

EKA DiMa



Eestis tekkivate tekstiilijäätmete ringlussevõtu ja tootearenduste lahendused

Projekti infoleht



KESKKONNAINVESTEERINGUTE
KESKUS

**Projekt:**

“Eestis tekkivate tekstiilijäätmete ringlussevõtu ja tootearenduste lahenduste väljatöötamine”

Rahastaja:

Keskkonnainvesteeringute Keskuse (KIK) ringmajanduse programm

Projekti läbiviija:

Eesti Kunstiakadeemia Jätkusuutliku disaini ja materjalide labor DiMa
Reet Aus (PhD), Kärt Ojavee (PhD), Maria Kristiin Peterson, Argo Tamm
dima.artun.ee

Koostööpartnerid:

Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus SA (SEI Tallinn)
Harri Moora (PhD), Piret Kuldna (MSc), Kristiina Martin (MSc)

TalTechi polümeeride ja tekstiilitehnoloogia labor

Tii Plamus (PhD), Katre Worth (MSc), Md Toufiqur Rahman (MSc),
Laura Kuningas (BSc)

Tartu Ülikooli Viljandi kultuuriakadeemia Vilma villalabor

Astri Kaljus (MA), Ave Matsin (MA)

Paragon Sleep AS

Täname:

MTÜ Uuskasutuskeskus
Villakamber (Aakos A.K OÜ)

Fotod: Evert Palmets, Maria Kristiin Peterson

Raporti kujundus: Studio Studio



Sisukord

Mõisted	4
1. Sissejuhatus	6
2. Eesti tekstiiljäätmete tekke ja ringlussevõtuks sobivate tekstiilide kaardistamine	10
2.1. Rõiva- ja tekstiiljäätmete kategoriseerimise ja tekkekoguse arvu- tamise meetodika	11
2.2. Rõiva- ja tekstiiljäätmete teke	18
2.3. Korduskasutuseks ja ringlussevõtmiseks perspektiivsed rõiva- ja tekstiiljäätmed ning nende kogused	21
3. Tekstiiljäätmete ringlussevõtu lahendused	26
3.1 Rõivaste kogumine ja sorteerimine	29
3.2 Puhastamine, detailide eemaldamine	32
3.3. Purustamine ja kiustamine	34
4. Materjaliarendus	41
4.1 Purustatud kiumassi analüüs	43
4.2 Lõnga arendamine	47
4.3 Lausmaterjalide arendamine	60
5. Tootearendus	64
5.1 Kudumiarendus	66
5.2 Väikemööbel	71
6. Projekti kokkuvõte ja soovitused	78
7. Kasutatud kirjandus	86

Mõisted

Ringne tekstiilisüsteem – ringmajanduse põhimõtete rakendamine moe- ja rõivatööstuses eesmärgiga vähendada jäätmete teket. See hõlmab tekstiiltoodete disaini, mis võimaldab tooteid nende eluea lõpus materjalidena ringlusse suunata, hästi toimivaid ja mugavaid kasutatud rõivaste ja tekstiilide kogumissüsteemi ja sortimislahendusi, korduskasutust toetavaid ärimudeleid ning tehnoloogiaid, mille abil saab kasutatud tekstiile töödelda kõrge kvaliteediga kangasteks ja muudeks materjalideks. Et tekstiilide ringlus saaks tõhusalt toimida, peavad tootjad võtma senisest suurema vastutuse oma toodete eluea pikendamiseks ja nende ringlusse suunamisel.

Tekstiiljäätmete ringlussevõtt – tekstiiljäätmete taaskasutamistoiming, mille käigus jäätmematerjalid töödeldakse toodeteks, materjalideks või aineteks nende esialgsel või mõnel muul eesmärgil kasutamiseks. See ei hõlma jäätmete energiakasutust (põletamine) ja töötlemist materjalideks, mida kasutatakse kütusena. Tekstiiljäätmete puhul on enimlevinud taaskasutamistoiminguks **mehaaniline ringlussevõtt**, mille puhul suunatakse tekstiilmaterjalid ringlusse kas esialgsel või muul otstarbel nende keemilist struktuuri muutmata (näiteks tekstiiljäätmete mehhaanilisel töötlemisel saadud kiust uute tekstiilide või ehitusmaterjalide tootmine). Väljatöötamisel on tekstiiljäätmete **keemilise ringlussevõtu** lahendused, mille puhul lagundatakse tekstiilmaterjal keemiliselt algkomponentideks, millest seejärel valmistatakse esialgsega analoogset materjali.

Väärtustav ringlussevõtt (ingl *upcycling*) – tekstiili- ja rõivatootmises, aga ka kasutatud rõivastest ja kodutekstiilidest tekkinud tekstiiljäätmete või -materjalide kasutamine otse uute rõivaste või muude tekstiiltoodete (nt kotid, aksessuaarid jms) valmistamiseks rakendades selleks disainilähendamist (vt Aus 2011).

Kasutatud rõivad ja tekstiilid (nn tarbimisjärgsed tekstiilid) – kasutatud rõivad ja tekstiilid, mis pärinevad kodumajapidamistest, ning sarnased rõivad ja tekstiilid, mida kasutatakse avalikus ja erasektoris. Siinses uuringus ei ole arvestatud mööblikatteid, vaipu, tekke, patju, jalanõusid ja teisi analoogseid tekstiile.

Ladestamine – jäätmete, sealhulgas rõiva- ja tekstiiljäätmete, kõrvaldamise toiming, mille käigus viiakse jäätmed prügilasse.

Põletamine – uuringus on põletamise mõistet kasutatud jäätmete energiakasutuse kontekstis. See on jäätmete taaskasutamismoodus, kus põletuskõlblikke jäätmetest, sealhulgas tekstiiljätmetest toodetakse energiat neid põletades eraldi või koos muude jäätmete või kütusega, kasutades ära sealt tekkinud soojust.

Rõivaste ja tekstiilide korduskasutus – toiming, mille käigus rõivast või tekstiiltoodet kasutatakse pärast esmatarbimist kogu eluringi jooksul algselt mõeldud otstarbel.

Taaskasutamine – mistahes toiming, mille peamiseks tulemuseks on jäätmete kasutamine kasulikul otstarbel selliselt, et need asendavad teisi materjale, mida muidu oleks selle funktsiooni täitmiseks kasutatud. Taaskasutamise alla kuulub nii jäätmete ringlussevõtt kui ka jäätmete energiakasutus.

Tekstiiljätmed – kasutatud rõivad või tekstiilid, mida valdaja ei kavatse enam kasutada ning viskab need ära.

Tekstiiljätmete mehaaniline esmatöötlemine – tekstiiljätmete mehaaniline töötlemine (nt purustamine ja kiustamine), mille eesmärgiks on nende ettevalmistamine ringlussevõtuks.

Lausmaterjal – tekstiilne tasapinnaline materjal, mis on valmistatud ühest või mitmest tekstiilmaterjali kihist, mille struktuurilemendid on erinevatel viisidel ühendatud ja mis erineb traditsioonilisest riidest või silmuskudumist.

1. Sissejuhatus

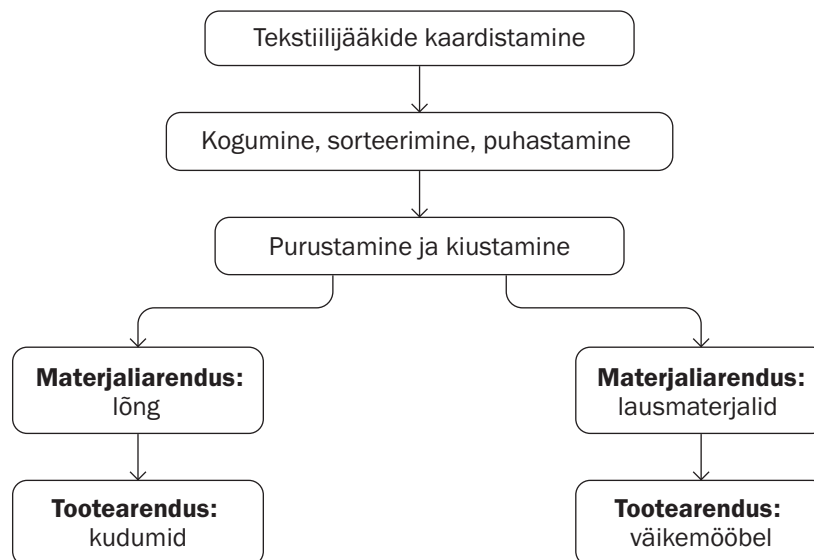


Moe- ja tekstiilitööstus on üks suurima keskkonna- ja sotsiaalse mõjuga sektoreid (EMF 2017). Rõivaste ja tekstiilide tootmine ja tarbimine on siiani tuginenud lineaarsele ehk nn „tooda, kasuta, hülga” majanduslikule mudelile, mis põhineb odaval ja kergesti kättesaadaval toormel ja energial ning odaval tööjõul. Tekstiiltoodete tarbimine on viimase kahe kümnendi jooksul hüppeliselt (kaks korda) kasvanud (EMF 2017). Samal ajal jõuab valdav osa kasutatud rõivaid ja tekstiile jäätmetena kas prügilasse või põletusse. Näiteks Euroopa Liidus (edaspidi EL) ladestatakse ligikaudu 5,8 miljonit tonni tekstiiltooteid ehk ca 11 kg inimese kohta aastas (EEA 2019). Maailmas ladestatakse igal sekundil prügilatesse või põletatakse veoautotäis tekstiiltooteid (EMF 2017). ELis kogutakse igal aastal liigiti ligikaudu 2,1 miljonit tonni tarbimisjärgseid rõivaid ja tekstiiltooteid (ca 38% ELi turule lastud vastavatest toodetest), mis suunatakse kas korduskasutusse või materjalina ringlussevõttu (JRC 2021). See on ka põhjuseks, miks ELi tasandil pööratakse üha rohkem tähelepanu ringse tekstiilisüsteemi arendamisele. Nii sätestavad Euroopa rohelepe (2019) ja ringmajanduse tegevuskava kui ka 30.03.2022 vastu võetud ELi kestliku ja ringluspõhise tekstiili strateegia (Euroopa Komisjon 2022) selged põhimõtted, sihid ja eesmärgid liikmesriikidele ringse tekstiilisüsteemi loomiseks. Lisaks peavad ELi jäätmedirektiivi (2018) kohaselt kõik liikmesriigid 1. jaanuariks 2025 sisse viima kasutatud rõivaste ja tekstiilide, sealhulgas tekstiilijäätmete, liigiti kogumise. Selleks peavad liikmesriigid lähiaastatel looma tekstiilijäätmete kogumissüsteemid ning arendama välja vajaliku võimekuse ja lahendused nende jäätmete sortimiseks ja ringlussevõtuks. Euroopa Komisjon kaalub kasutatud rõivaste ja tekstiilide korduskasutamise ja ringlussevõtu eesmärkide kehtestamist juba 2024. aasta lõpuks.

Siinne kokkuvõte annab ülevaate Eesti Kunstiakadeemia juhitud 2021. aastal alanud ja 1,5 aastat kestnud teadus- ja arendusprojekti “Eestis tekkivate tekstiilijäätmete ringlussevõtu ja tootearenduste lahenduste väljatöötamine” tulemustest. Projekti eesmärgiks oli välja töötada Eestis tekkivate rõiva- ja tekstiilijäätmete ringlussevõtu praktilised lahendused, sealhulgas konkreetsete tootearenduste näidised, mis oleksid aluseks ringse tekstiilisüsteemi edasiseks arendamiseks Eestis.

Ringse tekstiilisüsteemi edendamine, sealhulgas tekstiilijäätmete kogumise ja ringlussevõtu arendamine ning ringsete toodete ja ärimudelite väljatöötamine, eeldab Eestis uute korralduslike ja tehniliste lahenduste väljatöötamist ja rakendamist. Selleks on vaja saavutada selge ülevaade Eestis tekkivatest rõiva- ja tekstiilijäätmete kogusest, analüüsida erinevate tekstiilijäätmete omadusi ja nende ringlussevõtu perspektiive ning hinnata tekstiilijäätmete ringlussevõtuga seotud materjali- ja tootearenduse võimalusi. Tehtud uuringuga soovitakse anda nendele küsimustele vastused, muuhulgas pakutakse välja soovitud esimeste sammude tegemiseks tekstiilijäätmete ringlussevõtu arendamisel Eestis.

Joonis 1. Projekti “Eestis tekkivate tekstiiljäätmete ringlussevõtu ja tootearenduste lahenduste väljatöötamine” protsessi kirjeldus



Uuring viidi läbi järgmiste etappidena, mis kätkesid endas erinevaid analüüse ja katsetusi (vt joonis 1):

- 1. Eesti tekstiiljäätmete tekkekoguse ning nende ringlussevõetavuse perspektiivi kaardistamine** (ptk 2). Uurimisetapi eesmärgiks oli hinnata Eestis tekkivate rõiva- ja tekstiiljäätmete tekkekogust (sh töötati välja tekstiiljäätmete tekkekoguse hindamise meetodiline mudel) ning välja selgitada mehaanilise ringlussevõtu jaoks sobivate tekstiilide või tekstiiljäätmete kategooriad. Analüüsi teostas SA Stockholm Keskonnainstituudi Tallinna Keskus.
- 2. Sobivate tekstiiljäätmete kogumine ja eeltöötlemine** (ptk 3). Uuringu esimese etapi tulemustele toetudes viidi läbi sobivate tekstiiljäätmete kogumine (ringlussevõtuks sobivate rõivatüüpide kogumine, sorteerimine ja puhastamine) ja eeltöötlemine (purustamine ja kiustamine), mis oli vajalik edasiste materjali- ja tootearenduse katsetuste läbiviimiseks. Tekstiiljäätmete kogumist ja eeltöötlemist koordineeris Eesti Kunstiakadeemia. Sobivate rõivatüüpide kogumine viidi läbi koostöös MTÜga Uuskasutuskeskus ning nende edasine purustamine ja kiustamine toimus ettevõttes Paragon Sleep AS.
- 3. Materjaliarendus** (ptk 4). Materjaliarendus toimus kahel suunal:

 - lõngaarendus koostöös Tartu Ülikooli Viljandi kultuuriakadeemia Vilma villalaboriga (p 4.2). Lõngade omadusi analüüsis TalTechi polümeeride ja tekstiilitehnoloogia labor (p 4.2.5). Valmisid eri tüüpi lõngad nii käsikudumismasinale kui ka tööstuslikule kudumismasinale;
 - lausmaterjalide arendus (p 4.3), mis korraldati TalTechi polümeeride ja tekstiilitehnoloogia labori ja Eesti Kunstiakadeemia koostöös. Arendustöö tulemusena valmisid erinevad pehmed ja jäigad lausmaterjalid.

4. Tootearendus (ptk 5). Arendatud materjale kasutati tootearendusprotsessis, mis viidi läbi Eesti Kunstiakadeemia Jätkusuutliku disaini ja materjalide laboris DiMa. Selle tulemusena valmisid väikemööbli prototüübid, käsimasinal kootud kudumid ning *seamless knit* ehk õmblusteta tehnoloogias kootud peakatted.

Uuringu erinevate etappide käigus teostatud analüüside ja katsetuste tulemuste põhjal koostati **soovitused** tekstiilijäätmete ringlussevõtu arendamiseks Eestis (ptk 6).

Projekti toetas Keskkonnainvesteeringute Keskuse ringmajanduse programm (projekt nr 18327).

2. Eesti tekstiil- jätmete tekke ja ringlussevõtuks sobivate tekstiilide kaardistamine



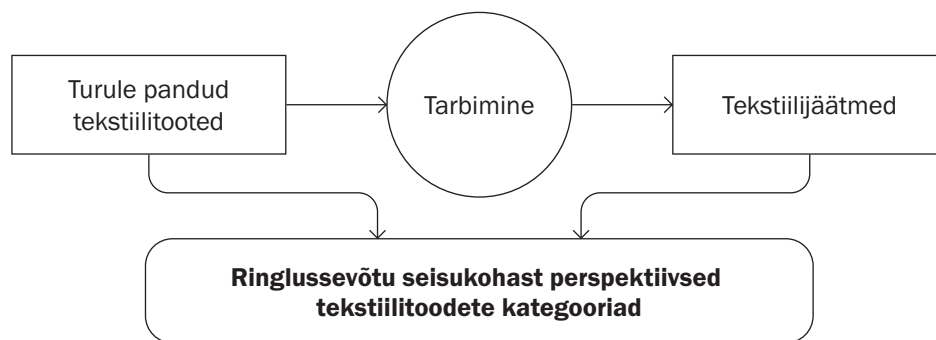
Järgnevas peatükis esitatakse lühikokkuvõte Eestis tekkivate rõiva- ja tekstiilijäätmete tekkekoguse hindamisest ning analüüsist, mille abil selgitati välja mehaanilise ringlussevõtu jaoks sobivad tekstiilide või tekstiilijäätmete kategooriad. Nimetatud hinnang ja analüüs olid aluseks edasiste uurimisetappide (vt ptk 3, 4 ja 5) käigus tehtud materjali- ja tootearenduse katsetustele.

2.1. Rõiva- ja tekstiilijäätmete kategoriseerimise ja tekkekoguse arvutamise meetodika

Tekstiilivooge ja -koguseid, sealhulgas tekstiilijäätmete tekke, on võimalik hinnata n-ö sisend-väljund meetodilise lähenemisega. Sisendi ehk Eesti turule pandud tekstiilide koguseid saab hinnata tootmis- ja kaubandusstatistika andmete põhjal. Väljundi ehk tekstiilijäätmete tekkekoguseid saab hinnata riikliku jäätmearuandluse infosüsteemi andmete ja vastavate jäätmeanalüüside tulemuste põhjal. Nende andmete põhjal on võimalik kategoriseerida tekstiilivood ja -tooted ja sealjuures hinnata ka nende tekkekoguseid. Kaudselt markeerib turule pandud rõiva- ja tekstiiltoodete kogus ka tekstiilijäätmete tekkekogust. Seetõttu tuleks nii turule pandud rõiva ja tekstiiltoodete koguseid (sisend) kui ka jäätmearuandluse põhjal saadud jäätmekoguseid (väljund) analüüsida paralleelselt.

Uuringu käigus töötati välja meetodiline lähenemine, mille abil on võimalik kategoriseerida ja hinnata nii Eesti turule pandud kui ka jäätmetena tekkinud tekstiilivooge. Nende andmete põhjal on võimalik eristada nii ringlussevõtu kui ka korduskasutuse seisukohast perspektiivsemad tekstiilivood (vt joonis 2).

Joonis 2. Ringlussevõtu seisukohast perspektiivsete tekstiilivoogude ja -koguste hindamise meetodika



2.1.1. Turule pandud rõivaste ja tekstiilide kategooriad ja koguste hindamise meetodika

Eesti turule pandud rõivaste ja tekstiilide (eelkõige kodutekstiilide) kategooriate ja nende koguste hindamisel saab tugineda tootmis- ja kaubandusstatistika andmetele. Kõige parema hinnangu saab neile anda ELi ühise tollitariifistiku ja kaubandusstatistika andmebaasi põhjal. Nii on võimalik turule pandud rõivaste ja tekstiiltoodete puhul toetuda kaupade nomenklatuuris (siinkohal kombineeritud nomenklatuuris) toodud vastavatele kaubakoodidele.

Turule pandud tekstiiltoodete koguste hindamise meetodika aluseks on võetud tekstiiltooted, millel on kombineeritud nomenklatuuri kahekohalised CN-koodid 61 ja 62 ning valik toodetest, millel on kood 63 (vt tabel 1). See teeb kokku 38 tootekategooriat. Nimetatud tooted on eelkõige rõivad ja kodutekstiilid (kodumajapidamistes kasutatavad tekstiilid ja sarnased tekstiiltooted, mida kasutatakse avalikus ja erasektoris). Põrandakattematerjale (nt vaibad), mööblikatteid, patju, jalanõusid ja teisi tekstiile selles meetodilises lähenemises arvesse ei võetud.

