 1-2: TULEPÜSIVUSARVUTUS (KOOS RAHVUSLIKU LISAGA)
- EVS-EN 1995-2:2007 EUROKOODEKS 5: PUITKONSTRUKTSIOONID.PUITKONSTRUKTSIOONIDE PROJEKTEERIMINE. OSA 2: SILLAD ((RL EVS-EN-2/NA:2007)

EELDUSAINED EHITUSMEHAANIKA KURSUS

Sisukord

Sissejuhatus	5
1 Ainevallast ja ajaloost.....	7
1.1 Puitkonstruktsioonid.....	7
1.2 Plastkonstruktsioonid.....	10
2 Puit kui konstruktsioonimaterjal.....	12
2.1 Puit kui ehitusmaterjal.....	12
2.1.1 Tähtsamad puiduliigid	12
2.2 Puidu keemiline koostis ja struktuur	13
2.3 Puidu füüsilised omadused	15
2.4 Puidu mehaanilised omadused	20
2.4.1 Puidu kestustugevus	20
2.4.2 Puidu tugevust mõjutavad tegurid.....	22
2.4.3 Tõmme, surve ja paine	23
2.5 Puidu vead ja kahjustused	27
3. Puidupõhised materjalid	28
3.1 Ehitusvineer	28
3.2 Puitplastid (Konstruktsiooni-puitplastid)	32
3.3 Uuematest puitmaterjalidest	33
3.4 Liimid	38
4. Puidu bioloogilised kahjustused.....	38
4.1 Bioloogilised kahjustused	38
4.2 Puidu kaitse	42
4.3 Puidu mädanemiskindluse tõstmine	43
4.4 Bioloogiliste kahjustuste seiskamise võimalusi	45
4.5 Kahjustatud konstruktsioonide tugevdamine.....	46
5 Puitkonstruktsioonide arvutamise alused	46
5.1 Piirseisundid.....	46
5.2 Koormused	49
5.3 Puitkonstruktsioonides kasutatavast saematerjalidest.....	50
5.4 Puidu norm- ja arvutustugevused	52
5.5 Osavaruteguritest	56
6. Puitelementide arvutus kande- ja kasutuspiirseisundis.	57
6.1 Materjali tugevus- ja jäikusomadused	57
6.2 Konstruktsiooniarvutuse alused	58
6.3 Arvutus kandepiirseisundis ühes põhisuunas mõjuvate pingetega ristlõigete projekteerimisel	60
6.3.1 Tõmme piki- ja ristikiudu.....	60
6.3.2 Surve.....	61
6.3.3 Paine	64
6.3.4 Nihe (lõige)	68
6.3.5 Vääne.....	69
6.4 Arvutus kandepiirseisundis liitpingetega ristlõigete projekteerimisel	69
6.4.1 Survepinged kiudude suhtes nurga all	69
6.4.2 Tõmme koos paindega (ekstsentriline tõmme)	70
6.4.3 Surve koos paindega (ekstsentriline surve).....	70
6.5 Arvutus kasutuspiirseisundis	72
6.5.1 Deformatsioonide arvutamisest	72
6.5.2 Talade piirläbipained.....	73
6.5.3 Liidete järeleandvus.....	74
7. Puitkonstruktsioonide liited.....	75
7.1 Nõuded ja iseloomustus	75
7.2 Tappliide	77
7.2.1 Elementide ühendamiseks kasutatavaid tappliiteid	80
7.4 Naagelliited	85
7.5 Ogaplaatliited	94
7.6 Liited tõmbele töötavate kinnituselementidega	97
7.7 Liimliited.....	99
8. Tasapinnalised talasüsteemid	101
8.1 Laudis ja roovitused	101
8.2 Talad ja roovid	102
8.2.1 Sisselõikega elemendid.....	103
8.3 Kaldu asetatud talade arvutamine.....	104
8.4 Mehaaniliste liidetega puidust liitelementide arvutamine	105

8.4.1	Paindele töötavad elemendid.....	105
8.4.2	Laudseinaga naelutatud talad	108
8.4.3	Palkidest ja prussidest liittalad plaatnaaglitel	110
8.5	Tugistikud	111
9.	Liimpuittalad (Lamell-liimpuittalad)	112
9.1	Pakettristlõikega taladest	112
9.2	Ühe- ja kahepoolse kaldega või kõverjoonelise kujuga liimpuittalad.....	113
9.3	Liimitud õhukeseseinalised talad	116
9.4	Lainelise seinaga vineertala.....	117
9.5	Armeeritud liimpuittalad	118
9.6	Liimitud õhukesevöölisel talad (paneeltalad)	118
9.6.1	Puit-vineerpaneelid	118
9.6.2	Õhukesevööliste liimitud talade tugevusarvutus	119
10.	Täisseinalised postid, kaared ja raamid	120
10.1	Postid	120
10.1.1	Vaheklotsidega või nõtkelappidega liitpostid	122
10.2	Kaared ja raamid	124
10.2.1	Tasapinnalised täisseinalised kaared.....	125
10.3	Raamkonstruktsioonid	127
11	Tasapinnalised sõrestikkonstruktsioonid.....	130
11.1	Sõrestike tüübid ja kasutusala	130
11.2	Liimpuidust segmentsõrestikud	134
11.3	Täispuidust polügonaalõrestikud	135
11.4	Kolmnurksõrestikud	137
11.5	Ogaplaatsõrestikud	139
12	ERIKONSTRUKTSIOONIDE PROJEKTEERIMISEST	139
12.1	Mastid.....	139
12.2	Tornid.....	141
12.3	Puitsildadest.....	142
12.4	Suureavalised raketised	144
12.5	Kombineeritud süsteemid	145
13.	PUITKARKASSIGA HOONETE KONSTRUEERIMINE JA ARVUTAMINE	146
13.1	Väikeelamutest	146
13.2	Industriaalsed väikeelamud	150
13.3	Valmismoodulitest monteeritavad elamud (Ruumelemendid)	151
13.4	Mitmekorruselised puitelamud	151
13.5	Karkassi arvutamisest	153
14.	ruumiline püsivus	154
14.1	Ruumilised sidemed	154
14.2	Ruumiliste sidemete lahendusi	156
14.3	Jäikussidemete arvutamisest.....	158
15.	PUITKONSTRUKTSIOONIDE TULEPÜSIVUSARVUTUS	162
15.1	Tuleohutus- ja tulepüsivusnõuded	162
15.2	Tulepüsivusarvutus	163
15.2.1	Üldist tulepüsivusarvutustes kasutatavatest normidest	163
15.2.2	Tulepüsivuse projekteerimise alused.....	164
15.3	Materjali omadused	167
15.4	Arvutusmeetodid mehaanilise vastupanu tagamiseks.....	170
15.5	Seinte ja vahelagede projekteerimise protseduurid	172
15.6	Liidetest.....	172
16.	PLASTKONSTRUKTSIOONID	175
16.1	Materjalid	175
16.2	Sideained	176
16.3	Ehituskonstruktsioonides kasutatavate plastide põhitüübid	177
16.4	Plastkonstruktsioonid ja liited	178
16.5	Arvutamise iseärasustest	180
17	PUITKONSTRUKTSIOONIDE VALMISTAMINE JA JÄRELVALVE	181

SISSEJUHATUS

Puit oli meie kaugete esivanemate esimesi põhilisi ehitusmaterjale. Puidu kerge kaal, töödeldavus ja tugevus juhtisid inimest teda kasutama ehitusmaterjalina, eriti sellega, et juba puu tüvi ise moodustab valmis kandekonstruktsiooni – tala ja posti.

Kui võrrelda erinevaid konstruktsioonimaterjale, siis viimasel ajal on kasutamise raskuspunkt olulisel määral nihkumas puidu laiema kasutamise suunas.

Viimastel aastakümnetel on ühiskonna jaoks saanud järjest olulisemaks keskkonna puhtuse tagamine ja taastumatute ressursside kokkuhoid. Seetõttu levib üha laiemalt taastuvate loodusvarade kasutamine ehituses, mille tootmine ja utiliseerimine oleks energiasäästlik ning keskkonnasõbralik. Selliste materjalide hulka kuuluvad ka puit ja puidupõhised tooted, mida rakendatakse konstruktsiooni elementidena üha enam.

Kui tavalise saematerjali puhul seavad konstruktsioonide suurusele piirid palkide mõõtmed, siis liimpuidu puhul on võimalus toota suuremõõtmelisi ja erisuguse kujuga elemente, kasutades parimal moel ära toormaterjali tugevusomadusi. Liimpuit suudab konkureerida kandevõimelt ja võimalike lahenduste mitmekesisuse poolest teiste ehitusmaterjalidega nagu teras ja raudbetoon.

Kaheteistkümnenda sajandi teisel poolel algas puidu füüsikaliste omaduste teaduslik uurimine, et rakendada neid teadmisi ehitiste projekteerimisel. Puidule on ainuomane tema materjali omapärane struktuur ja kasvu iseloom, mille tulemusena materjali omadused on erinevamad ja keerukamad, kui teistel ehitusmaterjalidel nagu raudbetoon, teras ja tellis. Mõned puidu omadustest, mis mõjutavad projekteerimist, on järgmised:

- niiskusesisaldus;
- puidu tugevuste erinevus, sõltuvalt sellest, kas koormus mõjub piki- või ristikiudu;
- rakendatud koormuse kestvus ajas.

Puitu, kui kasvavat elus materjali, eristatakse botaanikas puuliikide järgi, näiteks „*Pinus sylvestris*“, mis on rahva seas tuntud kui harilik mänd. Botaanilised nimed tulenevad ladina keelest, milles esimene osa näitab liiki ja teine liigi omapära. Puidu botaanilise klassifikatsiooni järgi jaotatakse need kahte gruppi: endogeensed ja eksogeensed:

- endogeensed: sellist tüüpi puud, nagu palmid ja bambused, mis kasvavad peamiselt troopikas; antud juhul siin neid ei käsitleta.
- eksogeensed: seda tüüpi puu kasv toimub seestpoolt väljapoole, ja on meil kasutusel ehituspuiduna. On olemas eksogeense puidu kaks alaliiki: okaspuit ja lehtpuit. Käesolevas kontekstis käsitleme ainult neid puiduliike.

Ehkki suurt osa puitu kasutatakse keemiatööstuses, lihtsalt küttematerjaliks jne., võiks seda ehitustööstuses kasutada täielikult jäätmeteta (selle hulgas ka metsa lõikamisel tekivad oksad, okkad jne.). Sageli tavatsetakse öelda, et puidu kasutamine on ökoloogiliselt puhas. Puit on taastuv loodusvara juhul, kui seda ei kasutata enam kui mets uueneb. Ta on ka ainuke ehitamisel ja ehitustoodete valmistamisel laialdaselt kasutatav taastuv loodusmaterjal. Samas puidu laiema kasutamisega saab aeglustada ka mittetaastuvate toorainete varude ammendamist. Puittoodete valmistamine on väikese energiakuluga ning koormab vähe keskkonda

Mõnede materjalide primaarse energia sisaldus (kWh/kg)

Saematerjal	0,5 – 1,7
Hööveldatud materjal	0,6 - 2,8
Liimpuit	1,1 – 3,2
Laastplaat	1,6 – 3,4

Kiudplaat	2,0 – 4,4
Vineer	2,0 – 5,4
Tsement	1,1 – 2,7
Betoon	0,3 – 1,3
Tellis	0,8 – 1,0
Kipsplaat	0,9 – 2,4
PVC-plastik	15 – 36
Teras	7 - 10
Alumiinium	35 – 60

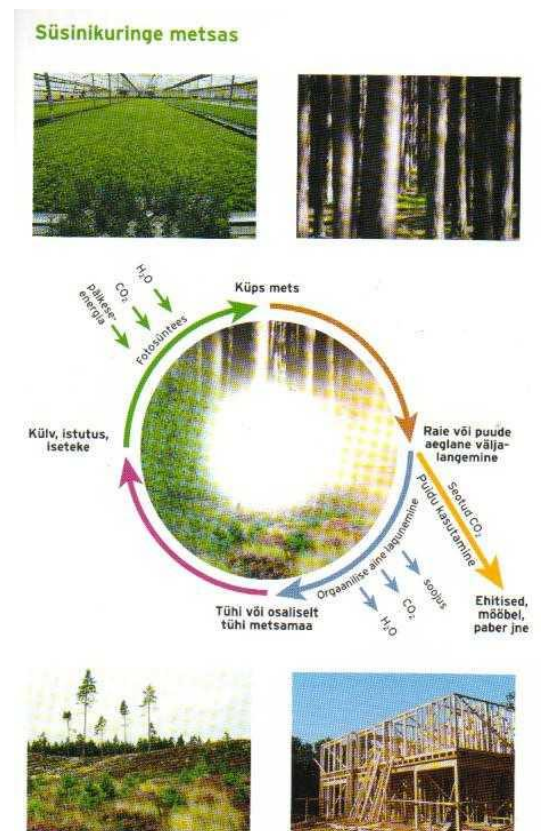
Puittoodete kasutamine on turvaline ja nad hajuvad looduses kergesti. Puit ei ole ainult toormaterjal vaid ka bioenergia allikas.

Eluringkäigu analüüsi põhimõte on, et tooteid, tegevusi või koguni majandussektorit tervikuna analüüsitakse lõppkasutamise perspektiivist lähtudes: toodang, kasutus või kulutus, transport, lõplik hävinemine ja uuesti kasutamine. Puittoodete eelis ongi see, et ta looduses kergesti mädaneb. Suurim eelis on, et puidu jäätmel saab kasutada energia tootmiseks. Puidu põlemisel tekib samasuguseid nähtusi ja aineid kui teistegi küttematerjalide põletamisel. Tähtis erinevus on, et puidu põletamisel tekkiv süsinikoksiid ei lisa keskkonda selle sisaldust, nagu juhtub fossiilsete küttematerjalidega, vaid puidu kasutamine on osa süsiniku lühitsüklilisest ringlemisest looduses. Vt joon. S-1.

Puidu kasutamine vähendab CO₂ lisandumist atmosfääri, kuna puiduga korvatakse fossiilsete küttematerjalide või selliste toodete, mille valmistamine vajab enam fossiilseid küttematerjale, kasutamist. Teine oluline erinevus on, et puidu põlemisel ei teki väävlireostust. Tuhka saab kasutada väetisena.

Keskkonna seisukohalt vaadatuna on seega kasulik kasvatada ja kasutada rohkesti puitu. Seega metsade laialdane kasvatamine ja kasutamine on ühiskonna ellujäämise küsimus.

Tänapäeval kasutatakse puitkonstruktsiooni alates lihtsatest abiehitustest kuni unikaalsete ehitiste (suurte saalide ja staadionide katuste, sildade jne.) kandekonstruktsioonideni välja. Praktiliselt ei ole ehitust, mida ei saa realiseerida puidust.



Joonis S-1

Heaks näiteks on Lillehammeri taliolümpiamängude staadionide kandekonstruktsioonid kõikvõimalike kande- ja abikonstruktsioonidega ja sportlaste linnakutes olevate elamutega. Lillehammeri olümpiarajatiste kohta on öeldud, et Lillehammeri ehitused on ülemaailmne puitkonstruktsioonide võimaluste demonstratsioon. Nüüd on nendele ehitustele lisandunud näiteks liimpuidust kandekonstruktsioonidel Euroopa üks kaasaegsemaid lennuvälju Oslo lähedal – Kardemoni lennuväli jpm.

Et puitu oleks võimalik kasutada ümbruskonna kõrge niiskuse puhul, kus on mädanemise oht (näiteks sillad või maapinnale paigaldatud trepiastmed ja suurte saalide ja kinniste staadionide katuste

kandekonstruktsioonid) ja kus on ranged tulepüsivuse nõuded, peab puit olema mädanemis- ja tulekindel, mis saavutatakse mitmesuguste vahenditega sügavimmutamise teel.

Selleks on nüüd olemas ka kõikvõimalikud vahendid ja tehnoloogiad. Nii näiteks, et oleks lubatud kasutada puitu Lillehammeri suletud staadionide ehitamiseks, loodi Norras Moeveni tehastes vahendid tulekindla puidu saamiseks (esimene tulepüsivuse klass).

Ka on viimaste aastakümnete jooksul oluliselt edasi arenenud puit- ja plastikkonstruktsioonide arvutamise teooria ja valmistamise tehnoloogia.

On loodud rida efektiivseid, suure tugevusega materjale, nagu lamellpuit, spoon-liimpuit, kihtpuit jt. Raske on vahet teha, kas paljusid uusi materjale tuleb käsitada puidu või plastikuna. Ka vanade puitkonstruktsioonide renoveerimise alal on loodud uusi meetodeid. Renoveerimine on tänapäeva ehitustegevuses oluline ala.

1 AINEVALLAST JA AJALOOST

Puit on looduslik orgaaniline materjal. Puitu, kui ehitusmaterjali, kasutati tõenäoliselt ühe esimese materjalina eluvajaduste rahuldamisel, näiteks langenud puutüvi oli sillaks

Plastmassid on samuti kõrgmolekulaarsed ained, seega puit on *looduslik plastmass*.

Puidu ja tehisplastmasside füüsikalised ja mehaanilised omadused on suures ulatuses samad.

Puidu põhilisteks koostisosadeks on *tselluloos* ja *ligniin*. Tselluloos koosneb suurmolekulidest (makromolekulidest). Makromolekulide tekkimist nimetatakse *polümeerisatsiooniks* ning sellist ainet kõrgmolekulaarseks.

Käesolevas kursuses tuleb väga sageli tegemist teha terasest liiteelementide arvutamisega ja konstrueerimisega. Seega käesolev aine eeldab vastavaid teadmisi või paralleelset õppimist.

1.1 Puitkonstruktsioonid

Nagu mainitud on puit üks vanemaid ehitusmaterjale.

Arheoloogiliste uurimuste tulemused näitavad, et 10 tuh. a. e.m.a. on ürgnimene puitu ehitusmaterjalina laialt kasutanud tänu :

- laialdasele levikule (s.h. ka taastuv);
- kergele kaalule ($300 - 800 \text{ kg/m}^3$);
- suhteliselt kõrgele tugevusele (kuusk, mänd $f_t=100 \text{ N/mm}^2$);
- töötlemise hõlpsusele.

Esimesi teadaolevaid suuremaid puitkonstruktsioone ehitasid roomlased. 630 a.e.m.a ehitati Roomas Tiberi jõe sild. I saj. e.m.a Caesari käsul 500 m pikkune puidust sild Reini jõe. Trajanuse sambal on kujutatud esimesel sajandil m.a.j üle Doonau ehitatud puidust kaarsild, mis oli 1 km pikkune ja toetus 20 kivasambale, mille 35 meetriseid avasid sildasid puitkaared.

Umbes 2. sajandil e.m.a hakati Rooma riigis kasutama ühiskondlike hoonete katusekonstruktsioonis vanast India kultuurist pärinevaid horisontaalreaktsiooniga tugistikke ja kaari.

Sõrestikkonstruktsioonide edasine areng on seotud Itaalia arhitekti Palladio (1508-1580) töödega. Puitturvikutega sillati kirikute suuri ruume, puidust ehitati kõrgeid kirikutorne, samuti ka mitmekorruseliste hoonete vahelagesid jpm.

Venemaal ehitati juba alates 9.sajandist puitkonstruktsioonidest ehitisi. Nimetame 1774.a. ehitatud ja tänaseni säilinud Uspenski katedraali, mille torni kõrgus on 42 m või 1736 ...38 .a. püstitatud Admiraliteedihoonet 72 m kõrguse puittorniga.

19.sajandi alul hakati kiiresti areneva tööstuse ja kaubanduse tarvis rajama teedevõrke. Tänu metallurgia arenemisele võeti sillaehituses kasutusele kombineeritud konstruktsioonid, kus osa tõmmatud elementidest valmistati metallist. Tüüpiliseks näiteks on Peterburi-Moskva raudteel aastail 1842-1851 ehitatud sillad, kus ristuvate diagonaalidega sõrestike postid valmistati terasest. Sellise konstruktsiooni patenteeris 1840.a. ameeriklane How.

Insener K.E.Lembke (vene insener) võttis sillaehituses kasutusele pidevalt üksteise kõrvale asetatud ristuvate diagonaalidega sõrestikud – mis on tänapäeva naelutatud seinaga kandurite eelkäjad.

Ka Eestimaa keskaegseis ehitistes oli puidul ehitusmaterjalina oluline koht, milles võime me kõik veenduda

Puidu eelised:

1. Suhteliselt suur tugevus mahukaalu kohta;
2. Puitkonstruktsioonide ehitamine on lihtne ja ei sõltu aastaajast ega ilmastikust;
3. Vähetundlik keemilistele mõjutustele;
4. Väike soojajuhtivus $\lambda = 0.14 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (võrdluseks mineraalvill $\lambda = 0.04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$; kivimüüritis $\lambda = 0.5 \dots 1.3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$; betoon $\lambda = 2.1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$; teras $\lambda = 50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$);
5. Puidu temperatuuri lineaarpaisumise tegur on väike (piki kiudu $\alpha=4\times 10^{-6}$), mistõttu temperatuurist tingitud pinged staatiliselt määramata konstruktsioonides on tühised ja neid ei arvestata;
6. Kergesti ülestöödeldav ja taastuv materjal;
7. Suhteliselt kerge ja tugev materjal eriti piki kiudu, mis võimaldab ehitada konstruktsioone avaga 100 m ja enam;
8. Vastupidav tsüklilisele koormamisele dünaamiliste löökidega, mis võimaldab neid kasutada sildades ja maavärinaohtlikes piirkondades;
9. Puitu on võimalik liimida veekindlate liimidega, mis võimaldab liimida praktiliselt suvalisi ristlõikeid ja suvalise pikkusega nii sirg- kui kõverjoonelisi elemente.

Puudused:

1. Puitkonstruktsioonide ebaõigel kasutamisel ja ekspluateerimisel puit mädaneb liigniiskuse toimetel ja rikneb kahjurite mõjul (keemiline kaitse ja õiged konstruktiivsed lahendused);
2. Anisotroopne materjal (anisotroopsus = materjaliomaduste erinevus erinevates suundades).
3. Muudab mahtu niiskuse hulga muutumisega;
4. Pideval koormamisel esinevad puidus küllalt suured plastilised deformatsioonid;
5. Tuleohtlik materjal;

Tänapäeva puitkonstruktsioonide kujunemist on oluliselt mõjutanud liimide kasutuselevõtt. Tänu liimimisele saab kujundada piiramatute mõõtmetega puitelemente. Siit tulenevalt on konstruktsioone palju lihtsam ja hõlpsamini valmistada kui varem. Kui tavalise saematerjali puhul seavad konstruktsioonide suurusele piirid palkide mõõtmed, siis liimpuidu puhul on võimalus toota suuremõtmelisi ja erisuguse kujuga elemente, kasutades parimal moel ära toormaterjali tugevusomadusi. Liimpuit suudab konkureerida kandevõimelt ja võimalike lahenduste mitmekesisuse poolest teiste ehitusmaterjalidega nagu teras ja raudbetoon.

Esimesed liimitud laudkonstruktsioonid valmistati 19 saj. lõpul Saksamaal. 1887.a. ehitati Tallinnas esimene Venemaa vineeritehas.

Lamell-liimpuidust (edaspidi liimpuit) valmistatakse väga mitmesuguseid konstruktsioone (mida ka käesolevas kursuses käsitletakse): talad, postid, kaared ja raamid, sõrestikud, karkassi- elemendid, liimitud koorikonstruktsioonid jne.

Laialdaselt kasutatakse ka tavalist saematerjali (põhiliselt okaspuidust) mitmesuguste konstruktsioonide valmistamiseks (talad, liitpostid, karkassid jne.). Viimasel ajal kasutatakse saematerjali ogaplaatsõrestike valmistamiseks (näiteks firma "Matek"), mida kasutatakse väike- ja korrusmajade ehitusel, aga samuti spordirajatiste, sildade ja tööstushoonete ehitamisel. 1.1-1...4



Foto 1.1-1 Katusesõrestikud ogaplaatühendustega



Foto 1.1-2 Gardermoen'i lennujaam Oslos – maailma pikimad liimpuittalad



Foto 1.1-3 Lükati suusasild (l=34 m, B=5 m 2005)



Foto 1.1-4 Näide korrusmajast

Kus on olemasolevad metsamaterjalide varud:

1. Puit on taastuv materjal
2. Puiduga on kaetud kogu maismaa pindalast ca 29%, Eestis ca 50%
3. Osa metsast kasutab metsakeemiatööstus, kuid põhiline osa ehitus, millest 1% kulutatakse kandekonstruktsioonidele.

Teine oluline uuendus puitkonstruktsioonide kujunemisel on puidu omaduste parandamine mitmesuguste tehismaterjalide, eeskätt tehisvaikude, klaaskiudude jne. abil. Siit tulenevalt on vahe puit- ja plastkonstruktsioonide vahel tegelikult kadumas. On välja töötatud uued puidupõhised materjalid, näiteks:

- vineerid, eriti bakeliseeritud;
- spoonliimpuit ja ristkihtpuit
- parallamm
- puitkiudplaadid
- puitlaastplaadid

1.2 Plastkonstruktsioonid

Esmalt tuleb märkida et plastkonstruktsioonide alal ei ole veel välja kujunenud üldtunnustatud sisuga õpikuid ja ehitusalaseid norme, nagu see on r/b, metall-, puit- ja kivikonstruktsioonide alal.

Plastkonstruktsioonide kasutamine piirdub ca 40 aastaga. Esimene tänapäeva mõistele vastav plastmass - tselluloid - saadi USA-s 1869.a. Alates eelmise sajandi 30-ndatest aastatest laienes tööstuslikult toodetavate plastmasside sortiment ja nende kasutamine ehitustegevuses areneb kiiresti. Seoses sellega on kaasnenud täiesti uute konstruktsioonitüüpide kasutuselevõtt nagu kolmekihilised konstruktsioonid, pneumo- ja telkkonstruktsioonid (käsitletakse puidu erikursuses).

Plastikud on veel suhteliselt noored ehitusmaterjalid, mistõttu nende kõiki omadusi ja kasutusvõimalusi täpselt ei tunta (vastupidavus, vananemine jm). Samas luuakse järjest uusi materjale, mille omadusi ja ühtesobivust teiste materjalidega ning pikaalisust on ka ebapiisavalt uuritud.

Plastikute loomise üks ajalooline tähis on USA-s Charles Goodyear'i poolt 1844 patenteeritud vulkaniseerimismeetod, millega looduslikust kautšukist saadi väävlil abil kumm.

Tselluloosi modifitseerimisega saadi 1847.a. tselluloosnitraat ja selle kõva ning hapra materjali pehmemdamisega kampri abil sai inglase A.Parkes 1862.a. tselluloidi, esimese tööstusliku tähtsusega plastiku.

Täiesti sünteetilise plastiku loomiseks võiks pidada 1907.a., millal belglane Leo H.Baekeland patenteeris tugeva ja kasutuskõlbliku aine – bakeliidi- valmistamise meetodi fenoolist ja formaldehüüdist. Bakeliit on üks tähtsamaid fenoolplastikute hulgas.

Samas tuleb märkida, et mitmete puitkonstruktsioonide õpikute/raamatute peatükid käsitlevad materjale (vineer, puitlaastplaadid jne.), mille osas on raske määrata, kas need kuuluvad puitkonstruktsioonide või plastikute hulka. Piir nende materjalide vahel ei ole väga jäik, kuna puit ise on looduslik plastik.

Kui varem kasutati plastmasse ehitustegevuses peamiselt viimistlus- ja dekoratiivmaterjalina, siis tänapäeval rakendatakse neid tänu väikesele omakaalule ja suurele tugevusele ka kandekonstruktsioonides. Plastmassidest saab (klaasplast, mullplast, liim jne.) tehastes valmistada industriaalseid monteeritavaid konstruktsioone. Eriti perspektiivsed on kolmekihilised liimitud piirdekstruktsioonid (katuse- ja seinapaneelid), kus koos plastmassidega kasutatakse ehituses juba levinud tugevaid profiil- ja lehtmaterjale (alumiinium, teras). Nii võivad tänapäeva konstruktsioonides liituda puit- ja plastmaterjalid, teras ja alumiinium, teras ja betoon, kusjuures sobivate konstruktsioonide otsingud jätkuvad pidevalt. Erinevate materjalide omavahelise kombineerimise teel saame nn **liitkonstruktsiooni**. Näit. puitmetallsõrestikud, puitplastmasspaneelid, puit-teras-betoonpaneelid, armeeritud terase (ka eelpingestatud) või klaasplastikuga talad

Märkusena olgu nimetatud, et plastikute tehnoloogia ja kasutamise alal on selliseid ingliskeelseid termineid, millel ei ole veel eestikeelseid vasteid välja kujunenud.

Plastik on liitmaterjal, mille põhiliseks komponendiks on sideaine – polümeer ehk tehisvaik, mis on kõrgmolekulaarne aine, mille molekulid koosnevad paljudest ühesuguse struktuuriga elementaarülidest.

Konstruktsioonides kasutatavate plastmasside põhitüüpe:

- a) klaasplastikud (klaaskiud + vaik, fenoolformaldehüüd);
- b) termoplastsed materjalid (orgaaniline klaas, vinüülplastlehed, polüetüleenitorud);
- c) puitplastikud (puitkihtplastid, bakeliseeritud vineer, kasevineer, puitkiud- ja puitlaastplaat);
- d) mull- ja kargplastid (mullpolüstürool, puuvillriidest ja jõupaberist kargplast);
- e) õhutihedad kummeeritud kangad;
- f) sarrustatud kiled;

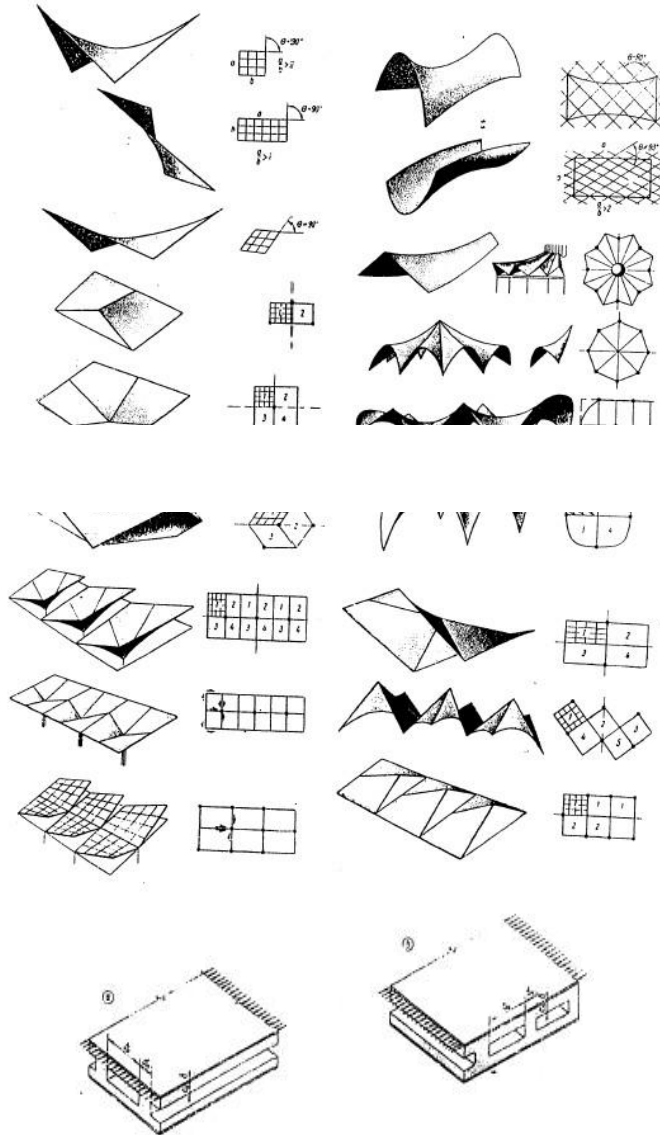
g) PVC või teflooniga kaetud sünteetilised kangad (polüestervaigust lavsaan, kapron, klaastekstiil).

Siinjuures võib loetelu jätkata sooja- ja heliisolatsioonimaterjalidega.

Polümeerid on kas looduses esinevad või sünteetilised. Seoses sellega võiks neid jagada:

- 1) looduslikud ehk *biopolümeerid* ;
- 2) poolsünteetilised ehk muudetud looduspolümeerid ;
- 3) sünteetilised polümeerid.

Eriti efektiivne kasutusala plastmassidele on ruumilised konstruktsioonid – igat liiki koorikutes ja puitpaneelides joonis 1.2-1



Joonis 1.2-1 Plastikkoorikud ja paneelid mullplastiga

2 PUIT KUI KONSTRUKTSIOONIMATERJAL

2.1 Puit kui ehitusmaterjal

Käsitledes ehitustegevuses puidu kasutamist ehitusmaterjalina võib märkida järgmist :

- puit on ainus taastuv ehitusmaterjal;
- kuni 70-80% puittoodete valmistamiseks kuluvast energiast saadakse tootmises tekkivatest puidujäätmetest;
- kasutades muude ehitusmaterjalide asemel puitu, jääb 5 tm kasutatud puidu kohta põletamata vähemalt 1 tonn kütteõli;
- liimpuittala valmistamisel on tarvis energiat 6 korda vähem kui terasest tala ja 5 korda vähem kui raudbetoonist tala valmistamisel;
- puidu soojusjuhtivus on 1500 korda väiksem kui alumiiniumil, 12 korda väiksem kui betoonil. Samuti ei esine külmasildasid;
- siseruumis toimib puit niiskuspuhvrina, imades endasse liigset niiskust ja vabastades seda õhu kiire kuivamise korral – puitmaja hingab;
- puitmaja on kivimajast 8 korda kergem;
- kuigi puit põleb, saab tema käitumist tulekahju korral ennustada. 30-60 minutist puittala tulekindlust on kerge saavutada, terastala võib aga suvalisel hetkel kuumuse toimele painduda;
- USA-s on 80 % kõigist majadest puitmajad. Üksik- ja ridaelamute puhul on see peamine ehitusmaterjal;
- 2005.aastal tarbiti (sh tööstuse toormeks) Eestis ca 0,7 tm saematerjali inimese kohta, Soomes on see näitaja 1 tm;
- kui puitmaja või puittooted mingil põhjusel kasutamiseks ei kõlba, on neid lihtne tarvitada kütuse puittoormena, kusjuures raskesti käsitletavaid jääke ei teki.

2.1.1 Tähtsamad puiduliigid

Ehituspuiduks on enamasti okaspuit.

Mänd – Eesti levinuim puuliik. On lülipuiduline. Lülipuit on pruunikas, maltspuit kollakas. Ta on suhteliselt tugev, kerge ja suure vaigusisaldusega (hea vastupidavus kõdunemisele). Tüvi on sirge ja väikese koonilisusega. Kuusest veidi tumedam. Kuusega võrreldes on aastarõngad veidi paremini eristatavad.

Kuus – Eestis esineb kuuske veidi vähem kui mändi. Küpsepuiduline. Värvus on männist veidi heledam. Männiga võrreldes on kergem, veidi väiksema tugevusega ja kõdunemisele vähem vastupidav, kuna sisaldab vähem vaiku. Siiski eelistatakse kuuske väliskonstruktsioonides, kuna neelab vähem niiskust kui männipuit. Kuuse erandliku rakustruktuuri tõttu on surveimmutust raske rakendada.

Tamm – kõige raskem ja tugevam Eestis leiduv puiduliik. Ta on lülipuiduline. Tamme kasutatakse peamiselt parkettides ja eksklusiivse viimistlusmaterjalina.

Kask – levinuim lehtpuu Eestis. Maltspuidule omaselt on ta valge värvusega. Hästi töödeldav, kuna on ühtlase struktuuriga. Kõduneb kergelt. Kasutatakse enamasti vineeritööstuses.

Saar – see hästitöödeldav lülipuiduline puiduliik on kõva ja dekoratiivse mustriaga. Kasutatakse enamasti parkettides.

Haab – kergeim Eestis kasvav puu. Sobib kasutamiseks saunamaterjalina, kuna ei kuumene liigselt (poorne). Kuna ta on pehme, siis on teda kerge töödelda.

2.2 Puidu keemiline koostis ja struktuur

Puitmaterjal jaguneb okas- ja lehtpuuks

Puidu keemiline koostis on keskmiselt järgmine: süsinikku 50%, hapnikku 43%, vesinikku 6%, lämmastikku 0,2%, naatriumi, kaaliumi, kaltsiumi, fosforit jt. elemente - 0,8%.

Puidu põhilisteks koostisosadeks on looduslikud kõrgmolekulaarsed ained: lineaarse struktuuriga tugev **tselluloos** (43-56%) ja ruumilise struktuuriga, kuid harvade põksidemete tõttu väikese tugevusega **ligniin** (19-30%). Vähemal määral sisaldab ta ka rasvu, vaike jm.

Tselluloosi makromolekulide kimbud moodustavad vaheldumisi kristalliinseid ja amorfseid piirkondi, nn *fibrille* (fibrill – kiuke, rakkude ja kudede mikroskoopiline niitjas valkosis, fibrillid koosnevad mikrofiibrillidest, mis omakorda mitsellidest). Kristalliinse tselluloosis on makromolekulid asetatud tihedalt ja omavahel tugevasti ühendatud hüdroksüülidemetega (OH). Vee molekulide juurdepääs vett külgetõmbavatele hüdroksüülrühmadele on siin takistatud. Kristalliinse tselluloosi maht ulatub puidus 30-40%. Fibrillid peamiselt koos ligniini ja vaikudega moodustavad puitaine – rakkude seinad.

Olgu märgitud, et tänapäeval levinud plastmassid on kõrgmolekulaarsed ained ja seega kujutab puit endast looduslikku plastmassi.

Puidu liikidest esineb meil kõige enam okaspuit – mänd ja kuusk pika sirge tüve ja küllaldase tugevusega.

Puidu füüsikalised ja mehaanilised omadused on määratud tema torujas-kiulise ehitusega, raku seinte anisotroopse struktuuriga, puiduainega, mille tihedus on ca 1,5 g/cm³.

Lühidalt okaspuidu siseehitusest (tugevas suurenduses joonis 2.2.1). Okaspuidu mahust enam kui 95% moodustavad tüvesuunalised torukujulised rakud - **trahheiidid**.

Trahheiid – kitsas piklik, otstes peenenev, täiskasvanuna surnud koerakk, mille kestades on poorid.

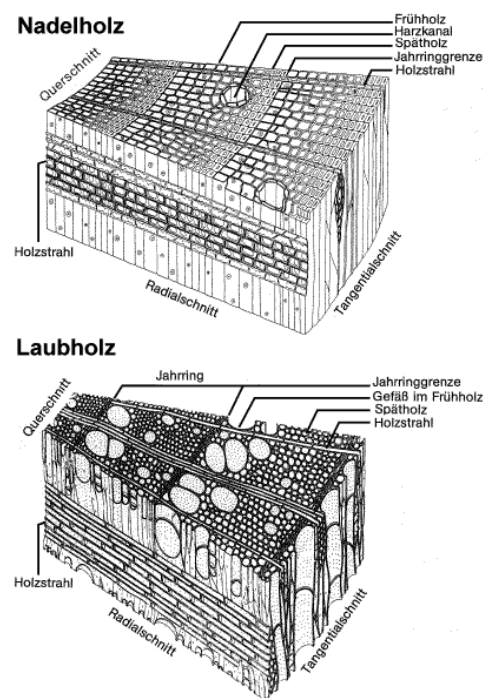
Trahheiidide pikkus on 2-5 mm ja $d = 0,02-0,06$ mm ja nad annavad puidule tema mehaanilise tugevuse. Trahheiidide kaudu liiguvad mahlad elavas puus nende külgedel olevate ühendusavauste – **pooride** – kaudu. Seda reguleerib kahe raku vahel olev membraan.

Kevadel kasvanud rakkude seinad on õhemad ja värvus heledam, kuna hilissuvel ja sügisel kasvanud rakkude värvus on tumedam ja seinad paksemad ning tugevamad. Puu tüve ristlõikes nähtavad heledad ja tumedad rõngad moodustavad aastaringe, mis näitavad puu vanust.

Säsikiired, radiaalsuunalised rakud, puidu omadust oluliselt ei mõjuta. Konstruktsioonimaterjali seisukohalt säskiirtel erilist tähtsust ei ole. Elavas puus nad salvestavad ja juhivad toitained.

Ehitusmaterjalina omab suurimat tähtsust puu tüvi, mis on kergelt koonuseline ja ümara ristlõikega. Lisaks tüvele koosneb kasvav puu veel juurestikust ja võrast. Neist juurestikku tööstuslikult praktiliselt ei kasutata ning võra kasutatakse enamasti vaid kütteks.

Vaatame lähemalt okaspuu tüve ristlõiget joonisel 2.2



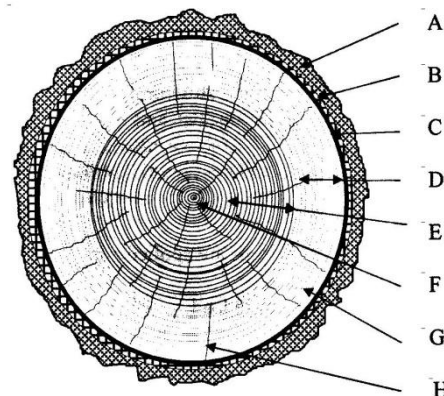
Joonis 2.2-1

Kasvavas puus on elavad ainult tüve ristlõike perifeerse maltspuidu ja koorealuse mähkjakihi rakud kuna ülejäänud osa puust – lülipuit, säsi, koor – koosnevad elututest rakkudest. Kasvavas puus võtab lülipuit peamise koormuse enda kanda.

Piki puu telge kulgeb säsi.

Südamiku ümber on tumedam osa ehk lülipuit, mis koosneb surnud puurakkudest ja on kuivem.

Lülipuidus on rohkem vaikusid ja parkaineid ning on seetõttu



Joonis 2.2-2

vastupidavam kõdunemisele. Kui südamiku ümber olev kuivem osa tumedam ei ole, siis nimetatakse seda küpsepuiduks.

Viited joonisele 2.2

A: Väline koor suhteliselt kuiv surnud kude, mis kaitseb puitu väliselt.

B: Sisemine koor suhteliselt niiske ja pehme materjal, mis juhib toidu sünteesi kõikides kasvavates osades.

C: Mähk suhteliselt õhuke kiht sisemise koore sees. Selles kihis toimub puidu juurdekasv.

D: Maltspuit: suhteliselt noor, kasvav kiht, mis sisaldab elusrakke toitainete ladustamiseks ja niiskuse juhtimiseks juurtest lehtedeni. See puidu piirkond on tavaliselt värvilt heledam, kui sisemine lülipuit. Kihi paksus, sõltuvalt puidu liigist, varieerub 30-70 mm.

E: Lülipuit: võrreldes maltspuiduga asub see puu sisemiste kihtides ja moodustub maltspuidu surevatest rakkudest, säilitatud toiduvärsed muutuvad keemiliste protsesside tulemusena tanniiniks, värvituks, amorfseks massiks. Lülipuidu põhifunktsioon on anda puule vastupidavust.

F: Säsi: Puidusüdamik, kust sai alguse puu kasv.

G: Aastaringid. Aastarõngad, mis tekivad puidus on sõltuvad aastaegadest ja ümbritsevast kliimast. Aastarõngal on kaks osa; kevad ja sügis. Kevadised rakud on õhukeseseinalised pikad rakud, mis on nõrgad, sügisesed paksuseinalised lühikesed rakud, mis on tugevamad.

H: Säsikiired. Suhteliselt kitsad kudede ribad, mis läbivad kasvurõngaid risti. Nende eesmärk on ladustada ja juhtida toitu mitmesuguste kihtide vahel säsisest kooreni.

Ristlõike väliskihis asub maltspuit, mis on heledam ja mahlakam. Maltspuidus liiguvad toitemahlad juurtest krooni poole. Väliskihi all asub mähk, milles tekivad ja arenevad uued puu rakud. Suve ja sügise jooksul see kiht puitub, moodustades uue aastarõnga. See on kevadpuidust tihedam, tumedam ja kitsam. Tumedate kihtide vahel on kevadel kasvanud heledam ja poorsem kiht. Ühe aastarõnga moodustavadki üks tumedam ja üks heledam kiht.

Olgu lisatud, et surnud rakkudega lülipuidus on membraanid rakkude avauste ette kleepunud, mistõttu seal mahlade voolu ei esine. Samasugune nähtus esineb ka maltspuidus langetatud puu kuivamisel. See asjaolu seletab, miks okaspuitu on väga raske immutada (eriti kuusepuitu, mis on lülipuiduline).

Puidu pindmise kihi moodustab koor, mis omakorda koosneb korbast, korkkoest ja niinest. Niines asuvad toitemahlade juhtmed. Korp kaitseb puud väliste vigastuste eest. Korkkude, mida igal puiduliigil ei pruugi olla, kaitseb puitu järskude temperatuurikõikumiste eest.

Sellest lähtuvalt jagatakse puud 3 rühma:

- lülipuidulised (koosnevad lülipuidust ja maltspuidust)
- maltspuidulised (koosnevad ainult maltspuidust)
- küpsepuidulised (küpsepuit ja maltspuit).

Lehtpuu anatoomiline ehitus on okaspuiduga võrreldes keerulisem. Lehtpuule annavad tugevuse pikad paksuseinalised rakud ehk libriformkiud.

Lehtpuit (peale mõne erandi, näiteks meil tamm, mis sisaldab parkaineid) on okaspuidust nõrgem, kuid kergemini kõdunev; teda kasutatakse vähekoormatud ja ajutistes konstruktsioonides. Lehtpuidu tugevus põhineb pooridega mahlu mittejuhtivatel tugirakkudel (poorid on sarnased trahheiididega, mis siin enamasti puuduvad). Mahlad voolavad siin juhttorude, trahheede kaudu (*trahheede – juhtsoon, mis koosneb ülestikku asetsevaist silinderjaist kestapaksendite või pooridega puitunud rakkudest, mille otsmised kestad on lahustunud. Mõõda trahheed liigub vesi koos lahustunud ainetega*). Trahheede pikkus on keskmiselt 100 mm (tammel isegi 2-3m), mis tunduvalt kergendab lehtpuidu immutamist.

2.3 Puidu füüsikalised omadused

a) Niiskus

Puidu niiskust väljendatakse veehulgaga protsentides puidu kuivkaalust

$$\omega = \frac{m_{\omega} - m_0}{m_0} \times 100$$
 kus m_{ω} - puidust proovikeha mass enne kuivatamist, m_0 - puidu proovikeha mass peale püsiva kaaluni kuivatamist.

Niiskus mõjutab olulisel määral puidu füüsikalisi-mehaanilisi omadusi.

Vesi esineb puidus kolmel kujul:

1. *kapillaarvesi (ehk vaba vesi)* - täidab rakud ja sisemised tühikud rakkude vahel;
2. *hügroskoopne vesi (e. seotud vesi)* - imendub raku seintesse;
3. *keemiliselt seotud vesi* – ainete koostises ning eraldub keemilisel töötlemisel

Kapillaar- ja hügrokoopne vesi eemaldatakse kuivatamise teel.

Maksimaalse hügrokoopse vee (seotud vesi) hulk rakkude seintes, olenemata puidu liigist, 20 °C juures on keskmiselt 30%. Seda seisundit nimetatakse **kiudude küllastusastmeks** ja ta sõltub vähe puidu liigist. Nimetatud niiskuse protsent on olulise tähtsusega, sest niiskuse vähenemisel alla 30% muutuvad puidu mitmesugused omadused tunduvalt.

Toores puidus olev niiskus moodustub rakus ja rakuseintes sisalduvast veest. Tingimustes, kus rakus enam vett ei leidu ja rakuseinad on veest küllastunud nimetatakse kiudude küllastusastmeks. Küllastusastmest ülespoole jääva niiskusesisalduse puhul jäävad puidu füüsikalised ja mehhaanilised omadused püsivateks. Allapoole küllastusastet jääva niiskusesisalduse puhul hakkavad muutuma sellised omadused, nagu: kaal, tugevus, elastsus, roomamine ja pikaajalisus. Puidu kasutamiseks tuleb puit eelnevalt kuivatada. Kuivatamise viisid:

- kuivatamine õhus. Puit staabeldatakse ja lautakse virna, kaetakse pealt varjualusega, mis laseb puidul loomulikul teel kuivada. See meetod on odav ja väikeste kadudega, kui seda tehakse korrektselt. Meetod nõuab palju ruumi, on raskesti kontrollitav ja pikaajaline,
- kuivatis kuivatamine. Puit kuivatatakse köetud, ventileeritud ja niiskust reguleerivates kuivatites. Meetod nõuab erilisi seadeid ja on kallim, kuna vajatakse energiat. Meetod pakub enam kontrollitud keskkonna võimalusi, millega saavutatakse nõutav niiskusesisaldus ja on palju kiirem.

Niiskus on peamine puidu tugevust mõjutav parameeter. Seetõttu taandatakse puidu (tugevus)omadused 12% juurde, et neid saaks adekvaatselt omavahel võrrelda.

Vee hulga suurenedes kuni rakuseina küllastuspunkti väheneb puidu tugevus eriti paindel ja survele, vähem nihkel ja eriti vähe tõmbel ja löökkoormusel.

Niiskuse muutumisel toimub puitdetailil mahumuutus. Puidus on õhus leiduva veeauru tõttu alati niiskust. Puidus oleva niiskuse hulk sõltub otseselt ümbritseva keskkonna niiskusest. Kaugaega ühes keskkonnas seisnud puit omandab lõpuks tasakaaluniiskuse, mis tähendab, et aururõhud õhus ja puidu pinnal on võrdsed. Kui keskkonna niiskus muutub, siis muutub ka puidu niiskus ja pikapeale moodustub uus tasakaaluniiskus.

Puidu maksimaalne niiskus kõigub suurtes piirides. Nii on värskest raiutud puidu niiskus 50...100% ja kauemat aega vees seisnud puidu niiskus läheneb 200%-le.

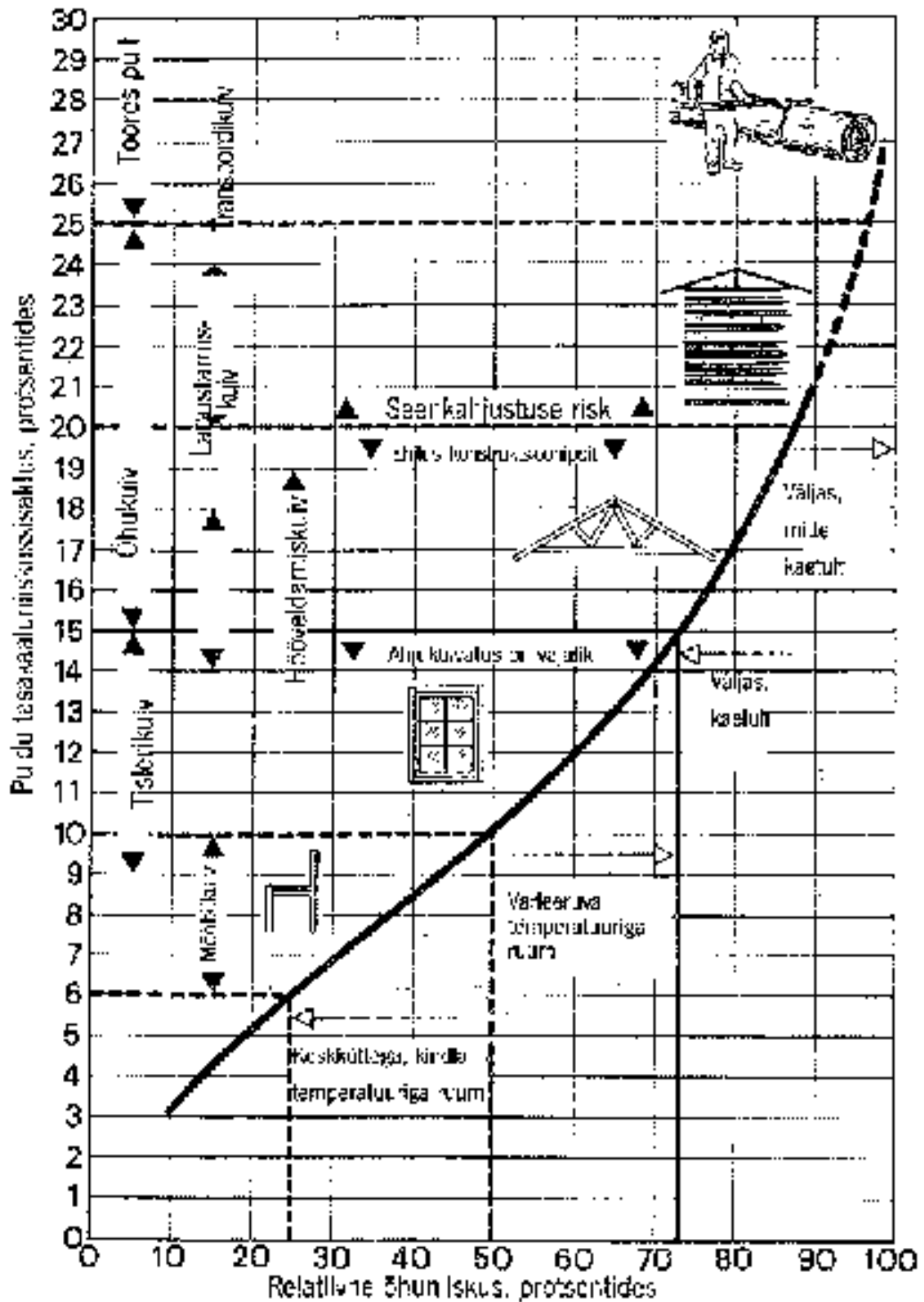
Niiske puit on kuivast alati nõrgem, sest niiskus eraldab puurakke teineteistest ja nõrgestab nendevahelist sidet. Kuna niiskuse osa puidus on väga tähtis, siis pööratakse sellele ka suurt tähelepanu ning sellest lähtuvalt jagatakse puitu järgmiselt:

- absoluutselt kuiv puit (niiskuseprotsent on 0, kuivatatud 100...105°C juures);
- toakuiv puit (8...13% puidu kuivkaalust);
- õhukuiv puit (15...20%);
- poolkuiv puit (20...25%);
- toores puit (**>25%, seda ehituskonstruktsioonides kasutada ei või**).

Vt ka joonis 2.3-1

Puitu kuivatatakse õhkuivatamise (toimub välisõhus, min niiskus 15%), kamberkuivatamise (80...100°C, min niiskus 5%) või elektrilisel (10...12 tundi) meetodil.

Seos relativse õhuniiskuse ja puudu tasakaaluniiskuse vahel, umbes 20 °C juures.



Joonis 2.3-1

Ehituspuidu niiskus peab olema vahemikus 8-15%. Eriti rangelt tuleb niiskusesisaldust jälgida liimpuidu korral.

Eksportkuiva puitmaterjali tarneniiskus on $20 + 4\%$. Sisevoodriks kasutatava puitmaterjali niiskussisaldus peaks olema alla 16% . Nõutav niiskusesisaldus on vaja kokku leppida tellimise ajal.

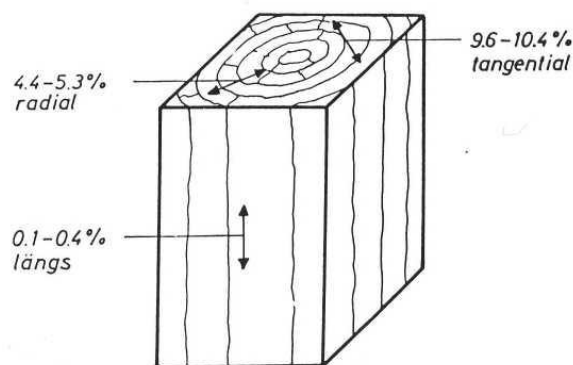
b) *Mahumuutus* - tingitud eelkõige niiskusesisalduse muutusest

Puit on **hügroskoopne materjal**. Seega õhu käes annab niiske puit soodsate ilmastikutingimuste korral oma vee ümbritsevale keskkonnale, kuiv puit hakkab niiskes keskkonnas endasse vett imema. Puidu niiskuse muutumisel $0-30\%$ muutub puidu maht ja lineaarmõõtmed, s.t. toimub puidu paisumine ja mahukahanemine.

Puidu kuivamisel eraldub kergesti rakkudes ja rakkudevahelistes tühemikes leiduv vaba vesi. Rakkude seintest seotud vee eraldumisega kaasneb puidu mahukahanemine. Vastupidine nähtus - puidu paisumine esineb siis, kui rakkude seinad hakkavad veega täituma.

Puit ei deformeeru kõigis suundades ühesuguselt. Okaspuidu täielikul kuivamisel on pikisuunaline lühenemine $0,1-0,4\%$, ristikiudu ja radiaalsuunas $4,4-5,3\%$, tangentsiaalsuunas $9,6-10,4\%$. Tehnilisest seisukohast on olulised risti kiudu tekkivad deformatsioonid. Tangentsiaal- ja radiaalsuunaliste deformatsioonide suhe on ligikaudu $2:1$, millest tingituna saetud materjal kuivamisel kaardub (vt joonis 2.3-3).

Suur niiskusesisalduse muutus võib rikkuda näiteks sulundtarandi (kui 150 mm laiusega voodrilaua niiskus väheneb 30% -lt 10% -ni, siis tõmbub laud laiuses kokku 9 mm ja lauad tulevad sulunditest välja). Kuna puidu mahumuutus pole kõikides suundades ühesugune, võib puittoode kõverduda ja praguneda. Tugevat puitmaterjali lõhenemist püütakse takistada säsiosa lõhestamisega.



Joonis 2.3-2

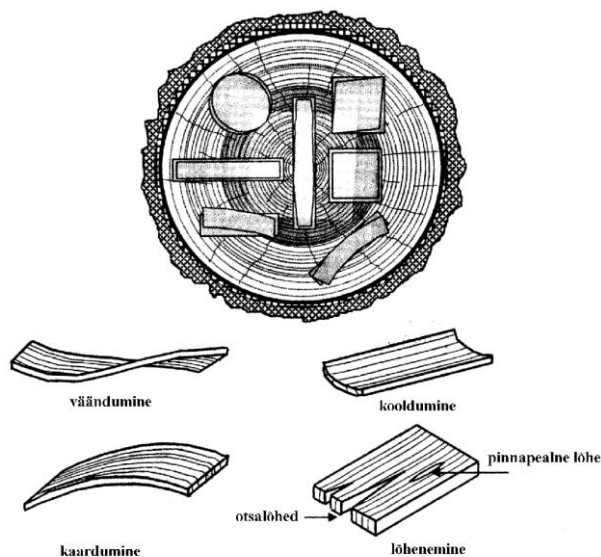
Teiseks paheks on radiaalsuunalised kuivamispraod, sest puidu kuivamisel annavad välimised kihid kiiremini vee ära ja püüavad tangentsiaalsuunas kahaneda, see aga on sisemise märja puidu tõttu takistatud. Siit tingituna tekivad tangentsiaalsuunalised tõmbepinged, mis ületavad puidu tõmbetugevuse ja lõhestavad puitu radiaalselt. Palgi erinevatest ristlõikeosadest saetud elementide võimalikud deformatsioonid on esitatud joonisel 2.3-3

Kõrgetes temperatuurides kunstlikult kuivatatud puidu hügrokoopsus on mõnevõrra väiksem. Puidu hügrokoopsust võidakse vähendada ka immutamise või puidu pinna katmise teel sünteetiliste vaikudega.

c) *Puidu tihedus (mahumass)*

Mahumass (tihedus) – vaatamata sarnastele erimassidele, on mahumassid puidu liigiti erinevad. Seda tänu erinevusele poorsuses ($20...55\%$). Mahumass sõltub tugevalt niiskusesisaldusest.

Seetõttu on kokku lepitud, et mahumassi väärtused esitatakse 12% niiskuse juures.



Joonis 2.3-3

Tihedus (mahumass) on puidu tähtsaim omadus

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{g}{cm^3} \right], \text{ kus } m - \text{mass; } V - \text{proovikeha maht}$$

ρ – puidu tihedus 20⁰C ja 65% suhtelise niiskuse juures

ρ_0 – absoluutselt kuiva puidu tihedus (“kuivatatud”)

-kerge puit	$\rho_0 = 0.1 \text{ g/cm}^3$
-raske puit	$\rho_0 = 1.2-1.4 \text{ g/cm}^3$
-ehituspuit	$\rho_0 = 0.4 \text{ g/cm}^3$

- Raku seina materjal ehk puitaine, on kõikidel puiduliikidel ühesugune loodusliku tihedusega
- Mahumasside erinevus on tingitud puidu raku puitaine ja pooride mahu vahekorra.

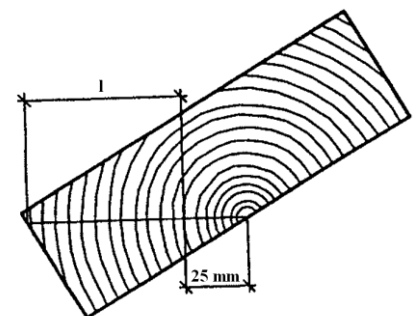
Puitaine – rakuseina – erikaal (erimass) kõigub väga väikestes piirides ja on keskmiselt 1.54 g/cm³.

Puidu tihedus oleneb puitaine ja vee hulgast mahuühikus. Puidu mahumasse võrreldakse puidu niiskusel 12%

Suurema mahumassiga puit on tugevam. Puidu tihedust ja seega tema kvaliteeti saab hinnata puu aastaringide arvu järgi tüve ristlõike radiaalsuunas 1 cm ulatuses (joon 2.3-4), mis konstruktsioonipuidul peaks olema 5-20.

Puitkonstruktsioonide omakaalu arvutamisel tuleb lähtuda standardist EVS-EN 1991-1-1:2002, kus puidu mahumassid on esitatud puidu tugevusklasside järgi.

Meil levinenumatel puiduliikide mahumassid on keskmiselt (kg/m³) järgmised: mänd 530, kuusk 460, tamm 720, kask 640, saar 680, haab 340.



Joonis 2.3-4

Puitkonstruktsioonide arvutamisel kandepiiriseisundis kasutatakse normatiivseid (ρ_k) puidu tihedusi, mis erinevatele puidu tugevusklassidele on leitav seosega (analoogiliselt tugevusväärtuste leidmisega) 12% puidu niiskuse juures:

$$\rho_{12,k} = \rho_{12,mean} - 1,65(0,1\rho_{12,mean}) = 0,84\rho_{12,mean}$$

Kasutuspiiriseisundis arvutamisel kasutatakse keskmist (ρ_{mean}) puidu tihedust.

Standardites antakse vastavad normatiivsed ja keskmised väärtused, mis on erinevad tugevusklasside järgi.

d) Temperatuuripaisumine

Puidu temperatuuripaisumise tegur on väike: piki kiudu (3 ...5)x10⁻⁶ ja risti kiudu 7 korda suurem. Siit tulenevalt puitkonstruktsioonides temperatuuripingeid ei arvestata ning temperatuurivuuke ei tehta. Temperatuuripaisumise tegur puidus piki kiudu on 2 ... 3 korda väiksem terasest

e) Soojajuhtivus

Seoses puidu poorse ehitusega juhib materjal halvasti soojust. Soojajuhtivus on puidus piki kiudu suurem kui risti kiudu. Näiteks standardniiskusel on puidu soojajuhtivus piki kiudu ca $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja risti kiudu ligikaudu 1,8 korda väiksem ($\lambda=0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$). Väike soojajuhtivus lubab puitu kasutada nii kande- kui ka piirdekonstruktsioonides. Nii on 15 cm paksune pruss soojajuhtivuse seisukohalt ekvivalentne 2,5 kivi paksuse tellisseina soojajuhtivusega.

f) Värvus

Normaalsel kahjustamata puidul on värvus valge, kollakas, pruun või punakas. Vees olles ning ka aja toimetel võib värvus tumeneda. Haigestunud puidul võib värvus olla ka hallikassinakas või rohekas. Kui näiteks puit kuivab kile all, see tähendab õhuliikumist pole, tõmbub ta sinakaks. Puidu tugevusele see mingit mõju ei avalda.

g) Muster

Puidu muster kujuneb aastarõngastest (kevad- ja sügispuit on eri värvi) ja oksa kohtadest lähtuvalt. Puidu muster sõltub sellest, mis suunas on puitu lõigatud. Muster ja värvus on visuaalsel vaatlusel peamised omadused, mille järgi saab puiduliikidel vahet teha.

2.4 Puidu mehaanilised omadused

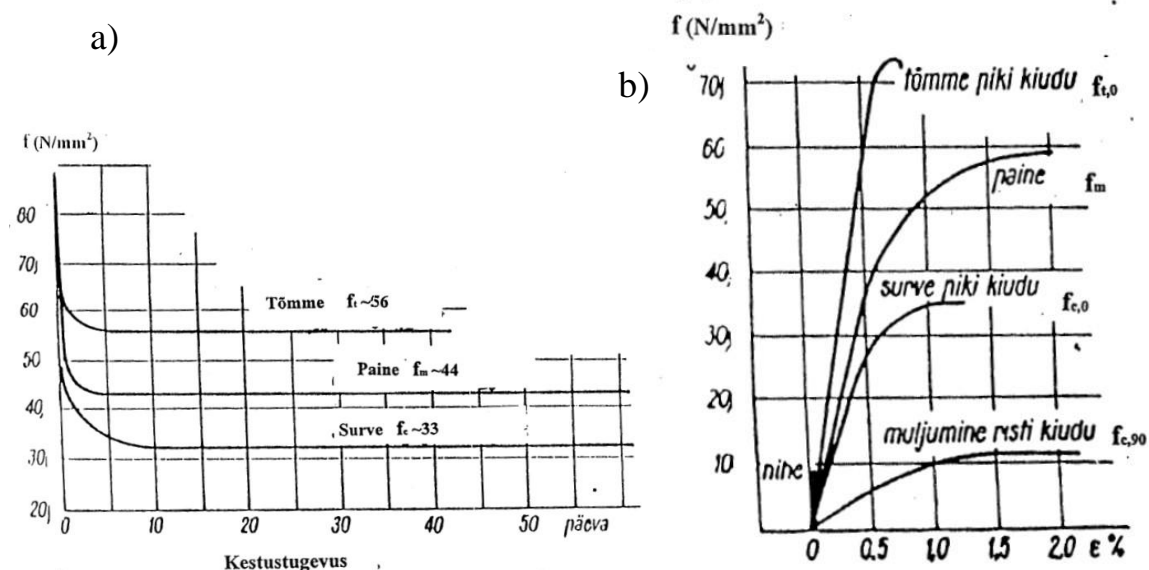
Puit allub kõrgmolekulaarse aine reoloogia seaduspärasustele.

Reoloogia on teadus, mis uurib materjalide omaduste muutumist ajas tingituna mitmesugustest mõjutustest (näit. koormus).

2.4.1 Puidu kestustugevus

Puidu tugevus määratakse laboratoorselt standardikohastele nõuetele vastavate katsekehadega. Tuleb märkida, et nii saadud andmed ei vasta täpselt mitmesugustes tingimustes töötava suuremõdmelise ja looduslike vigadega konstruktsioonipuidu tugevusele, kuid praktikas kasutamiseks on nad küllalt sobivad.

Katsetulemustele avaldavad mõju mitmesugused tegurid nagu koormamise kiirus, temperatuur, niiskusesisaldus, proovikehade kuju ja suurus. Siinjuures eriti suurt mõju avaldab koormamise kiirus. Eksperimentaalselt on selgitatud: kui puitelementide (katsekehade) koormamise aega suurendada, siis väheneb puidu tugevus pidevalt, lähenedes asümptootiliselt teatud piirväärtusele, mida nimetatakse puidu kestustugevuseks. Tõmbe surve ja painde korral on esitatud joonisel 2.4.1-1a



Joonis 2.4.1-1

Tingituna puidu struktuuri anisotroopsusest oleneb puidu tugevus jõu mõjumise suunast kiudude suhtes. Suurim tugevus on jõu mõjumisel piki kiudu ja väiksem ristikiudu. Sama kehtib ka deformatsioonide kohta (joonis 2.4.1/1b)

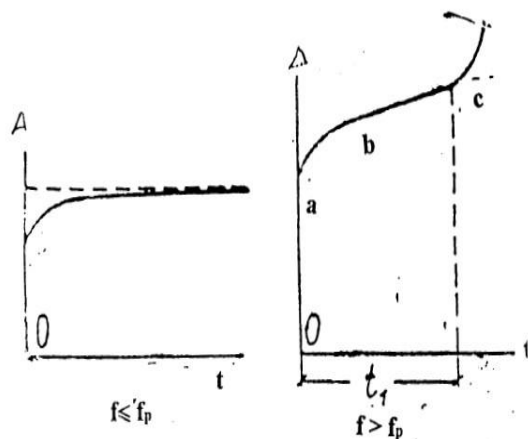
Kui koormata üks seeria ühesuguseid proovikehasid erinevate pikaajaliste koormustega, siis nende purunemine toimub erinevatel ajavahemikkudel (mida suurem koormus, seda kiiremini puruneb). Seejuures on võimalik, et osa proovikehi ei purune kuitahes pika aja jooksul. Siit saamegi puidu kestustugevuse määrata – *seega kestustugevus on puidu piirtugevus, mille juures proovikeha ei purune ükskõik kui kaua me teda ei koormaks.*

Tähistame puidu kestustugevuse f_p -ga.

Kui puidu tugevus $f \leq f_p$, siis deformatsioonid ajas sumbuvad, lähenedes mingile kindlale väärtusele.

Juhul kui $f > f_p$, siis sellisel koormamisel peale koormuse kiiruse vähendamist piirkonnas a-b hakkavad deformatsioonid piirkonnas b-c (see on plastilise deformatsiooni piirkond) ühtlase kiirusega kasvama, alates ajamomendist t_1 deformatsioonide kasvamine kiireneb kuni purunemiseni.

See on puidu roomavuse omadus



Joonis 2.4.1-2

Kestustugevus näitab tegelikku puidu tugevust, mis erineb piirtugevusest, mida määratakse katsekehade lühiajalisel koormamisel.

Kestustugevus saadakse piirtugevuse korrutamisel ülemineku koefitsiendiga, mis **eksperimentide** alusel on saadud 0,5-0,6.

Lühiajalisel koormamisel puit säilitab elastsuse ja konstruktsioonides tekivad suhteliselt väikesed deformatsioonid, mis suures osas on taastuvad. Pikaajalisel koormamisel deformatsioonid kasvavad sama koormuse all ja reeglina ei taastu. Seega puidus tekivad taastuvad (elastsed) ja jääkdeformatsioonid (plastsed).

Seega on võimalikud nii lühiajalised kui kestvad koormused, mis avaldavad mõju puitkonstruktsioonide tugevus- ja jäikussuurustele.

Puitkonstruktsioonide projekteerimise standard (Eurokoodeks 5; EVS-EN 1995-1-1) määrab ülaltoodu põhjal koormuste kestusklassid. Normide kohaselt koormuse kestusklass määratakse koormuse konstantse toimega konstruktsiooni eluea ühe kindla ajaperioodi jooksul. Muutuva koormuse vastav klass määratakse tüüpilise ajalise muutuvuse ja materjali reoloogilise omaduste vastastikuse toime hinnangu alusel.

KOORMUSE KESTUSKLASS

Koormuse kestusklass	Normkoormuse kestus	Koormuse näiteid
Alaline	enam kui 10 aastat	Omakaal
Pikaajaline	6 kuud kuni 10 aastat	Laokoormused
Keskkestev	1 nädal kuni 6 kuud	Kasuskoormus, lumi
Lühiajaline	vähem kui 1 nädal	lumi ja tuul
Hetkeline		tuul avariikoormus

Siinjuures tuleb silmas pidada, et kliimast tingitud koormused (lumi, tuul) on erinevates maades erinevad, siis määratakse koormuse kestusklassid vastavate standardite rahvuslike lisadega.

Kui anda puidust proovikehadele kindel deformatsioon (eelpingestada), siis pinge aja jooksul väheneb – tekib relaksatsiooni nähe.

Relaksatsioon on pingete järk-järguline vähenemine konstruktsioonis (kehas) selle jääva deformatsiooni korral.

Puidu juures esineb ka *roomavusnähe*, mis on omane kõikidele konstruktsioonimaterjalidele. See on probleemiks puidu eelpingestamisel.

Roomavus on materjali võime jätkuvalt plastselt deformeeruda selliste jõudude mõjul, mis on väiksemad hariliku kestusega katsete puhul plastset deformatsiooni esilekutsuvaist jõududest. Roomavusega kaasneb pingete relaksatsioon. Nimetatud reoloogilisi omadusi arvestatakse arvutuslike tugevuste määramisel.

Puitmaterjalide tugevus oleneb suurelt osalt ka puidu vigadest nagu oksad, koonilisus ja keerdkasv jmt.

2.4.2 Puidu tugevust mõjutavad tegurid

Nagu eelpool nimetatud puidu tugevusomadused olenevad puidu liigist, jõu mõjumise suunast kiudude suhtes, puidu niiskusest ja temperatuurist. Puidu struktuuri ebahühtlusest on tingitud mehhaaniliste omaduste suur kõikumine ka ühe puiduliigi piirides. Puidu tugevus sõltub samuti koormamise kiirusest ja kestvusest. Puidu tugevus määratakse lühiajalisel koormamisel.

Puidu tugevust mõjutavateks teguriteks on:

- a) *niiskus* – vee hulga suurenedes väheneb puidu tugevus eriti paindel ja survel, vähem nihkel ja eriti vähe tõmbel ja löökkoormusel. Vt joonis 2.4.2-1

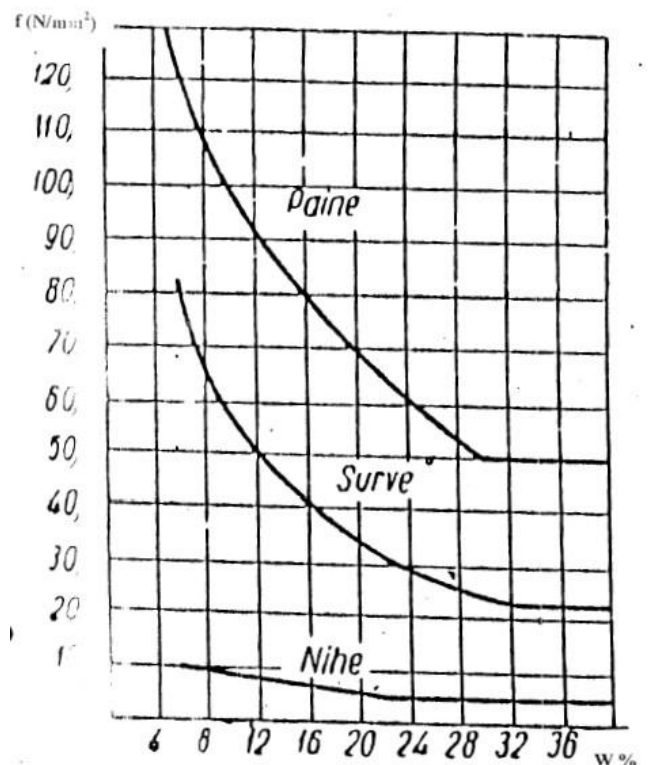
Juhusliku niiskuse ω juures määratud tugevuste taandamiseks niiskusele $\omega = 12\%$ kasutatakse seost

$$B_{12} = B_w [1 + \alpha(\omega - 12)]$$

kus α väärtused männipuidul on survel piki kiudu 0,05, paindel 0,04, nihkel piki kiudu 0,03. Valemid on kehtivad niiskuse piires 0-23%.

- b) *temperatuur* – kõrgemal temperatuuril on puidu tugevus väiksem. Näiteks temperatuuri tõusmisel $20^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ langeb survetugevus 20-40%, tõmbetugevus 12-15% ja nihketugevus 15-20 % ja samuti väheneb puidu elastsusmoodul ca 2,5 korda.

Siit tulenevalt selgub, et temperatuuri tõus suurendab puidu deformatsioone. Samal ajal tekivad puidus kuivamisega suurte okste juures veel lisapinged. Sellega on seletatavad puitkonstruktsioonide avariid suvisel kuumal ajal, kuigi konstruktsioon polegi maksimaalselt koormatud.



Joonis 2.4.2-1

Miinustemperatuuridel suureneb puidu tugevus staatilisel koormusel igasuguse niiskusesisalduse puhul. Jäätunud toore puidu tugevus suureneb survel keskmiselt 30%, paindel 40% ja lõikel 70%. Löötkoormusel on külmunud puit, olles habras, kuni 50% nõrgem

Standardi EN 384 kohaselt soovitatav niiskusesisaldus peab vastama tasakaaluniiskusele keskkonnas, kus temperatuur on 20 °C ja suhteline õhuniiskus 65%. Paljudel okaspuu liikidel vastab see ligikaudu 12% niiskusesisaldusele massi järgi.

Katsed näitavad, et kõrgendatud temperatuuris puidu tugevus langeb. Kui tõsta temperatuuri näiteks 20⁰-lt 50⁰C-ni, langeb survetugevus 20-40%, tõmbetugevus 12-15% ja lõiketugevus 15-20%. Samuti väheneb kõrgendatud temperatuuri puhul puidu elastsusmoodul. Näiteks temperatuuri tõusul 20⁰ – 50⁰C niiskusel 12% väheneb puidu elastsusmoodul 2,5 korda. Seega temperatuuri tõus suurendab puidu deformatsioone. Samal ajal tekivad kuivamisel puidus suurte okste juures veel lisapinged. Sellega on ka seletatavad mõned puitkonstruktsioonide avariid suvisel kuumal ajal, mil konstruktsioon polegi maksimaalselt koormatud.

Temperatuuril alla 0⁰C suureneb puidu tugevus staatilisel koormamisel igasuguse niiskusesisalduse puhul. Jäänud toore puidu tugevus suureneb keskmiselt survel 30%, paindel 40% ja lõikel 70%. Löökkoomusel on külmunud puit, olles habras, kuni 50% nõrgem.

Puitkonstruktsioonide arvutamiseks etteantud keskkonna tingimustele vastavalt on normides kasutusele võetud *kasutusklassid* , mis seavad projekteerijale ja ehitise kasutajale kindlad niiskus- ja temperatuuritingimused. Neid kasutusklasse on 3.

Kasutusklass 1: iseloomustatakse materjali niiskusesisaldusega, mis vastab temperatuurile 20⁰C ja õhu suhtelisele niiskusele kuni 65% - puidu niiskusesisaldus sel juhul ≤ 12%;

Kasutusklass 2: iseloomustatakse materjali niiskusesisaldusega, mis vastab temperatuurile 20⁰C ja õhu suhtelisele niiskusele kuni 85% - puidu niiskusesisaldus sel juhul ≤ 20%;

Seejuures kumbagi kasutusklassi korral on lubatud niiskuse ületamist mõneks nädalaks aastas.

Kasutusklass 3: iseloomustatakse kõrgema niiskusesisaldusega kui kasutusklassil 2.

Normeeritav niiskusesisaldus puidus vastavalt klassile on järgmine: 1 - ≤ 12%; 2 - ≤ 20%;

Kaetud konstruktsioonid loetakse ainult erandjuhtudel kolmandasse kasutusklassi kuuluvaks.

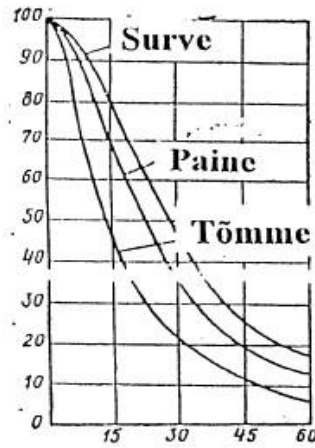
2.4.3 Tõmme, surve ja paine

Tõmme

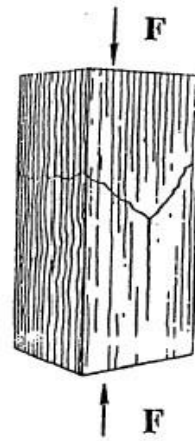
Tugevuspiiriks tõmbel vigadeta männipuidul piki kiudu normaaltingimustel on saadud $f_t = 100 \text{ N/mm}^2$. Tõmmet iseloomustab plastse deformatsiooni puudumine. Seejuures purunemine toimub elemendi telje suunas pikemas piirkonnas järk-järgult. Puidu tugevust vähendavad oluliselt looduslikud vead, mis põhjustavad ristlõikes sisemise ekstsentrilisuse ja pingete kontsentratsiooni. Eriti ohtlikud on oksakohad, mis paiknevad elemendi servadel. Nii näiteks oksa läbimõõdu puhul $\frac{1}{4}$ elemendi küljepikkusest on tugevusnäitaja selles ristlõikes ainult 27% standardse proovikeha tugevusest.

Tõmbetugevus ristikiudu $f_{t,90}$ (tingituna materjali anisotroopsusest) on 20-25 korda väiksem kui tõmbetugevus pikikiudu $f_{t,0}$. Siit järeldub, et väga suur osa puidu vigadest on puidu kiudude kiivus, mida materjali valikul on vaja arvestada.

Puidu tugevuse sõltuvust jõu mõjumise suunast kiudude suhtes nurga all on esitatud joonisel 2.4.3-1.



Joonis 2.4.3-1



Joonis 2.4.3-2

Surve

Katsed näitavad, et puidust proovikehade survetugevus $f_{c,0}$ pikikiudu on 2-2,5 korda väiksem, kui tõmbel (lühiajaline koormamine). Elastsusmoodul on aga praktiliselt sama kui tõmbel.

