



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut

**TARBIJAJÄRGSETE TEKSTIILIJÄÄTMETE
ÜMBERTÖÖTLEMINE ERINEVA STRUKTUURIGA
LAUSMATERJALIDEKS**

**RECYCLING OF POST-CONSUMER TEXTILE WASTE TO
NON-WOVEN MATERIALS WITH DIFFERENT
STRUCTURE**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Lisett Mitendorf
/nimi/

Üliõpilaskood 178976EANB

Juhendaja: Tiia Plamus, vanemlektor
/nimi, amet/

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 2020

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 2020

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”2020

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Lisett Mitendorf (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 31.07.1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Tarbijajärgsete tekstiilijäätmete ümbertöötlemine erineva struktuuriga lausmaterjalideks,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on

Tiia Plamus,

(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (*allkiri*)

04.06.20 (*kuupäev*)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Lisett Mitendorf, 178976EANB (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peaariala: EANB, Materjalitehnoloogia (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Vanemlektor, Tiia Plamus PhD, +372 56211653 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Tarbijajärgsete tekstiilijäätmete ümbertöötlemine erineva struktuuriga lausmaterjalideks

(inglise keeles) Recycling of post-consumer textile waste to non-woven materials with different structure

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tekstiilijäätmetest lausmaterjalide valmistamine, valminud materjalide omaduste uurimine ning võimalike kasutusvaldkondade kaardistamine.
2. Ülevaate andmine erineva struktuuriga lausmaterjalide tootmisviisidest.
3. Tekstiilijäätmete ümbertöötlemise võimaluste kaardistamine erineva struktuuriga lausmaterjalideks.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tekstiilijäätmete probleemistiku uurimine ning tekstiilijäätmete kaardistamine.	01.11.19
2.	Lausmaterjalide tootmisviisidega tutvumine ja lausmaterjalide valmistamine.	01.05.20
3.	Erineva struktuuriga lausmaterjalide määramine katsetamise teel.	15.05.20
4.	Erinevate lausmaterjalide omaduste võrdlemine ja neile sobivate kasutusvaldkondade leidmine.	29.05.20
5.	Bakalaureusetöö esitamine	04.05.20

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "04" juuni.2020.a

Üliõpilane: Lisett Mitendorf ".....".....2020.a
/allkiri/

Juhendaja: Tiia Plamus ".....".....2020.a
/allkiri/

Programmijuht: Tiia Plamus ".....".....2020.a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	6
Lühendite ja tähiste loetelu	7
SISSEJUHATUS	8
1 TEKSTIILIJÄÄTMETE PROBLEEMISTIK	10
1.1 Tekstiilijäätmete liigitus	10
1.2 Tekstiilijäätmete teke ja sellega kaasnevad probleemid	11
2 SENINE PRAKTIKA TARBIJAJÄRGSETE TEKSTIILIJÄÄTMETE ÜMBERTÖÖTLEMISEL ..	14
2.1 Mehaaniline ümbertöötlusprotsess	15
2.2 Tekstiilijäätmel ümbertöötlevad ettevõtted	16
3 LAUSMATERJALIDE TOOTMISVIISID JA KASUTUSVALDKONNAD	19
3.1 Mis on lausmaterjal	19
3.2 Lausmaterjali tootmine	19
3.3 Lausmaterjalide kasutusvaldkonnad	23
4 LAUSMATERJALIDE OMADUSED JA NENDE MÄÄRAMINE	25
4.1 Toormaterjalide kirjeldus	25
4.2 Tekstiilkiudude omaduste määramise meetodid	26
4.3 Seadmed materjalide omaduste määramiseks	28
5 LAUSMATERJALIDE VALMISTAMINE	31
5.1 Lausmaterjali valmistamiseks vajalikud seadmed	31
5.2 Kiudude omaduste määramine	33
5.3 Ümbertöötlemata kiududest lausmaterjali valmistamine	38
5.3.1 Ümbertöötlemata lausmaterjali valmistamine parendatud parameetritega	40
5.4 Ümbertöödeldud kiududest lausmaterjali valmistamine	40
6 KATSETULEMUSED JA NENDE ANALÜÜS	44
6.1 Lausmaterjalide katsetulemuste analüüs	44
6.2 Kasutusvaldkonnad ümbertöödeldud kiududest lausmaterjalidele	51
KOKKUVÕTE	52
SUMMARY	54
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	56
LISAD	58

EESSÕNA

Bakalaureusetöö on valminud koostöös Tallinna Tehnikaülikooli Polümeeride ja tekstiilitehnoloogia laboriga, et uurida tekstiilijäätmete taaskasutamist lausmaterjalides. Eesmärgiks on leida lahendusi tekstiilijäätmete efektiivseks taaskasutamiseks, et vähendada nende ladustamist prügilatesse. Sellega seondult on sõnastatud ka bakalaureusetöö probleemistik ja eesmärk. Selleks on eelnevalt töötatud läbi teemakohane kirjandus ning teostatud vajalikud katsetused. Töö tulemusena on välja toodud erinevad lahendused tekstiilijäätmete kasutamiseks lausmaterjalides.

Suur tänuavaldus lõputöö juhendamisel ja nõustamisel Tiia Plamusele.

Võtmesõnad: tekstiilijäätmed, taaskasutus, lausmaterjalid, tekstiilijäätmete ümbertöötlemine, bakalaureusetöö

Lühendite ja tähiste loetelu

A - pindala

B - laius

CO - puuvill (inglise keeles *cotton*)

G_s - pindtihedus

L_k - pikkus purunemise momendil

L_0 - algpikkus

l_t - absoluutne tõmbevenivus maksimaalse jõu juures

m - kaal

PES - polüester (inglise keeles *polyester*)

PLA - polülaktiid (inglise keeles *polylactic acid*)

P_t - keskmine katkekoormus

P_0 - suhteline katkekoormus maksimaalse jõu juures

SISSEJUHATUS

Mõne aastakümnega on inimeste suhtumine jäätmetesse muutunud. Kuni 60-ndateni oli jäätmete käitlemine vajalik hügieenilisuse tõttu. Prügi transporditi linnadest välja, et vältida epideemiate puhangut. Alates sellest ajast on arenenud jäätmekäitlus enamikes Maailma piirkondades, eriti arenenud maades.

Tekstiili- ja rõivatööstus on kasvanud üheks enim keskkonda saastavamaks tööstusharuks. Massiivne kiirmoe pealetung on tekitanud olukorra, kus suureks probleemiks on tekstiilijäätmed. Masstoodang on endaga kaasa toonud rõivaste kvaliteedi ja hinna languse, mille tõttu on kasvanud inimeste tarbimisvajadused. Ületarbimine viib igal aastal tohutul hulgal kasutatud tekstiilmaterjale prügilasse. Prügilasse sattunud keemiliste ja looduslike kiudude lagunemine võib võtta kaua aega. Selle asemel, et tekstiilijäätmeid prügilatesse ladustada, tuleb leida loodussäästlikumaid alternatiive.

Üheks võimaluseks on tekstiilijäätmetest lausmaterjalide tootmine. Lausmaterjali valmistamisel on võimalik kasutada ära suurel hulgal tekstiilijäätmeid. Lisaks on lausmaterjalide tootmine pidevas arendustöös, et valmistada uusi materjale, mis laiendaks ka lausmaterjalide kasutusvaldkondi. Tänu sellele on lausmaterjalide tootmine perspektiivikas tekstiilijäätmete taaskasutamise võimalus.

Antud töö tegeleb tarbijajärgsetele jäätmetele lahenduse otsimisega. Tekstiilijäätmetest tuleneva probleemi lahendamiseks on bakalaureuse töö põhieesmärgiks valmistada laboratoorsel teel lausmaterjale ümbertöötlemata puuvilla kiududest ning ümbertöödeldud puuvilla kiududest ning neid omavahel võrreldes leida ümbertöödeldud kiududest lausmaterjalidele perspektiivikaid kasutusvaldkondi. Selle eesmärgi saavutamiseks uuritakse ning analüüsitakse kirjanduslikke allikaid, mille abil tehakse selgeks tekstiilijäätmetega seonduv probleemistik ning lausmaterjalide valmistamise meetodid. Bakalaureusetöös katsetatakse ümbertöötlemata ja ümbertöödeldud puuvilla kiudusid lausmaterjalide valmistamisel, määratakse pindtiheduse, tõmbekatse ja õhuläbilaskvuse abil lausmaterjalide omadusi ning leitakse ümbertöödeldud kiududest lausmaterjalidele selle töötlemisviiside põhjal kasutusvaldkondi.

Bakalaureusetöö esimeses peatükis tutvustatakse tekstiilijäätmete probleemistikku, kus selgitatakse tekstiilijäätmete liigitust ning probleeme tekstiilijäätmete tekkel. Teine peatükk kirjeldab senist praktikat tekstiilijäätmete ümbertöötlemisel ning tutvustab

ettevõtteid, kes tegelevad tekstiilijäätmete ümbertöötlemisega. Töö kolmas peatükk tutvustab lausmaterjali olemust ning selle tootmisviise ja kasutusvaldkondi. Neljandas peatükis kirjeldatakse praktilises osas kasutatud toormaterjale, omadusi, mille abil lausmaterjale võrrelda ning seadmeid nende omaduste määramiseks. Lausmaterjalide valmistamise peatükk sisaldab lausmaterjalide valmistamist ümbertöötlemata ja ümbertöödeldud puuvilla kiududest. Töö põhiosa viimane peatükk koondab kokku lausmaterjalide omadused ning nende võrdluse, samuti kirjeldatakse antud peatükis ümbertöödeldud kiududest lausmaterjali võimalike kasutusvaldkondi.

Töö praktilises osas valmistatavate lausmaterjalide komponendid, ümbertöötlemata puuvilla kiud, polüesterkiud ja polülaktiidkiud, on saadud ettevõttelt Toom Tekstiil AS. Eesti Kaitseväelt on saadud tarbimisjärgsed puuvillast särgid, millest on rõivaste purustamise tulemusel saadud töös kasutatud ümbertöödeldud puuvilla kiud.

Bakalaureusetöö on valminud koostöös Keskkonnainvesteeringute keskuse projektiga „Tekstiilijäätmete purustamistehnoloogia ja uudsete materjalide arendamine tekstiilijäätmete väärimiseks ning ringmajanduse toetamiseks“. Antud projekti eesmärgiks on tekstiilijäätmete ettevalmistamine ümbertöötlemiseks, järgides seejuures ringmajanduse põhimõtteid.

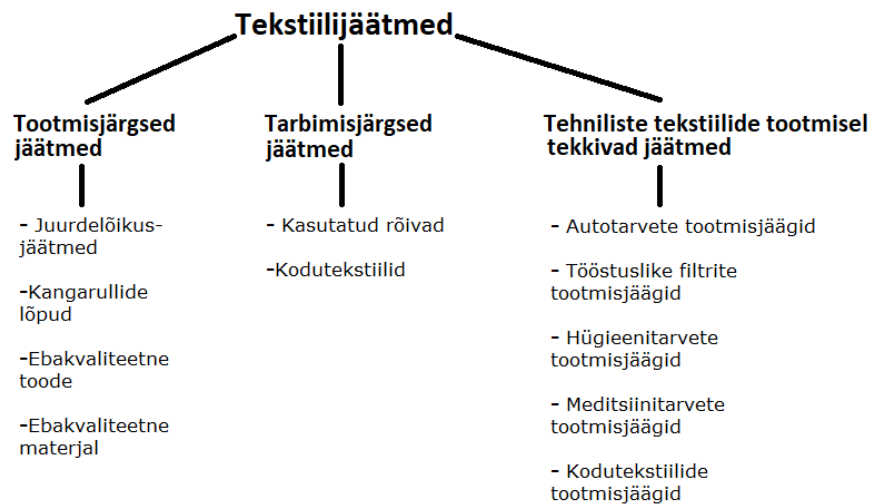
1 TEKSTIILIJÄÄTMETE PROBLEEMISTIK

Tekstiilitooted mängivad olulist rolli inimese igapäevaelus ning koos toidu ja peavarjuga peetakse rõivaid üheks inimese põhivajaduseks [1]. Kiiresti arenev ühiskond ja läänelik elustiil on tekstiilivaldkonnas endaga kaasa toonud tohutu tarbimise kasvu. Populaarseks on saanud kiirmood, trendid vahetuvad kiiresti ning tarbija ootab üha kiiremini uusi ja suuremas valikus tooteid. Kasvav nõudlus on tootjatele pannud eesmärgiks tuua uusi tooteid kiiremini turule, mis toob endaga kaasa toote kvaliteedi languse ning sealjuures suurema tekstiilijäätmete hulga.[2]

Hetkel käsitletakse rõivaste uuesti kandmist justkui tekstiilijäätmete põhilist taaskasutust, kuid tegelikult on rõivaste uuele tarbimisringlusele saatmine vaid üks osa rõiva eluringist. Kui toode on uue tarbija poolt kantud jääb temast siiski alles jääde. Lisaks sellele võib uuele ringile saadetud rõivaste hulgas olla riideid, mis ei vasta uude piirkonda saadetud tarbijate suurustele või kliimale ning jäävad uuele kasutusele minemata tekstiilijäätmeks.[2]

1.1 Tekstiilijäätmete liigitus

Tekstiilijäätmel liigitatakse kolme rühma: tootmisjärgsed tekstiilijäätmel, mis tekivad tootmisprotsesside käigus; tarbimisjärgsed tekstiilijäätmel, mis hõlmavad endas rõivaid ja kodutekstiile ning tehniliste tekstiilide tootmisel tekkivad jäätmel, milleks on näiteks filtrite, geotekstiilide ja puhastuslappide tootmisest tekkinud jäägid.[3] Joonisel 1.1 on näha tekstiilijäätmel rühmad ning nende alla liigituvad tekstiilijäätmel.



Joonis 1.1 Tekstiilijäätmete jagunemine [3][4]

Tarbimiseelsed tekstiilijäätmed, vahel nimetatakse ka tootmisjärgseks jäätmeteks, on kõik jäätmed, mis tulenevad tekstiilmaterjalide ja rõivaste tootmisprotsessidest enne seda, kui toode on valmis minema turule. Alles jäänud materjaliks võivad olla juurdelõikusel tekkivad kangajäägid, kangarullide lõpud, kvaliteedile mittevastavad tooted või nõuetele mittevastav materjal. Kuna tarbija ei näe juurdelõikusel tekkinud jääke, mis on umbkaudu 15-20% kangast, siis ei mõisteta kui tõsine probleem see tegelikult on.[4]

Tarbimisjärgne jääk on materjalid ja rõivad, mille tarbija on ostnud, ära tarbinud ning otsustanud, et ei soovi toodet enam kasutada. Tarbimisjärge tekstiilijääk on see, mida nähakse rohkem end ümbritseva probleemina. Ainuüksi Soomes visatakse igal aastal ära 70000-80000 tonni tekstiilijäätmeid, mis teeb ühe inimese kohta ligikaudu 14 kg.[4] Tehniliste tekstiilide tootmisel tekkivad tekstiilijäätmed on tekstiilmaterjalide jäägid, mis jäävad üle tehniliste tekstiilitoodete tootmisel. Antud kategooriasse liigitatakse näiteks tööstuslike filtrite, hügieenitarvete, autotarvete ja meditsiinitarvete tootmisel tekkinud jäägid.