Eestis turule pandud rõivaste ja kodutekstiilide arvutus põhineb järgmisel valemil:

$$\text{Turule pandud rõivad ja tekstiilid} = \text{kohalik tootmine} + \text{import} - \text{eksport}$$

Tabel 1. Turule pandud rõivaste ja tekstiilide tootekategooriad
(kombineeritud nomenklatuuri CN-koodid)

Kood	Toode
Rõivad	
6101	Meeste ja poiste mantlid, poolmantlid, keebid, joped, anorakid (sh suusajakid), tuulejoped, tuulepluusid jms rõivad, silmkoelised või heegeldatud (v.a ülikonnad, komplektid, pintsakud, bleiserid, traksid ja rinnatükiga tunked ja püksid)
6102	Naiste ja tüdrukute mantlid, poolmantlid, keebid, joped, anorakid (sh suusajakid), tuulejoped, tuulepluusid jms rõivad, silmkoelised või heegeldatud (v.a kostüümid, komplektid, jakid, pintsakud, bleiserid, kleidid, seelikud, püksseelikud, püksid, traksid ja rinnatükiga tunked)
6201	Meeste ja poiste mantlid, poolmantlid, keebid, joped, anorakid (sh suusajakid), tuulejoped, tuulepluusid jms rõivad (v.a silmkoelised või heegeldatud, ülikonnad, komplektid, pintsakud, bleiserid ja püksid)
6202	Naiste ja tüdrukute mantlid, poolmantlid, keebid, joped, anorakid (sh suusajakid), tuulejoped ja tuulepluusid jms rõivad (v.a silmkoelised või heegeldatud, kostüümid, komplektid, jakid, pintsakud, bleiserid ja püksid)
6103	Meeste ja poiste ülikonnad, komplektid, pintsakud, bleiserid, püksid, rinnatüki ja traksidega tunked, põlvpüksid ja lühikesed püksid, silmkoelised või heegeldatud (v.a tuulejoped jms rõivad, vestid, dressid, suusaülikonnad ja supelpüksid)
6104	Naiste ja tüdrukute kostüümid, komplektid, jakid, pintsakud, bleiserid, kleidid, seelikud, püksseelikud, püksid, traksid ja rinnatükiga tunked, põlvpüksid ja lühikesed püksid, silmkoelised või heegeldatud (v.a tuulejakid jms rõivad, kombineed, alusseelikud, aluspüksid, spordidressid, suusakostüümid ja supelrõivad)
6203	Meeste ja poiste ülikonnad, komplektid, jakid, pintsakud, bleiserid, püksid, rinnatüki ja traksidega tunked, põlvpüksid ja lühikesed püksid (v.a silmkoelised või heegeldatud, tuulepluusid jms rõivad, eraldi vestid, spordidressid, suusaülikonnad ja supelrõivad)
6204	Naiste ja tüdrukute kostüümid, komplektid, jakid, pintsakud, bleiserid, kleidid, seelikud, püksseelikud, püksid, traksid ja rinnatükiga tunked, põlvpüksid ja lühikesed püksid (v.a silmkoelised või heegeldatud, tuulepluusid jms rõivad, kombineed, alusseelikud ja aluspüksid, spordidressid, suusakostüümid ja supelrõivad)
6105	Meeste ja poiste päevasärgid, silmkoelised või heegeldatud (v.a öösärgid, T-särgid, särgikud jm alussärgid)
6106	Naiste ja tüdrukute pluusid ja särkpluusid, silmkoelised või heegeldatud (v.a T-särgid ja alussärgid)
6205	Meeste ja poiste päevasärgid (v.a silmkoelised või heegeldatud, öösärgid, särgikud jm alussärgid)
6206	Naiste ja tüdrukute pluusid ja särkpluusid (v.a silmkoelised või heegeldatud ja alussärgid)
6107	Meeste ja poiste aluspüksid, püksikud, öösärgid, pidžaamad, supelmantlid, hommikumantlid jms rõivaesemed, silmkoelised või heegeldatud (v.a alussärgid ja särgikud)
6108	Naiste ja tüdrukute kombineed, alusseelikud, aluspüksid, öösärgid, pidžaamad, negližeed, supelmantlid, hommikumantlid jms rõivaesemed, silmkoelised või heegeldatud (v.a T-särgid, alussärgid, rinnahoidjad, sukahoidjad, korsetid jms)

Kood	Toode
6207	Meeste ja poiste särgikud jm alussärgid, aluspüksid, püksikud, öösärgid, pidžaamad, supelmantlid, hommikumantlid jms tooted (v.a silmkoelised või heegeldatud)
6208	Naiste ja tüdrukute särgikud jm alussärgid, kombineed, alusseelikud, püksikud, aluspüksid, öösärgid, pidžaamad, negližeed, supelmantlid, hommikumantlid jms tooted (v.a silmkoelised või heegeldatud, rinnahoidjad, sukahoidjad, korsetid jms)
6212	Rinnahoidjad, sukahoidjad, korsetid, traksid, sukapaelad jms tooted ning nende osad, mis tahes tekstiilmaterjalist, elastsed või mitte, kaasa arvatud silmkoelised ja heegeldatud (v.a vööd ja korsetid, mis on valmistatud üleni kummist)
6109	T-särgid, särgikud ja muud alussärgid, silmkoelised või heegeldatud
6110	Kampsunid, pulloverid, kardiganid, vestid jms rõivaesemed, silmkoelised või heegeldatud (v.a vateeritud vestid)
6111	Väikelaste rõivad ja rõivamanused, silmkoelised või heegeldatud (v.a mütsid)
6209	Väikelaste rõivad ja rõivamanused tekstiilmaterjalidest (v.a silmkoelised või heegeldatud ja mütsid)
6112	Spordidressid, suusa- ja supelkostüümid, silmkoelised või heegeldatud
6211	Spordidressid, suusa- ja supelkostüümid ning muud rõivad (v.a silmkoelised või heegeldatud)
6113	Rõivad silmkoelisest või heegeldatud kangast, kummeeritud või impregneeritud, pealstatud või kaetud plasti või muude materjalidega (v.a väikelaste rõivad ja rõivamanused)
6115	Sukkpüksid, retuusid, sukad, sokid jm sukatooted (sh veenilaiendite ravisu-katooted ja külgekinnitatud tallata jalatsid), silmkoelised või heegeldatud (v.a väikelastele)
6114	Mujal nimetamata silmkoelised või heegeldatud ameti-, spordi- vms rõivad
6116	Sõrmkindad, labakindad ja sõrmedeta kindad, silmkoelised või heegeldatud (v.a väikelastele)
6117	Muud silmkoelised või heegeldatud rõivamanused valmistoodetena; rõivaste või rõivamanuste silmkoelised või heegeldatud osad
6213	Taskurätikud, mille ükski külge ei ole pikem kui 60 cm (v.a silmkoelised või heegeldatud)
6214	Suurrätikud, pea- ja kaelarätikud, sallid, mantiljad, loorid jms (v.a silmkoelised või heegeldatud)
6217	Muud valmis rõivamanused; rõivaste ja rõivamanuste osad, mis tahes tekstiilmaterjalist (v.a silmkoelised või heegeldatud)
6215	Lipsud, ristlipsud ja kaelasidemed, tekstiilmaterjalidest (v.a silmkoelised või heegeldatud)
6216	Sõrmkindad, labakindad ja sõrmedeta kindad, mis tahes tekstiilmaterjalist (v.a silmkoelised või heegeldatud ning väikelastele)
6210	Rõivad vildist või lausriidest, impregneeritud, pealstatud, kaetud või lamineeritud või mitte; rõivad riidest, kummeeritud või impregneeritud, pealstatud, kaetud või lamineeritud plasti või muude ainetega (v.a silmkoelised või heegeldatud, ning väikelaste rõivad ja rõivamanused)

Kood	Toode
Kodutekstiilid	
6301	Tekid ja reisivaibad, mistahes tekstiilmaterjalist (v.a lauakatted, voodikatted ning rubriigi 9404 sulg- ja vatitekid, padjad)
6302	Voodipesu, lauapesu, vannilina, käte- ja köögirätikud, mistahes tekstiilmaterjalist (v.a põrand-, poleerimis-, nõudepesu- ja tolmulapid)
6303	Kardinad (sh eesriided) ja aknasisekatted (rulood), kardina- või voodidrapeeriingud (volangid), mis tahes tekstiilmaterjalist (v.a markiisid ja päikesekatted)
6304	Muud sisustustarbed, mistahes tekstiilmaterjalist (v.a tekid ja reisivaibad, voodipesu, lauapesu, vannilina, käterätikud ning köögirätikud, kardina (sh eesriided) ja akna sisekatted (rulood), kardina- või voodidrapeeriingud (volangid), lambivarjud ning rubriigi 9404 tooted)

Tabelis 1 toodud 38 tootekategooriat koondati omakorda toodete koguste hindamiseks 15 koondkategoriasse (vt tabel 2). Nende alusel hinnati rõivaste ja kodutekstiilide korduskasutatavust ja ringlussevõetavust, toetudes projekti käigus kogutud praktiliste analüüside tulemustele (vt p 2.3).

Tabel 2. Turule pandud rõivaste ja tekstiilide arvestuse aluseks võetud toodete koondkategoriad

Toode	Kood
Rõivad	
Üleriided	6101 + 6102 + 6201 + 6202
Ülikonnad, bleiserid, püksid, lühikesed püksid, kleidid ja seelikud	6103 + 6104 + 6203 + 6204
Särgid, pluusid, topid	6105 + 6106 + 6205 + 6206
Aluspesu, hommikumantlid ja ööriided	6107 + 6108 + 6207 + 6208 + 6212
T-särgid ja särgikud	6109
Kampsunid ja kardiganid	6110
Beebiriided	6111 + 6209
Spordi- ja ujumisriided	6112 + 6211
Plastiga kaetud / immutatud rõivad	6113
Sukkpüksid, retuusid, sukad, sokid jm sukatooted	6115
Taskurätikud, rätikud, lipsud, sallid, kindad, muu	6114 + 6116 + 6117 + 6213 + 6214 + 6215 + 6216 + 6217
Mittekootud rõivad	6210
Kodutekstiilid	
Tekid ja reisivaibad	6301
Voodipesu, laudlina, rätikud ja lapid	6302
Kardinad, eesriided jm sisustuselemendid	6303 + 6304

2.1.2. **Tekstiilijäätmete tekkekoguse hindamise metoodika**

Rõiva- ja tekstiilijäätmete tekkekoguseid saab hinnata Keskkonna-agentuuri (KAUR) riikliku jäätmearuandluse infosüsteemi (JATS/KOTKAS) andmete ning asjakohaste uuringute ja analüüside tulemuste põhjal.

Tekstiilijäätmete peamised tekkeallikad on järgmised:

- kodumajapidamistes jm sarnastes tegevustes (nt kaubandus) tekkivad kasutatud rõivad ja kodutekstiilid (n-õ tarbimisjärgsed tekstiilijäätmed), mida käsitletakse tavaliselt olmejäätmete alla kuuluva jäätmeliigi või -voona;
- tekstiilitööstuses tekkivad tekstiilijäätmed (tootmisjäätmed).

Olmejäätmete alla kuuluvate n-õ tarbimisjärgsete rõiva- ja tekstiilijäätmete teket saab hinnata liigiti kogutud ja segaolmejäätmetes sisalduvate rõiva- ja tekstiilijäätmete koguste põhjal. Siinses uuringus kasutati segaolmejäätmetes sisalduvate rõiva- ja tekstiilijäätmete osakaalu ja koguse arvutamiseks 2020. aastal Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskuse läbi viidud üle-eestilise sortimisuuringu „Segaolmejäätmete, eraldi kogutud paberi- ja pakendijäätmete ning elektroonikaromu koostise ja koguste uuring“ (SEI Tallinn 2020) tulemusi.

Olmejäätmetena käsitletavat ja liigiti kogutud rõiva- ja tekstiilijäätmed liigitatakse jäätmearuandluses järgmiselt:

- rõivad jäätmekoodiga 20 01 10;
- tekstiil (eelkõige kodutekstiil) jäätmekoodiga 20 01 11.

Samas kasutavad nii selliste jäätmete kogujad kui ka lõppkäitlejad jäätmearuandluses ja aruandluses neid koode tihti segamini – nt 20 01 10 koodi kasutatakse nii rõivajäätmete kui ka muude kodutekstiilide puhul. Seega ei ole riikliku jäätmearuandluse andmete põhjal otstarbekas neid jäätmeliike eraldi käsitleda ning siinses töös analüüsitakse nende jäätmekoodidega jäätmeliike ühtse rõiva- ja tekstiilijäätmete voona.

Peale olmejäätmete alla liigituvate n-õ tarbimisjärgsete rõiva- ja tekstiilijäätmete koguste hinnati ka Eesti tekstiilitööstusettevõtetes tekkivate tekstiilijäätmete koguseid. Tekstiilitööstusettevõtetes tekkivat tekstiilijäätmete kogust saab hinnata kaudselt riikliku jäätmearuandluse infosüsteemi andmete põhjal lähtudes jäätmekoodidest.

Tekstiilitööstusettevõtetes tekkivate jäätmetena vaadeldi uuringus jäätmeid koodiga 04 02 ning järgmisi alamkoode:

- 04 02 09 – komposiitmaterjalide (impregneeritud tekstiil, elastomeerid, plastomeerid) jäätmed;
- 04 02 21 – töötlemata tekstiilkiudude jäätmed;

- 04 02 22 – töödeldud tekstiilkiudude jäätmed;
- 04 02 99 – nimistus mujal nimetamata jäätmed.

Samas tuleb märkida, et nimetatud koodide all kajastuvad jäätmearuandluse infosüsteemis jäätmekogused, mida ettevõtte on eraldi kogunud ja jäätmekäitlejatele nende koodide alusel üle andnud. Paljud tekstiiliettevõtte annavad tekstiilijäätmeid jäätmekäitlejatele üle muude jäätmeliikide ja -koodide all (valdavalt segaolmejäätmetena).

2.2. Rõiva- ja tekstiilijäätmete teke

Järgnevalt esitatakse lühikokkuvõtte ELi tolli- ja kaubandusstatistika andmete põhise metoodika alusel saadud Eesti turule pandud rõiva ja tekstiiltoodete kogustest.

Selle metoodika põhjal kogutud andmed näitavad, et 2020. aastal pandi Eesti turule 8294 tonni rõivaid ja 6764 tonni majapidamistekstiile (vt tabel 3). Kokku pandi turule 15 058 tonni rõivaid ja tekstiiltooteid. Uute rõivaste ja tekstiiltoodete tarbimine on viimaste aastate jooksul püsinud suhteliselt stabiilsena kõikides keskmiselt 16 000 tonni ümber (mis teeb ligikaudu 12 kg selliseid tooteid Eesti elaniku kohta aastas).¹

Tabel 3. Rõivaste ja tekstiilide turule toomine Eestis (t), 2017–2020

Toode	2017	2018	2019	2020
Üleriided	1 040	1 079	1 107	998
Ülikonnad, bleiserid, püksid, lühikesed püksid, kleidid ja seelikud	1 918	2 052	2 334	2 096
Särgid, pluusid, topid	339	412	416	210
Aluspesu, hommikumantlid ja ööriided	466	613	685	505
T-särgid ja särgikud	652	782	881	779
Kampsunid ja kardiganid	690	809	844	672
Beebiriided	109	191	217	238
Spordi- ja ujumisriided	548	467	306	434
Plastiga kaetud / immutatud rõivad	19	20	20	18
Sukkpüksid, retuusid, sukad, sokid jm sukatooted	647	716	700	619
Taskurätikud, rätikud, lipsud, sallid, kindad, muu	1 314	1 244	1 266	1 161
Mittekootud rõivad	403	406	308	565
Rõivad kokku	8 144	8 793	9 084	8 294
Tekid ja reisivaibad	2 316	2 606	2 634	2 564
Voodipesu, laudlinad, rätikud ja lapid	1 193	1 606	1 697	1 510
Kardinad, eesriided jm sisustuselemendid	3 103	3 221	2 798	2 690
Majapidamistekstiilid kokku	6 612	7 433	7 129	6 764
Rõivad ja tekstiilid kokku	14 756	16 226	16 213	15 058

Koguseliselt on turule pandud rõivaid kõige enam tootekategoorias „ülikonnad, bleiserid, püksid, lühikesed püksid, kleidid ja seelikud“

1 Varasemad uuringud (nt SEI Tallinn 2020) on näidanud, et Eestis tarbitakse (müüakse ja annetatakse) lisaks uutele rõivastele ja kodutekstiilidele ka ligikaudu 3000 tonni kasutatud rõivaid ja tekstiile aastas.

(2020. aastal 2096 tonni) ning „taskurätikud, lipsud, sallid, kindad, muu“ (2020. aastal 1161 tonni). Suhteliselt suure koguse moodustavad ka majapidamistekstiilid, sealhulgas pannakse nii tekke, kardinaid kui ka muid sisustustekstiile turule üle 2500 tonni aastas.

Tuleb arvestada, et siin välja toodud tolli- ja kaubandusstatistika andmetel põhinevad kogused ei peegelda kõiki Eesti turule pandud rõivaid ja kodutekstiile. Nimelt ei kajastu selles arvestuses välismaal ostetud rõivad ja tekstiilid ning samuti interneti teel välismaalt ostetud tooted. Just e-kaubanduse kaudu Eesti turule jõudvate rõivaste ja kodutekstiilide kogused on viimastel aastatel hüppeliselt suurenenud. Sellele, et tegelikult tarbitud uute rõivaste ja tekstiilide kogus on mõnevõrra suurem, viitab ka suurem rõiva- ja tekstiilijäätmete kogus (vt p 2.2.1).

Allolevalt on esitatud täpsem kokkuvõte rõiva- ja tekstiilijäätmete tekkekogustest Eestis. Rõiva- ja tekstiilijäätmete tekkekogused on liigitatud järgmiselt:

- olmejäätmete alla kuuluvad n-ö tarbimisjärgsed tekstiilijäätmed;
- tekstiilitööstuses tekkivad tekstiilijäätmed (tootmisjäätmed).

2.2.1. **Tarbimisjärgsete rõiva- ja tekstiilijäätmete kogused**

Riikliku jäätmearuandluse infosüsteemi andmete ja sortimisuuringute tulemuste põhjal võib välja tuua hinnangulise tarbimisjärgsete rõiva- ja tekstiilijäätmete (olmejäätmetena käsitletav jäätmevoog) koguse (vt tabel 4). Nii võib öelda, et **2020. aastal tekkis ligikaudu 19 300 tonni rõiva- ja tekstiilijäätmeid**. Rõiva- ja tekstiilijäätmete tekkekogus on viimase viie aasta lõikes mõnevõrra suurenenud (v.a 2020/2021), mis hästi korreleerub rõivaste ja tekstiilide turule panemise kogustega (vt tabel 3). Rõiva- ja tekstiilijäätmete mõnevõrra suurem kogus võrreldes nende toodete turule panemisega on seletatav sellega, et kaubandusstatistika ei peegelda välismaal ega välismaalt interneti teel ostetud rõivaid ja tekstiile. Samuti tuleb arvestada sellega, et olmejäätmete alla liigituvate rõiva- ja tekstiilijäätmete hulka pannakse tihti ka tekstiilitööstusest pärinevad tekstiilijäätmed. Oluline on ka märkida, et rõivastel ja kodutekstiilidel on teatud eluiga (kasutusaeg), mistõttu ei saa lugeda turule pandud rõivaste ja tekstiilide kogust võrdseks samal aastal tekkinud tekstiilijäätmete kogusega.

Suurem osa tekkinud rõiva- ja tekstiilijäätmetest liigub lõppkäitluseks kas prügilasse või põletusse (valdavalt segaolmejäätmete koosseisus). Liigiti kogutud rõiva- ja tekstiilijäätmete osakaal on viimase viie aasta jooksul mõnevõrra suurenenud (2020. aastal 11%). Samas liigub suurem osa liigiti kogutud tekstiilijäätmetest ikkagi lõpuks prügilasse, kuna Eestis puudub siiani võimalus tekstiilijäätmeid suuremas mahus ringlusesse võtta. Ka Eesti lähiriikide tekstiilijäätmete ringlussevõtu võimalused on väga piiratud.

Tabel 4. Rõiva- ja tekstiilijäätmete teke (t), 2016–2020

Jäätmeliik	2016	2017	2018	2019	2020
Liigiti kogutud rõvajäätmed (20 01 10)	822	955	750	762	1 154
Liigiti kogutud tekstiilijäätmed (20 01 11)	524	890	947	1 042	1 063
Liigiti kogutud rõiva- ja tekstiilijäätmed kokku	1 346	1 845	1 698	1 804	2 216
Segaolmejäätmetes sisalduvad rõiva- ja tekstiilijäätmed (t) ²	15 783	16 102	17 054	17 621	17 045
Rõiva- ja tekstiilijäätmed kokku	17 129	17 947	18 752	19 425	19 261
Liigiti kogutud rõiva- ja tekstiilijäätmete osakaal	7%	9%	8%	9%	11%

2.2.2. Tekstiilitööstuses tekkivate tekstiilijäätmete kogused

Riikliku jäätmearuandluse infosüsteemi andmed peegeldavad tekstiilitööstuses liigiti kogutud tekstiilijäätmete koguseid. Tekstiilitööstuses kogutud ja jäätmekäitlejatele üle antud tekstiilijäätmete kogused on viimase viie aasta jooksul pidevalt vähenenud (vt tabel 5). Mõnevõrra iseloomustab see ka tekstiilitööstuse kokkutõmbumist Eestis. 2020. aastal andsid tekstiiliettevõtted jäätmekäitlejatele üle ligikaudu 1752 tonni tekstiilijäätmeid. Valdava osa sellest (1626 tonni) moodustasid töödeldud tekstiilkiudude jäätmed (valdavalt kangajäägid, praakrõivad jms).

Suur osa (40–50%) rõiva- ja tekstiiltootmises tekkinud tekstiilijäätmeid läheb Eestis täna prügilasse. Jäätmearuandluse infosüsteemi andmetel teine osa nendest jäätmetest (2020. aastal 693 tonni) eksporditakse. Ainult ligikaudu 8% (2020. aasta andmetel 146 tonni) suunatakse taaskasutusse.

Tabel 5. Tekstiilitööstuses tekkinud tekstiilijäätmete kogused (t), 2016–2020

Jäätmeliik	2016	2017	2018	2019	2020
Komposiitmaterjalide (impregneeritud tekstiil, elastomeerid, plastomeerid) jäätmed	3,7	3,3	22,6	39,7	4,4
Töötlemata tekstiilkiudude jäätmed	21,7	38,1	30,1	12,3	111,8
Töödeldud tekstiilkiudude jäätmed	2645,8	3481,6	2207,5	1692,3	1625,7
Nimistus mujal nimetamata jäätmed	18,1	12,4	14,2	15,0	9,8
Tekstiilitööstusjäätmed kokku	2689	3535	2274	1759	1752

2 Segaalmejäätmete, eraldi kogutud paberi- ja pakendijäätmete ning elektroonikaromu koostise ja koguste uuringu (SEI Tallinn 2020) kohaselt sisaldasid Eesti segaalmejäätmed 5,8% rõiva- ja tekstiilijäätmeid. Siinses uuringus on jäätmearuandluse infosüsteemis toodud segaalmejäätmete tekkekogusest maha võetud 10%. See tugineb eeldusel, et segaalmejäätmetes sisaldub ka muid jäätmeid ja seetõttu pole asjakohane arvutada segaalmejäätmetes sisalduvaid rõiva- ja tekstiilijäätmeid jäätmearuandluses toodud segaalmejäätmete koguse põhjal. Eeldus, et segaalmejäätmed sisaldavad ligikaudu 10% muid jäätmeid tugineb SEI Tallinna 2017. a uuringul „Pakendiaruande koostamise meetoodika analüüs ja kaasajastamine“.

2.3. **Korduskasutuseks ja ringlussevõtuks perspektiivsed rõiva- ja tekstiilijäätmed ning nende kogused**

Ringlussevõtu ja korduskasutuse seisukohast perspektiivsete rõiva- ja tekstiilijäätmete, sealhulgas ka nende koguste, väljaselgitamisel lähtuti eelkõige Eesti turule pandud rõiva ja tekstiiltoodete analüüsist. Ringlussevõtu ja korduskasutuse perspektiivsust hinnati kokku 14 rõivakategoorias ja kolmes kodutekstiili kategoorias. Täpsema hindamise huvides jagati tootekategooria "ülikonnad, bleiserid, püksid, lühikesed püksid, kleidid ja seelikud" kolmeks: 1) ülikonnad ja bleiserid; 2) püksid ja lühikesed püksid; 3) kleidid ja seelikud. Tootekategooriates hinnati toodete (st kasutatud või jäätmeteks muutunud toodete) perspektiivsust nii mehhaanilise ringlussevõtu (eraldi hinnati ka väärtustava ringlussevõtu perspektiivsust) kui ka korduskasutuse seisukohast (vt hindamise tulemusi tabelis 6).

Mehhaanilise ringlussevõtu perspektiivsuse hindamisel tugineti projekti abil saadud tekstiiltoodete töötlemistehnoloogiate testimise ja tootearenduse tulemustele (vt ptk 4–5). Projekti käigus testiti valitud rõivakategooriate mehhaanilise ringlussevõtu perspektiivsust kasutades Eestis olemasolevaid tekstiilide töötlemistehnoloogiaid (purustamine, kiustamine, lausmaterjalide arendamine ja lõnga tootmine). Saadud tulemuste põhjal analüüsiti turul kättesaadavaid sarnaste tekstiilijäätmete käitlemise lahendusi ja tehnoloogiaid, mida oleks võimalik minimaalselt investeerides rakendada, et tagada esmane kasutatud rõivaste ja tekstiilide eeltöötlemise võimekus Eestis.

Väärtustava ringlussevõtu perspektiivsust hinnati tootekategooriate tekstiilmaterjali omaduste põhjal, võttes aluseks erinevatest kasutatud rõivastest ja kodutekstiilidest uute rõivaste disainimise praktilisi kogemusi.

