

Kõrgem Kunstikool Pallas

Mööbliosakond

Mööbli- ja tekstiilitööstuse tootmisjääkide kasutamine tootearendusprotsessis

ettevõtte Rethink Beds näitel

Lõputöö

Martin Soome

Juhendaja: Mayri Tiido

Konsultant: Kristina Allik MA

Tartu 2025

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
1. PROBLEEMIPÜSTITUS	4
1.1 Mööblitööstus	4
1.2 Tekstiilitööstus	5
2. RINGMAJANDUS	6
2.1 Mõisted	6
2.2 Kontseptsioonid	7
3. KES SELLEGA TEGELEVAD?	12
3.1 Euroopa Liit	12
3.2 Tootjad	13
3.3 Disainerid	18
4. KOOSTÖÖPARTNERITE JÄÄKMATERJALIDE ANALÜÜS	23
4.1 Vahtpolüuretaan ehk poroloon	23
4.2 Tehnilised tekstiilid	25
5. TOOTEDISAINI PROTSESS	29
5.1 Soovitud lahendus	29
5.2 Ideetamine ja lahenduse teostamine	30
KOKKUVÕTE	47
SUMMARY	49
KASUTATUD ALLIKAD	52

SISSEJUHATUS

Õppeainete raames ligi kümmet erinevat mööbli- ja tekstiilitööstuse ettevõtet külastades on alati silma jäänud suur tootmisjääkide hulk. Eelnimetatud tööstuste keskkonnamõju aktuaalsus ajendas lõputöös käsitlema jääkmaterjalide probleemi ja otsima rakendust materjalide väärindamiseks. Eesmärk on inspireerida ettevõtteid ja teisi disainereid, katsetades erinevaid lahendusi antud probleemiga tegelemiseks ning juhtides tähelepanu ringmajanduse olulisusele ja selle populariseerimisele Eestis.

Kogu õpiteekonna vältel on diplomitöö autor kursuseprojektides kokku puutunud eri liiki jääkmaterjalidega ja nende kasutamise võimalustega. Varasemates töodes on kasutust otsitud õppetöös tekkinud puitmaterjalide jääkidest kuni pehme mööbli ja tekstiilitööstuse jääkmaterjalideni. Näiteks möödunud kevadel viidi läbi, koostöös kursusekaaslase Isabel Mündeliga, jääkmaterjalidest tooli prototüübi valmistamise töötuba, eesmärgiga väärindada mööbli jääke ning tutvustada jääkmaterjali kasutamise võimalusi uue toote loomisel.

Lõputöö eesmärgi saavutamiseks otsitakse vastuseid järgmistele küsimustele: Milliseid jääkmaterjale tekib antud mööbli- ja tekstiilitööstuses? Kuidas kaardistatud materjale väärindada järgides ringmajanduse põhimõtteid?

Lõputöös analüüsitakse erinevate uuringute põhjal mööbli- ja tekstiilitööstuse jääkmaterjale ja nende tööstuste mõju keskkonnale. Kaardistades erinevaid osalisi, kes antud teemaga otseselt või kaudselt kokku puutuvad ja analüüsides, milliste tegevuste kaudu nad keskkonnasaaste probleemiga tegelevad. Lõputöö tutvustab ringmajandust kui ühte meetodit jätkusuutlikuma eluviisi edendamiseks ning keskkonnasaaste probleemiga tegelemiseks. Praktilises osas analüüsitakse kahte Eesti tootmisettevõtet, kaardistades tootmises tekkivad jääkmaterjalid ja esitletakse katsetusi kaardistatud materjalide eluea pikendamise võimalustest. Selle käigus läbitakse üks osa tootedisaini protsessist, mis hõlmab endas toote prototüüpimist koostöös ettevõttega Rethink Beds, kasutades analüüsitud ettevõtete tootmisjääke tootearenduses.

1. PROBLEEMIPÜSTITUS

Euroopa seisab suure väljakutse ees, mis puudutab kasutatud tekstiilide käitlemist. Päevakohaseks muutus see alates 2025. aastast, kui Euroopa Liidu liikmesriikidele muutus kohustuslikuks tekstiilijäätmete liigiti kogumine (Kliimaministeerium 2025). Euroopas tekkivate tekstiilijäätmete kogused on jätkuvalt tõusmas ja prognoositakse, et jäätmete maht ületab praeguse sorteerimis- ja ringlussevõtu võimekuse (Mooraj 2024: 46).

Euroopa Liidu riikide kogu jäätmete mahust moodustub 10% tootmisjääkide näol, mis teeb kokku 166.3 miljonit tonni jäätmeid (Eurostat 2024). Seetõttu on oluline, et tootjad kasutaksid pika elueaga materjale, mille ümbertöötlemine või korduskasutus on lihtsalt teostatav, vähendades seeläbi toormaterjalide kasutamist.

1.1 Mööblitööstus

Mööblitööstuses tekib sisuliselt kolme tüüpi tootmisjääke: puit ja puitkomposiit, tekstiil ja vahtpolüuretaan ehk poroloon. Lisaks nendele tekib toodete pakendamisest kile ja papi jääke ning detailide monteerimisest ja viimistlusest liimi ning värvi jääke. Mööblitootjate praktika näitab, et fookus on jäätmete sorteerimisel ja keskkonnasäästlikel pakenditel. Levinud on puitmaterjalide ja kõrvalsaaduste põletamine ning saadud soojusenergia kasutamine tootmisel või hoone kütmisel (Tsenter 2021).

Kui puidujääkidele ja materjali töötlemise käigus tekkinud saepurule on mööblitööstustel üldiselt lihtne rakendust leida, siis keerulisem on tekstiili ja porolooni tootmisjääkidega. Üldlevinud praktika on kasutada nende ümbertöötlemiseks mehaanilist purustajat, mis võtab omakorda ruumi ja vajab tootjalt uusi investeeringuid. Porolooni taaskasutamine on globaalsel tasandil suur keskkonnaprobleem. Praegu ümbertöödeldakse ainult 29,7% vahtpolüuretaanist, 39,5% kasutatakse energia tootmiseks, samas kui ülejäänud 30,8% läheb prügilatesse ladestamisele (Gama jt 2024: 2).

Mööblitööstuse jätkusuutlikumaks muutmisel on erinevaid aspekte, mis seda raskendavad: üheks valupunktiks on madala kvaliteediga materjalid, täispuit- ja metallmööbli tootmise vähenemine ning poolikud disainlahendused, kus ei ole mõeldud toodete eluea peale. Tihtipeale puudub ka võimalus toodetele hoolduse ja parandamise võimalus kuna katki läinud detaile ei ole võimalik üksikult osta, mis sunnib kasutaja uut toodet ostma. Lisaks sellele on madal nõudlus taaskasutatud materjalide järele – taaskasutatud materjalide lõppturg toodete utiliseerimisel on vähearenenud ja üleküllastunud. See pärsib ka investeeringuid, materjalide taaskasutamise võimaluste suurendamiseks. (Furn 360 2018: 9-10)

1.2 Tekstiilitööstus

„Gloaalne tekstiili- ja moetööstus tekitab igal aastal üle 92 miljoni tonni tekstiilijäätmeid, millest suur osa lõpetab jäätmetena prügilates või põletuses. Väikesele ringsusele ja raiskavale iseloomule tekitab tekstiili- ja moetööstus ligikaudu 7% ülemaailmsest kasvuhoonegaaside (KHG) heitkogusest.“ (Moora jt 2024: 41). Seda tekstiilijäätmete mahtu on raske hoomata, kuid see on võrdeline näitega kui iga sekundi järel põletatakse või ladustatakse prügilatesse üks veoauto koormatäis tekstiilijäätmeid (Environment Programme 2025). Järjest enam suurenev KHG heitkogus on ka otseselt vastutav kliimamuutuse eest. Tekstiilitööstus on väga energia- ja ressursikulukas tööstus, põhjustades ligi 20% tööstusliku reovee reostamisest tekstiilide värvimise ja töötlemise kaudu (Filho jt 2022).

Tekstiili- ja rõivatööstuses tekkivad keskkonnamõjud on seotud ressursside kasutamise, maakasutuse ja heitmete tekkega. Suurem osa tootmisest toimub väljaspool Euroopat, seetõttu on ka globaalse lõuna keskkonna saastatus kõrgem. Eelnevalt välja toodud 7% KHG heitkogusest üle kolmveerandi tekib väljaspool Euroopat (Plamus jt 2021: 4). Rakendades ringset majandusmudelit, suudaksid tööstused läbi materjalide ümbertöötlemise vähendada algmaterjalide kaevandamist ja langetada keskkonnamõju koormust seal, kus see kõige suurem on.

2. RINGMAJANDUS

Peatükk tutvustab ringmajanduse põhimõtteid, kuidas ringmajandus saab kasulik olla antud probleemiga tegelemisel ja millisel moel erineb ringmajanduse mudel lineaarsest majandusmudelitest. Lõputöö käsitleb erinevaid ringmajanduse mõisteid ja kontseptsioone, teksti lihtsamaks lugemiseks on need lahti kirjutatud järgmistes alapeatükkides.

2.1 Mõisted

Kõikide mõistete ja selgituste allikas on „Ringmajanduse põhimõtted ja olemus“ (Tiido, Kalle 2023: 3).

Taaskasutus (*recovery*) – jäätmetes leiduvate materjalide või energia uuesti kasutamine. Euroopa Liidu katustermin, mis hõlmab korduskasutuseks ettevalmistamist, materjali taaskasutust ja energia taaskasutust.

Jäätmetekke vältimine (*waste prevention*) – tootele erinevate meetmete rakendamine (nt parandamine), et vältida selle jäätme saamist.

Korduskasutus (*reuse*) – asjade, mis ei ole jäätmed, uuesti kasutamine nende esmasel otstarbel, materjali muutmata (v.a lihtne parandamine).

Ringlussevõtt ehk ümbertöötlemine (*recycling*) – asjade ja materjalide, mis on jäätmed, uuesti kasutamine, toodet või materjali muutes, hõlmab mingit tehnoloogiat. Materjali taaskasutus.

Väärindav ringlussevõtt (*upcycling*) – asjade ja materjalide uuesti kasutamine, toodet või materjali muutes, nii et uuel tootel on suurem tehniline väärtus. Uut toodet on võimalik muuta tagasi olekusse, millest see tehti.

Väärtust vähendav ringlussevõtt (*downcycling*) – asjade või materjalide uuesti kasutamine, toodet või materjali muutes, nii et uuel tootel on väiksem tehniline väärtus. Uut toodet ei saa tagasi muuta olekusse, millest see tehti.

Renoveerimine (*refurbishing, restoration*) – kõlbmatuks muutunud või ära visatud toote korda tegemine ja/või modifitseerimine, et seda saaks esialgsel otstarbel edasi kasutada.

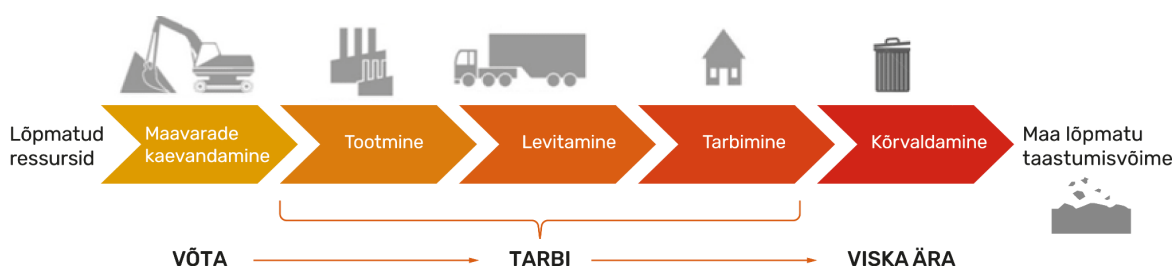
Taastootmine ehk ümbertootmine ehk uustootmine (*remanufacturing*) – toote või selle osade kasutamine samal eesmärgil uutes toodetes.