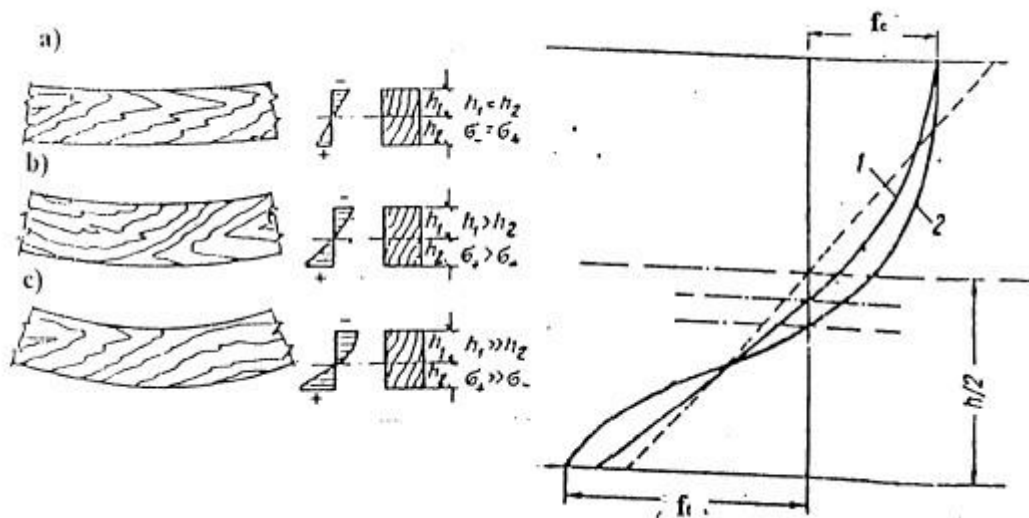
Survele avaldavad puidu vead vähem mõju kui tõmbel. Näiteks maksimaalselt lubatava oksa läbimõõdu puhul survele 1/3 elemendi küljepikkusest on survetugevus 60-70% standardse proovikeha tugevusest. Seega puit töötab survele paremini, kui tõmbele, siit – puitmetall-sõrestikud.

Survepurunemisel tekib puidus tugevamate ja jäigemate kiudude väljanõtkumine - nad surutakse pehmetesse kevadpuidu kihtidesse (joonis 2.4.3-2). Survel esinevad puidus suured plastsed deformatsioonid, mistõttu habrast purunemist ei teki.

Paine

Puidu keskmine paindetugevus f_m standardse katsekeha puhul on 60-70 N/mm² Nagu nähtub graafikult joonisel 2.4.3-1 on paindejoon tõmbe ja surve vahel. Elastsusmoodul on sama kui tõmbel.

Puidu vigade (näiteks oksad max $d=1/3$ küljepikkusest) korral tugevus langeb umbes poole võrra moodustades 45-50% normikohaste puidust proovikehade paindetugevusest. **Tuleb alati jälgida, et puidu vigu satuks vähem tõmbetsooni.**



Joonis. 2.4.3-3

Puidu paindetugevus arvutatakse tugevusõpetuse kohaselt $\sigma = M / W$. Selliselt arvutatud pinged ei saa ühtida plastses staadiumis töötava puidu pingetega, pealegi on pingete ja pikenemiste diagrammid tõmbe ja surve puhul erinevad (joonis 2.4.3-3).

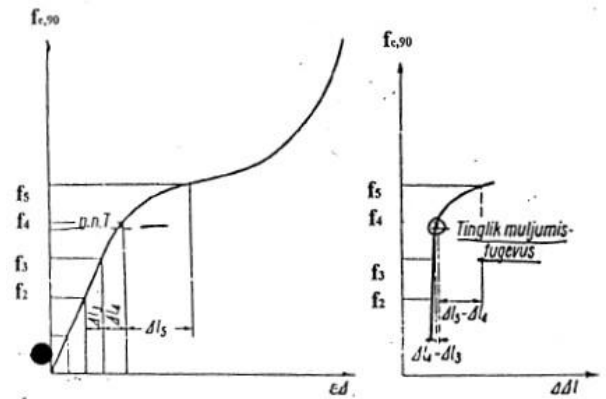
Tala ristlõikes väikese momendi mõjumisel on pingete diagramm lineaarne (a =teor tõmmesurve). Momendi edasisel suurenemisel satuvad kõigepealt plastsesse olukorda kiud ristlõike surutud tsoonis (b ja kõver 1, kus "tõmme" > "surve"). Edasisel momendi suurenemisel tekib plastiline olukord tõmbetsoonis, kus kiud saavutavad tõmbetugevuse (c-kõver 2, "tõmme" >> "surve"), millele järgneb elemendi purunemine.

Seega erineb arvatud epüür tegelikust. Katsed ja teoreetilised uurimused näitavad, et paindeelementide tugevus oleneb paljuski ristlõikest: $0 > \square > I$.

Puidu piirtugevus sõltub ristlõike mõõtmetest (kõrgus, laius) . Seda arvestatakse parandusteguritega arvutuslike tugevuste selgitamisel.

Muljumine

Puidu tugevus survele risti kiudu $f_{c,90}$ on tunduvalt väiksem kui pikikiudu $f_{c,0}$ ning deformatsioonid on nii suured, et proovikeha võidakse kokku suruda. Seetõttu kujutab muljumistugevus endast tinglikku suurust, mida piiratakse deformatsiooniga. Graafikult joonis 2.4.3-4 selgub, et muljumistugevus, mis sisuliselt on survetugevus ristikiudu, saadakse puidu deformatsiooni põhjal selle töötamisel elastses staadiumis. Teises



Joonis 2.4.3-4

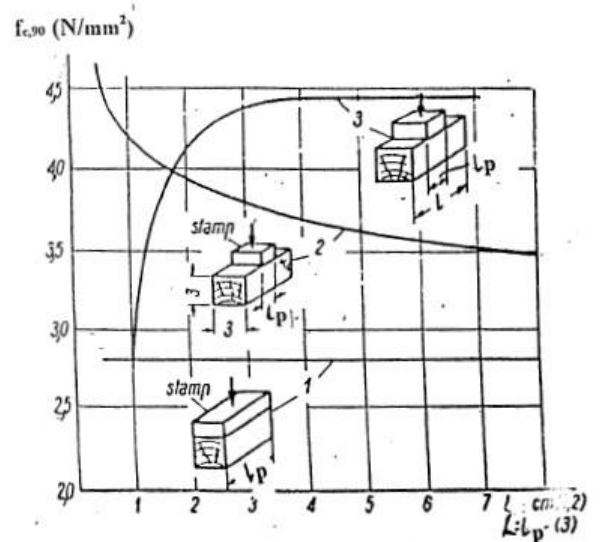
diagrammis saadud punkt, kus deformatsioonide lineaarsus lõpeb ja algab diagrammi kõverjooneline osa, ongi tinglik puidu tugevus survel ristikiudu.

Eelnevast kokkuvõtet tehes võib märkida, et puidu töötamist muljumisele saab otsustada lubatud deformatsioonide järgi ja arvutustugevuseks võetakse proportsionaalsuse piir.

Proportsionaalsuse piir sõltub muljuva pinna ja katsekeha pinnast. Mida väiksem on see suhe, seda suurem on puidu muljumistugevus (võrdle graafikud 1 ja 2 joonisel 2.4.3-4) . Selle põhjuseks on see, et koormatud pinna all oleva materjali põikdeformatsioonid on kõrvaloleva koormamata puidu poolt tõkestatud. Tekib lokaalne ruumiline pingeolukord, milles materjal teatavasti näitab suurt tugevust.

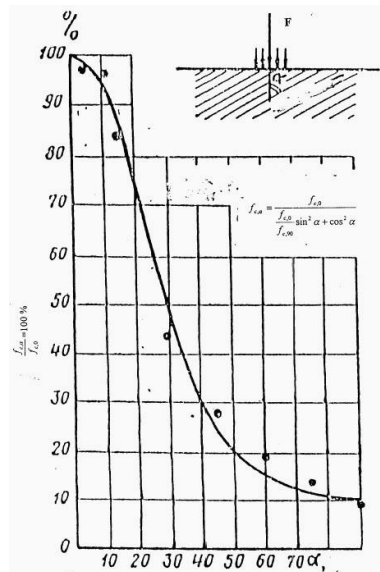
Puidu koormamisel risti kiudu on oluline elemendi vaba otsa pikkus kiudude suunas (joon 2.4.3-5), kus vaba otsa suurenemisega puidu tugevus risti kiudu suureneb, kuid mitte lõpmatult. Standard EVS-EN 1995-1-1 arvestab seda asjaolu survetugevuse leidmisel teguriga $k_{c,90}$ -ga.. Nimetatud tegur arvestab koormuse konfiguratsiooni, lõhestumisvõimalust ning survedeformatsioone. Lühikese koormatud ala puhul võib muljumistugevus kasvada.

Puidu survetugevus (seega ka muljumine) puidu kiudude suhtes nurga all väheneb nurga suurenemisega, mis avaldub seosega (vt ka graafik joonisel 2.4.3-6).



Joonis 2.4.3-5

$$f_{c,\alpha} = \frac{f_{c,0}}{\frac{f_{c,0}}{f_{c,90}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$



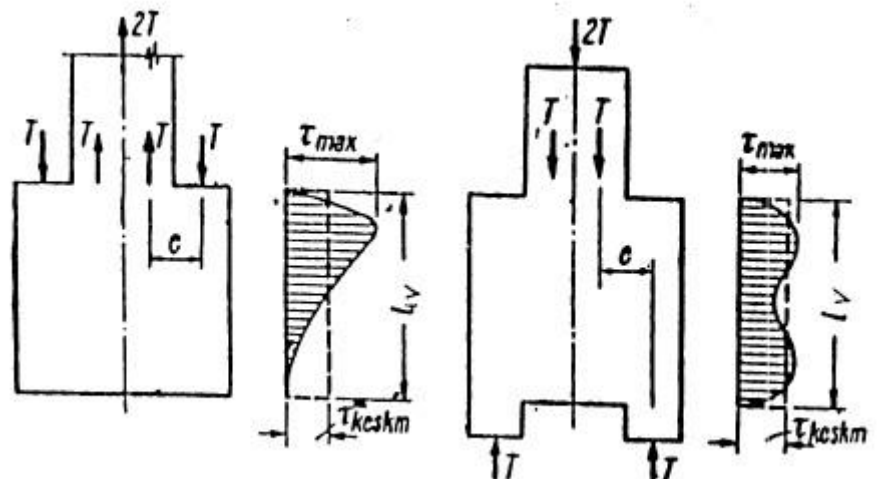
Joonis 2.4.3-6

Lõige (nihe)

Puidu nihe võib tekkida puidu tasapinnas piki ja põiki kiudu, aga samuti kiudude suhtes nurga all. Okaspuidu puhul on katsete teel puidu lõiketugevuseks piki kiudu saadud $f_v = 7 N / mm^2$.

Nagu näitavad lõikekatsed on pingete jaotus lõikepinnas väga ebahütlane (joonis 2.4.3-7).

Selgub, et suhte l_v/e vähenemisega muutub pingejaoitus ühtlasemaks. Liiga pikka lõikepinda pole mõtet valida, sest lõikejõu rakenduse vastaspooles otsas on pinged tühised ja see osa lõikepinnast praktiliselt ei tööta. Nihkepingete kontsentratsiooni on uuritud ka mudelitel



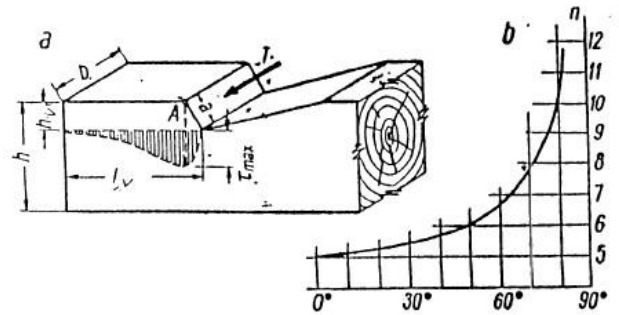
Joonis 2.4.3-7

fotoelastsuse meetodil (pingete uurimise optiline meetod). Selliste katsete kohaselt asub lauptappühendustes suurim nihkepinge punktile A vastavas ristlõikes ja omab minimaalse lõikepinna pikkuse $l_v = nh_v$ juures väärtust:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{ab\pi}$$

kus teguri n väärtused olenevad jõu mõjumise suunast kiudude suhtes (graafik joonisel 2.4.3-8).

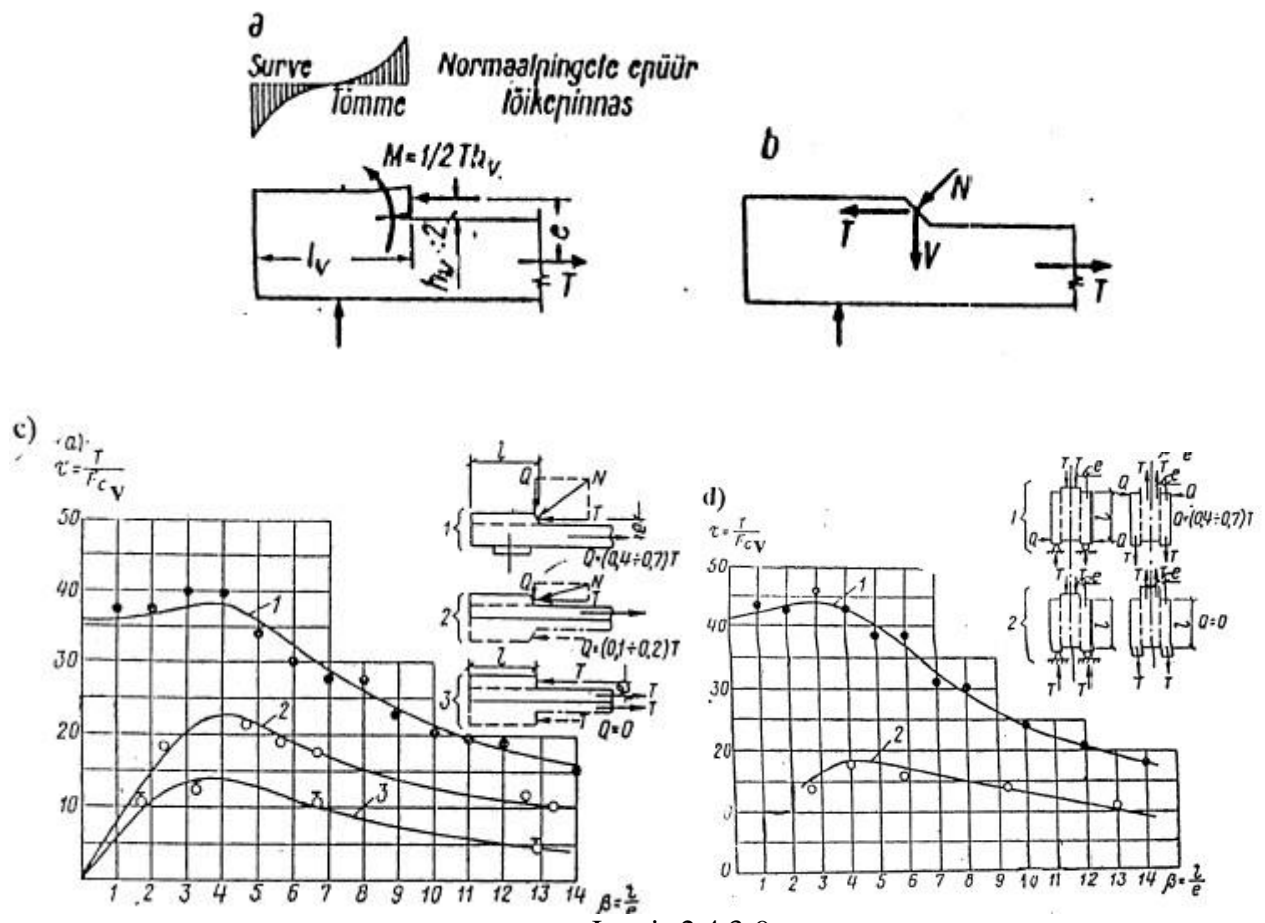
Konstruktsioonides ainult puidu lõikele töötavaid ühendusi ei esine. Lõikele töötav pind on koormatud veel normaaljõuga, mis rakendub ekstsentriliselt. Joonis 2.4.3-9. Siin esitatud näitel esinevad lõikejõud, mis tekitavad lõikepinna risti kiudu mõjuvaid tõmbepingeid, mis vähendavad tappühenduse tugevust. Need pinged vähenevad ja ühenduse tugevus suureneb suhte l_v :e vähenemisega (vt. c kõver 1).



Joonis 2.4.3-8

Lõikepinna kokkusuruva jõu (vt. b) olemasolu korral ühenduse tugevus ilmselt suureneb.

Graafikutel c) ja d) on kujutatud nihkepingete sõltuvus lõikepinna pikkuse ja jõu ekstsentrilisuse suhtest proovikehade purunemisel.



Joonis 2.4.3-9

2.5 Puidu vead ja kahjustused

Puidu vigadeks loetakse kõiki nähteid, mis kahjustavad tema tugevust, rikuvad struktuuri ja välimust või raskendavad töötlemist. Ehituspuidu vead tulenevad saagimisvigadest (mõõdetähve, tööriista ebatäpsus), kuivamisest (kaardumine, kõmmeldumine, külje kõverdumine, serva kõverdumine vt ka joonis 2.3-3) ja puitmaterjali enda vigadest (näited joonistel 2.5-1 ja 2).

Puitmaterjali enda vigadest on olulisemad:

- oksad – vähendavad tõmbe- ja paindetugevust, kuid suurendavad nihketugevust. Oksakohad raskendavad ka puidu töötlemist;

- praod – kõige levinumad on välispraod, mis asetsevad ristlõikes radiaalselt. Need tekivad puidu ebaühtlase kuivamisel. Sisemised radiaal- ja ringpraod tekivad kasvavates puudes tugeva tormi üleelamisel või märja puidu külmumisel;
- kasvuvead – rikuvad puidu siseehitust ja ebaühtlustavad struktuuri. Seetõttu on need nähud enamasti ebasoovitavad

Levinumad puidu kasvuvead on:

- keerdkasv – enamlevinud puidu kasvuviga. Keerdkasv tähendab seda, et puidu kiud on spiraalselt kasvanud ümber tüve kesktelje. Nimetatud moone nõrgestab eelkõige ristkülikulise ristlõikega elemente. Ümmarguse ristlõike puhul ei ole see märkimisväärselt ohtlik. Keerdkasv on skemaatiliselt näidatud joonisel 2.5-1;(der Aufbau 2007)
- salmilisus – puidu kiud on segi;
- kaksiktüvi – kaks puutüve on kokku kasvanud;
- sissekasv – tekib puukoore vigastuse korral;
- ekstsentriline südamik
- puidu aastarõngad on ühel pool puidu südamikku paksemad;
- ebanormaalne koonilisus – puutüvi peeneneb liiga järsku;
- külmalõhed – näidatud joonisel 2.5-2;(der Aufbau 2007)
- kõverkasv;
- ladvamurre – kiudude kõrvalekalle, mis on põhjustatud kasvava puu ladva kahjustusest;
- ränipuit – reaktsioonpuit, mis moodustub enamasti okaspuude okste alumistel külgedel ja viltustel või kõveratel tüvedel;
- voldiline tüvi.



Joonis 2.5-1 Keerdkasv



Joonis 2.5-2 Külmalõhe

Puidukahjurid – putukad nõrgestavad puitu ja rikuvad selle välimust.

Mädanemine – see on puidu riknemine temas arenevate seente tegevuse toimetel.

3. PUIDUPÕHISED MATERJALID

3.1 Ehitusvineer

Vineer on kihiline materjal, mida valmistatakse õhukeste puitlehtede – *spoonide* – kokkuliimimise teel. Spoonid asetatakse vineertahvlisse üksteise suhtes kiudude suunaga risti ja paaritu arvuga joonis 3.1-1. Spooni paksus on 1,4–3,2 mm. Paaritu arvu spoonikihtidega tagatakse, et vineertahvli välise spoonide kiud on ühesuunalised, mis on vajalik vineertahvli kaardumise tõkestamiseks. Vineer koosneb 3...13 üksteise suhtes risti asetatud õhukestest puiduspoonidest. Kiudude risti asetamisega vähendatakse tunduvalt puidu anisotroopsust ja ühtlustatakse mahudeformatsioone erinevates suundades. Spoonide arvu suurendamisega suureneb vineeri homogeensus. Kandekonstruktsioonides kasutatav vineer peab

olema ilmastiku ja niiskuskindel. Vastasel juhul löövad kihid niiskuse ja vee käes üksteise küljest lahti ja/või servad punduvad.

Vineeri valmistamiseks kasutatakse kase- ja okaspuud. Okaspuuvineeris kasutatakse kuuse- ja männipuitu. Segavineeris tarvitatakse lisaks kase- ja okaspuule ka haavapuu spooni, kuid välispind on alati kasest. Kasepuuvineer on kõige tugevam.

Vineeri kasutatakse muu hulgas kandelementides, põhikonstruktsioonides jäikuselementidena, vooderdamiseks, tasandamiseks, kujundamiseks, sisustus- ja puusepatöodes.

Vineerplaatide tavalised laiused on 1500 ja 1200 mm. Plaatide levinumad pikkused on 1200, 1500, 1800, 2400, 3000 ja 3600 mm.



Joonis 3.1-1

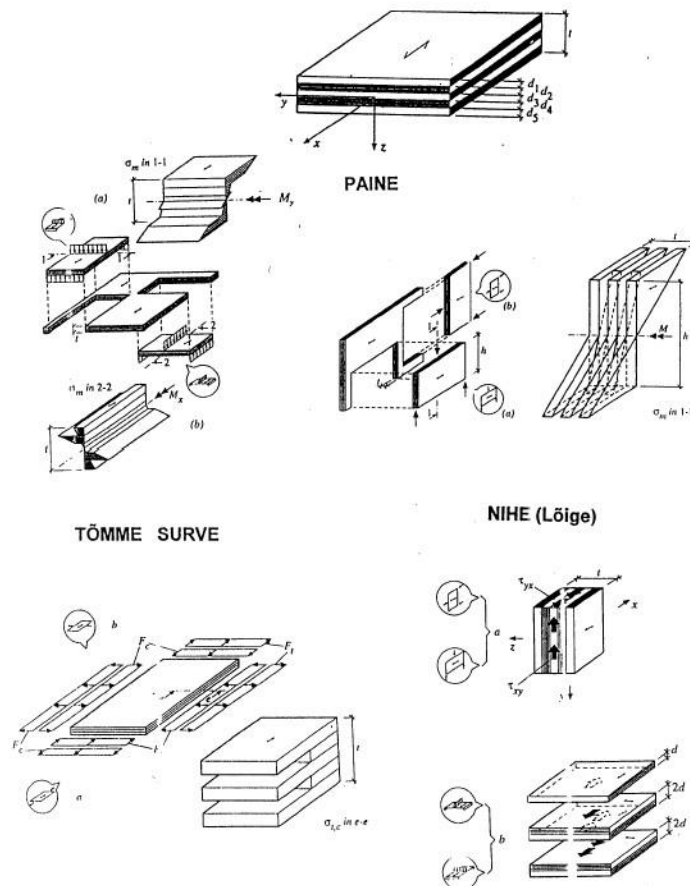
Vineerile on omased kõrged tugevusnäitajad, väike mass (näiteks 4x väiksem alumiiniumist), madal soojus- ja helijuhtivus ja on kasutatav keemiliselt agressiivses keskkonnas. Kui vineeri valmistada veekindlatel liimidel, saame niiskuskindla vineeri, millest valmistatakse kandekonstruktsioone.

Nimetatud positiivsed omadused võimaldavad vineeri kasutada mitmekihiliste piirdekonstruktsioonide valmistamiseks, nagu puitvineerpaneelid, ribilised kaared, koorikud- hüparid, konoidid jne.

Ehitusvineeri sortimenti kuuluvad kasevineer, bakeliseeritud vineer, kus välised pinnad on töödeldud piirituses lahustuvate vaikudega. Seega on viimased veekindlad.

Konstruktsioonides leiavad kasutamist vineerspoonidest liimitud karp- ja nurkristlõiked, torud ja lainelise ristlõikega plaadid.

Vineeri tugevus välimiste spooni kiudude asetusel piki sillet on oluliselt suurem, kui põikisuunas (paine skeem) . Joonis 3.1- 2.



Joonis 3.1- 2

Samas vineeri lõiketugevus pindade vahel võib olla ligi 2,5x suurem kui puidu lõiketugevus piki kiudu, mis on tema oluliseks eeliseks puidu ees.

Bakeliseeritud vineeri normaalpinged piki vineeri tahvleid on 2,5 ja põiki kuni kaks korda suurem, kui okaspuidu tugevus piki kiudu. Lõiketugevus on ligi 4,5x ja nihketugevus kuni 1,5x suurem puidu nihketugevusest piki kiudu.

Erinevate vineeri sortide orienteerivad tugevused on esitatud tabelis 3.1.

Kandekonstruktsioonides kasutatakse vineeri paksusega 10...30 mm, tahvlite suurus 1525x1220 või 1525x1525.

Levinuim puiduliik vineeritööstuses on kask, mis annab tugevaima vineeri. Kasutamist leiab ka okaspuit.

Tabel 3.1

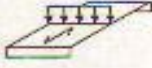
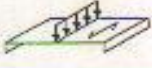
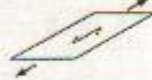


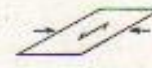

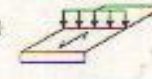
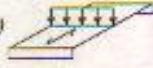



type of characteristic strength	S-plywood ¹		FIN-plywood ²		US-plywood ³		CAN-plywood ⁴		D-plywood ⁵
	t mm	f _k N/mm ²	t mm	f _k N/mm ²	t ⁶ mm	f _k N/mm ²	t mm	f _k N/mm ²	f _k N/mm ²
3(a)  f _{m,0,k}	12,0	23,0	12,0	37,2	12,5	23,5	12,5	19,0	77k ₁
	24,0	21,6	24,0	34,8	21,0	14,8	25,5	15,8	
3(b)  f _{m,90,k}	12,0	11,4	12,0	27,6	12,5	12,2	12,5	7,3	77(1-k ₁)/k ₂
	24,0	12,4	24,0	29,0	21,0	10,1	25,5	8,7	
6(a)  f _{t,0,k}	12,0	15,0	12,0	38,9	12,5	13,6	12,5	9,9	77k ₂
	24,0	15,4	24,0	37,2	21,0	10,5	25,5	10,6	
6(b)  f _{t,90,k}	12,0	12,0	12,0	32,9	12,5	7,2	12,5	6,3	77(1-k ₂)
	24,0	11,4	24,0	34,1	21,0	6,9	25,5	6,6	
6(a)  f _{c,0,k}	12,0	15,0	12,0	19,9	12,5	13,9	12,5	12,6	58k ₂
	24,0	15,4	24,0	19,3	21,0	10,6	25,5	14,1	
6(b)  f _{c,90,k}	12,0	12,0	12,0	17,5	12,5	8,1	12,5	9,0	58(1-k ₂)
	24,0	11,4	24,0	18,1	21,0	7,7	25,5	9,7	
5(a)  f _{v,k}	12,0	2,9	12,0	9,8	12,5	3,2	12,5	3,2	8,0
	24,0		24,0		21,0		25,5		
5(b)  f _{r,k}	12,0	0,9	12,0	2,5	12,5	0,9	12,5	0,9	3,0
	24,0		24,0		21,0		25,5		
characteristic density ρ _k		410	550	410	410	410	410	550	

Fig.	S-plywood ¹		FIN-plywood ²		US-plywood ³		CAN-plywood ⁴		D-plywood ⁵
	t mm	E _{mean} N/mm ²	t mm	E _{mean} N/mm ²	t ⁶ mm	E _{mean} N/mm ²	t mm	E _{mean} N/mm ²	E _{mean} N/mm ²
3(a)  E _{m,0,mean}	12,0	9200	12,0	9800	12,5	10300	12,5	9200	11000k ₁
	24,0	8700	24,0	8900	21,0	7800	25,5	6700	
3(b)  E _{m,90,mean}	12,0	4600	12,0	6200	12,5	2500	12,5	2000	11000(1-k ₁)
	24,0	5000	24,0	7100	21,0	2500	25,5	3300	
6(a)  E _{t(0),mean}	12,0	7200	12,0	8500	12,5	6800	12,5	6000	11000k ₂
	24,0	7400	24,0	8300	21,0	5200	25,5	6300	
6(b)  E _{t(90),mean}	12,0	4800	12,0	7500	12,5	4600	12,5	4400	11000(1-k ₂)
	24,0	4600	24,0	7700	21,0	3900	25,5	4300	

3.2 Puitplastid (Konstruktsiooni-puitplastid)

Konstruktsiooni-puitplastid valmistatakse peamiselt fenoolformaldehüüdvaigust, harvem karbamiid- ja melamiinvaikudest. Plasti mädanemise tõkestamiseks kasutatakse antiseptikuid, tuleohu vastu antipüreene ja veemavuse vähendamiseks hüdrofoobseid aineid, kaitsekihte ja värve.

Puitlaastplaadid

Põhiomadustelt on puitlaastplaat võrreldav puiduga, kuid valmistamistehnoloogiast lähtuvalt on sellel eeliseid, näiteks süüsuuna puudumine, homogeensus ja väikesed hälbed tasapinnalisusest, sirguse säilitusvõime ning pinnakõvadus. Samas aga murdub ja paindub laastplaat suhteliselt lihtsalt. Neid valmistatakse tehisvaiguga segatud puitlaastudest, mis pressitakse kuumalt kokku. Analoogselt kasutatakse ära ka saepuru, spoonijäätmeid jne. Pealne kiht on sageli dekoratiivse kihiga, mis edasist viimistlemist ei vaja (kõva ja hinnaline ühekihiline puiduliik, paber, plastik jne). Sellist toodet nimetatakse lamineeritud plaadiks. Plaatide paksus on 6...20 mm. Kui plaat on mitmekihiline, siis pealne kiht tehakse kvaliteetsematest laastudest. Puitkiudplaatidest on nad tavaliselt halvema kvaliteediga, kuigi omadused on üpris sarnased. Mehhaaniliste omaduste parandamiseks armeeritakse neid tihti staapelkiududega, muidu murdub ja paindub laastplaat suhteliselt lihtsalt.

Soojusisolatsioon ja tulekindlus on paremad kui puidul, niiskus- ja tulekindlusomadusi saab parandada juba tootmise ajal.

Puitlaastplaate kasutatakse sisemiseks vooderdamiseks, tuuletõkke- ja alusplaatimiseks. Sulundatult kasutatakse puitlaastplaate näiteks põrandate aluskihiks.

Puitplastide eeliseks on väike soojajuhtivus, mis võimaldab neid kasutada üheaegselt nii piirde- kui ka kandekonstruktsioonidena. Plastide temperatuuri-joonpaisumistegur on suur. Nad on hõlpsasti töödeldavad.

Plaadi füüsikalise- mehaanilised omadused (mahumass, tugevus, soojatakistus jne) sõltuvad pressimise survest. Sellest lähtuvalt jaotatakse neid:

- kergeteks (mahumass $<450 \text{ kg/m}^3$, suure poorsuse tõttu sobib hästi soojaisolatsioonimaterjaliks);
- poolrasketeks ($450...750 \text{ kg/m}^3$, kasutatakse vaheseinte ja teiste mittekandvate konstruktsioonide ehitamiseks);
- rasketeks $8750...1000 \text{ kg/m}^3$, kasutatakse põrandate tegemiseks).

Standardite kohaselt valmistatakse orienteeritud laastuga plaati (OSB EN 300 joonis 3.2.1) ja puitlaastplaati (EN 312).



Joonis 3.2-1 OSB puitlaastplaat

Puitkiudplaadid

Puidkiudplaadid valmistatakse peenest puitvillast, mis pressitakse kokku ja kuivatatakse kuumalt. Seejuures enamasti tehisvaiku ei kasutata (sideaineks on puidus endas leiduvad looduslikud vaigud). Plaatide paksus on 3...25 mm. Sageli on need plaadid lamineeritud. Puitkiudplaatide pinnakattena

kasutatakse spooni, paberit, riidet, plastikut, klaasriidet, metalli või korki. Nende miinuseks on suur veeimavus (40...80%) ja sellega kaasnev pundumine plaadi paksuse suunas, mille tulemusel omakorda langeb tugevus. Plussideks on väike mahumass, kerge töödeldavus ja suur suhteline tugevus.

Plaadi omadused sõltuvad pressimise survest ja sellest lähtuvalt jaotatakse neid:

- isoleerplaadid (mahumass 150...250 kg/m³) - kasutatakse soojaisolatsiooniks, sisevooderduseks, heli summutamiseks ja akustilisteks ekraanideks. Bituumeni või vaiguga kaetud plaate kasutatakse üldiselt tuuletõkkeplaatidena. Nende tugevus on suurem kui standardplaatidel ning need taluvad niiskust ja hülgavad vett;
- poolkõvad puitkiudplaadid (MDF) (250...350 kg/m³) - kasutatakse siseseinte ja lagede kattematerjalina ehituses ja ka sisustuses;
- jäigad plaadid (400...1100 kg/m³ nn soome papp) - kasutatakse kateteks sisustuses vaheseinte, kandekonstruktsioonides koos puiduga, mööbli jne tegemisel).

Puitkiudplaatide tugevusomadused on ühtlased, plaate on kerge töödelda. Kõik puitkiudplaadid on tuleohtlikud.

MDF-plaadi (*medium density fibreboard* - keskmise tihedusega kiudplaat) tegemiseks pressitakse puitkiud liimiga kokku. Seda plaati on kerge töödelda ja sel on hea niiskustaluvus. MDF on 3–30 mm paks ning ei muuda oma kuju nagu puit. Plaati kasutatakse enamasti mööbli valmistamisel, uste konstruktsioonis ja liistudena. MDF-plaati on võimalik valmistada ka tulekindlana.



Valmistatakse kõva ja keskmist puitkiudplaat (vastavad standardid EN 622-3 ja EN 622-3) ning MDF-plaate (EN 622-5).

Erinevalt puitlaastplaadist ei sisalda MDF liimaineid ja on tunduvalt tugevam ning niiskus kindlam (tihedus on lähedane kõvadele puiduliikidele).

Joonis 3.2-2 Puitkiudplaat MDF

Puitkihtplastid

Valmistatakse vaiguga immutatud spoonidest paketi kuumalt kokkupressimise teel. Näiteks 1 cm paksuses plastis on 20-25 spoonikihti ja 10-24% vaiku.

3.3 Uuematest puitmaterjalidest

Tööstuslikult valmistatud uuematest puitkonstruktsioonide materjalidest, kus kasutatakse polümeerseid liime, võib nimetada järgmisi:

- spoonliimpuit (vineerkihtpuit) *microlam* (Soomes *kertopuu*)
- vineerribapuit *parallam*
- liimpuit (lamell-liimpuit) inglise keeles *glulam*
- ristkihtliimpuit

- kuumtöödeldud puit (termopuit)

a) Spoonliimpuit

Spoonliimpuit (levinud nimi on ka kertopuu, laen soome keelest) on kihiline materjal, mis valmistatakse puidust spoonide kokkuliimimise teel.



Spoonliimpuitu ehk vineerpuitu saadakse 3 mm paksuse kuusespooni kokkuliimimisel plaadiks ilmastikukindla liimiga. Soomes kasutatava spooni pikkus on vähemalt 1800 mm, spooni jätkatakse kaldjätkuga. Jätkukohtade vahekaugus kõrvutiasetsevates spoonikihtides on vähemalt 100 mm.

Spoonikihtide paigutus on kahesugune. Standardtootel on kõik kihid paigutatud pikisuunas. Ristehitusega toodetel on osa kihte peasuuna suhtes risti. Toodetavate talade väikseim paksus on 27 mm ja suurim 75 mm, samm 6 mm. Standardkõrgused on 200, 225, 260, 300, 360, 400, 450, 500, 600 ja 900 mm.

Joon 3.3-1 Spoonliimpuit-Q

Spoonliimpuidu eelisteks on mõõdutäpsus ja sirgus. Spoonliimpuidu sildeava on tavaliselt 5–12 m. Seda kasutatakse põranda-, vahelae- ja katusekonstruktsioone kandvate taladena ning avauste- ja tugitaladena. Samuti kasutatakse seda puitu kandvates ja mittekanvates seintes.

Eestis veel seda materjali veel ei toodeta. Peamiselt toodetakse spoonliimpuitu Soomes. Üks põhilisi tootjaid on seal Lohja Kertopuutehas, mis toodab spoonliimpuitu alates 1980. a.

Spoonliimpuitu loetakse Soomes keskkonnasõbralikuks ja teda on lubatud kasutada ehituses. Seda materjali kasutatakse ka Rootsis, Norras, Taanis, Saksamaal, Hollandis ja USA-s.

Soomlaste kinnitusel spoonliimpuidu tugevusomadused on paremad kui liimpuidul ja täispuidul. Tema mahukaal 9...10% niiskuse korral on 500 kg/m³.

Ehitustööde jaoks toodetakse spoonliimpuitu Soomes kolme liiki Kerto-S, -Q, -T.

Kerto-S on valmistatud spoonidest, kus kiudude suund on ühesugune. Kasutatakse kandekonstruktsioonide valmistamiseks, kus on vajalik suhteliselt suuremaid kandeavasid, samuti ka korrusmajade ehitusel. Kasutatakse nii uute ehituste juures kui ka vanade konstruktsioonide tugevdamiseks..

Kerto-Q on valmistatud spoonidest, kus nende kiud on teineteisega risti. Selletõttu on toote löike- ja tõmbetugevus kiudude suunaga risti kõrgemad kui Kerto-S tootel. Kerto-Q tootes on üks viiendik spoonidest ristisuunas. Toote paksus oleneb pealistikku asetatud 3 mm paksuste viilude arvust. Kasutatakse nii talana kui plaadina. Plaatkonstruktsioonina sobib Kert-Q kasutamiseks nii nähtava dekoratiivse pinnana kui ka jäigastava põranda-, lae- või seinaplaadina. Talakonstruktsioonina sobib Kerto-Q kasutamiseks objektidel, kus on vaja suurt löiketugevust. Tuleb märkida, et olenemata sellest, kas toodet kasutatakse plaadina või talana on ka selle niiskumisest tekkinud deformatsioon vähene, ainult kümnendik Kert-S vastavast näitajast. Liimitud konstruktsiooni tõttu on toode sirge ja täpsete mõõtudega ega väändu.

Kerto-T on valmistatud selliselt, kus kõikide spoonide kiudude suund on pikisuunaline. Teda kasutatakse põhiliselt puitkarkassi kandeelementide nii välis- kui ka siseseinte valmistamiseks, s.o. karkassi seinatalad ja suuremalt osalt just postid.

Oma valmistamise poolest on Kerto-T sobivaks kinnitusalusena kõikidele plaatmaterjalidele, mis tähendab, et plaate on kerge kinnitada nagu traditsioonilise puitehitise korral, ilma spetsiaalsete tööriistadega.

Kokkuvõtteks: vineerkihtpuit on tavaliste tööriistadega töödeldav ning temast võib valmistada mitmesuguseid profiile nagu karp- ja I-profiil .

b) *Vineerribapuit-parallam* (nimetus on veel tinglik ja eesti keeles välja kujunemata)

Vineerribapuit on puidu spooni ribadest kokkupressitud materjal.;

Toodete valmistamiseks lõigatakse 3 mm paksune spoon 12 mm laiusteks ribadeks, mis omakorda läbijooksval pressil massiivseks elemendiks liimitakse. Joonis 3.3.2.

Vineerribapuidu valmistamise tehnoloogia on loodud 1969.a. ja valmistamist juurutati 1974 ...1983. Põhiliselt valmistatakse seda materjali Kanadas ja peamiseks tootjaks on MacMillan Bloedel Parallam Divisjon.

Sellest materjalist on võimalik valmistada



Joonis 3.3-2 Parallamm

kõiki kandekonstruktsioonielemente. Talade maksimaalsed mõõted on järgmised: pikkus 9,2 m, kõrgus kuni 457 mm ja laius 180 mm.. Selle materjali arvutustugevused on 2-3 korda suuremad kui tavalisel saematerjalil

c) *Liimpuit (Lamell-liimpuit)*

Liimpuiduks e. lamell-liimpuiduks nimetatakse lamellidest paketttristlõikeks liimitud elemente. Liimpuit on paralleelselt kiudude suunaga kokku liimitud puitlamellidest element. Elemente võib valmistada nii konstantse kui ka muutuva ristlõikega, aga samuti sirgete või kõverjooneliste elementidena. Paketttristlõiked on soovitatav valida ühe laua laiused, seejuures paketti moodustavad laudad jätkatakse tööstuslikul tootmisel hammastapiga. Liimpuidu valmistamine toimub täielikult tööstuslikul viisil, kus tagatakse täpne valmistamise tehnoloogia alates puitmaterjali ettevalmistamisest kuni toote liimimise ja pressimiseni.

Standardi kohaselt loetakse liimpuitelemendiks paketti, mis koosneb vähemalt neljast üksteisega pikisuunaliselt kokkuliimitud lamellist (lamellide paksus on sirgetel elementidel 40 mm).

Liimpuitelement võib laiuses koosneda mitmest osast. Harilikult kasutatakse liimpuidu toorainena kuuske. Liim peab olema ilmastikukindel. Talade laius on 60...290 mm ja pikkus kümneid meetreid.

Liimpuidu kandevõime on tema mõõtmeid ja kaalu arvestades hea, sest oksad jagunevad konstruktsioonis ühtlaselt ning ükski pragu ei ulatu läbi terve tala. Liimpuitkonstruktsioonid taluvad märkimisväärselt suuri põlemiskoormusi. Neid on ka lihtsam sügavimmutada, sest seda saab teha lamellide kaupa.

Liimpuittalad ei pruugi olla ainult konstantse ristlõikega. Valmistada saab ka muutuva ristlõikega talasid ning kõverjoonelisi elemente.

Liimpuidu eelisteks loetakse muuhulgas pikaalisust, kergust, paigaldamise lihtsust ja head tulepüsimist.

Kuna puit on soe ja keskkonnasõbralik materjal, siis on hakatud lugu pidama liimpuitkonstruktsioonidest. Liimpuidu eelisteks loevad tellijad ka pikaalisust, kergust ja head tulepüsivust (põlemiskiirus 0,7 mm/min).

Liimpuidu kasutusala on väga mitmekülgne. Liimpuidust valmistatakse pakettistlõikega tala-, raam- ja kaarkonstruktsioone, poste jne. Laialdaselt kasutatakse liimpuidust kandekonstruktsioone suurte avadega hoonete katusekonstruktsioonide ja seinakarkasside ehitamisel: spordisaalid, ujulad, lao- ja tööstushooned jms. Samuti leiab liimpuit laialdast kasutust eramute ehituses vahelae taladena, tugipostidena, sarikatena. Liimpuitu on hakatud kasutama ka, eriti viimasel ajal Põhjamaades, sillaehituses: maantee- ja jalakäijatesildade ehitusel ja restaureerimisel.

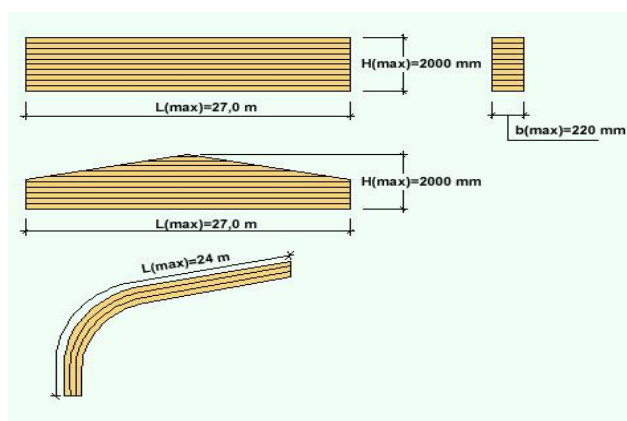
Eestis hakati liimpuitu pooltööstuslikul viisil tootma 70-ndate aastate keskel endises Põlva KEK-is. Eestis toodavad liimpuidust kandekonstruktsioonide elemente Liimpuit AS ja OÜ Peetri Puit mõlemad asukohaga Põlvas.

Tehaste põhitoodanguks on järgmised liimpuidust kandekonstruktsioonid:

- talad (s.h. nii ühe- kui kahepoolse kaldega), postid, sarikad
- poolkaared (s.h. muutuva ristlõike ja raadiusega)
- aknaaluslauad, trepidetailid
- massiivsed lauaplaadid
- vahelae, põranda- sein- ja katusepaneelid.

Liimpuitkonstruktsioonid Eestis valmistatakse peamiselt kuusepuidust. Liimimiseks kasutatakse veekindlaid resortsiinliime, mis on Euroopas tunnustatud laborite poolt heaks kiidetud kandekonstruktsioonide valmistamiseks.

Tüüpilisemate liimpuitelementide põhimõõdud on joonisel 3.3-3 Standardlaiusteks on 60-220 mm sammuga 20 mm, kõrgusteks 80-2000 mm sammuga 40 mm (lamelli paksus) ja maksimaalseks pikkuseks 27,0 meetrit.



Joonis 3.3-3

Ristkihtliimpuit

Üpris uus liimpuidu kasutusvaldkond on vahelae paneelide valmistamine. Näiteks Rootsis valmistatavad paneelid on paksusega 115...215 mm. Ruutmeetri kaal on vastavalt 52...97 kg. Analoogseid paneele kasutatakse ka täisseinalistes seinakonstruktsioonides. Lauad/prussid on sellisel juhul püstasendis.

Kui väiksemates puitehitistes piisab näiteks karkassi jäigastamiseks postidele kinnitatavast plaatmaterjalist, siis suuremates ehitistes on vaja massiivsemaid ja jäigemaid plaate. Massiivelemendiks sobib näiteks spoonliimpuit ja mitmesugused laudadest või prussidest koostatud plaadid, levinuim neist on ristkihtliimpuit, joon 3.3-4.



Joonis 3.3-4 Ristkihtliimpuidust paneelid

Ristkihtliimpuit on pisut vineeri meenutav materjal, mille kihtideks on serviti kokku liimitud (sisekihtides vahel ka liimimata) puitlamellid. Nagu vineeriski on kihte paaritu arv ja puidu kiudude suund kõrvuti asetsevates kihtides on suunatud teineteise suhtes risti. Ristkihtpuidu paksus võib olla üle 200 mm, tavaliselt piirduakse siiski 60- 80 millimeetriga, sest kandevõime on piisav juba üsna suurte hoonete jaoks ja soojapidavuse annab soojustuskiht.

Puitplaatide võib valmistada ka serviti asetatud laudade või prusside kokku naelutamise või liimimise teel. Viimasel juhul on tegemist ristkiht liimpuiduga nagu sellel joon 3.3-4. Samuti saab serviti paiknevad lauad või prussid kokku suruda terasvarrastega, selliseid plaatide nimetatakse pingelamellplaatideks ja laudade või prusside vahel mõjuvad hõõrdejõud on piisavad selleks, et pingelamellplaat toimiks tervikuna.

Kõikidel ülalootletud materjalidel (liimpuit, spoonliimpuit, vineeribapuit) on parem homogeenus kui looduslikul puidul ja vastavalt ka suurem tugevus, mis lubab nende materjalidega ehitada täispuitkarkassiga suureavalisi tööstushooneid (ka sildkraanadega), ühiskondlike hoonete suureavalisi kandekonstruktsioone, kaasa arvatud rippkatused, mida on siiani tehtud terastrossidest kanduritega. Samuti on viimasel ajal tehtud talasildu, aga ka puidust struktuurkandjatega sildu.

Kuumtöödeldud puit

Valmistatakse kõrgetel temperatuuridel (180–230 °C) puidu töötlemise teel. Selline protsess avaldab mõju puidu keemilisele ja bioloogilisele ehitusele ja seetõttu ka kvaliteedile. Kuumtöödeldud puit on paremini vastupidav mädanikule, niiskusest tingitud deformatsioonid on väiksemad, ilmastikukindlus tõuseb, kaal ja paindetugevus vähenevad, vaik aurutatakse välja. Protsessis kasutatakse vaid kuumust ja auru, mingeid kemikaale ega muid väliseid komponente puitu ei lisata.

Kuumtöödeldud puitu kasutatakse sise- ja välisvoodris, saunavoodrina, põrandakatte-, ukse- ja aknamaterjalina.

Kuumtöödeldud puitu ei tohi kasutada kohtades, kus tal on kokkupuude maapinnaga või kus ta võib veega küllastuda.

Termopuit on naturaalpuidust tumedam, ilmastiku- ja mädanikukindlam. Tema soojusisolatsioonomadused on paremad, niiskusdeformatsioon üldjuhul väiksem. Deformatsioonid, nagu keerdumine, kaardumine, pundumine ja kahanemine on minimaalsed. Tasakaaluniiskus on naturaalpuiduga võrreldes isegi 50% napim, mis on tähelepanuväärne eelis välitingimustes, nagu näiteks akende, uste jm puhul, kus niiskus muutub eriti laiades piirides.

Puidu tugevus termotöötlemisel mõnevõrra väheneb – seda enam, mida kõrgemat temperatuuri kasutatakse. Tugevust mõjutavad veel puidu liik ja toorme kvaliteet ning struktuurivead, nagu oksakohad. Sellest tulenevalt ei soovitata termotöödeldud puitu kasutada kandeelementidena, kuni pole tehtud lisakatseid. Praeguste kogemuste tuginedes ei saa teda kasutada ka pinnasesse ja vette asetatavates konstruktsioonides. Termotöötlemine sobib kõikide puiduliikide puhul (enim kasutatakse mändi, kuuske, kaske ja haaba).

Termotöödeldud puidu pinda tuleb töödelda nii teda UV kiirguse eest kaitsvate kui ka talle iseloomulikke lõhna kaotavate ainetega. Välitingimustes kasutatavalt termopuidult nõutakse seene- ja mädanikukindlust (mis on ka suurel määral tagatud). Et termopuit “mängib” vähem.

3.4 Liimid

Liim peab olema küllaldase kohesiooni (*seos aine molekulide vahel*), adhesiooni (*kleepuvus*) ja elastsusega ning moodustama kõvastumisel minimaalselt mahus kahanedes tugeva liimvuugi. Liimid on kas ühe- või mitmekomponendilised. Esimesel juhul on liimi hoidmise aeg piiratud. Teisel juhul liim segatakse vahetult enne kasutamist, kusjuures üksikute komponentide säilimisaeg võib olla küllalt pikk. Liimi kõvastumisega kaasnevad mahukahanemise deformatsioonid ja eraldub madalmolekulaarne vedelik. Kõvastunud vaigu tugevust vähendab sageli tema haprus. Liimi mahukahanemisdeformatsioone vähendab temas olev täiteaine. Mineraalne täiteaine suurendab ka liimi kuumakindlust. Liimi elastsuse suurendamiseks segatakse termoreaktiivseid polümeere termoplastsetega. (Siit selgub ka tehnoloogia suurel osatähtsusel puidu baasil konstruktsioonimaterjali valmistamisel).

Puidu liimimiseks kasutatakse peamiselt fenoolformaldehüüd-, resortsiinformaldehüüd-, karbamiidformaldehüüd-, melamiin- jt. liime. (Põlvas kasutatakse näiteks spetsiaalseid niiskuskindlaid Dynea melamiinliime).

Plastmasside liimimiseks kasutatakse epoksü-, polüester- kautšuk- jt. liime. Loetletud vaike modifitseeritakse ka teiste vaikudega.

4. PUIDU BIOLOOGILISED KAHJUSTUSED

4.1 Bioloogilised kahjustused

Puit kestab sajandeid, kui teda hoida kuivana (joon 4.1-1). Kui puitu kasutatakse katmata tingimustes on ta vastuvõtlik elavatele ja mitteelavatele kahjustajatele, mis mõjutavad puidu struktuuri. Elutud ja füüsikalised tegurid, s.h. kuumus, kulumine, ultraviolettkiirgus ning tugevad kemikaalid, mõjuvad aegamööda puidu tugevust vähendavatena. Nimetatud füüsikalised mõjurid võivad olla märkimisväärsed mõnel juhul, kuid suurimat riski kujutavad endast elavad ning bioloogilised tegurid, nt. seenkahjustused, bakterid ja putukad. Nimetatud kahjurid võivad kaitsmata puidus tekitada tõsiseid kahjustusi suhteliselt lühikese aja jooksul.

Puidu naturaalne kestvus ning vastupidavus seen- ja putukakahjustustele sõltub puidu liigist ning bioloogilistest näitajatest. Maltspuit on üldiselt väiksema vastupanuvõimega ning kahjustused toimivad seal kiiremini. Lülipuit on üldiselt suurema vastupidavusega, kuid see sõltub suuresti puidu liigist.

Vee läbijooks ja kahjustustele alid konstruktiivsed lahendused on sagedasemad põhjused alljärgnevate bioloogiliste kahjustuste tekkimisel (näited joonisel 4.1-2):

- insektid
- hallitus
- mädanemine



Joonis 4.1-1 Sajandeid kestnud vana kirik Norras



Joonis 4.1-2 Bioloogilised kahjustused

Ehituspuitu kahjustavad mitmesugused putukad, kes juba tõukudena hakkavad puitu hävitama.

Ohtlikumad puitu hävitavad putukad on toonesepad ehk nn. puukoid ja majasikud.

Puukoid hävitavad elamu palke, sarikaid, poste jne., Tõugud söövad puitu korrapäratuid käike. Majasiku tõugud kahjustavad ainult okaspuitu.

Mõned putukad kahjustavad kasvavaid puid, mõned aga kuiva puitu. Levinumad on kooreürask (elab toores puus vahetult koore all), toonesapp (kuivas puidus), laevaohardi (vees) jt. Putukad kannavad edasi ka seente osiseid.

Nii puukoide kui ka majasikkude tõukude olemasolu saab kindlaks teha puidu pinnale tekkivate aukude so. lennuaukude järgi, kusjuures puukoide lennuaugud on ümmargused ja majasikkudel elliptilised.

Putukasöödikuist tabatud puitmaterjali pole lubatud kasutada ilma selle eelneva keemilise töötlemiseta. Siit tulenevalt **ei tohi** ehitamisel **kasutada** juba hea ehitustava kohaselt **koorimata** või **halvasti kooritud puitu**. Koorimata puit soodustab puidukahjurite teket ja arenemist. Teisalt ostes koorega puitu ei ole garanteeritud putukkahjurite puudumine ja ostja võtab sellega endale riski ise.

Suurem osa bioloogilisi kahjureid, mis sisenevad ja kahjustavad katmata puitu, nõuavad oma eluks ja arenguks nelja põhitingimust:

1. Puidu niiskusesisaldust üle küllastuspunkti;
2. Vaba hapnikku;
3. Temperatuuri 10 – 32 °C;
4. Toitu, milleks on põhiliselt puit.

Siinjuures mädanikseened vajavad eoste idanemiseks, kasvamise algamiseks ja niidistiku levimiseks suuremat niiskusesisaldust kui hallitusseened.

Seened toituvad mõnest puidu osast (tselluloosist, ligniinist, rakkude sisust jne). Seened ei arene vees, sest vajavad oma elutegevuseks õhuhapnikku. Sobivaim temperatuur seente arenguks on 20...35°C. Enamik seeni hävib temperatuuril üle 60°C, samuti peatub nende areng alla 0°C. Niiskus peab seente arenguks olema üle 20%.

Mädanikku põhjustavad seened jagunevad kolme rühma:

- metsaseened (esinevad peamiselt kasvavatel puudel);
- laoseened (kahjustavad puitu kuivamise perioodil. Rikuvad sinise ja halli värvusega vaid puidu välimust, tugevust ei vähenda);

- majaseened (need on kõige ohtlikumad, sest lõhuvad rakuseinu ja puit võib muutuda täiesti pudedaks massiks. Jagunevad omakorda päris majaseeneks, valgeks ja kilejaks majaseeneks. Peale selle on majaseened ohtlikud ka majaelanikele, sest spooritolm on tugev allergeen). Enamohtlik on maja vamm (SERPULA LACRYMANS)



Joonis 4.1-3 Siin on maja vamm
(*Serpula lacrymans*)



... siis kui on juba hilja

Seega kui niiskus puidus tõuseb üle 20% hakkavad tekkima sinetust või mädanemist põhjustavad seened.

Mädanikseened kahjustavad puidurakkude seinu ja hiljem lagundavad neid seeneniidistikust erituvate fermentide toime (laguneb tselluloos ja ligniin ning selle tulemusel tekib glükoos, mida seened kasutavad toiduks). Puit kaotab oluliselt oma tugevuses.

Alljärgnevalt teavet hallituse ja mädanemise kohta.

Männi ja kuuse pinnapuu hallitamiseni viivad temperatuur ja niiskus, mis kestab vähemalt 8-16 nädalat:

Temp. °C	Õhu niiskus %	Puu kaaluline niiskus %
< +10	> 95	< 22 - 25
+10-+15	>80 - 90	> 18 - 21
+15 -+20	>80 - 85	> 16 -18
>+20	>80	> 14 -16

Mädanikseente kasvueeldusi põhjustatuna niiskusest ja temperatuurist

Kasvu iseloomustus	Puu niiskus %	Temp. °C
<u>Niidistik</u>		
- Minimaalne kasv	18-20(30)	0 - +5
- Intensiivne kasv	30 - 60	+15 - +30
- Kasv seiskub	80-120	+35 - +50
- Ooteasend	<20> 100	<0
- Sureb	-	+40 - +80/1h
<u>Eosed</u>		
- Surevad		> +100/0,51h

Niiskukahjustust põhjustavad hallitused:

Niiskumise põhjused	Osakaal %
Maaniiskus	39,8
Torude leke	23,7
Ehitusniiskus	12,8
Halb ventilatsioon	6,1
Kapillaarniiskus	5,4
Kaldvihm	5,4
Siseõhu niiskumine	2,8
Õhu sissepääs	2,6
Vead drenide konstruktsioonis	2,0

Puidu ilmastikupüsivust võib parandada puidu niiskumist vältivate konstruktiivsete abinõudega, kuid alati sellest ei piisa. Tõhus puidu mädanemisvastane abinõu on keemiline töötlemine.

Tööstuslikult küllastades võib saavutada kaitseaine tungimise kuni puu südamikuni, see on immutada täielikult mädanemisaldis puu osa.

Kui aga saematerjal on hallitus- või mädanikseen tekkinud, siis kahjustuse ulatuse määramiseks on vaja võtta proove ja uurida nende ohtlikkust elektronmikroskoobi all vastavas laboris.

Puit muudab värvi nii atmosfäärilisel kuivatamisel kui ka tehnilisel kuivatamisel ja samuti tema ekspluateerimisel.

Niiskuse püsimisel tungivad värv- ja parkained koore alt puitu ja muudavad puidu värvi, eelkõige kuuse ja männipuidus. Mida kauem püsib niiskus puidus, seda tugevamaks muutub värvitoon ja seda sügavamad kihid on värvunud. Värvimuutused meenutavad seenkahjustusi.

Sinetus on seen, mis kasvab puidu pinnal. See põhjustab värvimuutust valgete, hallikas-siniste, rohekate või mustade täppide ehk triipudena. Sinetusseent on kahte liiki: palgisinetus ja riidasinetus. Sinetusseen ei kahjusta puidu tugevust, kuid on samal ajal aldis niiskusele.

Palgisinetus moodustub pikka aega metsas või saetööstuses seisvas puidus. Muuseas seda saab vältida, kui hoida palkide ja saematerjali niiskusesisaldust nii suurena kui võimalik – tekib hapniku vaesus.

Riidaseenetus moodustub siis, kui saematerjali hoitakse ebasobivalt. Seda saab ära hoida kiire ja hea kuivatamise abil. Siis väheneb niiskusesisaldus alla 20%.

Puidu naturaalne kestvus ning vastupidavus seen- ja putukakahjustustele sõltub puidu liigist ning bioloogilistest näitajatest. **Puidu maltspuit on üldiselt väiksema vastupanuvõimega ning kahjustused toimivad seal kiiremini. Lülipuit on üldiselt suurema vastupidavusega, kuid see sõltub suuresti puidu liigist.**

Seejuures on kahjustustele vastupanu erinev ühe puiduliigi puude hulgas ning isegi ka ühe puu juures. Konstruktsioonides kasutatav puit kaitstakse vastavate vahenditega põhiliselt mädaniku vastu. Vastavalt EN3551-2 jagatakse puitkonstruktsioonid 5-de riskiklassi:

Riskiklassid eurostandardi EN335 kohaselt

		Küllastusklass	Näide
1.Klass	Kuivades siseruumides		mööbel
2.Klass	Vahel niisked ruumid		sarikad
3.Klass	Puit väljas maakontaktita	A või B AB, A	uksed, aknad välisvooder

4.klass	Puit väljas kontaktis maaga või vees	A	õuekonstruktsioon õuekonstruktsioon, aiad, trepid, liini- postid, rõdud, kaid
5.klass	Puit merevees	M	Dokid

Puitsillad loetakse tavaliselt riskiklassiga 3 või 4.

Puit on vastupidav mitmele kemikaalile. Puit on eelistatud konstruktsioonimaterjalina kohtades, kus esineb tugevaid kemikaale, mis teiste materjalide jaoks on korrodeerivad. Isoleeritud juhul võib happeline ja aluseline keskkond põhjustada puidukahjustusi.

Sildade puhul ei ole keemiline vastupanu tavaliselt oluline v.a. juhul, kui kasutatakse kemikaale lume ja jää sulatamiseks, kusjuures on puit nendele kemikaalidele vastupidavam kui teras ja betoon.

4.2 Puidu kaitse

Puitu tuleb kaitsta eelkõige mädanemise, putukate ja tule eest. Põhimõtteliselt on selleks kahesuguseid võimalusi: **keemiline kaitse** ja **konstruktiivsed võtted**. Neist esimene kujutab endast kõikvõimalikke immutusmeetodeid. Konstruktiivse kaitse eesmärgiks on luua putukate ja tule levikuks ning seente arenguks ebasoodsad keskkonna tingimused.

Kaitse mädanemise, hallituse ja putukate vastu

Efektiivseim kaitse mädanemise, hallituse ja putukate vastu on erinevad keemilise töötlemise võtted, mis kujutavad endast puidu immutamist seente (putukate) suhtes mürgiste ainetega. Lisaks on võimalik kasutada konstruktiivseid võtteid (nt kattekonstruktsioonid, tuulutused), mis on lihtsamad ja odavamad ning seetõttu ka eelistatavamad.

Antiseptikutega töötlemine suurendab puitkonstruktsioonide iga märgatavalt. Paraku on ka antiseptikutel terve rida puudusi, mistõttu tuleb neid hoolega valida vastavalt puidu kasutusviisile.

Antiseptikud jagatakse nelja rühma:

- Õli baasil antiseptikud. Kuna nad on tumedad venivad vedelikud, siis vesi neid puidust välja ei uhu. Küll aga määrivad nad puitu ja on terava lõhnaga (näiteks tõrv);
- Veelahustuvad. Esinevad enamasti pulbri kujul, millest tehakse 3...5% vesilahus. Nad imuvad küll hästi puitu ja ei määri seda, kuid on küllaltki mürgised ning neid on kerge veega puidust välja uhtuda (näiteks naatriumfluoriid);
- antiseptilised pastad. Pasta määrib tugevalt puitu, neid kasutatakse enamasti pinnasega kokkupuutuva puidu kaitsel;
- antiseptilised värvid. See on tavaline värv või lakk, millele on lisatud mürgist ainet (näiteks Pinotex).

Antiseptikute kasutamisel tuleb arvestada sellega, et mõni antiseptik määrib puitu (eriti õli baasil), mõni on ebameeldiva (inimestele mürgise) lõhnaga, imub raskesti puitu, on kergesti vee poolt väljauhutav või kahjustab puidus olevaid metallist kinnitusedetaile. Lisaks on ka puidu mehhaanilisel töötlemisel tekkiv tolm tervisele ohtlik.

Universaalkaitse

Uueks kaitseviisiks on termotöötlemine. Termotöötlemine ($t = 195...230^{\circ}\text{C}$), mille puhul kasutatakse ainult kuumust ja auru, lisamata mingeid kemikaale, modifitseerib naturaalpuidu omadusi püsivalt. Suureneb ilmastiku- ja mädanikukindlus, soojaisolatsiooniomadused on paremad, suurendab kulumiskindlust. Puidu värvus tumeneb. Deformatsioonid (keerdumine, kahanemine jne) on

minimaalsed ja tasakaaluniiskus on naturaalpuiduga võrreldes isegi 50% madalam. Termopuit on suurepärane aluspind värvimiseks ning võib pikendada viimistluse vastupidavust.

Puidu tugevus termotöötlusel mõnevõrra väheneb (ja seda enam, mida kõrgemat temperatuuri kasutatakse). Sellest tulenevalt ei soovitata termotöödeldud puitu kasutada kandedetailidena, kuni pole tehtud lisakatseid.

Termotöödeldud pinda tuleb töödelda UV-kiirguse eest kaitsvate ja talle iseloomulikku lõhna kaotavate ainetega. Termotöötlemine sobib kõikidele puiduliikidele.

4.3 Puidu mädanemiskindluse tõstmine

Puidu mädanemiskindlust saab tõsta järgmiste meetmetega:

- steriliseeriv kuivatus;
 - keemiline töötlemine sh;
 - vööpamine (Pinotex);
 - immutus kreosootidega;
 - sügavimmutus sooladega (vask, kroom, arseen);
 - konstruktiivsed abinõud (tuulutus);
 - hoone ekspluateerimine ettenähtud tingimustes.

Vesiehitustes või kohtades, kus puitkonstruktsioonid võivad niiskuda kontaktis maapinna või betooniga, tuleb kasutada suveküllastatud puitu, et vältida nende kiiret mädanemist.

Kui niiskus tõuseb üle 20%, siis hakkavad tekkima sinetust või mädanemist põhjustavad seened.

Puidu ilmastikupüsivust võib parandada puidu niiskumist vältivate konstruktiivsete abinõudega, kuid alati sellest ei piisa. Ainuke tõhus puidu mädanemistvastane abinõu on keemiline töötlemine.

Tööstuslikult küllastades võib saavutada kaitseaine tungimise kuni puu südamikuni.

Puidu kaitseained võib üldiselt jagada õli ning vee baasil olevateks. Kumbagi tüübi eelised ja puudused sõltuvad iga kaitseaine omadustest ning tingimustest, kus puitu kasutatakse.

Et täielikult puitu kaitsta, peavad kaitseained olema mürgised kõigile kahjuritele, olgu need seened või putukad. Kahjuks on samad näitajad, mis teevad kaitsevahendid tõhusaks, samas ohtlikud inimestele. Selle tõttu peavad vastavate töödega tegelema litsentseeritud firmad.

A. Õli baasil kaitseained

Kasutatakse kolme põhitüüpi õli baasil kaitsevahendit:

1. Kreosoot (süsi-tõrv kreosoot);
2. Pentakloorfenool
3. Vasknaftenaat

Kui mõned erandid välja arvata, siis jätavad õli baasil kaitseained puidu õliseks ning pinna katmine värviga on raskendatud.

Sildade puhul kasutatakse õli baasil kaitsevahendeid talade ja sillaplaatide immutamiseks. Nad tagavad hea kaitse mädaniku ning teiste kahjustuste vastu, on mittekorrosiivsed ning annavad hea füüsilise kaitse otseste ilmastikumõjude eest. Kuna enamuse õli baasil kaitsevahendeid võivad põhjustada nahakahjustusi, ei tohi neid kasutada kohtades, kus võib esineda kontakt inimesega, nt. käsipuud.

Kreosoot - Patenteeriti esimest korda 1831.a. Kreosoot on must või pruunikas õli, mis sisaldab polümeerseid aromaateid hüdrokarbonaate.

Tänapäeval kasutatavat kreosooti saadakse söe tõrvast. Kreosoot tõstab puidu vastupanuvõimet ka niiskuse muutusele.

Süsi-tõrv kreosoot on otsesel ja lahjendamata kujul kõige enam kasutatav kreosootkaitseaine saematerjali, liimpuidu ning palkide jaoks. See kreosoodi vorm on kõige eelistatum puitsildade katmisel.

Pentakloorfenool (penta) patenteeriti 1935. Penta ei ole efektiivne merevee tingimustes. Kuigi penta on siiani laialdaselt kasutatav, on märgata nakatumist dioksiini ning seda vahendit tahetakse keelustada. Selliseid piiratud kasutusega kemikaale tohivad kasutada ainult spetsialistid, kes on läbinud vastava koolituse. USA-s kasutatakse pentat puidu kaitseks umbes 30 % juhtudel.

Vasknaftenaat on kreosoodi ja penta kõrval jõudnud viimaste aastate kolmandaks tähtsamaks kaitsevahendiks. Selle vahendi esmane eelis on see, et ta on keskkonnasõbralik ning ei ole kantud piiratud kasutusega ainete nimekirja, mille tõttu tema tarbimine tulevikus ilmselt kasvab.

B. Vee baasil kaitseained

Vee baasil kaitseained sisaldavad vesilahustena anorgaanilisi arseenilisi ühendeid. Need kemikaalid jätavad puidu pinna suhteliselt puhtaks, kergelt roheka, hallika või pruunika tooniga, sõltuvalt kemikaali tüübist, mida kasutatakse. Vastupidiselt õli baasil kaitsevahenditele ei põhjusta vee baasil ühendid tavaliselt nahakahjustusi. Peale kuivatamist võib puidu pinda, mida on töödeldud nimetatud kaitsevahenditega, ka värvida ja peitsida.

1930.aastate lõpus arendati välja mitmeid vee baasil ühendeid, mis sisaldasid kroomi koos vase ja arseeniga.

Enamkasutatavad kaitsevahendid vee baasil on CCA, ACA ja ACZA. Kõik need vahendid seovad ennast tugevalt puiduga ning see vähendab riski aine lekkele.

Esimene selline ühend - kroomitud vaskarsenaat (**CCA**) - võeti kasutusele 1940.a. lõpus, kuid ei leidnud laialdast kasutamist kuni 1960.a., kui tekkis nõudmine puhta ja värvitud puidu järgi.

Teine ühend – lämmastikvaskarsenaat (**ACA**) – võeti kasutusele 1953.a. ACA on eelistatud vee baasil kaitsevahend raskesti immutatavate puiduliikide jaoks (näiteks kuusk).

Samuti arendati välja hulgaliselt teisi vee baasil ühendeid nagu happeline vaskkromaat (**ACC**), lämmastikvasktsinkarsenaat (**ACZA**) ja kroomtsinkkloriid (**CZC**).

CCA on üldiselt kasutatav männipuidu immutamiseks. ACA ja ACZA kasutatakse raskelt immutatavate puiduliikide korral (lehis).

Kui CCA immutust kasutatakse suuremate puitelementide puhul, milles on kõrge lülipuidu sisaldus, on soovitatav kõrgetemperatuuriliste tsüklite kasutamine, et elimineerida mädanikku. Temperatuur puidu südamikus peab tõusma vähemalt 68 °C 75 min. jooksul.

Vee baasil kaitsevahendid on samuti väga tõhusad merevees asuvate vaiade immutamisel. Merevees teostatud katsed on näidanud, et kahekordne immutus, kus kreosoodile järgneb vee baasil kaitsevahend, on merevee tingimustes kõige efektiivsem. Vee baasil kaitsevahendid ei ole soovitatavad suurtele liimpuitelementidele, kuna immutusest tulenev niiskumis- ja kuivamisprotsess võib põhjustada dimensioonilisi muutusi, samuti pragusid, lõhenemist ja kõmmeldumist. Siiski mõnel juhul kasutatakse lamellide immutamist enne liimimist.

4.4 Bioloogiliste kahjustuste seiskamise võimalusi

Bioloogiliste kahjustuste seiskamiseks on järgmised võimalused:

- tagada normaalsed hoonete eksploateerimise tingimused sh näiteks likvideerida katuste läbijooks, konstruktsioonid kuivatada jmt; termiline töötlemine;
- keemiline töötlemine (võõpamine, immutamine)

Immutusest

Esineb kaks põhilist meetodit kaitsevahendi viimiseks puitu: survemeetod ning surveta meetod. Surveta meetod sisaldab võõpamist, leotamist, termilisi protsesse jt. Seejuures survemeetodil kaitstud puitu avade lõikamise ning aukude puurimise korral tuleb kasutada kindlasti võõpamist või leotamist.

Surveimmutatud puit pole ohtlik taimedele ja neist võib edukalt teha näiteks kasvuhooneid. Antiseptimise meetoditest on levinumad võõpamine, pritsimine (nende puhul antiseptik kuigi sügavale puitu ei imbu, vaid 1...2 mm), surveimmutus (kuni 15atm ülerõhku!), vaakumimmutus, difusioonimmutus ja immutamine vannis (kuni 5 mm sügavusele).

Survemeetodi korral töödeldakse puitu silinderkuivatis (autoklaavis), millesse sisestatakse vaakumi ning survega vastav kogus vajalikke kemikaale. Surveprotsessi eesmärgiks on hävitada kõik seened, mis võivad puidus areneda ning kindlustada, et kindel kogus kaitsevahendit on jõudnud vastava sügavuseni puidu ristlõikes.

Soomes kasutatakse kaitsevahenditena nn. CCA- ja CC-küllastusaineid, millised sisaldavad põhimõjuainena vaske ja kinnitusainena kroomi.

Sooladega küllastatud puit on värvilt rohekas ning kreosootidega küllastatud puit pruunikas.

Tuleb rõhutada, et surveküllastatud puidu tugevusnäitajad ei muutu. Küllastatud puidu iga on ca 3x kõrgem kui immutamata puidul rasketes tingimustes.

Surveküllastatud puidu kasutuskohad: vee-, maa-, betooni- ja muudes mädanemisohtlikes kohtades nagu:

- postid, jalgteed (kattelauad, astmed), sillad, kaid, mädanemisaldid puitosad (põrand jms.)
- Kinnitustes kasutatakse tsingitud polte, naelu.

Immutamisest Eestis. Puidu immutamine antiseptilise kemikaaliga toimub Paliveres Palivere Puutööstuses järgmiselt:

Autoklaavis immutamisel viiakse kemikaal vaakumi ja kõrgsurve abil puitu. Puitmaterjali kasutusiga pikeneb seeläbi 5-10 korda. Kasutatakse USA-s valmistatud immutuskemikaali INjecta K33-C, mis on CCA-tüüpi. Käesoleval ajal immutatakse puitu vastavalt Põhjamaade standardile, klassid AB ja A.

Põhiliselt immutatakse mäнди, kuna männiraku ehitus võimaldab maltspuidu täieliku läbiimbumise, kuuse (lülipuiduline) raku ehitus läbiimbumist ei võimalda. Erisoovide puhul immutatakse ka kuuske. Puidu niiskus peab enne immutamist olema alla 25 %, mis tagab immutussoola õige kontsentratsiooni puidus. Vajadusel kasutatakse puidu kuivatamiseks vaakumkuivatit.

Immutatud puit on peale kemikaali kinnitumist ohutu inimestele, loomadele ja taimedele ega oma vähki tekitavaid aineid. Ebasoovitav on kasutada immutatud puitu kohtades, kus puit puutub vahetult kokku joogivee ja toiduga. Eesti tingimustes tuleks sügavimmutusega kaitsta puitu kohtades, kus ta niiskus tõuseb üle 20%.

Immutatud puit on rohekat värvitooni, kuid aja jooksul see tuhmub ja puit omandab väljas seisvale puidule iseloomuliku hallika tooni. Immutatud puitu saab ka värvida, tuleb vaid jälgida, et värvitav pind oleks piisavalt kuiv. Kogemused näitavad, et värvkate püsib kuni 3 korda paremini kui immutamata puidul.

4.5 Kahjustatud konstruktsioonide tugevdamine

Konstruktsioonide tugevdamist käsitletakse põhjalikumalt *ehitiste renoveerimise* kursuses, siinkohal esitatakse kahjustatud puitkonstruktsioonide tugevdamise võimalusi

- nõrgenenud tugevusega kohtade eemaldamine ja asendamine uue puitelemendiga – proteesimine;
- tugevdamine naelutatud, poltidega või/koos liimiga peale, kõrvale, vahele kinnitatud elementide abil;
- tugevdamine pealeliimitud klaasplastikust varrastega (ribadega) nii põikjõu kui paindemomendi vastuvõtmiseks;
- tugevdamine pealeliimitud klaastekstiili või aramiid- või kevlarkangaga.

5 PUITKONSTRUKTSIOONIDE ARVUTAMISE ALUSED

5.1 Piirseisundid

Puitkonstruktsioone projekteeritakse kahes piirseisundis: **kande- ja kasutuspiirseisundis**. Seega puit- ja plastmasskonstruktsioone arvutatakse kahe piirlokorra järgi so. **kandevõime (tugevus ja stabiilsus)** ja **deformatsioonide** piirlokorra järgi

Erinevate piirseisundite arvutusmudelid peavad arvestama:

- erinevate materjalide omadusi (tugevus ja jäikus);
- materjalide erinevat käitumist ajas (koormuse kestvus, roome);
- erinevaid kliimatingimusi (temperatuur, niiskuse vaheldumine);
- erinevaid projekteerimisolukordi (ehituse etapid, toetingimuste muutumine).

Kandepiirseisund – seisund, mille ületamisega kaasneb konstruktsiooni varisemine või purunemine. Kandepiirseisund vastab konstruktsiooni või selle elemendi suurimale kandevõimele.

Siinjuures tuleb silmas pidada, et kandepiirseisund on seotud inimeste ohutuse ja/või konstruktsiooni ohutusega. Samas konstruktsiooni varisemisele eelnevat seisundit, mida lihtsuse mõttes samastatakse avariieelse olukorraga, tuleb vaadelda kandepiirseisundina.

Elemendi või konstruktsiooni kandevõime on ristlõike või konstruktsiooni mehaaniline omadus, mida mõõdetakse jõu või momendi ühikutes: painde-, tõmbe-, nõtkekandevõime jne. Siinjuures purunemisele eelnevaid olukordi käsitletakse kandepiirseisundina.

Kandepiirseisundi hindamiseks esitatakse normides seoseid materjali tugevuse ja konstruktsioonides tekkivate sisepingete võrdlemiseks.

Konstruktsioonide arvutamisel võib osutada vajalikuks kontrollida kandepiirseisundi seisukohalt järgmist:

- konstruktsiooni kui terviku või selle mistahes osa staatilise tasakaalu kaotust,
- konstruktsiooni või selle osade purunemist ülemäärasest deformeerumisest või mehhanismiks muutumist sh habras purunemine, konstruktsiooni või selle mistahes osa (kaasaarvatud toed) stabiilsuse kadu.

Kandepiirseisundis tuleb näiteks paindele töötava tala juures kontrollida peale paindetugevuse f_m ka survetugevust ristikiudu toe pinnal $f_{c,90}$, lõiketugevust toel f_v , stabiilsust.

Konstruktsioonide arvutus kandepiirseisundis tuleb läbi viia järgnevaid jäikusomadusi kasutades:

- esimest järku lineaarse elastse arvutuse puhul, mille juures sisejõudude jagunemine ei ole mõjutatud jäikuse jagunemisest konstruktsiooni ulatuses (näiteks kõik elemendid on ühesuguste ajast sõltuvate omadustega), tuleb kasutada keskvärtusi;
- esimest järku lineaarse elastse arvutuse puhul, mille sisejõudude jagunemine on mõjutatud jäikuse jagunemisest konstruktsiooni ulatuses (näiteks komposiitlemendid sisaldavad erinevate ajast sõltuvate omadustega materjale), tuleb kasutada lõplikke keskvärtusi, mida on kohandatud selle koormuskomponendi järgi, mis põhjustab suurimaid pingeid tugevusega võrreldes järgmiste seostega:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})}$$

kus:

E_{mean} elastsusmooduli keskvärtus;

G_{mean} nihkemooduli keskvärtus;

K_{ser} kinnituselemendi nihkemoodul;

k_{def} tegur, mis arvestab roome deformatsioone vastavas kasutusklassis;

ψ_2 sellise muutuva koormuse tõenäolise väärtuse tegur, mis põhjustab suurimaid pingeid tugevusega võrreldes (juhul, kui see muutuv koormus on domineeriv, siis tuleks ψ_2 võtta võrdseks 1-ga).

- teist järku lineaarse elastse arvutuse puhul tuleb kasutada arvutusvärtusi, mida pole kohandatud koormuse kestuse järgi

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

Kandepiirseisundis võetakse ühenduse kinnituselemendi nihkemoodul K_u järgmiselt:

$$K_u = \frac{2}{3} K_{\text{ser}}$$

kus K_{ser} on kinnituselemendi nihkemoodul

Kasutuspiirseisund – seisund, millele vastavate tingimuste ületamisel konstruktsiooni või tema elemendi normaalseks kasutamiseks kehtestatud nõuded ei ole enam täidetud.

Kasutuspiirseisund peab tagama:

- konstruktsiooni ja selle osade funktsioneerimise;
- konstruktsiooni vastuvõetava välimuse säilimise;
- olmemugavuse.

Konstruktsiooni deformatsioon, mis tuleneb koormuste mõjust (nagu telg- ja nihkejõud, paindemomendid ja sõlmede järeleandvus) ning niiskusest, peab jääma sobivatesse piiridesse, mis arvestavad võimalikku katematerjalide, lagede, põrandate, vaheseinte purunemist ning funktsionaalseid vajadusi ja kõikvõimalikke nõudeid välimusele.

Algdeformatsioon u_{inst} , tuleks arvutada koormuste normatiivse kombinatsiooni järgi, vt

EN 1990, jaotis 6.5.3(2) a), kasutades elastsusmooduli, nihkemooduli ning kinnituselemendi nihkemooduli keskväärtusi.

Kui konstruktsioon sisaldab erinevate roomeomadustega elemente või komponente, tuleks lõplik deformatsioon arvutada sobiva elastsusmooduli, nihkemooduli ja kinnituselemendi nihkemooduli lõplikke keskväärtusi kasutades.

Juhul, kui konstruktsioonis on erinevate ajast sõltuvate omadustega elemente, siis tuleks kasutuspiir seisundis lõplike deformatsioonide arvutamisel võtta lõplikud keskväärtused elastsusmoodulil $E_{\text{mean,fin}}$, nihkemoodulil $G_{\text{mean,fin}}$, ja kinnituselemendi nihkemoodulil $K_{\text{ser,fin}}$ järgmistest valemitest:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})} \quad G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})} \quad K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1+k_{\text{def}})}$$

Ekspluatatsiooninõuded (lubatavad deformatsioonid, vibratsioonid jne.) määratakse üldjuhul projekteerimismäärustega ning tellija ja projekteerija vaheliste kokkulepetega.

Konstruktsioonide arvutusel kasutuspiir seisundi järgi võivad määravaks osutada järgmised asjaolud:

- deformatsioonid ja siirded, mis kahjustavad konstruktsioonide välimust ja efektiivset kasutamist (k.a. masinate ja seadmete töötamist) või kahjustavad viimistlust või mittekandvaid konstruktsioone;
- vibratsioon, mis põhjustab inimestele ebamugavusi, kahjustab konstruktsioone või nende läheduses olevaid materjale või vähendab konstruktsiooni funktsionaalset efektiivsust;
- muudest ajalistest mõjutustest tingitud kahjustused.

Arvutamisel piir seisundite järgi on väga oluline konstruktsiooni- ja koormusmodelite koostamine eri arvutusolukordade ja koormusjuhtude jaoks.