Korduskasutuse perspektiivsust hinnati turule pandud rõivaste ja kodutekstiilide põhjal, mitte niivõrd arvestades, et nendest toodetest on tekkinud jäätmed. Eeldatavasti ei korduskasutata rõivaid ja kodutekstiile peale nende jäätmeteks muutumist ja äraviskamist. Samas on võimalik, et ka jäätmetena ära visatud rõivaste ja kodutekstiilide seas on korduskasutuseks kõlblikke tooteid. Korduskasutatavuse perspektiivsuse hindamisel lähtuti eelkõige MTÜ Uuskasutuskeskus praktilistest kogemustest rõivaste ja kodutekstiilide korduskasutusse suunamisel.

Tabel 6. Rõivaste ja tekstiilide ringlussevõetavuse ja korduskasutatavuse perspektiivi hinnang

Tootekategooria	Koodid	Ringlusse- võetavus	Väärtustav ringlussevõtt (<i>upcycling</i>)	Kordus- kasutatavus
Rõivad				
Üleriided	6101 6102 6201 6202	madal	keskmine	kõrge
Ülikonnad, bleiserid	6103 6104 6203 6204	madal	madal	keskmine
Püksid, lühikesed püksid	6103 6104 6203 6204	kõrge	keskmine	keskmine
Kleidid ja seelikud	6103 6104 6203 6204	madal	madal	keskmine
Särgid, pluusid, topid	6105 6106 6205 6206	keskmine	keskmine	kõrge
Aluspesu, hommiku- mantlid ja ööriided	6107 6108 6207 6208 6212	keskmine	madal	madal
T-särgid ja särgikud	6109	kõrge	madal	keskmine
Kampsunid ja kardiganid	6110	keskmine	madal	kõrge
Beebiriided	6111 6209	keskmine	madal	kõrge
Spordi- ja ujumisriided	6112 6211	madal	madal	madal
Plastiga kaetud / immutatud rõivad	6113	madal	madal	madal
Sukkpüksid, retuusid, sukad, sokid jm sukktooted	6115	madal	madal	madal
Taskurätikud, rätikud, lipsud, sallid, kindad, muu	6114 6116 6117 6213 6214 6215 6216 6217	madal	madal	keskmine
Mittekootud rõivad	6210	madal	madal	keskmine

Tootekategooria	Koodid	Ringlusse- võetavus	Väärtustav ringlussevõtt (<i>upcycling</i>)	Kordus- kasutatavus
Kodutekstiilid				
Tekid ja vaibad	6301	keskmine	keskmine	kõrge
Voodipesu, laudlinad, rätikud ja lapid	6302	kõrge	keskmine	keskmine
Kardinad, eesriided jm sisustuselemendid	6303 6304	madal	keskmine	keskmine

Igale rõiva- ja tekstiiltoodete kategooriale anti eksperthinnang kvalitatiivse hindamismetoodikaga järgmisel skaalal:

- **Kõrge perspektiiv**

Mehhaanilise ringlussevõtu kõrge perspektiiv – tootekategooria tekstiilmaterjali omadused ja disain lubavad kättesaadavate tehnoloogiatega (purustamine, kiustamine, lausmaterjalide arendamine ja lõnga tootmine) nendest toodetest tekkinud tekstiilijäätmeid suhteliselt lihtsalt mehaaniliselt töödelda ja uusi tooteid toota.

Väärtustava ringlussevõtu kõrge perspektiiv – tootekategooria tekstiilmaterjali omadused lubavad nimetatud tootekategooriasse kuuluvaid rõivaid ja kodutekstiile suhteliselt lihtsalt kasutada uute toodete disainimiseks ja tootmiseks.

Korduskasutatavuse kõrge perspektiiv – tootekategooriasse kuuluvaid kasutatud rõivaid ja kodutekstiile on võimalik (toetudes praktilisele kogemusele) lihtsalt korduskasutada. Sellised tootekategooriad omavad korduskasutuse seisukohast vajalikku kvaliteeti ja turu nõudlust.

- **Keskmine perspektiiv**

Mehhaanilise ringlussevõtu keskmine perspektiiv – tootekategooria tekstiilmaterjali omadused ja disain ei ole kõige sobivamad toodete mehhaaniliseks käitlemiseks ja ringlussevõtuks. Segakiust kangas ja palju lisaelemente eeldavad rõivaste ja tekstiilide töötlemiseks ning saadud teisese materjali hilisemaks kasutamiseks keerukamaid tehnoloogilisi lahendusi.

Väärtustava ringlussevõtu keskmine perspektiiv – tootekategooria rõivaste ja kodutekstiilide tekstiilmaterjali omadused võimaldavad sellesse tootekategooriasse kuuluvaid rõivaid ja tekstiile kasutada n-ö *upcycling* disainimeetodiga uute tekstiiltoodete tootmiseks ainult osaliselt või vähesel määral.

Korduskasutatavuse keskmine perspektiiv – tootekategooriasse kuuluvate kasutatud rõivaste ja kodutekstiilide korduskasutamine on piiratud (tuginedes praktilisele kogemusele).

- **Madal perspektiiv**

Mehhaanilise ringlussevõtu madal perspektiiv – tootekategooria tekstiilmaterjali omadused ja disain ei ole sobivad nende materjalide mehhaaniliseks käitlemiseks ja ringlussevõtuks.

Väärtustava ringlussevõtu madal perspektiiv – tootekategooria rõivaste ja kodutekstiilide tekstiilmaterjali omadused ja disain ei ole sobiv nende kasutamiseks n-ö *upcycling* disainimeetodiga uute tekstiiltoodete tootmiseks.

Korduskasutatavuse madal perspektiiv – tootekategooriasse kuuluvad kasutatud rõivad ja kodutekstiilid ei sobi või sobivad väga vähesel määral korduskasutamiseks.

Hinnangust saab järeldada, et mehhaanilise ringlussevõtu seisukohast on rohkem perspektiivi järgmiste tootekategooriate rõiva- ja kodutekstiilide jäätmetel:

- püksid ja lühikesed püksid (sh eelkõige teksapüksid) – kogus ca 1000 tonni aastas;
- T-särgid ja särgikud – kogus ca 800 tonni aastas;
- voodipesu, rätikud, laudlinad jms – kogus ca 1500 tonni aastas.

Seega võib analüüsi põhjal järeldada, et **ligikaudu 3300 tonni³ Eestis aasta jooksul tekkivatest rõiva- ja kodutekstiilijäätmetest oleks tehnoloogilist ja majanduslikku perspektiivi arvestades võimalik vähese ressursikuluga mehhaaniliselt töödelda ja uute toodete (eelkõige tekstiiltoodete) tootmiseks teisese toormena kasutada.⁴ See on ligikaudu 22% arvestatuna keskmiselt aastas turule pandud rõivaste ja tekstiilide kogusest.**

Lisaks võib tekstiiltoodete turule panemise andmete põhjal eeldada, et aastas tekib ligikaudu 4200 tonni ulatuses rõiva- ja tekstiilijäätmeid, millel on mehhaanilise ringlussevõtu keskmine perspektiivsus. Kuna see jäätmemass koosneb väga erinevate omaduste ja koostisega rõivastest ja kodutekstiilidest, siis ei ole võimalik täpsemalt hinnata nende ringlussevõtu tegelikku perspektiivsusust. Küll aga vajaks see tekstiilijäätmete mass juba oluliselt suuremat ja kõrgemasemelist tehnoloogilise töötlemise võimekust ning oluliselt suuremat ja eripalgelisemat kasutusvaldkonda ehk lõpp(ringseid)tooteid (nt ehitusmaterjalid jms, kus saaks kasutada teisest tekstiilitooret).

Väärtustav ringlussevõtt sobibki eelkõige tekstiilitööstuses tekkinud tekstiilijäätmetest uute rõivaste ja tekstiiltoodete tootmiseks.⁵ **Seega võib eeldada, et Eestis oleks aastas võimalik teoreetiliselt vähemalt**

3 Kogus on arvatud turule pandud rõivaste ja tekstiilide mahu põhjal.

4 Lisaks võib eeldada, et sobivate tehnoloogiate olemasolul on võimalik mehhaaniliselt suhteliselt lihtsalt töödelda ka suuremat osa Eestis tekkivatest tekstiilitööstuse tekstiilijäätmetest – ca 1600 tonni aastas.

5 25–40% rõivatööstuses tekkivatest tekstiilijäätmetest on võimalik suunata n-ö väärtustava ringlussevõtna uute tekstiiltoodete tootmiseks (vt Aus et al. 2021).

400 tonni tekstiilitööstuse jääkkangast suunata väärtustava ringlussevõtu kaudu uute tekstiiltoodete tootmiseks.⁶ Samas eeldab see eraldi kokkuleppeid ja tootearendusprojekte nii rõivabrändide kui ka tekstiiltooteid tootvate ettevõtetega. Tarbimisjärgsete rõivaste ja kodutekstiilide kasutamine väärtustava ringlussevõtu eesmärgil on tekkivate tekstiiljäätmete koguste valguses pigem marginaalne. Hinnanguliselt sobiks väärtustava ringlussevõtu meetodikaga uute tekstiiltoodete tootmiseks ligikaudu 9000 tonni keskmise perspektiiviga kasutatud rõivaid ja kodutekstiile. Samas võib eeldada, et väärtustava ringlussevõtu jaoks sobivate ringsete disaini- ja tootmismudelite tekkel oleks tegelikult (st majanduslikult tasuval moel) võimalik kasutada uute *upcycle*-tekstiiltoodete tootmiseks oluliselt vähem, hinnanguliselt kuni 270 tonni kasutatud rõivaid ja kodutekstiile aastas (3% keskmise perspektiiviga tekstiiljäätmetest).

Tehtud analüüsi põhjal võib eeldada, et **Eestis turule pandud ja korduskasutamise perspektiivist sobivate (kõrge perspektiiviga) rõivaste ja kodutekstiilide kogus on ligikaudu 4600 tonni aastas, sealhulgas:**

- üleriided – ca 1000 tonni aastas;
- särgid ja pluusid – ca 200 tonni aastas;
- kampsunid ja kardiganid – ca 700 tonni aastas;
- beebiriided – ca 200 tonni aastas;
- tekid ja vaibad – ca 2500 tonni aastas.

2020. aastal läbiviidud SEI uuringu kohaselt koguti 2018. aastal Eestis korduskasutuse eesmärgil ligikaudu 3000 tonni rõivaid ja kodutekstiile (ca 20% turule pandud rõivastest ja tekstiilidest, mis on juba suhteliselt kõrge tase). Seega võib eeldada, et ka jäätmetena ära visatavate rõivaste ja kodutekstiilide hulgas on suur kogus selliseid tekstiiltooteid, mida saaks veel korduskasutusse suunata ja seeläbi tekstiiljäätmete tekkekogust vähendada.

Oluline on rõhutada, et siin peatükis nimetatud ringlussevõtu (sh väärtustava ringlussevõtu) ja korduskasutuse seisukohast perspektiivsed kasutatud rõivaste ja tekstiilide kogused põhinevad nende toodete turule panemise andmetel. Nagu näitas tekstiiljäätmete koguste analüüs (vt p 2.2), on tekstiiljäätmete kogused mõnevõrra suuremad kui vastavad turule pandud rõivaste ja tekstiilide kogused. Seega võib eeldada, et ka siin peatükis toodud hinnangulised ja perspektiivsed ringlussevõtu kogused on mõnevõrra suuremad.

6 Eeldusel, et vähemalt 25% tekkivatest kangajäätmetest on võimalik suunata väärtustava ringlussevõtuna tagasi uute tekstiiltoodete tootmiseks (vt Aus et al. 2021)

3. Tekstiiljätmete ringlussevõtu lahendused



Selles peatükis antakse ülevaade võimalikest tarbimisjärgsete tekstiilijäätmete ringlussevõtu lahendustest ning kirjeldatakse täpsemalt sisendmaterjali valikuid projektiga seotud ringlussevõtu katsetusteks ja selleks valitud meetodikat.

Üks peamised põhjused, miks tekstiilijäätmete ringlussevõtu tehnoloogiaid ei ole senini piisaval määral kasutusele võetud, on tekstiilide segakiuline koostis. Tänapäeval kasutatavate tavapäraste mehaaniliste ümbertöötlemise protsesside käigus ei ole võimalik eraldada erinevatest tekstiilkiudude segudest valmistatud rõivaste koostisosi. Lisaks on nende töötlemisel kasutatud värv- ja muid aineid, mida on samuti keeruline eristada.

Tekstiilkiude võib liigitada mitmete tunnuste järgi. Võttes aluseks rahvusvahelised standardid ISO 6938:1984 (*Natural fibres – Generic names and definitions*) ja ISO 2076:1989 (*Textiles – Man-made fibres Generic names*) liigitatakse tekstiilkiud nende päritolu järgi järgmiselt:

- looduslikud kiud ehk kiudaineid, mis saadakse loodusest valmiskujul (süü alla kuuluvad nii taimsed kui ka loomsed kiud);
- keemilised ehk keemilisel teel saadud kiudained, mis saadakse sünteetilistest või keemiliselt töödeldud looduslikest kõrgmolekulaarsetest ühenditest ehk polümeeridest.

Tekstiilijäätmete erinev kiuline koostis on põhjuseks, miks on oluline valida neile sobivaim võimalik ringlussevõtu tehnoloogia. Levinuimad on tänapäeval mehaaniline ja keemiline ringlussevõtt.

Keemilise ringlussevõtu puhul purustatakse tekstiilkiud molekulaarsel tasemel ja lähteaine polümeriseeritakse uuesti. Seda tehnoloogiat kasutatakse peamiselt sünteetiliste kiudude (polüester, polüamiid, nailon jne) ning ka segatud kiudude (sünteetiline+looduslik) ümbertöötlemiseks.

Mehaaniline ringlussevõtt on lihtsaim tekstiiljäätmete ümbertöötlemise võimalus. See tehnoloogia võimaldab tekstiilmaterjali mehaanilist dekonstrueerimist, et viia see tagasi kiulisele vormile. Kiustatud materjal on võimalik arendada nii uut lõnga kui ka teisi materjale. Mehaanilise ümbertöötlemise olulisimaks miinuseks on kiudude kvaliteedi langus peale mehaanilist purustamist. Kiu kvaliteet langeb purustamise käigus enam just segakiulistel materjalidel, sest erineva koostisega rõivaste kiustamine purustusliinil ei toimu ühtlaselt. Iga tsükliga saadakse purustamisel lühemad ja hapramad kiud, mis piirab nende edasisi kasutusvõimalusi. Nii tootmis- kui ka tarbimisjärgse tekstiilijäätme mehaanilise ümbertöötlemise protsessi juures on kiustatud massi kvaliteedi puhul olulisimateks tingimusteks purustatavate kiudude monogaamsus või koostise protsent (segakiulise materjali puhul), purustatava kiu pikkus algses rõivas ning purustatava rõivaeseme puhtus ja/või kulumisaste (Payne 2015).

Arvestades Eestis olemasolevaid ümbertööstustehnoloogiate võimalusi, **valiti selle projekti raames tarbimisjärgsete tekstiilijätmete käitlemiseks mehaaniline ringlussevõtutehnoloogia**. Keemilist ringlussevõttu ei testitud, sest see on Eestis alles väljatöötamisel.

Järgnevalt kirjeldatakse pikemalt tekstiilijätmete mehaanilise ringlussevõtu protsessi, alustades sobivate tekstiilijätmete kogumist (p 3.1), nende eeltöötlemist (p 3.2) ning mehaanilist kiustamist. Tegevused viidi läbi ettevõttes Paragon Sleep, kus on olemas Eestis ainus mehaanilise ringlussevõtu teenuse pakkumiseks vajalik tehnoloogiapark (p 3.3). Protsessi sisendmaterjaliks valiti ja koguti tekstiilijätmete liigid, mis sobivad esmase ja madala investeeringuga mehhaanilise ümbertööstluse protsessiga (vt lähemalt p 2.1).

Arvestades mehaanilise ümbertöötlemise piiratud võimalusi ning selle sobivust pigem looduslikust tekstiilkiust rõivastele, kasutati projektis peamiselt monomaterjalist tarbimisjärgseid tekstiilijätmeid, **mille kiuline koostis on puuvill**.

Puuvilla tootmisel tekkiva keskkonnamõju ning kiu vastupidavust tagavad omadused muudavad selle materjali ringlussevõtu tehnoloogiate arendamise (nii mehaanilise kui ka keemilise ümbertööstluse) ja nende tööstusliku rakendamise väga vajalikuks. Nimelt moodustab puuvill 2019. aasta ECAPi uurimuse kohaselt rohkem kui 43% kõikidest toodetavatest kiududest Euroopa turul. Selle keskkonnajalajalg on aga eriti problemaatiline, sest puuvilla tootmiseks kulub märkimisväärselt palju vett ning putukatõrjeks erinevaid kemikaale. Hoolimata eelpool mainitust on puuvill üsna tugev ja vastupidav kiud, mistõttu on sellel materjalil ringlusse saatmisel ja vastupidavate rõivaste tootmisel eeliseid. Selleks et tulemusi võrrelda ja kinnitada töödeldi ümber ka väiksem kogus segakiudusid sisaldavaid (puuvill koos erinevate sünteetiliste kiududega) tekstiilijätmeid.

3.1 Rõivaste kogumine ja sorteerimine

Projektis vajalike tekstiilijäätmete kogumiseks kasutati sisendiks projekti käigus tehtud Eestis tekkivate tekstiilijäätmete kaardistuste analüüsi tulemusi (p 2.3). Selle järgi on Eestis tekkivatest rõiva- ja kodutekstiilijäätmetest tehnoloogilisest ja majanduslikust perspektiivist lähtudes uute toodete (eelkõige uute tekstiiltoodete) tootmiseks lihtsam võimalik ümber töödelda ligikaudu 3300 tonni rõiva- ja tekstiilijäätmeid aastas. See on ligikaudu 22% rõiva- ja tekstiilijäätmete kogutekkest.

Peatükis 2 kirjeldatud analüüsi tulemuste kohaselt on mehaaniliseks ringlussevõtuks perspektiivikamad liigid püksid ja lühikesed püksid, sealhulgas eelkõige teksapüksid (kogus ca 1000 tonni aastas), T-särgid ja särgikud (kogus ca 800 tonni aastas), voodipesu, rätikud, laudlinad jms (kogus ca 1500 tonni aastas).

Eelpool mainitud kategooriate tõttu otsustati projekti tarvis vajalikud tarbimisjärgsed tekstiilid kokku koguda allpool olevate koguste põhjal:

- puuvillane teksa;
- puuvillane kodutekstiil;
- puuvillased T-särgid;
- segakiust T-särgid.

Valitud kategooriates tekstiilijäätmete soovitud hulgas Eesti-sisene kogumine toimus koostöös MTÜga Uuskasutuskeskus, kes on Eesti suurim taaskasutusse saadetud riiete ja mööbli koguja ja vahendaja. Uuskasutuskeskusel on Eestis 23 kogumiskohta ja lisaks kauplused, kuhu saab jätta kasutatud rõivaid ja teisi esemeid. Oma kaupluste ja koostööpartnerite kaudu saatis MTÜ Uuskasutuskeskus 2021. aastal ringlusse üle 632 tonni tekstiile, millele lisandusid teised tootekategooriad, mida ei kaaluta, näiteks jalatsid, mänguasjad, raamatud, nõud jms.

Projekti käigus koguti tekstiile 2021. aasta juunist septembrini Uuskasutuskeskuse konteinerite, korjanduspunktide ja kaupluste võrgustiku kaudu.

Eialgu oli plaanis koguda ligi 200 kg tarbimisjärgseid tekstiile, ent planeeritud kogustest koguti tekstiile kaaluliselt pea kaks korda rohkem, so 425 kg. See oli tingitud sellest, et arvestati ka sorteerimise ja puhastamise etapis mittesobivate materjalide ja detailide eemaldamise tõttu tekkida võiva märkimisväärse kaalukaoga.

Sõltumata valitud tekstiilijäätmete ringlussevõtu viisist on esimese sammuna esmatähtis tekstiilide eeltöötlus ning ringlussevõtuks ettevalmistamine.



Foto 1. Kasutatud rõivad Uuskasutuskeskuse sorteerimisjaamas Tallinnas

Kogutud tekstiilid sorteeriti liigiti Uuskasutuskeskuse sorteerimiskeskuses. Liigitamine on tekstiilide ringlussevõtu mistahes viisi puhul esmatähtis eeltöölustegevus. **Uuskasutuskeskuse sorteerimiskeskuses sorteeritakse annetusi** tavapäraselt eesmärgiga saata oma kaupluste ja koostööpartnerite kaudu kasutuskõlblikud esemed korduskasutusse (vt foto 1). Annetuskastidesse kogutud esemed sorteeritakse kvaliteedi järgi visuaalselt hinnates – hinnatakse kuluvust ja määrdumisastet, vajadusel tuvastatakse hinnalisemad rõivaesemed. **Korduskasutusse saatmiseks eelnev tekstiilide sorteerimine** vajab spetsiaalset väljaõpet ning on üsna aeganõudev.

Tekstiiljätmete sorteerimiseks on võimalik kasutada erinevaid tehnoloogiaid. Kasutusel on ka automatiseeritud lahendusi kiiremaks sorteerimiseks (vt ptk 6). Uuskasutuskeskuses **sorteeritakse korduskasutuse eesmärgiga kogutud rõivad manuaalselt**, mis on selleks protsessiks levinuim ja tõhusaim meetod. Selline sorteerimisviis on aeganõudev, ent ainus viis, kuidas sorteeritavatele tekstiilidele saab anda ka vajaliku subjektiivse hinnangu.

Selles projektis sorteeriti tekstiile eesmärgiga suunata need ringlusse. Soov oli välja valida neli erinevat liiki kindla koostisega tarbijajärgset tekstiiljäädet, mida oleks võimalik olemasolevaid tehnoloogiaid rakendades suunata ringlusse nii, et nende väärtus oluliselt ei kahaneks. Kuna kõige edukamalt on senini suudetud ringlusse võtta monomaterjalist tekstiiljätmeid, võeti ka selles projektis tekstiilide

valikul arvesse nende kiulist koostist ning otsustati koguda peamiselt puuvillaseid tekstiile. Eesmärgiga võrrelda materjaliarenduse tulemusi koguti ka segakiulisi T-särke.

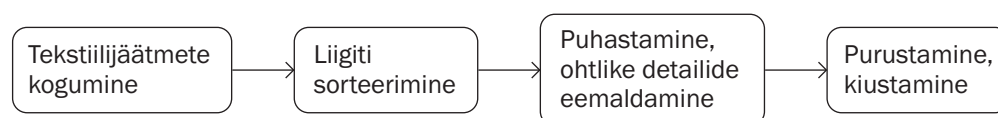
Tekstiiljätmete liigiti kogumine (T-särk, kodutekstiil, teksa) oli vajalik selleks, et neid mehaaniliselt ringlusse võtta ja hinnata projekti jooksul tehtud materjali- ja tootearenduse katsete tulemusi. Jätmeid sorteeriti manuaalselt, hinnates nende kiulist koostist ja tekstiiliiki silmvaatluse teel. Tekstiiljääkide koostis selgitati välja tekstiilidel olevate tootesiltidel oleva info põhjal, kaasa aitasid ka kogenud sorteerijate oskused.

Kokku koguti ja sorteeriti liigiti 425 kg tekstiiljätmeid, neist:

- puuvillaseid T-särke 95 kg;
- kodutekstiile 135 kg;
- teksat 130 kg;
- segakiust T-särke 65 kg.

