

Getter Metsallik

**TEKSTIILIJÄÄTMETE SORTIMISE  
LAHENDUSE LEIDMINE ETTEVÕTTELE  
RAGN-SELLS AS NÄITEL**

LÕPUTÖÖ

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut

Keskkonnatehnoloogia ja -juhtimine

Juhendaja: Monica Vilms, *PhD*

Tallinn 2026

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Getter Metsallik

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Tekstiilijäätmete sortimise lahenduse leidmine ettevõttele Ragn-Sells AS näitel

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

### **Autorideklaratsioon**

Mina, Getter Metsallik

tõendan/tõendame, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

*(allkirjastatud digitaalselt)*

Juhendaja Monica Vilms

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

*(allkirjastatud digitaalselt)*

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	4
1 TEKSTIILIJÄÄTMED .....	6
2 TEKSTIILIJÄÄTMETE KOGUMINE .....	8
3 TEKSTIILIJÄÄTMETE KÄITLEMINE .....	11
4 TEKSTIILIJÄÄTMETE SORTIMINE.....	13
4.1 Manuaalne sortimine .....	13
4.2 Poolautomaatne sortimine .....	14
4.3 Automaatne sortimine .....	15
5 FINANTSNÄITAJAD TASUVUSE HINDAMISEKS .....	17
6 METOODIKA.....	19
7 TULEMUSED .....	21
7.1 Tekstiilijäätmed jäätmejaamas.....	21
7.2 Tekstiilijäätmed tootmisettevõttest.....	24
7.3 Tekstiilijäätmed teise ringi kauplustest.....	25
7.4 Hetkeolukord ettevõttes Ragn-Sells AS .....	26
7.5 Finantskalkulatsioon .....	26
8 JÄRELDUSED .....	32
KOKKUVÕTE .....	33
SUMMARY.....	34
VIIDATUD ALLIKAD.....	35
Lisa 1. Tööjuhise keelemudelile ChatGPT .....	38

## SISSEJUHATUS

Tekstiilitööstust loetakse üheks saastavaimaks tööstusharuks [1]. Euroopa tarbimismustrite vaatepunktist on tekstiilidel keskmiselt neljas suurim negatiivne keskkonna- ja kliimamõju kogu nende elutsükli jooksul, jäädes alla vaid toidu-, eluaseme- ja liikumisvaldkonna mõjudele [2]. Tootmise osaks on suur energia, vee, kemikaalide ja toitainete tarbimine [1]. Samuti suurenevad mõjud maa-aladele, mida kasutatakse näiteks puuvilla kasvatamiseks [1]. Lisaks tekitavad tarneahela ja jaemüügi etapid nii transpordiga seotud heitmeid kui pakendijäätmeid [2].

Statistikaameti andmebaasi andmetel tekkis Eestis 2022 aastal kokku 3064 tonni tekstiilijäätmeid, nendest 409 tonni pärines kodumajapidamisest [3]. Kasvav rõivaste korduskasutamise trend aitab teatud määral vähendada riide- ja tekstiilijäätmete hulka [4]. Samas tuleb meele pidada, et ka korduskasutusse jõudnud rõivad kuluvad lõpuks ära ja muutuvad omakorda jäätmeteks [4]. Eestis kehtib ringmajandust toetav seadusandlus, mis näeb ette tekstiilijäätmete liigiti kogumise kohustuse ning keelab nende ladestamise ja põletamise [5]. Selline õiguslik raamistik suurendab survet arendada toimivaid ja efektiivseid tekstiilijäätmete sortimis- ja ringlussevõtulahendusi. Ilma sortimis- ja ringlussevõtusüsteemide ulatusliku laiendamiseta eksisteerib risk, et suur osa tekstiilijäätmetest suunatakse ka edaspidi põletusse, prügilasse või eksporditakse kolmandatesse riikidesse [6]. Valdonna arengu jälgimiseks ning tulevikueesmärkide seadmiseks on oluline ühtlustada tekstiilijäätmete definitsioonid ja muuta kohustuslikuks kasutatud tekstiilide ning tekstiilijäätmete koguste ja käitlusviiside regulaarne raporteerimine [6].