Arvutused peavad tõestama, et vastava piir seisundi koormuste arvutussuurused, kasutatava materjali omadused ja konstruktsiooni geomeetrilised mõõtmed jäävad arvutusmodelites etteantud piiridesse ja piir seisundeid ei ületata.

Seega tuleb tõestada, et arvutuslikud koormustulemid (milleks võivad olla sisejõud, momendid, pinged jne) ei ületaks arvutuslikku kandevõimet kandepiir seisundis ja arvutuslikud koormustulemid (läbipainded, siirded jne.) kasutuspiir seisundi kriteeriume.

Arvesse tuleb võtta kõikvõimalikud arvutusolukorrad – seega tuleb selgitada kõik kriitilised koormusjuhtumid.

Arvutusolukorra valikul tekib olukordi, millistesse konstruktsioon võib sattuda oma funktsioone täites (näit. roovi arvutus). Arvutusolukorrad peavad olema valitud nii, et kõik võimalikud olukorrad ja tingimused, mille esinemist konstruktsiooni püstitamise ja kasutusea vältel võib ette näha, oleksid arvesse võetud.

Standardid lubavad kasutada ka lihtsustatud arvutusi järgmistel juhtudel:

- kui on ilmne, et kandepiir seisund ei ole otsustav, võib konstruktsiooni dimensioneerida lihtsustatud kande- ja/või kasutuspiir seisundi arvutustega või piirduda ainult kasutuspiir seisundiga;
- mõningate lihtsate konstruktsioonide puhul võib nende sobivust tuvastada ilma arvutusteta, kasutades vastavaid konstruktiivseid reegleid või küllaldastele kogemustele tuginevaid ettekirjutusi. Näiteks stabiilsussidemed suhtelise saleduse λ järgi.

Lubatud on ka dimensioonimine katsete põhjal. Osa dimensioonimisprotsessist võib läbi viia füüsiliste mudelitega tehtud katsete põhjal. Katsete korraldus ja analüüs peavad olema sellisel tasemel, et nende

alusel dimensioneeritud konstruktsioonid oleksid kõigis vastavates piirteisundites ja koormustingimustes sama töökindlad, kui vastavate normikohaste arvutuste põhjal dimensioneeritud konstruktsioonid.

5.2 Koormused

Puitkonstruktsioonidele mõjuvad omakaal, kasuskoormused ja atmosfäärikoormused. Koormusi tuleb liigitada rakendusviisi järgi otsesteks ja kaudseteks koormusteks.

Otsest koormused mõjuvad konstruktsioonile vahetult. Kaudsed koormused on sunddeformatsioonid, tugevde vajumised jms.

Asukoha iseloomu järgi liigitatakse fikseeritud ja vabakoormuseks.

Koormuste liigitus:

1. ajalise muutumise seisukohalt:
 - alaliskoormused G – konstruktsioonide omakaal, teekatend, statsionaarsete seadmete kaal, mahukahanemise ja ebaühtlase vajumise põhjustatud kaudne koormus;
 - muutuvkoormused Q – nt hoone vahelagedele, taladele ja katusele mõjuv kasuskoormus, tuule- ja lumekoormus
 - erakordsed koormused A – näiteks plahvatused, transpordivahendite kokkupõrked konstruktsioonidega jms.
2. koormuste liikuvuse järgi:
 - liikumatu – näiteks omakaal;
 - liikuv – koormused, mille puhul on võimalikud erinevad koormusjuhtumid – näiteks liikuvad kasuskoormused, tuulekoormus.
3. nende iseloomu ja/või konstruktsiooni reageeringu järgi:
 - staatilised koormused, mis ei põhjusta konstruktsioonis või selle osades nimetamisväärseid kiirendusi;
 - dünaamilised koormused, mis põhjustavad konstruktsioonis või selle osades arvestatavaid kiirendusi;

Dünaamilisi koormusi võib mõningatel juhtudel käsitleda staatiliste koormustena, viimaseid vastavalt dünaamikategoriga suurendades.

Koormuste suurused antakse üldjuhul normsuurustena F_k – s.o koormuste omaväärtustena.

$$F_d = \gamma_F F_k$$

Koormuste arvutussuurus F_d leitakse normsuuruse korrutamisel koormuse osavaruteguriga γ_F . Koormuse osavaruteguriga võetakse arvesse koormuse võimalikke ebasoodsaid kõrvalekaldeid, koormuse ebatäpse modelleerimise võimalusi, koormustulemite hindamise ebatäpsusi, aga samuti uuritava piirteisundi hindamise ebatäpsusi.

Erinevate koormusliikide arvutussuurused väljendatakse järgmiselt:

alaline koormus $G_d = \gamma_G G_k$;

muutuv koormus $Q_d = \gamma_Q Q_k$ või $Q_d = \gamma_Q \psi_i Q_k$;

avariikoormus $A_d = \gamma_A A_k$.

Osavaruteguri suurus alalise koormuse korral $\gamma_G = 1,2$ konstruktsiooni või –elemendi purunemine, stabiilsuskadu jms, kus määrav on materjali tugevus (1,35 alaliskoormuse ebasoodsast mõjust lähtudes RL-s) ja muutuva koormuse korral $\gamma_Q = 1,50$.

Arvutuskoormuse avaldis on $F_d=1,2 G_k+1,5 Q_1 +1,5\psi_{0,i}Q_i$, kui $G/(G+Q)>9\%$, siis $F_d=1,5 G_k$

Kandepiiriseisundis tuleb kasutada arvutuskoormusi ja kasutuspiiriseisundis normkoormusi.

Koormuse kestus ja niiskusesisaldus mõjutavad puidu ja puidupõhiste elementide tugevus- ja jäikusomadusi mida tuleb mehaanilise vastupanu ning kasutamise projekteerimisel arvesse võtta.

Koormuse kestusklassi iseloomustatakse konstruktsiooni elueal kindlal ajaperioodil mõjuva alalise koormuse toime järgi. Muutuva koormuse jaoks tuleb vastav klass määrata tüüpilise koormuse kestusaja põhjal.

Tugevus- ja püsivusarvutustes tuleb koormused määrata 2 pt esitatud kasutusklassi kohaselt. Kuna kliimast tingitud koormused (lumi, tuul) on erinevates maades erinevad, siis võib koormuse kestusklassid määrata rahvuslikus lisas.

5.3 Puitkonstruktsioonides kasutatavast saematerjalidest

Saetööstuse põhitoodang on saepuit. Saepuit säilitab valmistamise käigus kõik puidu füüsilis-mehaanilised omadused.

Saematerjal on kindlaks määratud mõõtmete ja kvaliteediga saepuit, millel on vähemalt kaks tasaparalleelset külgpinda.

Saematerjaliks on saetoorme pikilahtisaagimisega saadud lauad ja prussid. Saematerjali valmistamisel kaasnevad servad, pindlauad ja lõiked töödeldakse nüüdisaegsetes saeveskites tehnoloogiliseks laastuks. Saematerjali tootmisele on omane, et normaalse tootmisprotsessiga saeveskis, kus põhitoodang on saematerjal, moodustab lisatoodang vaid poole saepalkide mahust.

Põhitoodangu väljatulek oleneb saepalkide mõõtmetest, kvaliteedist, saekavast ja toodangu iseloomust (näit koorimata saepalgist: saematerjal 42-46%, tehnoloogiline laast 27-32%, saepuru 10-15%, koor 10-12%; kuivamiskahanemine 4-6%).

Lisatoodang on saetööstuses majanduslikult olulise tähtsusega. Tehnoloogiline laast, mille all mõistetakse spetsiaalsetes raiemasinates lõigatud kaldrööptahukakujulisi puidutükke, on hinnatud tooraine puitlaast- ja puitplaatide tehastes, tselluloositööstuses ja hakkepuiduna hea kütus.

Saepuru on 1-5 mm pikkused puiduosakesed. Kaasajal kasutatakse saepuru tehnoloogilise toormena puitlaastplaatide tootmiseks. Ta on ka sobiv põletusaine, mille kütteväärtus oleneb niiskusest.

Koor moodustab saepalgi mahust 10-12%. Kuiva koore kütteväärtus on võrdne puidu kütteväärtusega, kuid teda on kulukas kuivatada. Puukoore niiskus kütusena peaks olema alla 40%.

Ehituspuidu terminid, mida kasutatakse kirjanduses ja standardites

Puitmaterjal – saetud, hõõveldatud ja treitud puitmaterjali üldnimetus.

Saematerjal – saetud külgpindadega puitmaterjali üldnimetus.

Kantpuit – kõik puitmaterjali küljed ja servad on töödeldud.

Poomkantne – servades võib näha puidu algset kaarjat pinda.

Hõõvelmaterjal – vähemalt kolmelt küljelt hõõveldatud saematerjali üldnimetus.

Siledaks hõõveldatud – puitmaterjali kõik küljed on hõõveldatud.

Mõõtulõigatud – puitmaterjali paksus ja/või laius on jämhõõveldatud või peensaetud täpselt etteantud mõõtmetele vastavalt.

Profiilhõõveldatud – puitmaterjali ristlõige on hõõveldatud mittetäisnurkseks.

Sulundatud – puitmaterjali üks serv on soonitud ja teine punnitud.

Hööveldamata sulund – puitmaterjali servad on sulundatud, üks külg on saetud ja teine hööveldatud.

Silesulundatud – mõlemalt poolt hööveldatud sulundmaterjal.

Toorsulundatud – sulundatud puitmaterjal, mille pealispind on saetud ning tagapind on jänehööveldatud ja tihti poomkantne.

Liist – hööveldatud pinnaga puitmaterjal, mõõdud alla 75x75 mm.

Latt – saetud pinnaga puitmaterjal, mõõdud alla 75x75 mm.

Laud – puitmaterjal, mille paksus on alla 38 mm ja laius vähemalt 75 mm. Servatud laud on neljast küljest saetud, servamata laud aga vaid alt ja pealt.

Prussik – puitmaterjal, mille paksus on vahemikus 38...75 mm ja laius 75...175 mm.

Plank – puitmaterjal, mille paksus on vahemikus 38...100 mm ja laius üle 175 mm.

Poolpalk – ümarpalk lõhkisaetuna.

Pruss – puitmaterjal, mille mõõtmed on vähemalt 100x100 mm ning laiuse ja paksuse suhe on alla

Servatud palk – kahest küljest saetud.

Lapikpind – laiem pind.

Pealispind – nähtavale jääv pind.

Tagapind – mittenähtav pind.

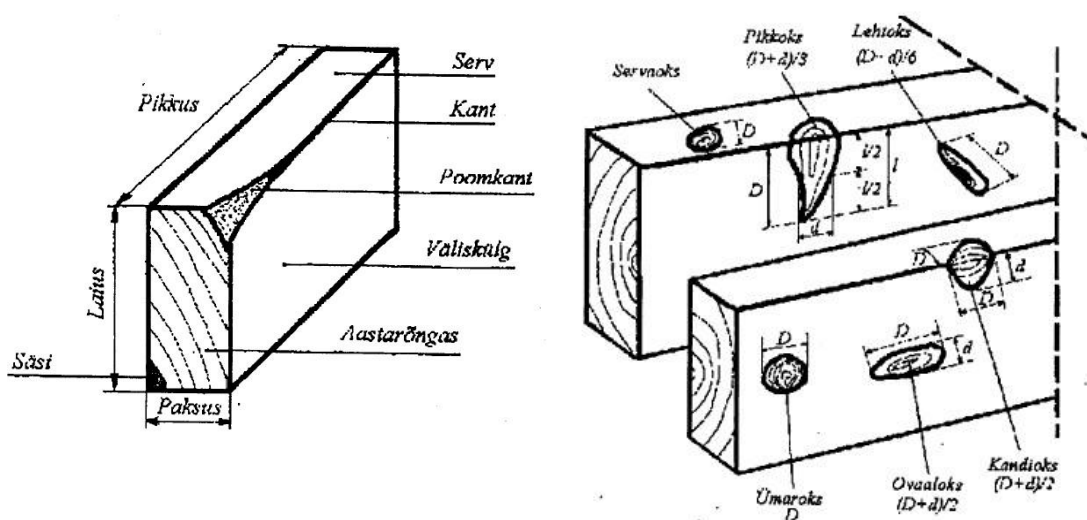
Serv – kitsam pind.

Saematerjali elemendid

Alljärgnevalt esitatakse saematerjalide elementide terminid:

SERV – saematerjali kitsam külgpind; KÜLG – saematerjali laiem külgpind; KANT – serva ja külje lõikumiskoht; VÄLISKÜLG – saematerjali laiem külgpind, mis jääb palgi välispinna poole; AASTARÕNGAS – ühe kasvuaasta jooksul moodustunud puu jämeduse juurdekasv; SÄSI – palgi südamikus asetsev kude; LÜLIPUIT – tumedamalt värvunud palgi keskosa; Maltspuit – palgi välimine heledam osa; POOMKANT – servatud saematerjali serval saagimata jäänud ümarpuidu külgpind.

Joonisel 5.3-1 esitatakse saematerjali elemendid ja saematerjalis esinevad tüüpilisemad oksad



Joonis 5.3-1

Saematerjali liigitus Eesti sortimise standardi järgi

Saematerjali võidakse liigitada paljude tunnuste järgi: puuliigid, mõõtmed (h, b, l), töötlemisaste ja – tepsus, tugevusklass või mõni teine tunnus.

Mõõtmete järgi liigitatakse saematerjali õhukeseks (<32 mm) ja paksuks.

Saematerjali ristlõike (paksus/kõrgus ja laius) mõõtmete suhte järgi liigitavad erinevate maade normdokumendid saematerjali 5-6 mitmesuguse nimetusega sortimendiks. **Eesti sortimisstandardi järgi** nimetatakse **prussiks** neljast küljest läbilõigatud saematerjali, mille paksus on 75mm ja enam ning laius võrdne paksusega või erineb sellest mitte üle 25 mm. **Talaks** nimetatakse neljast küljest läbilõigatud ja ehituskonstruktsioonideks ettenähtud saematerjali, mille laius ja paksus erinevad tavaliselt enam kui 25 mm. **Planguks** nimetatakse saematerjali, mille paksus on 38-50 mm ja laius 75-150 mm.

Niiskuse järgi liigitatakse saematerjal tooreks ja kuivatatud materjaliks.

Saematerjali tootmisel, kaubastamisel ja tarbimisel on tähtsad standarditud mõõtmed: paksus, laius, pikkus ning hälbed nimimõõtmetest.

Sortimendi nimipaksused on kõikide riikide standarditega või juhenditega määratud: 16-300 mm

Tüüpilisemad laiused 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300 mm.

Saematerjali pikkust iseloomustavad vähim ja suurim pikkus ning pikkusmõõtmete samm: 1,0-6,5m samm 0,3 m. Põhjamaise sortimise järgi 1,8-5,4 m sammuga 0,3m

5.4 Puidu norm- ja arvutustugevused

Materjali omadust esindab normväärtus X_k , mis vastab vaadeldava omaduse väärtusele, mida ettenähtud tõenäosusega ei saavutata (või ei ületata) ning mis määratakse normitud tingimustes tehtud standardkatsete põhjal.

Tugevusklassid on vajalikud puitmaterjali otstarbekaks ja säästlikuks kasutamiseks. Tabelis 5.4-1 on näitena esitatud puitmaterjali kulu tugevusklasside võrdluses kandepiir seisundis

Tabel 5.4-1

SAEMATERJALI TUGEVUSKLASSIDE VÕRDLUS KANDEPIIRSEISUNDIS ristlõike kõrgus lähtudes ühesugustest koormustest

Koormuse
Konstruktsiooni kasutusklass: 2 kestusklass: lühiajaline
osavarutegur
 $\gamma_m = 1,3$ $k_{mod} = 0,90$

Puidu tugevusklass	$f_{m,k}$ N/mm ²	$f_{m,d}$ N/mm ²	q kN/m	l mm	b mm	h mm	V m ³	Mahu kasv %
C16	16	11,1	1,84	3000	50	149,7	0,0225	0,00
C18	18	12,5	1,84	3000	50	141,2	0,0212	-5,72
C22	22	15,2	1,84	3000	50	127,7	0,0192	-14,72
C24	24	16,6	1,84	3000	50	122,3	0,0183	-18,35
C30	30	20,8	1,84	3000	50	109,4	0,0164	-26,97
C35	35	24,2	1,84	3000	50	101,2	0,0152	-32,39
1.sort (A1)	14	14,0	1,84	3000	50	133,2	0,0200	-11,05
2.sort (A1)	13	13,0	1,84	3000	50	138,2	0,0207	-7,69
3.sort (A1)	8,5	8,5	1,84	3000	50	170,9	0,0256	14,16

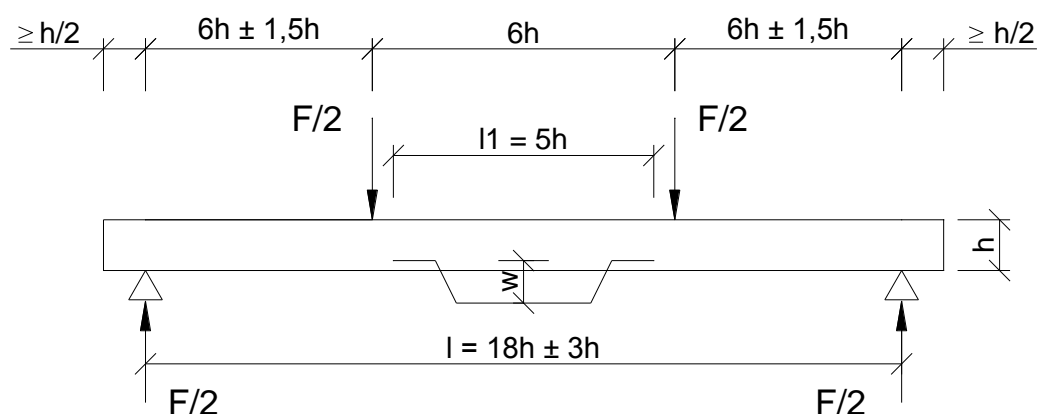
A1-kõetud ruumides $w < 60\%$

Puidu tugevusväärtused määratakse standardsete katsekehade ja normides esitatakse nad normtugevustena, mis on leitud statistilist muutuvust arvestades.

Ehituspuidu ja liimpuidu füüsikaliste ja mehaaniliste omadused määratakse standardi EN 384 kohaselt. Normväärtustega seotud määratlusi, katsekehi, katsetamist ja katseandmete töötlust käsitleb standard EN 408.

Standardi kohaselt tuleb katseid teha katsekehade, millised on hoitud standardses keskkonnas, s.o 20 ± 2 °C ja 65 ± 5 % suhtelise niiskuse juures püsiva massi saavutamiseni. Püsiv mass loetakse saavutatuks, kui 6 tunnise intervalliga tehtud kahe järjestikuse kaalumise tulemused ei erine rohkem kui 0,1% katsekeha massist.

Täismõõtmega katsekehade arv proovis mehaaniliste omaduste määramiseks peab olema vähemalt 40. Soovitavate tingimuste kohaselt on katsekeha kõrgus 150 mm ja selle paindeelastsusmooduli või paindetugevuse määramisel 18-kordne katsekeha kõrgus. Katseskeem on esitatud joonisel 5.4-2. Koormus tuleb rakendada katsekehale konstantse kiirusega. Näiteks paindekatsel tuleb koormus rakendada sellise kiirusega, et maksimaalne koormus saavutataks 300 ± 120 sekundi jooksul.

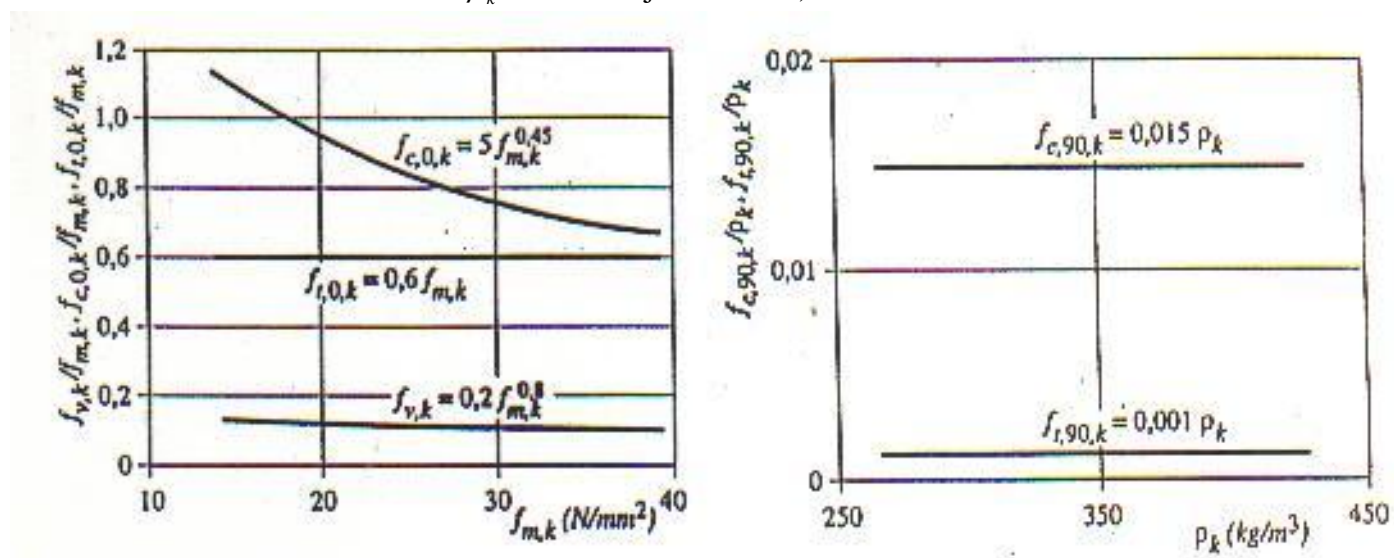


Joonis 5.4-1

Puidu tugevuse normväärtus, normjäikuse parameeter ja normtihedus (mahumass) määratakse kogumi 5% väärtusena, mis vastab puidu tasakaalu niiskuskorraks (12%), mis saadakse 20°C ja 65% suhtelise niiskuse korral.

Standardi EN 384 kohaselt okaspuidu piki kiudu tõmbetugevuse $f_{t,0,k}$, piki kiudu survetugevuse $f_{c,0,k}$ ja nihketugevuse (löiketugevuse) $f_{v,k}$ normväärtused võib määrata norm-paindetugevusest $f_{m,k}$ vt joonis 5.4-2.

Risti kiudu tõmbetugevuse normväärtus $f_{t,90,k}$ ja risti kiudu survetugevuse normväärtus $f_{c,90,k}$ arvutatakse tiheduse normväärtuse ρ_k kaudu vt. joonis 5.4-2)



Joonis 5.4-2

Normtugevuste leidmine katsetulemuste põhjal eurostandardite alusel

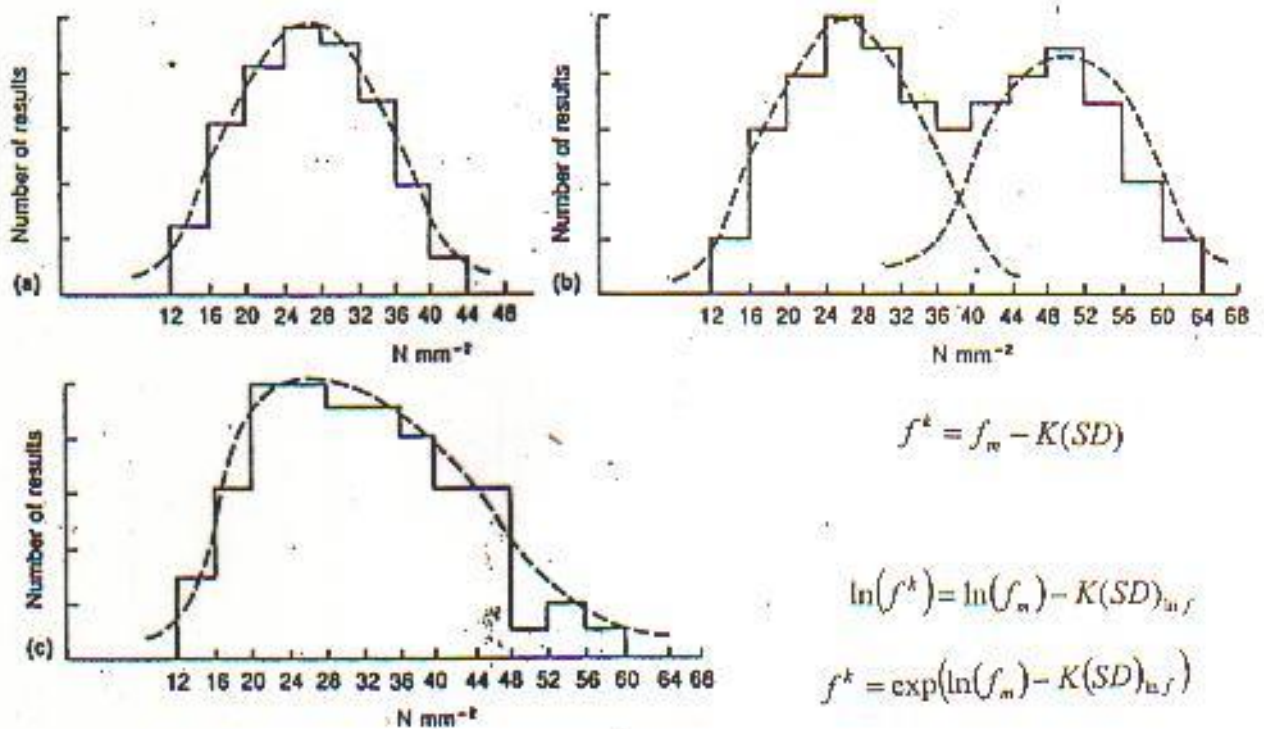
Visuaalne ja masinsorteerimine peab toimuma vastavate standardite kohaselt.

Katsetulemuste jaotus võib vastata:

- “korralikule” normaaljaotusele (joonis 5.4-3 a);
- jaotusele, mis vastab kahele ülekattuvale katseandmete kogumile, s.o. kaks erinevat materjalide kogumit (partiit). Sellisel juhul tuleb analüüsiga tulemused (ja ka materjal vastavalt sorteerida) kaheks jagada, muidu arukat normatiivset väärtust ei saa ja see on materjali raiskamine (joonis 5.4-3b);
- tugevalt positiivse asümmeetriaga jaotus, mis sageli vastab puitmaterjalile, kus on nn. suuremate tugevuste saba (joonis 5.4-3c). Kui normväärtus arvutatakse sellise saba puhul valemiga (Soome, NL jne)

$$f^k = f_m - K(SD),$$

kus SD – standardhälve ja K – faktor, mis sõltub tõenäosusprotsendist (95% - 1,648), siis saame normväärtusele kõrge standardhälve tõttu mitterealse tulemuse, s.o. madalama väärtuse kui katseandmetes oli kõige madalam tulemus.



Joonis 5.4-3

Palju paremini sobib sel juhul katsetulemustele log-normaaljaotus ja normväärtus arvutatakse

$$\ln(f^k) = \ln(f_m) - K(SD)_{\ln f},$$

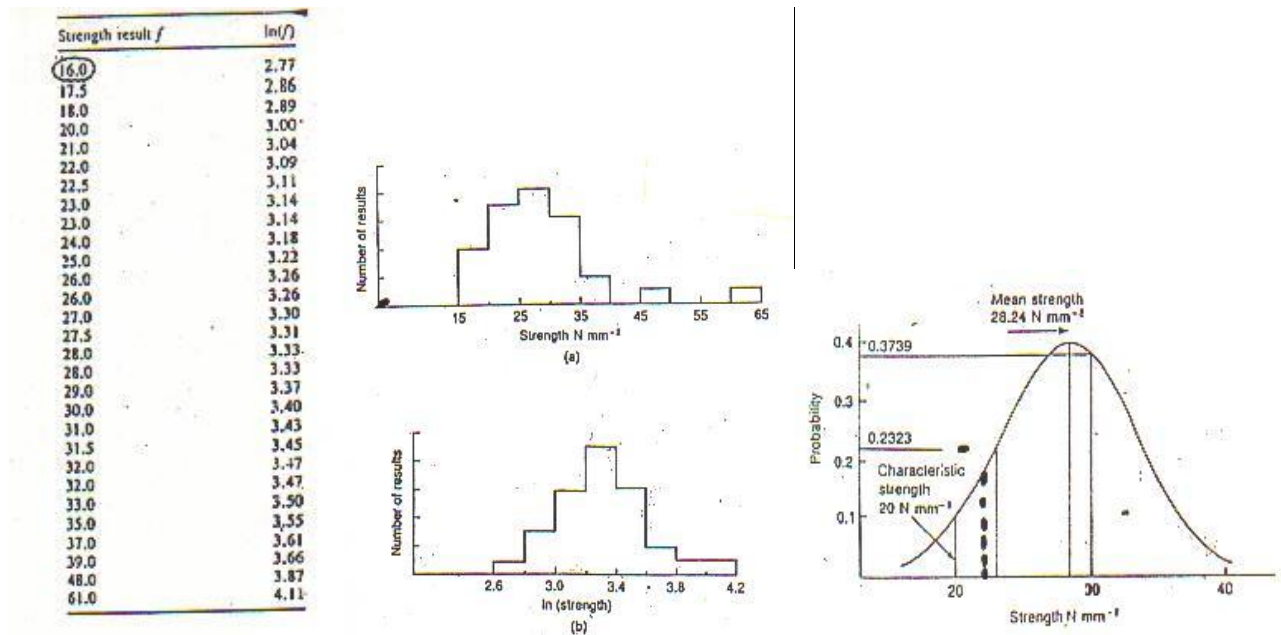
kust

$$f^k = \exp(\ln(f_m) - K(SD)_{\ln f})$$

See protseduur on illustreeritud tabelis joonisel 5.4-4 esitatud katsetulemuste ja neile vastava jaotuse puhul (saba), mis on joonistatud N/mm^2 tugevusgruppide (a) ning \ln/f (b) jaotuse järgi, millede aproksimatsioon vastab palju paremini normaaljaotusele.

Lihtsustatud tugevusomaduste määramisel EVS-EN 384:2004 võetakse ühe katsekehade kogumi reastatud väärtus tõusvas järjestuses. 5% normväärtus on katsetulemus, millest 5% tulemustest on madalamad.

Standardis EVS-EN 14080:2005 „Puitkonstruktsioonid. Lamineeritud liimpuit. Nõuded” on lisas A esitatud paindetugevuse, puidukiuga paralleelse tõmbetugevuse, kiuga paralleelse survetugevuse, nihketugevuse ning painde elastusmooduli 5% normatiivse väärtuse määramise meetodika. 5-protsendiline normatiivne väärtus leitakse jaotust, kui ühepoolse 84,1% usaldusvahemiku madalaim lõpp-punkt, arvestades normaal-logaritmilist jaotust. Variatsioonikoefitsient võetakse vähemalt 0,10.



Joonis 5.4-4

Juhuslikult valitud katsekehasid katsetatakse omadusele x sobiva standardi järgi. Tuletatakse keskmine väärtus $m\{x\}$ ja variatsioonitegur $v\{x\}$. Normatiivne väärtus x_k leitakse järgnevalt:

$$x_k = k_1 m\{x\},$$

kus

$m\{x\}$ – katsetulemuste keskmine väärtus;

k_1 – tegur, mis oleneb variatsioonikoefitsiendist ja katsekehade arvust. Teguri võib võtta ka tabelist.

Valem teguri k_1 arvutamiseks:

$$k_1 = \exp\left\{-\left(2,645 + 1/\sqrt{n}\right)v\{x\} + 0,15\right\},$$

kus

n – katsekehade arv,

$v\{x\}$ – variatsioonitegur, mida ei võeta väiksemaks kui 0,10.

Siinkohal olgu märgitud, et igal puidust kandekonstruktsioonides kasutataval puidul peab olema sortimismärgistus, mis näitab tema kvaliteeti. Viimane peab sisaldama: tugevusklassi, puiduliiki, kuivatusmeetodit (KK-kamberkuivatus, AK – atmosfäärikuivatus), tootjat ja sortimisstandardit. Vt joonis 5.4-5



Joonis 5.4-5

5.5 Osavaruteguritest

Materjali tugevuse omaduse arvutusväärtus X_d leitakse järgmise avaldisega

$$X_d = k_{mod} X_k / \gamma_M$$

kus γ_M - materjali või toote vastava omaduse osavarutegur, mis katab võimalikud ebasoodsad hälbed normisuurustest, geomeetriast ja materjali käitumise mudelist,

k_{mod} – koormuse kestuse ja niiskusesisalduse mõju arvestav tugevusparameetri modifikatsioonitegur (teisendustegur).

Jäikuse arvutusväärtused E_d ja G_d tuleb arvutada järgmiselt:

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}$$

kus:

E_{mean} elastsusmooduli keskvärtus;

G_{mean} nihkemooduli keskvärtus.

Puitkonstruktsioonide, nagu ka teiste konstruktsiooniliikide korral, tagatakse projekteerimisstandardites konstruktsioonide piir seisunditel põhinev töökindlus nn. osavarutegurite meetodi abil. Tuleb tõestada, et arvutusmudelites koormuste, materjalide omaduste ja geomeetriliste mõõtmete arvutuslikke väärtuste kasutamisel jäävad kõik piirloomad ületamata.

Tuleb tõestada, et arvutuslikud koormustulemid (sisejõud, momendid, pinged jne.) ei ületaks arvutuslikku kandevõimet kandepiir seisundis ja kasutuspiir seisundi kriteeriume (läbipained, siirded).

Standardi EVS-EN 1995-1-1:2007 Rahvuslikus lisaga (RL) esitatakse osavaruteguri γ_M kohta järgmised väärtused:

Materjali osavaruteguri γ_M soovitatavad väärtused

Põhikombinatsioonid:	
Monoliitpuit	1,3
Okaspuidust saematerjal tugevusklassiga $\geq C35$	1,25
Lamell- ja spoonliimpuit	1,25
Puidupõhised plaadid	1,2
Liited	1,25
Ogaplaatliited	*)
-nakketugevus	1,25
- plaadi tugevus (teras)	1,1
Avariikombinatsioonid	1,0

6. PUITELEMENTIDE ARVUTUS KANDE- JA KASUTUSPIIRSEISUNDIS.

6.1 Materjali tugevus- ja jäikusomadused

Puit- ja puidupõhiste materjalide tugevus- ja jäikusparameetrid tuleb määrata katsetulemuste alusel, mis on saadud konstruktsioonile vastavate koormustega või sarnaste puusortide või puidupõhiste materjalidega võrdlemisega või eri omaduste hästi tuntud suhete alusel.

Normväärtused määratakse eeldusel, et pinge ja deformatsiooni vaheline seos on kuni purunemiseni lineaarne, siis üksikelemendi kontroll peab põhinema samal lineaarsel seosel.

Üheaegselt surutud ja painutatud elementide arvutamisel võib kasutada pingedeformatsioonide vahelist mittelineaarset (elastoplastset) seost.

Kasutus- ja koormuse kestusklassidest tulenev modifikatsioonitegur k_{mod} väärtus võetakse lühima kestusklassiga koormuse järgi. Näiteks omakaalu ja lühiajalise kombinatsiooni puhul valitakse k_{mod} lühiajalise koormuse järgi.

Deformatsioonide arvutusel tuleb kasutada kasutusklassidest tulenevat deformatsioonitegurit k_{def} .

Saepuidust (monoliitpuidust) elemendid peavad vastama standardile EN 14081-1 ja ümarristlõikega puitelemendid standardile EN 14544. Puidu tugevusklassid on antud standardis EN 338.

Puitelemendi suuruse mõju tugevusele võib arvesse võtta. Ristkülikulise monoliitpuidu jaoks normtihedusega $\rho_k \leq 700 \text{ kg/m}^3$ on viitekõrgus paindel või viitelaius (suurim ristlõikemõõde) tõmbel 150 mm. Nende ristlõikekõrguste puhul paindel või laiuste puhul tõmbel, mis on monoliitpuidul väiksemad kui 150 mm, võib vastavaid normväärtusi $f_{m,k}$ ja $f_{t,0,k}$ suurendada teguriga k_h , mis leitakse järgmiselt:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \right. \\ \left. 1,3 \right.$$

kus h on paindeelemendi kõrgus või tõmbeelemendi laius, mm.

Tuleb silmas pidada, et puidul, mis on paigaldatud küllastusniiskusega või sellele lähedase niiskusega ja mis tõenäoliselt kuivavad välja koormuse all, tuleb k_{def} väärtusi suurendada 1,0 võrra.

Liimpuitelemendid peavad vastama standardile EN 14080. Standardis EVS-EN 1194 on antud liimpuidu tugevuse ja jäikuse omadused tugevusklasside kaupa. Ka liimpuidu korral võib elemendi suuruse mõju tugevusele arvesse võtta.

Ristkülikulise ristlõikega liimpuidu jaoks on viitekõrgus paindel või viitelaius tõmbel 600 mm. Nende ristlõikekõrguste puhul paindel ja laiuste puhul tõmbel, mis on liimpuidul väiksemad kui 600 mm, võib vastavaid normväärtusi $f_{m,k}$ ja $f_{t,0,k}$ suurendada teguriga k_h , mis leitakse järgmiselt:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \\ \left. 1,1 \right.$$

Spoonliimpuidust elemendid peavad vastama standardile EN 14374. Ristkülikulise ristlõikega spoonliimpuidust elemendi puhul, mille spoonide kiud jooksevad põhiliselt ühes suunas, tuleb arvestada elemendi suuruse mõju painde- ja tõmbetugevusele. Viitekõrgus paindel on 300 mm. Nende ristlõikekõrguste puhul paindel, mis ei ole 300 mm ja tõmbel 3000 mm tuleks normväärtusi $f_{m,k}$ ja $f_{t,0,k}$ korrutada standardkohase teguriga k_h spoonliimpuidu kohta. Spoonliimpuidu puhul, mille spoonide kiud jooksevad põhiliselt ühes suunas, tuleb arvestada elemendi suuruse mõju ristikudu tõmbetugevusele.

Puidupõhised paneelid peavad vastama standardile EN 13986 ning spoonliimpuitpaneelid peavad vastama standardile EN 14279. Siinjuures EN 622-4 kohaste pehmete plaatide kasutamine peaks olema keelatud tuulesidemetena ning tuleks projekteerida katsete alusel.

Metallkinnituselemendid peavad vastama standardile EN 14592 ning metalltüüblid peavad vastama standardile EN 14545.

6.2 Konstruktsiooni arvutuse alused

Konstruktsiooni arvutused tuleb teostada kohaste arvutusmudelitega (vajadusel täiendatud katsetega), mis sisaldavad kõiki asjakohaseid muutujaid. Mudelid peavad olema piisavalt täpsed, ennustamiseks konstruktsiooni käitumist

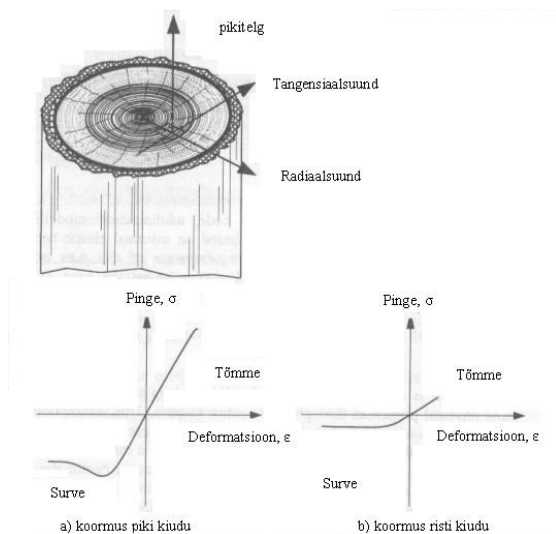
Konstruktsiooni käitumisel hinnatakse mõjureid lineaarse materjali mudeliga arvutades (elastne töötamine).

Elastse arvutuse põhimõte

Puitkonstruktsioonide projekteerimisel hinnatakse koormusi puitmaterjali töötamisel elastses staadiumis. Elastse arvutuse põhieeldused ja nende kasutusvõimalused puitkonstruktsioonide arvutustes, oleksid järgmised:

- materjal on homogeenne, seega on materjali kõik koostisosad samasuguste füüsikaliste omadustega kogu mahu ulatuses. Sellise omaduse omistamine puitmaterjalile on vägivaldne. Puit on ebahomogeenne materjal ja väga erinevate füüsikaliste omadustega;

- materjal on isotroopne, mis tähendab, et elastsed omadused (elastsusmoodul) on erinevates suundades samad. Puidule on omane anisotroopne käitumine ja siit tulenevalt puidu arvutus tugineb kolme erineva suuna ortotroopsele käitumisele: pikikiudude suunas, radiaal- ja tangentsiaalsuunas, nagu on näidatud Joonisel 6.2-1. Omadusi, mis sõltuvad tangentsiaal- ja radiaalsuunast, käsitletakse sageli koos ja on tuntud, kui ristikiudu suund;
- materjal käitub Hooke seaduse kohaselt, seega materjali deformatsioonide suurus on lineaarses sõltuvuses rakendatud välisjõu suuruselt. Pinge/deformatsiooni sõltuvusgraafik väikeste katsekehadega näitab deformatsioonide lineaarset sõltuvust tõmbel ja survel kindlas vahemikus. (Vt joonis 6.2-1(a) ja (b)).



Joonis 6.2-1

Joonisel 6. 2.1(a) on tõmbepingete väärtus suurem kui survepingete väärtus, seejuures nii survel kui ka tõmbel on lineaarne käitumine. Puit puruneb survel plastse materjalina ja tõmbel hapra materjalina. Need omadused võetakse aluseks puitmaterjali paindetugevuse määramisel, ning nende kaudu avaldatakse paindepinged. Siinjuures

- materjali elastsus väljendub selles, et väliskoormuse mõju lakkamisel deformatsioonid taastuvad täielikult;
- tõmbe- ja surveelastsusmoodulid on samad, mis on lihtsuse mõttes põhjendatud. Elastsusmooduli väärtus on väiksem ristikiudu võrreldes elastsusmooduliga pikikiudu (vt joonis 6.2-1). Elastsusmoodulite kaks väärtust puidu normides on tähistatud $E_{0,mean}$ ja $E_{90,mean}$;
- deformatsioonide vältel jäävad ristlõike pinnad tasapinnalisteks. Puidu painde korral on see eeldus rikutud, mis kajastub mittelineaarses paindepingete diagrammis.

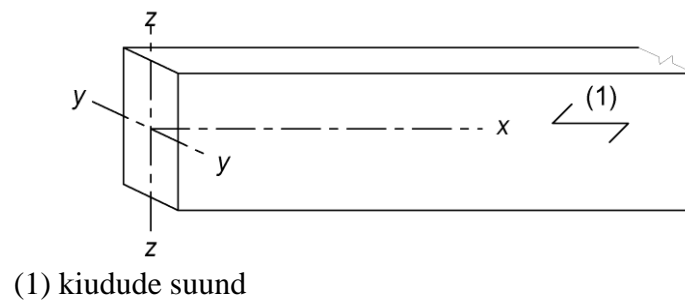
Puidu käitumisel tema omaduste juures ei ole elastsusteooria põhieeldused alati rahuldatud. Need puudujäägid kompenseeritakse arvukate modifikatsiooni- ja varutegurite süsteemiga, et oleks võimalik rakendada elastsusteooriat.

Konstruktsioonide korral, mis on võimelised sisejõude üle kandma piisava paindlikkusega liidete abil, võib sisejõudude arvutamisel kasutada elasto-plastset meetodit.

Puitkonstruktsiooni või selle osade arvutusmudel peab arvestama liidete järelandvuse mõjuga.

Liidete järelandvuse mõju tuleks puitkonstruktsioonides arvestada nende jäikusega (näiteks pöörde-, väände- või pikijäikus) või etteantud kinnituselemendi nihkemoodulitega, mis sõltuvad jõudude suurusest liites.

Joonisel 6.2-2 on esitatud puitelementide arvutamisel kasutatav teljestik



Joonis 6.2-2

6.3 Arvutus kandepiir seisundis ühes põhisuunas mõjuvate pingetega ristlõigete projekteerimisel

Selles jaotises käsitletakse ühes põhisuunas mõjuvate pingetega ristlõigete projekteerimist, mis kehtib sirgetele monoliitpuit- või liimpuitelementide ning konstantse ristlõikega puidupõhiste konstruktsioonelementide kohta, mille kiudude suund on põhiliselt piki elementi. Elementis eeldatakse pingete tekkimist ainult ühe põhitelje suunas.

6.3.1 Tõmme piki- ja ristikiudu

Tõmmatud vardad on puitkonstruktsioonides kõige vastutusrikkamateks elementideks. Kõige enam avariisid on põhjustatud just tõmmatud elementide purunemisest. Selle peamiseks põhjuseks on puidu defektide (kiudude kiivus ja oksad) suur mõju tõmmatud elementide kandevõimele, samuti ka ekstsentrilisuste ja pingete kontsentratsiooni mõju. Seetõttu tuleks tõmmatud elemendid nende kandevõime täielikul ära kasutamisel valmistada suurema tugevusklassiga puidust.

Tõmbel pikikiudu peab standardi kohaselt olema täidetud järgmine tingimus:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

kus:

$\sigma_{t,0,d}$ arvutuslik tõmbepinge pikikiudu;

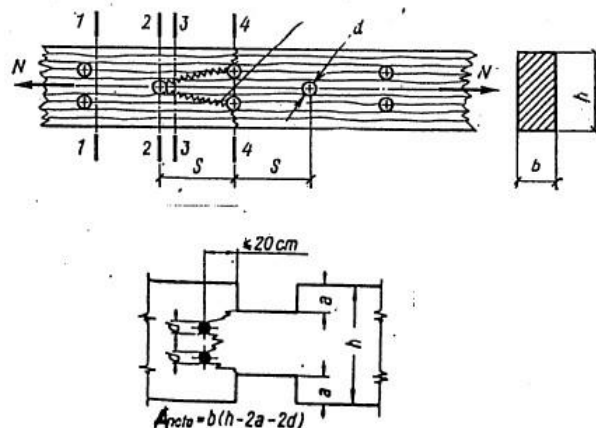
$f_{t,0,d}$ arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu.

Tõmbel ristikiudu tuleb arvestada elemendi suuruse mõju.

Järgmise näite varal vaatame kuidas tõmbepingeid leida (joonis 6.3-1)

Kui eeldada, et kõikide kiudude tugevus on võrdne, siis lõikes 1-1 on kõik kiud koormatud võrdselt.

Lõikes 2-2 on osa kiude läbi lõigatud ning osa sisejõude antakse üle kõrvalolevatele kiududele, mis saavad enamkoormatuks. Seega lõikes 3-3 pinged kiududes on ebahütlased. Nõrgestuste vahelise kauguse S ulatuses pinged ühtlustuvad. Kui S ei ole küllalt suur, siis ühtlustumist ei toimu ja lõikes 4-4 osa kiude lõigatakse läbi ja kõrvalolevad kiud saavad täiendavaid sisejõude. Siit edasi osa kiude saavutavad piirtugevuse tõmbel ja see viib algul kiudude purunemisele ning seejärel elemendi purunemisele.



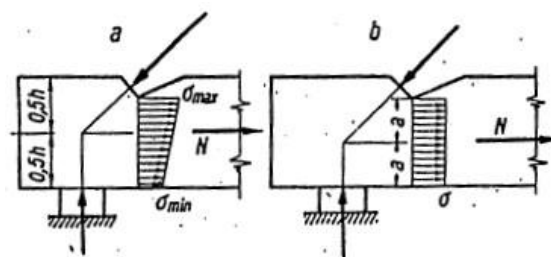
Joonis 6.3-1

Ülaltoodust järeldub, et A_{neto} määramisel on oluline nõrgestuste vaheline kaugus S .

Katsetulemused näitavad, et lähestikku asetsevate nõrgestuste puhul toimub varde purunemine mööda sikkisakkjoont, kus murdepinnad vahelduvad nihkepindadega. Seda arvestades loetakse kõik nõrgestused, mis asetsevad kuni 20 cm kaugusel üksteisest, koondatuks ühte ristlõikesse. (A_{neto}) Seega tõmbele arvutades 20 cm ulatuses olevad nõrgestused loetakse ühes lõikes olevaks. Siit reegel: **Tõmbe pinged tuleb leida elementides nõrgestatud ristlõike järgi.**

Tõmbeelementide arvutus, konstrueerimine ja valmistamine on väga vastutusrikas. Soovitav on vältida ühenduses paindemomentide tekkimist nõrgestatud ristlõikes. Selleks tuleb jõud tsentreerida nõrgestatud ristlõike raskuskeskme joone järgi (vt joonis 6.3-2).

Tõmmatud elemente kasutatakse sõrestike alumistes vöödes, kaare tõmbidena jm.



Joonis 6.3-2

6.3.2 Surve

Tsentriselt surutud lihtvarras

Puidu plastilised omadused survel avalduvad enam kui tõmbel ja seetõttu survele arvutades arvestatakse nõrgestusi ainult arvutuslikus ristlõikes. Varda püsivuskontrollil (stabiilsuskontrollil) kasutatakse üldiselt netoristlõikest suuremat arvutuslikku ristlõiget, kuna elemendi keskosas asuvad sümmeetrilised nõrgestused ei muuda oluliselt deformeerunud varde telje kuju.

Tsentriselt surutud varraste puhul tuleb kontrollida tugevust ja püsivust. Tugevusarvutustel ei arvestata pingete kontsentratsiooni mõju, kuna survel töötab puit plastse materjalina. Puidu survetugevus pikikiudu $f_{c,0}$ on üks püsivamaid puidu iseloomustajaid, mis suhteliselt vähe oleneb kõrvalteguritest ja ka puidu defektidest.

Survel piki kiudu peab normide kohaselt olema täidetud tingimus:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

kus:

$\sigma_{c,0,d}$ arvutuslik survepinge pikikiudu;

$f_{c,0,d}$ arvutuslik survetugevus pikikiudu.

Tugevuskontroll survele on määrav lühikeste varraste korral, kus $l \leq 7t$.

Saleda tsentriselt surutud varda sirge tasakaaluasend muutub koormuse teataval väärtusel ebastabiilseks – varras põikub (nõtkub tasapinnast välja). Enam pikemad elemendid, mis põiki suunas ei ole kinnitatud, tuleb arvutada pikipaindele, mis seisneb varda põikumises kriitilisel koormusel. Varda põikumine vastab aga piirolukorrale, mida konstruktsiooni normaalsel ekspluateerimisel ei või lubada. Normide kohaselt on nõutud peale tugevuskontrolli survele piki kiudu kontrollida ka püsivustingimust.

Järgnevalt vaatleme põikunud sirget varrast (joonis 6.3-3), mis on otstes liigenditega kinnitatud. Tema elastse joone võrrand on järgmine:

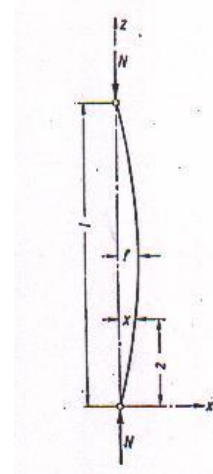
$$\frac{d^2x}{dz^2} = -\frac{Nx}{EJ}$$

kus üldlahend on tugevusõpetusest tuttav

$$x = c_1 \sin \sqrt{\frac{N}{EJ}}z + c_2 \cos \sqrt{\frac{N}{EJ}}z,$$

peale rajatingimuste sisseviimist saame järgmised seosed

$$c_2 = 0; \frac{NI^2}{EJ} = \pi^2.$$



Joonis 6.3-3

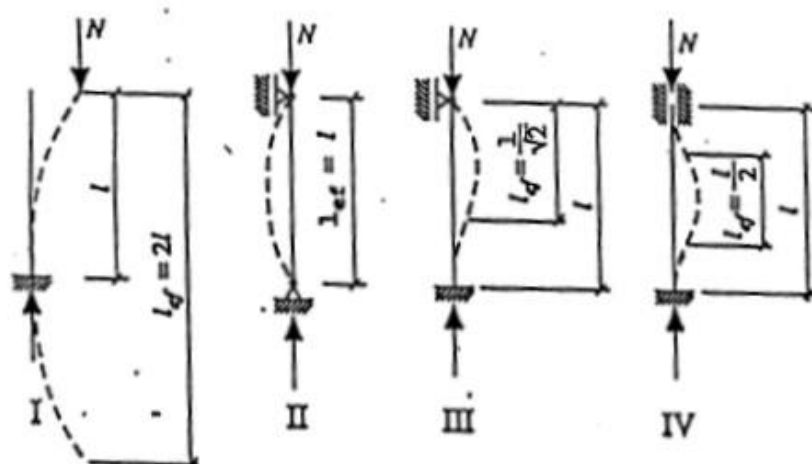
Pikemad elemendid, mis põikisuunas ei ole kinnitatud, tuleb arvutada pikipaindele, mis seisneb varda välja nõtkumises teataval kriitilisel koormusel.

Kriitiline koormus väljendub materjali elastses staadiumis Euleri valemiga: $N_{crit} = \frac{\pi^2 EJ}{l_{ef}^2}$.

Võttes selle valemi ja jagades mõlemad pooled pinna A-ga ning teades i ja λ

$$i = \sqrt{\frac{J}{A}}, \lambda = \frac{l_{ef}}{i} \text{ saame järgmise kriitilise pinge } \sigma_{crit} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}.$$

l_{ef} - kriitilise jõu valemis elemendi arvutus pikkus, mis sõltub varda kinnitusest (joonis 6.3-4)



Joonis 6.3-4

Põikumise arvutus survel tehakse normide kohaselt suhteliste saleduste kaudu:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

kus:

λ_y ja $\lambda_{rel,y}$ vastavad paindesaledused y -telje suhtes (läbipaine z -telje suunas);

λ_z ja $\lambda_{rel,z}$ vastavad paindesaledused z -telje suhtes (läbipaine y -telje suunas);

$E_{0,05}$ elastsusmooduli 5% väärtus pikikiudu.

Kui suhtelised saledused $\lambda_{rel,z} > 0,3$ ja $\lambda_{rel,y} > 0,3$, siis tsentriliselt surutud elementides peavad survepinged püsivuskontrollil rahuldama tingimusi:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} f_{c,0,d} \quad \text{ja} \quad \sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} f_{c,0,d},$$

kus vastav tegur $k_{c,z(y)}$ arvestab elemendi saledust ja sirgust ning on avaldatav järgmise seosega:

$$k_{c,z(y)} = \frac{1}{k_{z(y)} + \sqrt{k_{z(y)}^2 - \lambda_{rel,z(y)}^2}} \quad \text{kus } k_{z(y)} = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,z(y)} - 0,5) + \lambda_{rel,z(y)}^2 \right]$$

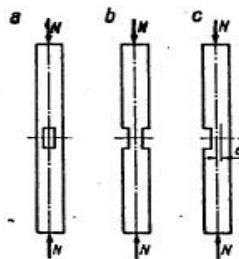
β_c - tegur, mis arvestab surutud elemendi sirgust. Normidega on sätestatud, et tugedevahelise osa keskkoha piirkõrvalekalle sirgusest liimpuidu puhul ei tohi olla suurem kui 1/500 ja monoliitpuudu korral 1/300 pikkusest.

Normide kohaselt tuleb β_c väärtuseks võtta

saepuidul $\beta_c = 0,2$ ja liimpuidul ja spoonliimpuidul $\beta_c = 0,1$.

Väiksemate suhteliste saleduste korral ($\lambda_{rel,z(y)} < 0,3$) tsentriliselt surutud varda kontroll taandub tugevustingimuse täitmisele, s.o

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}.$$



Joonis 6.3-5

Nõrgestustest:

Arvukate katsete alusel võiks varda arvutuslikku ristlõikepinda, A_d , tsentrilisel survel määrata joonise 6.3-5 järgi järgmiselt: skeem a) kui $A_{neto} < 0,25A_{bruto}$, siis $A_d = A_{bruto}$ või kui $A_{neto} > 0,25A_{bruto}$, siis $A_d = \frac{4}{3}A_{neto}$; skeem b) sümmeetriliste väliste nõrgestuste puhul võetakse $A_d = A_{neto}$; c) ebasümmeetriliste väliste nõrgestuste puhul tuleb varrast arvutada ekstsentrilisele survele.

Maksimaalsed piirsaledused, milledest projekteerimisel oleks soovitatav lähtuda, oleksid järgmised:

- | | |
|--|-----|
| 1. Sõrestike toediagonaalid, surutud vööd, toepostid, postid | 120 |
| 2. Teised sõrestike elemendid | 150 |
| 3. Surutud sidemed | 150 |
| 4. Tõmmatud sõrestike vööd vertikaalpinnas | 150 |
| 5. Muud tõmmatud elemendid | 200 |

Surve ristikiudu

Surve puhul risti kiudu $f_{c,90}$, mida mõistame ka muljumisena, peab olema täidetud järgmine tingimus:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d}$$

$\sigma_{c,90,d}$ - efektiivse kontaktpinna arvutuslik survepinge ristikiudu;

$f_{c,90,d}$ - arvutuslik survetugevus ristikiudu;

$k_{c,90}$ - tegur, mis arvestab koormuse konfiguratsiooni, lõhestumisvõimalust ning survedeformatsioonide astet.

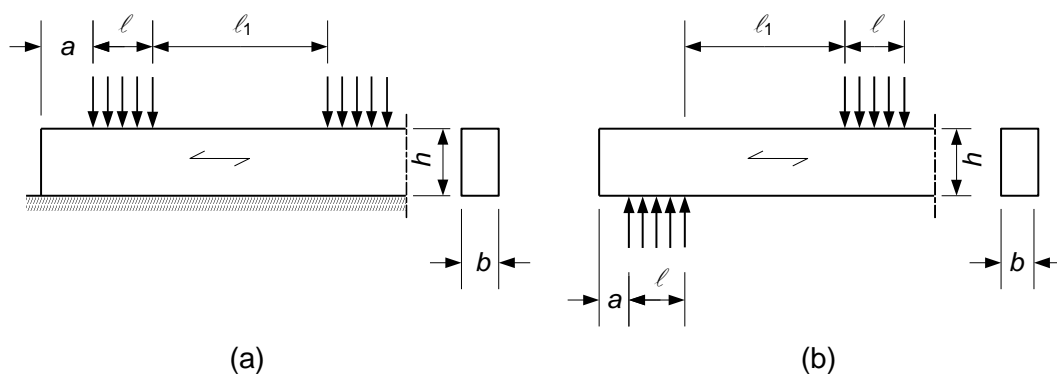
Arvutuslik survepinge tuleb leida järgmiselt:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

$F_{c,90,d}$ - arvutuslik survejõud ristikiudu;

A_{ef} - efektiivne kontaktpind ristikiudu survele;

Efektiivne kontaktpind ristikiudu survele A_{ef} saadakse arvestades efektiivset kontaktpikkust pikikiudu, kus tegelikku kontaktpikkust l on suurendatud mõlemas suunas 30 mm võrra kuid mitte rohkem, kui a , l või $l/2$. Vt joonis 6.3-6, kus h on elemendi ristlõike kõrgus ning l on kontaktpikkus.



Joonis 6.3-6 Element pideval toel (a) ja kohttoel (b)

Teguri $k_{c,90}$ väärtuseks võetakse 1,0 juhul, kui ei kehti alljärgnevate punktide tingimused. Viimastel juhtudel võib võtta teguri $k_{c,90}$ väärtused suuremad, kuid mitte rohkem kui $k_{c,90} = 1,75$:

a) pideval toel asuval elemendile, mille puhul $l_1 \geq 2h$ (vt joonis 6.3-6a), tuleks teguri $k_{c,90}$ väärtus võtta järgmiselt:

- $k_{c,90} = 1,25$ saepuidu jaoks
- $k_{c,90} = 1,5$ okaspuidust liimpuit juhul kui $l \leq 400$ mm;

b) kohttoel asuval elemendile, mille puhul $l_1 \geq 2h$ (vt joonis 6.3-6b), tuleks teguri $k_{c,90}$ väärtus võtta järgmiselt:

- $k_{c,90} = 1,5$ saepuidu jaoks
- $k_{c,90} = 1,75$ okaspuidust liimpuit juhul kui $l \leq 400$ mm

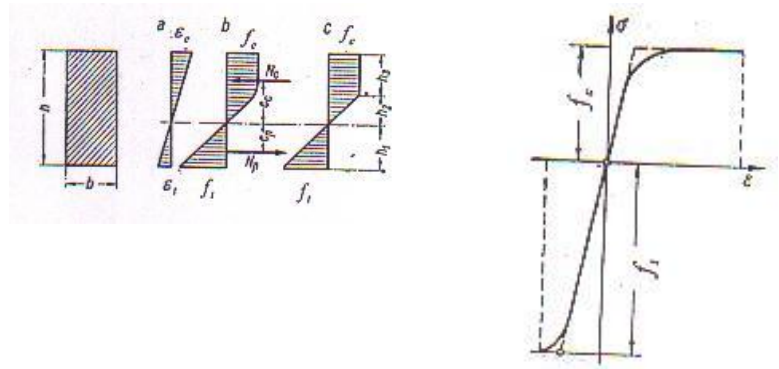
6.3.3 Paine

Painutatud puitelementide pingelukorra käsitlemisel eeldatakse, et deformeerunud elemendi ristlõiked jäävad tasapinnalisteks, s.t. deformatsioonide jaotus ristlõikes on lineaarne (joonis 6.3-7 a). Kuna puit töötab tõmbele hapra ja survele plastse materjalina, erineb tõmbediagramm survediagrammist ning pingajaotus ristlõikes piirseisundis vastab skeemile b). Tõmbe- ja surveelastsusmodulid on praktiliselt võrdsed, mistõttu diagramm säilitab oma kalde üleminekul tõmbelt survele. Asendades pingete

pikenemiste tegeliku diagrammi ideaalse plastilis-elastse materjali diagrammiga (punktir graafikul) saame lihtsustatud pingejaotuse c).

Kasutades tasakaalutingimusi ning arvestades geomeetrisi seoseid pingeteepüüril, skeem c, saame paindemomendi väärtuseks pirolukorras (ristkülikulise ristlõikega varda puhul):

$$M = f_c \frac{bh^2}{6} \frac{3f_t - f_c}{f_t + f_c}$$



Tähistame puidu paindetugevuse f_m ning avaldame selle seosest

$$f_m = \frac{M}{W}$$

Joonis 6.3-7

Võrrutades momendi väärtused eelmisest kahest seosest, saame puidu paindetugevuse sõltuvuse tõmbe- ja survetugevusest:

$$f_m = f_c \frac{3f_t - f_c}{f_t + f_c}$$

Asetades viimasesse avaldisse vastavad väärtused saame seose $f_{m,d} \approx 1,9f_c$ mis on kooskõlas katsetulemustega.

Paindele töötav element puruneb järgmisel viisil. Seoses plastiliste deformatsioonide arenemisega survetsoonis toimub puidu kiudude kohalik väljanõtkumine ja kurruline deformeerumine, ilma et ristlõike kandevõime väheneks. Purunemine toimub reeglina tõmbetsoonis, kui pinged äärmistes kiududes on ületanud tõmbetugevuse.

Projekteerimismõnades ei lubata tala ristlõike survetsoonis plastseid deformatsioone, mispuhul pingeteepüür jääb lineaarseks ning puit- ja plastmasselementide arvutuslikud paindepinged leitakse elastse materjali kohta kehtiva seosega:

$$\frac{M_d}{W_{neto}} \leq f_{m,d}$$

Kohalikud nõrgestused (sisselõiked jms.) avaldavad elemendi kandevõimele suurt mõju. Eriti ohtlikud on nõrgestused ristlõike tõmmatud serval, kuna siin nad lisaks vastupanumomendi vähenemisele kutsuvad esile pingete kontsentratsiooni ja suurte nihkepingete tekkimise. Seetõttu ei ole soovitatav ristlõiget maksimaalse paindemomendi piirkonnas nõrgestada. Ka paindel nagu tõmbelgi loetakse 20 cm pikkuses olevad nõrgestused ühes lõikes olevaks.

!Ümarpalgist paindeelementide arvutamisel määratakse vastupanumoment selle ristlõike jaoks, kus esineb maksimaalne paindemoment.

Normide kohaselt tuleb paindele arvutades rahuldada järgmisi tingimusi (vt joonis 6.3-8):

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,y,d}$ ja $\sigma_{m,z,d}$ - arvutuslikud paindepinged peatelgedel (vt ka joonis 6.2-2) suhtes;

$f_{m,y,d}$ ja $f_{m,z,d}$ - vastavad arvutuslikud paindetugevused.

Tegur k_m arvestab pingete ümberjagunemist ja materjali mittehomoogensust.

Teguri k_m väärtus tuleks võtta järgmiselt:

monoliitpuidu, lamell-liimpuidu ja spoonliimpuidu puhul:

- täisnurkse ristlõike korral: $k_m = 0,7$

- muu ristlõike korral: $k_m = 1,0$

Teiste puidupõhiste konstruktsioonitoodete jaoks kõikide ristlõigete puhul: $k_m = 1,0$

Normides seesugune arvutusvalemite kuju on seotud elemendi töötamisega vildakpainele ja täidetud peavad olema mõlemad tingimused.

Ka painde korral tuleb kontrollida elemendi stabiilsust (põikumist) nagu surve korralgi, mis võib olla põhjustatud algkõverusest, jõudude ekstsentrilisest asetusest, aga samuti läbipainete tulemusel lisapaindepingete tekkimisest.

Kui ristlõikes mõjub ainult paindemoment M_y ümber püsivustelje y , siis paindepinged peaksid rahuldama järgmist tingimust:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

kus:

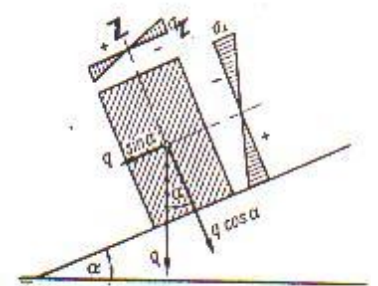
$\sigma_{m,d}$ arvutuslik paindepinge;

$f_{m,d}$ arvutuslik paindetugevus;

k_{crit} tegur, mis arvestab paindetugevuse vähenemist.

Taladele, mille põiksuunaline algkõverus on survele arvutamisel kirjeldatud piirides, võib k_{crit} määrata valemist lähtudes suhtelisest saledusest järgmiselt:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kui } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{kui } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kui } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$



Joonis 6.3-8

k_{crit} võib võtta võrdseks 1-ga taladel, mille survepoolne põiksuunaline paigutus on takistatud kogu tala pikkusel ja väändepööre tugeudel.

Suhteline saledus paindel leitakse järgmiselt: $\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}}$, kus kriitiline pinge on klassikalise stabiilsusteooria kohaselt arvatud kriitiline paindepinge, kasutades 5% jäikusväärtust ($E_{0,05}$)

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{\ell_{ef} W_y}$$

kus:

$E_{0,05}$ elastsusmooduli 5 % väärtus pikikiudu;

$G_{0,05}$ nihkemooduli 5 % väärtus pikikiudu;

I_z inertsimoment z telje suhtes;

I_{tor} väändeinertsimoment;

ℓ_{ef} tala arvutus pikkus sõltuvalt toetingimustest ja koormusolukorrast, mis standardis antakse arvutus pikkuse ja sildeava suhtena;

W_y ristlõike vastupidavusmoment püsivustelje y suhtes.

Arvutus pikkuse ja sildeava suhe

Tala tüüp	Koormuse tüüp	ℓ_{ef}/ℓ^a
Lihttala	Konstantne moment	1,0
	Ühtlaselt jaotatud koormus	0,9
	Koondatud jõud sildeava keskel	0,8
Konsool	Ühtlaselt jaotatud koormus	0,5
	Koondatud koormus vabal otsal	0,8

^a Arvutus pikkuse ℓ_{ef} ja sildeava ℓ suhe kehtib väände kindla toetuse ja tsentreeritud koormuse korral. Kui koormus on rakendatud tala surutud servale, siis ℓ_{ef} tuleks suurendada $2h$ võrra ja võib vähendada $0,5h$ võrra, kui koormus on rakendatud tala tõmmatud servale.

Okaspuidust riskülikulise ristlõike korral võib $\sigma_{m,crit}$ leida järgmiselt:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2}{h\ell_{ef}} E_{0,05}$$

Kus b ja h on tala ristlõike laius ja kõrgus.

Kui ristlõikes esineb paindemoment M_y püsivustelje y suhtes koos survejõuga N_c , siis peaksid pinged rahuldama järgmist tingimust:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

kus:

$\sigma_{m,d}$ - arvutuslik paindepinge;

$\sigma_{c,0,d}$ - arvutuslik survepinge pikikiudu;

$f_{c,0,d}$ - arvutuslik survetugevus pikikiudu;

$k_{c,z}$ - nõtketegur (vt j 6.3.2)

6.3.4 Nihe (lõige)

Paindele töötavates elementides tekivad lisaks normaalpingetele arvestatavad nihkepinged toel. Seega võib element puruneda nii normaal- kui nihkepingete mõjul, sõltuvalt sellest, milline neist pingetest saavutab piirväärtuse enne.

Nihkepinged osutuvad määravaks suurte koondatud koormuste korral, mis paiknevad tugede lähedal, samuti ka I-kujulistes talades. Lihttalades ühtlaselt jaotatud koormuse juures täisnurkse ristlõike korral võib tala purunemine nihkepingetele saabuda suhteliselt väikese tala pikkuse l ja kõrguse h suhte korral, s.o lühikeste talade korral $l/h \leq 5$.

Paindeelementide arvutus nihkejõududele toimub eeldusel, et nihkepingete ümberjaotust ristlõikes ei esine, kuna survetsoonis plastsete deformatsioonide arenemist ei lubata.

Pikikiudu pingekomponendiga nihke jaoks, vt joonis 6.3-9(a), nagu ka mõlema ristikiudu pingekomponendiga, vt joonis 6.3-9(b), tuleb rahuldada järgmine tingimus:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

kus:

τ_d arvutuslik nihkepinge, mis leitakse seosega

$$\tau_d = \frac{VS}{bI}$$

$f_{v,d}$ arvutuslik nihketugevus tegeliku olukorra jaoks.

MÄRKUS: Külgnihketugevus on ligikaudselt võrdne kahekordse ristikiudu tõmbetugevusega.

Paindeelementide nihkekandevõime kontrollimisel tuleks pragude mõju arvestada efektiivlause kasutamisega, mis leitakse järgnevalt:

$$b_{ef} = k_{cr}b$$

kus b on elemendi vastava ristlõike laius.

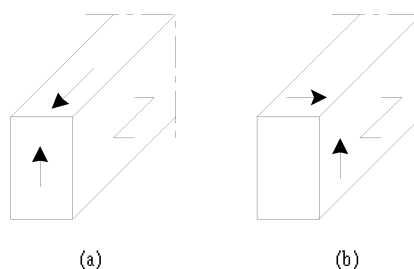
Märkus: Teguri k_{cr} soovituslikud väärtused on järgmised:

$k_{cr} = 0,67$ saepuidu jaoks

$k_{cr} = 0,67$ liimpuidu jaoks

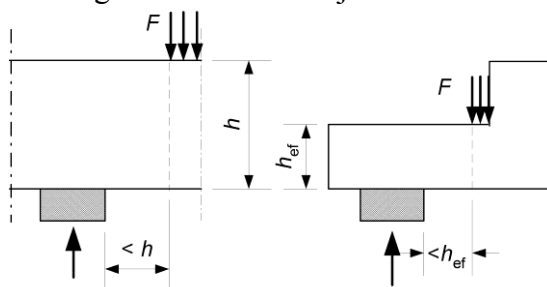
$k_{cr} = 1,0$ teiste puidupõhiste materjalide jaoks, mis vastavad standarditele EN 13986 ja EN 14374.

Siinkohal olgu märgitud, et Rahvuslikus lisas on k_{cr} väärtused jäetud samaks.



Joonis 6.3 –9 (a) Element kiududesuunalise nihkepingekomponendiga (b) Element mõlema ristikiudu nihkepingekomponendiga (külgnihe)

Tala ülemisel küljel toest kuni kauguseni h või h_{ef} mõjuva koondatud jõu F panust üldisesse põikjõudu toel ei pea arvestama (vt joonis 6.3-10). Taladele, millel on toel sisselõige, kehtib selline nihkejõudude vähendamine ainult juhul, kui sisselõige on toe vastasküljel.



Joonis 6.3-10 – Toelukord, mille puhul võib koondatud jõu F jätta põikjõu arvutamisel arvestamata

6.3.5 Vääne

Normide kohaselt arvutuslikud väändepinged elemendis peavad olema väiksemad kui materjali väändetugevus:

$$\tau_{\text{tor,d}} \leq k_{\text{shape}} f_{v,d}$$

kus

$$k_{\text{shape}} = \begin{cases} 1,2 & \text{ümaristlõige} \\ \min \left\{ \begin{array}{l} 1+0,15 \frac{h}{b} \\ 2,0 \end{array} \right. & \text{ristkülikuline ristlõige} \end{cases}$$

kus:

$\tau_{\text{tor,d}}$ arvutuslik väändepinge;

$f_{v,d}$ arvutuslik väändetugevus;

k_{shape} tegur, mis arvestab ristlõikekuju;

h suurem ristlõikemõõde;

b väiksem ristlõikemõõde.

Samas tuleb märkida, et puitelemente üldiselt väände ei projekteerita, kuna materjali väändejäikus on väike.

6.4 Arvutus kandepiirsesundis liitpingetega ristlõigete projekteerimisel

Alljärgnev arvutusmetoodika kehtib sirgetele monoliitpuit- või liimpuitelementide ning konstantse ristlõikega puidupõhiste konstruktsioonelementide kohta, mille kiudude suund on põhiliselt piki elementi. Elemendis eeldatakse liitpingete tekkimist või pingete tekkimist kahe või kolme põhitelje suunas.

6.4.1 Survepinged kiudude suhtes nurga all

Arvesse tuleb võtta survepingete vastastikune toime kahes või enamas suunas.

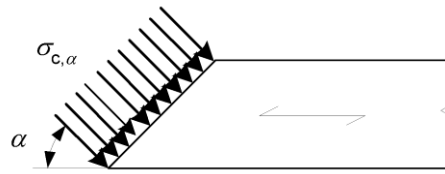
Kiudude suhtes nurga α all mõjuv survepinge (vt joonis 6.4-1), peab rahuldama järgmist tingimust:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

kus:

$\sigma_{c,\alpha,d}$ survepinge kiudude suhtes nurga α all;

$k_{c,90}$ tegur, mis arvestab ristikiudu pingete mõju (vaata surve ristikiudu).



Joonis 6.4-1 Survepinged kiudude suhtes nurga all

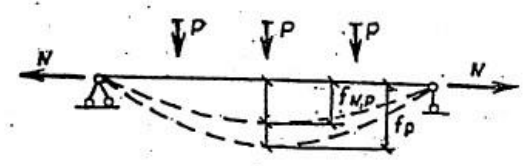
Viimasest seosest tulenevalt materjali tugevus kiudude suhtes nurga all leitakse seosega:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} .$$

6.4.2 Tõmme koos paindega (ekstsentriline tõmme)

Tõmmatud-painutatud elementidel mõjutab elemendi tugevust ja deformatsioone peale paindemomendi veel tõmbejõud. Tsentriselt asetatud tõmbejõud mõjutab elemendi deformatsioone vastupidises suunas tsentrilisele survele. Seega ekstsentrilise tõmbe korral tõmbejõust tekkiv moment vähendab paindemomendi suurust (joonis 6.4-2).

Kuna tõmbele on eriti tundlikud puiduvead (oksad jt nõrgestused), siis ekstsentriliselt tõmmatud varraste juures ei arvestata tõmbest tekkivat paindemomenti varda deformeerumisel.



Joonis 6.4-2

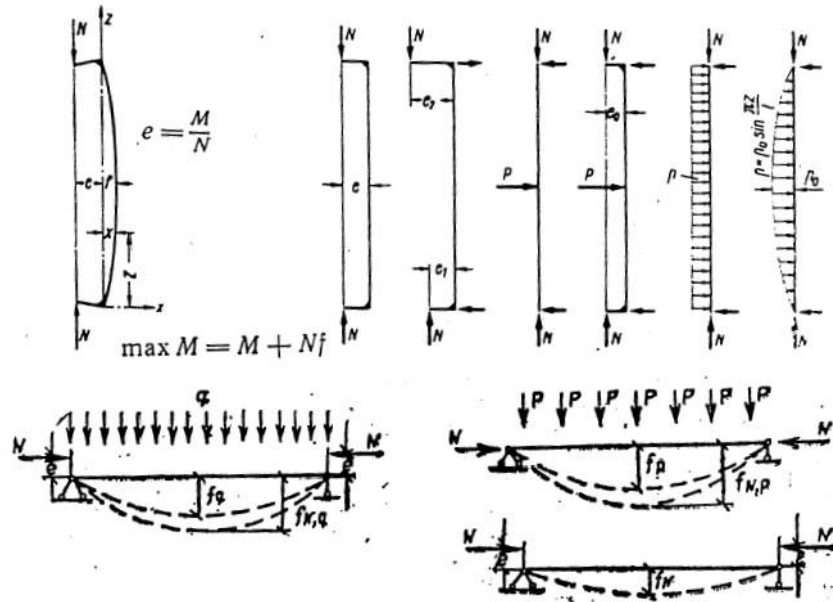
Tõmbel koos paindega tuleb rahuldada järgmisi tingimusi:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 ; \quad \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 ;$$

kus k_m - tegur, mis arvestab pingeolukorda vildakpindel ning ristkülikulise ristlõike korral 0,7, muudel ristlõigetel 1.

6.4.3 Surve koos paindega (ekstsentriline surve)

Suratud-painutatud elementidele mõjuvad üheaegselt nii survejõud kui ka paindemoment. Üheaegselt survele ja paindele, s.o. ekstsentrilisele survele töötavates varrastes võib painet tekitada normaaljõu ekstsentrilisus, põiksuunaline koormus, varda kõverus, ristlõike ebasümmeetriline nõrgestus jne (joonis 6.4-3)



Joonis 6.4-3

Joonisel 6.4-3 on kujutatud võimalikke lihttala koormusolukordi, kus talas esineb paine koos survega.

Element survel koos paindega puruneb momendil, kui pinged äärmistes kiududes ületavad survetugevuse. Olenevalt normaaljõu ja paindemomendi vahekorrast võib pingejaotus ristlõikes purunemisel olla kas ühe- või kahemärgiline.

Mõjugu vardale tsentriline normaaljõud N ja paindemoment M . Normaaljõu ekstsentrilisuseks on suhe $e=M/N$ olenemata sellest, mis on paindemomendi põhjustajaks. Paindemomendi toimel varras deformeerub, mistõttu tekib täiendav paindemoment Nx , kus x on varda elastse joone ordinaat. Seega summaarne maksimaalne paindemoment vardas on $\max M = M + Nf$, kus f on maksimaalne varda läbipaine. Läbipaine ei olene ainult paindemomendi absoluutväärtusest, vaid ka jaotusest varda pikkusel, mistõttu tuleb vaadelda erinevaid võimalikke koormusskeeme. Arvutuste lihtsustamiseks oletatakse, et varda elastne joon kujutab endast sinusoidi.

Normide kohaselt **suratud ja painutatud postide** korral tuleb rahuldada järgmisi tugevus tingimusi:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1; \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1.$$

Survele ja paindele töötavaid poste tuleb kontrollida püsivusele samuti nagu tsentrilise surve korral. Kui saledus $\lambda_{rel,z(y)} > 0,3$ tuleb püsivuskontrollil täita järgmisi tingimusi:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1; \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1;$$

kus $k_{c,z(y)}$ ja k_m omavad sama tähendust ja leitakse analoogiliselt tsentrilisel surve korral esitatud arvutusmeetodiga. Nendes valemities tuleb survet arvestavas liikmes püsivustegur $k_{c,z}$ või (y) võtta väikseim.

Kui $\lambda_{rel,z(y)} \leq 0,3$, siis kasutatakse ekstsentrilise survele tugevuse kontrollivalemeid.

6.5 Arvutus kasutuspiirseisundis

6.5.1 Deformatsioonide arvutamises

Arvutustega kasutuspiirseisundis kontrollitakse, et konstruktsioonide või selle elementide deformatsioonid, mis tulenevad koormuste mõjust (nagu telg- ja nihkejõud, paindemomendid ja sõlmede järeleandvus) ning niiskusest, oleksid sobivates piirides. Leitud deformatsioonid peavad arvestama katematerjalide, lagede, põrandate, vaheseinte võimalikku purunemist ning funktsionaalseid vajadusi ja kõikvõimalikke nõudeid välimusele.

Arvutused kasutuspiirseisundis normatiivsete koormuskombinatsioonidega tehakse kasutades elastsusmooduli, nihkemooduli keskväärtusi ning kinnituselemendi nihkemoodulit $E_{\text{mean}}, G_{\text{mean}}, K_{\text{ser}}$.

Kui konstruktsioonis on erinevate ajast sõltuvate omadustega elemente, siis tuleks kasutuspiirseisundis lõplike deformatsioonide arvutamisel võtta lõplikud keskväärtused elastsusmoodulil $E_{\text{mean,fin}}$, nihkemoodulil $G_{\text{mean,fin}}$ ja kinnituselemendi nihkemoodulil $K_{\text{ser,fin}}$ järgmistest valemitest:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})}, \quad G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})}, \quad K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1+k_{\text{def}})}$$

Koormuse poolt tekitatud paigutised arvutatakse nende mõjumisel kahest olukorrast:

- hetkelisest koormusest – s.o. olukorras, kus konstruktsioonile on rakendatud kogu koormus hetkeliselt (algelt ja lühiajaliselt) ja kus ei arvestata deformatsioone ajas. Seega on see lühiajaline koormamine, mille puhul ei teki deformatsioone ajas.

- pikaajalisest koormusest – mille puhul arvestatakse, et konstruktsioonis tekivad deformatsioonid nii koormusest kui ka puidu roomamise ja niiskuse koosmõjust. Siinjuures normid arvestavad ka vastavate koormuste mõjumise aega.