3.2 Puhastamine, detailide eemaldamine

Tekstiiljätmete ringlussevõtuks on vajalik lisaks eelnevas peatükis kirjeldatud sorteerimisele tekstiilid ka puhastada (vt joonis 3). Puhastamise käigus eraldatakse tekstiiltootelt edasist käitlemist takistavad ohtlikud detailid ja teisest materjalist furnituurid. Eemaldatavateks elementideks võivad olla näiteks lukud, nõöbid, needid, kaunistused, siiditrükis prinditud logod ja pildid vms.



Joonis 3. Tekstiiljätmete käitlusetaapid enne purustamist ja kiustamist

Selle projekti puhul puhastati kogutud tekstiilid Uuskasutuskeskuse sorteerimisjaamas. Protsess toimus manuaalselt ning kõik mehaanilist ringlussevõttu segavad detailid eemaldati rõivastelt kääridega lõigates (vaata fotod 2, 3). Tooted puhastati tekstiililiikide kaupa, et mitte ajada omavahel segamini eelnevalt eraldi sorteeritud tootekategooriaid (T-särk, teksa, kodutekstiil). Puhastamise protsess oli võrreldes tekstiilide sorteerimisega veelgi aeganõudvam ning vajas tähelepanelikkust ja hoolsust, sest väiksemategi metallosade sattumine hilisemas purustamisprotsessis purustusliini trumlitesse võib tõsiselt kahjustada masina töövõimekust. Igat tekstiileset tuli käidelda eraldi ning sageli osutus metallosade või muude nn „võõrkehade“ väljalõikamine keeruliseks.



Foto 2. Metallosade eemaldamine



Foto 3. Prinditud logode ja piltide eemaldamine

Projekti käigus sorteeriti ja puhastati kokku 425 kg Eestis tekkinud tarbimisjärgseid tekstiile. Peale tekstiilidelt metallelementide ja muude “võõrkehade” eemaldamist **liikus mehaanilisse ringlussevõttu kokku 363,3 kg tekstiile. Seega, 15% kogutud tekstiilide kogumahust moodustasid eelnevat eemaldamist vajavad elemendid ja materjalid** (vt tabel 7).

Tabel 7. Kogutud tekstiilide kogused enne ja peale sorteerimist ja puhastamist

Tekstiililiik	Plaanitud kogutav kogus	Tegelik kogutud kogus	Kogused peale sorteerimist puhastamist	Kao % peale sorteerimist
T-särk (100% puuvill)	50 kg	95 kg	82 kg	14%
T-särk (segakiulise sisaldusega, nt puuvill ja polüester)	50 kg	65 kg	47,3 kg	27%
Teksa ca 100 kg (100% puuvill)	100 kg	130 kg	107 kg	18%
Kodutekstiil (100% puuvill)	100 kg	135 kg	127 kg	6%
Kokku	300 kg	425 kg	363,3 kg	15%

3.3. Purustamine ja kiustamine

Eestis on täna vaid mõned ettevõtted, kes tekstiiljätmeid ümber töötlevad (ja needki vaid tekstiilitööstuse tootmisjääke). Peamiselt kasutatakse tekstiiltoodete ringlusse saatmiseks mehaanilise ümbertöötlemise tehnoloogiat, mis on võrreldes keemilise töötlemise tehnoloogiaga vähem keerukam ja ka odavam (Damayanti et al 2021). Selles projektis viidi kogutud tekstiilide mehaaniline purustamine läbi koostöös Viljandis asuva ettevõttega Paragon Sleep AS (endise nimetusega Toom Tekstiil AS), mis on Eesti üks juhtivaim kodutekstiili, madratsite ja mittekootud materjalide tootja. 2012. aastal asutas ettevõtte jäätmetööstustehase, milles toimub nii ettevõtte enda kui ka teiste kohalike ettevõtete tekstiiltoodete jääkide mehaaniline ringlussevõtt. Ettevõttes olevate seadmetega on võimalik töödelda ümber 1200 tonni tekstiilitööstuse jäätmeid aastas (Niiler 2014).

Peamiselt töötleb ASi Paragon Sleep purustusliin⁷ (vt foto 4) ümber kohalike tekstiilivabrikute tootmisjääke ehk tarbimiseelseid tekstiilijääke (nt tekkide ja madratsite äärised, vatiinijäägid ja muud jääkmaterjalid). Need peavad olema eelnevalt kontrollitud ja puhastatud – jäätmed ei tohi sisaldada metallesemeid, nahka, lukke ega teisi ringlussevõttu takistavaid elemente.

Foto 4. Osa ASi Paragon Sleep tekstiiljätmete purustusliinist



⁷ Purustusliini nimetatakse ka taaskiustamisliiniks.

Tekstiiljätmetest valmistab ettevõtte peamiselt termovatiini, pehme mööbli materjale, kiudu täitematerjalideks ning teisi materjale (heliisolatsioonimaterjalid, lamineeritud materjalid, seina- ja laepaneelid jms) (Servet 2018).

Ettevõtte tekstiilmaterjalide ümbertööstlustehas läks maksma 3,5 miljonit eurot, millest 2,7 miljonit eurot kulus seadmete ostmiseks. Projekti rahastas Keskkonnainvesteeringute Keskus (allikas: Paragon Sleep).

Tarbimisjärgseid tekstiiljätmeid on sellel purustusliinil viimase kümne aasta jooksul ümbertöödeldud siiski vaid mõned korrad ning sedagi eriprojektide tõttu.

Tarbimisjärgsete tekstiiljätmete purustamisel on jäätmeid liinile laotades oluline jälgida, et:

- a) liinile laotatavad tekstiiljätmed oleksid sorteeritud vastavalt koostisele. Võimalikult monogaamne koostis tagab purustatud kiumassi kõrgeima kvaliteedi materjali edasiseks töötlemiseks. Parimal juhul võiks liigiti kogutud tekstiilid koosnedagi 100% ühetaolisest kiukoostisest. Madalama kvaliteedi saamiseks võib mehaaniliselt ümber töödelda ka väikese lisakiuga materjale (nt puuvill ja segumaterjal suhtega 90/10). Vt foto 5.

Siinses projektis sorteeriti tekstiiljätmed käsitsi silmvaatluse põhjal (sh toetudes rõivastel olnud infosedelitele), mis ei taga purustusliinile laotatavate tekstiilide 100% monogaamset kiusisaldust.

- b) purustusliinile laotatakse rõivad ja tekstiilid võimalikult ühtlaselt, sest see tagab kiustamisprotsessi ühtluse ja seeläbi purustatud massi ühtlasema kvaliteedi.

Foto 5. Metallelementidest puhastatud teksad liikumas purustusliinile ASis Paragon Sleep



Protsess purustusliinil:

- a) ASi Paragon Sleep purustusliini esimene osa koosneb kahest giljotiinist, mis tükeldavad liinile laotatud tekstiilid väiksemateks tükkideks. Vt fotod 6,7.



Fotod 6 ja 7. Giljotiinis purustatud tekstiilid liikumas taaskiustamistrumlitesse

- b) Seejärel liiguvad purustatud tekstiilitükid transportööri abiga kolusse, kust need omakorda toitja (ingl *feeder*) kaudu liigutatakse taaskiustamise trumlitesse. Kolu ja toitja on vajalikud trumlitesse saadetava purustatud jäätmekoguse doseerimiseks, sest taaskiustamistrumlid saavad ummistumata korraga kiustada kindla koguse tekstiilitükke. Vt fotod 8, 9.



Fotod 8 ja 9. Purustatud kodutekstiili tükid kolus

- c) Taaskiustamistrumlites tekstiilitükid kiustatakse. ASi Paragon Sleep purustusliinil on neli identset taaskiustamistrumlit, mille sisepindadel asetsevad terad. Iga trumli läbimisel läheb käideldav tekstiilkiud avatumaks, peenemaks ja mõnevõrra lühemaks. Läbitavate trumlite arvust oleneb ka kiumassis sisalduvate suuremate tekstiilitükkide sisaldumus ja materjali tolmusus (mida rohkem trumleid, seda tolmusem mass). Erinevate tekstiilijätmete purustamisel kasutatakse vastavalt käideldava materjali omadustele erinevat arvu trumleid, näiteks pehmetele tekstiilidele (vatiin) piisab mehaaniliseks ringlussevõtuks vaid ühe trumli läbimisest. Selles projektis läbisid kõik ringlusesse saadetud tekstiiliigid (vt fotod 10, 11, 12) nelja taaskiustamistrumlit.

Foto 10. Kiustatud teksad peale esimesest purustamistrumlist väljumist



Foto 11. Kiustatud kodu-tekstiil peale esimesest trumlist väljumist



Foto 12. Kiustatud T-särgid peale neljandast trumlist väljumist



Taaskiustamisliini trumlite arvu üle otsustades tuleb silmas pidada purustatava materjali kogust ja purustamise käigus tekkivat materjalikadu (vt tabel 8). Iga järgmise trumli kasutamisel purustatava materjali kadu suureneb, samuti suureneb protsessi energiavajadus. Keskmiselt läheb tekstiilide mehaanilise purustamise käigus kaduma 10-15% algmaterjalist, mis purustamise käigus muutub peeneks tolmuks ning mille koguvad kokku masina juures olevad selleks spetsiaalselt lisatud filtrid. Materjalikao arvestamise juures mängib mõningast rolli ka ruumi niiskustase ja temperatuur.

Kokku purustati käesoleva projekti raames 363,3 kg Eestis tekkinud tekstiiljätmeid, millest mehaanilise purustamise läbi tekkis 327,8 kg purustatud tekstiilkiu massi.

Tabel 8. Purustamise käigus tekkinud materjalikadu tekstiiliikide kaupa

Tekstiilijääkide liik	Kogus enne purustamist	Purustatud massi kogus	Materjalikadu
T-särk (puuvill)	82 kg	74,8 kg	8,8%
T-särk (segakiud)	47,3 kg	43 kg	9,1%
Kodutekstiil (puuvill)	127 kg	114 kg	10,2%
Teksa (puuvill)	107 kg	96 kg	10,3%



Purustatud teksad



Purustatud T-särgid



Purustatud kodutekstiilid

- d) Peale taaskiustamistruumlitest väljumist pressitakse tekkinud mass purustusliinil automaatselt kokku ühesuurusteks kiumassi kuubikuks ehk kiupakendiks (vt foto 13).

Foto 13. Kiumassi kuubik



Kiumassi kokkupressitud kuubikute lähivaated



Purustatud teksad



Purustatud kodutekstiil



Purustatud T-särgid

4. Materjaliarendus



Peatükk annab ülevaate projekti jooksul toimunud materjaliarenduse etappidest. Tekstiilijätmete mehaanilise ringlussevõtu käigus tekstiilide purustamise protsessis kiudude kvaliteet langeb. Seetõttu on oluline esmalt hinnata ümbertöödeldud tekstiilkiudude kvaliteeti, et valida neile sobiv töötlemisviis ning uus kasutusvaldkond.

Projekti jooksul teostati materjaliarendus kahel suunal, soovides võimalikult laiapõhjaliselt analüüsida tekstiilijätmetest ümbertöödeldud kiu rakendusvõimalusi ja tagada edaspidiseks tootearenduseks võimalikult erinevate omadustega lähtematerjale. Materjaliarenduse eeltööna analüüsi põhjalikult kiumassi selleks, et määrata algmaterjali omadused ja sellest lähtuvalt edasised sammud materjaliarenduseks (p 4.1).

Üks neist suundadest hõlmas erinevate uute lõngade arendust, näiteks uuriti erineva koostise ja jämedusega **ümbertöödeldud tekstiilist arendatud lõngu** (pikemalt p 4.2). Eestis võimalike tehnoloogiatega saab tööstuslikult arendada nii kraaslõnga kui ka poolkammlõnga. Mõlemaid saab edukalt kasutada erinevate uute tekstiiltoodete (nt kudumid, vaibad, kodutekstiil jms) arendamisel. Ümbertöödeldud tekstiilimassist kvaliteedi-standardile vastava lõnga tegemine vajab pikemat materjaliarendust ning selleks tehti projektis koostööd Viljandi Kultuuriakadeemia Vilma villa-labori ekspertidega, kasutades olemasolevat tehnoloogiaparki ja nende senist pikaajalist kogemust erinevate lõngade väljatöötamisel.

Tekstiilmaterjalide mehaanilise ringlussevõtu tulemusena tekib palju erineva pikkuse ja kvaliteediga kiudusid, mis on aga traditsioonilise tekstiilmaterjali valmistamiseks kõlbmatud. Üheks võimaluseks on neist **arendada erineva koostise ja struktuuriga lausmaterjale** (vt pikemalt p 4.3). Olenevalt lisatava termoplastse sidekiu kogusest ning kasutatud tehnoloogilistest parameetritest on võimalik valmistada eriomadustega lausmaterjale, mida hiljem saab kasutada nii tekstiili- ja rõivatööstuses kui ka erinevate tehniliste tekstiilide toorainena. Suurema koguse sidekiu lisamine annab lisaks võimalusi valmistada mittetraditsioonilisi vormitavaid pressitud lausmaterjale.

Lausmaterjalide arendamiseks tehti projektis koostööd Tallinna Tehnikaülikooli polümeeride ja tekstiilitehnoloogia laboriga, kel on selles vallas eelnev kogemus. Oluline sisend nimetatud materjaliarenduse elluviimiseks saadi 01.07.2019–21.06.2021 kestnud Keskkonnainvesteeringute Keskuse projektist nr 19019 “Tekstiilijätmete purustamistehnoloogia ja uudsete materjalide arendamine tekstiilijätmete väärindamiseks ning ringmajanduse toetamiseks”.

4.1 Purustatud kiumassi analüüs

Purustatud kiumassi analüüsi tehti TalTech polümeeride ja tekstiilitehnoloogia laboris. Lisaks visuaalsele hinnangule hinnati laboratoorsel meetodil:

- a) erinevate purustamata tekstiilmaterjalide jääkide (kangatükid, niidi- ja lõngajupid) sisaldust ning esinevate võõrlisandite olemasolu kiumassis (vt p 4.1.1);
- b) esmast kiukoostist (vt p 4.1.2);
- c) purustatud kiudude pikkuseid ja pikkuste jaotuvust (vt p 4.1.3);
- d) kiumassis leiduvate lõnga- ja niidijuppide pikkuste jaotuvust (vt p 4.1.4).

4.1.1 Kiumassis esinevate erinevate purustamata tekstiilmaterjalide jääkide olemasolu ja osakaalu ning võõrlisandite olemasolu hindamine

Purustatud kiumassis leidis erinevaid kangatükke, mis jagati järgmistesse kategooriatesse:

- suured kangatükid – pikkus ja/või laius üle 5 cm,
- keskmised kangatükid – pikkus ja/või laius 2–5 cm,
- väikesed kangatükid – pikkus ja/või laius alla 2 cm.

50 g kiumassist eraldatud kangatükid, mis omakorda jaotati visuaalse hindamise tulemusena tinglikult suurteks, keskmisteks ning väikesteks tükkideks:

Suuremaid kangatükke esines enim T-särkide kiumassides (nii puuvillasest kui ka segakiust T-särkide kiumassides). Kangatükkide massiprotsent kiumassis oli puuvillase kiu puhul 33,4% ja segakiu puhul 37,8%. Purustatud teksadest saadud kiumassis esines suuremaid kangatükke kõige vähem (2,0%). Analüüsi tulemused on toodud tabelis 9.

Suured kangatükid**Keskised kangatükid****Väiksed kangatükid**

50 g **kodutekstiili** kiumassist eraldatud kangatükid



50 g **t-särkide** (segakiud) kiumassist eraldatud kangatükid



50 g **teksa** kiumassist eraldatud kangatükid

Tabel 9. Kangatükkide hulk 50 g kiumassis

Kiumass	Kangatükkide suurus	Mass	Mass kokku	Kangatükkide massi %	Massi % kokku
T-särgid (puuvill)	Suured >5 cm	2,2 g	16,7 g	4,4%	33,4%
	Keskised 2–5 cm	9,0 g		18,0%	
	Väikesed 2 cm	5,5 g		11,0%	
T-särgid (segakiud)	Suured >5 cm	4,1 g	18,9 g	8,2%	37,8%
	Keskised 2–5 cm	7,4 g		14,8%	
	Väikesed <2 cm	7,4 g		14,8%	
Kodutekstiil	Suured >5 cm	1,2 g	4,9 g	2,4%	9,8%
	Keskised 2–5 cm	2,3 g		4,6%	
	Väikesed <2 cm	1,4 g		2,8%	
Teksa	Suured >5 cm	0,1 g	1,0 g	0,2%	2,0%
	Keskised 2–5 cm	0,8 g		1,6%	
	Väikesed <2 cm	0,1 g		0,2%	

Peale purustamata kangatükkide hulga hinnati ka erinevate võõrlisandite esinemist kiumassis. Lisandiks loeti kõike peale tekstiilkiudude endi, näiteks tikanditest või õmblustest tulenevaid niite, lõngu, lukke, silikoonpaelu jm. Kõige rohkem esines lisandeid purustatud T-särgidest (nii segakiu kui ka puuvillase koostisega) saadud kiumassis. Lisaks esines mõlemas T-särgidest saadud kiumassis rohkesti ka muid lisandeid – näiteks erineva pikkuse ja jämedusega lõngu ja niite, mittetäielikult purustatud silikoonpaelu, plastist lukke (kusjuures metallluku osakesi kiumassist ei leitud), etikette jm.

4.1.2 Esmase kiukoostise analüüs

Kiumassi esmast kiulist koostist analüüsiti kvalitatiivselt valgusmikroskoobiga. Igast kiumassi tüübist võeti selleks kolm proovi.

Puuvillaste T-särgide kiumassi kiulise koostise analüüs kinnitas, et kiumass koosnes valdavalt puuvillakiududest. Siiski tuvastati, et selles leidis ka lina-, tehis- (ilmselt viskoos-) ning sünteetilisi kiudusid.

Segakiust T-särgide kiumassi kiulise koostise analüüs kinnitas, et kiumass koosnes erinevatest tekstiilkiududest – puuvilla-, lina-, tehis- (ilmselt viskoos-) ja sünteetilised kiud.

Puuvillase kodutekstiili kiumassi kiulise koostise analüüs kinnitas, et kiumass koosnes valdavalt puuvillakiududest. Siiski tuvastati, et selles leidis ka lina- ja sünteetilisi kiudusid.

Puuvillase teksa kiumassi kiulise koostise analüüs kinnitas, et kiumass koosnes valdavalt puuvillakiududest. Siiski tuvastati, et kiumassis leidus ka lina- ja sünteetilisi kiudusid.

4.1.3 Purustatud kiudude pikkused ja nende jaotuvuse hindamine

Purustatud kiumassi kiudude pikkuste mõõtmiseks võeti kõikidest erinevatest kiumassidest kolm proovi. Igast proovist mõõdeti ära 50 erineva kiu pikkus. Kokku mõõdeti igast kiumassist 150 kiu pikkus. Kiudude keskmised pikkused on näha tabelis 10.

Tabel 10. Kiudude keskmised pikkused

Nimi	Keskmine kiupikkus	Standardhälve	Maksimaalne kiupikkus	Minimaalne kiupikkus*
T-särk (puuvill)	9,3 mm	8,0 mm	40,0 mm	1,2 mm
T-särk (segakiud)	12,2 mm	7,3 mm	35,0 mm	1,2 mm
Kodutekstiil (puuvill)	7,7 mm	7,2 mm	46,0 mm	1,2 mm
Teksa (puuvill)	12,5 mm	7,2 mm	32,0 mm	2,2 mm

*mõõtmisel võeti arvesse üle 1 mm pikkused kiud.

Kõige suurema keskmise pikkusega kiud saadi teksakanga kiustamisel. Kõikide ümbertöödeldud tekstiilkiudude puhul saab välja tuua asjaolu, et kiudude pikkused varieerusid väga suures vahemikus, mis viitab sellele, et kiumass koosnes paljudest erineva pikkusega kiududest.

4.1.4 Kiumassis leiduvate lõnga- ja niidijuppide pikkuste jaotuvus

Kiumassis leiduvate lõnga- ja niidijuppide pikkuste mõõtmiseks võeti kõikidest analüüsitavatest kiumassidest kolm proovi. Igast proovist mõõdeti ära 30 erineva lõnga või niidi pikkused. Kokku mõõdeti igast kiumassist 90 niidi- või lõngajupi pikkused. Lõngade ja niitide keskmised pikkused on näha tabelis 11.

Tabel 11. Lõnga- ja niidijuppide keskmised pikkused

Nimi	Keskmine pikkus	Standardhälve	Maksimaalne pikkus	Minimaalne pikkus
T-särk (puuvill)	26,5 mm	11,3 mm	50,0 mm	7,0 mm
T-särk (segakiud)	42,5 mm	33,2 mm	281,0 mm	11,0 mm
Kodutekstiil (puuvill)	19,3 mm	9,2 mm	60,0 mm	6,0 mm
Teksa (puuvill)	24,9 mm	14,4 mm	69,0 mm	6,0 mm

4.2 Lõnga arendamine

Foto 14. Vilma villalabori Ramella ketrusmasin.



Projekti lõngaarendus teostati Tartu Ülikooli Viljandi kultuuriakadeemia Vilma villalaboris. Villalabor alustas oma tegevust 2016. aasta sügisel. Lisaks õppetööle ja erinevatele lõngaarendusprojektidele on labori üheks eesmärgiks väärintada uuringute, katsetuste ja tootearenduste kaudu Eesti kohalikku toorainet (näiteks lambavilla) ning leida sellele võimalikult häid kasutusalasid.

Villalabori masinapark on pärit pika ajalooa tööstusseadmeid valmistavast Itaalia firmast Pietro Ramella & C.⁸, mis toodab väiketööstustele sobivaid villatöötlemise masinaid (vt foto 14).

Villalabori masinapargis on liin, millega saab valmistada poolkamm-lõnga (ingl *semi worsted yarn*). Poolkammlõnga valmistamise juures on oluline kiu pikkus, mille optimaalne vahemik jääb 4–15 cm vahele.

Peatükk kirjeldab selles projektis teostatud villatöid allolevas järjekorras:

- a) ettevalmistustööd sh huntimine (vt p. 4.2.1);
- b) kraasimine (vt p. 4.2.2);
- c) ketramine (vt p. 4.2.3);
- d) korrutamine ja poolimine või vihtide tegemine (vt p. 4.2.4);
- e) lõngade laboratoorsete katsete läbiviimine (vt p. 4.2.5).