Toode-teenusena mudel (*product-as-a-service model*) – ärimudel, kus pakutakse teenust toodetele, mida traditsiooniliselt müüakse.

Ökodisain ehk keskkonnahoidlik tootearendus (*eco-design* või *design for the environment*) – tootearenduse meetod, mis võtab toodet kavandades süstemaatiliselt arvesse toote keskkonnaaspekte.

2.2 Kontseptsioonid

Globaalselt kõige levinumat majandusmudelit kutsutakse lineaarseks, mis töötab võta-tarbi(tooda)-viska ära põhimõttel (vt joonis 2.1).



Joonis 2.1: Lineaarne majandusmudel (Tiido, Kalle 2023; 4)

Kasvav materjalide kaevandamine on globaalse ringluse alla viinud: 9.1% 2018. aastast, 8.6% 2020. aastal ja 7.2% 2023. aastal. See tähendab, et üle 90% materjale on kas raisku lastud, kaotatud või kättesaamatu korduskasutuseks (Circularity Gap Report 2023).

Nähes, et materjale raiskav majandamine on mitme aasta lõikes pigem kasvav kui langev trend, kuigi kliimamuutuste ja keskkonnasaaste probleem on pidevalt päevakajas, ei ole suutnud see globaalses võtmes olukorda muuta. Ringmajandus ei ole tegelikult midagi uut – tegemist on nn talupoja mõistusega, kus elu loomulik osa oli ratsionaalne mõtteviis ja leidlik, mitte-raiskav materjalide kasutamine. Teisiti lihtsalt ei saanudki, vastasel juhul jäid nälga või olid oma ressurssidest ülejäänud aastaks ilma.

„Ringmajandus on majandusmudel, kus toodete, materjalide ja ressursside väärtust hoitakse majanduses võimalikult kõrgel tasemel võimalikult kaua ja jäätmete teke on minimaalne.“ (Tiido, Kalle 2023: 5). Nii nagu toormaterjaliga, on oluline ka jääkmaterjalidega töötades mõelda läbi toote elutsükel, selleks tuleb eelistada materjali väärindavat ringlussevõttu väärtust vähendavale ringlussevõtule. Levinud on erinevate jääkmaterjalide segamine sideainega, et sellest uus toode luua, mille tulemuseks on komposiitmaterjal. See aga tekitab omakorda uue probleemi materjali näol, mille eluea lõppedes enam jääkmaterjali ja sideainet tihtipeale üksteisest eraldada pole võimalik.

Toodete ja teenuste disain on ringmajanduses kõige olulisema rolliga. Uuringutes on välja toodud, et ligi 80% tulevikus tekkivatest keskkonnamõjudest otsustatakse disainiprotsessi käigus (Tiido, Kalle 2023: 5).

Ringmajanduslikel põhimõtetel disainitud tooted peaksid olema:

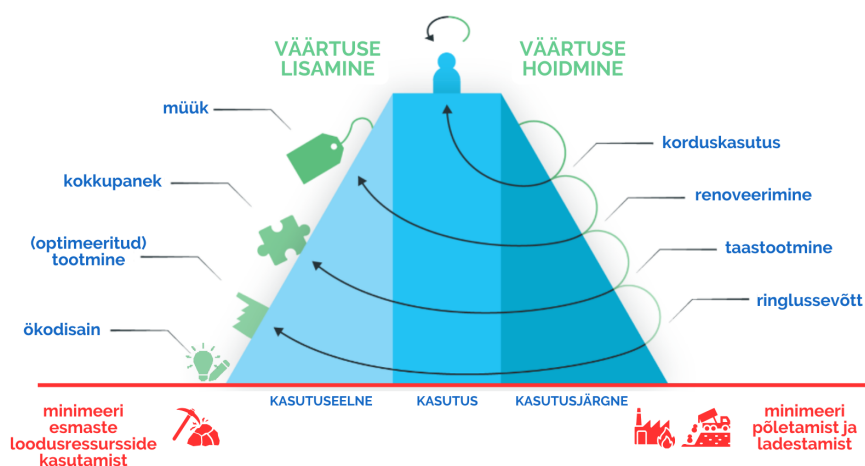
- parandatavad
- hooldatavad
- modulaarsed
- renoveeritavad

Peale tootedisaini on oluline luua ja uuendada ärimudeleid ja võimalusel rakendada toode-teenusena mudelit (Tiido, Kalle 2023: 5).

Ringmajanduse strateegiad jaotuvad järgmiselt: bioloogiliste, ehk kõikide kasvatatud materjalide väärindamine ja tehnogeensete, ehk kõikide kaevandatud materjalide väärindamine. Alljärgnevalt on ülevaade ringmajanduse põhimõtetest, väärtusmäe mudelil, tehnogeensete materjalide vaatest (vt joonis 2.2).

- Väärtusmäe punasega märgitud osa näitab kahte ringmajanduse põhimõtet: püüda vältida taastumatute loodusressursside kasutamist ja toote eluea lõppedes minimeerida põletamist ja ladestamist, kuna seda saab teha ainult ühe korra ja sellega eemaldatakse materjalid ringlusest.

- Kasutuseelne osa väärtusmäel illustreerib tootmisprotsessi, mis algab ökodisainist ja lõppeb toote müügiga kasutajale. Selles protsessis toimub samm-sammu haaval materjalile väärtuse lisamine.
- Kasutuse faas, mis on väärtusmäe tipus, on see kus toodet kasutatakse ringmajanduse peamise eesmärgina võimalikult kaua.
- Kasutusjärgne faas näitab olulisi meetodeid ringmajanduse rakendamisel: korduskasutus, renoveerimine, taastootmine ja ringlussevõtt. Nende meetodite rakendamine aitab vältida materjalide jäätmeteks saamist ja selle läbi säilitavad tooted, komponendid ja materjalid oma väärtust.

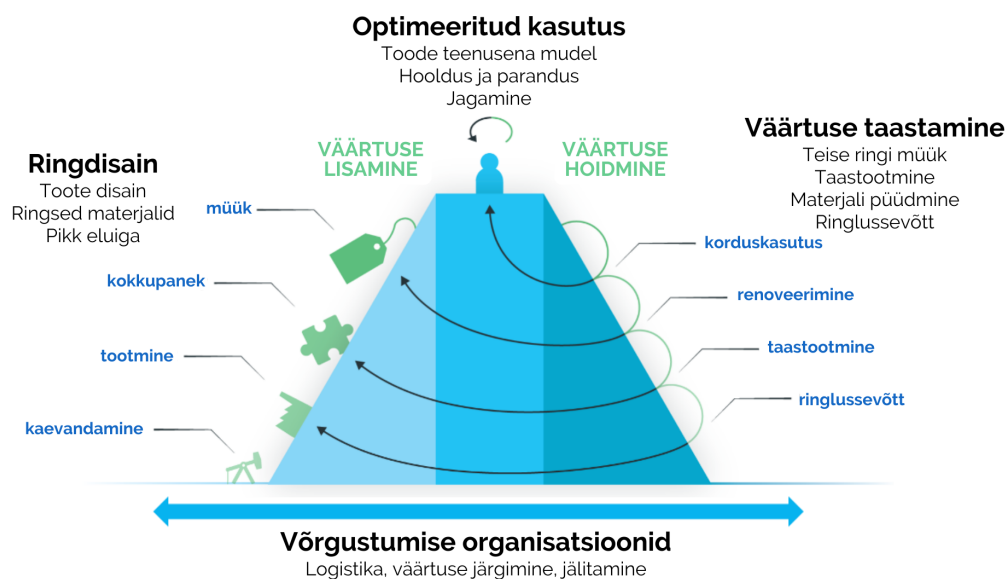


Joonis 2.2: Ringmajanduse põhimõtted väärtusmäel. Kohandanud Mayri Tiido ja Paula Kristel Kaljula, Circle Economy ja EEA mudelite põhjal (Tiido, Kaljula 2023: 10)

Autor leiab, et ringmajanduse rakendamine ettevõtte ärimudelil on tootjate enda huvides, materjalide eluiga pikendades, hoiab nii ettevõtte kuludelt kokku, kui ka tekitab vähem kahju keskkonnale. Kahjuks juba toimiva lineaarse majandusmudeliga ettevõtted ei ole motiveeritud üle minema ringsele ärimudelile, kuna hetkel piisab ettevõtetele jäätmete liigiti kogumisest, mis ei ole ettevõtetele suur kuluallikas. Fookus peab suunatud olema hoopis sellele, et kasutuskõlblikust materjalist ei saaks jääde ja seda hoitakse võimalikult kaua kasutuses.

Ringmajanduse põhimõtete järgimiseks on peamiselt neli ärimudelit (vt joonis 2.3):

1. **Ringdisain**– toote eluea algus, selles faasis on fookus materjalide valikul ning lahenduse läbimõtlemisses. Suur osa toote eluea jooksul tekkivatest keskkonnamõjudest otsustatakse just toodet disainides. Efektiivsel ringdisaini strateegiate rakendamisel on ülejäänud ärimudelite tõhus toimimine lihtsustatud.
2. **Optimeeritud kasutus**– eesmärk on hoida toode piisavalt kaua kasutusel. Toode-teenusena mudel vähendab vajadust osta tooteid ühekordseks kasutamiseks. Pakutakse hoolduse ja paranduse teenust kulunud või amortiseerunud toodetele. Lisaks on oluline informeerida kasutajat läbi hooldusjuhiste, kuidas ta ise saab tagada toote kestvuse.
3. **Väärtuse taastamine**– ärimudel keskendub kasutatud kasutuskõlblike toodete kasutusel hoidmisele ja nende väärtustamisele. Eesmärk on tooteid uuesti müüa näiteks taaskasutuskeskuses, väärtust lisada läbi materjalide ümbertöötlemise ja toote või selle detailide kasutamise kaudu samal eesmärgil uues tootes.
4. **Võrgustumise organisatsioonid**– ärimudeli eesmärk on tagada ringmajanduslike lahenduse levimiseks vajaliku info liikumine. Näiteks pakkuda ettevõtetele materjalide kulumise ja jälgimise teenust, toodete tagasivõtu-logistikat või andmebaasi turul saadaolevatest teise ringi materjalidest.



Joonis 2.3: Ringmajanduse neli ärimudelit (Tiido, Kaljula 2023: 11)

Edasises tootearendusprotsessis on eesmärk rakendada võimalikult paljude aspektides ringmajanduse ärimudelite alamstrateegiaid.

3. KES SELLEGA TEGELEVAD?

Selles peatükis on mööbli ja tekstiili tootmisjääkidega kokku puutuvad osalised jagatud kolme gruppi: Euroopa Liit, tootjad ja disainerid. Alapeatükkides analüüsib autor nende tegevusi ja mõju probleemiga tegelemisel. Tootjate alapeatükk keskendub kahele Eesti tootmisettevõttele, nende tootmisliini analüüsile ja ringmajanduse põhimõtete rakendamisele.

3.1 Euroopa Liit

Euroopa Liit suudab jäätmemajandust mõjutada läbi erinevate tegevuskavade, direktiivide ja suuniste. Euroopa Liidus vastu võetud kokkulepped keskenduvad pikale plaanile ja nende mõju ei ole kohe märgatav, seega suur roll on ka igal riigil ja riigiasutustel endal, et teha vajalikud sammud ringmajanduse suunal. Aastal 2019 vastu võetud Euroopa Komisjoni Euroopa roheline kokkulepe on tegevuskava, mille fookus on saavutada Euroopa Liidus säästev majandus. Tegemist on katusstrateegiaga, mille eesmärk on saavutada ressursitõhusa ja konkurentsivõimelise majandusega Euroopa ning aastaks 2050 on saavutatud kliimaneutraalsus ja ressurside jätkusuutlik kasutus (Euroopa Liidu ringmajanduse pakett i.a).