Konstruktsioonidele, mis sisaldavad sama roome käitumisega elemente, komponente ja liiteid, eeldusel, et koormuste ja vastavate deformatsioonide vahel on lineaarne seos, võib lõpliku deformatsiooni u_{fin} leida järgmiselt:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}_1} + u_{\text{fin,Q}_i}$$

kus:

$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{inst,G}} (1+k_{\text{def}})$ deformatsioon alalise koormuse G korral

$u_{\text{fin,Q}_1} = u_{\text{inst,Q}_1} (1+\psi_{2,1}k_{\text{def}})$ deformatsioon domineeriva muutuva koormuse Q_1 korral

$u_{\text{fin,Q}_i} = u_{\text{inst,Q}_i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{\text{def}})$ deformatsioon muude muutuvate koormuste Q_i ($i > 1$) korral

$u_{\text{inst,G}}, u_{\text{inst,Q}_1}, u_{\text{inst,Q}_i}$ on hetkeline(alg) deformatsioon koormustest G, Q_1, Q_i ;

$\psi_{2,1}, \psi_{2,i}$ on muutuvate koormuste kombinatsioonitegurite tõenäolised esindussuurused;

$\psi_{0,i}$ on muutuvate koormuste kombinatsioonitegurid;

k_{def} deformatsioonitegur, mis arvestab roomamise ja niiskuse koosmõjust tekkinud deformatsioone ajas. Tegur k_{def} saadakse normides esitatud vastavast tabelist.

Mõned materjali deformatsiooniteguri k_{def} väärtused:

Materjal	Kasutusklass		
	1	2	3
Monoliit- ja liimpuit	0,60	0,80	2,00
Vineer	0,80	1,00	2,50
Orienteeritud laastuga plaat (OSB)	1,50	2,25	–
Puitlaastplaat	2,25	3,00	–

Märkus: puidul, mis on paigaldatud küllastusniiskusega või sellele lähedase niiskusega ja mis tõenäoliselt kuivavad välja koormuse all, tuleb k_{def} väärtusi suurendada 1,0 võrra.

6.5.2 Talade piirläbipained

Koormuskombinatsioonidest tekkivad läbipainde komponendid on näidatud joonisel 6.5-1, kus tähised on määratletud järgmiselt:

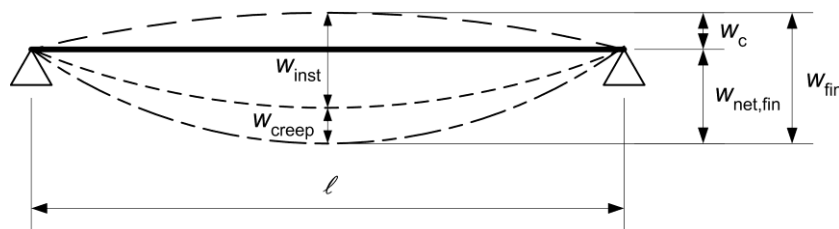
w_c eeltõus (kui on antud);

w_{inst} hetkeline läbipaine;

w_{creep} roomeläbipaine;

w_{fin} lõplik läbipaine;

$w_{net,fin}$ lõplik netoläbipaine.



Joonis 6.5-1 Läbipainde komponendid

Tugesid ühendavast sirgjoonest allapoole ulatuv neto(tegelik)läbipaine $w_{net,fin}$ leitakse valemiga:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$$

Märkus. Taladele sildeavaga l soovitatavad talade piirläbipainete väärtused on esitatud alljärgnevas tabelis ja olenevad vajalikust nõutud deformatsioonide tasemest. Informatsiooni rahvusliku valiku kohta võib leida rahvuslikust lisast.

Talade piirläbipainete näited standardi kohaselt

	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Tala kahel toel	$l/300 - l/500$	$l/250 - l/350$	$l/150 - l/300$
Konsooltalad	$l/150 - l/250$	$l/125 - l/175$	$l/75 - l/150$

Soovitatavad puitkonstruktsioonide piirläbivajumised Eestis on esitatud rahvuslikus lisa tabelis NA 7.2. kusjuures konsoolide suhtelised läbipained tuleb võtta kaks korda suuremad.

Tabel NA 7.2 –Soovitavad piirläbipainded.

Konstruksioon	$w_{inst}^{1)}$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}^{2)}$
Peakandjad	$l / 400$	$l / 300$	$l / 200$
Pärliinid ja teisejärgulised kandjad	-	$l / 200$	$l / 150$

1) puudutab põhiliselt pörandaid

2) puudutab eeltõusuga ning toepunktide vahel painutatud või murtud kujuga konstruktsioone.

Koormuse poolt tekitatud hetkeline paigutus arvutatakse tugevusõpetuse kohaselt, kusjuures kasutatakse jääkusarvude keskväärtust. Näiteks lihttala korral, mis on koormatud ühtlaselt jaotatud koormusega, leitakse hetkeline paigutus seosega

$$u_{inst} = \frac{5q_k l_{ef}^4}{384 E_{mean} J_{ef}}$$

6.5.3 Liidete järeleandvus

Ka liidete deformatsioone arvutatakse eeldusel, et koormuste ja vastavate deformatsioonide vahel on lineaarne seos. Lõplik deformatsioon u_{fin} leitakse analoogiliselt elemendi deformatsiooni arvutusega:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + u_{fin,Q_2}$$

Liite deformatsioon (järeleandvus) mõjuvast koormusest leitakse:

$$u = \frac{F_k}{K_{ser}}$$

F_k - liite koormus

K_{ser} - liite nihkemoodul ühe nihkepinna kohta, mis näitab nihkejõudu ühe mm kohta

Märkus: lõtk tuleb leitud deformatsiooni väärtusele juurde liita. Näiteks poltliite korral kuna poldi ava tehakse ühe mm võrra suurem poldi läbimõõdust

Kasutuskoormuse korral võetakse naagelliite kinnituselemendi nihkemoodul K_{ser} ühe kinnituselemendi ühe nihkepinna kohta järgneva tabeli kohaselt.

Kinnituselemendi tüüp	K_{ser}
Naaglid Poldid lõtkuga või ilma Kruvid Naelad (ettepuurimisega)	$\rho_m^{1,5} d / 23$
Naelad (ettepuurimisega)	$\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 30$
Klambrid	$\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 80$
Rõngastüüblid tüüp A Nihkeplaattüüblid tüüp B	$\rho_m d_c / 2$
Hammastüüblid: tüübid C1 kuni C9 tüübid C10 kuni C11	$1,5 \rho_m d_c / 4$ $\rho_m d_c / 2$

Kui kahe liidetava puidupõhise elemendi tiheduse keskväärtused $\rho_{m,1}$ ja $\rho_{m,2}$ on erinevad, siis ρ_m väärtuseks võetakse

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1}\rho_{m,2}}$$

Liite kinnituselemendi lõplik nihkemoodul (roomedeformatsioone arvestades) kasutuspiirseisundis leitakse järgmiselt

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + k_{def})}$$

Liite kinnituselemendi nihkemoodul kandepiirseisundis:

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$

Juhul, kui liide on moodustatud kahest puitelemendist, millel on sarnased ajast sõltuvad omadused, siis tuleks k_{def} väärtus võtta kahekordseks.

$$k_{def} = 2 \cdot k_{def,1}$$

Juhul, kui liide on moodustatud kahest puitelemendist, millel on erinevad ajast sõltuvad omadused, siis tuleks lõplikud deformatsioonid arvutada järgmise deformatsiooniteguriga k_{def} :

$$k_{def} = 2 \cdot \sqrt{k_{def,1} \cdot k_{def,2}}$$

Järeleandvate liidete deformatsiooni suuruseks nende kandevõime täielikul ärakasutamisel on eksperimentaalsel teel saadud järgmised suurused, millega arvutustes tuleks arvestada:

- lauptappides	1,5 mm
- naagelühendustes	2 mm
- ühendustes põiki kiudu	3 mm
- liimühendustes	0 mm

Piirkandeseisundis tehakse arvutusi ka vibratsioonidele, kusjuures nendes arvutustes kasutatakse samuti jäikusarvude keskväärtusi. Arvutustega vibratsioonidele tuleb tagada, et sageli korduvad koormused ei tohi põhjustada vibratsioone, mis halvendaksid konstruktsiooni talitlust või põhjustaksid kasutajatele ebamugavusi. Käesolevas kursuses vibratsiooni arvutusi ei käsitleta.

7. PUITKONSTRUKTSIOONIDE LIITED

7.1 Nõuded ja iseloomustus

Ehitustel kasutatakse metsamaterjali prusside ja laudade kujul. Täisristlõike maksimaalsed mõõted võiksid olla 20 ... 25 cm ja maksimaalne pikkus 6,0 m (reaalselt 5,0 ... 5,5 m).

Puitmaterjali piiratud mõõtmete tõttu, samuti materjali ökonoomsemaks kasutamiseks, moodustatakse konstruktsioonelemendid tihti mitmest puitelemendist, mis ühendatakse omavahel kas piki- (jätkamine) või põikisuunas (servliide). Varraskonstruktsioonides moodustuvad erisuunaliste varraste ühendamisel nn. sõlmliited.

Töötamise iseloomu järgi võivad liited olla jäigad ja järeleandvad.

Jäiku liiteid iseloomustab habras purunemine, mis on omane puidu töötamisel tõmbel ja nihkel. Järeleandvate liidete suhteliselt suured deformatsioonid esinevad puidu muljumisel. Töö ebatäpsusest tingituna võib liide olla ebatihed (näiteks tühikäik tappühenduses).

Kaasaegsetes puitkonstruktsioonides serviti liiteid s.o ühendamisel põiksuunas ja jätkliited (ühendamine pikisuunas) ning sõmliiteid teostatakse suures osas puit-, metall- ja plastmass-kinnitite abil.

Erandi moodustavad survejätkud (elemendid ots-otsaga) ja raidtapid, kus jõud kantakse vahetult puit-puidule.

Eristatakse järgmisi liiteid põikisuunas (joonis 7.1-1):

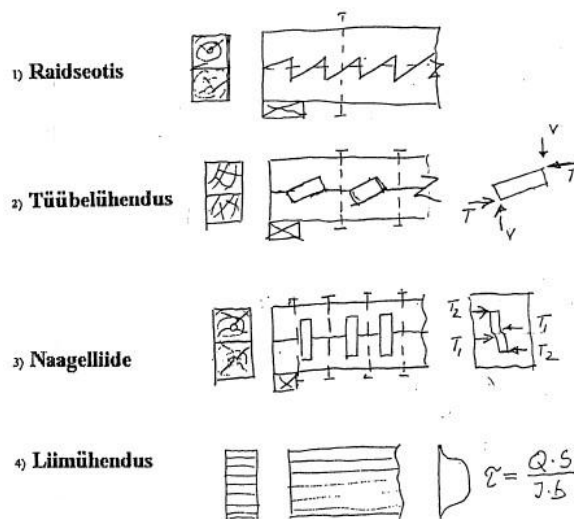
1) *Raidseotis*, mis on tappliide. Liites kasutatakse konstruktiivseid polte, mille väiksem läbimõõt võiks olla $d=10$ mm. Kinnituselement töötab nihkele, laialisuruvat jõudu vastu ei võta ning on töömahukas. Ühenduse tüüp on vananenud ja teda võidakse kasutada renoveerimisel;

2) *Tüübelliide* Tüübleid kasutatakse nihkejõudude ülekandmiseks ühelt elemendilt teisele ja ühendatavate elementide lahtirebimise takistamiseks kasutatakse tõmbele töötavaid polte. Lahendus on töömahukas ja vananenud ning seetõttu kasutatakse harva;

3) *Naagelliide*. Naagel on põhiliselt paindele töötav sale silindriline varras või plaat, mis läbib ühendatavaid elemente ja takistab nende omavahelist nihkumist.

Kasutatakse nii plaat- kui ümarnaagleid. Kuna plaatnaaglid laialisuruvat jõudu ei realiseeri, siis on vajalik täiendavaid kinnituselemente poltide näol. Laialdaselt kasutatakse ümarnaagleid sõrestik- ja raamkonstruktsioonides ning konstruktsioonelementide omavaheliseks ühendamiseks.

4) *Liimliide* - töötab põhiliselt nihkele. Kasutatakse tehaselisel tootmisel, mis omab vastavat sisseseadet. Võimalik on ka käsitööstuslikul viisil



Joonis 7.1-1

Puitkonstruktsioonide kandevõime ja deformatsiivsus oleneb suurel määral elementide ühendustest.

Paljude paralleelselt töötavate kinnituselementidega deformeeruv liide (nt. naelliide) on töökindlam kui jäik. Nii võib paralleelselt töötavates suhteliselt jäikades ühendustes (nt. tappliites) üks kõige tihedam lüli puruneda enne, kui teised tööle hakkavad. Paralleelselt töötavad järeleandvad kinnituselemendid hakkavad ka ebavõrdsete paigaldamistiheduste puhul liide deformeerumisel enam-vähem võrdselt tööle.

Liidetes ei tohi erinevate deformatsiooni omadustega kinnititeid kasutada. Lõikele töötavates liidetes on nihkepingete kontsentratsioon seda suurem, mida jäigemad on ühendatavad elemendid ja kinnituselemendid.

Puitkonstruktsioonide elementide liited jagatakse jõudude ülekandmise järgi järgmiselt:

- 1) liited, kus jõud kantakse üle vahetult puitelementide kaudu (nt. toesõlmed, tapid);
- 2) mehaanilised liited;
- 3) liimliited.

Mehaaniliste ühenduste hulka kuuluvad naaglid, poldid, naelad, kruvid, erinevad tüüblid, klambrid, naagelplaadid, metallist ogaplaadid.

Metallist kinnituselementide kasutamine võimaldab prussidest ja laudadest kandekonstruktsioonide valmistamist ja lihtsustab liimpuidust elementide ühendamist ehitusplatsil.

Juhiseid liidete arvutamiseks:

1. Liitele mõjuv arvutuslik sisejõud ei või ületada ühenduse arvutuslikku kandevõimet.
2. Ühenduse kandevõime määratakse ühendatavate elementide muljumis- ja nihketingimustest. Arvestada tuleb mõjuvate jõudude ja puidu kiudude vahelist nurka. Peale liimühenduse ei ole ükski teine liide jäik ja seetõttu tuleb puitkonstruktsioonide arvutamisel arvestada ühenduse järelandvust.

Vältimaks ühendatavate elementide järkjärgulist habrast purunemist, tuleb kasutada järeleandvaid kinnituselemente, mis töötavad peamiselt muljumisele (tekib ühtlasem jõudude jaotus)

Tõmmatud elementide jätkamine reeglina on seotud ühendatavate elementide nõrgestustega. Nõrgestuste tõttu tekivad pingete kontsentratsioonid. Tõmmatud elementide jätk- ja sõlmliidetes tekitavad suurimat ohtu nihke- ja lõikepinged ja seda eriti siis, kui nad liituvad materjali kuivamisest tekkivate sisepingetega.

Lõhenemine ja purunemine piki- ja põikikiudu on puidu hapra purunemise liigid. Selleks, et vähendada järk-järgulist osade kaupa või habrast purunemist tõmmatud elementides on vajalik puit vabastada looduslikust hibrast purunemisest enam sitkelt töötava liitega, milleks on puidu töötamine muljumisele.

Liidete projekteerimisel tuleb arvestada järgnevaga:

- tõmbejätkudes tekivad kohalikud nõrgestused, mis on arvutustega mittehaaratavad ohtlikud pingete kontsentratsiooni kohad;
- jätkudes ja sõlmliidetes tekivad lõhestumist tekitavad nihkepinged, millega liituvad kuivamispraod;
- purunemine piki- ja põikikiudu nihkel on habras purunemine, mida tuleks vältida.

Surutud elementide liidete kandevõime tagamiseks on vajalik liited teha selliselt, et oleks välditud habras purunemine põiki kiudu.

7.2 Tappliide

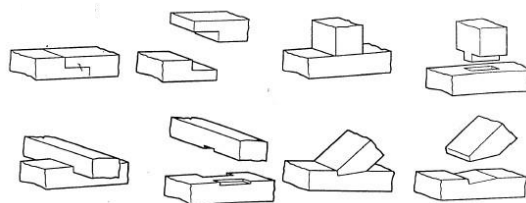
Tappliide on üks vanimaid liiteid kahe puitdetaili vahel. Põhiidee on selles, et ühe detaili ots (tapikeel) pannakse teise detaili tehtud avasse (tapiava). Sõlme ühendamisel kohapeal võib kasutada liimi, ora või kiile. Maksimaalse tugevuse saavutamiseks ei tohi tapi ava olla suurem kui kolmandik konstruktsiooni laiusest.

Vanimad teadaolevad tappliited olid näiteks Egiptuse püramiidide juurest leitud Khufu laeva (2500 e ma) plankude ühendustes. Lisaks on tappühendusi leitud veel Kesk-Idast, Euroopast ja Aasiast. Traditsioonilises hiina arhitektuuris oli kasutatud tappe talade, nurksulgude, katuseraamide ja diagonaalide juures. Peidetud tapid olid tehtud ilma liimi ega muid kinnitusvahendeid kasutamata, võimaldades puidul niiskuse suurenemisel paisuda. Arheoloogilised tõendid Hiinast täheldavad, et Neoliitikumi lõpuks oli tappühendus üks osa hiina ehituskunstist. Tappe on palju erinevaid, mõned on väga tugevad, teiste ülesanne on peita ühendus konstruktsiooni. Õige tapi valik oleneb konstruktsiooni iseloomust, visuaalsest ilust ja teostamise lihtsusest.

Tappliiteks nimetatakse sellist liidet, kus survele töötava elemendi sisejõud antakse liituvale elemendile vahetult ilma lisa- või kinnituselementideta.

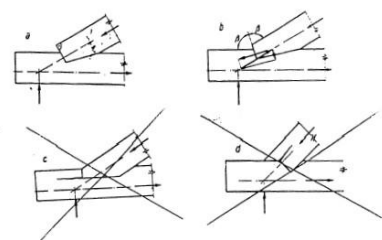
Tappliidete abil saab elemente ühendada nii piki- kui ka ristikiudu ning nurga all. (joonis 7.2-1)

Prussidest ja ümarpuidust varrassüsteemide ja tugisitke sõlmede moodustamisel kasutatakse tappliidetest ühe ja kahe hambaga lauptappe, kolmiklauptappe, tugipadjaga lauptappe jmt.



Joonis 7.2-1

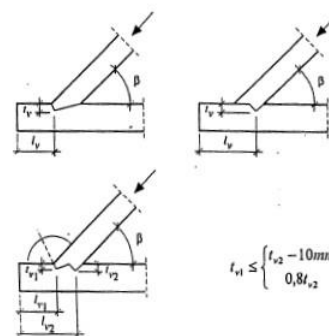
Lauptapi põhitüübiks on tapp, mille suubuva elemendi muljumispind on tsentreeritud ning teljega risti (joonis 7.2-2a). Kasutatakse ka nurgapoolitaja sihis lõigatud muljumispindadega tappe (joonis 7.2-2b). Sellel juhul on sisselõikega elemendi kiudude muljumise suund küll soodsam, kuid nihkele töötamise mõttes on olukord halvem (surve nihkepinnal on väiksem).



Täielikult tuleb hoiduda lauptapi lahendustest, mille puhul ohtlikud praod on kas sisselõikega või suubuvas elemendis (joonis 7.2-2 c ja d).

Joonis 7.2-2

Vaatleme puidust talasõrestike toesõlmi tappliitel. Kasutatakse kas ühe või kahe hambaga lauptappe (joonis 7.2-3)



Joonis 7.2-3

Lauptapp võib kaotada kandevõime järgmistel juhtudel:

1. muljumisel toepinnast;
2. nihkele suubuval elemendil;
3. tapliga nõrgestatud vöö purunemisel

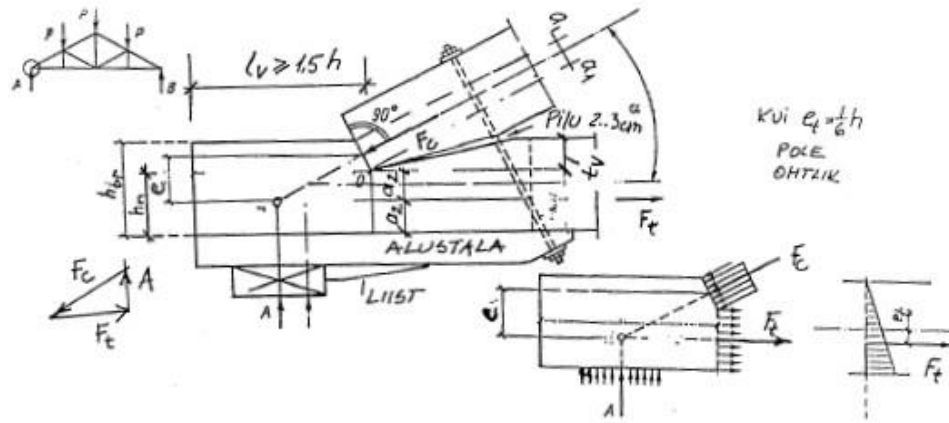
Lauptapi kandevõime määratakse arvutustega muljumisele ja nihkele.

Ühe hambaga lauptapi konstruktsioonist

Joonisel 7.2-4 on esitatud puitsõrestiku toesõlme ühe hambaga tappliide. Suubuv element tsentreeritakse reeglina raskuskeskme joone järgi, kusjuures muljumispinnad tuleb tsentreerida. Siinkohal kui on tegemist väga väikeste jõududega, siis suubuv element võib olla ekstsentriliselt paigaldatud. Ümarpuidust konstruktsioonis on ekstsentrilisuse mõju tühine ja tsentreerimine toimub nõrgestamata ristlõike järgi.

Tapi muljumispind määratakse sisselõikesügavusest t_v , mis peaks vastama järgmistele nõuetele:

- a) minimaalne sügavus 2 cm prussidest ja 3cm ümarpuidust konstruktsioonides;
- b) sisselõike maksimaalne sügavus võib olla $\frac{1}{4} h$ vahepealsetes ja $\frac{1}{3}h$ toesõlmedes, kus h on varda ristlõike kõrgus sisselõike suunas;
- c) tapi nihkepinnal pikkus l_v peab olema vähemalt $1,5h$.



Joonis 7.2-4

Survepingete olemasolu kindlustamiseks nihkepinnal soovitatakse suubuva elemendi ja sisselõike mittetöötava tahu vahele jätta kiilukujuline pilu 2-3 cm.

Arvutusest

Ühe hambaga lauptapi arvutamisel tuleb kontrollida muljumis-, nihke- ja tõmbepingeid sisselõikega varda nõrgestatud ristlõikes:

a) arvutus muljumisele
$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

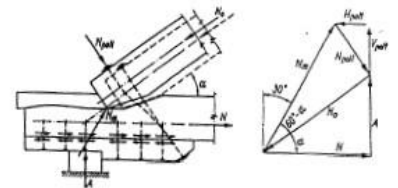
kus
$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_c \cos \alpha}{b_{ef} t_v}$$

b) arvutus lõikele
$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

kus
$$\tau_d = \frac{F_v}{b_{ef} l_v}$$
 on keskmine nihkepinge l_v ulatuses

d) alumise vöö nõrgestatud ristlõike kontroll

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad \text{kus} \quad \sigma_{t,0,d} = \frac{F_t}{(h - t_v) b_{ef}}$$



Joonis 7.2-5

Siinjuures tõmmatud elemendi tsentreerimine nõrgestatud ristlõikes toob kaasa nõrgestamata ristlõikes ekstsentrilise tõmbe.

Näiteks maksimaalse sisselõike korral toel ($t_v=1/3h$) kujuneb ekstsentrilisuseks $e_t=1/6h$, mis on üldjuhul hädaohutu nõrgestatud ristlõike jaoks. Lauptapi kõige ohtlikumaks osaks on nihkepind. Selleks, et konstruktsioon ei variseks, on otstarbekas dimensioonida tapi kinnituspoldid selliselt, et nad oleksid võimelised vastu võtma nihkejõudu pärast tapi purunemist nihkele. Katsetega on kindlaks tehtud, et nurga korral $\alpha \geq 55 \dots 60^\circ$ ei toimu tappliite purunemist avariisideme puudumisel, kuna suubuva varda ots muljub endale uue pesa joonis 7.2-5.

Toeklots tuleb kinnitada alumise vöö külge sellise arvu naeltega, et need oleksid võimelised vastu võtma avariikinnituselemendilt üleantava horisontaaljõu.

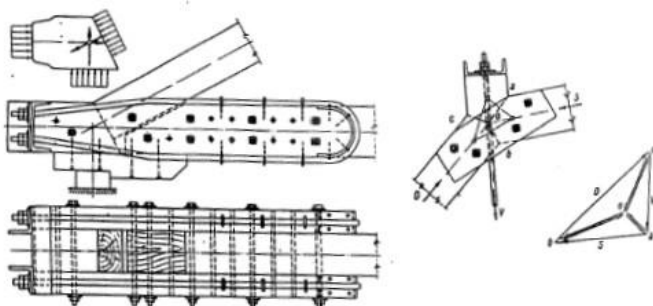
Suubuva elemendi suure kaldenurga puhul võib ühe hambaga lauptapi muljumistugevus osutada mitteküllaldaseks.

Kahe hambaga tapis (joonis 7.2-3) on summaarne muljumispind sama sisselõike sügavuse korral märgatavalt suurem. Samuti on kindlaks tehtud, et kahe hambaga lauptapi nihketugevus on ca 15% suurem, kui ühe hambaga tapil, seda tänu nihkepingete ühtlasemale jaotusele.

Sisselõiked peaksid vastama järgmistele nõuetele :
$$t_{v1} \leq \begin{cases} t_{v2} - 10mm \\ 0,8t_{v2} \end{cases}$$

Suubuva elemendi suurte sisejõudude korral võib nii ühe kui ka kahe hambaga lauptapi kandevõime osutada mitteküllaldaseks. Sel korral võib sisselõike sügavust suurendada kuni varda katkestamiseni. Tõmbevarda eraldatud ots moodustab tugipadja, mis ühendatakse terasest tõmbeelementidega ja puitlappide abil tõmbevarda otsa külge (joonis 7.2-6).

Kolmiklauptapp (joonis 7.2-7) moodustatakse kolme surutud elemendi otste kokkupuutekohas. Sellise tappliite korral on jõudude jaotus küllalt soodne, eriti nurgapoolitajate suunaliste kokkupuutepindade korral. Tapi tegemine on väga täpne töö.



Kolmiklauptapi arvutamisel tuleb kontrollida muljumispingeid elementide kokkupuutepindadel.

Selliste tappide puhul langeb ära hapra purunemise võimalus nihkele. Ühenduse tegemine on küll tülikas, kuid suure töökindluse tõttu on kasutatav vastutusrikaste

toesõlmede tegemisel.

Joonis 7.2-6

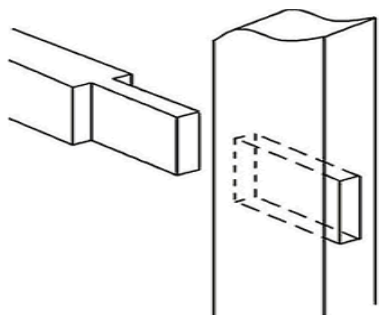
Joonis 7.2-7

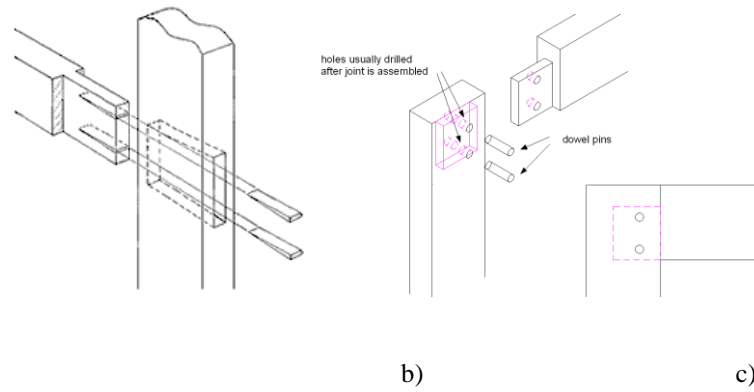
Tapi arvutamisel kontrollitakse muljumispingeid, ühenduslape tõmbevöö otsaga ühendatavate poltide kandevõimet, terasest rangide tõmbetugevust ja tugipadja otsaribide paindetugevust.

7.2.1 Elementide ühendamiseks kasutatavaid tappliiteid

Posti- ja talavaheline ühendus

- Tavaline tappliide* (joonis 7.2-8a). Tapiava on läbi elemendi. Sõlme on võimalik tugevdada lisades tüübleid või kiilusid.
- Kiiludega tugevdatud tapp* (joonis 7.2-8b). Tapikeelele tehakse saega sisse sälgud umbes kahe kolmandiku peale. Tapipesa välimine auk tehakse pikem kui sisemine, et pärast elementide kokku panemist saaks tapikeelde kiilud lüüa ja sellega ühendus lukustada.
- Peittapp* (joonis 7.2-8c). Tapiava ei lähe läbi elemendi, vaid on väljast poolt kinni. Peittappi saab tugevdada samuti tüüblite või kiiludega.

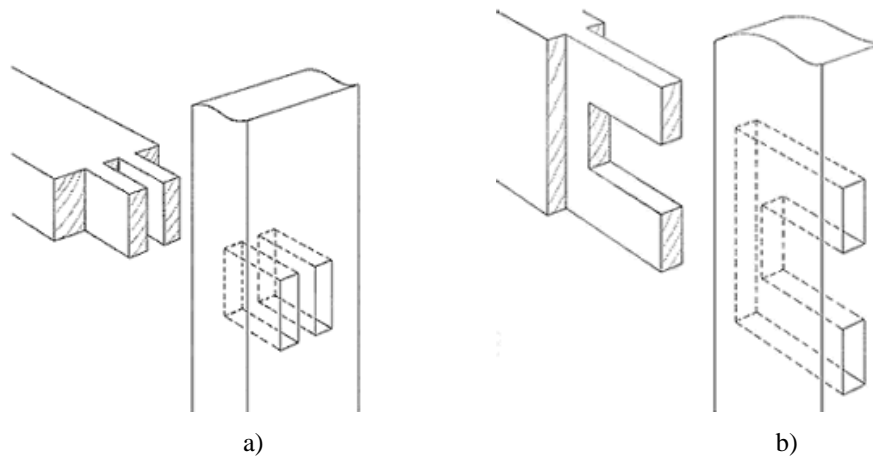




Joonis 7.2-8

d) *Topelttappi* (joonis 7.2-9a) kasutatakse laiemate elementide ühendamisel, kus topelttapikeel annab tugevama ühenduse kui tavaline tapp. Iga tapikeel ja keelte vahe peab olema täpselt samade mõõtudega kui tapiavad ja nende vahed. Topelttappi saab tugevdada kiilude või tüüblitega.

e) *Kaksiktapp* (Joonis 7.2-9b) Kasutatakse kõrgete ja kitsaste ristlõigete korral.



Joonis 7.2-9

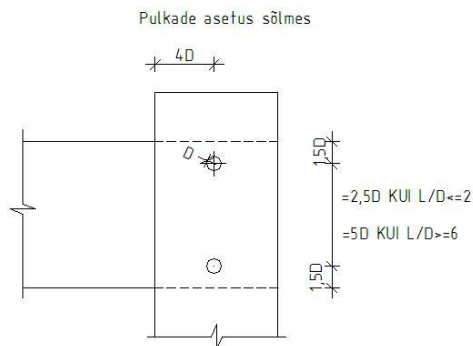
Posti ja tala vaheline tappliide

See on puitraammajade üks klassikalisi põhisõlmi (joonis 7.2-10). Peamised ülesanded on siduda raame omavahel ja tagada raamidevaheline jäikus.

Vahelae talal on kaks põhilist funktsiooni. Esiteks käitub ta välisjõudude toimel tõmbina, kus tõmbele töötav element on mõistlik teha ühe elemendina. Teiseks on tala põhilise põrandakoormuse kandja. Sellisel juhul tuleb tala kontrollida paindele ja läbivajumisele vertikaalsest koormusest. Sageli määrab tala ristlõikemõõtmed hoopis liidetele esitatud nõuded. Praktilistel eesmärkidel loetakse maksimaalseks lihttala ohutuks sildeks 5 meetrit.

Projekteerides säästlikke puitraammaju, tuleb silmas pidada kahte põhireeglit:

1. Hoolimata tala pikkusest, peaksid ristlõikemõõtmed jääma piiridesse 200x250(300) mm.



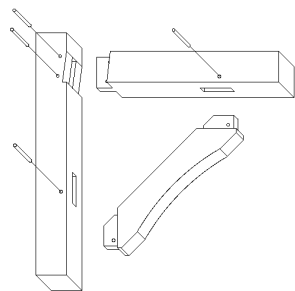
Joonis 7.2-10

mõnede sõlmede puhul otsustavaks, kui tapi keel on kas ebatäpselt valmistatud või kontaktpinnad on ebamäärased.

Kui sõlm ei ole koormatud, võib kasutada kahte 2,5 cm naaglit, mis on 2 diameetrit lähimast äärest. Kahe naagli vahe peaks olema 4 diameetrit tsentrist tsentrisse. Koormatud sõlme puhul peaks naaglite kaugus lähimast äärest olema tammepuidu puhul 4 diameetrit, kuuse ja männi puhul 7 diameetrit.

Posti ja tala õlg-tappliide

Õlaga tapikeele (joonis 7.2-11) kasutamisel suureneb vertikaalne lõike-, surve- ja väändekandevõime.



Kui klassikalisel tapil lõikepind võrdub tapikeele ristlõikega, siis õlgtappliitel võib selleks lugeda kogu tapi ristlõikepinna, mis on ca 3 korda suurem.

Kuna tapikeel ei kannu siin sõlme vertikaalset koormust, võib selle teha kitsama, mis jätab posti tapiavale paksemad seinad.

See on oluline sellisel juhul, kui seinapaneelide kinnitus või mingi muu element ühendatakse posti sõlmega sama kõrguselt.

Joonis 7.2-11 Mida suurem on kontaktpind posti ja tala vahel, seda suurem on sõlme väändekandevõime. Seega on selline ühendusviis paljuski kindlam kui klassikaline tapp.

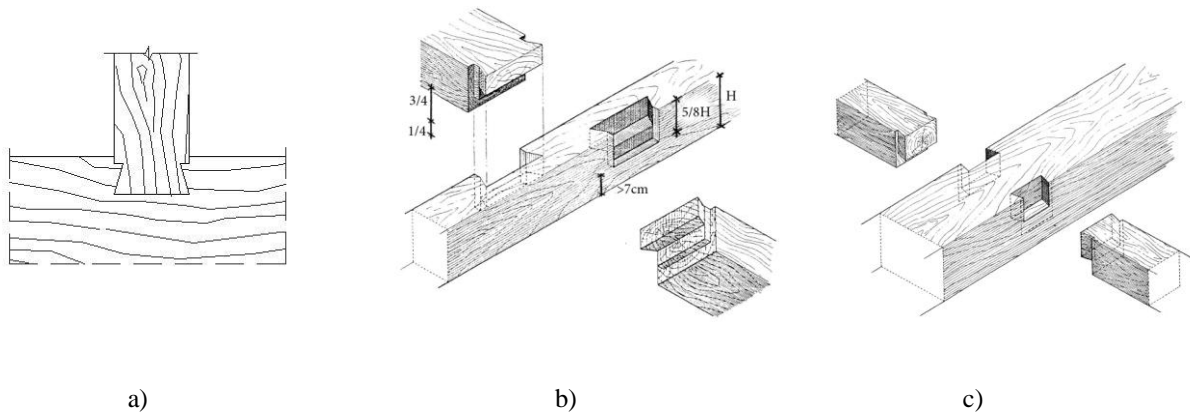
Kalasabatapid

a) *Tavaline kalasabatapp* (joonis 7.2-12a) See tapiliik on tänapäeval kõige laiemalt levinud tapiliik. Lihtne ühendusviis, mis tagab kindla ühenduse ega vaja ühenduspulka. Tavalist kalasabatappi kasutatakse, kui ühendatava elemendi ristlõige on 18x18 cm või vähem. Õige tapikeele pikkus peaks olema 5-6 cm. Suurima tugevuse saavutamiseks peaks tapikeele küljed olema lõigatud viltu suhtega 3:1. Tapikeel tehakse veidi väiksem kui tapiauk, et oleks lihtsam paigaldada ja saaks peale paigaldamist mõlemale poole kiilud vahele lüüa. Kiilud on tiheda ja kindla ühenduse tagamiseks.

b) *Peidetud kalasabatapp* (joonis 7.2-12b) on lihtne ühendus, kus terve element süvistatakse ühendatavasse elementi 1-2 cm. Üldiselt täidab süvistamine peamiselt visuaalset eesmärki. Selle valmistamine nõuab suuremat hoolt ja täpsust kui tavalisel tapil. Ebatäpsuse korral tekivad tapi vahele

praod, mis aja jooksul puidu kuivades ainult suurenevad. Optimaalne on valmistada tapikeel nii, et selle alumine ots läheb vastu ühendatavat elementi enne, kui tapikeel puutub vastu tapiava seinu. Nagu kõikide kalasabatappide puhul, tuleb ka siin kasutada kiilusid kinnituse kindlaks fikseerimiseks.

c) *Õlaga kalasabatappi* (joonis 7.2-12c) kasutatakse juhul, kui ühendatavad elemendid on väga koormatud või suurte koondatud koormuste korral. Õlg jagab koormuspinnad nii alla- kui ülespoole elemendi neutraaltelge. See võimaldab tapikeelil võtta vastu maksimaalselt horisontaalseid pingeid. Õlaga kalasabatapi valmistamisel tuleb silmas pidada järgmisi konstruktiivseid reegleid: õla kõrgus ei tohiks olla väiksem kui $\frac{3}{4}$ ühendatava elemendi kõrgusest. Tapiaugu õla vastuse kõrgus peaks olema vähemalt $\frac{5}{8}$ elemendi kõrgusest ja vähemalt 7 cm alumisest küljest.



Joonis 7.2-12

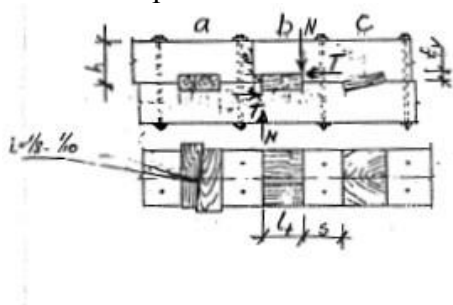
7.3 Tüübelliited

Tüübelliited kuuluvad suhteliselt jäikade ühenduste hulka, mistõttu mitme tüübi rahuldav paralleelne töötamine on tagatud väga täpse töö puhul.

Tüübleid kasutatakse nihkejõudude ülekandmiseks ühelt elemendilt teisele. Tüübelühendust iseloomustab nihkejõudude ekstsentrilisus ja ühendatavate elementide lahtirebimine selle mõjul. Seetõttu tuleb tüübelliides kasutada tõmbele töötavaid polte.

Tänapäeval kasutatakse tüübelliiteid piiratud ulatuses: prismalisi liitalades ja mitmesuguseid metalltüübleid tõmbejätkudes ja laudsõrestike sõlmedes.

Prismaliste puittüüblitena kasutatakse a) põik-, b) piki- ja c) kaldtüübleid (joonis 7.3-1).



$$N_{polt} = T \frac{e}{l_t}$$

$$s \geq l_t$$

$$2e_m < t_v < \frac{h}{5}$$

$$3e_m < t_v < \frac{d}{4}$$

$$\frac{l_t}{t_v} \geq 5 \text{ (2,5 piltu)}$$

Prismaliste puittüüblitega ühendatavad elemendid asetatakse tihedalt üksteise vastu või jäetakse nende vahele pilu.

Põiktüüblid valmistatakse reeglina kõvast lehtpuidust, kusjuures iga tüübel koosneb kahest kiilukujulisest osast. Kiilu kalle valitakse $\frac{1}{8} \dots \frac{1}{10}$.

Joonis 7.3-1

Põiktüüblid annavad suhteliselt järelendaava ühenduse, mida saab vajaduse korral järel pingutada.

Pikitüüblid valmistatakse tavaliselt konstruktsiooniga samast materjalist, harvem kõvast lehtpuidust. Ühendus on jäik, mistõttu võib esineda tüüblite või ühendatavate elementide järk-järguline habras purunemine nihkele.

Kaldtüüblite puhul on ühendatavate elementide nihkepindade pikkused suuremad kui pikitüüblite puhul.

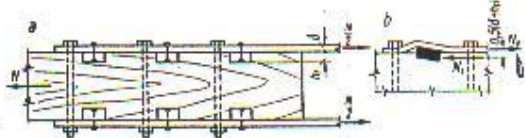
Prismalisele puittüüblile mõjuvad nihkejõud moodustavad jõupaari momendiga $T \times e$, mida tasakaalustavad külgpindadel mõjuvad muljumisjõud. Arvutuste lihtsustamiseks oletatakse, et resultantjõud tüübli külgpinnal mõjub tüübli otsajoonel. Resultantjõud on ühtlasi ka poldi tõmbejõuks (vt joonis 7.3-1)

Tüübelühendustega talade tugevusarvutusel kasutatakse tappliite arvutuseeskirju.

Prismalise puittüübelühenduse konstrueerimisel tuleb silmas pidada järgmisi nõudeid:

$$S \geq l_t \quad 2cm < t_v < \frac{h}{5}$$

Prismalisi terastüübleid kasutatakse prussidest elementide tõmbejätkudes koos terasest tõmbelappidega (joonis 7.3-2a). Ühendus on suure jäikusega, kuna siin iga tüübli kohta tuleb üks puidu muljumispind (puittüüblite puhul aga neli). Selletõttu pole jõudude jaotuse ühtlustamine puidu plastilisuse tõttu kaugeltki täielik ja üks nihkepind võib puruneda enne teise töölehakkamist.



Joonis 7.3-2

mittetöötava pinna poole, on vajalik selleks, et vältida jätkulappide painet nihkejõudude ekstsentrilisuse mõjul (7.3-2b). Poldi tõmbejõud määratakse jõudude ekstsentrilisuse mõjul tekkiva paindemomendi järgi

$$N = T \frac{h_t + \delta}{2s}$$

Puidu töötamine nihkele sõltub suurel määral poldide poolt tekitatud survest. Seetõttu tuleb poldid asetada võimalikult tüüblite lähedale ning kasutada ainult

kuiva puitu (niiske puidu kuivamisel surve poldilt

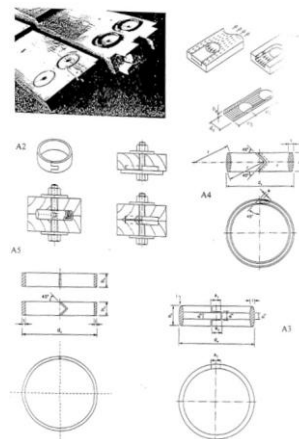
väheneb). Poldide asetuse otse tüübli taha, muljumisele

Rõngas-, ketas- ja hammastüüblid

Kasutusala on laudsõrestike sõlmed ja tõmbevarraste jätkud. Ühenduse tegemine nõuab väga suurt täpsust ja ühenduse kvaliteedi kontrolli on väga raske teostada, praktiliselt võimatu. Rahuldav ühendus saadakse valmistamisel tehasetingimustes ning ühendatavad elemendid peavad olema suhteliselt kuivad ($w < 15\%$).

Joonis 7.3-3

a) Rõngastüüblid (EN 912 A-tüüpi) valmistatakse õhukesest ribaterasest $t = 4 \dots 11$ mm, $h = 18 \dots 50$ mm, $d = 60 \dots 260$ mm. (joonis 7.3-3)



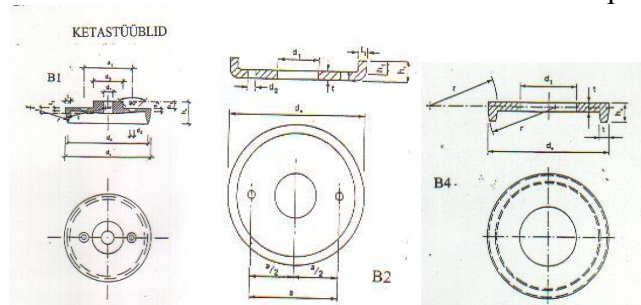
Ühendatavatesse elementidesse freesitakse pesad, mille sügavus on pool rõnga laiust. Tüübel asetatakse pesa selliselt, et pilu asetseks diameetril, mis on risti mõjuva jõu suunaga. Ühendatavad elemendid tõmmatakse kokku poldiga, mis läbib rõnga tsentri.

Puit töötab ühenduses muljumisele ja nihkele. Rõngas olev pilu tagab jõudude jagunemise rõnga südamikule ja ümbritsevale puidule. Kui tüübli kaugus elemendi otsast või teisest tüüblist on küllaldane, osutub purunemisel määravaks tüübli südamiku nihketugevus.

Survele töötava ühenduse kandevõime on mõnevõrra suurem kui tõmbele töötaval ühendusel, kuna nihkepingete jaotus on ühtlasem.

Kui koormused mõjuvad ühenduses puidu kiudude suunas, arvutatakse ühendus muljumisele ja nihkele nagu tappliite korral.

Ketastüüblid - võivad olla valmistatud kõvast puidust, betoonist, plastmassist jne.

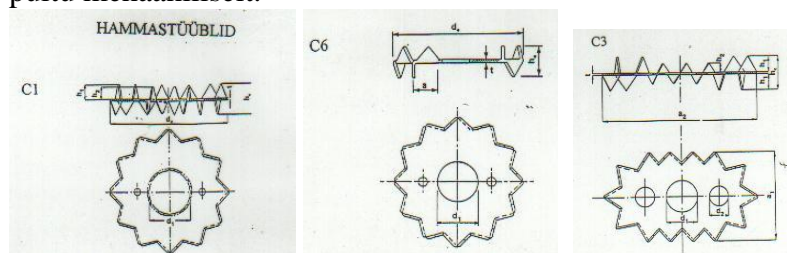


Joonis 7.3-4

Laialdasemat kasutamist puitkonstruktsioonide ühendussõlmedes leiavad õhukesest lehtterasest valmistatavad ketastüüblid (EN 912 B-tüüpi; vt 7.3-4). Olenevalt tüübist valmistatakse nad paksusega $t = 5 - 10$ mm, $d = 65 - 190$ mm ja kõrgusega $h = 14 - 34$ mm.

Rõngas- ja ketastüübli kandevõime leidmiseks esitatakse standardis EVS-EN 1995-1-1 arvutusmetoodika. Kandevõime sõltub tüübli diameetrist, süvistussügavusest ning rea modifikatsiooni teguritest, mis omakorda olenevad tüübli geomeetristest mõõtmetest, koormuse mõjumisest, puidu normtihedusest ja liidetavatest materjalidest.

Hammastüüblid (EN 912 C-tüüpi; vt 7.3-5). Et vältida suurt täpsust nõudvate tüüblipesade valmistamist ja võimaldada ühenduste tegemist ehitusplatsi tingimustes, kasutatakse hammastüübleid, mis surutakse puitu mehaaniliselt.



Joonis 7.3-5

Olenevalt tüübist valmistatakse nad paksusega $t = 0,9 - 1,8$ mm, $d = 50 - 165$ mm ja kõrgusega $h = 6,5 - 33$ mm. Hammastüüblid valmistatakse ka riskülikulise kujuga maksimaalsete mõõtmetega 73×130 mm. Hamba kõrgus võib olla $5,6 - 15,6$ mm

Hammastüübelühendus on järeleandvam kui teised tüübelliited. Katsed on näidanud, et ühenduse deformatsioonid ei ole suured. Ühenduse kandevõime põiki kiudu on lähedane kandevõimele piki kiudu.

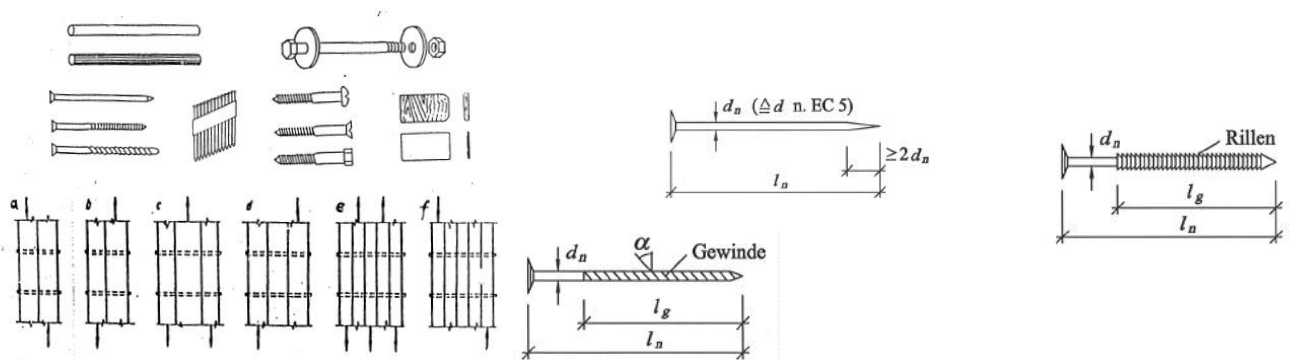
Hammastüüblite kandevõime arvutamine on analoogiline ketas- ja hammastüüblite kandevõime leidmisega.

Hammastüübli puuduseks on spetsiaalterasest keerulise kujuga tüüblite valmistamise ja liite koostamise tülikus, ühenduse kandevõime langus puidu kuivamisel ja paigaldatud tüübli kontrollimise tülikus ning spetsiaalse surveadme vajalikkus ühenduse tegemisel.

7.4 Naagelliited

Naaglikks nimetatakse ümarvarrast või plaati, mis läbib ühendatavate elementide kokkupuutepinna takistades nende omavahelist nihkumist ja seejuures töötades peasjalikult paindele ja lõikele.

Naaglid võivad olla nii silindrilise kui ka plaadikujulised joonis 7.4-1.



Joonis 7.4-1

Silindriliste naaglite hulka kuuluvad ümarterasest valmistatud naaglid ja poldid ($\varnothing 10 \dots 24$ mm), naelad ($d=3\dots 8$ mm), tammenaaglid ($\varnothing 12\dots 30$ mm), kruvid ($\varnothing 3\dots 10$ mm), võtmega keeratavad puidukruvid ($\varnothing 10\dots 24$ mm).

Plaatnaaglid valmistatakse kas tamme- või immutatud kasepuidust ($t=12\dots 16$ mm) ja terasest.

Naagelihenduste peamiseks kasutusala on laudade ja prusside tõmbejätkud, sõrestike sõlmede liited, liittalade valmistamine jne.

Ühe naagli kandevõime on suhteliselt väike, mistõttu ühendus koosneb tavaliselt suurest arvust naaglitest. Ühenduse kandevõime kasvab naaglite arvuga olenemata ühenduse pikkusest.

Tänu piirulukorras esinevatele suhteliselt suurtele deformatsioonidele loetakse jõudude jaotus nende vahel ühtlaseks. Liite suure pinna ja ühendatavate elementide vähesel nõrgestusel tõttu mõjutavad puidu looduslikud vead liite kandevõimet vähe.

Naagelliited võivad olla ühe-, kahe- ja mitmelõikelised (joonis 7.4-1)

Ühendusele mõjuvate jõudude järgi jagunevad liited sümmeetrilisteks (c, e) ja ebasümmeetrilisteks (a, b, d, f).

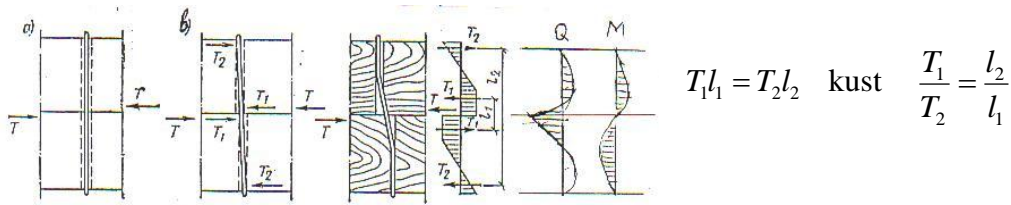
Tavaliselt konstrueeritakse naagelliitele mõjuva jõu suund kokku ühendatavate elementide puidukiudude suunaga (muljumispinged naaglit puidule mõjuvad piki kiudu). Kui aga ühendatavad elemendid lõikuvad nurga all (sõrestike sõlmedes) siis muljub naagel puidu kiude sama nurga all ja liite kandevõime muljumisele (survele risti kiudu) on väiksem.

Naagelliite moodustamiseks puuritakse ühendatavasse paketti avad vastavalt naagli läbimõõdule. Seejuures poldi augu \varnothing ei tohiks olla suurem kui 1 mm. Poldi peade ja mutrite all tuleb kasutada seibe, mille külje mõõt või \varnothing on $\geq 3d$ ja paksus $t \geq 0,3d$, kus d on poldi läbimõõt.

Ettepuuritud naelaaukude \varnothing ei tohi olla suurem kui $0,8d$. Siinjuures, kui puidu normtihedus $\rho_k > 500$ kg/m³ või $\varnothing > 6$ mm, tuleb naeltele augud ette puurida. Siledade naelte korral peab teravikupoolne süvistussügavus olema vähemalt $8d$, siledatest naeltest erinevate naelte (näiteks ruut- ja soonilised naelad) korral $6d$. Liites peab olema vähemalt kaks naela.

Naaglid tuleks asetada paarisarv ritta, kuna paaritu ridade arvu korral satub üks rida keset lauda, kus võib eeldada prao tekkimist puidus kas kuivamisest või kaardumisest.

Naagli töötamisest (joonis 7.4-2) Naagel töötab liites kui tala elastoplastsel alusel. Nihkudes liidetavad elemendid püüavad naaglit pöörata liitekohas ja saabub olukord, kus naagel toetub liidetavate elementide servadel (b). Seejärel hakkab naagel kõverduma ja jõu edasisel suurendamisel naagli ja puidu kontakt suureneb ning puidus tekivad ebahõltsed muljumispinged (c), kus elementide servad liitühenduses on rohkem muljutud kui nende keskosa. Muljumisest tekivad kahemärgilised pinged, kus resultantjõud moodustavad teineteist tasakaalustavad jõupaarid, mis takistavad naagli pöördumist.



Joonis 7.4-2

Seosed näitavad, et naagli tasakaal tagatakse ainult pikijõududega, mis on paralleelsed liidetavate elementide omavahelise nihkumisega. Nagu nähtub M ja Q epüüridest naagelühendustes puuduvad toereaktsioone tekitavad põikjõud.

Naagli kandevõime määramisel puidu muljumistugevuse järgi tavaliselt ei arvestata naagli paindedeformatsioone, kuid arvestatakse puidu elasto-plastilist töötamist muljumisele.

Naagli paindetugevuse määramisel arvestatakse plastilise liigendi tekkimist maksimaalse paindemomendi piirkonnas.

Arvestada tuleb, et mitme kinnituselemendiga liidete kandevõime, mis sisaldab sama tüüpi ja suurusega kinnituselemente, võib olla madalam üksikute kinnituselementide summeerimisel saadud kandevõimest.

Ühes reas pikikiudu paiknevate kinnituselementide efektiivne normkandevõime pikikiudu $F_{v,ef,Rk}$ tuleks võtta:

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk}$$

kus

n_{ef} efektiivne kinnituselementide arv pikikiudu

$F_{v,Rk}$ ühe kinnituselemendi kandevõime pikikiudu.

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

kus:

n_{ef} naelte efektiivne arv reas;

n naelte arv reas ;

k_{ef} antud tabelis

k_{ef} väärtused

Paigutus ^a	k_{ef}	
	ettepuurimata	ettepuuritud
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	-	0,5

^a vahepealse paigutuse korral on lubatud k_{ef} lineaarne interpoolimine

NB! Järeldused:

1. Naaglisuunalise jõuga liites ei arvestata.
2. Naaglite liiga väikese vahekauguse puhul võib määravaks saada puidu nihketugevus, mida arvestavad naelte vahelised kaugused.

Naagelliite kandevõime piirolukord saavutatakse ühel järgmistest juhtudest:

1. ühendatav element puruneb tõmbele naaglitega nõrgestatud ristlõikes;
2. ühendatav element puruneb lõikele ;
3. muljumispinged naagli ja puidu vahel saavutavad puidu survetugevuse;
4. paindepinged naaglis saavutavad voolavuspiiri ja naaglis tekib plastne liigend.

Tuleb silmas pidada, et naagelliidete põhielemente tuleb tõmbele kontrollida A_{neto} järgi.

Kokkuvõtteks naagelliite pingedeformatsiooni olukorrast, mis on vajalik naagli ühe lõike arvutusliku tugevuse määramisel, võib märkida järgmist:

Liitelementides mõjuv jõud püüab liite elemente üksteise suhtes nihutada, mida aga takistab naagel, seejuures naagel ise paindub. Paine sõltub naagli jäikusel ja puidu muljumisest naagli pesas. Seega töötab naagel puidus kui tala elastsel alusel. Naagli pikkuse ulatuses tekkivad muljumispinged puidus on ebaühtlased ja seda suuremad, mida väiksem on naagli jäikus.

Eeltoodu põhjal esitatakse standardis EVS-EN 1995-1-1 liidete normatiivsed kandevõimed.

Standardis esitatakse arvutusvalemid ühe- ja kahelõikeliste ühenduste korral **kinnituselemendi ühe nihkepinna** kohta. **Mitmelõikelise liite kandevõime** määratakse üksikute liitepindade vähimate kandevõimete **summana**.

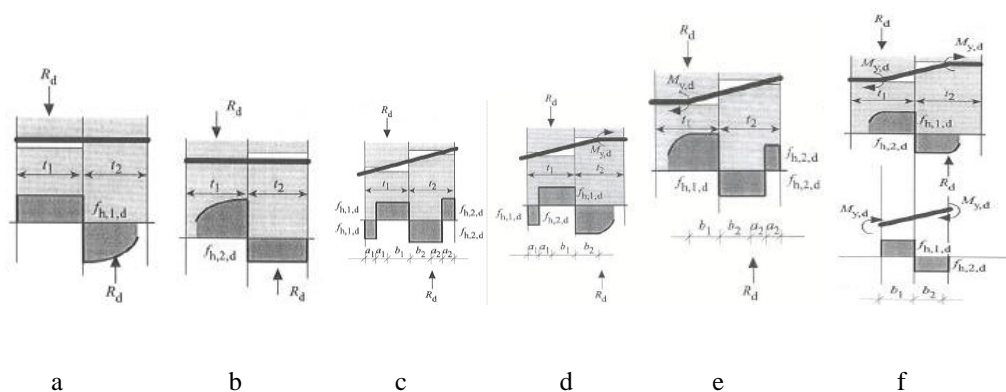
Vaatleme põiksuunas koormatud ühelõikelise liite arvutusliku kandevõime määramist puit-puiduga ja plaat-puiduga ühenduste korral.

Naelte, klambrite, poltide, tüüblite ja kruvide normkandevõime ühe kinnituselemendi ühe nihkepinna kohta võetakse vähima väärtusena alljärgnevatest valemitest:

– **ühelõikeliste liidete korral:**

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(a)} \\ f_{h,2,k} t_2 d & \text{(b)} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(c)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(e)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(f)} \end{cases}$$

Joonisel 7.4-3 on illustreeritud ülalesitatud purunemisi viise vastavate avaldiste kohaselt arvutades.



Joonis 7.4-3

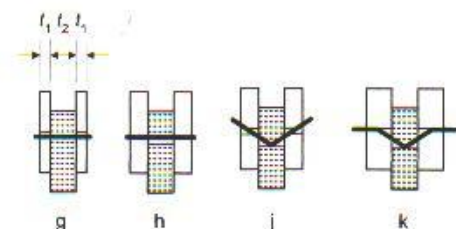
– kahelõikeliste liidete korral:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (g) \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (h) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (j) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$

kaasa arvatud

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

Joonisel 7.4-4 on illustreeritud kahelõikeliste liidete purunemisi viise vastavate avaldiste kohaselt arvatades.



Joonis 7.4-4

Ülaltoodud valemities esitatud tähised

- $F_{v,Rk}$ kinnituselemendi normkandevõime ühe nihkepinna kohta
- t_1 naelapea poolne paksus ühelõikelises liites; äärmise puitelemendi vähim paksus või süvistussügavus kahelõikelises liites;
- t_2 süvistussügavus ühelõikelises liites või keskmise elemendi paksus kahelõikelises liites.
- $f_{h,i,k}$ normmuljumistugevus puitelemendis (naagli pesas);
- d kinnituselemendi diameeter;
- $M_{y,Rk}$ kinnituselemendi volavusmomendi normväärtus;
- β elementide muljumistugevuste suhe;
- $F_{ax,Rk}$ kinnituselemendi teljesuunaline väljatõmbe normkandevõime.

Kui kasutatakse suhteliselt saledaid kinnituselemente, võib arvestada liidete plastilisusega. Sellisel juhul on valitsevateks purunemisi viisid (f) ja (k).

Valemite paremal poolel esimene liige on kandevõime Johanseni voolavusteooria kohaselt, teine liige $F_{ax,Rk}/4$ nn kõie efekt. Kõie efekti mõju kandevõimele tuleb piirata Johanseni järgi järgmiste suurusteni:

ümarnaelad	15 %
ruut- ja soonilised naelad	25 %
teised naelad	50 %
kruvid	100%
poldid	25 %
naaglid	0 %

Kui $F_{ax,Rk}$ ei ole teada, siis võetakse kõie efekti mõju võrdseks nulliga.

Ühelõikelised teras-puiduga liited erinevate paksustega terasplaatide korral)

Teras-puiduga liite normkandevõime oleneb terasplaatide paksusest. Terasplaadid paksusega $0,5d$ või väiksem, liigitatakse õhukeseks ja terasplaadid paksusega d või suurem, milles ava tolerants on väiksem kui $0,1d$, liigitatakse paksuks plaadiks. Õhukese ja paksu plaadi vahele jääva terasplaadi normkandevõime määratakse lineaarse interpoleerimise teel seejuures terasplaadi tugevust tuleb kontrollida.

Standardikohased valemid nende liidete arvutamiseks:

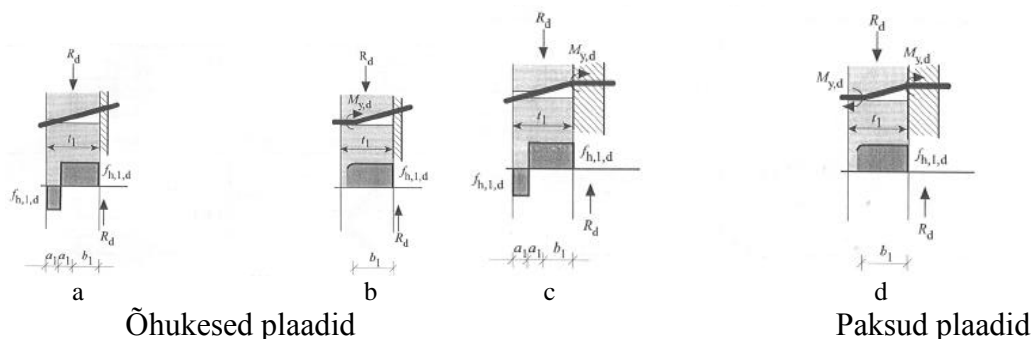
- ühelõikeliste õhukeste terasplaatide korral:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 f_{h,k} t_1 d & \text{(a)} \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(b)} \end{cases}$$

- ühelõikeliste paksude terasplaatide korral:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(c)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ f_{h,k} t_1 d & \text{(e)} \end{cases}$$

Ja vastavad purunemisviisid lähtuvalt seostest on näidatud joonisel 7.4-5



Joonis 7.4-5

Naelliite töötamise iseärasusi:

Naelühendus erineb naagel- ja poltliidetest naagli läbimõõdu ja ühenduse valmistamise viisi poolest. Naelad lüüakse puitu enamuses ettepuurimata või ka ettepuuritud aukudesse. Naelad töötavad

ühenduses kui silindrilised naaglid, kuid tulenevalt asjaolust, et nad lüüakse puitu on puitu lõhestavad pinged suuremad ning seetõttu nende pikivahe peab olema suurem kui naaglitel või poltidel.

Naelühenduste arvutusel arvestatakse nende naeltega, mille teravikupoolne süvistussügavus (ankurduspikkus) on järgmine:

- **siledad naelad vähemalt 8d,**
- **mittesiledad (ruut- ja soonilised naelad) 6d.** Ruutnaeltel tuleb d väärtuseks võtta naela külje mõõt.

Tuleb silmas pidada, et igas liites oleks vähemalt **kaks naela**.

Põiksuunas koormatud naelte puhul kasutatakse eelpooltoodud põiksuunas koormatud naagelliite arvutusvalemeid, kusjuures tuleb tähelepanu pöörata tähistele t_1 ja t_2 .

Naeltele läbimõõduga kuni 8 mm tuleb puidus ja spoonliimpuidus kasutada järgmiseid normmuljumistugevusi sõltumata jõu mõjumise suunast puidu kiudude suhtes:

ilma aukude ettepuurimiseta

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \quad \text{N/mm}^2$$

ettepuuritud aukudega

$$f_{h,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad \text{N/mm}^2$$

kus:

ρ_k puidu normtihedus, kg/m³;

d naela läbimõõt, mm.

Siledade naelte jaoks, mis on valmistatud terastraadist tõmbetugevusega 600 N/mm² võetakse voolavuspiirile vastava paindemomendi normväärtuseks:

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,3 f_u d^{2,6} & \text{ümarnaelad} \\ 0,45 f_u d^{2,6} & \text{ruut-, ja soonilised naelad} \end{cases}$$

kus:

$M_{y,Rk}$ kinnituselemendi voolavuspiirile vastav paindemomendi normväärtus, Nmm;

d naela diameeter standardi EN 14592 kohaselt, mm;

f_u naela tõmbetugevus N/mm².

Vastavad arvutuslikud kandevõimed leitakse seosega: $R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M}$ kus: γ_M materjali osavarutegur liidete korral on 1,3.

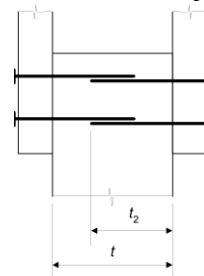
Elemendi otsakius olevaid naelu ei peaks normaalselt mitte arvestama jõu ülekandmisel. Kui selliseid naelu on kasutatud teisejärgulistest konstruktsioonides (nt. mittekandva laua kinnitamiseks), siis arvutuslik väärtus tuleb võtta 1/3 õige nurga all kehtestatud kandevõime väärtusest, kus süvistussügavus on vähemalt 10d ning liites on vähemalt 3 naela.

Kolme elemendiga liites võib naelad lüüa keskmises elemendis ülekattega tingimusel, et $(t-t_2) > 4d$ (vt joonis 7.4-6)

Puitelementide miinimumpaksus ettepuurimata naelte korral sõltub puidu normtihedusest ja naela \emptyset ning peab rahuldama järgmisi tingimusi:

$$t_{\max} = \begin{cases} 7d \\ (13d - 30)\rho_k / 400 \end{cases}$$

kus ρ_k kg/m³, d mm-tes.



Joonis 7.4-6 – Ülekattega naelad

Teras-puiduga naelliidetele rakenduvad teras-puiduga liidete arvutusjuhised, kusjuures normide kohaseid naelte pikivahekaugusi vähendatakse teguriga 0,7.

Pikisuunas koormatud naelad

Alaliste ja pikaajaliste koormuste ülekandmiseks ei ole lubatud kasutada siledaid naelu. Selliseid ühendusi tuleks kasutada teisejärguliste elementide ühendamiseks. Sooniliste naelte korral tuleks pikijõudude ülekandmisel arvestada ainult soonistatud osaga. Pikisuunas koormatud naelte korral peaks teravikupoolne süvistussügavus peab olema siledate naelte korral vähemalt $12d$ ja keermestatud naeltel $8d$.

Siledate naelte arvutuslik väljatõmbe-kandevõime ristikiudu naelutuse ja kaldnaelutuse korral (joonis 7.4-6) võetakse vähima väärtusena järgmistest seostest, mis arvestavad naela väljatõmbamist teravikupoolsest otsast ja naela pea väljatõmbamist, kus valemities avaldis $f_{\text{head},k} d_h^2$ võtab arvesse naela pea läbitõmbamist.

$$F_{\text{ax,Rk}} = \begin{cases} f_{\text{ax},k} d t_{\text{pen}} & \text{(a)} \\ f_{\text{ax},k} d t + f_{\text{head},k} d_h^2 & \text{(b)} \end{cases}$$

kus:

$f_{\text{ax},k}$ normatiivne teravikupoolne väljatõmbe tugevus;

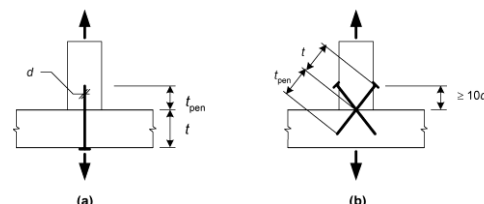
$f_{\text{head},k}$ normatiivne pea poolne läbitõmbe tugevus;

d naela läbimõõd vastavalt jaotisele ;

t_{pen} teravikupoolne süvistussügavus või keermestatud osa pikkus teravikupoolses elemendis;

t naelapeapoolse elemendi paksus;

d_h naela pea diameeter.



Joonis 7.4-7

Pikisuunas koormatud naelte korral kasutatakse siledate naelte, mille süvistussügavus vähemalt $12d$, korral järgmisi normtugevusi:

- teravikupoolses osas $f_{\text{ax},k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2$ N/mm²,
- pea läbitõmbamisel $f_{\text{head},k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2$ N/mm².

On vajalik silmas pidada järgmist: kui konstruktsiooni puidul, mis on paigaldatud kiudude küllastusastme või sellele lähedase niiskusega, mis tõenäoliselt kuivab koormuse all välja, tuleb neid normtugevusi korrutada 2/3-ga.

Siledatest naeltest erinevate naelte korral on väärtused erinevad.

Naelad tuleb puitu lüüa, kui ei ole teisiti määratud, puidukiu suhtes täisnurga all ja sellisele sügavusele, et naela pead oleksid puidu pinnaga ühetasased.

Ettepuuritud naelaukude \emptyset ei tohi olla suurem kui $0,8d$.

Üheaegselt põik- ja pikisuunas koormatud naelliited peavad rahuldama tingimust

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,$$

kus

$F_{ax,Rd}$ $F_{v,Rd}$ - naelliite arvutuslik teljesuunaline väljatõmbe-kandevõime ja arvutuslik kandevõime ühe nihkepinna kohta;

$F_{ax,Ed}$ $F_{v,Ed}$ - naelliitele mõjuv teljesuunaline jõud ja arvutuslik lõikejõud ühe nihkepinna kohta.

Polt- ja naagelliidete kandevõime arvutamisel järgitakse üldiseid naagelliidete juhiseid, kusjuures tuleb arvestada jõu ja puidukiu vahelist nurka puidu muljumistugevuste normväärtuste leidmisel.

Ümarterasest poltide ja naaglite puhul tuleb voolavuspiirile vastava paindemomendi normväärtuseks võtta:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6}, \text{ kus } f_{u,k} \text{ on kinnituselemendi normatiivne tõmbetugevus.}$$

Poldiaugu \emptyset ei tohi olla poldivarda läbimõõdust suurem kui 1 mm.

Poldipeade ja mutrite all kasutatavate seibide küljemõõt või läbimõõt peab olema vähemalt 3d ja paksus vähemalt 0,3d, seejuures mutrite alla paigutatavad seibid peavad kandma kogu pinnaga.

Poldid, aga samuti kruvid, peavad olema pingutatud nii, et elemendid kinnituksid tihedalt ja neid saaks puidu tasakaaluniiskuse saavutamisel konstruktsiooni kandevõime ja jäikuse tagamiseks vajaduse korral järele pingutada.

Minimaalne naagli \emptyset on 8 mm. Naagli läbimõõdu tolerants võib olla 0 kuni 0,1 mm. Ettepuuritud augud puitelementides naaglite ja neis ühendustes olevate poltide tarvis ei tohi olla suuremad kui tüübli enda läbimõõt. Naagelliidetes on soovitatav kasutada 25% polte naaglite üldarvust.

Kruviliited. Lõikele (nihkele) töötavaid puidukruvisid kasutatakse üldiselt ühelõikelistes metallist katteelementidega liidetes (nt. sõrestike sõlmed).

Põiksuunas koormatud kruvide juures tuleb kandevõime määramisel arvestada kruvi keermestatud osa mõju, kasutades efektiivset läbimõõtu d_{ef} .

Hammastatud kruvide korral, kus keeme väline läbimõõt on võrdne hammastuse läbimõõduga, kehtivad naagelliidete kohta antud juhiseid eeldades et:

- efektiivseks läbimõõduks d_{ef} on võetud hammastatud osa läbimõõt,
- hammastatud osa süvistussügavus kruvi teravikupoelses elemendi otsas ei ole väiksem kui $4d$.

Kui keeme väline läbimõõt ei ole võrdne hammastuse läbimõõduga, siis tuleks kruvi kandevõime arvutamiseks kasutada efektiivset läbimõõtu d_{ef} võttes selleks 1,1 kordse keeme diameetri.

Hammastatud kruvide korral, mille läbimõõt $d > 6$ mm, kehtivad poltliite kohta antud juhised.

Hammastatud kruvide korral, mille läbimõõt on 6 mm või vähem, kehtivad naelühenduse kohased juhised.

Pikisuunas koormatud kruvide kandevõime määramisel tuleks kontrollida järgmisi purunemisviise:

- kruvi keermestatud osa väljatõmme;
- kruvide kasutamisel koos metallplaadiga on kruvipea rebenemisjõud suurem, kui kruvi tõmbetugevus;
- kruvipea läbitõmme;
- kruvi tõmbetugevus;
- terasplaatide ühendamiseks kasutatavate kruvide purunemine piki kruvide gruppi (nihkeplokk) moodustavat ringjoont.

Ka kruviliidete korral on tegemist põik- ja pikisuunas koormatud kruvidega.

Minimaalne süvistussügavus teravikupoolses otsas peaks olema $6d$.

Samaaegselt põik- ja pikisuunas koormatud kruvide korral toimitakse analoogselt naelühenduses käsitletuga

Üle 5mm läbimõõduga kruvid tuleks keerata ettepuuritud aukudesse, mille:

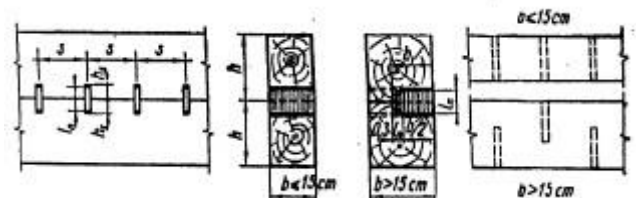
- a) ava \emptyset kruvi silindrilise osa jaoks võrdub kruvi läbimõõduga ja sügavus kruvi keermestamata osa pikkusega,
- b) ava keermestatud osa \emptyset peaks olema silindrilise osa läbimõõdust ligikaudu 70%.

Normidega on määratud naelte ja poltide asetus liites. Vajalik on meeles pidada, et naeltele, poltidele ja naaglitele esitatakse erinevad konstruktiivsed nõuded asetuse kohta liites.

Konstruktiivsete nõuete täitmisel on vajalik jälgida kindlasti koormuse mõjumise suunda puidu kiudude suhtes ühendatavates elementides, aga samuti ka jõu rakendust elemendil - nt. koormatud ja koormamata ots jm.

Plaatnaagleid (joonis 7.4-8) kasutatakse prusside või palkide ühendamisel nihkekindlateks liitvarrasteks. Valmistatakse kas kõvast lehtpuidust ($t = 12 \dots 16\text{mm}$) või terasplekist ($t = 4 \dots 5\text{mm}$).

Liittala valmistamisel polditakse elemendid kokku, mille järel elementidesse lõigatakse plaadi paksused ja sügavusega $h=0,5l+1\text{mm}$ pilud. Plaatnaagli kandevõime määratakse puidu muljumise ja plaadi paindetingimusest. Puidust plaatnaaglite vaheline kaugus $s=9t$ ja terasnaaglite korral $30t$.

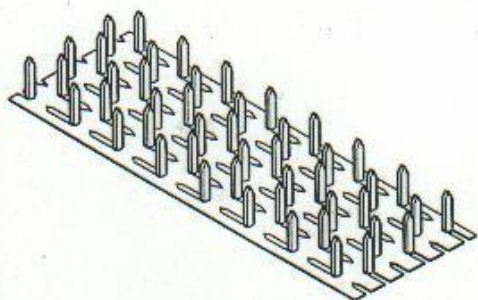


Joonis 7.4-8

Minimaalseid pikivahekaugusi on lubatud ka vähendada, seejuures tuleb vähendada muljumistugevust vastava teguriga.

7.5 Ogaplaatliited

Kaasajal leiab üha suuremat kasutamist puitelementide ühendamiseks ogaplaat.



Ogaplaate kasutatakse puitsõrestike ja raami sõlmede ühenduselementidena, võimaldades nende konstruktsioonide mehhaniseeritud valmistamist.

Ogaplaadid paigaldatakse ühendusele kahelt poolt spetsiaalse pressi abil, kusjuures ogade read asetatakse piki kiudu selle elemendiga, kus

normaaljõud on suuremad.

Joonis 7.5-1

Ogaplaat kujutab endast tsingitud terasplaati paksusega

1..2mm, mille ühele küljele on stantsitud ogad (hambad), mis võivad olla väga erineva kujuga, laiusega 1,6...3,2mm ja pikkusega ca 20-25 mm .

Puitmaterjalina kasutatakse männi- ja kuusepuitu laiusega 100...200mm ja paksusega 40...60 mm. Olulist osa mängib puidu kvaliteet.

Ogaplaatliidete kandevõime piirulukorrad kasutuspiiriseisundis on järgmised:

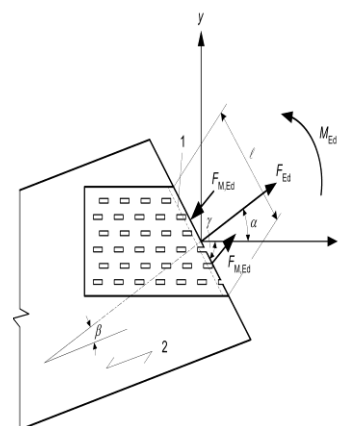
- puruneb puidu ja ogaplaadi vaheline nake;
- ogaplaat puruneb tõmbele, survele – nõtkub läbi;
- ogaplaat puruneb lõikele;
- ogaplaat puruneb tõmbe ja lõike üheaegsel mõjumisel.

Ogaplaatühenduste arvutuste teostamiseks on vajalik esmalt selgeks teha plaadi efektiivne kontaktpind A_{ef} (joonis 7.5-2).

x-telje suund plaadi peasuund;

y-telje suund ristisuund peasuunale;

Joonis 7.5-2



α nurk ogaplaadi x-telje suuna ja jõu mõjumissuuna vahel (tõmbel: $0^\circ \leq \gamma < 90^\circ$, survele: $90^\circ \leq \gamma < 180^\circ$);

β nurk puiduki suuna ja jõu mõjumissuuna vahel;

γ nurk ogaplaadi x-telje suuna ja elementidevahelise liitejoone suuna vahel ;

A_{ef} plaadi ja puidu vaheline kogu kontaktpind, mida on vähendatud 5 mm võrra puitelemendi servadel ja pikikiudude suunas puitelemendi otsast kuuekordse plaadi paksusega;

l liitejoone pikkus.

Ogaplaadil peavad olema standardi EN 1075 kohaste katsete tulemustel rajanevad ametlikult tunnustatud normväärtused järgmiste tugevusnäitajate osas.

$f_{a,0,0}$ ühikpinna nakketugevus kui $\alpha = 0^\circ$ ja $\beta = 0^\circ$;

$f_{a,90,90}$ ühikpinna nakketugevus kui $\alpha = 90^\circ$ ja $\beta = 90^\circ$;

$f_{t,0}$ tõmbetugevus plaadi laiusühikule, ($\alpha = 0^\circ$);

$f_{c,0}$ survetugevus plaadi laiusühikule ($\alpha = 0^\circ$);

$f_{v,0}$ nihketugevus plaadi laiusühikule x-telje suunas;

$f_{t,90}$ tõmbetugevus plaadi laiusühikule y-telje suunas, ($\alpha = 90^\circ$);

$f_{c,90}$ survetugevus plaadi laiusühikule y-telje suunas, ($\alpha = 90^\circ$);

$f_{v,90}$ lõiketugevus plaadi laiusühikule y-telje suunas;

k_1, k_2, α_0 konstandid.

Normatiivne nakketugevus $f_{a,\alpha,\beta,k}$ määratakse katseliselt või määratakse vastavate seostega:

$$f_{a,\alpha,\beta,k} = \max \begin{cases} f_{a,\alpha,0,k} - (f_{a,\alpha,0,k} - f_{a,90,90,k}) \frac{\beta}{45^\circ} & \text{kui } \beta \leq 45^\circ, \text{ või} \\ f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \sin(\max(\alpha, \beta)) & \end{cases}$$

$$f_{a,\alpha,\beta,k} = f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \sin(\max(\alpha, \beta)) \quad \text{kui } 45^\circ < \beta \leq 90^\circ$$

Plaadi ankurdustugevus ühe plaadi kohta

$$\tau_{F,d} = \frac{F_{A,Ed}}{A_{ef}}$$

$$\tau_{M,d} = \frac{M_{A,Ed}}{W_p}$$

kaasa arvatud:

$$W_p = \int_{A_{ef}} r \, dA$$

kus:

$F_{A,Ed}$ plaadi efektiivpinna raskuskeskmes mõjuv arvutuslik jõud ühe plaadi kohta (so pool puitelemendile rakendatavast jõust);

$M_{A,Ed}$ plaadi efektiivpinna raskuskeskmes mõjuv arvutuslik moment ühe plaadi kohta;

dA ogaplaatkinnituselemendi segmentpind;

r plaadi raskuskeskme kaugus plaadi segment pinnast dA ;

A_{ef} plaadi efektiivpind.

Teise võimalusena võib W_p konservatiivselt leida ligilähedase seosega:

$$W_p = \frac{A_{ef} \, d}{4}$$

kaasa arvatud:

$$d = \sqrt{\left(\frac{A_{ef}}{h_{ef}}\right)^2 + h_{ef}^2}$$

kus:

h_{ef} efektiivse ankurdusala maksimaalne kõrgus risti pikema küljega.