Eriti aktuaalne on teema nende ettevõtete jaoks, kes tegelevad nii kodumajapidamisest pärinevate kui ka tootmisettevõtete tekstiilijäätmete kogumisega. Olme- ja tööstusjäätmed erinevad nii kvaliteedi, ühtluse kui ka ringlussevõtu võimalikkust mõjutavate tegurite poolest, mis tähendab, et sortimisprotsess peab olema paindlik ja kohandatav. Ettevõtte peavad leidma sortimislahenduse, mis vastab õiguslikele nõuetele, võimaldab jäätmeid maksimaalselt väärtustada ning on samal ajal majanduslikult tasuv.

Üheks võimalikuks viisiks sortimise efektiivsemaks muutmisel on sortimisliini rajamine. Oluline on hinnata, milline lahendus sobib kõige paremini ettevõtte hetkeseisu, jäätmevoos iseloomu ning tulevikuvaadetega. Finantskalkulatsioon annab võimaluse hinnata nii alginvesteeringut kui ka pikas perspektiivis tekkivaid kulusid ja sääste.

Töö eesmärgiks oli leida ettevõttele sobiv tekstiilijäätmete sortimislahendus. Töö eesmärgi täitmiseks püstitati järgmised uurimisküsimused:

- Millised on peamised takistused tekstiilijäätmete kogumisel ja käitlemisel?
- Millised erinevad lahendused eksisteerivad tekstiili sortimiseks?
- Kas tekstiilijäätmete sortimisliini rajamine on ettevõttele majanduslikult põhjendatud, arvestades olemasolevaid sortimislahendusi?

# 1 TEKSTIILIJÄÄTMED

Tekstiilijäätmed oma definitsiooni poolest on kasutatud või soovimatud materjalid, mis tekivad, kiudude, tekstiilide ja rõivaste tootmisel ja kasutamisel. Üldiselt liigitatakse need tarbijaeelseteks, tarbijajärgseteks ja tööstusjäätmeteks. Tarbijaeelsete jäätmete all mõeldakse kiudmaterjalide tootmise kõrvalprodukti ning seda peetakse puhtaks jäätmeks. Tarbijaeelsete tekstiilijäätmete alla kuuluvad ka müümata ja tagastatud kaup. Tarbijajärgseteks tekstiilijäätmeteks loetakse riideid, mis on ära visatud, ning kodutekstiili nagu padjapüürid, voodilina ja rätikud, mida ei soovita enam kasutada, sest need on kulunud. Tööstuslikeks tekstiilijäätmeteks loetakse jäätmeid, mis võivad pärineda kaubandus- ja tööstusallikatest. Taolised jäätmed tekivad kiudude, lõngade, kangaste ja riiete tootmisel ja nende kiudude koostis ning tootmisel kasutatud värvid ja kemikaalid on tavaliselt teada. [7]

Vastavalt jäätmete raamdirektiivile muutub tekstiil jäätmeks kui selle valdaja viskab tekstiilitoote ära, kavatseb seda teha või on sunnitud seda tegema. Kuid see, millal või millisel etapil tekstiilid jäätmeteks muutuvad, võib erineda sõltuvalt sellest, kuidas seda määratlust riiklikus seadusandluses tõlgendatakse või rakendatakse. Küsimustikust, mille viis läbi Euroopa teemakeskus ringmajanduse ja ressursikasutuse alal, saadud vastuste põhjal saab väita, et enamused riigid peavad tekstiili jäätmeks alates hetkest, mil see jõuab tänaval asuvasse kogumiskonteinerisse, korjatakse kokku (ukselt-uksele) või viiakse jäätmejaama. [8]

Kui inimesed viivad oma jäätmed jäätmejaama oodatakse neilt tekstiilijäätmetena [9]:

- Kasutuskõlbmatuid riideid;
- Kasutuskõlbmatuid jalanõusid;
- Kasutuskõlbmatuid aksessuaare;
- Kasutuskõlbmatuid kodutekstiile;
- Kasutuskõlbmatuid tekstiilist valmistatud mänguasju.

Tekstiilijäätmetena ei oodata jäätmejaamades [9]:

- kasutuskõlblikuid esemeid, mida on võimalik uuesti kasutada;
- suuri vaipu, madratseid, tekstiilist mööblit;
- elektroonikat sisaldavad jäätmed (nt hääli tegevad ja vilkuvad mänguasjad);
- õliseid, niiskeid, märgasid, tugeva lõhnaga, hallitanud, kopitanud, koitanud või värviga määrdunud riideid;
- hügieeniga seotud kasutatud riideid (nt aluspesu, sukapüksid ja sokid).