„ELi jäätmete raamdirektiivi (2008/98/EÜ) kohaselt rakendub alates 2025. aastast kõikidele liikmesriikidele tekstiilijäätmete liigiti kogumise nõue. Lisaks on oodata uusi jäätmekäitlusalaseid õigusakte, mis toovad tekstiilisektoris lähiaastatel kaasa olulisi ümberkorraldusi. Üheks peamiseks täienduseks on tekstiiltoodetele laiendatud tootjavastutuse rakendamine, mille eesmärk on suurendada tekstiilijäätmete ringlussevõtu määra ja motiveerida tootjaid liikuma vastutustundlikuma tootmise poole.“ (Moora jt 2024: 12).

Üheks ringmajandust edasiviivaks määruseks on Euroopa Komisjoni vastu võetud kestlike toodete ökodisaini määrus. Eesmärk on parandada ELi turu toodete kestlikust läbi ringlussevõetavuse, energiatõhususe ja vastupidavuse (Euroopa Komisjon i.a). Kestlike toodete ökodisaini määrus võimaldab kehtestada ökodisaini nõudeid peaaegu kõikides füüsiliste kaupade kategooriates.

Nõudeid võib kehtestada näiteks:

- Toote vastupidavuse, korduskasutatavuse, hooldatavuse ja parandatavuse täiustamiseks
- Toodete hooldamise ja parandamise võimaluste suurendamiseks
- Toodete energia- ja ressursitõhususe parandamiseks
- Ringlust pärssivate ainete käsitlemiseks
- Ringlusse võetud materjalide suurendamiseks
- Toodete ümbertöötlemise ja ringlussevõtu lihtsustamiseks
- CO₂- ja keskkonnajalajälge käsitlevate eeskirjade kehtestamiseks
- Jäätmetekke piiramiseks
- Toodete kestlikust käsitleva teabe kättesaamise parandamiseks

Lõputöö autori hinnangul on Euroopa Liidu tegevustel probleemile suur positiivne mõju ja üldise terviku ühtlustamiseks on oluline sätestada kõigile ühtsed reeglid ja tegevuskavad. Suures plaanis ei muutu midagi kui üks osa riikidest suudab saavutada kliima neutraalsuse aga näiteks globaalse lõuna riikides keskkonnasaaste probleem aina suureneb.

3.2 Tootjad

Sisuliselt on tootja kõige olulisem osaline, kes läbi oma tootmise mõjutab keskkonda tekkivate kasvuhoonegaaside hulka, materjalide ringlusesse võetavust, toodete vastupidavust ning energia ja ressursside kasutamist. Kuigi see, kui palju midagi

toodetakse, sõltub ka nõudlusest ehk tarbijast. Me elame tarbimisühiskonnas, mida näitab ka analüüs, et 2025. aasta ressursid on Eestis ära kasutatud juba 4. märtsiks (Global Footprint Network 2025). See tähendab, et inimkonna nõudlus taastuvate ressursside ja teenuste järele ületab antud aastal Maa võimekuse neid uuesti toota. Maa ressursside kasutamisel ei ole globaalseid piiranguid, seega piltlikult öeldes elatakse tuleviku ressursside ja generatsioonide arvelt.

Võttes arvesse keskkonnasäästlike põhimõtete rakendamise vajadust, ei piisa täna enam ainult traditsioonilise disainimudeli rakendamisest. Peamiselt keskendub see kasutaja vajaduste rahuldamisele, toote disainimisele, toote turundusele ja tarbimisele, tootes seda võimalikult madalate kulutustega ning lõpuks müües toode võimalikult kõrge hinnaga (Designing For The Circular Economy 2019: 115). Ringne disainimudel keskendub lisaks eelnevalt välja toodud fookuspunktile ka toote elueale ja jätkusuutlike materjalide kasutamisele.

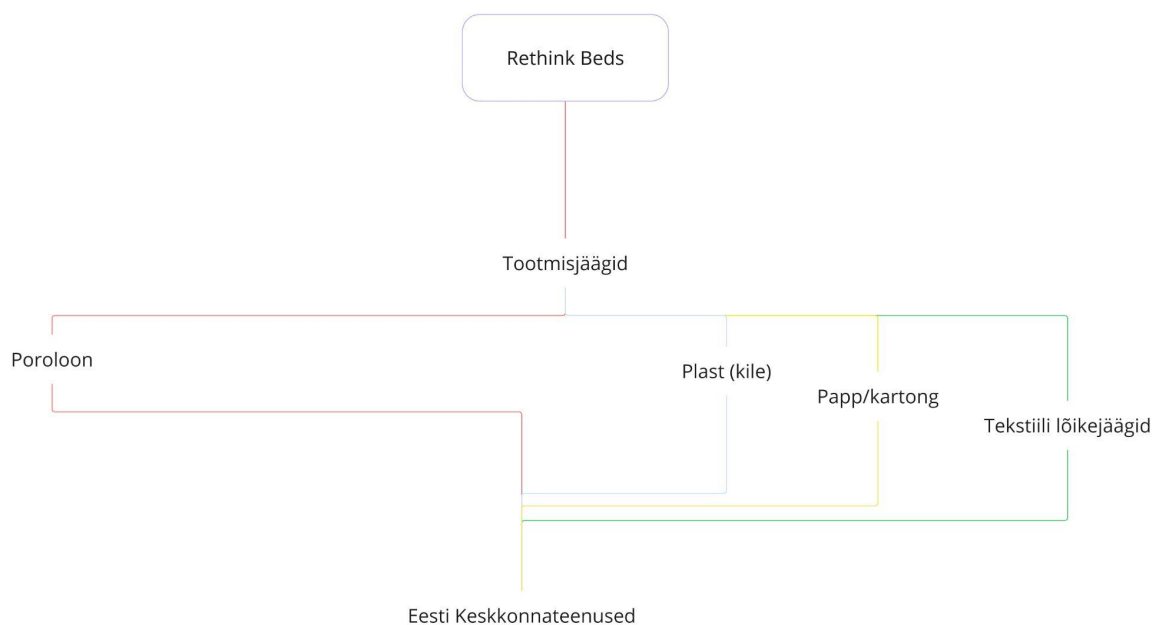
Rethink Beds OÜ

Ettevõtte tegeleb voodite ja magamistoamööbli arendamise ja tootmisega. Tootmisliini võimekus on toota madratseid algusest lõpuni- alates vedrudest kuni polsterduse ja kangani välja. Kuna ettevõttel puudub puidu töötlemiseks vajalik masinapark, tellitakse voodite, jalutsipinkide, pesukastide, tugitoolide ja öökappide puitkonstruktsiooni toorikud oma partnerilt Põlvast ning tooted monteeritakse kokku Viljandis, ettevõtte tootmishoones. Ettevõtte liigub kasutajakesksemate lahenduste suunal, kasutades uuenduslikku tehnoloogiat, mida rakendatakse kasutaja kehakuju ja mugavuseelistuste järgi personaliseeritud voodites. Eesmärk on pakkuda järjest enam vastupidavamaid, kvaliteetseid ning modulaarseid tooteid.

Rethink Beds osales ka 2024. aastal EISI tellimusel läbi viidud Ringdisaini meistriklassis, kus analüüsiti ettevõtte tootmisprotsessi ja tootmisega seotud mõju keskkonnale. Eelmises peatükis on rõhutatud, et ringmajandus algab disainiprotsessis ja kuna toote disainimisel tuleb mõelda ka toote pakendamisele, töötab hetkel Rethink Beds selle nimel, et muuta toodete pakendamine keskkonna- ja kliendisõbralikumaks.

Joonisel 3.4 on välja toodud ettevõtte tootmisprotsessis tekkivad jääkmaterjalid.

Porolooni jääk tekib peamiselt poroloonploki külgede sirgeks lõikamisel ja see on mahult kõige suurem: kuus tekib 1-1,5 tonni jääkmaterjali. Plast(kile) ja papp/kartong jäägid tekivad toodete pakendamisel. Tekstiili jäägid tekivad lõigete tegemisel enne õmblemist. Ettevõttesisese ümbertöötlemise võimekuse puudumise tõttu, jääkmaterjalid sorteeritakse ja antakse üle Eesti Keskkonnateenustele edasiseks käitlemiseks.



Joonis 3.4: Rethink Beds OÜ tootmisjääkide jaotus

Ettevõtte kitsaskohaks on porolooni käitlemine. Hetkel Eesti Keskkonnateenuste vahendusel materjali käitlemise kulu on küll marginaalne, kuid Rethink Beds kasutab oma toodetes purustatud porolooni, mida tellitakse eraldi sisse. Ühekordne investeering porolooni mehaanilisse purustajasse hoiaks materjali ettevõtte ringis kuni tootes kasutamiseni ja vähendades seeläbi ettevõtte kulusid kui ka porolooni ladestamist prügilatesse.

Paragon Sleep AS

Tegemist on kõige suurema Põhjamaade ja Baltikumi vatiinitootmise ja tekstiilijäätmete ümbertöötlemisega tegeleva ettevõttega. Kokku valmistatakse 2500 tonni tehnilisi tekstiile aastas. Ettevõtte on tegutsenud ligi 30 aastat kodutekstiilide ja tehniliste tekstiilide arendamise ja tootmisega. Koostööd tehakse erinevate ettevõtetega ja klientideks on peamiselt jaaketid, edasimüüjad, hotellid, piirkondlikud tööstustootjad, pehme mööbli ja kodutekstiili tootjad. Paragon Sleep on partner tootearenduses, tootmises ja logistikalahenduste väljatöötamisel 20-nes sihtriigis üle maailma. Paragon Sleepi tekstiilidel on OEKO-TEX® 100 Standard, mis tagab, et tootes kasutatavad materjalid on ohutud ja valmistatud tervisele kahjututest komponentidest. Enamik nende kasutatavaid sünteetilisi kiude on GRS (Global Recycle Standard) sertifitseeritud (Paragon Sleep i.a).

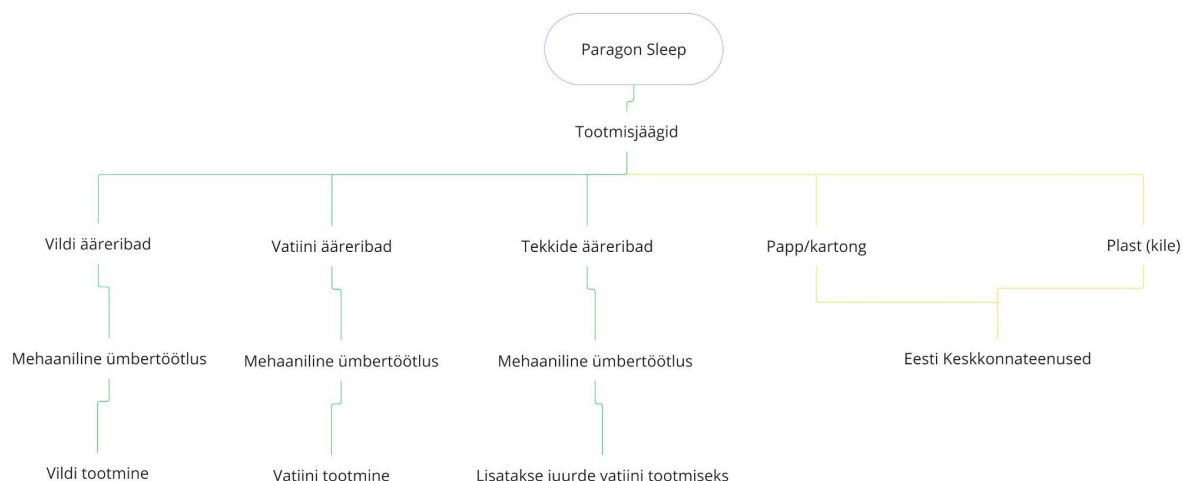
Ettevõtte töötab selle nimel, et oma tootmist optimeerida ja otsib uusi rakendusi oma tootmises tekkinud kõrvalsaaduste kasutamiseks. Igapäevaselt on Viljandi tootmishoones kohapeal tehnoloog ja kiudude spetsialist, kes tegelevad ka toodete arendamise ja materjalide erinevate rakendamise võimalustega. Eeskujuliku ümbertöötlemise võimekusega suudab Paragon Sleep mehaaniliselt ümber töödelda kõiki oma tootmises kasutatavaid tekstiilmaterjale. Ettevõtte hinnangul on lisaks keskkonnasõbralikkusele oluline ka majanduslik aspekt, ettevõttesisese ümbertöötlemisega hoitakse kokku nii uue toormaterjali sisseostmise, transpordi kui ka jäätmekäitluse kulude pealt (vt tabel 1).

