



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TARTU KOLLEDŽ

Säästva Tehnoloogia õppetool

**MATERJALIEFEKTIIVSUS
PUITMÖÖBLITÖÖSTUSES
ETTEVÕTTE XYZ NÄITEL**

MATERIAL EFFICIENCY IN WOODEN FURNITURE
INDUSTRY ON THE EXAMPLE OF COMPANY XYZ

EAKI 092644

Magistritöö
materjalide taaskasutuse erialal

Üliõpilane: Madli Metsamägi

Juhendaja: Ants Soon
Kaasjuhendaja: Jane Peda

Tartu, 2014

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.
Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite
tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt
pärinevad andmed on viidatud.

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood:

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: (allkiri)

ABSTRACT

Metsamägi, M. Master's thesis: „Material efficiency in wooden furniture industry on the example of company xyz”. Tartu, 2014. Thesis contains: 84 pages, 7 tables and 50 figures. Thesis is written in Estonian language.

The aim of this thesis is to identify inbound and outbound furniture wood-based board quantities in a small Estonian wooden furniture production company xyz. Based on the quantities, to identify the causes of waste. Then to analyze implementation of material efficiency principles in manufacturing and develop solutions to minimize the amount of waste and material input requirements. Material flow analysis methodology was used to analyze the inputs and outputs. It focuses on board materials during 6 month period, because of all inputs to manufacturing, board materials accompany most amount of excess costs that could be avoided. Based on the quantities, it was found that 34,3% of all board material inputs (57,7 m³) became into waste. Main causes of waste were developed: no material use standards or control, labour quality, some material characteristics and lack of functional information and communication systems. Based on the causes, the author developed waste reduction and material saving solutions suitable for company xyz.

The solutions are divided into 4 groups:

1. Material requirements optimization methods: use of cutting optimization software to order accurate quantities, alternative materials, different size boards that minimize waste amount.
2. Process optimization: cutting based on optimization software sheet, CNC format saw to minimize errors and increase automation, less drilling holes where possible, development of functional information systems and management.
3. Avoiding/minimizing waste: inventory management software to create overview to prevent double-orders or losing materials, ordering based on inventory quantities.
4. Recycling and product design of waste: purchase of timber sawdust for briquetting, alternative heat sources, CNC product design of waste.

All the solutions rely on methods described in literature and are coordinated with company's vision and strategy. For implementing the solutions, it is necessary to educate labour and compose guidance documents.

Keywords: material efficiency, wood, board material, furniture, material flow analysis, sustainable manufacturing.

SISUKORD

ABSTRACT	3
SISUKORD	4
TÄHISED, LÜHENDID JA MÕISTED	6
SISSEJUHATUS.....	8
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	10
1.1. Materjaliefektiivsuse mõiste.....	10
1.2. Mööblitootmise plaatmaterjalid ja nende taaskasutus tekkekohas.....	11
1.2.1. Vineer	11
1.2.2. Puitlaastplaat.....	12
1.2.3. Melamineeritud puitlaastplaat	13
1.2.4. Puitkiudplaat.....	13
1.2.5. Plaatmaterjalide taaskasutusvõimalused mööblitootmise asukohas.....	14
1.3. Väljaspool Eestit teostatud teemakohased uuringud	15
1.4. Eestis teostatud teemakohased uuringud	17
1.5. Eritellimustootmise ja masstootmise erinevus	18
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	20
3. LÄHTEANDMED JA METOODIKA	21
3.1. Ettevõtte xyz iseloomustus	21
3.1.1. Ettevõttes xyz kasutatavate materjalide andmed.....	22
3.2. Metoodika.....	22
3.2.1. Materjalivoo analüüs	22
3.2.2. Lähteandmete kogumise metoodika	28
3.2.3. Tasuvusanalüüsi metoodika.....	29
4. JÄÄKIDE ANALÜÜSI TULEMUSED.....	30
4.1. Ülevaade tootmisjääkide tekkekogusest ettevõttes.....	30
4.2. Ettevõtte xyz jääkide kaart	33
4.3. Tootmisjääkide tekkepõhjused	38
5. MATERJALIEFEKTIIVSUSE SAAVUTAMISE MEETMED.....	42
5.1. Tarkvara Cutting Optimization Pro	42
5.2. Varude juhtimine	42
5.3. Brikettimine	44
5.4. CNC programmeeritav formaatsaagpink.....	46
5.5. Mittetulundusühing Balti Keskkonnafoorumi juhendmaterjal mööblitööstusele.....	46
5.6. Projekti juhtimine ja kommunikatsioon	47

6. ARUTELU JA JÄRELDUSED	50
6.1. Materjalivajaduse optimeerimine ja täpsete koguste ost	50
6.2. Protsesside optimeerimine	51
6.3. Materjalikadude vältimine, jääkide vähendamine	58
6.4. Tootmisjääkide taaskasutus ja tootedisain.....	61
KOKKUVÕTE	66
KIRJANDUSE LOETELU	68
TÄNUSÕNAD	71
LISAD	72
LISA 1. Plaatmaterjali ostuarvete näidised	73
LISA 2. Mööblijoonised	75
LISA 3. Joonistele vastavad lõikelehtede statistikad.....	79
LISA 4. Pinnakareduse kolmemõõtmelised joonised.....	81
LISA 5. Mõõtevea ja usalduspiiride arvutuskäigud	82
LISA 6. Ekraanitõmmis tarkvarast Cutting Optimization Pro	83
LISA 7. Solidworksi joonised	84

TÄHISED, LÜHENDID JA MÕISTED

Bioenergia - biomassi kui ühe võimaliku taastuva energiaallika, näiteks puidu, puidutöötlemise jäätmete, põllumajandussaaduste tootmise jäätmete vms põletamisel vabanev energiahulk [1].

Efektiivsus - mõjus, tõhusus.

Emissioon - heide, saasteallikast keskkonda paisatava aine hulk.

Eritellimustootmine - tootmine, mille eesmärk on kindla kliendi tellimuse täitmine [2].

CNC - arvprogrammjuhtimine (computer numerical control).

Formaldehüüd - inimesele mürgine tugeva lõhnaga värvitu gaas, mida kasutatakse ehitusmaterjalide tootmisel [3].

Furnituur - mööbli valmistamiseks kasutatavad kinnitus- ja muud abivahendid.

HDF - kõrgtihedusega puitkiudplaat (high density fibreboard) [3].

Homogeenne - ühtlane.

Jääk (mitmus: jäägid) - järelejäänud osa, mida saab kasutada otseseks ülesandeks. Jäägid saavad muutuda jäätmeteks, kui neid ei kasuta sihtotstarbeliselt uuesti [4].

Jäätmed (ainsus: jääde) - ülejäänud, mis on otseseks ülesandeks kõlbmatu, kuid teisel eesmärgil kasutamiseks toormeks kõlblik [4].

Jäätmekäitlus - jäätmete kogumine, vedu, taaskasutamine ja kõrvaldamine, sealhulgas nende toimingute järelevalve ning jäätmekõrvaldamiskohtade järelehooldus, sealhulgas vahendaja või edasimüüja tegevus [5].

Jäätmete kõrvaldamine - mis tahes toiming, mis ei ole taaskasutamine, isegi kui toimingul on teisene tagajärg ainete või energia taasväärtustamise näol, näiteks ladestamine või põletamine [5].

Jäätmete taaskasutus - mis tahes toimingud, mille peamiseks tulemuseks on jäätmete kasutamine kasulikult otstarbel selliselt, et nad asendavad teisi materjale, mida muidu oleks kasutatud teatava funktsiooni täitmiseks, või jäätmete ettevalmistamine selle funktsiooni täitmiseks kas tootmises või majanduses laiemalt, näiteks kasutamine kütusena [5].

Jäätmete ringlussevõtt - taaskasutamistoiming, mille käigus jäätmematerjalid töödeldakse toodeteks, materjalideks või aineteks kasutamiseks nende esialgsel või mõnel muul eesmärgil. See hõlmab orgaaniliste ainete töötlemist, kuid ei hõlma energiakasutust ja töötlemist materjalideks, mida kasutatakse kütustena [5].

Jäätmete vältimine - aine, materjali või toote jäätmeteks muutumisele eelnevad meetmed, mis vähendavad: jäätmete kogust, jäätmete ebasoodsat mõju keskkonnale ja inimese tervisele või kahjulike ainete sisaldust materjalides ja toodetes [5].

Kant - mööbli servapealustusmaterjal.

Keskkonnamõju - tegevusega eeldatavalt kaasnev vahetu või kaudne mõju inimese tervisele ja heaolule, keskkonnale, kultuuripärandile või varale [1].

Konkurentsivõime - suutlikkus olla edukam või vähem edukam sarnastest tootjatest [2].

Kvaliteet - pidev kliendi ootustele vastavus [2].

Ligniin - puidule jääkust andev orgaaniline aine.

Lignotselluloos - biomass, koosneb ligniinist ja tselluloosist [3].

Masstootmine - tootmine, mille tulemus on suur kogus vähese varieeruvusega tooteid [2].

MDF - keskmise tihedusega puitkiudplaat (medium density fibreboard) [3].

MF – melamiin-formaldehüüdiim.

MRP - tootmisressursside planeerimine [6].

Operatsioon - tootmisprotsessi üksikosa [2].

PF - fenool-formaldehüüdiim.

Plaatmaterjal - puidul põhinevad sideainetega rikastatud inimese loodud materjalid [3].

PLP - puitlaastplaat.

Praak - alaväärtuslik toode.

Protsess - ressursside asetus, mis toodab mingid tooted või teenuseid [2].

PVA - polüvinüülatsetaat, liim.

Rm - ruumimeeter ehk 1 m^3 laotud puuhalud koos õhuvahedega.

Sisend - ühikprotsessi sisenev materjal või energia [7].

Termoplast - kuumuse ja jahutuse teel korduvalt sulav ja tahenev polümeer [3].

Termoreaktiivplast - sulamatus olekus ristsillatud ahelaga polümeer [3].

Tihumeeter - õhuvahedeta puidumassi kuupmeeter.

Tolerants - lubatav hälve.

Tootmisprotsess - inimeste, töövahendite ja tegevuste kogum mis on vajalik valmistoodangu saamiseks [2].

Tooraine - toote valmistamiseks kasutatav esmas- või teisesmaterjal. [7]

Tselluloos - taimerakuseinte peamine koostisosa.

Täispuit - 100% naturaalne puit.

UF – uureaformaldehüüdiim.

Väljund - ühikprotsessist väljuv materjal või energia [7].

SISSEJUHATUS

Materjaliteaduse areng ja kasvav konkurents tööstuses on toonud turule looduslikele materjalidele alternatiivseid tehislake ainet sisaldusega, lihtsama käsitlusega ning soodsamaid tootmismaterjale. Tootmise ja materjalide tehnoloogiline areng on loomulik edasiminekuks. Samas tuleb arvestada tehislake ainet sisaldusega materjalide kasutuselt kõrvaldamisega ja tekkiva mõjuga keskkonnale, seeläbi materjalide säästva kasutamisega, mis suurendaks jätkusuutlikkust nii keskkondlikult kui ettevõttesiseselt.

Käesolevas magistritöös uuritakse ja analüüsitakse ühe eritellimuse puitmööblit tootva ettevõtte käitumist levinuimate tehislake puidupõhiste plaatmaterjalidega, sest ettevõttes xyz valitseb seni ruutmeetrites mõõdetavate tootmismaterjalide kasutamises organiseerimatus ja konkreetne ülevaade erinevate sisendite ja väljundite kogustest puudub. Sel põhjusel on ettevõttes tõenäoliselt mitmeid potentsiaalseid kasutamata võimalusi materjaliefektiivsuse tõstmiseks ja sellest tulenevalt kulude kokkuhoiuks. Põhjusel, et ettevõtte xyz püsikulud on kogemuste põhjal ajas konstantselt tõusvad, tähendab igasuguse kasumliku efektiivsuse juurutamine ettevõtte jätkusuutlikkuse ja konkurentsivõime tõusu. Siinkohal tuleb kindlaks teha ka efektiivsusmeetmete tasuvus. Töö analüüsi tulemusi ja meetmeid on võimalik rakendada ettevõtte xyz materjaliefektiivsuse parendamiseks. Need on rakendatavad ka teistes sarnastes ettevõtetes. Lahendused on välja töötatud, arvestades ettevõtte väiksust ning toodangu kõrget varieeruvust.

Materjaliefektiivsus on praktilise kirjanduse hulka arvestades suhteliselt uus mõiste. See on arenenud ressursiefektiivsusest, mis käsitleb erinevalt materjalidest veel kõiki muid sisendeid ja väljundeid. Materjaliefektiivsuse põhimõtted ja eesmärgid järgivad Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiivis 2008/98/EÜ esitatud jäätmehierarhiat, kus jäätmekäitluse esimeseks prioriteediks on jäätmetekke vältimine, tähtsuse järgmisena on nimetatud korduskasutus, ringlussevõtt, energiakasutus ning väiksema osatähtsusega on välja toodud jäätmete kõrvaldamine [5].

Sarnaselt materjaliefektiivsusele on mööblitootmise iseloomu ning sealsete komposiitmaterjalide omadustega seotud mõjusid vähe käsitletud. Kirjanduses on toodud ettevõtete ühised kitsaskohad ja levinuimad strateegiad, kuid ühtseid tegevusstandardeid ei ole. Sel põhjusel tuleb igas ettevõttes leida oma tootmise ja protsesside iseärasustele sobivad meetmed materjaliefektiivsuse saavutamiseks. Meetmete tulemuslikul rakendamisel saab olla keskkonnasõbralikum, säästa finantsilisi vahendeid ning optimeerida ettevõttes toimuvat tootmistegevust.

Käesolevas töös leitakse materjalivoo analüüsi metoodikat kasutades võimalikult täpne ettevõtte kuue kuu jääkide kaart, mida analüüsides leitakse tootmisjääkide tekkepõhjused. Nende tekkepõhjuste alusel töötatakse välja käsitletavale ettevõttele materjaliefektiivsuse saavutamise meetmed. Viimases peatükis uuritakse ja analüüsitakse nende meetmete rakendamist. Rakendamise all mõistetakse meetmete tasuvust, nende juurutamise ja kasutamise ajakulu ning reaalsel materiaalsel või moraalsel kasu kahe eelneva näitaja arvestamisel. Meetmete alla kuuluvad ka kirjanduse ülevaates kirjeldatud ja eelnevalt edukalt läbiproovitud juhendid.

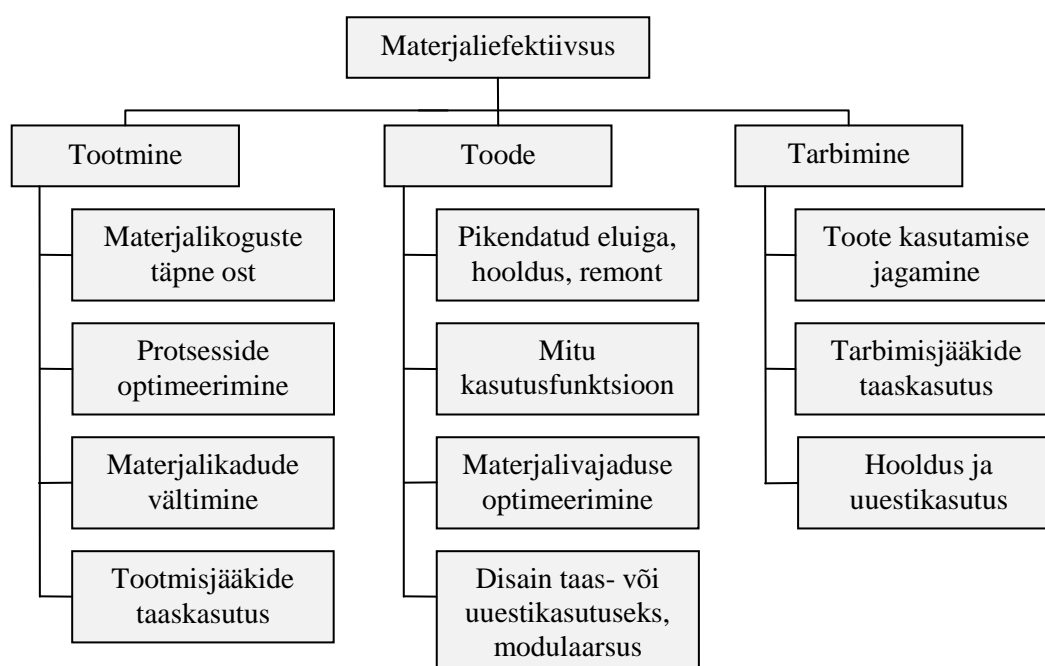
Põhjusel, et ettevõtte xyz on selles töötavate inimeste arvult väike ja tegeleb suure varieeruvusega tellimuspõhise, mitte masstootmisega, tuleb materjaliefektiivsuse meetmete kasutamiseks arendada oma tingimustesse sobiv strateegia. Seda põhjusel, et enamus meetmete juhendeid on välja töötatud mõeldes suurtele masstootmistele. Selle asemel tuleb leida endale optimaalsed võimalused meetmetest sobilikke aspekte ära kasutada, jätmaks piisavalt ruumi variatsioonidele ja ettevõtte kasvule.

Arenemisvõimelise noore ettevõtte loomulik kasvu aspekt edukuse poole on muutused, nii plaanipärased kui ootamatud. Läbi muutuste saavutatakse rahaliselt ja muud kasumlikud püsivad lahendused, mida taotletakse konkreetse meetme kasutuselevõtuga. Lahendused peavad olema rahaliselt jõukohased ja piisavalt tasuvad, sest väikeettevõttel ei ole tavaliselt üleliigseid ressursse oma tegevusse uute mitte-tootva tööga inimeste kaasamiseks. Lahendused ei tohiks olla ka liigselt aega nõudvad, et need ei hakkaks segama regulaarseid tootmistegevuseks vajalikke tööülesandeid. Põhiküsimus arutelus seisnebki, et kas meetmete rakendamise aja- ja rahakulu on tasakaalus vastu saadava tuluga. See tähendab, et protsesside muutmine peab toetama ettevõtte strateegiat ja arengut, samuti peab ettevõtte tegevus toetama nende protsesside toimimist.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Materjaliefektiivsuse mõiste

Materjaliefektiivsus hõlmab endas kõiki muutusi, mille tulemusena ühe majandusliku väljundi tootmiseks kulub väiksem hulk töödeldud materjale. Tootmises võib defineerida materjaliefektiivsust teatud materjali vajaliku kulu vähendamisenä kindla toote tootmiseks [8]. Joonisel 1.1. on toodud materjaliefektiivsuse põhimõtted. Käesolevas töös käsitletakse peamiselt tootmisega seonduvaid aspekte.



Joonis 1.1. Materjaliefektiivsuse strateegiad [9]

Julian M. Allwood *et al.* iseloomustab materjaliefektiivsust sõnadega: „võimaluste hulk, mis on veel vähe arenenud.” Enne industriaalrevolutsiooni 18. sajandi lõpus oli materjaliefektiivsus tootmismaterjalide kõrge hinna tõttu tootjate seas levinud praktika. Seevastu postindustriaalse revolutsiooni tulemusena on inimeste keskkonnateadlikkuse tõustes materjaliefektiivsus jäänud tänapäeva poliitikas ja majanduses piisava tähelepanu ja analüüsita [10].

Materjaliefektiivsus hõlmab endas mõistet „jääkide minimeerimine” ja kuulub mõiste „ressursiefektiivsus” alla. Need on erinevad omavahel tihedalt seotud jätkusuutliku tootmise osad. Jääkide minimeerimine tegeleb ainult mõõdetava jääkide koguse vähendamisega. Materjaliefektiivsus tegeleb keskkonnasäästlikkuse eesmärgil toormaterjalide säästliku kasutamisega, sealhulgas jääkide vähendamisega. Ressursiefektiivsus on mõlemad eelnevad mõisted kokku, lisaks tegeleb see energia (vesi, elekter) säästmisega tootmises [11].

Materjaliefektiivsust mõjutavad tööstuses peamiselt tooraine hinnatõus ning keskkonnasäästlik mõtteviis. Tootmisettevõtetele tähendab see nii suuremat pingutust paremuse poole liikumiseks ning võimalusi uuteks äriprojektideks jääke kasutades kui ka

nende teket vähendades [12]. Ühe mööbliprojekti puhul materjaliefektiivsuse rakendamine ei pruugi anda piisavalt tulemust, et oleks lisapingutust väärt. Suuremat mõju annaks selle rakendamine tootmises vaikimisi laiemalt kindlate konkreetsetes ettevõttes välja töötatud reeglite alusel.

Masstootmise puhul aitab toote elutsükli analüüs välja selgitada tema potentsiaali materjaliefektiivsuse rakendamiseks. Tulemuste alusel saab välja arendada selle kindla toote kõige keskkonnasõbralikuma ning majanduslikult säästlikuma tootmismoodusen. Tellimustootmise puhul ei ole protsessi mõistlik selliselt tootepõhiselt käsitleda, sest tooted ei ole üldjuhul korduvad. Sellisel juhul võib tooteid grupeerida näiteks sisendite alusel liigiti ja kujundada materjaliefektiivsuse reeglid selle järgi.

Tuleb jälgida, et materjaliefektiivsuse juurutamine ei nõuaks järeleandmisi kvaliteedis ja täidaks oma üht eesmärki olla ettevõttele majanduslikult kasulik. Peale keskkonnasäästlike kasude on vaja materjaliefektiivsust rakendades kaaluda selle majanduslikku otstarbekust. Teatud juurutamise etapid, näiteks tarkvarade ost või tehnoloogia uuendus on rahaliselt suured väljaminekud ning tuleb leida nende tasuvusaeg.

1.2. Mööblitootmise plaatmaterjalid ja nende taaskasutus tekkekohas

1.2.1. Vineer

Vineer (joonisel 1.2.) on kihiline plaatmaterjal, mis koosneb õhukestest puitlehtedest ehk spoonidest, mis on omavahel kokku liimitud. Vineeris on alati paaritu arv kihte, mis paigutatakse vineerplaadis üksteise suhtes kiudude suunalt risti. Kihtide arvu näitab see, mitu korda ühe plaadi ristlõikes kiu suund muutub. Kihid paigutatakse ristikiudu põhjusel, et takistada vineerplaadi paindumist, sest välimiste puitlehtede kiud on paralleelsed. Vajadusel toodetakse ka vineeri, kus kõik kihid on ühesuunalised. Soovitud materjali paksus määrab puitlehtede arvu vineerplaadis. Vineeri kasutatakse oma tugevuse tõttu erinevates ehituskonstruktsioonides ja mööblitootmises [3; 13].



Joonis 1.2. 15 mm paksused vineeriplaadid

Vineeri omadused sõltuvad spoonide kvaliteedist, kihtide suunast, sideainest ja tootmise jooksul kihtide sidumise tingimuste kontrollituse tasemest. Vineeri kvaliteediklassi määravad tema spoonide kvaliteet ja välimiste spoonide välimus, mida võivad rikkuda oksakohad, värvivariatsioonid ja muud defektid. Samuti näitavad kvaliteeti niiskustase ja pealispindade lihvitus. Mööbli valmistamisel kasutatakse peamiselt kasepuidust valmistatud vineeri [3; 13].

Vineeri kihid liimitakse kuumuse ja surve all kokku sünteetilise termoreaktiivse liimiga. Tavaliselt kasutatakse fenoolformaldehüüdi (PF). See on suhteliselt aeglaselt tahenev vaik võrreldes teiste termoreaktiivsete polümeeridega ja talle on iseloomulik tume värvitoon. Kasutatakse ka kiiremini tahenevat karbamiid- ehk ureaformaldehüüdi (UF) toodetes, mis sobivad sisetingimustes kasutamiseks, sest niiskus ja liigne kuumus katkestavad selle siduvad omadused. Sellest tulenevalt jahutatakse karbiidliimiga vineer pärast kokkupressimist. Ureaformaldehüüd on amiinvaik, mis on valmistatud urea (karbamiidi) polükondensatsioonil formaldehüüdiga. UF vaigud on odavamad termoreaktiivsed liimained. Erinevalt PF vaigust on UF heledamat tooni, mis teeb selle kasutamise mööblitööstuses lihtsamaks. Mõlemad vaigud, nii PF kui UF võivad emiteerida formaldehüüdi, mis on inimese tervisele ohtlik [3; 13; 14].

1.2.2. Puitlaastplaat

Puitlaastplaati ehk PLP (joonisel 1.3.) toodetakse toorpuidu jahvatamise teel väikesteks osadeks, millele lisatakse liimainet, seejärel tihendatakse saadud mass kuumuse ja survega plaatmaterjaliks. Hea tugevuse, sileda pinna ja ühtlase paisumisega PLP tootmiseks kasutavad tootjad ideaaljuhul homogeenset toorainet. PLP on kihiline. Pealispinnad koosnevad tavaliselt lühematest ja peenematest puiduosakestest ja sisu pikematest ja jämedamatest fraktsioonidest. Tulemuseks on siledam pind laminaadi või sponiga katmiseks. Kõrgekvaliteedilise mööblitööstuses kasutatava PLP sisus kasutatakse väiksemaid osakesi [3].



Joonis 1.3. Kolm 16 mm paksust puitlaastplaati

PLP ei ole puitkiudplaadist tugevam, sest lignotselluloosi kiuline iseloom ei ole piisavalt hästi välja toodud. PLP kasutatakse laialdaselt põrandates ja mööblitööstuses, kus see kaetakse dekoratiivsetel eesmärkidel. Seda kasutatakse enim lihtsalt monteeritavates mööbliesemetes. Põhjusel, et PLP enamasti rakendusi on siseruumides, kasutatakse selle sideainena enamasti UF vaiku. Kasutatakse ka PF vaiku rakendustes, mis nõuavad suuremat niiskuskindlust. Lisaks kasutatakse harva dekoratiivsetel eesmärkidel sideainena melamiinformaldehüüdi (MF). MF on PF vaigust kallim ning seda kasutatakse tihti kombineeritult ureaformaldehüüdi liimiga. Seda kombinatsiooni kasutatakse, kui on vaja saada heledamat tooni sideainet ja kõrgemat vastupanu niiskusele. Kvaliteediklassi märk puitlaastplaadil näitab, et toodet on perioodiliselt testitud materjali sooritusvõimet kinnitavate standardite alusel [3].

1.2.3. Melamineeritud puitlaastplaat

Melamineeritud puitlaastplaadi pinnad on kaetud õhukese fenooli (mürgine aine) ja melamiiniga immutatud paberilehtede kihtidega. Näidis on joonisel 1.4. Fenooliga immutatud alumised kihid on pruunid. Need kaetakse melamiiniga immutatud kihtidega, millest üks kiht on tavaliselt teistest paksem ja läbipaistmatu ning sellele on prinditud soovitud värv või muster. Soovitud värvi melamiinkihi peale asetatakse üks või enam üliõhukest paberilehte, mis sisaldavad rohkem melamiini ja kaitsevad kasutuses olles prinditud lehte kriimustuste, mustuse ja muude kahjustuste eest. Immutatud paberilehtede kihid kuumpressitakse ja tahendatakse puitlaastplaadi pindadele. Immutatud paberikihi paksus ühel pool on ligikaudu 0,2 mm [3].



Joonis 1.4. 16 mm paksused melamineeritud puitlaastplaadid

1.2.4. Puitkiudplaat

Sii kuuluvad keskmise tihedusega puitkiudplaat (MDF) ja kõrgtihedusega puitkiudplaat (HDF), neid saab näha joonisel 1.5. Puitkiudplaat erineb puitlaastplaadist peamiselt oma sisemise puiduosakeste paigutuse poolest. Põhjusel, et puit on loomult kiuline materjal ja puitkiudplaat koosneb kiududest, siis selle tugevus tulenebki nende sarnasusest. Et valmistada puitkiudplaadi kiude, tuleb puidu kiudude vahelised sidemed lõhkuda jahvatuse teel. Jahvatuse protsessi võib toetada aurutamise või keemiliste protsessidega. MDF tootmisel kasutatakse tavaliselt lignotselluloosi aurutamist, mis nõrgestab tselluloosikiudude vahelisi ligniinsidemeid [3].



Joonis 1.5. Erineva paksusega puitkiudplaadid

Puitkiudplaate võib toota kuiva või märja protsessi teel. Kuiva protsessiga võib toota nii MDF kui ka HDF. Märja protsessiga saab toota kõrgtihedusega puitkiudplaati. Kuiv protsess on sarnane puitlaastplaadi tootmisele. Vaik (UF või MF+UF) lisatakse kuivadele kiududele ja pressitakse plaadiks. Mõnikord lisatakse vaik juba jahvatuse käigus. Märja protsessi käigus kasutatakse veel pressimata plaadi vormimiseks vett. Mõned märja protsessiga toodetavad plaadid tehakse ilma lisanduvate sideaineteta. Kui lignotselluloos sisaldab piisavalt ligniini ja jahvatuse käigus see säilitatakse, siis võib see toimida sidujana. Kuumuse ja surve all on ligniin voolav ja käitub kui termoreaktiivne sideaine, täiustades loomulikult ilmnevaid vesiniksidemeid. Märj protsess on viimaste kümnendite jooksul võrreldes kuiva protsessiga populaarsust kaotanud, sest kuiv protsess on kiirem ja suure koguse vee kasutamisega kaasnevad keskkonnamõjud, kuigi hiljutised saavutused märja protsessi reovee taaskasutuse tehnoloogias näevad ette selle protsessi tähtsuse tõusu [3].

HDF mehaaniliste ja mõõtude stabiilsuse omaduste tõstmiseks kasutatakse mitmeid vahendeid: termilist töötlemist, karastamist ja niisutamist, mida võib teostada üks korraga või mitut samaaegselt. MDF kasutatakse mööbli tootmisel tihti täispuidu, vineeri või puitlaastplaadi asemel. Seda kasutatakse veel näiteks siseustes ja muudes sisetingimustes kasutatavatel detailidel. HDF kasutatakse mööblitootmisel, majade välisvooderdamisel või põranda aluskihina [3].

1.2.5. Plaatmaterjalide taaskasutusvõimalused mööblitootmise asukohas

Eeltoodud levinuimate mööbliplaatide sideaineks on termoreaktiivplastid, tihti massi järgi 6% materjalist [3]. Need on mitmetele rakendustele sideainena ainuõige valik, sest need on vastupidavad, ei lahustu ega sula. Puit on üks lihtsamini taaskasutatavam materjal, aga termoreaktiivplastide sisaldus teeb selle oma füüsikaliste omaduste tõttu keeruliseks [15].

Viimasel ajal on alustatud kõrgtehnoloogiliste meetodite väljatöötamist puidupõhiste plaatmaterjalide ümbertöötlemiseks. Näiteks ekstrudertehnoloogiaga on võimalik puitlaastplaadist ja puitkiudplaadist eraldada osakesi, mida saab taaskasutada keskmise tihedusega puitkiudplaadi tootmisel. Lisaks vastab tulemus tugevuselt, paisumismääralt ja formaldehüüdi emissioonide keskkonnakaitse nõuetele [16].

Siiski, väikeste mööblitootmisfirmade, kaasaarvatud ettevõtte xyz prioriteetseks tegevuseks pole jääkide taaskasutus, vaid mööbli ja puittoodete tootmine, siis ei pühendata sellele ülemäära aega ega ressursse taaskasutusliini ülesseadmisel. Pigem on ettevõtete sooviks vabaneda jääkidest võimalikult lihtsalt, legaalselt, säästlikult ja keskkonnasõbralikult. Üks võimalus puitmööblitootmise kohapealseks jääkide taaskasutamiseks on saepurubrikettide tootmine. Selleks on vaja investeerida briketipressi ostu, mille tasuvus võib ebapiisavate tootmismahude puhul olla küsitav ja vajab täpsemat prognoosimist. Uute väiksematele tootjatele sobivate briketipresside hinnad algavad umbes 25 000 € ja kasutatud 10 000 € [17]. Peale briketimise võib kohapeal tegeleda lisaks tellimuste täitmisele oma tootearendusega jääkidest. Võimalus on suuremaid jääke soojatoomise eesmärgil põletada, aga siis tuleb arvestada plaatmaterjalide keemiliste ainete sisaldusega ja nende põletamisel tekkivate emissioonide jäämisega lubatud piiridesse.

Materjalide põlemiskarakteristikud teatud omaduste korral

Itaalias teostati 2009. aastal eksperimentaalne uuring mööblitootmise jääkide põletamise emissioonidest. Kontrollimata põletamiskatsed teostati järgnevat tüüpi puidujääkidega: täispuitude segu (kuusk, mänd, saar), PLP, MDF ja vineer. Katsed teostati spetsiaalselt selleks välja arendatud põletussüsteemiga. Täispuitude segu puiduliikide osakaalude kohta andmed puuduvad. Tabelis 1.1. on antud kahe minuti katse kestel ilmnunud tulemuste keskmised väärtused. Emissioonide kogus on mõõdetud normaaltingimustel (ühik mg/Nm³) temperatuuril 0° C ja 1 atmosfääri rõhu keskkonnas [18].

Tabel 1.1. Materjalide omadused ja katsete tulemused [18]

	Täispuitude segu	PLP	MDF	Vineer
Tihedus, kg/m ³	-	702	716	499
Niiskussisaldus, %	-	6,57	12,11	5,37
Kõrgeim kütteväärtus, kcal/kg	-	4175	4589	3675
Põlemistemperatuur, C°	214,0	160,9	159,6	216,9
Hapnik, O ₂ , %	17,9	19,2	19,0	17,9
Vingugaas, CO, mg/Nm ³	1693	1240	1854	1234
Vesinikkloriid, HCl, mg/Nm ³	122,9	52,3	87,3	91,5
Väävelhape, SO ₂ , mg/Nm ³	105,0	33,8	100,5	95,2
Lämmastikoksiidid, NO _x , mg/Nm ³	42,6	75,2	79,8	138,8

Selle katse tulemuste põhjal näib, et erinevate keemiliste ainete emissioon erinevate materjalide puhul on küllaltki varieeruv. Selgub ka, et puhta, keemiliste lisanditeta täispuidu põletamine ei ole mitmete ainete koguseid arvestades kõige keskkonnasõbralikum.

1.3. Väljaspool Eestit teostatud teemakohased uuringud

Euroopa Komisjoni andmeil domineerivad mööblitootmissektoris mikroettevõtted, 86% Euroopa mööblitootmisettevõtetes on kümme või vähem töötajat. Tihti töötavad väikesed ettevõtted suurematele ettevõtetele alltöövõtu korras tootes neile kindlaid komponente või osutades teenust. Kogu Euroopa mööblitootmisest moodustab 38% puitmööblitootmine. Ülejäänud 62% moodustab metall- või plastmööblitootmine [19].