1.2 Tekstiilijäätmete teke ja sellega kaasnevad probleemid

Maailmas toodetakse aastas umbes 80 miljardit uut rõivaeset. See on üle 400% enam kui tarbiti 20 aastat tagasi. Kuna uued rõivad tulevad kasutusele üha kiiremini, loobutakse vanadest rõivastest kiiremas tempos. Keskmise ameeriklane tekitab igal aastal 37 kilogrammi tekstiilijäätmeid. See tähendab, et ainuüksi Ameerika Ühendriikidest tuleb üle 11 miljoni tonni tekstiilijäätmeid aastas. Ajalooliselt on rõivad

olnud miski, millest hoitakse võimalikult kaua kinni, kuid odavate riiete tulekuga on hakatud rõivaid nägema ühekordsete tarbeesemetena.[5]

Arvatakse, et kiirmoodi tarbides kulutatakse vähem raha, kuigi tegelikkuses ostetakse rohkem ja tarbitakse lühemat aega. Ligikaudu 60% kasutatavatest rõivastest on valmistatud sünteetilisest kiududest, mis ei ole biolagunevad ning säilivad prügilates aastasadu.[6]

Euroopas on kümnendiga ühe inimese rõivaste ostmise maht kasvanud ligi 40%. Selle põhjuseks on tekstiiltoodete hinna langus ning pidevalt kiirenevad muutused moetööstuses. Rõivaste arvel on 2-10% Euroopa Liidu tarbimisest tekkinud keskkonnamõjutustest. Mõjutused on tegelikkuses tunduvalt suuremad, kuna enamik tootmisest on viidud Euroopast välja. Toorainete tootmine, kiudude valmistamine, kanga valmistamine ning selle värvimine ja viimistlemine nõuavad suurel hulgal vett ja kemikaale.[9] Vee kogus, mis on vajalik ühe puuvillase särgi tootmiseks, on sama nagu ühe inimese joogivee kogus kaheks ja pooleks aastaks.[6]

Keskkonnatingimuste kiire halvenemine on pannud tööstusjuhid juhtimisega seotud otsuste tegemisel, arvesse võtma ka keskkonnavalaseid tegureid. Kemikaalid, mis lastakse õhku, vette ja pinnasesse, on need tegurid, mis vastutavad keskkonna saastatuse eest. Joonisel 1.2 on toodud välja tekstiilitööstuse tegevusest tulenevad keskkonnaprobleemid ning võimalused kuidas probleeme vähendada.[1]

Tänapäeval on ettevõtted teadlikumad keskkonnakvaliteedi ja majandusarengu raamistiku väljavaadete seosest ning see keskkonnakvaliteedi ja vastutuse tegur mõjutab suuresti ettevõtete edukust. Tarbijate nõudmised suunavad ettevõtteid võtma arvesse lisaks kvaliteedile, hinnale ja tootmise paindlikkusele mitmeid teisi keskkonnamõjutusi. Nõudlus loodussõbralikes tingimustes toodetud naturaalsele toodetele, toidukaupadest rõivasteni, on muutnud ettevõtteid keskkonna suhtes tundlikumaks. [1]



Joonis 1.2 Tekstiilitööstuse tegevusest tulenevad keskkonnaprobleemid ja nende võimalikud lahendused [1]

2018. aastal võeti Euroopa Liidus vastu ringmajanduse pakett, mis nõuab esmakordselt liikmesriikidelt veendumust, et tekstiilijäätmed kogutakse eraldi. Uus jäätmete direktiiv (EL) 2018/851 nõuab liikmesriikidelt sellise kava kehtestamist hiljemalt aastaks 2025. Samuti peab Euroopa Komisjon kaaluma hiljemalt 2024. aasta lõpuks tekstiilijäätmete taaskasutamise ja ringlusesse võtmise eesmärkide tutvustamise vajadust.[7]

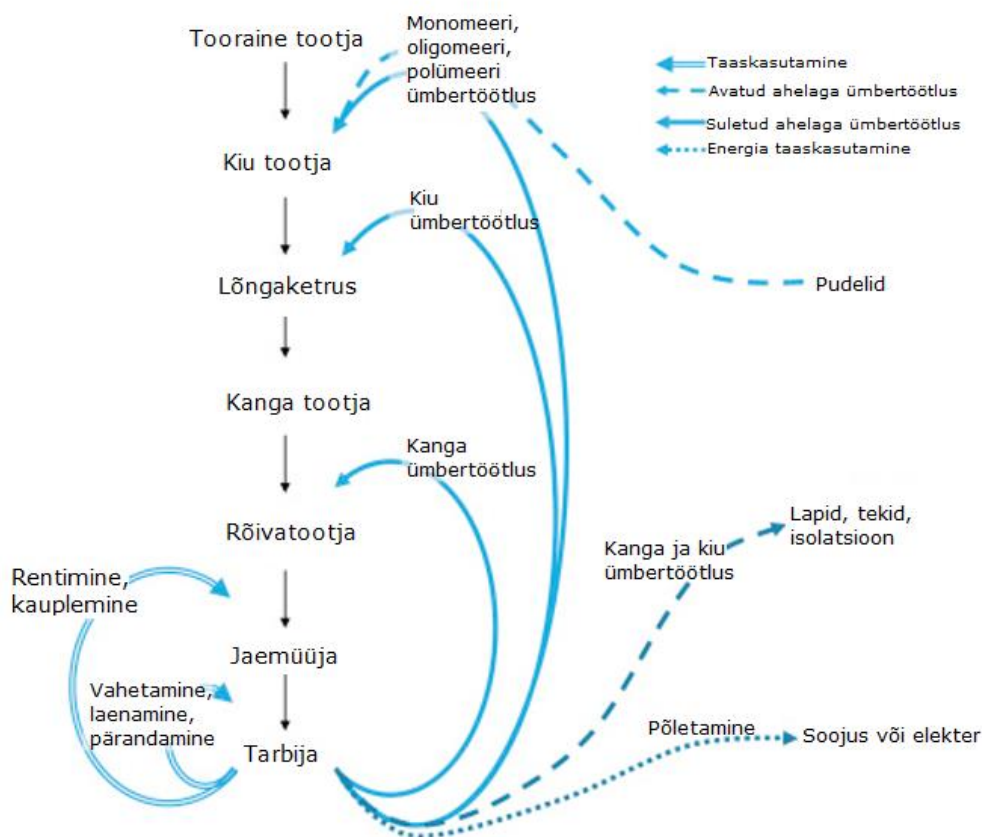
Eestis on samuti probleeme tekstiilijäätmetega. Puudub lahendus ära visatud rõivastele, sellele lisaks ei ole inimesed teadlikud tekstiilijäätmete sorteerimise vajadusest.

Viimase aastakümnegi on Eestisse sisse tulnud tohutul hulgal rõivabrände, mis on endaga kaasa toonud kiirmoe populaarsuse kasvu. Seetõttu on kasvanud ka tekstiiltoodete ületarbimine. Baltimaadest on saanud suuresti Skandinaaviamaade tekstiilijäätmete taaskasutajad. Rõivad, mis on Skandinaavias tarbijate poolt hüljatud, tuuakse Baltimaadesse, et need siis siin uuesti tarbijale maha müüa. Kuid kui imporditud kasutatud rõivastest jääb osa taaskasutamata, kuhjub see prügina Baltimaades, mitte Skandinaavias.

2 SENINE PRAKTIKA TARBIJAJÄRGSETE TEKSTIILIJÄÄTMETE ÜMBERTÖÖTLEMISEL

Viimase aastakümnega on suurenenud tekstiilijäätmete ümbertöötlemise olulisus. Tootmisjärgseid tekstiilijääke on võimalik kasutada uute toodete valmistamiseks, ilma ümbertöötlusteta. Tarbimisjärgseid tekstiilijääke on võimalik purustada kiududeks ning valmistada uueks lõngaks, mida saab kasutada uute toodete valmistamiseks.

Kõige sagedamini kasutatakse tekstiilijäätmete ümbertöötlemisel mehaanilist ümbertöötlemist, kus purustatakse tekstiilijäätmed kiududeks. [8] Joonisel 2.1 on näha skeem, kuidas toimub tekstiili eluring, taaskasutus ning ümbertöötlemine uueks tooteks. Tekstiili puhul on mitmeid variante kuidas tooteid taaskasutada või materjale ümber töödelda. Tekstiilijäätmed, mis enam kandmiseks ei sobi töödeldakse ümber lausmaterjaliks või lõngaks, et valmistada uusi tooteid. Tekstiilijäätmeid kasutatakse ka kaltsude ja tekkide valmistamiseks ning isolatsioonimaterjali valmistamiseks. Samuti on skeemilt näha, kuidas osa tekstiilijäätmetest põletatakse energia tootmiseks.



Joonis 2.1 Tekstiilmaterjalide taaskasutamise ja ümbertöötlemise skeem [9]

2.1 Mehaaniline ümbertöötlusprotsess

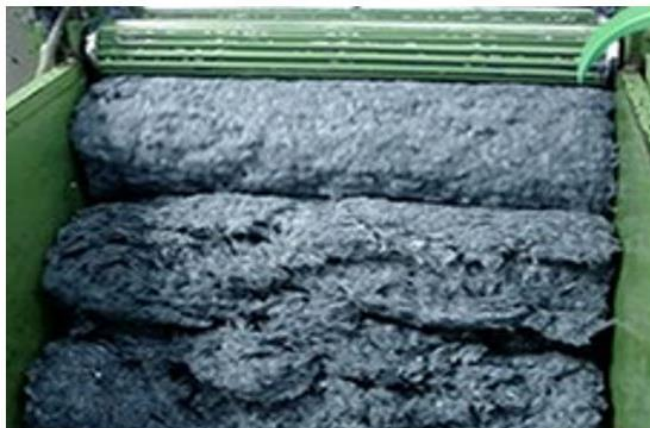
Esimeseks etapiks tekstiilijäätmete ümbertöötlemises on jäätmete kokku kogumine. Selleks kasutatakse mitmeid viise. Tarbijajärgseid jäätmeid kogutakse avalikest kogumiskastidest ning ükselt uksele kogumisega. Tootmisjärgseid jäätmeid on võimalik saada tekstiili- ja rõivatootmise ettevõtetest.[10]

Kokku kogutud jäätmed tuleb jagada gruppidesse: taaskasutuseks, prügiks, kaltsudeks ja purustamiseks. Sorteerimise protsess käib peamiselt manuaalselt. Osa annetatud toodetest on heas seisukorras ning sobivad korduvkasutamiseks, need müüakse uue ringiga taas tarbijale. [10]

Tekstiilmaterjalid ja rõivad koosnevad enamasti sünteetiliste ja looduslike kiudude segust. See, milline on kanga koostis, mõjutab ka tema töötlusprotsessi. Kogutud kangad sorteeritakse asjatundjate poolt ja jaotatakse materjalide järgi eri rühmadesse. Looduslikud tekstiilmaterjalid jaotatakse värvi ja materjali järgi. Värvide eraldamine võimaldab hiljem vahele jätta kangaste värvimise protsessi. Seejärel purustatakse rõivad ribadeks ning siis kiududeks ja kombineeritakse teiste valitud kiududega. Rõivaste purustamismeetodit on näha joonisel 2.2 ja 2.3. Pärast puhastamist ja kraasimist saab kiududest valmistada lausmaterjali või lõnga.[10]



Joonis 2.2 Rõivaste purustamine riidetükkideks [8]



Joonis 2.3 Riidetükkide purustamine kiududeks [8]

Polüestril põhinevate materjalide ümbertöötamise protsess toimub mõnevõrra erinevalt. Esmalt eemaldatakse lukud ja nõöbid, nagu ka teiste materjalide puhul, ning seejärel lõigatakse rõivad tükkideks ning peenestatud kangad granuleeritakse. [10]

Autori arvates on tänapäeval suureks probleemiks see, et rõivad ei koosne ainult ühest materjalist. Seetõttu on tunduvalt keerulisem materjale ümber töödelda. Üheks lihtsaimaks võimaluseks selliste rõivaste puhul oleks nendest lausmaterjalide tootmine.

2.2 Tekstiilijäätmeid ümbertöötlevad ettevõtted

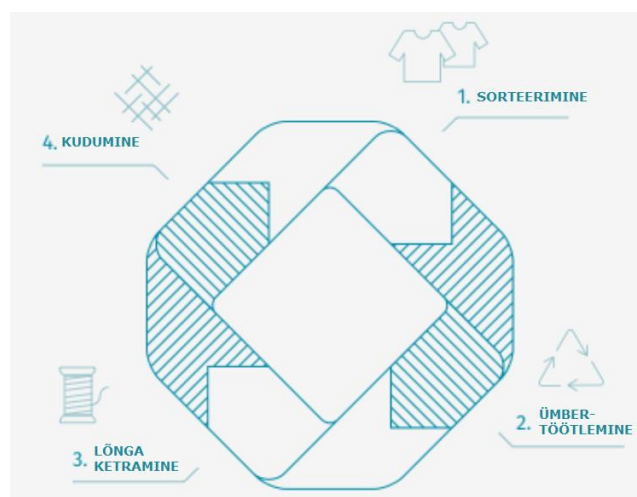
Tekstiilitööstuses leidub ettevõtteid, kelle eesmärgiks on ettevõtte poolt tekitatud jäätmete taaskasutamine või seisneb kogu ettevõtte tegevus tekstiilijäätmete taaskasutamisel. Kui varasemalt oli tegemist tundmatu valdkonnaga, siis rõivaste taaskasutamise ja ümbertöötlemise populaarsuse kasvuga on tekkinud juurde ettevõtteid, kelle eesmärgiks on tekstiilijäätmetest midagi uut toota.

Lindström on Euroopa tekstiiliteenuste ettevõtte, mille eesmärgiks on otsida pidevalt uusi koostööpartnereid, kes nende ettevõttes tekkivaid tekstiilijäätmeid ümber töötleksid. Nad pakuvad lahendusi ruumide puhtuse tagamiseks ja sisekujunduseks, näiteks üürivaipade vahetusteenus, ning tööriivaid ja töökaitselahendusi, nagu valik isikukaitsevahendeid, tööstuslikke puhastustekstiile, hügieeni ja restoranitekstiilide teenuseid ning hotellide ja tervishoiuasutuste tekstiile. [11]

Lindström tootis 2017. aastal 10 tonni tekstiilijäätmeid. Tekstiilijäätmete taaskasutamise määr oli 71 %; Soomes 100 % ning umbes 34 % Euroopa ja Aasia tütarettevõtetes. Ettevõtte eesmärk on viia 2020. aastaks taaskasutamise määr 90 %-le.[11]

Recover on ettevõtte, mis toodab kasutatud rõivastest lõnga. Uuest lõngast saab teha kangaid, mida kasutatakse omakorda uute rõivaste tootmiseks. Sellega hoidis ettevõtte aastal 2018. kokku 43,4 miljardit liitrit vett, 2,9 miljonit kilogrammi tekstiilijäätmeid, 61 miljonit kg CO2 emissiooni ja 157 miljonit kWh energiat. [12]

Wolkat tegeleb tekstiili ümbertöötlemisega alates 1948. aastast. Wolkat pakub tekstiili töötlemise lahendust sorteerides ja ümbertöödeldes tekstiilitooteid ja rõivaid ning kiust tootes ümbertöödeldud kiust lõnga. Ettevõtte tööpõhimõtte ringlusskeemina on näidatud joonisel 2.4. Kõik tekstiilijäätmed transformeeritakse lõpp-produktiks ilma vett või värvainet kasutamata, jättes protsessist maha 4-5% tekstiilijäätmeid. [13]



Joonis 2.4 Ettevõtte Wolkat tööpõhimõtte ringlusskeemina [13]

Eesti moelooja keskkonnaaktivist Reet Aus on loonud rõivabrändi Reet Aus Collection ja The Up-shirt. Brändi rõivad on UPMADE sertifikaadiga ning valmistatakse tekstiilijäätmetest. UPMADE sertifikaadi alusel ei tekita ringmajandus disainimisel jäätmeid ega saastet.[14]



Joonis 2.5 Reet Aus tekstiilijäätmetest toodetud Up-shirt. [14]

3 LAUSMATERJALIDE TOOTMISVIISID JA KASUTUSVALDKONNAD

Purustatud tekstiili- ja rõivamaterjalide üheks kasutusvaldkonnaks on nende lisamine lausmaterjalide koostisesse. Lausmaterjalide tootmisel ei pea koostises olema tegemist ühe puhta materjaliga, omavahel saab segada erinevaid komponente. Vastavalt sellele, saab valida ka kiudude ühendamismeetodi.

3.1 Mis on lausmaterjal

Lausmaterjalid on tekstiilsed tasapinnalised tooted, mis valmistatakse ühest või mitmest tekstiilmaterjali kihist, mille struktuurielemendid on ühendatud erinevate moodustega ja mis oma olemuselt erinevad traditsioonilisest riidest või silmuskudumist.[15]

Lausmaterjale defineeritakse erinevat moodi. Üks sagedasemalt tsiteeritavaid definitsioone on International Nonwovens and Disposables Association'i (INDA) määratlus: lausmaterjal on leht, võrk või nahkriie looduslikest ja/või keemilistest kiududest või niitidest, mida pole lõngaks muudetud ja mis on üksteisega ühendatud erinevate meetodite teel.[16]

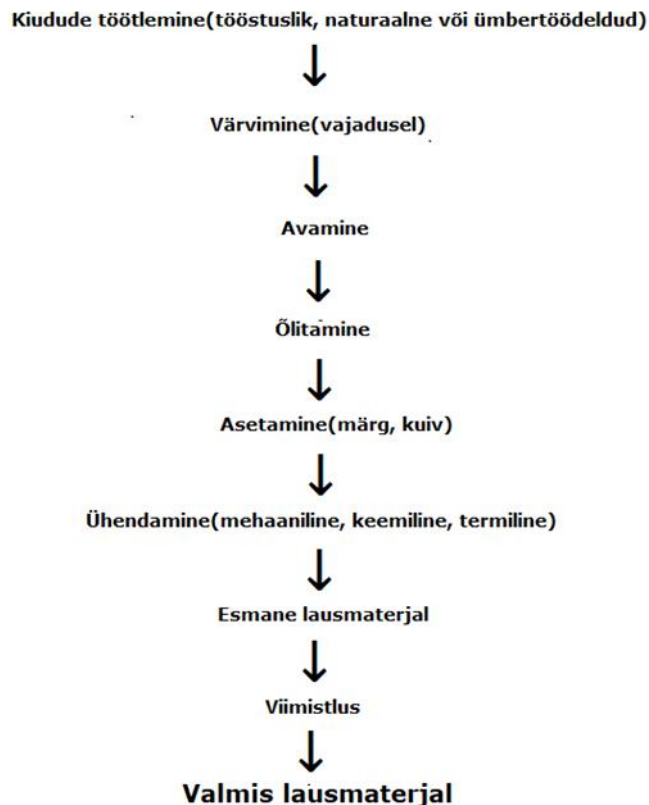
Meetodid materjalide ühendamiseks on:

1. liimi lisamine;
2. kiudude termiline sulatamine või ühendamine teiste sulavate kiudude või pulbritega;
3. sulatades esmalt kiud ja seejärel nende pinnad uuesti tahkestades;
4. kiudude mehaaniline ühendamine;
5. kiudude ühendamine läbiõmblemise teel. [16]

3.2 Lausmaterjali tootmine

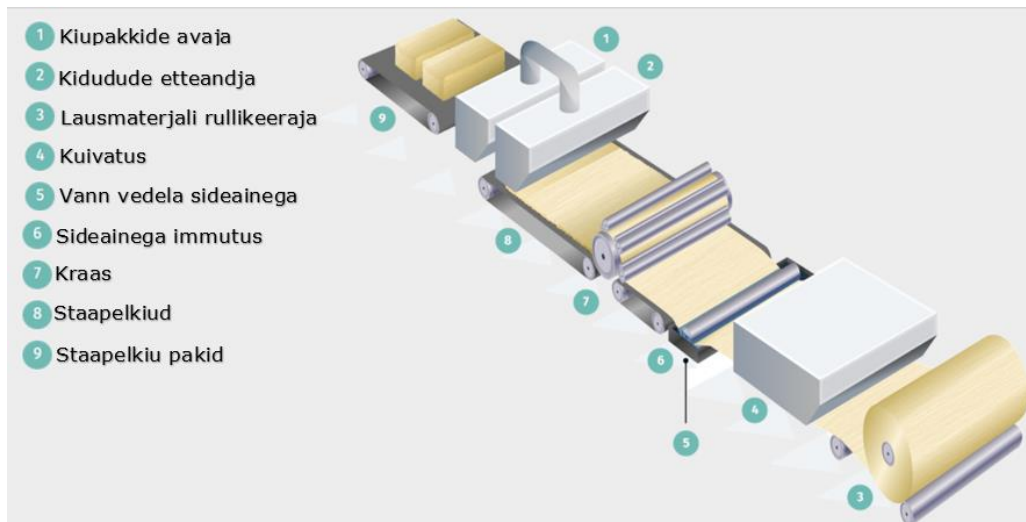
Lausmaterjalide tootmine koosneb mitmest erinevast etapist. Joonisel 3.1 on näha kõik tootmisetapid kindlas järjestuses. Mõned etapid võivad varieeruda vastavalt tootmismeetoditele. Kõige esimeseks etapiks on kiudude töötlemine ehk kiudude valmistamine, vajadusel nende purustamine väiksemateks tükkideks või kiudude pesemine. Sellele protsessile järgneb värvimine, mida sooritatakse vajadusel, kui kiu

värvi tahetakse muuta. Edasi toimub kiudude avamine ning õlitamine, et vältida kiudude puntrasse jäämist ning kiudude üksteise külge kleepumist. Kiudude asetamist on võimalik teha märja- ja kuiva meetodiga, kuivasetus meetodil saab ühes suunas orienteeritud kiududega lausmaterjali ning märgasetus meetodil erisuunaliselt orienteeritud lausmaterjali. Kiudude üksteisega ühendamiseks on olemas mitu erinevat võimalust: mehaaniline-, keemiline- ning termiline ühendusmeetod. Ühendusmeetodist tuleb välja esmane lausmaterjal, mida lõpp-produkti saamiseks viimistletakse.