Tekstiilid ning seega ka tekstiilijäätmed ei koosne puhtast kiust vaid on sageli segu looduslikest ja sünteetilisest polümeersest materjalidest. Segatekstiilijäätmed vajavad enne taaskasutusse suunamist kulukat sortimist ja eraldamist, et vältida soovimatute materjalisegude teket lõpp-produktides. Erinevate kiudude samaaegne esinemine ühes tekstiilmaterjalis kujutab aga märkimisväärselt takistust mehaanilisele eraldamisele ja ringlussevõtutehnoloogiate rakendamisele. [10]

Kuigi tekstiilitootmise ja -tarbimise keskkonnamõju on märkimisväärne, on tekstiilijäätmeid hakatud käsitlema ja reguleerima jäätmevaldkonna osana alles viimastel aastatel. Antud olukorraga kaasneb vajadus uurida, kuidas leida jäätmekäitluses tekstiilile keskkonnasõbralikum lahendus. Ehkki tekstiilijäätmed moodustavad jäätmetes väiksema osa, on nende tootmisest tulev keskkonnamõju kaaluühiku kohta väga kõrge. Mistõttu on tekstiilide keskkonnajalajälje vähendamise potentsiaal märkimisväärne ka siis, kui jäätmekogused on väikesed. [1]

„Euroopa Liidu strateegia jätkusuutlike ja ringlusessevõetavate tekstiilide jaoks“ seab eesmärgiks muuta kogu tekstiilisektor keskkonnasäästlikumaks ning vähendada tekstiilijäätmete teket ja negatiivset mõju. Põhieesmärgiks on tagada aastaks 2030 Euroopa Liidu turule lastud tekstiilitoodete vastupidavus, parandatavus ja ringlussevõetavus. Lisaks sisaldaksid tekstiilitooted märkimisväärses osas kasutatud materjale. [11]

Euroopa Parlament ja nõukogu saavutas esialgse kokkuleppe jäätmete raamdirektiivi muutmiseks. Muudatuste kaudu suurendatakse kestlikkust ettevõtjate ja tarbijate jaoks, lisaks ühtlustatakse kasutatud tekstiili ja tekstiilijäätmete ühtset turgu. Muudatuse läbinud raamdirektiivi tulemusena kehtestab iga liikmesriik tekstiilitoodete ja jalatsite jaoks oma laiendatud tootjavastutuse süsteemi. Selle tulemusena panustavad tekstiilitoojad kasutatud tekstiilitoodete ja -jäätmete käitlemisse. Tootjatel on soov luua kauem vastupidavaid tekstiilitooteid, mida on lihtsam korduskasutada, parandada ja ringlusse võtta, sest vastutavad müüdavate toodete eest toodete kasutuse lõpul. [12]

Antud reeglitega loodetakse, et väheneb ka tekstiilijäätmete ebaseaduslik eksport [12]. Direktiiv defineerib eraldi jäätmed ja korduvkasutatava tekstiili ning kohustab kasutatud tekstiili sortima enne eksportimist [12]. Juurde on pandud nõue garanteerimaks, et tekstiilijäätmeid eksporditakse vaid juhul, kui neid on võimalik käidelda keskkonnasäästlikul viisil [12]. Raamdirektiivi muudatused tuleb Eesti õigusesse üle võtta 2027. aastaks ning tootjavastutus rakendub hiljemalt 2028.aastal. [13]