Euroopa Majandus- ja Sotsiaalkomitee 2011. aastal välja antud arvamusedokumendis „**Euroopa konkurentsivõimelisema puidutöötlemis- ja mööblitööstuse võimalused ja väljakutsed**” leitakse, et madalate kuludega tõusva majandustasemega riigid ning järjest arvukamad kaubandustõkked survestavad konkurentsi. Esineb survet toodete impordile odavamatest riikidest, eriti Aasiast. Lisaks on järjest esile kerkima hakanud probleem materjalide järsust hinnatõusust. Lahendustena rõhutatakse uusi turundusstrateegiaid, tehnoloogia arendamist, oskustöölise olemasolu ning koolitamist [20].

Inglismaal viidi läbi uuring 72 mööblitootja seas. Määratleti, et tootmisjääkide osakaal sisseostetud materjalist oli madalaim neis ettevõtetes, kes olid oma jääkide kogust mõõtnud, hinnanud jääkide vähendamise tehnikaid, need kasutusele võtnud ja tulemusi dokumenteerinud. Välja oli toodud ka võimalusi, kuidas mööblitootmisettevõtte jääkide kogust kohapeal vähendada või neid ringlusse võtta, näiteks brikettimise või põletamise teel. Puidujääkide põletamine pakutakse välja kui tõhus ebavajalikest jäätmetest

vabanemise viis eriti ettevõtetele, kelle asukoht jäätmepunktist on liiga kaugel. Jäätmete põletamisega alustamine vajab investeringut vajaliku seadme ostuks ning põletamisel tuleb jälgida emissioone ning materjale, mida on lubatud põletada. Brikette on lihtsam käidelda kui lendlevat saepuru ning neid saab kasutada kodustes tingimustes kütmisel [21].

Sarnane uuring viidi läbi **Austraalia puitmööbli tootjate seas** nende jääkide käitlemise tavadest ning töötati välja strateegia jääkide vähendamiseks ning paremaks käitlemiseks. Vaadeldi kuut ettevõtet, millest viis olid väikefirmad 8-25 töötajaga. Valitud ettevõtted olid toodete poolest erinevad, esindatud olid nii sise- kui välismööbel ja kodu ning äriruumide mööbel. Materjali ostule kulus neil keskmiselt 16% kogukäibest. Materjalide erisuselt esines MDF kasutamist 1-45%, lehtpuu puidu kasutamist kuni 94% ning okaspuu puidu kasutamist kuni 74%. Ettevõtetes muutus jääkideks kogu sisseostetud toormaterjalist 7-40%, sellest moodustas saepuru umbes 65-85% ning 15-35% jääkidest olid suuremad lõikusjääd [22].

Enamlevinud praktikad jääkide vähendamiseks uuritud ettevõtetes olid järgmised:

- CNC pinkide kasutamine;
- Automatiseeritud pinkide kasutamine, mis väljastavad monteerimisvalmis detaili;
- Materjalide tellimine mõõtudes, mida on võimalik maksimaalselt ära kasutada;
- Ohtralt jääke tekitavate tööoperatsioonide sisseostmine alltöövõtuna [22].

Võimalused jääkide ringlussevõtuks vaadeldud ettevõtetes sarnaselt Inglismaa uuringus toodud soovitudele olid järgmised:

- Saepurubrikettide tootmine;
- Puidujääkidega kütmine;
- Küttematerjalide heategevusse annetamine;
- Immutamata saepuru ja laastude loomade allapanuks kasutamine [22].

Melamineeritud ning MDF plaatide jääkidele potentsiaalseid kasutusvõimalusi ei leitud. Sel põhjusel soovitatakse koguda täispuudu ning plaatmaterjalide jääd eraldi. Samuti soovitatakse tootmises kasutusele võtta meetmed jääkide koguse vähendamiseks. Veel lisatakse, et tootedisainile tuleb rohkem tähelepanu pöörata, näiteks suurematest jääkidest valmistatud tooteid kasumlikult müüa. Järeldati, et peamine põhjus, miks väikestes ja keskmise suurusega mööblitootmisettevõtetes ei pühendata materjaliefektiivsuse tõstmiseks ajalisi ega materiaalseid vahendeid, on teadmatuse. Levinud on ettekujutus, et probleemiga tegelemine ei anna piisavalt tulemusi, et oleks seda väärt. Põhjuseks on ka oskuste ja teabe vähesus, vajakajäämisi on nii infotehnoloogias, süsteemide loomises kui ka jääkide potentsiaalsete kasutusvõimaluste leidmisel [22].

Materjaliefektiivsuse käitumist uuriti ka ühes anonüümseks jääda soovinud **Euroopa mööblitootmisfirmas**, kus toodetakse ajatuid ja universaalseid riulisüsteeme. Kasutuses on kaasaegsed komposiitmaterjalid, mis sisaldavad suurel hulgal polümeere. Ettevõtte juurutab materjaliefektiivsuse strateegiaid peamiselt kulude vähendamise eesmärgil, mis tagaks turul suurema konkurentsivõime. Kuna ettevõtte emafirma asub Jaapanis, on ka ettevõtte juhtimiskultuur jaapanipärane ning eelistatakse keskkonnateadlikku ja -hoidlikku käitumissuunda. Peamised tegurid, mis mõjutavad rakendatavate strateegiade valikut, on *lean* tavad (protsesside kattuvuse vähendamiseks), soov jääke vähendada, kiire toodete ja tehnoloogiate vaheldumine, samuti ettevõtte sotsiaalne teadlikkus ja suurem nõudlus keskkonnasõbralike toodete järele. Juurutatav strateegia vähendab ettevõttes jääkide voogu ning kulusid. Samuti on viidud sisseostetavate materjalide hulk minimumini ning tulemusena vähenevad kahjulikud heited. Ettevõtte on oma tegevuses vastavuses erinevate

regulatsioonidega. Kasutatakse tööstusökoloogia töövahendeid (ökodisain, olulusringi hindamine), eelistatakse keskkonnasõbralikke tarnijaid ja koolitatakse töötajaid [11].

1.4. Eestis teostatud teemakohased uuringud

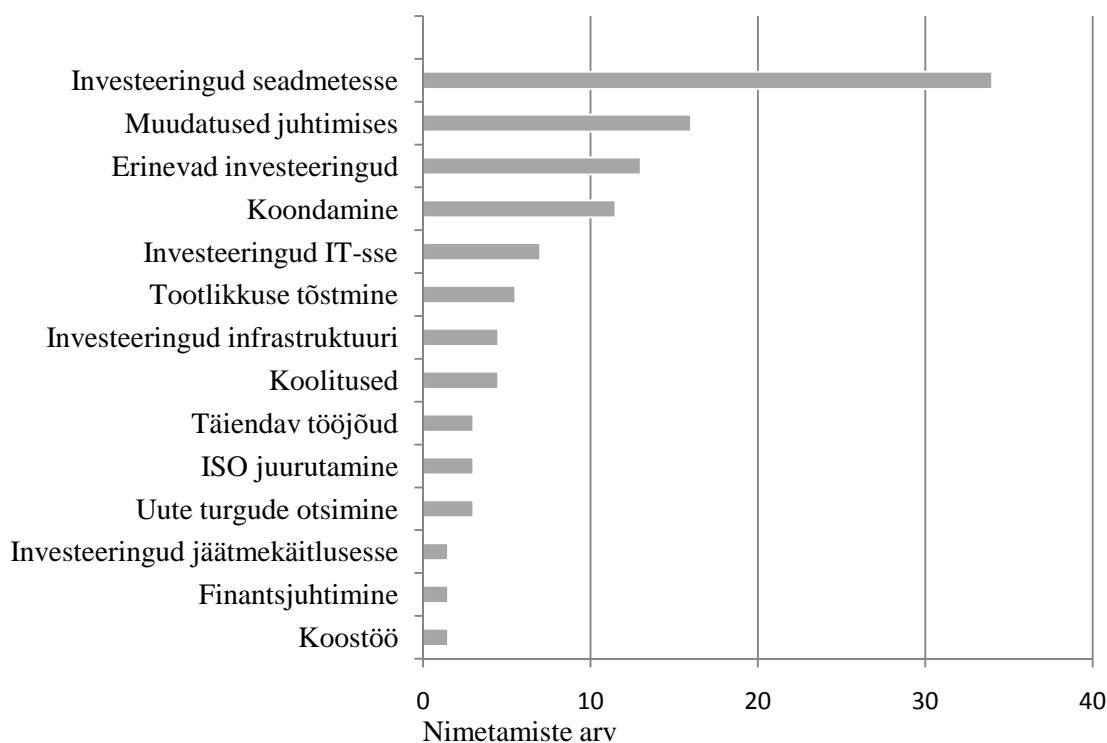
Eesti riigi pind on Riigimetsa Majandamise Keskuse andmeil umbes 50% ulatuses metsaga on kaetud, see teeb Eesti üheks metsarikkamaks riigiks Euroopas [23]. Sel põhjusel on puidutööstus, sealhulgas mööbli tootmine, üks Eesti suurimaid tööstusharusid. Majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi 2011. aastal kogutud andmetel tegeles Eestis puidutöötlemise ja puittoodete tootmisega ligikaudu 1000 ettevõtet, kes annavad tööd enam kui 13 000 inimesele [24]. 1000 ettevõttest 534 ettevõtet tegeles mööbli tootmisega. Ligikaudu kolmandik neist tegeleb vaid puitmööblitootmisega, teise kolmandiku toodangust moodustab puidu osa vähemalt 20%. Samal aastal moodustas Tartumaa puidu-, metsa-, ning mööblitööstuse sektor maakonna ekspordist 20% [25].

Eesti Mööblitootjate Liidu poolt avaldatud **Mööblitööstuse klatri strateegias 2011-2015** on avaldatud, et mööblitootjate konkurents siseturul on kõrge, samuti osalevad konkurentsivõimelised odavamad mööblitootjad riigid, näiteks Poola ja Hiina. Tuuakse välja, et kohalik mööblitootmise tootmisefektiivsus on madal, materjale ostetakse väikestes kogustes, mistõttu on materjali hind kõrge ning juhtide teadmised kaasaegsest mööblitööstusest ei ole piisavad. See kõik ohustab väike- ja keskmise suurusega ettevõtete jätkusuutlikkust. Probleemi lahendamiseks soovitatakse tõsta tootmisefektiivsust või müügihinda. Esimene variant võib mõnel juhul sisaldada endas suuri lisakulutusi ning teine variant võib ohustada konkurentsivõimelisust. Seega peamised faktorid, mis aitavad konkurentsivõimelisust püsida, on tööviljakuse tõstmine ilma suurte lisakulutusteta ning lõpp-toote lisandväärtuse tõstmine. Ei saa jääda lootma odavatele töajõukuludele. Lahendusena pakutakse innovatsiooni materjalide ostmises ja kasutamises ning tootmisefektiivsuse kasvu olemasoleva ressursi maksimaalse ärakasutamise. Materjalide ostmise all peetakse silmas väiketootjate plaatmaterjalide ühistellimusi Aasiast, sest nii on võimalik saavutada odavamad hinnad. Tootmisefektiivsuse probleemina tuuakse veel välja, et paljud ettevõtjad on investeerinud kallitesse seadmetesse nende ressursi täielikult kasutamata, samas on tootjaid, kellel on vajadus teostada sarnaseid tööoperatsioone, koostöö tugevdamine (masinate ühiskasutus) aitaks siin vältida liigseid kulutusi tehnikale. Tähelepanu all on ka töajõu koolitamine ning juhtimissüsteemide arendamine [26].

Tartu Ülikooli Majandusteaduskonna poolt teostatud **Eesti puidutööstuse töajõuvajaduse prognoosis aastateks 2005-2015** ilmnes, et koolide lõpetanute arv ja nende kvaliteet on teoreetiliselt ettevõtete töajõuvajadusele vastav. Seevastu ettevõtjad väitsid vastupidist põhjendusega, et paljud erialase kvalifikatsiooniga inimesed lähevad tööle teistesse tööstusharudesse või vahetavad eriala. Samuti kurtsid ettevõtjad, et töajõu kvaliteet ei vasta vajadustele põhjendusega, et puidutöötlemise erialad ei ole võimekate noorte hulgas populaarsed ning koolitus ei arvesta kaasaegsete ettevõtete iseloomuga. Neid probleeme soovitatakse prognoosis lahendada ettevõtete, koolide ja riigi koostöös [27].

Eesti Arengu Sihtfondi 2009. aastal läbi viidud **Eesti Mööblitööstuse Sektoriuuringus** ligikaudu 20% Eesti mööblitootjate küsitlemisel selgusid joonisel 1.6. esitatud tulemused. Jooniselt selgub, et Eesti ettevõtjate arvates suurendab tootmisefektiivsust enim uute seadmete ost, mida nimetati 34 korda. Umbes poole vähem, ligi 16 korda, nimetati juhtimissüsteemi muudatust. Tootlikkuse tõstmine oli populaarsuselt alles kuuendal kohal

14 tegevusest. Joonise eesotsas on esindatud enamus tegurid, mis on otseselt seotud rahaliste vahendite olemasoluga või puudusega, näiteks koondamine. Vastuoluliselt finantsjuhtimise nimetus oli alles eelviimasel kohal. See peegeldab levinud arvamust, et tootmise paremaks muutmiseks on vaja vaid finantsilisi vahendeid. Vähem on mõeldud võimalustele, mida on võimalik teostada ilma suurema investeeringuta.



Joonis 1.6. Plaanitud efektiivsust suurendavad tegevused Eesti ettevõtjate arvamusel [28]

Lisaks selgus uuringus, et 62% küsitlenuist omas ISO 9001 Kvaliteedijuhtimisstandardi või muud juhtimissüsteemi alast sertifikaati ning 91% neist väitis, et selle omamisest on olnud kasu ettevõtte tegevusele. Küsiti ka tootmises kasutatavate tarkvarade kohta. Sealt selgus, et üle poolte mööblitootjatest kasutavad tootmise planeerimise tarkvara ning üldjuhul ollakse sellega rahul [28].

1.5. Eritellimustootmise ja masstootmise erinevus

Eritellimustootmine ehk tellimuspõhine tootmine

Selles süsteemis peab ettevõtte ressursside planeerimine olema tugevalt seotud müügiga ja tootmise planeerimisega. Müügitellimused peavad muutuma tootmistellimusteks, seeläbi peab iga tellimuse progress olema jälgitav. Tellimuspõhises tootmises võib tootmise planeerimine ja materjali ost olla suhteliselt ebahühtlane, seega süsteem peab olema paindlik, näiteks ühe tellimuse tühistamisel teise kiirendamine. Sellise tootmissüsteemi ohtudeks on seetõttu ka madalam efektiivsus ja suurema hulga jääkide teke, mille vastu tuleks leida oma tegevuskavad. Kõikvõimalike vajalike varude olemasolu on tellimuspõhises tootmises samuti võimatu, seega informatsioon varude liikumisest ja tellimustest peab süsteemis kiirelt liikuma. Valmistoodete liigub otse kindla kliendini [29].

Masstootmine

Sel juhul põhineb tootmise planeerimine kindlaks määratud ajaperioodi müügiprognoosil. Juhtimissüsteem peab tootmise prognoosimist toetama statistikaga, mis põhineb ajaloolisel infol. Siis muutub prognoos tootmistellimuseks ja tooted suunduvad lattu. Masstootmise eeliseks on see, et enamus juhtudel on võimalik tootmistahte ajas ühtlustada, vältides mahtude kõikumisi, mida tuleb tellimuspõhises tootmises tihti ette. Seega on rohkem aega ja vahendeid, et saavutada kõrge efektiivsusega tootmine. See aga ei tähenda, et masstootmine on stabiilne ja temas ei esine segadusi. Tootmise planeerimine peab olema kohandatav müügiprognooside muudatustega [29].

Tabel 1.2. Eritellimustootmise ja masstootmise erinevused [2; 30]

	Eritellimustootmine	Masstootmine
Tootmistaht	Väike	Suur
Tootmise meetod	Käsitöö	Automatiseeritud
Kes/mis toodab	Inimesed	Masinaid
Tööjõukulu ja kvalifitseeritus	Suur	Väike
Vigade arv töös	Suur	Väike
Toodangu muutused, paindlikkus	Lihtne	Keeruline
Ladu	Väike	Suur
Tootmise ajakulu	Kõrge	Madal
Kvaliteedikindlus	Kõrge	Madal
Toote varieeruvus	Kõrge	Madal
Toote hind	Kõrge	Madal
Näide	Lennukid, arhitektuur	Autod, arvutid, kruvid

Mööblit on võimalik toota mõlemal kirjeldatud meetodil. Tabelis 1.2. sisalduv informatsioon illustreerib lisaks eritellimuse- ja masstootmise üldkirjeldusele seda, kuidas mõjutab tootmise iseloom jäätmete teket. Näiteks eritellimustootmises esinev inimtööjõu käsitöeline tootmine on üks põhjus suurema hulga jääkide ja vigade tekkes, sest masinate puhul on inimtekkelise vea tõenäosus suurema kontrolli ja automatiseeritusega rohkem minimeeritud. Inimtööjõu olemasolu on samas lõpptoote kvaliteedi seisukohalt parem, sest toodang on masstootmisest inimestele rohkem nähtaval, seega vead on kergemalt avastatavad ja vigade parandus on paindlikum. Samuti toote varieeruvuse aste mängib jääkide tekkes suurt rolli, sest kui tootmise väljund on pikalt ühesugune, siis on aega sellele toodangule vajalike protsesside efektiivsust vastavalt võimalustele maksimaalselt suurendada. Väiketootmises toodang varieerub tihti ning tuleb leida efektiivistamise meetmed, mis oleksid erinevate tööprojektide puhul universaalsed. Ka eritellimustootmise laos väiksusel on mõju jääkide suuremale tekke kogusele. Need on põhjused, miks ei saa suurest masstootmisest tootmise materjalikasutuse efektiivsust parandavaid meetmeid lihtsalt üle võtta, vaid tuleb leida konkreetsele ettevõttele sobivad. Arutelu meetmete sobivuse üle käsitletavas ettevõttes xyz esitatakse käesoleva töö kuundas peatükis.

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on materjalivoo analüüsi meetodit kasutades kindlaks teha tootmisesse sisenevate ja väljuvate materjalide kogused, et saada esmane täpne ülevaade ettevõttes toimuvast. Saadud koguste, vaatluste ja arutelude põhjal identifitseerida liigsete jääkide tekkepõhjused ja töötada soovitusena välja lahendused, mis vastavad materjaliefektiivsuse põhimõtetele, aitavad kaasa ettevõtte organisatoorse olukorra parendamisele, säästavad kulutusi ja vähendavad tootmistegevuse tagajärjel liigsetest jääkidest tekkivaid keskkonnamõjusid.

Eesmärkide saavutamiseks püstitas töö autor järgnevad uurimisülesanded:

1. Töötada välja meetodika, koguda lähteandmed;
2. Viia läbi materjalivoo analüüs, et teha kindlaks ettevõttesse sisenevad ja väljuvad plaatmaterjalide vood;
3. Identifitseerida jääkide tekkepõhjused;
4. Analüüsida materjaliefektiivsuse põhimõtete rakendamise võimalusi ettevõttes;
5. Leida lahendused jääkide tekke ja materjalikulu vähendamiseks.

3. LÄHTEANDMED JA METOODIKA

3.1. Ettevõtte xyz iseloomustus

Ettevõtte xyz on Tartumaal asuv mööbli- ja puittoodete tootmise ettevõtte. Ettevõtte on asutatud 2007. aastal ning vahetas nime ja omanikku 2013. aasta alguses. Peamisteks klientideks on üle-eestiliselt tuntud ärikliendid, kellele tehakse eritellimusel mööbliprojekte ning Eesti ja Soome era kliendid, kellele suunatud põhitoodang on kööginõu, ukSED, aknad, trepid ning muu eritellimusmööbel.

Ettevõtte juhiks on 7-aastase juhtimiskogemusega inimene, kes on ühtlasi firma omanik. Veel on ettevõttes tööl tehnoloog, töökoja meister ning 10 tootmistöötajat. Paigaldustel kasutatakse alltöövõttu ja raamatupidamisteenus ostetakse sisse. Müük ja turundus toimub läbi mitmete erinevate kanalite.

Põhitootmine asub Tartust 10 km kaugusel alevikus, kus on renditud 1000 m² pindalaga tootmishoone, mida näeb joonisel 3.1. Teine, väiksem osa tootmisest, mis käsitleb täispuitu, asub Tartus 2000 m² renditud lao- ja tootmishoones 500 m² suurusel pinnal.



Joonis 3.1. Ettevõtte xyz tootmishoone

Ettevõtte põhilised kulutused koosnevad palgakuludest, tootmishoone rendist ja kommunaalmaksetest, toormaterjali ostust ning reklaamikuludest. Peamine tuluallikas on toodete ja teenuste müük. Lähiaastate eesmärkideks on luua kvaliteetseid ja funktsionaalseid mööblisarju, töötada välja tootekataloog ning ekspordi osas laiendada Skandinaavia turule. Jooksvalt läbi kvaliteedikontrolli ja uute tehnoloogiate üritatakse parendada tootlikkust. Kaugemaks eesmärgiks on protsesside standardiseerimine ja ettevõtte suurenemine nii töötajate arvult kui tootmismahitudelt.

Enamkasutatavad materjalid tootmises on erinevad mööbliplaadid. Täispuidust leiavad enim kasutust tamm ja mänd ning naturaalne tammepuidust spoon. Veel kasutatakse erinevaid viimistlusmaterjale ja plastist laminaate. Erinevatele tootmismaterjalidele on välja kujunenud kindlad tarnijad, kellel on ettevõttel usaldusväärsed ärisuhted.

Käsitletavas ettevõttes puudub ülevaade tootmismaterjalide kasutamisest. Töenäoliselt on ettevõttes mitmeid potentsiaalseid võimalusi materjaliefektiivsuse tõstmiseks ja sellest tulenevalt ka kulude kokkuhoiduks. Kuna ettevõtte xyz püsikulud tõusevad kogemuse põhjal ajas konstantselt, siis kasumliku materjaliefektiivsuse rakendamine tagaks ettevõtte jätkusuutlikkuse ja konkurentsivõime tõusu turul.

3.1.1. Ettevõttes xyz kasutatavate materjalide andmed

Materjalide tihedused võivad erinevate plaatmaterjalide tootjate puhul varieeruda. Järgnevad plaatmaterjalide tihedused tabelis 3.1. pärinevad Probex OÜ kodulehelt, sest sellest ettevõttest tellitakse ettevõtte xyz plaatmaterjalid, välja arvatud melamineeritud puitlaastplaat, kuid selle tiheduse võib võrdsustada puitlaastplaadi tihedusega, sest neid tellitakse mitmest eri kohast, aga materjalid on sisult samad ja melamineeritud kattekihi paksus on niivõrd õhuke, et see ei avalda tihedusele olulist mõju. Materjalide omadustest on välja toodud vaid tihedus ja niiskussisaldus, sest neid näitajaid on töö hilisemates etappides tarvis.

Tabel 3.1. Ettevõttes xyz kasutatavate plaatmaterjalide keskmised tihedused ja niiskussisaldused [31; 32]

	Kasevineer	Puitkiudplaat	Puitlaast- ja melamiinplaat	Tamm	Mänd
Tihedus ρ , (kg/m ³)	670	800	670	690	500
Niiskussisaldus, (%)	5-10	4-11	5-13	12	12

3.2. Metoodika

3.2.1. Materjalivoo analüüs

Töös viiakse läbi materjalivoo analüüs, kasutades materjalivoo analüüsi metoodikat. Esmalt tehti kindlaks võimalikult täpselt tekkinud jääkide kogus. Läbivaks ühikuks valiti kuupmeeter, mille kasutamine võimaldab hinnata piisavalt täpselt tekkivate jääkide kogust. Andmete kogumisel on materjalivoo analüüsi mõõteviga 15%, mis tagab siiski piisava täpsusega sisendite ja väljundite kaardistamise [33].

Arvutamisel kasutatakse täpsemate virnastusmahtude saamiseks laotud puidu ja saepuru tiheduse koefitsienti, võrreldes kompaktsel plaatmaterjaliga, mis ei sisalda tühja ruumi. Korralikult laotud puidu tihedus on tihumeetriga võrreldes 75-80%, mis ei sisalda õhuvahesid. Selle põhjal võetakse siin laotud jääkide koefitsiendiks 0,8 [34]. Tihendamata saepuru tihedus moodustab 60% algsest tervikmaterjali ruumalast ehk koefitsiendiks võetakse 0,6 [35].

Plaatmaterjali sisendkoguse leidmiseks summeeriti kuue kuu jooksul ostetud materjalide kogused kuupmeetrites. Andmed saadi materjalide ostuarvetelt (näidised Lisas 1), kus on kirjas materjali tüüp, mõõdud ning paksus. Ostuarvete põhjal leiti ka erinevate materjalitüüpide protsentuaalne osakaal kogu tootmises kuue kuu jooksul. Saamaks teada tekkivate jääkide koguseid, kogus töö autor poole aasta jooksul andmeid tekkivate jääkide kohta kuupmeetrites.

Jääkide tekkepõhjuste leidmiseks koostati tootmisprotsessi kohta jääkide kaart. Tulemuste täpsustamiseks viidi läbi intervjuu ettevõtte juhatajaga ning samuti vestles töö autor töötajatega, saamaks teada, millised on ettevõtte materjalikasutuse kitsaskohad (suulised andmed). Vaatluste tulemust ei saanud töötajad on käitumisega teadlikult mõjutada, kuna intervjuud viidi läbi peale vaatluste teostamist.

Materjalivoo analüüs on süstemaatiline ajas ja ruumis esinevate materjalide voogude ja varude hindamine. See ühendab endas materjali allikad, protsessis liikumised ja lõplikud asukohad. Materjalivoo analüüsi tulemustena saab kindlaks teha ebaefektiivseid protsesse analüüsides protsesside sisendeid, väljundeid, varusid ja kogu süsteem muutub läbipaistvaks. Analüüsi tegemiseks tuleb määratud ajavahemiku jooksul tuvastada kindla väljundi saavutamiseks vajalikud sisendid. Vooanalüüsi ideaaljuhul on protsessi sisendid võrdsed väljunditega. Selle saavutamiseks tuleks materjalid, mida on võimalik suurte kuludeta ja negatiivse materjalivoota, taaskasutada. Negatiivsed vood võivad esineda emissioonidena või taaskasutusprotsessi kõrvalproduktidena. Taaskasutust mitte võimaldavaid materjale tuleks käidelda ohtlikena ning hoida ära nende sattumist keskkonda. Ettevõtetele ja organisatsioonidele on materjalivoo analüüs tõhus ja tulus töövahend jääkide ja jäätmete koguse, sisu ja tootluse määramisel ning keskkonnasäästliku tegevuskava arendamisel. Protsessi mudeli koostamise abil saab mõõta toodete ja tootmisoperatsioonide efektiivsust materjalikasutusel. Usaldusväärne info jääkide tekkest on vajalik järgnevatel põhjustel: [33]

- Ülevaate saamine materjalivoogudest, sisenditest ja väljunditest;
- Tootmisprotsesside kitsaskohtade leidmise hõlbustamine;
- Taaskasutamise potentsiaalide leidmine ja tehnoloogiate disainimine;
- Jäätmekäitlusest tulenevate emissioonide ennustamine;
- Seadusandlike, logistiliste, tehniliste ja majanduslike mõõtmete hindamine;
- Finantsiliste vahendite säästmine pikemas perspektiivis [33].

Terviklik materjalivoo analüüs koosneb järgnevast 7 toimingust:

1. Uuritava materjalivoo analüüsi eesmärgi ja parameetrite defineerimine. Materjalivoo analüüsi eesmärgiks võib olla kindla kauba või elemendi voogude jälgimine läbi ettevõtte protsessi tähelepanuga ühele või mitmele kriteeriumile (kogused, kulutused). Analüüsi alguses on vaja määrata analüüsi tulemuste vajalik täpsusaste. Sisendite ja väljundite analüüs peab tooma välja vastused järgmistele punktidele, mis annavad protsessi toorainetele ja materjalidele mõõdetavuse:
 - Uuritavate materjalide identifitseerimine;
 - Materjalide koguste leidmine erinevates protsessi osades;
 - Materjalide majandusliku väärtuse leidmine;
 - Protsessi lõpus kõrvaldatavate jääkide koguste ja emissioonide leidmine.
2. Bilansi ulatuse määramine ja piiramine. See võib sisaldada ettevõtte tervikprotsessi, üksikut protsessi etappi või kindlat tööoperatsiooni.

3. Bilansiperioodi määratlemine. Ajavahemik, mille jooksul on võimalik edukalt läbi viia valitud materjali(de) materjalivoo analüüs. See võib olla mõõdetav aastates, kuudes, või ühe toote seeriates.
4. Teises punktis määratud protsessi, valitud etapi või toote seeria siseste sammude identifitseerimine.
5. Materjalivooegade skeemide koostamine ehk kvalitatiivne analüüs. Skeemidel tuleb esitada kõik asjakohased materjalivooegade andmed. Nendeks võivad olla: elemendid, väärtused, kogused, andmete algallikad, ökoloogiline olulisus. Samamoodi tuleb dokumenteerida kõik olulised protsessi sammude andmed või kasutatav tehnika. Valminud skeemide alusel on võimalik koostada jäätmekorraldusplaan.
6. Bilansside koostamine ehk kvantitatiivne analüüs. Nende koostamiseks tuleb jälgida mahu säilitamise printsiipi. See rakendub ettevõttele kui tervikule ja süsteemi elementidele, mis on defineeritud protsessi sammudena. Kui süsteem on stabiilne, siis sisendite ja väljundite mahud on võrdväärsed. Kõik tootmise sisendid peavad väljundites kajastuma kas tootena, jääkide või emissioonidena. Vajalik on määrata analüüsi kasutamisel läbiv ühik (kg, t, l, m², m³).
7. Analüüsi tulemuste ja skeemi tõlgendamine, kokkuvõtete tegemine. Uuritud sisendmaterjali liikumisi jälgitakse, tehakse kindlaks jääkide tekkimise kohad, tooraine ja jääkide vahelised suhtarvud. Määratakse efektiivsuse võtmeelemendid ja reaalselt saavutatavat efektiivsust võrreldakse teoreetiliselt väljapakutud efektiivsusega. Need on võimalik arvutada ettevõttele kui tervikule kui ka üksikutele tootmise sammudele. Selle alusel on võimalik kindlaks teha protsesside nõrgad kohad ja need tähtsuse põhjal reastada, mis annab alust parendamisteemalistele diskussioonidele. Uuritud protsessi parameetreid uuendatakse regulaarselt, et tekitada vahend protsesside läbipaistvaks muutmiseks, tehniliseks kontrolliks ja materjalikasutuse ja arengu dokumenteerimiseks [33].

Materjalivoo analüüsi valim

Bilansiperioodiks valiti 6-kuuline tootmisperiood juulist detsembrini aastal 2013. Ettevõtte xyz tootmismaterjalidest on käsitletud peamiselt plaatmaterjalide kasutamist tootmises, sest see on materjal, millega kaasnevad firmale kõige suuremad välditavad kulud. Näiteks furnituuriga kaasneb välditavad kulud vähe, sest nende kogused on konkreetselt loendatavad ja selle alusel täpselt ostetavad. Enamus viimistlusmaterjale on samuti konkreetse koguse alusel loendatavad välja arvatud liitrite alusel ostetavad värvid ja lakid, mille vajalikku kogust arvutatakse värvi tootja valemite alusel. Vähesel määral käsitletakse töös ka plaatmaterjalidega brikettimisel seostuvat täispuitu. Pakkekile koguseid ei käsitleta, sest seda kasutatakse minimaalselt ja sellega kaasnevad ettevõttele väikesed kulutused. Plaatmaterjali kasutust uuritakse kogu oma tootmistsükli jooksul ettevõttes, alates materjalivajaduse planeerimisest jääkideks muutumiseni.

Materjali lõikusjääkide teke ja nende koguse määramine

Iga toote valmistamisel on toormaterjali lõikus vältimatu tööoperatsioon. Lõikustel tekkiva saepuru kogus leitakse käesolevas töös ettevõtte xyz mitme erineva tavapärase lõikeskeemi keskmise lõiketeeonna pikkuste alusel. Käsitletakse vaid formaatsael lõikamist, sest jälgitud kuue kuu töö jooksul asusid CNC pingid täispuitu käsitlevas töökojas. Samuti ei arvestata käsifreesiga lõikamisel tekkinud saepuru, sest uuritava kuue kuu tööprojektid olid enamuses apteekide mööbli suurprojektid ja köögimööblid, kus käsifreesiga lõikamist üldjuhul ei esine. Kuna apteekide ja köökide mööblidetailid on iga projekti puhul väga sarnased, siis valimiks ehk tavapärasteks lõikeskeemideks on valitud 5 apteegimoodulit

ning 3 köögimööblit, mille joonised on esitatud Lisas 2. Nende keskmine lõiketeeakna pikkus meetrites materjali ruutmeetri kohta (tähis lp/m^2), mis saadakse tarkvarast Cutting Optimization Pro (kirjeldus peatükis 5.1), kajastab uuritava 6 kuu ligikaudset projektide keskmist lõiketeeakna pikkust ruutmeetri kohta.

Kõik tarkvarast saadud puhaste lõikuste pikkused korrutatakse kordajaga 5, mille on arutelu ja vaatluste tulemusel välja töötanud töökoja meister ja töötaja, kes tegeleb materjali lõikamisega. Kordaja kasutamise tulemuse õigsus on kinnitatud vaatluste teel. Täpsemat kordajat ei ole võimalik leida, sest senimaani on lõikamisoperatsioonid toimunud ilma lõikeskeemideta, seega on võimatu reprodutseerida minevikus toimunud lõikuste skeeme, kuid saab hinnata, et töötaja ei suuda arvutiprogrammist materjalisäästlikumat skeemi välja mõelda. Teiseks kordaja kasutamise põhjuseks on see, et detailide lõikusel ei lõigata neid esimese lõikusega lõplikku mõõtu, vaid kasutatakse sarnaste küljemõõtudega detailide igast küljest umbes 10-15 mm varuga mõõtu lõikamist. Varuga mõõdu kasutamine on tingitud toormaterjali ja formaatsae töölaua mõõtude suurest erinevusest materjali kasuks. See tähendab, et kui töötaja lõikab materjali formaatsae peal üksinda, siis tekib vibreerimine, mis jätab materjali serva ebaühtlase. Seetõttu on vaja jätta esmasel suurest plaadist lõikusel detaili igast küljest lõikevaru, mis muutub hiljem detaili mõõdulõikamisel jäägiks. Veel suureneb tarkvarast saadud lp/m^2 sellest, et pärast puhta mõõdu lõikust teostatakse umbes pooltel juhtudel veel kalibreerivat lõikust, et lõplik mööblidetail oleks täpselt õiges mõõdus. Mööblite ühine lp/m^2 leitakse järgmisest valemist:

$$lp/m^2 = [\sum(Lp/m^2_n) / n], \quad (3.1)$$

kus: $\sum(lp/m^2_n)$ - valitud mööblidetailide lõikepikkuste summa ruutmeetri kohta, m/m^2 ;
 n - valitud mööblite arv.