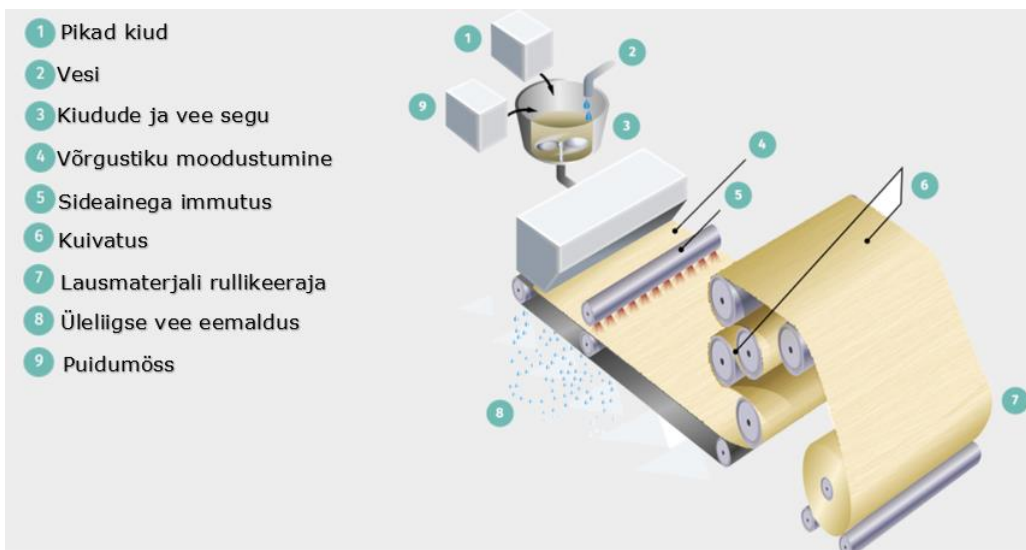
Joonis 3.1 Lausmaterjali tootmisprotsessi skeem [17]

Kiudude asetamisel on võimalik kasutada kuiv-asetus meetodit või märg-asetus meetodit. Kui võrk on tekitatud kraasimise teel, koosneb see orienteeritud kiududest, õhuga asetades on kiudude paiknemine juhuslik. Kuiv-asetus meetodi protsessi on näha joonisel 3.2.



Joonis 3.2. Kuiv-asetus meetodi tootmisprotsess [18]

Märg-asetus võimaldab kiirendada tootlikust, suurendada paindlikust erinevate kiutüüpide segamisel ja võimaldab saavutada paremat toote ühtlust. Märg-asetuse protsessi on näha joonisel 3.3.

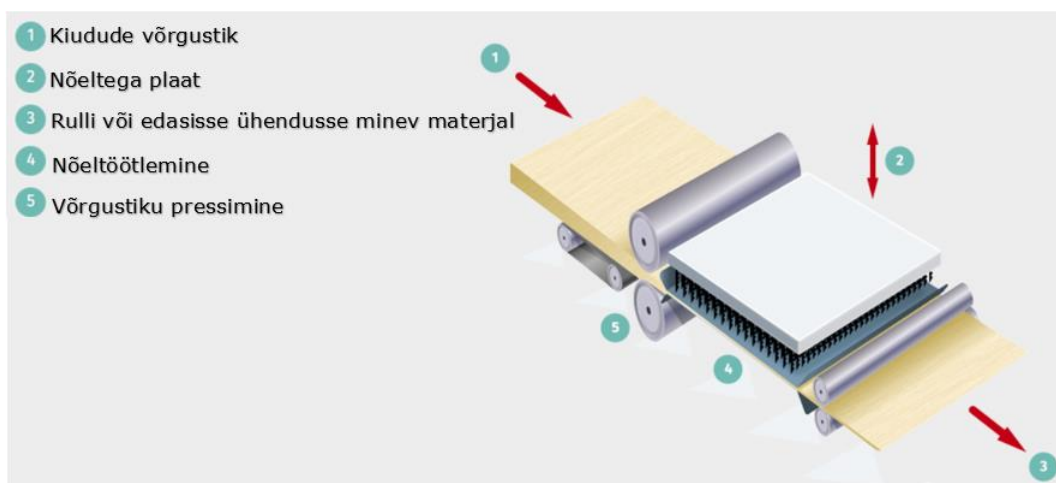


Joonis 3.3 Märg-asetus meetodi protsess [18]

Lausmaterjalide tootmisel on kiudude ühendamisel mitmeid erinevaid võimalusi: keemiline ühendamine, mehaaniline ühendamine ja termiline ühendamine.

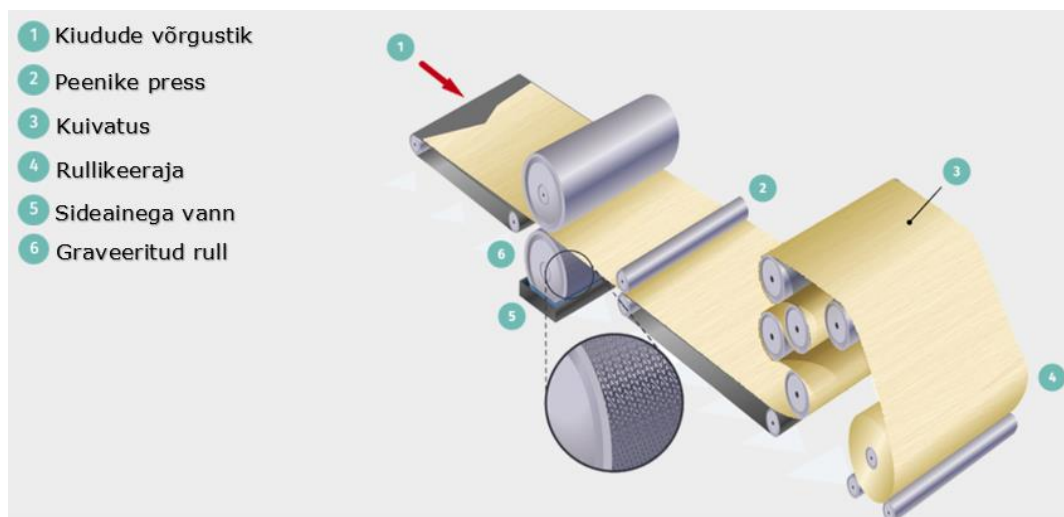
Mehaaniline ühendamisel on mitmeid ühendusviise. Läbiühendus meetod on kiud, lõngad ja baasmaterjal on omavahel ühendatud niidipistetega või kudumise teel lõngaga [19]. Nõeltöötlemine on mehaaniline ühendusmeetod, kus kiudude võrgustikku töödeldakse paljude nõeltega. Sellisel viisil seovad mitmed lausmaterjali pinnapealsed

kiud end alumiste kiududega. Joonisel 3.4 on näha nõeltöödeldud lausmaterjalide tootmist.[15]



Joonis 3.4 Lausmaterjali ühendamine nõeltöötlamisega [18]

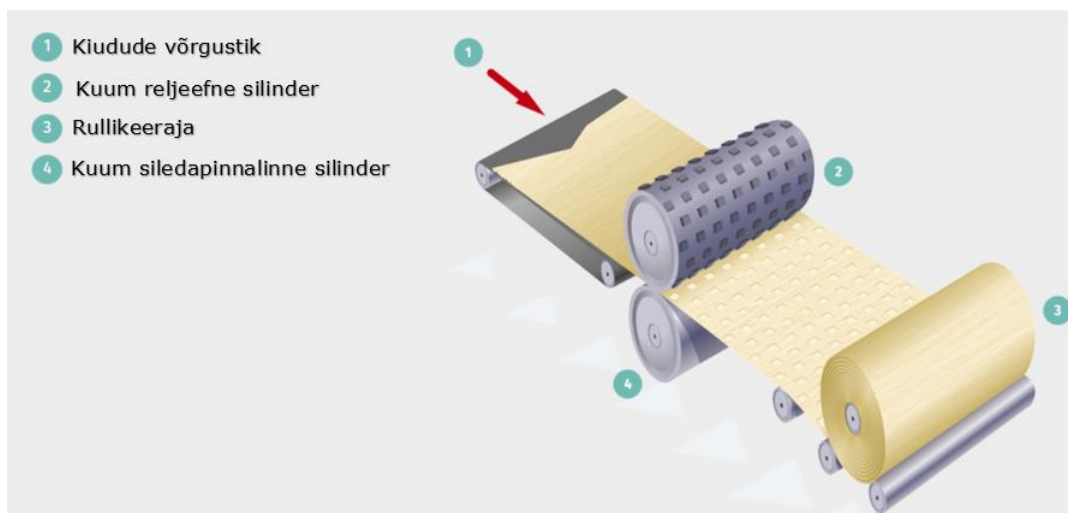
Lausmaterjalide tootmisel keemilise ühendamisega kasutatakse sideainet, näiteks polümeeri. Joonisel 3.5 on näha kuidas lausmaterjali ühendamiseks lisatakse sideainet. Polümeeri ülesandeks lausmaterjalis ei ole ainult kiudude koos hoidmine, materjalis olev polümeer mõjutab ka selle lõppomadusi: tugevust, kõvadust, pehmust, veekindlust, hingavust ning süttivust. [19]



Joonis 3.5 Lausmaterjali ühendamine keemilisel teel [18]

Lausmaterjali termilise ühendamise eelduseks on see, et materjalis oleks olemas termoplastsed polümeermaterjalid. Need võivad materjalis olla kiuna, kilena, pulbrina või võrguna. Lausmaterjali kuumutatakse kuni termoplastne polümeer muutub

viskoosseks või sulab. Seejärel avaldatakse ühendusele survet, et polümeer seoks materjali kiud omavahel kokku. Protsessi lõpetuseks jahutatakse ühendatud lausmaterjal, et vältida lausmaterjali väljavenimist või kokku tõmbumist. Joonisel 3.6 on näha lausmaterjali termilist ühendamist, protsessis valmistatakse tekstuerset lausmaterjali, kus ülemine rull on mustiline.[19]



Joonis 3.6 Lausmaterjali ühendamine termilise ühendusmeetodiga.[18]

3.3 Lausmaterjalide kasutusvaldkonnad

Lausmaterjalide tööstus toodab erinevaid lausmaterjale, mis sobivad erinevate uuenduslike toodete tootmiseks. Seetõttu on järjest laienemas lausmaterjalide kasutusvaldkond. Lausmaterjale on keeruline lahterdada kasutatud tehnoloogia alusel, arvukad lähtematerjalid, kiudude asetus, kiudude sidumine ja lausmaterjali järeltöötlus annavad lausmaterjalidest toodetele palju kasutusvaldkondi. Lausmaterjalide kasutusvaldkondi võib jaotada järgmiselt: hügieen, salvrätikud, rõivad, meditsiin, tervishoid, isikuhooldus, autotööstus, elektroonika, filtrid, põllumajandus, aiandus, sisustus, ehitus ja pakendamine.[20]

Lausmaterjalide kasutamine filtritena on ülemaailmselt väga populaarne. Lausmaterjalist filtreid kasutatakse laialdaselt tööstuslike õhufiltritena, tööstuslike aurukassettide tolmufiltritena, ventilatsioonide filtritena, õhupuhastusfiltritena, sõidukite salongifiltritena ja paljude muude filtritena. Lausmaterjali filtrina kasutamisel tuleb siiski täita kindlaid nõudeid ning filtrid sisaldavad lisamaterjale, mida antud bakalaureusetöö raames valmistatud lausmaterjalide puhul kasutatud ei ole.[21]

Termilisel teel ühendatud lausmaterjalid sobivad eelkõige autotööstusesse ja ehitusvaldkonda. Autotööstuses kasutatakse eelkõige nõeltöötlust, märg-asetust ja termotöötlust. Seal kasutatakse lausmaterjali isolatsioonimaterjalina, polsterdusena, filtritena ja kuumakaitsena. Ehituses kasutatakse kuivasetatud, nõeltöödeldud, märg-asetatud, termotöödeldud ja sideainega immutatult. Seal kasutatakse lausmaterjale soojustus- ja heliisolatsioonina, õhu infiltratsioonitõkkena, aurutõkkena, torude kattena, betooni vormimiskihina ning vundamendi ja pinnase stabiliseerimiseks.[20]

Termilise ühendusmeetodiga saab edukalt valmistada ka geotekstiile. Geotekstiile kasutatakse sõiduteede ja raudteede ehitusel vahekihtidena, tammide ehitusel, kanalite ja tiikide vooderdusena, kanalisatsioonitorude väljaehitusel, umbrohu vältimiseks ja mitmetes muudes kohtades.[20]

4 LAUSMATERJALIDE OMADUSED JA NENDE MÄÄRAMINE

Lausmaterjalide omadused sõltuvad eelkõige toormaterjalist ning lausmaterjali töötlusviisidest. Erinevate lausmaterjalide omaduste võrdlemiseks toodi antud bakalaureusetöös välja materjalide pindtihedused, tõmbekatsete tulemused ning õhuläbilaskvused.

4.1 Toormaterjalide kirjeldus

Lausmaterjali valmistamiseks valiti põhimaterjaliks puuvill, põhimaterjali oli ümbertöötlemata ja ümbertöödeldud kujul. Termilise ühendusmeetodi teostamiseks valiti põhikiududele lisaks kaks termoplastset kiudu: polülaktiid ja polüester.

Puuvilla on kedratud ning temast kangast kootud juba 5000 aastat. Puuvilla saadakse puuvillataime seemnekupardest. Puuvilla looduslik värvus on valge ning vastavalt puuvillaliigile jääb kiudude pikkus vahemikku 15-40 mm. Puuvillakiud on üherakuline ning areneb 25 mm pikkuseks 20 ööpäevaga. Puuvilla võib ilma kiudu kahjustamata triikida kuuma triikrauaga, kuni 220 kraadiga. Kiud on kuumusele küllaltki vastupidav. Puuvill koosneb põhiliselt tselluloosist, mille sisaldus võib ulatuda kuni 96%-ni. Puuvilla teised koostisosad on pektiinid (0,7-1,2%), proteiinid (1,1-1,9%), vahad (0,4-1,0%) ning mineraalid (mõõdetakse tuha koostise järgi) (0,7- 1,6%). Puuvill on aldis hallituse ja seente kahjustustele, üldiselt hea ilmastikukindlusega, halva soojapidavusega ning hea õhuläbilaskvusega.[22]

Praktilises osas kasutatud ümbertöötlemata puuvill kiud pärines ettevõttelt Toom Tekstiil AS. Ümbertöödeldud puuvillakiud pärinesid Eesti Kaitsevält saadud 100% puuvilla sisaldavatest särkidest. Ümbertöödeldud puuvillakiud saadi kasutatud särkide mehaanilisel purustamisel, purustamine toimus Tallinna Tehnikaülikoolis, desintegraatoritehnoloogia laboris spetsiaalsetel jahvatusseadmetel. Nende seadmetega purustati Eesti Kaitsevält saadud särgid, mille ümbertöödeldud kiudu kasutati antud bakalaureusetöös.

Polüester (PES) koosneb lineaarsetest makromolekulidest, mis sisaldavad vähemalt 85 massiprotsenti diooli ja tereftaalhappe estreid. Polüester on puuvilla järel enim toodetud

kiudude pingereas teisel kohal. Polüestrit toodetakse sulatisketrusmeetodiga ning selle peamiseks tooraineks on mineraalõli. Polüester moodustub polüetüleentereftalaadist. Polüester pehmeneb tavaliselt temperatuuril 230-240°C ja sulab temperatuuril 250-260°C.[23] Antud töös kasutati siduva kiuna madalama sulamistemperatuuriga polüestrit. Sulamistemperatuuri selgitamiseks teostati polüestri DSC analüüs ning kuuma aluse mikroskoopia. Kasutatud polüester pärines ettevõttelt Toom Tekstiil AS.