Materjal	Toormaterjali hind/kg	Ümbertöötlemise hind/kg	Jäätmejaama suunamise hind/kg
Polüester	1-1,30 €	0,30-0,40 €	0,10 €

Tabel 1: Materjalide käitlemise kulud

Joonisel 3.5 on näha kõiki tootmisprotsessis tekkivaid jääkmaterjale ja nende käitlusviise.

Kolm liiki tekstiili jääkmaterjale on vildi, vatiini ja tekkide ääreribade jäägid, mis läbivad ettevõttesisese mehaanilise ümbertötluse protsessi ning seejärel saab neist uuesti algmaterjali toota. Sama toodet ei saa tekkide ääreribadest, aga selle purustatud kiudu lisatakse juurde vatiini tootmisel. Papp/kartong ja plast(kile) jäägid tekivad toodete pakendamisel, jääkmaterjalid sorteeritakse ja antakse üle Eesti Keskkonnateenustele edasiseks käitlemiseks.



Joonis 3.5: Paragon Sleep AS tootmisjääkide jaotus

Ühe kuu jooksul tekivad tootmisprotsessis lõikusjääkide ja tootmispraagina järgmised mahud:

- Tekkide (100% polüester/polüester ja puuvill/vill ja puuvill) äärised: 20 tonni
- Vatiini (100% polüester/segu) ääreribad: 15 tonni
- Vildi (30% taaskasutatud tekstiilikiud, 70% sünteetiline/naturaalne kiud) ääreribad: 1–2 tonni

Võttes arvesse välja toodud materjalide käitlemise hinnad (vt tabel 1), kuluks ümbertöötlemise võimekuseta ettevõttel, vatiini jäätmena käitlemisel iga kuu 1500€. Polüestri toormaterjali tellimiseks on 15 tonni (vatiini tootmisjäägi kogus ühes kuus) hind 15 000–19 500€, ettevõttesisesel ümbertöötlemisel kulu 4500–6000€. Materjali ümbertöötlemisel jääb ka ettevõttel kulutamata 1500€, mis on Eesti Keskkonnateenuste kaudu materjali käitlemise hinnaks. Sellest lähtudes saab väita, et ettevõtte säästab tänu ümbertöötlemise võimekusele üle 10 000€ kuus ainuüksi vatiini ümbertöötlemisel, tegelikult on see summa kordades suurem, kui lisada juurde ülejäänud materjalide väärtused.

Kuigi tekstiilkiudude mehaaniline ümbertöötlemine on ettevõtte Paragon Sleep võimekuses, proovitakse leida jääkmaterjalidele rakendust ümber töötlemata kujul, et ressurside- ja energiakulusid minimaalsena hoida.

Mõlemas ettevõttes käideldakse papp/kartong ja plast(kile) läbi Eesti Keskkonnateenuste. Paber- ja kartongpakenditest (jäätmekood 15 01 01) taaskasutatakse ligikaudu 22%, suurem osa eksporditakse Soome ja Leetu. Pea kolm korda suurem on plastpakendite (jäätmekood 15 01 02) taaskasutamine, milleks on ligikaudu 61%, ülejäänud plastjäätmete suuremad osakud eksporditakse Leetu ja Lätti (Keskkonnaagentuur 2023).

Eestis on mitmeid ettevõtteid, kes tegelevad plastide sorteerimisega ja ümbertöötlemisega, kuni uute toodete valmistamiseni välja. Eelnevalt sorteeritud plastpakendeid töödeldakse plastipuruks või plastgraanuliks, mis müüakse edasi plasttoodete tootmiseks (Alkranel 2017).

3.3 Disainerid

Kuigi autori hinnangul on tootjal kõige suurem vastutus tootmisjääkide ja tootes kasutatud materjalide elueal tekkivate keskkonna mõjudele, tegutseb erinevaid disainereid ja ettevõtteid, kes keskenduvad just jääkmaterjalide kasutamisele oma toodetes. Antud alapeatükk keskendub nende ettevõtete kaardistamisele ja turuanalüüsi teostamisele.

KIUD

Eestis 2022. aastal Kaie Kaas-Ojavere, Liis Tiisvelt ja Vivian Raukase asutatud ettevõtte, mille missiooniks on tegeleda tekstiilijäätmete probleemiga uuendusmeelselt. Ettevõtte tooteks on ümbertöödeldud tekstiilijäätmetest pakend, mis on korduskasutatav ja asendab üldlevinult kasutatavat pappi (vt fotod 1-2). Materjali jäikus saavutatakse termomehaanilise töötlemise teel, ilma vett või kemikaale lisamata. Materjali saab korduvalt ümber töödelda ja kasutada uutes toodetes (KIUD i.a).



Fotod 1-2: Ümbertöödeldud tekstiilkiududest pakend (KIUD)

FabBRICK

Prantsuse arhitekt Clarisse Merlet'i ettevõtte, mis on Pariisis tegutsenud aastast 2018. Algselt kooli projektist välja kasvanud ettevõtte kasutab ümbertöödeldud tekstiilkiududest tehtud klotse, millel on erinevaid kasutusvõimalusi:

- Abilauana (vt foto 3)
- Toolide valmistamisel
- Valgustijalana
- Akustilise elemendina seintel (vt foto 4)

Klotside valmistamiseks kogutakse kokku nii tootmisjääke, kui ka kasutatud riideid, mis oleks vastasel juhul ladestatud jäätmejaamadesse. Sideainena kasutatakse looduslikku liimainet (FabBRICK i.a).



Foto 3: Abilaud (FabBRICK 2022)



Foto 4: Akustiline element seinal (FabBRICK 2022)

Ettevõtete KIUD ja FabBRICK lahenduste puhul on suureks plussiks lähtumine ringdisaini strateegiatest, mis tähendab, et materjali saab ümber töödelda ja korduvalt samade toodete tegemiseks kasutada. Samuti on tegemist universaalsete ideedega, kuigi KIUD pakub hetkel oma toodetena ainult pakendeid, saab mõlema ettevõtte materjali kasutada erinevate toodete ja lahenduste loomisel.

MIVAR TEXTILE

2018. aastal Eestis asutatud ettevõtte tegeleb peamiselt mööblikatete ja patjade tootmisega. Paljudes toodetes kasutatakse täitematerjalina purustatud porolooni, mis on tehtud porolooni jääkidest:

- Aiamööbli padjad (vt foto 5)
- Dekoratiivpadjad
- Tumbad ja põrandapadjad
- Kott-toolid
- Lemmikloomatooted



Foto 5: Purustatud porolooniga aiamööbli padi (Mivar-Textile)

Porolooni eluiga on heades tingimustes ca 10 aastat, kuid see jääb äärmiselt lühikeseks kui poroloonplokki lõikamisel tekkinud jääkmaterjal suunatakse kohehelt jäätmejaamadesse ladustamisele. Kasutades materjali lõikamisel tekkinud jääke uues tootes, annab see võimaluse materjali kasutada elutsükli lõpuni, kuid selleks tuleb valida materjalile vastavalt sobiv kasutuskohd.

Lähtudes teadmisest, et tootmisjääkide kogus ja toodete elueal tekkivad keskkonnamõjud sõltuvad tootjast, leiab autor, et suudab oma diplomitöös, tootjatele keskendudes, püstitatud probleemile kõige suuremat positiivset mõju avaldada. Ettevõtete vaheline koostöö on üheks aluseks ringmajanduse edendamisel Eestis. Järgmise sammuna analüüsib autor ettevõtete Paragon Sleep ja Rethink Beds tootmisjääke ja nende teket ning kasutab mõlema ettevõtte jääke, ettevõttele Rethink Beds, toote arendamiseks. Võttes arvesse Euroopa roheline kokkuleppe tegevuskava ja eesmäärke, tugineb töö praktiline osa ringmajanduse põhimõtetele.

4. KOOSTÖÖPARTNERITE JÄÄKMATERJALIDE ANALÜÜS

Antud peatükis selekteerib lõputöö autor ettevõtete Rethink Beds ja Paragon Sleep tootmisjääkide seast materjalid, mida potentsiaalselt töö praktilises osas kasutada.

Rethink Beds OÜ tootmise üheks problemaatilisemaks jääkmaterjaliks on poroloon. Eriti keeruline on rakendust leida porolooni nn nahkadele, mis tekivad porolooni ploki külgede lõikamisel. Materjali välisel küljel on kilene kiht, mis teeb porolooni taaskasutamise keerulisemaks, kuna materjal on seetõttu jäigem (vt fotod 6-8). Tegemist on materjaliga, mis hetkel suunatakse jäätmetesse ladestamisele, seetõttu otsustas lõputöö autor valida üheks materjaliks just selle, millele rakendust leida.

Paragon Sleep AS suudab suures osas oma tootmisjääke ümber töödelda ja purustatud tekstiilkiudu kasutada uute toodete valmistamisel, kuid jääkmaterjalide kogused on suured ja korduv ümbertöötlemine ei ole tootmisele ressursi- ja energiatõhus. Materjalid, mida analüüsitakse ja edasises töös kasutatakse on nõeltorgitud vilt ja vatiin.

4.1 Vahtpolüuretaan ehk poroloon

1937. aastal Dr. Otto Bayeri poolt leiutatud uus materjal polüuretaan on sünteetiline polümeer, millest valmistatud toodetel on hea heli- ja soojusisolatsiooni võime (Korol K. 2015). Mööblitööstuses on vahtpolüuretaani kasutamine laialt levinud pehme mööbli tootmisel, sest lisaks headele materjali omadustele on seda kerge lõigata ja vormida.



Fotod 6-8: Porolooni lõikejääk

Poroloonploki küljed on erikujulised ja pigem harva sirged, seetõttu on ka lõigetest tekkinud materjalijääk erineva paksusega. See teeb materjali mahu ja kindla kuju saamise ebastabiilseks, mistõttu on autori hinnangul mõistlik materjal mehaaniliselt purustada (vt foto 9).



Foto 9: Purustatud poroloon; suurus 5-15mm

Porolooni purustamisel kaotab materjal mingil määral oma esialgse pehmuse, kuid autori hinnangul on võimalik seda sellegipoolest kasutada täitematerjalina väheste koormusega detailides nagu näiteks mööbli seljatoepatjades või tumba polsterdamisel.

4.2 Tehnilised tekstiilid

Tehnilised tekstiilid on kangad ja materjalid, mis on toodetud silmas pidades teatud tehnilisi nõudeid. Erinevalt tavalisest kangast, mis on mõeldud pigem välimuse ja mugavuse tagamiseks, on tehniliste tekstiilide puhul fookus materjali funktsionaalsusel ja vastupidavusel. Tehnilised tekstiilid ei ole toodetud üldjuhul kudumismeetodil. Paragon Sleep AS kasutab nende tootmiseks kahte tehnoloogiat:

1. Nõeltorkimine- tekstiilkiud põimitakse üksteisega nõeltega torkimise abil.
2. *Thermobonding*- kiududesse on segatud üks kergsulav komponent, mis liidab kiud kõrgtemperatuuril (ca 180 kraadi juures) kokku.

Nõeltorgitud vilt

Paragon Sleep AS kasutab vildi tootmisel erinevaid kiude: naturaalseid (puuvill ja viskoos), sünteetilisi (polüester ja kõrgtehnoloogilised kiud) ning taaskasutatud- ja upcycle kiude. Materjali kasutatakse pehme mööbli tootmisel, filtrina ja puhastuslappidena (Paragon Sleep i.a).

