

Kõrgem Kunstikool Pallas
Mööbliosakond

Laminaadi jääkidega tegelemine Eesti mööbliettevetes

Lõputöö

Autor: Olivia Jõgi

Juhendaja: Jörgen Dobris, MSc

Tartu 2021

SISUKORD

LÜHENDITE LOETELU.....	4
SISSEJUHATUS	5
2 PLAATMATERJALID	7
2.1 Keskmise tihedusega puitkiudplaat	7
2.2 Kõrge tihedusega puitkiudplaat	8
2.3 Puitlaastplaat.....	9
2.4 Vineer	10
2.4.1 Niiskuskindel vineer	11
2.4.2 Veekindel vineer	11
2.5 Plaatmaterjali valmistamine	13
3 LAMINAADID	15
3.1 Madalsurvelaminaat.....	15
3.2 Kõrgsurvelaminaat.....	16
3.2.1 Pidev pressitud laminaat	17
3.2.2 Compact laminaat	17
3.3 Kõrgsurve- ja compact laminaadi valmistamise protsess.....	18
4 FORMALDEHÜÜDVAIGUD	20
4.1 Melamiinformaldehüüd	20
4.2 Fenoolformaldehüüd.....	21
4.3 Karbamiidformaldehüüd.....	21
5 MUJAL MAAILMAS	22
5.1 Taastöödeldud MDF	23
6 LAMINAADI UTILISEERIMINE	24
6.1 Termogravimeetriline analüüs	24
6.2 Pürolüüs	26
6.3 Plasti pürolüüsi eelised ja puudused.....	27
6.3.1 Eelised:.....	27
6.3.2 Puudused:	27

7	TERMOGRAVIMEETRILISE ANALÜÜSI TULEMUSED.....	29
8	PÜROLÜÜSIPROTSessi TULEMUSED	33
9	ETTEVÕTETE MENTALITEET	37
9.1	Küsimustiku analüüs.....	37
10	EKSPERTIDE/ÜLIKOOLI HINNANG	47
11	JÄÄGI TEEKOND	52
12	JÄRELDUSED	54
	KOKKUVÕTE	56
12.1	Autoripoolsed ettepanekud	58
	SUMMARY.....	60
	KASUTATUD KIRJANDUS.....	62
	LISAD	67
	Lisa 1. Küsimused e-maili teel	67
	Lisa 2. Veebipõhine küsimustik	67
	Lisa 3. Uurimisküsimused	69
	Lisa 4. FTIR spektri analüüsi tulemused	69
	Lisa 5. Pürolüüsi saadetud jäägid	71
	Lisa 6. Pürolüüsi saadetud musta värvi laminaadi sertifikaat	73
	Lisa 7. Valge sade kolvis	74
	Lisa 8. Termogravimeetria analüüsi teostamiseks kasutatud CPL tükid.....	74
	Lisa 9. Gaasi koostised	75

LÜHENDITE LOETELU

Plaatmaterjalid:

HDF – kõrge tihedusega puitkiudplaat (ingl *high-density fiberboard*)

MDF – keskmise tihedusega puitkiudplaat (ingl *medium-density fiberboard*)

PLP – puitlaastplaat (ingl *particleboard*)

Pealistusmaterjalid:

LPL/LPM – madalsurvelaminaat (ingl *low-pressure laminate/low-pressure melamine*)

HPL – kõrgsurvelaminaat (ingl *high-pressure laminate*)

CPL – pidevpressitud laminaat (ingl *continuously pressed laminate*)

Formaldehüüdvaigud:

MF – melamiinformaldehüüd

PF – fenoolformaldehüüd

UF – karbamiidformaldehüüd

Liimid:

PVA - Polüvinüülatsetaat

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärk on tutvustada mööblitööstuses tekkivate jääkide probleemi. Täpsemalt jääb mööblitööstuses järele hulk materjale, mida ei ole lihtne utiliseerida nagu näiteks tekstiil, nahk, viimistlusjäägid ja plastid. Käsitlen oma lõputöös nendest materjalidest vaid ühte osa ehk laminaati kui ka juba lamineeritud plaatmaterjale.

Laminaadid on termoreakiivsed plastid, mis surve ja temperatuuri tõustes kõvenevad ehk nende põletamiseks tuleb kulutada palju energiat – need hakkavad lagunema kõrgetel temperatuuridel ja see protsess peab kestma keskmisest kauem, et ohtlikud ühendid selle käigus ära põleksid.

Teemavaliku tingis minu isiklik huvi antud valdkonna vastu. Praktika käigus ning mööblitööstusega rohkem tutvudes, sai ilmsiks, et jääkide probleem on suur paljudel ettevõtetel. Küll aga igal ühel on lähenemine erinev nii probleemidele kui lahendustele. Minu soov kirjutada uurimustöö tulenes asjaolust, et igapäevaselt toodetakse juurde maailma miljonites tonnides kaupa. Euroopa Mööblitootjate Föderatsiooni andmetel küündib aastane mööblijäätmete hulk 10,78 miljoni tonnini ning sellest 80-90% suunatakse põletamisele või prügimäele ladustamiseks, vaid 10% materjalist võetakse uuesti ringlusesse.

Esialgne plaan luua jääkidest uus materjal ning disainida sellest toode pani mu küsimuse ette, et mis saab sellest edasi, kui toote eluiga on lõppenud. Tõenäoliselt plastidest valmistatud uut plastmaterjali oleks veel keerulisem utiliseerida, kui seda oleks teha esimeses etapis. Minu soov on panna ettevõtteid mõtlema rohkem rohemajanduse suunas.

Jäätmete sorteerimine, nende vähendamine ja nendega võimalikult jätkusuutlikult ümber käimine on väga päevakohane teema. Kuna laminaadi ja muude mööblitööstuse jääkide utiliseerimist on vähe uuritud, otsustasin sel teemal lõputöö kirjutada. Inimeste teadlikkus on pinnapealne ning info kättesaadavus minimaalne.

Mööblitööstustel on probleeme jääkidest vabanemisega. Utiliseerimisteenus on kallis, jäägid võtavad ruumi ning lihtsaim lahendus, kellel võimalus, on nendest vabaneda põletamise teel. Paljud ettevõtted maksavad selle eest, et nende jääde ja prügi transporditakse jäätmejaama ning edasine materjali kulg on juba jäätmekäitlejate õlul.

Sellest tulenevalt soovisin oma uuringu käigus saada teada, millistele lahendustele on ettevõtted tulnud ja milliseid mooduseid nad oma jääkide utiliseerimisel kasutavad. Lisaks soovisin intervjuu teel saada vaatenurki oma ala spetsalistidelt erasektorist, ettevõtjate seast

ja ülikoolist, et kuulda, millised on nende seisukohad hetkel Eestis valitsevale jäätmekäitlus olukorrale.

Lõputöös annan üldisema ülevaate sellest, millised on plaatmaterjalide ning laminaadi kui lehtpealistusmaterjali omadused, variandid, keemilised koostised ning taastöötlemisvõimalused. Lisaks tutvustan nende tootmisprotsessi.

Oma uurimuse käigus tahtsin teada saada, milline on Eesti mööblitootjate mentaliteet seoses jääkide teemaga. Viisin läbi küsitluse 16 ettevõtte seas ja uurisin, millised on nende lähenemised jäägiga tegelemisel ja teadlikkus antud teema olulisusest.

Lisaks teostasın taustauuringu, et näha, kuhu liiguvad suuremad ja arenenumad tehased jäägiga tegelemisel, milliseid lahendusi kasutatakse välismaal ning kas ja kuidas oleks võimalik neid meetmeid Eestis rakendada. Oma uurimuses kaasasin ka TalTechi Virumaa kolledži Põlevkivi Kompetentsikeskuse ja Tartu Ülikool keemia instituudi, et viia läbi laboratoorsed katsed, teada saamaks, kuidas laminaadi jäägid kuumusele reageerivad.

Laminaat on jääde, millele tuleks leida alternatiivseid lahendusi, et vältida selle ahju sattumist. Töö ülesandeks on juhtida antud teemale tähelepanu ja tõsta inimeste teadlikkust.

Soovin alustuseks tänada oma juhendajat, Võrumaa Kutsehariduskeskuse Puidutöötlemise ja Mööblitootmise Kompetentsikeskuse Tsenteri arendusjuht Jörgen Dobrist pideva toetuse, asjaajamise ja nõuannete eest selle töö käigus.

Minu eriline tänu kuulub Tartu Ülikooli bioorgaanilise keemia professori Uno Mäeorule, kellega koostöös said läbiviidud Tartu Ülikooli keemia instituudis termogravimeetria analüüsid ning TalTechi Virumaa kolledži Põlevkivi Kompetentsikeskuse juhataja Kalle Pirkile, kes tuli vastu ja viis läbi pürolüüsi katsed. Suur tänu Wermo AS tegevjuhi Raul Venele, Tallinna Tehnikaülikooli puidutehnoloogia professori Jaan Kersile ning ringmajanduse spetsialisti Mayri Tiidole, et leidsid vaba aega minuga pikalt lõputöö teemadel vestleda.

Lisaks kuuluvad minu tänusõnad ka kõigile ettevõtete esindajatele, kes olid nõus minu küsimustikust osa võtma. Samuti olen tänulik oma lähedastele toetuse ja julgustavate sõnade eest, kes motiveerisid mind sel nelja aastasel teekonnal.

1 PLAATMATERJALID

Plaatmaterjalide alla kuuluvad antud töös puidutööstuse tehnoloogiliste protsesside jääkidest vormitud tasapinnalised plaadid, mis on valmistatud väikestest puiduosakestest. Nendeks osakesteks võivad olla nii kiud, laastud või helbed.

Plaatmaterjalid leiavad mööblitööstuses kasutust täispuidu asendajana, sest nende omadused on stabiilsemad, hind on konkurentsivõimelisem ning neid on parem töödelda. Plaatmaterjale kasutatakse erinevates valdkondades nagu näiteks mööbli valmistamisel ja ehituses.

Alljärgnevides alapeatükkides kirjeldatavad plaatmaterjali tüübid valisin, sest mööblitootjate seas läbi viidud küsitluses selgus, et need leiavad enim kasutust. Lisaks on oluline, et antud plaatmaterjale kasutatakse lamineerimise aluspinnana.

EPA ehk USA keskkonnakaitseagentuur ei soovita liime ja vaike sisaldavaid puitmaterjale koduses majapidamises põletada, kuna nendest eralduvad põlemisel toksilised ühendid, mis võivad põhjustada terviserikkeid. Selliseid materjale on soovituslik põletada vastavates kateldes, kus on kontrollitud keskkond ning filtrid, mis ühendid kinni püüavad. (EPA, i.a)

1.1 Keskmise tihedusega puitkiudplaat

Keskmise tihedusega puitkiudplaat ehk MDF (vt pilt 1) on kuivprotsessiga toodetud paneel (moodustumise ajal on õhuniiskus alla 20% ja tihedus 450 kg/m³). See on mööblisektori jaoks kõige kasulikum kiudplaatide klass. (Bulian & Graystone, 2009) Selle tootmise maht oli Euroopas 2018. a seisuga oli 27 miljonit m³. (MDF expansion continues apace, i.a)

MDF on valmistatud kuumuse ja rõhu all liimitud puitkiududest. Märghprotsessiga toodetud paneelid on siledad vaid ühelt poolt, kuivprotsessiga jäävad siledaks mõlemad plaadi pooled (HDF-plaat, 2021). MDF-i võib kasutada paljudes erinevates kohtades näiteks mööblivalmistamises või ehituses, sest see on tihe, jäik, sile, sõlmedeta ja kergesti töödeldav materjal. Sellel on vineeri või puitlaastplaadi ees palju eeliseid just nendel eelnevalt nimetatud omaduste tõttu. Kuna see koosneb peentest osakestest, pole sellel hõlpsasti äratuntavat pinnakiudu. (Medium Density Fiberboard, 2001) Tänu kiudude ühtlasele jaotusele terve plaadi ulatuses jäävad saagimisel, freesimisel, hõõveldamisel ja puurimisel

servad puhtaks (Honka, 2015). MDF-il võib kasutada õli, veepõhiseid värve ja lakke. MDF-i pealistamiseks võib kasutada ka spooni ja laminaate (Medium Density Fiberboard, 2001).

Puudusteks on aga asjaolu, et MDF-i kasutamine võib olla ohtlik, kui ei järgita õigeid ettevaatusabinõusid. MDF sisaldab ainet nimega karbamiidformaldehüüd (UF), mis võib materjalist eralduda lõikamise ja lihvimise teel. UF vaik võib põhjustada silmade ja kopsude ärritust. MDF-i lihvimisel või masinatega lõikamisel on selle kasutamisel vaja korralikku ventilatsiooni ning näomaske. (Medium Density Fiberboard, 2001)



Pilt 1. MDF materjalinäidis (internet)

1.2 Kõrge tihedusega puitkiudplaat

Kõrge tihedusega puitkiudplaadid ehk HDF-id on moodustatud puitkiududest ja valmistatud pressimisprotsessi käigus kõrge rõhu kokkusurumise ja temperatuuri abil. Nende keskmine tihedus on 750-930 kg/m³. HDF plaadid vastavad töötlemisviiside puhul kõige nõudlikumatele tingimustele, sest sellel on suurepäraseid füüsikalised ja mehaanilised omadused ning stabiilsus. Viimistlemata või lakitud kiudplaadist paneele kasutatakse paljudes valdkondades, sealhulgas ehitus, pakendamine, mööbel, polster, ukse lengid, mänguasjad ning auto- ja haagissuvilate sisustus. (Hardboard, 2014) MDF ja HDF võivad näha välja väga sarnased, kuid õhem HDF plaat on tumedam (vt pilt 2).



Pilt 2. MDF ja HDF materjalinäidis (internet)

1.3 Puitlaastplaat

Puitlaastplaat ehk PLP on plaatmaterjal, mis on valmistatud kokku pressitud puiduosakestest ja sideainest (liimist) kõrgel temperatuuril ja surve all (vt pilt 3). Laastuna kasutatakse enamasti okaspuidu laastu. Liimi põhikomponent on vaik (enamasti karbamiidformaldehüüdvaik). Vaigule võib olla lisatud parafiini, karbamiidi, kõvendit ja ka teisi lisandeid, mis moodustavad ühtse süsteemi (liimi). Puitlaastplaatide hulka kuuluvad ka vahvelplaat (WB - waferboard) ja orienteeritud laastuga plaat (OSB - oriented strand board). (Šumigin, i.a)

Puitlaastplaadid on kas ühe- või mitmekihilised. Mitmekihilises puitlaastplaadis on tavaliselt kolm kihti: välimine – sisemine - välimine. Väliskihid on tehtud puidu peenemast fraktsioonist ja sisekiht on valmistatud jämedamast fraktsioonist. Puitlaastplaadi tihedus ei ole seetõttu sama kogu plaadi paksuse ulatuses. (Šumigin, i.a)

Puitlaastplaate toodetakse maailmas kõige rohkem (Puitlaastplaat, 2010). Euroopa üldine puitlaastplaadi tootmise maht 31. detsembri 2018. aasta seisuga oli 54,6 miljonit m³ (Particleboard growth continues, i.a). Lisaks headele omadustele soosib puitlaastplaatide laialdast tarvitamist parem hinna ja kvaliteedi suhe (Puitlaastplaat, 2010).



Pilt 3. Puitlaastplaat (internet)

1.4 Vineer

Vineer on materjal, mis on valmistatud õhukestest puitspooni kihtidest. Spoonid asetatakse tahvlisse üksteise suhtes kiudude suunaga risti (spoonikihi paksus on 1,4–3,2 mm). Ühes tahvlis on spoonikihtide arv paaritu (kindla paksuse saavutamiseks võib keskel olla lisa spoonikiht). Selline asetus võimaldab tagada vineertahvli tugevuse igas suunas ning kihte on paaritu arv, sest see vähendab kooldumise võimalust. (Vineer, i.a)

Vineeri valmistamiseks kasutatakse nii kase- kui ka okaspuitu. Okaspuuvineeris kasutatakse kuuse- või männipuitu. Segavineeris kasutatakse peale kase- ja okaspuuspooni ka haavaspooni. Kasevineer on neist kõige tugevam, seda kasepuit kategoriseerub erinevalt okaspuu puidust kõvapuidu alla. (Vineer, i.a)

Välitingimustesse sobib niiskus- ja veekindel kasevineer, mille valmistamiseks kasutatakse veekindlaid liime. Kui vineer pealastada pinnakatte materjaliga, näiteks laminaadiga, talub see niiskust veel paremini ja rakiste puhul kasutuskordade arv suureneb. Välistingimustes ja niisketes ruumides kasutatava vineeri ääri tuleb kaitsta vastava erivärvi või muu sobivaga. (Plywood, i.a)

Vineer on väga populaarne materjal ning seda on võimalik kasutada väga paljudes valdkondades. Vineeri suurimaks eeliseks on taskukohane hind võrreldes täispuiduga, hea vastupidavus ning vineeri on kerge viimistleda. Vineere immutatakse erinevate kemikaalidega, et saavutada parem tulekindlus või vastupidavus hallitusele jne. (Plywood, i.a)

Uudse puiduliigina on hakatud vineere tootma paplist ja haavast, et saavutada vineeri kergus, kuid jäädes samas ka vastupidavaks. Paplivineer on mõeldud interjööri, kuid haavavineer ka eksterjööri. (Kareta, 2020)

1.4.1 Niiskuskindel vineer

Vineeri muudab niiskuskindlaks veekindel liim, mis sisaldab fenoolformaldehüüdvaike, spoonikihtide vahel. Selle tõttu allub vineer niiskusele vähem kui seda teeb puit. Vineeri on võimalik töödelda erinevate viimistlusmaterjalidega (peits, lakk ja õli), mis pikendavad vineeri eluiga ja toovad välja puidumustri ilu. Niiskuskindlat kasevineeri kasutatakse nii sise- kui ka välistingimustes: ehituses, mootorsõidukites, mööbli- ja pakenditööstuses. (Vineerimaailma, i.a)

Omadused:

- niiskuskindel
- vastupidav
- töödeldav erinevate viimistlusmaterjalidega



Pilt 4. Niiskuskindel vineer (internet)

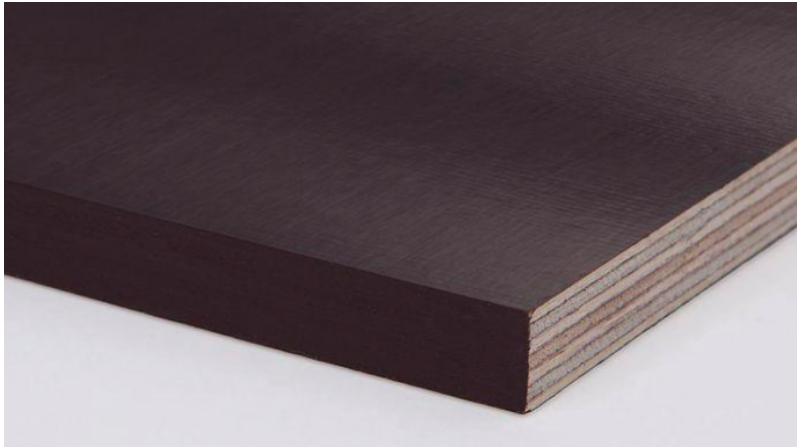
1.4.2 Veekindel vineer

Veekindlaks teeb kasevineeri fenool- ehk filmikiht, millega see kaetakse. See parandab vineeri pealispinna vastupanuvõimet ilmastikuoludele. Lõikeserv tuleks kaitsta

puidukaitsevahendiga. Veekindlat kasevineeri kasutatakse sise- ja välistingimustes: rakiste valmistamiseks betoonivalu korral, sõidu- ja veoauto haagistes, kaubiku seintes, pakenditööstuses, istikukastide valmistamisel, põllumajanduses, mööbli valmistamisel, sisustuselementides. (Vineerimaaailm, i.a)

Omadused:

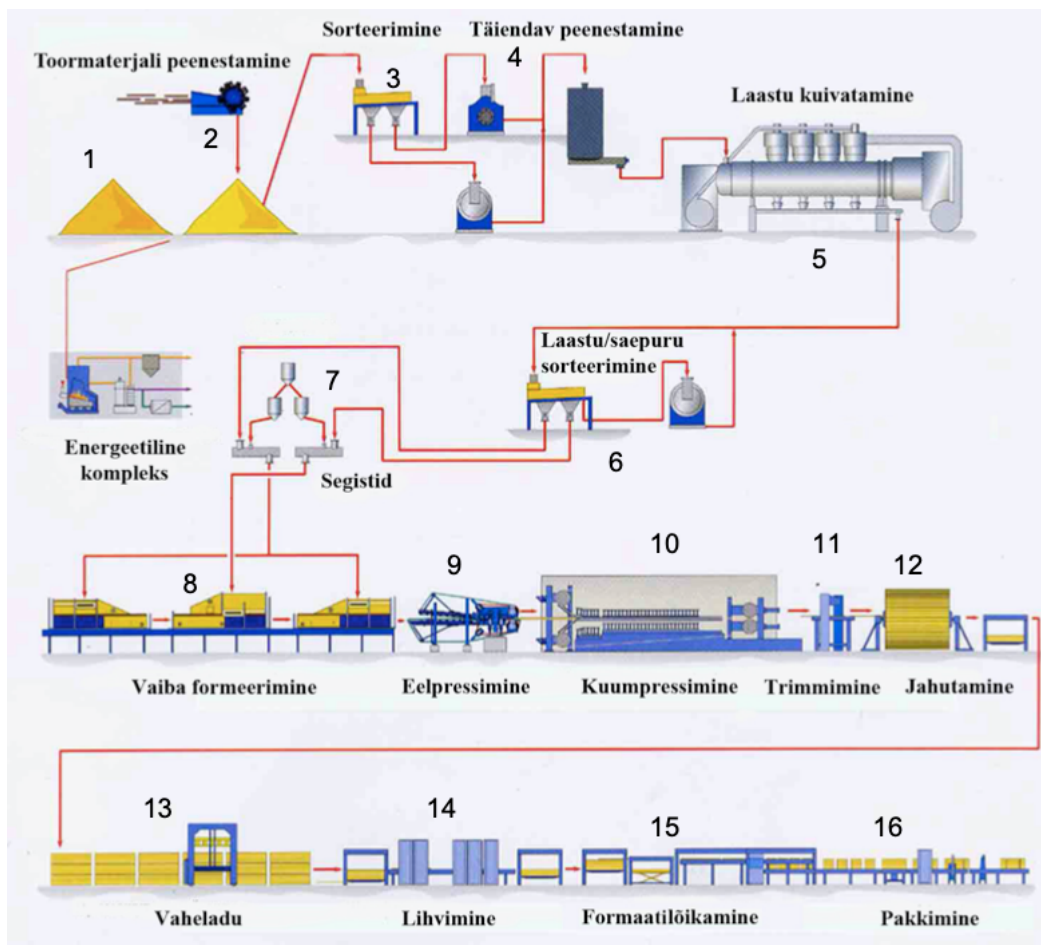
- ilmastikukindel
- vastupidav
- kergesti töödeldav ja puhastatav
- korduvkasutatav näiteks betoonivalutöodes