Ostetud materjali ruutmeetrite põhjal on võimalik arvutada täielik lp/m^2 . Saadud tulemuse korrutamine keskmise materjali paksusega ja saetee laiusega annab tulemuseks formaatsaagimisel tekkinud saepuru koguse kuupmeetrites. Keskmiseks materjali paksuseks on valitud 20 mm, sest 16 mm on enimkasutatavate melamineeritud, puitlaastplaadi ja puitkiudplaadi paksus ja 30 mm on veidi vähem, kuid suhteliselt palju kasutatava MDF ja vineeri paksus. 3 ja 4 mm paksuseid materjale kasutatakse vaid mööbli tagaseinadena, mis on alati võrdlemisi suure mõõduga ehk nende lõikamiste saetee on lühem kui paksematel materjalidel. Saetee laiuseks on nihkkaliibriga mõõdetud 4 mm. Arvutuskäik on esitatud valemis 3.2:

$$V_{\text{lõikus_saepuru}} = M_{y_kokku} * lp/m^2 * 5 * 0,02 * 0,004, \quad (3.2)$$

kus: M_{y_kokku} - ostetud plaatmaterjalide ruutmeetrid kokku 6 kuu jooksul, m^2 ;
 lp/m^2 - keskmine lõikepikkus materjali kasutatud ruutmeetrite kohta, m/m^2 ;
 5 - kordaja reaalse olukorra simuleerimiseks;
 0,02 - keskmine materjali paksus, m;
 0,004 - saetee laius, m.

Puurimisel tekkiva saepuru koguse määramine

Peamiselt puuritakse materjalisse auke riulikanduritele ja tüüblitele, vähem muudele kinnitusvahenditele ja furnituurile. Tavalised kanduriaugud on 5 mm läbimõõduga ja 8 mm sügavad. Tüübliaugud on 8 mm läbimõõduga ja 25 mm sügavad. Need mõõdud tulenevad enimmüüdavate riulikandurite ning tüüblite standardmõõtudest. Kanduriaukude samm on puurpingi võimalustest tulenevalt 32 mm ning augud puuritakse enamasti terve karkassi sisekülje ulatuses. Tüübliauke puuritakse vastavalt konstruktsiooni vajadustele.

Ettevõttes xyz on tavaks kuni 300 mm pikkusel serval kasutada 2 tüüblit ning pikematel servadel 3 või 4 tüüblit. Liigse arvu tüüblite kasutamine nõrgendab materjali serva. Lisaks kirjeldatule puuritakse mööbliplaatidesse auke furnituuri kinnitamiseks, näiteks uksehingedele ja sahtlisiinidele.

Puurimisest tekkiva saepuru täpset hulka on eelmises lõigus kirjeldatud muutujate põhjal keeruline arvutada. Raskendav asjaolu on veel see, et uuritava 6 kuu jooksul teostatud tööjoonistel puudub informatsioon puuringute kohta. Seetõttu on parim viis puurimisest tekkiva saepuru hulka hinnata valemist 3.3. lahutades täielikust saepuru kogusest saagimisel tekkiv saepuru kogus ja lihvimisel tekkiv lihvimistolmu kogus, mida on võimalik täpsemalt hinnata.

$$V_{\text{puurimine_saepuru}} = V_{\text{6_kuu_saepuru_plaat}} - V_{\text{lõikus_saepuru}} - V_{\text{lihvimine}} \quad (3.3)$$

Lihvimisel tekkiva saetolmu koguse määramine

Lihvimine jaguneb ettevõttes xyz kaheks, detailide pindade lihvimiseks ja servade ja pindade vaheliste nurkade lihvimiseks:

1. Detailide pindade lihvimisel tekkiva saetolmu koguse määramine

Pindlihvimisel tekkiva lihvimistolmu kogus mõõdetakse standardit EVS EN 324-1:2002 "Puitplaadid. Plaatide mõõtmete määramine. Osa 1: Paksuse, laiuse ja pikkuse määramine" järgides, milles toodud juhised on järgmised [36]:

- Kasutatav mõõteriist paksuse määramiseks. Mikromeeter või muu sellesarnane mõõteriist, millel on paralleelsed ringikujulised mõõtepinnad läbimõõduga 16 (± 1) mm ja survejõud 4 (± 1) N. Mõõteriista gradueering peab võimaldama lugemit 0,05 mm.
- Katse käik. Paksus määratakse ligikaudu 50 mm kaugusel servadest punktides, mis asetsevad igas nurgas ja iga külje keskkohas, kokku 8 punktis.
- Tulemuste väljendamine. Igale katsetatud plaadile arvutatakse mõõtmiste aritmeetiline keskmine, mis väljendatakse täpsusega 0,1 mm [36].

Käesoleva uurimuse teostamisel on kasutusel mikromeeter DIN 863, mille täpsus on 0,01 mm ja mõõtekaugus servast 0-25 mm. Suurema täpsusega mikromeetri kasutamine ei muuda lõpptulemust, pigem annab täpsema ülevaate materjali paksuse varieeruvusest. Standardis määratud täpsus 0,1 mm on liiga väike määr, sest puitkiudplaadi tootja poolne paksuse tolerants on $\pm 0,2$ mm [31]. Standardis määratud 50 mm kaugusel servast mõõtmise asemel teostatakse mõõdistused vastavalt võimalustele 25 mm kaugusel servast. Käesoleval juhul see mõõtmistulemus ei muuda. Katsetamisel kasutatakse lihvimise koguste leidmiseks kahte 385*265 mm mõõdus toorikut, mis on lõigatud ühest ja samast mööbliplaadist kõrvuti detailidena seega tootjapoolne paksuse erinevus kahe tooriku vahel on minimeeritud. Ühte toorikutest on vastavalt ettevõtte tavadele lihvitud mõlemalt poolt P150 kareduse lihvkettaga soovitud sileduse saavutamiseni.

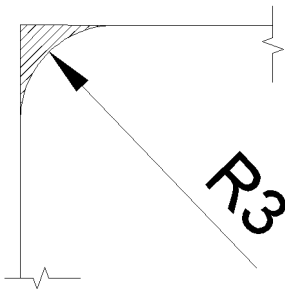
Katse tulemustest saab teada lihvitava lihvimistolmu koguse materjali ruutmeetri kohta. Ettevõttes xyz kasutatavatest plaatmaterjalidest katsetatakse puitkiudplaati, sest seda lihvitakse iga kord enne edasist töötlust. Melamineeritud ja puitlaastplaati ei lihvita. Vineeri lihvitakse väga harva, sest enamasti kaetakse see spooniga või laminaadiga. Kuna materjalide ostetud ruutmeetrid ja lihvitav materjal on teada, siis on võimalik valemist 3.4 arvutada kogu tekkiv lihvimistolmu kogus pinnalihvimisest.

$$V_{\text{pind_lihvtohm}} = M_{y_puitkiudplaat} * L_{\text{lihv}}, \quad (3.4)$$

kus: $M_{y_puitkiudplaat}$ - ostetud puitkiudplaatide pindala kokku, m^2 ;
 L_{lihv} - mahalihvitud osa paksus, selgub katsetamise teel, m.

2. Detailide servade ja pindade vaheliste nurkade lihvimisel tekkiva saetolmu koguse määramine

See tähendab, et nelinurkse detaili mõlema pinna, kokku kaheksa nurka lihvitakse teravuse eemaldamiseks ligikaudsesse raadiusesse 3 mm. Ühe ruutmeetri materjali mõlema poole nurgalihvimisel tekkiva lihvimistolmu koguse saab leida lihvitud nurga ristlõikelt (joonisel 3.2.) mahalihvitud osa (viirutatud) pindala korrutamisel toorikute servade lõikepikkustega. Tulemus korrutatakse kahega, sest kõik toorikute servad lihvitakse mõlemalt poolt toorikut. Saadud tulemus korrutatakse kordajaga 1,8, sest enamike lõikuste (~80%) saetee mõlemale poole jääb mööblidetail (lp/m^2 ei arvesta saetee mõlemale poole jäävat detaili serva).



Joonis 3.2. Mahalihvitava nurga ristlõike näidis. Viirutatud osa tähistab servade ja pindade vaheliste nurkade lihvimise osa

Mahalihvitava ristlõike täpne pindala on võimalik teada saada joonisel 3.2. märgitud viirutatud osa pindala leides. See on $1,93 \text{ mm}^2$ ehk $1,93 * 10^{-6} \text{ m}^2$. Servalihvimine arvutatakse kõigi materjalitüüpide kohta, sest kõikide materjalide nurgad lihvitakse teravuse eemaldamiseks kas enne või pärast servakandiga või muude pealustusmaterjalidega katmist. Kokkuvõtlikult on servalihvimisel tekkiva lihvimistolmu arvutamine esitatud valemitega 3.5 ja 3.6.

$$V_{\text{nurgad_lihvtohm}} = 1,93 * 10^{-6} * 2 * 1,8 * L_{\text{saetee}}; \quad (3.5)$$

$$L_{\text{saetee}} = M_{y_kokku} * lp/m^2, \quad (3.6)$$

kus: L_{saetee} - saetee pikkus, m,
 M_{y_kokku} - ostetud plaatmaterjalide ruutmeetrid kokku 6 kuu jooksul, m^2 ;
 lp/m^2 - keskmine lõikepikkus materjali kasutatud ruutmeetrite kohta, m/m^2 .

Pind- ja nurgalihvimisest tekkiva lihvimistolmu koguse saab leida nurkade ja pindade lihvimisest tekkiva saepuru koguste liitmisel:

$$V_{\text{lihvimine}} = V_{\text{nurgad_lihvtohm}} + V_{\text{pind_saetolm}}. \quad (3.7)$$

Briketipressi suundunud saepuru ja valminud brikettide koguse leidmine

Brikette valmistatakse eelkõige täispuidu ja plaatmaterjali saepuru ligikaudu võrdsest segust. Need briketid on ainult plaatmaterjali saepurust koosnevatest briketidest kvaliteetsemad ja neid on võimalik kasutada töökojast väljaspool. Ülejäänud briketid tehakse vaid plaatmaterjali saepurust. Need briketid ei ole eriti kvaliteetsed ja lagunevad väikse ligniinisalduse tõttu kiirelt. Viimaseid kasutatakse omakütteks töökojas. Segasaepurust brikette kasutavad töötajad ka kodukütteks.

Briketipressi suundunud saepuru kogus koosneb puurimisest, lõikamisest ja teisest töökojast tulnud saepuru kogustest kokku. Saadavast tulemusest tuleb lahutada 5%, mis näitab, et kogu tekkiv saepuru ei jõua täielikus mahus briketipressi, vaid osa jääb põrandale. Valminud brikettide kogukaal on võrdne sisenenud saepuru kogukaaluga. Brikettide kogust mõõdetakse keskmiselt 27,5 kg kottide arvus, ja selleks et saada briketipressist väljuvate brikettide kogukaal, tuleb plaatmaterjali ja täispuidu saepuru kogus kuupmeetrites teisendada massiks. Kui materjalide ruumalad ja tihedused on teada saab leida massi järgmiselt: $m = \rho * V$, kus: m – mass, kg; ρ – tihedus, kg/m^3 ; V – ruumala, m^3 .

Plaatmaterjalide keskmine tihedus lähtuvalt ostetud materjalide protsentuaalsetest osakaaludest (tabelist 4.1) ja tihedustest (tabelis 3.1) leitakse järgmisest valemist:

$$\rho_{\text{plaat_kesk}} = \rho_{\text{vineer}} * O_{\text{vineer}} + \rho_{\text{puitkiud}} * O_{\text{puitkiud}} + \rho_{\text{puitlaast}} * (O_{\text{puitlaast}} + O_{\text{melamiin}}); \quad (3.8)$$

kus: $\rho_{\text{plaat_kesk}}$ - plaatmaterjalide keskmine tihedus sõltuvalt osakaalust;
 ρ_{\dots} - määratud plaatmaterjali tihedus, kg/m^3 ;
 O_{\dots} - määratud plaatmaterjali % osakaal ostetud materjalide kogumahust.

Briketipressi suundunud plaatmaterjali saepuru mass:

$$m_{\text{plaat}} = \rho_{\text{plaat_kesk}} * (V_{\text{puurimine_saepuru}} + V_{\text{lõikus_saepuru}}); \quad (3.9)$$

kus: $\rho_{\text{plaat_kesk}}$ - plaatmaterjalide keskmine tihedus sõltuvalt osakaalust;
 $V_{\text{puurimine_saepuru}}$ - puurimisest tekkiva saepuru kogus, m^3 ;
 $V_{\text{lõikus_saepuru}}$ - saagimisest tekkiva saepuru kogus, m^3 .

Briketipressi suundunud täispuidu saepuru mass, arvestades, et tamme- ja männipuitu kasutatakse täispuidutöodes võrdselt:

$$m_{\text{puit}} = (\rho_{\text{mänd}} + \rho_{\text{tamm}}) / 2 * V_{\text{täispuidu_saepuru}}; \quad (3.10)$$

kus: $\rho_{\text{mänd}}$ - männipuidu tihedus tabelist 3.1., kg/m^3 ;
 ρ_{tamm} - tammepuidu tihedus tabelist 3.1., kg/m^3 ;
 $V_{\text{täispuidu_saepuru}}$ - tekkiva täispuidu saepuru kogus (m^3).

Kogu saepuru mass, mis suundub briketipressi, arvestades 5% kadusid:

$$m_{\text{täielik}} = (m_{\text{plaat}} + m_{\text{puit}}) * 0,95; \quad (3.11)$$

kus: m_{plaat} - plaatmaterjali saepuru mass, kg;
 m_{puit} - täispuidu saepuru mass, kg.

Eeltoodud valemite 3.1. kuni 3.11. lahendamine on vajalik, märkimaks materjalivoo analüüsi põhjal koostatavale jääkide kaardile materjalivoo kogused.

3.2.2. Lähteandmete kogumise meetodika

Vaatlused

Vaatlused annavad uuringu teostajale arusaama toimuvast ning võimaldavad koguda informatsiooni. See koosneb süstemaatilistest märkustest, sündmuste, käitumiste ja objektide dokumenteerimisest. Vaatluse käigus võib vaadelda kogu protsessi või selle selektiivseid osi, mis uuringu teostamisel olulised on [37].

Intervjuud ja arutelud

Kvalitatiivset intervjuud saab iseloomustada kui vestlust suunitletud teemal. Intervjuu annab ülevaate intervjuueeritava vaadetest. Kõige tähtsam aspekt intervjuu teostaja lähenemises on intervjuueeritava vaadete hindamine nende väärtuslikkuse osas. Intervjuu tugevusena koguneb kiirelt suur hulk infot. Suurema arvu osalejatega koguneb laiem hulk erinevat infot. Intervjuu nõrkusena nõuab see isiklikku sekkumist ja koostöövalmidus on hädavajalik [37].

Taustandmete ja dokumentide ülevaatus

Andmete allikateks võivad olla erinevad ametlikud dokumendid, kirjad, teadaanded ja registreeringud. Selle meetodi eeliseks erinevalt eelnevatest on see, et seda on võimalik ilma kõrvaliste häiringuteta läbi viia. Puudustena võib uuringu teostaja teha ebakonkreetse info alusel valesid järeldusi [37].

3.2.3. Tasuvusanalüüsi meetoodika

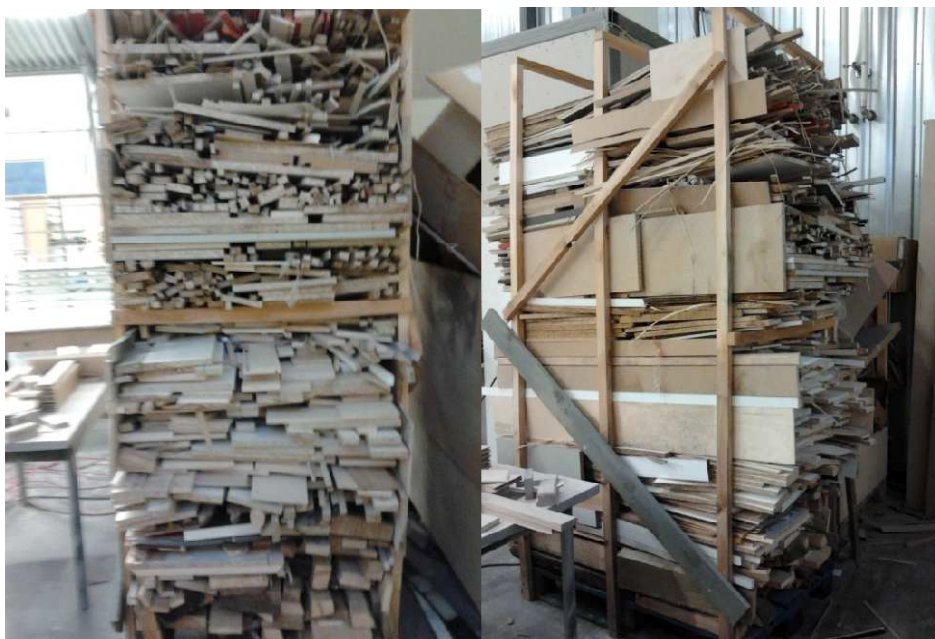
Investeeringuprojektide tasuvusanalüüsi teostamise peamine eesmärk on välja selgitada ja näidata, et projekt on finantsiliselt mõistlik ellu viia. Tasuvusanalüüs on projektide majandusliku kasu hindamisel üks tähtsamaid töövahendeid. Analüüsi käigus tuleb hinnata mõjusid mitmest erinevast aspektist, millel on rahaline mõju projekti kuludele või tuludele. Saab teha järeldusi, kas projekti on soovitatav rakendada [38]. Käesolevas töös kasutatakse tasuvusanalüüsi viimases, arutelu peatükis mõnede meetmete mõistlikkuse hindamisel. Tasuvusanalüüsi läbiviimiseks vajalikud sammud on järgmised [38]:

1. Projekti eesmärgi defineerimine ja asjakohaste alternatiivide, millega on võimalik saavutada samad eesmärgid, leidmine. Tuleb välja selgitada, et kas see investeering on parim võimalus konkreetse probleemi lahendamiseks.
2. Projektiga kaasnevate kulude ja kasude identifitseerimine. Kaudsete mõjudega projektide puhul on nende leidmine keerulisem, sest siis tuleb osa kulusid ja kasusid prognoosida.
3. Kulude ja kasude mõõtmine ja koondamine. Neid saab mõõta rahaliselt. See sõltub klientide maksevõimest, konkurentsivõimelisest hinnastamisest ja omakulude reguleerimisest läbi projekti eesmärkide või muude vahendite.
4. Tulemuste ja otsustuskriteeriumi tõlgendamine. Tasuvusanalüüsi teostaja eesmärk on saavutada mudel, mis summeerib rahaliste kasude ja kulude vood ja mille abil saab projekti teostamise osas otsuse langetada. See ei ole alati lihtne, sest kõike ei saa rahas mõõta, näiteks üldise heaolutunde tõusu.
5. Projekti võrdlus seisundiga enne projekti rakendamist. Tuleb osata hinnata muudatuste ulatust. Saab prognoosida tulemusi ja vajadusel muuta projekti, et muudatuste mõju oleks võimalikult positiivne.
6. Majanduslik rentaablus ja finantsiline teostatavus. Tasuvusanalüüs võrdleb sotsiaalseid kasusid finantsanalüüsiga. Need peavad olema tasakaalus või kui finantstulemus on negatiivne, siis sotsiaalne kasu peab selle üles kaaluma [38].

4. JÄÄKIDE ANALÜÜSI TULEMUSED

4.1. Ülevaade tootmisjääkide tekkekogusest ettevõttes

Ettevõttes xyz tekib plaatmaterjali tootmisjääke keskmiselt 2 jäägitorni (joonisel 4.1.) kuus. See sisaldab eri mõõtudes ja paksusega materjale: vineer, MDF/HDF, melamineeritud ja puitlaastplaat. Jäägid on mõõtudes keskmiselt 3*10 cm kuni 30*100 cm. Torni mõõdud on: külg a = 0,8 m; külg b = 1,2 m; kõrgus h = 2,0 m.



Joonis 4.1. Ettevõtte xyz jäägitorn

Jäägitorni mõõtude põhjal on võimalik arvutada selle täielik ruumala:

$$\begin{aligned} V_{\text{torn}} &= a * b * h; \\ V_{\text{torn}} &= 0,8 * 1,2 * 2,0 = 1,92 \text{ m}^3. \end{aligned} \quad (4.1)$$

Põhjusel, et tornis olevate laotud jääkide vahel on ka õhku, tuleb kasutada laotud puidu koefitsienti võrreldes puidu tihumeetriga, mis on 0,8 [34]. Järgnevalt saab arvutada tornis olevate jääkide reaalse koguse:

$$\begin{aligned} V_{\text{torn_reaalne}} &= V_{\text{torn}} * 0,8; \\ V_{\text{torn_reaalne}} &= 1,92 * 0,8 = 1,54 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Kui ettevõttes tekib jääkide torne keskmiselt 2 tk kuus, siis uuritava perioodi ehk 6 kuu jooksul tekkivate jääkide mahulist kogust tornis saab arvutada järgmise valemiga:

$$\begin{aligned} V_{6_kuud_torn} &= V_{\text{torn_reaalne}} * 2 * 6; \\ V_{6_kuud_torn} &= 1,54 * 2 * 6 = 18,5 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Tabeli 4.1 protsentuaalsed osakaalud tervikust leitakse valemist:

$$O_{\text{tervikust}} = (M_x / M_{\text{kokku}}) * 100\%, \quad (4.4)$$

kus: M_x - ostetud materjali tüübi kogus, m^3 ,
 M_{x_kokku} - ostetud materjali tüüpide kogus kokku, m^3 .

Torni suunduvate jääkide iga tüübi kogus ostetud materjalist leitakse tabelisse 4.1 seosest:

$$V_{\text{tüüp}_torni} = (M_x * V_{6_kuu_jäägid}) / O_{\text{kokku}}, \quad (4.5)$$

kus: M_x - ostetud materjali tüübi kogus, m^3 ,

M_{x_kokku} - ostetud materjali tüüpide kogus kokku, m^3 .

Kuue kuu jooksul ostetud materjalide summeeritud mahud ja osakaalud ettevõttes xyz on antud alljärgnevas tabelis 4.1. ja leitakse valemite 4.4. ja 4.5.

Tabel 4.1. Ostetud plaatmaterjali tooraine mahud kuupmeetrites ja osakaaludelt kuue kuu jooksul

	Ostetud materjal ruutmeetrites, m^2	Ostetud materjal kuupmeetrites, m^3	Osakaal m^3 , %	Jäägid tornis, m^3
Tähis	$M_y ; M_{y_kokku}$	$M_x ; M_{x_kokku}$	$O_x ; O_{\text{kokku}}$	$V_{\text{tüüp}_torni} ; V_{6_kuud_torn}$
Vineer	78,3	8,6	14,9	2,8
Puitkiudplaat	183,5	16,5	28,6	5,3
Puitlaastplaat	110,4	18,1	31,4	5,8
Melamineeritud puitlaastplaat	90,6	14,5	25,1	4,6
KOKKU	462,8 m^2	57,7 m^3	100%	18,5 m^3

Lisaks torni suunduvatele jääkidele tekib puitmööblitootmise kõrvalproduktina arvestatav kogus **saepuru**. Põrandalt, formaatsae kogujast ja puurpingi juurest kokku kogutud lahtise saepuru jäägid suunatakse kottidega osaliselt briketipressi. Neid tekib Tartu lähedal asuvas peamiselt plaatmaterjali käsitlevas töökojas keskmiselt viis kotti kuus. Tartus asuvas täispuitu käsitlevas töökojas tekib saepuru keskmiselt kaks sama suurt kotti kuus. Ühe koti mõõdud on: külg a = 0,35 m; külg b = 0,35 m; kõrgus h = 0,6 m.

Mõõtude põhjal on võimalik arvutada ühe saepurukoti täielik ruumala:

$$V_{\text{kott}} = a * b * h; \quad (4.6)$$

$$V_{\text{kott}} = 0,4 * 0,4 * 0,6 = 0,074 \text{ m}^3.$$

Kottides olev saepuru on tihendamata ehk puiduosakeste vahel on teatav kogus õhku. Sel põhjusel ei saa lugeda saepurukottide ruumala võrreldavaks plaatmaterjali ruumalaga. Saepuru mahu koefitsient võrreldes plaatmaterjali mahuga on 0,6 [35]. Sellest tulenevalt saab arvutada plaatmaterjali mahulise koguse kotis ilma õhuvahedeta järgmisest valemist:

$$V_{\text{kott_reaalne}} = V_{\text{kott}} * 0,6; \quad (4.7)$$

$$V_{\text{kott_reaalne}} = 0,074 * 0,6 = 0,044 \text{ m}^3.$$

Siit saab tuletada valemi, millega järeldata 6 kuu jooksul tekkivate plaatmaterjali ja täispuidu saepurude täielikud mahud:

$$V_{6_kuu_saepuru} = V_{\text{kott_reaalne}} * w * 6, \quad (4.8)$$

kus: $V_{\text{kott_reaalne}}$ - kottides oleva saepuru ruumala, m^3 ,

w - ettevõttes tekkivate saepurukottide arv kuus.

Tekkiva plaatmaterjali saepuru hulk 6 kuu jooksul:

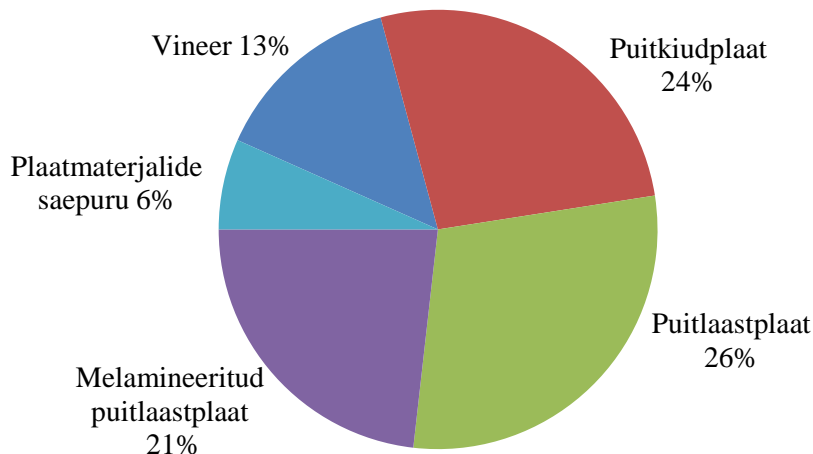
$$V_{6_kuu_saepuru_plaat} = 0,044 * 5 * 6 = 1,32 \text{ m}^3.$$

Tekkiva täispuidu saepuru hulk 6 kuu jooksul:

$$V_{6_kuu_saepuru_puit} = 0,044 * 2 * 6 = 0,53 \text{ m}^3.$$

Nende koguste alusel saab järeldada, et plaatmaterjali saepuru tekib 71% ja täispuidu saepuru 29% kogu saepuru kogusest, mis on $1,32 + 0,53 = 1,85 \text{ m}^3$.

Lähtuvalt eelnevalt kirjeldatud vaatlustest ja arvutustest, on kogu ettevõttes xyz 6 kuu jooksul tekkinud plaatmaterjalide jääkide protsentuaalne jaotus toodud joonisel 4.2.



Joonis 4.2. Ettevõttes xyz kuue kuu jooksul tekkinud jääkide protsentuaalne jaotus jäägitornis ning saepuruna

Kõik joonisel 4.2. näidatud plaatmaterjalide jäägid on juba ettevõtte xyz finantsiliste vahendite eest ostetud tooraine, mis on läinud kadusesse. Arvestades jääkide mahu kuupmeetreid ja ostuarvetel kajastatud ruutmeetritest ning materjali paksustest tulenevaid kuupmeetreid, väljendub 6 kuu plaatmaterjalide jääkide kogus tornis koos saepuruga järgmisest valemist:

$$V_{6_kuu_jäägid} = V_{6_kuud_torn} + V_{6_kuu_saepuru_plaat}; \quad (4.9)$$

$$V_{6_kuu_jäägid} = 18,5 + 1,32 = 19,8 \text{ m}^3.$$

Jääkide koguse sisseostetud plaatmaterjali kogusega jagades saab järeldada, et osakaalult $(19,8 / 57,7) * 100\% = 34,3\%$ **kogu plaatmaterjalide sisseostetud kogusest 6 kuu vältel on muutunud jääkideks**. Kui poole aasta plaatmaterjali ostuhind oli 25 804 €, siis sellest sihtotstarbeliselt kasutamata materjali on ligikaudu 8850 € väärtuses. See on ettevõtte xyz jaoks võrdlemisi suur summa, ligikaudu 3,6% käsitletava 6 kuu käibest kokku. Lisaks otsesele tooraine ruutmeetrihinnale on veel kõrvalkulud, näiteks materjali transport, jääkide kõrvaldamisega kaasnevad väljaminekud ning organisatoorsete küsimustega kaasnev inimtööaeg.

Täispuidu saepuru kogutakse ettevõttes xyz plaatmaterjalidega tootmisest eraldi ja suunatakse briketipressi (joonisel 4.3.). Saagimisel tekkiv täispuidu saepuru liigub formaatsae töölaua pealt briketipressi automatiseeritud tõmbesüsteemi kaudu. Plankude mõõtu lõikamisel jäävad järele otsad mõõtudes keskmiselt 5*40*5 cm kuni 5*50*50 cm, mis põletatakse kütte eesmärgil või suuremad korralikud tükid jäävad ootama taaskasutusvõimalusi.



Joonis 4.3. Ettevõttes xyz kasutatav briketipress.

4.2. Ettevõtte xyz jääkide kaart

Tootmisprojekti tööetapid ettevõttes xyz toimuvad järgnevalt:

1. Tellimuse kooskõlastamine ja vastuvõtmine
2. Tootmise ettevalmistamine. Materjali ostmine, tööjooniste koostamine. Konstruksiooni ja tehnoloogiliste lahenduste väljatöötamine. Jooniste meistrile edastamine, kes jaotab konkreetseid tööülesanded.
3. Materjali lõikamine. Enamasti teostatakse formaatsae peal. Erikujulised tööd CNC freespingil või käsifreesiga.
4. Vajadusel spooni/laminaadi liimimine ja pressimine. Liimimine teostatakse PVA liimiga käsitsi ja toorik suunatakse pressi alla.
5. Servakandi paigaldamine. Sirgetele pindadele servapealustusmasinaga, kaarjatele käsitsi.
6. Puurimine. Riiulikandurite ja muude kinnitusvahendite aukude tegemine mitmespindilise puurpingiga või käsitsi akutrelliga.
7. Viimistlemine. Mööbli esteetilise välimuse saavutamiseks. Kasutatakse erinevaid peitse, värve, lakke, lihvimistööriistu ning värvipüstolit.
8. Montaaž. Enamikel juhtudel ehitatakse mööbli karkass töökojas valmis. Lihtsamate detailide, näiteks riiulite, kapiuste ja sahtlite paigaldus toimub objektil. Eriti suurte toodete täielik monteerimine toimub paigaldusel.
9. Valmistootede väljastamine. Ei kuulu töökojas ladustamisele ja liigub kiirelt tellija objektile. Pakkematerjali kasutatakse toote kaitsmiseks transpordil, kuid minimaalses koguses.

Nende tööetappide alusel on koostatud ettevõtte xyz 6 kuu (juuli-detsember) jääkide kaart (joonisel 4.6.), kus on näidatud kõik plaatmaterjalide voogude kogused selle liikumise eri punktides. Kogused on leitud materjalivoo analüüsi meetodikas välja töötatud valemitele 3.1. kuni 3.11 lahendusi leides:

- Materjali lõikepikkuse ruutmeetri kohta leidmine:

Lõikelehe statistika tarkvarast Cutting Optimization Pro on esitatud joonistel Lisas 3. „The length of the cut” väljendab saetee pikkust ning „Total used area” väljendab vastava mööbli konstrueerimiseks kasutatud ruutmeetreid, mitte täielikke kasutatud plaatide pindalasid. Lõikepikkus kasutatud materjali ruutmeetri kohta leitakse tabelis 4.2. lõikepikkuse jagamisel materjali pindalaga. „All recycled waste” väljendab terviklikest mööbliplaatidest üle jäänud ruutmeetreid, mis liiguvad voodiagrammil tagasi toormaterjaliks ja väiksemad osad sellest jäägitorni. Jooniste ühikud on antud millimeetrites ja ruutmillimeetrites. Lõikelehtede statistikale vastavad joonised on esitatud Lisas 2.