Peamised jäägid tekivad tootmisliinil vildi servasid sirgeks lõigates või praagist, mis ei vasta materjali tehnilistele nõuetele. Tootmisel kasutatakse 70% naturaalseid või sünteetilisi kiude ja 30% taaskasutatud tekstiilkiude, materjali eraldi ei värvita ja selle tonaalsus tulenebki heleda ja tumeda tekstiilkiu osakaalust. Kuna vildi tootmisel lisatakse ka purustatud tekkide ääriseid, mis on ettevõtte üheks tootmisjäägi, tekitab see säbrulise faktuuri vildi pinnale (vt foto 10).



Foto 10: Vildi säbruline faktuur

Vatiin

Materjal koosneb üldjuhul 100% polüesterkiust ja materjali omadused saavutatakse läbi tootmisliini. Vatiinil on palju erinevaid kasutusvõimalusi:

- Mööblitööstuses kasutatakse vatiini ühe vahekihina pehme mööbli polsterdamisel
- Riide- ja moetööstuses kasutatakse seda sooja isoleeriva kihina talveriietes
- Täitematerjalina patjades, tekkides ja madratsites

Tegemist on mono materjaliga ja seetõttu on seda lihtne korduvalt ümber töödelda. Igal ümbertöötlemisel lisatakse juurde ka purustatud tekkide ääriseid. Tootmisjäägid on samad mis vildi tootmisel: materjali mõõtu lõikamisel servalõike ribad ja tootmispraak (vt foto 11).



Foto 11: Mehaanilisele purustamisele minev tootmisjääk

Tootmisjääkide seas on erineva paksusega materjali kuid enamus neist on kas 30mm (vt foto 12) või 80mm (vt foto 13).



Foto 12: Vatiini tootmisjääk; 30mm



Foto 13: Vatiini tootmisjääk; 80mm

Esmasel vaatlusel ja materjali analüüsides selgub, et ka sama paksusega vatiinil on pehmuse erinevus, mis raskendab materjali kasutamist toodetes, kus on vaja säilitada ühtlane materjali kvaliteet. Sarnaselt purustatud porolooniga, leiab autor, et materjali saab kasutada vähese koormusega mööbliesemetes ja detailides.

5. TOOTEDISAINI PROTSESS

Antud peatükk annab ülevaate ideest–lahenduseni jõudmise teekonnast. Lõputöö esimese peatüki probleemipüstituses välja toodud lahendus, kasutada purustajat tootmisjääkide taaskasutuseks, ei pruugi olla piisav. Ettevõtte Paragon Sleep näitel tekib ka mehaanilise ümbertöötamise võimekusega tootmisel suures mahus materjali jääke. Nende vähendamiseks peab toodet disainides lähtuma tootmisliinist, kasutades materjali sellisel kujul, et vildi ja vatiini servade lõikamise laius oleks võimalikult minimaalne või olematu. Porolooni jääkide ümbertöötlemiseks on purustamine sobiv kuna lõikamisel on viidud jäägi teke minimaalseks ja purustatud porolooni ei pea enam kuidagi töötleva, seega ei teki sellest ka uusi materjali jääke. Materjali saab purustatud kujul kasutada paljudes erinevates lahendustes.

5.1 Soovitud lahendus

Enne ideede otsingut on oluline seada eesmärk, mille poole toodet prototüüpides pürgida. Antud lõputöö kontekstis on eesmärk sõnastatud lahenduse omadusi kirjeldavate märksõnade kaudu, mis on omakorda püstitatud lähtudes ringmajanduse ärimudelite alamstrateegiatest (vt joonis 2.3).

- **Ressursi- ja energiatõhusalt tootmine** on oluline, et vähenevaid loodusvarasid ratsionaalselt kasutada. Eesmärk on võimalikult väikese materjalikuluga saavutada selle suurim väärtus (vt foto 14).
- Toote rekonstrueeritavus annab võimaluse toodet **hooldada ja parandada**, ka juhul, kui mõni toote konstruktsiooniline detail on kasutuskõlbmatu (vt foto 15).
- Monomaterjalide ja **lihtsalt üksteisest eraldatavate materjalide** kasutamise fookus on toodete eluea lõppedes tagada materjali väikese ressursikuluga käitlemine (vt foto 16).
- Toote **konstruktsiooni vastupidavus ja kvaliteetsete materjalide kasutamine** tagab toote võimalikult pika kasutusaja (vt foto 17).

- Toodete **mitmekülgsus** seisneb selles, et materjali või lahendust oleks võimalik kasutada erinevates toodetes ja võimalusel kombineerides tooteid omavahel. Oletuslikult jääb seeläbi vähem materjali ja tooteid ettevõtte lattu seisma, kuna toodet on võimalik kohandada vastavalt vajadusele (vt foto 18).



Foto 14. Ressursi- ja energiatõhusalt toodetav (Freepik)



Foto 15. Rekonstrueeritav (Jean Prouvé, Demountable wooden chair CB 22)



Foto 16. Mono materjal/materjalid on lihtsasti üksteisest eraldatavad (Fred Ganim, side table) (Baux, Flexfelt System)

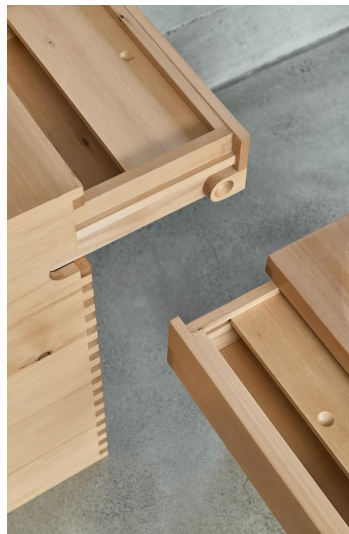


Foto 17. Vastupidav

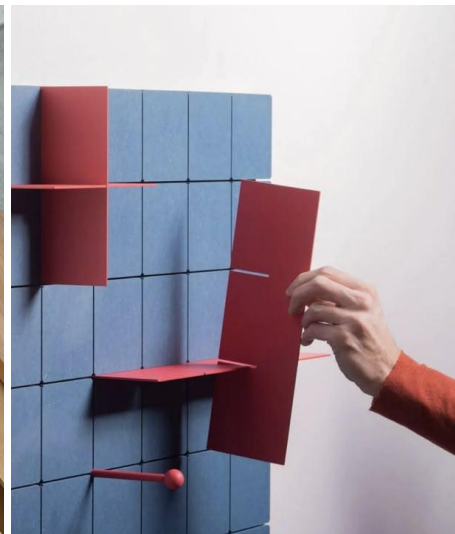


Foto 18. Mitmekülgne / kohandatav erinevates toodetes (Von Morgen, KUR!O)

5.2 Ideetamine ja lahenduse teostamine

Selleks, et mõelda läbi võimalikult palju materjalide rakendamise võimalusi, kasutab töö autor meetodit nimega *Crazy 8's* (vt foto 19). Eesmärk on mõelda kaugemale oma esimesest ideest, mis on ka tihti peale kõige vähem innovatiivne. Kaheksa minuti jooksul tuleb visandada paberile kaheksa erinevat ideed, mille rõhk on kvantiteedil, mitte kvaliteedil ja seetõttu ei pea visandid olema visuaalselt ilusad, vaid andma ideed edasi (Stevenson 2019).

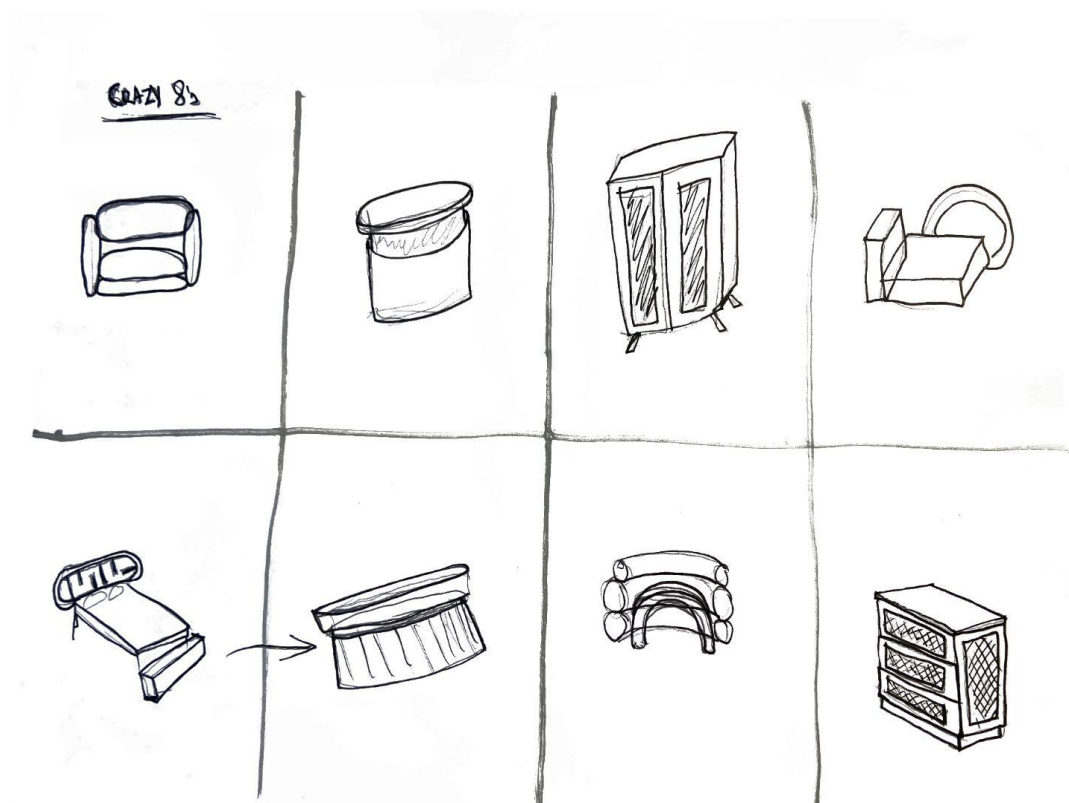


Foto 19: *Crazy 8's* ideetamise tulemus

Lähtudes eelnevalt tutvustatud meetodi tulemustest, jätkab töö autor ideede arendamist uute visandite näol (vt foto 20).