Pilt 5. Veekindel vineer (internet)

1.5 Plaatmaterjali valmistamine

Puitlaastplaatplaatide tootmisprotsess on kõikides tootvates ettevõtetes sarnane ning koosneb samadest liini koostisosadest (vt joonis 1). Tootmine algab materjali laost (1), kuhu toormaterjal transporditakse ümarpuidu ja jäätmepuidu laastu lõikamisel laasturist või laastu ja saepuru sisseostmisel saeveskitest. Materjali ladu asub tavaliselt ettevõtte territooriumil õues ning ei vaja eraldi hoonet. Materjali laost läheb laast peenestamisele (2) ja seejärel eelsorteerimisele (3), kus toimub laastu eraldamine fraktsioonideks. Sobiva peensusastmega fraktsioon läheb edasi otse kuivatisse, kuid jämedam fraktsioon peenestatakse (4) ning seejärel suunatakse kuivatisse (5). Jäägid kõrvaldatakse. Peale kuivatamist laast sorteeritakse sorteerimismasinas (6) plaadi sise- ja väliskihi fraktsioonideks. Jäägid taas kõrvaldatakse. Sorteeritud laast ja saepuru lähevad segistisse (7), kus toimub segamine vaigu, kõvendi, parafiini ja teiste lisaainetega. Iga komponendi jaoks on eraldi pump ja voolik, mille kaudu neid juhitakse segistisse. Iga tootmisliini kohta on kaks segistit: väliskihtide ja keskkihi jaoks. Peale segisteid läheb puit pikietteande transportööril laoturitesse (8), mille eesmärk on moodustada jooksva lindi peale esmaselt alumine kiht, siis keskmine kiht ja ülemine kiht. Edasi laastuvaip läheb eelpressi (9), kus vaipa tihendatakse ja selle paksus märgatavalt väheneb. Seejärel eelpressitud laastuvaip viiakse kuumpressi (10), kus toimub vaigu kõvendamine ja plaadi moodustumine. Pooltoode trimmitakse (11), jahutatakse (12) ja suunatakse vahelattu (13). Sealt läheb jahutatud plaat servlõikamisele. Pärast seda operatsiooni plaat lihvitakse (14) teatud paksuseni ja lõigatakse õigesse formaati (15). Valmisplaat viiakse valmistoodangu lattu, kus toimub plaadi pakendamine (16). Sageli läheb plaat lamineerimisele/spoonimisele. (Šumigin, i.a)



Joonis 1. Plaatmaterjali tootmisprotsess (Šumigin, i.a)

2 LAMINAADID

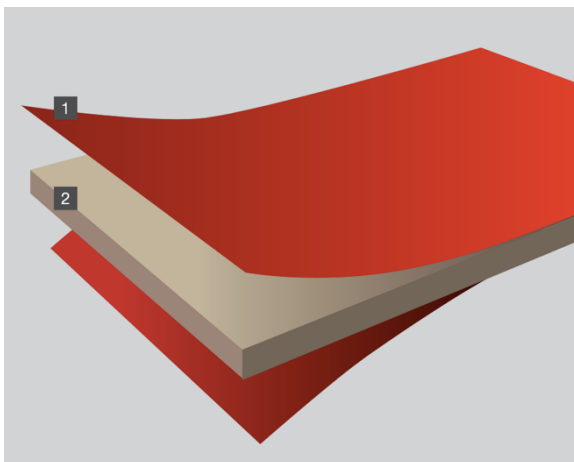
Laminaat on materjal, mis on valmistatud kahe või enama tselluloosse kiulise materjali (enamasti paberikihi) ühendamisel formaldehüüdvaikudega. Lamineerimisprotsess viitab tavaliselt nn. võileiva protsessile, mis hõlmab soojust ja survet. (Bulian & Graystone, 2009, lk 46) Laminaate on väga palju erinevaid alates tavalisest mööblilaminaadist kuni sõrmejälgedevastaste ja tulekindlate laminaatideni välja.

Alljärgnevad laminaadi tüübid valisin mitmel põhjusel. Esiteks töö eesmärk on uurida laminaadi jääkide utiliseerimise ja taaskasutamise võimalusi, kuid kuna laminaadi sortiment on äärmiselt lai, siis sai valik kitsendatud just järgnevatele, kuna need on Eesti mööblitootjate poolt enim kasutust leidvad surve laminaadi tüübid.

2.1 Madalsurve laminaat

Madalsurve laminaat (LPL/LPM), tuntud ka kui viimistletud plaat või melamiin, on õhuke, üks melamiinpaber, mida pakutakse tavaliselt paneelide kujul. See koosneb melamiinvaiguga immutatud dekoratiivpaberist (vt joonis 1, nr 1), mis on ühendatud otse PLP või MDF aluspinnaga (vt joonis 1, nr 2). (SteedForm, 2019)

LPL paneelide valmistamisel ei kasutata liime, kuna paberis olevad vaigud sulavad paberi plaadile. (Wilsonart, 2020) Erinevalt HPL-st töötab LPL tootmisprotsess madala rõhu (200–350kg/m² (20-30 bar)) ja kõrge temperatuuri (170-190°C) juures. Kuna LPL paber on spetsiaalselt konstrueeritud termiliseks sulatamiseks substraadiga, pole sellel HPL-is leiduvat jõupaberi südamikku, seega on LPL-i löögikindlus madalam. (Wilsonart, 2020)



Joonis 2. Madalsurve laminaat (internet)

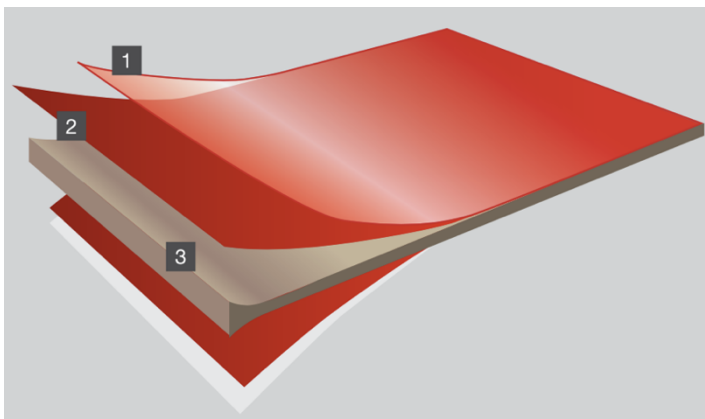
2.2 Kõrgsurvelaminaat

Kõrgsurvelaminaat ehk HPL luuakse mitmeastmelise protsessi abil. Toode koosneb kuuest kuni kaheksast kihist fenoolvaiguga immutatud pruunist jõupaberist (vt joonis 2, nr 3), MF-vaiguga läbi immutatud dekoratiivpaberist (mustri, värvi või puidutükiga) (vt joonis 2, nr 2) ja läbipaistvast melamiinkihist (vt joonis 2, nr 1). Neid kihte toodetakse rõhu all 1000 kg ruutmeetri kohta, temperatuuril 140°C+. (SteedForm, 2019; Honka, 2015) Põhimõtteliselt koosneb üle 60% HPL-ist paberist ja ülejäänud 30 kuni 40% koosneb tahkunud fenool-formaldehüüdvaigust südamikukihtides ja melamiinformaldehüüdvaigust pinnakihis. (Egger, 2014)

HPL saadakse mitme jõupaberi kihi küllastamisel fenoolvaiguga. Enne pressimist pannakse jõupaberi peale kiht trükitud dekoorpaberit. Saadud kihid sulatatakse kuumuse ja rõhu all kokku. Kuna fenool- ja melamiinvaigud on termoreaktiivsed plastid, muudab kõvenemisprotsessis vaigu plastiks ristsidumisprotsessi abil, mis muudab paberilehed üheks jäigaks lamineeritud leheks. Termoreaktsioon loob tugevad, pöördumatud sidemed, mis aitavad kaasa selle vastupidavusele. (Composite Panel Association) HPL paksus varieerub tavaliselt erinevate välimuskategooriate (karedus, värv ja läige) vahemikus 0,5 kuni 1,0 mm. (Bulian & Graystone, 2009)

HPL-i kasutatakse nii horisontaalsetel ja vertikaalsetel pindadel tänu tema vastupidavusele. Pabersüdamiku struktuurne terviklikkus tagab kõrge löögikindluse, mis võimaldab HPL-i kasutada tiheda kasutusega kohtades. (Wilsonart, 2020)

HPL-leht tuleb ostes tavaliselt ilma aluspinnata. Selle kinnitamine alusele, näiteks MDF-le või PLP-le, on kõik koos uus protsess - seda nimetatakse tavaliselt liimimiseks või laminaadi paigaldamiseks ja selles protsessis kasutatakse üldjuhul PVA-d. (SteedForm, 2019)



Joonis 3. Kõrgsurvelaminaat (internet)

2.2.1 Pidev pressitud laminaat

Termin CPL annab vihje tootmisprotsessile: CPL-i toodetakse pidevalt töötavates topeltlintpressides, mille survejõud on vahemikus 30–70 bari ja temperatuur vahemikus 150–170°C (Egger, 2019). CPL-id koosnevad fenool- või aminoplastvaigudega immutatud paberisüdamikukihtidest ja aminoplastvaiguga (tavaliselt melamiin) immutatud paberi pinnakihist. Kihid liimitakse kokku lamineerimisprotsessi abil, kasutades soojust ja survet. Ühel küljel on väliskihil dekoratiivsed värvid või kujundus. Neid toodetakse rullides paksusega umbes 0,2 mm ja kaal umbes 200 g/m. (Bulian & Graystone, 2009)



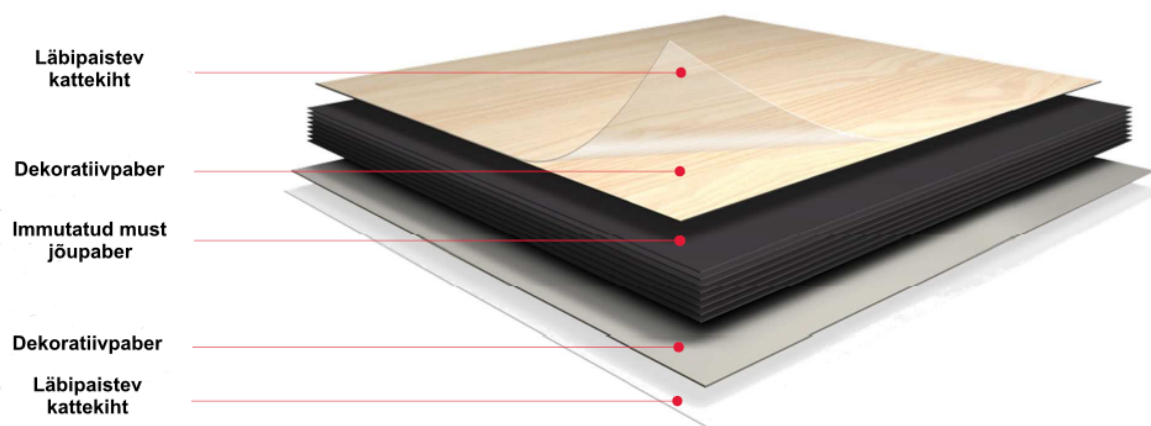
Pilt 6. CPL (internet)

2.2.2 Compact laminaat

Compact laminaadi valmistamiseks immutatakse mustad jõupaberi lehed veepõhise fenoolvaiguga ja dekoratiivsed pinnapaberid immutatakse veepõhise melamiinvaiguga. Need kuivatatakse individuaalselt tööstuslikus ahjus ja seejärel laotakse üksteise peale, keskel mitu jõupaberi kihti ning üleval ja all dekoratiivkiht. Need pakid pressitakse kõrgel temperatuuril kokku, aktiveerides vaigud ja sulatades kihid jäädavalt üheks paneeliks. Valmistootte väljanägemise määravad dekoratiivsed pinnapaberid. Jõupaberi südamik annab

igale paneelile iseloomuliku musta ääre, mida saab töödelda sileda viimistlusega või muul viisil detailidena. (Laminex, 2020)

Materjalid ja tootmisprotsess on kõrgsurvelaminaadi valmistamiseks kasutatavate materjalidega sarnased ning need loovad pinnamaterjali, mis on kriimustuste ja löögi, plekkide, kuumuse ja vee suhtes sama vastupidavad. Kuid compact laminaadi sisemiste jõupaberi kihtide lisapaksus annab sellele palju suurema tugevuse ja jäikuse. Nii palju, et paneelid on isekandvad ja neid saab kasutada pigem raamimisel kui horisontaalsete pindade aluspinnal. (Laminex, 2020)



Joonis 4. Compact laminaat (internet)

2.3 Kõrgsurve- ja compact laminaadi valmistamise protsess

Laminaatilehe tagakülg on valmistatud teatud tüüpi käsitööpaberist, mida saab küllastada nii, et see ei muutu märjaks ega rebene. Paber kaetakse vaiguga, mis sisaldab fenoolist ja benseenist saadud ühendit. Vaik ainult ei kata paberit, vaid imendub sellest läbi. Seejärel siseneb paber kuivatusahju. Kuum õhk muudab vaigu kõvaks mõne sekundiga. Peale seda saab paberi rulli keerata. (Collier, 2009)

Laminaadi ülaosa nimetatakse dekoratiivkihiiks. See on kas trükitud kujundusega või ühevärviline paberileht. Ühevärvilised paberid läbivad masina, mis immutab neid vastupidavama melamiinvaiguga. Vastupidavus on oluline, kuna dekoratiivkiht peab vastu pidama kulumisele. Kaks suurt rulli väänavad liigse vaigu välja. Seejärel läheb küllastunud paber kuivatusahju. Kui vaik on kõvenenud, lõikab lõikur paberi lehtedeks. Enne vaiguga töötlemist on paber paindlik ja kergesti rebenev, kuid peale immutamist on see jäik ja habras. Kokku murdes käitub see justkui kartulikrõps. (Collier, 2009)

Seni kuni küllastunud käsitööpaberi rullid lõigatakse lehtedeks, valmistatakse ette teised dekoratiivkihtide kujundused. Need, millel on näiteks jäljendatud puidumustrit või graniiti. Nende paberite valmistamise protsess on üsna erinev ühevärviliste paberite valmistamise protsessist. Alustatakse nende lehtedeks lõikamist. Sama suurteks kui käsitööpaberi lehed. Need paberid ei lähe läbi vaigust küllastumiseks, vaid need virnastatakse asetades igaühe peale kaitsekiht. See kiht on läbipaistev paberileht, justkui õhuke salvräti paber, mis on küllastunud melamiinvaiguga. Seejärel laotakse ühevärvilised lehed ühte hunnikusse. Peale seda läheb virn pressiruumi. Iga dekoratiivkihi alla pannakse küllastunud käsitööpaberit. Iga dekoratiivkihi peale asetatakse tekstuurplaat. See hoiab ära pakside omavahelise kokku kleepumise. Terve pakk läheb seejärel kuivatusahju. Tugev kuumus ja rõhk suruvad kihid kokku. Kaitsekihid seonduvad trükitud paberitega ja küllastunud käsitööpaber seondub iga dekoratiivkihiga, luues laminaatlehed. Tekstureeritud plaadid iga komplekti vahel trükivad laminaadi pinnal olevale kuumpehmendatud vaigule mustri. Laminaadid väljuvad pressist täielikult kõvenenuna. Viimistlusliinil kärbitakse masinaga üleliigne paber servadelt maha ja lihvitakse lehtede tagumine külg. See aitab laminaadil paremini kleepuda puitlaastplaadile või muud tüüpi aluspinnale. (Collier, 2009)

Compact laminaatide tootmiseks koostatakse paks virn sama teekonna läbinud, aga musta värvi fenooliga küllastunud käsitööpaberit ja asetatakse see kahe dekoratiivkihi vahele. Press sulatab ja liimib kõik lehed tahkeks pakiks. Dekoratiivkihte võib panna värvide vaheldumise eesmärgil mitu tükki, mis annab triibulise serva. Compact laminaadid on nii paksud, et on täiesti isekandvad. Nii et erinevalt laminaatplaatidest ei pea neid aluspinnale kandma. (Collier, 2009)

3 FORMALDEHÜÜDVAIGUD

Fenool- ja karbamiidformaldehüüdvaigud on kõige sagedamini kasutatavad termoreaktiivsed polümeerid. Fenoolvaigud olid esimesed tõeliselt sünteetilised polümeerid, mida kaubanduslikult toodeti. (Chanda, 2018) Formaldehüüd on värvitu, tuleohtlik, tugeva lõhnaga kemikaal, mida kasutatakse vaikes (sh. liimides) ja puitkomposiitoodete (lehtpuuvineeri, puitlaastplaatide ja keskmise tihedusega puitkiudplaatide) valmistamiseks. Formaldehüüdiga kokkupuutel võib olla tervisele negatiivne mõju nii lühemas kui pikas perspektiivis. Formaldehüüd võib põhjustada naha, silmade, nina ja kurgu ärritust. Suur kokkupuude võib põhjustada teatud tüüpi vähki. (EPA, i.a)

Fenool- ja karbamiidvaigud on suure mahuga termoreaktsioonid, mis tulenevad nende olemasolust tänu lähteainete suhteliselt madalale maksumusele ning nende ülimale termilisele ja keemilisele vastupidavusele. Tänapäeval kasutatakse neid vaikes laialdaselt vormimisrakendustes, pinnakatete ja liimide valmistamisel, lamineerimisel, vaikes, sideainete ja immutusvahendite valimisel ning paljudes muudes valdkondades. Eelistatud töötlemisvorm on pressvormimine. Nagu kõigi formaldehüüdi põhinevate toodete puhul, on siiski mure nende vaikes toksilisuse pärast töötlemist ja formaldehüüdi jääkide pärast lõpptootes. (Chanda, 2018) Mõlemad termoreaktiivsete vaikes rühma kuuluvad vaigud reageerivad pöördumatult kõvenemisprotsessi käigus tekkinud ristseotud keemiliste sidemete kaudu, saades mittereaktiivse, stabiilse materjali, mille omadused erinevad täielikult selle komponentide omadest. (PRO-HPL, i.a)

3.1 Melamiinformaldehüüd

Melamiinformaldehüüd (MF) valmistatakse formaldehüüdi (keemiline valem CH_2O) polümeriseerimisel melamiiniga (keemiline valem $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$) Tegemist on termoreaktiivse plastikuga, mis tugevneb, kui seda kuumutada. Kui see plastik on kuumutamise protsessi läbinud, ei ole seda võimalik enam vormida, uuesti sulatada ega modifitseerida. Melamiinformaldehüüdplastid säilitavad oma tugevuse ja kuju, erinevalt teist tüüpi termoplastidest, mis pehmenevad kuumusega ja jahutamisel kõvenevad (näiteks atsetaat, akrüül ja nailon). (Science19, i.a)

Puitlaastplaadi ja vineeri liimidena kasutatavaid melamiinformaldehüüdvaikes kasutatakse veel lisaks laialdaselt autode, epoksükatete ja polüesterseadmete valmistamisel. Melamiinformaldehüüdlaminaate kasutatakse seinte, kappide ja lettide pealispinnaks ning

ühistranspordis dekoratiivsete lamineeritud paneelide valmistamiseks. Melamiin-formaldehüüdvormid on kõvad, kriimustus- ja löögikindlad ning kokkutõmbumis- ja kuumakindlad. Neid kasutatakse majapidamistarvete näiteks klaaside, tasside, kausside ja taldrikute valmistamiseks. (Science19, i.a)

3.2 Fenoolformaldehüüd

Fenoolformaldehüüdvaigud (PF) või fenoolvaigud on sünteetilised polümeerid, mis on saadud fenooli või asendatud fenooli reageerimisel formaldehüüdiga. Bakeliidi alusena kasutatud PF-id olid esimesed kaubanduslikud sünteetilised vaigud (plastid). Neid on laialdaselt kasutatud vormitud toodete, sealhulgas piljardikuulide, laboratoorsete tööpindade tootmiseks ning katete ja liimidena. PF vaike kasutatakse üldjuhul välistingimustesse minevates toodetes. (Phenol-Formaldehyde Resin, i.a)

3.3 Karbamiidformaldehüüd

Karbamiidformaldehüüd (UF), tuntud ka kui karbamiid-metanaal, mida nimetatakse nii tavalise sünteesitee ja üldise struktuuri poolest, on läbipaistmatu termoreaktiivne vaik või polümeer. Seda toodetakse karbamiidist ja formaldehüüdist. Neid vaike kasutatakse liimides, viimistluses, puitlaastplaadis (PLP), keskmise tihedusega puitkiudplaadis (MDF) ja vormitud esemetes. UF ja sellega seotud aminovaigud on termoreaktiivsete vaikude klass, millest karbamiidformaldehüüdvaigud moodustavad kogu maailmas toodetust 80%. Aminovaigude kasutamise näited hõlmavad autorehve, et parandada kummi sidumist rehvi nõõriga, paberis, mis parandab rebenemistugevust, elektriseadmete vormimisel, purgikorkidel jne. (Urea-Formaldehyde, i.a) Selle turuhind tonni kohta jääb 500-1000€ vahele. (Kers, 2021)

4 MUJAL MAAILMAS

Jätkusuutlikku disaini toodavad nii mõnedki ettevõtted maailmas nagu näiteks Green Furniture (Rootsi), Nnof (Belgia), Herso (Holland) jpt (Erasmus+, 2017). Nende ettevõtete südameasi on toota oma mööblit võimalikult loodussõbralikest ning taaskasutatavatest materjalidest. Herso toodab oma mööblit vaid vanadest põrandalaudadest, tööstus- ja mööblijääkidest ning oma puidust. Taaskasutatakse ka rauatükke, näiteks naelu, samas kui saepuru kasutatakse bioalkoholi, kassiliiva ja komposti valmistamiseks. Harvadel juhtudel peavad nad kasutama uut puitu, kuid seljuhul on alati see FSC heaks kiidetud. Nnof on roheline ettevõtte, kes pakub teenuseid keskkonda säästvatel moodustel, näiteks kõik firma sisesed sõidud tehakse hübriid autodega. Green Furniture Rootsis hindab hoolikalt mööblis kasutatavaid keemilisi aineid, veendumaks, et tarnitavad tooted ei sisalda ökotoksiine ega kahjulikke aineid. Lisaks kujundavad nad oma tooteid taastuvatest ja taaskasutatavatest materjalidest ning kasutavad võimalikult suurt protsenti juba ringlussevõetud materjalist. Viimaseks on neil ka *buy-back* strateegia ehk oma Nova C seeria puhul nad võtavad toote tagasi ja vastutavad ise selle utiliseerimise eest ning tasuvad kliendile tagasi esialgse kulu.