Plaadi ankurdustugevustingimuseks on:

$$\left(\frac{\tau_{F,d}}{f_{a,\alpha,\beta,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{M,d}}{f_{a,0,0,d}}\right)^2 \leq 1$$

Plaadi kandevõime leitakse järgmiselt:

$$1. \text{ kahe peasuuna jõud liite siseküljel, vt joonis 7.5-2,} \quad F_{x,Ed} = F_{Ed} \cos \alpha \pm 2F_{M,Ed} \sin \gamma$$

$$F_{y,Ed} = F_{Ed} \sin \alpha \pm 2F_{M,Ed} \cos \gamma$$

kus:

F_{Ed} ühe plaadi arvutusjõud (so pool puitelemendile mõjuvast jõust),

$F_{M,Ed}$ ühe plaadi arvutuslik moment ($F_{M,Ed} = 2 M_{Ed} / \ell$)

2. Tuleb rahuldada järgmine tingimus

$$\left(\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{y,Ed}}{F_{y,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

kus:

$F_{x,Ed}$ ja $F_{y,Ed}$ x ja y -telje suunalised arvutusjõud,

$F_{x,Rd}$ ja $F_{y,Rd}$ –plaadi kandevõime arvutusväärtused määratakse maksimaalsetest normkoormustest plaatide peatelgedes suunas standardis esitatud vastavate avaldistega.

Lisaks tugevusarvutustele tuleb täita normides esitatud konstruktiivseid nõudeid:

- 1) ogaplaadi ja puidu minimaalne ülekate peab olema vähemalt 40mm või $h/3$, kus h on puitelemendi kõrgus,
- 2) vööde jätkudes peavad plaadid katma vähemalt $2/3$ puitvarda laiuselt.

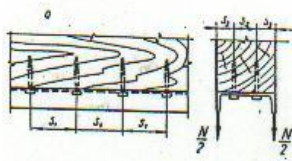
Ogaplaate valmistatakse erineva konstruktsiooniga sõltuvalt elementide ühendussõlmedest.

7.6 Liited tõmbele töötavate kinnituselementidega

Tõmbele töötavateks kinnituselementideks võivad olla – naelad, kruvid, pingutuspolid, riisad, rangid, tõmmitsad, sisseliimitud terasvardad.

Tõmbele töötavad naelad ja kruvid.

Naelad avaldavad vastupanu väljatõmbele tänu *hõõrdejõududele*, mis võivad väheneda pragude tekkimisel. Kruvid avaldavad vastupanu väljatõmbele mitte ainult hõõrdejõudude tõttu, vaid ka keermele toetamise tõttu. **Naelte ja puidukruvide töötamist tõmbele lubatakse arvestada ainult teisejärgulistes elementides** (nt. lagede laudistes). Dünaamiliselt koormatud naelte töötamist tõmbele piki kiudu ei arvestata.



Puidukruvisid kasutatakse peamiselt metallist elementide ühendamiseks puiduga. joonis 7.6-1

Puitelementide ühendamisel tuleb kruvi pea alla asetada seibid külje pikkusega

Joonis 7.6.1 $a \geq 3,5d$ ja paksusega $t \geq 0,25d$. Kinnitatava elemendi paksus peab olema sel juhul vähemalt $4d$.

Tõmbele töötavad poldid ja tõmbid.

Kasutatakse tüübliidetes tekkivate laialisuruvate jõudude vastuvõtmiseks, ankruteks.

Ümarterasest tõmbe kasutatakse puitsõrestike ja spregeltalade tõmbevarrastena, ripatsitena puitmetallsõrestikes, kaarte ja raamide tõmbideks ja teistes kohtades, kus osutub vajalikuks tõmbevarda järelpingutamise.

Tõmbele töötavate poltidena tuleb liigitada pingutuspolte. Neid kasutatakse peamiselt monteerimisel peaaegu kõikide liidete korral. Nad tagavad liidetavate elementide ühenduste tiheduse ja nende arv valitakse konstruktsiooni paigaldamise kaalutlustest lähtudes.

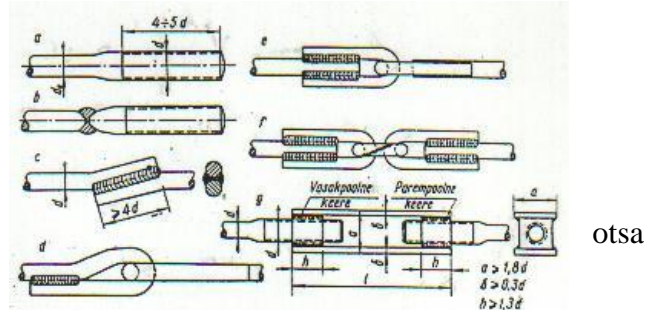
Polte $\varnothing 10 \dots 24$ mm kasutatakse nii arvutuslike kui ka mittearvutuslike kinnituselementidena. Poldid on tavaliselt meeterkeermega kuus- või nelikantpeaga ja mutri ning seibiga. Kui mittearvutuslikud poldid varustatakse ruutseibidega, siis külje pikkuseks võetakse $a \geq 3,5d$ ja paksuseks $t \geq 0,25d$. Kasutatakse ka ümarseibe.

Jõule töötava tõmbepoldi ruutseibi küljepikkuse saab määrata seosega $a = \sqrt{\frac{F_d}{f_{c,90,d}}}$ ja seibi

paksuspaindetingimusest $t = \sqrt{\frac{a^3 f_{c,90,d}}{(a-d)f_{m,d}}}$

Poldi arvutus tõmbele toimub teraskonstruktsioonide standardite kohaselt.

Tõmbide jätkamisel tuleb arvestada keermest tekkivat nõrgestust. Otstarbekas on terase ökonoomsemaks kasutamiseks moodustada tõmbi keermega osad suurema läbimõõduga (ca 4/3d) ümarterasest. Selleks kas suurendatakse varda otsa läbimõõtu sepistamise teel või keevitatakse varda suurema läbimõõduga ümarterasest jätkud.



Joonis 7.6-2

Seejuures keevisühendus peab tagama võrdtugevuse tõmbi keermeta osaga (vt joonis 7.6-2).

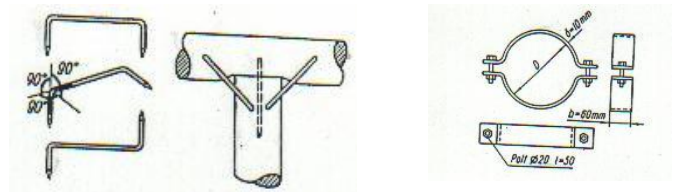
Tõmbe võib jätkata jäik- või liigendühendusega. Kui on vajadus tõmbide järelpingutamiseks, siis kasutatakse pingutuslukku.

Paaristõmbide kasutamisel on soovitatav vähendada terase arvutuslikku tugevust teguriga 0,85. Arvutusliku tugevuse vähendamine on seotud jõudude võimaliku ebahürtlase jaotuse tõttu paariselemendi tõmbevarraste vahel.

Riisad ja klambrid

Riisku ja klambreid (joonis 7.6-3) kasutatakse puitkonstruktsioonide mitteamvutuslike kinnituselementidena (tõmmatud või fikseerivad).

Riisad valmistatakse kas ümar- või ruutterasest $\varnothing(t) = 10 \dots 18 \text{ mm}$. Enne riisa sisselöömist puitu on soovitatav ette puurida augud vähemalt poolele sisselöögi sügavusele, kusjuures augu $\varnothing = 0,6 \dots 0,9d$.



Riisad

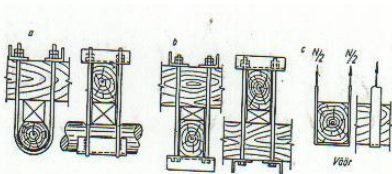
Klambrid

Joonis 7.6-3

Klambrid valmistatakse tavaliselt ribaterasest ja neid kasutatakse peamiselt surutud elementide jätkamisel (näiteks ümarpalkide jätkamisel).

Rangid

Range (joonis 7.6-4a, b) kasutatakse talade riputamiseks, sõrestike toesõlmede moodustamisel, puidust tõmbevarraste jätkamisel jne.



Joonis 7.6-4

Kasutatakse poltrange. Poltrandid valmistatakse kas ümar- või ribaterasest. Muljumispinna suurendamiseks asetatakse rangide alla ribaterasest jaotuslehed (a).

Muljumisjõudude üleandmiseks puidule kasutatakse tasapinnalisi toeribisid (b), mis peavad olema küllaldase paindejäikusega. Lubamatu on täisnurga all painutatud rangide kasutamine (c). Sellisel juhul tekivad siin suured muljumispinged puidus ja paindepinged rangides.

Poltrandid arvutamisel tuleb kontrollida rangide tõmbetugevust nõrgestatud ristlõike järgi, puidu muljumistugevust ja toeribi paindetugevust. Puidu muljumistugevus tuleb määrata vastavalt muljumisjõudude tegelikule suunale (kas puidukiudude suunas või nendega risti).

7.7 Liimliited

Liimliidet kasutatakse lamellide (laudade) omavaheliseks ühendamiseks pikkuse, laiuse ja kõrguse suunas konstruktsioonelemendi moodustamiseks (tala, post, raam jne.), samuti laudade ühendamiseks vineeriga. Peale selle on liimliite abil võimalik moodustada liitprofiile, mis töötavad monoliitsena.

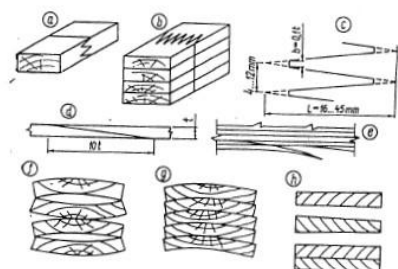
Lamellidest liimühendustel valmistatud puitmaterjali tuntakse liimpuidu nime all. Liimühendustega saab ära kasutada ka madalama kvaliteediga ja piiratud mõõtmetega puitmaterjali.

Liimpuidust konstruktsioonide valmistamine toimub mehhaniseeritult vastavates tehastes, kuna see nõuab täpset kinnipidamist valmistamise tehnoloogiast.

Liimitud paketi elemendid ei tohi olla väga massiivsed, kuna nende mahukahanemise tõttu tekivad liimitud paketi suured sisepinged ning paketi kuivamine on takistatud. Siit tuleneb ka soovitus valmistada paketristslõiked ühe laua laiusega (joonis 7.7-1). Laiema ristlõike korral peavad kahe naaberkihi lauaservad olema laiuse suunas vähemalt laua paksuse t võrra nihutatud.

Liimitavate lamellide paksus on erinev. Euroopas ja ka Eestis kasutatakse sirgetes elementides lamelle $t = 40$ mm ja kõverjoonelistes elementides õhemaid sõltuvalt elemendi kõverusraadiusest.

a,c- lamellide jätkud; b- paketi jätk; d- kaldlõikega jätk;
e-lubamatu jätkude asetus



Joonis 7.7-1

Lamellide pinnad tuleb enne liimiga katmist hõõveldada. Peale liimikihi pealekandmist surutakse ühendatavad elemendid kokku (võimalik ka naelutamise teel).

Liim peab olema küllaldase kohesiooni, adhesiooni ja elastsusega ning moodustama kõvastumisel minimaalses mahus kahanedes tugeva

liimvuugi.

Liimid on kas ühe- või kahekomponendilised. Esimesel juhul on liimi hoidmisaeg piiratud. Mitmekomponendiline liim segatakse vahetult enne kasutamist. Puidu liimimiseks kasutatakse peamiselt fenoolformaldehüüd-, resortsiin-formaldehüüd-, melamiinliime jt. Plastmasskinnituselement liimimiseks kasutatakse veel epoksü-, polüester-, kautšuk- jt. liime.

Käesolevalt on olemas liime, mis võimaldavad liimida töökindlalt mitte ainult puitu puiduga, vaid ka plastmasside ja metalliga.

Puitu on vajalik eelnevalt kuivatada kuni $w=6...12\%$, olenedes liimpuitkonstruktsioonide kasutamistingimustest, samuti on vajalik steriliseeriv kuivatus $60...80$ °C juures.

Liimpuidu tehastes kasutatakse hammasjätku (joonis 7.7-1c). Korralike lähteainete ja eeskirjadekohase valmistamise korral on liimvuugi tugevus tunduvalt suurem puidu lõiketugevusest piki kiudu.

Üksikutel juhtudel lubatakse laudu ja vineeri jätkata kaldjätkuga (joonis 7.7-1d) . Kaldjätku tuleb kasutada elemendi tõmbetsoonis. Survetsoonis võib kasutada ka ots-otsaga jätku. Kaldjätkude korral on vajalik jälgida, et tõmmatud ja painutatud elemendi ühes ristlõikes jätkatakse mitte rohkem kui 25% laudadest, seejuures maksimaalselt koormatud tsoonis mitte üle ühe elemendi.

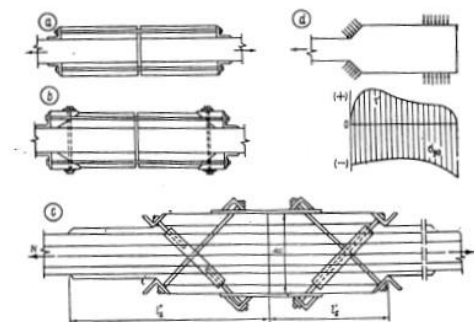
Liimliite tugevus peab olema suurem puidu nihketugevusest piki kiudu ja tõmbetugevusest risti kiudu.

Liimliiteid mõjutavad tegurid:

1. Liimvuugi paksus sõltub puidu pinna tötlusest, kokkupressimise intensiivsusest ja liimi viskoossusest. Optimaalne liimvuugi paksus on 0,05...0,1mm. Liimvuugi paksuse suurenemisega väheneb liite tugevus;
2. Liimitava puidu niiskus, mille suurenedes väheneb liimvuugi tugevus. Eriti suured on mahukahanemisest tekkivad pinged erineva niiskusega elementide liimimisel. Teisalt on ka väga kuiva puidu ($w < 5\%$) liimliite nõrk. Liimpuitelementides puidu kaardumisest tingitud liimvuugi pinged olenevad liimitavate elementide aastaringide asetusest liimvuugi suhtes (joonis 7.7-1f-h);
3. Surve liimimisel – see on vajalik liigse liimi ja õhumullikeste väljasurumiseks;
4. Liimitavate pindade suurus. Suurema pindalaga liimliited on nõrgemad;
5. Liimitavate pindade töötlemise puhtus. Parima tulemuse annab masinhöövelalus.

Monoliitseid liimpuitkonstruktsioone arvutatakse kui täisristlõikega puitelemente võttes arvesse liimpuidu arvutustugevusi. Standardi EVS-EN 1995-1-1 kohaselt liimpuidu ristlõikele, mille kõrgus paindel või laius tõmbel $< 600\text{mm}$ on lubatud suurendada normpaine- ja normtõmbetugevusi .

Suure ristlõikega liimpuidust tõmmatud elementide montaažijätkude näiteid on esitatud joonisel 7.7-2.



Joonis 7.7-2

Tõmbejätkud:

- a – lihtne
- b – survekiiludega
- c – diagonaalsete poltidega
- d – poltidega tõmbejätku pingeseisund

Esitatud jätkude kohta võib muu hulgas märkida järgmist:

- a) Puuduseks on katteelementide ekstsentriline koormamine, mille tõttu esineb risti liimvuuki tõmme ja ta puruneb suhteliselt väikese nihkepinge juures;
- b) Parema lahenduse saab, kui tekitada katteelementide otstes surve;
- c) Parim lahendus on diagonaalselt asetatud poltidega.

Kokkuvõtteks liidete arvutuse kohta tuleb lisada järgmist:

- Mitmelõikelise liite üksikute nihkepindade kandevõimete kombineerimiseks peaks kinnituselementide purunemisviis vastavates nihkepindades olema võrreldav teistega ja ei tohiks sisaldada puit- ja plaatliidete purunemisviiside kombinatsioone teiste purunemisviisidega.
- Kinnituselementide suurus ja paigutus liidetes, kinnituselementide vahekaugused ja kaugused servast ning otsast, tuleb valida nii, et tugevus ja jäikus oleksid tagatud.
- Arvestada tuleb, et mitme kinnituselemendiga liidete kandevõime, mis sisaldab sama tüüpi ja suurusega kinnituselemente, võib olla madalam üksikute kinnituselementide summeerimisel saadud kandevõimest.

8. TASAPINNALISED TALASÜSTEEMID

Need on konstruktsioonid, milles sisejõud tekivad välisjõudude mõjumise tasandis ja mille põiklõiked ei sisalda võrguvardeid .

Nende hulka võib lugeda:

- ava puhul kuni 6m: laudised, roovid, talad – mis koosnevad ühest elemendist, lauast, prussist jne,
- suurte avade puhul, mis ületavad metsamaterjali sortimendi pikkuses või väikeste avade suurte koormuste korral *laudadest* või *prussidest* liitkonstruktsioonid nagu liittalad, kaared, raamid.

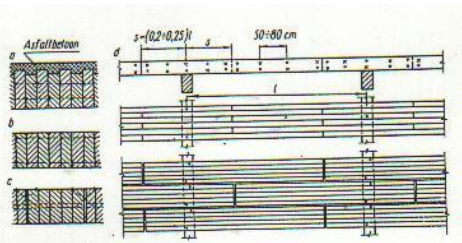
8.1 Laudis ja roovitused

Laudised esinevad vahelagede ja katusekatete elementidena, töölavades, raketistes jm.

Laudis võib olla moodustatud kas üksikutest laudadest (lattidest) või valmiskilpidest. Laudise jäikuse tõstmiseks (rullmaterjali korral) moodustatakse laudis kahekihilisena. Alumine laudisekiht loetakse *töötavaks* kihiks ja ülemine *jaotavaks*. Pealmise kihi laudad on alumise kihi laudade suhtes 45-90° all.

Jaotav kiht moodustatakse 16-25mm paksustest laudadest, töötav 25-60mm paksustest laudadest või lattidest. Töötava kihi laudade vahele jäetakse tavaliselt 10-200mm laiused pilud, kui konstruktsiooni ekspluatatsioonitingimused seda võimaldavad. Pilud on vajalikud puidu õhutamiseks ja teisalt väheneb ka puidu kulu laudisele.

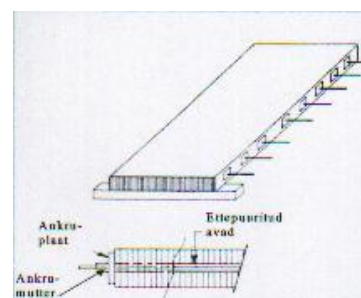
Laudisena kasutatakse puitprussplaate, mis kujutavad endast massiivset puitplaati (joonis 8.1-1) serviti asetatud laudadest. Lauad ühendatakse omavahel kas naelte või puitnaaglite abil. Puitplaatide põhiliseks kasutusala on sildade sõidutee katted sh ka pingelamellplaadid (joonis 8.1-2), kus plaat tõmmatakse kokku terasvarrastega ja eelpingestatakse.



Joonis 8.1-1

Tavaliselt kasutatakse 40-50 mm paksusi laudu, mis lüüakse kokku 80 mm pikkuste naeltega. Naelad lüüakse kahte ritta 20 mm kaugusele laua servadest malekorras, vahekaugusega 40-80 cm.

Puitplaadi valmistamiseks võib kasutada nõrgema tugevusklassiga saematerjali. Puitplaati kasutatakse enamasti läbijooksva laudisena avadel kuni 6m. Laudade jätkud asetatakse toest ca 1/5 kandeava kaugusele, kusjuures ühes ristlõikes jätkatakse mitte üle 50% laudadest.



Joonis 8.1-2

Laudised ja roovid arvutatakse kaheavalise jätkuva tala skeemi järgi 2-e koormuskombinatsiooni puhul:

- omakaal+lumi - arvutatakse tugevusele ja deformatsioonidele;
- omakaal+koondatud koormus $Q_k=1,5$ kN (või ühtlaselt jaotatud) - arvutatakse tugevusele.

Arvutuslike ristlõigete määramisel tuleb arvestada järgmist:

- tihedal roovil ning roovlaudadel, mille telgede vahe ei ületa 15 cm, võetakse koondatud jõu puhul arvutuslikuks ristlõikeks kaks lauda, muul juhtumil üks laud;
- kahekihilise laudise korral jaotatakse koondatud jõud 0,5m laiusele töötava laudise ribale.

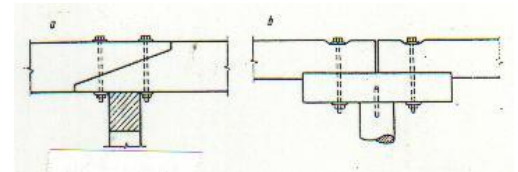
Vahelae põrandat tuleb arvutada täiendavalt vibratsioonidele.

8.2 Talad ja roovid

Vahelagede, katuse kandekonstruktsioonide ja muude talastike elementidena kasutatakse kas ühe- või mitmesildelisi talasid nii ristkülikulise kui ka ümara ristlõikega. Lihttala sillet piirab suhteliselt suur läbipaine. Käesoleval ajal käibel oleva saepuidu sortimendiga saab tala tugevuse täielikul ärakasutamisel katta praktiliselt kuni 6 m . Lihttala ristlõike ligikaudne kõrgus ühtlaselt jaotatud koormuse puhul, kui on nõutud suhteline läbipaine $f/l=1/200$, $h \geq l/20$ või kui $f/l \geq 1/250$, siis $h \geq l/18$.

Talade konstrueerimisel tuleb vältida tala äärmiste kiudude nõrgestust maksimaalselt pingestatud ristlõigetel.

Lihttalade kasutamine on valmistamise poolest lihtne ja teda on kerge paigaldada, kuid puidu kulu suhteliselt suur. Mitme järjestikuse ava katmisel jätkatakse lihttalasid kas viltuse hamba või tugipadja abil, seega seotisena või ots-otsaga tugitala abil (joonis 8.2-1).

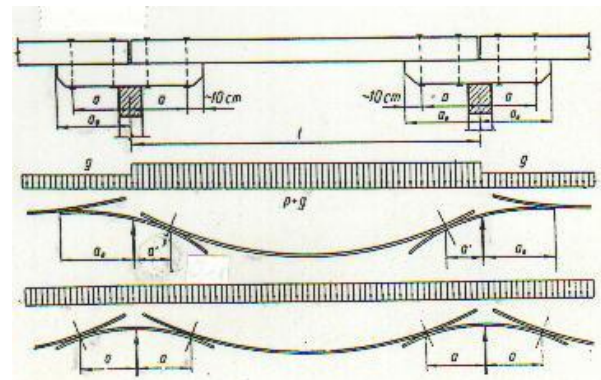


Joonis 8.2-1

Talad ja roovid valmistatakse prussidest, kahest küljest servatud palkidest, servi asetatud laudadest.

Tala põiklõike vähendamiseks, eriti kui see on määratud läbipainde tingimusest, soovitatakse kasutada lihttalade puhul alustalasid, konsoolidega talasid või jätkuvaid paaristalasid.

a) *alustalad* 8.2–2 vähendavad arvutuslikku sillet. Alustala pikkus a võetakse nii, et elastsete joonte ühine puutuja asuks alustala otsa lõikest 10 cm kaugusel. Kui alustala inertsmoment on võrdne peatala inertsmomendiga, siis ühtlaselt jaotatud koormuse puhul on nimetatud puutepunkti kaugus toest $a=0,17l$. Alustala pikkuseks valitakse $2(a+10 \text{ cm})$.



ning

Joonis 8.2-2

mõlemad naaberavad on maksimaalselt koormatud $M_{at} = q \frac{l}{2} a$

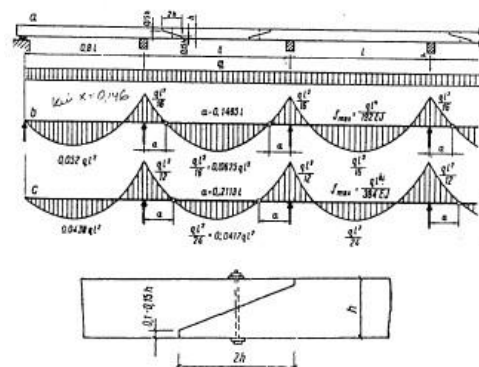
Peatala paindemoment kõikide avade ühtlasel koormamisel $M_{pt} = \frac{q(l-2a)^2}{8}$.

Kui kõrvallöövides puudub muutuv koormus p , siis nihkub peatala ja alustala elastsete joonte puutepunkt toele lähemale. Tasakaalu tingimusest saame $a^1 = q/p * a_0$. Peatala maksimaalne

paindemoment $M_{pt} = \frac{q(l-2a^1)^2}{8}$, kus; $a_0 = a + 10 \text{ cm}$.

b) *konsoolidega talad ja roovid*

Liigenditega jätkuva konsooltala liigendid paigutatakse paarikaupa üle ava (joonis 8.2-3), kusjuures äärmine peab olema liigenditeta. Sellised talad on mitmesildelised staatikaga määratud süsteemid. Neid kasutatakse koormusolukorras, kus ajutine koormus on liikumatu ning ühtlaselt jaotatud – seega kõige sobilikum roovtalade konstrueerimiseks.



ava

Joonis 8.2-3

Liigendi asukoha varieerimisega toest saab ette näha toe ja avamomentide või naaberavade läbipainete sobiva suhte.

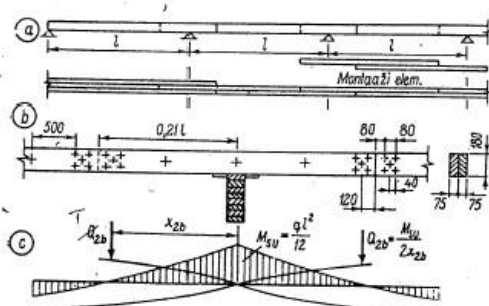
Võrdsete paindemomentidega lahenduse korral on liigendi kaugus toest $a=0,1465l$, võrdsete läbipainete korral $a=0,2113l$. Siinjuures äärmine ava soovitatakse võimaluse korral valida 20% võrra lühem, et ei tekiks vajadust ristlõike tugevdamiseks:

Liigendi konstruktsioon (joonis 8.2-3) tuleb teha nii, et tala lühemal lülil oleks vaba pöördumise võimalus. Seejuures poldi läbimõõt võiks olla soovituslikult mitte väiksem kui 10mm.

Jätkuva tala moodustamiseks võib kasutada ka sellist liigendite paigutamist, kus peale esimese ava on teistes avades üks liigend.

Konsoolidega talade puuduseks on asjaolu, et metsamaterjali 6,5m pikkuse korral $l \leq 4,5$ m.

c) Laudadest paaristalad (gerbertalad)



Laudadest paaristalad kasutatakse samuti põhiliselt roovtaladena. Laudadest moodustatud talad kujutavad endast liigenditega ja liigenditeta jätkuvtala vahepealset tüüpi (joonis 8.2-4).

Liigendid asetatakse tugedest $0,21l$ kaugusele (s.o. jätkuvtala

Joonis 8.2-4

momendi nullpunkti kohale). Võrdsete silletega taladel ühtlaselt jaotatud koormuse korral arvutatakse toemoment kõikides silletes seosega $M_t = ql^2/12$ ja liigendis vajalik naelte arv ühel pool jätku: $n = \frac{M_t}{2xT}$

Tala läbipaine arvutatakse seosega: $u_{inst} = \frac{2,3q_k l^4}{384EJ}$ kaheavalise tala korral.

Tala äärmised silded mitmesildelise arvutusskeemi kohaselt on enam koormatud, mistõttu nad valitakse lühemad ca 20% ($0,8l$) või tehakse tala ristlõike kolmest lauast.

Roovtalad nagu laudisedki arvutatakse kaheavalise jätkuva tala skeemi järgi 2-e koormuse kombinatsiooni puhul:

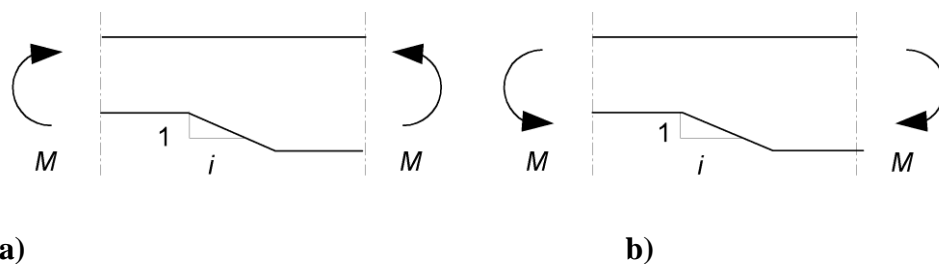
- 1 omakaal+lumi. Arvutatakse tugevusele ja deformatsioonidele,
- 2 omakaal+koondatud koormus $P_k=1,5$ kN tugevusele.

8.2.1 Sisselõikega elemendid

Elementide tugevuse kontrollil tuleb arvestada pingete kontsentratsiooni mõju sisselõigetel.

Pingete kontsentratsiooni mõjust võib loobuda järgmistel olukordadel:

- tõmbel või survele pikikiudu;
- paindel koos tõmbega, kui sisselõike kalle ei ole suurem (järsem) kui $1:i = 1:10$, seega $i \geq 10$, joonis 8.2-5a;
- paindel koos survega sisselõikel, vt joonis 8.2-5b.



Joonis 8.2-5 Paine sisselõikes: a) sisselõige tõmbetsoonis, b) sisselõige survetsoonis

Toel sisselõigetega talad

Ristkülikulise ristlõikega taladel, millede kiudude suund on peamiselt piki tala, arvutatakse nihkepinged toel sisselõikega vähendatud kõrgusega h_{ef} (vt joonis 8.2-6).

Toel sisselõikega talade kontrollil nihkele tuleb rahuldada tingimus: $\tau_d = \frac{1,5V}{bh_{ef}} \leq k_v f_{v,d}$

kus k_v on pingete kontsentratsiooni arvestav tegur (vähendustegur) koormatud poolel (vt joonis 8.2-6a) oleva sisselõikega monoliitsetest puidust taladel

miinimumväärtus $k_v = 1$ või $k_v = \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)}$ ja koormamata poolel =1 (vt joonis

8.2-6b)

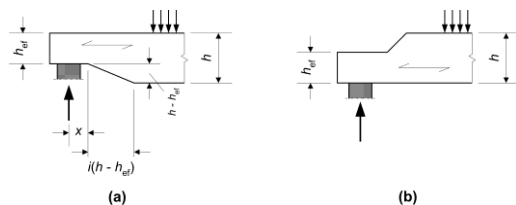
kus:

i sisselõike kalle (vt joonis 8.2-6);

h tala kõrgus, mm;

α kaugus toereaktsioonist kuni sisselõike kaldenurgani

x kaugus toereaktsioonist kuni sisselõike kaldenurgani, mm-tes.



Joonis 8.2-6

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h}$$

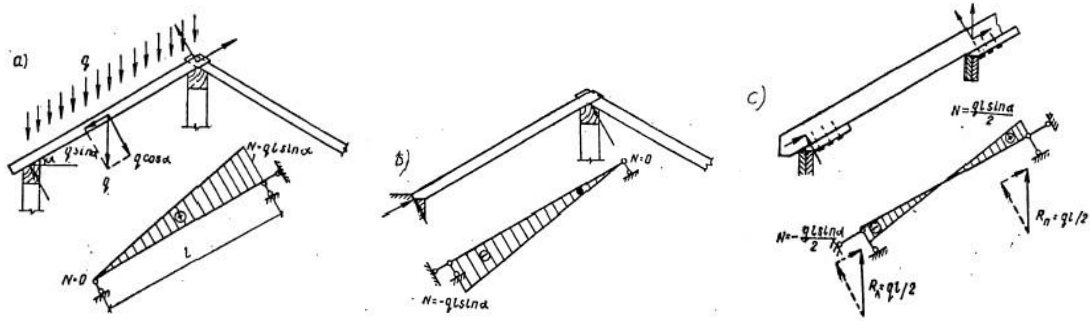
k_n materjali arvestav tegur, mille suurus võetakse järgmiselt:

$$k_n = \begin{cases} 4,5 & \text{spoonliimpuidule} \\ 5 & \text{täispuidule} \\ 6,5 & \text{liimpuidule} \end{cases}$$

8.3 Kaldu asetatud talade arvutamine

Kaldu asetatud talade puhul lisandub vertikaalkoormusest paindemomendile veel tõmbe- või survejõud.

Kaldtalade näiteks võivad olla sarikad (joonis 8.3-1)



Joonis 8.3-1

Tala ülemise otsa kinnitamisel tõmbekindlal ühendusel lisandub paindemomentidele talas tõmbejõud (a).

Tala alumise otsa kinnitamisel ja ülemise otsa vabal toetamisel tekivad talas survejõud (b).

Talade kinnitamisel mõlemas otsas tekivad tala ülemises otsas tõmbejõud ja alumises otsas survejõud (c). Kui nurk $\alpha \leq 45^\circ$, siis arvutustes võib võtta $N=0$;

Seega kaldu asetatud talasid tuleb arvutada ekstsentrilisele survele (paine + surve) või ekstsentrilisele tõmbele (paine + tõmme)

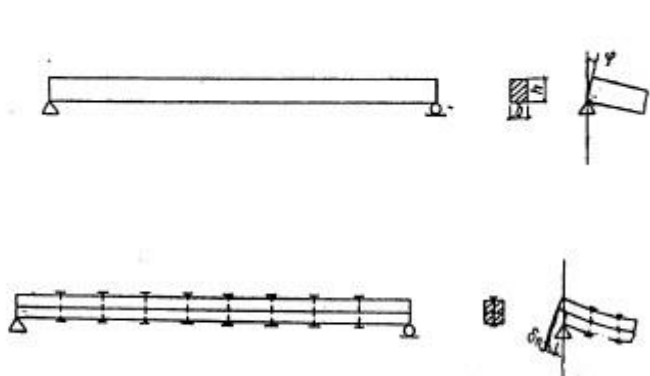
8.4 Mehaaniliste liidetega puidust liitelementide arvutamine

Liitristlõigetega elemendid, mis võivad esineda näiteks talade ja postide juures – on kinnituselementidest (naaglid, tüüblid jne.) tingitud järelandvuse tõttu monoliitsetest ristlõigetest tugevuse poolest nõrgemad ja väiksema jäikusega. Mehaanilised kinnituselemendid võimaldavad elementide omavahelist nihkumist. (Liimliide on jäik!)

8.4.1 Paindele töötavad elemendid

Käesolevalt vaatleme mehaaniliste liidetega talade arvutust. Nimetame edaspidi mehaanilisi kinnituselemente järelandvateks sidemeteks. Järelandvuse all mõistetakse kinnituselemendi omadust tala deformeerumisel võimaldada ühendatavate elementide omavahelist nihkumist.

Vaatleme 3-e puidust liittala ühesuguse silde ja ristlõikega, kuid erinevate ristlõigete moodustamisega. Kõikidele taladele olgu rakendatud ühesugune ühtlane joonkoormus .



Esimene tala olgu täisristlõikega ja tähistatud tähega T, kus:

$$W_T = \frac{bh^2}{6}; I_T = \frac{bh^3}{12}; u_T = \frac{5 q_k l^4}{384 E I_T}$$

Teine tala olgu liittala, mis on valmistatud poltühendustel ja tähistame tähega L.

$$W_L = ? I_L = ? u_L = ?$$

Kolmas tala olgu ilma kinnituselementideta liittala ja tähistame O-ga. Siin mõlemad talad töötavad omaette.



$$W_O = \frac{bh^2}{12}; I_O = \frac{bh^3}{48}; u_O = \frac{5 q_k l^4}{384 E I_O}$$

Võrreldes neid väärtusi omavahel selgub, et

$$W_T = 2W_O, I_T = 4I_O, u_T = 4u_O$$

Seega saame järgmised võrratused $W_T > W_L > W_o$ $I_T > I_L > I_o$ $u_T > u_L > u_o$

Vaatame, mis toimub vasakul toel:

Täisristlõike korral tala ots pöörduv pöördenurga φ võrra

Liittalal ilma sidemeteta peale tala elementide otste pöördumist toimub elementide vahel nihe δ_0 .

Järeleandvate sidemetega tala korral sidemed takistavad kuigivõrd elementide omavahelist nihkumist.

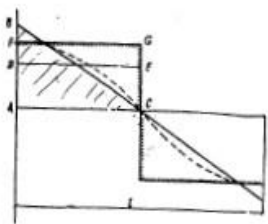
Ülalöeldust järeldub, et liittala järeleandvate sidemetega satub koormuse all vahepealsesse olukorda täisristlõikega tala ja sidemeteta liittala vahel.

Kokkuvõtteks eelnevast tuleb meeles pidada, et mehaaniliste liidetega talade arvutamisel tuleb arvestada kinnituselementide järeleandvusega.

Kuidas määratakse vajalike sidemete arv:

Sidemete arv leitakse arvutustega nihkele. Nihkejõud T kogu tala laiuses $T = \tau * b$, kus T leitakse valemiga $T = Q * S / I$ kN/m.

Nihkejõudude jaotus piki tala on analoogne nihkepingete jaotusega (joonis 8.4-1).



Nihkejõudude jaotus joonisel on näidatud sirgjoonega (mingi nurga horisontaali suhtes).

Nihkejõud talas toest kuni 0-punktini (tala keskel), kus $T=0$, on võrdne ABC. Seega ühtlaselt jaotatud koormuse korral on $T=0$ kui $x=l/2$ ja kogu nihkejõud on matemaatiliselt väljendatuna järgmine:

Joonis 8.4-1

$$T_0^{1/2} = \int_0^{1/2} T dx = \frac{S}{I} \int_0^{1/2} Q dx = \frac{M_{\max} S}{I}$$

Liittalal järeleandvate sidemetega kogu nihkejõud jääb ühtlaseks, kuid sidemete järeleandvuse tõttu nihkejõu jaotus tala pikkuse ulatuses muutub, sellest tingituna kolmnurkne epüür muutub kõverjooneliseks, mis on lähedane koosinusoidile AFC.

Kui sidemed asetada kogu pikkuses ühtlaselt, siis ühelt poolt iga side võtab vastu nihkejõu, mis on võrdne tema kandevõimega F_v ja teisalt kõik sidemed peavad vastu võtma kogu nihkejõu.

Leitud sidemete arvuga võetakse vastu koormus, mis graafikul vastab ristküliku ADEC pinnale. Sellises olukorras on toepoolsed sidemed ülekoormatud ja tala keskel alakoormatud.

Sidemete arvu leidmisel tuleb järgida järgmisi tingimusi:

1. Ühtlaselt paigutatud sidemetega tuleb toest kuni asukohani M_{\max} vastu võtta kogu nihkejõud ja sidemete arvuks saame n .
2. Toelähedased sidemed ei tohi olla ülekoormatud. Selle tingimuse täitmiseks tuleb toelähedases rajoonis sidemete arvu suurendada nii, et vastaks AFGC-le.

ADEC=AD*l/2, 1. tingimusest AFC $\approx 2/3 AF * l/2$ siit AD*l/2=2/3 AF*l/2 kust AF=3/2 AD=1,5AD ja sidemed on ühtlase paigutuse puhul toel üle koormatud 1,5 korda.

Seega sidemete arv toelt kuni maksimaalse momendiga ristlõike ni $n_0^{1/2} = \frac{1,5M_{\max}S}{JT}$.

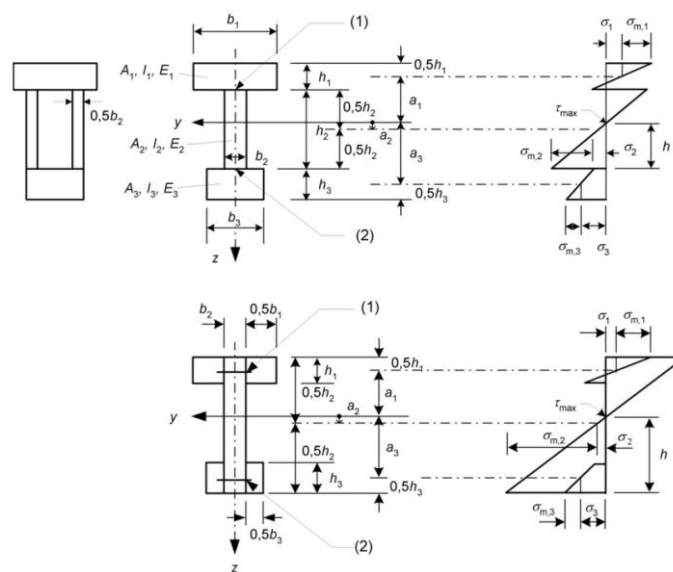
Sel juhul sidemed tala keskel on alakoormatud. Seega sümmeetrilise koormuse korral võiks tala keskel $0,2l$ ulatuses sidemeid mitte paigaldada ja sidemete arv on leitav järgmise seosega

$n_0^{1/2} = \frac{1,2M_{\max}S}{JT}$, kus T siin mehaanilise sideme kandevõime.

Mehaaniliste liidetega talade dimensioneerimine standardi EVS-EN 1995-1-1 järgi põhineb lineaarsel elastsusteoorial järgmistel eeldustel:

1. Talad on lihttalad sildega l . Jätkuvtaladel võib l võtta võrdseks $0,8$ sildeava ja konsooltaladel võrdseks kahekordse konsooli pikkusega;
2. Üksikosad (puidust, puidupõhistest plaatidest) on kas täispikkusega või valmistatud liimitud jätkliidetega;
3. Üksikosad on omavahel liidetud mehaaniliste sidemetega, mille nihkemoodul on K_s ;
4. Sidemetevaheline vahekaugus on konstantne või muutub vastavalt nihkejõu muutumisele vahemikus s_{\min} ja s_{\max} ühtlaselt, kus $s_{\max} \leq 4s_{\min}$;
5. Koormus mõjub z -telje suunas, tekitades paindemomendi $M=M(x)$, mis muutub sinusoidaalselt või paraboolset ja nihkejõud $V=V(x)$.

Liidete vahekauguse s_i määrab kahe liitepinna sidemete vajalik arv pikkusühikule (jälgides samal ajal ka naagelühendustele rakendatud nõudeid).



Tähised:

(1) vahekaugus: s_1
liite nihkemoodul: K_1 koormus: F_1

(2) vahekaugus: s_3 liite nihkemoodul : K_3 koormus: F_3

Joonis 8.4-2

Läbipaine arvutatakse efektiivse paindejäikusega, mis arvestab sidemete järeleandvust, mis on põhjustatud paindemomendist ja mis standardi kohaselt leitakse järgmiselt lihtsustatud arvutusmeetodiga (vt ka joonis 8.4-2).

Joonisel on esitatud ristlõiked ja paindepingete jaotus. Kõik mõõtmed on positiivsed välja arvatud a_2 , mis võetakse positiivseks joonisel näidatu korral.

Efektiivne paindejäikus tuleks võtta kasutades E keskvaärtusi

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

$$\text{kus : } A_i = b_i h_i ; I_i = \frac{b_i h_i^3}{12} ; \gamma_2 = 1$$

$$\gamma_i = \left[1 + \pi^2 E_i A_i s_i / (K_i l^2) \right]^{-1} \quad \text{kui } i=1 \text{ ja } 3$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i}$$

kus kasutatud tähised on esitatud joonisel 8.4-2., kusjuures $K_i = K_{ser,i}$ kasutuspiirseisundi arvutustes; $K_i = K_{u,i}$ kandepiirseisundi arvutustes; T-ristlõike korral $h_3 = 0$.

$$\text{Normaalpinged leitakse järgmiste seoste abil } \sigma_i = \frac{\gamma_i E_i a_i M}{(EI)_{ef}} \quad \sigma_{m,i} = \frac{0,5 E_i h_i M}{(EI)_{ef}}$$

Maksimaalsed nihkepinged toimivad kohas, kus normaalpinged on nullid. Maksimaalne nihkepinge seinaelemendis (joonisel element 2) määratakse avaldisega

$$\tau_{2,max} = \frac{\gamma_3 E_3 A_3 a_3 + 0,5 E_2 b_2 h_2^2}{b_2 (EI)_{ef}} V$$

Liite koormus määratakse avaldisega $F_i = \frac{\gamma_i E_i A_i a_i s_i}{(EI)_{ef}} V$ kus: $i = 1$ ja 3 , asjaolule vastavalt; $s_i = s_i(x)$ on

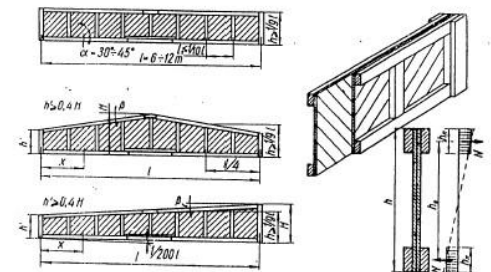
kinnituselementide vahekaugus

8.4.2 Laudseinaga naelutatud talad

Täisseinalise tala liitristlõikega konstruktsiooni elementideks on kahest ristuvate laudade kihist sein ja selle külge naelutatud vöölaud (joonis 8.4-3).

Stabiilsuse tagamiseks on sein jaotatud jäikusribidega paneelideks. Neid kasutatakse sillel 6-12m (sillaehituses kuni 20m).

Ülemiste ja alumiste vöölaudade paksus on 4...6cm. Sein laudade kogu paksus võetakse võrdseks vööpaksusega (2x2,5cm). Sein laud asetatakse vööelementide vahele 30...45° nurga all. Sein- ja vöölaud, samuti seinalaud omavahel ühendatakse naeltega. Seinalaudade naelaridade vahe määrab surutud seinalaudade arvutus pikkuse. Vööd ühendatakse seinaga arvutuslike naeltega.

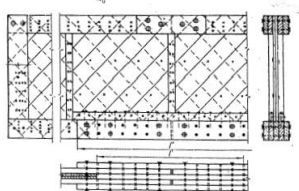


Joonis 8.4-3

Jäikusribide vahekauguseks võetakse 1/8...1/10 sildest ja harilikult asetatakse katuse kandetalade alla, s.t. koondatud koormuste alla. Üldiselt ribad valmistatakse vöö materjalidest, kuid võib võtta ka kaks korda kitsamad ning naelutatakse samade naeltega ja vähemalt kahelt realt.

Toeribide laius võetakse vöölaudade laiusena ja naelutatakse samuti, kui toelähedaste paneelide vöölaud, sein külge (sama naelte tihedusega 1 m kohta).

Tala sein laud vööde vahel ühendatakse naeltega nagu eelpool mainitud, kuid tuleb jälgida, et iga laud oleks kinnitatud vähemalt kahe naelaga ja laua vaba pikkus ei oleks suurem kui 30 tema paksust. Alumise vöö jätk tuleks konstrueerida nendes kohtades, kus põikjõud võrdub nulliga (harilikult keskel!).



Joonis 8.4-4

Ülemise vöö jätk tehakse ots-otsaga (survevöö) ja kummalegi poole jätku kinnitatakse kattelaud poltühendusega.

Alumine vöö, mis on tavaliselt tõmmatud, jätkatakse seest vahetäitega ning väljastpoolt kattelaudadega (joonis 8.4-4).

Tala ristlõikes, kus $V \neq 0$, ei tohi seina katkestada jätku ulatuses. Sel juhul tehakse tõmbevöö jätk ainult kattelaudadega.

Talad valmistatakse eeltõusuga, mis peab võrduma $u_{eeltõus} = (1/200)l$, seejuures vöö elemendid asetatakse nurga all tala pikitelje suhtes.

Staatilise töötamise seisukohast laudseinaga naelutatud tala töötab kui ristuvate varrastega sõrestik, kus tõmbevarrasteks on toelt langevad diagonaalid ja survevarrasteks toelt tõusvad diagonaalid. Seetõttu normaaljõud võetakse vastu vöödega ja seinalaudad töötavad nihkele vööde ühenduskohtades kogu tala töötamisel paindele.

Seega talad arvutatakse eeldusel, et paindemoment M võetakse vastu vöölaudadega ja põikjõud seinalaudadega.

Kuna vöölaudade kõrgus h_v võrreldes tala kõrgusega on väike ($h_v \leq 0,25h$), võetakse vööde kõrguse ulatuses paindenormaalpinge jaotus ühtlaseks ja sisejõud on määratav valemiga $N = M/h_0$.

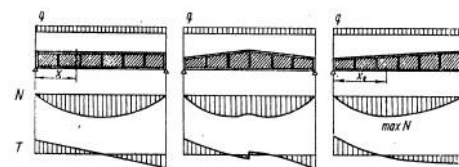
Ühe- ja kahekaldelistel taladel toest silde keskele suureneb nii tala kõrgus kui paindemoment M . Ristlõige aga, kus sisepinged on suurimad (nn ohtlik ristlõige) ei ühti maksimaalse momendi M asukohaga (joonis 8.4-5). Maksimaalsele normaaljõule vastava ristlõike määramiseks avaldatakse M ja h_{0x} x kaudu.

$$M_x = \frac{qx}{2}(l-x) \quad h_{0x} = h_0^1 + tg\beta.$$

Ristlõike asukoht, kus sisejõud on suurimad, võetakse jagatisest M_0/h_{0x} tulemis x järgi, mis võrdsustatakse nulliga. Saadakse

$$\text{järgmine seos} \quad x_0 = \frac{h_0^1}{tg\beta} \left[\sqrt{1 + tg\beta \frac{l}{h_0^1}} - 1 \right]$$

Alumise vöö vajalik ristlõike pindala leitakse tõmbetingimusest pikikiudu.



Joonis 8.4-5

Ülemist vööd arvutatakse nagu surutud elementi, kusjuures arvutamisel põikumisele võetakse nõtkepikkuseks põikisidemete vaheline kaugus l_{ef} . Vöö põikumise kontrollil võetakse maksimaalne sisejõud ja arvutuslikuks ristlõikeks ainult vöölaudade pind, arvestamata seinalaudu. Naaglite arv tõmbejätkus arvutatakse vöös oleva normaaljõu järgi.

Vööd on võimalik valmistada ilma jätkudeta, sel juhul valmistatakse vööd liimpuidust.

Pikkusühikul esinev nihkejõud vööde ja seinalaudade vahel, mille järgi leitakse naelte arv avaldatakse järgmistest seostest:

a) muutuva kõrgusega tala $T = \frac{V}{h_0} \pm \frac{Mtg\beta}{h_0^2}$,

b) paralleelvöödega tala $T = \frac{V}{h_0}$.

Naelte arvu leidmiseks jaotatakse tala vöö tsoonideks (tavaliselt paneelide järgi kolmeks –toepaneel, teine paneel ja ülejäänud). Arvutuslik nihkejõud võetakse arvatava piirkonna/paneeli keskel olev jõud.

Kahelõikeliste naelte arv pikkusühiku kohta igas tsoonis leitakse järgmiselt $n = \frac{Tl_i}{0,8R_d}$, kus T on

paneeli pikkusühikul esinev nihkejõud, R_d kahelõikelise naela minimaalne kandevõime. Vöö ja seina ühendamiseks paigutatakse naelad reeglina korrapärase mustri kohaselt, vaatamata sellele, et mõni nael võib sattuda laudade vahele. Seda asjaolu arvestatakse valemis teguriga 0,8.

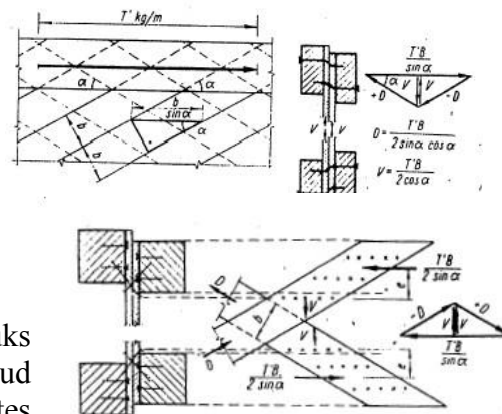
Horizontaalsed ja vertikaalsed naelad tõmbejätkus arvutatakse jätku kattelapi otsas esinevale nihkejõule.

Surutud laudade nõtkekontroll tehakse toepaneeli keskel.

Seina ja vöö vahel tala paindest tekkiv nihkejõud tasakaalustatakse seinalaudade sisejõududega (joonis 8.4-6)

$$\pm D = \frac{Tb}{2\sin\alpha\cos\alpha}, \text{ kus } b/\sin\alpha \text{ on seinalaua laiuse } b$$

projektsioon vöö suunas. Toodud valemit selgub, et üks seinalaudade kiht on tõmmatud ja teine surutud. Surutud seinalaud tuleb kontrollida ka põikumisele, võttes arvutuslikuks nõtkepikkuseks kaht kihti ühendavate naelte vahekauguse.



Joonis 8.4-6

Seinalaudade sisejõu vertikaalkomponent V on kummaski kihis vastassuunaline, mis tingib tala ristlõikes erinevaid vertikaalseid paigutusi, kus $V = \frac{Tb}{2\cos\alpha}$

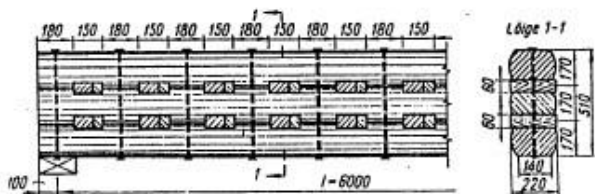
Nagu avaldisest on näha, see jõud väheneb seina ja vöö laudadevahelise nurga vähenemisega. (kui võtta nurk 45° asemel 30° , väheneb V 42%, kusjuures D suureneb 18%).

Jõu V vähendamine on eriti oluline täisseinaliste talade korral, kus vööd tehakse prussidest. Selliste talade puhul ei ole enam otstarbekas vööde ühendamine seinaga väljastpoolt naelutamise teel, kuna see vajaks tarbetult pikki naelu. Käesoleval juhul talad valmistatakse kahest poolest, kus kummagi vööprussi külge naelutatakse üks seinalaudade kiht, kus arvutuslikud naelad on ühelõikelised. Järgnevalt ühendatakse mõlemad tala pooled väljastpoolt löödud viltuste naeltega (vt joonis), mis arvutatakse jõu komponendile “ V ”. Seinalaudade minimaalseks kaldeks võetakse 30° .

Praktikas kasutatakse käsitletud tala tüüpide kõrval ka karp- ja I-kujulise ristlõikega talasid.

8.4.3 Palkidest ja prussidest liittalad plaatnaaglitel

Palkide või prusside ühendamisel liittalaks kasutatakse sidemetena mitmesuguseid puidust tüübleid ja plaatnaagleid. Sidemete deformatsioonidest tingituna on liittalad monoliitsetest nõrgemad ja vähem jäigad (joonis 8.4-7).



Laiemat kasutamist leiavad plaatnaaglitel valmistatavad talad. Tala maksimaalne pikkus on piiratud standardse Joonis 8.4-7

puitmaterjali pikkusega. Talad valmistatakse kahest või kolmest prussist või palgist, mis on omavahel ühendatud tamme- või kasepuidust naaglitega ja 2-4 poldiga.

Tala kõrguseks võetakse $1/10 \dots 1/16l$. Kasutatakse ka lehtterasest plaatnaagleid paksusega 4...5mm. Puitnaaglite korral peab nende kiudude suund olema risti liittala elementide vahelise nihkepinnaga. Naaglite vaheline kaugus ei tohi olla väiksem kui 9-kordne naagli paksus.

Talades laiusena $b \leq 15\text{cm}$ võib kasutada naagleid, mis ulatuvad läbi terve ristlõike laiusena. Laiemate talade puhul kasutatakse vaheldumisi asetatud ühepoolseid naagleid. Talade valmistamisel antakse neile eeltõus.

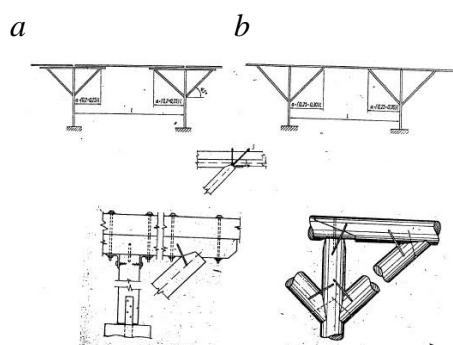
Tala kuivamisest tingitud defektide vältimiseks jäetakse kahe elemendi vahele pilu kuni $1/6$ prussi kõrgusest. See abinõu vähendab puidu mädanemisohtu. Kuna tala on pilu tõttu kõrgem, on ta ka jäigem ja tugevam. Talade arvutus on analoogne järeleandvate mehaaniliste sidemetega talade arvutusega.

8.5 Tugistikud

Tugistik kujutab endast üleminekuvormi täisseinalistelt taladelt sõrestikkonstruktsioonidele. Tugistikke kasutatakse ühekorruseliste tööstushoonete ja ladude kandekonstruktsioonide moodustamiseks, puitsildades, katusekonstruktsioonides, raudbetoonkonstruktsioonide valmistamisel jm. Tugistikega kaetakse tavaliselt avasid 4...8m. Tugistikud moodustatakse enamasti ümarpuidust, harvem prussidest. Töötamisskeemi järgi võib tugistikud jaotada trapets-, riiv- ja kolmnurktugistikeks.

Trapetstugistikud

Trapetstugistik võib esineda nii alustalaga joonis 8.5-1(a) kui ka alustalata süsteemina 8.5-1 (b). Kuna teisel juhul sisselõige käpa toetamiseks nõrgestab peatala, soovitatakse kasutada peasjalikult alustalaga süsteemi. Tugikäppade kaldenurk moodustab tavaliselt 45° ja alustala teoreetiline pikkus



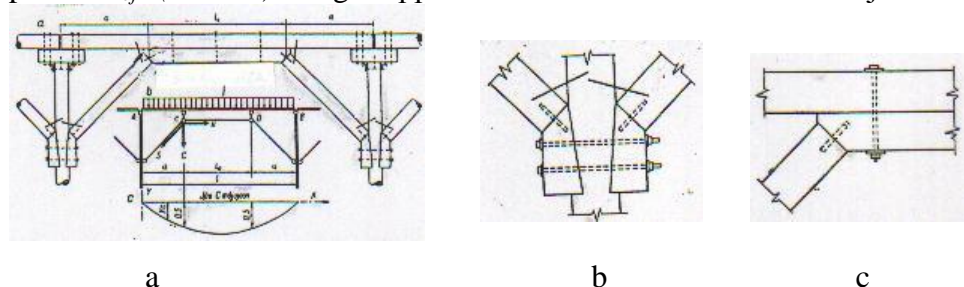
$2a = (0,4-0,6)l$. Peatalade jätk tehakse posti kohal.

Lihtsustatud arvutusel võib oletada, et peatala töötab konsoolidega lihttalana, mille kandeava $l_{ef} = l - 2a$. Joonise allosas on kujutatud ümarpalkidest kujundatud trapetstugistiku kujundamise näide.

Joonis 8.5-1

Riivtugistikud

Riivtugistikus on peatala ava keskosas toetatud horisontaalsele riivile (joonis 8.5-2a), mis omakorda toetub postidega ühendatud tugikäppadele. Joonisel on esitatud ka arvutusskeem. Riivi pikkus valitakse piirides $l_{ef} = (1/3-1/2)l$. Tugi-käppade kalle võetakse ca 45° . Peatala jätkatakse postide kohal.

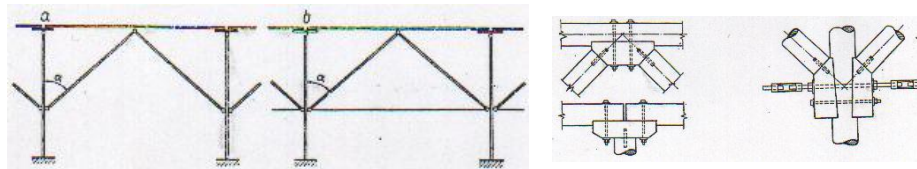


Joonis 8.5-2

Sellist tüüpi tugistiku korral kujutab peatala kolmeavalist tala, mille keskmised toed on järeleandvad. Joonisel b ja c on esitatud võimalikud lauptappühendused riivtugistike korral.

Kolmnurktugistikud

Kolmnurktugistike (joonis 8.5-3) kasutamine on otstarbekas, kui ava keskel mõjub üks koondatud koormus. Sel juhul on peatala paindemoment suhteliselt väike ja peatala ristlõike mõõtmed võib valida konstruktiivselt. Kolmnurktugistiku diagonaali kaldenurk valitakse piirides $30^{\circ} \leq \alpha \leq 60^{\circ}$.



Joonis 8.5-3

Ühtlaselt jaotatud koormuse puhul võib kolmnurktugistiku peatala vaadelda kaheavalise talana.

9. LIIMPUITTALAD (LAMELL-LIIMPUITTALAD)

9.1 Pakettristlõikega taladest

Liimpuit on paralleelselt kiudude suunaga kokku liimitud puitlamellidest (laudadest) konstruktsiooni element. Liimimiseks kasutatakse spetsiaalseid niiskuskindlaid liime. Lamellidest (st laudadest) liimitud paketristlõikega talasid kasutatakse silletel 60m ja enam (Eestis 30 m). Standardid käsitlevad liimpuiduna vähemalt neljast lamelist koosnevat ristlõiget.

Tabel 9.1

	$< 5^{\circ}$	< 30	$h \sim \frac{l}{17}$
	3-10	10-30	$h \sim \frac{l}{30}$ $H \sim \frac{l}{16}$
	3-15	10-20	$h \sim \frac{l}{30}$ $H \sim \frac{l}{16}$
	$< 5^{\circ}$	< 25	$h \sim \frac{l}{20}$
	$< 5^{\circ}$	< 25	$h \sim \frac{l}{24}$ $H \sim \frac{l}{16}$
	$< 10^{\circ}$	< 15	$h \sim \frac{l}{10}$
	$< 5^{\circ}$	30-80	$h \sim \frac{l}{14}$
	0°	12-25 (a = 2,4-7,2 m)	$h \sim \frac{l}{20}$

Enamkasutatavad talade tüübid koos orienteeruvate mõõdetega on esitatud tabelis 9.1.

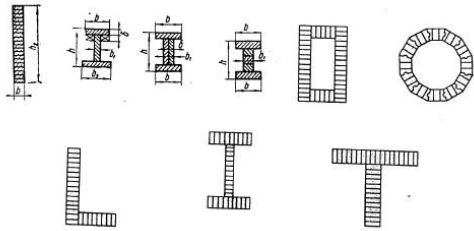
Liimpuidust saab valmistada elemente väga erineva ristlõikega - joonis 9.1-1. Valmistatakse konstantse või muutuva kõrgusega, sirgeid, ühe- või kahepoolse kaldega, aga samuti kõverusega hoone harjas. Eestis valmistatavate liimpuitelementide ristlõiked ja sildeavad on esitatud joonisel 9.1-2.

Lamellidest liimitud talad omavad rea eeliseid eelpool vaadeldud liittaladest:

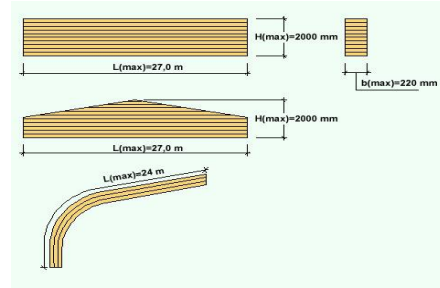
- tala ristlõige on monoliitne, s.t. töötab kui ühest materjalist ristlõige;
- neid võib valmistada suhteliselt suure kõrgusega ja mitmesuguse ristlõikega;
- talades pikkusega $l > 6,0$ m moodustatakse laudade jätkud hammastappidel ning jätkud nihutatakse teineteise suhtes,

mistõttu talas ei teki nõrgestatud ristlõikeid;

- liimitud talades on võimalik ratsionaalselt kasutada erineva tugevusklassiga materjali.



Joonis 9.1-1



Joonis 9.1-2

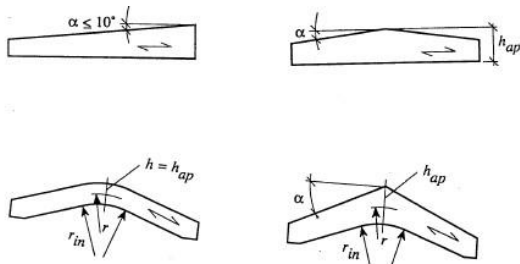
7...10m pikkuste väikegabariidiliste talade I ja T ristlõiked võivad olla naelutatud vöödega, sobib näiteks roovtalade valmistamiseks .

Täisristlõikega konstantse kõrgusega talade arvutus kande- ja kasutuspiirseisundis on sama, mis monoliitpuidu korral käsitletud. Tala ristlõike kõrgus võiks olla $h \approx l/17$.

9.2 Ühe- ja kahepoolse kaldega või kõverjoonelise kujuga liimpuittalad

Ühe- ja kahepoolse kaldega ning kõverjoonelise kujuga täisristlõikega talad on näidatud joonisel 9.2-1. Muutuva kõrgusega talad valmistatakse horisontaalsetest lauakihtidest, kusjuures tala ülemine pind lõigatakse kaldu peale liimi kõvastumist.

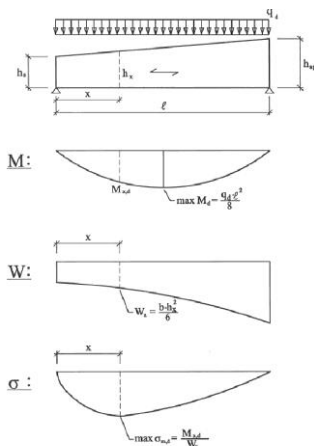
Kahekaldelise katuse harjas painutatud talad valmistatakse ühepikkustest lauakihtidest, kus painutusraadius on vähemalt 250t. Sirgete talade valmistamisel antakse neile eeltõus $w_c=l/200$.



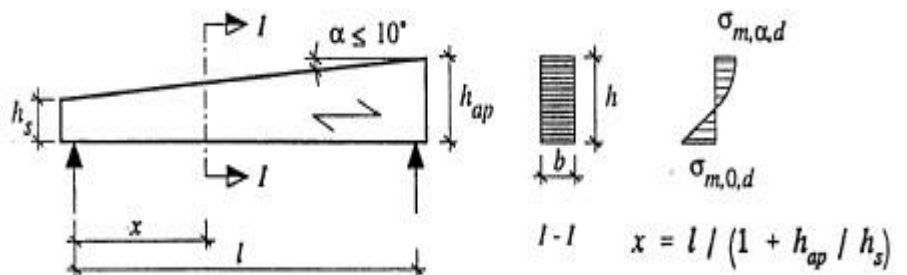
Ristlõike laius on soovitatav võtta minimaalne, lähtudes paneelide toetus pikkusest. Ristlõike kõrguse ja laiuse orienteeruv suhe on soovitatav võtta sirgete talade puhul mitte enam kui 6 ja kõverate talade puhul mitte enam kui 5. Talade ülemise pinna kalle võetakse $3...10^0$. Talade suurim ristlõike kõrgus ca $H \approx l/16$. Talade kõrgus toel määratakse lähtudes põikjõust toel (orienteeruvalt $h=l/20- 1/30$, sõltuvalt Joonis 9.2-1 koormusest).

Ühepoolse kaldega tala arvutus

Ühepoolse kaldega talade korral ühtlaselt jaotatud koormuse juures ristlõige maksimaalsete pingetega ei ühti ristlõikega, kus paindemoment on maksimaalne (joonis 9.2-2). Enampingestatud ristlõike (ohtlik ristlõige) asukoht tuletatakse normaalpingete seosest diferentseerides seda x järgi ning võrrutades saadud tulemuse nulliga. Saame ohtliku ristlõike asukoha seosega $x = l / (1 + h_{ap} / h_s)$ (joonis 9.2-3).



Joonis 9.2-2



Joonis 9.2-3

Ühepoolse kaldega talade korral tuleb kaldpinna suunaliste paindepingete arvutamisel arvestada kalde mõjuga. Pingete jaotus ristlõikes on esitatud joonisel 9.2-3.

Arvutuslikud pinged $\sigma_{m,\alpha,d}$ ja $\sigma_{m,0,d}$ (joonis 9.2-3) leitakse järgmiselt: $\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6M_d}{bh^2}$

Kaldpinna äärmise kiu pinged peaksid rahuldama järgmist tingimust:

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} f_{m,d}$$

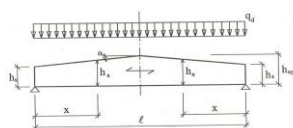
kus:

$\sigma_{m,\alpha,d}$ arvutuslik paindepinge kiudude suhtes nurga all;

$f_{m,d}$ arvutuslik paindetugevus;

$k_{m,\alpha}$ arvutatakse järgmiselt:

Elemendi kaldpinna suunaliste tõmbepingete korral:

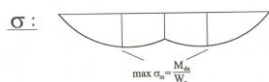


$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75 f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}}$$

Joonis 9.2-4



Elemendi kaldpinna suunaliste survepingete korral:



$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}}$$

Joonis 9.2-4

Kahepoolse kaldega, kõverad ja harjakõverusega talad

Kahekaldelistel taladel ühtlaselt jaotatud koormuse korral maksimaalsete normaalpingetega ristlõike asukoht (Joonis 9.2-4) samuti ei ühti ristlõikega, kus paindemoment on maksimaalne. Suurima pingega ristlõike asukoht toest leitakse seosega $x = lh_0 / 2h_{ap}$.

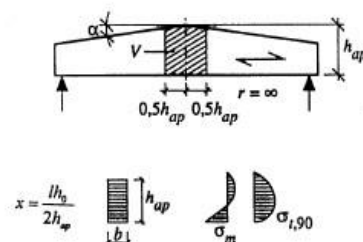
Vaadeldavate talade selle osa kohta, millel on ühepoolne kalle, kehtivad ühepoolse kaldega tala arvutuseeskirjad.

Kahepoolse kaldega taladel, sõltumata kas nad on kõverad või harjakõverusega, kontrollitakse harjatsoonis paindepingeid.

Harjatsoonis peavad paindepinged rahuldama tingimust $\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d}$, kus k_r arvestab tugevuse vähenemist lamellide painutamisel valmistamisel. Kahepoolse kaldega tala korral on nimetatud tegur 1 (lamelle ei painutata).

Harjakõverusega ja altkõverusega talade korral määratakse k_r järgmiselt:

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{kui } \frac{f_{in}}{t} \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \frac{f_{in}}{t} & \text{kui } \frac{f_{in}}{t} < 240 \end{cases}$$



kus r_{in} - siseradius kõverjoonelistel taladel ja t lamelli paksus.

Pingete jaotus ristlõikes on esitatud joonisel 9.2-5.

Paindepinged harjatsoonis leitakse järgmise valemiga

$$\sigma_{m,d} = k_{\ell} \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \text{ kaasa arvatud: } k_{\ell} = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3$$

Kus tegurid k -d leitakse järgmiste seostega:

$$k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap}; \quad k_2 = 0,35 - 8 \tan \alpha_{ap}; \quad k_3 = 0,6 + 8,3 \tan \alpha_{ap} - 7,8 \tan^2 \alpha_{ap};$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap}; \quad r = r_{in} + 0,5 h_{ap}$$

kus:

$M_{ap,d}$ arvutuslik moment harjatsoonis;

h_{ap} tala kõrgus harjatsoonis, vt joonis 9.2-5;

b tala laius;

α_{ap} harjatsiooni kaldenurk.

Talades tekivad harjatsoonis ristikiudu tõmbepinged ja suurim tõmbepinge peab rahuldama tingimust:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d} \text{ kus: } k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{monoliitpuit} \\ \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} & \text{liim- ja spoonliimpuit, kõik vineerid} \\ & \text{piki tala telge} \end{cases}$$

$$k_{dis} = \begin{cases} 1,4 & \text{kahekaldelised ja kõverad talad} \\ 1,7 & \text{harjakõverusega talad} \end{cases} \text{ kus: } k_{dis} \text{ tegur, mis arvestab pingejaotuse} \\ \text{mõju harjatsoonis;}$$

k_{vol} mahutegur; $f_{t,90,d}$ arvutuslik tõmbetugevus ristikiudu; V_0 viitemaht $0,01 \text{ m}^3$; V pingestatud harjatsiooni maht m^3 -tes (joon 9.2-5), kuid mitte suurem kui $2V_b/3$, kus V_b on tala maht.

Harjatsiooni mahud võib leida järgmiste seostega:

$$\text{kahekaldega talad } V = bh_{ap}^2 \left(1 - \frac{\tan \alpha}{4} \right) \leq \frac{2}{3} V_b; \text{ harjakõverusega talad } V = \frac{\beta \pi}{180} b (h_{ap}^2 + 2r_{in} h_{ap}) \leq \frac{2}{3} V_b$$

$$\text{kahekaldega altkõverusega tala (bumerangtala) } V = b \left[\sin \alpha \cos \alpha (r_{in} + h_{ap})^2 - r_{in}^2 \frac{\pi \alpha}{180} \right] \leq \frac{2}{3} V_b$$

$$\text{Tõmbel ristikiudu koos nihkega peab olema täidetud järgmine tingimus: } \frac{\tau_{d}}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$$

kus: τ_d arvutuslik nihkepinge; $f_{v,d}$ arvutuslik nihketugevus; $\sigma_{t,90,d}$ arvutuslik tõmbepinge ristikiudu;

k_{dis} ja k_{vol} on toodud ülal.

Paindemomendi põhjustatud suurim ristikiudu mõjuv tõmbepinge arvutatakse järgmiselt:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

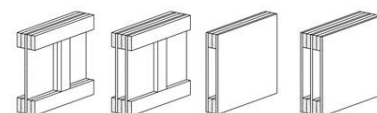
Soovitavalt rahvusliku lisa kohaselt

kus: $M_{ap,d}$ arvutuslik paindemoment harjatsoonis, millest tuleneb tõmbepinge pikikiudu sisekõverusega serval;

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2; \quad k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap}, \quad k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap}$$

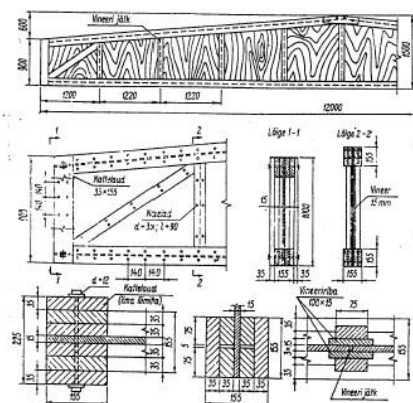
9.3 Liimitud õhukeseseinalised talad



Vineerseina ja laudadest vöödega saadakse ökonoomne talakonstruktsioon kuni 18m sildamiseks. Tala kõrgus valitakse 1/8 - 1/12l. Tala vineerseina paksus võetakse vähemalt 10 mm ja vöölaud paksusega 40 mm. Talad võib konstrueerida kas I- või karp-ristlõikega nagu on näidatud joonisel 9.3-1

Joonis 9.3-1

Joonisel 9.3-2 on esitatud kahekaldelise vineerseinaga tala. Tala seina jäikus tagatakse laudadest ribidega, mis on soovitav asetada seina vineertahvlite jätkude kohale sammuga 1/8-1/10 l. Jäikusribid asetatakse I-ristlõikega taladele kahele poole seina ning karp-ristlõike puhul kahe vineerseina vahele. Äärmistesse paneelidesse asetatakse täiendavad ribad kas diagonaalselt või vertikaalselt. Vajaduse korral võib toepaneele tugevdada täiendava vineerseinaga, mis kinnitatakse väljastpoolt vöödele ja jäikusribidele.



Joonis 9.3-2

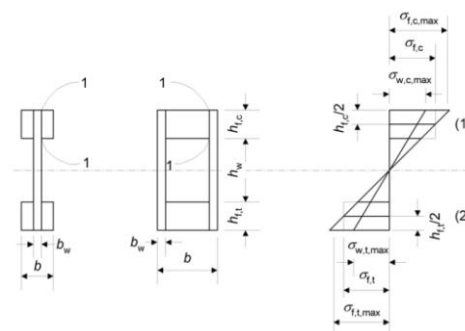
Reeglina asetatakse vineertahvli väliste spoonikihtide kiud suunaga piki ava. Vertikaaljätкод tehakse kaldlõikega. Kui aga vineertahvli väliste spoonikihtide kiudude suunad on sildega risti, siis asetatakse seina põkkjätкод jäikusribide kohale.

Arvutamine

Liimvineertalade puhul arvestatakse ristlõike redutseeritud parameetreid. Siinjuures vastavad parameetrid redutseeritakse sellele materjalile, mille tugevust kontrollitakse. Arvutustes pingeaotus tala kõrguses oletatakse lineaarsena (joonis 9.3-3).

Vineerplaat omab suuremaid roomedeformatsioone, kui monoliitpuit ja seega normaalpinged vöödes ajas suurenevad. Siit tulenevalt normaalpinged seinas arvutatakse hetkelise ja vöödes lõpliku nihke olukorras.

Erinevate materjalidega moodustatud liitristlõike korral tuleks redutseeritud parameetrite leidmisel arvestada materjalide erinevate jäikusomadustega.



Joonis 9.3-3

Eeldusel, et tala kõrguse ulatuses esineb tasapinnaline deformatsioonide jaotus, siis peaksid normaalpinged tala vöödes rahuldama järgmisi tingimusi:

$$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{m,d}, \quad \sigma_{f,t,max,d} \leq f_{m,d}, \quad \sigma_{f,c,d} \leq k_c f_{c,0,d}, \quad \sigma_{f,t,d} \leq f_{t,0,d}$$

kus: $\sigma_{f,c,max,d}$ - vöö äärmise kiu arvutuslik survepinge ; $\sigma_{f,t,max,d}$ - vöö äärmise kiu arvutuslik tõmbepinge;
 $\sigma_{f,c,d}$ - vöö keskmine arvutuslik survepinge; $\sigma_{f,t,d}$ - vöö keskmine arvutuslik tõmbepinge;

k_c - tegur, mis võtab arvesse põiksuunalist ebastabiilsust.

Teguri k_c väärtuse võib määrata (tagavara suunas, eriti karpristlõikega taladel) analoogiliselt surutud või surutud painutatud postidega. Seejuures $\lambda_z = \sqrt{12} \left(\frac{\ell_c}{b} \right)$ kus: ℓ_c - surutud vöö põiksuunaliste kinnituspunktite vahekaugus ja b - on antud joonisel 9.3.3. Kui määratakse spetsiaalselt kogu tala põiksuunalist püsivust, siis võib võtta $k_c = 1$.

$$\text{Tala seina normaalpinged peavad rahuldama tingimusi: } \sigma_{w,c,d} \leq f_{c,w,d} \quad \sigma_{w,t,d} \leq f_{t,w,d}$$

kus: $\sigma_{w,c,d}$ ja $\sigma_{w,t,d}$ on seina arvutuslikud surve- ja tõmbepinged; $f_{c,w,d}$ ja $f_{t,w,d}$ on seina surve- ja tõmbetugevus paindel.

Kui detailset seina mõlkumiskontrolli ei teostata, siis tuleb näidata, et $h_w \leq 70b_w$, mis on üheks peamiseks nõtketingimuseks seina paksuse määramisel ja tala igas seinas mõjuv arvutuslik nihkejõud $F_{v,w,Ed}$ leitakse järgnevast tingimusest:

$$F_{v,w,Ed} \leq \begin{cases} b_w h_w \left(1 + \frac{0,5(h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right) f_{v,0,d} & \text{kui } h_w \leq 35b_w \\ 35 b_w^2 \left(1 + \frac{0,5(h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right) f_{v,0,d} & \text{kui } 35b_w \leq h_w \leq 70b_w \end{cases}$$

kus: h_w - vööde vaheline puhas kaugus; $h_{f,c}$ - survevöö kõrgus; $h_{f,t}$ - tõmbevöö kõrgus;

b_w - tala iga seina paksus; $f_{v,0,d}$ - tala seinaplaadi arvutuslik lõiketugevus.

Vineerseina ja vöö liitekohas (lõikes 1-1 joonisel 9.3-3) tuleks kontrollida nihkepingeid $\tau_{mean,d}$:

$$\tau_{mean,d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{kui } h_f \leq 4 b_{ef} \\ f_{v,90,d} \left(\frac{4b_{ef}}{h_f} \right)^{0,8} & \text{kui } h_f > 4 b_{ef} \end{cases}$$

kus: $\tau_{mean,d}$ - arvutuslik nihkepinge lõikes 1-1, eeldades ühtlast pingeaotust; $f_{v,90,d}$ - seinaplaadi arvutuslik nihketugevus plaadi tasandis; h_f - on kas $h_{f,c}$ või $h_{f,t}$.

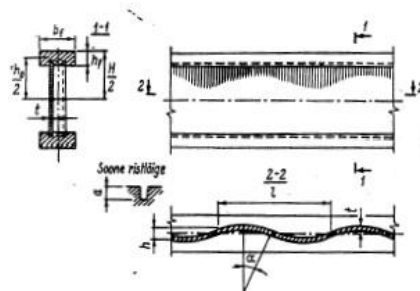
$$b_{ef} = \begin{cases} b_w & \text{karpristlõikega karpristlõikega taladele} \\ b_w / 2 & I - talad \end{cases}$$

9.4 Lainelise seinaga vineertala

Lainelise seinaga vineertalad (joonis 9.4–1) kasutatakse sildel kuni 12m. Vöö laius $b_f = 2 \dots 2,85 h$ ja tala kõrgus $h = l / (10 \dots 15)$. Seina vineeri minimaalne paksus 6mm. Tala ülemine ja alumine vöö tehakse ühesuguse ristlõikega laudadest, mille paksus on kuni 45mm.

Talade valmistamisel freesitakse vöösse 2,5 vineertahvli paksuse sügavune ja seinavineeri paksune soon. Seina laine kõrgus peaks olema vähemalt 1/3 vöö laiust. Laine kõrguse ja pikkuse suhe 1/12 ... 1/18. Tala pikkus peaks olema täisarv poollaineid. Vineeri välimiste spoonide kiudude suund võetakse

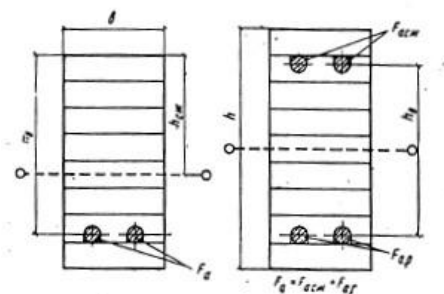
sildega risti või tala teljega 45° all. Tala toeristlõikeid tugevdatakse jäikusribidega.



Joonis 9.4-1

Lainelise seinaga vineertalade arvutus erineb sileda seinaga vineertalade arvutusest sellepolest, et laineline vineersein ei saa vastu võtta normaalpingeid kuna ta on paindel deformeeruv (järeleandev).

Lainelise seinaga vineertalad tuleb arvutada kui liittala järeleandvate sidemetega pingedeformatsiooni olukorra eksperimentaalsete uurimuste alusel. Järeleandva sidemena töötab laineline vineersein. Normaalpingete kontrollil või äärmistes kihtides kasutatakse inertsmomenti ilma vineerseinaga tööd arvestamata.