Naftapõhiste polümeeride liigse kasutamise negatiivse mõju tõttu pööratakse tänapäeval üha rohkem tähelepanu keskkonnateadlikkusele ning seetõttu koguvad aina enam populaarsust looduslikest saadustest biolagunevad polümeerid. Üheks polümeeriks, mis on pärit taastuvatest ressurssidest, on polülaktiid (PLA). PLA headeks omadusteks on kõrge tugevus, biosobivus, suur läbipaistvus, madal toksilisus ning hea töödeldavus. Antud polümeeri miinusteks on madal elastsus, madal sitkus ning madal kristalliseerumiskiirus. Polüpiimhape pakub mitmeid eeliseid naftast toodetud polümeeride ees. PLA tootmine hõlmab palju vähem fossiilkütuseid ja kasvuhoonegaaside heitkoguseid kui tootmine tavalistest naftakeemiapõhistest polümeeridest.[24] PLA osutus lausmaterjali puhul valituks, kuna tegemist on biolaguneva sünteetisega, mis pärineb 100% taastuvatest ressurssidest. PLA puhul oli teada, et tegu on kahekomponentse materjaliga, mille ühe osa sulamistemperatuur on 136 °C ning teise osa sulamistemperatuur on 171 °C. Kasutatud polülaktiid pärines ettevõttelt Toom Tekstiil AS.

4.2 Tekstiilkiudude omaduste määramise meetodid

Bakalaureusetöö praktilises osas kasutati omaduste määramiseks järgmisi meetodeid: termilist analüüsimeetodit; kuuma aluse mikroskoopiat; kiudude pikkuste määramist; pindtihedust; tugevusomaduste ning õhuläbilaskvuse määramist.

DSC on termiline analüüsimeetod, mille abil on võimalik materjale iseloomustada. Selle abil mõõdetakse temperatuuri ja soojusvooge, mis on seotud materjalide soojuslike üleminekutega.[25] DSC analüüs mõõdab proovi kuumutamisel ja jahutamisel neeldunud või eralduva energia kogust, pakkudes kvantitatiivseid ja kvalitatiivseid andmeid endotermiliste (soojuse neeldumise) ja eksotermiliste (soojuse eraldumise) protsesside kohta. Analüüsi kasutatakse plastide, liimide, hermeetikute, metallisulamite, farmatseutiliste materjalide, vahade, toiduainete, määrdainete, õlide, katalüsaatorite ja väetiste termiliste omaduste määramiseks.[26]

Kuuma aluse mikroskoopia võimaldab temperatuuri tõstmise ja langetamise abil jälgida ja registreerida proovi kontuuride muutusi, mis aitavad kindlaks teha materjali omadusi, sealhulgas ka sulamistemperatuuri. Kuuma aluse mikroskoopia võimaldab vaatlust salvestada piltidena, kui materjali temperatuur tõuseb ja langeb.

Kiudude pikkuseid on võimalik määrata mikroskoobi abil. Kiud asetatakse alusklaasile, alusele tilgutatakse paar tilka vett ning kaetakse seejärel teise klaasiga.

Valgusmikroskoobi abil on võimalik vaadelda kiudude morfoloogiat ning mõõta kiudude läbimõõtu ja pikkust.

Materjali pindtihedus näitab materjali massi pindalaühiku kohta. Pindtihedus on vajalik tõmbeomaduste määramiseks. Pindtiheduse leidmiseks kasutatakse valemit:

$$G_s = \frac{m \cdot 10\,000}{A} \quad (4.1)$$

kus G_s - materjali pindtihedus, g/m²

m - katsekeha kaal, g

A - katsekeha pindala, cm²

Tekstiilmaterjalidele mõjuvad nii nende valmistamisel, töötlemisel, kasutamisel kui ka säilitamisel mitmesugused mehaanilised jõud, mis kutsuvad esile erinevaid deformatsioone. Mehaanilised omadused iseloomustavad materjali võimet omandada ja säilitada vormi, tema kulumiskindlust ja vastupidavust. Mehaanilised omadused võimaldavad iseloomustada tekstiilmaterjalide reaktsiooni nende rakendatud väliste mõjutustele.[27]

Tõmbetugevus on maksimaalne jõud, mis mõjub katsekehale kuni selle purunemiseni. Tõmbetugevust, mis mõjub kehale selle purunemise hetkel nimetatakse aga tõmbekoormuseks ehk katkekoormuseks. Tõmbetugevuse järgi hinnatakse materjalide võimet osutada vastupanu pidevalt toimivatele välisjõududele. Antud bakalaureusetöö tõmbekatsete sooritamiseks kasutati üheteljelist tõmmet, kus tõmme toimub ühes suunas ja tasapinnas.[27]

Lausmaterjalide tugevusomaduste hindamiseks kasutatakse suhtelist katkekoormust maksimaalse jõu juures, P_0 (Nm/g)[27]:

$$P_0 = \frac{P_t \cdot 1000}{B \cdot G_s}$$

(4.2)

kus P_t – keskmine katkekoormus, N
 G_s – pindtihedus, G/m²
 B – katsekeha laius, mm

Suhtelise katkevenivuse määramiseks kasutatakse suhtelist tõmbe- ehk katkevenivust maksimaalse jõu juures ε_t (%) [27]:

$$\varepsilon_t = \frac{l_t}{L_0} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

kus l_t – absoluutne tõmbevenivus, mm
 L_0 – katsekeha algpikkus, mm

Absoluutne tõmbevenivus ehk katkevenivus, l_t (mm), on katsekeha pikkuse muutumine katkemismomendiks [27]:

$$l_t = L_k - L_0 \quad (4.4)$$

kus L_k – proovi/katsekeha pikkus purunemise momendil, mm
 L_0 – katsekeha algpikkus, mm

Õhuläbilaskvus on õhuvoolu liikumiskiirus risti läbi katsekeha etteantud tingimustel (katsekeha pindala, rõhulang, aeg). Õhuläbilaskvusteguri ühikuks on l/(m²·s), see näitab 1 m² suuruse materjali pinna läbinud õhu hulka ajaühiku jooksul teatud rõhkude vahe korral materjali proovi külgedel. Õhuläbilaskvuse mõõtmisel antud bakalaureusetöös lähtuti lausmaterjalide õhuläbilaskvuse standardist ISO9073-15. Standardi järgi valitakse õhuläbilaskvuse määramisel järgmised parameetrid: katsetatava materjali pindala 20 cm² ning õhuläbilaskvus 200 Pa. Ühe lausmaterjali puhul korraldatakse katset 5 korral, iga kord uuest asukohast. [28]

4.3 Seadmed materjalide omaduste määramiseks

Kiudude pikkuse määramiseks kasutati *Dino-Lite* digitaalset mikroskoopi. *DinoCapture* 2.0 tarkvara abiga kuvati mikroskoobi pilt arvutisse ning programm võimaldas mõõta kiudude pikkusi. Joonisel 4.1 on näha digitaalne mikroskoop *Dino-Lite*.



Joonis 4.1 *Dino-Lite* digitaalne mikroskoop

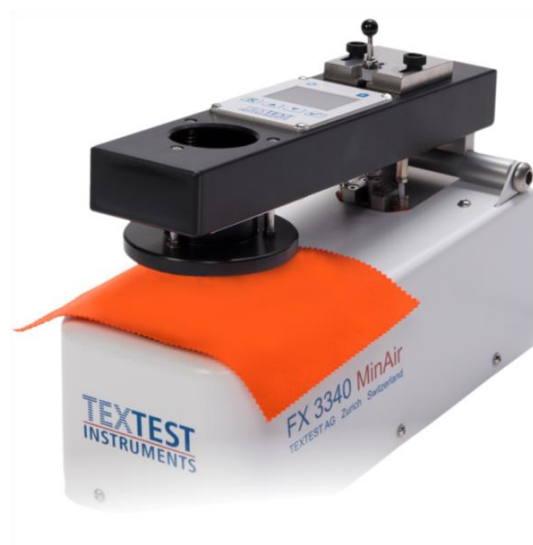
Termilise analüüsimeetodi teostamiseks kasutati skaneerivat diferentsiaalkalorimeetrit (*Differential Scanning Calorimeter DSC 7 PEAK*). Kuuma aluse mikroskoopia teostamiseks kasutati valgusmikroskoopi Zeiss Axioskop 2 ning kuumaalust Mettler FP80.

Tõmbekatsete sooritamisel kasutati mehaaniliste katsetuste seadet Instron 5866, mis on näha joonisel 4.2. Lausmaterjali katsetuste sooritamiseks oli paigaldatud seadmele metallist pneumaatilised haaratsid, vahekauguseks oli haaratsitele määratud 30 mm. Katseseadme maksimaalne tõmbejõud on 10 kN, antud katsetustel kasutati jõu andurit maksimaalse jõu väärtusega 500 N. Ülemise haaratsi liikumiskiirus oli 100 mm/min.



Joonis 4.2 Ülikooli tõmbekatseseade Instron 5866

Õhuläbilaskvust mõõdeti seadmega FX 3340 MinAir (joonis 4.3). Seade võimaldab mõõta õhuläbilaskvust ja rõhulangust erinevatel tasapinnalistel materjalidel. Tegemist on kompaktsel seadmel, millega saab mõõtmisi sooritada laboris või transportides seadme materjalini.



Joonis 4.3 Õhuläbilaskvuse määramise katseseade FX 3340 MinAir [29]

5 LAUSMATERJALIDE VALMISTAMINE

Lausmaterjali valmistamine koosneb mitmest etapist. Antud projekti raames valmistati lausmaterjale termilise ühendusmeetodi teel. Termilise ühendusmeetodi puhul on oluline, et lausmaterjal sisaldaks termoplastset sidekiudu. Termoplastse sidekiu olemasolul on võimalik kraasitud lausmaterjali kuumpressida ning polümeeri kiudude abil lausmaterjali kiude omavahel ühendada.

5.1 Lausmaterjali valmistamiseks vajalikud seadmed

Laboratoorsel teel lausmaterjali valmistamiseks läheb vaja käsikraasi ning kuumtöötlusmasinat. Käsikraasi abil on võimalik kokku kraasida erinevate tekstiiljäätmete kiude ning vajadusel ka termoplastseid kiude. Kraasides saadakse ühtne kiudude plaat, mida on võimalik ühendada termilise ühendusmeetodi abil kuumtöötlusmasinaga.

Lausmaterjali valmistamiseks kasutati antud töös trummelkraasi, antud kraas on mõeldud villa kraasimiseks, kuid üheks uurimistöö aspektiks oli teada saada, kas trummelkraas sobib ka teiste tekstiilkiudude kraasimiseks. Joonisel 5.1 on näha lausmaterjali valmistamiseks vajalik käsikraas.



Joonis 5.1 Trummelkraas

Trummelkraasi üheks oluliseks parameetriks on selle suurema trumli ümbermõõt ning laius. Mida suurem on trumli ümbermõõt, seda suurema pikkusega on lausmaterjal ning mida laiem on trummel, seda laiem on valminud lausmaterjal.

Pärast kiudude kraasimist tuli kiud omavahel termilisel teel ühendada. Lausmaterjali termilise ühendusmeetodi jaoks kasutatakse tööstuses kuumtöötlusmasinat, laboratoorse lausmaterjali valmistamisel bakalaureuse töö raames kasutati liikuva lindiga dubleerpressi.

Peale kiudude kraasimist saadi kiudude võrgustik, mis lasti läbi dubleerpressi. Kuumutamise tulemusena muudetakse polümeerkiud viskoosseks, et nad ühendaksid omavahel tekstiilijäätmetest kiud, kuid säilitaksid siiski kiulise struktuuri.

Laboratoorse lausmaterjali valmistamiseks kasutati Meyer dubleerpressi RPS-MINI. Joonisel 5.2 on näha lausmaterjalide kuumpressimisel kasutatud dubleerpressi. Tegemist on ühelt küljelt avatud liikuva lindiga dubleerpressiga, millega on võimalik pressida ka suuremaid materjale kui pressi lint.



Joonis 5.2 Dubleerpress Meyer RPS-MINI

5.2 Kiudude omaduste määramine

Ümbertöötlemata puuvilla kiududel ja ümbertööteldud puuvilla kiududel määrati mikroskoobi abiga kiudude pikkused, et neid omavahel võrrelda. Selleks asetati materjalide kiud kahe klaasi vahele ning uuriti neid mikroskoobi all. Programmis *DinoCapture 2.0* mõõdeti mikroskoobi pildil olevate kiudude pikkused. Joonisel 5.3 on näidatud mikroskoobi all olevaid ümbertöötlemata puuvilla kiude, joonisel 5.4 on näidatud kiudude pikkuste mõõtmine.

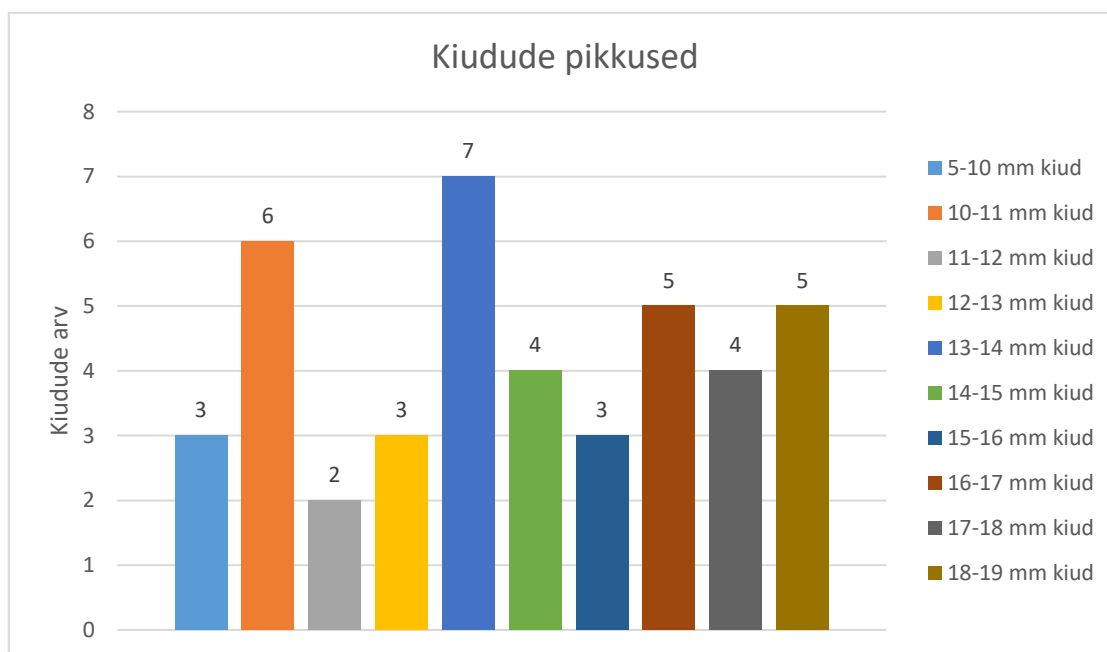


Joonis 5.3 Ümbertöötlemata puuvilla kiud



Joonis 5.4 Ümbertöötlemata puuvillakiu pikkus

Kokku mõõdeti 46 puuvillakiu pikkused. Kõik pikkused jäid vahemikku 5-19 mm. Mõõdetud kiudude kogused pikkuse järgi on toodud joonisel 18. Kõige rohkem (7) kiudusid oli pikkuses 13-14 mm, 10-11 mm pikkuseid kiude oli 6, 5 kiudu esines võrdselt 16-17 mm ja 18-19 mm kiude, võrdselt (3) esines mõõtmisel ka 5-10 mm, 12-13 ja 15-16 mm kiude, 14-15 mm ja 17-18 mm kiude esines 4 ning kõige vähem (2) esines kiude pikkuses 11-12 mm. Kõigi mõõdetud kiudude keskmiseks kiupikkuseks oli 14,04 mm. Joonisel 5.5 on toodud ümbertöötlemata puuvilla kiudude pikkuste esinemised.

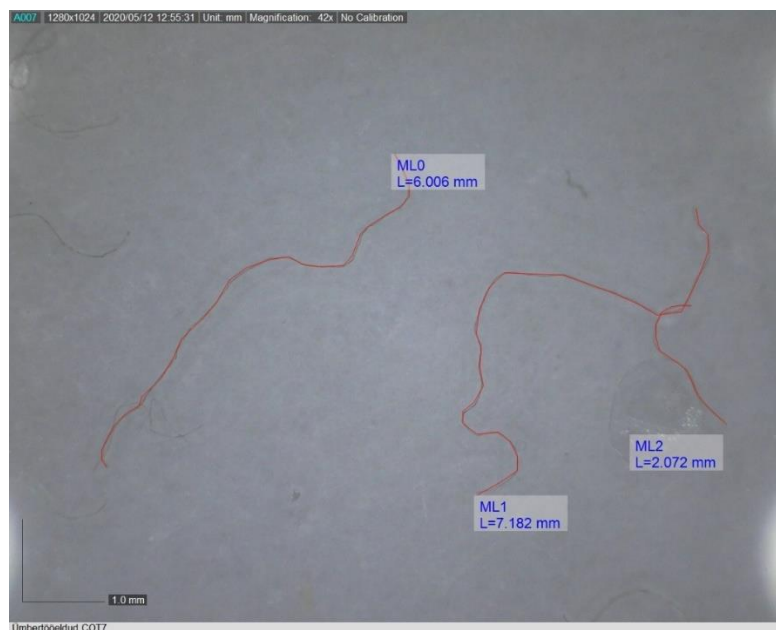


Joonis 5.5 Ümbertöötlemata puuvilla kiudude pikkuste jaotuvus

Joonisel 5.6 on näidatud mikroskoobi all olevaid ümbertöödeldud puuvilla kiude, joonisel 5.7 on näidatud kiudude pikkuste mõõtmine.