Jääkide taaskasutamine, nendest keskkonna säästlikul moel vabanemine on saanud eesmärgiks paljudes riikides, kuid sellega nii intensiivselt ei tegeleta. Ettevõtted ei ole võimalised kõiki juhiseid järgima, sest see on kulukas. Ettevõtte ümber reformimine paljude ettevõtete puhul on äärmiselt keeruline. Ka ringmajanduse põhimõtteid saab rakendada tihti vaid siseriiklike toodete puhul. Tooted, mis liiguvad ekspordina riigist välja, on juba selle teise riigi probleem lahendada, kuidas sellest tootest hiljem võimalikult efektiivselt ja keskkonnasäästlikult vabaneda.

Erinevaid võimalusi plastidest vabanemiseks on leitud, kuid tihti ka need ei ole kõige, kas keskkonda säästvamad või efektiivsemad variandid. Prügimäele ladustamine on neist moodustest kõige lihtsam. Pürolüüs kasutab rohkem energiat kui välja annab, jääkide põletamise eesmärgil on vaja neid sorteerida, purustamise puhul on samuti vaja neid eraldada, et saadud materjali oleks võimalik täiteainena kasutada.

IKEA on leidnud lahenduse osale oma mööbli taaskasutamisele. Nimelt inimestel on võimalik oma mööbel IKEAle tagasi müüa, kui mööblil on olemas vastav märkis (vt pilt 7). Täita tuleb nende poolne vorm ning mööbel viia lähimasse kauplusesse ning sealt saab antud mööblitüki originaal hinnast 30-50%, oleneb mööbli seisukorrast, tagasi ning see makstakse

välja nõ poe krediidina. Sama mööbel pannakse tagasiostu hinna eest *second-hand* poodi müüki, lisatakse vaid käibemaks.

The product you wish to buy back must be labeled or engraved to identify it as an IKEA product.



Pilt 7. IKEA mööblil paiknevad sildid (IKEA)

4.1 Taastöödeldud MDF

Üks taaskäitlemise võimaluseks on *recycled* MDF (rMDF) ehk taastöödeldud MDF, kus MDF-i sisemine kiht asendatakse taastöödeldud materjaliga, mis ei ole puhtalt puidukiud.

Ühes Lõuna- Korea uuringus prooviti rMDF-i toota kolme eritüüpi pinnalaminaadist - madalrõhulaminaat, polüetüleentereftalaat ja polüester-kattest. Kõik kolm purustati vasaraveski abil ning seejärel läbisid patenteeritud kiudude taastamise süsteemi, et saada RF-deks ehk *recycled fibers*-iteks, mis lisati rMDF-i südamikukihile. Need RF-d segati kolmes sisalduses (10, 20 ja 30%) enne kuumpressimist 12% karbamiidformaldehüüdi (UF) vaiguga. Analüüs näitas, et parima sisemise sidumistugevuse, purunemis ja elastsus näitajad saavutati 20% RF sisaldusega LPL-rMDF-il ehk madalrõhulaminaadi jääkide lisamisel MDFi südamikule. RMDF paksuse paisumist, veeimavust ja formaldehüüdi emissiooni vähendati RF-sisalduse suurendamise teel. Need leiud viitavad sellele, et rMDF-i tootmiseks võib asendada südamikus muidu kasutatavad neitsikuid ehk toorpuut minimaalselt 20% RF-iga, mis näitab lamineeritud MDF-jäätmete ringlusessevõtu otstarbekust kolmekihiliseks rMDF-ks. (Hong et al. 2018).

Kuid kuna Eestis MDF-i tootmist ei toimu, ei saa seda antud lahendust rakendada Eesti siseselt, kuid saab alati suunata/toetada seda, et rMDF plaate sisse ostetakse ja eelistatakse tavalisele MDF plaadile. Kurb tõsiasi selle juures on, see, et kuna rMDF-i tootmisesse on sisse läinud rohkem energiat, on see ka kallim, mille tõttu siiski eelistatakse tavalist MDF-i, kuna see on odavam. Siinkohal oleks võimalus sekkuda riigil, et nõuda ja toetada taaskasutatud materjalidest toodetud materjalide kasutust.

5 LAMINAADI UTILISEERIMINE

Laminaadid sisaldavad formaldehüüde, mis on termoreaktiivsed plastid. Erinevalt termoplastidest ei ole termoreaktiivseid plaste võimalik uuesti lahustada, üles sulatada, uuesti kokku panna ja ümber vormida. Termoreaktiivsete plastide üks väheseid ümbertöötlemise strateegiaid on selle peenestamine peeneks pulbriks, et seda kasutada uute termoreaktiivsete vaigude või termoplastsete komposiitide täiteainena. (Kers, 2006)

Kõrgsurvelaminaadi ettevõtete nagu ICDLI (International Committee of the Decorative Laminates Industry) tehnilise teabelehe andmetel süttib laminaat alates 400°C juures ning on kõrge kütteväärtusega (18-20MJ/kg), mille tõttu on HPL ideaalne termiliseks ringlussevõtuks. Kui põletatakse täielikult temperatuuril 700°C, tekitab HPL vett, süsinikdioksiidi ja lämmastikoksiide. Kuid sellest hoolimata on enim levinud teadmine, et laminaadi põletamine tavaahjus, mille keskmine temperatuur on 800-900°C (Ladva, 2012), on siiski keskkonnale kahjulik, sest temast eralduvad ühendid, mis õhku paiskuvad, on ohtlikud ja sellest tulenevalt seda müüakse edasi ka ohtliku jäätmena. ICDLI väiteid arvesse võttes tekib küsimus, et kui üks ettevõtte nii enesekindlalt väidab, et laminaati on ohutu põletada, siis mis on reaalsus, kui levinud teadmine on teine.

Sellest tulenevalt soovisin teada saada, kuidas laminaadid kuumusega reageerivad. Tartu Ülikooli keemia instituudis viidi läbi termogravimeetriline analüüs ning TalTech Virumaa kolledži Põlevkivi Kompetentsikeskuses pürolüüs, mille tulemused on esitatud järgmises peatükis.

5.1 Termogravimeetriline analüüs

Üks võimalus teada saada, kuidas laminaadi põletamine välja näeb ja mis jääb järele, on termogravimeetriline analüüs. TGA on meetod, kus on näha, mis temperatuuril kui palju materjali mass väheneb. Seda saab teha nii hapniku/õhu keskkonnas, aga ka inertgaasi keskkonnas.

TGA-d kasutatakse erinevate materjalide (nt polümeeride) temperatuurist sõltuvate massimuutuste ning termiliste efektide hindamiseks. (TGA/DSC-MS) Teste saab läbi viia erinevates kontrollitud keskkondades. Näiteks kuumutusrežiimis, kus temperatuur on muutuv või isothermilises režiimis, kus temperatuur on püsiv. (Taskutark, i.a; Laboratuar, i.a) Antud analüüsi tegemiseks kasutatava masina eelisteks on kõrge resolutsioon ning väga lai

temperatuurivahemiku kasutamise võimalus (maksimum 1240°C). (TGA-DSC-MS) Antud aparaat on olemas nii Tartu kui ka Tallinna Tehnikaülikoolil.



Pilt 8. TGA aparaat Thermal Analyzer STA 449 F3 Jupiter

5.2 Pürolüüs

TalTech Virumaa kolledži Põlevkivi Kompetentsikeskuses on võimalik viia läbi pürolüüsiprotsess laboritingimustes. Püro tähendab soojust, lüüs - lagunemist. (Pyrolysis, i.a)

Pürolüüsiprotsessi käigus saab plasti tagasi kasutatavaks kütuseks muuta. Seda protsessi nimetatakse plastipürolüüsiks, tuntud ka kui depolümeriseerimine. Selles protsessis jaotatakse pikad polümeermolekulid (plastist) kuumuse ja rõhu abil lühemateks süsivesinike ahelateks. Temperatuuri alandamiseks ja saagise suurendamiseks lisatakse katalüsaator. See on keeruline protsess ja ka ohtlik, kuna tegemist on süsivesinikega aga mõistmise eesmärgil tähendab plastipürolüüsi protsess lihtsalt kasutatava kütteõli ekstraheerimist plastijäätmetest. Õli ekstraheerimiseks tuleb plastikut hapniku puudumisel kuumutada temperatuurini üle 400°C. Sellel temperatuuril on plastikust pika ahelaga molekulid pragunenud ja tekitavad sünteetilist toorõli. (Oruganti, 2020)

Plasti pürolüüs on väga tõhus protsess, kus plastik on hapnikuvabas keskkonnas kõrge temperatuuri all. Mis tahes temperatuuril on molekul vibreerivas staadiumis. Seda nimetatakse molekulaarseks vibratsiooniks. Molekulide vibreerimine on otseselt proportsionaalne molekulide temperatuuriga. Pürolüüsi ajal allutatakse molekulidele väga kõrgele temperatuurile, mis põhjustab väga kõrgeid molekulaarseid vibratsioone. Selle suure molekulaarse vibratsiooni korral on objektis olevad molekulid venitatud ja raputatud sellises ulatuses, et molekulid hakkavad lagunema väiksemateks molekulideks. See ongi pürolüüs. Plasti on raske lagundada ja sinna peab lisama katalüsaatori, mis aitab keemilisi sidemeid purustada. Katalüsaator on aine, mis kiirendab keemilist reaktsiooni, kuid mida reaktsioon ise ei tarbi. Katalüsaatorina kasutatakse enamasti kivisöe või tseoliidi põletamisel saadud lendhelsi. Lõpuks saadakse jäätmeplatsist umbes 80% õli, 15% gaasi ja 5% tahma või tuhka. (Oruganti, 2020)

Plasti pürolüüsiprotsessis on palju etappe. Esiteks lähevad plastijäätmed eeltötlusprotsessis purustamisele, seejärel toimub pürolüüs, siis kondenseerumine ja rafineerimine. Plastijäätmed suunatakse kõigepealt eeltötlusprotsessi, mis eemaldab kõik võõrkehad. Seejärel saadetakse plasti mass purustisse. Plasti purustaja on masin, mida kasutatakse plasti purustamiseks väiksemateks tükkideks. Seejärel suunatakse väiksemad plastitükid tihendisse, mis surub tükid tihedaks materjaliks, et hõlbustada ladustamist või käsitsemist. Peale seda saadetakse nad kambrisse, kus toimub plastipürolüüs. Plasti

kuumutatakse katalüsaatoriga ja hapniku puudumisel kuni 450 kraadi juures. Plastik sulab aeglaselt ja muundub gaasideks. Seejärel suunatakse gaas kondensaatorisse, mille järel toimub kondenseerumine. Kondensatsioon tähendab aurude või gaaside muundamist vedelikuks. Seejärel liigub see rafineerimistehase kambrisse ja lõpuks rafineeritakse plastjätmed umbes 80% õliks, 15% gaasiks ja 5% tahmaks (tuhk). Seda õli kasutatakse küttematerjalina ja müüakse tsemendi-, klaasi-, keraamika-, elektrivabrikutele jne. Samuti kasutatakse ka raskeõli generaatorites elektri tootmiseks ja samuti kasutatakse seda diisliõli tootmiseks, kuid see on destilleerimisjaamas palju keerulisem protsess. Lõplikku õli võib kasutada veoautodes, traktorites jne. 15% gaasist suunatakse tagasi ahju reaktori soojendamiseks, mis seisneb söe, puidu, õli asendamises ja ülejäänud tahma või tuhka kasutatakse rübuna ehituses. Kasutatakse ka kivisöe asendajana. (Oruganti, 2020)

5.3 Plasti pürolüüsi eelised ja puudused

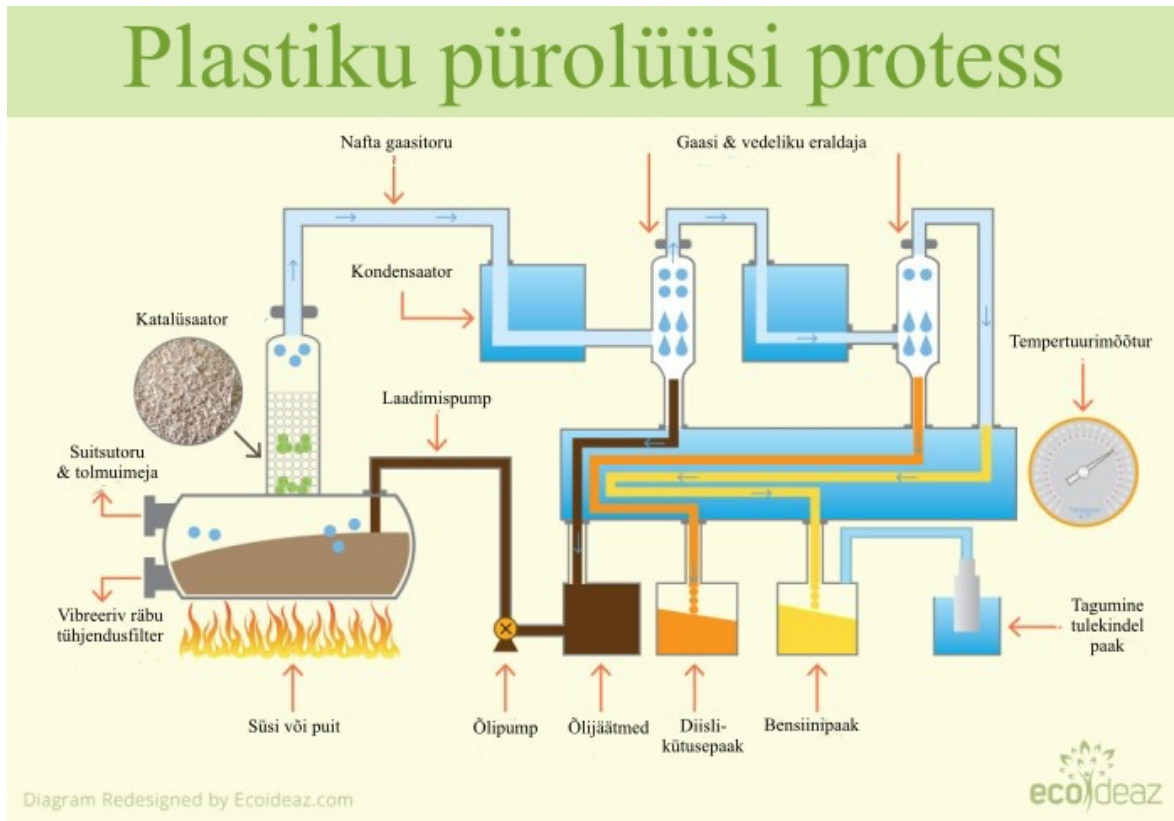
5.3.1 Eelised:

1. See vähendab prügilasse sattuvate jäätmete hulka, kasvuhoonegaaside emissiooni ja veereostuse ohtu (Oruganti, 2020).
2. See loob uusi töökohti madalama sissetulekuga inimestele, lähtudes regioonis tekkivate jäätmete kogusest, mis omakorda toob rahva tervisele kasu, kui jäätmed puhastatakse (Oruganti, 2020).
3. Pürolüüs on väga tõhus vahend, mis iganes plasti töötlemiseks. Plastid võivad olla eritüüpi, puhtad kui ka mustad, suured ja väikesed. (Wastetireoil, i.a)
4. Polüetüleen, polüpropüleen, polüstüreen ja ABS plastikute puhul on õli saagis suurem kui 50%, mis tähendab, et 10-tonnise plastjätmetega saab ekstraheerida vähemalt 5 tonni pürolüüsi kütteõli. See protsess muundab jäätmed uueks energiaks, nii et see projekt on igati kasumlik. (Wastetireoil, i.a)

5.3.2 Puudused:

1. Pürolüüs on energiat tarbiv protsess. Jäätmete töötlemiseks tuleb kulutada rohkem energiat kui tegelikult taaskasutada saab. (Oruganti, 2020)
2. Plasti pürolüüs ei saa kunagi olla jätkusuutlik (Oruganti, 2020).

3. Kuna pürolüüsitehnoloogia kasutamine kuulub keemiliste projektide hulka, on loa saamine selle rajamiseks keeruline. See võtab aega ja vaeva. (Wastetireoil, i.a)
4. Kui kvalifitseerimata plastpürolüüsijäätmejaamad ei vasta heitgaasinormidele, tekitavad nad pinnase ja õhu reostust (Wastetireoil, i.a).



Joonis 5. Plastiku pürolüüsi protsess (Ecoideaz)

6 TERMOGRAVIMEETRILISE ANALÜÜSI TULEMUSED

Lisaks teaduslike artiklite läbitöötamisele soovisin ühendust saada meie ülikoolide esindajatega ning uurida, kas Eestis on selles valdkonnas midagi tehtud. Otsutasin kasutada Eesti ülikoolide ning teadus- ja arendusasutuste koostöövõrgustikku Adapterit. Tegin päringu, mille tulemusena viidi mind kokku Tartu Ülikooli bioorgaanilise keemia professori Uno Mäeoruga, kes tutvustus mulle ja minu juhendajale termogravimeetrist analüüsi. Edastasin Tartu Ülikooli keemia instituuti 5x5cm suurused laminaadi tükid (vt lisa 8), mille peal viis Mäeorg läbi FTIR spektri analüüsi Perkin Elmer Spectrum BX II FTIR spektromeetriga (vt pilt 9), kasutades ZnSe ATR peegeldusseadet ja tema üllatuseks oli nii punase kui ka heleda laminaadi proovijupi mõlema poole tulemused (vt lisa 4) erinevad.

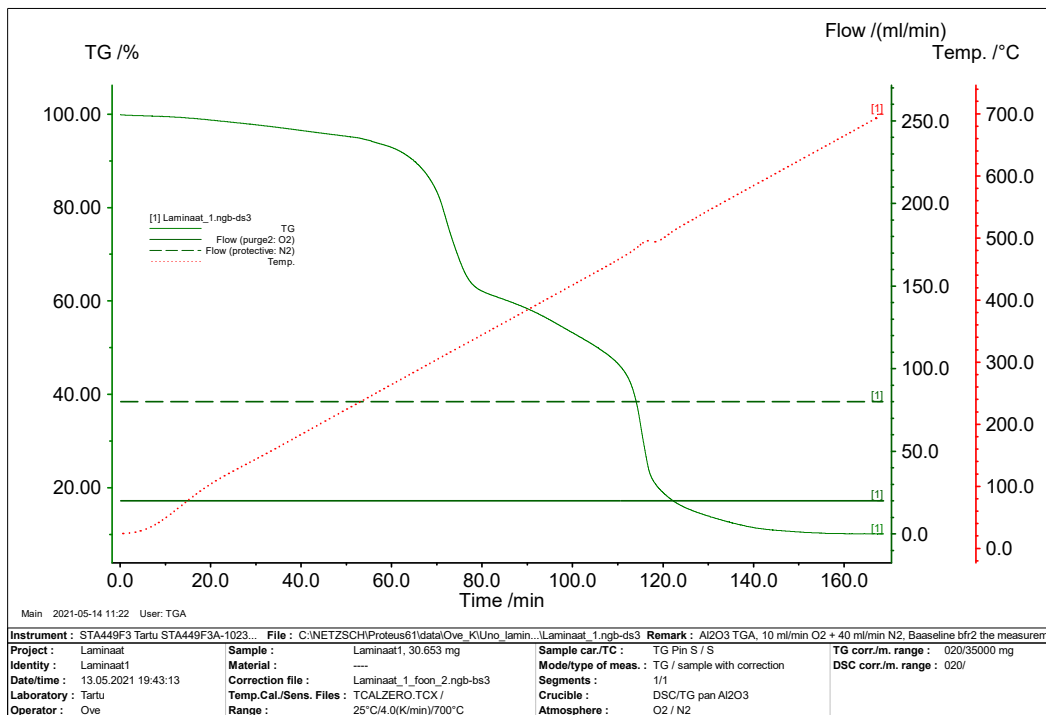


Pilt 9. Perkin Elmer Spectrum Bxii LX185255 (LabPlanet)

Mäeoru sõnul on see oluline faktor nende töötlemisel millekski, kuna nagu toidulaminaatpakendite, elektrijuhtmete isolatsioonimaterjali jms puhul on keemiline koostis äärmiselt oluline.

Huvitav avastus oli, et nendes proovides Mäeoru väitel esmavaatlusel fenool- ega karbamiid-formaldehüüdvaike spektrid eriti ei näidanud (vt lisa 4). „Seal peaks FTIR spektris olema üsna intensiivsed maksimumid 1200 1/cm piirkonnas, mis vastavad benseenituumas oleva süsiniku ja hapniku (fenooli C-O) sideme võnkumisele. Teatud madala intensiivsusega maksimumid seal on, mis võib olla tingitud näiteks nimetatud vaigu väikesest lisandist. Võimalik, et on kasutatatud mingit sorti epoksüvaike.“

Siit võib aga taaskasutusel kujuneda välja teatud trend, milliste omadustega produkti võiks mingist konkreetsest laminaadist saada. Sellest seisukohast vaadatuna on FTIR spektroskoopia lihtne, odav ja kiire meetod, mis aitaks ainuüksi spektrite statistilise töötlemise põhjal selekteerida erinevad laminaadid eri rühmadesse. Seejuures ei ole tarvis üldse spektreid detailselt interpreteeridagi. Sama sõnas Mäeorg ka termogravimeetria kohta: „Termogravimeetria võiks olla samuti hea meetod tuvastamaks laminaadi termilist käitumist. Sageli võib see olla oluline kriteerium, miliseid laminaatide jäätmeid koos taaskäidelda. Võibolla aitaks see ka taaskasutusel saada erinevate omadustegaprodukte/tooteid“.