Tabel 4.2. Lõikelehe statistikad ettevõtte xyz enamlevinud objektide kohta

Objekt	Lõikepikkus objekti detailide kohta, m	Kasutatud materjali pindala, m ²	Lõikepikkus kasutatud materjali ruutmeetri kohta, m
Apteegimoodul 1	25,146	6,216	4,045
Apteegimoodul 2	43,540	13,079	3,329
Apteegimoodul 3	21,398	4,481	4,775
Apteegimoodul 4	41,181	12,123	3,396
Apteegimoodul 5	52,926	15,455	3,425
Köögimööbel 1	85,656	16,673	5,137
Köögimööbel 2	86,304	19,315	4,468
Köögimööbel 3	71,041	15,670	4,532
Aritmeetiline keskmine Lp/m ² :			4,138 m

- Materjali lõikusel tekkinud saepuru kogus lähtuvalt ostetud plaatmaterjalide ruutmeetritest ja keskmisest Lp/m²:

$$V_{\text{lõikus_saepuru}} = 462,8 * 4,138 * 5 * 0,02 * 0,004 = 0,76 \text{ m}^3$$

- Servalihvimisest tekkiva lihvimistolmu kogus:

$$L_{\text{saetee}} = 462,8 * 4,138 = 1915,1 \text{ m}$$

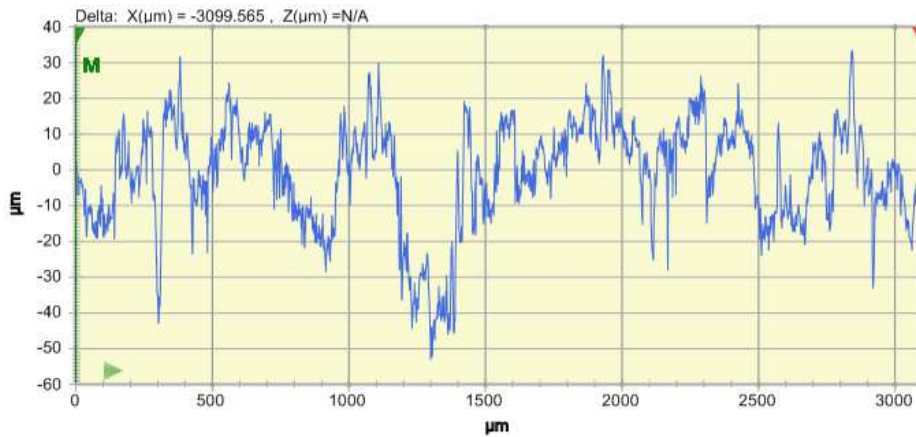
$$V_{\text{servad}} = 1,93 * 10^{-6} * 2 * 1,8 * 1915,1 = 0,013 \text{ m}^3$$

- Pinnalihvimisest tekkiva lihvimistolmu kogus:

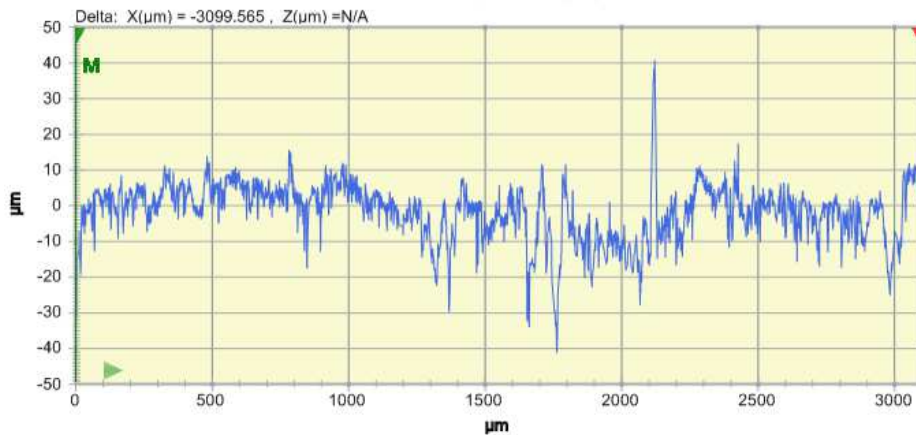
Katsetamise teel selgus, et lihvimata detaili keskmine paksus on 16,051 mm ja lihvitud detaili paksus 15,956 mm. Profilomeetriga teostatud graafikud detailide pinnakaredusest, mis iseloomustab materjali pinna ebahütlust, on toodud joonistel 4.4. ja 4.5. Graafikutele vastavad kolmemõõtmelised joonised on esitatud Lisas 4.

Mõõtudest saab järeldada, et mahalihvitava osa ehk L_{lihv} paksus on 16,051 - 15,956 = 0,10 mm ehk 0,0001 m. Mõõteviga on 15,5% ehk 0,014 mm. Usalduspiir lihvimata plaadi mõõdu puhul on 16,01...16,09 mm ehk usaldusvahemiku laius on 0,04 mm. Usalduspiir lihvitud plaadi mõõdu puhul on 15,94...15,97 mm ehk usaldusvahemiku laius on 0,01 mm. Mõõtevea ja usalduspiiride arvutuskäigud on esitatud Lisas 5.

$$V_{\text{pind_lihvtolm}} = 183,5 * 0,0001 = 0,018 \text{ m}^3$$



Joonis 4.4. Lihvimata MDF plaadi ühe telje pinnakareduse graafik.



Joonis 4.5. Lihvitud MDF plaadi ühe telje pinnakareduse graafik.

- Kogu pind- ja servalihvimisest tekkiva lihvimistolmu kogus:

$$V_{\text{lihvimine}} = 0,013 + 0,018 = 0,031 \text{ m}^3.$$

- Puurimisest tekkiva saepuru kogus:

$$V_{\text{puurimine_saepuru}} = 1,32 - 0,76 - 0,03 = 0,53 \text{ m}^3.$$

- Brikettide kogus:

Plaatmaterjalide keskmine tihedus:

$$\rho_{\text{plaat_kesk}} = 670 * 0,149 + 800 * 0,286 + 670 * (0,314 + 0,251) = 99,83 + 228,8 + 378,55 = 707 \text{ kg/m}^3.$$

Briketipressi suundunud plaatmaterjali saepuru mass:

$$m_{\text{plaat}} = 707 * (0,53 + 0,76) = 912 \text{ kg}.$$

Briketipressi suundunud täispuidu saepuru mass:

$$m_{\text{puit}} = (690 + 500) / 2 * 0,53 = 315 \text{ kg}.$$

Kogu saepuru mass, mis suundub briketipressi, arvestades 5% kadusid:

$$m_{\text{täielik}} = (912 + 315) * 0,95 = 1165,7 \text{ kg}.$$

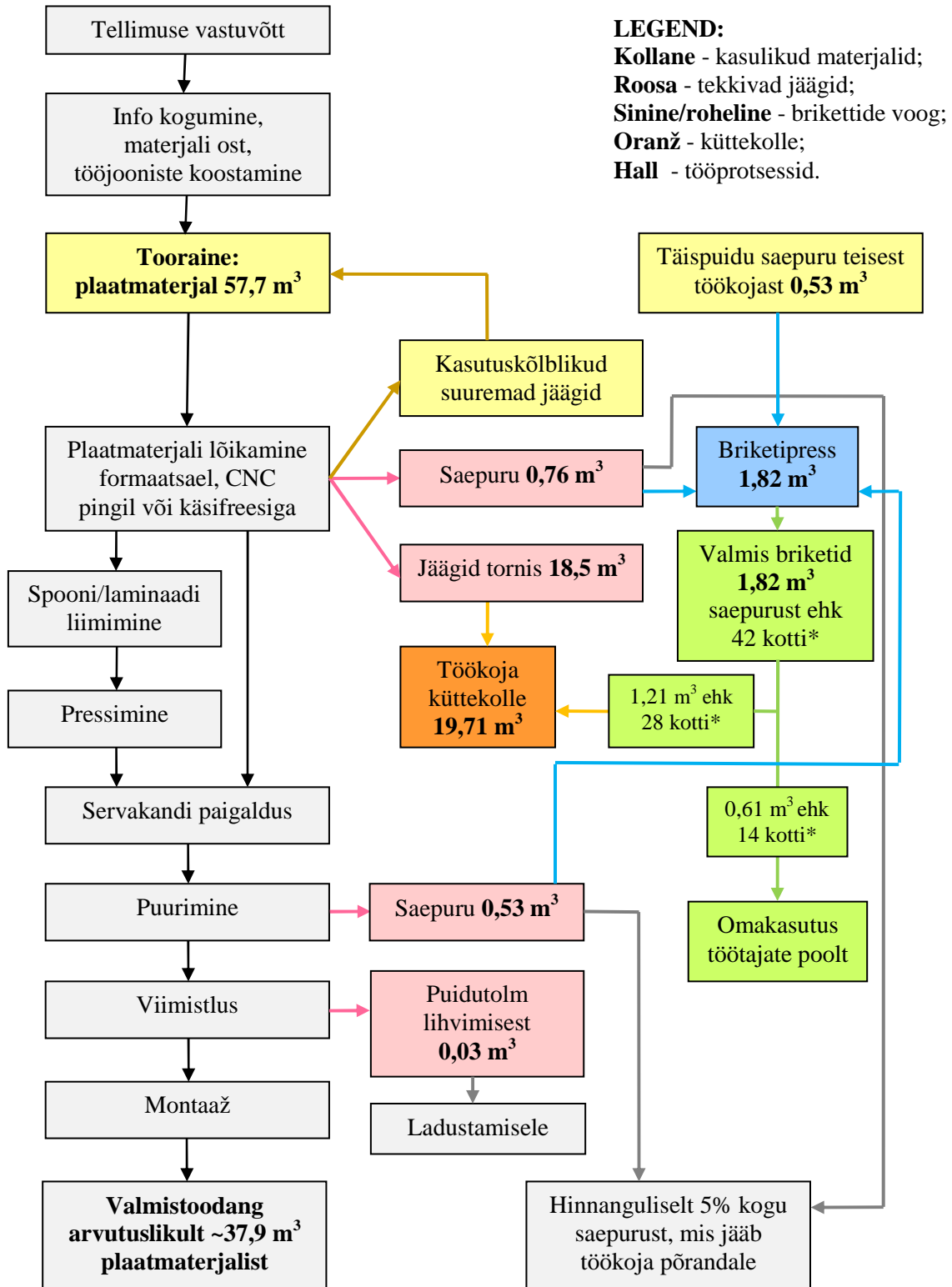
Kui briketikoti keskmine mass on 27,5 kg, siis on uuritud 6 kuu jooksul brikette tekkinud ligikaudu $1165,7 / 27,5 = 42$ kotti.

Tekkinud plaatmaterjali ja täispuidu saepuru kogustest (välja arvatud lihvimise saepuru), vastavalt $0,76 + 0,53 \text{ m}^3$ ja $0,53 \text{ m}^3$, kokku $1,82 \text{ m}^3$, saab järeldada ligikaudse brikettide jaotuse sisalduse järgi. Kui plaatmaterjali ja täispuidu saepuru suunati briketipressi vastavalt võimalustele 1:1 seguna ja nende tihedus ehk mass mahu kohta on sarnased, siis saab järeldada, et segasaepurubrikette tehti $0,53 + 0,53 = 1,06 \text{ m}^3$ saepurust ja plaatmaterjali saepurust brikette $1,82 - 1,06 = 0,76 \text{ m}^3$.

Mahtudest saab arvutada protsentuaalsed osakaalud, mis ühtivad brikettide jaotuse osakaaluga. Segasaepurubrikette tehti $(1,06 / 1,82) * 100\% = 58\%$ ehk $0,58 * 42 = 24$ kotti, seega ainult plaatmaterjali saepurust brikette $42 - 24 = 18$ kotti. 14 kotti segasaepuru suundus töötajate kodukütteks ja ülejäänud köeti töökoja küttekoldes.

- Kasutuskõlblikud suuremad jäägid

Need moodustavad täielikust ettevõtte xyz materjalivoost suhteliselt väikese osa. Põhiliselt koosneb see kogum puitlaastplaadi, puitkiudplaadi ja vineeri tükkidest, mis on piisavalt suured, et nendele veel rakendust leida, mida enamasti ka leitakse, sest jäätmetorni suunduvad vaid nii väikeste mõõtudega tükid, et sellises mõõdus mööblidetaile esineb väga harva. Melamineeritud puitlaastplaadiga on asi keerulisem. Kuna kõik melamineeritud plaadid tellitakse erineva dekooriga vastavalt kliendi soovile, siis leiavad nende väiksemad jäägid vähe kasutust. Harva juhtub, et melamineeritud plaadist valmistatavas mööblis saab kasutada varem kogunenud sama dekooriga jääke. Suuremaid tükke tekib harvem kui väikeseid, aga kui neid tekib, siis on nendest võimalik valmistada uut mööblit varem kliendi poolt kinnimakstud materjalist. Neid on uuritava 6-kuulise perioodi jooksul tekkinud 4 lõikamata plaati ning määramata hulk suuremaid, vähemalt 1 m^2 suuruseid tükke. Nende hulk on määramata, sest need on segamini uuritavast 6-kuulisest perioodist varem tekkinud tükkidega ja on uuesti toormaterjali rollis. Nende täpne kogus ei ole otseselt oluline, sest kui nendest dekooridest mööbli valmistamisel jäi järgi tükke plaadist, mitte tervet puutumata plaati, siis see tähendab, et materjalikasutus oli oludele vastavalt optimaalne. Melamineeritud plaadi puhul on tekkepõhjus küsitav vaid kolme terve plaadi järelejäämisel.



Märkus: 1 kott brikette on ~27,5 kg.

Joonis 4.6. Ettevõtte xyz sisenevate ja väljuvate plaatmaterjalide 6 kuu (juuli-detsember 2013.a) jääkide kaart

4.3. Tootmisjääkide tekkepõhjused

Nagu jooniselt 4.2. näha, siis suurima jäägikoguse moodustavad tükkidena esinevad plaatmaterjalide jäägid tornis. Jääkide kaardilt jooniselt 4.6. selgub, et torni suunduvad jäägid tekivad vaid lõikeoperatsiooni käigus. Lõikusel tekibki suurim osa ettevõtte xyz jääkidest. Väiksem osa tekib puurimisel ja veel väiksem osa viimistluses lihvimistöodel. Materjalide lõikamisel tekkivate jääkide teke on vältimatu. Seda seetõttu, et suhteliselt väike tõenäosus on leida toodet, mille väljalõigatavad detailid mahuks tootja mõõduga plaatmaterjalile koos lõikusvarudega täpselt ilma kadudeta ära. Sellist täiuslikkust on võimalik teostada vaid siis kui projekteerida tooted vastavalt plaatmaterjali mõõtudele, kuid tavaliselt lähtuvad toodete kuju ja mõõdud siiski disaineri nägemusest, reaalistest vajadustest ja ruumi võimalustest. Liigsete jääkide tekkimise põhjuseid ettevõttes xyz võib jääkide kaardi ja tööoperatsioonide jälgimise alusel käsitleda järgneva viie punkti alusel:

- **Materjalikasutuse standardi ja kontrolli puudumine**

Standardiseerimine on tegevus, mis põhineb ettevõttes koostööl ja tegevuste läbipaistvuses. Selle eesmärk on saavutada normeeritud tegevused, millega saab vähendada probleemide hulka ning tõsta tulemuste kvaliteeti. Standardiseerimise peamised eelised on: tootmiskulude vähendamine, toote optimeerimine, juhtimise parendamine ja lihtsustamine ning protsesside kiirendamine [39]. Tootmisfirmas sõltuvad kõik operatsioonid üksteisest ning kui ühes toimingus esineb defekt, siis on kogu protsess vigane. Seetõttu on oluline, et tootmisoperatsioonid toimiks sujuvalt, et vältida topelttööd ning ressursside raiskamist. Eeskirjad, uute tehnoloogiate ja tarkvarade kasutamine aitab neid probleeme lahendada. Käsitletavas ettevõttes xyz puudub toimiv tootmisjuhtimissüsteem ning selle olemasolul oleks võimalik palju organisatoorseid ning infovahetusest tingitud probleeme ära hoida ja raiskamisest tulenevaid kulutusi vähendada.

Materjalide käsitlemiseks puudub juhend ja üldmääratud tava. Materjalikasutuse kirjalik või suuline üldlevinud määratlus võiks sisaldada infot selle kohta, kuidas kasutada toormaterjale minimaalsete kadudega ja võimalikult optimaalselt.

- **Tööjõud**

Tootmisprotsesside käigus esineb aeg-ajalt vigu, mis mõjuvad negatiivselt firma omahinnale ja kasumile. Vigade hulk, mis on põhjustatud inimfaktori poolt, sõltub nii töötaja haridusest, kogemusest kui ka inimese enda suhtumisest ja orienteeritusest tulemustele. Juba tekkinud probleeme võib lahendada ettevõttesiseselt vastavate ettekirjutuste, regulatsioonide ning kontrolliga, et vältida edasisi vigu. Vigade põhjus võib peituda inimese hoolimatuses, vähestes oskustes, ületunnitöös ja väsimuses ning tööoperatsioonide mittestandardiseerituses.

Veel määrab tööjõu kvaliteeti selle hinnatase. Enamasti on kallim tööjõud kiirem, kogenum ning kvalifitseeritum. See on üks faktoritest, mis mõjutab materjalikasutuse efektiivsust ja üleüldist tulemuste kvaliteeti. Samas võivad pikalt väljakujunenud harjumused olla määravaks ettevõtte kultuurile. Materjalikasutuse efektiivsus võib olla tihedalt seotud ettevõtte kultuuriga ning töötajate teadvustatavusega materjali säästliku kasutuse vajadusest. Takistuseks võivad olla vanad harjumused, sest kontoritöötajate tehniline IT tugi tehasetöötajatele on ettevõttes eksisteerinud alates 2013. aasta juunist. Iseloomustava näitena võib tuua tehniliste jooniste olemasolu, materjalide ja muude toote osade nimistu.

- **Materjali iseloom ja kvaliteet.**

Materjale, mida mööblitootmises kasutatakse, on palju ja erinevaid. Neid võib liigitada kaheks: naturaalseks täispuiduks ja tehislise lisanditega plaatmaterjalideks. Enim kasutatakse teist varianti oma odavuse ja lihtsama käsitluse tõttu, kuid mõlema variandi puhul esineb ostetud toormaterjalis defekte ning kasutuspiiranguid.

Naturaalsete täispuidu plankude puhul näitavad materjali halba kvaliteeti pragunemised ning oksakohtade arv ning nende suurus. Samuti võib olla puit looduslike olude mõjul kahjustunud või kujult kõver [40]. Õhukestest puidukihtidest koosneva vineeri kvaliteeti hinnatakse samuti oksakohtade, värvuse ning defektide alusel, selle alusel jaotatakse vineerid ka erinevate hindadega kvaliteediklassidesse [13]. Need omadused sunnivad osa materjali juba tööoperatsioonide alguses kasutuselt kõrvaldama. Mõningate toodete puhul on aga kõverad ja oksakohtadega toormaterjalid vastuvõetavad teatud välimuse saavutamiseks. Puidu kõverust saab tulemuslikult ära kasutada kui tootesse on vaja ainult lühikesi detaile. Eelis seisneb selles, et kõverat puitu müüakse odavamalt kui sirget ja lühikesi detaile saab mõlemast ühtemoodi välja lõigata.

Naturaalse täispuidust spooni kasutamisel võib osa materjali raisku minna tema lehtede toonierinevuste tõttu, mida ei saa ühele tootele kokku sobitada. Spooni tarnitakse küll partiidena, mis on valmistatud ühest puidutüvest, kuid loodusliku materjali värvus ja süü välimus võib ka ühe puu ulatuses varieeruda.

Plaatmaterjalide puhul võivad plaadid juba tarnija transpordil kriimustada või muljuda saada. Näiteks laminaadid tarnitakse tootjani rullikeeratuna, aga kui laminaadil on tugev reljeefne struktuur ja materjal habras, siis võivad ka need pragunema hakata, mis jällegi piirab materjali maksimaalset kasutust.

Materjali efektiivsele kasutamisele avaldavad mõju ka toormaterjali mõõdud ning mustri olemasolul selle suund. Ettevõttes xyz enimkasutatava Egger tootja melamineeritud puitlaastplaadi mõõdud on 2800*2070 mm [41]. Sellises mõõdus materjalil on nii eelised kui ka puudused. Peamine eelis tulenevalt plaadi suuruselt on see, et ühele plaadile mahub mitu suurt ja väikest detaili ning paigutamise võimalusi on mitmeid. Väiksematel plaatidel oleks paigutus detailide suuruselt tõttu limiteeritud. Esimene puudus aga eeltoodud plaadi mõõtmete juures on see, et seda ei jaksa töötaja üksinda tõsta, mis nõuab lisatööjõudu ehk kellegi pooleliolevate tööoperatsioonide katkestamist, mis segab töösse keskendumist. Teine puudus ilmneb kui töötaja lõikab materjali formaatsae peal üksinda. Tekib vibreerimine, mis jätab materjali serva ebahühtlase ja see on tingitud materjali suurtest ning töölaua väiksematest mõõtudest. Seetõttu tuleb jätta esmasel suurest plaadist lõikusel detaili igast küljest lõikevaru 10-15 mm, mis muutub hiljem detaili mõõtulõikamisel jäägiks.

Mööbliplaadi mustri olemasolul tuleb materjali lõikamisel jälgida selle suunda, et kindlustada lõpliku toote esteetiline välimus. Puidusüü mustriga plaadi puhul on detailide paigutus plaadile piiratud sellega, et detaile tohib mustri suuna järgi keerata vaid 180 kraadi. Mustrita plaadil võib lõigatavaid detaile keerata 90, 180 või 270 kraadi, mis tekitab rohkem võimalusi optimaalseks materjalikasutuseks.

- **Infovahetuse kvaliteet ja kommunikatsioon**

Infovahetus ja suhtlemine on ettevõtte üks tähtsamaid eduka toimimise aluseid. Selle puudumine võib olla kõigi suurte probleemide alge. Konkreetne ja kontrollitud suhtlus

kindlustab ettevõttele edu ja sisemise heaolu. Infovahetuse täisväärtuslikuks funktsioneerimiseks on tähtis valida õige infokanal vastavalt olukordadele ja võimalustele. Väike-ettevõtetele võib tunduda, et neil ei ole reglementeeritud infovahetussüsteemi vaja, sest näost-näkku vahetu suhtlemine on lihtsam ja kiirem kui dokumenteeritud kommunikeerumine. Korralik infovahetussüsteem on vajalik ka kvaliteedi seisukohalt, mis on abivahendiks protsessi analüüsimisel ja parendamisel, samuti eesmärkide seadmisel.

Ettevõttes xyz on reglementeeritud ja hästi funktsioneeriv infovahetussüsteem välja kujundamata, mistõttu on tekkinud töös palju vigu, mida oleks olnud võimalik õige suhtlusega ära hoida. Näiteks on töötajate teadmatus pärast tulnud ette juhtumeid, mille tulemusena on tarvis töö ümber teha, mis omakorda tähendab nii toormaterjali kui ka aja raiskamist. Samuti mõjuvad ettevõttesisesed raskused kliendile pikenenud ooteaja näol, et mitte järele anda kvaliteedis.

Töötajate teadmatus ei ole nende enda viga, küll aga on töötaja poolseks veaks isetegevus ning see, et ei küsita lisainfot. Kõik taandub siiski ettevõtte juhtimisele, kus pole infovahetuse arendamisele piisavalt aega ega vahendeid pühendatud. Juhul kui organiseeritus on juhatuse arvates piisav ja endiselt tekib välditavaid vigu, siis on vea põhjuseks kas töötaja hooletus või mõni kitsaskoht, mis on jäänud juhtimisel tähelepanuta.

Ettevõttes xyz ei ole tavaks korraldada koosolekuid ega tagasiside hankimist töötajatelt, mis võiks olla suureks abiks infovahetuse korraldamisel ja toeks töötajatele. Infovahetusel on suuri raskusi ka keelebarjääri tõttu, sest enamik töötajad on vene rahvusest. Kui korralduslikus pooles valitseb teadmatus ja arusaamatus, siis häirib see tugevalt kontori ja töötajate vahelist koostööd ja vähendab ühtsustunnet. On ilmne, et ettevõttes on vaja töökorralduse osas välja arendada töötav ja säilitatav infovahetussüsteem, mis oleks kõigile ühtemoodi hästi mõistetav ja kergelt jälgitav. Kui keeleliselt ei ole võimalik täielikku ühtsust tekitada, siis tuleb leida selle loomiseks muud vahendid, näiteks rohkem pilte ja numbreid, mis sobivad tootmisesse hästi. Tulemusena vähenevad ebakõlad ja infosulud, ka väheneb töös esinevate vigade arv ja raskused on kergemini ületatavad. Lähtuvalt sellest on võimalik säästa nii materjali kui aega ja üleüldine efektiivsus tõuseb, sest jääb ära palju lisategevust vajaliku info otsimise kujul ja tekivad suuremad võimalused tööle keskenduda. Ka töötajate töö rõõm tõuseb, kui nad teavad, et nende pingutus loob ettevõttele rohkem väärtust.

- **Varude juhtimine**

Käsitletavas ettevõttes ei ole ühelgi töötajal konkreetset ülevaadet olemasolevatest materjalidest ja tootmisvahenditest. Samuti pole vahendid ega toormaterjal organiseeritud. Nendel põhjustel juhtub tihti olukorda, kus asjad lähevad kaotsi ja kui kaotsiläinud asja vajaminekul seda üles ei leita, seejärel tellitakse või ostetakse uus, mis tähendab ettevõttele välditavaid kulutusi. Plaatmaterjalide haldamisel ei ole erinevad materjalitüübid sorteeritud, seega juhtub ka täismõõdus kasutatavate plaatide kõrvalejäämist.

Olukorra näitlikustamiseks on parim variant üks keskmise suurusega apteegi mööbliprojekt, mis tehti pea täies ulatuses laost koristamise käigus juhuslikult leitud eelmise projekti plaatmaterjali jääkidest. On positiivne, et need materjalid enne uute ostmist kasutust leidsid, kuid suurt kahtlust tekitab materjalide tellimiskoguse õigsus. Konkreetse juhtumi puhul materjalide väike ületellimine ei ole probleemiks, sest kõikide apteekide mööbliprojektid tehakse ühesugusest toormaterjalist. Teisalt kõik muud, nii eritellimus- kui raamatupoodide projektid ei ole materjalidelt nii ühetüübilised ja seal

tuleks materjalide tellimist ja haldamist täpsemalt jälgida, sest ettevõtte rahalisi vahendeid kindla rakenduseta materjalina kinni hoida ei ole jätkusuutlik. Enne ühe töötaja ettevõttest lahkumist oli probleemiks ka märgatavate toormaterjali koguste omavoliline kadumine ja kasutamine isiklikeks töödeks, mitte ettevõtte kasumi eesmärgil.

Samas mõnede ülipika tarneajaga (5-8 nädalat) materjalide tellimine väikse varuga on õigustatud, et pidada kinni mööbliprojekti tähtaegadest. Seda põhjusel, et teatud projektide esialgne mööblikontseptsioon tihti muutub, seega materjalivajadus võib muutuda, või tekib töö käigus materjali raiskavaid vigu.

5. MATERJALIEFEKTIIVSUSE SAAVUTAMISE MEETMED

5.1. Tarkvara Cutting Optimization Pro

See on ingliskeelne tarkvara, mida kasutatakse virtuaalseks ühe- ja kahemõõtmeliste detailide optimaalseks paigutamiseks ristkülikukujulisele toormaterjalile. Ekraanitõmmis tarkvarast on esitatud Lisas 6. Tarkvara ühe kasutaja litsents ettevõttele maksab 75 € [42]. Peatükis 6 analüüsitakse selle tarkvara sobivust, tasuvust ja hüvesid ettevõtte xyz tootmismahutude juures.

Tarkvara sobib mööblitootmises kasutamiseks hästi, sest paigutatavad detailid saab sisestada vaid ristkülikukujulistena, mida enamik mööblidetaile on. Veel on sobivatest parameetritest võimalik määrata lõikevaru määr või saeketta paksus ja materjali mustri suund. Tarkvara annab infot ka lõikelehe statistika kohta, nimelt kasutatud materjali ja jääkide osakaalust ja lõikustee pikkusest. Valminud lõikelehte on võimalik paljudesse failiformaatidesse salvestada, muuta ja printida.

Kui tavakasutusel võtab paljude mööblidetailide mõõtude ükshaaval sisestamine suhteliselt palju aega, siis on sellele tarkvarale välja arendatud vabavaraline *plug-in*, millega saab ruumilise joonestamise tarkvarast Google Sketchup kolmemõõtmeliste jooniste andmeid ja mööblijooniste detaile mõne nupuvajutusega Cutting Optimization Pro tarkvarasse eksportida ja määratud mõõtudega mööbliplaadile tarkvaral optimeerida lasta. Tarkvara Google Sketchup kasutatakse ettevõttes xyz mööbli projekteerimiseks. Sel põhjusel on kirjeldatav optimeerimistarkvara uuritavale ettevõttele sobiv. Teadaolevalt ei ole ühelgi teisel internetist leitud optimeerimistarkvaral vastavat aega säästvat võimalust.

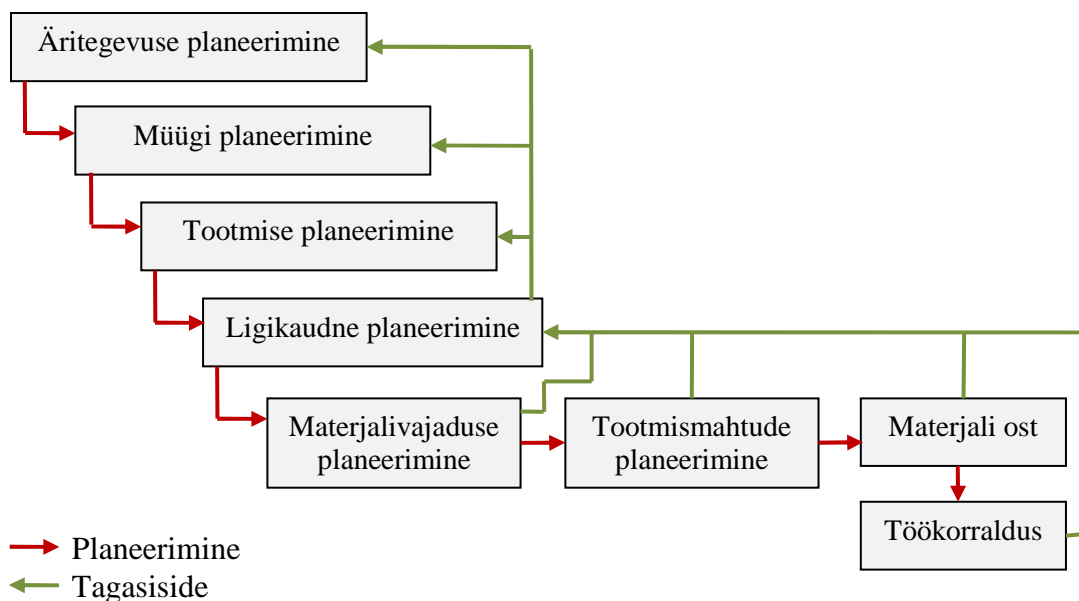
5.2. Varude juhtimine

Tootmisressursside planeerimine (MRP II)

Materjalivajaduse planeerimine (MRP I) on süsteem materjalivarude juhtimiseks, mis tähendab tooraine ja varude juhtimist kooskõlas nõudlusega lõpptoote järele. Selle ülesanne on minimeerida tootmise materjalivajadust. MRP I toimimise aluseks on tootmisplaan [6].

MRP I ei võta aga arvesse planeerimise kõiki tasemeid ning ei kindlusta tagasisidet. Edasiarendusena on loodud MRP II ehk tootmisressursside planeerimine. Selle puhul on kaetud kogu juhtimis- ja tööahel alates müügist kuni toote valmimiseni (joonisel 5.1.) [6].

Materjalivajaduse kalkuleerimine põhineb valmistoodete ajastatud tootmisplaanidel, mis on salvestatud infosüsteemidesse. Ajastatud tootmisplaaniga on võimalik infos liikuda lõpptoote valmimisajast materjalide ja muude ressursside juurde mingil kindlal ajahetkel. Arvesse võetakse ka olemasolevaid laoseisusid. Müügi- ja tootmisplaanidest ja ennustustest selgub materjalikoguste täielik brutovajadus. Materjalide netovajaduse ehk juurdetellitava koguse saab lahutades brutovajadusest laos oleva koguse. Süsteemi toimimise alustalaks on töötav lao- ja infosüsteemi, mis annab ülevaate olemasolevatest ja vajaminevatest kogustest [2].



Joonis 5.1. MRP II toimimise skeem [6]

Materjalide kooslus (BOM - Bill of materials) on komponentide, nende koguste ja tasemete nimistu, mida vajatakse, et koostada terviklik toode või teenus. See on vajalik MRP toimimiseks, et luua tootmisplaan [2].

Ladu ehk varude paiknemise koht mängib operatsioonide toimimisel olulist rolli, kuid tal on ka puudused: [2]

- Laos olevad esemed hoiavad kapitali kinni;
- Tekivad hoiustamise ja administratiivkulud;
- Esemed võivad hoidmisel saada kahjustatud;
- Esemed võivad ära kaduda;
- Lao all on pind, mida võiks kasutada lisandväärtuse tootmiseks [2].

Et ladu võimalikult korras hoida ja efektiivselt juhtida, on mõistlik kasutada vastavat tarkvara. Järgnevalt on toodud valik mõnest Eestis levinud saadaolevatest majandustarkvaradest, millel on laohalduse võimalus.

- Hansa Standard Books

See on tarkvara, mis vajab installeerimist arvutisse. Hansa laoarvestus võimaldab teada, mis kaubad on laos olemas, aga ka seda, milliseid kaupu on tellitud. Vastavalt laoseisule ja ettevõttelt tellitud toodetele saab koostada ja otse programmist saata ostutellimusi enda tarnijatele. Tarkvara võimaldab erinevatel kaubagrupidel kasutada erinevaid ladusid. Ladudel võib olla eraldi kuluarvestus. Müügi puhul laoseisu vähendamiseks võib kasutada laolähetusi, või arveid. Veel on ettevõtte xyz raamatupidaja sõnul võimalik tarkvaras teha kõiki nõuetekohaseks raamatupidamiseks vastavaid toiminguid. Tarkvara kuurent koos logistika mooduliga on 31,25 € + käibemaks 20% [43]

- Directo

Directo on brauseripõhine majandustarkvara. Selle kasutamiseks ei pea arvutisse installeerima ühtegi programmi. Kasutamiseks on vaja ainult internetilehitsejat ja internetiühendust. Turvalisuse osas on kogu side kliendi ja serveri vahel on krüpteeritud

ning toimub turvasertifikaati kasutades. Andmetest tehakse igal ööl varukoopia, mida säilitatakse 7 päeva. Kuna tarkvara on internetis, siis saab klienditugi lahendada tekkinud probleemid lihtsalt ja kiirelt interneti teel. Tarkvara funktsionaalsus hõlmab kõiki ettevõtte tööks vajalikke elementaarseid toiminguid kaasa arvatud laohaldus. Kõiki andmeid saab Microsoft Office Excel formaati suunata. Kuurent on 99 € + käibemaks 20% [44].

- Intellisoft Profit

Installeerimist vajav majandustarkvara mis sõltuvalt valitud moodulitest sobib nii väike- kui suureettevõtetele. Selles sisaldub finantsarvestus, ostu-müügiarvestuse korraldamine, laoarvestus ja tootmine, palgaarvestus ning e-kaubandus. Klienditugi nii telefoni kui e-posti teel tasuta. Tarkvara kuurent on 17,75 € + käibemaks 20% [45].