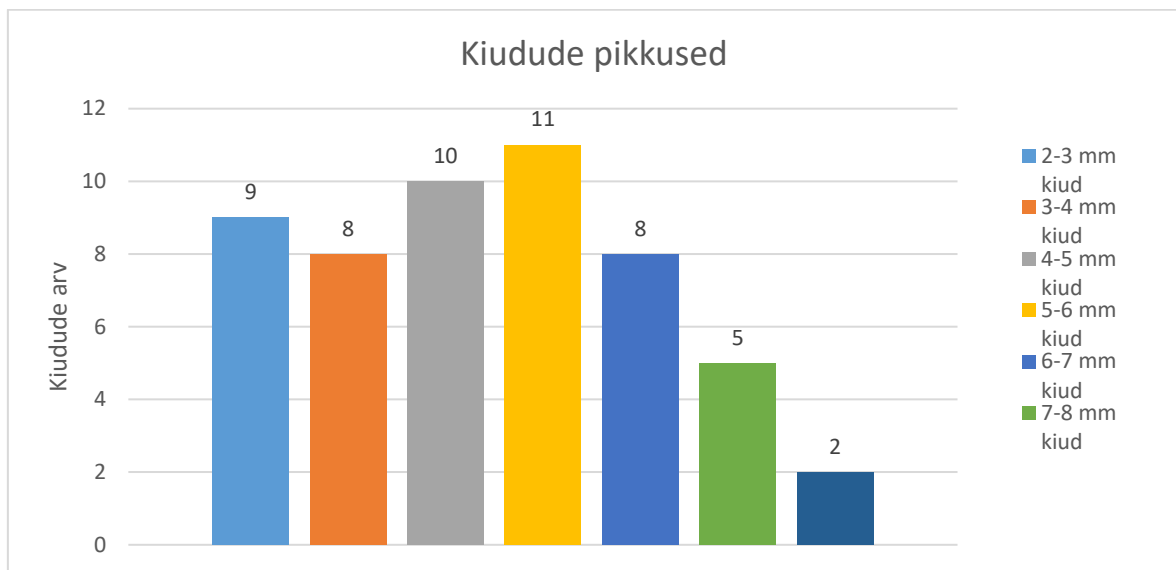


Joonis 5.6 Ümbertöödeldud puuvilla kiud



Joonis 5.7 Ümbertöödeldud puuvillakiudude pikkused

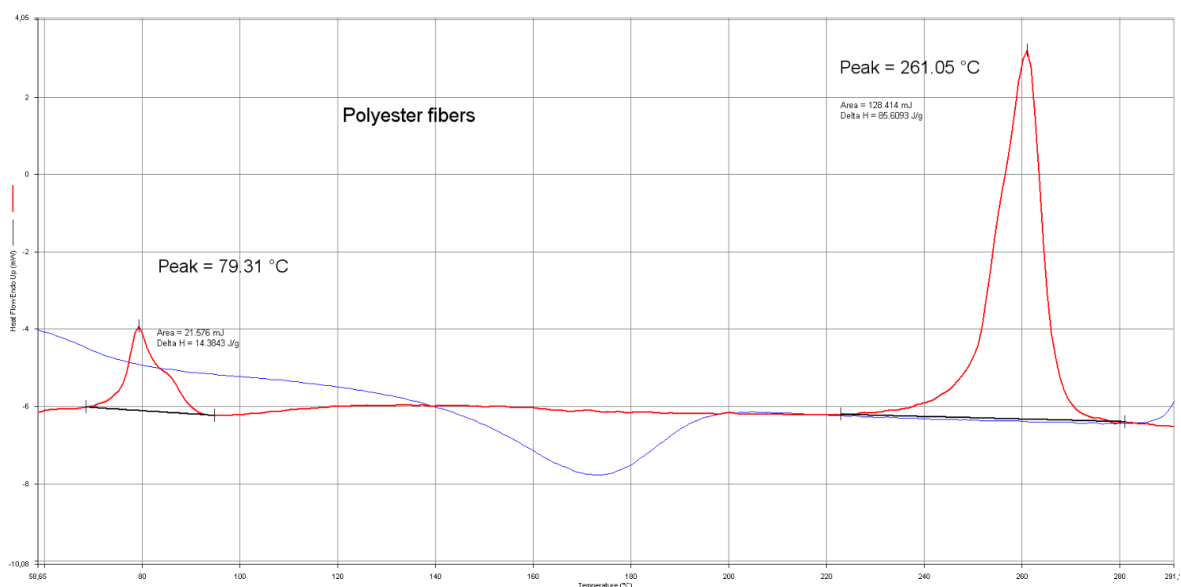
Kokku mõõdeti 53 puuvillakiu pikkused. Kõik pikkused jäid vahemikku 2-10 mm. Mõõdetud kiudude kogused pikkuse järgi on toodud joonisel 34. Kõige rohkem (11) kiudusid oli pikkuses 5-6 mm, 4-5 mm pikkuseid kiude oli 10, 2-3 mm kiude mõõdeti 9, võrdselt esines mõõtmisel 3-4 mm ja 6-7 mm kiude, 7-8 mm kiude esines 5 ning kõige vähem (2) esines kiude pikkuses 9-10 mm. 8-9 mm pikkuseid kiudusid mõõtmisel ei esinenud. Kõigi mõõdetud kiudude keskmiseks kiupikkuseks oli 4,992 mm. Joonisel 5.8 on toodud ümbertöötlemata puuvilla kiudude pikkuste esinemised.



Joonis 5.8 Ümbertöödeldud puuvilla kiudude pikkuste esinemised

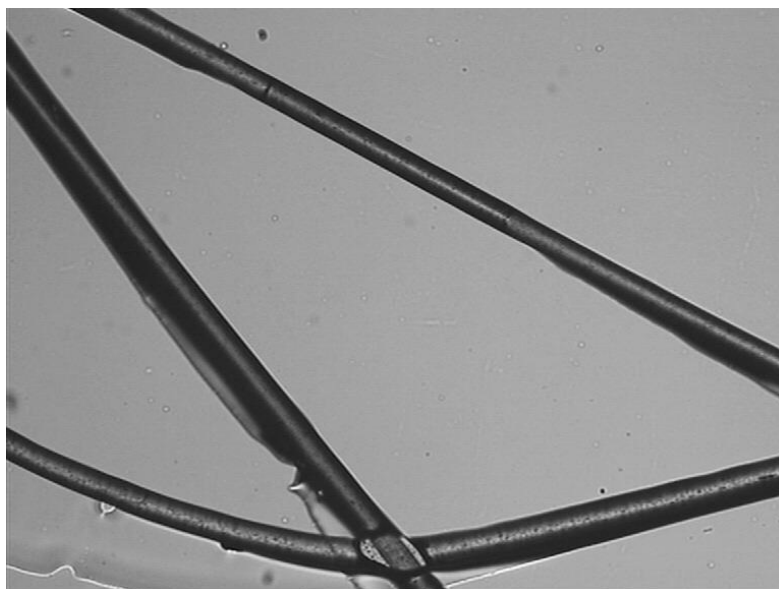
Polüestri (PES) puhul ei olnud sulamistemperatuur teada ning materjalile teostati DSC-analüüs ja kuuma aluse mikroskoopia.

Joonisel 5.9 on välja toodud DSC analüüs polüestriks. Graafikult on näha, et antud polüester on kahekomponentne, seega on sellel kaks sulamistemperatuuri. Esimene sulamistemperatuur on 79,31 °C juures ning teine 261,05 °C juures. Võttes arvesse aega, mille jooksul lausmaterjal dubleerpressi alt läbi liigub, ei pruugi sideaine jõuda klaasisiirdetemperatuurini ning siduda endaga põhikiude, seega valiti polüestri kuumtöötlustemperatuurideks: 75 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C.

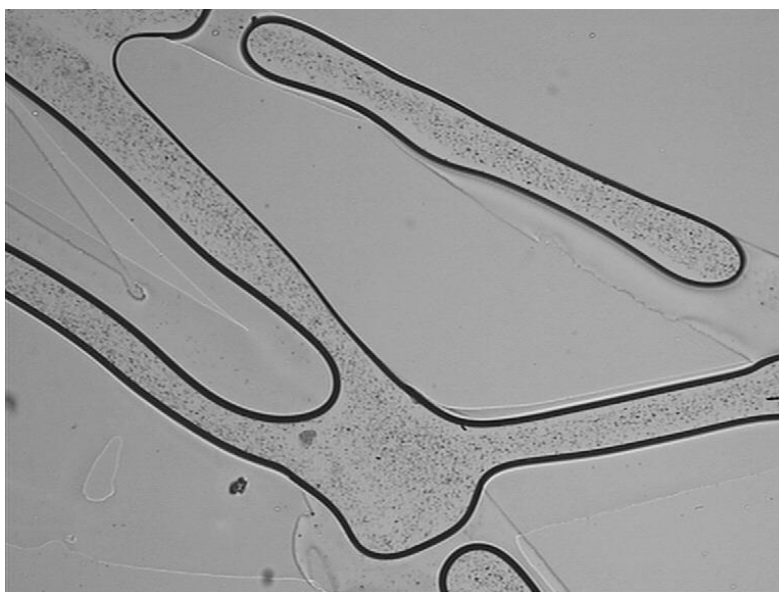


Joonis 5.9 Madalama sulamistemperatuuriga polüestri DSC graafik

Joonisel 5.10 ja 5.11 on näha kuuma aluse mikroskoopiast jäädvustatud pilte. Joonisel 5.10 on näha polüester 150 °C juures, polüestri ümbert hakkas välimine osa sulama. Joonisel 5.11 oli polüester 260 °C juures täielikult sulanud.



Joonis 5.10 Polüester 150 °C juures



Joonis 5.11 Polüester 260 °C juures

5.3 Ümbertöötlemata kiududest lausmaterjali valmistamine

Ümbertöötlemata materjali põhikiuks oli puuvillakiud ning sidekiuks oli kergsulav polüester ja polülaktiid. Antud komponentidega valmistati kolme erineva koostisega lausmaterjalid, mida kuumpressiti neljal erineval temperatuuril.

Lausmaterjali katsekehad valmistati põhimaterjalist ja sidematerjalidest. Katsekehade valmistamiseks segatud materjalide vahekorrad on toodud tabelis 5.1.

Materjalid:

1. CO + 10% PLA
2. CO + 15% PLA
3. CO + 20% PLA
4. CO + 10% PES
5. CO + 15% PES
6. CO + 20% PES

Tabel 5.1 Ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalide põhimaterjali ja sidematerjali vahekord.

Materjalid	Põhimaterjali kiudude mass, g	Sidematerjali kiudude mass, g	Vahekord
1.	54	6	90/10
2.	51	9	85/15
3.	48	12	80/20
4.	54	6	90/10
5.	51	9	85/15
6.	48	12	80/20

Lausmaterjali valmistamisel segati kraasimise teel erinevad kiud omavahel kokku. Esmalt kraasiti põhikiudu, kuna seda materjali oli rohkem ning parema tulemuse saavutamiseks kraasiti põhikiud esmalt ühesuunaliseks. Põhikiudude kogus ning sidematerjali kiudude kogus jagati 3 osaks. Kiudude kraasimisel lisati vaheldumisi põhikiudu ning sidekiudu. Joonisel 5.12 on näha trummelkraasiga kiudude kraasimise protsessi.



Joonis 5.12 Trummelkraasiga kiudude kraasimise protsess

Kuumpressimisel jagati kõik lausmaterjalid neljaks ning pressiti neljal eri temperatuuril. Arvestades sidematerjalide sulamistemperatuuri, valiti kuumtöötlustemperatuurideks PLA puhul vahemik 125-140 °C ning polüestri puhul 75-100 °C.

Dubleerpressi lindi liikumiskiirus oli 3 m/min. Kiuplaatide pressimisel muutusid need jäigemaks ning õhemaks. Joonisel 5.13 on näha võrdlust kuumpressitud lausmaterjali ning kuumpressimata lausmaterjali vahel.



Joonis 5.13 Kuumpressitud ja kuumpressimata lausmaterjal

5.3.1 Ümbertöötlemata lausmaterjali valmistamine parendatud parameetritega

Ümbertöötlemata kiududega lausmaterjali valmistamisel selgus, et parameetreid tuli muuta. Parema tulemuse saavutamiseks tõsteti sideaine kogust lausmaterjalides ning tõsteti ka kuumtöötlemise temperatuuri polüestri puhul. Uued lausmaterjalide koostiste vahekorrad on toodud tabelis 5.2.

Materjalid:

- 7. CO+ 25% PLA
- 8. CO+30% PLA
- 9. CO+20% PES
- 10. CO+ 25% PES
- 11. CO+ 30% PES

Tabel 5.2 Uus ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalide põhimaterjali ja sidematerjali vahekord

Materjalid	Põhimaterjali kiudude mass, g	PLA kiudude mass, g	Vahekord
7.	45	15	75/25
8.	42	18	70/30
9.	48	12	80/20
10.	45	15	75/25
11.	42	18	70/30

Lausmaterjalide valmistamine teostati samuti kraasimise ja kuumtöötamise teel. Kuumtöötlemisel kasutatud töötlemistemperatuurid jäid PLA puhul vahemik 125-140 °C, PES puhul tõsteti töötlemistemperatuur vahemiku 100-115 °C juurde. Dubleerpressi lindi liikumiskiirus jäi 3 m/min.

5.4 Ümbertöödeldud kiududest lausmaterjali valmistamine

Eelnevalt ümbertöötlemata puuvilla kiududega lausmaterjali valmistamisel selgus, et valitud meetod võimaldas edukalt lausmaterjali valmistada. Eesti kaitseväge tekstiilijäätmetest saadud kiudude puhul kasutati lausmaterjali valmistamisel identset meetodit. Põhimaterjali ja sidematerjali vahekord valiti sarnaselt ümbertöötlemata kiudude uue katsetusega.

Lausmaterjali katsekehad valmistati valitud materjalidest. Katsekehade valmistamiseks segatud materjalide vahekorrad on toodud tabelis 5.3.

Materjalid:

- 12. CO + 20% PLA
- 13. CO + 25% PLA
- 14. CO + 30% PLA
- 15. CO + 20% PES
- 16. CO + 25% PES
- 17. CO + 30% PES

Tabel 5.3. Ümbertöödeldud kiududest valmistatud lausmaterjalide põhimaterjali ja sidematerjali vahekord

Materjalid	Põhimaterjali kiudude mass, g	PLA kiudude mass, g	Vahekord
12.	48	12	80/20
13.	45	15	75/25
14.	42	18	70/30
15.	48	12	80/20
16.	45	15	75/25
17.	42	18	70/30

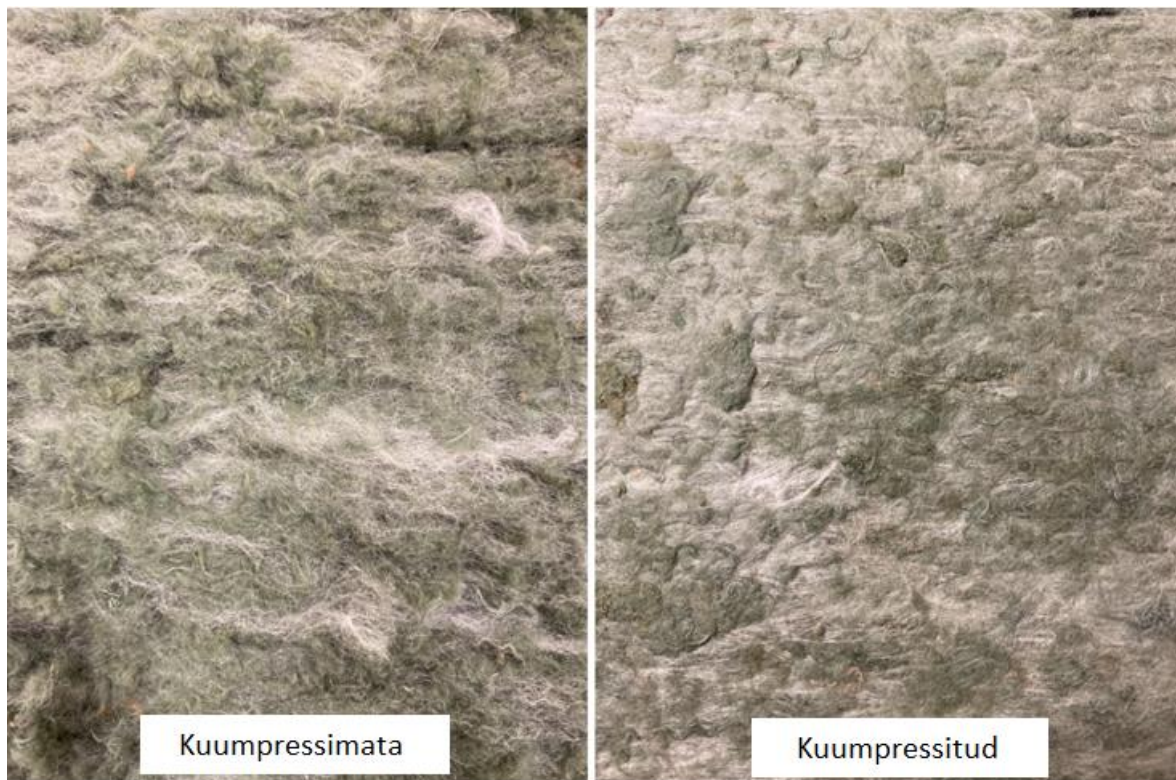
Lausmaterjali valmistamisel ümbertöödeldud kiududest alustati kiudude kraasimisega, nagu ka ümbertöötlemata kiudude puhul. Kuna ümbertöödeldud kiudude pikkused olid ümbertöötlemata kiududest tunduvalt lühemad, siis alustati kraasimisel koheselt põhikiudude ja sidekiudude segamist, et pikemad sidematerjali kiud muudaksid võimalikuks lausmaterjali kraasilt ühes tükis eemaldada. Joonisel 5.14 on näha kraasimisprotsessi ümbertöödeldud rõivastuse kiududega.