Joonis 9.5-1

9.5 Armeeritud liimpuittalad

Epoksüüdsidainete baasil valmistatud valukompaundide hea adhesioon nii puidu kui terase suhtes võimaldab talade piiratud

kõrguse puhul suurendada nende kandevõimet ja deformatsioonimadusi terasvarrastega (ka klaasplastvarrastega) armeerimise teel (joonis 9.5-1).

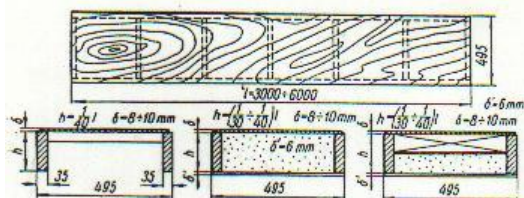
Armeeritud liimpuittalad arvutatakse redutseeritud ristlõike parameetritega ja põiklõiget käsitletakse kui monoliiti.

9.6 Liimitud õhukesevöölised talad (paneeltalad)

Õhukesevöölisi talad kasutatakse puitpaneelide valmistamiseks. Tala vöödeks on sae- või liimpuit ja vöödeks puidupõhjaline materjal: vineer, OSB plaat jmt.

9.6.1 Puit-vineerpaneelid

Katuste, seinte kui ka vahelagede moodustamiseks võib kasutada puit-vineerpaneele, mille võimalikud konstruktiivsed lahendused on esitatud joonisel 9.6-1.



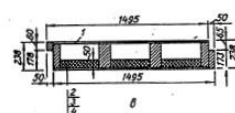
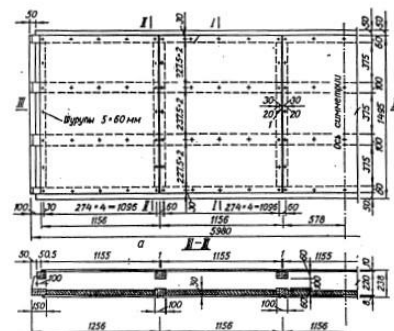
Paneel koosneb puitkarkassist, millele on kas ühelt või kahelt poolt naelutatud või liimitud vineerlehed paksusega alates 8mm. Vineer peab olema veekindel ja karkassiga ühendatakse ta selliselt, et väliste spoonide

puidukiud oleks suunatud risti paneeliga. Vajadusel paneel soojustatakse.

Joonis 9.6-1

Puitribidega soojustatud

ja soojustamata puit-vineerpaneelid (joonis 9.6-2) tehakse tavaliselt kuni 6m pikkused ja harvem 12m ning 1,2 ... 1,5m laiused. Paneelid tehakse kõrgusega $l/30 - l/40$, sõltuvalt soojustusest võib kõrgus ka suureneeda. Põhikandekonstruktsioonide vahekauguse puhul kuni 3m soovitatakse paneelid teha kahesildelised ja kõrvuti olevad paneelid

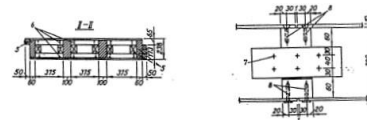


teineteise suhtes pikisuunas nihutada. Põiki hoonet kaldu asetatud paneelid võib teha ka 9 või 12m pikkused.

Puit-vineerpaneelide voodriks kasutatakse vähemalt 10mm paksust veekindlat vineeri. Karkass konstrueeritakse ca 0,5m sammuga pikiribidest, otsaribidest ja kuni 3m sammuga põikiribidest. Paneeli elemendid liimitakse omavahel veekindla liimiga karp või T-ristlõikeks. Vineerplaate kinnitatakse ka kruvide või naeltega

Paneeli surutud voodrileht asetatakse väliste spoonide kiudude suunaga risti paneeli ja tema paksus määratakse stabiilsuse ja kohaliku painde tingimusest.

Alumise voodrilehe paksuse määrab painde tingimus, arvestades vineeri jätku tugevust. Vineertahvli jätkud soovitatakse teha kaldlõikega. Võib teha ühe või kahe kattelehega. Paneeli konstruktsioon peab arvestama ventileeritavusega.



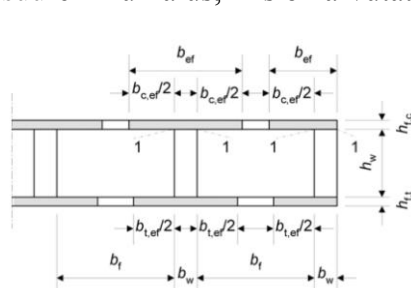
Joonis 9.6-2

9.6.2 Õhukesevööliste liimitud talade tugevusarvutus

Paneeltalade arvutusel eeldatakse kõrguse suunas lineaarset deformatsioonide jaotust. Tuleb arvestada nihkedeformatsioonidest ja mõlkumisest tingitud pingete ebahütlast jaotust vöödes.

Paneeli tugevusarvutustes arvestatakse samuti nagu vineerseinaga talade korral ristlõike redutseeritud parameetritega. Siinjuures need suurused redutseeritakse sellele materjalile, mille pingeid kontrollitakse.

Kui täpsemat arvutust ei tehta, siis käsitletakse konstruktsiooni I- või U-talade ühendusena, mille vöö arvutuslikuks laiuks on b_{ef} (joonis 9.6-3) I- ja U-ristlõikele. Efektiivsete laiuste leidmisel lähtutakse nihkel kaasatõttavast vineerplaadi laiusest. Tuleb arvestada, et survetsoonis vineertahvli laius ei saa olla suurem kui laius, mis on arvutatud lähtudes plaadi mõlkumisest. Vastavad nõuded on antud standardis.



I-taladel

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w \quad (\text{or } b_{t,ef} + b_w)$$

U-taladel

$$b_{ef} = 0,5b_{c,ef} + b_w \quad (\text{or } 0,5b_{t,ef} + b_w)$$

Konstruktiiivse nõudena normid ei luba vöö vaba laiust, mille all tuleb mõista ribidevahelist kaugust, võtta suuremana kui kahekordne mõlkumisest määratud efektiivlaius.

Joonis 9.6-3

Nihkedeformatsioonidest või mõlkumisest määratud suurimad vööplaadi (vooderdise) efektiivlaiused esitatakse standardis.

Puidupõhiste paneelide puhul tuleks I-kujulise ristlõikega talade lõikes 1-1 (joon 9.6-3) kontrollida, kas

$$\tau_{mean,d} = \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{kui } b_w \leq 8h_f \\ f_{v,90,d} \left(\frac{8h_f}{b_w} \right)^{0,8} & \text{kui } b_w > 8h_f \end{cases}$$

kus:

$\tau_{mean,d}$ - arvutuslik nihkepinge lõikes 1-1, eeldades pingete ühtlast jaotust;

$f_{v,90,d}$ - vööplaadi arvutuslik nihketugevus plaadi tasandis.

U-kujulise ristlõikega talade kontrollil lõikes 1-1 tuleb kasutada samu avaldise, kuid $8h_f$ asendatakse $4h_f$ -ga.

Vööplaadi efektiivlaiusega arvatud normaalpinged peaksid rahuldama järgmisi tingimusi:

$$\sigma_{f,c,d} \leq f_{f,c,d} \quad \sigma_{f,t,d} \leq f_{f,t,d}$$

kus: $\sigma_{f,c,d}$ - keskmine vöö arvutuslik survepinge; $\sigma_{f,t,d}$ - keskmine vöö arvutuslik tõmbepinge;

$f_{f,c,d}$ - vöö arvutuslik survetugevus; $f_{f,t,d}$ - vöö arvutuslik tõmbetugevus.

Tuleb kontrollida, et iga seina (ribi) jätku tugevus oleks tagatud.

Seina normaalpinged peaksid rahuldama avaldisi $\sigma_{w,c,d} \leq f_{c,w,d}$; $\sigma_{w,t,d} \leq f_{t,w,d}$ analoogiliselt eelpool vaadeldud õhukeseseinaliste liimitud taladega.

Kui vineerist katteplaadid ühendatakse puitkarkassiga nael- või kruviühendustega, siis tuleb ristlõigete arvutust teha mehaaniliste liidetega talade arvutuseeskirjade kohaselt. Seega tuleb arvestada liidete järelandvust.

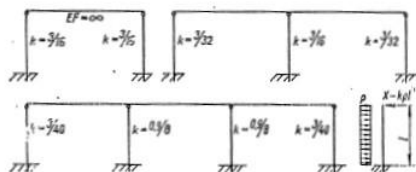
10. TÄISSEINALISED POSTID, KAARED JA RAAMID

10.1 Postid

Poste kasutatakse kas iseseisvate kandekonstruktsioonidena või varraskandjate elementidena. Käesolevalt vaadeldakse katuse kandekonstruktsioone kandvaid poste. Väga sageli konstruktiivsetel kaalutlustel kasutatakse ühest elemendist monoliitsete postide kõrval ka mitmest elemendist liitristlõikega poste. Liitpostide kinnituselementideks võivad olla naelad, poldid, naaglid, tüüblid jm.

Postid võivad olla koormatud kas ainult survejõuga või survejõu ja paindemomendiga (ekstsentriline surve). Vähem esineb ekstsentrilist tõmmet.

Post kinnitatakse katuse kandekonstruktsiooni külge harilikult liigendatudgedega. Vundamendiga kinnitatakse postid tavaliselt paindejärgalt, mis on vajalik hoone põiksuunas mõjuvate koormuste vastuvõtmiseks. Vastavad arvutusskeemid on järgmised (joonis 10.1-1):



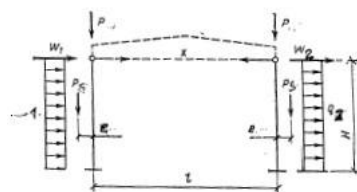
Joonis 10.1-1

Postid arvutatakse järgmistele koormustele:

- vertikaalsed alalised koormused - katuse omakaal, seina omakaal;
- vertikaalsed ja horisontaalsed muutuvad koormused - lumi, kraana koormused, mitmesugused kommunikatsiooniseadmed, tuul, kraana pidurdusjõust tekkivad koormused jmt.

Järgnevalt vaatleme kahest postist koosnevat põikraami, mille postid on ühendatud vundamendiga paindejärgalt ja riiviga liigenditega. Joonis 10.1-2

Raami riiviks on katuse kandekonstruktsioon. Alaliseks koormuseks on katuse konstruktsiooni omakaal, muutuvaks lumi ja tuul. Vertikaalne koormus posti tsentrilisel koormamisel ei põhjusta temas paindemomente. Tuulekoormuse suhtes on raam ühekordselt staatikaga määratu.



Joonis 10.1-2

Ülesande lahendamisel valitakse tundmatuks suuruseks normaaljõud riivis X (mis rakendatakse katusekandja alumisse vöösse). Eeldades, et survejäikus on lõpmata suur $EA=\infty$, määratakse normaaljõud X posti ülemiste otste horisontaalpaigutuste $w_v = w_p$ võrdsuse tingimustest:

1) vasakpoolse posti otsa paigutus on leitav seosega:

$$w_v = \frac{W_1 H^3}{3EI} + \frac{W_1 h_o H^2}{4EI} + \frac{q_1 H^4}{8EI} - \frac{9P_s e H^2}{24EI} - \frac{XH^3}{3EI}$$

2) parempoolse posti otsa paigutus on leitav seosega:

$$w_p = \frac{W_2 H^3}{3EI} + \frac{W_2 h_o H^2}{4EI} + \frac{q_2 H^4}{8EI} + \frac{9P_s e H^2}{24EI} + \frac{XH^3}{3EI}$$

kus:

w_v, w_p - vasak- ja parempoolse posti otsa paigutus;

W_1, W_2 - riivi otspinnale mõjuvate suruva ja imeva tuule resultantkoormus postide vahel;

q_1, q_2 - tuulekoormus seinale (suruv, imev);

P_s - seina konstruktsiooni omakaal;

H - posti kõrgus;

h_o - katusekandja kõrgus toel.

Kogu pikijõud riivis, tingimuse $w_v = w_p$ alusel, leitakse seosega

$$X = X_W + X_q + X_s$$

kus

$X_W = 0,5(W_1 - W_2)$; pikijõudust posti otsale

$X_q = 3/16H(q_1 - q_2)$; pikijõud tuulest seinale

$X_s = 9P_s e / 8H$ pikijõud seina omakaalust

Paindemomendid ja põikjõud posti kinnitusristlõikes on leitavad järgmiselt:

$$M = M_0 \pm XH ;$$

$$V = V_0 \pm X$$

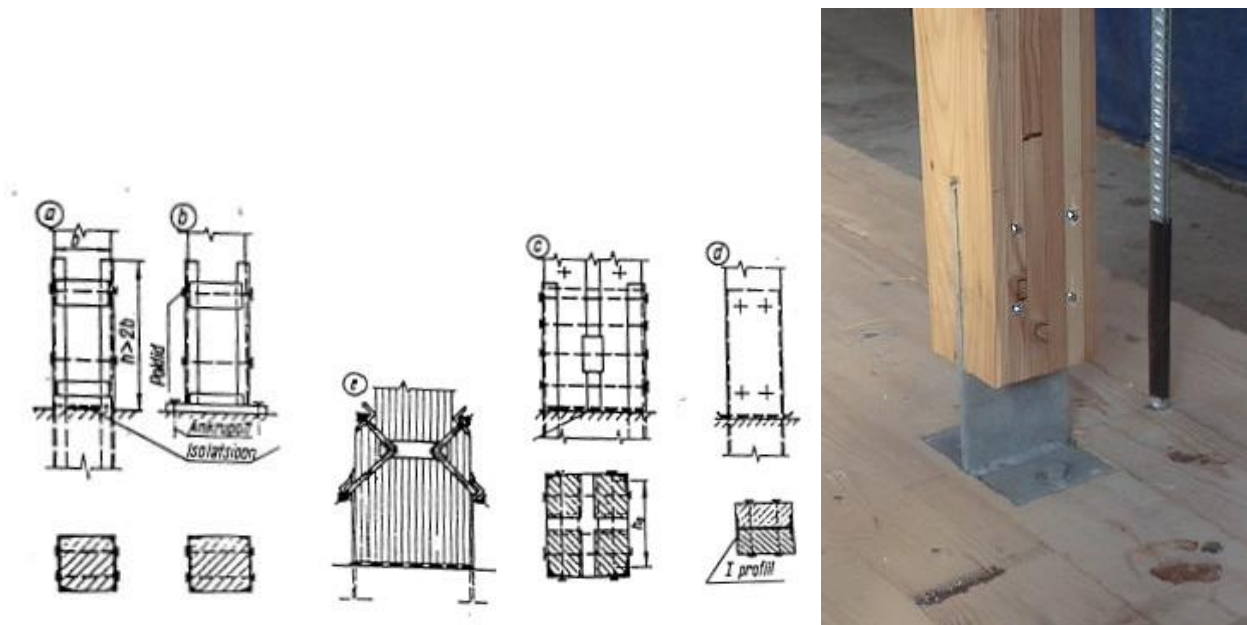
kus M_0, V_0 - on koormustest q_i ja W_i sisejõud konsooli toeristlõikes.

Tugevusarvutustes vaadeldakse posti ekstsentriliselt surutud konsoolpostina, mille arvutuslik pikkus

$$l_{ef} = 2H .$$

Posti kõrgus h_p valitakse $1/8 \dots 1/15H$ ja laius $b \geq h_p/5$. Posti kontrollitakse raami pinnas kui ekstsentriliselt surutud varrast ja tasapinnast välja kui tsentriliselt surutud elementi. Posti piirsaledus võiks olla $\lambda = 120$. Saleduse leidmisel raami pinnast välja võetakse posti arvutuslikuks pikkuseks horisontaalsidemete kinnituspunktide vaheline kaugus seina pinnas.

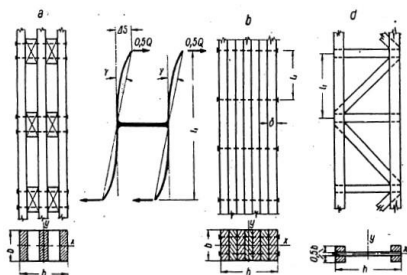
Üks vastutusrikkamaid kohti on posti jääk kinnitus vundamendile, milline peab tagama paindemomendi vastuvõtmise. Posti jala ühendused vundamendiga võib teostada väga erinevalt nagu nähtub jooniselt 10.1-3. Kui post toetub vundamendile, siis määratakse poltide arv konstruktsiooni tõmmatud serva tugevustingimusest. Sageli jäetakse posti alumine ots tema niiskumise vältimiseks vundamendist 5...10 cm kõrgemale. Sellisel juhul määratakse poltide arv posti surutud serva tugevuse tingimusest. Joonisel 10.1-3 on esitatud mõned posti ühendused vundamendiga



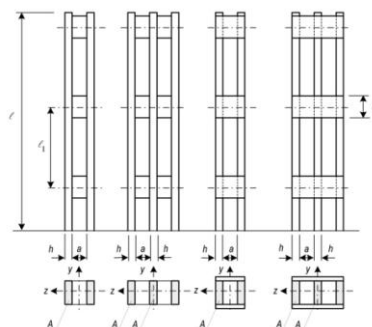
Joonis 10.1-3

10.1.1 Vaheklotsidega või nõtkelappidega liitpostid

Käesolevas osas vaadeldakse poste, mille tüvevardad on ühendatud vaheklotside või nõtkelappidega. Võib kasutada järgmiste sobivate ühendustega nagu nael-, liim- ja poltliited või koos sobivate tüübelliidetega.



Joonis 10.1-4



Joonis 10.1-5

Liitpostide valmistatakse tavaliselt järeleandvate, harvem ka jäikade kinnituselementidega. Liitelementide arvutust järeleandvate sidemetega üldstabiilsusele või põikpainele võib vaadelda kui täisristlõikega elementide arvutust, kusjuures tuleb arvestada sidemete järeleandvuse mõju.

Liitpostide kujundamine (joonis 10.1-4) võib olla mitmesugune - a) vaheklotsidega, b) varraspakett, c) liimitud sõrestik post.

Vaheklotside ja nõtkelappidega liitpostide (a) puhul tuleb arvestada lisaks sidemete järeleandvusele ka varda üksikelementide deformatsioonide mõjuga sidemete vahel.

Taoliste liitpostide arvutamisel on eelduseks, et postid on liigendtoetusega, tüve elemendid täispikkusega ja pikitelje suunas mõjuv jõud on rakendatud ristlõike raskuskeskmes.

Alljärgnevalt käsitleme nõtkelappidega liitpostide.

Vaheklotside ja nõtkelappidega liitpostides tüvevardad ja vaheklotsid võivad olla ühendatud kas nael-polt- või liimühenduse abil. Liitposti konstrueerimisel ja arvutusel tehakse normide kohaselt järgmised eeldused:

- ristlõike moodustavad 2, 3 või 4 samasugust varrast;
- ristlõige on mõlema telje suhtes sümmeetriline;
- vähim vabade vardaväljade arv on 3, s.t posti vardad on ühendatud vähemalt posti otstes ja kolmandikel;
- varraste puhas vahekaugus a ei ole suurem kui 3 varda paksust h postidel, mille vardad on ühendatud klotsidega ja mitte suurem kui 6 varda paksust nõtkelappidega ühendatud varraste puhul;
- liited, klotsid ja lapid on arvutatud vastavalt allpool esitatavale;
- klotsi pikkus l_2 , rahuldab tingimust $l_2 / a \geq 1,5$;
- vaheklotsi või nõtkelapi igas liitepinnas peab olema vähemalt 4 naela ja poltliites 2 tüübliku polti. Naelühendustes peab posti mõlemas otsas pikisuunas olema vähemalt 4 naela reas;
- nõtkelapi pikkus täidab tingimust $l_2 / a \geq 2$;
- posti koormavad teljesuunalised tsentreeritud jõud.

Kahe vardaga postide A_{tot} ja I_{tot} arvutatakse valemitega $A_{\text{tot}} = 2A$; $I_{\text{tot}} = \frac{b[(2h+a)^3 - a^3]}{12}$

Kolme vardaga postide A_{tot} ja I_{tot} arvutatakse valemitega $A_{\text{tot}} = 3A$; $I_{\text{tot}} = \frac{b[(3h+2a)^3 - (h+2a)^3 + h^3]}{12}$

Telgkoormusega liitposti kandevõime leidmine

Posti y-telje suunalisele nõtkumisele (vt joonis 10.1-5) vastav **kandevõime on võrdne üksikvööde sellesuunalisele püsivusele vastavate kandevõimete summaga.**

Püsivuse tagamiseks z-telje suunas peab $\sigma_{c,0,d} \leq k_c f_{c,0,d}$ kus $\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_{\text{tot}}}$; $\lambda_{\text{ef}} = \ell \sqrt{\frac{A_{\text{tot}}}{I_{\text{ef}}}}$; $I_{\text{ef}} = \frac{(EI)_{\text{ef}}}{E_{\text{mean}}}$

Posti z-telje suunalisel püsivuskontrollil leitakse efektiivne saledus järgmiselt: $\lambda_{\text{ef}} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \frac{n}{2} \lambda_1^2}$

kus

λ sama pikkuse, ristlõike (A_{tot}) ja inertsimomendiga (I_{tot}) täisristlõikega posti saledus $\lambda = \ell \sqrt{A_{\text{tot}} / I_{\text{tot}}}$

λ_1 postivarraste saledus, mis leitakse järgmiselt ja ta väärtuseks võetakse vähemalt 30

$$\lambda_1 = \sqrt{12} \frac{\ell_1}{h}$$

n postivarraste arv;

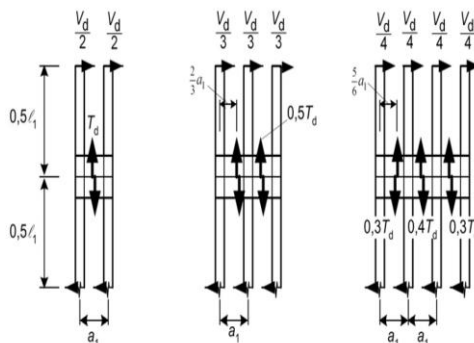
η tegur, mis sõltub koormusest, liitest (nael-, liim-, poltliide) ja ühenduselementidest (nõtkelapid, vaheklotsid).

Liidete koormus, vaheklotsid ja lapid

Sidemete, lappide ja klotside koormus tuleb võtta nagu näidatud joonisel 10.1-6, kusjuures nihkejõud nendele V_d leitakse järgmiste seostega, kusjuures liidete koormus tuleb leida jaotises 8.4.1 näidatule

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120 k_c} & \text{for } \lambda_{ef} < 30 \\ \frac{F_{c,d} \lambda_{ef}}{3600 k_c} & \text{for } 30 \leq \lambda_{ef} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60 k_c} & \text{for } 60 \leq \lambda_{ef} \end{cases}$$

Lappide ja klotside nihkejõud, vt joonis 8.4-10, tuleb arvutada valemiga $T_d = \frac{V_d l_1}{a_1}$



Joonis 10.1-6 Nihkejõudude

klotsidele

jaotus ja koormus lappidele või

10.2 Kaared ja raamid

Tabel 10.1

	$\geq 14^\circ$	15-50	$h \sim \frac{l}{30}$
	$\geq 14^\circ$	20-100	$h \sim \frac{l}{40}$
	$\frac{f}{l} \geq 0,144$	20-100	$h \sim \frac{l}{50}$
	$\geq 14^\circ$	15-25	$h \sim \frac{s_1 + s_2}{13}$
	$\geq 14^\circ$	10-35	$h \sim \frac{s_1 + s_2}{15}$
	$\geq 14^\circ$	15-50	$h \sim \frac{s_1 + s_2}{15}$
	$\leq 20^\circ$	10-25	$h \sim \frac{l}{25}$

Kasutatakse kahe või kolme liigendiga nii täisseinalisi kui ka sõrestikkaari ning raame. Käesolevas jaos vaatleme mõningaid täisseinalisi kaar- ja raamkonstruktsioone (tabel 10.1)

Kaare telg jälgib üldiselt hästi survejoont, mistõttu on dimensionimisel mõõduandvateks sisejõududeks N ja M .

Raamkonstruktsioonid on vähem ratsionaalsed selletõttu, et neis esinevad suuremad ekstsentrilisused. Ühtlasi on momendi muutus raamis intensiivsem kui kaares, millest tingituna tuleb arvestada ka põikjõudu V . Tasapinnaliste kaarte ja raamide arvutusel tuleb arvestada järgmisega:

- kõrvalekalletega sirgusest;
- materjali mittehomoogensus.

Märkus: sirgusest kõrvalekaldeid ning mittehomoogensust arvestavad kaudselt standardis esitatud arvutusmeetodid.

Elemendi tugevuskontrollil tuleb arvestada ristlõikepindala vähenemisega.

Ristlõikepindala vähenemise võib jätta arvestamata järgmistel juhtudel:

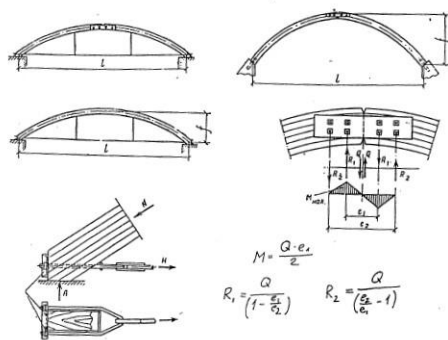
- 8 mm või väiksema läbimõõduga naelad ja kruvid, mis on sisestatud ilma ettepuurimiseta;
- survetsoonis olevad augud, mis on täidetud puidust suurema jäikusega materjaliga.

Mitme kinnituselemendiga liite puhul tuleks efektiivse ristlõike leidmisel arvestada avadega, mis on üksteisele lähemal, kui pool miinimumvahekaugust pikikiudu.

Vaatamata neile puudustele leiavad raamid ehitistes arhitektuurilistel ja mõningatel konstruktiivsetel kaalutlustel siiski sagedast kasutamist.

10.2.1 Tasapinnalised täisseinalised kaared

Liimpuidust kaared



Kasutatakse nii kahe kui ka kolme liigendiga tõmbiga ja tõmbita kaari 10.2-1

Liimpuidust kaared on soovitatav valmistada konstantse ristlõikega kogu silde ulatuses. Sille võib olla 12 - 60 (kuni 100m). Lameda kaare tõus $f \geq l/6$ ja kõrge kolme liigendiga kaare puhul $1/3 \dots 2/3l$. Kaarelemendi kõrguseks võetakse $h = (1/30 - 1/50)l$. $b/h = 1/5 - 1/6$.

Joonis 10.2-1

Kaare kannad toetatakse vundamendile tsentriselt kas vahetult või terasliigenditega. Kaare silde puhul enam kui 30m peab üks tugi olema liikuv.

Harjasõlmes toetatakse kaare pooled ots otsaga või kasutatakse metallist valmistatud liigendit. Mõeldav on ka kasutada kõvast puidust silinderliigendit. Jätk varustatakse puidust või terasest jätkulappidega.

Kaare tugevusarvutustel kasutatakse järgmisi koormuskombinatsioone:

- alaline ja muutuv koormus kogu silde ulatuses ning riputatud koormus,
- alaline koormus kogu sildel ja muutuv koormus poolel sildel ning koormus riputatud seadmetest.

Kõrge kaare korral (nooljas kaar) arvestatakse vajaduse korral ka ajutise koormuse rakendust silde osadel ning tuulekoormust.

Märkusena olgu öeldud, et kui kaare tõus on $f \leq l/4$ võib kahe liigendiga kaart arvutada nagu kolme liigendiga kaart.

Harjasõlme 3-liigendiga kaarte korral võib lahendada puitlappidega poltühendusel, mis peavad vastu võtma põikjõu ühepoolsest muutuvast koormusest ja tagama sõlme jäikuse tasapinnast välja. Selline harjasõlme konstruktsioon on rakendatav silletel kuni 18m (joonis 10.2-1).



Suuremate sillete korral on vajalik konstrueerida metallist liigendsõlm (joonis 10.2-2)

Kui on tõmbiga kaar, siis kaares tekkiv horisontaalne toereaktsioon võetakse vastu tõmbi poolt. Seejuures tõmb valmistatakse profiil- või ümarterasest.

Joonis 10.2-2

Ülemine vöö töötab ekstsentrilisele survele ja seega arvutusel tuleb kasutada vastavaid eeskirju.

Kontrollarvutus tuleb teha ristlõikes, kus paindemoment M on suurim ja sellele vastav normaaljõud N .

Kui momendist tekkiv pinge $< 10\%$ kogu pingest, siis arvutust püsivusele paindetasandist tehakse survelemendi põikumisarvutuse kohaselt.

Saleduse l_{ef} määramiseks leitakse deformeerunud skeemi kohasel tugevusarvutustel järgmiselt:

- 2-liigendiga kaared sümmeetrilisel koormusel $l_{ef} = 0,35S$, kus S kaare pikkus;
- 3-liigendiga kaared sümmeetrilisel koormusel $0,58S$;

- 2-e ja 3-e liigendiga kaldsümmeetrilisel koormusel $l_{ef} = \frac{\pi S}{2\sqrt{\pi^2 - \alpha^2}}$, kus α - kaare kesknurk;

- 3-e liigendiga kaared ebasümmeetrilisel koormusel $0,58S$;

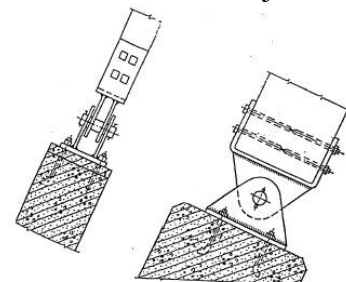
- nooljate kaarte korral, kui harja nurk $>10^0$ kõikide koormuskombinatsioonide korral $0,5S$.

Põikumise kontroll tehakse nagu ekstsentriliselt surutud vardal. Vajalik on kontrollida liimvuuki löikele (nihkele).

Kattelappide poltühendused harjasõlmes arvutatakse põikjõule ebasümmeetrilise koormuse korral. Kattelappide dimensioonimisel tuleb neid kontrollida paindele. Poltühendustes tekkivate jõudude määramine on esitatud joonisel 10.2-3.

NB! Poltide arvutamisel lähtutakse jõududest, mis mõjuvad risti kiududega .

Toe kinnitus arvutatakse maksimaalsele põikjõule (V). Toesõlme üks võimalik lahendus on esitatud joonisel 10.2-3 Suuresildeliste kaarte korral on toe ja harjasõlmede konstrueerimine küllalt keerukas. Silmas



Joonis 10.2-3

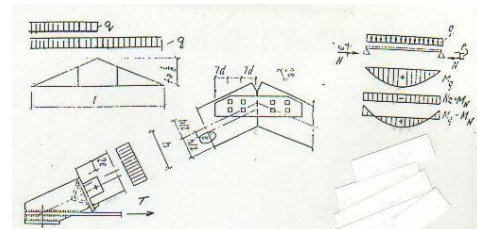
tuleb pidada rida konstruktiivseid nõudeid, mis on seotud puidu kaitsega. Nimetatud sõlmühendused tehakse metallist, mis võimaldavad liigendeid valmistada arvutuskeemi kohaselt.

Kolmnurkne liimpuidust kaar

Vaatleme käesolevalt lihtsat kolme liigendiga sirgetest liimpuidust elementidest koostatud terastõmbiga kaart.

Joonis 10.2-4

Konstruktsioonile mõjuv ajutine koormus tuleb rakendada selliselt, et tema elementides tekiksid maksimaalsed sisejõud s.t varieerida erinevate koormuskombinatsioonidega.



Kaare kolmnurkse kuju puhul töötab kumbki poolkaar paindele ainult sellest koormusest, mis on rakendatud vastavale poolkaarele. Sel juhul teine poolkaar töötab ainult

survele (muidugi omakaalust tekib paine). Sellise kaare max sille on kuni 18 m ja kaare tõus $f \geq l/8$.

Suuremate sillete korral tuleks ülemine vöö valmistada kombineeritud süsteemina.

Koormuskombinatsioonid kaare tugevusarvutustel oleksid järgmised:

-arvutuslik alaline ja muutuv koormus kogu silde ulatuses ning koormus riputatud seadmetest, annab suurimad survejõud;

-arvutuslik alaline koormus kogu sildel ja muutuv koormus poolel sildel ning koormus riputatud seadmetest, tekivad suurimad paindepinged vöös.

Kaare kolmnurkse kuju puhul rakendatakse normaaljõud N ekstsentrilisusega välisjõududest põhjustatud paindemomendile vastassuunalise (vähendava) momendi tekitamiseks. Ekstsentrilisus ei tohiks olla suurem kui $e \leq 0,15h$.

Ühtlaselt jaotatud koormusest tekib kaares (kui liigend asub ava keskel) M_{max} kaare elemendi keskel

(silde 1/4 pikkusel) $M = \frac{q_d l^2}{32}$.

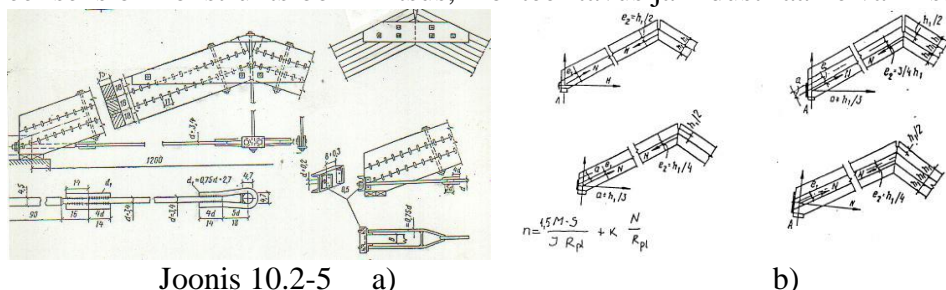
Ülemine vöö (s.o. tavaliselt liimpuitala) kontrollitakse tugevusele ja põikumisele ekstsentriliselt surutud elementide arvutusjuhiste kohaselt.

Sisejõud tõmbis, kui liigend on silde keskel, leitakse järgmiselt : $T = \frac{q_d l^2}{8f}$

Ekstsentriliste sõlmede puuduseks on see, et toesõlmedes tekib nihkepingete kontsentratsioon. Samuti tuleb sõlmed konstrueerida väga täpselt normaaljõudude seisukohast lähtuvalt.

Kolme liigendiga kaared plaatnaaglitel

Kaar koosneb kahest plaatnaaglitega ühendusel taladest ja metalltõmbist. Sellise konstruktsiooni eeliseks on konstruktsiooni lihtsus, monteeritavus ja industriaalne valmistamine joonis 10.2-5a.



Joonis 10.2-5 a)

b)

Kaar valmistatakse sildega 8...12m. Kaare suhteline tõus $f/l=1/8$. Ekstsentrisust ei arvestata momenti vähendavana.

Kumbki kolmnurkse kaare vöö töötab paindele koormusest, mis on asetatud sellele vööle. Teise poole vöö koormamine suurendab ainult normaaljõudu esimeses.

Kaare ülemises vöös, mis on koormatud omakaalu ja lumega, paindemomentide vähendamiseks tehakse sõlmed ekstsentrilistena (vt. harjasõlm). Tõmb konstrueeritakse ümarterasest koos vajalike metallist kinnitusdetailidega .

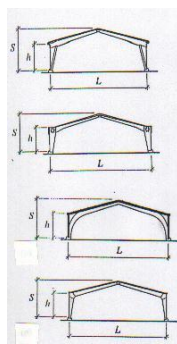
Tuleb meeles pidada, et toe- ja harjasõlmes liitelementide toepinnad oleksid liitelementi kuuluvate samade elementide tugipinnad, s.t kas üks või kaks tala mõlemalt poolt toetuksid üheaegselt nii toel kui harjas. Seejuures üksikelement loetakse toetatuks, kui tema toepind on vähemalt $1/3h$ (vt joonis 10.2-5 b)

Toesõlmes ekstsentrilisus luuakse selliselt, et toereaktsiooni ja tõmbi sisejõudude ristumine asuks allpool tala telge.

Kaare vööd arvutatakse kui ekstsentriliselt surutud varrast. Plaatnaaglite arvutamisel talas momenti vähendava ekstsentrilisusega ei arvestata. Plaatnaaglite arvu leidmisel arvestatakse nii momenti kui normaaljõudu. Naaglite arv n kaare ava veerandi ulatuses: $n = 1,5MS / (JR_{pl}) + kN / R_{pl}$. Teine liige annab naaglite arvu, mis on vajalik täiendava koormuse vastu võtmiseks, kui kõik prussid ei ole toetatud tugele, kuna toetuvad elemendid surutakse kokku ja nad lühenevad, toetamata osad aga oma pikkust ei muuda. Siit ka täiendav koormus plaatnaaglite kaudu toetamata elementidele. Tegur k võetakse järgmiselt:

- $k=0,4$ kui normaaljõud kantakse ühele äärmisele prussile;
- $k=0,2$ kui normaaljõud kantakse kahele prussile;
- $k=0$ kui normaaljõud kantakse kõikidele prussidele.

10.3 Raamkonstruktsioonid



Raam on geomeetriliselt muutumatu varrassüsteem, mille elemendid (postid ja riivid) on kõigis või mõnedes sõlmedes omavahel jäigalt ühendatud.

Joonis 10.3-1

Raamkonstruktsioonid erinevad kaarkonstruktsioonidest oma kuju poolest, mis avaldavad mõju paindemomentide jaotusele avas. Raami elemendid võivad olla nii sirg- kui kõverjoonelised (joonis 10.3-1).

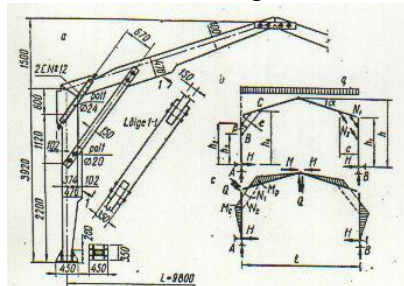
Nii näiteks murtud kujuga ülemise vööga raamides, kus harjasõlm on jäik, tekivad ühepoolse koormuse korral ühemärgilised momendid. Kui aga koormata ühtlase koormusega piki sillet, siis raami nurkades momendi väärtused kasvavad oluliselt, mis omakorda piiravad raami sillet. Seetõttu valmistatakse raamid tavaliselt sildega 20 ... 30m.

Raamkonstruktsioonid on suutelised vastu võtma horisontaalseid koormusi, tagades seejuures hoone põikjäikuse ilma postide ühendussõlmede jäigastamiseta või jäikade põikseinte rajamiseta.

Raamkonstruktsioonid soovitatakse projekteerida kolme liigendiga raamidena, kuna staatikaga määratud süsteemide korral ei toimu sisejõudude ümberjaotust konstruktsioonide deformeerumisel pikaajaliselt mõjuva koormuse korral ja seega on tagatud vastavus arvutuslikele sisejõududele. Koormusolukorrad raamide korral võetakse analoogiliselt kaarkonstruktsioonidega, kusjuures lisandub tuulekoormus.

a) Liimpuidust nurgas diagonaalsete kinnitusdetailidega kolme liigendiga raam

Liimpuidust raam, mille ristlõige kujutab paketristslõiget (joonis 10.3-2), koosneb neljast harilikult muutuva ristlõikega elemendist – kaks posti ja kaks riivi ning ühendusosad. Raam on sobiv kasutamiseks ajutistes ehitistes, näit. ehitusplatsil ajutiseks laohooneks, kuna konstruktsioon on kergesti lahtivõetav. Seinte piiretena tuleks kasutada monteeritavaid paneele.



$$N_1 = -\frac{Hh_2}{e}$$

$$N_2 = \frac{Hh_3}{e}$$

$$M_C = Ae - Hh_4 - \frac{qc^2}{2}$$

$$M_B = Hh_3$$

$$N = H \cos \alpha + q \left(\frac{L}{2} - c \right) \sin \alpha$$

Arvutuskeemis on sobiv raami teljeks võtta postis kannaliigendit läbiv vertikaaljoon ja riivis harjaliigendit läbiv ülemise pinnaga paralleelne kaldjoon.

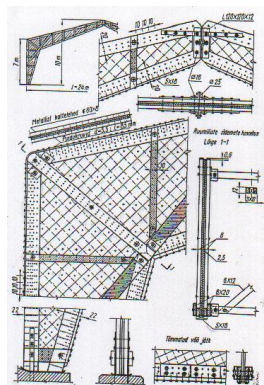
Vaadeldava raami omapäraks on posti ja riivi ühendussõlm, mis otseselt ei ole

Joonis 10.3-2

elementide vaheline jäik ühendus. Joonisel on esitatud seosed sisejõudude määramiseks.

b) Laudadest naelutatud raamid

Raami konstruktsioon on analoogiline naelutatud seinaga tala konstruktsiooniga (joonis 10.3-3).

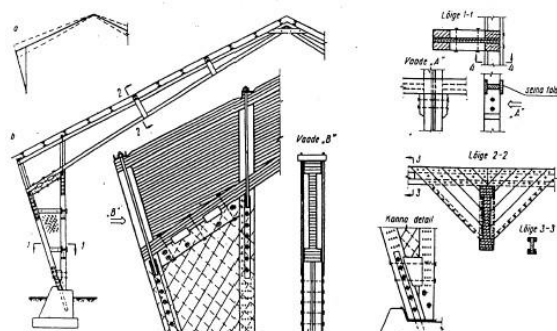


Sellist raamkonstruktsiooni on otstarbekas valmistada monteeritavana postidest ja riivist, mis objektile kokku pannakse.

Raami arvutamisel jälgitakse samu põhimõtteid, mis naelutatud seinaga talade arvutusel. Tõmbejõud raami nurga välises vöös võetakse vastu teraslatidega, mis kinnitatakse vööde külge puidukruvidega.

Joonis 10.3-3

Raami nurgas jätkatud sisemise surutud vöö põikumise vältimiseks paigutatakse nurgadiagonaali tasapinda pikisidemed, mille vööd kinnitatakse raami külge nurkeraste abil. Sisemise surutud vöö põikjäikuse suurendamiseks kasutatakse lisalauda, mis normaaljõule ei tööta.



Joonis 10.3-4

Üks näide neljast detailist koosneva raamkonstruktsiooni kohta on esitatud joonisel 10.3-4. Konstruktsioon koosneb kahest liimpuidust riivist ja kahest postist, mille sein võib olla kas laudadest või vineerist.

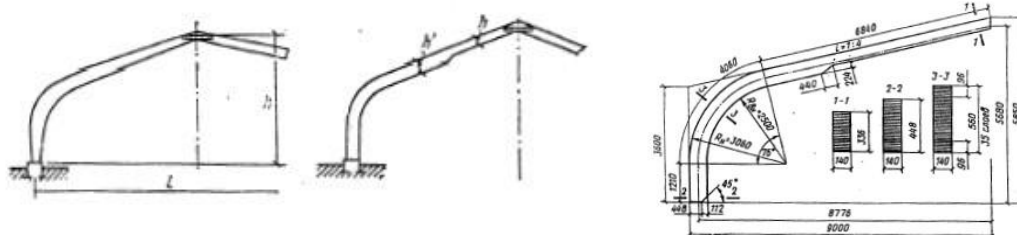
Posti sisemine surutud vöö on valitud seina tasapinnas vertikaalsena, millega tõkestatakse tema põiksuunaline nõtkumine. Riiv ja post ühendatakse metallist tõmbide abil. Posti kaldu oleva välisvöö suunaline

metallist tõmb tuleb dimensioneerida tõmbejõule.

Sisemise vertikaalse surutud posti tõmb on konstruktiivne. Tõmbidele on loodud riivi ülemisel vööl puidu muljumisele dimensioneeritud karp- ja nurkraudadest toetuspinnad. P.s posti sein kinnitatakse poltidega riivi alumise vöö külge.

c) Painutatud liimpuitelementidest raamid

Painutatud liimpuitelementidest raamid valmistatakse kolme liigendiga raamidena, mis kergendab nende valmistamist, paigaldamist ja transporti - joonis 10.3-5. Sille võib olla 15...50m.



Joonis 10.3-5

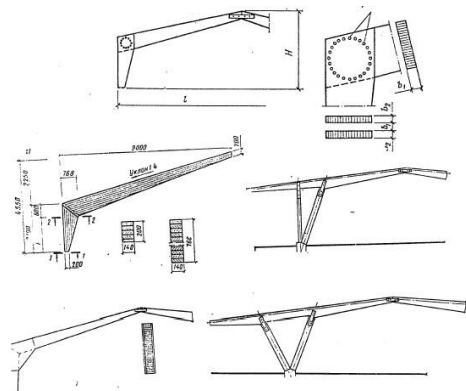
Kõverusraadius ei ole suur: 2...4m. Nende valmistamisel kõverusraadiuse ja lamelli paksuse suhe ei tohiks olla väiksem kui 150.

Painutatud raamid on enam töö- ja materjalimahukamad kui kaared. Raami elemendid valmistatakse ristkülikulise ristlõikega, seejuures muutuva kõrgusega piki raami.

Raamid töötavad survele ja paindele. Seoses raami ristlõike muutumisega tehakse tugevusarvutused mitmes erinevas ristlõikes. Raami tugevus- ja põikumisarvutus tehakse ekstsentriliselt surutud varda arvutuseeskirjade kohaselt.

d) Sirgete elementidega liimpuidust raam

Sirgete elementidega liimpuidust raamid on tehnoloogiliselt kergemini valmistatavad, kui eelpool vaadeldud. Raamid valmistatakse silletega 12...35m, posti kõrgus 2,6...4,5m. (joonis 10.3-6)



Joonis 10.3-6

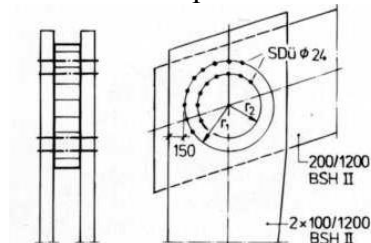
Raami elementide ristlõiked on soovitatav valmistada ristkülikulistena kõrgusega nurgasõlmes $l/(12...30)$. Harjasõlmes võetakse ristlõike kõrguseks vähemalt $0,3h$ ja posti kannasõlmes vähemalt $0,4h$.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata raami nurkadele. Nii kahe kui kolme liigendiga raami korral tekivad nurga sõlmedes paindemomendi maksimumväärtused ning seetõttu tuleb posti ja riivi ühendus teha paindejäigaks.

Suhteliselt väikeste sillete korral, 12-18m, võib riivi ja posti ühendussõlme valmistada vineerlappide peale liimimise teel. Need lapid peavad vastu võtma nii normaaljõu N kui paindemomendi M . Liimvuuki kontrollitakse nihkele. Puuduseks sellise ühenduse korral on asjaolu, et liimvuuk puidu

kuivamisel või paisumisel võib puruneda. Kindlamaks ühenduseks on riivi ja posti ühendamine hammastappühendusel.

Suuremate sillete korral, mis eeldavad ka raami elementide suuremaid ristlõikeid, kasutatakse nurgasõlme ühenduses naagelliiteid kahel ringikujulisel asetusel (joonis 10.3-7). Sellise nurgasõlme korral on riiv valmistatud ühest ja post kahest elemendist. Naagelliite arvutusel eeldatakse, et naaglid on koormatud ühesuguse jõuga. Katsed aga näitavad, et naagleid koormatakse ebauhtlaselt. Seetõttu oleks ratsionaalsem poltide töötamise seisukohalt paigaldada naaglid ellipsit järgivale joonele.

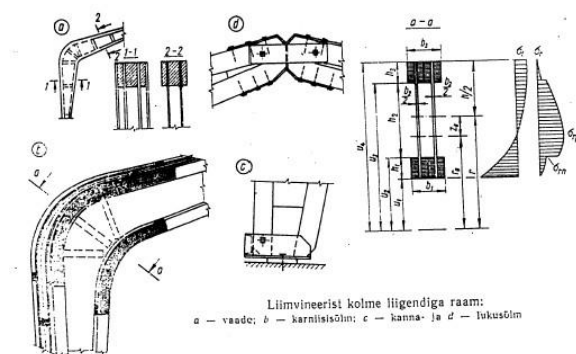


Joonis 10.3-7

Raame võib valmistada ka kahe viltuse toega. Joonisel 10.3-6 on kujutatud kahe konsooliga kolme liigendiga raam, kus riiv töötab jätkuva talana. Raami elemendid töötavad ekstsentrilisele survele ja neid tuleb arvutada vastavates ristlõigetes normaaljõududele, paindemomendile ja põikjõule.

e) Vineerist raamid

Raami riivi ristlõiked kujundatakse kas I- või karbikujulisena (ühe või kahe vineerseinaga) ja nurgas vastavalt kolme või nelja seinaga (joonis 10.3-8).



Joonis 10.3-8

Vineerseina voodrilehtede kiudude suund asetatakse piki raami telge. Raami vööd on soovitatav moodustada liimitud laudpakettidest, kusjuures nurgasõlmes kasutatakse laudadest või vineeri spoonidest painutatud liimitud vahetükke. Konstruktsioon on paljuski sarnane vineerseinaga talaga.

Raami elementide arvutamisel lähtutakse efektiivsetest ristlõigetest ja arvutus on

analoogne vineerist puittalade arvutamisega. Raami elemendid arvutatakse ekstsentrilisele survele.

11 TASAPINNALISED SÕRESTIKKONSTRUKTSIOONID

11.1 Sõrestike tüübid ja kasutusala

Sõrestikkonstruktsioonid kujutavad endast sõlmedes ühendatud varrastest koostatud ehituskonstruktsioone.

Sõrestikkonstruktsioon on üks ratsionaalsemaid puitkonstruktsioone. Nende põhilisteks kasutusalaadeks on katuse kandekonstruktsioonid keskmise pikkusega kandeavade korral ja puitsillad. Põhilised kasutatavad sõrestiku kujud koos orienteeruvate põhimõõtetega on esitatud tabelites 11.1 ja 11.2.

Tasapinnaliste katusekandjatena kasutatakse peamiselt staatiliselt määratud talasõrestikke. Staatiliselt määramata sõrestike kasutamisest hoidumise peamiseks põhjuseks on sõlmühenduste mitte-elastsete deformatsioonide tunduv mõju sõrestike varraste sisejõududele, mida on raske ette määrata. Siit tulenevalt ka mitme kõrvutiasetseva ava katmisel kasutatakse peamiselt lihttalasõrestikke.

Väliskuju järgi jagunevad katusesõrestikud kolmnurk-, trapets-, polügonaal-, segment- ja paralleelvöödega sõrestikeks. P.s. esinevad sprenge tüüpi puitmetallsõrestikud (joonis 11.1-1)

Tabel 11.1

Sõrestikkude põhinõuanded			
Jrk. nr.	Sõrestiku skeem	N i m e t u s	Kandeva L, Sõrestiku suhteline kõrgus h/L
1		Kolmnurksõrestik lauplappidel	9-21, 1/4 - 1/5
2		Trapetsõrestikud lauplappidel	12-24, 1/6
3		Polügonaaõsõrestik nael- ja poltühendustel	12-36, 1/6
4		Segmetsõrestik painutatud ülemise vööga	15-30, 1/6
5		Sprengeltüüpi kolmnurkne puit- ja metallisõrestik	9-18, 1/4 - 1/6
6		Sprengeltüüpi trapetsõrestik	12-24, 1/6 - 1/7
7		Liimitud pakettidest segmetsõrestikud	12-24, 1/6 - 1/7
8		Laudadest kolmnurksõrestikud naelühendustel	9-12, 1/4 - 1/5
9		Laudadest kolmnurksõrestikud tüübel- ja seibühendustel	12-24, 1/4 - 1/5
10		Laudadest trapetsõrestikud tüübel- ja seibühendustel	12-24, 1/6

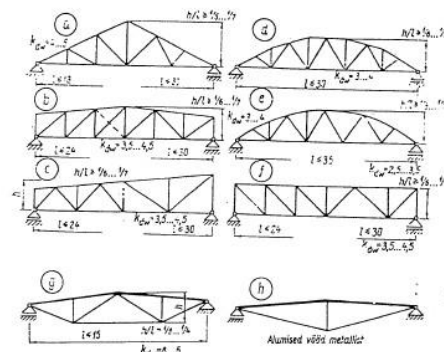
Tabel 11.2

Trägerform	Statisches System	Üblicher Binderabstand e - in m			
		Nagelbrettbinder 0,8-1,25	Karntholzbinder 2,5-5,0	Nagelplattenbinder 0,625-2,5	Binder mit eingeschnitzten Knotenblechen 2,5-8
Parallelträger für Pult- und Flachdächer		l in m $h \geq \frac{l}{10}$	5-20 $\frac{l}{5}$	5-25 $\frac{l}{10}$	5-20 (30) $\frac{l}{12}$
Trapezträger für flach geneigte Satteldächer		l in m $h \geq \frac{l}{15}$	5-20 $\frac{l}{14}$	5-25 $\frac{l}{15}$	5-20 (30) $\frac{l}{15}$
Dreiecksträger für Satteldächer		l in m $h \geq \frac{l}{8}$	5-20 $\frac{l}{7}$	5-25 $\frac{l}{8}$	10-25 $\frac{l}{8}$
Dreiecksträger für Pultdächer		l in m $h \geq \frac{l}{4}$	5-15 $\frac{l}{4}$ bis $\frac{l}{3}$	5-20 $\frac{l}{5}$	10-25 $\frac{l}{5}$
Fachwerkrahmen mit oder ohne Zugband		l in m $h \geq$		10-30 $\frac{s}{9}$	10-60 $\frac{s}{12}$

Vöödevahelise võrgu järgi jaotatakse sõrestikud tõusvate ja langevate ning risti asetatud diagonaalidega ja kolmnurkvõrguga.

Valmistada võib nii tööstuses kui ehitusplatsil.

Ehitusplatsil on kõige paremini kohaldatavad prussidest ja ümarpuidust sõrestikud lauplappidel, polügonaaõsõrestikud nael- ja poltühendustel ning painutatud laudadest või lattidest segmetsõrestikud naelühendustel.



Joonis 11.1-1

Kuna sõrestike tõmmatud vardad nõuavad kõrgekvaliteedilist defektideta puitu ning tõmbevarraste ühendamine sõlmedes on suhteliselt tülikas, siis asendatakse paljudel juhtudel sõrestiku tõmmatud võrguvarrad mõnikord terasvarrastega.

Enamkasutatavad on liimpuidust kõverjoonelise vööga segmetsõrestikud, trapetsikujulised ja kolmnurkse kujuga sõrestikud.

Sõrestiku varraste lõikepunktides moodustuvad sõlmed jaotavad konstruktsiooni vööd üksikuteks paneelideks. Paneeli pikkuse määramisel arvestatakse nii katuse konstruktsiooni elementide (talad ja sarikad) kui ka alumisele vööle riputatud laetalade sildeid ning diagonaalide kaldenurka, mis peaksid olema piires 30...60°. Liimpuitsõrestike sõlmede vahekauguseks on soovitatav valida 5m. Et sõrestiku deformeerunud alumine vöö ei rikuks konstruktsiooni üldilmet, tuleb sõrestikule anda valmistamisel eeltõus 1/200.

Sageli kujundatakse sõrestike vööd jätkuvate varrastena, mispuhul on süsteem staatiliselt määratu. Sõrestiku küllaldase kõrguse puhul on normaaljõudude arvutamisel õigustatud sõlmedes liigenditega arvutusskeemi kasutamine. Arvutusskeemis kõverad vardad asendatakse sirgetega.

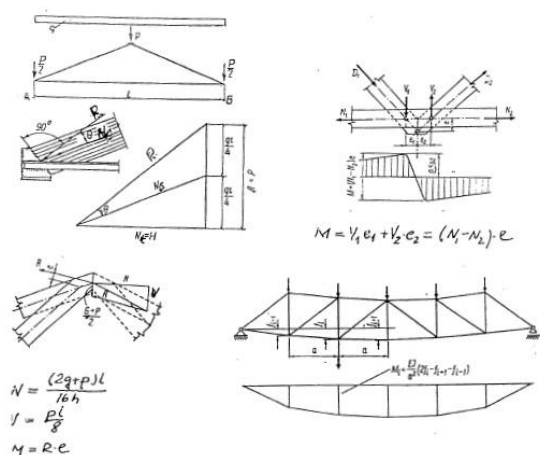
Sisejõudude jaotus varrastes oleneb sõrestiku kujust. Paralleelvöödega sõrestiku vöödes on maksimaalsed sisejõud silde keskmistes paneelides, kolmnurksõrestikel toepaneelides.

Segmentsõrestiku vööde sisejõud on praktiliselt konstantsed kogu silde ulatuses.

Võrguvarraste sisejõud on maksimaalsed paralleelvöödega sõrestikel toepaneelides ja kolmnurksõrestikel silde keskel. Segmentsõrestiku võrguvarrad on kogu silde ulatuses vähe koormatud.

Sõrestiku ülemises vöös, kus koormus on rakendatud sõlmede vahel, tekivad arvestatavad paindemomendid. Selleks, et neid momente vähendada, konstrueeritakse sõlmed selliselt, et varrastes tekkivad normaaljõud oleksid rakendatud ekstsentriliselt selleks, et vähendada väliskoormusest tulevat momenti. Ekstsentrisus ei tohiks olla suurem kui 1/4 vöö kõrgusest.

Ruumi lae koormus tuleks rakendada sõrestiku alumise vöö sõlmedesse.



Joonis 11.1-2

sõlm) $M = V_1e_1 + V_2e_2 = (N_1 - N_2)e$

Sõlmede vahel koormatud liimpuitsõrestiku vööd kontrollitakse nihkele $\tau_v \leq f_{v,d}$.

Toesõlmede arvutamisel ja konstrueerimisel tuleb silmas pidada, et ülemise vöö toetamisel tugeudel oleks toepind risti resultantjõuga, mitte elemendi teljega (joonisel toesõlm).

Sõlmedes ühendatavad vardad tuleks üldjuhul tsentreerida. Näiteks sõrestikud polt- või naelühendustel, kus sõlmede moodustamiseks läheb naaglite asetuse suhtes sõlm kohmakaks on vajalik rakendada jõud ekstsentriliselt. See põhjustab sõlmes paindemomendi, mis võetakse vastu vööga kuna võrgu vardad on väiksema jäikusega (vt. joonisel keskmine

Kui sõlme lähedal puuduvad jätkud, siis jaotatakse moment võrdselt vöö naaberpaneelide vahel. Kui üks paneel omab vöös jätku peab kogu momendi vastu võtma jätkuta paneel.

Sõrestiku koormamisel ühepoolse muutuva koormusega võib esineda mõnel juhul harja sõlmes normaaljõud N ja põikjõud V , mis koos sõlmes rakendatud väliskoormusega $(p+P)/2$ annavad resultantjõu R . Sellisel juhul tuleb sõrestiku ülemise vöö ristlõiget kontrollida ekstsentrilisele survele kuna resultantjõust tekib sõlmes ka paindemoment (joonisel harjasõlm).

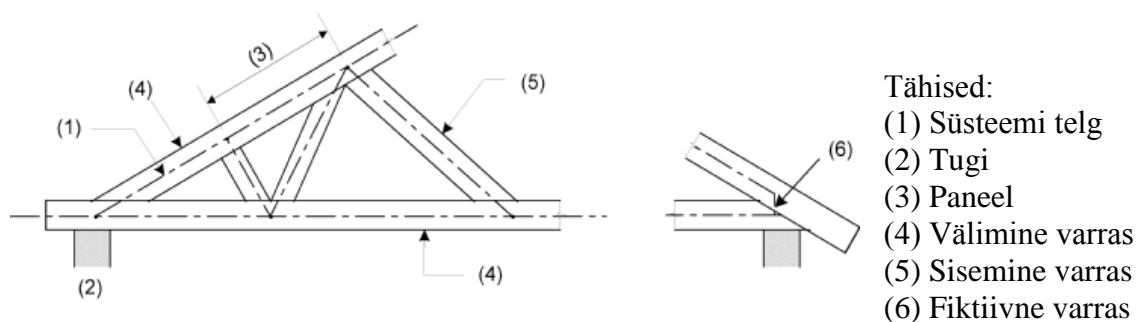
Kui sõrestiku kõrgus on minimaalsest väiksem, siis arvestatakse vöö tugevuskontrollil ka sõrestiku läbivajumisest põhjustatud momenti. $M_i = EI / a^2 * (2f_i - f_{i+1} - f_{i-1})$

Sõrestike arvutustest

Sõrestike sisejõudude leidmisel tuleb arvestada elementide ja liidete deformatsioone, tugevde ekstsentrilisuse ning tugikonstruktsiooni jäikuse mõju (vt joonist 11.1-3 konstruktsiooni konfiguratsioonide ja mudeli elementide definitsioonide kohta).

Sõrestiku arvutusel peavad kõikide elementide süsteemi teljed jääma nende elementide enda piiridesse. Põhielementidel, nagu näiteks sõrestiku välimised vardad, peavad süsteemi teljed ühilduma elemendi kesktelgedega.

Juhul, kui sisemiste varraste süsteemi teljed ei ühildu nende kesktelgedega, tuleb nende varraste tugevuskontrollil arvestada ekstsentrilisuse mõjuga.



Joonis 11.1-3 – Sõrestiku arvutusmudeli elementide näiteid

Selleks, et modelleerida ekstsentrilist toetust või varraste ühendusi, võib kasutada fiktiivseid elemente ning vedruelemente. Fiktiivse elemendi asend ning vedruelementide paigutus peavad langema võimalikult täpselt kokku liite tegeliku konfiguratsiooniga.

Esimest järku lineaarse elastse arvutuse puhul võib algdeformatsioonide mõju jätta arvestamata, kui seda tugevuse kontrollil on tehtud.

Sõrestikkonstruktsiooni arvutustes tuleks kasutada elementide jäikuste keskväärtusi. Fiktiivsete varraste jäikus oletatakse nende tegelike liidete jäikusega võrdseks.

Liited võib lugeda painde(pöörde)jäigaks, kui nende deformatsioonid ei avalda olulist mõju varraste sisejõudude jaotusele. Vastasel juhul tuleks eeldada, et ühendused on liigendid.

Sõlmedes läbilõigatud kõverjoonelise ülemise vöö paindemoment arvutatakse seosega:

$$M = M_0 - N * f$$

, kus M_0 moment lihttalas.

Sirgetes jätkuvates vöödes arvutatakse M mitmeavalise tala arvutusskeemist.

Sõrestikel, millised on koormatud peamiselt sõlmedes, tuleks normaal- ja paindepingetest põhjustatud survepingete suhete summat (survel koos paindega) vähendada 0,9-ni.

Surutud elementide tugevuskontrollil sõrestiku tasandis tuleks posti efektiivseks pikkuseks võtta läbipaindejoone naaberkäänupunktide vahekaugus.

Üleni kolmnurkvõrguga sõrestiku varda nõtkepikkus tuleks võtta võrdseks varda pikkusega (vt joonis 11.1-3) juhul, kui:

- element pole jätkuv ega otsakinnitused jäigad,
- element on kahe või enama paneeli osas jätkuv ja ilma põikkoormuseta.

Üleni kolmnurkvõrguga ogaplaatliidetega sõrestiku lihtsustatud arvutuse korral võib postide nõtkepikkuseks võtta (vt joonis 11.1-4):

- jätkuval vardal, mitte eriti oluliste kinnitusmomentidega, mille puhul paindepinged põikkoormusest on vähemalt 40% survepingetest:

- äärmises paneelis 0,8 paneeli pikkust;
- vahepaneelis 0,6 paneeli pikkust;
- sõlmes 0,6 pikema külgneva paneeli pikkust.

- jätkuval vardal, oluliste kinnitusmomentidega, mille puhul paindepinged põikkoormusest on vähemalt 40% survepingetest:

- momendiga varda otsas 0 (ilma nõtkumiseta);
 - teine paneel 1,0 paneeli pikkust;
 - ülejäänud paneelid ja sõlmed nagu kirjeldatud eelpool jätkuva, mitte eriti jäikade otsakinnitustega tala puhul 1,0 paneeli pikkust.
- kõikidel teistel juhtudel

Surutud varraste ja liidete tugevuskontrollil tuleks survejõudu suurendada 10% võrra.

Sõlmedes koormatud sõrestike lihtsustatud arvutuse korral tuleks tõmbe- ja survepingete suhete summat, samuti liidete kandevõimet piirata 70 %-ni.

Tuleb kontrollida, et varraste põiksuunaline püsivus oleks tagatud.

Sõlmed (elementide ühendused) peavad olema võimelised üle kandma transpordi ja ehitamise ajal tekkida võivaid jõudusid.

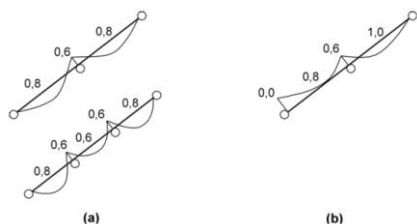
Kõik sõlmed peaksid olema võimelised üle kandma jõudu $F_{r,d}$, mis mõjub sõrestiku tasandis mistahes suunas. $F_{r,d}$ tuleks eeldada lühiajalise koormusena, mis toimib kasutusklassis 2 väärtusega:

$$F_{r,d} = 1,0 + 0,1L$$

kus:

$F_{r,d}$ - jõud, kN;

L - sõrestiku kogupikkus, m.



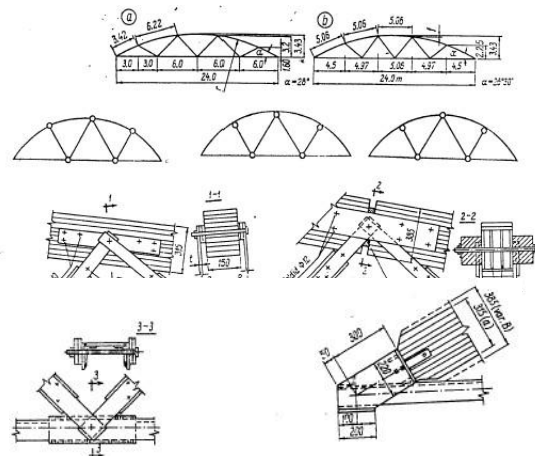
Joonis 11.1-4 – Momendi epüürid ja surutud varraste efektiiv(nõtke)pikkused.

- a) Otstes oluliste kinnituspunktideta,
- b) Otstes oluliste kinnituspunktidega.

11.2 Liimpuidust segmentsõrestikud

Joonisel 11.2-1 on kujutatud liimpuidust elementidega segmentsõrestikud koos sõlmühendustega.

Sõrestiku ülemine vöö tehakse ringikaare kujulisena kogu silde ulatuses kas jätkuvana või katkestatuna (näiteks silde keskel) tulenevalt transpordi nõuetest. Jätkuva ülemise vöö puhul tehakse toepaneel vähemalt 30% lühem a). Sõlmedes katkestatud ülemise vööga sõrestiku sõlmede vahekaugused võetakse võrdsed b).



Sõrestiku kõrguse ja ava suhe võetakse mitte vähem kui 1/6.

Sõrestike alumine vöö tehakse profiilterasest (näiteks kahest nurkterasest) ja võrguvarrad prussidest. Võrguvarraste ristlõike laius võetakse võrdseks ülemise vöö ristlõike laiusega, kuna kõrgus määratakse arvutustega. Sõrestikud valmistatakse tavaliselt sildega 24 ... 36m.

Sõrestikkonstruktsioonides on oluline sõlme konstruktsioonide lahendus. Mida vähem elemente sõlme koondub ja mida väiksemad on sisejõud, seda lihtsam on sõlme konstruktsioon. Selles mõttes on segmentsõrestikud

Joonis 11.2-1 enamsobilikud, kuna neis kasutatakse kolmnurkset võrku. Ülemine vöö on lähedane survejoonele ühtlaselt jaotatud koormuse korral ning sisejõud võrguvarrastes on suhteliselt väikesed. Soovitatav on kasutada väiksem arv paneele ja ülemise paneeli pikkus mitte vähem kui 6m.

Segmentsõrestikel on järgmised arvutuskeemid: jätkuv vöö, katkestatud vöö, läbijooksev poole sildeni.

Ülemise vöö sõlmekonstruktsioonid jätkuva ja katkestatud vöö korral on esitatud joonisel. Jooniselt nähtub, et katkestatud vöö korral kasutatakse sõlme moodustamisel metallist vahetükki ja puidust katteelemente. Ühenduspolti tuleb kontrollida paindele kahe diagonaali resultantjõust.

Jätkuva ülemise vöö puhul kandub sõlmpoldile mõjuv jõud R terasest katteelementidele ja sealt edasi sõlmlapi ja naaglite kaudu ülemisele vööle. Sõlmpolt arvutatakse lõikele ja katteelemendid muljumisele.

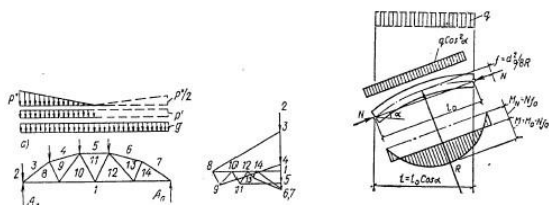
Diagonaalide otstes olevad lattraaad arvutatakse survele ja stabiilsusele.

Alumise vöö sõlmedes kaetakse katkestatud vöönurkraud kattelehtedega. Sõlmpolt arvutatakse samuti paindele nagu ülemise sõlme korralgi.

Sõrestiku toesõlm kujundatakse terasest. Külglehtedele keevitatud toeplaadi paindejäikust suurendatakse kolme ribiga. Toeplaadi sisejõud arvutatakse ligikaudselt lihttala skeemist.

Segmentsõrestike arvutamisest

Sõrestike arvutamisel vaadeldakse järgmiseid koormuskombinatsioone: alaliskoormus ja muutuv koormus üle ava; alaline üle ava ja muutuv poole ava ulatuses; alaline üle ava ja kolmnurkne koormus muutuvast koormusest (joonis 11.2-2).



Joonis 11.2-2

Sisejõude võib leida Cremona abil. Kõverjooneline ülemine vöö asendatakse sirgete lõikudega. Elemendid arvutatakse ekstsentrilisele survele. Ühtlaselt jaotatud koormuse korral painde mõju on määratav lihttala skeemi kohaselt. Katkestamata vöö korral leitakse moment mitmeavalise tala skeemi järgi (joonisel vasakul).

Katkestamata vöö korral ekstsentrilisele survele arvutades võetakse arvutus pikkused järgmised: äärmistes paneelides $0,8S_0$, keskmistes paneelides $0,6S_0$.

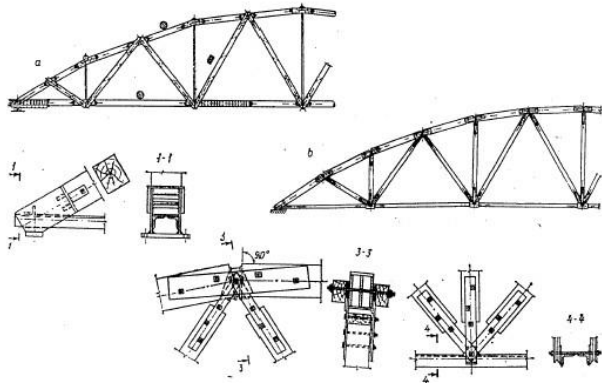
Segmentsõrestiku alumist vööd kontrollitakse tõmbele netopinna järgi. Võrguvarraste ekstsentrilisel kinnitusel tuleb arvestada lisamomente.

Surutud vardad arvutatakse pikipaindele, seejuures varda arvutuslikuks pikkuseks võetakse sõlmede vaheline kaugus. Tõmbevardad arvutatakse tõmbele koos nõrgestusega.

11.3 Täispuidust polügonalsõrestikud

Polügonaal- ehk hulknurkne sõrestik kujutab hulknurka, mis on sisse- või ümberjoonestatud ringjoone sees. $f/l = 1/6 - 1/7$ (joonis 11.3-1)

Alumise vöö võib kujundada nii puidust kui metallist. Metallist vöö projekteeritakse profiilterasest. Sõrestiku võrk kujundatakse kolmnurksete kujunditega. Paneeli pikkus on tunduvalt väiksem kui liimpuidust sõrestikel kuna prussi kandevõime on piiratud tema mõõtudega.

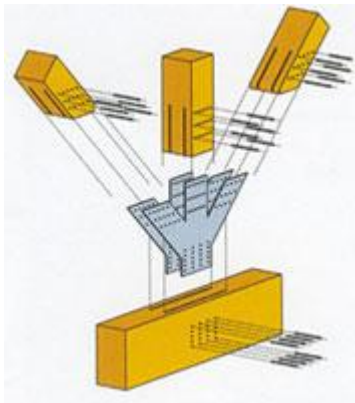


Esitatud skeemidel ülemise vöö pruss katab kahte paneeli ja seega töötab element kaheavalise talana v.a.

toepaneel, mille pikkus on kaks korda väiksem. Sõrestiku sõlmede lahendused on analoogilised eelmise sõrestiku sõlmedega .

Liimpuitelementidest sõrestike korral on laialdaselt hakatud kasutama sõlmede konstrueerimisel sõlme freesitud ühendusplaat poltühendustel. Mõningaid näiteid joonisel 11.3-2 ja 11.3-3.

Joonis 11.3-1



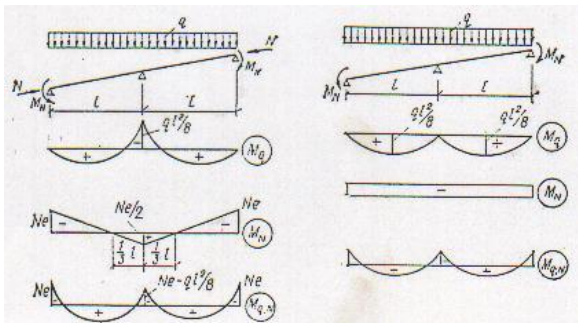
Joonis 11.3-2

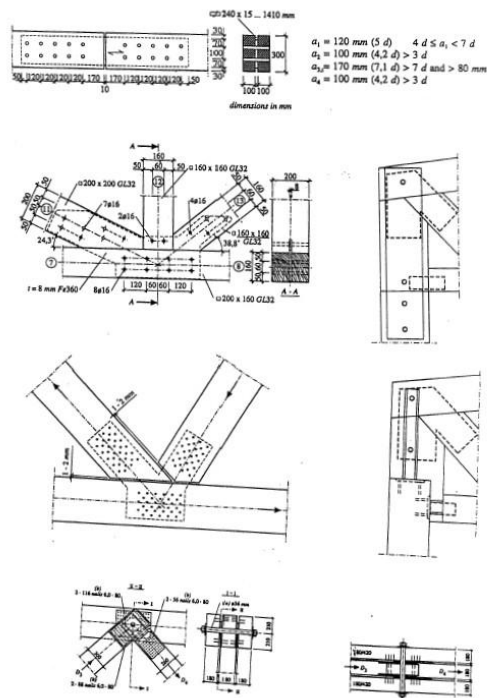
Sõrestike arvutus

Normaaljõud sõrestike elementides leitakse ehitusmehaanika arvutusmeetodite kohaselt.

Prussidest ülemise vöö element valmistatakse kahe paneeli pikkuses. Kui koormus asetada sõlmede vahele (mitte ainult sõlmedesse), siis keskmisel toel tekib paindemoment, mille suurus sõltub toe (sõrestiku posti) paigutisest, mis omakorda sõltub puidu klassist, sõrestiku valmistamisest jne. Seetõttu vaadeldakse kahte äärmuslikku olukorda (vt skeemi):

1. keskmine tugi ei vaju ja ülemine tala kujutab kaheavalist tala,
2. keskmisel toel on selline vajum, kus paindemoment on null (tugi annab järgi) ja ülemise vöö pruss töötab kui lihttala, mille sille on paneeli pikkus.





Joonis 11.3-3

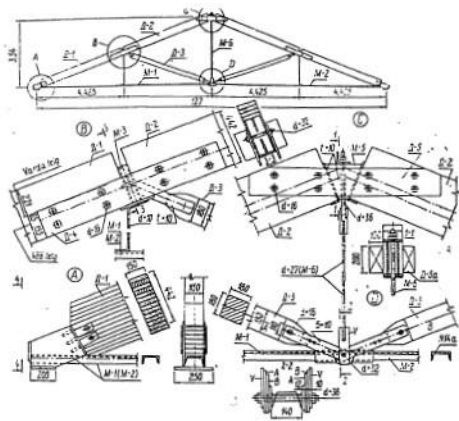
Selleks, et vähendada paindemomente sõlmede vahelisest põikkoormusest tingituna, rakendatakse normaaljõud eksentriliselt – ülemine vöö töötab survele koos paindega.

Alumine vöö – kui diagonaalid kinnitatakse (terasprofiilide külge) väikese eksentsentrisusega - tuleb arvutada tõmbele koos paindega kas puidu või terase normide kohaselt. Sõrestiku koormusolukorrad on samad, mis eelneva sõrestiku korral.

11.4 Kolmnurksõrestikud

Kolmnurksõrestikke kasutatakse suure katusekalde puhul (joonis 11.4-1). Kõrguse ja silde suhe võetakse järgmine: täispuidust sõrestikel 1/5 ja metallist alumise vöö korral 1/6. Sõrestikel, millel ülemine vöö on liimpuidust ja tõmb metallist võib see suhe olla 1/7...1/8.

Konstruktsiooni ülemine vöö tehakse kas liim- või täispuidust, surutud võrguvarjad prussidest, tõmmatud postid ümarterasest ja alumine vöö kas puidust või terasest.



Joonis 11.4-1

Sõrestiku võrk peaks olema valmistatud võimalikult väheste varrastega. Seetõttu soovitatakse kasutada neljapaneelilist sõrestikku kahe surutud elemendiga.

Suuremate avade korral tuleks prussidest kolmnurksõrestike korral ülemise vöö paneelide arvu suurendada kuni kuueni ja alumine kuni neljani (lahendatakse kolmnurkse võrguga) ühendades ülemise ja alumise vöö tõmbevardaga.

Arvutusest

Sisejõud kolmnurkses sõrestikus leitakse ehitusmehaanika arvutusmeetodite kohaselt. Erandiks on siin asjaolu, et koormates sõrestiku ühte poolt muutuva koormusega (näit. lumi) koormamata poolel sisejõude ei teki sellest koormusest. Seega sisejõud kõikides elementides saadakse ühtlaselt jaotatud koormuse korral.

Ühepoolset koormamist on vajalik sel juhul, kui on tarvis dimensioonida harjasõlme kinnitust.

Ülemine vöö töötab survele ja paindele, kui paneeli sõlmede vaheline osa on koormatud. Siin püütakse sõlm lahendada selliselt, et normaaljõud võos oleks rakendatud ekstsentriliselt.

Kui ülemine vöö on jätkuv tala, siis arvutatakse nagu polügonaaalsõrestike korralgi, kahel eeldusel:

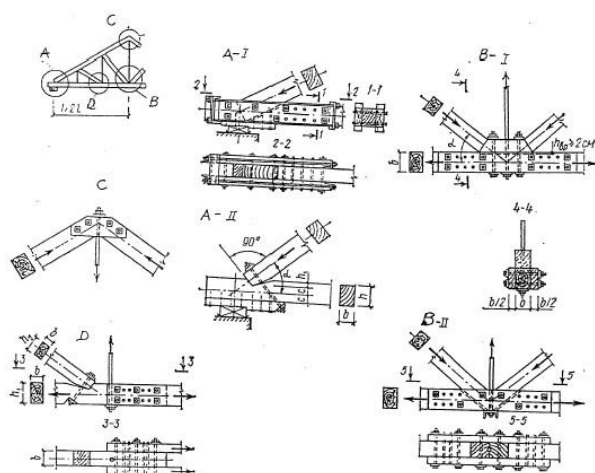
- keskmine tala ei oma paigutust – kaheavalise talana,
- keskmine tugi omab paigutust ja sellist, et $M_p = 0$, siis ülemine vöö töötab kui lihttala, mille sille on paneeli pikkus.

Metallist alumine vöö arvutatakse tõmbele arvestades nõrgestusi sõlmedes ja ühendustes.

Võrgu elementide arvutus ei erine eelmistest sõrestikutüüpidest.

Laupappidel kolmnurksõrestikud

Konstruktsioon on vanemat tüüpi ja täispuidust elementidega konstruktsiooni on suhteliselt lihtne valmistada. Sellest tingituna leiab ta tänapäeval kasutamist (joonis 11.4-2).



Joonis 11.4-2

Selleks, et tagada diagonaalide töötamist survele (nõue tingitud laupapist) kasutatakse langevaid diagonaale.

Ülemine ja alumine vöö ning survevardad valmistatakse kas prussidest või palkidest.

Ülemise vöö ühendused tehakse lauploetusega ja kaetakse kattelappidega.

Sildegagi kuni 12m tehakse alumises vöös jätkukoht ava keskel.

Suuremate sillete korral tehakse mitu jätku. Joonisel näidatud jätkud on kasutatavad ka ümarpalkidest konstruktsiooni korral.

Selleks, et vähendada pingeid lauploetusega nõrgestatud kohtades, tuleks vardad tsentreerida nõrgestatud ristlõike järgi.

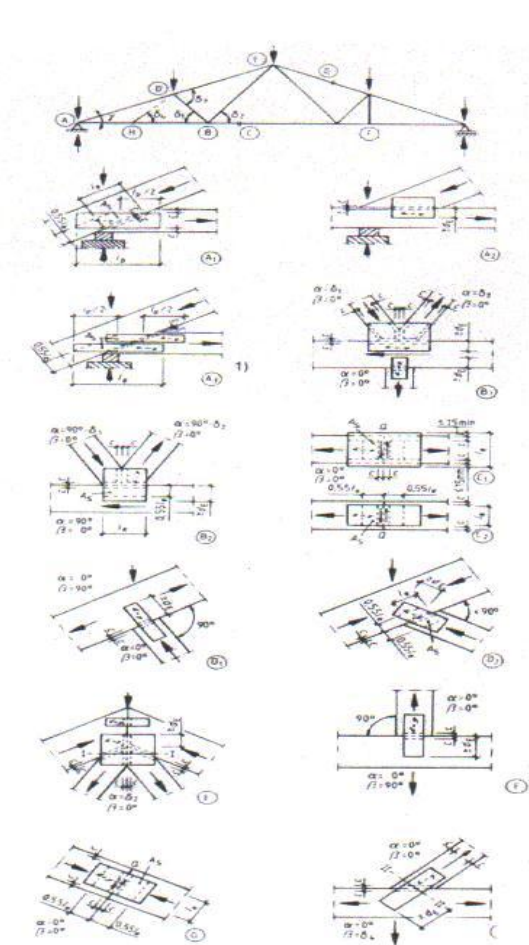
Arvutamisest

Sisejõudude leidmine on analoogne taolist tüüpi sõrestike arvutusega. Erinevus seisneb lauploetuse arvutamisel.