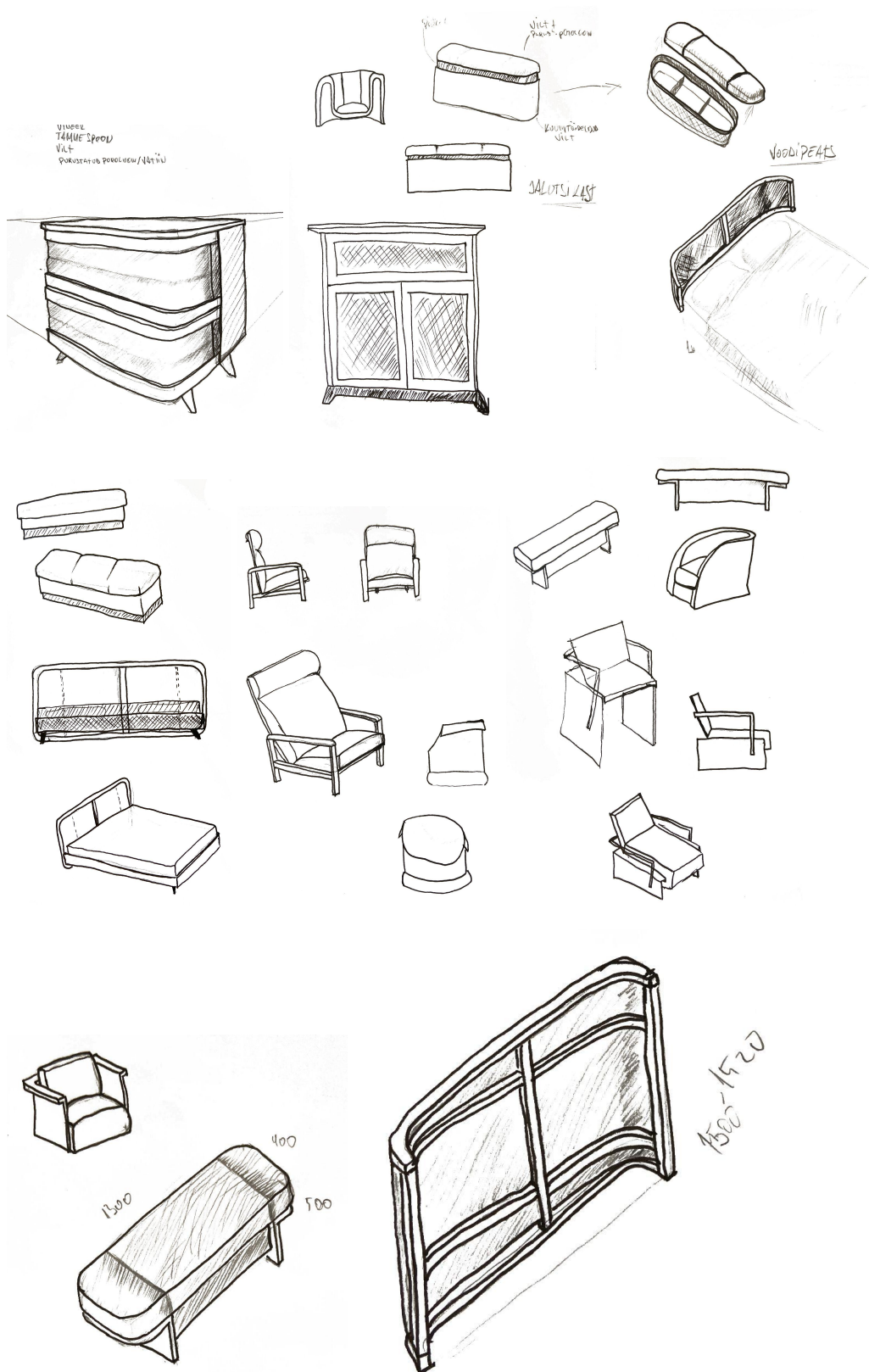


Foto 20: Ideede visandid

Analüüsides ideede visandeid koos ettevõttega Rethink Beds, otsustatakse rõhk panna lahendustele, mis kasutavad mahuliselt kõige rohkem kaardistatud tootmisjääke ja mille tootmine on võimalikult ettevõtte tootmisliini keskne. Sellest tingitult, püstitatakse lähteülesandeks voodipeatsi ja jalutsipingi ideid edasi arendada.

Voodipeatsi üks peamisi eesmärke on puhtalt funktsionaalne – see lisab seinale ja kasutaja vahele lisa kihi soojust hoidmiseks ja aitab müra summutamisel. Polsterdatud peats pehmendab selja toetamist (Brown 2022). Töö autori hinnangul on magamistoas oluline ennast turvaliselt tunda. Seda saab teha läbi pehmest lisavate elementide: erinevad tekstiilid, soojad toonid ja kumerad vormid.

Esmastest visanditest edasi arendatud voodipeatsite 3D mudelite teostamisel katsetab autor erinevaid raadiuseid, materjali paksuseid ja peatsi külgede kaldenurkasid (vt fotod 21-22).

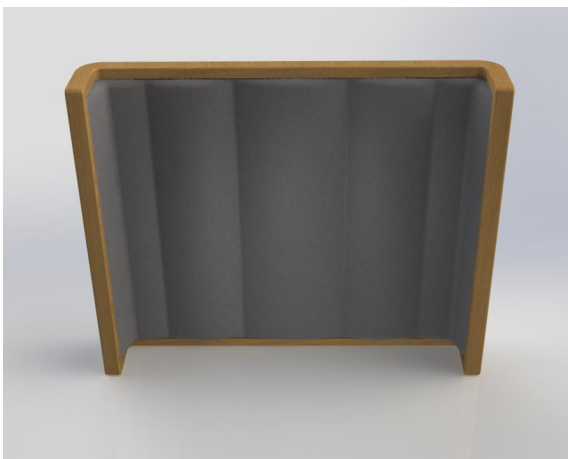


Foto 21. Esimene 3D visualiseering voodipeatsist



Foto 22. Teine 3D visualiseering voodipeatsist

Lahenduse konstruktsioon koosneb painutatud kasevineerist, vertikaalsetest tugipostidest ja purustatud porolooniga täidetud vildi paneelist.

Lahendusi analüüsides leiab autor, et toode on raske iseloomuga ja keeruliselt teostatav, kuid teise 3D mudeli (vt foto 22) suurendatud avanemisnurk mõjub visuaalselt kergemini. Voodipeatsi painutatud küljed tekitavad autori hinnangul võimaluse kasutajal olla ümbritsevast keskkonnast eraldatud.

Esialgne idee on kasutada vilti voodipeatsi pehmenduse väliskihina, kuid selle eelduseks on materjali hea hõõrdekindlus. Selleks teostab töö autor materjalile Martindale hõõrdegevuse ja pillingukindluse testid. Testide teostamiseks kasutatakse seadet SDL Atlas Martindale M235 ja meetodina tasapinnalist hõõrdumist kuni kiu katkemiseni. Abrasiivmaterjalina kasutatakse hõõrdekangast ja 12kPa raskust, eesmärk on teostada vildile 25 000 Martindale tsükli kuni standardne mööbliriide hõõrdekindlus on tavaliselt 15-25 000 tsükli (Tarmeko i.a). Kokku teostatakse neli vildi hõõrdekindluse testi, kuni 10 000 Martindale tsüklini, seejärel otsustatakse testid lõpetada, kuna materjali pind on muutunud topiliseks ja esmasel hinnangul tundub materjali kulumiskindlus niivõrd hea, et ei jõua testidega kiu katkemiseni (vt fotod 23-24).



Foto 23. Vilt enne hõõrdekindluse testimist



Foto 24. Vilt peale 10 000 Martindale tsükli

Seejärel otsustatakse teostada vildile pillingukindluse ehk topilisuse test, kuna selle testimiseks kasutatakse laiemat hõõrdepead ja kergemat, 415g raskust. Kangas muutus topiliseks juba 500 Martindale tsükli järel ja testi jätkati kuni 2000 tsüklini. Testide tulemuste võrdlemiseks standardse mööbliriidega, teostati samades tingimustes pillingutestid (vt fotod 25-28).



Fotod 25-26. Vildi pillingutesti tulemus peale 500 ja 2000 tsükli



Fotod 27-28. Mööbliriide pillingutesti tulemus peale 500 ja 2000 tsükli

Vildi kulumis- ja pillingutesti tulemus näitab, et materjalile tekivad topid juba kerge hõõrdumise tagajärjel ning antud materjali ei saa sellisel kujul kasutada edasises tootearenduses väliskihina (vt fotod 25-26). Seevastu mööbliriide pind ei muutu topiliseks ka 2000 Martindale tsükli järel (vt fotod 27-28). Selleks, et materjali omadusi parandada võtab lõputöö autor ühendust ettevõttega KIUD, kes kasutab sama viltmaterjali oma toodetes ning suudab materjali termomehaaniliselt töödeldes selle hõõrdekindlust tõsta.

Edaspidi kasutatakse toote väliskihtides vilti, paksusega 1.8mm ja 2.6mm (vt foto 29-30), mis on ettevõtte KIUD poolt termomehaaniliselt töödeldud. Vildist lehtmaterjali maksimaalsed mõõdud on 1250x2400mm. Antud materjali omadusi lõputöös ei testita ja kasutamisel lähtutakse ettevõtte KIUD kodulehel välja toodud 1.80 paksuse materjali tehnilistest parameetritest:

- **Tõmbetugevus:** 303 N
- **Lõhkemisjõud:** 4240 kPa
- **Rebenemiskindlus:** Ei rebene
- **Kasti kokkusurumine:** 1175 N
- **Torkekindlus:** 37.90 J
- **Painde jäikus:** 1.30 mNm



Fotod 29-30. Termomehaaniliselt töödeldud vilt paksusega 1.8mm ja 2.6mm

Sellest lähtudes muutub, võrreldes esialgsete ideedega, voodipeats visuaalselt ja funktsionaalselt. Voodipeats koosneb kolmest osast: kasepuidust karkassist, viltplaadist, konstruktsiooni kattest ja purustatud porolooniga täidetud seljatoepatjadest, mis on kaetud standardse mööbliriidega (vt foto 31). Eemaldatavate seljatoepatjade eeliseks on võimalus padjakatteid pesta, parandada või vahetada, lisaks on tänu sellele voodipeatsi vorm õhulisem võrreldes esialgsete 3D mudelitega.

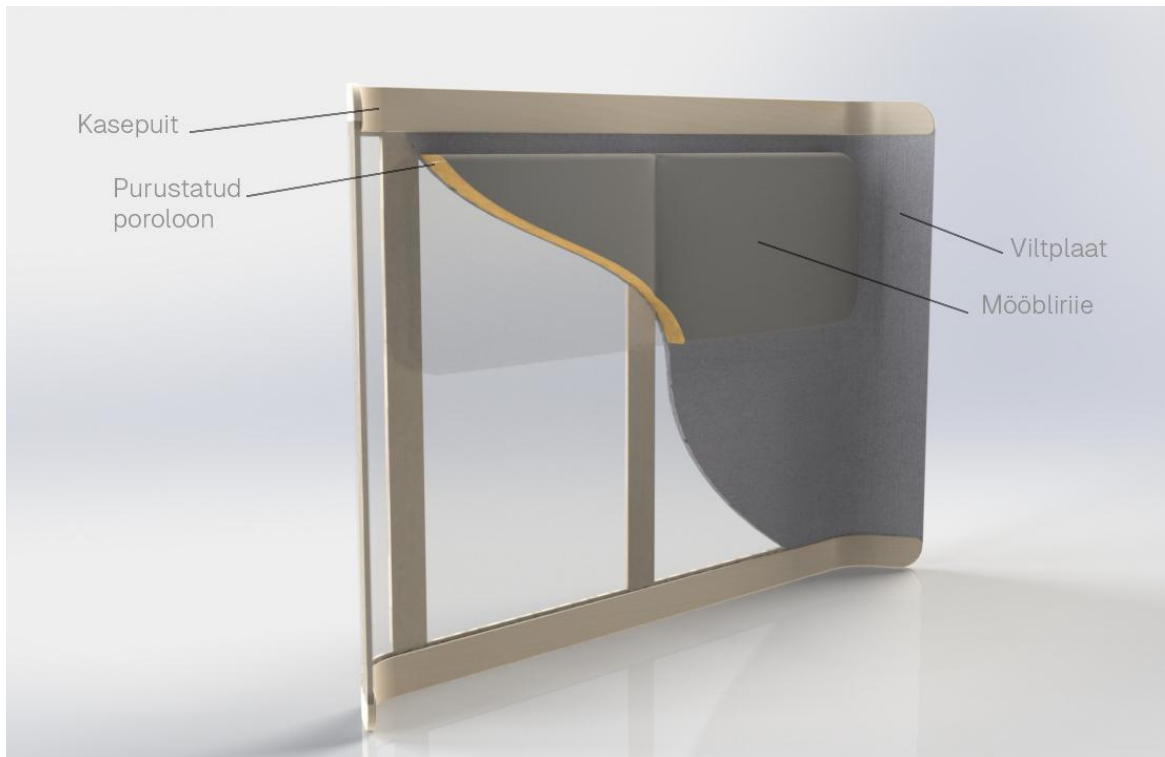


Foto 31. Voodipeatsi läbilõige

Voodipeatsi prototüübi eesmärk on katsetada konstruktsiooni toimivust, materjalide kasutamise võimalusi ja üldist lahenduse funktsionaalsust. Prototüübi teostamisel kasutatakse Pallase mööblisakonna olemasolevaid materjale ja kaardistatud ettevõtete tootmisjääke, vajadusel ostetakse lisaks kinnitustarvikuid, mööblifurnituuri ja -kangast.