Joonis 5.14 Ümbertöödeldud kiududest lausmaterjali kraasimisprotsess

Kuumpressimiseks jagati kõik lausmaterjalid neljaks ning pressiti neljal eri temperatuuril. Arvestades sidematerjali sulamistemperatuuri, valiti kuumtöötlustemperatuurideks PLA puhul vahemik 125-140 °C. Ümbertöötlemata kiudude puhul selgus lausmaterjali vaatlusel ning tõmbekatse tulemustega, et polüestri puhul oli kuumtöötlustemperatuuri, vahemik 75-100 °C, liiga madal. Sideaine ei jõudnud dubleermasinat läbides piisavalt kuumeneda ning lausmaterjal jäi liiga nõrk. Ümbertöötlemata kiududest lausmaterjali valmistamise üheks eesmärgiks oli katsetada lausmaterjali laboratoorse valmistusmeetodi protsessi, et olla kindel protsessi toimimises enne ümbertöödeldud kiudude kasutamist. Selgus, et polüestri puhul tuli temperatuuri tõsta, et tugevdada lausmaterjali tugevusomadusi. Uueks polüestri kuumtöötlustemperatuuride vahemikuks valiti 100-115 °C.

Dubleerpressi lindi liikumiskiirus oli 3 m/min. Kiuplaatide pressimisel muutusid nad jäigemaks ning õhemaks. Joonisel 5.15 on näha võrdlust kuumpressimata lausmaterjali ning kuumpressitud lausmaterjali vahel.



Joonis 5.15 Kuumpressimata ja kuumpressitud lausmaterjal

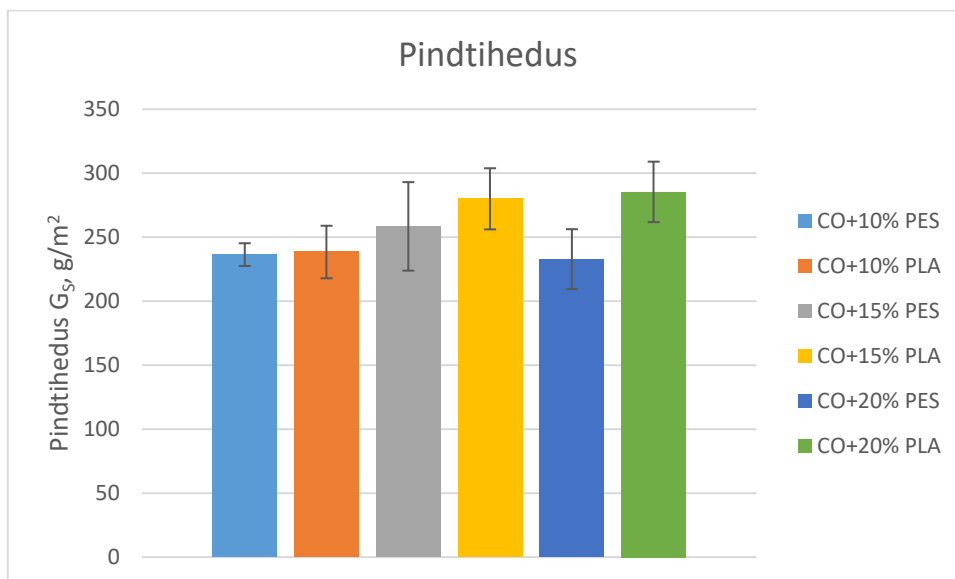
6 KATSETULEMUSED JA NENDE ANALÜÜS

Ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalidega ning ümbertöödeldud kiududest valmistatud lausmaterjalidega viidi läbi samu katseid, et võrrelda ümbertöödeldud kiududest valmistatud lausmaterjalide omadusi ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalide omadustega. Katsetulemuste abil on võimalik hinnata lausmaterjalide omadusi ning nende põhjal leida neile ka kasutusvaldkondi.

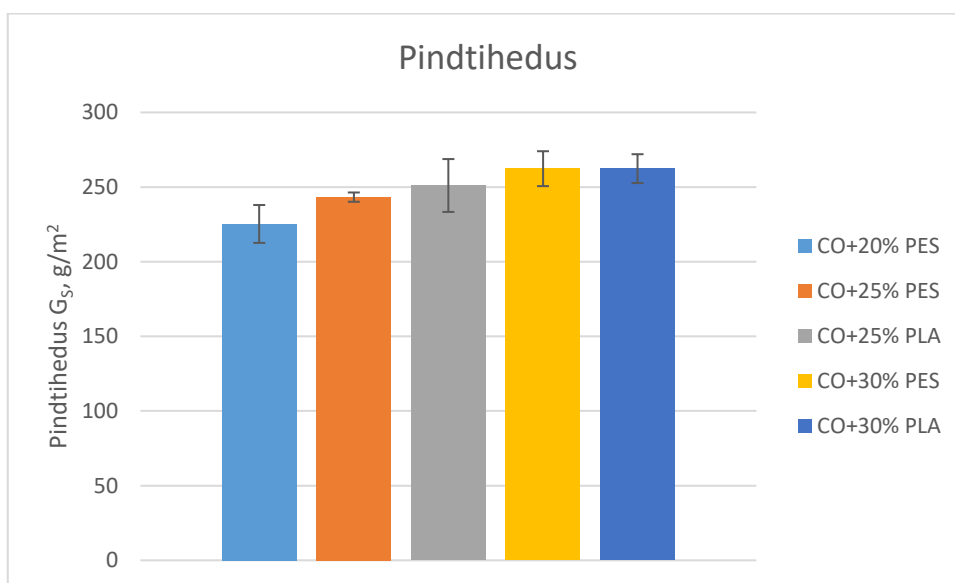
6.1 Lausmaterjalide katsetulemuste analüüs

Selleks, et ümbertöödeldud kiududest lausmaterjali omadusi hinnata valmistati sama koostisega ning kiulise vahekorraga lausmaterjalid ümbertöötlemata kiududest. Võrdluseks sai välja tuua materjalide pindtihedused, tõmbekatsete tulemused ning õhuläbilaskvuse.

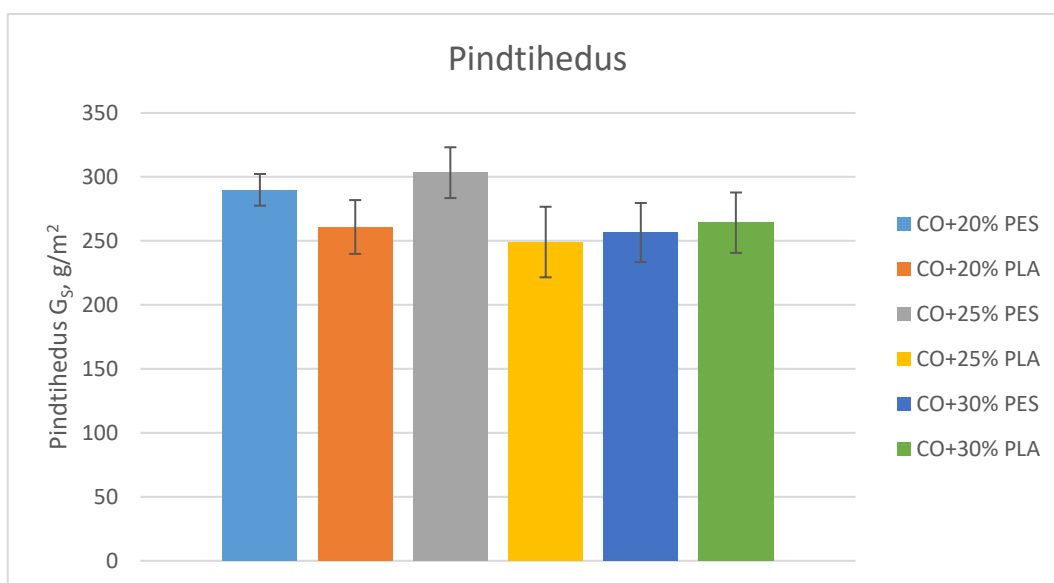
Pindtiheduse määramiseks lõigati lausmaterjalidest katsekehad mõõtmetega 10x10 cm. Täpsema tulemuse saavutamiseks mõõdeti iga materjali kohta kahe katsekeha pindtihedust. Pindtiheduse arvutamiseks kasutati valemit 4.1. Ümbertöötlemata lausmaterjalide pindtiheduse tulemused on toodud joonisel 6.1, uute ümbertöötlemata lausmaterjalide pindtiheduse tulemused joonisel 6.2 ja ümbertöödeldud lausmaterjali pindtiheduse tulemused joonisel 6.3. Pindtiheduste andmete detailsem ülevaade on toodud lisas 1.



Joonis 6.1 Ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalide keskmised pindtihedused



Joonis 6.2 Uued ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalide keskmised pindtihedused



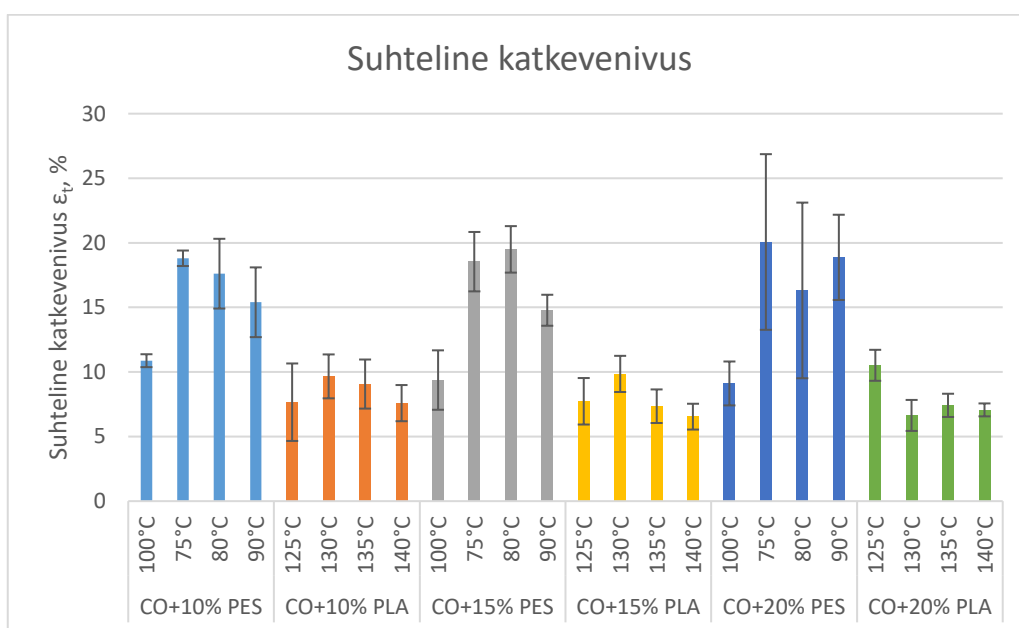
Joonis 6.3 Ümbertöödeldud kiududest valmistatud materjalide keskmised pindtihedused

Olenemata materjali omadustest, koostisest või sidematerjali mahust, oli kõigil materjalidel sarnane pindtihedus. Kõigi materjalide pindtihedused jäid vahemikku 200-300 g/m². Selle põhjuseks oli see, et kõigile lausmaterjalidele valiti kiudude koguseks 60 g. Selle tulemusel olid kõik lausmaterjalid sarnase pindtihedusega.

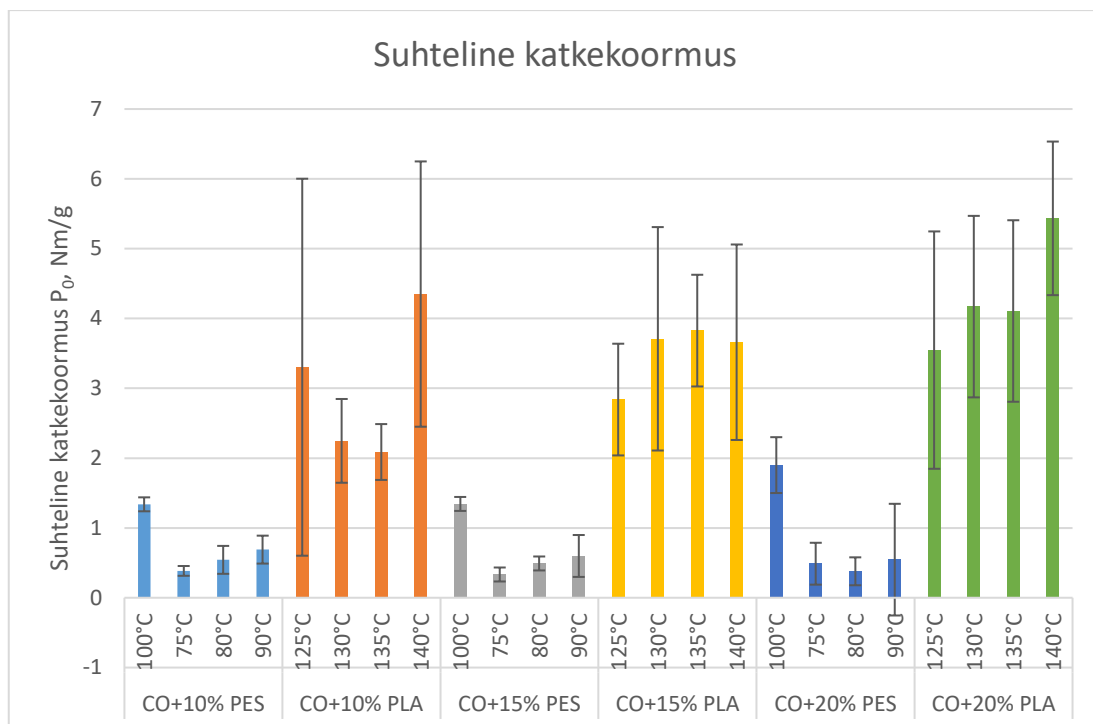
Lausmaterjali tugevusomaduste hindamiseks kasutati suhtelist katkekoormust maksimaalse jõu juures P_0 , mida arvutati valemiga 4.2. Suhtelise katkevenivuse

maksimaalse jõu juures, ϵ_t , määramiseks kasutati valemit 4.3. Absoluutne tõmbevenivus ehk katkevenivus, l_t , arvutati valemiga 4.4.

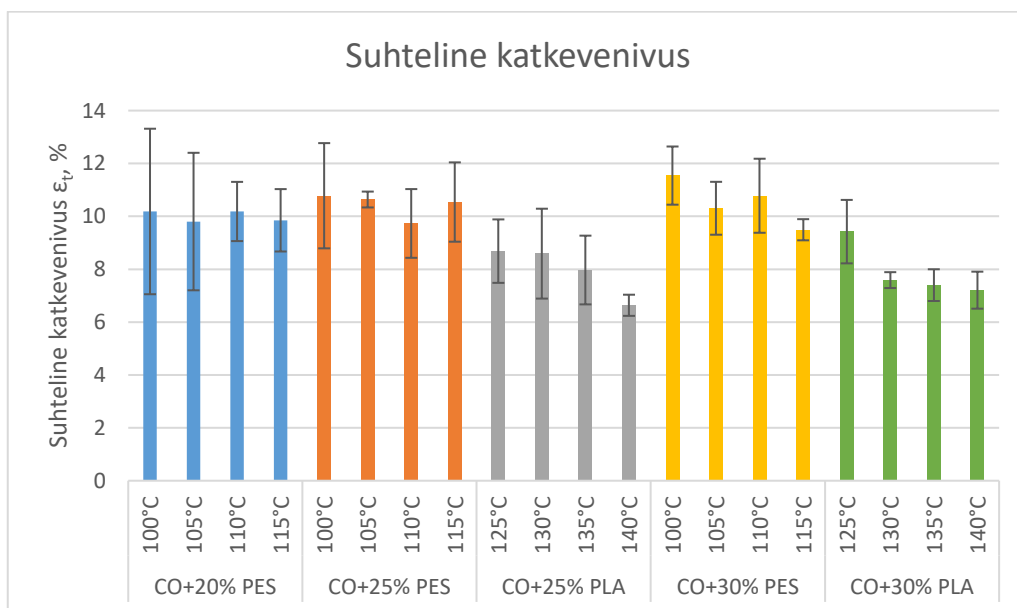
Tõmbekatse tulemused lausmaterjalide kohta on toodud lisas 2. Joonisel 6.4 on toodud välja ümbertöötlemata katsekehade suhteline katkevenivus ja joonisel 6.5 suhtelise katkekoormuse tulemused. Joonisel 6.6 on toodud välja ümbertöötlemata katsekehade suhteline katkevenivus ja joonisel 6.7 suhtelise katkekoormuse tulemused. Joonisel 6.8 on toodud välja ümbertöötlemata katsekehade suhteline katkevenivus ja joonisel 6.9 suhtelise katkekoormuse tulemused.