## 2 TEKSTIILIJÄÄTMETE KOGUMINE

Praegu jõuab alla 1% rõivatootmises kasutatavast materjalist ümbertöötlusesse uute rõivaste valmistamiseks ning käitluspraktika, kus tekstiilist saab uus tekstiil, seisab endiselt silmitsi märkimisväärsete väljakutsetega. Lisaks tehnoloogilistele uuendustele, automaatse sorteerimise ja keemilise ringlussevõtu näol, on toimiva tarneahela olemasolu eeltingimuseks nende lahenduste laiemale rakendamisele. Toimiv tarneahel on üks peamisi tegureid, mis aitab suurendada nii jätkusuutlikkust kui majanduslikku elujõulisust kujunevas tekstiilist-tekstiili ringlussevõtu tööstuses. Taolisi võimekusi on vaja kulutõhususe ja vajaliku infrastruktuuri tagamiseks koos jäätmete kogumise ja sorteerimisega. Ringlussevõtu protsesside edukuse üheks võtmeteguriks peetakse tooraine kättesaadavust, mis omakorda eeldab toimivaid kogumise, sortimise, transpordi ja varude haldamise süsteeme, et pakkumine ja nõudlus oleksid tarneahelas kooskõlas. [14, lk 1-2]

2020. aastal Euroopa Liidus tekkinud ligikaudu seitsmest miljonist tonnist tekstiilijäätmetest moodustas suurema osa (82% osakaaluga) tarbimisjärgne ehk riiete ja kodutekstiilide järel tekkiv jäätmevoog [6]. Liikmesriikide tasandil on siiski vähe teavet selle kohta, kui suure osa moodustavad jaemüügielastis tekkivad tarbijaelsed tekstiilijäätmed [6]. Vähesed ettevõtted avaldavad andmeid müümata varude kohta ning olemasolevad numbrid põhinevad peamiselt ettevõtte enda aruannetele, mis sageli ei ole täielikult läbipaistvad [15]. Hinnanguliselt läheb Euroopa Liidus hävitamisele 4-9% kõigist turule lastud tekstiilidest veel enne nende kasutuselevõttu [15]. See vastab ligikaudu 264 000 kuni 594 000 tonnile tekstiilile [15].

Lisaks veebimüügi tagastustele tekib Euroopas märkimisväärne hulk müümata tekstiili. Antud esemed ei jõua müügile ei veebiplatvormidel ega füüsilistes kauplustes. Müümata jäämist põhjustavad sageli kiiresti muutuvad moetrendid ning paljudest uutest disainidest, mis aasta jooksul turule tulevad. Tarbimise tugevad geograafilised erinevused muudavad müügi prognoosimise keeruliseks. Kiirmoe brändid eelistavad tihti suuremaid laoseise, et tagada kiire tarne ning vältida olukorda, kus nad ei suuda nõudlust katta ega teenida ootuspärast kasumit. Müümata jäänud tekstiilide tootmine, transport ja ressursikasutus avaldavad olulist kahjulikku mõju keskkonnale ja kliimale, seda just põhjusel, et need ei jõua kunagi tarbijani ning hävitatakse. [15]

Euroopa Liidu jäätmepoliitika raamistikku uuendati Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiviga (EL) 2018/851, millega muudeti varasemat jäätmete raamdirektiivi 2009/98/EÜ. Direktiiv (EL) 2018/851 rõhutab jäätmete hierarhia järgimise tähtsust ning seab sihte ringlussevõtu määra tõstmiseks liikmesriikides. Antud direktiivi artikkel 10

kohaselt võtavad liikmesriigid vajalikud meetmed tagamaks, et jäätmeid, mis on artikli 11 lõike 1 ja artikli 22 kohaselt kogutud liigiti ning mõeldud korduskasutamiseks ettevalmistamiseks ja ringlussevõtmiseks, ei põletata, välja arvatud jäätmed, mis tekivad liigiti kogutud jäätmete töötlemisel ja mille puhul on põletamine artikli 4 kohaselt keskkonna jaoks parim lahendus. Kui artikli 10 lõigetest 2 ja 3 ei tulene teisiti, seavad liikmesriigid sisse vähemalt paberi, metalli, plasti ja klaasi ning alates 1. jaanuarist 2025 ka tekstiili liigiti kogumise. [16]

Liigiti kogumise kohustus on rakendatud nii kasutuskõlblikule tekstiilile kui ka tekstiilijäätmetele [17]. Eestis on otsustatud, et kasutuskõlbmatute tekstiilide kokku kogumise eest vastutab kohalik omavalitsus [18]. Valdav osa omavalitustest võimaldab oma tekstiilijäätmed üle anda kohalikes jäätmejaamades. [18]