Eestis ei leidu täna veel sellist lõngaarenduse masinaparki, millega oleks võimalik valmistada lõnga 100% ümbertöödeldud kiust. Ka Vilma villalabori seadmetega ei ole see võimalik. Ümbertöötlemisel saadud

⁸ Vt täpsemalt <http://www.ramella.com/index.php>

kiudude kasutamisel ei saa läbida ka tavalist poolkamliini toimimisjärjekorda ja katsetused piirduvad kraasimismasinast tulnud kraaslindi otseketruse, korrutamise ja poolimise ja/või vihtide tegemisega. Oluliseks takistuseks siin on ümbertöödeldud kiu pikkus, mis mehaanilise ringlussevõtu protsessi käigus muutub väga lühikeseks, ebaühtlaseks ja tolmuks, mida kinnitas ka siinne projekt (vt p 4.1). Lühikesele ja ebaühtlasele ümbertöödeldud kiule tuleb uue lõnga arendamiseks lisada uut, pikemat kiudu. Siin projektis lisati ümbertöödeldud kiumassile Eesti tumedapealist lambatõugu lammaste villa. Kasutatud lambavill on pärit Kose vallas asuvast Sireli lambatalust. Villa omadused nagu pikkus (visuaalsel vaatlusel 4–12 cm), villakiu peenus ja säbarus, samuti villa ühtlus, sobisid segamiseks purustatud kiududega järgnevides tööprotsessides.

4.2.1 Ettevalmistustööd

Lõnga arendamine eeldab nii ümbertöödeldud kiu kui ka lambavilla töötlemise ettevalmistamist (vt foto 15). Selleks, et tagada arendatava lõnga ühtlus, eemaldati vajaminevast ümbertöödeldud kiumassist esmalt suuremad kangatükid. Nende välja selekteerimine tehti käsitsi silmvaatluse teel ning see protsess oli küllaltki aeganõudev.

Lambavilla ettevalmistamisel oli esmalt vajalik selle pesemine. Selleks sorteeriti lisatavast lambavillast välja mustemad, lamba seljas juba vanunud või liigselt määrdunud villakud. Sorteeritud puhtamad villakud pesti Electroluxi pooltööstusliku pesumasina S556 spetsiaalselt villale seadistatud leotus- ja pesuprogrammiga. Villakute pesemine ja kuivatamine võttis kuni ööpäeva, mistõttu oli selle tegevuse ajaarvestus kogu lõngaarenduse protsessis määrava tähtsusega. Seejärel läbis pestud ja kuivatatud vill villahundi, mille abil eraldati pesus kokku läinud villakiud üksteisest. Tulemuseks oli kohev villamass.

Foto 15. Pestud lambavill ja puhastatud ümbertöödeldud teksakiud



4.2.2 Kraasimine

Kraasimise käigus segatakse erinevad villakiud omavahel. Selle toimingu käigus liiguvad villakiud masinas erineva suuruse ja liikumissuunaga terasnaastudega kaetud rullidelt tagant ettepoole vt foto 17). Lõnga valmistamiseks väljub kraasist ca 4–5 cm läbimõõduga kraaslint (inglise keeles *sliver*). Kraaslintis asetsevad villakiud ebakorrapäraselt (vt foto 18). Lõnga valmistamiseks kraaslintid segatakse ja tõmmatakse metallist kammlintide vahel paralleelseks. Seda tegevust korratakse niikaua, kuni heidelindis olevad kiud muutuvad ühtlaseks. Selline eeltöö on vajalik selleks, et kedrata ühtlast lõnga.

Siinse projekti lõngaarendusel laotati kraasimiseks liinile kõigepealt ühtlaselt lambavill ja selle peale ümbertöödeldud kiu kiht (vt foto 16). Lambavilla asetus alumise kihina hoidis ja suunas ümbertöödeldud kiumassi paremini masinast läbi minema, sest muidu kukuks ümbertöödeldud kiumass jooksvalt liinilt masina alla maha. Selleks, et selline kiudude koostis kraaslintina kogumiskonteinerile jooksmata hakkaks, laotati kraasliini algusesse ca 15 cm ulatuses vaid lambavilla ja seejärel sellele lambavill koos ümbertöödeldud kiuga. Selline töökäik hõlbustas tunduvalt kraasimise alustamist ning tekitas vähem jääke. Korraga laoti liinile 500g materjali. Sama grammkaaluga kaaluti kõikide arendatud lõngade koostisi (teksta, kodutekstiil, puuvillased ja segakiust T-särgid ning neile lisatav villakogus).

Foto 16. Vill ja ümbertöödeldud teksakiud liikumas kraasiliinil kraasimismasinas



Masinat tuli peale 6–8 kg koguse villa ja kiumassi läbilaskmist alati puhastada. Kraasimismasina esirull, millelt lõikur villa alla suunab, läheb vastasel juhul liiga paksult tolmu täis ja lõikur ei saa villa esirullilt enam maha ning kraaslindis tekivad ebaühtlused või katkemised. Kuna ümbertöödeldud kiudu ei saa kammida (need jäävad kammilintide vahele kinni) ja tolm ummistab masinat, on ketruseks vaja võimalikult ühtlast kraaslinti – iga ebaühtlus ehk peenem või paksem koht kajastub ka lõngas. Ühtluse tagamiseks laotati kraasitav kogus kiudusid nii, et parempoolne kraasiliin jäi 15–20 cm ulatuses tühjaks. Läbi kraasi tulnud kiud suunduvad üldjuhul õhusuunajate abil vasakule läbi raskuse all oleva silindri. Silindri ümber on ümarrihm, mis annab kraaslindile tugevdamiseks pisut keerdu. Seal tekib ka mingil määral staatiline elekter ja liikumine, mis paneb kraaslindi lainetama ja tekitab ebaühtlasi kohti. Eelpool kirjeldatud 15–20 cm laiune tühi osa võimaldas kraasist läbi tulnud kiudusid paremini silindrisse suunata, mistõttu tuli sellisel viisil töötades kraaslint ühtlasem.

Kraaslindil läbiviidud katsed toimusid järgmiste lõngakoostistega esitatud järjekorras (kõikide katsete puhul laoti kraaslindile korraka 500 g materjali):

1. Katseid alustati lõngaarendusega, mille koostis oli 50 % ümbertöödeldud kiudu ja 50% lambavilla – kraasile laotati 250 g ümbertöödeldud kiudu ja 250 g villa. Materjali kraasimise kadu protsessis oli ca 120 g – peamiselt pudises see kraasi alla, aga jäi ka masina ja võllide vahele. Kraaslint tuli märgatavalt ebaühtlane, mida põhjustas ümbertöödeldud kiu suurem protsent ja sellest tulenev staatiline elekter masinas. Lisaks esines lõngas rohkelt kangatükke, mis põhjustasid samuti lõnga ebaühtluse.
2. Järgmised katsetused tehti materjalikoostisega: 40% ümbertöödeldud kiudu (kraasile laotati 200 g) ja 60% lambavilla (kraasile laotati 300 g). Kraasi läbinud kiudude kadu oli ca 95 g, st väiksem kui esimestel katsetustel 50/50 koostisega lõngal. Kraaslint tuli silmnähtavalt ühtlasem ja ka sellest kedratud lõng oli tuntavalt ühtlasem.
3. Kolmandana katsetati kraaslindi tegemist koostisega 30% ümbertöödeldud kiudusid (kraasile laotati 150 g) ja 70% lambavilla (kraasile laotati 350 g), mille kadu protsessis oli ca 70 g ehk eelnevatest katsetustest väiksem. Tuli tõdeda, et mida väiksemaks jäi ümbertöödeldud kiu osakaal kraaslindi koostises, seda tõhusam oli kraasimine nii kvaliteedilt kui kvantiteedilt. Valminud kraaslint oli ühtlane ning sarnanes silmvaatluse põhjal enim tavapäraselt ühtlasest lambavillast tehtavale kraaslindile.

Lisaks katsetati kraasimist samaaegselt töötava masina ja liikuva liiniga, nii nagu tavaolukorras villaga töötatakse, aga kahjuks kannatas sel juhul kraaslindi ühtlus. Kõige ühtlasem kraaslint saavutati siis, kui enamus kraaslindile asetatud (ca 500 g) kiumassi oli läbi masina lastud ja

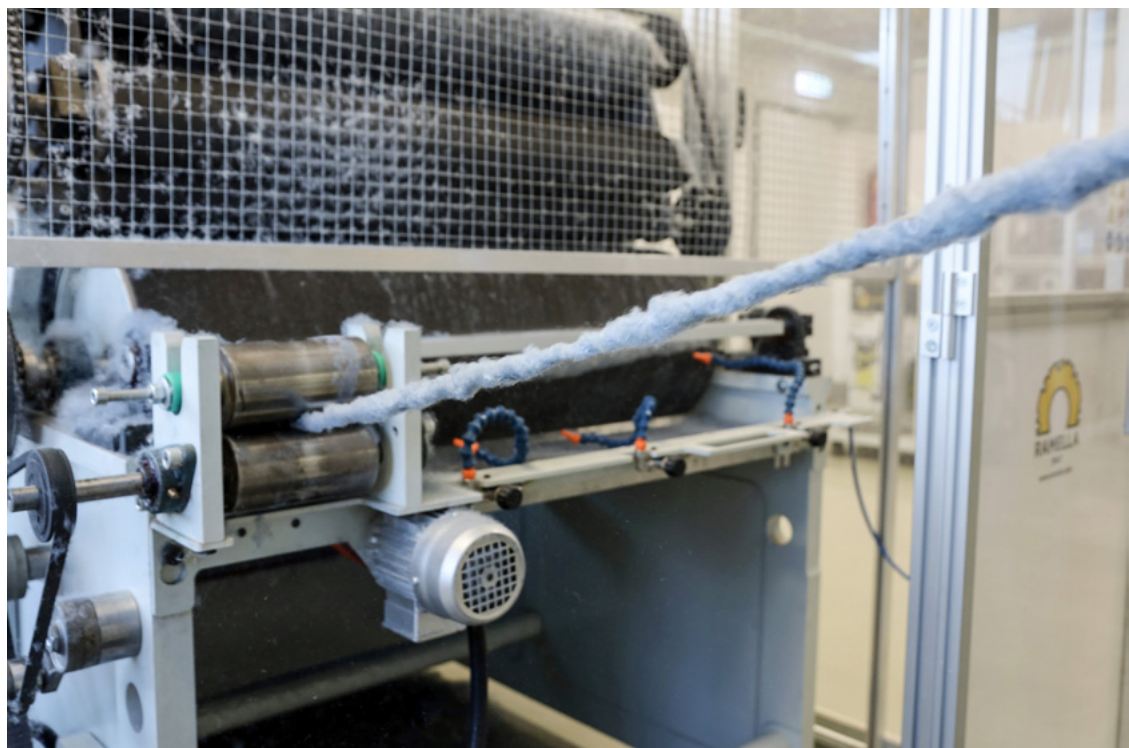
masinasse oli minemas viimane, ca 5 cm osa. Siis seisatati masin, laoti kogu liini ulatuses uued kihid ja korrati tegevust seni, kuni masin vajas puhastamist. Peale igat erinevat ümbertöödeldud kiu ja lambavilla kraasimist puhastati masin eelnevatest kiududest.

Selleks, et nii tolmuse materjaliga saaks töötada, peaks ruumis igal juhul olema vastav tolmuimur jm spetsiifiline seadmetik, vältimaks tolmu sattumist ümbritsevasse töökeskkonda. Ka kraasimismasina võllide kuul-laagrid on enim ohustatud just tolmuga kokkupuutes. Tavapärasel villatöötlemises sellist tolmuosakeste kontsentratsiooni ei teki. Isikukaitsevahendite kasutamine (tolmumask) on selle töö juures väga vajalik.

Foto 17. Villa ja ümbertöödeldud teksakiu kraasimine



Foto 18. Villa- ja ümbertöödeldud teksakiust kraaslinde väljumine kraasimismasinast



4.2.3 Ketramine

Vilma villalabori ketrusmasin on eelkõige mõeldud kammitud heidelindi ketruseks, aga laboritöös on tulnud katsetada ka otse kraaslindist ktramist (nt siinse projekti puhul). Vahel õnnestub see väga hästi – näiteks koerakarvad segatuna meriinoga või SeaCell'i kiud jooksevad kraaslindis väga ühtlaselt. Olulisimad tegurid ketramise õnnestumiseks ongi kedratava kraaslindi ühtlus ja villakiu pikkus.

Siinse projekti raames oli lõnga ketramise eesmärgiks kedrata peenimat lõnga võimalikult suure ümbertöödeldud kiu sisaldusprotsendiga ja tagada sealjuures vähim kord lõnga katkemisi ketruse ajal. Selle saavutamiseks katsetati nii erineva jämeduse kui ka keerutihedusega lõngu (vt tabel 12). Neist kedrati erineva kiulise koostisega kraaslinte (vt foto 19), mida venitati ketrusmasina kolme venitusrulli vahel, tõmmates neid 16× peenemaks keerutihedusega 285 keerdu meetril. Ketramise suund oli päripäeva ehk z-keerd. Selgus, et kordades rohkem läks katki liiga lauge keerd. Lisaks seadistati masina kiirus aeglasemaks kui tavapäraselt ja venitusrullide vaheline kaugus miinimumini, nii nagu on tavaks teha kõige lühema kiuga villade ketramise puhul.

Foto 19. Erineva koostisega kraaslindid valmis ketruseks



Ketramiskatsetuste tulemusel saadud erineva kiulise koostisega lõngad (vt ka tabel 12):

1. 50% ümbertööteldud kiud ja 50% lambavill

Saadi ebaühtlane kedratud lõng, millel oli väga palju nii jämedamaid kui ka väga peenikesi kohti. Ketrusel kippus lõng sagedasti katkema, mis muutis kogu protsessi keerulisemaks ja aeganõudvamaks. Katkestused parandati jooksvalt töö käigus. 50/50 koostisega lõnga kedrati kõigist neljast purustatud kiumassi liigist.

Segakiulist T-särgi purustatud massi sisaldav lõng oli visuaalsel hindamisel väga ebaühtlane, kergesti katkev ja masinkudumiseks mittesobilik. See on ka **põhjuseks, miks kasutati edaspidisteks katsetusteks, et tulemusi võrrelda ja analüüsida, vaid puuvillaste T-särkide purustatud kiumassi.**

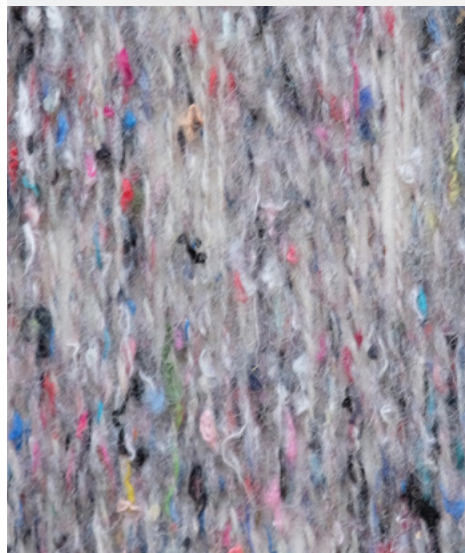
Keerutihedused:

- ühekordne lõng: 285 keerdu meetril;
- lõnga korrutamisel (kahekordne lõng): 150 keerdu meetril.

50% ümbertööteldud kodutekstiil ja
50% lambavill



50% ümbertööteldud T-särigid ja
50% lambavill



50% ümbertööteldud teksa ja
50% lambavill



2. 40% ümbertööteldud kiud ja 60% lambavill

Kuigi keerutiheduse parameetrid jäeti samaks, oli saadud lõng kohati ühtlasem kui esimene, 50/50 lõng. Kedrates katkes lõng siiski päris palju, mis võis olla tingitud ebaühtlasest materjali laotamisest jooksvale liinile. Lõnga ühtlus selles variandis märkimisväärselt ei paranenud.

40/60 koostisega lõnga kedrati puuvillaste T-särkide, kodutekstiili ja teksa purustatud kiumassidest.

Keerutihedused:

- ühekordne lõng: 285 keerdu meetril;
- lõnga korrutamisel (kahekordne lõng): 150 keerdu meetril.

40% ümbertööteldud
kodutekstiil ja 60% lambavill



40% ümbertööteldud T-särgid ja
60% lambavill



40% ümbertööteldud teksa ja
60% lambavill



3. 30% ümbertööteldud kiud ja 70% lambavill

Saadud lõng oli kogu ketrusprotsessi vältel märgatavalt ühtlasem kui eelmised. Kedrates katkes lõng vähem ning ketrusmasina kiirust sai tõsta. Vähem esines ka suuremaid kangatükke, mis eelmistes katsetustes tegid lõnga mummulisemaks. Visuaalsel hindamisel tundus lõng võrreldes eelmistega tugevam ja vastupidavam. Ühtluse tagamiseks valiti ketramise keerutiheduseks viimase katsetuse juures 282. Seda põhjusel, et selle lõnga puhul oli lisatud peenikest ja pikemat kiudu, st rohkem lambavilla. Veidi suurema, 285 keerutiheduse juures jäi lõnga-keeru kaldenurk liialt terav.

30/70 koostisega lõnga kedrati puuvillaste T-särkide, kodutekstiili ja teksa purustatud kiumassist.

Keerutihedused:

- ühekordne lõng: 282 keerdu meetril;
- lõnga korrutamisel (kahekordne lõng): 150 keerdu meetril.

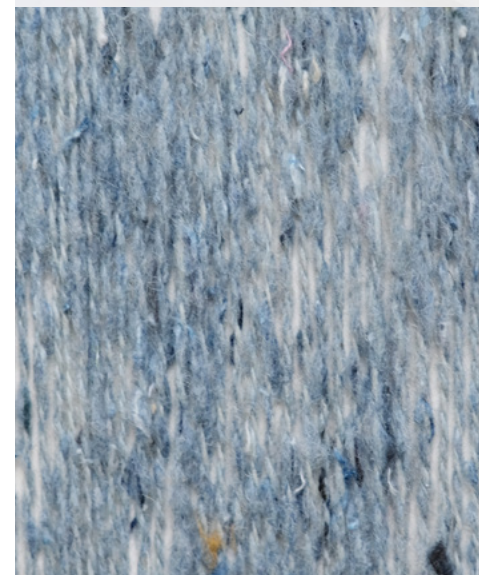
30% ümbertööteldud kodutekstiil ja
70% lambavill



30% ümbertööteldud T-särgid ja
70% lambavill



30% ümbertööteldud teksa ja
70% lambavill



4. **15% ümbertööteldud kiud ja 85% lambavill**

Kõige vähem ümbertööteldud kiudu sisaldav lõng saadi ühtlane, selle ketramine oli sujuv ja ilma katkestusteta. Lõngas ei esine suuremaid kangatükke. See on vastupidav ja tugev ning sobilik kasutamiseks ka tööstuslikul kudumismasinal.

15% ümbertööteldud kiu ja 85% lambavilla koostisega lõng kedrati kahekordsena lõngadest:

- 100% lambavilla;
- 30% ümbertööteldud kiudu ja 70% lambavilla.

Keerutihedused:

- ühekordne 100% lambavilla lõng: 260 keerdu meetril;
- ühekordne 30% ümbertööteldud lõng ja 70% lambavilla lõng: 285 keerdu meetril;
- kahekordne 15% ümbertööteldud lõng ja 85% lambavilla lõng: 150 keerdu meetril.

15% ümbertööteldud
kodutekstiil ja
85% lambavill



15% ümbertööteldud
teksa ja 85% lambavill



Tabel 12. Ketramise katsetuste tulemusel saadud erineva kiulise koostisega lõngad ja nende omadused

Lõnga koostis	Kiudude protsent	Kaal (kraasliinile paigutades)	Materjali kadu kraasimisel	Keerutihedus* ketrusel (1-kordne lõng)	Keerutihedus* korrutamisel (2-kordne lõng)
teksa/vill	50/50	250 g / 250 g	24%	285	150
	40/60	200 g / 200 g		285	150
	30/70	150 g / 350 g		282	150
	15/85	-		282	150
kodutekstiil/vill	50/50	250 g / 250 g	19%	285	150
	40/60	200 g / 200 g		285	150
	30/70	150 g / 350 g		282	150
	15/85	-		282	150
T-särk/vill	50/50	250 g / 250 g	14%	285	150
	40/60	200 g / 200 g		285	150
	30/70	150 g / 350 g		282	150

* keerdude arv meetri kohta

Kõikide lõngade katkemisi jälgides tuli välja nüanss, et kui lõnga pooli täituvus hakkas jõudma pooleni, jäi ka katkemisi vähemaks. See võib olla tingitud kedratava materjali kauguse vahest pooli suhtes, kuna kedratav lõng on kohati õrn ja katkev. Kasutatud kiududele võivad sobida lühemate poolide ja väiksema ketrusvahemaaga ketrusseadmed.

4.2.4 Korrutamine

Peale ketrust lõngad korrutati, mis oli kogu lõngavalmistamise protsessis kõige lihtsamini teostatav etapp. Korrutati ketramisele vastassuunaliselt (vastupäeva) ehk kaks ühekordset kedratud lõnga korrutati kokku kahekordseks (zz/S ketrus, vt joonis 4). Korrutamisel täitunud poolid pooliti ümber papist poolidele, mille pealt on mugav masinkudumist teostada. Kõikidest valminud lõngadest keriti lõngavihud (vt foto 20).

Joonis 4.

zz/S kahekordne ketrus

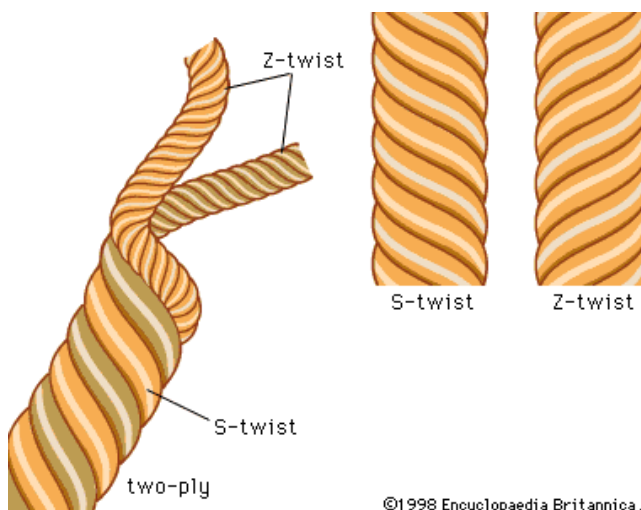




Foto 20. Uute, arendatud lõngade vihud

4.2.5 Lõngadega tehtud laboratoorsed katsed

Viljandi Kultuuriakadeemia poolt valmistatud lõngasid katsetati täiendavalt ka Tallinna Tehnikaülikooli polümeeride ja tekstiilitehnoloogia laboris. Laboratoorsete katsetuste tulemused on mõnevõrra täpsemad kui eelnevas punktis kirjeldatud silmvaatluse tulemused.

Siinses projekti kokkuvõttes kajastuvad silmvaatluse tulemuste võrdlemiseks laboris läbiviidud analüüsides ja katsetustest järgmised:

- lõnga ühtluse hindamine (vt p 4.2.5.1);
- katkekoormuse ja -pikenemise määramine (vt p 4.2.5.2).

* Katsetused viidi läbi lõngadega, mille koostises oli ümbertöödeldud kiudu ja lambavilla suhtes 50/50, 40/60 ja 30/70.

4.2.5.1 Lõnga ühtluse hindamine

Lõngade ühtlus kirjeldab järskude jämenemiste ja peenenemiste puudumist lõngas. Ebaühtlase lõngaga on raskem kududa ning ebaühtlus halvendab nii lõngade kui ka neist valmistatud toodete kvaliteeti.