- Merit Aktiva

See on väikefirma raamatupidamisprogramm, tuleb arvutisse installeerida. Tarkvaras on põhivõimaluste all finantsarvestus, müügiarved, ostuarved, pank, kassa, projektid ja laoarvestus. Klienditugi telefoni ja e-posti teel on tasuta. Tarkvara server teeb andmetest automaatseid varukoopiaid. Dokumendid ja sissekanded on parandatavad ja muudetavad. Tarkvara kuurent on 19 € + käibemaks 20% [46].

- SimplBooks

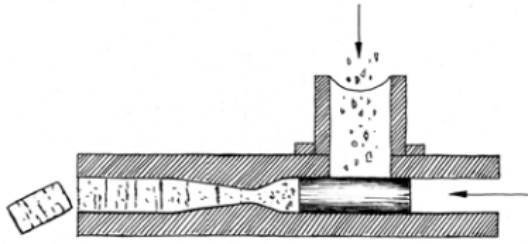
2011. aastal loodud brauseripõhine raamatupidamistarkvara, mis sobib eelkõige väikeettevõtetele ja on funktsionaalsuse poolest pidevas kiires arengus. Sisaldab kõiki raamatupidamiseks vajalikke funktsioone, lisaks laoarvestust. See lahendus ei nõua tarkvara installeerimist ega kindlat töökohta. Serverisse talletatakse regulaarselt andmetest varukoopiaid. Andmetele on võimalik ligipääs ka nutitelefonist. Tarkvara kuutasu on 9,90 € + käibemaks 20%. 1 GB serveriruumi täitumise lisandub kuumaksele 2 €. [47]

5.3. Brikettimine

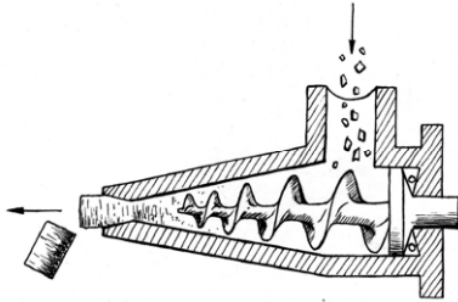
Brikettimine on tehnoloogia, millega saab suure hulga madala tihedusega saepuru homogeenseteks, kõrgema massi ja energiatihedusega ühtlase suurusega küttebrikettideks kokku pressida. Saadud brikette saab põletada, et muundada briketid soojuseks või elektriks. Brikette saab toota saepuru ja hõõvlilaastude segust kui ka mõlemast eraldi. Suur ligniinisaldus ehk tüvepuu on see, mis muudab protsessi otstarbekaks ja vähese ligniini sisaldusega toorainet ei saa ilma lisaaineteta nii edukalt briketiks pressida nagu puu [48]. Brikettimisel tõuseb materjali tihedus 5-7 korda [49]. Brikettimine koosneb tavaliselt järgmistest protsessidest: tooraine peenestamine ja kuivatamine, eelkuumutamine, tihendamine, jahutamine ja pakkimine [48].

Sideainet mitte vajavad puidujääkide brikettimise tehnoloogiad on kolbpressi ja kruvipressi kasutamine. Tooraine niiskussisaldus ei tohi ületada 12-14%. Kolbpress (joonisel 5.2.) töötab tsükliliselt. Kolvi iga käiguga surub see teatud koguse kokkupressitavat materjali läbi koonilise hülsi. Kolbpressi ajamis on alati hooratas, mis võimaldab mootori koormust ühtlustada. Kolvi kulumine kolbpressis on väike, sest suhteline liikumine tsüklite jooksul on väike. Hüls aga kulub kiirelt. Kolbpress on üks odavamatest brikettimise viisidest, seega on need suhteliselt laialt levinud. Teine levinum brikettimise seade on kruvipress (joonisel 5.3.). See on võrreldes kolbpressiga massilt kergem, sest puuduvad suuremahulised kolvid ja hoorattad. Toodang väljub konstantselt. Kruvipressiga toodetud

briketi tihedus on suurem võrreldes kolbpressiga toodetud briketist. Kruvipressi puudustena võib välja tuua suurema energiakulu ja kruvi kiire kulumise [50].



Joonis 5.2. Kolbpress [50]



Joonis 5.3. Kruvipress [50]

Biomassi brikettimise peamised eelised on:

- Brikettide ühtlane suurus ja kvaliteet;
- Säät muude kütuste kasutamisel;
- Kergelt käideldavad briketid;
- Lahendus jääkide ladustamise probleemile;
- Põletamisel puudub lenduv tuhk;
- Kõrge põlemisefektiivsus [48].

Biomassi brikettimise peamised puudused on:

- Kõrge kulu investeerimisel;
- Brikettimisseadme kõrge energiatarve;
- Mõnikord brikettide halb süttivus ja suitsemine;
- Brikettide madal niiskustaluvus [48].

Brikettimist mõjutavad faktorid:

- Temperatuur ja survetugevus. Mõlema faktori puhul annab kõrgem näitaja tugevama briketi.
- Niiskussisaldus. Kergendab materjali soojusjuhtivust. Liiga suur niiskussisaldus võib viia auru paisumiseni ja tulemuseks on lõhutud brikett.
- Materjaliosakeste suurus. Suuremate osakeste korral on vaja tugevamat survejõudu ja briketid on madalama homogeensuse ja stabiilsusega. Suurematest osakestest briketid põlevad õhuvahede tõttu kiiremini.
- Materjali tüüp. See on kõige mõjukam faktor. Materjali omadused määravad optimaalsed eelnevate faktorite määrad ja siduvuse omadused. Puit sisaldab ligniini, mis aitab saepuru osakesi omavahel briketiks kokku siduda ja hoiab briketti stabiilsena. Mida rohkem ligniini materjal sisaldab, seda parema kvaliteedi ja tugevusega brikette on võimalik sellest teha [51].

5.4. CNC programmeeritav formaatsaagpink

Automatiseerimise laienedes on arendatud välja selline saagpink (joonisel 5.4.), mis plaatide tükeldamisel töötab efektiivselt nüüdisaegse CNC tehnika abil. Pingi juhtarvuti sisaldab formaatsaagimise optimeerimisprogrammi, mis arvutab etteantava plaadi suuruse alusel optimaalse formaatsaagimise variandid. Arvutisse sisestatakse tükeldatava plaadi suurus, soovitud toorikud ja nende kogus. Masin arvutab selle alusel saagimisskeemi. Tööpingil on automaatselt töötavad lõike- ja etteandeseadmed, mis teostavad saagimise arvutatud skeemi alusel. Säärane pink on suur investeering, mistõttu selle tasuvus eeldab suurte plaadikoguste töötlemise vajadust. Pingi tööd saab efektiivsemaks muuta plaatide etteande ja vastuvõtu automatiseerimisega [52].



Joonis 5.4. CNC formaatsaag ja selle töö tulem [53]

5.5. Mittetulundusühing Balti Keskkonnafoorumi juhendmaterjal mööblitööstusele

Järgnevalt kirjeldatakse MTÜ Balti keskkonnafoorumi meetmeid, mida võiks mööblitööstuse tavapärase tootmisprotsessides rakendada [54].

Toormaterjalide käsitlemisel:

- Sissetulnud saadetiste ja kaupade kvaliteedi kontrollimine ja veendumine, et need pole transportimisel viga saanud.
- Sissetulnud kaupade täpse koguse määramine, et arvutada toodete ja tekitatud jäätmete täpne suhe.
- Tarnijaga toormaterjali omaduste ja nõuete sätestamine.
- Ladustamisel FIFO (esimesena sisse, esimesena välja) rotatsioonisüsteemi järgimine, mis aitab vältida jäätmete tekkimist kaupade aegumise või kasutuskõlbmatuks muutumise tõttu.
- Puhtuse hoidmine ja heade töömeetodite rakendamine ladustamisel;
- Õigete koguste tellimine. Ülemäärane kaupade hulk põhjustab kapitali ja pinna kinnihoidmist.

- Materjali ladustamisel sobiva niiskuse ja temperatuuri tagamine, et vältida materjali riknemist [54].

Töö käigus:

- Kui materjali töötlemine masinaga on vältimatu, siis kasutada esmajärjekorras olemasolevatest varudest vajalikule määrdule võimalikult lähedase suurusega toorikut, et tekitada minimaalsel hulgal jäätmeid, vähendada töötlemisaega ja energiakulu ning seadmete kulumist. Ehk uue materjali asemel lõikejääkide kasutamine.
- Vaid kõrgekvaliteedilise materjali kasutamine, et vältida defektide eemaldamisest tulenevate jäätmete tekitamist.
- Lõikuste optimeerimine.
- Komponentide standardsuuruseks muutmine, et vältida ebamugavate pikkuste lõikamist. Võimalusel muuta detailide, mille lõikus tekitab enim lõikejääke, suurust.
- Masinate korrapärase hoolduse läbiviimine, et vähendada rikete, lisaseadistamise ja käivitamiste tulemusena tekkivaid jäätmeid.
- Teha kindlaks parimad töömeetodid ja muuta need standardiks.
- Õhema saetera kasutamine.
- Saepuru põrandalt ja mujalt kokku kogumine, mis võimaldab selle kasutamist.
- Saepurust brikettide või komposti tegemine. Saepuru põletamine.
- Praagi registreerimine ja selle tekkepõhjuste analüüs. Töötajate teavitamine selle mõjudest omahinna tõusule.
- Võimaluse korral praaktoote ümbertöötlusse või korduskasutusse suunamine.
- Trahvid riketega toodete tootmisel [54].

5.6. Projektijuhtimine ja kommunikatsioon

Projekt on kindlaks määratud alguse ja lõpuga tegevuste kogum, mis püüdleb teatud eesmärgi poole kindlat ressurside kogumit kasutades [2].

Edukas projektijuhtimine koosneb järgnevatest osadest:

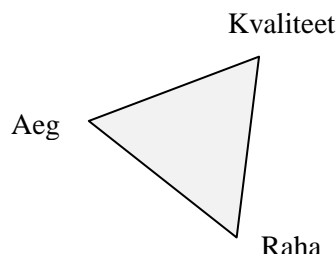
- Selgelt defineeritud eesmärgid;
- Kompetentne projektijuht, kellel on vajalikud tehnilised ja juhtimisoskused;
- Tippjuhtkonna toetus;
- Kompetentsed projektimeskonna liikmed;
- Piisav ressurside jagunemine;
- Adekvaatsed kommunikatsioonikanalid;
- Toimivad kontrollmehhanismid, mis tuvastavad hälbed;
- Tagasiside võimalused;
- Kliendikesksus, infoga kursis hoidmise võimalus;
- Vigade otsimise mehhanismid;
- Projekti asjaosaliste pädevus [2].

Projektijuhtimise etapid:

- Projektikeskkonna mõistmine, sisemiste ja väliste mõjutuste määramine;
- Projekti defineerimine, eesmärgi, ulatuse ja strateegia määramine;

- Projekti planeerimine, projekti tegevuskava otsustamine;
- Projekti tehniliste aspektide teostus;
- Projekti kontroll, kindlustamine, et projekt on teostatud vastavalt plaanile [2].

Projekti eesmärke võib kujutada kolmnurgana (joonisel 5.5.), mille igas tipus on muutujad, mille vahel tuleb leida projektijuhtimise käigus optimaalne tasakaal.



Joonis 5.5. Projekti eesmärkide saavutamise muutujad [2]

Kommunikatsioon on organisatsioonide funktsioneerimise alus. Selle protsessidel on suur roll organisatsiooni säilitamises ja arendamises. Nende protsesside õige juhtimine tähendab tööefektiivsuse parenemist, sääste ja kasumi tõusu. Organisatsiooni sisekommunikatsioon peaks identifitseerima, looma ja säilitama mõlemapoolselt kasulikud suhted organisatsiooni ja muu koosseisu vahel. Sisekommunikatsioon tuleb organisatsiooni filosoofia ja strateegia alusel välja töötada. Selle juurutamine nõuab mahukat ajalist investeeringut, seega tagasiside ja efektiivsus on olulised [55].

Sisekommunikatsiooni osaline või täielik puudumine seab tingimused järgmistele negatiivsetele mõjutustele:

- Töötajate usalduse kadumine juhatuse vastu;
- Tunnustatuse madal tase;
- Vaheldumiste kõrge tase;
- Mitteametlike kuulujuttude levik [55].

Vastavalt Rootsi psühholoog Lars Åbergile vajab efektiivne kommunikatsioonisüsteem järgnevat:

- Informatiivsed sõnumid peavad süsteemis ringlema.
- Süsteemil peavad olema andmebaasid, kust informatsiooni vajav inimene saab selle kiirelt kätte.
- Inimene, kes vajab informatsiooni, teab, kust seda leida. [56]

Et efektiivsus oleks võimalikult kõrge, peavad suhtluskanalid ja -korraldused funktsioneerima võimalikult väheste kadudega. Seda saab teha, keskendudes andmebaaside ja kanalite loomisele ja kaardistamisele [56].

Kommunikatsiooni kanalid on vahendid, mille abil saab kiirelt, täpselt ja usaldusväärselt edastada teatud sihtgruppidele infot, võimalusel saades tagasisidet. Kanalite valikul tuleb valida need kanalid, mis töötavad konkreetses organisatsioonis info edastamisel parimal võimalikul viisil. Valikul juhendatakse kuuest kriteeriumist: kanali ühe- või kahe-suunalisus ehk kas võimaldab tagasisidet, usaldusväärsus, kas kanal võimaldab luua komplekssemaid kanaleid, individuaalne lähenemine, ettevalmistuse kestus, edastamise kestus. Järgnevas tabelis 5.1. on toodud võimalikud sisekommunikatsiooni vahendid [57].

Tabel 5.1. Sisekommunikatsiooni kanalid [58]

Infokanal	Eelised	Puudused
Isiklik vestlus	Personaalne lähenemine	Juhuslik, kui on palju inimesi
Telefonivestlus	Personaalne lähenemine, võimalus suhelda kaugemalt	Juhuslik, kui on palju inimesi; pika kõnega jääb osa infot kätte saamata
E-kiri	Personaalne lähenemine, jõuab kiirelt massidesse, kulusäästlik, lihtne kasutada, hea teadlikkuse tõstmiseks või juhendamiseks	Mõnikord aeganõudev vastus ja kättesaamiskinnitus, vajalik arvutikasutuse võimalus ja oskused, ei prioritseeri sõnumeid, arutelu ei teki, võib tekkida info ülekoormus
Koosolek	Laiem infoedastus ühekorraga, grupiarutelud, tagasiside, ideede ja küsimuste jagamine, interaktiivne, suurendab ühtsustunnet	Antud grupi sisene, koosoleku edukus sõltub läbiviija oskustest, ajaline pühendumus, info ülekoormus
Üritused	Suhtlemine töökeskkonnast väljaspool, suure publiku võimalus, arutelu võimalus, suurendab ühtsustunnet	Ebaregulaarsed, aja- ning rahakulukad
Infotahvel	Kirjalik, nähtav kui on paigutatud õigesse kohta, hea juhenditeks ja infoks	Puudub tagasiside info kättesaamisest, tavaliselt puudub kindel täitja
Dokumentide edastus	Kiire, täpne ja kirjalik	Tänapäeval enamasti vajalik arvutikasutuse võimalus, oskused ja rutiin

6. ARUTELU JA JÄRELDUSED

6.1. Materjalivajaduse optimeerimine ja täpsete koguste ost

Praeguses olukorras, enne laialdaselt tarkvara kasutuselevõttu, ostetakse ettevõtte xyz materjalid ligikaudsete vajalike ruutmeetrite arvu järgi ja ruutmeetrite kogusele lisatakse ligikaudu 30% võimalike kadude katmiseks. See meetod pole kuigi täpne ja põhjustab tihti kapitali ja pinna kinnihoidmist liigse materjali poolt või tuleb ühte materjali mitu korda tellida ehk selle arvelt tõusevad transpordikulud. Pigem tuleks kaalutleda MRP põhimõtete rakendamist. Peatükis 5.1. kirjeldatud tarkvarast Cutting Optimization Pro on võimalik saada täpne optimeeritud toote materjalivajadus koos lõikelehega, kui on olemas tarkvaras Google Sketchup koostatud tööjoonis, mille alusel lõigatakse mööblidetailid välja. Seda on mõistlik kasutada siis, kui on tehtud hinnapakumine, klient on pakkumisega nõustunud ja tuleb hakata materjale tellima. See, aga eeldab mõnikord tööjoonise kohest olemasolu, mis tavaliselt tööde järjekorda jälgides ei ole võimalik, sest mõnede materjali tarneajad on väga pikad (5-8 nädalat) ja need tuleb esimesel võimalusel pärast kliendi tellimuse kinnitust ära tellida.

Esialgset hinnapakumist ei ole otstarbekas koostada täpse lõikelehe alusel, sest tööjoonise ja lõikelehe koostamine nõuab tööaega ja hinnapakumise eest keegi ettevõttele ei maksa, seega see oleks aja raiskamine. Hinnapakumise tegemisel arvestatakse materjali kogus ligikaudsete ruutmeetrite alusel, mis on üldjuhul umbes 30% varuga. Need on varud, mis on arvestatud hinna sisse, aga tegelikkuses säästetud võib hiljem täpse materjali koguse ostmisel ettevõtte kasumisse arvestada. Välditud kulud võib arvestada ka ootamatute väljaminekute katteks, mida tuleb eritellimuste täitmisel üsna tihti ette.

Teatud plaatmaterjalide puhul, mida on saadaval erinevates mõõtudes (vineer ja puitlaastplaat), võiks tarkvaras läbi mängida variandid erinevate mõõtudega materjali suurima kasuliku % ja odavama hinna leidmiseks, sest väiksema mõõduga sama materjali mööbliplaadi ruutmeetrihind on alati odavam. Tarkvaras Cutting Optimization Pro on võimalik arvestada vajalike materjalide hinda ühe mööbliplaadi tervikhinna alusel. Juhul kui mööbel koosneb enamuses väiksema suurusega detailidest, siis võib olla otstarbekam kasutada väikest toormaterjali, kui väljatulekuprotsent materjalist väga ei erine toormaterjali mõõtude puhul.

Tihti on sisekujundajate mööbliprojektidel kirjas, et kasutada vaid kindlat materjali kõigil detailidel igal küljel. See, aga oleks paljudel kordadel raiskamine. Näiteks spoonitud mööbli karkassiks ei ole otstarbekas kasutada oksakohtadeta I/II klassi vineeri, mis ei ole madalama klassi oksakohtadega vineerist sugugi vastupidavam. Samuti lamineeritud või spoonitud mööbli puhul oleks puitlaastplaadi asemel MDF kasutamine raiskamine, sest nad käituvad kaetuna sarnaselt, aga MDF on oluliselt kallim. Vineer eristub oma parema niiskuskindlusega. Sisekujundajaga muudatusi kooskõlastades on võimalik pakkuda sama välimuse ja kvaliteedi juures kliendile odavamat hinda, seega ettevõtte konkurentsivõime suureneb. Sama põhimõtte kehtib mööbli pealustusmaterjalide puhul, näiteks mööbli põhja alla ei ole mõistlik paigutada hea kvaliteediga spooni või laminaadi puhul hinnalisemat mustriga materjali, vaid selleks on tarnijal pakkuda tumepruun odavam laminaat. Kui üks pind on kaetud (näiteks põhjaplaadi pealpool), siis teist poolt ei saa katmata jätta, muidu hakkab plaatmaterjal koolduma.

On materjale, mida kulub igal nädalal ja mida võiks mööblitootja väikses koguses alati oma laos hoida, näiteks 16 mm PLP ja MDF ning 15 mm vineer. Laos võiks need olla varuks (igauhte umbes 3 plaati), et mitte tööseisakut tekitada või mõne üksiku plaadi pärast liigselt transpordile kulutada, sest töökoda asub linnast väljas. Hea põhjus materjali laos hoidmiseks on ka kiireloomulised tööd, mille korral ei ole aega oodata joonise valmimist ja alles siis materjali tellida. Sellisel juhul saaks uue materjali ootel varusid kasutada ja täpsele ostukogusele need kasutatud varud juurde lisada. Veel on põhjuseks inimtööjõud, sest aeg-ajalt juhtub lõikustel vigu ja kui materjal on ilma ühegi varuta tellitud, siis tuleks teha eraldi kiirtellimus just selle rikutud plaadi asemele.

Materjalivajaduse optimeerimise ja täpse koguste ostu järeldused:

- Juhul kui materjali tarneajad on mõistlikud, siis tellida materjal täpse optimeeritud lõikeskeemi alusel. Tootmises jälgida materjali lõikamist selle sama skeemi alusel. Kui tarneajad on ülipikad, siis üritada tellida ruutmeetrite alusel õige kogus natukese varuga.
- Tarkvaras võimalusel läbi mängida eri mõõtudes mööbliplaatide kasutus parima materjali sisseostuhinna leidmiseks.
- Kaalutleda alternatiivsete materjalide kasutamist sama tulemuse saavutamiseks väiksemate kuludega.
- Hoida enimkasutatavaid materjale kindel väike kogus oma laos varuks.

Kõiki neid järeldusi on võimalik kohe ettevõtte töös rakendada, kuid mõistlikkuse piirides, et mitte kontorisse liigset hulka tööd kuhjata. Näiteks ühe väikse kummuti tegemisel ei ole vaja läbi viia siin toodud esimest ja teist punkti. Siinkohal on veel abiks järelduste viimane punkt, mis hoiab kontoritöötajaid enamlevinud materjalide hankimisel kiirustamast. Need välja toodud 4 punkti on lihtsad ja suhteliselt väikse ajakuluga ega nõua liigseid kulutusi peale tarkvara ostuhinna. Kuna tarkvara litsents maksab 75 € ja erinevad mööbliplaadid keskmiselt 20-30 €, siis tasub tarkvara ost ennast juba 3 või 4 ostmata plaadiga ära. Keskmiseid tootmismahete hinnates, juhtub see umbes 1-2 kuu jooksul.

6.2. Protsesside optimeerimine

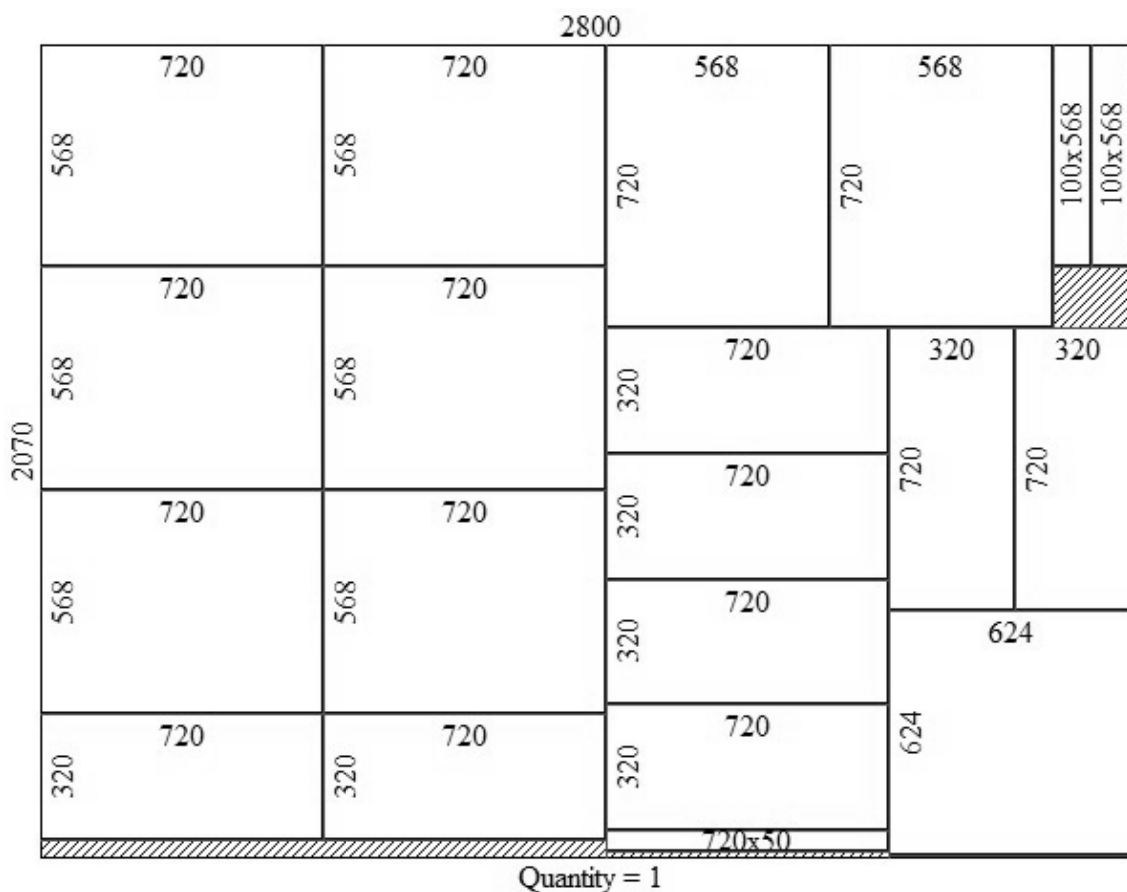
Nagu jääkide kaardilt joonisel 4.6. selgus, siis enamus jääkidest tekib materjali lõikamisel. Seetõttu on lõikamine see mööbli tootmise osa, mille optimeerimisele materjalikasutuse seisukohast tuleks enim tähelepanu pöörata. Materjali lõikamisoperatsiooni materjaliefektiivsus ei sõltu vaid konkreetsetest lõiketegevusest vaid ka tegevustest, mis toimuvad tootmises enne seda, näiteks infovahetuslikud aspektid, mis võivad olla sisekujundaja poolt välja töötatud kontseptsiooni kindlus ja konstruktiivsete jooniste korrektsus, samuti infoedastuse kiirus ja kvaliteet. Peale juhtimissüsteemi muutujate mõjutab lõikamisoperatsiooni ka tööjõu suhtumine ja kvaliteet ning masinate tehniline korrasolek, töövõime ning kaasaegsus.

Materjali lõikamine

Esiteks, võib kõrgendatud tähelepanu pöörata konkreetsele lõikusoperatsioonile, mis toimub senimaani ilma lõikeskeemideta ning see on üks põhjustest, miks on jäägikoguste arvutamisel tarkvarast saadud ideaalne lõikepikkus ruutmeetri kohta korrutatud kordajaga viis, et saada reaalsem tulemus. Kordaja kasutamise põhjusteks olid lõikelehe

mittekasutamine, lõikevaru kasutamine ning kalibreeriv lõikus ning tulemus simuleeris vaatlustega kinnitatud reaalsel olukorda.

Lõikeskeemi (näidis joonisel 6.1.) kasutamisel väheneks kordaja ühe selle kasutamise põhjuse võrra. Hinnanguliselt väheneks kordaja veidi rohkem kui kolmandiku võrra (uueks kordajaks ~3,2), sest kalibreeriv lõikus ei leia aset iga kord, kuid lõikevaru kasutatakse igal lõikusel. See tähendab, et kui uuritava 6 kuu jooksul oleks lõikeoperatsioonid teostatud etteantud skeemi järgi, oleks saepuru tekkinud $3,2 / 5 = 0,64$ korda vähem ehk senise $0,76 \text{ m}^3$ asemel $0,76 * 0,64 = 0,49 \text{ m}^3$. Lõikevaru 10-15 mm igast küljest on formaatsael lõigates keeruline vähendada, sest alla 10 mm laiuse riba lõikamine hakkab töötaja sõrmedele ohtu kujutama. Materjali lõikepikkuste vähenemisel aeglustuks ka saeketaste kulumiskiirus, mille teritamine ja ost on kulu. Lõikepikkuste lühenemine tähendaks veel üldise materjali lõikeoperatsiooni kiirenemist, seda juhul, kui lõikeskeemide kasutamine on töötajate mõtlemisse ning tegevustesse juurdunud ja see näitaja võib olla iga projekti puhul täiesti individuaalses skaalas mõõdetav.



Joonis 6.1. Lõikeskeemi näidis

Tekkiva saepuru kogusest kõige olulisem lõikeskeemi kasutamise tulemus on sääst toormaterjali kuludelt ehk jääkide kogus jäägitornis kahaneks oluliselt. Seepärast, et siis on arvuti genereerinud võimalikult säästliku lõikeskeemi. Selle kogust on arvutamise teel võimatu määrata, sest ei ole võimalik reprodutseerida seniste lõikuste detailide asetust ja võrrelda seda teoreetilise ideaalsega. Nagu eelmises alapeatükis kirjeldatud, siis lõikeskeemi tegemise tarkvara Cutting Optimization Pro tasub end juba materjali ostukoguste kalkuleerimisel ära, siis annab selle kasutamine lõikustel vaid kasu. Tarkvara katsetamisel leitud ainuke puudus on see, et pärast lõikelehe järgi materjali lõikamist ei saa

tarkvara virtuaalsesse lattu salvestada kasutatavas suuruses järelejäänud materjali osasid, et neid järgmisel korral ära kasutada. Iga uue lõikuse korral neid üle mõõta ja programmi sisestada oleks liiga suur ajakulu võrreldes saadava tuluga neid kasutades. Selle asemel võib jätta levinumatest mööbliplaatidest (PLP, MDF, vineer) mööblidetailide optimeerimisel väikesed detailid lõikelehe tegemise programmi sisestamata, sest peaaegu alati leidub laovarudes väikseid materjalide jääke, mida saab siis ära kasutada. Harvem kasutatavate materjalide puhul (näiteks erivärvilised melamineeritud plaadid) tuleks kõik detailid lõikelehele optimeerida, sest nende varusid laost leida on väga ebatõenäoline. Lisaks kõigele eelnevale tuleb arvestada inimtööajaga, mis kaasneb lõikelehtede genereerimisega. See tähendab, et lõikelehe kasutamine formaatsaagimisel peaks olema ettevõtte sisene standardiseeritud tegevus ja tasuks tarkvara hinna ning inimtööjõu ajakulu ära. Senised töötajate arvamused (suulised andmed) sellise juhendi kasutamisest saagimisel ei ole eriti positiivsed. Seda ilmselt põhjusel, et kaoks ära teatud vabadus ning „raamidesse surutus” tugevneks. Need, aga on enamuse sarnase tegevusalaga edukate ettevõtete tunnused, kus kõik on selgelt reglementeeritud, jälgitav ja kontrollitav. Töötajate arvamust võiks parandada nende koolitamine ettevõtte arengusuundade ning nende saavutamiseks vajalike tegevuste osas. Samuti tulemuste osas, mis kaasnevad ettevõtte kasvuga ja edukusega, näiteks rohkem vabu vahendeid töötajatele boonuste loomiseks.

CNC pingid

Siinkohal tuleb arvestada inimtööjõust tingitud probleeme ja eeliseid. Näiteks inimtööjõu puhul võib esineda praaki ning vigu, mis on masintööga välditavad, kuid eritellimustootmises on nende väheses koguses esinemine täiesti loomulik nähtus. Inimtööjõu eksimuste vältimiseks on tehnoloogia piisavalt arenenud. Erinevate arvprogrammjuhitavate (CNC) lõikuspinkide tootmine ja kasutamine on hakanud levima, seeläbi inimtööjõukulud langevad ja CNC pinkide kasutuselevõtmisel konkurentsivõime kasvab. Neid pinke juhitakse arvutiprogrammi abil, mis annab koodi kujul pingile vajaliku informatsiooni töö tegemiseks. Ettevõttes xyz on olemas 6 m² kolmeteljeline CNC freespink (joonisel 6.2.), mis kasutab materjali töötlemiseks ülalt freesimist. Toorik on vaakumi või rakiste abil töölauale kinnitatud ja frees liigub materjali kohal vastavalt koodis määratud suundadele ja vahemaadele X, Y ja Z teljel. Seda pinki on kiire ja lihtne kasutada erikujuliste tööde lõikamisel, mida muidu tuleks teostada tikksaega käsitsi.



Joonis 6.2. Ettevõttes xyz kasutatav 3-teljeline CNC pink

Teine levinum arvprogrammjuhitav lõikepingi tüüp mööblitööstustes on CNC formaatsaagpink, mida on kirjeldatud peatükis 5.5. See on CNC freespingist oluliselt kallim ning ei pruugi ebapiisavate tootmismahude juures ära tasuda. Puutöömasinate edasimüüja Kaur Trade OÜ suuliste andmete alusel on selliste pinkide hinnataseme alampiiriks umbes 50 000 €. Käsitletavas ettevõttes tuleb arvutada selle tasuvus järgnevalt. Kui ettevõttes on ühe kogemustega töötaja palgakulud ettevõttele ligikaudu 18 000 € aastas, siis selle inimese asendamine masinaga koos hooldustöödega tasub ära umbes 3 aastaga. See investeering tähendab, et tootmismahud peaksid jääma samaks või tõusma, kuid neid ei saa pikalt ette prognoosida, eriti tellimuspõhises tootmises, kus tegevus sõltub klientide soovidest ja enese turunduse edukusest. Sellise pingi olemasolu tähendaks ka ohtralt lisatööd kontoritöötajatele ja sellisel juhul tuleks üks tiser ümber koolitada arvutioskusega töötajaks, sest konkreetne pink täidab väidetavalt 2 inimese tootlikkuse.

CNC formaatsaepingi kasutamisel oleks inimese poolt tekitatud vead lõikustel peaaegu välistatud ja lõikamist saaks teostada täpselt etteantud lõikeskeemi alusel, siis ei ole vaja arvestada lõikamise kestust pikendavaid tegevusi nagu lõikevarude kasutamine või kalibreeriv lõikamine. Siinkohal aitab tasuvusele kaasa saeketaste kulumise oluline aeglustumine ja maksimaalne võimalik materjalikasutusprotsent, ehk jääkide kogus tornis väheneks oluliselt. Kuna CNC formaatsaagpingi tasuvus ettevõttes xyz sõltuks suures osas tootmismahude stabiilsusest, siis tuleks nende püsimine või kasv kindlustada pingi teenuse müümisega, et sellel konstantselt tööd jaguks või mõne oma tootesarja loomisega, mis lisab töömahte.

Puurimine

Jääkide kaardilt (joonisel 4.6.) saab veel näha, et materjali lõikamisest mahtudelt järgmine jääke tekitav tööoperatsioon on puurimine. Selles operatsioonil ei ole materjali kokkuhoiduga eriti palju muuta, sest detail, mida puuritakse, on juba mõeldud kindlaks mööbliosaks saada. Ainuke võimalus seal materjali raiskamiseks on inimlik eksimine ehk aukude puurimine nähtavale kohale sinna, kus neid ei tohiks olla. Sellisel juhul tuleb terve detail uuesti teha, aga seda juhtub ettevõttes xyz harva. Puurimisest tekkivat plaatmaterjali saepuru võiks vähendada väiksema arvu aukude puurimisega.