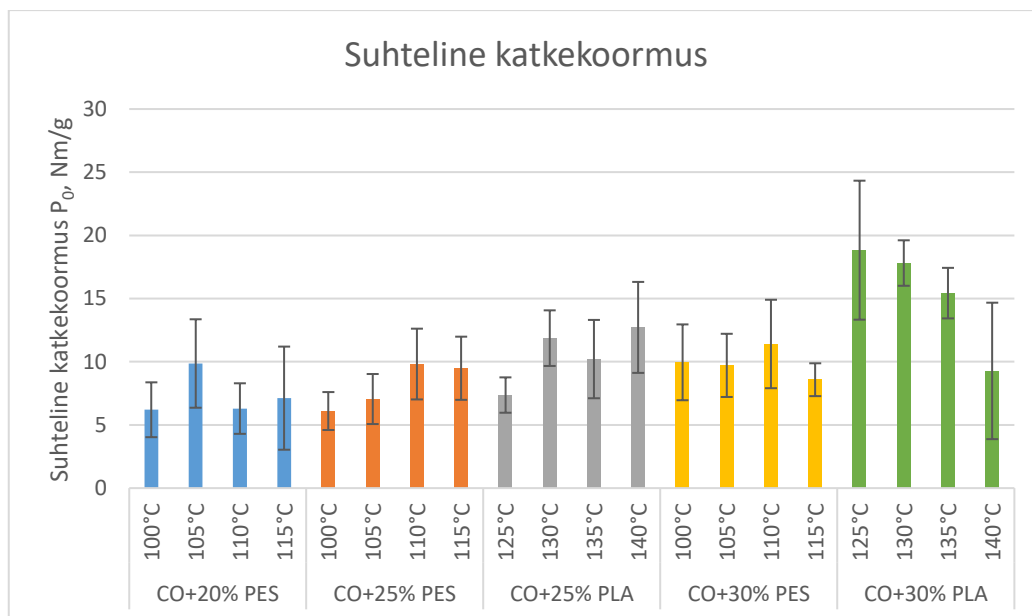
Joonis 6.4 Ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalide suhteline katkevenivus maksimaalse jõu juures



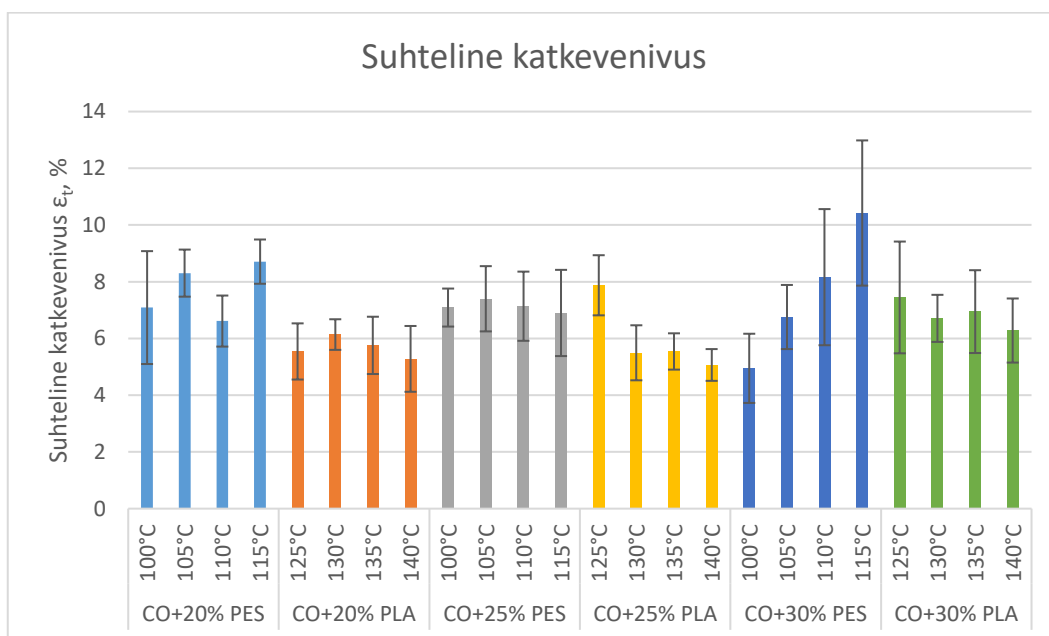
Joonis 6.5 Ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalide suhteline katkekoormus maksimaalse jõu juures



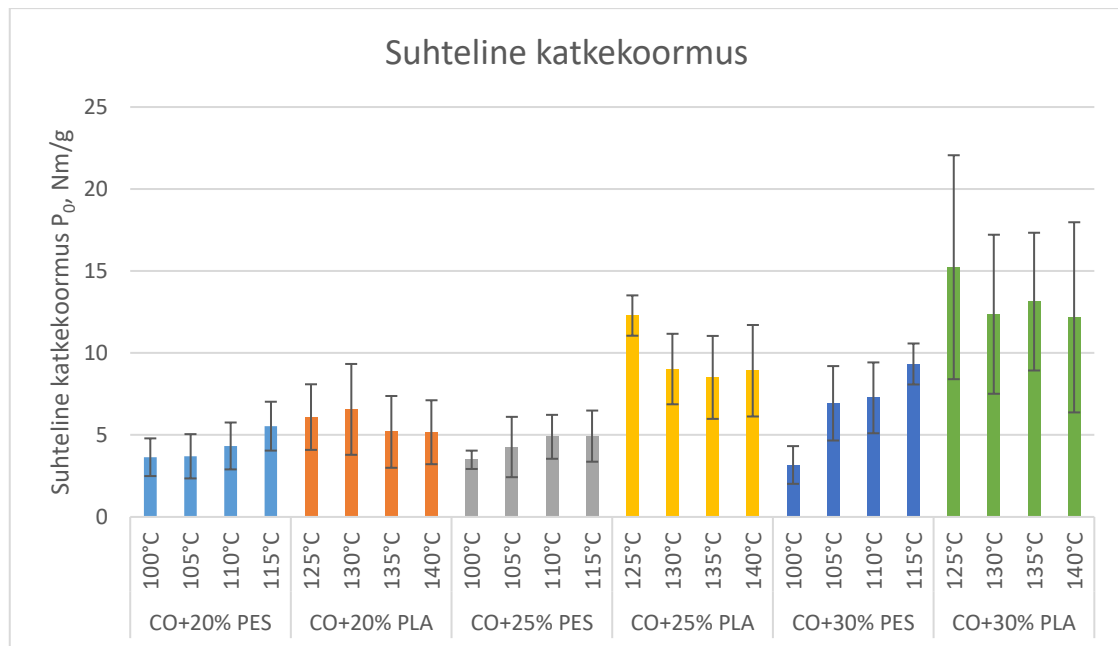
Joonis 6.6 Uute ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalide suhteline katkevenivus maksimaalse jõu juures



Joonis 6.7 Uute ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalide suhteline katkekoormus maksimaalse jõu juures



Joonis 6.8 Ümbertööteldud kiududest valmistatud lausmaterjalide suhteline katkevenivus maksimaalse jõu juures



Joonis 6.9 Ümbertööteldud kiududest valmistatud lausmaterjalide suhteline katkekoormus maksimaalse jõu juures

Joonistelt 6.4 ja 6.5 on näha, et esmalt valitud sidematerjali koguse ja madala kuumpressimise temperatuuri tõttu olid tõmbeomadused väga madalad.

Võrreldes jooniseid 6.6 ja 6.8 on näha, et ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalidel olid suhtelise katkevenivuse tulemused maksimaalse jõu juures kõrgemad, seega ümbertööteldud kiududest lausmaterjalidel oli suhteline katkevenivus maksimaalse jõu juures väiksem. Jooniste põhjal on näha, et sideaine PLA puhul oli suhteline katkevenivus maksimaalse jõu juures madalam kui PES puhul.

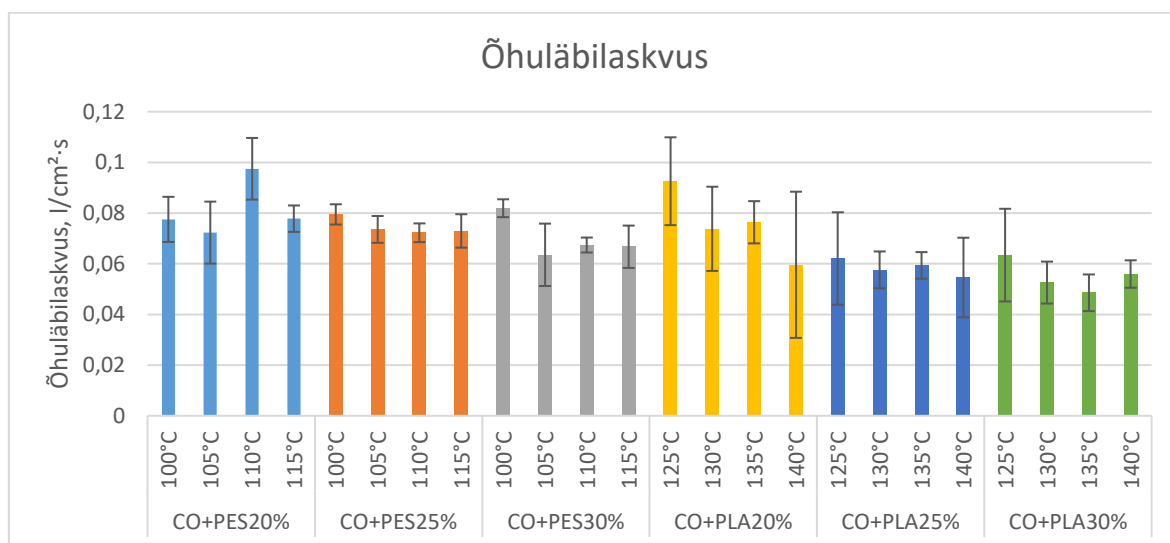
Suhtelise katkekoormuse puhul on joonistel 6.7 ja 6.9 näha, et ümbertöötlemata kiududest lausmaterjalid talusid rohkem koormust. Kui uute kiudude puhul jäi suhteline katkekoormus maksimaalse jõu juures vahemikku 6-18 Nm/g, siis ümbertööteldud kiudude puhul olid tulemused vahemikus 2-16 Nm/g.

Saadud tugevusomaduste tulemuste üheks mõjuvaks teguriks oli see, et ümbertöötlemata puuvilla kiud olid tunduvalt pikemad kui ümbertööteldud puuvilla kiud. Sellest tingituna oli ümbertöötlemata kiududega lausmaterjali katkevenivus maksimaalse jõu juures suurem ning suhteline katkekoormus maksimaalse jõu juures samuti suurem.

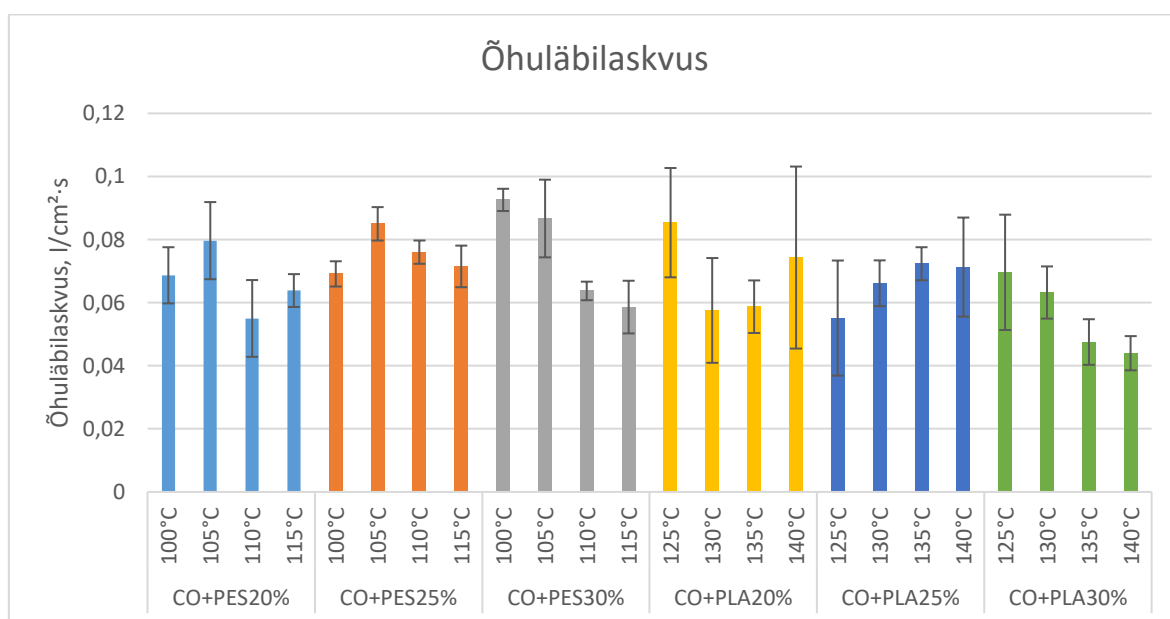
Tõmbeomaduste joonistel on näha, et standardhälbed olid tulemuste puhul väga suured. See võib olla tingitud lausmaterjalide ebaühtlasest koostisest. Kuna materjalid

valmistati laboratoorsel teel käsitsi, siis võis esineda ebaühtlust. Ebaühtlus tuleneb lausmaterjalide üldisest struktuurist ja ka sellest, et käsikraasiga käsitsi lausmaterjali valmistamine ei ole kõige parem valik.

Õhuläbilaskvuse mõõtmisel lähtuti standardist ISO9073-15. Standardi järgi valiti õhuläbilaskvuse parameetrid: Katsepind 20 cm² ning õhuläbilaskvus 200 Pa. Ühe lausmaterjali puhul korraldati katset 5 korral, iga kord uuest asukohast.[28] Lausmaterjalide õhuläbilaskvuse tulemused on toodud joonisel 6.10 ja 6.11.



Joonis 6.10 Uute ümbertöötlemata kiududest valmistatud lausmaterjalide õhuläbilaskvus



Joonis 6.11 Ümbertöödeldud kiududest valmistatud lausmaterjalide õhuläbilaskvus

Õhuläbilaskvuse tulemused olid ümbertöötlemata ja ümbertöödeldud kiudude puhul mõlemal vahemikus 0,04-0,1 l/cm²·s (joonis 6.10 ja joonis 6.11). Õhuläbilaskvuse tulemuste juures oli keeruline leida seost tulemuste juures, kuna tulemused olid ebamäärased. Üldiselt oli kõrgematel temperatuuridel töödeldud lausmaterjalidel madalam õhuläbilaskvus. Samuti oli näha, et sidematerjali PLA puhul olid õhuläbilaskvuse näitajad madalamad.

6.2 Kasutusvaldkonnad ümbertöödeldud kiududest lausmaterjalidele

Bakalaureusetöö alapeatükis 3.3 on toodud kasutusvaldkonnad termilise töötlustega lausmaterjalidele. Eelkõige sobiks praktilise töö käigus valminud lausmaterjal autotööstusesse ja ehitusvaldkonda.

Autotööstuses saaks ümbertöödeldud kiududest lausmaterjali kasutada isolatsioonimaterjalina ja polsterdusena. Ehitusvaldkonnas sobiks ümbertöödeldud kiududest lausmaterjal soojustus- ja heliisolatsioonimaterjaliks, torude katteks ja betooni vormimiskihiks.

Ümbertöödeldud puuvilla kiududest ja polülaktiid kiududest valmistatud lausmaterjalid sobiksid lisaks ehitusele ja autotööstusele edukalt ka geotekstiilideks, kuna puuvill on looduslik kiud ning sideaine puhul on tegemist biolaguneva polümeeriga. Geotekstiilile kasutatakse sõiduteede ja raudteede ehitusel vahekihtidena, tammide ehitusel, kanalite ja tiikide vooderdusena, kanalisatsioonitorude väljaehitusel, umbrohu vältimiseks ja mitmetes muudes kohtades.[20]

Bakalaureusetöö katsete käigus selgus, et väiksema sidematerjali kogusega jäid lausmaterjalid paksemad ning õhulisemad. Selline valmistamismeetod oleks sobilik pehmemööblitööstusesse või madratsitööstusesse. Samuti saab polsterdusena kasutada lausmaterjali eelnevalt mainitud autotööstuses.

KOKKUVÕTE

Ühiskonna kasvav teadlikus tekstiilitööstuse negatiivsest mõjust keskkonnale on pannud inimesed rohkem mõtlema selle tööstusharu tegevuse tagajärgedele. Populaarsust kogub kiirmoe vältimine ning kvaliteetsematesse rõivastesse investeerimine. Samuti on muutunud populaarseks taaskasutuskeskustest rõivaste soetamine. Kuigi inimesed on hakanud rõivaste kvaliteeti hindama, on siiski oluline tegeleda teavitustööga, et üha rohkem inimesi mõistaks, miks on oluline mõõdukalt tarbimine ning miks ei ole kiirmood pikemas perspektiivis kasulik. On oluline, et ühiskond mõistaks kuidas kiirmoe tõttu on kvaliteedi langusega vähenenud rõivaste eluiga, mille tõttu peavad tarbijad üha kiiremini oma rõivaid ära viskama ja uued soetama. See viib tööstused surve alla toota kiiremini juurde uusi kollektsioone, mis suurendab kordades tekstiiljäätmete hulka. Kiirmoe tarbeks toodetud rõivaste eluiga on niivõrd lühike, et neid ei ole võimalik edasi taaskasutuskeskusesse saata, kuna need on nähtavalt kulunud.

Kuigi keskkonnasõbralikkusele pööratakse rohkem tähelepanu kui varem, ei ole tekstiili- ja rõivatööstuse töö lõppemas, seega tuleb arendada ideid, kuidas kasutatud kiudusid uuesti taaskasutada. Taaskasutust raskendab faktor, et tänapäeval on enamik riideid valmistatud mitmetest erinevatest materjalidest, mille omadused on üksteise suhtes väga erinevad. See teeb rõivaste taaskasutamise tunduvalt keerulisemaks ja ka kulukamaks. Üheks ümbertöötlemise võimaluseks on kiududest lausmaterjali tootmine. Lausmaterjali tootmisel on positiivseks omaduseks see, et tootmisel on võimalik kasutada laias valikus kiutüüpe. Tegemist on materjaliga, mis ei vaja keerulist töötlust ning mida on võimalik valmistada keskkonda säästvamalt kui uute rõivaste tootmine.

Bakalaureusetöös püstitatud eesmärkide saavutamiseks valmistati ümbertöötlemata ja ümbertöödeldud kiududest erineva koostisega lausmaterjale. Ümbertöötlemata lausmaterjalide valmistamise käigus selgus, et sidematerjali kogust ning kuumpressimise temperatuuri tuli tõsta. Ümbertöötlemata kiududest lausmaterjalidel, uue koostisega ja töötlemistemperatuuriga ümbertöötlemata kiududega lausmaterjalidel ning ümbertöödeldud kiududega lausmaterjalidel määrati pindtihedus, tõmbetugevus ning õhuläbilaskvus. Nende omaduste põhjal selgus, et ümbertöödeldud lausmaterjalid ei jäänud omaduste poolest oluliselt ümbertöötlemata kiududest lausmaterjalidele alla. Tulemused näitasid, et ümbertöödeldud kiududest lausmaterjalidele saab edukalt leida erinevaid kasutusvaldkondi. Eelkõige sobiks töö käigus valminud lausmaterjalid ehitusvaldkonda, autotööstusesse, pehmemööblitööstusesse, madratsitööstusesse või geotekstiilideks. Bakalaureusetöö

käigus täideti püstitatud eesmärgid ning saadud tulemused andsid informatsiooni edasiseks uurimiseks.