Graafik 1. TGA tulemus laminaadi põletamisest

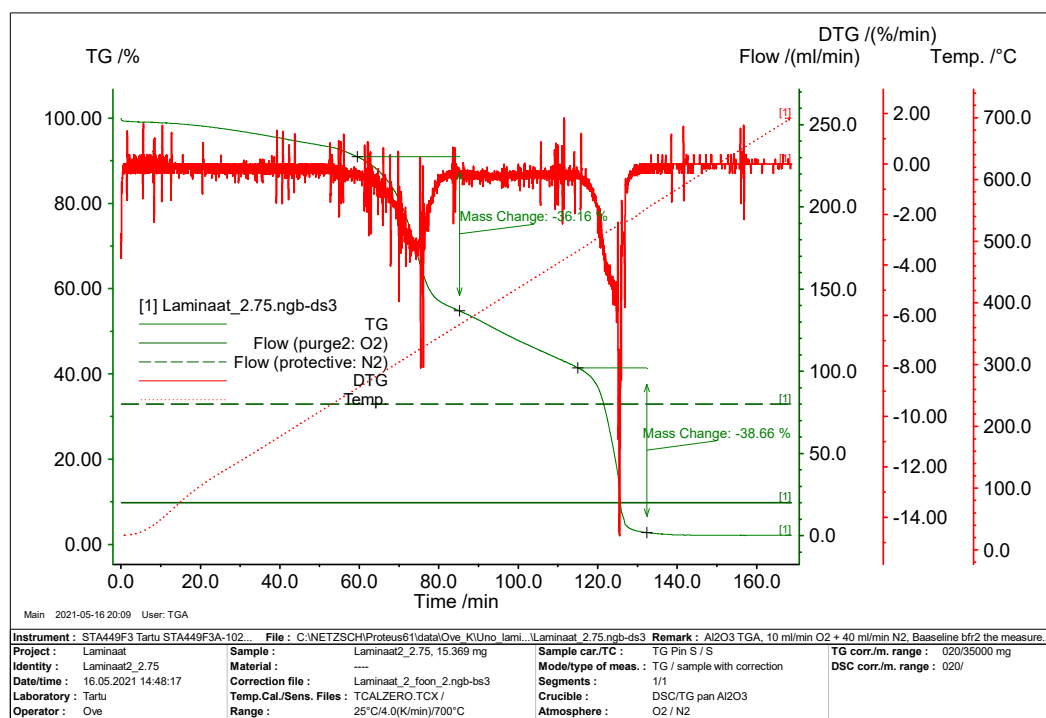
Test viidi läbi hapniku keskkonnas. Punane punktiirjoon näitab temperatuuri muutust ajas. X-teljel on aeg ja kõige parempoolne telg näitab temperatuuri. Seega saab igas ajapunktis vaadata temperatuuri väärtust, kui minna ajatelje punktil punktiirjooneni ja siis vaadata selle punkti y-koordinaadi (temperatuuri) väärtust.

Horisontaalsed kaks joont näitavad lämmastiku ja hapniku voolu kiirust, mis on konstantne kogu eksperimendi vältel. Testi läbiviimisel kasutatakse nn. sünteetilist õhku, et vältida tavalise õhu muudest komponentidest tingitud ebatäpsusi.

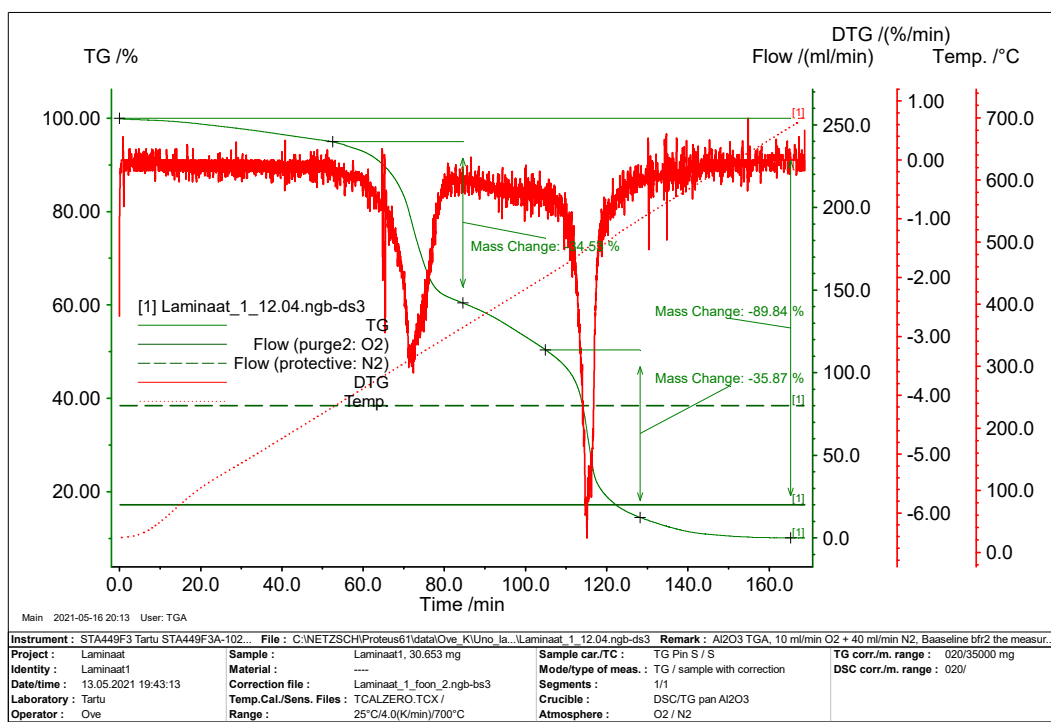
Mäeorg selgitas: „Graafil on näha integraalset massikao väärtust sellise temperatuuri programmi jooksul. Seal, kus mass kiiresti langeb toimub mingi intensiivsem protsess, mis põhjustab suuremat massi kadu. Sellised võivad olla, kas lihtsalt destruktiivsed protsessid, kus lõhutakse keemilisi sidemeid ja mille käigus tekib konkreetsel temperatuuril lenduvaid komponente. Samuti võivad ka mingid komponendid omavahel reageerida andes jällegi teatud lenduvaid komponente. Kuna testi läbiviimise keskkonnaks oli õhk, on suur tähtsus oksüdatiivsetel protsessidel. Samad pürolüütilised protsessid toimuvad ka inertgaasi atmosfääris. Kui tõmmata kõvera esimesest käänupunktist sirge alla aja teljele ja vaadata selle lõikepunkti väärtust temperatuuritõusu sirgel, siis saab teada, mis oli selle esimese protsessi temperatuur. Ligikaudu 10% oli massi kadu kuni intensiivsema massikao protsessi

alguseni. Selle intensiivse massikao protsessi alguses oli temperatuur ca 250 kraadi. Teise intensiivse massikao protsessi algus oli natukene alla 500 kraadi. Kusagil 600 kraadi juures olid massikao protsessid lõppenud. See tähendab, et järele olid jäänud oletatavasti mineraalsed täiteained (ca 10%), mis enam ei lagune. Üldiselt on orgaanilised ained 700 kraadi juures lagunenenud. Kõrgematel temperatuuridel võib ka anorgaaniliste ainetega midagi toimuda, isegi metalle on võimalik aurustada jne.,

Antud eksperimentist on võibolla oluline uurida, milliseid anorgaanilisi täiteained laminaatidele lisatakse ja vaadata, milline võiks olla nende keemiline käitumine õhu keskkonnas 700 kraadi juures. Taaskasutuse või utiliseerimise seisukohast on oluline siiski analüüsida seda jääki (10%) selle mõttega, et kas seda saaks panna (oleks ohutu ja tehnoloogiliselt aktsepteeritav) kusagile uuesti mingi materjali sisse või mõelda, mida sellega ette võtta, kuhu panna/ladustada. Kõige tähtsam on teada, kas see on ohtlik.



Graafik 2. Hele laminaat



Graafik 3. Punane laminaat

Sakiline signaal on toorsignaalist (mis on silumata ja ei näe välja selline nagu graafik 1.) võetud tulelis. Sellega saab määrata integraalse kõvera käänupunktide asukohta ehk siis ajamomenti, millal sellele vastav protsess oli kõige intensiivsem ja samuti, milline oli sellele vastav temperatuur. Reaalsuses on see sama asi, millest eelmises lõigus jutt, aga nüüd on näitajad graafiliselt visualiseeritud. Kuid nagu graafilt 2. ja 3. on näha, siis punane (graafik 3.) ja valge (graafik 2.) laminaat on pisut erinevad. Nende maksimaalsed massikaod on temperatuuri skaalal pisut nihkes. Selles pole midagi imelikku, sõnus Mäeorg ja ütles, et see sõltub konkreetse laminaadi koostisest ja ka täiteainete iseloomust ja suhetest.

7 PÜROLÜÜSI PROTSESSI TULEMUSED

Juhendaja abiga sai saadetud 1kg laminaati kui ka LPLP ehk lamineeritud puitlaastplaadi materjali jääke (vt lisa 5 ja 6) TalTech Virumaa kolledži Põlevkivi Kompetentsikeskusesse, et seal läbi viia materjalide pürolüüs. Tulemused on kajastatud järgnevates lõikudes.

Katsed viidi läbi laboratoorses keskkonnas katseseadmega, mis erineb suurtest pürolüüsi seadmetest. All olevas tabelis 1. on näidatud pürolüüsi produktide saagised protsentuaalselt, mis pürolüüsi protsessi tulemusel järele jäid. Testitulemused esitas mulle Põlevkivi Kompetentsikeskuse juhataja Kalle Pirk.

Tabeli paremaks mõistmiseks toon siia terminitele selgitused:

Õli on siinkohal pürolüüsiõli. Puidu utmise produktide saagisena jääb järele tõrv. Tõrv on tume viskoosne vedelik, orgaaniliste ainete, esmajoones tahkekütuste termilisel lagunemisel moodustuv orgaaniliste ühendite segu. Tõrva on hea kasutada millegi veekindlaks tegemisel. (Tõrv, i.a) Plastist võib saada ka naftasarnase saaduse, aga otseselt ei ole see siiski nafta.

Poolkoks on põlevkivi töötlemisel, õhu juurdepääsuta kuumutamisel (ehk utmisel) tekkiv tahke jääk. (EKI, 2019) Pirk lisas, et poolkoksi kasutusvõimalused vajavad hetkel veel täiendavat uurimist ning selle kütteväärtus (mis näitaks võimalust seda kütusena kasutada) ei ole hetkel määratud.

Tabelis näidatud **vesi** on pürolüüsi tulemusel tekkinud pürogeneetilinevesi. See tähendab seda, et tegemist ei ole mitte materjalis sisaldunud veega ehk niiskusega, vaid see vesi moodustub reaktsiooni tulemusena orgaanilises aines sisalduvatest hapnikuühenditest ja vesinikust.

Gaas+kaod selgitamiseks lisas Pirk kommentaari: „Reaalsetes tingimustes esinevad keemiliste protsesside läbiviimisel kaod: toimuvad kõrvalreaktsioonid; reaktsioon ei pruugi lõpuni kulgeda; lähteained võivad sisaldada lisandeid; saadusi ei ole võimalik täielikult kätte saada jne. Seetõttu on saagise hulk väiksem teoreetilisest hulgast. Kuna me ei mõõda sellise standardkatse juures täpset moodustuva gaasi kogust, siis on gaas ja kaod näidatud koos ja nad moodustavad õlist, poolkoksisist ja veest ülejääva osa tervikus (100% - õli – poolkoks - vesi).“

Nimetus	Õli	Poolkoks	Vesi	Gaas+kaod
LPLP jääk	25,5	29,6	19,9	25,0
laminaat	25,2	40,0	15,3	19,5
Eesti põlevkivi	17,5	77,0	2,3	3,2

	Õli+vesi	Poolkoks	Gaas+kaod
Puit	57,1	24,2	18,7

Tabel 1. TalTechi PPK-s läbiviidud pürolüüsi produktide saagised, %

Võrdluseks on toodud ka puidu saagised. Puhta puidu pürolüüsil tekkiv õli ja vee segu on raskesti lahutatav ja seetõttu näidatud tabelis koos. LPLP jäägi pürolüüsil on võimalik, et tekkiva piirituse arvel näib vee saagis kõrgem.

Antud tulemustest saab järeldada, et kõrgsurvelaminaadi põletamise tagajärjel jääb järele suurem kogus poolkoksi ehk tahket jääki, millel ei ole hetkel kasutusvõimalust leitud. Seda ei saa kasutada tuha/söena järgmiste põlemisprotsesside käivitamiseks nagu saab teha puidust tekkinud söe korral.

Madalsurvelaminaadiga ehk melamiiniga pealistatud puitlaastplaadi põletamise tulemused võrreldes laminaadiga on erinevad, kuna seal sees on puitu ja see tuhestub põlemise protsessi tulemusel ning melamiinleht PLP peal on niivõrd õhuke, et võrreldes kõrgsurvelaminaadiga, jääbki poolkoksi vähem järele. Vee osakaal on aga LPLP puhul kõrgem, sest puidus sisaldub ka orgaanilist H₂O-d.

Laminaadi pürolüüsil standard tingimustel (proov 50 grammi) ummistus gaasitoru plastilise massiga (st gaasistunud proov kondenseerus enne jahutit) ja seetõttu vähendati katses proovi kogus 25 grammini, mis võib ka mõjutada testi tulemuste numbreid. Kolvi tekkis ka pürolüüsi tulemusel valget sade (vt lisa 7), mida täpsemalt ei analüüsitud.

Gaasi koostis (vt lisa 9) määrati Agilent Technologies gaaskromatograafia. Tabelis (vt lisa 9) on punasega märgitud oluliselt kõrgemad CO₂ ja CO näitajad võrreldes põlevkivi pürolüüsigaasiga. Gaasi kütteväärtus võrreldes põlevkivi pürolüüsigaasiga on märgatavalt madalam (nii ülemine kui alumine kütteväärtus). CO₂ on oluline kasvuhoonegaas. CO on vingugaas, mis on süsivesinike mittetäieliku põlemise käigus tekkiv lõhnatu ja värvitu mürgine gaas, mis põhjustab aeroobse hingamisega organismidel vingumürgitust. Seetõttu saab järeldada, et laminaadi kui lamineeritud puitlaastplaadi põletamine nende kõrgete

vaikude sisalduse tõttu on õhukvaliteedile väga halb suurendades kasvuhoonegaaside hulka. Levinud teadmine, et nende põletamine ei ole hea tavalistes küttekolletes, millel puuduvad filtrid, on põhjendatud. Põlevkivi kütteväärtus ning kasvuhoonegaaside hulk on madalam, seega plastide pürolüüsist tekkiv gaas on ebakvaliteetsem ning ohtlikum keskkonnale.

Õli koostise määramiseks kasutati Vario Macro cube seadmega. Õli tiheduse määramiseks kasutati Mettler Toledo tihedusmõõturiga.

Nimetus	C	H	N	S	Tihedus
LPLP jääk	63,23	7,660	5,07	0,235	1076,0
laminaat	67,21	8,361	7,86	0,350	1098,2

Põlevkivi keskõli	82,37	9,705	0,24	0,81	0,950
Bioõli (õli puidust)	55,7	7,9	0,36	<0,1	0,925-0,970

Tabel 2 TalTechi PPK-s läbiviidud pürolüüsi protsessist tekkinud pürolüüsiõli koostis ning tihedus

C – süsinik
H – vesinik
N – lämmastik
S – väävel

Süsiniku tuntum vorm on tahm või teemant. Süsinikus stabiilseim oksiid on süsihappegaas (CO₂) ning oluline on ka süsinikoksiid (CO). Süsinik on oluline element orgaanilistes ühendites. Süsinikuringe puhul on olulisteks protsessideks fotosüntees ja hingamine. Tasakaalus ökosüsteemis on kogufotosüntees võrdne koguhingamisega, aga mittetasakaalulises ringes, näiteks fossiilkütuste põletamisel, lisandub süsinikku aineringsse ringevälistest allikatest. (Süsinik, i.a)

Vesinik on kõige sagedasem element, sest teda esineb vees ja peaaegu kõigis orgaanilistes ühendites ehk kõigis organismides. Looduslikes tingimustes monovesinikku ehk H-d üldjuhul ei esine, esineb aga divesinikku ehk H₂, mis on üldiselt värvitu ja lõhnatu gaas. (Vesinik, i.a)

Lämmastik on tavatingimustes värvitu, lõhnatu ja maitsetu gaas, mis moodustab Maa atmosfäärist ~78%. Gaasilist lämmastiku kasutatakse inertse atmosfääri loomiseks, et kaitsta näiteks vanu dokumente. Lisaks kasutatakse lämmastiku inhibiitorina põlemise või plahvatuse korral ning ka sukeldujad kasutavad hapniku ja lämmastiku segu, et vältida kessoontõve ilminguid. (Lämmastik, i.a)

Väävel on mineraal, mida põhiliselt kasutatakse väävelhappe tootmiseks, mida omakorda kasutatakse akudes, väetiste toorainena, tuletikkude ja ka näiteks värvide tootmisel. Väävlit leiab inimese kehas juba 140g ning seda sisaldavad meie juuksed, karvad, küüned. Lisaks leiab väävlit veel ravimitest, salvidest, toiduainetest nagu teraviljast, kapsast ja ubadest. Ohtlikuks muutub väävel gaasilise väävelühendina. Sissehingamisel on see mürgine ning happevihmad põhjustavad rohkesti keskkonnaprobleeme. (Väävel, i.a)

Antud õli analüüsi tulemustest on näha lämmastiku kõrget sisaldust, mis tuleneb tõenäoliselt karbamiidi vaigust. Tihedus on suurem formaldehüüdvaikude sisalduse tõttu. Pirk väitis: „Lämmastiku kõrge sisaldus kütuses ei ole lubatud, kuna siis tekivad kütuste põletamisel NO ja NO₂ gaasid. Need tekitavad sudu ja happevihmasid ning mõjutavad osoonikihti., Sellest saab järeldada, et laminaadi pürolüüsiõli on ka kütusena kasutuskõlbmatu, kui seda ei puhastata keemiliste protsessidega.

Pürolüüsi katse tulemustest järeldades ei ole võimalik formaldehüüdvaike sisaldavatest materjalidest saada otse kvaliteetset saagist. Selleks, et neid saaks kasutada tuleb viia läbi keemiline ainete eraldamine ning see on omaette keeruline protsess. Nagu eelnevalt mainitud, siis pürolüüsi üks suuri puuduseid on, et selle protsessi läbiviimine nõuab rohkem energiat kui selle tulemusena vastu saab ning nende saagiste edasine töötlemine nõuab veel omakorda puhastamist.

8 ETTEVÕTETE MENTALITEET

Uuringu esimeses etapis saatsin 15-le ettevõttele esmalt kolm küsimust e-maili teel (Lisa 1). Sealt laekus paraku vaid 4 vastust, millest 1 polnud ettevõtte, kes kasutaks laminaati oma tootmises. Sellest kehvast tulemuses tulenevalt koostöös juhendajaga sai leitud, et mõistlikum on läheneda ettevõtetele küsimustikuga, mis on paremini hoomatav ning lihtsam käsitleda.

Mõeldes, kellele küsimustik suunata, kuna Eestis tegutseb enam kui 700 mööbliettevõtet, viisin läbi turu-uuringu, et välja selekteerida ettevõtteid, kes kasutavad oma tootmises laminaati. Esmalt töötasin läbi Eesti Mööblitootjate Liidu liikmed. Seejärel sai valitud ettevõtteid Võrumaa Kutsehariduskeskuse Puidutöötlemise ja Mööblitootmise Kompetentsikeskuse Tsenteri koostööpartnerite hulgast. Valisin küsitlusse ettevõtted, kes kasutavad oma mööblitootmises laminaati ehk kes toodavad köögi-, garderoobi- või eritellimusmööblit.

Küsimustik (vt lisa 2) koosnes 14-st küsimusest ning viisin selle läbi Google vormide kaudu lingil: <https://forms.gle/UrW8a34esDD2tkM97>. Küsimustiku saatsin otse ettevõtete meilidele, kui ka Tsentri kontaktide kaudu. Lisaks lisati see ka Tsenteri aprillikuu uudiskirja.

Küsimustikule vastas 16 ettevõtte esindajat. Ettevõtete seas oli nii väiksema kui ka suurema käibega ettevõtteid. Infoväljas lubasin tagada ettevõtetele anonüümsuse, et tõsta motivatsiooni küsimustikule vastamiseks. Sellest tulenevalt järgnevas analüüsis ühtegi ettevõtte nime ei maini ning käsitlen vastuseid üldistaval kujul.

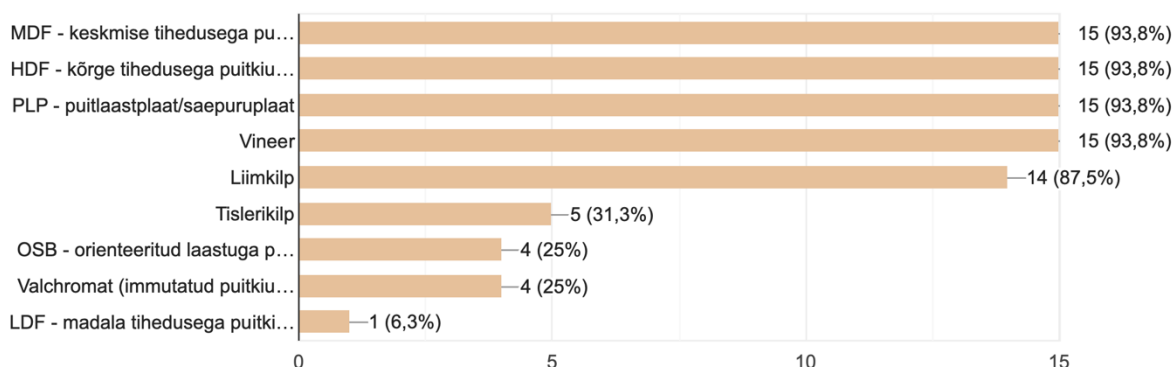
8.1 Küsimustiku analüüs

Alljärgnevalt analüüsin küsimustiku vastuseid. Selgemaks võrdluseks lisan graafikud, kus on näidatud vastuste omavaheline suhe. Vastuste analüüs vastab küsimuste järjekorrale küsimustikus.