Kinnitusvahendite aukude kogust ei saa üldjuhul vähendada, et kindlustada toote tugevus. Tüübliaukude arvu määramine toimub kogemuslikult. Tüüblite tugevusarvutusi ei teostata, sest puuduvad juhendid ja standardid. Seda kinnitavad suulised andmed kolmelt sarnaselt väikse mahuga pikaajaliste kogemustega mööblitootjalt ning kirjalikud andmed Tallinna Tehnikaülikooli puidutöötlemise õppetooli juhatajalt/professoril Jaan Kersilt ning lektorilt Üllar Lugalt. Ettevõttes xyz on tavaks kuni 300 mm pikkusel serval kasutada 2 tüüblit ning pikematel servadel 3 või 4 tüüblit. See täidab kehtivate mööbli tugevust ning vastupidavust käsitlevate EVS-EN standardite esimest nõuet, milleks on minimeerida mööbli poolt tekitatud vigastuste oht inimesele. Liigse arvu tüüblite kasutamine nõrgestab materjali serva. Väiksemahulises eritellimustootmises tõstaks kinnitusvahendite tugevusarvutuste teostamine uue töötaja palkamisega toote omahinda ehk vähendaks konkurentsivõimet, sest enamus tooteid on erinevad ja protsessi ei oleks majanduslikult mõistlik teostada. Ettevõttes xyz puudub otsustusvõime kasutatavate materjali paksuste üle, sest need on enamus juhtudel disainiga määratud ja disaini keerukate aspektide lahendamine toimub kooskõlas mööblitootjaga. Tugevusarvutuste tegemine oleks majanduslikult mõistlik suurtes omatoodetega masstootmistes, kus materjali liik ja paksus ega toote lõplik kuju ei ole eelnevalt määratud.

Tüüblite tugevusnäitajate hindamiseks löikepurunemisele võib kasutada analoogina masinaelementide kursusest tuntud neetide tugevusarvutuse valemit löikele, kus ühelöikelisele needile lubatav jõud F_1 :

$$F_1 = [(\pi * d^2) / 4] * \tau_1, \quad (6.1)$$

kus: d - needi läbimõõt (mm),
 τ_1 - tinglik lubatud löikepinge (N/mm²).

Sisestades valemisse 6.1. tüübli läbimõõdu millimeetrites ja puidu löikepinge väärtuse $\tau_1 = 13,9$ N/mm² [3], saab ühte tüüblit purustava jõu väärtuseks:

$$F_1 = [(3,14 * 8^2) / 4] * 13,9 = 698 \text{ N.}$$

Seega võib üks tüübel kanda kuni 69,8 kg massi, nelja tüübli kasutamisel 279,2 kg. Selle põhjal saab järeldada, et 4 tüübli kasutamine on tavalise köögikapi koormuse puhul piisav.

Plaatmaterjali purunemistugevuse hindamiseks tüübli augu piirkonnas saab kasutada SolidWorks tarkvara lõplike elementide arvutuse ja praktiliste mõõtmiste kombinatsiooni, mida saab vajadusel kasutada ka edaspidi.

Töö käigus teostati näitlikult ühe tavapäraste mõõtudega köögi seinakapi modelleerimine tarkvaras SolidWorks. Simulatsioon teostati reaalsusest selle erinevusega, et mudeli detailide kinnituseks kasutati vaid tüübleid (joonised lisas 7). Reaalses mööblis kasutatakse lisaks kruve või muid metallist kinnitusvahendeid. Simulatsioonijoonistelt lisas 7 saab näha, et kapi detailide materjalides tekkivad pinged on lubatavatega võrreldes väikesed ja probleeme mööbli tugevusega ei tohiks olla.

Furnituuri auke (uksehinged ja sahtlisiinid) ei saa vähendada ega väiksemaks muuta, sest augud peavad olema vastavuses saadavaloleva furnituuri kinnitusvõimalustega. Üks võimalus puurimisest tuleneva saepuru vähendamiseks on teha riiulikandurite auke vähem. Seni on tehtud riiulikandurite augud vastavalt ettevõtte xyz tavale kapi seina kõrguse täies ulatuses 32 mm sammuga (joonisel 6.3). Seega näiteks standardmõõdus köögikapi (720 mm kõrge) ühe riiuli jaoks tuleb auke 72 tk, mida on väga palju, arvestades et riiuli kandmiseks on üheaegselt vaja 4 auku.

Riiulikandurite auke saaks piirata, tehes auke mitte terve kapi külje ulatuses vaid näiteks üks auk keskele, sealt üks auk alla- ja ülespoole ning veidi eemale üles ja alla veel kaks auku. Ligikaudset aukude asetust saaks kasutada apteegimoodulitel. Sellise valemiga, kaks rida auke kummaski küljes, tuleks kokku 28 auku. See tähendab $(28 / 72) * 100\% = 39\%$ vähem saepuru kanduriaukude puurimisest. Võib oletada, et kogu puurimisest tekkinud saepuru 0,53 m³ jaguneb võrdselt kolmeks: kinnitusvahendite, riiulikandurite ja furnituuri aukude saepuru. Seega ligikaudse saepuru koguse, mis oleks praeguse koguse asemel tekkinud, kui oleks seda jälgitud, saab leida järgmiselt: $0,53 - (0,53 / 3 * 0,39) = 0,46 \text{ m}^3$. Kanduriaukude tegemisel tuleb lisaks arvestada kliendi või sisekujundaja soove funktsionaalsuse osas. Tavaolukorras, aga on tõenäoliselt vähe inimesi, kes soovivad köögikapi riiuli asetada nii, et selle ja kapi lae vahele jääks umbes 50 mm ruumi. Lisaeeliseks pikeneb vähem kanduriauke tehes puuride kasutusaeg, ehk neid tuleb harvem välja vahetada ning kogu tööoperatsioon kiireneb.



Joonis 6.3. Riiulikandurite augud

Kommunikatsioon

Protsesside materjaliefektiivsust mõjutab suurel määral informatsioon, mille alusel konkreetselt plaatmaterjale puudutavad tööoperatsioonid toimuvad, näiteks tööjoonised, objekti mõõdistused, info kasutatavate materjalide ja mööbli funktsioonide kohta või projekti tähtajad. Seda nii, et kui õige info ei liigu õigeks ajaks õigesse kohta, siis võib tekkida vigu, mis võib tähendada ümbertegemist ehk materjali raiskamist. See omakorda tähendab tornis olevate jääkide koguse kasvu. Ümbertegemisega kaasneb ka töötundide raiskamine, mis on ettevõttele otsene välditav lisakulu. Näitena võib tuua ühe suure raamatuketi poe veetorude ümber planeeritud mööbliplaadist erikujulise posti. Nende veetorude mõõt oli võetud enne nende muutmist, millest keegi ettevõtet xyz ei teavitanud, seega post sai valmistatud vanade mõõtude järgi ja tuli algusest uuesti teha. Teise näitena võib välja tuua ühe kodumööbli projekti, kus tuli minimaalse ajaga sisustada kolm ruumi (üks köök, kaks magamistuba) kliendi valitud stiilis ilma sisekujundaja projektita. Esiteks tekitas seal palju vigu projekti peaaegu et ebareaalne tähtaeg ja teiseks takistas materjalisäästlikku käitumist kliendi otsustusvõimetus lõpplahenduse suhtes ehk muudatused kujunduses, näiteks värvilahendused. Info liikumist ettevõttes xyz määravad hetkel suures osas kaks kontoris töötajat, kellel on ligipääs arvutile, mille kaudu enamus informatsiooni liigub. See aga teeb töötajate elu mõnikord keeruliseks, kui juhtub et kumbagi kontoritöötajat ei ole kohapeal. Samuti on mõnikord probleeme info õigeaegse jõudmisega tellijalt ettevõtte xyz, kui töö teostajani.

Liiga palju infot liigub suusõnaliselt, sest enamasti projekti valmistamiseks vajalik info ei jõua ettevõteteni ühekorruga vaid peaaegu iga projekti puhul juhtub, et peale algkontseptsiooni kinnitamist muudab klient või sisekujundaja näiteks värvitooni, materjali või muud kujundust. See, aga tekitab segadust, kui projekti aspektid tihti muutuvad ja ei ole dokumenteeritud. Lisaks süvendab see tööga kiirustamist, mis on ettevõttes suurim vigade tekkimise põhjus. See tähendab, et ettevõtte kõigil liikmetel peaks olema kiirem ja parem ülevaade muutusi puudutavast informatsioonist. Selleks tuleks välja arendada süsteem, mis on kõigile üheselt mõistetav. Nii keeleliselt kui sisult, sest pooled ettevõtte töötajatest ei räägi ega mõista piisaval tasemel eesti keelt.

Läbi tuleks kaaluda peatükis tabelis 5.1. pakutud infokanalite eelised ja puudused ning leida ettevõttele xyz sobiv(ad) või modifitseerida mõnd endale sobival viisil. Praegu peamised kasutatavad infokanalid ettevõtte sisekommunikatsioonis on isiklik suhtlus, telefonivestlus ja paberkujul joonised. Esimese kahe nimetatu miinuseks on see, et edastatav info ei pruugi info vastuvõtjale meelde jääda. Joonised on küll hästi dokumenteeritud, kuid muutuste korral on mingi osa joonisest vastuolus sellega, mida ja kuidas teostama peab ja see tekitab probleeme. Ent keeruline oleks ette kujutada mööblitootmist ilma joonisteta. See tähendab, et keegi tiseritest tuleks koolitada arvutioskajaks, sest arvutis on kogu informatsioon dokumenteeritud, alati kättesaadav ja ei kao lihtsalt ära, mis mõnikord paberil joonistega juhtub. Ettevõtte xyz kontoris on olemas üks lauaarvuti, millel ei ole hetkel kasutusotstarvet. Seda saaks hästi kasutusele võtta töötajate arvutina, kus oleks kogu olemasolev info dubleeritud ja uus info kättesaadav. Selleks tuleb töötaja(te)le luua e-posti aadress ja neid seda kasutama õpetada, mis ei tohiks olla ülemäära keeruline ning aeganõudev. Arvutikasutajaks võiks olla näiteks töökoja meister, kes oskab suhelda ka vene keeles, seega info jõudmise võimalused kõigile oleks olemas.

Lisaks e-postile on tabelis infokanalid koosolek ja üritused. Koosolek on materjaliefektiivsuse põhimõtteid juurutades kindlasti vajalik, et teadvustada töötajaid toimuvast ja selle vajalikkusest. Kui kõik on selgelt lahti seletatud, saab muudatustega seoses ära hoida palju probleemseid küsimusi. Samas on võimalik arutelude ja tagasiside teke, mis aitab juhtimissüsteeme ilmnenu puuduste osas parendada. Seni ei ole ettevõttes xyz tavaks regulaarseid koosolekuid korraldada, kuid see jätab mõned töötajad üleüldisest olukorrast infosulgu. Liigne infosulg võib tekitada eelarvamusi ning vähendada ühtekuuluvustunnet, mis on ettevõtte tegevusele negatiivsed nähtused. Seepärast tuleks korraldada koosolekud kakskeelselt, nii eesti kui venekeelsele kuulajaskonnale. Ühisüritused ei ole ettevõttes eriti levinud, ettevõtte poolt korraldatakse jõulupidu ning tähistatakse töötajate sünnipäevaid. Need ei ole infoleviku seisukohalt kuigi efektiivsed vahendid, aga suurendavad ühtsustunnet ja tagasisidestatud arutelude teke on sarnaselt koosolekutele võimalik.

Tabelis 5.1. on järgmiste kanalitena välja toodud infotahvel ja dokumentide edastus. Dokumentide edastus töötab ettevõttes paberikujul jooniste tasandil (näited Lisas 2) koos tükitabeliga, kuid nagu üle-eelmises peatükis kirjeldatud, siis tuleks need ja kõik muu info teha kättesaadavaks arvutist, kus toimuks kiire ja dokumenteeritud info liikumine. Infotahvli otstarbekus ettevõttes on küsitav, sest seda on üritatud kasutada, kuid kuna see asub kontoris, siis töötajad seda ei näe ja tahvel kaotab oma funktsiooni. Infotahvel tuleks viia tootmisruumi ning määrata töötajate seast sellele kindel täitja. Tahvlit võiks kasutada tööde prioritseerimise järjekorrale koos tähtaegadega, et see oleks alati nähtav. Teise võimalusena võib tahvlit kasutada vajaminevate töövahendite nimekirjana, sest ettevõttes xyz puudub konkreetne inimene kes tegeleks ladude haldamisega ning otsa lõppevate vahendite hankimisega. Seega laohaldustoiminguid ettevõttes ei ole ja vahendeid hangivad kontoritöötajad või harvem meister, vastavalt kellel selleks parajasti vaba aega on.

Kui info liikumine toimib hästi, siis paraneb kontroll ja tervikliku tootmisprotsessi läbipaistvus, see tähendab, et vigu ja nende juurpõhjuseid on lihtsam avastada ja lahendada. Kokkuvõttes pareneb üldine juhtimissüsteemi kvaliteet, mille üks olulisemaid toimimise alustalasi on info jõudmine vajalike inimesteni õigel ajal. Seeläbi kasvab võimalus ettevõtte tootmistegevustel toimida nii, et projekti kvaliteet, aja- ja

rahakulu oleksid optimaalses suhtes ehk minimaalse aja, ressurssidega ja segadusega on võimalik saavutada parim kvaliteet.

Protsesside optimeerimise järeldused:

- Lõikeskeemi kasutamine mööblidetailide lõikusel suurest plaadist. Enimkasutatavate plaatide väiksed detailid võiks jätta tarkvarasse sisestamata, et saaks laost kasutada väiksemõdulisi jääke.
- Melamineeritud plaadi lõikelehe koostamisel sisestada kõik detailid, sest sama kujundusega plaati laost leida on ebatõenäoline.
- Töötajate teadvustamine materjaliefektiivse käitumise vajadusest ja tagajärgedest.
- CNC formaatsae ostmiseks ja äratasumiseks on vaja tootmismahтусid ühtlustada või tõsta. Seda võib teha oma tooteseeriade väljatöötamisega või selle pingi teenuse müügi planeerimisega
- Puurimisel teha vähem riulikanduri auke, vastavalt vajadusele.
- Telefonivestluste teel edastatud info dubleerida e-posti teel kirjalikult, et kindlustada info kättesaamine.
- Vähemalt üks tiseritest (näiteks meister) tuleks koolitada arvutit kasutama jooniste lugemise ja printimise osas.
- Koosolekute korraldamine töötajate teadvustamiseks kõigest toimuvast, tagasisidestatud arutelude ja ettepanekute teke.
- Infotahvli kasutamine tööde järjekorra ja tähtaegade esitamiseks või vajalike töövahendite nimekirja koostamiseks.

Lisaks arutelu tulemusel arendatud järeldustele võiks soovitusena protsesside optimeerimiseks kasutada peatükis 5.5. toodud MTÜ Balti Keskkonnafoorumi meetmeid, mis on liigitatud kui: „töö käigus”. Kõiki eeltoodud järeldusi ja soovitusi on võimalik ettevõttes koheselt rakendada. Välja arvatud CNC formaatsae ost.

6.3. Materjalikadude vältimine, jääkide vähendamine

Erinevad protsesside optimeerimise meetodid, mida on kirjeldatud eelmises peatükis töötavad kõik selle heaks, et materjalikadusid oleks vähem ja samadest sisenditest saaks rohkem kasulikku väljundit. Lisaks kirjeldatud protsessidele, mis konkreetselt mõjutavad materjali maksimaalset efektiivset kasutamist, mõjutab materjalikadusid olemasoleva ja järelejäänud kasutuskõlbliku toormaterjali hoiustamine. Näiteks ettevõttes xyz on iseenesestmõistetav, et mööbliplaat, mis on mõeldud siseruumide mööbli valmistamiseks, ei tohi hoiustada liigeses kuumuses/külmas või niiskuses, sest siis kaotab ta oma tugevuse või hakkab iseenesest lagunema. Samuti käideldakse materjali hoolikalt, et mitte tekitada defekte. Varude haldamise aspekt, mis ettevõttes nii selge pole, on nende hoiustamise süstematiseeritus ja ülevaatlikkus. Nagu peatüki 4.3. viimases punktis kirjeldatud, siis tuleb ettevõttes xyz ette materjalide kadumist põhjusel, et materjalid pole sorteeritud ega korrastatud. Selle vältimiseks tuleks luua süsteem, mis annab ülevaate olemasolevatest materjalidest ja kõik on kergelt leitav, seega miski ei lähe kaduma ja ei toimu ületellimist ehk olemasolevate (kadunud) materjalide asemele uute tellimist. Samuti ei teki tööseisakuid materjali puudumise tõttu, sest kui on olemas ülevaade laoseisust, siis on, mille alusel tellida mõni enimkasutatav mööbliplaat varuks.

Kontoritöötajatel peaks olema täpne dokumenteeritud ülevaade olemasolevatest ja materjalikogustest, et uute tellimiskogused oleks õiged. Selleks sobib hästi mõne majandustarkvara kasutamine, millel on ladude moodul. Tarkvarasse tuleks sisestada kõik materjalide sisse- ja väljaliikumised, et saada ülevaade reaalsest olemasolevatest ja vajaminevatest kogustest, süsteem tuleks hoida kooskõlas reaalsusega. Võimalik on ka uue inimese värbamise vajalikkus või ühele olemasolevale töötajale anda osalise töötajana lao haldamise kohustus. See inimene peaks olema usaldusväärne ja tuleks tarkvara kasutuses välja koolitada ja jälgida, et kõik laoliikumised oleks täpsed, muidu pole süsteem otstarbekas. Lisaks plaatmaterjalide koguse haldamisele on ettevõttes vaja hallata furnituure ja viimistlusvahendeid, seega tarkvara peab võimaldama erinevate ladude loomist ja automaatse inventuuri tegemist. Käesoleva töö autor valis välja ja katsetas mõnda majandustarkvara (kirjeldatud peatükis 5.2.), millel on lao moodul. Funktsioonid nagu klienditugi ja andmete varundamine ja lihtsamad raamatupidamistoimingud on kõigil olemas. Muude võimaluste sobivus selgus katsetamise teel.

Hansa Standard Books osutus suhteliselt arenenud ja võimalusterikkaks programmiks, kus saaks ettevõtte raamatupidaja teha paralleelselt ka oma toimingud. Sama ettevõtte andmetele on võimalik programmi installeerimisel mitmest arvutist ligi pääseda. Aja jooksul aga ilmnisid mõned probleemid. Esiteks, ei ole võimalik ühtegi laoliikumist muuta. Neid on võimalik vaid kustutada ja algusest peale uuesti luua, mis on suhteliselt tülikas, kui mõni arve on koguste poolest muutunud või sisestamisel on tekkinud näpuviga. Teiseks suureks probleemiks oli klienditoe adekvaatsus. See ilmnes siis, kui programm tegi iseenesliku uuenduse ja enam tööle ei läinud. Serveri haldaja ega klienditugi ei osanud veateate peale midagi öelda ja klienditugi pakkus vaid kaugteel läbi arvuti konsultatsiooni, mille 10 minuti hind oleks 30 eurot. Sellega ka programmi testperiood lõppes. Lisaks üks negatiivne programmi külg oli see, et palju vajalikke funktsioone tuli eraldi sisse lülitada, mida alguses mitte kusagil ei teavitanud. Lisaks vajalikele funktsioonidele tekkis palju ebavajalikke nuppe, mis tegi pildi liiga kirjuks ja vähendas töö kiirust.

Directo on erinevalt Hansa Standard Booksist brauseripõhine tarkvara. Katsetamisel ei tulnud ette ühtegi probleemi ja kõik vajalikud tegevused olid lihtsalt teostatavad ja leitavad. Kasutamist lihtsustab see, et tarkvara disainile ei ole pööratud liigset rõhku. Directo eeliseks on see, et temale saab ligi igast arvutist, kus on internetibrauser. Puuduseks on tema kõrgem hind võrreldes teiste uuritud tarkvaradega.

Intellisoft Profit tarkvara on võrreldes kahe eelnevaga kõige lihtsam ja kasutajasõbralikum koos kõigi vajalike funktsioonidega. Puuduseks on tal see, et tarkvarale ja kogu andmetele on lihtne ligipääs vaid ühest arvutist. Kui soovida nende andmetele teisest arvutist ligi pääseda, siis tuleb serveriga teostada mõned keerulisemad toimingud. Kuid kuna ettevõtte xyz veebilehe server asub Tallinnas ja ettevõtte ise Tartu lähedal, siis oleks tülikas seda lahendada.

Merit Aktiva tarkvara katsetamine tehti seepärast, et ettevõtte raamatupidaja kasutab seda raamatupidamistoiminguteks, seega oleks tal mugav juba töökoja inimeste poolt sisestatud andmeid kasutada. Tarkvara aga osutus sobimatuks, sest erinevate mööblimaterjalide tootekoodid ja nimed on väga pikad ja tarkvaras ei ole võimalik sisestada koodi üle kaheksa tähemärgi. Ka klienditugi ei osanud probleemile lahendust pakkuda. Veel on tarkvaral tooteartiklite arvu piirang, mis mööblitootmisse ei sobi, sest mööbli valmistamisel kasutatakse suures variatsioonis erinevaid tooteid. Need puudused ei võimaldaks ettevõttel seda tarkvara oma vajadusteks kasutada.

SimplBooks on sarnaselt Directole brauseripõhine tarkvara. Seda on võimalik kasutada ka nutitelefonis, mis on ettevõtte xyz kontoritöötajatele sobilik võimalus töökohast eemal olles laos olemasoleva kohta infot saada. Sellel tarkvaral on olemas kõik vajalikud funktsioonid ja ühtegi eelmainitud programmides esinevat piirangut ei leitud. Lisaks on ta proovitud tarkvaradest soodsaim.

Esmaste tarkvarade katsetuse alusel ostutuks valituks SimplBooks oma mobiilsuse ja lihtsuse poolest. Valituks sobiks ka Directo, kuid SimplBooks on sellest kümme korda soodsama kuutasuga. Kuna andmeid saab kirjeldatud tarkvaradest (välja arvatud Hansa Standard Booksist) Exceli failina eksportida, siis saab vajadusel andmeid ühest tarkvarast teise liigutada. Kui raamatupidaja kasutab Merit Aktivat ja ettevõtte teist programmi, siis on see asendamatu tööd kiirendav ja lihtsustav funktsioon.

Lisaks laoliikumiste dokumenteerimisele tuleks paralleelselt arvutisse laoliikumiste sisestamise ajal laos olevad plaatmaterjalid korralikult ära sorteerida ja erinevad materjali tüübid eraldi aladele paigutada. Seda põhjusel, et lõpuks kõik oleks reaalsuses sama kergelt leitav kui tarkvaras. Kõiki väikeseid materjali osi ei ole mõtet tarkvarasse sisestada. Sisestada võiks osi suuruses alates kolmandik plaadi mõödust. See, et väiksemad tükid jäävad sisestamata, ei tähenda, et nad jäävad kasutamata.

Peale laoliikumiste dokumenteerimise ja sorteerimise tuleks arvestust pidada selle üle, kui palju on konkreetse projekti teostamisele materjale ja vahendeid kulunud. Seda on võimalik teha laoarvestusega samas kohas, SimplBooksi tarkvaras. Sama arvestusega on võimalik kulunud materjalid laost arvega väljastada. Reaalselt kulunud materjalide kogust tuleks võrrelda hinnapakumise mahtudega ja tellitud materjali kogustega. Pikaajaliselt nende numbrite erinevust jälgides on võimalik endale välja töötada veel üks võimalus tellitavate materjalikoguste optimeerimiseks ja hinnapakumiste täpsemaks koostamiseks.

Materjalikadude vältimise ja jääkide vähendamise järeldused:

- Tuleks luua süsteem, mis annab ülevaate olemasolevatest materjalidest, seega ei kao midagi ära ja ei toimu topelttellimist.
- Koostada juhendid vastavalt materjalide liikumisele ja käitlemisele.
- Uute materjalide tellimine olemasolevate koguste põhjal vastavalt MRP põhimõtetele.
- SimplBooks tarkvara kasutuselevõtt ja inimese määramine, kes dokumenteerib sinna kõik laoliikumised.
- Laos olevate materjalide sorteerimine ja korrastamine liigiti.
- Võrrelda projekti teostamiseks kulunud reaalse materjali kogust, hinnapakumist ja tellitud kogust, et ühtlustada vooge.

Lisaks arutelu tulemusel arendatud järeldustele võiks soovitusena materjalikadude vältimiseks kasutada neid peatükis 5.5. toodud MTÜ Balti Keskkonnafoorumi meetmeid:

- Sissetulnud kaupade kvaliteedikontroll ja veendumine, et need on täielikult kasutatavad.
- FIFO rotatsioonisüsteemi jälgimine. See tähendab, et kaubad mis saabuvad esimesena lattu, väljuvad sealt ka esimesena.
- Puhtuse hoidmine ja heade töömeetodite rakendamine hoiustamisel.
- Laoruumi sobiva niiskuse ja temperatuuri jälgimine, et vältida materjali kahjustumist.

Kõiki eeltoodud järeldusi ja soovitusi on võimalik ettevõttes xyz kohe rakendada. Rakendamiseks on vajalik töötajate teadvustamine ja koolitamine.

6.4. Tootmisjääkide taaskasutus ja tootedisain

Kuue kuu pikkuse uurimisperioodi jääkide kokkuarvutamisel selgus, et 34,3% kogu plaatmaterjalide sisseostetud kogusest on muutunud jäätmeteks, mida ei ole võimalik enam sihtotstarbeliselt ehk mööbli valmistamiseks kasutada. Kui hakata rakendama 6.1-6.3 peatükkides toodud materjaliefektiivsuse põhimõtteid, siis jäätmete osakaal toormaterjalist kindlasti langeb. Kui suures ulatuses, seda ei saa täpselt prognoosida, sest kõik mööbliprojektid ja töömahud on tellimuspõhises tootmises aja jooksul varieeruvad. Masstootmises annaks ennustavate arvutuste teostamine täpsema tulemuse.

Materjaliefektiivsuse põhimõtted küll langetavad jäätmete osakaalu, kuid mingi osa jääb vältimatute operatsioonide tulemusena neid siiski alles ja neile tuleb leida edasine otstarve. Hetkel kasutatakse torni kogunenud plaatmaterjalide jääke talvel tootmishoone kütmiseks ja plaatmaterjali saepurust valmistatakse koos kogunenud täispuidu saepuruga kohapeal brikette. Madalama kvaliteediga brikette kasutatakse samuti töökoja kütmiseks. Nende jäätmete kogus on sobiv varustamiseks töökoja küttekollet ühe kütteperioodi vältel.

Plaatmaterjalid, aga sisaldavad puiduosakeste sidumiseks teatud koguses formaldehüüdi põhiseid mürgiseid sideaineid, seega võib küsitav olla nende jäätmete põletamise legaalsus. On katsetatud erinevate plaatmaterjali tüüpide põletamist ning mõõdetud nende emissioone. Tulemused on näha tabelis 1.1. Katsetatud plaatmaterjalide omadused (tihedus ja niiskussisaldus) ei ole identsed ettevõttes xyz kasutatavate materjalide omadustega (tabelis 3.1.), kuid materjalid on sarnased.

Hetkel kehtiv Välisõhu kaitse seadus (vastu võetud 05.05.2004) reguleerib tegevust, millega kaasneb välisõhu keemiline või füüsikaline mõjutamine. Heidete summaarsed piirkogused on kättesaadavad Keskkonnaministeeriumi kodulehelt ning teadaolevate plaatmaterjalide heidete katselised määrad on toodud tabelis 1.1. Piirmäärad (esitatud tabelis 6.1.) on fikseeritud välisõhu tingimustes 293 kelvinit ja 1 atm rõhu juures [59].

Tabel 6.1. Emissioonide piirmäärad keemilistele ainetele Välisõhu kaitse seaduses

Keemiline aine	SO ₂	NO _x	CO	HCl
Piirmäär, mg/m ³	0,35	0,2	0,01	0,2

Nende näitajate alusel ei saa plaatmaterjalide põletamise emissioonide piiridesse mahtumust määrata, sest põletamiskatsete tulemusel saadud emissioonide ning piirmäärade ühikud ei ole võrreldavad, sest plaatmaterjalide põletamiskatsed on teostatud suletud keskkonnas välistingimustest erineva hapniku kontsentratsiooni juures. Samuti võib muuta võrreldavust põletuskollete, korstna kõrguse, niiskuse ja täieliku või mittetäieliku põlemise erinevus. Seega tuleks emissioonid mööblitootmise kohapeal mõõta ja seejärel hinnata nende vastavust seadusele ning nende põhjal määrata saasteloa taotlemise vajadus. Seda toetab aspekt, et töökojast 300 meetri kaugusel asub kohaliku aleviku lasteaiad ja ettevõtte xyz tootmishoone naaberkrundil park, kus lapsed mängimas käivad ning suurema kütteperioodi ajal on lasteaiad poolt käidud kurtmas õhus tuntavat „keemia haisu”.

Kuna mööblitootmise plaatmaterjalides on tihti massi järgi 6% termoreaktiivplaste [3], siis ei ole nende põletamine loomupäraselt nii keskkonnasäästlik, kui on naturaalsete loodusmaterjalide põletamine, näiteks küttepuude. Seega tuleks kasutada kütmiseks pigem looduslike kuivi küttepuid.

Kui oletada, et materjaliefektiivsuse põhimõtete edukal rakendamisel väheneb praeguse küttematerjali maht poole võrra, siis tuleb ettevõttel osta piisav hulk küttepuid, mis kataks kütmise vajadused. Kui küttekoldesse suundunud jääkide maht oli uuritud perioodil 19,71 m³, siis tuleks katta 9,86 m³ plaatmaterjali põletamise kütteväärtus. Küttepuude vajaliku koguse saab määrata plaatmaterjali ja loodusliku küttepuu kütteväärtuse erinevusega.

Torni jääkide summaarse kütteväärtuse saab määrata torni jääkide ja erinevate plaatmaterjalide kütteväärtuste (tabelis 1.1.) ja osakaalude (tabelis 4.1.) alusel valemis 6.1.

$$K_{\text{torn}} = K_{\text{PLP}} * O_{\text{PLP+melamiin}} + K_{\text{puitkiudplaat}} * O_{\text{puitkiudplaat}} + K_{\text{vineer}} * O_{\text{vineer}}; \quad (6.1.)$$

kus: K_{torn} - jäägitorni summaarne kütteväärtus, kcal/kg;

O_x - nimetatud plaatmaterjali protsentuaalne osakaal kogu plaatmaterjalidest;

K_x - nimetatud plaatmaterjali kütteväärtus, kcal/kg.

$$K_{\text{torn}} = 4175 * 0,565 + 4589 * 0,286 + 3675 * 0,149 = 4219 \text{ kcal/kg.}$$

Kuna on teada töös varem avutatud torni jääkide keskmine tihedus 707 kg/m³, saab leida põletatavate jääkide massi ja selle alusel vajaliku soojusenergia vajaduse. Massi saab leida järgmiselt: 707 * 9,86 = 6971 kg. Vastav soojusenergia vajadus on 4219 * 6971 = 29410649 kcal ehk 34,2 MWh, ehk see on pool ettevõtte xyz aastasest soojusenergia vajadusest.

Järgnevalt tuleb arvutada sama soojusenergia vajaduse täitmiseks vajalik küttepuude ruumimeetrite arv. Erametsakeskuse brošüüri „Puitkütus” andmetel on puiduliigi lepp keskmine kütteväärtus 1,23 MWh/rm [60], seega tuleks osta: 34,2 / 1,23 = 28 rm küttepuid. Kui ettevõtte xyz aastane soojusenergiavajadus täielikult küttepuudega katta, siis oleks küttepuid vaja 56 rm. Kuivade lepuude hind 2013. aasta neljandas kvartalis olid 44,14 €/rm, seega poole aasta küttepuud maksaks ettevõtte xyz 44,14 * 28 = 1235,92 € ja aastaks vajalikud küttepuud 2471,84 €.

Kui ettevõtte xyz heidete mõõtmise ja lubatuga võrdlemisel ilmneb, et saasteained ei jää legaalsesse piiridesse, siis võib Välisõhu kaitse seaduse alusel juriidilist isikut karistada kuni 2000 € rahatrahviga. Sellisel juhul tuleks tahtleda saasteluba või kütta looduslike küttepuudega ja seni torni suundunud jäägid viia kogumispunkti. Nende jäätmete Tartu Karimek OÜ kogumispunkti viimine maksaks nende kodulehe andmetel 69,90 €/tonn [61]. Kui torni jääke tekib aastas 18,5 * 707 = 13,1 tonni, siis nende likvideerimise hind oleks 13,1 * 69,90 = 916 €. Koos ettevõtte poolse transpordiga ligikaudu 1000 € aastas.

Brikettimine

Ettevõttel xyz on olemas töötav kolbpressi tüüpi briketipress (joonisel 4.3.), kuid põhjusel, et täispuiduga mööbliprojektide töömahud ei ole piisavad ja plaatmaterjalide saepuru ei ole ilma lisanditeta brikettimiseks eriti sobiv, siis ei tööta see nii palju aega kui võiks, see tähendab kasutamata ressursi. Seepärast võiks masina käitamiseks täispuidu saepuru sisse osta, sellele vähesel määral plaatmaterjali saepuru segada ja väljundina brikette müüa. Sellisele protsessile tuleks leida tasuvus.

Ettevõtte briketipressi kohta puuduvad kirjalikud andmed võimsuse ja muude tehniliste näitajate osas. Vaatluste alusel on briketipressi tootlikkus maksimaalsel võimsusel 5 briketikotti (üks kott = ~27,5 kg) tunnis ehk briketipressi tootlikkuseks võib arvestada $5 * 27,5 = 137,5$ kg/h.

2013. aasta neljandas kvartalis teostatud Sihtasutus Erametsakeskuse uuringu andmetel oli puidu saepuru hind keskmiselt 8,71 € puistekuupmeetri (pm^3) kohta ja puitbriketi müügihind 169,04 €/t [62].

100 pm^3 saepuru ostmisel tuleb maht teisendada õhuvahedeta ruumalaks koefitsiendiga 0,6, seega brikette saab valmistada $100 * 0,6 = 60$ m^3 tihumeetrist. Sellele lisanduks pärast materjaliefektiivsuse rakendamist peatükis 6.2. kalkuleeritud saepuru kogused: materjali lõikamisest 0,49 m^3 ja puurimisest 0,46 m^3 . Ehk kokku saaks brikette teha ligikaudu 61 m^3 segasaepurust. Ettevõtte senised praktikad on näidanud, et plaatmaterjali saepuru väike hulk ei avalda brikettide kvaliteedile mõju kui see on täispuidu saepuruga ühtlaselt segatud.