Lõngade ühtluse hindamisel kasutati rahvusvahelist standardit ASTM D2255-02 „Standard Test Method for Grading Spun Yarns for Appearance“. Standardis olevate piltide ja kirjelduste põhjal anti lõnga ühtlusele hinne vahemikus A–F, kus „A“ tähistab kõige ühtlasemat ja „F“ kõige ebaühtlasemat lõnga.

Katsetulemuste põhjal saab järeldada, et mehaaniliselt ümbertöödeldud kiududest valmistatud lõngad on küllaltki ebaühtlased. Mitte ükski lõng ei saanud hinnet skaala kõrgemas osas („A“, „B“ või „C“). Kõik koostisega 30/70 lõngad said ühtluse hindeks „D“. Koostisega 40/60 lõngadest

näitas parimaid tulemusi puuvillastest T-särkidest ümbertöödeldud kiududest ja lambavillast valmistatud lõng (hinne „D“) ning halvimaid tulemusi teksadest ümbertöödeldud kiududest ja lambavillast lõng.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et ümbertöödeldud kiu sisalduse suurenedes suurenes ka lõnga ebaühtlus, seda küll mõningate eranditega.

4.2.5.2 Katkekoormuse ja -pikenemise määramine

Lõngade katkevuskoormus ja -pikenemine määrati vastavalt standardile EVS-EN ISO 2062:2010 „Textiles – Yarns from packages – Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE) tester“. Katsetamisel kasutati standardi katsemeetodit C. Paralleelsete katsekehade arv oli viis. Katsete tulemused on toodud tabelis 13.

Lõngade tugevus on siinses uuringus väljendatud sitkuse kaudu. Lõnga sitkus näitab lõnga tugevust joontiheduse ühiku tex-i kohta (cN/tex – sentinjuuton teks-i kohta). Teisiti väljendades on tegemist suhtelise katkevuskoormusega. Katkepikenemine näitab lõnga protsentuaalset pikendamist tema esialgsest pikkusest.

Üldiselt võib järeldada, et mida vähem sisaldab lõng ümbertöödeldud kiudusid, seda tugevam ta on. Tehtud katsetuste põhjal ei saa teha konkreetseid järeldusi ümbertöödeldud kiu tüübi ja lõnga tugevuse seoste kohta. See vajaks edasist uurimist. Katsetuste tulemustest saab esile tuua, et suurem pikenedamine (venivus) on lõngadel, mis sisaldasid rohkem villakiudusid (30/70, 40/60) ning seda põhjustavad villale iseloomulikud omadused.

Tabel 13. Katsetustes määratud lõngade omadused

Kiuline koostis	Ümbertöödeldud kiud, % / vill, %	Joontihedus, tex	Ühtlus, hinne A–F	Keerdumus, keerdu/m	Sitkus, cN/tex	Katke-pikenemine, %
T-särk (puuvill)/vill	30/70	626±16	D	129±23	4,0±0,5	12,8±2,2
	40/60	490±18	D	138±17	3,4±1,0	12,9±3,6
	50/50	489±18	E	153±26	3,5±0,6	11,5±1,6
T-särk (segakiud)/vill	30/70	565±21	D	135±30	3,4±0,4	10,7±1,6
	40/60	463±15	E	144±21	3,1±0,7	11,8±2,3
	50/50	413±17	E	150±16	2,2±0,5	8,7±1,0
Teksa (puuvill)/vill	30/70	453±9	D	144±12	4,4±0,5	14,4±1,1
	40/60	503±12	F	163±19	3,2±0,6	11,7±1,9
	50/50	495±20	E	136±12	3,0±0,5	11,0±2,0
Kodutekstiil (puuvill)/vill	30/70	441±15	D	145±20	4,0±0,5	11,5±2,4
	40/60	471±16	F	140±11	3,3±0,7	12,9±2,0
	50/50	448±7	D	147±19	2,7±0,3	10,3±2,1

4.3 Lausmaterjalide arendamine

Projekti jooksul arendati kahte liiki lausmaterjale: painduvaid ühekihilisi lausmaterjale ja jäikasisid lausmaterjale, mida saab käsitleda ka plaatmaterjalidena.

Materjale arendades peeti oluliseks, et erinevat tüüpi tekstiilkiudusid oleks võimalik töödelda materjaliks, mida saaks kasutada tugevamat konstruktsiooni vajavate lahenduste puhul nii toote kui ka mööbli valmistamisel. Materjalis sooviti säilitada tekstiilile sarnaseid sensoorseid ja taktiliseid omadusi. Oluline oli saavutada materjalikasutuse läbipaistvus – materjali peab peale esimest kasutusringi olema võimalik ümber töödelda. Eesmärgi saavutamiseks segati purustatud tekstiilkiud kokku ja kraasiti siduvate termoplastsete kiududega ning seejärel pressiti need erineva paksuse ja jäikusega materjalideks.

Lausmaterjalide arendus teostati Tallinna Tehnikaülikoolis, kus esimesed katsetused pressida erinevat liiki tekstiilkiud lausmaterjaliks valmisid juba varem uuritud ja katsetatud meetodikate abil. Katsetuste peamine eesmärk oli jõuda lausmaterjalide arenduses uue teadmiseni, mis võimaldaks pressida plaatmaterjaliks ka suuremat kogust kiumassi. Oluline on sealjuures ka see, et säärase materjali tooraineks ei pea tingimata olema monokiuline tekstiilijääd.

Painduvate ühekihiliste lausmaterjalide arendusprotsess jagunes järgmisteks etappideks:

- tekstiilijätmete liigiti purustamine;
- purustatud kiumassi sorteerimine, mille käigus eraldati suuremad purustamata kangatükid;
- ümbertöödeldud kiumassi ja madalal temperatuuril sulava sidekiu käsitsi kokkusegamine. Selleks kasutati polülaktiidkiudu (PLA) ja madalsulavat polüestrit (LMP) ning ümbertöödeldud kiududega valmistati materjalid vahekordades (ümbertöödeldud kiu %/ sidekiu %): 70/30 (kasutati vaid PLA puhul), 60/40, 50/50, 40/60;
- kiumassi kraasimine käsikraasidega Louët Junior ja Louët Standard (vt saadud kiumassi näiteid fotol 21);
- kraasitud materjalide pressimine töötava liikuva lindiga kuumpressiga (vt saadud lausmaterjalide näiteid fotol 22). Lähtuvalt sidekiu sulamistemperatuurist kasutati kahte erinevat pressimise temperatuuri: 135 °C ja 150 °C);
- tulemuste analüüs ja materjalide iteratsioon, mille käigus määrati valminud lausmaterjalidele pindtiheduse, suhtelise katkevuskooormuse ja paindemooduli väärtused. Vt foto 23.

Foto 21. Kraasitud ümbertöödeldud tekstiilkiud koos sidekiuga



Foto 22. Kraasitud ja kuumpressitud painduvad lausmaterjalid



Foto 23. Katkevuskooormuse ja katkepikenemise määramise katsekeha



Materjaliarenduse etapis toodetud materjalide pindtihedus varieerus vahemikus (212 ± 9) g/m² kuni (342 ± 15) g/m². Arendustöö tulemustest saab järeldada, et polülaktiidkiud sobis paremini painduvate ühekihiliste pressitud lausmaterjalide valmistamiseks. Madalsulavast polüestrist valmistatud materjalid vajavad aga edasi arendamist ning katsetamist erinevate pressimisparameetritega. Üldjuhul andis suurem sidekiu sisaldus ja kõrgema pressimistemperatuuri kasutamine jäigemad ja tugevamad materjalid. Kuna kasutatud ümbertöödeldud kiud on üsna mittehomoogeenne tooraine, siis varieerusid saadud materjalide omadused suurtes vahemikes. Edasises uurimistöös tuleks keskenduda omaduste optimeerimisele lähtuvalt konkreetse materjali kasutusvaldkonnast.

Foto 24. Materjali läbilõige erinevate kihtide sidususe analüüsiks



Jäikade mitmekihiliste pressitud lausmaterjalide arendusprotsess jagunes järgmisteks etappideks:

- a) tekstiilijäätmete liigiti purustamine;
- b) purustatud kiumassi sorteerimine, mille käigus eraldati suuremad purustamata kangatükid;
- c) ümbertöödeldud kiumassi ja madalal temperatuuril sulava sidekiu käsitsi kokkusegamine. Sidekiuna kasutati selleks polülaktiidkiudu (PLA) ning ümbertöödeldud kiududega valmistati materjalid vahetades (ümbertöödeldud kiu % / sidekiu %) 40/60 ja osade katsekehade välimiste kihtide puhul 60/40;
- d) kiumassi kraasimine käsikraasidega Louët Junior ja Louët Standard;
- e) valmiskraasitud lausmaterjalide ristkihti asetamine ja mõõtu lõikamine. Kõikide ümbertöödeldud kiududega valmistati 8-, 12- ja 16-kihilised materjalid;
- f) ristkihti asetatud lausmaterjalide pressimine (väiksemamõõdulised materjalid pressiti kuumapressiga STATOP-2MG ning suuremamõõdulised materjalid pressiti kuumapressiga INFOR PM84);
- g) tulemuste analüüs ja iteratsioon, et jõuda soovitud materjaliomadusteni. Saadud materjalide omadusi hinnati visuaalselt, katsetati nende töödeldavust ning määrati materjalide paksus mõõtevahendiga Insize 2871-10. Selgus, et loodud materjalide paksus varieerus vahemikus $(2,3\pm 0,1)$ mm kuni $(5,6\pm 0,2)$ mm;
- h) parendatud omadustega materjalide valmistamine. Arendustöö käigus varieeriti materjalikihtide arvu ning koostist – lausmaterjalide koostis oli kihiti erinev, et saavutada parim lõpptulemus (vt foto 24).

Mitmekihilised pressitud lausmaterjalid vajavad edasiarendamist, et oleks võimalik saavutada, taastoota ja tagada materjali läbivalt ühtlane kvaliteet. Esialgse arendustöö tulemustest selgus, et valminud lausmaterjalid olid ebaühtlase kvaliteediga ja kohati võis materjali pinnal näha sulanud laike, mille oli põhjustanud siduva kiu sulamisprotsess. Ebaühtlane oli ka materjali paksus. Materjaliarendus on pikk protsess ja järgmiste etappide ülesanne on juba täpsemalt tegeleda nii kvaliteedi arendamisega kui ka materjali omaduste määramisega.

Jäikade lausmaterjalide rakendusvõimalusteks on sisearhitektuur, mööblidisain või ruumi akustikat parandavate paneelide disain. Tootearenduse etappi (vt ptk 5) liiguti mitmekihiliste lausmaterjaliga (vt fotod 25–28).



Foto 25. Ümbertööteldud T-särkide tekstiilkiududest ja PLAst koosnev 16-kihiline pressitud lausmaterjal



Foto 26. Ümbertööteldud kodutekstiili kiududest ja PLAst koosnev 16-kihiline pressitud lausmaterjal

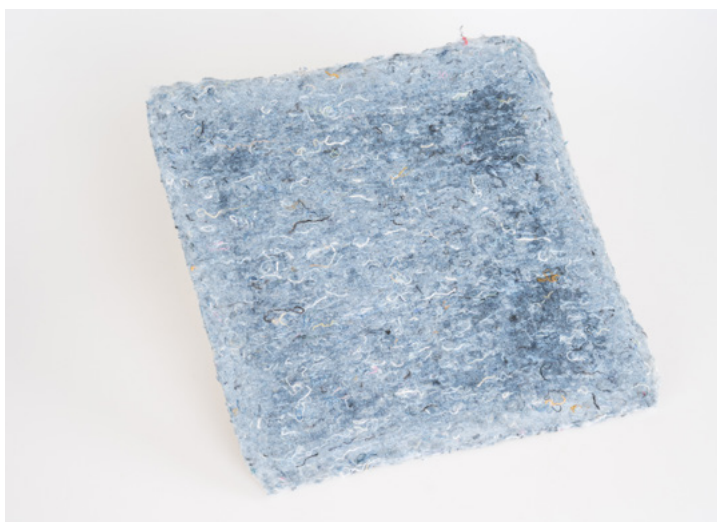


Foto 27. Ümbertööteldud teksa tekstiilkiududest ja PLAst koosnev 16-kihiline pressitud lausmaterjal



Foto 28. Erineva koostisega painduvad ühekihilised pressitud lausmaterjalid (paremal) ja jäigad pressitud mitmekihilised lausmaterjalid (vasakul)

5. Tootearendus



Peatükis antakse ülevaade projekti disaini- ja tootearendusprotsessist, mille tulemusena valmisid ümbertöödeldud lõngadest kudumid (p 5.1) ning arendatud lausmaterjalidest väikemööbli prototüübid (p 5.2).

Disaini rakendamine oli kogu projekti jooksul oluliseks komponendiks selleks, et leida lahendusi, mis võimaldaksid ringlussevõtul jõuda tööstuslikule tasemele, ning selleks, et nendel lahendustel oleks väljavaade ka turutingimustes ja ümbertöödeldud tekstiilijäätmete maht võimaldaks neid võtta ringlusse suuremas koguses. Projekti üheks eesmärgiks oli välja arendada tooted, mis oma tootmistehnoloogialt oleksid jäätmevabad ja uuesti ringlussevõetavad. Sellest eesmärgist lähtuti ka lõnga- ja materjaliarendusel. Lõngaarenduse käigus jõuti kahe erineva tooteliigini: *seamless knit* tehnoloogias valmiv müts, mille saab viia masstootmisse (p 5.1.1) ja käsitöönduslikult valmivad disainkudumid (p 5.1.2). Lausmaterjalide arendamise käigus jõuti väikemööbli tooteprototüübini (p 5.2), milles on kasutatud termotöödeldud lausmaterjali koos puiduga. Disaini- ja tootearenduse teostas Eesti Kunstiakadeemia jätkusuutliku disaini ja materjali labor DiMa.

5.1 Kudumiarendus

5.1.1 *Seamless knit* tehnoloogias valminud müts

Toode: müts
Disainer: Reet Aus
Tootja: Veta
Masin: Stoll 822 KW
Lõng: 15% ümbertöödeldud teksilkiud ja 85% lambavill

Arenduse eesmärgiks oli jõuda tööstuslikule masinale sobiva mehaaniliselt ümbertöödeldud lõngani. Ümbertöödeldud lõnga rakendamisel tootmisel oli takistuseks lõnga jäikus ja seetõttu tuli jooksvalt muuta lõnga koostist. Tööstuslikud masinad eeldavad elastsemat lõnga, mille omakorda võimaldab pikem kiud. Siinkohal osutus kõige sobivamaks teksa- ja kodutekstiilikiu kasutamine koos Eesti lambavillaga. Tootmiseks valiti *seamless knit* tehnoloogia, mis võimaldab n-ö 3D-kudumist. Selles tehnoloogias toodetud toote puhul ülejääke ei teki.

Peale mitmeid katsetusi valmis n-ö zero waste toode. Kudumiproto- tüübid olid kahe erineva lõngakoostisega: 15% ümbertöödeldud teksat ja 85% lambavilla ning 15% ümbertöödeldud kodutekstiili ja 85% lambavilla. Lisatud villaks oli Eesti tumedapealist lambatõugu lammaste jääkvill Harjumaalt Sireli talust.

Foto 29. Kahekordne lõng koostisega 50% ümbertöödeldud kodutekstiili kiudu ja 50% lambavilla. See koostis osutus liiga jäigaks – valitud kude tõi välja lõnga ebaühtluse ja lõng katkes masinas korduvalt. Sobimatu koostis tööstuslikuks lahenduseks.

Foto 30. Kahekordne lõng koostisega 40% ümbertöödeldud teksakiudu ja 60% lambavilla. Lõng osutus liiga jäigaks, samas valitud kude võimaldas paremat tulemust, kuid masin jättis silmi vahele. Sobimatu koostis tööstuslikuks lahenduseks.



Foto 29



Foto 30

Foto 31. Kahekordne lõng koostisega 25% ümbertööteldud teksakiudu ja 75% lambavilla (ühe lõnga koostis 40% ümbertööteldud teksakiudu ja 60% lambavilla, teise lõnga koostis 100% lambavilla). Lõng oli liiga jäik ja jäme, katkes ning silmad hakkasid jooksuma. Sobimatu koostis tööstuslikuks lahenduseks.



Foto 31

Foto 32. Kahekordne lõng koostisega 30% ümbertööteldud kodutekstiili kiudu ja 70% lambavilla. Lõng oli parem, kuid siiski pisut liiga jäik ja silmad hakkasid jooksuma. Sobimatu koostis tööstuslikuks lahenduseks.



Foto 32

Foto 33. Kahekordne lõng koostisega 15% ümbertööteldud kodutekstiili kiudu ja 85% lambavilla (ühe lõnga koostis 30% ümbertööteldud kodutekstiili kiudu ja 70% lambavilla, teise lõnga koostis 100% lambavilla). Sobilik koostis tööstuslikuks lahenduseks.



Foto 33

Foto 34. Kahekordne lõng koostisega 15% ümbertööteldud teksakiudu ja 85% lambavilla (ühe lõnga koostis 30% ümbertööteldud teksakiudu ja 70% lambavilla, teise lõnga koostis 100% lambavilla). Sobilik koostis tööstuslikuks lahenduseks.



Foto 34

5.1.2 Käsikudumismasinal kootud kampsun

- Toode:** kampsun
Disainer: Maria Kristiin Peterson
Tootja: kootud käsitööstuslikult
Masin: KnitMaster SK150 (klass 3)
Materjal: lõng koostisega 40% ümertöödeldud teksilikiudu ja 60% lambavilla



Eesmärgiks oli välja töötada silmuskudumi disain, mis sobiks spetsiaalselt selles projektis arendatud lõngale ja kudumiseks mehaanilisel käsikudumismasinal, ühtlasi sobiks selle lõnga iseloomuliku välimusega ning tooks esile selle eripära. Disainiprotsess teostati Eesti Kunstiakadeemias paralleelselt lõngaarendusega Viljandi Kultuuriakadeemia Vilma villa-laboris (disainer: Maria Kristiin Peterson).

Esmalt teostati käsikudumismasinal kudumiskatsetused kolme liiki lõngaarendusprotsessi käigus valminud erinevate koostistega lõngadega (ümber töödeldud kiu ja villa suhtega 50/50, 40/60, 30/70). Esimesed katsetused tehti paralleelselt lõngaarendusprotsessis valminud esmaste ühekordsete lõngadega. Sooviti tuvastada lõngade sobivust käsikudumismasinal: kas nende üldine tugevus ja vastupidavus kudumismasina erinevatele tõmbetugevusele ning lõngade ebaühtlus võivad osutada masinal kudumisel takistuseks.

Selleks kooti üheplaadilistel mehaanilistel 3. klassi Brother kh260 ja 5. klassi Nika Silver Reed KR-850 kudumismasinatel silmuskudumite proovitükid. Masina klass viitab nõelte arvule tollil. Ühekordse lõngaga kududes oli eelnevalt teada, et selle ühepoolse ketrussuuna tõttu jääb kuduminäidis “viltu kiskuma”. Tulemus näitas, et 50/50 ja 40/60 koostisega lõngaga oli 5. klassi masinaga kudumine keerulisem, sest tihedamalt asetsevate ja väiksemate nõeltega masinale oli sellise koostisega lõng liiga ebaühtlane ning kippus nõelte taha takerduma ja seeläbi katkema. Edukamad olid katsed 3. klassi masinaga. Suuremad nõelad võimaldasid sujuvama kudumistehnika ning lõng ei katkenud proovitükke kududes kordagi. Proovitükid kooti kolmest erinevast ümbertöödeldud kiu liigiga lõngadega (T-särk, kodutekstiil, teksa) ja kudumistiheduseks valiti 3 (vt fotod 35, 36, 37). Edasiseks kudumi disaini arendamiseks valiti 3. klassi silmuskudumismasin, sest kahekordsete ja kohati ebaühtlaste lõngade kudumiseks tagab see ühtlasema koe ja harvema lõnga katkemise.



Fotod 35, 36, 37.

Kahekordsete lõngadega tehtud kudumiskatsetustest tuvastati sobivaimaks kudumistiheduseks nr 8. Tiheduse valikul on oluline, et kanga silmused oleksid piisavalt suured, vältimaks masinal kududes takerdumisi ebaühtlusest tingitud paksemate kohtade tõttu.

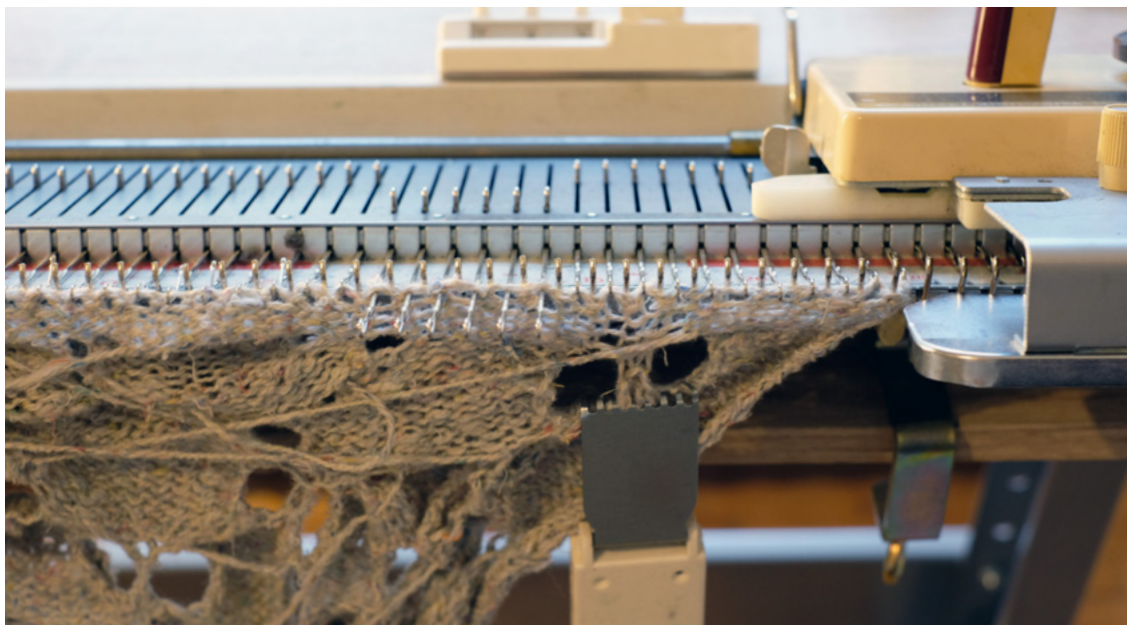
Lõplikku kootud tootenäidise arendamist jätkati käsikudumismasinale KnitMaster SK150. Kudumi disaini arendades peeti silmas erinevaid võimalikke kudumi struktuure, mis tooksid esile arendatud lõnga eripärad ning arvestaksid lõnga tugevuse ja paksusega (vt foto 38). Lõplikuks tooteks valiti kampsun ning selle kudumiseks kahekordne lõng koostisega 40% ümbertöödeldud kodutekstiili ja 60% villa. Väljaarendatud muster on loodav n-ö vabakudumistehnikas. Mustriks on kasutatud silmuste osalise kudumise tehnikat ja kudumistihedust nr 8 (vt foto 39).