Esmalt uurisin ettevõtete esindajatelt, milliseid plaatmaterjale nad tootmises kasutavad. Vastustest selgus, et suurem rõhk on MDF, HDF ja PLP-l ning lisaks vineeril ja liimkilbil. Kuna liimkilpi üldjuhul lamineerimise aluspinnana ei kasutata, siis seda ka lähemalt oma teoreetilises osas ei käsitlenud.

Milliseid plaatmaterjale tootmises kasutate?

16 vastust



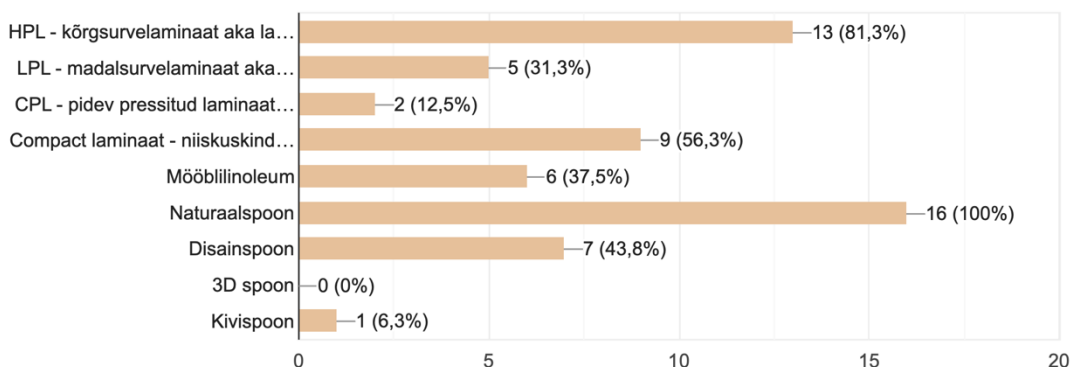
Tabel 3. 1. küsimus

Järgmisena uurisin pealistusmaterjalide kohta. Vastustest selgus, et enim kasutatakse küll naturaalspooni, kuid enda töö seisukohalt on olulised esimesed vastuste variandid. Lisasin teised materjalid küsitlusse puhtalt uudishimu ning selle tõttu, et küsimustik läks välja paljudele erinevatele ettevõtetele ning vastasel juhul poleks saanud mõned ettevõtted küsimusele vastata.

Otsustasin CPL ja Compact laminaati oma töös kirjeldada, kuna need on HPL-i alaliigid ning neid küll kasutatakse vähem, nagu küsimustikust selgus, aga nad on siiski olulised HPL-i alaliigid. Lisaks on LPL-i puhul enamjaolt olukord selline, kus sisse ei tellita eraldi LPL-i vaid LPLP-i ehk juba lamineeritud puitlaastplaati, mis tähendab, et puitlaastplaadi peale on juba varasemalt liimitud õhuke madalsurvelaminaat ehk melamiinleht.

Milliseid pealistusmaterjale tootmises kasutate?

16 vastust



Tabel 4. 2. küsimus

Kolmandas küsimuses küsisin esindajatelt: „Kas peate arvet selle üle kui palju materjali sisse tellite, ära kasutate ja ära viskate? Kui jah, siis palun selgitage, kuidas?“. 30% vastajatest vastas konkreetselt, et arvet nemad jääkide üle ei pea. Üks vastaja lisas, et kuna väljatulek on 90%, siis sellest saab aru, kui palju jääki umbkaudselt tekib. Väljatulekut mainis ka teine esindaja: „Väljatulek on vajalik saavutada võimalikult suur. Seda arvutatakse vastavate tabelitega.“ Tabelid ja vastavad laoprogrammid näitavad enamustel vastajatel ära, kui palju sisse tellitakse ja ära kasutatakse. Kuid otseselt seda, kui palju ära visatakse, ei teata. Mõni ettevõtte esindaja nentis, et materjali kasutegur on 70-95%, sõltuvalt materjali tekstuurist ja mustrist. Ettevõtetes, kes teevad töid projektipõhiselt, on jääkide osakaal paratamatult suurem, kui seeriatootmist teostaval ettevõttel, kuid üks vastajatest lisas, et projektipõhise tootmise puhul on nende laoseis minimaalne, kuna materjal tellitakse sisse vaid projektipõhiselt.

Järgmisena küsisin: „Milline on ülevaade sellest, kui palju tootmisjääki teie ettevõttes tekib?“. Vastuseid tuli erinevaid:

- 1) Ca 10%;
- 2) Ca 20%;
- 3) Plaatmaterjalide töötlemisel ca 20%, puitmaterjalide ja spoonidega töötlemisel kuluarvestus ca 50%;
- 4) Kuna tegu on projektipõhise tootmisega, siis paraku palju rohkem, kui tahaksime;
- 5) Hinnanguline;
- 6) Jäätmekäitlusest on täpselt näha;
- 7) Ainuke võimalus ongi jäätmekoguste kaudu;
- 8) Väikeste jääkide kohta arvestus puudub;
- 9) Proovime materjale tellida nii, et tootmisjääke ei teki. Kui materjali miinimumkogus on suurem kui hetkel vajaminev, siis jätame alles järgmiseks tellimuseks;
- 10) Ilmselt mitte kuigi täiuslik;
- 11) Ülevaade puudub;
- 12) Jäätmeid ei teki palju, kui võimalik kasutame muudes projektides.

Antud vastustest saab järeldada, et ettevõtetel puudub kindel arusaam ja täpne teadmine oma jääkide osakaalust. Umbkaudselt oskavad nad välja tuua, aga täpseid andmeid ükski ettevõtte ei kogu.

Viiendas küsimuses soovisin teada, kas ja mil moel ettevõtted materjali töötlemisel kokkuhoidu saavutavad. Küsimuse vormistasin järgnevalt: „Kas kasutate materjali kokkuhoiu saavutamiseks mingeid ennetavaid meetodeid? nt juurdelõikust jms“ Vastused olid varieeruvad:

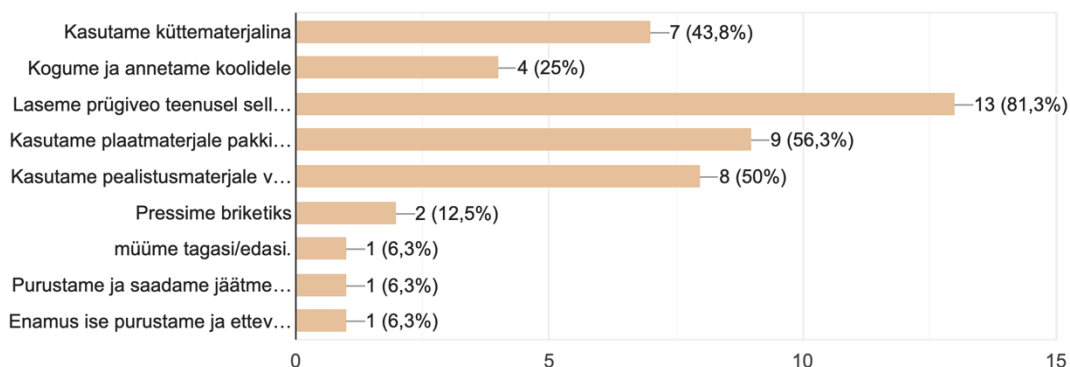
- 1) Optimeerimis programm;
- 2) Pisemad, kuid kasutatavad tooriku jäägid järgnevate projektides väiksemate detailide tootmiseks;
- 3) Proovime saada maksimumi materjalist;
- 4) Kasutame erinevaid plaatmaterjalide jääke ka nõ alusplaatide tootmiseks, laminaadi jääke vastukaaluna pahemal pool ning loomulikult ka lahtilõikusprogrammi, -kaarte;
- 5) Jah;
- 6) Oleme väiketootja. Plaatide lahtilõikamisel töötaja mõtleb jooksvalt, kuidas oleks kõige ökonoomsem. Suuremate partiide puhul on joonis;
- 7) Võimalus formaatsaega või giljotiiniga lõigata, et saada parimat väljatulekut;
- 8) Lahtilõikusprogramme. Võimalusel samast materjalist tellimuste ühildamist tootmises, populaarsemate seeriatoodete lattu tootmist. Toodete arendamisel ja konstrueerimisel materjali mõõtudega arvestamist, valiku korral sobivamas mõõdus materjali tellimist;
- 9) Kasutame kõike, mis võimalik: optimeerimine, jäätmetele sobivate toodete valmistamist;
- 10) Kasutatakse optimeerimisprogrammi, et võimalikult vähe jääki jääks;
- 11) Parima väljatuleku kasutamiseks lõikuskava tekib töö käigus;
- 12) Ei kasuta, kuna kasutatava plaatmaterjali kogused on väikesed ja ei näe vajadust;
- 13) Jah, ladestustarkvara;
- 14) Meie automaatliin kasutab põhimõtteliselt kõik jäägid juurdelõikusena uute lõikuskavade juures ära;
- 15) Juurdelõikus, toorikplaadi max ära kasutamine;
- 16) Saame optimeerimise programmidega, üritame võimalikult palju asju korraga arvutada.

Suurem osa mööblitootmisettevõtetest omab kõrgtehnoloogilisi lahendusi, mis nende eest materjali kulu ära arvutab ja koostab juurdelõikuskava. See on positiivne, sest masina täpsus on palju suurem kui inimese enda võimekus neid asju koha peal hinnata. Küll mõned väiksemad ettevõtted sellist lahendust ei vaja, sest tootmine on väike ja masinad kallid, mille tõttu tehakse mõõtmisi silmajärgi. Kuid kuna ka materjal on raha, siis usun, et mõõdetakse hoolikalt, et kadu oleks võimalikult väike.

Järgmises tabelis näete kuuenda küsimuse statistilist tulemit. 81% vastanutest kasutavad oma jääkidest vabanemiseks prügivee teenust. Sinna teenuse hulka kuuluvad peale laminaadi ka paber, kile, papp, viimistlusjäägid jms. 56% ehk natuke üle poolte kasutavad suuremaid plaatmaterjale pakkimiseks ja täpsemalt pooled (50%) kasutavad pealustusmaterjale vastukaalu paberina. Vastukaalu paberina naturaalspoone ei kasutata seega järeldan, et erinevad laminaadi lehed kui ka paber läheb vastukaalupaberina pooltes vastanud ettevõtetest kasutusse. Alla poolte (~44%) kasutavad oma jääkmaterjale küttematerjalina. Üllatava asjaoluna on näha, et veerand ehk 4 vastanud ettevõtet koguvad ja annetavad materjale koolidele. Vestluste käigus on mainitud, et kui koolid on huvitatud erinevate jääkide kasutamisest, siis ettevõtted on väga abivalmid ja lahked neid neile annetama. Juba vähem hulk ettevõtete esindajaid on vastuste variantideks valinud, et pressivad briketiks, purustavad või müüvad edasi või ettevõtetele, kes materjali tarnivad, tagasi.

Mil moel vabanete jääkidest?

16 vastust

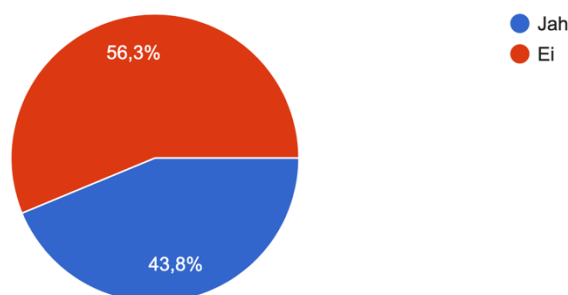


Tabel 5. 6. küsimus

Järgmisena uurisin üldiselt, kas ettevõtted leiavad, et neil on jääkidega probleeme ja vastused tulid peaaegu pooleks ehk üheksa ettevõtet leidis, et neil on probleem, kuid seitsmel ettevõttel probleem puudub.

Kas jäägid on teie jaoks probleem?

16 vastust



Tabel 6. 7. küsimus

Üheksa ettevõtet, kes leidsid, et neil on jääkidega probleem vastasid minu järgmisele küsimusele, kus küsisin, et kui probleem on, siis milline? (nt võtavad ruumi). Vastused on järgnevad:

- 1) Võtavad ruumi ja utiliseerimine on kallis. Oleme pakkunud tasuta inimestele, kuid mugavusest ei soovita;
- 2) Võtavad ruumi, käitlemine kallis;
- 3) Võtavad ruumi, aega (erinevate (jääk)materjalide seast õige leidmine;
- 4) Jääk = raha (ruum on samuti raha)
- 5) Võtavad ruumi; utiliseerimine on kulu; keskkonnale koorem;
- 6) Probleem on selles, et neid ei saa müüa, kui küttematerjali. Materjalil on suur kütteväärtus, kuid koheldakse kui prügi. Tegelikult need jäätmed kõik põletatakse, kuid meie maksame ikkagi prügi eest.
- 7) Kuna ladu on väikene, siis saab säilitada järgmiste tellimuste tarbeks ainult suuremaid jääke;
- 8) Kõik müügiks. Materjali hind on ammu jääkide probleemi lahendanud;
- 9) Jääkide majandamine võtab liigselt ruumi, odavam on utiliseerida koheselt. Samas lähevad viskamisele väga suured detailid, mida saaks väärindada;

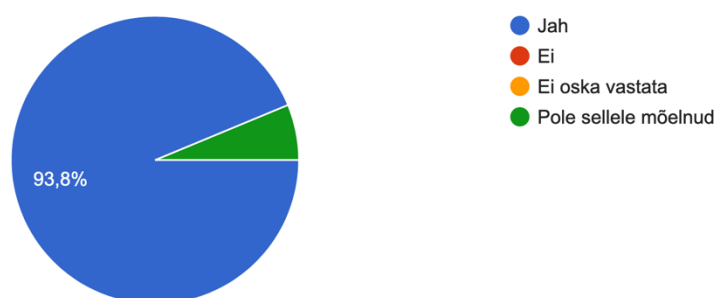
Nagu vastustest näha on kõige suurem probleem ruumipuudus ja materjalide utiliseerimise kallidus. Kui samal ajal mõnel ettevõttel õnnestub jääk tagasi/maha müüa, siis teisel ettevõttel, kes pakub tasuta, ei saa ka sellisel juhul jääkidest lahti. Jääkide puhul on äärmiselt oluline nende ladustamise kvaliteet, mõõtmed, materjal, kättesaadavus jne. Kui jääk, mida pakutakse on

defektne ning selle kättesaamisele kulub rohkem energiat, kui asi väärt, siis inimesed pigem siiski ajaresursi kokkuhoiu mõttes maksavad, kui näevad vaeva, et kasutada kellegi teise järelejäänud materjali.

Üheksanda küsimusena uurisin ettevõtete esindajatelt, kas nad eelistaksid olukorda, kus jääkmaterjal tooks neile lisakasumit. Vastus tuli ilmselge jah, kuid üks vastanu pole sellele varasemalt mõelnud.

Kas eelistaksite olukorda, kus jääkmaterjal tooks teile lisakasumit?

16 vastust



Tabel 7. 9. küsimus

Järgmine küsimus ei olnud kohustuslik, kuna kõik vastanud ettevõtted ei pruugi laminaati kasutada, kuid sellegi poolest vastas 16st ettevõttest 13. Uurisin täpsemalt laminaadi käitlemise kohta.

„Kuidas käitute spetsiifiliselt järelejäänud laminaadiga?“

- 1) Läheb muude jääkidega konteinerisse;
- 2) Kasutame maksimaalselt pisidetailideks, lõppjäägid kütteks;
- 3) Paneme riiulisse ja kohe kui võimalus kasutame ära;
- 4) Igale projektile on 2-aastane garantii, peale seda jääb, kas seisma või kui veab, saame tagasi müüa.
- 5) Üritame võimalusel müüa tagasi tarnijatele ja kasutame vastukaaluna;
- 6) Kui laminaat on katkine või vana (vanusega läheb rabedaks), siis viskame prügikasti;
- 7) Terveid lehti säilitatakse mõnda aega, väiksed jupid prügisse;
- 8) Kõik, mis võimalik kasutame vastukaaluks ja üritame realiseerida, otsides kliente;
- 9) Suuremad jäägid kasutatakse vastukaaluks;
- 10) Kasutan vastukaaluks, utiliseerin kui on väiksed jäätmed;

- 11) Me ei tegele ise lamineerimisega (kasutame ainult valmisplaate);
- 12) Melamiiniplaadi jäägid sumbpõlemisega katlas. Laminaadi jääke pole;
- 13) Pressime vastukaaluks või viskame lihtsalt ära. Suured lehed oleme alles hoidnud, kuid pool ladu juba sellist jääki täis. Vahel harva saame kasutada ära järgnevides tellimustes;

Vastuseid analüüsides tuleb ilmsiks, et 5 ettevõtet kasutab suuremaid laminaadi lehti vastukaalupaberina ning 5 viskab jäägid prügikasti, aga enamasti väiksemad jupid, mida ei ole võimalik mujal kasutada. Neli ettevõtet ladustab, seni kuni garantii-aeg läbi saab või mõne teise projekti puhul neid kasutada on võimalik. Nii mõnelgi need sinna lattu jäävadki.

Uurisin veel, mida teatakse sellest, mis prügist edasi saab:

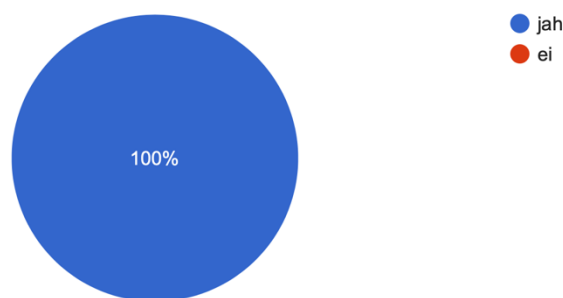
- 1) Utiliseeritakse jäätmekäitleja poolt;
- 2) Valdav osa põletatakse energia tootmise eesmärgil;
- 3) Suurt midagi;
- 4) Osa läheb energia tootmiseks, osa ladustamiseks;
- 5) Osaliselt põletatakse (ideaalis läheb uuesti plaadi tootmiseks);
- 6) Sorteeritud prügi läheb taaskasutusse, sorteerimata ahju;
- 7) Ei tea;
- 8) Ei tea midagi;
- 9) Mina olen kindel, et see läheb kõik katlamajadesse ja kütteks. Kuigi meie käest ostetakse see ära, kui prügi;
- 10) Ei;
- 11) Ära põletatakse;
- 12) Oletan, et viiakse jäätmekäitlusjaama ja utiliseeritakse;
- 13) Mitte palju;
- 14) Enamus purustatakse ja lähevad a'la graanuli tootmiseks. Samuti tükkjätmed korjame eraldi kokku ja lähevad graanuli tootmiseks;
- 15) Eestis läheb ahju ja briketiks;
- 16) Anname ära ehitus prügina, ehk läheb lihtsalt kuhugi täiteks;

Ettevõtete esindajate teadlikkus on madal. Paljud ei tea, mis prügist edasi saab ja teised oletavad, et läheb kütteks või ladustamisele. Kui on segaprügi, siis see ladustatakse, sest sorteerimine on liiga suur vaev, kuid sorteeritud puitmaterjal kasutatakse kütteks.

Kui uurisin, kas vastajad teavad, et HPL-i, CPL-i ning compact laminaati ei tohiks põletada, tuli 16 positiivset vastust, et kõik on teadlikud.

Kas teadsite, et HPL-i, CPL-i ning compact laminaati ei tohiks põletada?

16 vastust

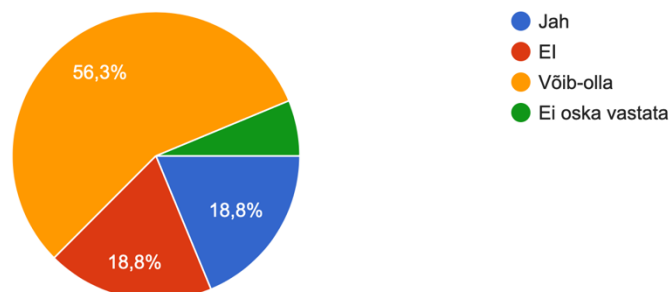


Tabel 8. 12. küsimus

Kaks viimast küsimust kätkesid endas ettevõtte/ühenduse loomist, mis koondaks ettevõtetelt jääkmaterjale. Esimesena uurisin, kas nad oleks vajaduse korral huvitatud nende materjalide kasutamisest. Jaatavalt vastas kolm ettevõtet. Kindla ei andis kolm ettevõtet ning kaks olid kahtlevad seisukohal, kuid leidsid, et pigem mitte. Põhjenduseks asjaolu, et üldiselt jääkmaterjale ei ladustata kvaliteetselt, mille tulemusena on need ära kraabitud ehk kasutuskõlbmatud. Seitsme ettevõtte esindajat vastasid, et võimalik, juhul kui see on ettevõttele kasumlik ning mujalt lihtsamalt ei saa. Hind on põhiline määraja. Samuti on nende jaoks väga oluline detailne info mõõtude ja koguste osas ning kiire kättesaadavus. Üks ettevõtte esindaja ei osanud vastata.

Kui tekiks ühendus/firma, mis koondab ettevõtetelt saadud jääkmaterjale, siis kas oleksite VAJADUSE KORRAL HUVITATUD NENDE MATERJALIDE KASUTAMISEST?

16 vastust

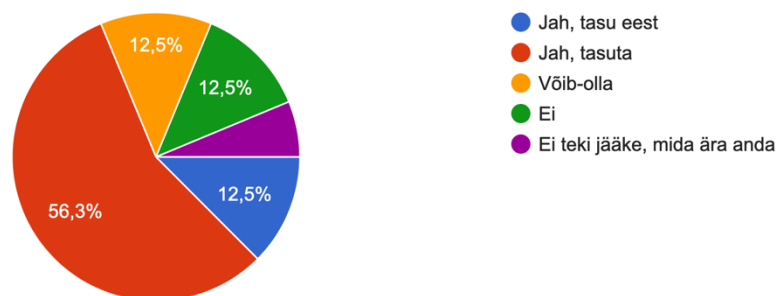


Tabel 9. 13. küsimus

Viimasena uurisin, kas nad oleks huvitatud koostööst, et jääkmaterjale ära anda. Kümme vastajat oleksid nõus, kuid üks 10st pigem eelistaks seda teha tasuta eest. Ilma tasuta ära ei annaks üks ettevõtte esindaja ning kindla ei ütles kaks vastajat. „Pigem ei“ ja „võimalik“ vastas kaks inimest ning üks leidis, et selliseid tükke, mida saaks taaskasutada keegi teine, neil ei tekigi.