Erametsakeskuse andmetes ei olnud esitatud, millise puiduliigi või puidusegu saepuru hind see on, seega võib keskmiseks saepuru tiheduseks võtta ühe lehtpuu ja ühe okaspuu keskmise tiheduse tabelist 3.1. Selleks on $(690 + 500) / 2 = 595$ kg/m^3 . Saepuru tihedusest saab järeldada, et brikette on ostetud 100 pm^3 saepurust võimalik valmistada $61 * 595 = 36\,295$ kg. Kui arvestada tootlikkust, siis sellise koguse brikettide tootmine võtaks $36295 / 137,5 = 264$ töötundi. Kui ühes kuus on keskmiselt 160 töötundi, siis saaks arvestatud töömaht koos seisakute ja hooldustöödega täidetud kahe kuuga.

Saab järeldada, et kui 100 pm^3 saepuru ostuhind on $8,71 * 100 = 871$ € ja samast kogusest saepurust saadud puitbrikettide müügihind on $169,04 * 36,295 = 6135,3$ €, siis kasum oleks 5264,3 €. Kasumist tuleks lahutada masina tõcks vajalik elektrikulu, mida ei ole võimalik arvutada masina puudulike andmete tõttu. Hooldus- ning tööjõukulused ei lisandu, sest briketipressi käitamist teostavad olemasolevad töötajad ja selle maksumus on arvestatud juba üldistesse ettevõtte xyz tööjõukuludesse.

Ülaltoodud arvutustest lähtuvalt saab järeldada, et ettevõtte xyz maksimaalne võimekus on ühe aasta jooksul osta ja brikettideks teha 600 m^3 täispuidu saepuru ja sellele briketile lisada võrreldes täispuidu saepuruga väike kogus plaatmaterjali saepuru. Seda juhul kui briketimasina töös ei esine pikaajalisemaid tõrkeid, kui on jõudlusesse arvestatud. Terviklik protsess annaks ettevõttele xyz likvideerida kasumlikult oma plaatmaterjalide saepuru.

Tootedisain

Mis puudutab keskkonnasäästlikku mööblit, siis säästev mõtteviis algab juba disainist. Tooted, mis projekteeritakse vajama vähem materjale ja muid tootmissisendeid ja mida saab lihtsalt uuesti kasutada või ümber töödelda, on loomupäraselt säästvad. Tellimuspõhises tootmises on seda projekteerimispõhimõtet keeruline jälgida, sest mööbliprojekt peab valminuna vastama tellimustingimustele ja sisekujundaja visioonile. Nagu on peatükis 6.1. kirjeldatud, võib nähtamatutel mööbliosadel kasutada alternatiivseid säästlikumaid materjale.

Lisaks tellimustootmisele võib ettevõttes mõelda oma tootesarjale jääkidest. See tähendab, et kõik tooted, mis valmistatakse, ei vaja lisamaterjali tellimist, vaid saab kasutada

suuremaid ja väiksemaid seismajäänud mööbliplaatide tükke. CNC freespink on selliste toodete tootmiseks laialdaste võimalustega vahend. Põhjusel, et selle käitamine nõuab minimaalset inimtööaega ja võimalik on tööpink rohkem aega tööd tegevana hoida. Oma tootedisaini üks puudus on see, et disainitegevus nõuab inimtööaega. Töö kiirendamise inspiratsiooniks ja ideede kogumiseks võib kasutada internetti või teemakohaseid raamatuid. Võib ka kaasata tootedisaini professionaale, kelle teenus ei ole üldjuhul tasuta. Teise võimalusena võib kaasata haridusasutuste inimesi, kellele jäätmetest tootedisain oleks kui praktikaülesanne. Tootearendusel võib arvestada lisaks plaatmaterjalidele täispuidu plankude otsajuppide kasutamisega, sest täispuiduga tegelevas tootmise osas ei leia need seal kasutust ja on samuti jäätmed. Kokkuvõtteks, tootedisaini tegevus oleks mõeldav vaid siis, kui muude olulisemate tööülesannete kõrvalt jääb piisavalt aega üle. Teine probleem omatoodete disainiga on see, et nendele tuleb ostjad leida. See probleem võib esialgu kõrvale jääda, sest tootearenduse käigus on nende toodete omahind väike. Iga toote esimese eksemplari võib näiteks ettevõtte kodulehele ja mujale internetikeskkondadesse müüki lisada. Ja alles siis kui toode osutub klientide poolt nõutuks, võib neid juurde toota. Mõned tooted jäätmetest on CNC pingil juba valmistatud, lisaks mõned modelleeritud toodete ideed (joonistel 6.4-6.6).

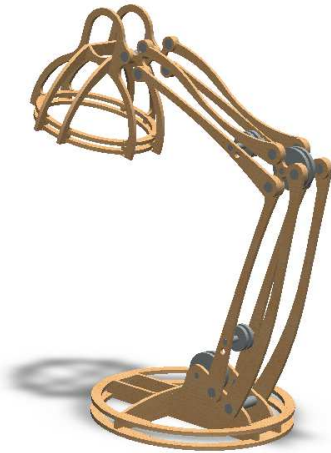
Lisaks CNC pingil valmistatavatele toodetele võib järelejäänud melamineeritud plaate kasutada uue mööbli valmistamisel, sest on väike tõenäosus, et sama muustriga plaadi kasutus lähiaja tellimuses on. Neid mööbleid võib kasutada omatarbeks töökojas või töötajate kodudes või müüa neid soodsalt vajajatele. Sellise tegevuse põhieesmärk oleks materjalist sihtotstarbeliselt vabaneda ilma, et oleks vaja tegeleda jääkide kõrvaldamise probleemiga. Juhul kui ettevõtte xyz päevakorda tekib realistlik plaan oma tootesarju välja arendama hakata, siis tuleks seal silmas pidada just neid kitsaskohti, mis tellimustootmisel mõnikord vajaka jäävad. Näiteks disain taaskasutatud materjalidest, lai funktsionaalsus, pikk eluiga ja modulaarsus.



Joonis 6.4. Plaatmaterjali jäägist riidepuu



Joonis 6.5. Vineerist liblikas



Joonis 6.6. Laualambi mudel

Tootmisjääkide taaskasutuse ja tootedisaini järeldused:

- Mõõta ettevõtte xyz jääkide põletamise saasteainete kogused ning määrata saasteloa taotlemise või alternatiivsete küttematerjalide kasutamise vajadus.
- Plaatmaterjali saepuru käitlemiseks osta täispuidu saepuru, seda brikettida koos vähese koguse plaatmaterjali saepuruga ja brikette müüa.
- Ettevõtte xyz oma tootesarja väljaarendamine jääkidest. Tootearendusel võimalusel kasutada professionaale.
- Järele jäänud melamineeritud plaatidest uue mööbli valmistamine vastavalt nõudlusele.

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös uuriti ühe Eesti puitmööblit tootva ettevõtte plaatmaterjalide käitlemise efektiivsust, mis moodustavad tootmissisenditest suurima kulu. Töö käigus täideti kõik viis teises peatükis püstitatud uurimisülesannet. Lõputöö on jaotatud kuueks põhiosaks.

Esmalt defineeriti materjaliefektiivsuse, mille põhieesmärk on säästev materjalikasutus ja seeläbi säästmise tootmisettevõtte kuludelt, mõiste ulatus. Lisaks anti ülevaade teiste ettevõtete senistest teadaolevatest materjaliefektiivsuse tavadest, mis on kooskõlas käesoleva töö kuuendas peatükis välja töötatud lahendustega suurendamiseks ettevõtte xyz materjaliefektiivset käitumist plaatmaterjalidega. Veel kirjeldati tootmismeetodite erinevust, millel on oma omaduste tõttu mõju materjaliefektiivsusele.

Teises peatükis püstitati uurimisülesanded, mida on vajalikud lahendada, et teha kindlaks olemasoleva olukorra puudused ja nende alusel välja töötada puuduste eemaldamiseks või vähendamiseks sobivad meetmed ja lahendused.

Kolmandas peatükis anti ülevaade käsitletavast ettevõttest xyz ja selle iseärasustest. Kirjeldati töö eesmärkide saavutamiseks vajalikke meetodid ning nende läbiviimise toiminguid, mis on vajalikud tootmise sisendite ja väljundite kaardistamiseks. Materjalivoo analüüsi eesmärkidest lähtuvalt määrati valim ja töötati välja valemid voogude võimalikult täpsete koguste hindamiseks. Tugimetoodikatena kasutati vaatlusi, suulisi arutelusid ja dokumentide ülevaatus, mis on vajalikud jääkide kaardistamiseks vajalike algandmete kogumiseks.

Neljandas, tulemuste peatükis viidi läbi materjalivoo analüüs. Anti ülevaade meetodikate alusel kogutud ja leitud sisenevate ja väljuvate materjalivoogude kogustest. Võimalikult täpsed voogude kogused leiti järgides materjalivoo analüüsi põhjal väljatöötatud valemeid lahendades. Leitud kogused paigutati ettevõtte töö kulgu kirjeldavale jääkide kaardile. Järeldati, et 34,3% kogu plaatmaterjalide sisseostetud kogusest 6 kuu vältel on muutunud jääkideks. Eelnenud tulemustest oli võimalik leida olulisemad jääke tekitavad protsessid ja tööoperatsioonid. Nendeks osutusid lõikeoperatsioon, materjalikasutuse juhendi ja kontrolli puudumine, tööjõu kvaliteet, materjalide iseärasused, kommunikatsiooniprobleemid ja varude tulemusliku juhtimise puudus. Analüüsiti nende jäägitekitajate iseloomu ja olulisemaid nõrku kohti.

Viiendas peatükis pakuti välja ettevõttele xyz sobivad materjaliefektiivse käitumise suurendamise ja saavutamise meetmed, mis selgusid ettevõtte töö vaatluse ja jääkide tekke põhjuste alusel ja need toetuvad kirjandusallikates läbiproovitudetele. Meetmed valiti ettevõtte xyz suurust, tootmise iseloomu ja omadusi arvestades. Peatükis kirjeldati meetmete tehnoloogilisi ning üldaspekte.

Kuuendas ehk viimases, arutelu ja järelduste peatükis kaalutleti viiendas peatükis kirjeldatud meetmete ning muude ettevõtte töö muudatuste rakendamise eeliseid ja puudusi, tasuvust ning võimalikke tegevuskavasid olukorra parendamiseks. Materjaliefektiivsuse põhimõtete rakendamise soovitude ja lahenduste väljatöötamisel arvestati ettevõtte xyz eritellimustootmise iseärasustega. Võrreldes erinevate (rahaliste, ajaliste) ressursside kättesaadavust ja kulutamist tagasisaadava tuluga. Selgus, et kõik

viendas peatükis välja pakutud meetmed on ettevõttes xyz varem või hiljem, iseseisvalt või täiendavate meetmetega juurutatavad. Ilmnes ka, et enamus meetmete rakendamisel on vajalik töötajate koolitamine või tööjuhendite koostamine. Kuuenda peatüki arutelu on jaotatud neljaks alapeatükiks, mis kirjeldavad materjaliefektiivse tootmise põhimõtteid materjalivajaduse ja protsesside optimeerimise, materjalikadude vältimise, jääkide vähendamise, taaskasutuse ja tootedisaini seisukohtadest. Iga alapeatüki lõpus on järelused, mis on ühtlasi lahendused ja soovitusel ettevõttele xyz materjaliefektiivsuse rakendamiseks.

Mõnede lihtsamate lahenduste juurutamist on ettevõttes xyz käesoleva kirjutamise ajaks juba alustatud ja esialgsed tulemused õigustavad töö lihtsustumisel panustatavat pingutust ning vahendeid. Edasine materjaliefektiivsuse rakendamine tuleb tõsisemalt käsile võtta ja tõenäoliselt ilmnevad soovitud tulemused. Ebaõnnestumise või mõne olulise muutuse korral tuleb lahendused vastavalt uuele olukorrale kohandada. Käesoleva lõputöö mõned järelused võivad olla rakendatavad ka teistes väga sarnastes ettevõtetes ning materjaliefektiivsuse põhimõtetele on tänapäevases konkurentsirikkas turumajanduses ja üha keskkonnateadlikumas maailmas perspektiivi laiemalt levida.

KIRJANDUSE LOETELU

1. Säästva Eesti Instituut, SEI Tallinn. Säästva arengu sõnaseletusi. [WWW] Kättesaadav: www.seit.ee/sass/?ID=1 (10.03.2014)
2. Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. Operations Management. Sixth edition. Harlow, England: Pearson Education, 2010
3. United States Department of Agriculture Forest Service. Wood Handbook - wood as an engineering material. Centennial edition. Madison, Wisconsin, United States of America: Forest Products Laboratory, 2010
4. Terminibaas ESTERM. [WWW] mt.legaltext.ee/esterm/concept.asp?conceptID=15965&term=j%EF%BF%BDtmd+ja+j%EF%BF%BDgid (18.02.2014)
5. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiiv 2008/98/EÜ (Kehtiv, vastu võetud: 19.11.2008). Euroopa Liidu Teataja. [WWW] eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:ET:PDF (23.02.2014)
6. Logiproff. Varude ja tarneahelate juhtimine: materjalivarude- ja voogude juhtimine. [WWW] www.logiproff.ee/popFile.php?id=61 (29.03.2014)
7. Talve, S., Pöld, E. Olelusringi hindamine. Pärnu: Kaks & Pool, 2005.
8. Söderholm, P., Tilton, J.E. Material efficiency: An economic perspective. – *Resources, Conservation and Recycling*. 2012, 61, 75-82. [Online] ScienceDirect (30.12.2013)
9. Lilja, R. From waste prevention to promotion of material efficiency: change of discourse in the waste policy of Finland. – *Journal of Cleaner Production*. 2009, 17, 129-136. [Online] ScienceDirect (30.12.2013)
10. Allwood, J.M., Ashby, M.F., Gutowski, T.G., Worrell, E. Material efficiency: A white paper. – *Resources, Conservation and Recycling*. 2011, 55, 362-381. [Online] ScienceDirect (30.12.2013)
11. Rashid, S.H.A. An investigation into the material efficiency practices of UK manufacturers. PhD Thesis, 2009. Cranfield University. [WWW] https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/4477/1/Salwa_Hanim_Abdul_Rashid_thesis_2009.pdf (30.12.2013)
12. Eesti Arengufond. Edasi! - Raport Riigikogule 2010/2011. [WWW] www.arengufond.ee/upload/Editor/Publikatsioonid/arengufond-raport-riigikogule-2011.pdf (5.01.2014)
13. Puumarket AS. Vineer. Kvaliteedi tingimused ja liigitus. [WWW] www.puumarket.ee/static/files/285.info_vineer.pdf (24.01.2014)
14. Uysal, B. Bonding strength and dimensional stability of laminated veneer lumber manufactured by using different adhesives after the steam test. – *International Journal of Adhesion & Adhesives*. 2005, 25, 395-403. [Online] ScienceDirect (24.01.2013)
15. Fanleib, A., Grigoryeva, O. Recent Developments in Polymer Recycling. India: Transworld Research Network, 2011. [WWW] issuu.com/researchsignpost/docs/fainleib (27.01.2014)
16. Roffael, E., Athanassiadou, E., Mantanis, G. Recycling of particle- and fibreboards using the extruder technique. [WWW] www.academia.edu/167909/Recycling_of_particle_and_fibre_boards_using_the_extruder_technique (27.01.2014)
17. Machineseeker. Marketplace for machines. [WWW] www.machineseeker.com/2-112-118.html (12.04.2014)
18. Tatàno, F., Barbadoro, L., Mangani, G., Pretelli, S., Tombari, L., Mangani, F. Furniture wood wastes: Experimental property characterisation and burning tests. – *Waste Management*. 2009, 29, 2656-2665. [Online] ScienceDirect (27.01.2014)

19. European Commission. Enterprise and Industry. The furniture industry sector. [WWW] ec.europa.eu/enterprise/sectors/furniture/index_en.htm (21.01.2014)
20. Euroopa Majandus- ja Sotsiaalkomitee. Euroopa konkurentsivõimelisema puidutöötlemis- ja mööblitööstuse võimalused ja väljakutsed. 2011. 12 lk. [WWW] eescopinions.eesc.europa.eu/viewdoc.aspx?doc=ces/ccmi/ccmi088/et/ces1598-2011_ac_et.doc (21.01.2014)
21. BFM (British Furniture Manufacturers) Ltd. Wood waste recycling in furniture manufacturing – a good practice guide. Banbury: The Waste and Resources Action Programme, 2003. [WWW] www2.wrap.org.uk/downloads/CompleteFurn.2c038bda.320.pdf (21.01.2014)
22. Daian, G., Ozarska, B. Wood waste management practices and strategies to increase sustainability standards in the Australian wooden furniture manufacturing sector. – *Journal of Cleaner Production*. 2009, 17, 1594-1602. [Online] ScienceDirect (21.01.2014)
23. Riigimetsa Majandamise Keskus. RMK arengukava 2011-2014. [WWW] www.rmk.ee/organisatsioon/trukised/arengukavad (25.01.2014)
24. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. Puidutöötlemine. [WWW] www.mkm.ee/public/Puidutoostus_2011.pdf majakom minist puidutööstus_2011 (21.01.2014)
25. Sihtasutus Tartu Ärinõuandla. Tartu maakonna sektorianalüüs. 2011. 9 lk. [WWW] www.tartu.ee/arinouandla/File/Tartumaa%20sektoranaluis.pdf (25.01.2014)
26. Eesti Mööblitootjate Liit. Mööblitööstuse klatri strateegia 2011-2015. Tallinn, 2011. 38 lk. [WWW] www.estonianfurniture.ee/wp-content/uploads/2013/11/klatri_arengukava_O5.pdf (25.01.2014)
27. Eamets, R., Meriküll, J., Ukrainski, K. Eesti puidusektori tööjõuvajaduse prognoos aastateks 2005-2015. Lõppraport. Tartu, 2005. 63 lk. [WWW] www.hm.ee/index.php?popup=download&id=3998 (25.01.2014)
28. Tiits, M., Balti Uuringute Instituut. Eesti metsa- ja puidutööstuse sektoriuuring 2012. Uuringu lõpparuanne. Tartu, 2013. [WWW] www.eas.ee/images/doc/sihtasutusest/uuringud/ettevotlus/Eesti_metsa_ja_puidutooste_sektoruuring_2012.pdf (25.01.2014)
29. Zuyderduyn, J. Make-to-order vs make-to-stock: implications for your ERP system. 2011. [WWW] www.softwreshortlist.com/erp/articles/erp-applications/make-to-order-vs-make-to-stock-implications-for-your-erp-system/ (04.05.2014)
30. Payne, B. Custom Manufacturing vs Mass Production. 2013. [WWW] www.vista-industrial.com/blog/custom-manufacturing-vs-mass-production/ (04.05.2014)
31. Probex OÜ. [WWW] www.probex.ee/products_est.html (15.02.2014)
32. Puit. [WWW] https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/2._Puit.pdf (15.02.2014)
33. Brunner, H.B., Rechberger, H. Practical handbook of material flow analysis. United States of America: CRC Press, 2004.
34. Kofman, P.D. Firewood. [WWW] www.woodenergy.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/firewood.pdf (02.03.2014)
35. Sims, R. The brilliance of bioenergy: In business and practice. London, United Kingdom: Earthscan Publications Ltd., 2002.
36. Puitplaadid. Plaatide mõõtmete määramine. Osa 1: Paksuse, laiuse ja pikkuse määramine: EVS EN 324-1:2002. Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2002.
37. Marshall, C., Rossmann, G.B. Designing qualitative research. Fifth edition. United States of America: SAGE Publications, 2011.

38. De Rus, G. Introduction to cost-benefit analysis: looking for reasonable shortcuts. United Kingdom: Edward Elgar Publishing Limited, 2010.
39. Federation of Wood Industries in Spain. Advantages of standardization. [WWW] www.feim.org/en/standard-advantages (10.03.2014)
40. Sultson, S. Kvaliteetne saematerjal algab täpsest valikust ja ladustamisest – *Äripäev, Oma Maja*, 2009, 2. märts.
41. Egger: melamine-faced boards. [WWW] www.egger.com/EX_en/products/?N=4294966746&changeloc=1 (11.03.2014)
42. Cutting Optimization Pro. [WWW] cutting-optimization.optimalprograms.com/ (22.03.2014)
43. Standard Books. [WWW] excellent.ee/standard-books-tutvustus.html (22.03.2014)
44. Äritarkvara Directo. [WWW] www.directo.ee/?1=1 (22.03.2014)
45. Intellisoft majandustarkvara Profit. [WWW] intellisoft.ee/profit/ (22.03.2014)
46. Merit Aktiva tarkvara. [WWW] www.merit.ee/aktiva.html (22.03.2014)
47. SimplBooks. [WWW] <https://www.simplbooks.ee/> (22.03.2014)
48. Maninder, Kathuria, R.S., Grover, S. Using agricultural residues as a biomass briquetting: an alternative source of energy. – *Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 2012, 1(5), 11-16. [WWW] www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/vol1-issue5/C0151115.pdf (22.03.2014)
49. Brandt, H. Densification of biomass. 1989. [WWW] www.nzdl.org/gsdmod?e=d-00000-00---off-0fnl2.2--00-0----0-10-0---0---0direct-10--4-----0-11--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4----0-0-11-10-0utfZz-8-00&a=d&cl=CL2.7.3&d=HASH01f27b12308f4be8c4871d8a.17 (22.03.2014)
50. Vares, V., Kask, Ü., Muiste, P., Pihu, T., Soosaar, S. Biokütuse kasutaja käsiraamat. Tallinn: TTÜ kirjastus, 2005
51. Menind, A., Križan, P., Šooš, L., Matuš, M., Kers, J. Optimal conditions for valuating of wood waste by briquetting. 2012. [WWW] innomet.ttu.ee/daaam/proceedings/pdf/Menind.pdf (22.03.2014)
52. Auvinen, S., Isomäki, O., Koponen, H., Saimovaara, J., Tiaine, J., Tiainen, J., Tolvanen, P. Tisleritoodete tööstuslik tootmine. Tallinn: Ehitame, 2007
53. Manufacturing gallery: nesting. [WWW] www.dynamicconcepts.com.au/wp-content/gallery/manufacturing/ (22.03.2014)
54. MTÜ Balti Keskkonnafoorum. Juhendmaterjal mööblitööstusele. Parimad praktikad. [WWW] files.bef.ee/HBs/ee_furniture/practices.htm#_Jaatmekaitlus (11.03.2014)
55. Tarizka-Smegine, E. Organizational internal communication as a means of improving efficiency. – *European Scientific Journal*. 2012, 8 (15), 86-96. [WWW] eujournal.org/index.php/esj/article/view/232/257 (05.04.2014)
56. Denisova, T. Internal communication problems in a multinational company: Lamor Group. Bachelor's thesis, 2007. Haaga-Helia University. [WWW] publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1654/Denisova_Tatiana.pdf?sequence=1 (05.04.2014)
57. Jones, P. Communication Strategy. Burlington: Gower, 2008
58. Melcrum. Choosing the right communication channel. [WWW] <https://www.melcrum.com/research/strategy-planning-tactics-intranets-digital-social-media/choosing-right-communication> (23.03.2014)
59. Välisõhu kvaliteet. [WWW] www.envir.ee/1172339 (28.04.2014)
60. SA Erametsakeskus, Kask, Ü., Muiste, P., Vares, V. Puitkütus. 2010.
61. Karimek OÜ. Jäätmete vastuvõtt. [WWW] www.karimek.ee/?id=hinnakiri&sub=jaatmete-vastuvott (28.04.2014)
62. OÜ Tark Mets, Hepner, H. Ülevaade 2013. Aasta IV kvartali puiduturust. [WWW] www.eramets.ee/metsa-ja-puidumuuk/hinnainfo-2/ (28.04.2014)

TÄNUSÕNAD

Töö autor avaldab tänu inimestele, kelle abil valmis käesolev töö:

Aime Ruus

Aleksandr Miina

Ants Soon

Jaan Kers

Jane Peda

Jüri Resev

Ettevõtte xyz töötajad

Kairi Kivistik

Maksim Antonov

Sander Kutti

Tiit Lepasaar

Üllar Luga

LISAD

LISA 1. Plaatmaterjali ostuarvete näidised



PROBEX
OSB- ja vineerikeskus

Maksja:

Arve nr.:

Kuupäev:

Kliendi nr.:

Tingimused:

Tähtaeg:

Viivis:

Kauba nimetus	Kogus	Ühik	M2	M3	-%	Hind	S u m m a
mdf KRONO 16x2800x2070mm	8	plaat	46,368	0,742		31,34	250,72
mdf KRONO 30x2800x2070mm	1	plaat	5,796	0,174		61,60	61,60
HDF plaat 3x2800x2070 I sort	5	plaat	28,98	0,087		7,08	35,40
Puitlaastplaat 16*2650*2070, I sort	40	plaat	219,42	3,512		13,35	534,00
Puitlaastplaat 22*2650*2070, I sort	6	plaat	32,913	0,724		18,29	109,74
lamin. vineer 6,5x1500x3000, F/F I, ext.	1	plaat	4,5	0,029		33,76	33,76
lamin. vineer 9x1500x3000, F/W I, ext.	1	plaat	4,5	0,041		43,18	43,18
kas.vineer 6x1525x1525, II/III, int.	15	plaat	34,884	0,209		7,75	116,25
kas.vineer 15x1525x1525, III/III, int.	12	plaat	27,908	0,419		14,61	175,32
kas.vineer 15x1525x1525, II/III, int.	17	plaat	39,536	0,593		15,30	260,10
kas.vineer 30x2500x1250, B/BB, ext.	1	plaat	3,125	0,094		114,97	114,97
kas.vineer 4x2500x1250, B/BB, ext.	2	plaat	6,25	0,025		28,11	56,22
Transpordikulu		tk					40,00
Kokku:							1 831,26
Käibemaks 20%:							366,25
Tasuda: EUR							2 197,51

Tasuda EEK: 34 383,56

Andis üle:

Võttis vastu:

Probex OÜ
Lõõtsa 2A
11415 Tallinn

Tallinna Ladu: Suur-Sõjamäe põik 11, Tallinn
Telefon: +372 6020 167
Telefax: +372 6020 157
Tartu Ladu: Vitamiini 2a, Tartu
Telefon: +372 7409 260
Telefax: +372 7409 261

Swedbank a/a 221011329685
SEB Pank a/a 10220011901010
KMKR: EE100046595
Reg.nr.: 10474087

Joonis i.i. Edasimütaja Probex OÜ plaatmaterjalide arve

ARVEPuumerkki AS
Puumerkki AS, Express Tartu

Arve number

Müügiesindaja Viide Arve kuupäev Arve koostas
Koosapoeg Monika

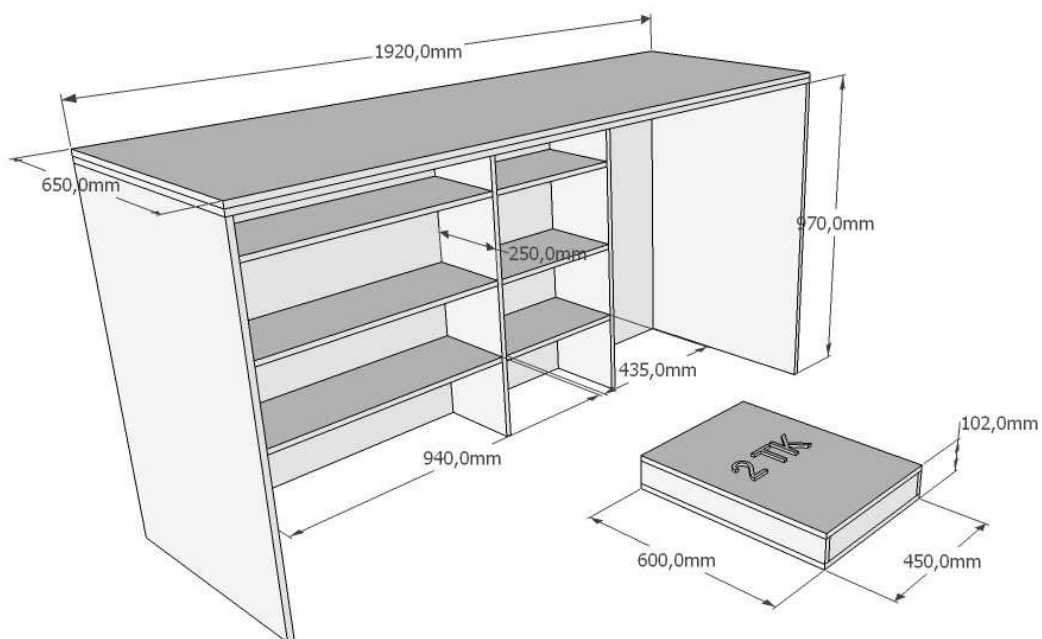
Ostja		Saaja	
Ostja viide		Saaja viide	Ostja KM Nr.
Tarnetingimus FCA PM Tartu Product stock		Maksetingimus Ettemaks	
Main carrier	Lastimiskoht	Lossimiskoht	Sihtkoht
Panga rekvisiidid Nordea Bank Finland Plc, Estonia Bank account 17003321371 IBAN EE261700017003321371 BIC NDEAEE2X Makse saaja/ Account holder: Stora Enso Eesti AS		Viitenumber	Sihtkoha riik Eesti

Rida	Kauba nimetus	Pikkus	Kogus	Ühik	Tk	Hind EUR	Summa
LO 35110700882,							
9.	MEL EGGER 16x2800x2070 H3331 ST10 Natural Nebraska Oak		4.00	Tk		44.51	178.04
1.	Töötasapind EGGER 38x600x4100 H3331/GZP1 ST10		1.00	Tk		55.20	55.20
2.	Servakant EGGER 0.8x23 H3331 ST10 Natural Nebraska Oak 75 m/rull		100.00	Jm		0.210	21.00
10.	MDF KRONOSPAN 16x2800x2070		3.00	Tk		29.68	89.04
5.	MEL KRONOSPAN 16x2800x2070 PE Must		2.00	Tk		32.23	64.46
3.	Servakant EGGER 0.8x23 U999 Black		50.00	Jm		0.210	10.50
7.	MDF KRONOSPAN 10x2800x2070		1.00	Tk		19.47	19.47
8.	Puitlaastplaat 22x2650x2070 I sort		1.00	Tk		21.50	21.50
6.	MDF KRONOSPAN 22x2800x2070		1.00	Tk		41.27	41.27
11.	MEL BOLDERAJA 16x2650x2070 PR 1925 Tume Pähkel		2.00	Tk		25.89	51.78
4.	Servakant EGGER, 0.8x23, H3704 ST15 Tabacco Aida Walnut		75.00	Jm		0.210	15.75
Ridade summa			15.00 Tk 225.00 Jm				568.01 EUR
						Käibemaks [20.0 %]	113.60 EUR
						Arve summa	681.61 EUR

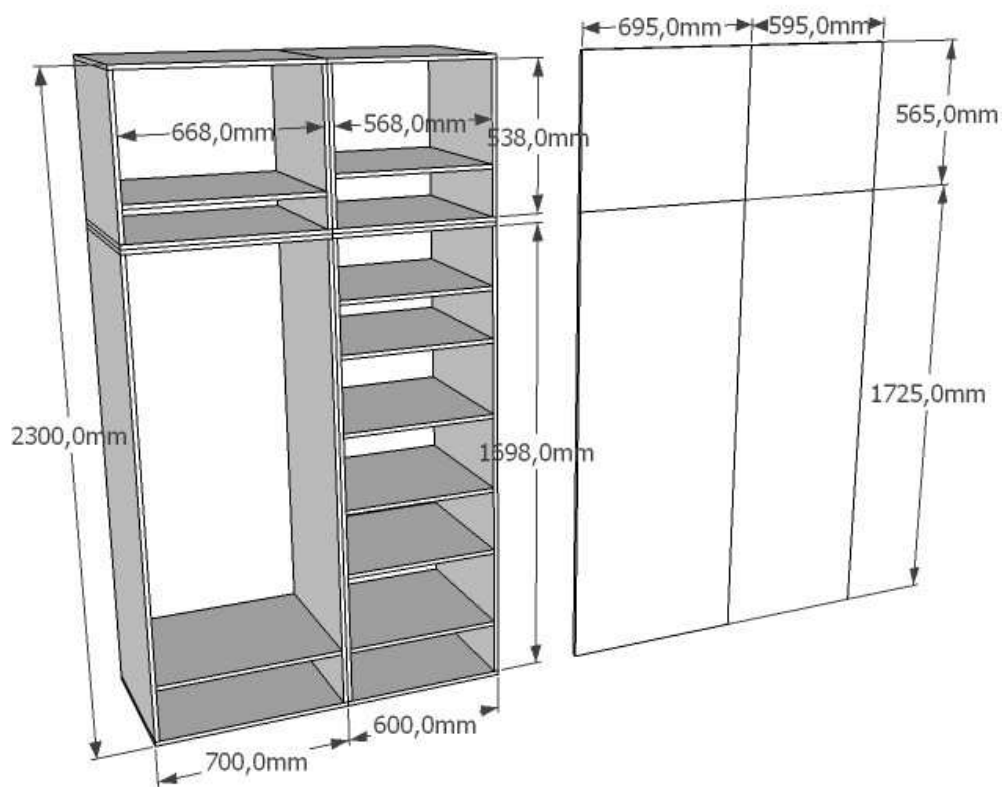
Liivalaia 13
EE10118 Tallinn
Terminali aadress Tartus:
Teguri 28a
50107 TartuTelefon: +372 664 6960
Faks: +372 664 6961
E-post: puumerkki.tartu@storaenso.com
http://www.puumerkki.eeKm reg-nr: EE100311369
Reg.nr: 10140647Lehekülg :
1/2