Kampsuni struktuurile annavad veelgi enam 3D-efekti eraldi kootud (laiusega 22 silmust, pikkus erinev) ribad, mis on kampsunile seotud põimtehnikas läbi selles olevate aukude. Disainis kasutatud vabakudumise tehnika tagab ka piisavalt veniva koestruktuuri. Kudumis ei ole kasutatud lisadetaile (nt niite, lukke, nõöpe, paela vms). Vt fotod 40, 41.

Foto 38. Kudumi struktuuri näide



Foto 39. Kudum tööprotsessis



Fotod 40, 41. Disainiarenduse tulemusena valminud kampsun XVII Disainiöö näituse "Rohe-olemine" DiMa väljapanekul



5.2 Väikemööbel

5.2.1 Väikemööbliks vajaliku materjali tootmisprotsess

Väikemööbli tootenäidise arendamiseks valiti materjaliarenduse protsessi käigus tehtud katsetuste tulemusena jäik komposiitmaterjal, mis koosneb ristkihti asetatud kraaslooridest. Kokkukraasitud kihid koosnevad purustatud tekstiil- ja seda siduvast kiumassist, mis on kokku pressitud tugevaks komposiitmaterjaliks (vt foto 42).

Kraasloorid toodeti Lääne-Nigula vallas Taeblas asuvas Villakambris. Aakos A.K OÜ Villakamber on pereettevõte, mille masinapark on sarnane Vilma villalabori omale – selles on pooltööstuslik Pietro Ramella & C villa-töötlemise masin. Võttes arvesse liigiti kogutud tekstiilide kiulist erinevust, ei segatud kraasimisel omavahel erinevat liiki kiude. Nii valmisid nelja erineva ümbertöödeldud kiu (puuvillased T-särgid, segakiust T-särgid, kodutekstiil ja teksa) ja siduva kiu sisaldusega kraasloorid (vt foto 43). Purustatud massile lisati kraasimise käigus siduv kiumass. Kõikide valminud kraaslooride pindtiheduseks oli 280 g/m².

Foto 42. Purustatud teksakiud ja PLA kiud kokkupressituna tugevaks komposiitmaterjaliks (paremal).



Andmaks väikemööbli disainiprotsessile rohkem valikuvabadust ja võimalusi erinevateks lahendusteks toodeti kuumpressitud komposiitplaate kahes erinevas paksuses ja eri koostisega.

Loore kraasiti järgmiselt:

- kaheksaks komposiitplaadiks paksusega 12 kraasloori kihti kraasiti: kaks plaati purustatud teksast, kaks plaati purustatud puuvillastest T-särkidest, kaks plaati purustatud segakiulistest T-särkidest ja kaks plaati purustatud kodutekstiilist ning;
- neljaks komposiitplaadiks paksusega 8 kraasloori kihti kraasiti: kaks plaati purustatud teksast ja kaks plaati purustatud kodutekstiilist.

Foto 43. Kraasloorid
(teksa ja siduvkiud)



Kokku toodeti väikemööbli arendamiseks kaksteist tugevat komposiitplaati mõõtudega 1m × 1m.

Tugeva komposiitmaterjali saamiseks oli vaja kraasloorid kihiti kokku pressida. Selleks kasutati TalTechi materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituudi tööstuslikku kuumpressi.

5.2.2 Väikemööbli prototüübi disainiprotsess

Toode: pink „i-tala“

Disainer: Argo Tamm

Tootja: disaineri omatoodang

Masin: erinevad tööstuslikud masinad

Materjal: pressitud mitmekihiline lausmaterjal

Materjaliga töötamisele eelnes selle omaduste hindamine läbi katsetuste ja väiksemõõduliste prototüüpide, et määrata materjali võimalikud töötlemis- ja kasutusviisid ning mõista selle potentsiaali erinevate väikemööbli lahenduste arendamisel. Katsetades selgus, et kuumpressitud komposiitplaatidel on plasti meenutav paindumus ja pehmus. Selliste omadustega materjaliga töötades võiks disainiprotsessis arvestada painduvusega, et arendada toode, milles on ümarust ja vormikasutust, kus

raadiused saavad pigem ülesehitust jäigastada. Selle saavutamiseks oli vajalik materjali kuumutada ja vormida ehk termotöödelda.

Esimesed katsetused tootearenduses viidi läbi väikeses mõõtkavas, kasutades vaakumpressi (vt foto 44). Eesmärgiks oli välja selgitada, kas ja kui palju on algmaterjal termotöödeldav. Esimene proovitükk oli vaakumpressi ahjus poolteist minutit umbes 150 kraadi juures. Materjali paksuse ja plaadi mõõtude tõttu ei õnnestunud seda siiski vaakumiga vormida. Järgmised katsetused tehti samal temperatuuril sama ajaga, kuid peale ahjust välja võtmist ei kasutatud vaakumit, vaid materjal pressiti vormile käsitsi. Selle katsetuse põhjal järeldati, et sama meetodit oleks võimalik rakendada ka suurema vormi puhul. Hiljem, lõpptoote disainimisel, võeti nende katsetuste tulemused arvesse.

Foto 44. Esimesed vaakumpressimise katsetused väikeses mõõtkavas



Materjali lõikamisel katsetati esmalt Altendorfi formaatsaagi. See õnnestus, kuid edaspidisel tootearendusel tuleks arvestada plaatmaterjali servadega, millele kraaslooride kihid ei ole pressimise tulemusena tugevalt kinnitunud – lahtised kiud võivad jääda saeterade külge. Alternatiivina kasutati ka giljotiini, millega jäi lõikusjoon sirge ja puhas.

Olulisemad järelused komposiitmaterjalide materjali omaduste kohta esimeste katsetuste järel:

- materjal on termotöödeldav. Ahjust võttes on materjal umbes 1–2 minutit soe ja kergesti vormitav;
- kahetasandilisi paindeid on materjaliga väga lihtne sooritada, kuid kolmetasandiliste painete juures ei sulandu materjal ümber vormi ning mõnes kohas tekivad nn ülejäägid;
- materjal on kergesti lihvitav nii käsitsi kui ka lihvmasinaga;

- materjal on saepingil kergelt lõigatav. Plaadi servade juures, kus kihid ei ole nii tugevasti omavahel kinnitunud, tuleks olla ettevaatlik, sest lahtised kiud võivad saetera külge kinni tõmmata. Alternatiiv on kasutada giljotiini, millega jäävad lõikused konkreetsemad ja puhtamad;
- materjal ei ole liimitav ei PVA ega B3 liimiga (sobivaima liimi leidmiseks on vaja teha edasisi katsetusi);
- materjal ei ole piki ristikiudu väga tugev (sarnaselt vineerile);
- materjali ei saa jätta pikemaks ajaks väliskeskkonda, sest see ei ole õuetingimustele vastupidav. Proovitükke õues katsetades võis ajapikku märgata, et plaat taastab algse kuju ehk tõmbub sirgeks.

Valminud komposiitplaatid olid suurusega 1×1 m, ent nende kasutatav pind oli mõõtmetega 80×80 cm. Kõlbmatud ääred, mis olid ülejäänud pinnaga võrreldes kiulised ja sobimatud, eemaldati giljotiiniga.

Vormitud materjali tugevus ja selle piisav jäikus tingisid edasise otsuse jätkata istemööbli väikeseeria disainiarendusega.

Esmaste katsete tulemused viitasid materjali termotöödeldavusele ja sellest omadusest lähtuti ka vormi disainimisel ja valmistamisel. Valmis vormile asetati kuumpressi tööstusest tulevad plaadid ja pressiti käsitsi, kuni komposiitmaterjal oli saavutanud soovitud kuju (vt fotod 45, 46). Seda tehnikat kasutades on võimalik muuta pehme ja paindub plaat jäigaks konstruktsioonelemendiks. Prototüübi lahendustel kasutati 80 mm raadiusi, kuid hilisemas arendusfaasis selgus, et need oleksid võinud olla suuremad, sest painutatud plaadi sisemistesse nurkadesse tekkisid kortsud (vt foto 47). See võis tuleneda sellest, et nurgad ei saanud pressimisel piisavalt survet. Edaspidi oleks materjali töötlemisel vaja kasutada kahepoolseid vorme.

Foto 45, 46. Tootearenduses plaatide käsitsi pressimiseks kasutatud vorm



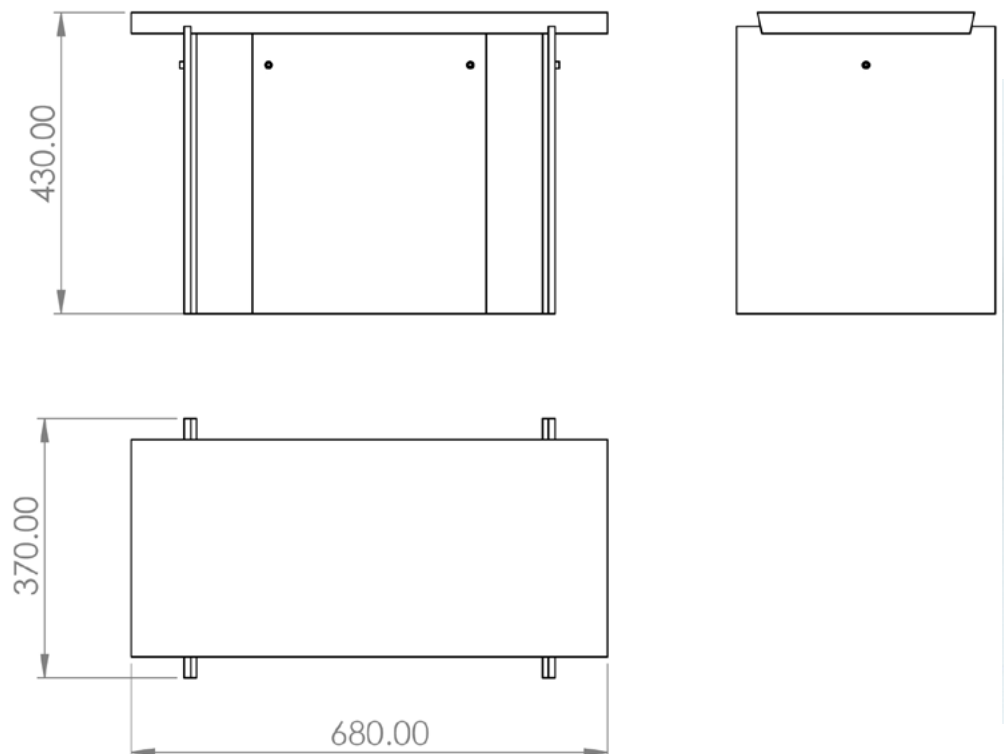
Foto 47. Vormimisel tekkinud sisemised kortsud

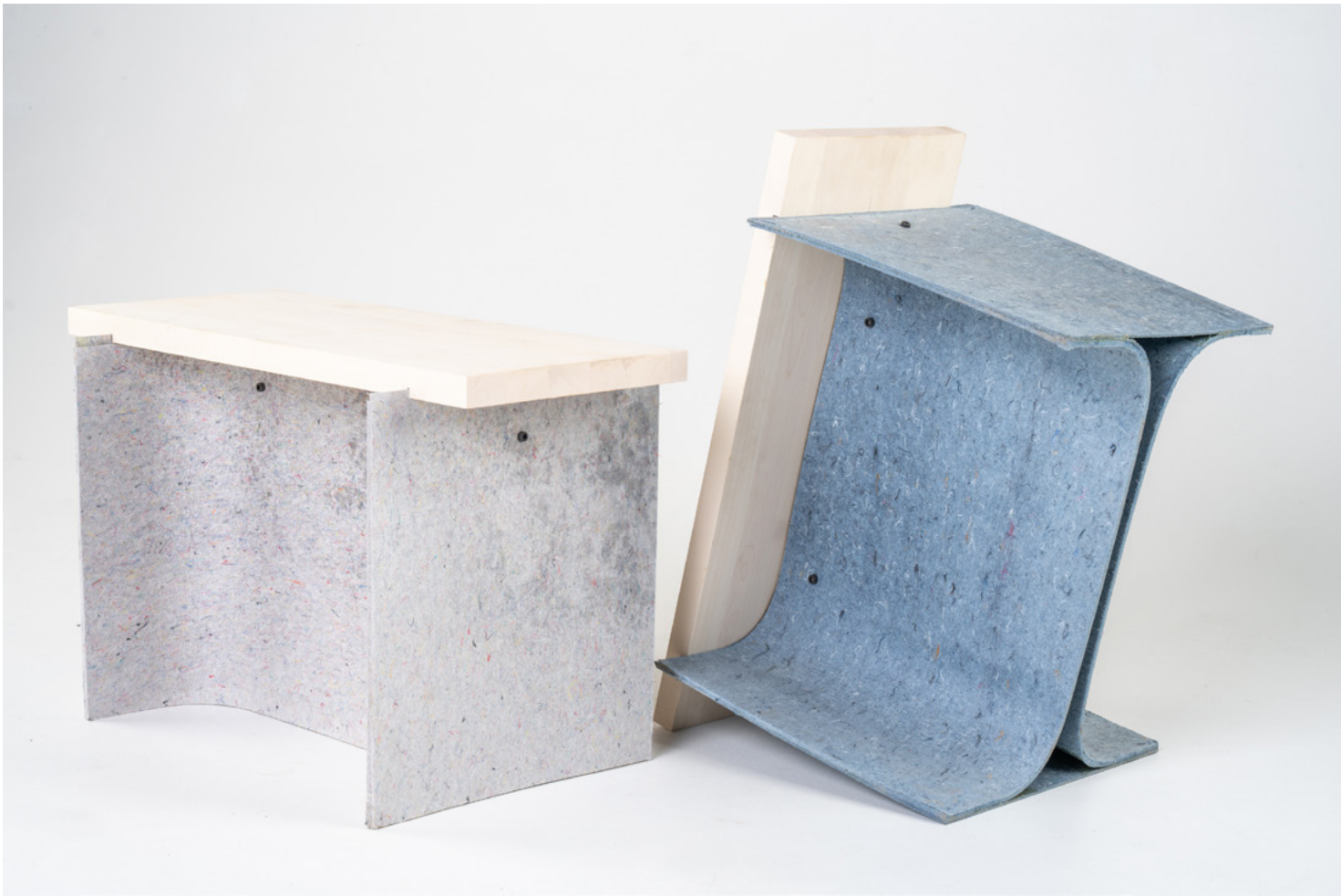


Pingi pressitud tekstiilkiududest lausmaterjali osa loomiseks saadi inspiratsiooni ehituses kasutatavast I-talast. I-tala kui terasprofiil sümboliseerib tugevust ning konstruktsioonilist jäikust. Oma omaduste tõttu sobib see kasutamiseks ka pööratuna ning koos teise materjaliga.

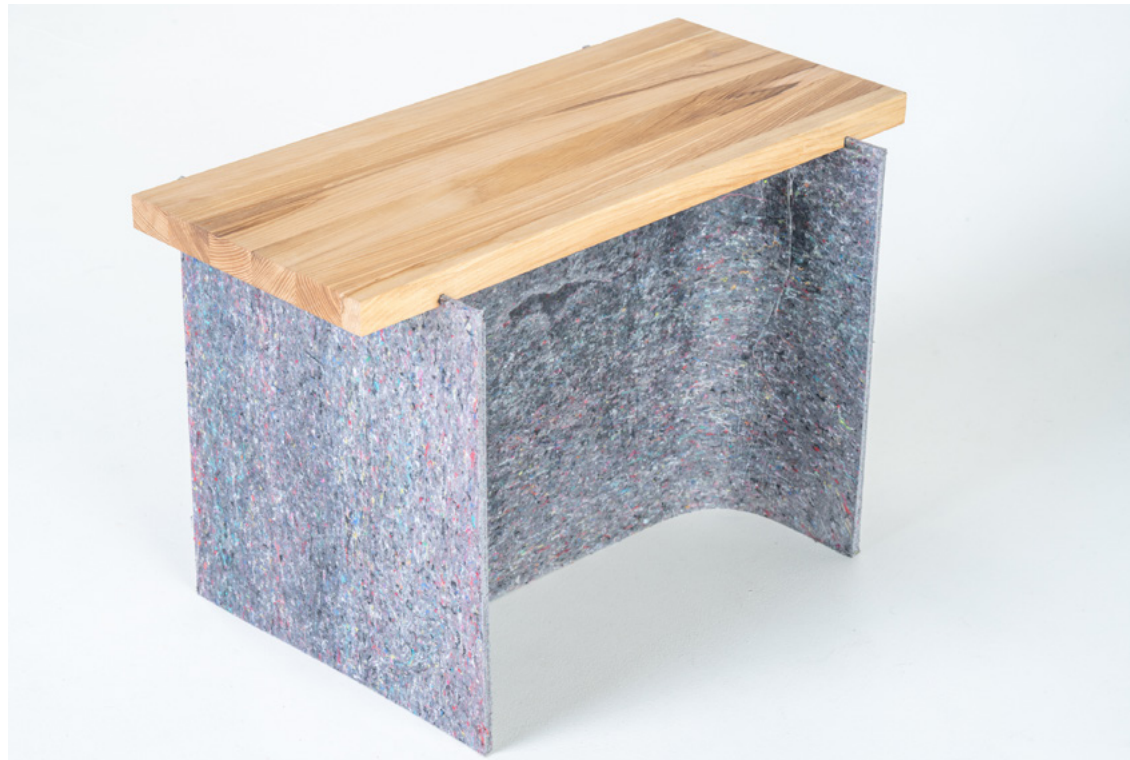
Lõplike istemööbli prototüüpide (vt fotod 48–51) valmistamiseks valiti erinevatest kangakiududest kirju välimusega plaadi kõrvale kontrastiks kaks eri liiki puitmaterjali: vaher ja saar. Kasutajamugavust arvestades tehti pingid lihtsasti liigendatavateks ja neid on võimalik omavahel kombineerida (vt joonis 5).

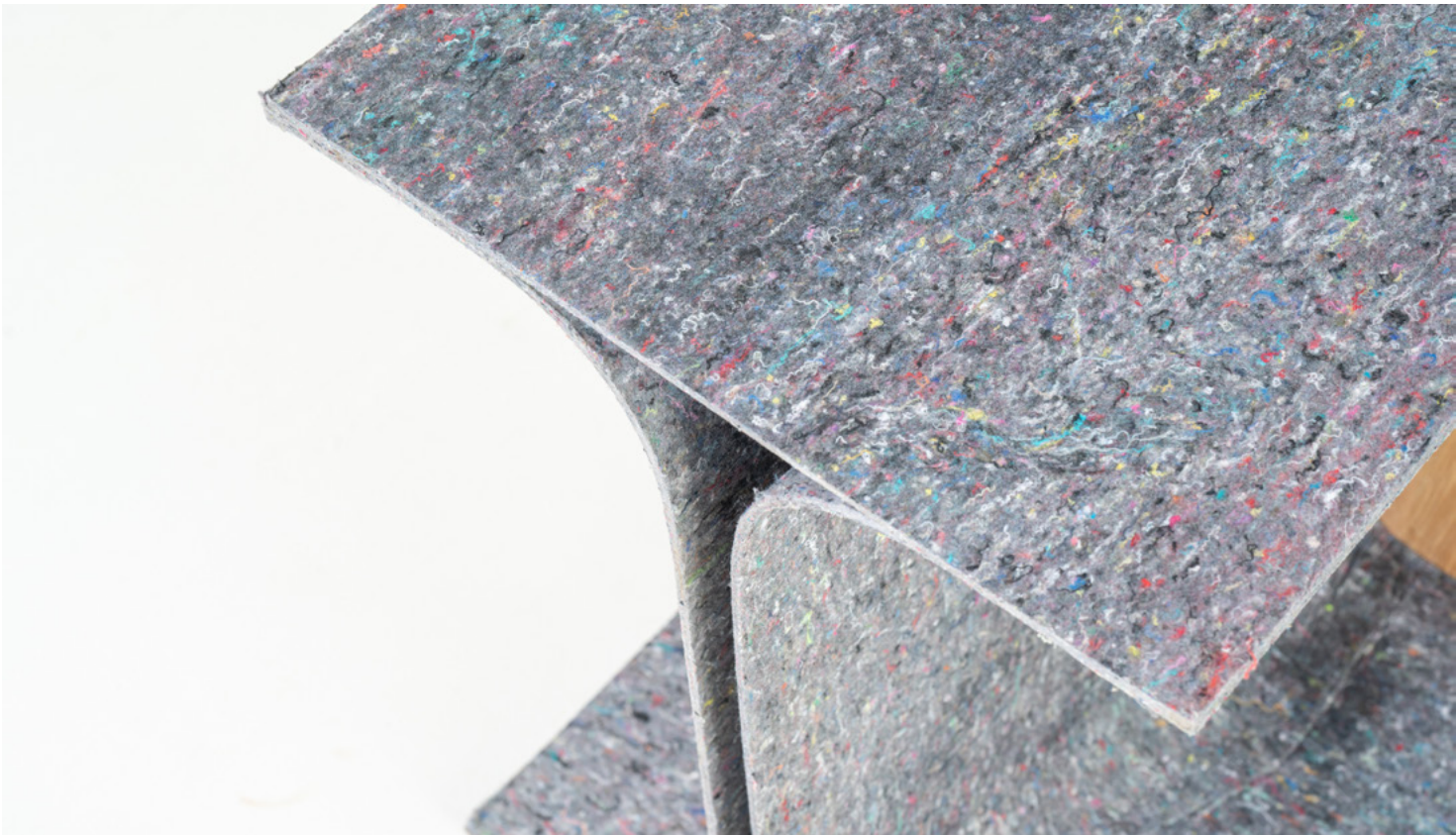
Joonis 5. Pingi gabariidid





Fotod 48–51. Valminud väikemööbli prototüübid





6. Projekti kokkuvõte ja soovitused



30% ümbertöödeldud kodutekstiil /
recycled home textile
70% lambavill /
sheep wool

Viimane peatükk võtab kokku projekti jooksul tehtud tekstiilijäätmete uuringute ja katsetuste tulemused ning toob esile soovitused, kuidas üleriigilist ringset tekstiilisüsteemi paremini arendada.

- 1. Selleks, et arendada Eestis ringset tekstiilisüsteemi, on eelkõige vaja saada ülevaade rõiva- ja tekstiilijäätmete tekkimisest ning tekstiilijäätmete kogumis- ja käitlussüsteemi toimimisest.** Tekkivate tekstiilijäätmete mehhaanilise ringlussevõtu süsteemi väljaarendamiseks on oluline omada ülevaadet ka Eesti turule pandud erinevate rõiva- ja tekstiili(toodete)kategooriatest ning nende materjalipõhisest koostisest. Selline teave võimaldab tuvastada tekstiilijäätmete ringlussevõtu (sh korduskasutuse) võimaluste poolest perspektiivsed jäätmekategooriad ja nende tekkekogused ning annab nende põhjal aluse välja töötada tehnoloogilisest ja majanduslikust seisukohast asjakohased käitlustehnoloogiad ja -lahendused.