Autori hinnangul on väga oluline tegeleda kasutatud rõivaste ümbertöötlemisega ning leida ja arendada uusi ideid, kuidas loodussäästvamalt tekstiilkiudusid taaskasutada. Autori arvates tuleks antud teemat süvenenumalt edasi uurida. Bakalaureusetöö tulemustest järeldas töö autor, et ümbertöödeldud kiudude puhul tuleks edasises uurimustöös katsetada ka teisi ühendusmeetodeid, uusi materjale ning nende koostiste vahekordasid. Erinevate koostistega ja töötlusmeetoditega on võimalik lausmaterjalidele leida mitmeid erinevaid kasutusvaldkondi.

SUMMARY

Society's growing awareness of the negative impact of the textile industry on the environment has made people think more about the consequences of this process. Avoiding fast fashion and investing in higher quality clothing is gaining popularity. It has also become popular to buy clothes from recycling centers. Although people have begun to appreciate the quality of their clothes, it is still important to carry out information so that more and more people understand why moderate consumption is important and why fast fashion is not useful in the long run. It is important for the society to understand how the decline in quality has led to a reduction in the lifespan of clothing due to fast fashion, which means that consumers are constantly throwing away their clothes and buying new ones. This, in turn, puts pressure on industries to produce new collections more quickly, which in turn increases the amount of textile waste. Rapidly produced garments have such a short lifespan that they cannot be sent to a recycling center because they are visibly worn out.

Although more attention is being paid to environmental friendliness than before, the work of the textile and clothing industry is not coming to an end, so new ideas need to be developed on how to reuse used fibers. Recycling is hampered by the fact that most clothes today are made of different materials with very different properties. This makes the recycling of clothes much more complicated and more expensive. One possibility is the production of nonwovens from fibers. A positive feature of the production of nonwovens is that a wide range of fiber types can be used in the production. It is a material that does not require very complicated processing and can be made more environmentally friendly than the production of new clothes.

In order to achieve the goals, set in the bachelor's thesis, nonwoven materials with different compositions were made from unprocessed and recycled fibers. During the production of unprocessed nonwovens, it was found that the amount of binder and the thermoforming temperature had to be increased. Surface density, tensile strength and air permeability were determined for nonwovens with unprocessed fibers, nonwovens with unprocessed fibers and with new compositions and processing temperature and nonwovens with recycled fibers. On the basis of these characteristics, it was found that recycled fiber nonwovens did not significantly outperform nonwovens with unprocessed fibers. The results showed that applications can be successfully found for recycled nonwovens. In particular, the nonwoven material obtained during the work would be suitable for the construction industry, the automotive industry or for geotextiles.

According to the author, it is very important to recycle used clothes and find and develop new ideas on how to reuse textile fibers in a more environmentally friendly way. In the author's view, this topic should be further explored. From the results of the bachelor's thesis, the author of the thesis concluded that in the case of recycled fibers, other bonding methods, new materials and ratios of their compositions should be in further research. With different compositions and processing methods, it is possible to make nonwoven materials from used textile fiber for different uses.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Shabbir, M. (2019). Textiles and Clothing- Environmental Concerns and Solutions. Wiley
2. Blackburn, R. S. (2015). Sustainable Apparel- Production, Processing and Recycling. Woodhead Publishing
3. Burns, L. (2016). Tackling Textile Waste. Responsible Global Fashion LLC. Loetud aadressil <http://www.responsibleglobalfashion.com/blog/2016/7/tackling-textile-waste> (10.10.19)
4. Hurme, A. (2018). Pre-consumer waste, zero waste, pre-sale – lost in textile waste terms. Weecos Journal. Loetud aadressil http://www.sustainablelifestyleblog.com/home/pre-consumer-waste-zero-waste-pre-sale-lost-in-textile-waste-terms_recycling_textile_waste_weecos_textile_waste_ecological_ethical_fashion_weecos/ (17.10.19)
5. Environmental Impact. The true cost. Loetud aadressil <https://truecostmovie.com/learn-more/environmental-impact/> (17.10.19)
6. Schipani, S (2019). The impact of textiles and the clothing Industry on the environment. Loetud aadressil <https://hellohomestead.com/the-impact-of-textiles-and-clothing-industry-on-the-environment/> (17.10.19)
7. Environmental impact of the textile and clothing Industry (kuupäev puudub). European Parliament. Loetud aadressil [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI\(2019\)633143_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI(2019)633143_EN.pdf) (18.10.19)
8. Amaral, M. C., Zonatti, W. F., Silva, K. L., Junior, D. K., Neto, J. A., Baruque-Ramos, J. (2018). Industrial textile recycling and reuse in Brazil: case study and considerations considering the circular economy. Loetud aadressil http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2018005003101&lng=en&tlng=en (05.03.20)
9. Sandin, G., Peters, G.M. Environmental impact of textile reuse and recycling. Loetud aadressil <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618305985> (05.03.20)
10. Leblanc, R (2019). How clothing Recycling works. The balance small business. Loetud aadressil <https://www.thebalancesmb.com/how-garment-recycling-works-2877992> (07.11.19)
11. (2017). Vajame uusi rakendusi ringlusest eemaldatud tekstiilile. Lindström. Loetud aadressil <https://lindstromgroup.com/ee/artikkel/tekstiilijaatmete-taaskasutamine-kui-toeline-valjakutse/> (07.11.19)

12. Recover veebileht. (kuupäev puudub). Loetud aadressil <https://www.recoververtex.com/> (07.11.19)
13. Wolkat veebileht (kuupäev puudub). Loetud aadressil <https://wolkat.com/en> (07.11.19)
14. Reet Aus veebileht (kuupäev puudub). Loetud aadressil <https://www.reetaus.com/> (22.04.20)
15. Plamus, T (2019). Loengukonspekt õppeaines „KMT0320 Tekstiilmaterjalid“ X Teised kangasmaterjalid
16. New Cloth Market. (kuupäev puudub). Nonwoven Manufacturing. Technical Textile. Loetud aadressil <https://www.technicaltextile.net/articles/nonwoven-manufacturing-7188> (10.10.19)
17. Textile Chapter (kuupäev puudub). Non-woven fabric manufacturing process. Loetud aadressil <https://textilechapter.blogspot.com/2017/08/non-woven-fabric-manufacturing-process-raw-material.html> (10.10.19)
18. Edana (kuupäev puudub). How are nonwovens made? Loetud aadressil <https://www.edana.org/nw-related-industry/how-are-nonwovens-made> (10.10.19)
19. Russell, S. J (2007). Handbook of nonwovens. Woodhead Publishing
20. Tom, C., Parikshit, G. (2018). Textile and Clothing Design Technology. CRC Press
21. Dipayan, D., (2014). Composite Nonwoven Materials- Structure, Properties and Applications. Woodhead Publishing
22. Plamus, T. (2019). KMT0320 loengukonspekt. Looduslikud kiud.
23. Plamus, T. (kuupäev puudub) KMT0320 loengukonspekt. Keemilised kiud.
24. Chow W. S., Teoh E. L., Karger-Kocsis, J. Flame retarded poly (lactic acid): A review.
25. Nollet L.M.L., Toldra F. (2015). Handbook of Food Analysis- Two Volume Set. CRC Press
26. Altan A. I. (kuupäev puudub). Differential Scanning Calometry (DSC) Thermal Analysis. Loetud aadressilt <http://www.andersonmaterials.com/dsc.html> (20.05.20)
27. Plamus, T. (2016). KMP0350 loengukonspekt. Polümeermaterjalide katsetamine.
28. Eesti Standardikeskus. EVS-EN ISO 9073-15:2008. Textiles- Test methods for nonwovens- Part 15: Determination of air permeability.
29. Dutest Agencies. FX 3340 MinAir. Loetud aadressil <https://dutest.co.za/product/fx-3340-minair/> (15.05.20)

LISA 1 Lausmaterjalide pindtiheduse andmed

CO + PLA	Temperatuur (°C)			
	125	130	135	140
Materjal 1 (g/m2)	216,24	239,88	270,89	226,69
Materjal 2 (g/m2)	280,07	306,42	291,55	241,94
Materjal 3 (g/m2)	319,12	285,25	284,98	252,28
CO + PES	Temperatuur (°C)			
	75	80	90	100
Materjal 4 (g/m2)	240,54	247,83	233,50	223,81
Materjal 5 (g/m2)	211,63	259,59	309,13	253,42
Materjal 6 (g/m2)	224,6	262,65	199,73	244,49
CO + PLA	Temperatuur (°C)			
	125	130	135	140
Materjal 7 (g/m2)	264,5	232,26	272,53	234,96
Materjal 8 (g/m2)	265,35	258,75	249,435	275,91
CO + PES	Temperatuur (°C)			
	100	105	110	115
Materjal 9 (g/m2)	228,11	214,87	213,33	244,89
Materjal 10 (g/m2)	240,73	247,9	244,3	240,14
Materjal 11 (g/m2)	262,02	281,44	254,48	251,35
CO + PLA	Temperatuur (°C)			
	125	130	135	140
Materjal 12 (g/m2)	227,27	282,57	259,82	273,83
Materjal 13 (g/m2)	284,87	265,86	215,70	230,01
Materjal 14 (g/m2)	226,62	267,29	271,36	291,69
CO + PES	Temperatuur (°C)			
	75	80	90	100
Materjal 15 (g/m2)	292,46	306,94	287,95	272,22
Materjal 16 (g/m2)	326,61	282,86	284,39	319,36
Materjal 17 (g/m2)	294,14	256,20	241,69	234,21

LISA 2 Lausmaterjalide tõmbekatsete andmed

Materjal	Koostis	Kuumtöötlus-temperatuur (°C)	Katsekeha algpikkus, L_0 (mm)	Venivus maksimaalse jõu juures, l_v (mm)	Suhteline venivus, ϵ_v %	Katsekeha pikkus maksimaalse jõu juures, L_1 (mm)	Katsekeha laius, B (mm)	Pindtihedus, G_s (g/m ²)	Maksimaalne jõud, P_t (N)	Suhteline koormus, P_0 (Nm/g)
1	CO+10% PLA	125°C	70	5,36	7,66	75,36	20	216,24	14,28	3,30
	CO+10% PLA	130°C	70	6,76	9,66	76,76	20	239,88	10,78	2,25
	CO+10% PLA	135°C	70	6,35	9,07	76,35	20	270,89	11,31	2,09
	CO+10% PLA	140°C	70	5,31	7,59	75,31	20	226,69	19,72	4,35
2	CO+15% PLA	125°C	70	5,41	7,73	75,41	20	280,07	15,90	2,84
	CO+15% PLA	130°C	70	6,90	9,85	76,90	20	306,42	22,73	3,71
	CO+15% PLA	135°C	70	5,15	7,35	75,15	20	291,55	22,31	3,83
	CO+15% PLA	140°C	70	4,58	6,54	74,58	20	241,94	17,71	3,66
3	CO+20% PLA	125°C	70	7,36	10,52	77,36	20	319,12	22,64	3,55
	CO+20% PLA	130°C	70	4,65	6,64	74,65	20	285,25	23,79	4,17
	CO+20% PLA	135°C	70	5,19	7,42	75,19	20	284,98	23,41	4,11
	CO+20% PLA	140°C	70	4,95	7,07	74,95	20	252,28	27,42	5,43
4	CO+10% PES	75°C	70	13,16	18,80	83,16	20	240,54	1,85	0,38
	CO+10% PES	80°C	70	12,33	17,61	82,33	20	247,83	2,69	0,54
	CO+10% PES	90°C	70	10,78	15,40	80,78	20	233,5	3,22	0,69
	CO+10% PES	100°C	70	7,61	10,88	77,61	20	223,81	5,99	1,34
5	CO+15% PES	75°C	70	12,98	18,54	82,98	20	211,63	1,41	0,33
	CO+15% PES	80°C	70	13,65	19,49	83,65	20	259,59	2,55	0,49
	CO+15% PES	90°C	70	10,35	14,78	80,35	20	309,13	3,70	0,60
	CO+15% PES	100°C	70	6,56	9,38	76,56	20	253,42	6,81	1,34
6	CO+20% PES	75°C	70	14,05	20,07	84,05	20	224,6	2,19	0,49
	CO+20% PES	80°C	70	11,42	16,32	81,42	20	262,65	1,99	0,38
	CO+20% PES	90°C	70	13,21	18,88	83,21	20	199,73	2,18	0,55
	CO+20% PES	100°C	70	6,38	9,11	76,38	20	244,49	9,29	1,90

Materjal	Koostis	Kuumtöötlus-temperatuur (°C)	Katsekeha algpikkus, L ₀ (mm)	Venivus maksimaalse jõu juures, l _v (mm)	Suhteline venivus, ε _v %	Katsekeha pikkus maksimaalse jõu juures, L _k (mm)	Katsekeha laius, B (mm)	Pind-tihedus, G _s (g/m ²)	Maksimaalne jõud, P _t (N)	Suhteline koormus, P ₀ (Nm/g)
7	CO+25% PLA	125°C	70	6,08	8,68	76,08	20	264,5	38,96	7,36
	CO+25% PLA	130°C	70	6,01	8,59	76,01	20	232,255	55,13	11,87
	CO+25% PLA	135°C	70	5,58	7,97	75,58	20	272,53	55,66	10,21
	CO+25% PLA	140°C	70	4,64515	6,64	74,65	20	234,955	59,77	12,72
8	CO+30% PLA	125°C	70	6,59513	9,42	76,60	20	265,35	99,93	18,83
	CO+30% PLA	130°C	70	5,31187	7,59	75,31	20	258,745	92,18	17,81
	CO+30% PLA	135°C	70	5,17855	7,40	75,18	20	249,435	76,98	15,43
	CO+30% PLA	140°C	70	5,04518	7,21	75,05	20	275,91	51,18	9,27
9	CO+20% PES	100°C	70	7,12848	10,18	77,13	20	228,11	28,29	6,20
	CO+20% PES	105°C	70	6,86181	9,80	76,86	20	214,87	42,38	9,86
	CO+20% PES	110°C	70	7,12848	10,18	77,13	20	213,325	26,86	6,30
	CO+20% PES	115°C	70	6,89515	9,85	76,90	20	244,885	34,87	7,12
10	CO+25% PES	100°C	70	7,5452	10,78	77,55	20	240,725	29,37	6,10
	CO+25% PES	105°C	70	7,44517	10,64	77,45	20	247,9	34,95	7,05
	CO+25% PES	110°C	70	6,81179	9,73	76,81	20	244,3	47,97	9,82
	CO+25% PES	115°C	70	7,37846	10,54	77,38	20	240,135	45,56	9,49
11	CO+30% PES	100°C	70	8,07845	11,54	78,08	20	262,015	52,17	9,96
	CO+30% PES	105°C	70	7,21359	10,31	77,21	20	281,435	54,6724	9,71
	CO+30% PES	110°C	70	7,54516	10,78	77,55	20	254,475	58,06	11,41
	CO+30% PES	115°C	70	6,64517	9,49	76,65	20	251,35	43,13	8,58

Materjal	Koostis	Kuumtöötlus-temperatuur (°C)	Katsekeha algpikkus, L ₀ (mm)	Venivus maksimaalse jõu juures, l _v (mm)	Suhteline venivus, ε _v %	Katsekeha pikkus maksimaalse jõu juures, L _k (mm)	Katsekeha laius, B (mm)	Pindtihedus, G _s (g/m ²)	Maksimaalne jõud, P _t (N)	Suhteline koormus, P ₀ (Nm/g)
12	CO+20% PLA	125°C	70	3,88	5,54	73,88	20	227,27	27,68	6,09
	CO+20% PLA	130°C	70	4,30	6,14	74,30	20	282,57	37,07	6,56
	CO+20% PLA	135°C	70	4,03	5,76	74,03	20	259,82	26,95	5,19
	CO+20% PLA	140°C	70	3,70	5,28	73,70	20	273,83	28,29	5,17
13	CO+25% PLA	125°C	70	5,51	7,88	75,51	20	284,87	69,98	12,28
	CO+25% PLA	130°C	70	3,85	5,49	73,85	20	265,86	47,96	9,02
	CO+25% PLA	135°C	70	3,88	5,54	73,88	20	215,70	36,71	8,51
	CO+25% PLA	140°C	70	3,55	5,07	73,55	20	230,01	41,02	8,92
14	CO+30% PLA	125°C	70	5,21	7,45	75,21	20	226,62	69,03	15,23
	CO+30% PLA	130°C	70	4,70	6,71	74,70	20	267,29	66,08	12,36
	CO+30% PLA	135°C	70	4,86	6,95	74,86	20	271,36	71,27	13,13
	CO+30% PLA	140°C	70	4,40	6,28	74,40	20	291,69	71,02	12,17
15	CO+20% PES	100°C	70	4,96	7,09	74,96	20	292,46	21,30	3,64
	CO+20% PES	105°C	70	5,81	8,30	75,81	20	306,94	22,71	3,70
	CO+20% PES	110°C	70	4,63	6,61	74,63	20	287,95	24,93	4,33
	CO+20% PES	115°C	70	6,10	8,71	76,10	20	272,22	30,14	5,54
16	CO+25% PES	100°C	70	4,96	7,09	74,96	20	326,61	22,76	3,48
	CO+25% PES	105°C	70	5,18	7,40	75,18	20	282,86	24,12	4,26
	CO+25% PES	110°C	70	5,00	7,14	75,00	20	284,39	27,79	4,89
	CO+25% PES	115°C	70	4,83	6,90	74,83	20	319,36	31,47	4,93
17	CO+30% PES	100°C	70	3,46	4,95	73,46	20	294,14	18,64	3,17
	CO+30% PES	105°C	70	4,73	6,76	74,73	20	256,20	35,51	6,93
	CO+30% PES	110°C	70	5,71	8,16	75,71	20	241,69	35,11	7,26
	CO+30% PES	115°C	70	7,30	10,42	77,30	20	234,21	43,70	9,33