Kui tekiks ühendus/firma, mis koondab ettevõtetelt saadud jääkmaterjale, siis kas oleksite HUVITATUDKOOSTÖÖST, ET JÄÄKMATERJALE ÄRA ANDA?

16 vastust



Tabel 10. 14.küsimus

9 EKSPERTIDE/ÜLIKOOLI HINNANG

30. aprilli varahommikul viisin läbi intervjuu Wermo AS tegevjuhi Raul Venega, kellega rääkisime Wermos kasutatavatest jääkidega ümberkäimise meetoditest ning küsisin tema arvamust seoses jääгимajandusega Eestis.

Intervjuust selgus, et Wermos on jääkide utiliseerimine küllaltki struktureeritud ning hästi üles seatud. Nimelt kuna suurem rõhk nende ettevõttes on spoonitud mööblil täispuitelementidega, siis on neil võimalik valdav osa oma puitjääkidest purustada ning see hake edasi müüa, mida nad ka teevad. Kuna oma tootmises kasutavad nad kaugkütet, siis puudub vajadus neil endile briketti sellest hakkest valmistada. Laminaadi jäägid hakivad nad eraldi ning müüvad välja ohtliku jäätmena. Lisaks üllatava asjaoluna regenereerivad nad lahustid, mis jäävad järele näiteks püstolipesust. Selleks kasutavad nad spetsiaalset metoodikat jääkide eraldamise ja puhta lahuse saamiseks.

Raul nõustus, et Eesti riik võiks eurorahade eest luua ühenduse, mis kogub ettevõtetelt suuremad jäägid kokku, kuid selles suurt tulevikku ei näinud, arvestades bürokraatiat ja sisse juurdunud lineaarset majandusmudelit, mis Eestis kahjuks keskkonna sõbralike otsuste vastuvõtmist pigem pidurdavad. Kui oleks võimalus, et korra nädalas käib auto, mis korjab erinevatelt ettevõtetelt seda materjali kokku, siis oleks see süsteem Rauli sõnul toimiv, kuna Lõuna-Eestis prügiveo teenuse osutajatelt rentida konteinereid ning selle tühendamise eest tasuda, on väga kallis. Paratamatu asjaoluna nentis Raul, et jääгимajandamine algab Tartust, lihtsam veelgi Tallinnas, kuna erinevad ahjud jms, kus jääke ladustatakse ja põletatakse asuvad lihtsalt suurematele keskustele lähemal, seega transpordi kulud on madalamad.

Samuti uurisin, kas ringmajanduse põhimõttel tuginev tegevus, kus ettevõtte oma toodangu eest vastutab ning eluea lõppedes selle tagasi võtab ning vastutab utiliseerimise eest, tema arvates võiks toimida, siis paraku ka selles ta tulevikku ei näinud. Seda seetõttu, et see on äärmiselt keeruline projekt, mida Eestis käima lükata, kuna keegi ei oleks seda valmis kinni maksma.

Lisaks on tootmismaterjali jäägi kasutamisega omad miinused, miks paljud ettevõtted seda võimalust ei kasutaks. Rauli sõnul ei sobi talle mitte järjepidevad asjad ehk kui tal on vaja teatud mõõdus asja ja seda pole või ühel hetkel on ja teisel pole, siis tema jaoks see süsteem ei tööta. Tootmisplaanid on igal nädalal küll erinevad, aga paigas, siis selline juppide taga otsimine oleks lihtsalt aja raiskamine, mis omakorda on rahaline kulu. Kui

rääkida materjali ära andmisest *versus* selle hakkeks purustamiseks, siis mängib ka siin suurt rolli, kumb on tulusam. Kui on näha, et tänasel päeval on lihtsam valada jääk hakkurisse, siis selle variandi juurde Wermo ka jääks, kui aga keegi koguks kõik kokku ja selle eest makstakse ja tema enam oma aega purustamisele, laadimisele jms ebamugavustele kulutama ei pea, siis on võimalik, et seda teenust kasutaks.

27. mai pärast lõunasel ajal viisin läbi intervjuu Tallinna Tehnikaülikooli inseneriteaduskonna ning materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituudi professori ja puidutehnoloogia labori juhataja Jaan Kersiga. Arutasime intervjuu käigus puitlaastplaatide, laminaatide ning MDF-i taaskäitlemis lahendusi.

Intervjuu alguses uurisin Jaani käest, kas selline tulemus, nagu FTIR spektianalüüsist Uno Mäeoru käe all selgus, et laminaatide sees on epoküsvaike, on võimalik? Jaan arvas, et kuna epoksüvaigud on hetkel turul kõige kallimad vaigud, kuid toode ise on odav, siis on vähetõenäoline, et seal neid kasutatud on, kui siis minimaalsel määral. Spektrite analüüsimine on suhteliselt keeruline ning tõlgendamist võivad mõjutada paljud asjad.

Utiliseerimisest rääkides, sai kinnitust tõi asi, et hetkel ideaalset lahendust pole. Ainuke regenerereerimise viise on pulbriks purustamine ning täiteainena kasutamine. Lamineeritud plaatmaterjalide utiliseerimise juures on probleemiks laminaadi eraldamine plaatmaterjalist. Seda kuumutades, võib liimühendus lahti öelda, kuid selline lähenemine on kulukas. Laminaadites kasutatavad vaigud on eelpolümeriseeritud ning seetõttu ei ole neid võimalik algsesse olekusse saada. Ainuke võimalus on seda purustada. Eestis kasutatakse palju karbamiidformaldehüüdvaike ja need on eelpolümeriseeritud ning kuumusega viiakse see protsess lõpuni. Vaik on oma olemuselt reaktiivne ning kui see kuumust ei saa, siis kolme kuni nelja kuu pärast muutub see iseenesest juba kasutuskõlbmatuks. Vaigu odava hinna tõttu kasutatakse seda palju. Hetkel on vaigu ühe tonni turuhind orienteeruvalt 500-1000€.

Küsisin ka, kas *recycled* PLP oleks üks valdkonna katsetuse võimalustest, et südamikukihile lisada purustatud plastijäätmeid. Professor Kers leidis, et kindlasti. Ta arvas, et materjali katsetusi kombineeritud taaskasutatavatest materjalidest on ka mingil määral tehtud, aga ei osanud otseselt mind ühegi artiklini suunata. Jaan Kersi hinnangul on plaatmaterjali tööstuse suund olla võimalikult keskkonnasäästlik ja selleks järgitakse üha enam Environmental Product Declaration (EPD) seatud juhiseid ja piiranguid.

Hetkel on melamiinkatte ehk madalsurvelaminaadi tootmise hind alla 1€/m² kohta ning seal kasutatavad formaldehüüdvaigud on taskukohased, aga kuna nende taaskäitlemine ja uueks materjaliks tegemist on vähe uuritud, siis Jaan ei osanud ka selle kohta midagi täpsemalt öelda. Uuringud, mida oleks võimalik keemiliselt läbi viia, nõuavad suure mahulisi materjali koguseid, sest need tuleks uuesti komponentideks lahutada ja selleni jõudmine on keeruline. Pakkusin välja mõtte, et luua ühendus, mis materjale ettevõtetelt koondab ning mis omakorda teeb koostööd ülikoolidega, et välja selgitada ja uurida lahendusi materjalide paremaks ümber käitlemiseks, oli Jaan sellega igati nõus ja tema hinnangul võiks selline asi töötada. Paraku võtavad sellised protsessid pikalt aega ja selleks võiks kuluda mitmeid aastaid.

Ühe võimalusena on ka uuritud teaduslikult võimalust, kas seemed on võimalised lagundama fenoolvaike. Vesteldes biokeemikutega jagas Jaan teavet, et valge mädanik on suuteline lagundama fenoolvaike, kuigi varasemalt oli arvatud, et need on biolagunematud. Tulemused näitavad, et uuritud puidupõhised ehitusmaterjalid ja ka vineer olid aeroobselt biolagunevad. Testitud materjalide biolagunemis- ja põletusjääkides ei esinenud toksilisust fotobakterite ega keskkonda kahjustavate ainete suhtes. Aeroobne ning anaeroobne biolagunemine on samuti hetkel olulised teemad, mida saaks edasi uurida.

Kokkuvõtvalt jõudsime järeldusele, et töös olevate katsete ja uuringute tulemusel häid lahendusi veel leitud ei ole. Materjalide eraldamine on suur probleem ning ka pürolüüsi puhul tuleb segamaterjali pürolüüsi protsessist tekkinud saagist hakata keemiliselt eraldama, et saada puhast ainet, millega edasi liikuda. Positiivse nurga alt leidis Jaan, et vähemalt on nõudlus ning vajadus olemas ehk vaja oleks rohkem viia läbi katseid ja uuringuid.

Samuti viisin läbi kirjaliku intervjuu ringmajanduse spetsialisti ja täiskasvanute koolitaja Mayri Tiidoga. Minu küsimused ja tema vastused on kajastatud alljärgnevalt:

Milline on sinu arvamus sellest, milline olukord jäätmekäitlus maastikul on?

„Ma ütleks, et on nii ja naa. Osade materjaliliikidega on paremini, teistega halvemini. Osades tootmisettevõtetes, kus on jäätmekäitlus rohkem teemas, siis seal korraldatakse sorteerimine väga hästi. Teistes jällegi ei ole huvi jäätmekäitluse vastu ja kõik läheb põhimõtteliselt ühte konteinerisse. Suur väljakutse on täna jäätmekäitlejal teada ja öelda oma (tootjatest) klientidele, kuhu nende jäätmed edasi jõuavad. See on aga just paljude ettevõtete huvi, kas läbi emafirma või tarbijate surve, teada täpselt, mis jäätmetega edasi saab. Kui rääkida

eraisikute ja tarbijate jäätmete käitlusest, siis võrreldes Lääne-Euroopaga oleme väga ajast ja standarditest maast. Miskipärast on Eesti inimese jaoks raske sorteerida oma jäätmeid ja järelvalve ka tegelikult puudub. Näiteks Brüsselis võib reaalselt trahvi saada kui sorteerid valesti prügi, mis motiveerib inimesi rohkem tähelepanelikumalt jäätmetesse suhtuma. Eestis sellist asja ei ole, kahjuks.“

Milliseid takistusi sa hetkel näed, et Eesti saaks liikuda rohelisema keskkonna suunas?

„Eesti pandipakendisüsteemi tuuakse näiteks paljudes riikides ja seda peetakse ka üheks jäätme valdkonna edulooks. See ongi, aga me ei tohi sellega ainult piirduda. Juba üle 15 aasta oleme edukalt pandipakendeid kokku kogunud. Miks ei ole seda sama süsteemi juurutatud ka teiste pakendiliikidega? Ma leian, et kõige suurem takistus praegu on mingis mõttes otsustamatus ja julge juhtimine. Nii era- kui ka avalikus sektoris püütakse säilitada *status quo* nii kaua kui võimalik, aga see ei ole jätkusuutlik. Lihtsamalt öeldes, kõikidel osapoolte valmisolek muutusteks võiks kõrgem olla.“

Kas riigi tasandil süvenetakse, mis jäätmekäitlusmaastikul toimub?

„Jah, süvenetakse. Väga täpselt järgitakse Euroopa Liidu direktiive ja sellest tulenevaid kohustusi. See aga tähendab, et avaliku sektori tähelepanu on sellel, mis EL-ist tuleb (olmejäätmed, biojäätmed, jne). Ma ootaks ka rohkem tulevikku vaatamist ja tahet teha rohkem kui nõutud. Kahjuks praegu täidame osi nõudmisi vaid napilt ja üritame uute kohustuste rakendamise viimasele hetkele lükata.“

Milline võiks olla riigi panus?

„Ma näen, et riik (avalik sektor) saaks täna olla suunanäitaja. Lineaarne majandusmudel on tugeva kaaluga, sest nii on juba aastakümneid asju tehtud. Kui me tahame rääkida ringmajandavast riigist, siis avalik sektor peaks looma võimalusi ringmajanduslike lahenduste rakendamiseks. Avalik sektor peaks natuke aitama, subsideerima, reguleerima õrnalt turgu, kus lineaarne käitumine ja reostamine ei ole enam majanduslik mõistlik, vaid ringmajandav lähenemine on. See võib majandusteadlastele kõlada võimatu ja radikaalsena (ma olen ise ka majandusteadust õppinud), aga täna ma ei näe mingit muud võimalust. Turg ise ei reguleeri end ringmajandavaks, sest tihtipeale ringmajanduslikud lahendused ei ole tänases maailma lineaarsete lahendustega võrreldavad ega konkurentsivõimelised.“

Kas ülikoolid võiksid olla samuti rohkem kaasatud?

„Kindlasti! Ülikoolidel on võimalus ja ma ütleks, et isegi kohustus valmistada ette uue põlvkonna spetsialistid, juhid, innovaatorid. Seega ülikoolid peaksid kindlasti olema kaasatud ja ka julgema oma õppekavasid kaasajastama.“

Kuidas läheb Teil hetkel tekstiili/naha jääkide kogumise keskkonna arendamisega?

„Läheb hästi! Me lansseerimine kõikidele tootmisjääkidele suunatud platvormi Materjalivoog juba 15. juunil! Lõpuks! [Www.materjalivoog.ee](http://www.materjalivoog.ee) on väike teaser, 15. juunist alates on võimalik ka registreerida.“

10 JÄÄGI TEEKOND

Peale seda kui ettevõte on materjali sisse tellinud, sellest omale kõik vajaliku välja lõiganud, läheb suurem osa sellest järele jäänud materjalist prügikasti/konteinerisse või siis kohalikku katlasse. Üksikud ettevõtted, kes kasutavad jääke briketi tootmiseks, suuremaid tükke vastukaaluks või toodete pakendamiseks, mis hiljem lähevad siiski kliendi käeläbi prügimäele.

2021. a. jaanuaris vestlesin ringmajanduse spetsialisti Mayri Tiidoga täpsemalt mööblitööstusest ning selgus, et ka tema pidi enda poolt läbiviidud lühikeses turu-uuringus jõudma järeldusele, et suurem osa prügist siiski ladustatakse prügimäele. Tema turu-uuringu eesmärk oli teada saada, kas ettevõtjad oleksid valmis oma jääke loovutama ning andmebaasidesse sisestama. Tema sõnul on ettevõtjatel olemas küll valmisolek jääke kasutama ja materjale jagama, kuid materjalide kaardistamine ettevõtjate sõnul ei tasu ennast ära, sest kogused ja materjalid on erinevad, klotsid on erisuuruses ja materjalid on segamini (sh liim, viimistlus jms). Jääkide hulgas on pilpaid, juppe ja kante ning selle kõige sisetamine oleks liigne raha ja aja kulu, küll aga seisavad paljudel ettevõtetel konteinerite jagu tasuta jääke, kus on nii laminaati, kui LPLP, MDF-i, PLP-d jne. Oleks vaja vaid luua süsteem, mis kõik kokku koondaks. Mayri teostas oma mööblitööstuse turu-uuringu üle Eestis ning järeldusele, et suurem osa prügist ladustatakse prügimäele, jõudis ta ettevõtjate vastuste põhjal, kui ta küsis ettevõtjatelt, mis nende prügist edasi saab.

Tegin päringu ka WeeRec OÜ-le uurimaks, kas nemad tegelevad mööbli utiliseerimisega. Vastus tuli eitav. “Meie juurde suurjäätmey ei jõua. Meile teadaolevalt laminaati ümber ei töödelda. Minu hinnangul: suur osa suurjäätmey (mööbel) suunatakse prügilasse ladestamisele, kuna see on liiga palju tööd, et puit ja laminaat eraldada. Osa rändab kindlasti ka põletusse, kuigi vist ei tohi! Vana veneaja mööbel sisaldab keelatud aineid oma lakis või laminaadis, seega sellega ei ole midagi teha. Suurjäätmey koguvad RagnSells, Keskkonnateenused, Väätša Prügila, Paikre Prügila ja nii edasi. “ vastas Hans Talgre, WeeRec OÜ tegevjuht. See on ka üldlevinud arusaam, et erinevates pinnakatte materjalides sisalduvatel ainetel ei ole keskkonnale positiivne mõju, kui neid ei põletata piisavalt kaua kõrgetel temperatuuridel vastavates ahjudes.

Uurisin ka Eesringluse eestvedaja Kaire Kikaselt, kas tema puutub kokku mööblitööstusest järele jääva materjaliga, kuid kahjuks ei ole olnud ka tema see inimene, kes osanuks mööbli jäätmey kohta midagi täpsemalt öelda. Tema tegeleb igapäevaselt

elektri- ja elektroonikaseadmete jäätmetega. Tema arvamuse kohaselt läheb üldiselt hetkel enamus mööblist, mida ei saa kellelegi uuesti kasutusse anda, purustisse ja sellest tehakse jäätmekütust. Ka tema leidis, et selles vallas on kindlasti lahendusi vaja.

Sõltuvalt ettevõtte suurusest ja eripärast on jääkide kasutusvaldkonnad väga erinevad. Laminaat kui ka näiteks MDF imporditakse sisse välismaalt, sest Eestis neid ei toodeta. Seejärel edasimüüja tarnib selle ettevõtte, kus tellitavast kogusest kasutatakse ära nii palju kui võimalik. Enamlevinumad toimimisviisid, mida ettevõtted kasutavad on järgmised:

1. jäägid liiguva otse prügikonteinerisse, kust prügiveoteenus selle likvideerib viies selle prügimäele;
2. jäägid jäävad laoruumi seisma, et võimalusel mingit osa nendest kasutada mõne teise projekti puhul või annetatakse need koolidele;
3. jäägid põletatakse, kas siis oma kohalikus katlas, mis kategoriseerub nõuavapõletusahju alla (nt pullerjan) või siis FCS sertifikaatidega keskkonnasõbralikes filtritega varustatud kateldes;
4. jäägid kasutatakse ära pakendamisel või vastukaalupaberina;
5. jäägid purustatakse ning müüakse edasi või pressitakse briketiks.

11 JÄRELDUSED

Ettevõtjatel ei lasu kohustus tegeleda loodushoiu ega keskkonnaga. Neil puudub teadlikkus ning võimalus paremaid lahendusi kasutusele võtta. Riik jäätmete utiliseerimist ei toeta ning igaüks kompab nii nagu ise heaks arvab. Mõni ettevõtte on leidnud omale sobilikud lahendused, mis ei koorma ülemäära keskkonda, kuid siiski on palju neid, kes kasutavad odavat ning käepärast lahendust, mis soosib enda õlult vastutuse viimist näiteks prügiveoteenuse osutajate õlule. Mööblitootmisfirmade jaoks on jääkide üle arvepidamine ressursiraiskamine (raha ja aeg) ning kuna eesmärk on kasum, siis arusaadavalt, üleliigsele olulist tähelepanu ei pöörata.

Teadlaste ning ettevõtjate vaheline lüli või koostöö on puudulik. Ülikoolidel toimuvad pidevad arengud ning uuringud, millest oleks kindlasti ettevõtjatel kasu. Küsimus on, kuidas tuleks see sild luua? Hetkel on olemas Adapter, mis on Eesti ülikoolide ning teadus- ja arendusasutuste koostöövõrgustik. Adapteri abil saab ettevõtja kiiresti ühendust võrgustikku kuuluvate teadusasutustega, et leida endale koostööpartner. Kuid paljud ei ole sellest võrgustikust teadlikud. Lisaks võib see keskkond eksisteerida, aga kui ettevõtete siseselt ei osata oma probleemidega sinna pöörduda, siis jääb ka teadlaste poolne tugi/lahendus ära.

Uurimuses oleks veel vaja palju teha, kaardistada kõike täpsemalt, suhelda rohkem keskkonnateenuseid pakkuvate ettevõtetega ja spetsialistidega. Luua ja katsetada erinevaid ettevõtteid toetavaid keskkondi, mis keskenduksid rohkem jääkide käitlemisele.

Antud uurimuse tulemusega saab järeldada, et kuna riigipoolne tugi on puudulik, siis ettevõtted ei ole valmis ka ise midagi muutma, sest antud aja hetkel on kõik väga kulukas. Probleem on õhus – seda tuleks aktiivsemalt kaardistada, sellele rohkem tähelepanu pöörata, sest inimesed ei tea ega oska käituda keskkonnale soodsamates tingimustes, kui neile probleemist ei räägita ega lahendusi pakuta.

Lisaks on materjalidel suur koormus keskkonnale ning nende utiliseerimisele ei ole hetkel leitud head lahendust. Plastid ei lagune looduses ilma seente abita, neid põletades paiskub õhku teadmata kogus ohtlike ühendeid ning regenereerimisega hetkel veel väga ei tegeleta. Viiakse läbi uuringuid, kuid praktikasse need asjad lähiajal ei jõua.

Riik peaks rohkem reguleerima ja toetama jäätmete sorteerimist, et materjalidega saaks midagi paremat ette võtta kui seda ainult põletada ja ladustada. Avalik sektor peaks võtma rohkem vastutust ning initsiatiivikut, et lineaarsest majandusmudelist liigutakse rohkem ringmajanduse suunas. Siin kohal peaks võtma eeskujuks teisi riike nagu näiteks Soome,

Saksamaa ja Taani. On võimalusi, kuhu edasi liikuda nagu seda hetkel teeb Mayri Tiido koos meeskonnaga arendades kõikidele tootmisjääkidele suunatud platvormi Materjalivoog. Lisaks on Uno Mäeoru pakutud lahendus, kasutada spektograafiat ning termogravimeetriat, et materjale uurida, odav ning lihtne viis neid eraldada ning teadustöö läbi uurida materjalide loomist.

KOKKUVÕTE

Antud lõputöö on kirjutatud kvalitatiivse meetodi alusel. Uurimustöö teema valik oli tingitud minu isiklikust huvist antud teema vastu, kui puutusin laminaatidega kokku olles kooli õppepraktikal eraettevõttes. Nägin, et materjali jäägid jäävad seisma ning uut kasutust ei leia. Seetõttu tekkis soov antud teemat lähemalt uurida. Oma uurimustöös keskendusin taustainfo kogumisele, millest valmis küsimustik, mille saatsin laiali erinevatele mööblitootvatele ettevõtetele. Samuti viisin läbi intervjuud ja suhtlesin oma ala spetsialistidega, et saada teada, kuidas nemad on lahendanud laminaadi utiliseerimise või milliseid vaateid nad omavad tuleviku osas.