Euroopa Liidu tekstiilijäätmete eraldi kogumise määruse rakendamisega prognoositakse olmeallikatest kogutavate tekstiilide suurenemist. Samas võib kogutud esemete üldine kvaliteet langeda. Antud juhul võib piirata korduskasutuse potentsiaali ja suunata suurema osa materjali ümbertöötlemisse, mis on keskkonna seisukohalt vähem jätkusuutlik kui korduskasutus. [6]

Eestis on tekstiilijäätmete liigiti kogumise hetkeseis pigem keeruline. Olukorra parandamiseks on vajalik suurendada investeringuid ringlussevõtu tehnoloogiatesse, soodustada tekstiilesemete parandamist ja korduskasutamist, laiendada kogumispunktide arvu ja tõsta elanike teadlikkust. Tekstiilijäätmete eraldi kogumine võimaldab saada täpsema ülevaate nende tegelikust hulgast ning loob aluse tulevaste töötlemis- ja ringluslahenduste väljatöötamiseks. Kui tekstiilid jõuavad segaolmejäätmete hulka, kaob võimalus neid ringlusesse suunata juba algfaasis. Liigiti kogumine on oluline samm praegustes tingimustes, et tagada paremate lahenduste teke tulevikus. [19]

Eestis tarbitakse igal aastal elaniku kohta pea 12 kg uusi rõivaid. Kuna antud arvestuses puuduvad ostud välismaalt, võib tegeliku tarbimise prognoosida kuni 20% suuremaks. Kliimaministeeriumi andmetel koguti 2022. aasta seisuga liigiti ligikaudu 39% turule lastud rõivaste ja tekstiilide kogusest. Uuringu tulemusena on järeldatud, et rõivaste ja tekstiilide korduskasutuseks kogumine on kasvanud, paraku on nende kvaliteet langenud ning seetõttu korduskasutuskõlbmatute toodete osakaal suurenenud. Ühtlasi on täheldatud, et tekstiilijäätmete liigiti kogumine on viimasel aastal pigem vähenenud. [13]

Õues asuvad kogumispunktid saavad koguda suuremaid koguseid kasutatud tekstiile, kuid erinevalt siseruumides kogumisest on saasteoht märgatavalt kõrgem. Niiskete tekstiilijäätmete või vihmaveega saaste põhjustab sageli hallitust, mis omakorda muudab antud tekstiilid kogujale väärtusetuks. Kogumispunkte peetakse üldiselt kõige sobivamaks

kogumismeetodiks suurte koguste tekstiilide jaoks. Samuti mõjutavad protsessi ka muud tegurid, nagu asukoht, kogumise sagedus, konteineri tüüp, seisukord ja märgistamine. Lisaks on suur rõhk ka üldisel kommunikatsioonil seoses kasutatud tekstiilide kogumisega, et parandada kogust ja kvaliteeti. [8]

Inimeste käitumine ja harjumused mängivad väga mõjukandvat rolli kogumise tulemuslikkuses. Kodanikke ei saa võtta kui üksnes passiivseid poliitika vastuvõtjaid, vaid just nemad kujundavad aktiivselt tulemusi oma otsustega jäätmetekke ja -kõrvaldamise osas. Tekstiilijäätmete kogumahtu mõjutab otseselt inimeste individuaalne eluviis: kui tihti nad uusi riideid ostavad, kui sageli nad moetrendidega kaasa lähevad, ning kui palju nad oma rõivaid enne äraviskamist korduvkasutavad. Suur roll on ka inimeste jäätmete sorteerimisel ning vastutustundlikul kõrvaldamisel, mis mõjutab süsteemi üleüldist jätkusuutlikkust. Isegi, kui süsteem on hästi kavandatud, ei saa see toimida, kui inimesed on otsustanud tekstiilijäätmeid aktiivselt mitte sorteerida ja nõuetekohaselt ära visata. Sellel kõigel on seos isiklike väärtustega ja keskkonnateadlikkusega, kuid seda aitab kujundada süsteem ise poliitiliste stiimulite, infrastruktuuri kättesaadavuse, teenuste kvaliteedi ja sotsiaalsete mõjude (nt eakaaslaste käitumise, ühiste normide) kaudu. Kui kogumissüsteemide kujundamisel eiratakse inimkäitumise seotud tegureid, võib see viia selleni, et ka tehniliselt hästi toimivad kogumislahendused ei saavuta soovitud tulemusi. [20]