Esimene samm on voodipeatsi konstruktsiooni valmistamine. Selleks alustati voodipeatsi ülemise ja alumise horisontaalse detaili ettevalmistamise ja painutamise. Painutamiseks kasutatakse meetodit nimega *kerf cut*, kus puidu sisselõigete abil muudetakse materjal painduvaks ja liimitakse kokku nii, et lõigete servad tekitavad liimimiseks vajaliku kontaktpinna (vt foto 32). Prototüüpimisel kasutatakse antud meetodit just seetõttu, et see on sobilik olemasoleva puitmaterjali painutamiseks, lõpptoote puhul tuleb teha painutus vormide ja õhukeste vineerikihtide abil.



Foto 32. Kerf Cut meetodi abil detailide painutamine

Seejärel liimitakse sama meetodi abil detailidele sisekülge, kumerates osades kasutatakseurve avaldamiseks rakiseid (vt fotod 33-34).



Fotod 33-34. Detaili sisekülje liimimine

Lahenduse parandatavuse ja hooldatavuse tagab võimalus vajadusel ka lõppkasutaja kodustes tingimustes detaile lahti võtta ja asendada, selleks kasutatakse puittüübleid ja Minifix eksentrilist ühendustõmmitist (vt foto 35).



Foto 35. Voodipeatsi detailide ühendamine Minifix tõmmitsa abil

Peale konstruktsiooni kokku panemist kaetakse voodipeatsi keskmine pind ümberringi viltplaadiga, mis kinnitub detailidesse freesitud soontesse. Kasutatud on viltplaadi maksimaalne laius ja pikkus, kuid selleks, et voodipeatsi tagaküljel viltplaadi otsad ühendada, tuleb juurde õmmelda teine viltplaat (vt foto 36). Kuigi õmblus jääb voodipeatsi tagaküljele, ei häiri see autori hinnangul visuaalset tervikut ja lisab hoopis tootele karakterit (vt foto 37).



Foto 36. Viltplaadi õmblemine



Foto 37. Viltplaadi õmblus voodipeatsi tagaküljel

Seljatoepatjades kasutatakse vildist sisupatju, mis on täidetud purustatud porolooniga (vt foto 38). Vilt vähendab purustatud poroloonist tekkivaid ebatasasusi ja lisab padjale pehmemdava lisakihi.



Foto 38. Purustatud porolooniga täidetud vildist sisupadi

Voodipeatsi seljatoepatjade kinnitamiseks kasutatakse puitkiudplaati, mis asetatakse patjade väliskanga sisse ja seejärel kinnitatakse voodipeatsi külge. Puitkiudplaadis on lukuaugukujulised avad, seljatoe patjade eemaldamiseks tuleb kasutajal padjad üles tõsta ja seejärel enda poole tõmmata ning seljatoepadjad ongi voodipeatsist eraldatud (vt foto 39).



Foto 39. Seljatoepatjade kinnitamiseks kasutatav lahendus

Lõpptulemusena valminud prototüüp voodipeatsist (vt foto 40).



Foto 40. Voodipeatsi prototüüp

Prototüüpimise tulemusel selgus, et materjalide rakendamise võimalused on toimivad, kuid vajavad osaliselt edasi arendamist. Voodipeatsi puitkonstruktsiooni stabiliseerimiseks peab kasutama laiemaid vertikaalseid tugiposte ja kõikides puitdetailides 10-20mm paksemat materjali. Paksem materjal annab võimaluse fikseerida viltplaadi servad freesitud soonde voodipeatsi tagaküljel samamoodi nagu on see teostatud voodipeatsi esiküljel. Seljatoe patjades kasutatud purustatud porolooniga täidetud vildist sisupadjad annavad piisavalt pehmust ja täidavad oma funktsiooni. Seljatoepatjade väliskihi lõiget ja kinnituslahendust tuleb kohandada, et patjade vormi pehmendada.

Eelmises alapeatükis püstitatud soovitud lahenduse omadused on täidetud toote detailides järgmiselt:

- **Ressursi- ja energiatõhusalt tootmise** tagamiseks kasutatakse seljatoepatjades vildi ja porolooni tootmisjääke, konstruktsiooni siduva viltplaadi mõõdud tulenevad tootmisliini võimalustest ja seeläbi on materjali kadu servade lõikamisel minimaalne.
- Kõik kasutatud materjalid on **üksteisest eraldatavad** ja seeläbi on tagatud toote **hooldatavus ja parandatavus**.
- **Toote konstruktsiooni vastupidavus** vajab täiendamist vastavalt eelnevalt välja toodud paranduste kaudu.
- Toote **mitmekülgsus** on tagatud läbi võimaluse kombineerida voodipeatsit erinevate voodiraamidega. Seljatoepatjade kasutamine on samuti valikuline, kasutaja saab toodet ostes otsustada kas soovib voodipeatsit seljatoepatjadega või ilma.

Paralleelselt töötab lõputöö autor voodipeatsi juurde kuuluva voodijalutsi pingiga, millele lisab funktsionaalsust pesukast. Voodipeatsi disainiprotsessis tehtud järeldusi rakendatakse pingi materjalikasutuse ja eesmärgi osas. Voodipeatsit ja voodijalutsi pinki võib võrrelda tugitooli ja järiga, mille puhul järi toetab peamist objekti ehk tugitooli ja pakub kasutajale lisaväärtust.

Prototüübi eesmärk on katsetada materjalide vastupidavust ja konstruktsiooni toimivust ning pingi ja voodipeatsi vormide sidusust. Sarnaselt voodipeatsile järgib voodijalutsi pink kumeraid vorme ja vastab eelmises alapeatükis püstitatud eesmärgile, mis on sõnastatud lahenduse omadusi kirjeldavate märksõnade kaudu:

- **Ressursi- ja energiatõhusalt tootmiseks** kasutatakse istme polsterdamiseks vatiini tootmisjääke, mis vähendab toormaterjali kaevandamist ja importimist.
- Toote **hooldatavuse ja parandatavuse** tagab **üksteisest eraldatavad** materjalid.
- Toote **konstruktsiooni vastupidavus** on tagatud täispuidu ja vastupidavate seotiste kasutamise kaudu.
- Toote **mitmekülgsuse** tagab võimalus kombineerida voodipeatsit ja voodijalutsi pinki omavahel ka ilma voodita. Sellist lahendust on oletuslikult võimalik rakendada näiteks avalikes ruumides ja kontorites, kus voodipeats täidab akustilise elemendi rolli.

Pingi konstruktsioon koosneb kasevineerist ja -puidust, viltplaadist, vatiiniga pehmendatud istmest ja standardsest mööbliriidest (vt foto 41).



Foto 41. 3D visualiseering voodijalutsi pingist

Puitkonstruktsiooni teostamisel lähtub lõputöö autor eelnevalt teostatud visanditest ja 3D mudelist, kuid muudatused tehakse horisontaalsetele detailidele, lisades juurde paksust ja laiust, et konstruktsiooni stabiliseerida. Enne toote viimistlemist on oluline konstruktsiooni toimivuse katsetamiseks kõik detailid kokku panna ja veenduda selle täpsuses (vt foto 42). Läbi antud tegevuse märkab töö autor, et konstruktorkruvide avad horisontaalsetes detailides ei ole kohakuti pingi küljedetailide avadega. Enne viimistlemist on võimalik avasid kerge vaevaga kohandada.

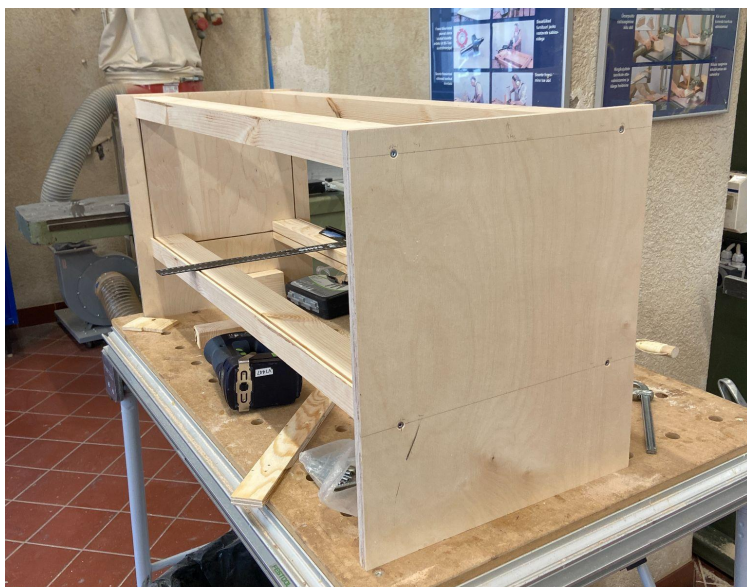


Foto 42. Voodijalutsi pingi konstruktsiooni toimivuse läbi proovimine

Puitkarkassi ühendamiseks kasutatakse konstruktorkruvisid ja puittüübleid. Istmeosa on konstrueeritud ilma tõmblukku ja takjapaela kasutamata, polsterdus on istmeplaadi külge kinnitatud teise pingutatud mööbliriidega. Pingi pesukasti külgede ja põhja viltplaadid kinnituvad puit detailidesse freesitud soonte abil. Istmeplaat on fikseeritud lehthingedega ja avamisnurk on fikseeritud fiksaatori abil. (vt fotod 43-44)



Foto 43. Voodijalutsi pingi prototüübi vaade



Foto 44. Voodijalutsi pingi prototüübi vaade avatult

Analüüsides voodijalutsi pinki leiab autor, et konstruktsiooniline lahendus ja materjalide kasutamine on toimiv. Vahetamist vajab istmeplaadi fikseerimiseks kasutatud fiksaator kuna prototüübil kasutatud variant vajub istmeosa tagasi alla pannes asendisse, mis

takistab selle sulgemist. Edasi arendamist vajab ka istme polstri kinnitamiseks kasutatud mööbliriie. Kuigi polstri ja selle katte saab näiteks pesemiseks või välja vahetamiseks kätte, ei ole võimalik pingutamiseks kasutatud mööbliriiet ilma hinge ja fiksaatori lahti kruvimiseta eemaldada.

Tootedisaini protsessi kaudu on otstarbe leidnud kõik varasemalt kaardistatud ettevõtete tootmisjäägid, kuid ümbertöötlemata kujul on võimalik kasutada vatiini ja sisupadja ümbrisena vilti. Porolooni kasutamiseks on vajalik materjali purustamine ja vildi väliskihis kasutamiseks tuleb suurendada materjali vastupidavust läbi termomehaanilise töötlemise. Toodete prototüüpimise eesmärk, testida materjalide kasutamise võimalusi ja lahenduste toimivust, on saavutatud, kuid tooted vajavad lõppkasutajani jõudmiseks varasemalt välja toodud kitsaskohtades edasi arendamist.

KOKKUVÕTE

Keskkonnasaaste probleem puudutab nii ettevõtteid, erinevaid ametkondasid, kui ka kõiki teisi elanikke. Kuigi tööstuste negatiivne mõju keskkonnale on üks suurimaid, suudab iga inimene oma harjumusi muutes anda panuse selle vähendamisele. Läbi võrgustike loomise ja ettevõtete koostöö on võimalik vähendada toormaterjalide kaevandamist ja importi ning pikendada juba olemasoleva materjali eluiga.

Ringmajandus ja selle ärimudelid on üks võimalus, kuidas luua jätkusuutlikumaid süsteeme ja lahendusi, kus toodete elueal tekkivad keskkonnamõjud on viidud minimaalseks. Ringmajanduse kahe peamise eesmärgi täitmiseks – minimeerida materjalide põletamist ning prügilatesse ladestamist ja vähendada toormaterjalide kaevandamist, peaks mööbli- ja tekstiilitööstus tooteid disainides rakendama ringmajanduse ärimudelite alamstrateegiaid. Oluline ei ole ainult see kui suur on tootmise keskkonnamõju, vaid toote kogu elutsükli läbimõtlemine.