Uurimustöö koosneb kahest osast. Teoreetilises osas kirjeldan ja annan põhjaliku ülevaate plaat- ning pealistasmaterjalidest, vaikudest ning uuringuvõimalustest, mis puudutavad plastide põletamist. Samuti kirjeldan väljaspool Eestit kasutatavaid lahendusi. Uurimuslikus osas analüüsin termogravimeetria ning pürolüüsi tulemusi, annan ülevaate küsimustiku vastustest ning ekspertide hinnangust antud teemale. Analüütilise lähenemise tulemusel olen sõnastanud töös ka oma poolsed ettepanekud laminaadi utiliseerimise ja taaskasutusvõimalustega seoses.

Uurimustöö eesmärgid said täidetud. Hankisin infot, viisin läbi intervjuud, küsitlused ning laboratoorsed testid. Käesoleva diplomitöö väärtus on keskkonna ja ringmajanduse seisukohalt laiaulatuslik, mis puudutab järjest suurenevatele jäägihulkadele leitavaid alternatiive. Töö eesmärk oli tõsta ettevõtjate teadlikkust ning pöörata antud valdkonnale rohkem tähelepanu. Samuti pakkuda välja koostöö võimalus ülikoolide ja ettevõtjate vahel, et edendada nende omavahelist suhtlust selleks, et leida jääkmaterjalidele efektiivsem kasutusala. Lisaks pean väärtuslikuks asjaolu, et selle teemaga on võimalik sügavamalt edasi minna ja kaasata siia ka kohalikud omavalitsused, riigi tugiteenused ja spetsialistid.

Intervjuus Wermo AS tegevjuhi Raul Venega selgus, et kuna riik ei toeta jääkide sorteerimist ega utiliseerimist, siis ettevõtjatel on vabadus ise valida, kuidas nad jääkidega ümber käivad ning paljud otsustavad siiski odavama lahenduse ehk prügikasti viskamise või põletamise kasuks. Wermos puhas puidu jääde purustatakse ning müüakse hakkena edasi, plasti jäätmed sorteeritakse ning utiliseeritakse ohtliku jäätmena. Vestluses Mayri Tiidoga, kes on ringmajandusele spetsialiseeruv koolitaja, leiab, et Eestis toimiv lineaarne majandusmudel ei ole jätkusuutlik, aga kuna tihtipeale ringmajanduslikud lahendused ei ole

tänases maailma lineaarsete lahendustega võrreldavad ega konkurentsivõimelised, siis on muudatusi väga keeruline sisse viia. Tallinna Tehnikaülikooli puidutehnoloogia professor Jaan Kersi hinnangul probleemiga teadusvaldkonnas tegeletakse, aga kahjuks ei ole veel ideaalset lahendust välja suudetud mõelda. Katsetatakse seente võimet plaste biolagundada, aga kõik on veel algusetappides. Tartu Ülikooli keemiaprofessor Uno Mäeorg, kelle abiga saime viia läbi termogravimeetrilise analüüsi, leidis, et on odavaid lahendusi, et jääkides sisalduvaid aineid kindlaks teha ja seeläbi neid sorteerida, et võimalusel luua huvitavate omadustega materjale. Tallinna Tehnikaülikooli Virumaa kolledži Põlevkivi Kompetentsikeskuses läbi viidud pürolüüsi tulemusel sai järeldada, et laminaatide põletamisel tekkivate saagiste hulgas on mürgiste osakeste osakaal palju kõrgem kui on seda näiteks puidu puhul.

Antud uurimustöö oli silmaringi avardav ning õppisin rohkem tundma mööblitööstuses kasutatavaid materjale ja nende tegelikku mõju keskkonnale. Samuti lõin väärtuslikud suhted erinevate valdkonna spetsialistidega, et soovi korral tööga jätkata. Selle teema uurimus oli huvitav ning andis palju mõtteid ja usun, et sellest tööst on kasu Eesti mööblitööstusele kui ülevaatliku teema käsitlusena.

11.1 Autoripoolsed ettepanekud

1. Kuna laminaadi kui plasti ainukene regenereerimise võimalus on selle purustamine, siis leian, et kindlasti võiks teadustöö käigus uurida laminaadi jääkidest uue materjali loomist. Kuna laminaate on väga palju erinevaid, siis võiks uurida materjalid loomist, millel on väga huvitavad omadused. Küll tekib hiljem nende materjalide uuesti utiliseerimisega küsimus – kui palju on võimalik seda materjali uuesti regenereerida purustamise näol enne kui vaigu osakaal nt tootes liiga suureks muutub või milline näeks hiljem selle utiliseerimine välja. Kuid see kõik oleks juba suurema uurimustöö tulemus.
2. Leian, et pürolüüsi edendamine ja jäätmekütuse tootmine võiks omada suuremat osakaalu Eesti jäätmekäitlus maastikul, sest sellisel juhul ei põletata materjale lihtsalt soojuse saamise eesmärgil, vaid sealt saab produkti, mida uuesti kasutada ja edasi müüa. Kuid siinkohal tuleb tähele panna, milliseid materjale pürolüüsis kasutada ning kuidas neid eraldada. Paljud plastid ei anna kvaliteetset tulemust ning pürolüüsi tulemusel tekkinud saagist ei ole võimalik otsekohe edasi kasutusse võtta.
3. Kui maailmas toodetakse rMDF-i, siis leian, et võiks uurida, kas sarnane tehnoloogia töötaks ka puitlaastplaadi puhul. Kuna Eestis on ettevõtte, kes toodab puitlaastplaate – AS Repo – ning Tallinna Tehnikaülikoolis leidub spetsialiste, kes selle teemaga süvitsi rohkem kokku puutuvad, siis see oleks ehk võimalik valdkond, mida lähemalt uurida. Uuringu käigus ühetegi artiklit, mis seda teemat käsitleks, paraku ei leidnud.
4. Vineerimaailm on loonud omale *outlet* ehk müügi keskkonna, kust saab leida erineva mõõduga kaseviineeri tükke ja tootmisjääke (vt pilt 10 Ja 11). Selline näide võiks töötada ka üle-Eestilise keskkonna puhul või mõne sarnase ettevõtte näitel, kes müüvad just plaatmaterjale. Tihti peab minema koha peale ja küsima, mida ja kas neil pakkuda on. Palju selliseid jääke neil tihtipeale ei ole ning leian, et selle vähese kuskile keskkonda sisetamine ei nõuaks palju vaeva. Hiljuti külastasin Bregvald OÜ-d, kes pakuvad just lamineeritud plaatmaterjale ning nendelt jääkidele päringut tehes pidin siiski koha peale minema, et saada näha ja vaadata mõõte, kuid neid defektiga materjale ei olnud palju. Seega võiks olla välja töötatud mingisugune platvorm, kuhu ettevõtted saaksid oma jäägid tasuta sisestada ning neile hinna juurde panna ning ostja saab selle näiteks broneerida või osta, kas siis kohale minnes või juba *online*-keskkonnas. Muude mööbliettevtete puhul, kellel jäävad just mööblitootmisest

järele erinevaid materjale, võiks tulla appi riik ja leida võimalusi, kuidas neid jääke taaskasutada, panna need raha teenima ning toetada ettevõtjaid sellel teekonnal. Peagu tööd alustav Materjalivoog, mis on kõikidele tootmisjääkidele suunatud platvorm, saab olema suunarajaja ning ajamöödudes saab näha, kuidas selline platvorm Eestis toimib ning kuidas ettevõtjad selle kasutamisega kohanevad.

Pilt 10. Vineerimaailma outlet keskkond (internet)

OTSINGU TULEMUSED									
TÜÜP		PAKSUS	PIKKUS	LAIUS	VÄRV	LAOS (TK)	HIND (EUR/TK)	LADU	LISA OSTUKORVI
Muu plaatmaterjal	MDF	4	2800	2070	MDF	1	45,84€	Jälgimäe	1
Niiskuskindel	II/IV	4	462	830	Naturaalne	164	2,03€ (4,01€)	Jälgimäe	1
Niiskuskindel	WG/WG	4	1000	2495	Naturaalne	54	21,10€ (24,72€)	Jälgimäe	1
Niiskuskindel	WG/WG	4	1200	2495	Naturaalne	73	25,32€ (29,72€)	Jälgimäe	1
Niiskuskindel	C/C	6,5	2200	1000	Naturaalne	8	13,38€ (18,36€)	Jälgimäe	1
Niiskuskindel	C/C	6,5	2150	850	Naturaalne	22	11,12€ (15,25€)	Sinikivi	1
Veekindel	WT1/F1	9	240	2803	Höbehall/Tumepruun	190	4,10€ (10,69€)	Jälgimäe	1
Niiskuskindel	II/III	9	2500	1250	Naturaalne	34	46,37€	Jälgimäe	1
Veekindel	W2/F2	9	2073	1140	Tumepruun	84	24,94€ (30,58€)	Jälgimäe	1
Veekindel	WT2/F2	9	1850	1220	Höbehall/Tumepruun	20	23,81€ (29,20€)	Jälgimäe	1
Veekindel	F1/F1	9	230	2500	Tumepruun	586	3,50€ (8,64€)	Sinikivi	1
Veekindel	F2/F2	9	982	250	Tumepruun	176	1,50€ (3,18€)	Sinikivi	1
Veekindel	W1/F1	9	180	3370	Tumepruun	42	3,70€ (9,65€)	Sinikivi	1
Veekindel	F1/F1	9	450	3370	Tumepruun	20	16,00€ (22,80€)	Sinikivi	1

Pilt 11. Vineerimaailma outlet keskkonna otsingu tulemused (internet)

SUMMARY

This dissertation is written on the basis of a qualitative method. The choice of research topic was due to my personal interest in this topic when I came into contact with laminates during my school internship in a private company. I saw that the residues of the material would pile and would not find a new use. Therefore, there was a desire to study this topic in more detail. In my research, I focused on gathering background information, which resulted in a questionnaire that I distributed to various furniture companies. I also conducted interviews and interacted with specialists in this field to find out how they have solved the disposal of laminate or what views they have on the future.

The research consists of two parts. In the theoretical part, I describe and give a thorough overview of composite panels and coating materials, resins and research possibilities related to the burning of plastics. I also describe the solutions used outside of Estonia. In the research part, I analyze the results of thermogravimetry and pyrolysis, give an overview of the answers to the questionnaire and the evaluation of experts on this topic. As a result of the analytical approach, I have also formulated my own proposals regarding the utilization and reuse possibilities of the laminate.

The goals of the research were met. I obtained information, conducted interviews, surveys and laboratory tests. The value of this dissertation is wide-ranging from the point of view of the environment and the circular economy, which concerns alternatives to the increasing amounts of residues. The aim of the work was to raise the awareness of entrepreneurs and to bring more attention to this topic. Also to offer the possibility of cooperation between universities and businesses to promote communication between them in order to find a more efficient use of waste materials. In addition, I consider the fact that it is possible to go deeper on this issue and involve local governments, state support services and specialists.

In an interview with Raul Vene, CEO of Wermo AS, it became clear that since the government does not support sorting or utilization of waste, companies are free to choose how they handle waste and many still decide in favor of a cheaper solution, ie throwing or incinerating it. In Wermo, wood waste is crushed and resold as chips, plastic waste is sorted and disposed of as hazardous waste. In a conversation with Mayri Tiido, who is a trainer specializing in the circular economy, she finds that the linear economic model operating in Estonia is not sustainable, but since circular economic solutions are often not comparable or competitive with today's global solutions, it is very difficult to introduce changes. According

to Jaan Kers, Professor of Wood Technology at Tallinn University of Technology, the problem is being addressed in the field of science, but unfortunately an ideal solution has not yet been devised. The ability of fungi to biodegrade plastics is being tested, but everything is still in its infancy. Uno Mäeorg, Professor of Chemistry at the University of Tartu, with whose help we were able to perform thermogravimetric analysis, found that there are inexpensive solutions to identify substances in residues and thereby sort them to create materials with interesting properties if possible. As a result of the pyrolysis carried out at the Oil Shale Competence Center of Tallinn University of Technology Virumaa College, it could be concluded that the share of toxic particles in the yields of burning laminates is much higher than in the case of wood, for example.

This research has broaden my horizons and I learned more about the materials used in the furniture industry and their real impact on the environment. I also established valuable relationships with various specialists in the field to continue working if I wanted to. The research on this topic was interesting and gave a lot of thoughts and I believe that this work will be useful for the Estonian furniture industry as an overview of the topic.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Alumäe, Tanel; Tilk, Ottokar; Asadullah. (2018) "*Advanced Rich Transcription System for Estonian Speech*" Baltic HLT. [Intervjuu transkribeerimine]
- Bulian, F., & Graystone, J. (2009). *Industrial Wood Coatings: Theory and Practise*. Elsevier B.V. Lk 45-47.
- Chanda, M. (2018). *Plastics Technology Handbook 5th Edition*. (D. E. Hudgin, Toim.) CRC Press, Taylor & Francis.
- Collier, I. (2009) *How It's Made Laminate* [VIDEO] Kasutatud: aprill 2021. a., <https://www.youtube.com/watch?v=ddZfhZRzREE>
- Composite Panel Association. (kuupäev puudub). *High Pressure Laminates (HPL)*. Kasutatud: aprill 2021. a., [WWW] <https://www.compositepanel.org/products/decorative-surfaces/high-pressure-laminates.html/details/>
- Egger. (2019) *Technical leaflet: Comparison between CPL and HPL*. Kasutatud: märts 2021. a., [WWW] https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK_Ewi47seizKDwAhUhAhAIHaHBCIIQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.egger.com%2Fget_download%2F29dd4884-7c55-4ba1-808f-8eb1592c76b8%2FTechnical_leaflet_Laminate_comparison_CPL_HPL.pdf&usq=
- EKI kodulehekülg. (2019) *Poolkoks*. Kasutatud 26. mai 2021. a., [WWW] <https://sonaveeb.ee/search/unif/dlall/dsall/poolkoks/1>
- EPA kodulehekülg. (kuupäev puudub) *Frequent Questions for Consumers about the Formaldehyde Standards for Composite Wood Products Act*. Kasutatud: 24. mai 2021. a., [WWW] <https://www.epa.gov/formaldehyde/frequent-questions-consumers-about-formaldehyde-standards-composite-wood-products-act>
- EPA kodulehekülg. (kuupäev puudub) *Best Wood-Burning Practices*. Kasutatud 21. mai 2021. a., [WWW] <https://www.epa.gov/burnwise/best-wood-burning-practices#what>
- Erasmus+. (2017) *Circular Economy in the Furniture Industry: Overview of Current Challenges and Competences Needs*. European Commission. Furn360.

- Hardboard*. (2014) Kasutatud: aprill 2021. a., allikas European Panel Federation: <https://web.archive.org/web/20140917182416/http://europanel.org/products--producers/products/hardboard>
- HDF-plaat*. (2021) Kasutatud: aprill 2021. a., allikas Wikipedia: <https://et.wikipedia.org/wiki/HDF-plaat>
- High Pressure Laminates (HPL)*. (kuupäev puudub) Kasutatud: aprill 2021. a., allikas Composite Panel Association: <https://www.compositepanel.org/products/decorative-surfaces/high-pressure-laminates.html/details/>
- Hong, M.-K., Lubis, M. A., Park, B.-D., Sohn, C. H., & Roh, J. (2018) *Effects of surface laminate type and recycled fiber content on properties of three-layer medium density fiberboard*. Lk 163-171.
- Honka, J. J. (2015) *Mööblitööstuses kasutatavate plaatmaterjalide pealistamine*. Tallinna Tehnikaülikool. Polümeermaterjalide Instituut. Puidutöötlemise õppetool [Bakalaureuse töö].
- ICDLI. (2014) *Technical Leaflet: Product Data Sheet for High Pressure Laminates (HPL)*. Kasutatud: mai 2021. a., allikas PRO-HPL: https://www.pro-hpl.org/assets/uploads/prohpl/files/PDS_070514_Product_Data_Sheet_HPL.pdf
- Joonis 4. Egger. *How is compact laminate made?* Kasutatud: 10. aprill 2021. a., [WWW] <https://support.egger.com/hc/en-us/articles/360013337977-How-is-Compact-Laminate-made->
- Joonis 5. EcoIdeaz. *Can we convert plastic waste to petroleum?* [WWW] <https://www.ecoideaz.com/innovative-green-ideas/convert-plastic-waste-to-petroleum>
- Kareta, H. (2020) *Kui otsid kerget vineeri?* Kasutatud: 20.05.2021. a., allikas Mass: <https://www.mass.ee/kui-otsid-kerget-vineeri>
- Kers, J. (2006) *Recycling of Composite Plastics*. Tallinna Tehnikaülikool. Inseneriteaduskond. Materjalitöötlemise õppetool. [Dokoritöö].
- Laboratuar kodulehekül. (kuupäev puudub). *Termogravimeetiline analüüs*. Kasutatud: aprill 2021. a., [WWW] <https://www.laboratuar.com/et/testler/malzeme-testleri/termogravimetrik-analiz/>
- Ladva, A. (2012) *Ahjude termograafilise vaatluse eksperthinnangu eesmärgil*. Eesti Maaülikool. Tehnikainstituut [Bakalaureusetöö].

- Laminex. (2020) *What is Compact Laminate?* Kasutatud: aprill 2021. a., [WWW]
<https://www.laminex.com.au/article/what-is-compact-laminate>
- Lämmastik. (kuupäev puudub) Kasutatud: 27. mai 2021. a., allikas Wikipedia:
<https://et.wikipedia.org/wiki/Lämmastik>
- MDF expansion continues apace. (kuupäev puudub) Kasutatud aprill 2021. a., allikas
WBPI: <https://www.wbpionline.com/features/mdf-expansion-continues-apace-7255261/>
- Medium Density Fiberboard. (2001) Kasutatud: aprill 2021. a., allikas Design Technology
Department: <https://design-technology.org/mdf.htm>
- Oruganti, K. (2020) *How Waste Plastic is Converted into Fuel/Plastic Pyrolysis/Karthi Explains*. Kasutatud: aprill 2021. a., [VIDEO]
<https://www.youtube.com/watch?v=1STaZYZ-P1w&t=210s>
- Particleboard growth continues. (kuupäev puudub) Kasutatud: mai 2021. a., allikas WBPI:
<https://www.wbpionline.com/features/particleboard-growth-continues-7750083/>
- Phenol-Formaldehyde Resin. (kuupäev puudub) Kasutatud: aprill 2021. a., allikas
Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Phenol_formaldehyde_resin
- Pilt 1. Juniik MDF-plaat [WWW] <https://juniik.ee/pood/mdf-plaat-2-tk-ruudukujuline-60-x-60-cm-25-mm/>
- Pilt 2. Skirting4u HDF vs MDF [WWW] <https://www.skirting4u.co.uk/blog/post/hdf-vs-mdf>
- Pilt 3. Tevo Ehituskaup Puitlaastplaat [WWW]
<https://www.tevokaup.ee/toode/puitlaastplaat/>
- Pilt 4. Ehituskaup24 Vineer ext niiskuskindel 9x1250x2500 c/c kask [WWW]
<https://www.ehituskaup24.ee/fi/vineer-exterior-kask-c-c-9x1250x2500.html>
- Pilt 5. Keila ehituspood Veekindel vineer [WWW]
<https://www.puidupood.ee/toode/veekindel-vineer/>
- Pilt 6. Slotex Decorative Laminates [WWW]
http://www.slotex.ru/english/products/decor/preferences.php?ID=79&element_id=29
- Pilt 7. IKEA Buy back & resell [WWW] <https://www.ikea.com/kr/en/customer-service/services/buy-back-resell/>
- Pilt 8. TA Instruments Thermogravimetric Analyzers [WWW]
<https://www.tainstruments.com/products/thermal-analysis/thermogravimetric-analysis/>

- Pilt 9. Industry Plaza *Thermal Analyzer STA 449 F3 Jupiter* [WWW] <https://www.industry-plaza.com/thermal-analyzer-sta-449-f3-jupiter-p72144.html>
- Pilt 10. ja 11. Vineerimaailm *Outlet* [WWW] <https://www.vineerimaailm.ee/outlet>
- Plywood*. (kuupäev puudub) Kasutatud: 20. mai 2020. a., allikas Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Plywood>
- Puitlaastplaat*. (2010) Kasutatud: aprill 2021. a., allikas Puumarket: <https://puumarket.ee/tooteinfo/ehitusplaadid/puitlaastplaat/>
- Pyrolysis*. (kuupäev puudub) Kasutatud: 24. mai 2021. a., allikas Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pyrolysis>
- Science19 kodulehekülg. (kuupäev puudub) *Mis on melamiinformaldehüüd?* (kuupäev puudub). Kasutatud: märts, 2021. a., [WWW] <https://et.science19.com/what-is-melamine-formaldehyde-10078>
- SteedForm. (2019) *Melamine [LPL] vs. High Pressure Laminate [HPL] – What's The Difference?!* Kasutatud: 10. november 2020. a., allikas Steedform: <https://medium.com/@SteedForm/melamine-lpl-vs-high-pressure-laminate-hpl-whats-the-difference-ed95ff5a7c2d>
- Süsinik*. (kuupäev puudub) Kasutatud: 27. mai 2021. a., allikas Wikipedia: <https://et.wikipedia.org/wiki/Süsinik>
- Šumigin, D. (kuupäev puudub) *Puitlaastplaadid*. Tallinna Tehnikaülikool. Puidutöötlemise õppetool [konspekt].
- Taskutark kodulehekülg. (kuupäev puudub) *Isotermiline protsess*. Kasutatud: aprill 2021. a., [WWW] <https://www.taskutark.ee/harjuta/isotermiline-protsess/>
- Termogravimeetiline analüüs diferentsiaalse skaneeriva kalorimeetriaga TGA/DSC-MS*. (kuupäev puudub) Kasutatud: aprill 2021. a., allikas Adapter: <https://adapter.ee/teenus/termogravimeetiline-analuus-diferentsiaalse-skaneeriva-kalorimeetriaga-tga-dsc-ms/>
- Urea-Formaldehyde*. (kuupäev puudub) Kasutamise kuupäev: aprill 2021. a., allikas Wikipedia: <https://en.vvikipedla.com/wiki/Urea-formaldehyde>
- Vesinik*. (kuupäev puudub) Kasutatud: 27. mai 2021. a., allikas Wikipedia: <https://et.wikipedia.org/wiki/Vesinik>
- Vineer*. (kuupäev puudub) Kasutatud: 20. mai 2021. a., allikas Wikipedia: <https://et.wikipedia.org/wiki/Vineer>

Vineerimaailm. (kuupäev puudub) *Niiskuskindel vineer*. Kasutatud: 20. mai 2021. a.,

[WWW] <https://www.vineerimaailm.ee/niiskuskindel-kasevineer>

Vineerimaailm. (kuupäev puudub) *Veekindel vineer*. Kasutatud: 20. mai 2021. a., [WWW]

<https://www.vineerimaailm.ee/veekindel-kasevineer>

Väävel. (kuupäev puudub) Kasutatud: 27. mai 2021. a., allikas Wikipedia:

<https://et.wikipedia.org/wiki/Väävel>

What is the advantage and disadvantage of using pyrolysis technology to convert plastic to oil? (2019) Kasutamise kuupäev: aprill 2021. a., allikas Wastetireoil:

https://www.wastetireoil.com/Pyrolysis_news/Industry_Trends/advantage_and_disadvantage_of_using_pyrolysis_technology_to_convert_plastic_to_oil1121.html

Wilsonart. (2020) *Understanding Laminate Selection: making the right choice for your interior application*. Kasutamise kuupäev: aprill 2021. a., allikas Wilsonart:

<https://wilsonart.com.au/app/uploads/pdf/1-Wilsonart-Whitepaper-Understanding-Laminate-Selection.pdf>

LISAD

Lisa 1. Küsimused e-maili teel

1. Milliseid plaat- ja pealistusmaterjale Te oma tootmises kasutate?
2. Kas kasutate materjali kokkuhoiu saavutamiseks mingeid ennetavaid meetodeid?
3. Kas materjali jäägid on Teie jaoks probleem?