Siinse projekti tulemusena töötati välja analüüsimetoodika, mille abil on võimalik eelnevalt toodud kategooriaid liigitada ja jäätmemahтусid hinnata. Ringlussevõtu seisukohast asjakohaste tekstiilijäätmete väljaselgitamisel lähtuti muuhulgas ka uuringu käigus testitud eeltöötlemistehnoloogiate ja materjalide arenduste jooksul saadud tulemustest. Need võimaldasid välja selgitada tekstiilijäätmete kogused, kategooriad ja tehnoloogiad, mida on võimalik minimaalselt investeerides rakendada, et tagada esmane kasutatud rõivaste ja tekstiilide eeltöötlemise võimekus Eestis.

Eelpool nimetatud analüüsi viis läbi SEI Tallinn ning selle tulemustele toetudes võib kinnitada, et mehhaaniliseks ringlussevõtuks on enim perspektiivi järgmiste rõiva- ja kodutekstiilide tootekategooriate jäätmetel:

- püksid ja lühikesed püksid (sh eelkõige teksapüksid) – tekkiv kogus ca 1000 tonni aastas;
- T-särgid ja särgikud – tekkiv kogus ca 800 tonni aastas;
- voodipesu, rätikud, laudlinad jms – tekkiv kogus ca 1500 tonni aastas.

Seega võib analüüsi põhjal järeldada, et **ligikaudu 3300 tonni Eestis aasta jooksul tekkivatest rõiva- ja kodutekstiilijäätmetest oleks tehnoloogilisest ja majanduslikust perspektiivist lähtudes võimalik üsna lihtsalt mehhaaniliselt töödelda ja uute toodete (eelkõige tekstiiltoodete) tootmiseks teisese toormena kasutada.⁹ See maht moodustab ca 22% aastas turule pandud rõivaste ja tekstiilide kogusest.**

9 Lisaks võib eeldada, et sobivate tehnoloogiate olemasolul on võimalik mehhaaniliselt ja suhteliselt lihtsalt töödelda ka suuremat osa Eestis tekkivatest tekstiilitööstuse tekstiilijäätmetest (ca 1600 tonni aastas).

Samuti võib eeldada, et korduskasutuseks sobivate kasutatud rõivaste ja tekstiilide tekkekogus on **ligikaudu 4600 tonni aastas, mis moodustab ca 31% Eestis turule pandud rõivastest ja kodutekstiilidest.**

Soovitused:

- Rõiva- ja tekstiilijäätmete kogumise ja ringlussevõtu süsteemi arendamine eeldab pidevat asjakohaste andmete kogumist. Seega oleks soovitatav **riiklikul tasemel** (nt Keskkonnaagentuuri jäätmearevestuse osana) **luua tekstiilijäätmete (sh turule pandud rõivaste ja tekstiilide) koguste arvestamise süsteem**, mille põhjal on võimalik hinnata tekstiilijäätmete kogumise ja ringlussevõtu (sh ka kasutatud rõivaste ja tekstiilide korduskasutuse) taset ja võimalikke sellealaste eesmärkide täitmist. Turule pandud rõivaste ja tekstiilide ning tekstiilijäätmete arvestamise süsteem oleks aluseks võimalikule tootjavastutusel põhineva kogumis- ja käitlussüsteemi rakendamisele.
- Rõiva- ja tekstiilijäätmete **edasise sortimise ja ringlussevõtu süsteemi arendamisel on esimeses etapis soovitatav keskenduda eespool toodud perspektiivsematele rõiva- ja tekstiilikategoriatele**. Käesoleva uuringu tulemused näitasid, et nendele rõiva- ja tekstiilikategoriatele (püksid ja lühikesed püksid, T-särgid ja särgikud, voodipesu, rätikud, laudlinad jm) keskendumine on nii majanduslikust kui ka tehnilisest perspektiivist kõige mõistlikum esimene samm tekstiilijäätmete ringlussevõtu võimekuse arendamisel Eestis. Nende tekstiilijäätmete põhjal pakuti välja ka võimalikud teised tooted ja materjalid, mida oleks Eestis lihtsam toota.
- Uuringu tulemused näitasid, et sellistele ringlussevõtu seisukohast perspektiivsetele rõiva- ja tekstiilikategoriatele toetudes on võimalik mehhaaniliselt lihtsamalt ringlusse suunata kuni 22% tekkivatest rõiva- ja tekstiilijäätmetest. Lisaks oleks võimalik kuni 31% turule pandud rõivastest ja tekstiilidest suunata korduskasutusse. **Neid protsente saab arvesse võtta ka tekstiilijäätmete ringlussevõtu ning kasutatud rõivaste ja tekstiilide korduskasutuse riiklike eesmärkide ja sihtarvude püstitamisel.**

2. Uuring näitas selgesti, et Eestis puuduvad täna tekstiilijäätmete liigiti kogumise ja eeltöötlemise (sorteerimine, puhastamine, purustamine, kiustamine) lahendused ja tehnoloogiad. Kasutatud rõivaste ja tekstiilide kogumissüsteem toimib tänu korduskasutusorganisatsioonidele suhteliselt hästi. Samas ei jõua liigiti kogutud rõiva- ja tekstiilijäätmed sisuliselt ringlusse, kuna vastav eeltöötlus- ja ringlussevõtu võimekus Eestis puudub. Siinse projekti raames koguti eelnevalt määratud ringlussevõtu seisukohast perspektiivsed tekstiilijäätmed liigiti kokku MTÜ Uuskasutuskeskuse abiga. Samas toimus ka aega ja suurt inimressurssi nõudev tekstiilide käsitsi puhastamine võõristest. Kogu töö teostati eraldi kokkuleppe alusel. Tekstiilid purustati ja kiustati ettevõttes Paragon Sleep, mille tekstiilijäätmete taaskiustamisliin ei ole siiski mõeldud

tarbimisjärgsete tekstiilijäätmete töötlemiseks. Selle tehnoloogia sobimatus kinnitas ka purustatud kiumassi analüüs. Saadud massi ebaühtlane kvaliteet mõjutab edasist materjali- ja tootearendust.

Soovitused:

- Tekstiilijäätmete ringlussevõtu edendamise ei toimiks ainult kogumise (kogumishõude kehtestamise) kaudu. **Eestis liigiti kogutud tekstiilijäätmete edasise mehhaanilise ringlussevõtu esimese etapina tuleb luua siin esmane võimekus nende eeltöötlemiseks (sortimine, puhastamine ja kiustamine).** Tekstiilijäätmete eeltöötluslahenduste arendamisel on mõistlik arvesse võtta ja toetuda lähiriikide kogemistele. Parimaks näiteks on siinkohal Soomes Paimios 2021. aastal avatud Lounais-Suomen Jätehuolto OY (LSJH), mis rajati kohalike omavalitsuste toel ja töötleb ümber Soomes tekkivaid tarbimisjärgseid tekstiilijäätmeid.

Seega **tuleks Eestis tagada võimekus kogutud tekstiilijäätmete eeltöötlemiseks.** Selleks vajaliku tehnoloogiainvesteeringu suurusjärgu hindamisel tuleks arvesse võtta olmejäätmete alla liigituvate rõiva- ja tekstiilijäätmete aastane tekkekogus (2020. aastal tekkis Eestis 19 300 tonni rõiva- ja tekstiilijäätmeid). Toetudes Soomes avatud LSJH tehase näitele, oleks vajaliku **tekstiilijäätmete käitlustehase seadmete investeeringu suurus eeldatavalt ca 2,4 miljonit eurot.**¹⁰ See summa ei sisalda ehituse ja muude vajalike infrastruktuuride rajamise kulu. Selline käitlustehase seadmete investee- ring võimaldab eeltöödelda minimaalses mahus ja tagab kuni poolte (ca 9500 tonni) tekkivate tekstiilijäätmete ringlussevõtu eeltööt- luse võimekuse. Sellise võimsusega eeltöötlustehase rajamine Eestisse sobitub ka käesoleva uuringu tulemusega, mille kohaselt on kõrgema ja keskmise ringlussevõtu perspektiiviga rõivaste ja tekstiilide aastane kogus hetkel ca 8000–9000 tonni.

Eelpool nimetatud rõiva- ja tekstiilijäätmete eeltöötlustehase investeeringuvajadus hõlmab endas järgmisi tehnoloogilisi etappe:

- a) tekstiilijäätmete koostisepõhine sorteerimine (tekstiilide liigiti eristamine toimub valdavalt käsitsi);
- b) tekstiilijäätmete purustamine (giljotiinid, mis tükeldavad tekstiilid väiksemateks tükkideks);
- c) purustatud tekstiilimassi puhastamine (raskemad purustatud võõrised eraldatakse spetsiaalse õhusurve abil purustatud massist);
- d) tekstiilimassi taaskiustamine spetsiaalsetes trumlites (vähemalt 6 trumlit);
- e) kiumassi automaatne pressimine (tekkinud mass pressitakse kiumassi kuubikuteks).

¹⁰ Investeeringu suuruse hinnang tugineb Lounais-Suomen Jätehuolto OY (LSJH) 2022. aastal rajatud tehase sarnase tehnoloogilise protsessi investeeringutele.

Kirjeldatud tehnoloogiline protsess võimaldab toota sobiva kvaliteediga kiumassi nii lausmaterjalide kui ka lõnga tootmiseks. Selle protsessi üheks eeliseks on võimekus töödelda eelnevalt puhastamata tekstiilijäätmed, mis lisab seetõttu tehnoloogiale oluliselt ka efektiivsust. Sama tehnoloogiline protsess on kasutuses ka eelpool mainitud Soomes asuvas LSHJ tehases.

- **Selleks et tagada eelpool kirjeldatud esmatöödeldud kiumassi edasine ringlussevõtt**, on vaja riiklikul tasemel investeerida ka tehnoloogiatesse, mis võimaldavad purustatud kiumassist luua uusi materjale (nt lausmaterjalid ja lõng), millest omakorda oleks võimalik toota uusi tooteid. Ainult eeltöötlusvõimekuse loomine ei taga tekstiilijäätmete ringlussevõttu.

Arvestades Eestis täna tekkivate ja mehaaniliselt lihtsamini ümber-töödeldavate ehk kõrgema ringlussevõtuga rõiva- ja tekstiilijäätmete (T-särk, kodutekstiil, teksad) aastast kogust (hinnanguliselt kuni 4000–5000 tonni aastas)¹¹, **on vastava lõnga- ja lausmaterjalide tehase seadmete investeringu suurus eeldatavalt minimaalselt ca 1,3 miljonit eurot**¹².

Sellises suurusjärgus investering hõlmaks endas spetsiaalselt mehaanilisele purustatud tekstiilijäätmetele sobilikku tehnoloogiat, millega saab toota tekkinud kiumassist lõnga ning erinevaid lausmaterjale:

- a) kraasimisliinid nii ümbertöödeldud kiumassist lõnga kui ka lausmaterjalidele sobilike kraaslooride tootmiseks;
 - b) ketrus- ja korrutusmasinad lõnga tootmiseks;
 - c) poolimismasinad lõngade poolimiseks;
 - d) tööstuslikud kangasteljed ja kudumismasin esmasteks tootearendusteks;
 - e) tööstuslikud kuumpressid lausmaterjalide tootmiseks.
- Lisaks eelpool kirjeldatud tarbijajärgsete rõiva- ja tekstiilijäätmete ringlussevõtu arendamisele **tuleks luua ka süsteem tekstiilitööstuses tekkivate tekstiilijäätmete ringlussevõtuks** (2020. aastal andsid Eesti tekstiiliettevõtted jäätmekäitlejatele üle ca 1800 tonni tekstiilijäätmeid). Siinkohal on edasiste esmatöötamise (purustamine/kiustamine) tagavate investeringute planeerimisel kohane tugineda ettevõtte Paragon Sleep kogemusele ja ekspertiisile. Võimalusel võiks konsulteerida ka 2021. aastal Soomes rajatud Rester Oy rajatud tehasega, mis asub eelpool mainitud LSJH tehasega samas asukohas (Paimios). Tehas võtab ringlusse tekstiilitööstuse tootmisjäätmeid ja

11 Siin nimetatud tekstiilijäätmete kogus on tuletatud eelnevalt toodud lihtsamini töödeldavate rõiva- ja tekstiilijäätmete koguse (3300 tonni) põhjal, lisades siia ka eeldatavalt arvestuses mittekajastuvad sarnased rõiva- ja tekstiilijäätmed ning tekstiiliettevõtetes tekkivad sobivad tekstiilijäätmed.

12 Investeringu suuruse hinnang tugineb tugineb eksperthinnangule.

erinevate ettevõtete tööriivad ning arendab tööstusparki, et toota neist mehaanilise ümbertöötlemise tulemusena saadud tehnoloogilisi kangaid ja komposiitmaterjale.

- **Tekstiilijäätmete eeltöötlemise (sortimine ja kiustamine) võimekuse tehniline arendamine peaks toimuma koostöös asjakohaste partneritega.** Näiteks sorditakse juba täna Eestis korduskasutusse suunatavad kasutatud rõivad ja tekstiilid arvestataval tasemel (nt Humanas ja Uuskasutuskeskuses). Samas tuleks riiklikul tasemel määratleda, millistel alustel ja kelle vastutusel ning rahastamisel hakkab toimuma rõiva- ja tekstiilijäätmete kogumise, eeltöötlemise ja ringlussevõtu süsteem (sh kes katab vajalikud investeeringu- ja hilisemad opereerimiskulud). Teiste riikide kogemustele toetudes on tekstiilijäätmete kogumise ja ringlussevõtu arendamise ja käitlemise rahastamiseks sisuliselt kolm lähenemist:

- 1) kohalike omavalitsuste keskne või jagatud vastutuse süsteem, kus rõiva- ja tekstiilijäätmete kogumise ja eeltöötlemise korraldamise eest vastutab kohalik omavalitsus ning sellega seotud kulud kaetakse kohaliku tasandi jäätmekäitlustasu või maksu alusel (nagu see on korraldatud Taanis jt Põhjamaades). Sellise mudeli rakendamine Eestis eeldab omavalitsuste keskse jäätmekorralduse õigusliku raamistiku taastamist. Sellele järgnevat tekstiilkiu ringlussevõttu (toodete arendamine ja tootmine) rahastavad üldjuhul rõivaste ja tekstiilide turule panijad või tehakse seda tootjavastutus- või jäätmemaksude teel.
- 2) Riigikeskne mudel, kus riik kogub vastava tasu või maksu tekstiilide turule panijatelt või tarbijatelt ja korraldab ise tekstiilijäätmete kokkukogumise ja ringlussevõtu.
- 3) Tootjavastutuse kohustuse rakendamine tekstiilitoodete turustajatele või tootjatele ehk turule panijatele (sarnaselt pakenditele ja elektroonikaromule) kohustusega korraldada nende poolt turule pandud tekstiilitoodete kogumine ja ringlussevõtt täies mahus vastavalt püstitatud sihtarvudele (Prantsusmaa lähenemine).

Seega tuleks ühe esimese asjana Keskkonnaministeriumi eestvõttel ja oluliste huvirühmade osalusel välja töötada tekstiilijäätmete kogumist ja ringlussevõttu ning tegevuste rahastamist reguleerivad meetmed. Nende alusel saab teha eespool kirjeldatud investeeringud ja korraldada tekstiilijäätmete esmase töötlemise süsteemi edasine opereerimine ja rahastamine.

3. Projekti jooksul läbiviidud materjaliarendus- ja tootearendusetapid näitasid selgelt, et täna puudub Eestis võimekus tekstiilijäätmete eeltöötlemise tulemusel saadud teisese toorme ja kiumassi edasiseks materjali- ja tootearenduseks vajalik tehnoloogia.

Materjaliarendus purustatud kiumassist lausmaterjalide saamiseks viidi läbi **TalTechi polümeeride ja tekstiilitehnoloogia laboris** ning selle tulemusena valmisid erinevate koostiste struktuuri ning jäikusega lausmaterjalid. Materjaliarendus on siiski pikk protsess, mistõttu ka siinse uurimisprojekti käigus saadud materjalid vajavad edasist täiustamist. Oluline on võimalikult täpselt määratleda ümbertöödeldud kiumassi omadused, et neist lähtuvalt leida kiumassile sobivaim rakendus erinevat tüüpi uutes tekstiilmaterjalides.

Teiseks materjaliarenduse suunaks oli lõngaarendus, mis viidi läbi **Viljandi kultuuriakadeemia Vilma villalaboris** ning mille tulemusena valmisid nelja erineva koostisega lõngad. Saadud lõngad, mida vastavalt kiu sisaldusele (st lõnga koostisele) arendati eesmärgiga, et need sobiksid nii käsikudumismasinatele kui ka tööstuslikele masinatele, olid siiski lõngade laboratoorsete analüüside tulemuse põhjal ebaühtlased ning mitte väga tugevad. Villalabori olemasolev masinapark on mõeldud poolkammlõnga arendamisele. Ümbertöödeldud kiu omaduste tõttu (lühike, ebaühtlane ja erineva koostisega) on ühtlasema lõnga saamiseks vajalik investeerida spetsiaalse tehnoloogiaga masinaparki, mis on mõeldud spetsiaalselt ümbertöödeldud kiu töötlemiseks ja arendamiseks lõngaks.

Väljatöötatud lausmaterjalide ja lõngade edasine tootearendusprotsess toimus **Eesti Kunstiakadeemia Jätkusuutliku disaini ja materjalide laboris DiMa**. Valminud lausmaterjalidest valiti edasitöötamiseks 8 ja 12 kraasloorist koosnevad kuumpressitud komposiitplaadid, millest tootearenduse tulemusena valmisid väikemööbli näidised. Lõngaarenduse tulemusena valminud erineva koostisega lõngasid katsetati mitmete masinate peal ning tootearenduse protsessi tulemusena valmisid käsimasinal kootud kudumid ja *seamless knit*-tehnoloogial kootud peakatted. Nii väikemööbli prototüüpide kui ka tööstuslikul kudumimasinal arendatud kootud peakatete tootearenduse käigus tehti koostööd mitme tootmisettevõttega, mis tõestab tootearenduse olulisust uute tehnoloogiate rakendamisel ja turule jõudmisel. Ilma disainifaasita jäävad paljud materjaliarendused seisma ja ei jõua turule.

Soovitused:

- Siinses projektis testiti vaid kahte võimalikku tekstiilijäätmete ringlussevõtu võimalust uue materjalina – nendeks olid lausmaterjal ja lõng. Mõlema materjali baasil viidi läbi ka tootearendusprotsess. Ümbertöödeldud tekstiilijäätmetest on aga võimalik toota ka muid erinevaid materjale, mis pakuvad ka palju laiemaid võimalusi tootearenduseks ja disainilahenduste väljatöötamiseks. Seetõttu **on soovitatav edaspidi toetada ka muude sarnaste tekstiilijäätmete tootearendust ja disainilahenduste väljatöötamist** (vt eespool kirjeldatud provisoorseid tehnoloogiaid ja vajalike investeeringute mahtu).
- Edukaks materjali- ja tootearendusprotsessiks on **vajalik investeerida materjali- ja tootearenduslaborite seadme parkidesse ning neis juba olevate tehnoloogiate uuendamisse**. See võimaldaks välja töötada ka laboratoorses ja pooltööstuslikus skaalas uudseid tekstiilijäätmetest materjale ja tooteid, mille tootmine saaks hiljem jätkuda teadmussiirde tulemusena ka tööstuslikus skaalas.
- Tekstiilijäätmete ringlussevõtu tagamiseks peaks lisaks eeltöötuse investeeringute toetustele **olema riiklikul tasandil olemas ka toetused vajalike tehnoloogiate soetamiseks**, et realiseerida tekstiilijäätmete ümbertöötlemise tulemusena saadud materjalide ja toodete edasine arendamine ja tootmine.
- Tekstiilijäätmete ringlussevõtt ja sellega seonduv materjali- ja tootearendus on uusi teadmisi vajav valdkond, mistõttu **on oluline investeerida teadus- ja arendustegevusse nii materjaliarenduse, tootearenduse kui ka disaini valdkonnas**. Teisese toorme kasutamiseks vajalike teadmuspõhiste ja innovaatiliste lahenduste arendamiseks ja elluviimiseks on oluline riiklikul tasemel toetada ülikoole ja uurimiskeskuseid tuleviku spetsialistide koolitamisel. Oluline on toetada ka teadmussiirde arengut laiemalt, seda nii teadlaste, tootmisettevõtete kui ka avaliku sektori jaoks loodavate koostöövõimaluste ja rahastuse abil.

7. Kasutatud kirjandus

Aus, R. (2011). *Trash to trend: using upcycling in fashion design*: doctoral thesis, Tallinn: Eesti Kunstiakadeemia
<https://www.artun.ee/trash-to-trend-using-upcycling-in-fashion-design-dissertationes-7/>

Aus, R., Moora, H., Vihma, M., Unt, R., Kiisa, M., Kapur, S. (2021). Designing for circular fashion: integrating upcycling into conventional garment manufacturing processes. – *Fashion and Textiles*, 8 (34). <https://fashionandtextiles.springeropen.com/articles/10.1186/s40691-021-00262-9>

Damayanti, D., Wulandari, L.A., Bagaskoro, A., Rianjanu A., Wu, H. (2021). Possibility Routes for Textile Recycling Technology. – *Polymers (Basel)*, 6.11.21 (13(21)). DOI: 10.3390/polym13213834. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34771390/>

Ellen MacArthur Foundation (EMF) (2017). *A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>

Euroopa Keskkonnaagentuur (EEA) (2019). *Textiles and the environment in a circular economy*. <https://www.eea.europa.eu/publications/textiles-and-the-environment-the>

Euroopa Komisjon (2022). *ELi kestliku ja ringse tekstiili strateegia*. https://environment.ec.europa.eu/publications/textiles-strategy_en

Euroopa Liidu jäätmedirektiiv 2018/851. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en

Euroopa roheline kokkulepe (2019). https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_et

Köhler, A., Watson, D., Trzepacz, S., Löw, C., Liu, R., Danneck, J., Konstantas, A., Donatello, S., Faraca, G. (2021). *Circular Economy Perspectives in the EU Textile sector*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. DOI: 10.2760/858144 <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC125110>

Martin, K., Moora, H., Kant Hvass, K., Watson D. (2020). *Eesti tarbimisjärgsed rõiva- ja tekstiilivood*. Tallinn: SEI Tallinn. <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2019/02/eesti-tarbimisjargsed-roiva-ja-tekstiilivood-1.pdf>

Niiler, K. (2014). *Tekstiilmaterjalide ümbertöötlemise vajadus ja võimalused*: magistritöö. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool. <https://digikogu.taltech.ee/en/Download/dfe4aa8b-2923-4ee7-8d91-280f271404d7>

Payne, A. (2015). *Open and closed loop recycling of textile and apparel products – Circular economy in textiles and apparel*. DOI: 10.1016/B978-0-08-100169-1.00006-X

Report: *European Clothing Action Plan (ECAP): Driving Circular Fashion and Textiles* (2019). <http://www.ecap.eu.com>

Servet, J.-E. (2018). *Ümbertöödeldud tekstiilmaterjalidest valmistatud heli- ja soojusisolatsioonimaterjalide analüüs ja katsetamine ettevõtte AS Toom Tekstiili näitel*: magistritöö. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/f5563da4-75f2-4e09-99da-8b36a50fd0a3>