Toesõlm lauploetuse arvutatakse järgmiselt:

- a) alumise vöö äärmise paneeli sisejõu järgi valitakse ümarterasest tõmbide ja rangide ristlõiked ning vajalik poltide arv kattelappide ühendamiseks;
- b) metallist toekarp arvutatakse põikpainele. Samuti nurkraudadest traaversid, mis kannavad jõud tõmbidelt üle toesõlme;
- c) Puitelemendid kontrollitakse vastavalt survele ja muljumisele.

11.5 Ogaplaatsõrestikud



Joonis 11.5-1

Ogaplaatsõrestikud kujutavad endast sõrestikke ogaplaatühendustel (joonis 11.5-1), mis valmistatakse silletega kuni 18m. Suuremate avade korral (kuni 24m) tuleks kasutada paarissõrestikke.

Sõrestikud ogaplaatühendustel valmistatakse tehaselisel tootmisel, mis on varustatud vastavate seadmetega ogaplaatühenduste tegemiseks. Kõik sõrestiku elemendid valmistatakse täispuidust ja see on üks põhjus, miks ei saa neid valmistada suure sildega.

Sõrestike materjaliks peab olema hõõveldatud okaspuit minimaalse paksusega 40mm. Puit peab olema vigadeta ühenduskohtades, et vältida ogade sattumist näiteks oksa kohtadesse. Puitelementide liitekohad tuleb töödelda väga täpselt, seda eriti toesõlmes, et vältida plaadi kandevõime kaotust survel (plaadi stabiilsuskadu).

Arvutamisest

Sisejõud leitakse ehitusmehaanika arvutusmeetodite kohaselt. Normid lubavad ogaplaatsõrestike korral liidetes arvestada paindemomendiga. Suhteliselt kõrgete sõrestike korral tuleks neid arvutada kui staatiliselt määratud süsteeme.

Üleni kolmnurkvõrguga sõrestiku puhul, kus on väikesed koondatud jõud (näiteks inimese koormus), on vardaga perpendikulaarne komponent suurusega $< 1,5\text{kN}$ ja kus $\sigma_{c,d} < 0,4 f_{c,d}$, ja $\sigma_{t,d} < 0,4 f_{t,d}$, võib nõuded tõmme koos paindega ja surve koos paindega asendada tingimusega: $\sigma_{m,d} \leq 0,75 f_{m,d}$

Minimaalne ogaplaadi ülekate igale puitelemendile peab olema suurim kahest väärtusest, kas vähemalt 40 mm või üks kolmandik puitelemendi kõrgusest. Ogaplaadid, mis on kasutatud jätkudes, peaksid katma vähemalt 2/3 nõutava elemendi kõrgusest.

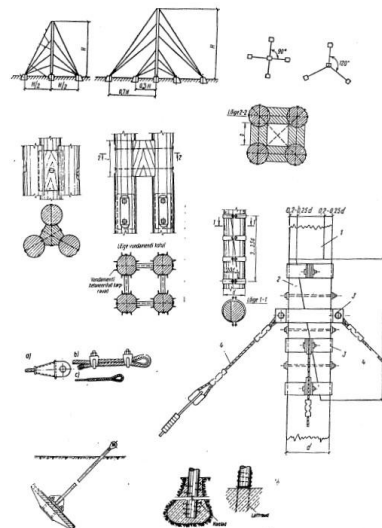
12 ERIKONSTRUKTSIOONIDE PROJEKTEERIMISEST

12.1 Mastid

Puitmaste kasutatakse juhtme- ja montaažimastidena, vahel ka antennimastidena (Joonis 12.1-1).

Kõrged mastid tehakse mitmekorruselistena. Tõmbid asetatakse plaanis kas neljas või kolmes suunas. Puitmastide korral kasutatakse tavaliselt neljas suunas tõmbide asetust. Vertikaalpinnas tuuakse tõmbid kas ühte või mitmesse ankruplokki. Mitmesse ankruplokki paigaldamisel asetatakse nad paralleelselt. See kinnitussviis annab masti ülemistele sõlmedele suurema jäikuse.

Joonis 12.1-1



Mastide ristlõikes kasutatakse palke olenevalt masti kõrgusest tavaliselt järgmiselt:
üks palk <40 m; kolm palki 45 90 m; neli palki 75 150 m.

Mitme palgi kasutamisel kujundatakse masti konstruktsioon liitvardana palgitükkidest vahetäitega. Vahetäide, mis tehakse jämedamast palgist, ühendatakse masti elementidega sisselõigatud tapi ja poltide abil. Vahetäite kiudude suund peaks ühtima posti elementide kiudude suunaga, kuna sellega välditakse tappide lahtikuivamine. Neljast palgist masti elemendid ühendatakse vahetäitega paarikaupa, üksteise suhtes nihutatult, millega vähendatakse masti ristlõike nõrgestust.

Tõmbidega jagatakse mast avadeks (mida nimetatakse ka korrusteks), mille orienteerivad suurused masti ülaosas on 20 ...25 m ja allosas 10 ... 15 m. Avade täpsed suurused määratakse staatiliste arvutustega.

Mastid projekteeritakse ümarpalkidest pikkusega kuni 12 m (ehituslikult soovitatav 8,5-9,5m) läbimõõduga 300 mm palgi ülemises otsas.

Palgid jätkatakse kaldlõikega metallrangide abil. Jätkud asetatakse üksteise suhtes nihutatult kruvijoonel.

Trossi otsad kinnituskohdades tehakse mitmel erineval moel: spetsiaalsete klambritega, mis kinnitatakse mutrite abil; seotakse traadiga või kinnitatakse terastorudest elementide kokkupressimise teel.

Masti vundament ja tõmbide ankurdusplokid tehakse tavaliselt massiivkonstruktsioonina. Mastid tuleb vundamendile toetada selliselt, et palkide otsad ei hakkaks mädanema.

Ühetüvelisi maste võib valmistada ka vineertorudest pikkusega 7 m ja läbimõõduga 300 mm. Kasutatava vineertoru seinapaksus 13 mm. Torud ühendatakse omavahel muhvidega liimühenduse abil.

Arvutusest

Arvutuste seisukohalt on tõmbidega puitmast väikese jäikusega läbijooksev/jätkuv tala elastsetel tugeudel. Arvutust alustatakse tõmbide dimensioonimisega, millele järgneb masti, vundamendi ja tõmbide ankrupoltide dimensioneerimine.

Mastile mõjuvad järgmised koormused: omakaal, seadmed, antenni võrk, tugitrosside jõud, temperatuur Δt $^{\circ}C$.

Täiendavad koormused: tuul, jäide (temp 0- -5 $^{\circ}C$).

Erilised koormused: montaaž- demontaaž, võrgu purunemine.

Arvutustes tuleks kasutada järgmisi koormuskombinatsioone:

a) omakaal, tuul, $t^{\circ} = +20$ $^{\circ}C$ või -25 $^{\circ}C$ juures;

b) jäätumine ja tuul, $t = -5$ $^{\circ}C$ korral;

c) madalaim temperatuur ilma tuule ja jäiteta.

Märkus: kombinatsioonide a ja b puhul ka elektritraadide/kaablite purunemisest tulev koormus, mis annab mastile dünaamilise koormuse.

Tuule suunda vaadeldakse kahe olukorra järgi:

1. tuule suund langeb kokku ühega trosside tasandist;
2. tuule suund langeb kokku trosside tasanditevahelise poolitajaga.

Palkmaste võib vaadelda kui jätkuvat tala elastsetel tugeudel (tugedeks vandid).

Arvestades aga jätkude väikest jäikust võib trosside sisejõudude määramisel lähtuda liigenditega skeemist. Seega võib iga korruse vantide sisejõude määrata sõltumata teistest korrustest.

Vante arvutatakse kui paindejäikuseta niite, mis on koormatud tuule või jäitega, seejuures tuleb arvestada ka temperatuuri muutustega.

Masti tüvi arvutatakse kui surutud ja painutatud varrast, kus normaaljõuks omakaal, seadmed ja trosside vertikaalsed komponendid. Moment tüvele leitakse tuulekoormusest. Maksimaalse momendi suuruseks korruse ulatuses on:

$$M = \frac{pa^2}{10}, \text{ kus } a \text{ korruse kõrgus (sildeava trosside kinnituspunktide vahel).}$$

Nihkeklotsid, poldid jm arvutatakse üldiste reeglite kohaselt (liitposti arvutuse analoogial).

Poldid kinnitatakse paigaldamise ajal nii suure jõuga (arvutus tõmbele), et tekiks hõrdejõud, mis ületab tekkiva nihkejõu. Palkide jätke tuleb kontrollida tõmbele. Kõrgeid maste tuleb kontrollida resonantsvõnkumisele tuule koormusest.

12.2 Tornid

Puidust torne kasutatakse reservuaaride kandekonstruktsioonidena, kaevanduskäikude tornidena ja põhiliselt ennastkandvate konstruktsioonidena nagu triangulatsiooni- ja metsavaatlustornid, kirikute tornid jmt.

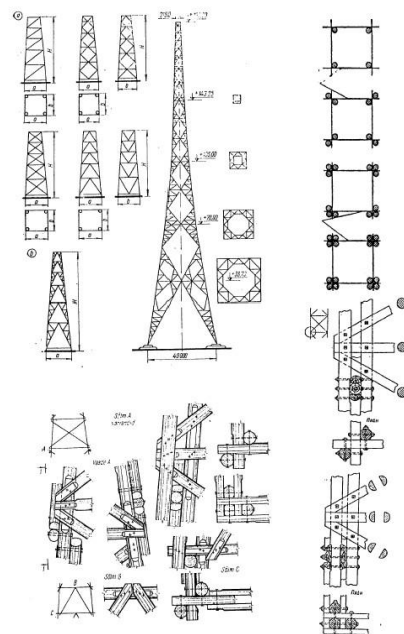
Tornid kujundatakse sõrestik-, võrk- ja koorikkonstruktsioonidena. Ruudukujulise plaanilise lahenduse kõrval kasutatakse veel kolmnurkseid, ristkülikulisi hulknurkseid ja ringikujulisi lahendusi.

Sõrestiktornid

Sõrestiktorni ristlõike väiksema külje või läbimõõdu ja kõrguse suhe võetakse $1/(8 \dots 10)$ – joonis 12.2 -1 skeemil a) on kujutatud kuni 40 m kõrguste tornide skeeme. Staatikaliselt kõige sobivam on rombiline võrguvarraste skeem, kuna surutud varraste pikkus on siin lühem võrreldes teiste lahendustega.

Joonis 12.2-1

40 ... 200 m kõrgused tornid kujundatakse kas K- või rombvõrguga, mida täiendatakse veel lisavarrastega (skeemil b). Iga 4 ... 6 m tagant jaotatakse torn horisontaalsete diafragmadega korrusteks.

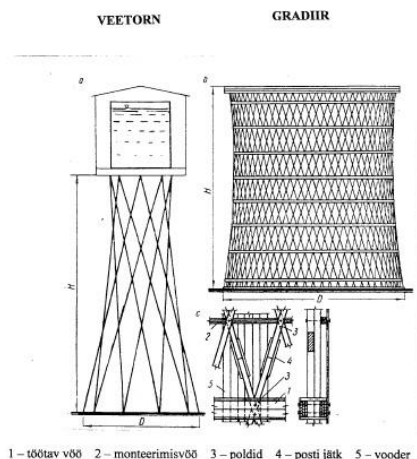


Sõrestiktornides kasutatakse põhiliselt palke ja poolpalke, harvemini prusse ja laudu.

Palkidest tornide postid moodustatakse ühest, kahest, kolmest või neljast elemendist nagu on näidatud joonisel. Võrguvardad valmistatakse ühest või kahest elemendist. Ristuvate diagonaalidena kasutatakse ka ümarterasest tõmbe. Sõlmed konstrueeritakse polt-, nael- ja harvem tappühendustel.

Torni vundament tehakse massiivkonstruktsioonis ning torni postid ankurdatakse vundamentide külge.

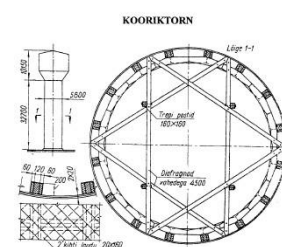
Lamelltorn – kujutab endast pöördhüperboloidpinda, joonis 12.2-2, mis kujundatakse kaldu asetatud postide süsteemist. Ristumiskohtades postid õgvendatakse ja ühendatakse poltidega ning varustatakse samades ristlõigetel horisontaalsete diafragmadega. Kirjeldatud konstruktsiooniga torni kasutatakse veetornide ja gradiiride ehitamiseks.



Joonis 12.2-2

Kooriktornid liigitatakse konstruktsiooni j00rgi ribilisteks (joonis 12.2-3) ja 00hukeseseinalisteks.

Ribidega kooriktornide p00hilisteks konstruktiivseteks detailideks on kooriku moodustaja suunalised laudadest paketristsl00ikega v00i prussidest ribad, millele on 45⁰ all naelutatud kahekihiline laudroovitis. Torni ristl00igete j00gastamiseks kasutatakse 4 ... 5 m vahedega horisontaalseid diafragmasid. Kirjeldatud konstruktsioonis tehakse peamiselt veetorne.



Joonis 12.2-3

Arvutusp00him00tted

Tornide dimensioonimisel tuleb arvestada j00rgmiste koormustega:

- omakaal, mis m00aratakse eelneva ligikaudse arvutusega;
- teenindusplatvormide ja treppide jmt. mass;
- kasuskoormused: veepaak, vesi, antennid, puurtornide puurimisseadmete ja torude jne. mass;
- tuulekoormus.

Staatikalistel arvutustel jaotatakse k00ik koormused torni s00lmedesse ja horisontaalkoormused ka torni tahkude tasanditesse. Sisej00udude ligikaudsel m00aramisel vaadeldakse torni tasapinnaliste konsools00restikkudena.

Ristuvate diagonaalidega s00restiktorni varraste sisej00udude arvutamisel eemaldatakse m00tteliselt igast paneelist 00ks diagonaal. Torni naabertahkude 00hise v00e l00plik sisej00ud on konsools00restiku staatikast saadud v00ede sisej00udude poolsumma (arvestades sisej00u m00arki)

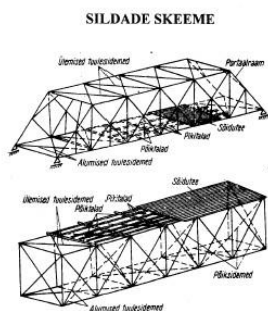
12.3 Puitsildadest

Puidu eelised sillaehituses:

- puit on h00sti vastupidav k00lmumis-sulamisprotsessidele;
- puitu ei kahjusta lume ja j00a sulatamiseks kasutatavad kemikaalid;
- probleemiks ei ole m00adanikukaitse. Bioloogiline kestvus tagatakse vastavate kemikaalidega v00i konstruktiivsete kaitsevahendite kasutamisega;
- puittoodete valmistamine n00uab suhteliselt v00he energiat ja koormab v00he keskkonda;
- puidu kasutamine v00hendab CO₂ lisandumist, kuna puiduga korvatakse fossiilsete k00ttematerjalide kasutamist.

Puitsildade sobivaim koht on jalgteesildade seas, kuid on tehtud ka maantee-sildu.

Staatikalise töötamise seisukohalt erinevad sillad ülalpool vaadeldud konstruktsioonidest sellega, et siin on ajutine koormus liikuv. Siit tulenevalt võivad kandekonstruktsiooni elementides esineda kahemärgilised sisejõud, mis nõuab ühenduste head tihedust. Maksimaalsed koormused on sillale rakendatud peamiselt lühiajaliselt.



Joonis 12.3-1

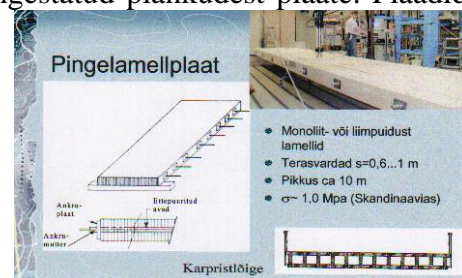
Silla konstruktsioon koosneb peakanduritest, neid ühendavatest sidemetest, sõiduteest ja tugedest (joonis 12.3-1). Olenevalt sõidutee asetusest võib esineda kaks põhilist skeemi: sõidutee üleval, sõidutee all. Kui sillaalune gabariit võimaldab, siis eelistatakse lahendit sõiduteega ülal, mis võimaldab kasutada enam kui kahte peakandurit.

Silla sõidutee moodustatakse üldjuhul piki- ja põiktaladest kas monoliitse või liitristlõikega. Seega kasutatakse nii täis- kui liimpuitu olenedes silla avast ja kandekonstruktsioonidest.

Sõiduteed võib kujundada sõidusuunaga risti asetatud väikese läbimõõduga palkidest või poolpalkidest, mis omakorda võivad olla kaetud ühe või kahe laudisega. Kahekordse laudise puhul on alumine töötav. Pealmine laudis (nn kulumislaudis) paigaldatakse sõidusuuna suhtes pikuti, risti või ka diagonaalselt. Kahel viimasel juhul saadakse sobivaim koormuse jaotus töötavale laudisele ja viimasel juhul on autode liikumine sillal sujuvam.

Viimastel aastatel on sildade sõidutee kattena hakatud kasutama pingelamellplaate.

Pingelamellplaat (joonis 12.3-2) kujutab endast terasvarrastega pingestatud plankudest plaate. Plaadid võeti kasutusele 1981.a. Kanadas ja esimesed koosnesid ümarpuidust ning olid mõeldud metsaveoteedele. Tänapäevaks on USA-s ehitatud enam kui 400 pingelamellplaadiga kaetud silda. Eriti populaarsed on need teist järku maanteedel ning metsaveoteedel. Samuti on pingelamellplaate edukalt kasutatud Rootsis ja Soomes nii sildades kui ka majade vahelagedes. Vahelagedena on selliste plaatide helipidavus palju parem kui tavalistel talalagedel.



Joonis 12.3-2

Pingelamellplaadi tööpõhimõtteks on piisava lamellide vahelise hõõrde saavutamine. Plaadi paksus on tavaliselt 20 - 30 cm, pingestusvardad paiknevad ca 60 - 100 cm sammuga. Vardad asuvad plaadi kõrguse suhtes tsentriliselt. Plaadi pingestamine toimub järk-järgult, tavaliselt hüdrotrungraua abil. Okaspuidu eelpingest tulenev minimaalne pikaajaline lamellidevaheline survepinge peab normide järgi olema vähemalt $0,35 \text{ N/mm}^2$.

Pingelamellplaadid on ka Eesti tingimustes ökonoomne alternatiiv silladekiks või vahelaeks. Plaadi valmistamiseks võib kasutada madala tugevusklassiga puitu.

Väikese silde puhul täidavad peakandurite ülesannet pikitalad. Eestis toodetava liimpuidu baasil on võimalik peatalad valmistada pikkusega kuni 30 m, kolmeliigendilise kaarkonstruktsioonina on võimalik katta ca 55 m sildeava.

Arvutusest

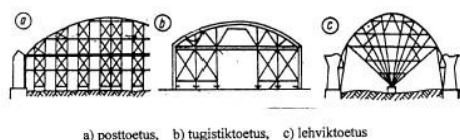
Silla kandekonstruktsioonide elementide sisejõud nii liikuvast kui ka alaliselt mõjuvast koormusest arvutatakse mõjujoonte abil. Puitsildu projekteeritakse standardi EVS-EN 1995-2:2007 „Puitkonstruktsioonid. Osa 2: Sillad“ nõuete kohaselt.

12.4 Suureavalised raketised

Raketised on ajutised konstruktsioonid raudbetoonist, kivist aga ka puidust kaar-, võlv-, kuppel-, ja koorikkonstruktsioonide valmistamiseks. Raketised on väga vastutusrikkad konstruktsioonid mitmes mõttes. Ebaõigesti projekteeritud ja valmistatud puitraketistega on esinenud tõsiseid avariisid ja seda eriti lahtirakestamisel.

Raketised koosnevad järgmistest elementidest:

- raketise põrand (laudis), mis on betooni jmt. paigaldamisel vormiks;
- põrandat toetavatest taladest või kaartest;
- talasid või kaari toetavatest postidest (vajaduse korral).



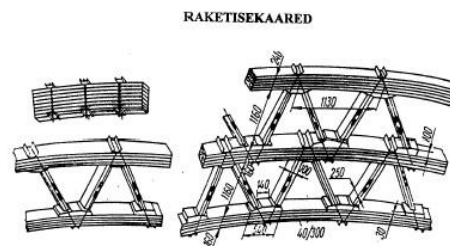
a) posttoetus, b) tugistiktoetus, c) lehviktoetus

Raketise tüübid on väga mitmesugused, oleneb ehitatava konstruktsiooni kujust, mõõtmetest ja teostamise tingimustest (joonis 12.4-1). Enamkasutatavad raketise skeemid: a – posttoetus, b – tugistiktoetus, c – lehviktoetus.

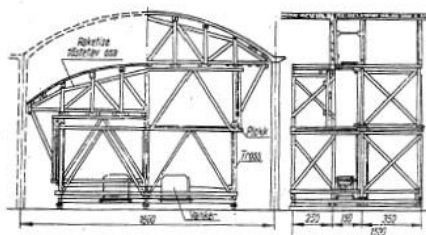
Joonis 12.4-1 Väikese kõrguse puhul kasutatakse posttoetust, kusjuures postide samm võetakse 2,5 ... 3,0 m. Ehitusaluse gabariidi vabastamiseks kasutatakse raketise põranda toetamiseks tugistiktoetust. Lehvikoetust kasutatakse kõrgete ehitiste puhul.

Suurt puidu kokkuhoidu annavad vahetugedeta kandekonstruktsioonid. Üheks näiteks võiks olla laudadest kaarkonstruktsioonid (joonis 12.4-2), milles kuivad saetud laudad metallrangide abil kokkusurutuna arendavad väliskoormusest põhjustatud painde-nihkejõudu ületava hõõrdejõu. Selliselt ehitati näiteks Šveitsis 100 m avaga raudbetoonkaarsilla mitmekorruseline puitraketis.

On ütlematagi selge, et raketise paljukordse kasutamisega on võimalik alandada valmistatava konstruktsiooni maksumust, mis saavutatakse materjali ja konstruktsiooni sobiva valikuga: näiteks raketise põranda võiks ehitada bakeliiditud vineerkiilpidest.



SILINDERKOORIKU LIHKURAKETIS



Joonis 12.4-3

Joonis 12.4-2

Samal eesmärgil kasutatakse ka liikuvaid raketisi. Näitena võiks olla mitmesildelise silindrilise raudbetoonkooriku liikuv raketis (joonis 12.4-3), mis projekteeriti ühe kooriku osa betoneerimiseks. Raketise nihutamiseks kooriku diafragma alt läbi lastakse raketisepõrand alla ja tõstetakse kooriku järgmises väljas uuesti projektasendisse.

Arvutusest

Raketised arvutatakse lühiajalistele koormustele. Raketise koormused määratakse ehitustööde teostamise tehniliste tingimuste kohaselt. Raudbetoonkonstruktsioonide raketise koormused tuleb võtta vastavatest normidest. Koormuste põhikombinatsioonid on järgmised:

- alaline – omakaal;

– ajutine, mis paigaldatakse kõige ebasoodsamas asendis ja mis koosneb püstitatava ehituskonstruktsiooni massist, kasutatavatest seadmetest dünaamilise teguri 1,2 ... 1,5 arvestamisega, materjalide massist jmt.

Kõik raketise põrandad (laudised) ja laudist kandvad talad kontrollitakse lisaks järgmistele ajutistele koormustele:

- koondatud koormus 1,5 kN;
- ühtlaselt jaotatud koormus 2,5 kN/m²;
- koormus betooni vibreerimisel 2,0 kN/m²

Horisontaalkoormused:

- külgtuul;
- värske betoonisegu horisontaalne hüdrostaatiline surve (vastavalt standarditele);
- koormused löökidest, mis tekivad betooni väljalaadimisel raketisse (standardi kohaselt);
- koormus betoonisegu vibreerimisest 4,0 kN/m² raketise vertikaalpinnale (kui eelmised koormused puuduvad).

Raketise arvutus ümberlükkele tuleb teha tuulekoormuse ja omakaalu üheaegsel toimel, kasutades vastavaid koormuse osavarutegureid.

Piirdeformatsioonid (läbipainded) painutatud elementidel peaks olema vähemalt 1/400 avast.

Raketis, võlvkaared jmt. projekteeritakse nii, et peale betoneerimist või kivide paigaldamist vastaks selle geomeetria konstruktsiooni projekteeritud geomeetria.

Raketise arvutamisel tuleb arvestada, et raketisekaarte (võlvkaarte) vajumine koosneb elastsetest ja mitteelastsetest deformatsioonidest.

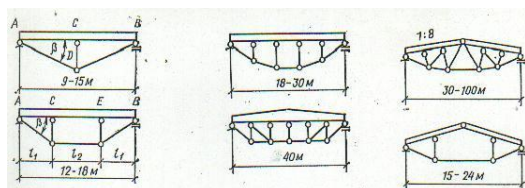
Elastseid deformatsioone saab määrata piisavalt täpselt. Mitteelastsed deformatsioonid sõltuvad kohalikest muljumisdeformatsioonidest, puidu põiksuunalisest kuivamisdeformatsioonidest, tugevde vajumisest, mis on raskelt määratavad (arvutustes tuleb arvestada sidemete järeleandvusega).

12.5 Kombineeritud süsteemid

Selles jaotises tuuakse ülevaade sprengelsüsteemidest. *Sprengelsüsteemiks* nimetatakse eraldi töötavatest puitelementidest moodustatud varrassüsteemi, mis sisaldab veel täiendavaid terasest harvemini puidust elemente, mille ülesanne on vähendada paindemomente nn. põhielemendis.

Joonisel 12.5-1 on esitatud rida skeeme sprengelsüsteemidest (joonisel sprengeltalad). Skeemidest lihtsaim kombineeritud konstruktsioon on ühe postiga *sprengeltala*.

Sprengelsüsteemid on staatiliselt määratud süsteemid.

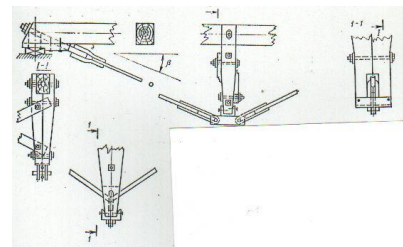


Joonis 12.5-1

Konstruktsiooni ülemine vöö ja postid projekteeritakse kas täis- või liimpuidust. Alumine vöö projekteeritakse tavaliselt ümarterasest pingutuslukkuga: tähtis on, et teraselemente oleks võimalik pingestada.

Joonisel 12.5-2 on esitatud ühe postiga sprengeltala koos sõlmede lahendusega

Püsivuse tagamiseks ühendatakse spregeltala ülemine vöö katusekonstruktsiooniga ja spregli postid paarikaupa pikisidemetega.



Joonis 12.5-2

Joonisel 12.5-3 on esitatud liimpuit-spregelsõrestik ja sõlmed:



Joonis 12.5-3

Arvutamisest

Sisejõud varrastes leitakse tavalise ehitusmehaanika arvutuseeskirjade kohaselt. Arvutamisel vaadeldakse konstruktsiooni kahte äärmist olukorda:

- ülemise vöö keskmine sõlm ei paigutu vertikaalselt, mispuhul ta töötab tavalise kahesildelise talana. Siinjuures paindemomendi vähendamiseks rakendatakse normaaljõud ekstsentriliselt;
- keskmine sõlm paigutub selliselt, et toemoment sõlmes muutub nulliks ja spregeltala koosneks nagu lihttaladest, kus moment võrdub lihtala momendiga ning ta võib olla vähendatud suurusega $N \cdot e$ (normaaljõud * ekstsentrilisus).

Ülemine vöö arvutatakse survele koos paindega. Terasest elemendid arvutatakse teraskonstruktsioonide arvutuseeskirjade kohaselt.

Kombineeritud süsteeme võib edukalt kasutada ka avariihtlike konstruktsioonide tugevdamiseks.

13. PUITKARKASSIGA HOONETE KONSTRUEERIMINE JA ARVUTAMINE

13.1 Väikeelamutest

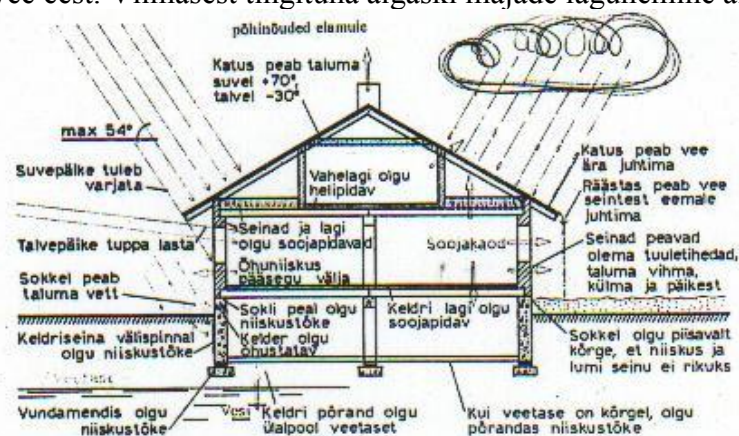
Väikeelamute(-majade) all mõistetakse põhiliselt eramuid ja/või suvemaju. Selliste majade ehitusprotsess võib kesta küllalt pikka aega, kui ehitatakse tavalistest materjalidest, seejuures monteeritavaid konstruktsioone kasutamata.

Tänapäeval on moes keeruline arhitektuur, kuid ekstravakantselt kujundatud elamu läheb kulukaks ja mõjub rahuliku ilmega elurajoonis võõrkehana.

Aja kulu hoone ehitamiseks on kaks kuni kolm korda väiksem, kui maja on lihtsa kuju ja põhiplaaniga ning seejuures lihtsate konstruktsioonidega. Seetõttu ongi kõikjal maailmas valdav osa väikeelamuist ehitatud lihtsakujulised.

Külm talv ja pikk kütteperiood, aga ka tugevad tuuled, nõuavad soojakadude vähendamiseks minimaalset välispinda ja soojapidavaid piirdekonstruktsioone.

Põhinõuded elamule on esitatud joonisel 13.1-1. Siinjuures tuleb märkida, et põhinõuetelt ideaali lähedane on meie traditsiooniline rõhtpalkidest taluelamu. Näiteks samblaga tihendatud palkseinad ja paks õlg- või rookatus tagavad piisava soojapidavuse. Kõrge, eenduva räästaga katus juhib vihmavee otseteed maha, seintest eemale. Väikesed aknad aga tagavad väikese soojakao talvel ja mõnusa jaheduse suvel. Puuduseks oli talumajadel liiga madal sokkel, mis ei taganud alumiste palgi ridade piisavat kaitset vee eest. Viimasest tingituna algaski majade lagunemine alumiste palgiridade mädanemisest.



Joonis 13.1-1

Nagu kõigil hoonetel on ka puitmajade põhikonstruktsioonideks kande- ja piirdekonstruktsioonid. Kandekonstruktsioonid kannavad lagede ja katuste koormust. Välissein, mis kannab lage ja katust, on ühtaegu nii kande- kui piirdekonstruktsioon. Kandekonstruktsioon peab olema piisava kandevõimega ja küllalt jäik. Piirdekonstruktsioon peab olema vastavalt piisava tugevusega, kuid lisaks sellele veel sooja-, tuult-, vett- ja mürapidav.

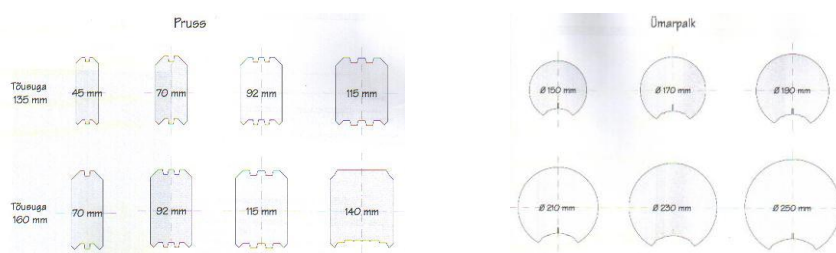


Joonis 13.1-2

Kandekonstruktsiooni moodustavad kandeseinad ja –postid, laetalad või –paneelid, katusetalad ja sarikad (joonis 13.1-2).

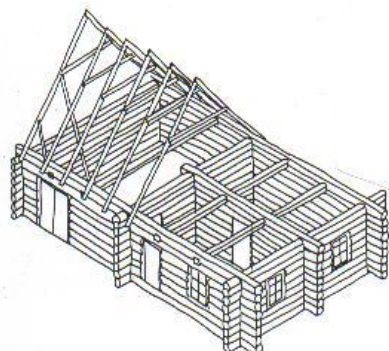
Puithoonete kandeseinad võib teha kas puitsõrestikseinana või puitpaneelidest aga samuti rõhtpalkidest (esineb ka näiteid seinu püstpalkidest) ja rõhtprussidest. Puitsõrestike kandekarkass ehitatakse

vähemalt 10 cm paksustest prussidest (määravaks saab siin soojustuse paksus). Palkseinad tehakse 15-30 cm paksustest ümar- või freesitud palkidest (prussidest). Vt joonis 13.1-3



Joonis 13.1-3

Palkmaja kandekonstruktsiooni moodustavad vundamendid, kandeseinad, laetalad ja sarikad. (joonis 13.1-4)



Üldkujult tehakse palkmaja enamasti riskülikulise põhiplaani, erandjuhtudel (näiteks kirikutornid) kaheksa- või kuusnurksena.

Palkmajade stabiilsuse tagab palkide korralik ühendamine nurkades tappidega ning omavahel salapulkadega ning laetalade ankurdamine seintega ja sarikate ankurdamine räästapalgiga. Kõrge viilkatuse korral vajavad sarikad tuge ka külgsuunas, selleks naelutatakse neile diagonaallatid.

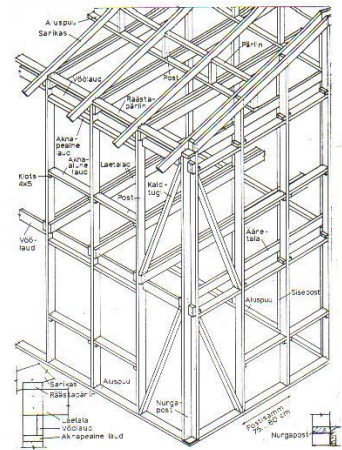
Pika sein korral ei piisa sein kinnitusest hoone nurkades, vajalik on ka vahetugesid, milledeks võivad olla põiksuunalised seinaosad või sein külge kinnitatud püstpalgid. Joonis 13.1-4 siseseinad, põiksuunalised

Puitsõrestiksein on väikeelamule kõige lihtsamini tehtav kandesein. Joonisel 13.1-5 on kujutatud kahekorruselise puitmaja kandekarkass. Karkassi ruumilise jäikuse tagamiseks peab igas seinas olema diagonaalelement (näit pruss) või diagonaallaudis. Ülalt seotakse seinasõrestik laetalade ja sarikatega ühtseks ruumiliseks süsteemiks. Sõrestikpostid kannavad hoone koormust. Posti keskkohal peab nõtkumise vältimiseks olema kinnitatud kas rõhtlattide või voodrilaudadega. Postid toetatakse aluspuule ja ülalt seotakse vöölaudadega. Akende alla ja peale kinnitatakse lisalauad. Kõik liited võib teha tappimata.

Eelistatakse lahendust kus karkassi vöölaud asetatakse lapiti, mille peale toetuvad laetalad, sarikad või katusesõrestikud täpselt postide kohal. Mitmekorruselise maja korral vöölaud asetatakse serviti, kuna karkassi post peab jätkuma läbi korruste.

Välisvoodrina kasutatakse üldjuhul kas kuuse- või männipuitu. Peale nimetatute valmistatakse voodrilaudu ka näiteks lehisest.

Teatavasti kuuse rakud kuivades sulguvad nii lülipuidus kui ka maltspuidus. Männi maltspuidu rakud jäävad avatuks ja kinniste rakkudega on vaid lülipuit. Erineva rakustruktuuri tõttu imab kuusk männist vähem niiskust ja seetõttu on ka selle niiskusest tingitud mahumuutused väiksemad. **Järelikult sobib kuusk välisvoodriks paremini kui määnd.**

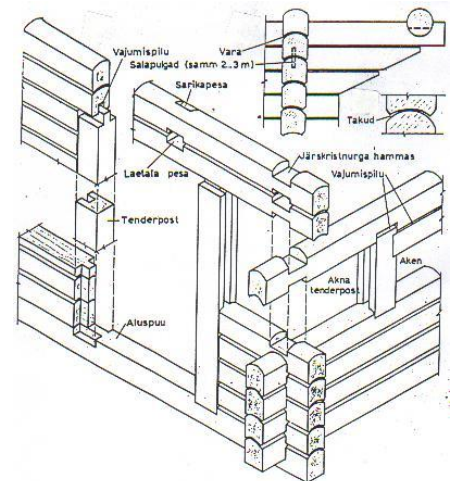


Joonis 13.1-5

Rõhtpalksein (joonis 13.1-6) on sõrestikseinast kapitaalsem ja vastupidavam, kuid vähesoojapidav ja palju töömahukam.

Rõhtpalkseinad tehakse vähemalt 150 mm läbimõõduga ümarpalkidest või tasase sisepinna saamiseks servatud 150 mm paksustest palkidest.

Kui palkmajale tehakse laudvooder, siis esmalt naelutatakse palkseintele vertikaalsed latid ning seejärel laudvooder või viimistlusplaadid. Soovitav on, et enne voodri paigaldamist palksein seisaks vähemalt aasta, see on vajalik selleks, et maja seinad vajuksid, vastasel korral jääb laudvooder maja sein kandma ning ta vajub kõveraks.

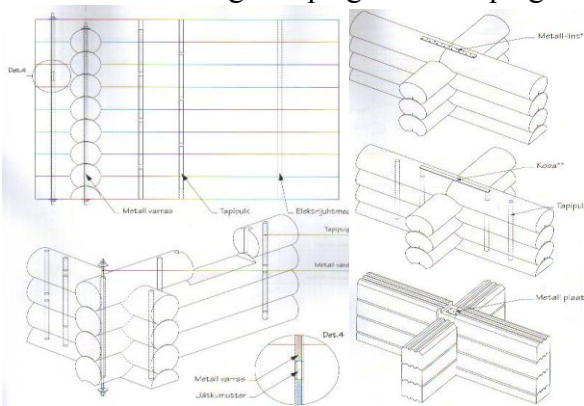


Joonis 13.1-6

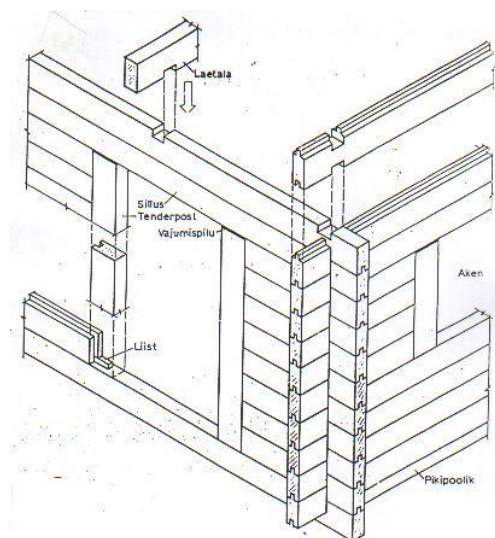
Rõhtpalkseina ehitamisel varatakse palkide alumised pooled ca 100 mm laiuselt ja paigaldatakse rõhtsalt üksteise peale. Palgid seotakse omavahel iga 1,5-2,0 m tagant salapulkadega. Sein ühtlaseks kasvatamiseks kõrguses paigaldatakse palgid vaheldumisi: ühe latv

ja teise tüvi. Enne palgi paigaldamist kõrguses pannakse palkide vahele soojustusmaterjal. Nurgad tapitakse.

Joonisel 13.1-7 on esitatud tänapäeval kasutatavaid palkseinte tööstuslikke kinnitusviise ja kinniteid



Joonis 13.1-7



Joonis 13.1-8

Rõhtprussidest sein (joonis 13.1-8) on hõlpus ehitada. Ta on küll sõrestikseinast kapitaalsem, kuid ühekordsena rõhtpalkseinast palju vähem soojapidav. Tavaliselt kasutatakse 8 - 10 cm paksusi ühe hambaga prusse, aga ka paksemaid kahe hambaga prusse. Soojapidava seina saab kahest prussikihist, mille vahele asetatakse soojustus (näit 15 cm mineraalvilla).

Kasutatakse ka lisasoojustuse ja voodriga pruss-seina. Lisasoojustust ja voodrit on lihtsam panna sissepoole, nagu rõhtpalkseinalegi. Ka pruss-sein peab enne voodri peale naelutamist vähemalt aasta aega vajuma.

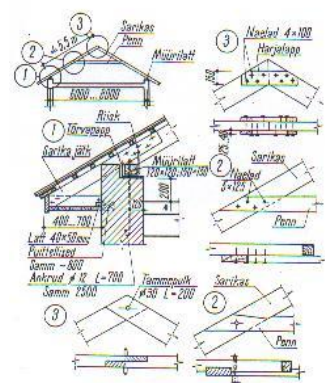
Õhuke pruss-sein ei või olla kuigi pikk, mis võib kõveraks vajuda. Pika seina toetamiseks pannakse seina kõrvale keskele hoidepost või tehakse lühike põikseina osa.

Katuse kandekonstruktsioonid

Puidust katuse kandekonstruktsioon võib olla moodustatud pennsarikatest, lamavsarikatest, taladest või sõrestikest ja paneelidest. Suuremate hoonete korral kasutatakse puitmetallsõrestikke ja omaette rühma moodustavad ruumilised pindkandurid.

Sarikate vahekaugus sõltub sarika ja roovi põiklõikest, katuse kaldest, katusekatte kaalust ning mõjuvast lume- ja tuulekoormusest. Sarikate vahekaugus võetakse 80-120 cm. Mõõtmed määratakse tugevus- ja püsivusarvutustega.

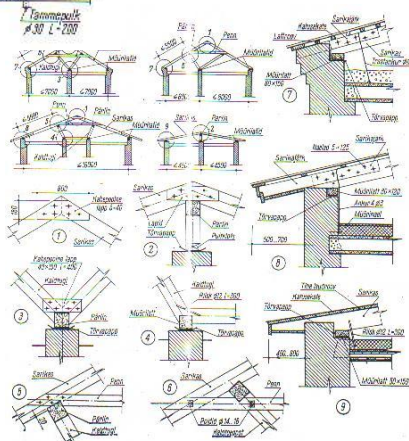
Pennsarikad on esitatud joonisel 13.1-9 koos vastavate sõlmedega.



Pennsarikaid kasutatakse 6-10 m laiuste vähekorruseliste hoonete puhul. Kandekonstruktsioon koosneb harjal omavahel ühendatud ja pennidega seotud sarikapaaridest, mis toetatakse tappidega müürlatile või räästapärilinile. Müürlatt ankurdatakse seinale. Sarikad kinnitatakse müürlati külge riiskadega. Kivipindadest tuleb müürlatt tõrvapapiga isoleerida.

Joonis 13.1-9

korral. Katus raudbetoonist kahekaldelisi



Lamavsarikad kahekaldelise katuse korral koos vastavate sõlmedega on esitatud joonisel 13.1-10.

Lamavsarikaid kasutatakse suurema laiusega hoonete toetamiseks kandvatele siseseintele, postidele või laele. Lamavsarikatega saab moodustada nii ühe- kui katuseid.

Lamavsarikad toetuvad ühest otsast räästapärilinile ja teisest otsast kas vahe- või harjapärilinile. Vahepärlinid toetuvad omakorda tugipostide,

kaldtugede, toolvärgi jne kaudu kas laele, seinale või postidele. Pärlinite ja postide ristlõike mõõtmed leitakse arvutuste teel. Seejuures tugiposte või kaldtugesid ei asetata iga sarika alla, vaid 2-3 sarikapaari järel. Vahepärlini sildeava vähendamiseks võiks kasutada tugikäppasid.

Joonis 13.1-10

13.2 Industriaalsed väikeelamud

Industriaalselt toodetavatele majade komplektidele (puitkarkass-, palkmajad jne.) on kehtestatud olulised nõuded, mida tootja peab täitma selleks, et oleks tagatud ohutu ja keskkonnasõbralik toodang. Seejuures oluliste nõuete täitmine ei pruugi märkida nende kvaliteeti vaid ta on aluseks CE märgistuse saamiseks.

Olulised nõuded on järgmised:

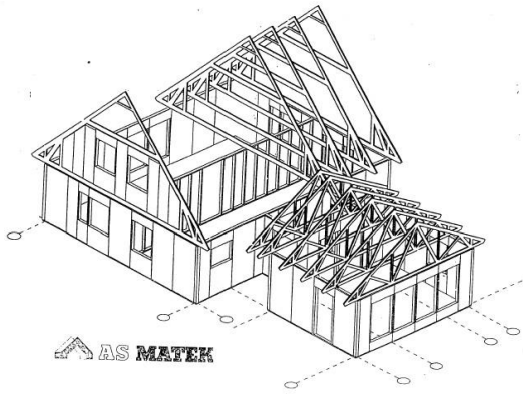
1. Mehaaniline vastupanuvõime ja stabiilsus – maja peab olema projekteeritud ja ehitatud nii, et selle ehitamise ja kasutamise ajal oleks tagatud nii hoone kui ka selle konstruktsioonide tugevus ja stabiilsus mõjuvatele koormustele ning deformatsioonid oleksid lubatavates piirides;
2. Ohutus tulekahju korral - maja komplekt tuleb projekteerida ja ehitada selliselt, et tule lahtipääsemisel oleks tagatud tuleohutusala nõuded;
3. Hügieen, tervishoid ja keskkond - hoone peab olema projekteeritud ja ehitatud nii, et see ei oleks ohuks hügieeni või tervishoiu seisukohalt elanikele ja naabritele;
4. Kasutamise ohutus - ehitusobjekt peab olema projekteeritud ja ehitatud nii, et see ei annaks võimalust lubamatu õnnetusjuhtumite ohu tekkeks nagu näiteks libastumine, kukkumine, kokkupõrge, põletus, elektrilöökk, plahvatuses tekkinud vigastused;
5. Mürakaitse - hoone peab olema projekteeritud ja ehitatud nii, et elanike või naabrite poolt kuuldav müra oleks sellisel tasemel, mis ei ohustaks nende tervist ja laseks neil magada, puhata ja töötada rahuldavates tingimustes;
6. Energia kokkuhoid ja soojapidavus - ehitusobjekt ning selle kütmise, jahutamise ja ventilatsiooni seadmed peavad olema projekteeritud ja ehitatud nii, et vajalik energia hulk oleks madal, sõltudes asukoha kliimatingimustest ja elanikest.

Industriaalsed väikeelamud ja mitte üksi need on valmistatavad välis-, siseseina- ning vahelae paneelidest. Kasutatakse ka katuslae- või maapealse korruse põrandapaneele. Katuse kandekonstruktsiooniks võivad olla oga- ja naelplaatühendustega sõrestikud. Katusekate võib olla rullmaterjalist, keraamilisest või tsementmördist kividest või erinavete profiiliga teraslehtedest.

Eestis toodavad industriaalselt väikeelamuid mitmed firmad, üks neist on AS "Matek". Siinjuures Matekis valmistatud majad võivad olla ühe kuni kolmekorruselised.

Kogu elamu konstruktsioonid, v.a. vundament, toimetatakse ehitusplatsile paari auto koormaga. Olenevalt hoone suuruselt läheb kokkumonteerimiseks üks nädal, parimal juhul päev.

Industriaalsete väikemajade konstruktsioonid (vt joonis 13.2-1) koosnevad sein- ja vahelae paneelidest ning ogaplaatühendusel katusesõrestikest. Vundament on kohapeal valmistatav ja hoone komplekti ei kuulu.



Joonis 13.2-1

13.3 Valmismoodulitest monteeritavad elamud (Ruumelemendid)

Moodulid kujutavad endast ruumilisi karkasselemente. Moodul koosneb:

- välis- ja siseseintest;
- laest ja põrandast;
- sisseehitatud san tehnikast koos selle juurde kuuluvaga, elektri installatsioonist jm.;
- lõplikust viimistlusest.

Mooduli mõõdud ei või ületada maksimaalset transpordi gabariiti.

Kõik monteeritavad elemendid pakitakse kiledesse. Ühe- või kahekorruselised elamud võivad koosneda kahest ja enamast moodulist.

Eestis valmistati ja valmistatakse selliseid ruumilisi elemente Viljandis, Pärnus, Tartus (Kodumaja) ja mujal. Moodulitest ehitatakse samuti 1- kuni 3-korruselisi hooneid.

Mõned tehased (MOELVEN E-MODUL AB) valmistavad selliseid mooduleid, mis monteeritakse suure hoone sisse. Näiteks kontoriruumid valmis viimistlusega, san.sõlmed jne.

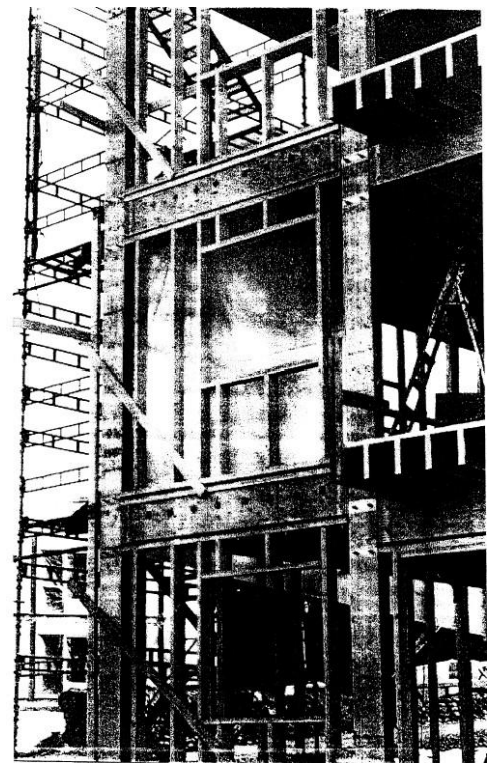
13.4 Mitmekorruselised puitelamud

Mitmekorruselisi puitelamuid on ehitatud läbi aegade nii meil kui mujal maailmas. Eestis siiski mõneks ajaks mitmekorruseliste puitelamute ehitus oli võimatu real põhjustel (tulepüsivus, pikaeealisus jmt.). Lubatud oli kuni kahekordsete majade ehitamine, mis kuulusid III klassi, mis praktiliselt võrdsustus ajutise ehitusega.

Kaasajal on hoogu võtnud platvorm-puitkarkass hoonete ehitamine. Mingi ettekujutuse saab jooniselt 13.4-1. Mitmekorruselisi puitelamuid ehitatakse korrusehitistena 5-6 korruselistena.

Platvormehitusmeetod on tulnud Ameerikast, kus seda ehitusviisi kasutatakse küllalt laialdaselt. Põhja-Ameerika platvormjätkuga puithoone konstruktsioon on paindlik ja majanduslik viis ehitada puidust korruselamuid. Selle süsteemi kasutamine on laialt levinud USA-s, Kanadas ja Põhjamaades nagu Rootsi, Soome ja Norra. Korrusehituse eelistatav kasutamine võrreldes teiste süsteemidega (karkass jmt) järjest kasvab, kuna on võimalik alandada maksumust. Samas võimaldab korrusehitus suhteliselt lihtsalt lahendada heliisolatsiooni ja tulepüsivuse probleeme.

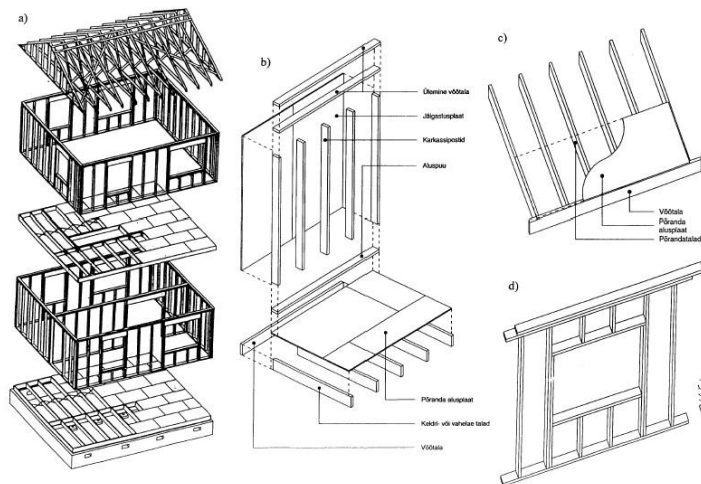
Joonis 13.4-1



Põhjamaades on korrusehituse alal kõige kaugemal Rootsi ehitajad, kus on ehitatud viiekordseid elamuid. Ka Soome ehitajad on hakanud platvormehitust laialdaselt kasutama.

Platvorm-puitkarkass on kandvate seintega hoone konstruktsioon, kus karkass ehitatakse välja korruste kaupa. Seinatarindid (puitsõrestikul paneelid) komplekteeritakse rõhtasendis keldri- või vahelaetalastiku peale kinnitatud põranda alusplaadi peal, kust nad tõstetakse püsti ja kinnitatakse projekteeritud kohale. Seinakonstruktsiooni (tarindite) peale paigaldatakse järgmise korruse vahelaetalastik ja vahetult selle peale alusplaadid. Vahelagi on taas järgmise korruse ehitamisel töölavaks (vt joonis 13.4-2 a).

Kõrgeima korruse seinakonstruktsioonide peale paigaldatakse katuse kandekonstruktsioon (või katuslagi) ja kate. Katusekatte paigaldamise järel alustatakse isolatsioonide, tuule- ja aurutõkete ning sanitaar- ja elektritehniliste seadmete paigaldamist. Seejärel paigaldatakse sisevoodrid ja lõpuks pinnad viimistletakse. Aknad ja välisüks paigaldatakse karkassitööde etapil.



Platvorm-puitkarkassi olulised omadused on:

Joonis 13.4-2

- mõõtu lõigatud toodete kasutamine vähendab töötlust ning materjali kulu ehitusplatsil võrreldes tavapäraselt pikast materjalist ehitamisega;
- eri mõõtmetega toodete arvu võib viia miinimumini, näiteks välis- ja siseseinapost;
- ehitusplatsil ei ole vaja kasutada võimsaid tõstemasinaid – konstruktsioonid ja ehitiseosad on kerged;
- süsteem on paindlik – see sobib nii väike- kui korrusmajade ehitamiseks;

Süsteem lihtsustab hoonete projekteerimist, võimaldades seejuures mitmesuguseid vahelduvaid plaanilahendusi.

Platvorm-puitkarkass on loodud eelkõige tehases valmistatud toodete paigaldamiseks ehitusplatsil, kuid seda võib kohaldada ka elementehitusele. Lisaks sobib see kutseliste ehitajate kõrval ka eraehitajale.

Põhielemendid moodustavad mõõtu lõigatud karkassipostid, keldri- ja vahelaetalad ning ehitusplaadid - joonis 13.4-2 b). Hoone projekteerimisel on soovitatav arvestada nimetatud toodete tüüp mõõtmetega, mis vähendab ehitusmaterjalide töötlust ehitusplatsil kui ka materjali raiskamist.

Platvorm-puitkarkassi põhiosad on

1. kandvad horisontaalsed konstruktsioonid,
2. kandeseinad.

1. Platvorm-puitkarkassi keldri- või vahelaet aluskarkassi moodustab kandev talastik ning selle peale kinnitatud põranda aluslaad. Kandekonstruktsioon koosneb tavaliselt mõõtu lõigatud (saetud/hööveldatud) tugevusklassi sorditud puidust. Kasutatakse ka spoonliim- või liimpuidust elemente.

Vahelae talad paigaldatakse alumise korruse seinakonstruktsiooni peale ja talade otsad kinnitatakse nn vöötalaga - joonis 13.4-2 c), mis ühtlasi kannab koormust seina konstruktsioonile. Keldrilae talad paigaldatakse samal põhimõttel.

Horisontaal(rõht)konstruktsiooni kandevõimet võib tõsta, tihendades talade sammu või kasutades kõrvuti mitut üksteisega liidetud tala. Talade samm oleneb alusplaatide standardmõõtmetest.

Põranda alusplaadid kinnitatakse talastiku külge kruvidega (või naeltega), kusjuures soovitatakse liitekohta tugevdada liimiga. Põranda alusplaat jäigastab konstruktsiooni horisontaalsuunas.

2. Välis- ja vaheseinte sõrestik tehakse tavaliselt mõõtu lõigatud puidust. Seinasõrestik komplekteeritakse keldri- või vahelae peal horisontaalasendis, mille järel see tõstetakse püsti ja kinnitatakse läbi aluspüü alumise horisontaalkonstruktsiooni külge. Lisaks kandvatele sõrestikupostidele moodustavad seinasõrestiku üks aluspüü ja kaks vöötala. Ülemine vöötala seob eri seinad üksteisega ja see kinnitatakse peale seinte vertikaalasendisse paigaldamist - joonis 13.4-2 d).

Seina kandevõimet võib tõsta posti sammu tihendades ja/või kasutades kõrvuti mitut üksteisega seotud posti.

Soomlased teevad suuri uurimistöid taoliste majade ehitamisel. Üheks suureks probleemiks on betoonist vundamendile paigaldatud alusprusside kaitse, heli- ja müraisolatsioon. Rangelt tuleb täita tulepüsivuse norme (EVS-EN 1995-1-2 Puitkonstruktsioonid. Osa 1.2 Tulepüsivus).

13.5 Karkassi arvutamisest

Konstruktsioonid ja selle osad tuleb projekteerida küllaldase kandevõimega ja tule leviku vastava piiramisega. Tulepüsivuse normide nõuetele vastavaks saame hoone kasutades tulekaitse plaate, näiteks ühe- või kahekordseid kipsplaate paksusega 13 mm.

Karkassi arvutamiseks võib kasutada lõplike elementide meetodit. Tuleks kasutada arvutusprogramme, mis võimaldavad arvestada ka füüsikalist mittelineaarsust. Arvutusi võib teostada loomulikult ka nõ käsitsi.

Arvutuste puhul on vajalik:

- määrata koormused;
- teostada staatilised arvutused;
- kandekonstruktsioonide arvutamine (talad, postid-seinad);
- sõlmede (liidete) arvutused ja konstruktsioon;
- stabiilsusarvutused (jäikusdiafragmad ja jäigastussüsteem);
- hoone kui terviku vajumite arvutamine. Üks olulisi asjaolusid on hoone kui terviku vajumite suurus, eriti platvormjätkude korral. Enamuses riikides ei lubata 4-5-korruselistel hoonetel või elamutel karkassi ulatuses kogu vajumi suurus enam kui 20-30 mm;
- vundamentide arvutus;
- niiskustehnilised arvutused;
- lahendada heliisolatsiooniga seotud probleemid;
- tulepüsivusarvutus.

Jäikusdiafragmade arvutamiseks kasutatakse lõplike elementide meetodit. Standardis EVS-EN 1995-1-1 on esitatud arvutusjuhised käsitsi arvutamise korral.

Vibratsioonide arvutamiseks tuleb kasutada nimetatud standardi juhiseid ja muid sellealaseid standardeid ja eeskirju.

Vajalik on teha hoone heliisolatsiooni arvutused vastavate standardite kohaselt. Heliisolatsiooni küsimused puidust korrusmajas on sageli raskemini lahendatavad kui tulepüsivuse küsimused. Eriti problemaatiline on löögimüra vajaliku isolatsiooni saavutamine, millised määratakse vastavalt ISO standardile 717.

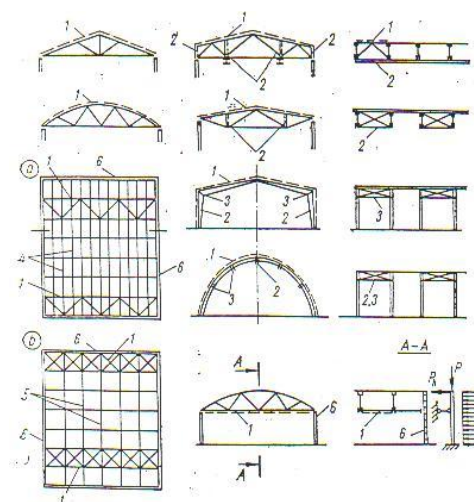
14. RUUMILINE PÜSIVUS

14.1 Ruumilised sidemed

Iga ehitise puhul tuleb tagada ruumiline püsivus nii konstruktsioonide paigaldamisel kui ka nende kasutamisel. Puitehitiste tasapinnaliste kandekonstruktsioonide jäigastamiseks kasutatakse katusekatte ja seinte elemente ning spetsiaalseid konstruktsioone: tuule- ja pikisidemeid jne.

Hoonete ruumilised sidemed töötavad suures osas horisontaalkoormustele. Need on piki hoonet mõjuv tuul, kraana pidurdusjõud, lisasisejõud konstruktsiooni hälvetest nagu konstruktsioonide paigaldamise ebatäpsus, elementide juhuslikud kõverused konstruktsiooni tasandist välja jmt.

Piki hoonet mõjuvate koormuste vastuvõtmiseks kasutatakse põiksuunalisi tuulesidemeid, mis võivad olla horisontaal- või kaldsõrestikud (joonisel 14.1-1 1), mis omavahel ühendatakse kõikide põhikonstruktsioonide külge kinnitatud katusetaladega.



Joonis 14.1-1

a- katuse pinnas olevate tuulesidemete plaan
b- kandekonstruktsiooni alumise vöö pinnas olevate tuulesidemete plaan

- 1- tuulesidemed (- sõrestikud)
- 2- vertikaalsed pikisidemed
- 3- kaldu olevad pikisidemed
- 4- katusetalad või paneelid
- 5- tuulesidemete sõlmi ühendavad talad
- 6- seinad

Vertikaalsed või kaldsed pikisidemed asetatakse kandekonstruktsioonidega risti ja need kinnitatakse sõrestike surutud vööde või talade surutud servade külge.

Tuulesidemed soovitatakse asetada kas ülemise vöö tasandisse või selle peale hoone otstesse ja keskosasse sammuga 30m.

Tuulesidemete(tuulesõrestike) vöödeks on sõrestike ülemised vööd või täisseinalise konstruktsiooni kogu ristlõige, postideks katusetalad. (vt joonis 14.1-1)

Sidemete diagonaalid moodustatakse puitelementidest või ristuvatest metalltõmbidest.

Profiilterasest jäiga alumise vööga ja riputatud lae või tõsteseadmetega sõrestike puhul võib tuulesidemed asetada sõrestiku alumise vöö tasandisse. Sel juhul tehakse tuulesõrestiku võrk terasest ja tuulesidemed ühendatakse omavahel terastaladega. Katuse pinnas piki hoonet mõjuv horisontaalkoormus kantakse otsaseinakonsoolile (joonisel lõige A-A). Tuulesidemete konstruktsioon ei tohi segada põhikonstruktsioonide paigaldamist.

Vertikaalseid või kaldseid pikisidemeid kasutatakse järgmistel juhtudel:

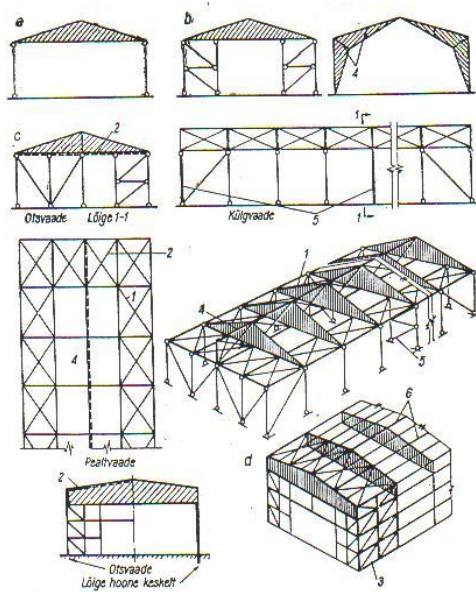
- raamide, kaarte ja muude selliste konstruktsioonide puhul, kui ristlõike sisemine surutud serv on vaba ja arvutus näitab, et konstruktsiooni stabiilsus ei ole tagatud;
- sprengeltüüpi konstruktsioonide puhul, kus alumine vöö on toepindadest allpool;
- alumise vöö koormamisel konstruktsiooni tasandiga risti;
- rõhtsate tuulesidemete toereaktsiooni ülekandmiseks vundamendile (pikiseinte tasandis).

Raamid, kaared ja sprengli tüüpi konstruktsioonid ühendatakse pikisidemetega paarikaupa. Sprenglite puhul asetatakse pikisidemed postide tasandisse. Pikisidemete vahekauguse määrab konstruktsiooni stabiilsuse arvutus.

Hoone põiksuunalise tuulekoormuse võtavad vastu kas paindejärgalt vundamendiga ühendatud postid või siis kandekonstruktsioonid nagu raamid ja kaared. Mõningatel juhtudel kasutatakse katuse pinnas pikisuunalisi tuulesõrestikke, mis kannavad tuulekoormuse hoone põikseintele.

Tasapinnalised kandekonstruktsioonid võib jaotada kolme rühma.

I rühma moodustavad pendeltugedele toetatud kandekonstruktsioonid (joonis 14.1-2 *a*). Pendeltoed töötavad ainult vertikaalsetele koormustele, kuna horisontaalsete koormuste vastuvõtmiseks kasutatakse seibe. Põikseibidena töötavad raamid, kaared, diagonaalidega varustatud põikseinad - joonisel *b*.



Joonis 14.1-2

Joonisel *c* toodud skeemis asuvad tuulesidemed mõlemas suunas kandja alumise vöö tasapinnas.

Kui otsa tuulesidemed asetatakse kandja ülemise vöö tasapinda, siis sõrestiku horisontaalsete pikisuunaliste toereaktsioonide ülekandmiseks pikiseintele peab tuulesidemetega ühendatud peakandjad vähemalt tugede kohal omavahel siduma vertikaalsete sidemetega – joonisel *d*.

Peakandjate ülemise surutud vöö nõtkekindluse tagamiseks tuleb katusetalad (roovtalad) *6* kindlalt (vastavalt arvutustele ja standardi nõuetele) ühendada kandekonstruktsioonide surutud vöödega. Talade jätkud peavad võimaldama kogu hoone pikkusel nii surve- kui ka tõmbejõu ülekandmist (tala kinnitus). Suuremate ehitiste korral kasutatakse pikijõu ülekandmiseks pikisidemeid *4*.

II rühma moodustavad hoone põiksuunas paindejärgalt vundamendile kinnitatud postidele toetatud kandekonstruktsioonid. Ehitiste jäigastamine toimub analoogiliselt eelmise juhuga. Kui postid on suutelised ise vastu võtma risti hoonet mõjuvat horisontaalset koormust, siis jäetakse pikituulesidemed ära.

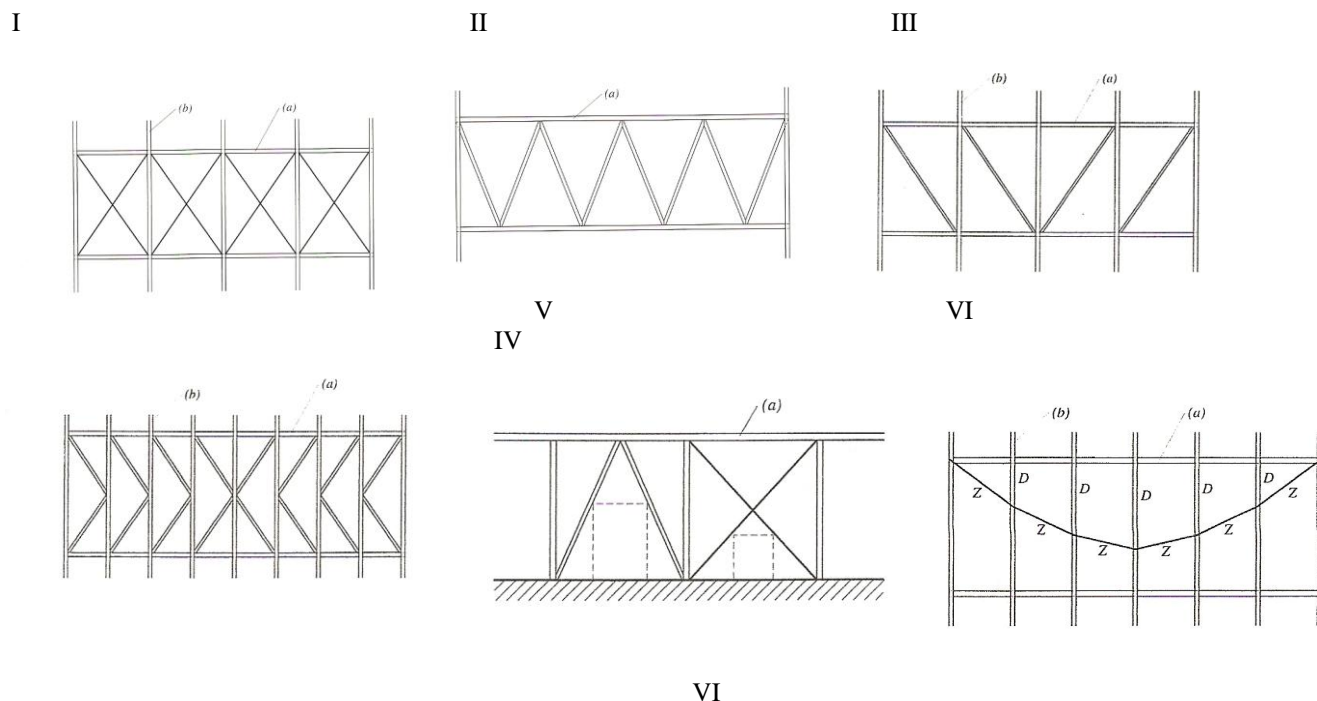
III rühma moodustavad kahe ja kolme liigendiga raamid ja kaared.. Hoonete jäigastamine toimub samuti nagu paindejäikade postide kasutamisel. Pikisidemed peavad siin lisaks tavalisele otstarbele veel ruumiliselt kindlustama katuse pinnast eemalolevaid alumisi surutud vöösid.

14.2 Ruumiliste sidemete lahendusi

a) Jäikussidemete süsteemid

Jäikussidemete süsteem koostatakse enamasti diagonaalelementide lisamisega peamistele sõrestikke moodustavatele kandeelementidele (näiteks vööd ja roovtalad). Tehases valmistatud sõrestikud, millised asetsevad jäigastuselementide vahel võivad olla jäigastussidemete süsteemi osad. Selles peatükis käsitletakse mitte ainult sõrestikke, mida võib käsitleda taladena, vaid ka jäigastusseinu või lihttalasid, mida võib samuti kasutada jäikussidemetena.

Paljudes olukordades peakandjad moodustavad jäikussidemete süsteemi osa. Kus jäigastuselementiks on talad, tuleb jäikussidemed asetada survetsooni. Sõrestike survevöö peab olema küllaldase jäikusega, mis on samuti osa sidemete süsteemist. Katuse kandekonstruktsioonides saab roovtalasid kasutada jäikussidemetena. Selleks tuleb nende vahele lisada diagonaalelemente. Alljärgnevalt vaadeldakse jäikussidemete teostusvõimaluste erinevaid variante ja nende töötamise iseärasusi (vt joonis 14.2-1 kus a – peakandja, sõrestiku ülemine vöö, b – roovtalad)



Joonis 14.2-1

I variant (joonisel 14.2-1 I) Ristuvate diagonaalsidemetega sõrestik, mis töötavad ainult tõmbele

- tehakse tavaliselt terasvarrastest, mis on varustatud pingutusseadisega, mistõttu vardad töötavad ainult tõmbele;
- kerge monteerida/ehitada;
- roovtalad saavad lisapingeid, mis on tingitud sellest, et nad on osa jäigastussidemetest.

II variant (joonisel II) V-kujulise sidemete võrguga sõrestik

- roovtalades ei teki lisajõude;
- diagonaalid kannavad üle nii surve kui ka tõmbejõude ja seetõttu tuleks nad valmistada puitelementidena;

- kui diagonaalelemendid on kinnitatud roovtalade külge, siis võib diagonaalide nõtkepikkust vähendada.

III variant (joonisel III) N-kujulise sidemete võrguga sõrestik

- see süsteem on kasutatav praktiliselt kui väliskoormuseks on ühes suunas suhteliselt suur jõud;
- kui surutud vertikaalsetel sisemistel varrastel on lühike nõtkepikkus.

IV variant (joonisel IV) K-kujulise sidemete võrguga sõrestik

- jõud sõrestiku sisemistes elementides vähenevad ca 50%;
- nõtkepikkused on suhteliselt väikesed;
- suurte avade ehitamisel vertikaalseinas jäigastussidemetena (joonisel V)
- diagonaalide kinnitamine roovtalade külge keskel vähendab nõtkepikkust jäikuse tasapinnas.

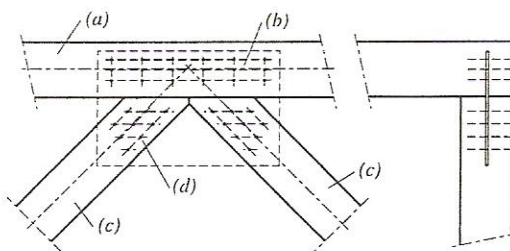
V variant Terasega jäigastatud talad

- ehitamine on lihtne teraselementide kinnitamine roovtalade külge naelte või kruvidega;
- võimaldab kasutada parabooli kujulise tõmbevööd, mis konstantse tõmbejõu korral;
- on kasutatav juhul, kui koormus on ühesuunaline;
- tuleb arvestada ebahürtlase välise koormusega.

b) Ühendussõlmed

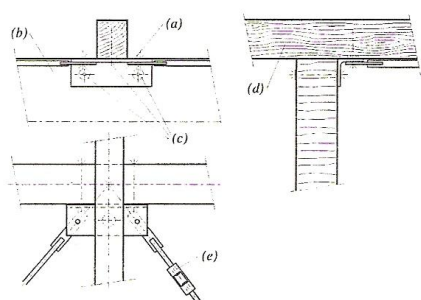
Sidemesüsteemi ühendused võivad olla tehtud mitmel erineval viisil. Joonisel 14.2-2 - 14.2-4 on esitatud praktikas hästi toimivaid lahendusi.

Joonisel 14.2-2 puidust diagonaal (c) on kinnitatud kandja (a) ülemise vöö külge terasplaadi (b) ja nael- (d) või naagelliite abil. Terasplaadi sobitamiseks tuleks avad ette puurida koos puitelemendiga, sest nõutavad vahekaugused on väikesed ja liide tuleb jäigem ja enamefektiivsem kui ettepuurimata naelühenduse korral. Kui jõud on küllalt väikesed, siis piisab õhukesest terasplaadist ühenduse ühel küljel. Ettepuurimata naelühenduse korral ühenduse pind on neli korda suurem kui sobitatud terasplaadiga ettepuuritud liite korral. Diagonaalid on arvestatud vastu võtma paindemomenti, mis võib tekkida plaadi ekstsentrilisest paigutusest.

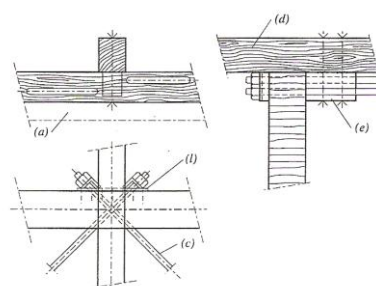


Joonis 14.2-2

Joonisel 14.2-3 kohaselt on diagonaalid ühendatud arvutuslike terasvarrastega. Joonisel nurkterasest element ((a) abil, mis kinnitatakse terasvarraste (c) abil, ühendatakse kandja ülemine vöö (b) ja roovtala (d) . Diagonaalidena kasutatakse terasvardaid, mis on varustatud pingutusseadistusega (e) Sellise ühenduse monteerimine on kerge.



Joonis 14.2-3



Joonis 14.2-4

Joonisel 14.2-4 terasvardad (*c*), mis on diagonaalsidemeteks, on paigaldatud läbi peakandja ülemise vöö (*a*) külge naeltega kinnitatud terasplaadi (*l*) abil. Roovtala (*d*) külge kinnitatakse puidust klots (*e*) poltühenduse abil.

14.3 Jäikussidemete arvutamisest

Ebapiisava jäikusega konstruktsioonid tuleb varustada sidemetega, et vältida ebastabiilsust või liiga suuri läbipaindeid, siinjuures tuleb arvestada pingetega, mis on põhjustatud geomeetrisest või konstruktiivsest ebatäiuslikkusest ja läbipainetest (kaasa arvatud nihked liidetes).

Postide dimensioonimisel on oluline stabiilsusarvutused kandevõime kaotuse või üleliia suurte deformatsioonide vältimiseks. Sageli on vajalik piirata ühes või mitmes punktis tugede vahel põikisuunaliste paigutuste tekkimist. See on tehtav analoogselt saledate taladega põikstabiilsuse tagamisel. Postid või talad võiksid olla koostatud konstruktsiooni osa nagu näiteks sõrestiku ülemine vöö. Jäikussidemete süsteemi koormused võivad olla tuletatud kasutades teist järku analüüsi, mille abil jõudude ja momentide tasakaalu juures on arvesse võetud vastava konstruktsiooni deformeerunud kuju. Kogu ehitise jäikus kaasa arvatud liidete järeleandvus võetakse arvutustes arvesse. (EC5 esitab lihtsustatud arvutusmeetodi, mis toetub ülalöeldule).

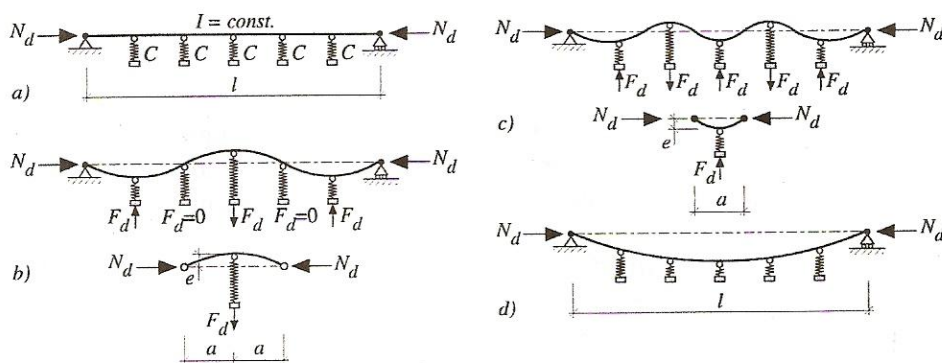
Vajalik on vahet teha painutatud ja surutud elementide toetuse vahel. Peale selle tuleks selgeks teha kas koormatud on üksik tugi või mitu tuge, millised on jäikussidemete süsteemi, näiteks sidemesõrestik, osad. Koormused tugele olenevad peamiselt jäikussidemete süsteemi geometriast samuti ristlõikest ja elementide pikkusest, toetingimustest ja puitmaterjali tugevusklassist, keskkonna tingimustest, koormuse kestusklassist. Elementide ja liidete jäikus on väga tähtsad tegurid mitte ainult sidemesüsteemi jäigastamise tunnuseks, vaid eriti kandekonstruktsioonide jäigaks muutmisel. Teist järku lineaarse arvutuse korral tuleb arvestada geomeetrisest ja ehituslike defektidega.

Kehtivate nõuete kohaselt sõrestiku elementidel, postidel, taladel ja raamide elementidel peavad nende tugevahelise osa keskkoha (kus võib esineda külgsuunaline ebastabiilsus) piirkõrvalekalded sirgusest olema liimpuidu ja spoonliimpuidu puhul 1/500 ning monoliitpuidu puhul 1/300 pikkusest.

EC5 kohane arvutusmeetod

Surveelementide liigendtoed

Joonisel 14.3-1 on esitatud põiksidemetega kinnitatud elementide süsteem ja paigutused. Sidemete jõudude määramisel tuleb arvestada kõige ebasoodsamat konstruktiivset ebatäiuslikkust ja läbipainet.



Joonis 14.3-1

Surutud elemendid sildeavaga l , mis on korrapäraselt kinnitatud elastsetel tugeudel põikisidemetega, mis takistavad nõtkumist ja kutsuvad esile suuri vedru jõude, mille deformeerunud kuju on näidatud joonisel 14.3-1 b ja c. Möhler ja Schelling (1960) näitasid, et minimaalne vedru jäikus avaldub järgmiselt:

$$C = k_s \pi^2 \frac{EI}{a^3}$$

kus

$$k_s = 2\left(1 + \cos\frac{\pi}{m}\right) - \text{modifikatsioonitegur}$$

a - lainepikkus ja

m - lainete arv nii, et $l=ma$.

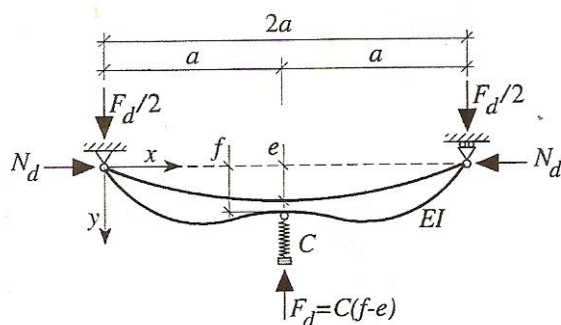
Ühe laine korral $k_s=2$ ja lõpmata arvu lainete korral $k_s=4$.

Vedrujõud, toe stabiliseeriv jõud F_d (joonis 14.3-2), on leitav konservatiivselt teist järku lineaarse arvutuse kohaselt

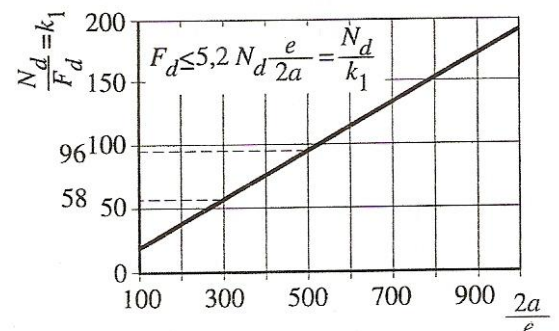
$$F_d \leq 5,2N \frac{e}{2a}$$

kus

e - maksimaalne kõrvalekalle sirgusest.