Lisa 2. Veebipõhine küsimustik

Ettevõtte nimi

1. Milliseid plaatmaterjale tootmises kasutate?

- MDF – keskmise tihedusega puitkiudplaat
- HDF – kõrge tihedusega puitkiudplaat
- PLP – puitlaastplaat/saepuruplaat
- Vineer
- Liimkilp

2. Milliseid pealistusmaterjale tootmises kasutate?

- HPL – kõrgsurvelaminaat aka laminaat
- LPL – madalsurvelaminaat aka melamiin
- CPL – pidev pressitud laminaat aka rull-laminaat
- Compact laminaat – niiskuskindel laminaat
- Mööblilinaleum
- Naturaalspoon
- Disainspoon
- 3D spoon
- Kivispoon

3. Kas peate arvet selle üle kui palju materjali sisse tellite, ära kasutate ja ära viskate? Kui jah, siis palun selgitage, kuidas?

4. Milline on ülevaade sellest, kui palju tootmisjääki teie ettevõttes tekib?

5. Kas kasutate materjali kokkuhoiu saavutamiseks mingeid ennetavaid meetodeid? Nt juurdelõikust jms.

6. Mil moel vabanete jääkidest?

- Kasutame küttematerjalina
- Kogume ja annetame koolidele
- Laseme prügiveoteenusel sellega tegeleda
- Kasutame plaatmaterjale pakkimiseks

- Kasutame pealustusmaterjale vastukaalupaberina
- Pressime briketiks
- Muu...

7. Kas jägid on teie jaoks probleem?

- Jah
- Ei

8. Kui jah, siis milline? (nt võtavad ruumi)

9. Kas eelistaksite olukorda, kus jääkmaterjal tooks teile lisakasumit?

- Jah
- Ei
- Ei oska vastata
- Pole sellele mõelnud

10. Kuidas käitute spetsiifiliselt järelejäänud laminaadiga?

11. Mida teate sellest, mis prügist edasi saab?

12. Kas teadsite, et HPL-i, CPL-i ning compact laminaati ei tohiks põletada?

- Jah
- Ei

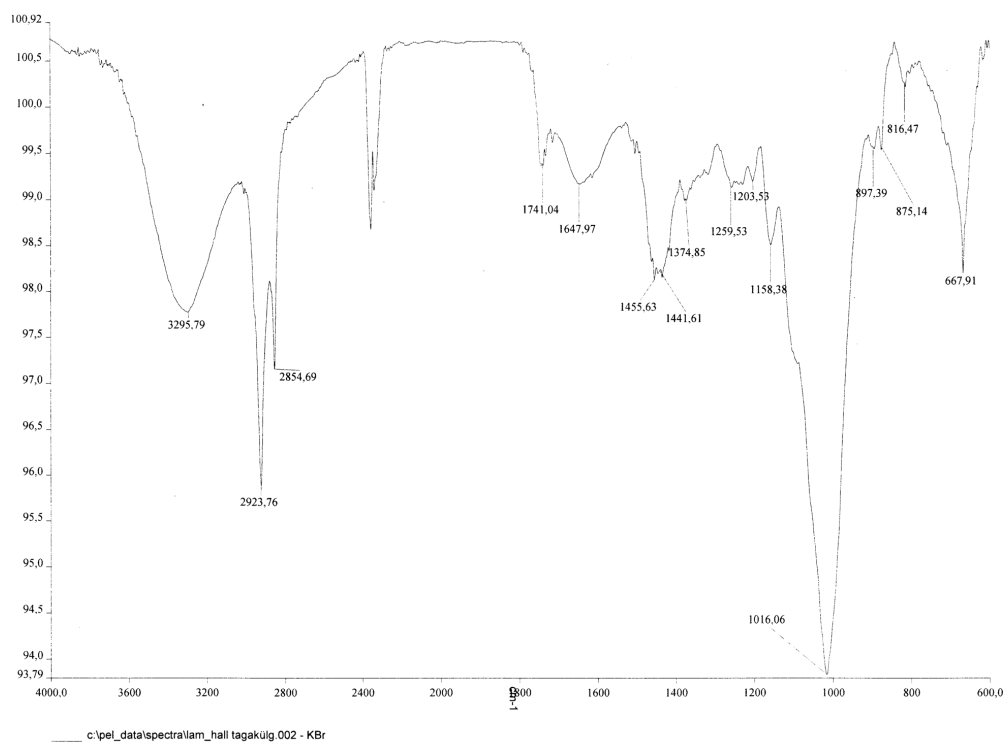
13. Kui tekiks ühendus/firma, mis koondab ettevõtetelt saadud jääkmaterjale, siis kas oleksite VAJADUSE KORRAL HUVITATUD NENDE MATERJALIDE KASUTAMISEST?

14. Kui tekiks ühendus/firma, mis koondab ettevõtetelt saadud jääkmaterjale, siis kas oleksite HUVITATUDKOOSTÖÖST, ET JÄÄKMATERJALE ÄRA ANDA?

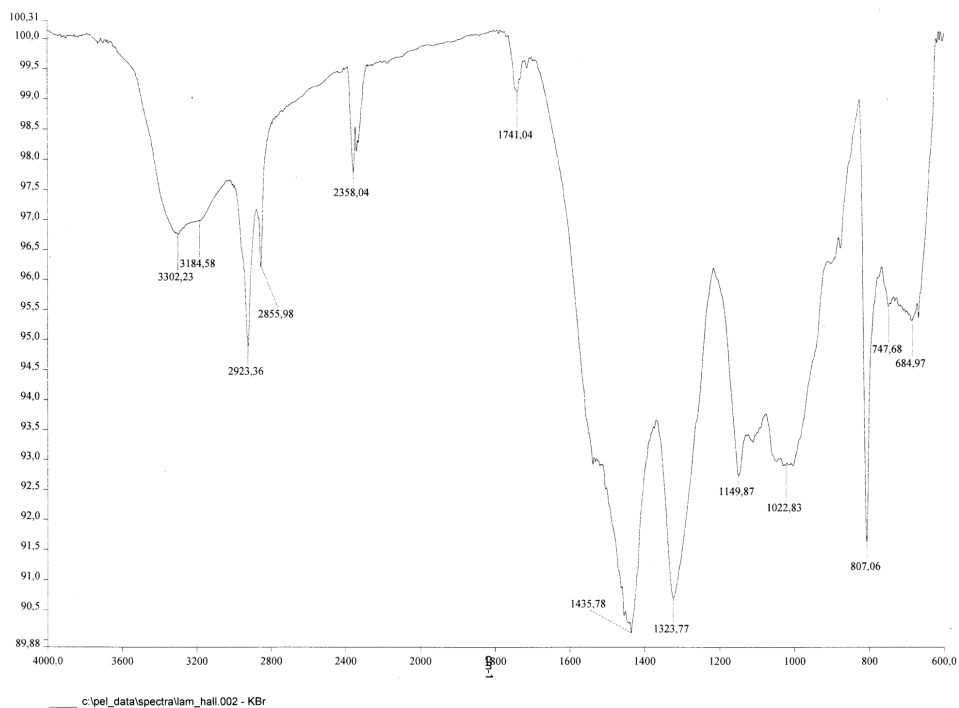
Lisa 3. Uurimisküsimused

1. Millised on laminaadi omadused?
2. Kuidas on võimalik laminaati järeltöödelda?
3. Milline on laminaadi teekond jäägina Eesti jäätmeringluses?
4. Kuhu liiguvad suuremad arenenumad tehased jäägiga tegelemisel?
5. Kuidas Eestis jäägida hetkel tegeletakse, milline on suhtumine ja kui palju ollakse tulevikus nõus panustama?
6. Milliseid lahendusi kasutatakse välismaal ja kuidas oleks neid võimalik integreerida Eestis?

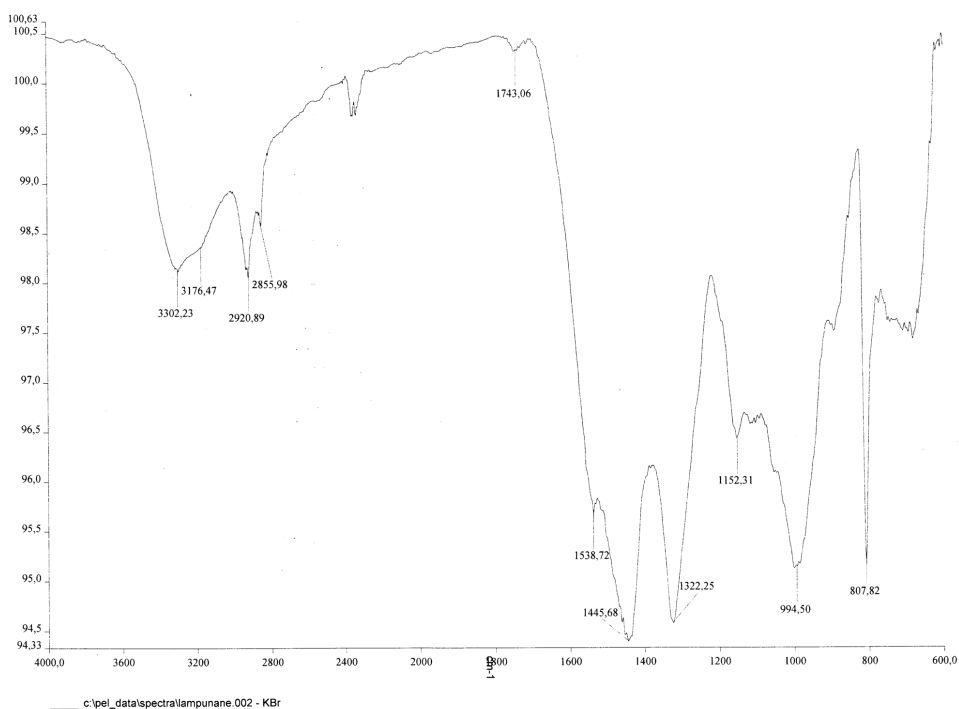
Lisa 4. FTIR spektri analüüsi tulemused



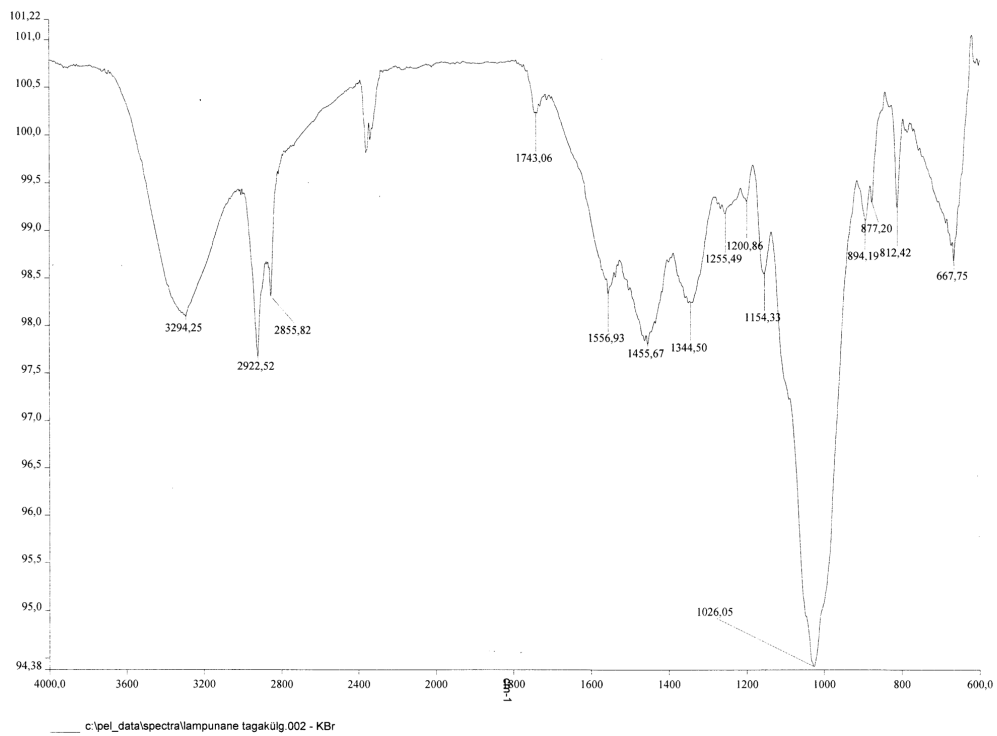
Heleda laminaadi tagakülje FTIR graaf



Heleda laminaadi pealispinna FTIR graaf



Punase laminaadi pealispinna FTIR graaf



Punase laminaadi tagakülje FTIR graaf

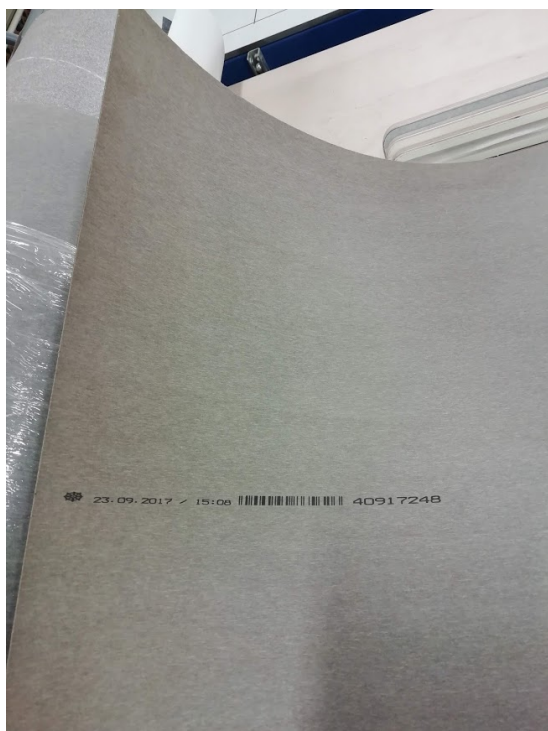
Lisa 5. Pürolüüsi saadetud jäägid



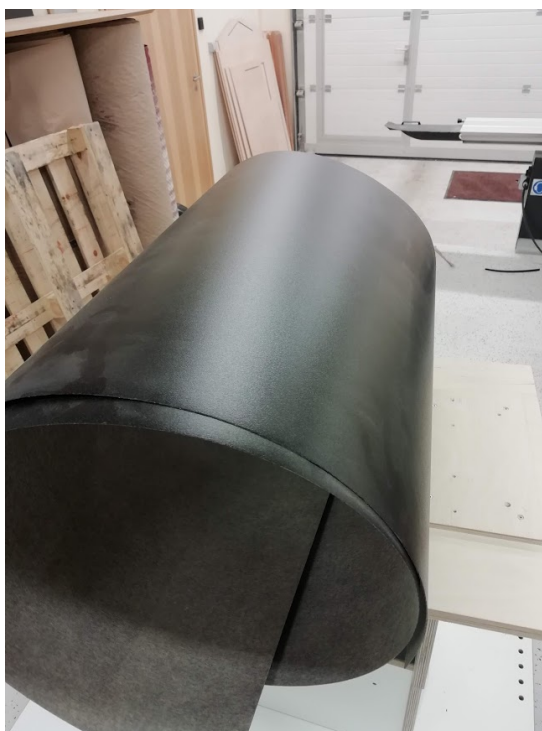
Melamiinkattega puitlaastplaat



LPLP jupid



Laminaadi tagakülg



Laminaadi rull



Laminaadi ribad

Lisa 6. Pürolüüsi saadetud musta värvi laminaadi sertifikaat

HOHENSTEIN●

Certificate

Antibacterial Activity / HD-521514-Z

Fritz Egger GmbH & Co. OG
Weiberndorf 20 – 6380 St. Johann in Tirol – Austria

Sample: **EGGER Laminate**
 EGGER Laminate XL

According to the report no. 20.8.3.0068 dated on 08 May 2020 we confirm that the above mentioned item was tested at the Hohenstein Laboratories GmbH & Co. KG according to ISO 22196:2011-08 “Plastics – Measurement of antibacterial activity on plastic surfaces”. The item shows antibacterial activity. The tests were carried out with the test strains *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P, *Escherichia coli* ATCC 8739, *Staphylococcus aureus* MRSA ATCC 33592 and *Salmonella enterica* ATCC 13076.

The certificate is valid until 31 May 2022.



Dr. Timo Hammer
Chief Executive Officer

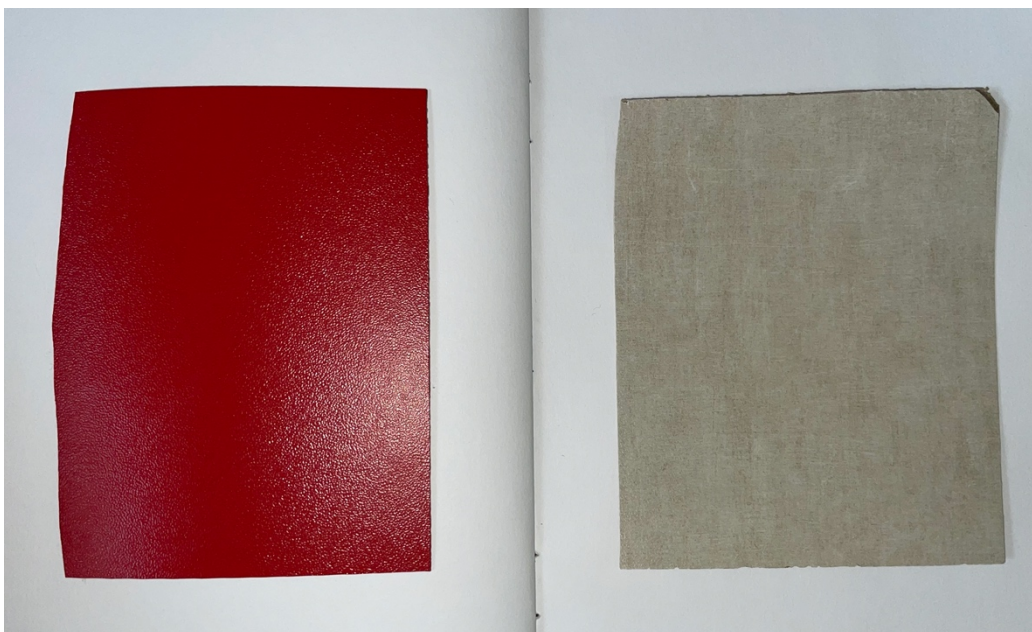
Hohenstein Laboratories GmbH & Co. KG | Schlosssteige 1 | 74357 Bönningheim | Germany

Lisa 7. Valge sade kolvis



Valge sade kolvis

Lisa 8. Termogravimeetria analüüsi teostamiseks kasutatud CPL tükid



Vasakul punane laminaat, paremal hele laminaat (erakogu)



Vasakul punase laminaadi tagakülg, paremal heleda laminaadi tagakülg (erakogu)

Lisa 9. Gaasi koostised

	Gaas pürolüüsi protsessist, mahu %		
Compound	MDF plaadi jääk	laminaat	Põlevkivi
C6+	0,21	0,07	3,29
Hydrogen	0,45	2,09	13,71
Methane	5,27	7,61	16,04
Ethane	0,84	1,50	6,74
Ethylene	0,32	0,57	2,02
Propane	0,19	0,27	2,93
Carbon Dioxide	61,96	60,92	38,90
Propylene	0,28	0,30	2,88
i-Butane	0,01	0,01	0,16
n-Butane	0,03	0,03	1,04
Propadiene	0,00	0,00	0,00
Acetylene	0,07	0,00	0,00
1-Butene	0,02	0,02	0,83
trans-2-Butene	0,04	0,02	0,34

2-methylpropene	0,01	0,00	0,88
cis-2-Butene	0,00	0,00	0,24
i-Pentane	0,01	0,00	0,15
Hydrogen Sulfide	0,96	1,58	15,20
n-Pentane	0,01	0,01	1,39
1,3-Butadiene	0,00	0,00	0,09
Methyl Acetylene	0,02	0,00	0,25
trans-2-Pentene	0,01	0,00	0,24
2-Methyl-2-Butene	0,00	0,00	0,49
1-Pentene	0,00	0,00	0,14
cis-2-Pentene	0,00	0,00	0,00
Carbonyl Sulfide	0,21	0,19	0,27
Carbon Monoxide	29,08	24,79	6,97
Superior heat value, Vol, MJ/m³	8,06	9,15	36,4
Inferior heat value, Vol, MJ/m³	7,68	8,59	33,43
Mean molecular weight	37,59	36,68	34,21
Density. kg/m³	1,6844	1,6435	1,5374