Antud töö eesmärk, ringmajanduse ärimudelite alamstrateegiate rakendamine tootearenduses, on täidetud läbi tootmisjääkide eluea pikendamise ümbertöötlemise ja uue kasutusfunktsiooni leidmise kaudu. Tootmisjääkide puhul on see oluline samm, et materjali omadused vastaks tootes kasutamise nõuetele ja eesmärkidele. Ringdisainist lähtuvate lahenduste loomisel peaksid kasutatud materjalid olema üksteisest eraldatavad, et tagada detailide hooldatavus ja parandatavus. See pikendab ka toote eluiga – amortiseerunud detaili tõttu ei pea uut toodet ostma, vaid see on võimalik asendada uuega. Toodete disain lähtub materjali tootmisliinist, selle omadustest ja toodetava materjali mõõtudest, et minimeerida materjali lõikejääke ja kasutada materjali algsel kujul võimalikult suures mahus.

Mööbli- ja tekstiilitööstuses tekib suures mahus erinevaid tootmisjääke ja antud lõputöö raames kaardistatud kahe Eesti tootmisettevõtte peamised jääkmaterjalid on: vahtpolüuretaan ehk poroloon, erinevad tekstiili lõikejäägid, pakendamiseks kasutatud kile ja papp. Lõputöö raames prototüübiti koostöös ettevõttega Rethink Beds kaks lahendust,

voodipeats ja -jalutsi pink, mille puhul keskenduti vildi, vatiini ja porolooni tootmisjääkide kasutamisele ja anti tootearendusprotsessi kaudu ülevaate nende materjalide rakendamise võimalustest. Töö käigus formuleeritud praktilise osa eesmärk, disainida lahendus, mis vastaks ringmajanduse ärimudelite alamstrateegiatele, sai täidetud, kuid prototüübid vajavad edasiarendamist. Voodipeats vajab konstruktsioonilisi muudatusi selle stabiliseerimiseks ja voodijalutsi pink istmeplaadi fiksaatorite asendamist ning polsterduse kinnituslahenduse täiendamist. Diplomitöö praktiline väljund, populariseerida ringmajandust Eestis läbi ettevõtetevahelise koostöö, on sisuliselt saavutatud, kuna kõik töösse kaasatud ettevõtted on valmis edasiseks koostööks.

Lõputöö autori hinnangul on ettevõtete vaheline koostöö esimene, kuid oluline samm keskkonnasaaste probleemiga tegelemisel ja läbi materjalide ringluse on võimalik põletamist ja prügilatesse ladestamist vähendada. Antud töö näitab, et läbimõeldud tootedisaini kaudu on võimalik väärindada tootmisjääke, edendada koostööd erinevate ettevõtete vahel ja luua turule vajalikke tooteid.

SUMMARY

The aim of this thesis, *“The Use of Furniture and Textile Residue in Developing a New Product for Rethink Beds”*, is to provide an overview of the possibilities for reusing production residues in the furniture and textile industries, using two Estonian manufacturing companies as case studies, and to promote a circular economy through inter-company collaboration.

Manufacturing waste in the European Union is about 10% of the total waste volume, amounting approximately 166.3 million tonnes of waste per year. Although from the 1st of January, 2025 it is mandatory to collect textile waste separately, the volume of that waste exceeds the capacity to sort and recycle the materials collected within Europe.

The global textile and fashion industry produces over 92 million tonnes of textile waste annually, much of which ends up in landfills or incinerators. Because of that, the industry is responsible for producing about 7% of worldwide greenhouse gases.

In the furniture industry, there are three main types of production residues: wood and wood composites, textiles, and polyurethane foam. A common practice is to burn the wood residues and sawdust to generate heat for buildings. The more problematic waste is polyurethane foam, which is difficult to recycle. Globally, only 29.5% of polyurethane foam is recycled, 39.5% is incinerated for energy production, and 30.8% ends up in landfills. Several challenges make it difficult to transform the furniture industry to be more sustainable. The main obstacles include the use of low-quality materials, a decrease in hardwood and metal furniture manufacturing, and shortcomings in product lifetime.

This thesis presents the circular economy as one potential solution to improve the sustainability of these industries and to address environmental issues. The circular economy's main value lies in extending material lifetime and reducing the volume of materials sent to landfills or incineration.

Through an analysis of the production lines of Rethink Beds and Paragon Sleep, the author mapped out three problematic materials:

1. **Polyurethane foam**, also known as PU foam, previously mentioned as a major issue in the furniture industry. The specific type known as PU foam skin, which has a harder surface on one side, is particularly challenging to repurpose.
2. **Needle-punched felt** is used as one of the internal layers in soft furniture and also in construction materials.
3. **Wadding** is produced for soft furniture manufactures and also used as a filtration material in ventilation systems.

The author applied a design ideation method called “Crazy 8s” to generate product ideas that would use as much of the material residue as possible. The two ideas that arose from others were a bed headboard and a footstool, both made from ply-, hardwood and mapped out materials from the cooperation partners. The goal was to include as many circular economy strategies into the product design as possible. The design criteria derived from those strategies are the following:

1. **Resource- and energy-efficient production** which is important in order to use diminishing natural resources rationally. The goal is to achieve the greatest possible value with the lowest material consumption.
2. Product **reconstructability** allows **maintenance and repair**, even if a structural component of the product becomes unusable.
3. Using **mono-materials** and materials that can be **easily separated** focuses on processing materials at the end of the product's life cycle with lowest cost possible.
4. **The durability of the product's construction and high-quality materials** ensure the longest possible service life.
5. The **versatility of products** means that the material or solution can be used in different products. This potentially means that fewer materials and products are left unused in the company's warehouse, as the product can be adapted to different needs.

As a result, both prototypes are clue-free and composed entirely from interchangeable parts, making them easy to repair and maintain. Prototyping was successful in achieving the intended purpose, though some improvements are necessary– enhancing the structure stability of the bed headboard and increasing the user comfort when maintaining the parts of the footstool.

The objective of the thesis, to promote the circular economy in Estonia through collaboration between companies, has been essentially achieved, as all the companies involved in the project are open to continue the cooperation. In the author's view, this is a crucial first step in addressing the issue of environmental pollution. Promoting material circulation between companies is one way to elongate materials' lifetime. The thesis shows how elaborate design can add value to production residue, accelerate cooperation between companies, and create valuable products for the market.

KASUTATUD ALLIKAD

Alkranel. (2017) Jäätmete ringlussevõtuks ettevalmistamise ja ringlussevõtu parimate praktikate kaardistus.

https://kik.ee/sites/default/files/jaatmete_ringlussevotuks_ettevalmistamise_ja_ringlussevotu_parimate_praktikate_kaardistus_0_0.pdf

Brown T. (13.06.2022) *Do you need a headboard with your bed?* Kasutatud 19.04.2025

<https://thebedconsultant.com/headboards/do-you-need-a-headboard/>

Charter M. (2019) *Designing for the Circular Economy*. London: Routledge

Circularity Gap Report. (2023) *The Circularity Gap Report 2023*.

<https://www.circularity-gap.world/2023>

Environment programme. (07.02.2025) *Sustainable fashion to take centre stage on Zero Waste Day*. Kasutatud 25.04.2025

<https://www.unep.org/technical-highlight/sustainable-fashion-take-centre-stage-zero-waste-day>

Euroopa Komisjon. (i.a) Kestlike toodete ökodisaini määrus. Kasutatud 19.04.2025

https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation_en?prefLang=et&etrans=et

Eurostat. (2024) *Waste statistics*. Kasutatud: 12.03.2025

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics

FabBRICK. (i.a) Kasutatud 19.03.2025

<https://www.fab-brick.com/en>

Filho W. L., Perry P., Heim H., Dinis M. A. P., Moda H., Ebhuoma E., Paço A. (05.09.2022) *An overview of the contribution of the textiles sector to climate change*. Kasutatud 24.04.2025

<https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2022.973102/full>

Furn 360. (2018) *Circular Economy in The Furniture Industry: Overview of Current Challenges and Competences Needs*.

<https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/circular-economy-in-the-furniture-industry.pdf>

Gama N., Godinho B., Madureira P., Marques G., Barros-Timmons A. ja Ferreira A. (2024) *Polyurethane Recycling Through Acidolysis: Current Status and Prospects for the Future*. Kasutatud: 07.03.2025

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-024-03278-6>

Global Footprint Network. (2025) *Country Overshoot Days 2025*.

<https://overshoot.footprintnetwork.org/newsroom/country-overshoot-days/>

Keskkonnaagentuur. (2023) Ettevõtete jäätmete aastaaruandlus. Riigi tasandi jäätmearuandluse statistika. Kasutatud: 20.03.2025

<https://keskkonnaportaal.ee/et/avaandmed/ettevotete-jaatmete-aastaaruandlus>

KIUD. (i.a) Kasutatud: 19.03.2025

<https://kiud.io/et/meist/>

Kliimaministeerium. (2025) Liigiti kogumine. Kasutatud 14.04.2025

<https://kliimaministeerium.ee/liigitikogumine>

Korol K. (2015) Lubage tutvustada – poliüuretaan! Kasutatud 25.03.2025

<https://blog.erm.ee/?p=7137>

Moora H., Aus R., Varov I., Peterson M. K. ja Kuldna P. (2024) Tekstiili ringlussevõtu tehnoloogiate uuring ja analüüs.

<https://www.sei.org/projects/tekstiili-ringlussevotu-tehnoloogiate-uuring-ja-analuus/>

Paragon Sleep. (i.a) Kasutatud: 19.03.2025

<https://paragonssleep.com/ettevottest/>

Plamus T., Worth K. ja Mäe T. (2021) Eesti ringmajanduse tulevikupotentsiaali ja vajalike meetmete uuring. Lisa 3 - tekstiilitööstus.

<https://ringmajandus.envir.ee/sites/default/files/Tekstiilit%C3%B6%C3%B6stus.pdf>

Ringmajandus. (i.a) Euroopa Liidu ringmajanduse pakett. Kasutatud: 03.14.2025

<https://ringmajandus.envir.ee/et/euroopa-liidu-ringmajanduse-pakett>

Stevenson H. (21.06.2019) *How to run a Crazy eights workshop*. Kasutatud: 18.04.2025

<https://blog.prototypr.io/how-to-run-a-crazy-eights-workshop-60d0a67b29a>

Tarmeko. (i.a) Martindale - mis see on ja kuidas seda testida? Kasutatud: 24.05.2025

<https://tarmeko.ee/artiklid/martindale-mis-see-on-ja-kuidas-seda-testida>

Tiido M. ja Kalle K. (2023) Ringmajanduse põhimõtted ja olemus.

<https://teemearasihtasutus.ee/wp-content/uploads/2023/09/1.-Ringmajanduse-olemus-ja-pohimotted.pdf>

Tiido M. ja Kaljula P. K. (2023) Rae vallas tegutsevate ettevõtete ringmajanduspotentsiaali kaardistamine.

<https://www.rae.ee/documents/823239/39804085/Rae+valla+ettev%C3%B5tete+ringmajanduse+tegevuskava+%284.osa%29.pdf/167a36b0-2b33-4dbf-8c71-27aa6dc54a8e>

Tsenter. (2021) Mida tehakse Saksamaal puidu- ja mööblitööstuse jääkidega? Kasutatud: 12.03.2025

<https://tsenter.ee/uudised/mida-tehakse-saksamaal-puidu-ja-mooblitoostuse-jaakidega>

Wautelet T. (2018) *Exploring the role of independent retailers in the circular economy: a case study approach*. eufom European University for Economics & Management A.s.b.l. Luksemburg. [Magistritöö]

https://www.researchgate.net/publication/323809440_Exploring_the_role_of_independent_retailers_in_the_circular_economy_a_case_study_approach