Joonis 14.3-2



Joonis 14.3-3

Joonisel 14.3-3 on näidatud, et vedrujõud hõlmab vahemikku $F_d=N_d/58$ ja $F_d=N_d/96$ kui kõrvalekalle sirgusest koormamata olukorras täis-, liim- või spoonliimpuidu korral on $1/300$ või $1/500$. EC 5 kohaselt tuleks toe arvutuslik stabiliseeriv jõud F_d võtta järgmiselt:

- saepuidu korral $F_d = \frac{N_d}{k_{f,1}}$, kus modifikatsiooniteguri $k_{f,1}$ väärtuseks on 50 -80, rahvusliku lisa kohaselt soovitatav väärtus 50;

- liimpuidu ja spoonliimpuidu korral $F_d = \frac{N_d}{k_{f,2}}$, kus modifikatsiooniteguri $k_{f,2}$

väärtuseks on 80 -100, rahvusliku lisa kohaselt soovitatav väärtus 80.

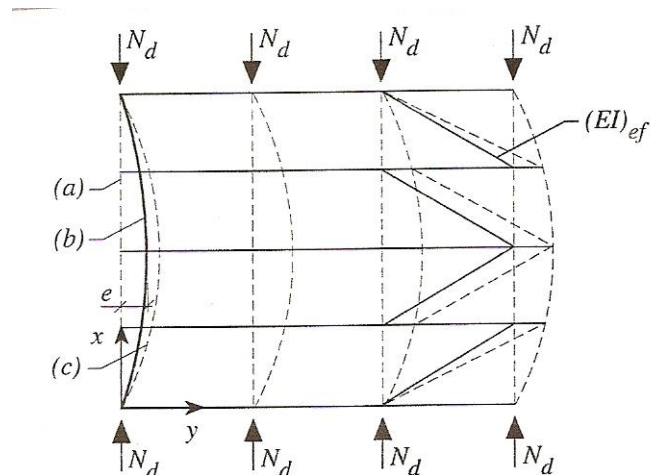
Talade või sõrestike süsteemide jäikussidemed

Jäikusega $(EI)_{ef}$ sidemesüsteemiga horisontaalselt toetatud surve- ja paindeelementide külgsuunalise deformatsiooni kujuks eeldatakse ühe lainega siinuskõver (vt joonis 14.3-1), et saavutada maksimaalne koormus jäikussidemetele.

Survejõud N_d tekitavad paindemomendi (vt joonis 11.3-4)

$$M_d = nN_d y$$

kus n - sõrestike arv.



Joonis 14.3-4

Joonisel a- sirged elemendid; b – mittetäielik telje paigutus; c – deformeerunud element. $(EI)_{ef}$ jäikussidemete paindejäikus.

Külgsuunalise vastupanu komponendi saab väljendada elastse joone diferentsiaalvõrrandiga koos esialgse paigutusega. Sealjuures jäetakse arvestamata elemendi vertikaalsuunalise paindejäikusega $(EI)_z$

$$\frac{M_d}{(EI)_{ef}} = -\frac{d^2(y - y_0)}{dx^2} = -(y - y_0)''$$

Võrrandi saab ümber kirjutada järgmises kujul

$$y'' + \frac{nN_d}{(EI)_{ef}} y = -e\left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \sin\left(\frac{\pi}{l} x\right)$$

kus esialgne paigutus on leitav avaldisega:

$$y_0 = e \sin\left(\frac{\pi}{l} x\right)$$

ja paindemoment

$$M_d = nN_d y$$

Diferentsiaalvõrrandi lahendamiseks Brüninhoffi (1983) järgi saame:

$$q_d = \frac{e\left(\frac{\pi}{l}\right)^2 n N_d}{1 - \frac{n N_d}{\left(\frac{\pi}{l}\right)^2 (EI)_{ef}} \sin\left(\frac{\pi}{l} x\right)}$$

Selle võrrandi hindamisel on vajalik arvutada jäikussidemete paindejäikus $(EI)_{ef}$, arvestades mitte ainult kõigi elementide elastse käitumisega vaid ka liidete järeleandvusega.

Praktilistes arvutustes tehakse lihtsustusi. EC5 piirab koormusest q_d maksimaalseid jäikussidemete deformatsioone suurusega $l/500$.

$$y_{\max} = q_d \frac{l^4}{\pi^4 (EI)_{ef}} \leq \frac{l}{500}$$

Elimineerides paindejäikuse $(EI)_{ef}$ avaldistest ja muutes siinuslaine kujulise koormuse q_d konstantseks suuruseks saame EC5 kasutatava avaldise

$$q_d = k_l \frac{n N_d}{k_{f3} l}$$

kus k_{f3} - sidemesüsteemi modifikatsiooni tegur ($k_{f3} = 30 \dots 80$).

Projekteerijal on vajalik kontrollida süsteemi deformatsioone kui paigutused on tõenäoliselt suured.

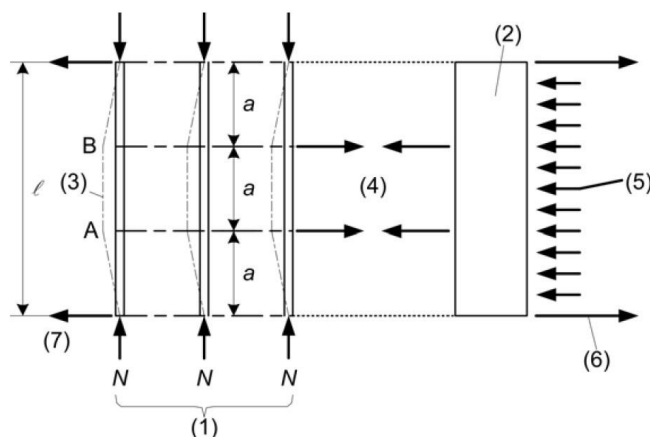
Kasutades talade survevööd sidemete kinnitamiseks on eeltoodud seosed kasutatavad sidemesõrestiku arvutuseks. Võttes arvesse ülalkirjeldatud talade väändekandevõimet võib survejõudu vähendada kuni suuruseni:

$$N_d = (1 - k_{crit}) \frac{M_d}{h}$$

kus h on tala kõrgus.

Joonisel 14.3-5 esitatakse põiktoetust vajav tala- ja sõrestiku süsteem, kus:

- 1) n elemendist koosnev sõrestike süsteem
- (2) jäikussidemed
- (3) sõrestiksüsteemi kõrvalekalle ebatäpsustest ja teist järku efektidest
- (4) stabiliseerivad jõud
- (5) sidesüsteemile mõjuv väliskoormus
- (6) sidesüsteemile mõjuvate väliskoormuste toereaktsioonid
- (7) sõrestiksüsteemi stabiliseerivate jõudude toereaktsioonid



Joonis 14.3-5
Lk 161 / 183

15. PUITKONSTRUKTSIOONIDE TULEPÜSIVUSARVUTUS

15.1 Tuleohutus- ja tulepüsivusnõuded

Tuleohutuse seisukohalt on alati põhiküsimus inimeste turvalisuses ja omandi kaitses:

- hoone peab kestma teatud miinimumaja;
- tule ja suitsu tekkimine ja levik hoones peab olema piiratud;
- tule levimine kõrvalasuvatesse hoonetesse peab olema piiratud;
- inimesed peavad tulekahju puhkedes saama hoonest väljuda või neid peab saama päästa;
- tähelepanu tuleb pöörata päästjate turvalisusele.

Tuleohutusnõuded on sätestatud Valitsuse määrusega nr 315 „Ehitistele esitatavad tuleohutusnõuded”, mis kehtib alates 1.01.2005.a. Siinjuures tuleb meele pida, et määrused on kohustuslikud, standardid aga vabatahtlikud.

Olulised tuleohutusnõuded:

- ehitise ja selle osa peab vastama nimetatud määrusega ettenähtud piirväärtusele;
- ehitise ja selle osa peab vastama asjakohasele tehnilisele normile;
- ehitise ja selle osa peab vastama asjakohasele standardile;
- arvutuslikul, analüütilisel või muul usaldusväärsel viisil on tõestatud ehitise vastavus olulistele tuleohutusnõuetele, kusjuures on arvestatud tulekahju võimaliku puhkemise ja kustutamise; ja
- asjakohaseks tehniliseks normiks ja standardiks nimetatud määruse tähenduses loetakse tehniline norm või standard, mille järgimine tagab olulise tuleohutusnõude täitmise.

Tulepüsivusnõueteks on:

Konstruktsioonid peavad tulekahju korral:

- ära hoidma enneaegse varingu – kandevõime kriteerium R_{xx} ;
- takistama tule levikut määratud piirkonda – eralduskriteeriumid E_{xx} , I_{xx}

Eralduskriteeriumiteks on:

- *tiheduskriteerium* E - tarindid peavad vältima kuumade gaaside ja leekide tungimist läbi tekkinud pragude või mulgustuse
- *isoleerivuskriteerium* I – tarindid peavad vältima temperatuuri tõusu üle lubatud piiri tulele mitteavatud pinnal.

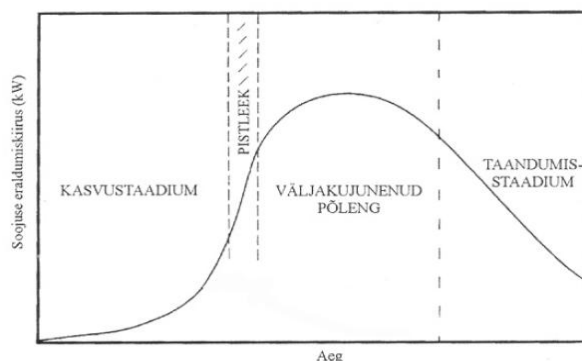
Ehitiste tulepüsivusklassid:

- TP-1 Suure tulepüsivusega
- TP-2 Keskmise tulepüsivusega
- TP-3 Väikese tulepüsivusega

Tulekahju

Reaalse (tegeliku) tulekahju korral eristatakse (joonis 15.1-1):

1. Süttimisfaas, milles temperatuur tõuseb aeglaselt 400 C-ni. See faas asetab tarindite pinnakihtide

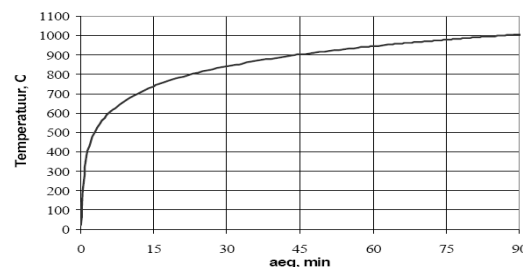


Joonis 15.1-1

süttivustundlikkusele suuremad nõuded.

2. Kui temperatuur on tõusnud 500-600 C-ni, süttib kogu antud kohal olev aine korraga.
3. Põlemisfaas, milles temperatuur tõuseb 1100....1200 C.
4. Jahtumisfaas.

Standardtulekahju korral ehituselementide tulekindlus määratakse katseliselt hävinemise kaudu standardpõlengus, mis on määratletud põlemisgaaside temperatuuri ja aja muutumisena suures koldes. Standardkõver (joonis 15.1-2) on aastate jooksul vähe muutunud ja muu hulgas on ta kasutusel 1916.a.



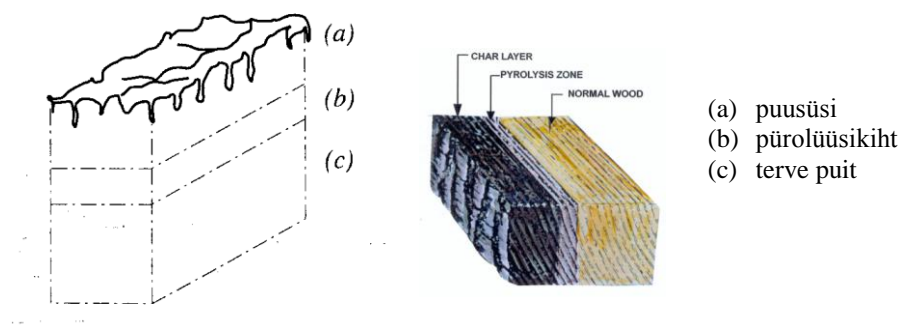
Standardtulekahjul põhinevad nõutavad tulepüsivusajad ja muud normidega sätestatud piirid ning vastavad arvutusmeetodid.

Joonis 15.1-2

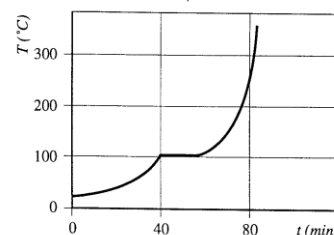
Tegeliku tulekahju korral konstruktsioonide üksikutele omadustele ei rakendata eraldi piire, vaid vaadeldakse kogumõju.

Tänu puidu koostisele ei saa puitu ühegi immutuse või keemilise kaitsevahendiga muuta mittepõlevaks materjaliks. Puitu võib muuta ainult raskelt süttivaks. **Konstruktsioonid süttivad esimesena väga harva.**

Puit hakkab põlema süttimisest leegist või suurest kuumusest (300-400 C). Põlemisel moodustub isoleeriv puusöe kiht ning selle all pürolüüsikiht (paksusega ca 5 mm) (joonis 15.1-3)



Joonis 15.1-3



Joonis 15.1-4

Puidu põlemisel (joonis 15.1-4) pürolüüsikihi all hakkab vesi 100 C juures aurustuma. Üle 200C juures tekib rohkem põlevaid gaase ja CO₂ osa langeb. Pinna temperatuur tõuseb, pürolüüsikiht laguneb ja karboniseerumine jätkub. Üle 500 °C juures on gaasi tootmine väike ja söe tootmine väga suur. Puusöe soojusjuhtivus on ainult 1/6 puidu omast.

Põlemata osal säilivad kõik kandevõime omadused ja vähenemine mõõtmistes.

15.2 Tulepüsivusarvutus

15.2.1 Üldist tulepüsivusarvutustes kasutatavatest normidest

Puitkonstruktsioonide tulepüsivusarvutus tehakse standardi- **EVS-EN 1995-1-2:2006 Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-2: Üldist. Tulepüsivusarvutus-** kohaselt.

Nimetatud standard käsitleb puitkonstruktsioonide projekteerimist tulekahjuolukorras ning seda tuleb kasutada koos standarditega EVS-EN 1995-1-1, EVS-EN 1990 ja EVS-EN 1991-1-2. EVS-EN 1991-1-2 määrab ainult erinevused ja täiendused võrreldes normaaltemperatuuri korral tehtavate arvutustega.

Tulepüsivusarvutusstandard käsitleb ainult tulekaitse passiivseid meetodeid. Aktiivse tulekaitse meetodeid ei ole käsitletud.

Seda standardit kohaldatakse ehituskonstruktsioonidele, et täita kindlaid nõutavaid funktsioone tulekahju korral, mis peavad täitma järgmisi tuleohutusnõudeid:

- konstruktsiooni enneaegse varingu (kandevõime kaotuse) ärahoidmine;
- tulekahju (leekide, kuumade gaaside, ülemäärase kuumuse) leviku takistamine määratud piirkondadesse (eraldusfunktsioon).

Standard annab põhimõttelised ja rakenduslikud juhised konstruktsioonide projekteerimiseks eespool nimetatud funktsioonide ja teostustaseme määratud tuleohutusnõuete täitmiseks.

EVS-EN 1995-1-2 on kohaldatav nendele konstruktsioonidele või konstruktsiooniosadele, mis kuuluvad standardi EVS-EN 1995-1-1 käsitlusalaselle ja mis projekteeritakse sellele vastavalt.

15.2.2 Tulepüsivuse projekteerimise alused

Tulepüsivuse standardi kohaselt peavad konstruktsioonid rahuldama kriteeriume R, I, E milledega hinnatakse tulepüsivuse aega minutites.

Kui tulekahjuolukorras on nõutav ehituskonstruktsioonide mehaaniline vastupanu, tuleb neid arvutada ja projekteerida selliselt, et nad säilitaksid tulekahju olukorras kandevõime ja vastaksid **kandevõimekriteeriumile R**, mis iseloomustab konstruktsiooni või selle osa võimet kanda nõutava suurusega koormust etteantud tulekahju kestel. *Deformatsioonikriteeriumi* tuleb rakendada juhul, kui kaitsevahendite või eralduselementide projekteerimise kriteeriumid nõuavad kandekonstruktsioonide deformatsioonide arvestamist.

Kui on nõutav tule lokaliseerimine, tuleb elemente, mis moodustavad tuletõkkeseptsiooni piire, kaasa arvatud ühendused, arvutada ja konstrueerida selliselt, et nad säilitaksid tulekahjuseisundis eraldusfunktsiooni. Kui see on oluline, tuleb veenduda et: täielikku tõrget ei tohi esineda, isolatsiooni tõrget ei tohi esineda, soojuskiirgus varjatud küljel on limiteeritud.

Standardtulekahju kestel peavad elemendid rahuldama kriteeriume R, E ja I järgmiselt:

- eraldavuse funktsioon ainult: terviklikkus (kriteerium E) ja kui on nõutav siis isoleerivus (kriteerium I);
- kandevõime kriteerium ainult: mehaaniline vastupanu (kriteerium R);
- eraldavuse ja kandevõime funktsioonid ainult: kriteeriumid R,E ja kui on nõutav, siis I.

Kriteeriumi R rahuldamise eelduseks on, et kandevõime funktsioon säilitatakse tulekahju korral nõutava aja kestel.

Kriteeriumi I rahuldamise eelduseks on, et tulele mitteavatud kogu pinna keskmise temperatuuri tõus on piiratud 140 K ja maksimaalne temperatuuri tõus ükskõik millises pinna punktis ei ületaks 180 K.

Koormused

Tulekahjukoormus on avariikoormuskombinatsioon. Tulepüsivusarvutustel ülekoormustegureid ei arvestata. Normkoormusi vähendatakse järgmiselt:

Lumekoormust 0,2 s_k
Tuulekoormust 0,5 s_k
Kasuskoormust 0,3...0,8 q_k

Materjali tugevuste ja jäikusväärtused

Tulepüsivusarvutustes on materjali omaduste arvutussuurused leitavad järgmiselt:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

kus:

- $f_{d,fi}$ arvutustugevus tulepüsivuse arvutusel;
 $S_{d,fi}$ arvutuslik jäikusomadus (elastsusmoodul $E_{d,fi}$ või nihkemoodul $G_{d,fi}$) tulepüsivuse arvutusel;
 f_{20} tugevusomaduse 20% kvantiil normaaltemperatuuril;
 S_{20} jäikusomaduse (elastsus- või nihkemoodul) 20% kvantiil normaaltemperatuuril;
 $k_{mod,fi}$ modifikatsioonitegur tulepüsivusarvutusel, mille väärtus esitatakse vastava arvutuse kohta;
 $\gamma_{M,fi}$ puidu osavarutegur tulepüsivusarvutusel, mille väärtuseks rahvusliku lisa kohaselt on 1

Modifikatsiooni tegur tulepüsivusarvutusel arvestab tugevus- ja jäikusomaduste vähenemist kõrgetel temperatuuridel. Modifikatsiooni tegur tulepüsivusarvutusel asendab standardis EN 1995–1–1 antud normaaltemperatuuril arvutustes kasutatavat modifikatsioonitegurit k_{mod} . $k_{mod,fi}$ väärtused on antud standardis vastavates jaotistes.

Materjali omaduste soovitavaks osavaruteguri väärtuseks tulepüsivusarvutustes on $\gamma_{M,fi} = 1,0$. Informatsiooni rahvuslike valikute kohta võib leida rahvuslikus lisas.

Kandevõime arvutusväärtus $R_{d,t,fi}$, mida kasutatakse kaitsmata liidete ja telgsuunas koormatud kruvide korral korral tuleb arvutada järgmiselt:

$$R_{d,t,fi} = \eta \frac{R_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

kus:

- $R_{d,t,fi}$ mehaanilise vastupanu arvutusväärtus tulekahju olukorras aja t jooksul;
 R_{20} normaaltemperatuuril mehaanilise vastupanu 20% kvantiil ilma koormuse kestuse ja niiskussisalduse mõjuta ($k_{mod} = 1$);
 η muundustegur liidete korral.

Tugevus- või jäikusomaduste 20% kvantiil arvutatakse järgmiselt:

$$f_{20} = k_{fi} f_k$$

$$S_{20} = k_{fi} S_{05}$$

kus:

- f_{20} tugevusomaduse 20% kvantiil normaaltemperatuuril;
 S_{20} jäikusomaduse 20% kvantiil (elastsus või nihkemoodul) normaaltemperatuuril;
 S_{05} jäikusomaduse 5% kvantiil (elastsus või nihkemoodul) normaaltemperatuuril;
 k_{fi} on antud alljärgnevas tabelis.

k_{fi} väärtused

	k_{fi}
Monoliitpuit	1,25
Lamell-liimpuit	1,15
Puidupõhised paneelid	1,15
LVL spoonliimpuit	1,1
Puit- ja puidupõhiste paneelide külgelementide ühendused nihkele töötavate kinnituselementidega	1,15
Terasest külgelementide ühendused nihkele töötavate kinnituselementidega	1,05
Pikisuunas koormatud kinnituselementidega ühendused	1,05

(4) Ühenduste mehaanilise vastupanu R_{20} 20% kvantiil tuleb arvutada järgmiselt:

$$R_{20} = k_{fi} R_k$$

kus:

k_{fi} on antud tabelis .

R_k ühenduse normatiivse mehaanilise vastupanu normaaltemperatuuril ilma koormuse kestuse ja niiskussisalduse mõjuta ($k_{mod} = 1$).

Ps esitatakse standardis temperatuurist sõltuvad termiliste omaduste arvutusväärtused.

Kontrollmeetodid

Konstruktsiooni tulekahjuolukorrale kohandatud arvutuskeem peab arvesse võtma asjakohast käitumist tulekahjuolukorras. Olenevalt tulekahju kestuse t nõudest tuleb kontrollida, kas

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}$$

kus

$E_{d,fi}$ arvutuskoormuste mõju tulekahjuseisundis, kaasa arvatud soojuspaisumine ja deformatsioonid,

$R_{d,t,fi}$ vastav arvutuslik vastupanu tulekahjuseisundis.

Materjalide soojuspaisumise mõju, välja arvatud puit, tuleb arvesse võtta.

Alternatiivina projekteerimisele arvutuste teel võib projekteerimine põhineda tulekahju katse tulemustel või tulekahju katsetel koos arvutustega.

a) *Elemendi arvutusel* - koormuse mõju tuleb määrata tulekahju kestvusel $t = 0$ kasutades kombinatsiooni tegureid $\psi_{1,1}$ või $\psi_{2,1}$.

Arvutuse lihtsustusena võib koormuse $E_{d,fi}$ mõju teada saada normaaltemperatuuri kohasel arvutusel.

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d$$

kus:

E_d koormuse arvutuslik mõju koormuste põhikombinatsioonist normaaltemperatuuri kohasel arvutusel;

η_{fi} arvutuskoormuse vähendustegur tulekahjuseisundis, mis leitakse standardi EVS-EN 1990:2002. kohaselt

b) Konstruktsiooniosade arvutus

Alternatiivina konstruktsiooni kandevõime arvutamisel tulekahju seisundis, kus aeg $t=0$, konstruktsiooniosade toereaktsioonide, sisejõudude ja momentide väärtused võib leida normaaltemperatuuri kohaste arvutustega analoogiliselt elemendi arvutusega, seejuures konstruktsiooniosa arvutus peab täpsustama võimalikud soojuspaisumised ja deformatsioonid selliselt, et vastastikusel mõjul teiste konstruktsiooniosadega võib läheneda nende ajast sõltumatu toe- ja piirtingimustega.

Konstruktsiooniosa arvutustes, tulekahju korral olulisel purunemisviisil, tuleks arvesse võtta materjali omaduste temperatuuri sõltuvus ja elementide jäikused ning soojuspaisumise ja deformatsiooni mõjud (kaudne tule mõju).

Tugede piirtingimused ning jõud ja momendid konstruktsiooniosa piirides arvestatakse eeldatavalt konstantseteks kogu aja kestel.

c) Üldine konstruktsiooni arvutus

Tulekahjuseisundis üldine konstruktsiooni arvutus peab arvesse võtma asjakohast purunemisviisi tulekahjuolukorras, temperatuurist sõltuvaid materjali omadusi, elemendi jäikust, termilise paisumise ja deformatsioonide mõju (kaudset tulekahju koormust).

15.3 Materjali omadused

Tulekindluse küsimus puitehitiste korral on tihti see, miks loobutakse puitkonstruktsioonide kasutamisest. Siin tuleb arusaamu muuta. Näiteks on massiivne liimpuit palju vähem tuleohtlik kui metallkonstruktsioon, kuna puit söestub välispinnalt. Edaspidi põleb ta aeglaselt, mistõttu varing toimub aeglaselt. Teraskonstruktsioon kuumeneb kiiresti ($500 - 600^{\circ}$ ja elastsusmoodul muutub nulliks) ning konstruktsioon kaotab püsivuse. Siinjuures olgu märgitud, et puidu pinnal olevad teraselemendid kuumenevad aeglasemalt kui tavaline vabalt seisev teraskonstruktsioon.

Tulepüsivusarvutustes tuleb puidu mehaanilised omadused 20°C juures võtta EVS-EN 1995-1-1 kohasel projekteerimisel normaaltemperatuuril.

Söestumissügavus

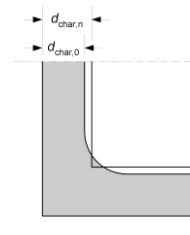
Arvutustes tuleb söestumisega arvestada kõikidel puit- ja puidupõhiste paneelide pindadel, mis on otseselt tulele avatud.

Söestumissügavus on algelemendi välimise pinna ja söestumiskiiri vaheline kaugus, mis arvutustes tuleks võtta tulekahju aja jooksul vastava söestumise määraga.

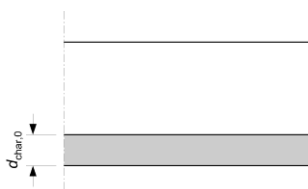
a) kaitsmata pinnad

Ristlõike kuju arvutus peaks põhinema tegelikul söestumissügavusel kaasa arvatud nurkade ümardamine. Teise võimalusena võib arvutust teha kujuteldava ristlõikega ilma nurkade ümardamiseta, mis põhineb kujuteldaval söestumissügavusel (joonis 15.3-1).

Söestumiskiiri asetus võetakse 300 kraadise temperatuurijoone tasemel. Arvestada tuleks, et söestumismäär on erinev järgmistel olukordadel: kui kogu tulekahju kestel Joonis 15.3-1 on pinnad kaitsmata, või algselt kaitstud pindadel kaitse eelnevalt puruneb, või algselt kaitstud pinnad peale kaitse purunemist on tule eest kaitsmata.



Joonis 15.3-1



Standardtulekahju korral (s.o tulekahju, kus põlemistemperatuur muutub ajas vastavalt standardsele temperatuuri-ajagraafikule) leitakse söestumissügavus avaldisest:

Joonis 15.3-2

$$d_{\text{char},0} = \beta_0 t$$

kus:

$d_{char,0}$ arvutuslik söestumissügavus lineaarsel söestumisel (joonis 15.3-2);

β_0 söestumismäär lineaarsel söestumisel standardtulekahju korral ;

t tulekahju kestvus.

Kujuteldav söestumismäär, nurkade ümardamise ja lõhede mõju sisaldav suurus, tuleks võtta konstantseks kogu aja jooksul (vt joonis 15.3-1).

$$d_{char,n} = \beta_n t$$

kus:

$d_{char,n}$ nurkade ümardamisega seotud kujuteldav söestumissügavus;

β_n kujuteldav söestumismäär, nurkade ümardamise ja lõhede mõju sisaldav suurus.

Puidu arvutuslikud söestumismäärad

	β_0 mm/min	β_n mm/min
Okaspuit:		
liimpuit	0,65	0,7
saepuit	0,65	0,8
Lehtpuit		
normtihedus 290 kg/m ³	0,65	0,7
normtihedus üle 450 kg/m ³	0,5	0,55
Spoonliimpuit	0,65	0,7

Lineaarset arvutuslikku söestumismäära võib kasutada kui ristlõike vähim mõõde on suurem kui

$$b_{min} = \begin{cases} 2 d_{char,0} + 80 & \text{for } d_{char,0} \geq 13 \text{ mm} \\ 8,15 d_{char,0} & \text{for } d_{char,0} < 13 \text{ mm} \end{cases}$$

Kui ristlõike väiksem laius on väiksem kui b_{min} , siis tuleks kasutada kujuteldavat arvutuslikku söestumismäära.

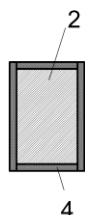
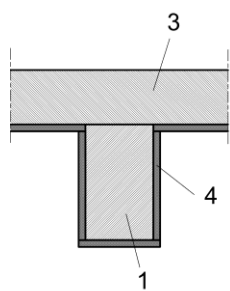
Kui normtiheduse väärtus erineb 450 kg/m³ ja puitpaneelil on paksus väiksem kui 20 mm leitakse söestumismäär avaldisega $\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 k_\rho k_h$ kus k_ρ ja k_h olenevad kasutatava materjali tihedusest ja paksusest.

b) Tulekahju eest kaitstud pinnad

Pindadel, mis on kaitstud tulekaitse kattega, teiste kaitsematerjalidega või konstruktsiooni elementidega, vt joonis 15.3-3, tuleks arvesse võtta et

- söestumise algus lükkub edasi soojusisolatsiooniga kaitstud elemendi söestumise alguse aja t_{ch} võrra;
- söestumine võib alata enne tulekaitsekihi purunemist ainult madalama määraga, kui tabelis näidatud;
- peale tulekaitse purunemise aega t_f söestumismäär suureneb üle tabelis näidatud väärtuste kuni allpool kirjeldatud ajani t_a ;

- kui piiraja t_a jooksul söestumissügavus võrdub kas sama elemendi söestumissügavusega ilma tulekaitse kihita või 25 mm, ükskõik kumb on väiksem, söestumismäär langeb ülal tabelis antud väärtustele.
- kaitstud elemendi purunemine või varisemine,



- kaitstud elemendi üleliigne deformatsioon.

Tähised:

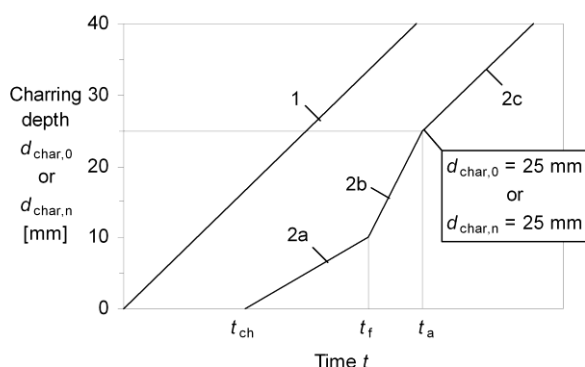
- 1 tala
- 2 post
- 3 laudis
- 4 vooderdis

Joonis 15.3-3 – Näited tulekaitse vooderdistest: a) taladel b) postidel

a)

b)

Erinevad kaitsetapid, ülemineku ajad etappide vahel ja vastavad söestumismäärad on illustreeritud joonisel 15.3-4



Tähised:

1 Kaitsmata elementide tulekahju aja sõltuvus söestumismäärast β_n (või β_0)

2 Esmaselt kaitstud elementide sõltuvus kui söestumine algab enne kaitse purunemist

2a Söestumise määra vähenemisel algusaajal t_{ch} , kui kaitse on veel paigal

2b Peale kaitse eemaldumist söestumise määra suurenemisel algul

2c Peale söestumissügavuse 25 mm ületamist söestumismäär väheneb eespool esitatule

Joonis 15.3-4 – Söestumissügavuse muutus ajast kui $t_{ch} < t_f$

Sõltuvalt elemendi söestumise alguse ajast t_{ch} ja tulekaitse purunemise ajast t_f esitatakse standardis eeskirjad söestumismäärade leidmiseks (tegurid tabelis antud puitelementide söestumissügavuste leidmiseks.

Ühe- ja mitmekihiliste puidupõhiste või puitplaatidest tulekaitsekatte söestumise algusaeg t_{ch} tuleks leida järgmiselt:

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_0}$$

kus:

h_p on ühekihilise plaadi paksus, mitmekihiliste korral kihtide kogu paksus;

t_{ch} söestumise algusaeg;

Kipsplaatide korral

$$t_{ch} = 2,8 h_p - 14$$

Kivivillast plaatidega kaitstud talade ja postide al söestumise algusaeg t_{ch} määratakse järgmiselt:

$$t_{ch} = 0,07(h_{ins} - 20) \sqrt{\rho_{ins}}$$

kus:

- t_{ch} söestumise algusaeg minutites;
- h_{ins} isolatsioonmaterjali paksus mm-tes;
- ρ_{ins} isolatsioonmaterjali tihedus kg/m^3

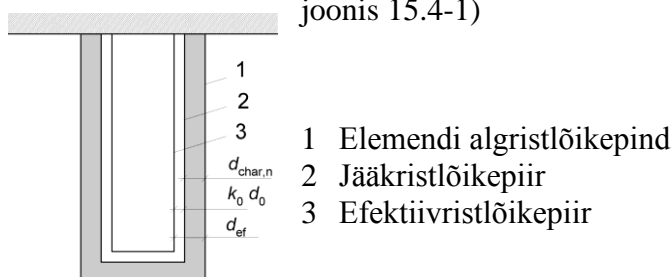
Tulekaitsekatte purunemise tingimused võivad toimuda:

- kattematerjali söestumise või mehaaniliste omaduste vähenemisel;
- ebapiisava kinnitite süvistussügavusest söestumata puidus;
- kinnitite mittevastavatest paigutusest ja vahekaugustest.

15.4 Arvutusmeetodid mehaanilise vastupanu tagamiseks

a) Efektivristslõikemeetod

Efektivristslõige tuleks arvutada algristslõike vähendamise teel efektiivse söestussügavuse d_{ef} võrra (vt joonis 15.4-1)



Joonis 15.4-1

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0$$

kus:

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$d_{char,n}$ nurkade ümardamisega seotud kujuteldav söestumissügavus (vt jaotis 15.3)

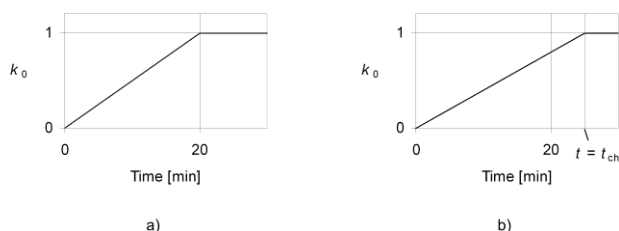
k_0 tegur mis leitakse järgmiselt:

- kaitsmata pindadele tuleks k_0 määrata järgmise tabeli 15.4-1 järgi

Tabel 15.4-1 — k_0 määramine kaitsmata pindadele t minuti jaoks (vaata joonis 15.4-2 a)

	k_0
$t < 20$ minutit	$t/20$
$t \geq 20$ minutit	1,0

- kaitsstud pindadele, mille $t_{ch} > 20$ minutit, tuleks eeldada, et k_0 muutub lineaarselt 0 ja 1 vahel ajavahemiku $t = 0$ kuni $t = t_{ch}$ kestel, vaata joonis 15.4-2b. Kaitsstud pindade jaoks, mille $t_{ch} \leq 20$ minutit, kehtib tabel 15.4-1.



Joonis 15.4-2 — k_0 muutumine:

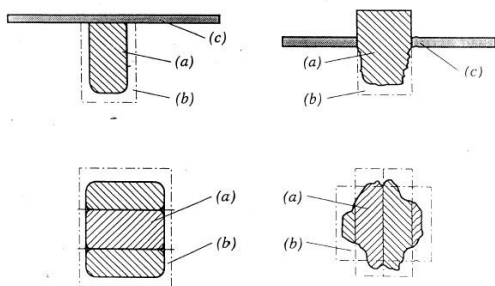
- a) kaitsmata elementidel ja kaitsstud elementidel, mille $t_{ch} \leq 20$ minutit, b) kaitsstud elementidel, mille $t_{ch} > 20$ minutit

Standardis tuuakse täiendavad juhised k_0 määramiseks tuletõkke katete korral, mis on tehtud

kipsplaatidest, puit- või puidupõhistest plaatidest.

Siinjuures eeldatakse, et söestumisjoone lähedal asuv materjalikiht paksusega $k_0 d_0$ (joonis 15.4-1) on ilma tugevuse ja jäikuseta, samal ajal kui jääkristlõike tugevus ja jäikus eeldatakse jäävat muutumatuna.

Efektiivristlõike arvutuslikud tugevus- ja jäikusomadused tuleks arvutada teguriga $k_{\text{mod,fi}} = 1,0$.



Efektiivristlõike meetodil teostatakse kandevõime kontroll leitud tugevuste, koormuste ja ristlõigetega (joonis 15.4-3).

- a) järelejäänud ristlõige
- b) söestunud puit
- c) tulekaitsekiht

Joonis 15.4-3

b) Vähendatud tugevus- ja jäikusomaduste meetod

Okaspuidust kolmest või neljast küljest tulele avatud ristkülikulise ristlõike korral, või kogu perimeetris tulele avatud ümarristlõike puhul kehtivad järgnevad reeglid:

- ristlõiget vähendatakse ainult söestumissügavuse järgi $d_{\text{char,0}}$ või $d_{\text{char,n}}$ võrra;

kui $t \geq 20$ minutit, siis tuleks modifikatsioonitegur $k_{\text{mod,fi}}$ leida järgnevalt:

– paindetugevuse jaoks: $k_{\text{mod,fi}} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r}$

– survetugevuse jaoks: $k_{\text{mod,fi}} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r}$

– tõmbetugevuse ja elastsusmooduli jaoks: $k_{\text{mod,fi}} = 1,0 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r}$

kus: p - on tulele avatud jääkristlõike perimeeter, meetrites; A_r -jääkristlõike pindala, m^2 -tes.

c) Täpsustatud arvutusmeetod

Mehaanilise vastupanu ja eraldusfunktsiooni määramiseks täpsustatud arvutusmeetodid peavad tagama tulele avatud konstruktsioonide realistliku analüüsi. Need peavad põhinema fundamentaalsel füüsikalisel käitumisel sellisel viisil, et juhtida usaldusväärsele lähendusele tulekahjuolukorras oleva vastava konstruktsiooniosa oodatud käitumisele. Juhised selleks on antud standardi lisa B (informatiivne).

d) Arvutuseeskirjade lihtsustused

Ristikuidu survetugevuse võib arvestamata jätta.

Täisristlõike puhul võib nihke jätta arvestamata. Tappidega tala juures tuleks kontrollida, et tapi lähedal oleks jääkristlõige vähemalt 60 % normaaltemperatuuril projekteeritud ristlõikest.

Talade puhul, kui tala jäikusside vastavas tulekahjuolukorras puruneb, tuleks selle tala nõtkearvutus teha ilma selle jäikussidemeta.

Postide korral, kui posti jäikusside vastavas tulekahjuolukorras puruneb, tuleks selle posti nõtkearvutus teha ilma selle jäikussidemeta.

Tuletõkkesektsioonis oleva posti jaoks, mis on osa mittepaigutava raami (karkassi) jätkuvpostist, võib arvutuskeemis normaaltemperatuuri olukorraga võrreldes mõnevõrra lihtsustada toetingimusi.

Vahepealsete korruste postid võib lugeda mõlemast otsast järgalt kinnitatuks ning ülemise korruse posti võib lugeda alumisest otsast järgalt kinnitatuks

Mehaaniliselt liidetud elementide nihkemooduli leidmisel tuleb arvestada tulekahju olukorraga, mis seisneb ülemineku teguri kasutamisel.

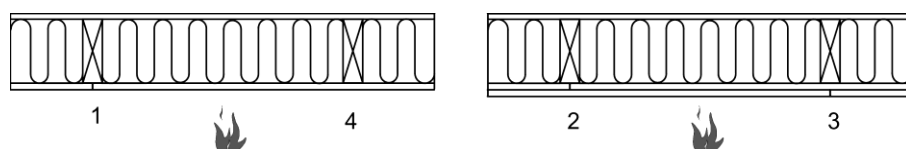
15.5 Seinte ja vahelagede projekteerimise protseduurid

Standardis esitatud protseduurid kehtivad kandvate (R) konstruktsioonide, eraldavate konstruktsioonide (EI) ning kandvate ja eraldavate (REI) konstruktsioonide jaoks. Eraldusfunktsiooni jaoks kasutatakse reegleid ainult standardtulepüsivuste puhul, mis ei ületa 60 minutit.

Kandevõime arvutamisel mitteeraldavad kandekonstruktsioonid tuleb projekteerida samaaegselt mõlemast küljest tulele avatuna. Seinte ja vahelagede jaoks, mille vuugid on täielikult täidetud isolatsiooniga, on projekteerimismeetod toodud lisan C (informatiivne) ja tühjade vuukidega seinte ja vahelagede jaoks on projekteerimisjuhised antud lisan D (informatiivne).

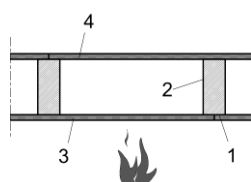
Eraldusfunktsioonile arvutamisel peab arvutus arvestama erinevate materjalikomponentide panust ning paiknemist konstruktsioonis. Projekteerimismeetod on antud lisan E (informatiivne).

Isolatsiooniga täidetud seinad ja vahelagede arvutamiseks on juhised lisan C (joonis 15.5-1) Ja tühimikega seinte ja vahelagede arvutusjuhised on antud lisan D (joonis 15.5-2)



1- Jätk üksikus kihis; 2- Jätk sisemise plaadi kihis; 3- Jätk välimise plaadi kihis; 4: Jätkuta üksik kiht

Joonis 15.5-1



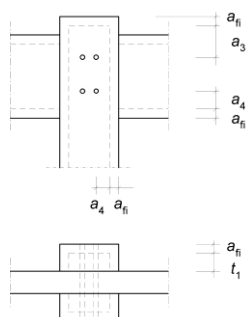
- 1-Tulele avatud kitsas külg
- 2-Tühimikule pööratud elemendi lai külg
- 3-Tuldtõkestav vooderdis konstruktsiooni (kooste) tulele avatud küljel
- 4-Tuldtõkestav vooderdis (kooste) konstruktsiooni tulele mitteavatud küljel

Joonis 15.5-2

15.6 Liidetest

Tulepüsivusarvutustes tuleb olulist tähelepanu pöörata liidetele. Suurema tulepüsivuse saavutamiseks naigel-, nael- või peitpeaga kruviliidete puhul tuleb suurema tulepüsivusklassi kui R15 korral

- suurendada sidemete otsa- ja servakaugusi a_{fi} võrra (vt joonis 15.6-1), mille suurus leitakse standardi kohaselt;
- kontrollida äärmise elemendi standardiga antud paksuse nõuet;
- vähendada koormust teguri η võrra;



Joonis 15.6-1 — Täiendav paksus ning liidete täiendavad otsa- ja servakaugused

Kaitstud liited

Juhul, kui liide on kaitstud puitplaadi, puidupõhise plaadi või kipsplaadi lisamisega, siis peaks aeg söestumise alguseni rahuldama nõuet:

$t_{ch} \geq t_{req} - 0,5 t_{d,fi}$ kus: t_{ch} - aeg söestumise alguseni; t_{req} - nõutav standardtulepüsivusaeg; $t_{d,fi}$ - kaitsmata liite tulepüsivusaeg vastavalt standardi nõudele.

Sisseliimitud puitkorkidega (joonis 15.6-2) kaitstud liidete jaoks tuleks korkide pikkused määrata analoogselt elemendi täiendava paksuse a_{fi} määramisega. Seega korgi pikkus peaks võrduma a_{fi} .



Täiendava kaitse kinnitused peaksid hoidma ära selle enneaegse varisemise. Puidupõhised plaadid ja kipsplaadid peaksid jääma paigale kuni elemendi söestumise alguseni ($t = t_{ch}$). Poltliidetes tuleks poldipead katta kaitsega, mille pikkus on a_{fi} .

Täiendava kaitse kinnitamisel naelte või kruvidega kehtivad järgnevad reeglid:

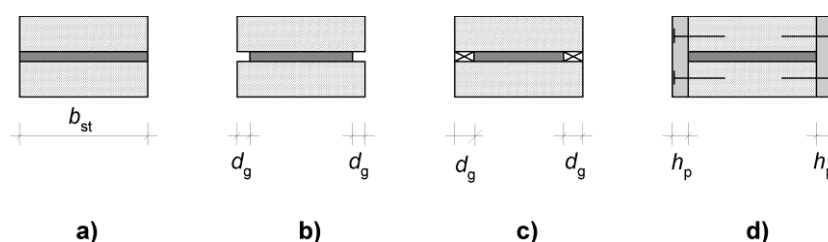
- kinnitite vaheline kaugus ei tohiks ületada 100 mm piki laua serva asetsevatel kinnititel ning mitte üle 300 mm seespool asetsevatel kinnititel;
- kinnitite servakaugused peaksid olema suuremad või võrdsed suurusega a_{fi} .

Puitplaadi, puidupõhise plaadi või kipsplaadi kasutamisel täiendava kaitsena peaks neid fikseerivate kinnitite süvistussügavus olema vähemalt $6d$, kus d on kinniti läbimõõt.

Sisemiste terasplaatidega liidetele, mille paksus on suurem või võrdne 2 mm-ga ja mis ei ulatu puidu pinnast väljapoole, peaks terasplaadi paksus b_{st} olema R30 korral ≥ 200 mm ja R60 ≥ 280 mm.

Terasplaadid, mis on kitsamad, kui puitelemendi laius, võib lugeda kaitstuks järgmistel juhtudel (vaata joonis 15.6-3):

- juhud, kui plaadi paksus ei ole suurem kui 3 mm ja tühimiku sügavus d_g on suurem kui 20 mm tulepüsivusaja 30 minutit jaoks ning suurem kui 60 mm tulepüsivusaja 60 minutit jaoks;
- liited sisseliimitud ribaga või kaitsvate puidupõhiste plaatidega, kus sisseliimitud riba sügavus d_g või plaadi paksus h_p on suurem kui 10 mm tulepüsivusaja 30 minutit jaoks ning suurem, kui 30 mm tulepüsivusaja 60 minutit jaoks.



Joonis 15.6-3 — Terasplaadi servade kaitsmine (kinnitid ei ole näidatud): a) kaitsmata, b) kaitstud tühimikega, c) kaitstud sisseliimitud ribadega, d) kaitstud plaatidega

Liimliidete korral, kui viimane on tehtud fenool-vormaldehüüd ja aminoplastliimidel, mis vastavad EN 301 ja EVS-EN 1995-1-1 nõuetele, tagavad liite terviklikkuse nõutava tulepüsivusaja kestel.

Sõlmede lahenduste konstruktiivsetest nõuetest

Seina karkassipostide ning põrandalaagide samm ei tohiks olla suurem kui 625 mm.

Seintes peaksid üksikud plaadid olema järgmise miinimumpaksusega:

$$t_{p,\min} = \max \begin{cases} l_p \\ 70 \\ 8 \end{cases} \text{ kus: } t_{p,\min} - \text{plaadi miinimumpaksus millimeetrites; } l_p - \text{plaadi sille (puitraami elementide}$$

või roovide samm) millimeetrites.

Konstruktsioonis kummalgi küljel asuvad ühekihilised puidupõhised plaadid peavad olema tihedusega vähemalt 350 kg/m^3 .

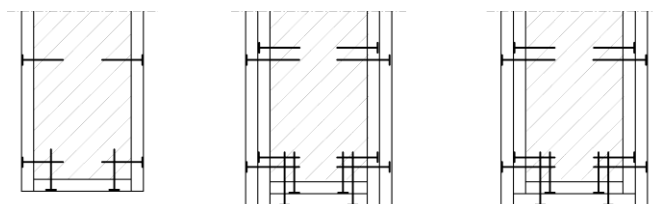
Plaadid tuleks kinnitada puitraamide või roovide külge. Puidupõhiste ja puitplaatide jaoks peaksid naelad ja kruvid asuma ümber perimeetri maksimaalse sammuga vastavalt 150 mm ja 250 mm. Minimaalne süvistussügavus peaks olema kaheksakordse läbimõõdu suurune kandvate plaatide jaoks ning kuuekordse läbimõõdu suurune mittekanvate plaatide jaoks.

Kipsplaatide jaoks on piisav kui täita normaaltemperatuurijärgse projekteerimise eeskirju süvistussügavuse, vahekauguste ja servakauguste kohta. Sealjuures peaks kruvide vahekaugused mööda perimeetrit ja seespool olema vastavalt 200 mm ja 300 mm.

Plaadi servad tuleks tihedalt ühendada maksimaalse vahega 1 mm. Need tuleb kinnitada puitelemendi või roovi külge vähemalt kahest vastasservast.

Isolatsioonikihid või laudis, millega arvestatakse arvutustes, peaksid olema tihedalt täidetud ning kinnitatud puitraami külge, et välistada enneaegset purunemist või kokku varisemist.

Puidupõhised tulekaitseplaadid või puitplaadid, mis kaitsevad talasid või poste, tuleks kinnitada elementide külge naelte või kruvidega (vt joonis 15.6-4). Plaadid tuleks kinnitada elemendi enda, mitte teise plaadi külge. Katte puhul, mis koosneb mitmest plaadi kihist, tuleks iga kiht kinnitada eraldi ning liitekohad peavad olema omavahel nihutatud vähemalt 60 mm. Kinnituselementide vahekaugused ei tohiks olla suuremad kui väiksem nendest kahest: 200 mm või 17-kordne plaadi paksus h_p . Servakaugus ei tohiks olla suurem kui 3-kordne plaadi paksus h_p ja ei tohiks olla väiksem kui 1,5-kordne plaadi paksus ega väiksem kui 15 mm.



Joonis 15.6-4

Tulepüsivusarvutuste standardis on esitatud lisas F (teatmelisa) plokk skeem nimetatud standardi kasutajale kui kasutajajuhend ja teine plokk skeem liidete projekteerimiseks.

16. PLASTKONSTRUKTSIOONID

Plastkonstruktsioonide alal ei ole veel välja kujunenud üldtunnustatud sisuga õpikuid ja ehitusalaseid norme, nagu see on r/b, metall-, puit- ja kivikonstruktsioonide alal.

Plastikud on veel suhteliselt noored ehitusmaterjalid ja nende kõiki omadusi ning kasutusvõimalusi täpselt ei tunta. Samas luuakse järjest uusi materjale, milliste omadusi ja ühtesobivust teiste materjalidega nagu pikaealisus jmt on ka ebapiisavalt uuritud.

Ehituskonstruktsioonide projekteerimisel on keskne küsimus konstruktsioonide **pingedeformatsiooniolukorra määramine ja tugevuse ning stabiilsuse kontroll.**

Ka neis küsimustes on lahtisi otsi. Nende tugevusomadused ja käitumine pingedeformatsiooni olukorras erinevad oluliselt traditsioonilistest materjalidest (v.a. puit). Olulisteks teguriteks on **aeg** ja **temperatuur**.

Kui varem kasutati plastmasse ehitustegevuses peamiselt viimistlus- ja dekoratiivmaterjalina, siis tänapäeval rakendatakse neid tänu väikesele omakaalule ja suurele tugevusele ka kandekonstruktsioonides. Plastmassidest (klaasplast, mullplast, liim jne.) valmistatakse tehastes industriaalseid monteeritavaid konstruktsioone. Eriti perspektiivsed on kolmekihilised liimitud piirdekstruktsioonid (katuse- ja seinapaneelid), kus koos plastmassidega kasutatakse ehituses juba levinud tugevaid profiil- ja lehtmaterjale (alumiinium, teras). Praktikas on kasutusel ka valgust läbilaskvad piirdekstruktsioonid ja õhutihedast tekstiilist või plastmasskilest valmistatud pneumaatilised konstruktsioonid.

Märkusena olgu nimetatud, et plastikute tehnoloogia ja nende kasutamise alal on selliseid ingliskeelseid termineid, millel ei ole veel eestikeelseid vasteid välja kujunenud.

16.1 Materjalid

Plastik on liitmaterjal, mille põhiliseks komponendiks on sideaine – polümeer ehk tehisvaik, mis on kõrgmolekulaarne aine ja mille molekulid koosnevad paljudest ühesuguse struktuuriga elementaarlülidest.

Polümeerid on kas looduslikud või sünteetilised. Seoses sellega võiks neid jagada:

1) looduslikud ehk *biopolümeerid* nagu

- a) süsinikhüdraadid- tselluloos (puuvill, lina, puukiud-, kasvu- ja taimekiud), tärklis, glükoos jne.;
- b) proteiinid- valkained (siid, vill- loomsed kiud);
- c) proteiidid- valkained (piima kaseiin);
- d) ligniin;
- e) kautšuk.

2) **poolsünteetilised ehk muudetud looduspolümeerid** – looduslike polümeeride modifitseerimise või keemilise töötlemise teel: tselluloosi hüdratiseerimisel saadakse modifikatsioon vulkaniseeritud kiude , tselluloosnitraadid (tselluloid), tselluloos-atsetaadid . Kautšukist saadav modifikatsioon on kumm (eboniit – kõvakumm), mis saadakse kautšuki vulkaniseerimisel väävliga.

3) sünteetilised polümeerid.

Polümeere saadakse madalmolekulaarsetest orgaanilistest ainetest – monomeeridest.

Polümeeri nimetus tuleneb tavaliselt selle monomeeri nimetusest, millest on ta saadud. Nii näiteks polüetüleen saadakse etüleenist, samal viisil polüstürool jne.

Seega plastmassid valmistatakse sideainest kas täiteainega või ilma koos plastifikaatori, stabilisaatori, pigmendi jt ainetega. Orgaanilisi ja anorgaanilisi täiteaineid kasutatakse plastmassi omaduste modifitseerimiseks.

Plastifikaatorid suurendavad painduvust, hõlbustavad nende töötlemist ning suurendavad külmakindlust

Stabilisaatori ülesandeks on suurendada polümeeri termilist stabiilsust ja aeglustada vananemist

Deformatsiooniomaduste järgi jagatakse plastmassid kõvaks (*plastid*) $E > 1000 \text{ N/mm}^2$, poolkõvaks (*elastid*) $1000 \geq E \geq 20 \text{ N/mm}^2$ ja elastseteks (*elastomeerid*) $E < 20 \text{ N/mm}^2$. **Väike elastsusmoodul ja suured plastsed deformatsioonid on plastmasside suurimaks puuduseks.** Plastmassid on ka väikese kuumakindlusega. Enamiku plastmasside kuumakindlus ei ületa $100\text{-}120^\circ\text{C}$. Madalatele temperatuuridele on plastmassid vähem tundlikud – puuduseks külmhaprus. Puuduseks on ka vananemine: ekspuaterimisel alluvad plastmassid õhuhapniku, ultraviolettkiirguse, soojuse ja niiskuse toimele, mis põhjustavad polümeeride keemilise koostise või struktuuri muutumise, millega kaasneb omaduste halvenemine – polümeeride vananemine.

Kõigil plastmassidel on suhteliselt väike erikaal, tavaliselt $900 \dots 2200 \text{ kg/m}^3$. Seega on plastmassid alumiiniumist keskmiselt 2 korda kergemad ning terasest ja värvilistest metallidest 5- 8 korda kergemad. Eriti kerged on mullplastid, mille mahukaal võib olla näiteks 20 kg/m^3 . Plastmasside tugevus kaaluühiku kohta on suur, ületades paljudel juhtudel terase tugevuse.

Plastmasside temperatuuri-joonpaisumistegur on suur ja sellega tuleb projekteerimisel arvestada.

Sõltuvalt sideaine käitumisest kuumutamisel jaotatakse plastmassid:

- **termoplastsed**, mis soojenemisel pehmenevad ja jahtumisel uuesti kõvenevad (polüvinüülkloriid, polüetüleen jmt.)
- **termoreaktiivsed**, mis kuumutamisel võivad praguneda (fenoolformaldehüüd-, polüester-, epoksüüd-, karbamiidvaikude baasil)

Plastikud võivad olla mittehomoogeensed, mis koosnevad peamisest komponendist- sideainest (vaigust) ja tehnoloogilistest lisanditest nagu

- **plastifikaatorid** (vähendavad haprust);
- **täiteained** (vähendab vaigu kulu);
- **stabilisaatorid** (takistavad destruktsiooni, vananemist);
- **antistaatikud** (vähendavad elektriseerumist valmistamisel ja kasutamisel);
- **värvained**
- **initsiaatorid**
- **pooride tekitajad jmt.**

Homogeensete plastmasside hulka kuulub näiteks polüetüleen.

16.2 Sideained

Ehituslike konstruktsioonide ja toodete valmistamiseks kasutatakse põhiliselt:

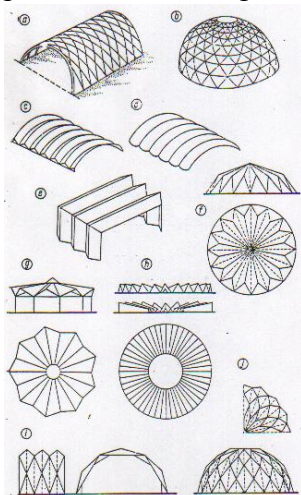
- **polüestervaike** suuremõduliste klaasplastikust toodete valmistamiseks;
- **fenoolformaldehüüdvaike** puit- ja paberplastikute valmistamiseks (kõvastub kuumutamisel $140\text{-}150^\circ\text{C}$), aga samuti vineeride ja liimpuidu valmistamiseks;
- **epoksüüdvaike** kasutatakse klaasplastikute ja liimide valmistamiseks
- **melamiinformaldehüüdvaike** (karbamiidvaigud) liimide valmistamiseks;
- **räniorgaanilisi vaike** lakid, emailid, värvid

16.3 Ehituskonstruktsioonides kasutatavate plastide põhitüübid

- a) klaasplastikud (klaaskiud + vaik);
- b) termoplastsed materjalid;
- c) sooja- ja heliisolatsioonimaterjalid;
- d) puitplastikud;

a) **Klaasplastikuid** kasutatakse piirdekonstruktsioonide (paneelid), kandekonstruktsioonide ja arhitektuursete detailide valmistamiseks. Ps san-tehniliste, dekoratiivviimistlusmaterjalide ning armatuurvarraste valmistamiseks.

Eriti efektiivne kasutusala klaasplastidele on ruumilised konstruktsioonid – igat liiki koorikud (joonis 16.3-1). Vaatamata suurele tugevusele on aga neil materjalidel suhteliselt madal E . Koorikute puhul kasutatakse põhiliselt poltliiteid.



Joonis 16.3-1

b) **Termoplastseid materjale** kasutatakse piiratult.

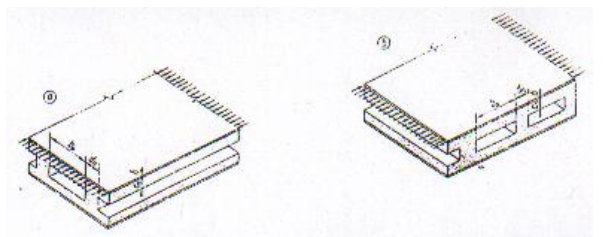
Orgaanilist klaasi – polümetüülmetakrülaat (pleksiklaas) – kasutatakse näiteks valgustuspaneelide või katusekuplite valmistamiseks. Liimitakse orgaaniliste lahustitega – dikloretään – või keevitatakse kuumutamise teel 140 ... 185 °C juures.

Viniplasti kasutatakse hüdro- ja auruisolatsiooni valmistamiseks. Kuna sellel materjalil on kõrge vastupanu hapetele, leelistele, soolade lahustele, siis kasutatakse lehtmaterjalina keemiatööstuses ripplagede, paneelide vooderdise jne valmistamiseks.

Polüetüleenist valmistatakse torusid ja nende ühenduselemente, polte, lehtmaterjali jm. See materjal on püsiv hapete, leeliste ja enamate lahustite suhtes.

c) **Sooja- ja heliisolatsioonimaterjalidel** on väga väike mahumass samas aga suur tugevus.

Vahtplastid, poorplastid (mullplastid) – kinniste pooridega ($d = 0,1 \dots 0,01 \text{ mm}$) ja λ ei sõltu w -st. Neid valmistatakse polüvinüülkloriid-, polüstürool-, fenoolformaldehüüd-, polüuretaan- ja karbamiidvaikude baasil. Nimetatud materjalid on jäigad ja elastsed. Valmistatakse kolmekihilisi paneele. Need moodustatakse kahest voodrilehest ja mullplastist, on kerge ja jäik, täitega -joonis 16.3-2. Joonisel a- sildesuunalise täitega, b- sildega risti tühimikega



Joonis 16.3-2

mis

Sotoplastid (kärplastid), kärjetaoliste tühimikega klaasplastist, alumiinium- või vineervooderdisega paneelides. Kärje konstruktsioon tehakse puuvillakangast või jõupaberist.

(Joonis 16.3-3)



Joonis 16.3-3

d) **Puitplastik** on materjal, mis on saadud naturaalpuidu ja sünteetiliste liimide abil, nagu puitkiud-, puitlaastplaadid ja puitplastikud.

Puitplastide eeliseks on väike soojajuhtivus, mis võimaldab neid kasutada nii piirde- kui kandekonstruktsioonidena (näiteks põrandates, liitkonstruktsioonis jne.). Plastide temperatuurijoonpaisumistegur on suur, mida tuleb konstruktsioonide projekteerimisel arvestada. Nende töötlemine on hõlpus.

16.4 Plastkonstruktsioonid ja liited

Plastkonstruktsioonide detailide ühendamiseks kasutatakse järgmisi liiteid ja ühendusi:

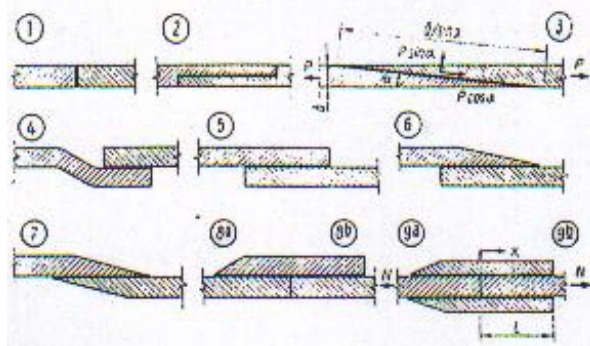
- liimliited
- liim-mehaanilised liited
- keevisliited

Liimliited

Peamiselt kasutatakse liimliiteid (ühendusi), sest sellisel liitel on suhteliselt suur tugevus, ristlõike nõrgestuse puudumine ja erinevate materjalide (plastikud metallide ja mittemetallidega, näiteks puiduga), õhukeste lehtede ja suurte pindade pideva ühendamise võimalus. Liimühendused on hermeetilised ja lihtsustavad konstruktsiooni valmistamist. (joonis 16.4-1)

Viited joonisele:

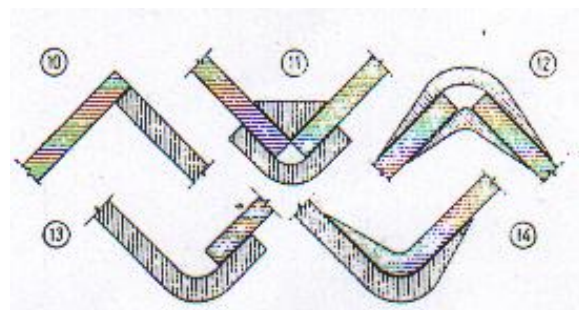
1 pökkjätk; 2 paralleellõikega jätk; 3 kaldlõikega jätk; 4-7 ülekattega jätkud; 8-9 katteelementidega jätkud; 10-14 elementide ühendused nurga all.



Liimühenduse puuduseks on vähene kuumakindlus, väike tugevus nn lahtirebimisel s.o. mitte-ühtlasel jaotatud tõmbel risti liimvuuki ja raskused liimühenduse kvaliteedi kontrollimisel.

Tugeva liimühenduse saamiseks tuleb valida õige liim ja täpselt kinni pidada liimimise tehnoloogiast, mis koosneb järgmistest operatsioonidest:

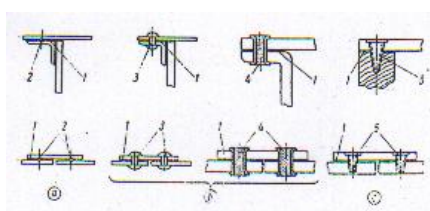
- 1- ühendatavate pindade ettevalmistamine;
- 2- liimi kandmine pindadele
- 3- elementide ühendamine;
- 4- liimühenduse surve all hoidmine vajalikul temperatuuril



Joonis 16.4-1

Liim-mehaanilised liited

Mehaaniliste kinnituselementide kasutamine koos liimiga annab kvaliteetse ühenduse. Kombineeritud ühenduses on liimvuugi töö parem, sest liimühendus ei tööta siin lahtirebimisele (normaalpingele). Teisalt võtab liim küllaltki suure osa koormusest enda kanda, kergendades seega punktkeevituse, needi või kruvi tööd.



- a) liim-keevisühendus; b) liim-needühendus
- 1- liimvuuk, 2- punktkeevitus, 3- need, 4- paisuva tsemendiga täidetud toruneet, 5- kruvi

Joonis 16.4-2

Keevisühendused

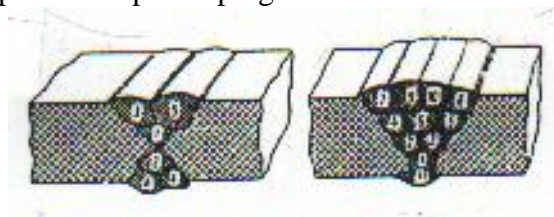
Termoplastsed polümeerid kuumutamisel, nagu teada, pehmenevad ja tänu sellele saab plastmasse plastviskooses olekus (allpool destruktsioonitemperatuuri) keevitada. Keevitamisel toimub kas molekulide difusioon ühest liidetavast elemendist teise või keemiline reaktsioon kahe ühendatava pinna molekulide vahel.

Plastmasside keevitamisel kuumutamise või lahustamise teel tekivad materjalisisepinged, mille põhjuseks on materjali lokaalne paisumine keevisõmbeluse piirkonnas. Keevituspinged põhjustavad haprates plastmassides pragusid ja vähendavad ühenduse kandevõimet. Sisepingeid on võimalik vähendada termilise töötlemisega, hoides detaili mõni aeg klaasistumistemperatuuril. Aja jooksul vähenevad sisepinged ka relaksatsioonist, mistõttu lastakse keevitatud konstruktsioone enne ekspluatatsioonikoormuse rakendamist mõni aeg seista.

Keemiline keevitus toimub ühendatavate elementide pinnale kantud ainetega, mis soodustavad keemilist reaktsiooni aktiivsete molekuli gruppide vahel.

Keevitamine kuumutatud gaasidega on difusioonkeevitus. Siin kuumutatakse materjal soojuskandjaga (gaasiga) plastviskooses olekuni, andes seega molekulidele küllaldase liikuvuse segunemiseks surve all olevas kontaktpinnas.

Plastmassdetailide keevisõmbelused sarnanevad metallkonstruktsioonides kasutatavate keevisõmbelustega. Lehtede paksuse korral 2 ... 5 mm kasutatakse V ja X kujulist ning paksuse >5 mm ainult X-kujulist leheservade töötlust (joonis 16.4-3). Eelistatum on X-kujuline jätk, millel sümmeetria tõttu tsentrilisel koormamisel puuduvad paindepinged.



Joonis 16.4-3

Konstruktsioonid ja sõlmed

Kolmekihilised paneelid moodustatakse, nagu ülalpool nimetatud, kahest voodrilehest ja nende vahel olevast kergest, kuid jäigast täitest (joonis 16.4-4). Väliskoormuse vastuvõtmisel töötavad koos kõik paneeli kihid ja täidavad ühtlasi isolatsiooni ülesandeid.

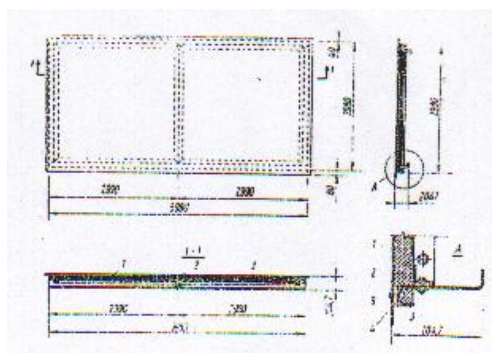
Olenevalt paneeli sildest, mõjuvast koormusest ja kasutatavast materjalist võetakse voodrilehe paksuseks: puitplast 1,0 ... 2,5 mm, klaasplast 1,5 ... 3 mm, alumiinium 0,8 ... 1,5 mm, teras 0,5 ... 1,0 mm.

Joonisel 16.4-4 on näidatud terasest kontuurraamiga ja alumiiniumist voodrilehtedega paneel.

Joonisel: 1- alumiinium, 2- mullplast, 3- kontuurraam, 4- puitkiudplaat, 5- neet.

Kolmekihiliste paneelide küljed tavaliselt raamitakse. Raami ehk äärise ülesanne on kaitsta paneeli valmistamisel, transpordil ja paigaldamisel. Tihti kujundatakse pikiääris staatikalises skeemis töötavateks ribideks. Sel juhul

tehakse nad voodrilehtedega samast materjalist, mille puhul on temperatuuri ja niiskuse muutustest tingitud pinged liimühenduses minimaalsed. Üldiselt on paneeli paksuse määrajaks materjali soojapidavus.



Joonis 16.4-4

16.5 Arvutamise iseärasustest

Plastikust konstruktsioone arvutatakse samuti kahes piirteisundis: kande- ja kasutuspiirteisundis.

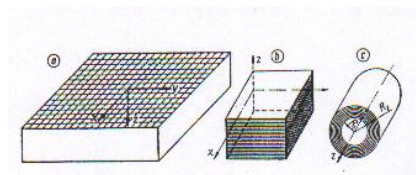
Kuna plastikuid iseloomustab suhteliselt suur tugevus ja väike elastsusmoodul, siis sellest tingituna on enamasti elementide dimensioonimisel mõõduandvaks kasutuspiirteisund. Nende juures võetakse arvesse nii arenevaid deformatsioone kestval koormusel kui ka deformatsioone soodustavaid tegureid.

Monoliitsete plastikvarraste tööd on seni veel suhteliselt vähe uuritud, mistõttu kasutatakse isotroopsete monoliitsete varraste arvutamisel puitkonstruktsioonide arvutusvalemitega struktuurilt sarnanevaid seoseid.

Orienteeritud sarrusega plastikud – peamiselt klaasplastid – on anisotroopsed materjalid. Sellise materjali elastsus- ja tugevusomadused on erinevates suundades erinevad.

Praktiliselt võib klaasplastid jagada ortotroopseteks ja transversaal-isotroopseteks materjalideks (joonis 16.5-1). Mattidega sarrustatud klaasplaste käsitletakse tehnikas isotroopsete materjalidena. Kahes ristavas suunas sarrustatud klaasplast on kihiline materjal, mis koosneb regulaarselt vahelduvatest jäiga sarruse (näit. klaastekstiili) ja pehme vaigu kihtidest. Mitmekihilise materjali mudelid esitavad joonisel *b* ja *c*. Mudeli elastsuskonstandid sõltuvad süsteemi komponentidest – klaasist ja vaigust. Põikkoormusele töötavate plaatide ja koorikute puhul arvestatakse sageli vaigu nihkedeformatsioone klaassarruse kihtide vahel.

Klaasplastide tugevusarvutustes on raskusi ühelt poolt õigete pingete ja deformatsioonide määramisega ja teisalt materjali tugevusomaduste hindamisega.



a- ortotroopia, b- mitmekihiline materjal, c- transversaalisotroopia

Joonis 16.5-1

Klaasplastist konstruktsioonelementide ristlõiked moodustatakse tavaliselt plaatidest. Sellisel juhul on ristlõike üksikutes elementides praktiliselt tasapinnaline pingeseisund ning ülesande lahendamist alustatakse sisejõudude (pingete) määramisest, kusjuures pingeaotus oleneb konstruktsioonelementide materjali anisotroopsusest. Siinkohal olgu öeldud, et anisotroopse materjali pingeseisundi määramiseks on vaja tunda tema elastsuskarakteristikat.

Monoliitsete plastvarraste tööd on seni veel vähe uuritud, mistõttu kasutatakse puitkonstruktsioonide arvutusvalemitega struktuurilt sarnanevaid seoseid.

Mõningaid erinevusi tekib. Näiteks tsentrilisel surveel. Teatavasti nõtkumine on seotud Euleri kriitilise jõuga. Suure nihkemooduliga materjalist (näit. teras, mille $G=0,4 E$) varraste puhul ei mõjuta nihkejõud oluliselt isegi õhukeseseinaliste varraste kriitilist koormust. Samuti ei oma nihkejõud erilist tähtsust materjali väikese nihkemooduli puhul (näit. puit $G \approx 0,05 E$), kui varda ristlõikes puuduvad õhukeseseinalised elemendid.

Hoopis erinev olukord on õhukeseseinaliste klaasplastist ($G \approx 0,1 E$) elementide puhul. Siin arvestatakse lisaks normaaljõule veel põikjõudu. Ülesanne lahendatakse ligikaudselt energia meetodiga.

Koormatud varda pikaajaliste deformatsioonide arvestamisel käsitletakse plastikuid tavaliselt elastoviskoosse kehana. Vaigu taastuvad deformatsioonid koosnevad jõu rakendamisel hetkeliselt arenevatest elastsetest ja teatud aja möödumisel tasakaalu saavutavaist nn kõrgelastsetest deformatsioonidest. Selline nähe esineb ka jõu eemaldamisel: elastsed deformatsioonid kaovad

hetkeliselt, kõrgelastsed deformatsioonid praktiliselt mõnekümne minuti jooksul ning saavutavad lõpliku tasakaaluolukorra mõne ööpäeva jooksul.

Kirjeldatud ajaline olenevus esineb ka keha deformeerumisel. Hetkeliselt deformeerunud kehas pinged relakseeruvad ja lähenevad tasakaaluolukorrale. Seejuures olenevad nii elastsed kui ka kõrgelastsed deformatsioonid pingetest peaaegu lineaarselt. See asjaolu lubab vaiku vaadelda lineaarse elastoviskoosse kehana. Sama kehtib ka klaasplastide kohta.

17 PUITKONSTRUKTSIOONIDE VALMISTAMINE JA JÄRELVALVE

Siin vaatleme standardikohaseid nõudeid, mis on seotud puitkonstruktsioonide valmistamisega.

Üldiseks nõudeks on, et puitkonstruktsioonid oleksid valmistatud ja ehitatud selliselt, et nad vastaksid projekteeritule.

Konstruktsioonides kasutatud materjalid peavad olema kindlaks määratud nii, et nad adekvaatselt täidaksid neile projektiga esitatud funktsioone.

Taladel, postidel, sõrestiku ja raami elementidel on nende tugedevahelise osa keskkoha piirkõrvalekalle sirgusest liimpuidul 1/500 ja saepuidul 1/300 pikkusest.

Puitkonstruktsioonides kasutatavale puidule esitatavad kliimatingimused ei pea olema rangemad valmiskonstruktsioonile esitatavatest nõuetest.

Tähtis on, et enne ehitamist tuleks puit kuivatada valmiskonstruktsiooni kliimatingimustele vastavale niiskusesisaldusele võimalikult lähedasele niiskusesisaldusele.

Kui mahukahanemise mõju pole oluline või asendatakse kahjustatud osad, siis võib suuremat niiskusesisaldust ehituse ajal lubada eeldusel, et puidu väljakuivamine soovitud niiskuseeni oleks tagatud.

Liimliidete korral, kus nacketugevus on nõutav kandepiirseisundi arvutusega, peab liidete valmistaja kvaliteedi kontrolliga kindlustama, et liidete töökindlus ja kvaliteet oleks vastavuses tehniliste tingimuste ja standarditega. Tuleb selgitada, kas liim vajab peale paigaldamist aega lõpptugevuse saavutamiseks (!). Kui see osutub vajalikuks, siis tuleb sel ajal vältida liite koormamist.

Mehaaniliste sidemetega liidete korral tuleb koorepesade, lõhede, okste ja muude vigade esinemist liite piirkonnas piirata sellisel määral, et liite kandevõime ei väheneks.

Naelühenduste korral tuleb naelad ühendusse lüüa puidukiu suhtes täisnurga all ja sellisele sügavusele, et naela pead oleksid puidu pinnaga ühetasased, kui see ei ole teisiti määratud. Kaldnaelutus tuleks teostada standardi nõuetele vastavalt ja projektis esitada

Ettepuuritud aukude diameeter ei tohiks ületada 0,8d.

Poldiaukude läbimõõt **ei tohi** poldi varda läbimõödust olla suurem kui 1mm. Poldiaugu läbimõõt terasplaadis ei tohiks olla poldi varda läbimõödust d suurem kui suurem kahest väärtusest: kas 2 mm või 0,1d.

Poldid ja võtmega keeratavad puidukruvid peavad olema pingutatud nii, et elemendid kinnituksid tihedalt ja neid tuleks puidu tasakaaluniiskuse saavutamisel konstruktsiooni kandevõime ja jäikuse tagamiseks vajaduse korral järel pingutada.

Minimaalne naagli läbimõõt on 6 mm. Naagli läbimõõdu tolerants on 0 kuni 0,1mm. Ettepuuritud augud puitelementides ei tohi olla suuremad kui naagli läbimõõt.

Okaspuidus kasutatavate kruvide korral ei ole aukude ettepuurimine vajalik, kui kruvi silindrilise osa läbimõõt $d \leq 6$ mm. Lehtpuidu korral on nõutav kõikidele kruvidele ja okaspuidu korral kruvidele $d > 6$ mm ette puurida augud vastavalt järgnevatele nõuetele:

- ava läbimõõt kruvi silindrilise osa jaoks võrdub kruvi läbimõõduga ja sügavus kruvi keermestamata osa pikkusega
- ava keermestatud osa läbimõõt peaks olema silindrilise osa läbimõõdust ligikaudu 70 %.

Puidu tiheduse korral üle 500 kg/m^3 , tuleks ettepuuritud augu diameeter määrata katsete abil.

Konstruktsioon peaks olema koostatud nii, et ei tekiks ülepingestust. Kõverdunud, lõhestatud või sõlmedes halvasti kinnitatud elemendid tuleks asendada.

Vältida tuleks elementide ülepingestamist ladustamisel, transpordil ja paigaldamisel. Kui konstruktsioon on koormatud tööolukorrast erinevalt, siis tuleks kontrollida vastavat koormusjuhtu kaasa arvatud võimalikku dünaamilist mõju. Raamkaarte, portaalraamide jne korral tuleb erilise hoolega vältida nende kaardumist horisontaalasendist vertikaalsesse tõstmisel.

Järelevalve

Eeldatakse kontrollplaani olemasolu, mis sisaldab:

- valmistamise ja töökvaliteedi kontrolli tehases ja ehitusplatsil,
- kontrolli pärast konstruktsiooni komplekteerimist.

See kontroll peab haarama:

- eelkatseid, s.t katseid materjalide ja tootmismeetodi sobivuse kohta;
- materjalide kontrolli ja nende identifitseerimist, st:
 - puidul ja puidupõhistel materjalidel liik, sordi markeeringut, töötlemist ja niiskusesisaldust;
 - liimitud konstruktsioonidel liimi tüüpi, tootmisprotsessi, liimi vuugi kvaliteeti;
 - sidemetel selle tüüpi ja korrosioonikaitset;
- transporti, materjalide ladustamist platsil ja hooldust;
- mõõtmete õigsuse ja geomeetria kontrolli;
- kokkupaneku ja montaaži kontrolli;
- konstruktsioonelementide kontrolli, st:
 - naelte, poltide jne arvu
 - aukude suurust, eelpuurimise täpsust;
 - piki- ja põikiridade kaugusi otsani ja servani;
 - lõhenemisi;
 - tootmisprotsessi tulemuse lõplikku kontrolli (s.t visuaalset vaatlust või katsekoormamist).

Kontrollimise programm peab määrama kontrolli taseme juhul, kui pikaajaline töö ei ole tagatud projekti lähte-eeldustele mittevastavuse tõttu.

Kogu informatsioon valmiskonstruktsiooni kasutamise ja käitumise kohta peab olema vastutavale isikule või vastavale ametiisikule kättesaadav.

Erijuhendid paneelkonstruktsioonide kohta

a) Põranda- ja katusepaneelid

Standardis esitatud lihtsustatud meetod eeldab, et kattedpaneelid, mis ei ole toetatud abitaladele või sarikatele ning on üksteisega liidetud lattide abil, tuleb kasutada kamm- või keermenaelu vastavalt

standardile EN 14592 või kruvisid, mille maksimaalsed vahekaugused piki serva on 150 mm. Plaadi keskosas võib maksimaalne vahekaugus olla 300 mm.

b) Seinapaneelid

Lihtsustatud meetod eeldab, et maksimaalne vahekaugus paneeli pikiserva naeltel on 150 mm, kruvidel 200 mm. Sisemiste ribide juures ei tohiks maksimaalne vahekaugus ületada vähemalt kahest väärtusest: kahekordne vahekaugus paneeli pikiservadel või 300 mm.

c) Ogaplaatsõrestike erijuhendid

Ogaplaatsõrestike valmistamise nõuded on antud standardis EN 14250.

Paigaldamisel tuleb silmas pidada järgmist:

- enne alaliste põikjäikussidemete paigaldamist tuleks kontrollida sõrestike sirgust ja vertikaalsust.
- sõrestike valmistamisel peaksid tema varraste kõverdumised jääma standardis EVS-EN 1059-s antud piiridesse. Siiski võib lugeda kasutamiskõlblikus sõrestikku, mille varraste kõverdumine on tekkinud valmistamise ja paigaldamise vahel ja mida saab sirgestada ilma puitu või liiteid kahjustamata.
- peale paigaldamist tuleks sõrestike varraste maksimaalset kõverust piirata. Eeldusel, et peale katusekonstruktsiooni paigaldamist on lisakõverdumine takistatud võib lubatud maksimaalse kõveruse väärtuseks võtta sõrestiku elemendi maksimaalne algkõverus. Soovitatud sõrestiku elemendi maksimaalseks algkõveruseks on vahemik 10 kuni 50 mm. Rahvuslik valik antakse Rahvuslikus lisas.
- peale paigaldamist tuleks suurimat kõrvalekallet püstiasendist piirata. Suurima kõrvalekalde väärtuseks vertikaalasendist võib võtta sõrestiku lubatud maksimaalne kõrvalekalle, mis võib olla 10 kuni 50 mm. Rahvuslik valik võib olla antud Rahvuslikus lisas.