Joonis i.ii. Edasimüüja Puumerkki AS plaatmaterjalide arve

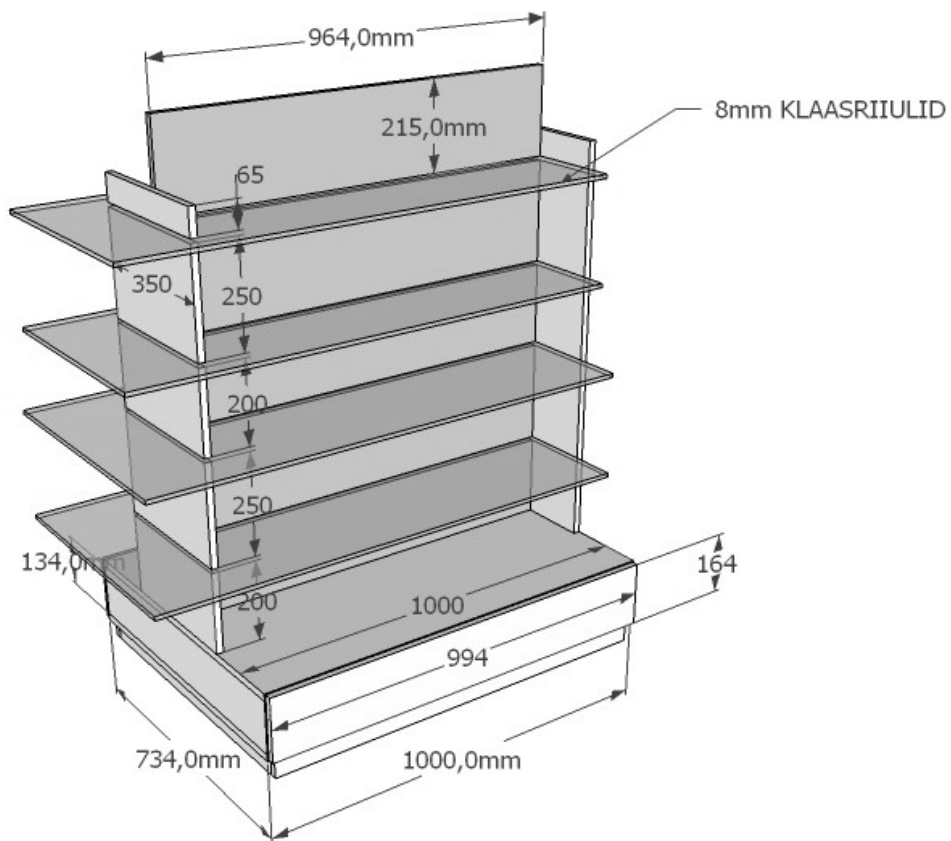
LISA 2. Mööblijoonised



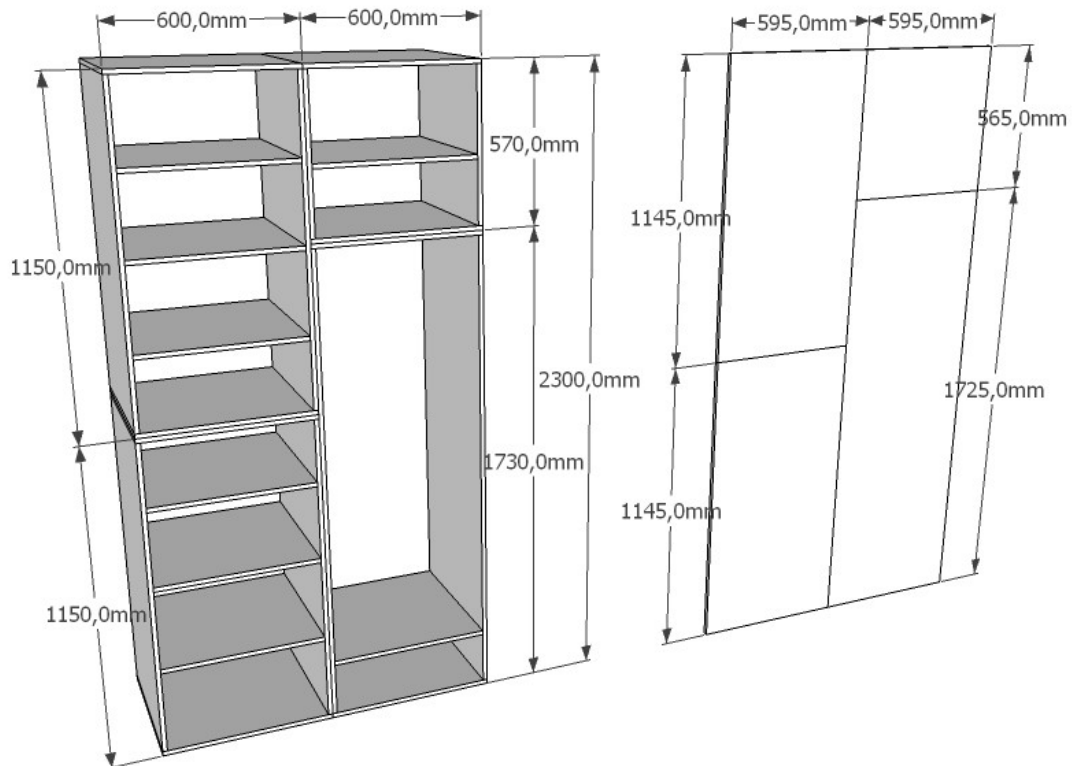
Joonis ii.i. Apteegimoodul 1



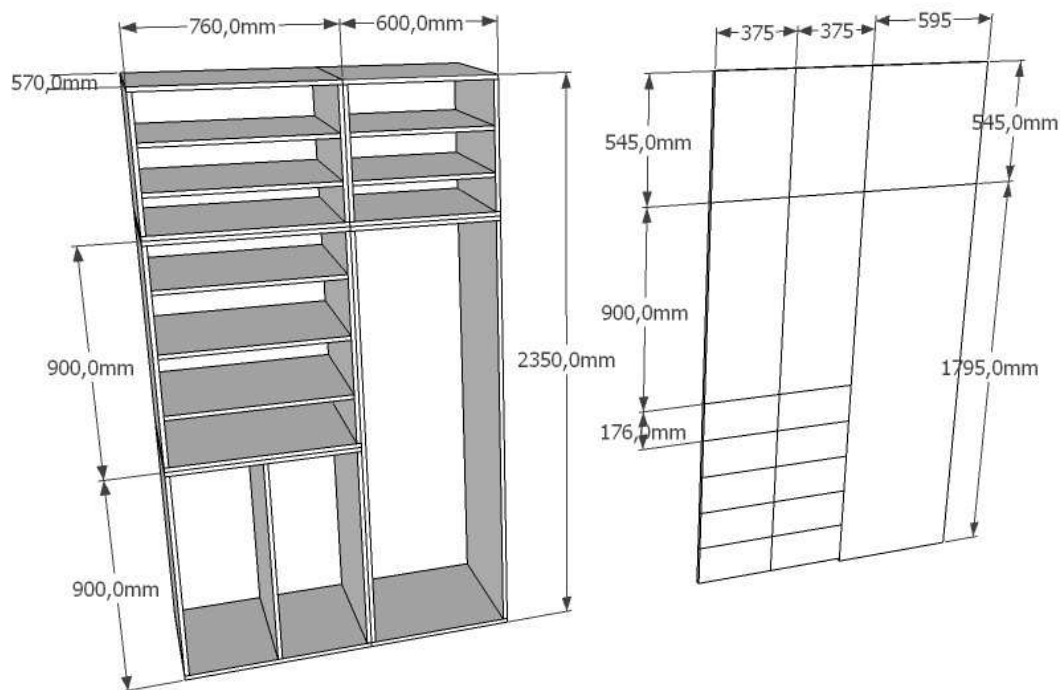
Joonis ii.ii. Apteegimoodul 2



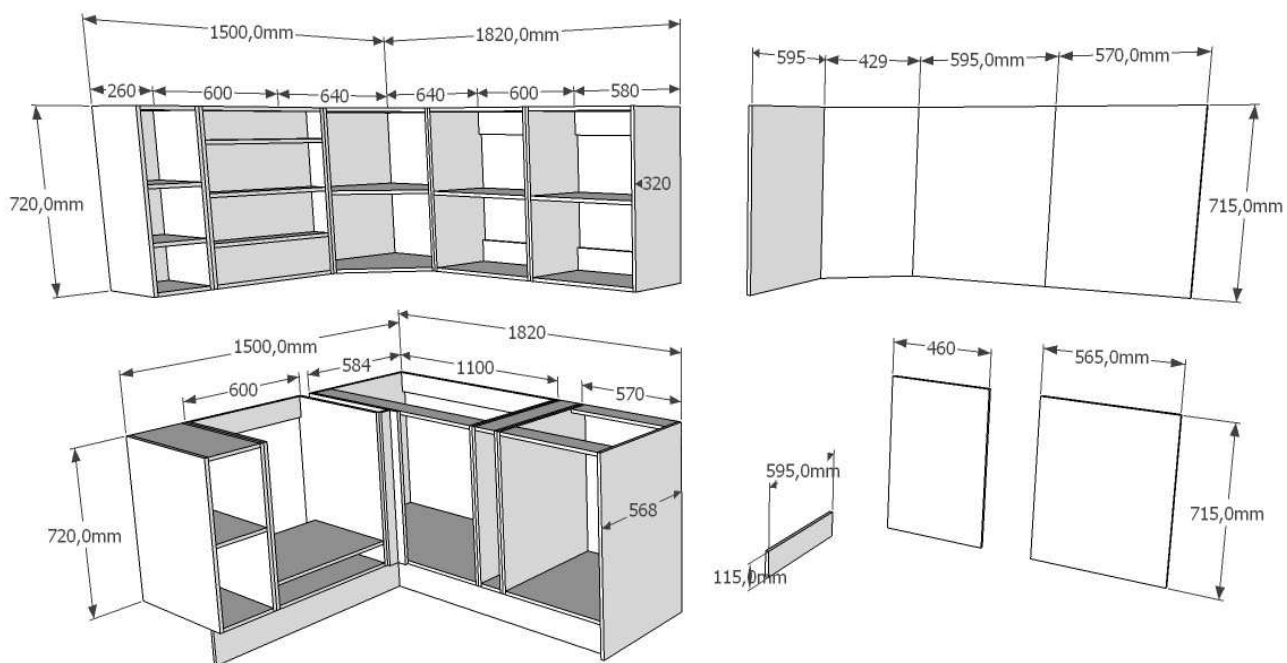
Joonis ii.iii. Apteegimoodul 3



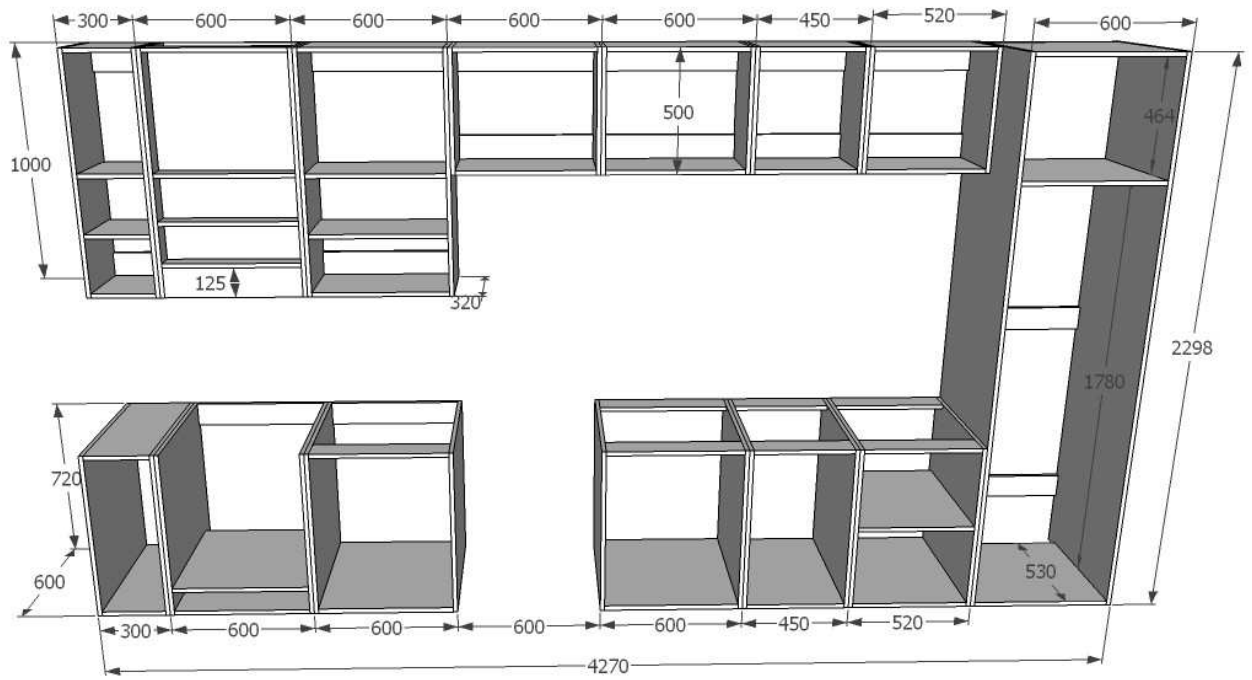
Joonis ii.iv. Apteegimoodul 4



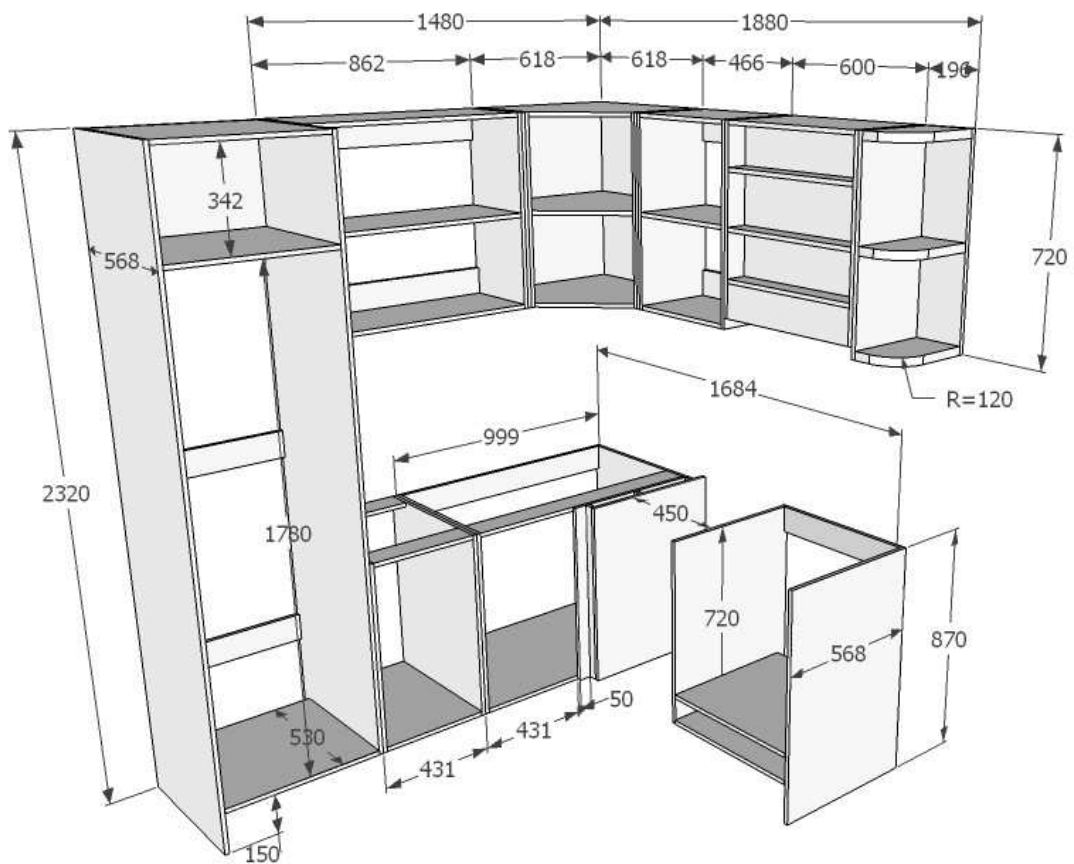
Joonis ii.v. Apteegimoodul 5



Joonis ii.vi. Köögimööbel 1



Joonis ii.vii. Köögimööbel 2



Joonis ii.viii. Köögimööbel 3

LISA 3. Joonistele vastavad lõikelehtede statistikad

Parameter	Value
Total used area	6216150
All recycled waste.	4754850
All discarded waste.	0
Area of used sheets.	10971000
The length of the cut.	25146
Price	0
Utilized demand count	24
running time	0,469s

Joonis iii.i. Apteegimooduli 1 lõikelehe statistika

Parameter	Value
Total used area	13079025
All recycled waste.	8862975
All discarded waste.	0
Area of used sheets.	21942000
The length of the cut.	43540
Price	0
Utilized demand count	29
running time	0,891s

Joonis iii.ii. Apteegimooduli 2 lõikelehe statistika

Parameter	Value
Total used area	4480790
All recycled waste.	1004710
All discarded waste.	0
Area of used sheets.	5485500
The length of the cut.	21398
Price	0
Utilized demand count	18
running time	0,985s

Joonis iii.iii. Apteegimooduli 3 lõikelehe statistika

Parameter	Value
Total used area	12122885
All recycled waste.	9819115
All discarded waste.	0
Area of used sheets.	21942000
The length of the cut.	41181
Price	0
Utilized demand count	27
running time	0,703s

Joonis iii.iv. Apteegimooduli 4 lõikelehe statistika

Parameter	Value
Total used area	15454890
All recycled waste.	6487110
All discarded waste.	0
Area of used sheets.	21942000
The length of the cut.	52926
Price	0
Utilized demand count	44
running time	1,016s

Joonis iii.v. Apteegimooduli 5 lõikelehe statistika

Parameter	Value
Total used area	16673290
All recycled waste.	5268707,5
All discarded waste.	0
Area of used sheets.	21942000
The length of the cut.	85655,6
Price	0
Utilized demand count	72
running time	1,36s

Joonis iii.vi. Kõõgimööbli 1 lõikelehe statistika

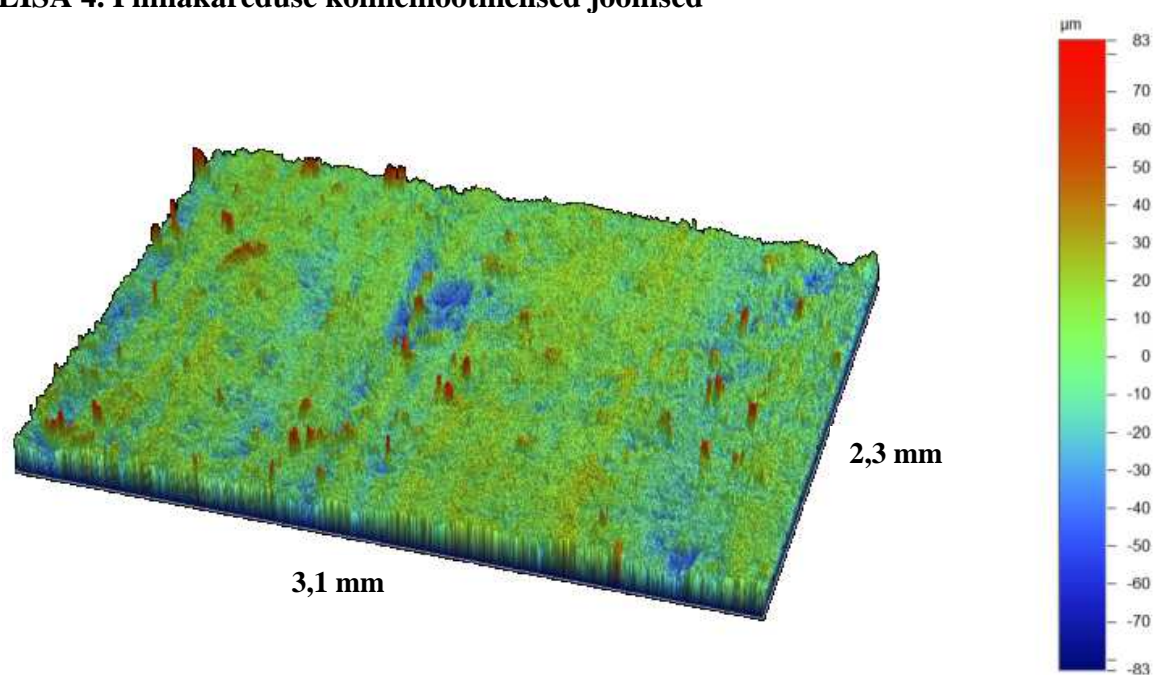
Parameter	Value
Total used area	19315100
All recycled waste.	2559900
All discarded waste.	0
Area of used sheets.	21875000
The length of the cut.	86304
Price	0
Utilized demand count	93
running time	2,094s

Joonis iii.vii. Kõõgimööbli 2 lõikelehe statistika

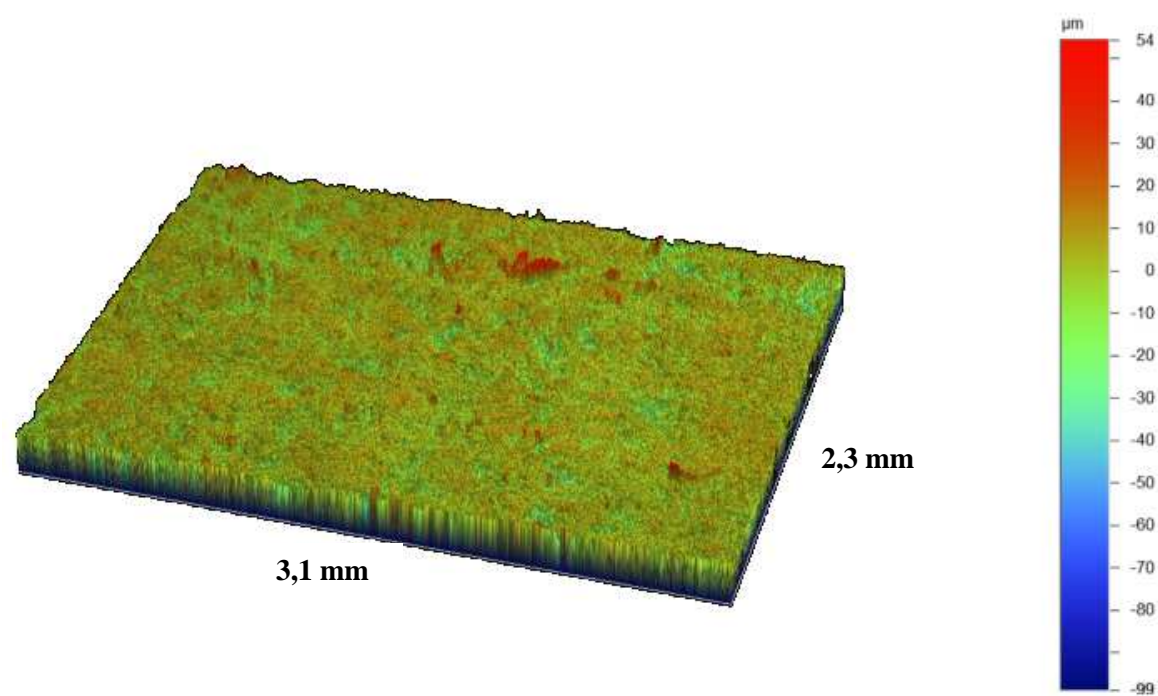
Parameter	Value
Total used area	15670156
All recycled waste.	786344
All discarded waste.	0
Area of used sheets.	16456500
The length of the cut.	71041
Price	0
Utilized demand count	64
running time	1,234s

Joonis iii.viii. Kõõgimööbli 3 lõikelehe statistika

LISA 4. Pinnakareduse kolmemõõtmelised joonised



Joonis iv.i. Lihvitud MDF plaadi pinnakareduse joonis



Joonis iv.ii. Lihvitud MDF plaadi pinnakareduse joonis

LISA 5. Mõõtevea ja usalduspiiride arvutuskäigud

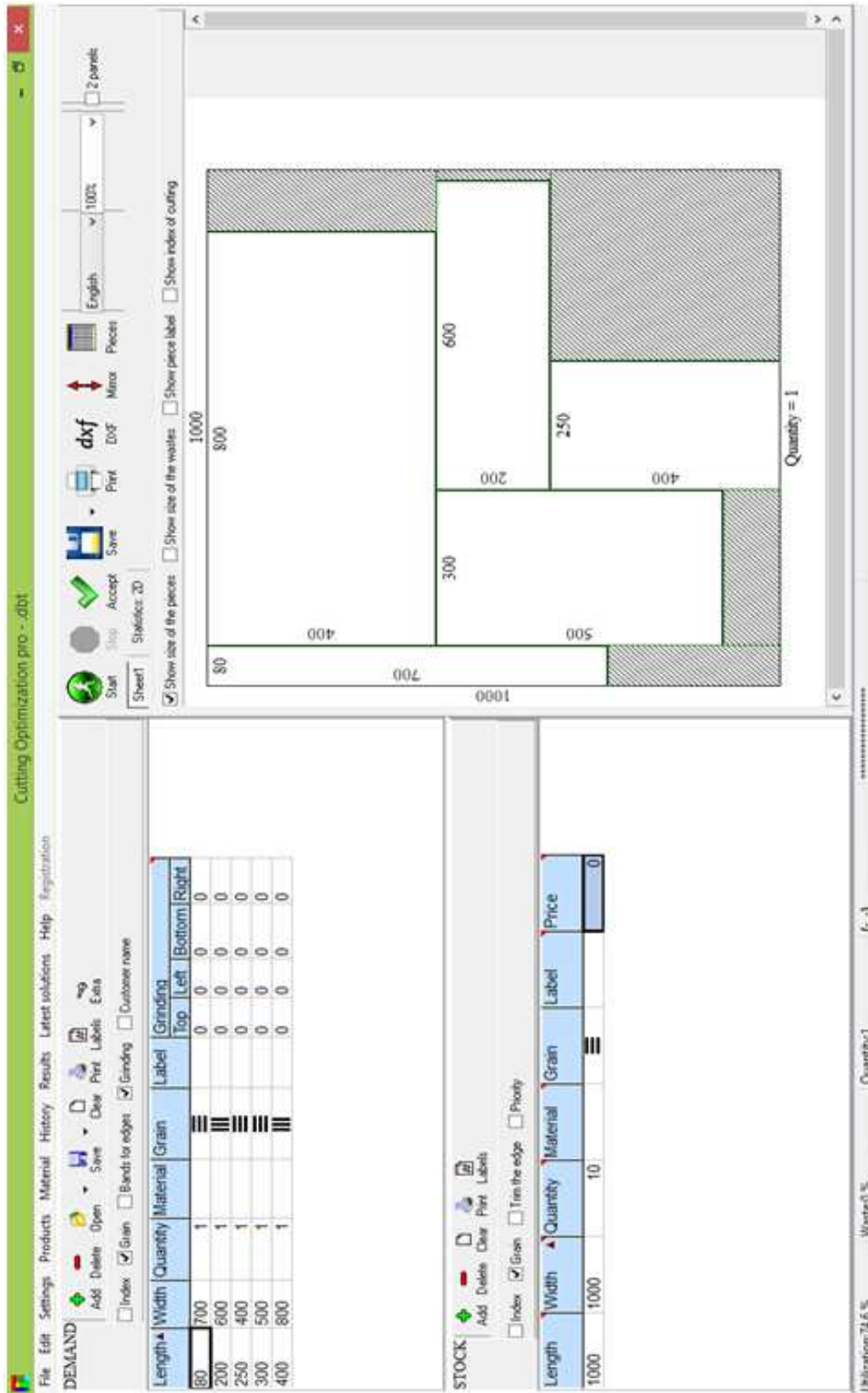
MDF plaatide mõõtmistulemused mikromeetriga			
	LIHVIMATA	LIHVITUD	
nurk	16,11	15,99	
lühem külg	16,09	15,95	
nurk	16,11	15,95	
pikem külg	16,00	15,94	
nurk	16,04	15,95	
lühem külg	16,01	15,95	
nurk	16,02	15,96	
pikem külg	16,02	15,96	
Aritmeetiline keskmine	16,051	15,956	
Standardhälve (STDEV)	0,05	0,01	
Ruutjuur (SQRT)	2,83	2,83	
Keskmine viga (STDEV/SQRT)	0,016	0,005	
MÕÕTEVIGA	0,015/0,10*100% =		15,5%
Lihvitud paksus 16,05-15,96 =			0,10
kõigi tulemuste standardhälve (STDEV)			0,059
ruutjuur valimi kogusest (SQRT)			4
Standardhälve / ruutjuur =			0,015

Joonis v.i. MDF plaatide paksuse mõõtmistulemused ja mõõtevea arvutuskäik

USALDUSPIIR (LIHVIMATA PLAAT)		USALDUSPIIR (LIHVITUD PLAAT)	
Valimi maht n	8	Valimi maht n	8
Valimi aritmeetiline keskmine	16,051	Valimi aritmeetiline keskmine	15,956
Valimi standardhälve s	0,046	Valimi standardhälve s	0,013
Studenti koefitsiendi t leidmine		Studenti koefitsiendi t leidmine	
Usaldatavus β	0,95	Usaldatavus β	0,95
Vea tõenäosus α	0,05	Vea tõenäosus α	0,05
Vabadusastmete arv v	7	Vabadusastmete arv v	7
Studenti koefitsient t	2,36	Studenti koefitsient t	2,36
Usaldusvahemiku leidmine		Usaldusvahemiku leidmine	
Usaldusvahemiku laius Δx	0,04	Usaldusvahemiku laius Δx	0,01
Alumine piir $x - \Delta x$	16,01	Alumine piir $x - \Delta x$	15,94
Ülemine piir $x + \Delta x$	16,09	Ülemine piir $x + \Delta x$	15,97

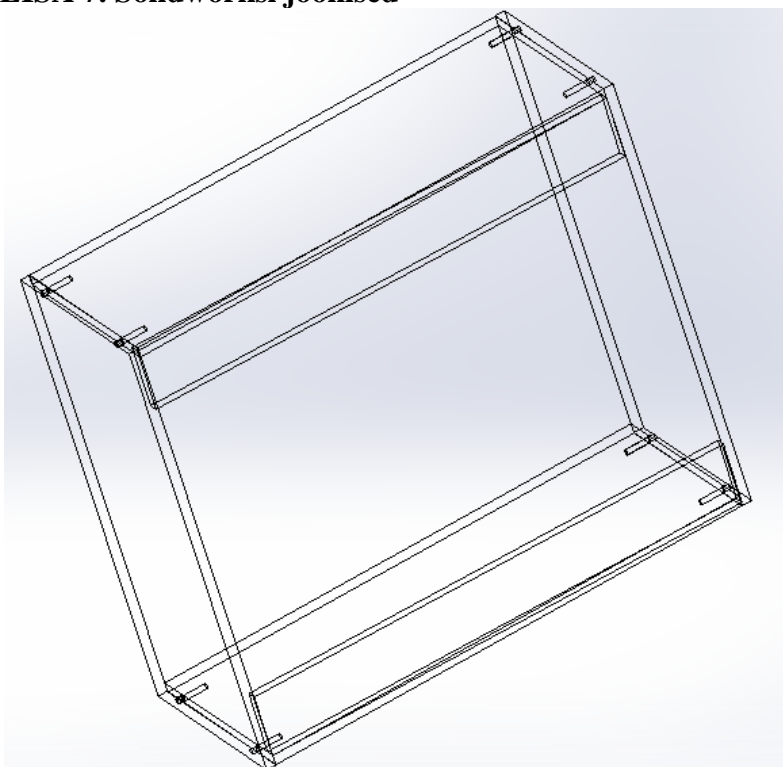
Joonis v.ii. MDF plaatide usalduspiiride leidmise arvutuskäigud

LISA 6. Ekraanitömmis tarkvarast Cutting Optimization Pro

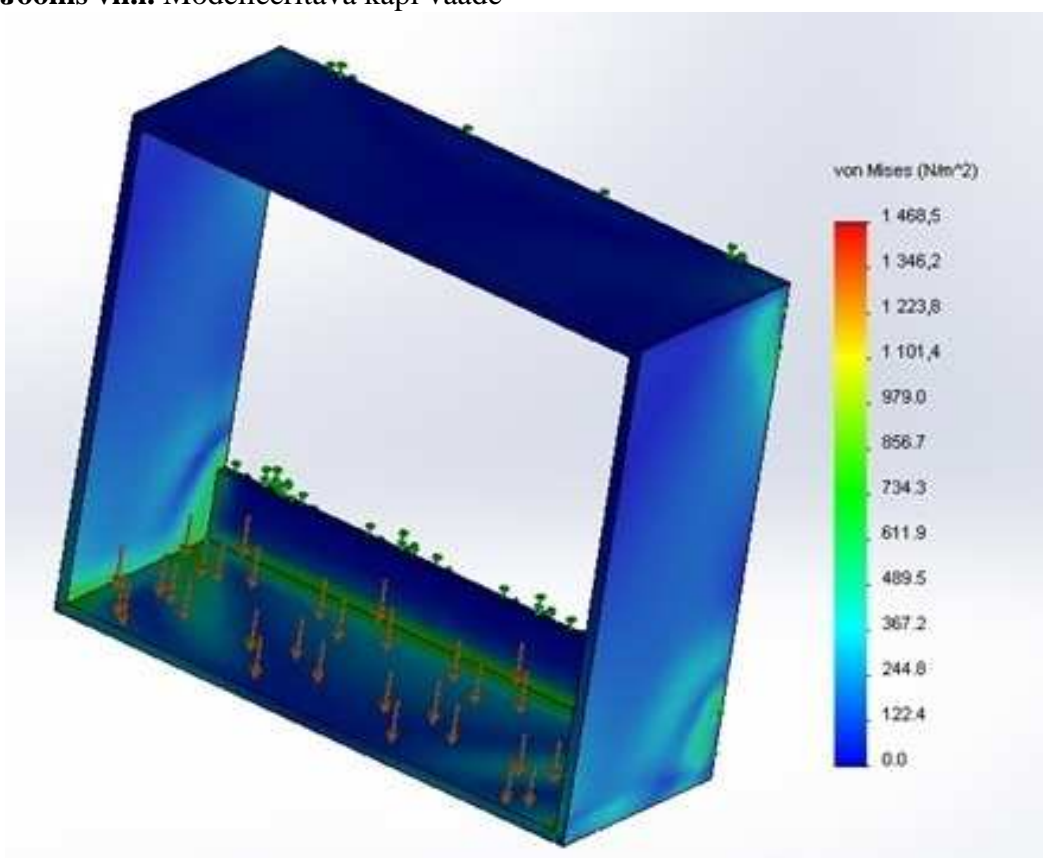


Joonis vi.i. Ekraanitömmis tarkvarast Cutting Optimization Pro

LISA 7. Solidworksi joonised



Joonis vii.i. Modelleeritava kapi vaade



Joonis vii.ii. Modelleeritava kapi pingete visualiseering Solidworksis