Selleks, et tekstiilijäätmete kogumissüsteem oleks tõhus, on oluline mõista ja ette näha tarbijate käitumismustreid. Tekstiilijäätmete tekke puhul on maht suures varieeruvuses, samuti on materjalide koostis ja tootetüübid ebaühtlased, see kõik kokku raskendab kogumislogistika optimeerimist. Lisaks nõudluse ja tarbimisharjumuste mõjutamisele, panustavad tarbijad ka toote pikaajalisusse oma kasutus-, parandus- ja hooldusharjumuste kaudu. Kui riideese jõuab oma eluea lõppu, sõltub edasine käsitlemine teadlikkusest, võimaluste kättesaadavusest ja inimeste motivatsioonist. Need tegurid määravad, kas riie leiab tee ringlusesse või satub lineaarsesse jäätmevoogu. [20]

### 3 TEKSTIILIJÄÄTMETE KÄITLEMINE

Jäätmekäitlus tugineb jäätmehierarhiale (Joonis 1), mis määratleb, millises järjekorras tuleks valida erinevaid jäätmekäitlusviise. Kõige olulisem on vältida jäätmete teket ning eelistada lahendusi, mis asuvad hierarhias kõrgemal. Prügilasse ladestamist käsitletakse kõige viimasena, sest see on keskkonnale kõige koormavam. Jäätmehierarhia eesmärk on vähendada jäätmekäitluse negatiivset mõju looduskeskkonnale. Ringmajanduses püütakse jäätmete hulka viia miinimumini ja hoida materjale ning tooraineid võimalikult pikalt kasutuses. [21]



Joonis 1 Jäätmehierarhia [21]

Korduskasutuskõlbmatutel tekstiilidel puudub Eestis töö kirjutamise ajal taaskasutus- või ümbertöötlemisvõimekus ning peamine käitlusviis on põletamine energia tootmiseks. Suur osa segaolmejäätmeid suunatakse Eestis põletusse, seega satuvad põletusse segaolmejäätmete hulgas olevad tekstiilijäätmed. Lisaks Eestile puuduvad Euroopas ringlusse suunamise lahendused. Sellegipoolest on oluline koguda tekstiilijäätmeid liigiti. [19] Tarbijate teadlikkus tekstiilijäätmete käitlemisest on üldiselt madalam kui teiste jäätmeliikide puhul, nagu paber, plast või klaas, mis omakorda raskendab tekstiilide efektiivset kogumist ja sortimist kogu väärtusahelas. [14, lk 2]

Erinevalt teistest materjalidest, nagu paber või klaas, on tekstiilide ringlussevõtu tarneahela peamised sidusrühmad hajutatunud ja killustunud, mis tekitab keerukust ning raskendab läbipaistvuse tagamist [14, lk 2]. Lisaks peetakse tekstiilist tekstiiliks ringlussevõtu tarneahelat ebaküpseks näiteks tehnoloogia kasutamise ja seotud standardite osas [14, lk 2]. Tekstiilijäätmete koostis on teistest materjalidest erinevalt

väga varieeruv [14, lk 2]. Neid iseloomustab suur mitmekesisus nii materjalide, kvaliteedi kui ka keemilise sisu osas [14, lk 2]. Kuna teatud funktsionaalsed omadused (nt venivus), esteetilised eesmärgid (nt trükid) või majanduslikud kaalutlused (nt looduslike kiudude segamine odavamate sünteetilisestega) seavad disainiprotsessis sageli ümbertöötlemisega arvestamise tahaplaanile [2]. Seetõttu kujundatakse tooteid viisil, mis ei soosi ringlussevõttu ning ligikaudu kolmandik tekstiilijäätmetest on sobimatud kiutasandil ümbertöötlemiseks [2]. Lisaks sisaldavad tekstiilijäätmed sageli erinevaid lisadetaile, nagu tõmblukud ja nõöbid, mis muudab jäätmete sortimise ja töötlemise märkimisväärselt keerukamaks [14 lk 2].

Kuigi materjalide ringlussevõtu ja korduskasutuse võimaldamine on tähtis, tuleks eelistada eluea pikendamise strateegiaid, nagu vastupidavusele suunatud disain ning lahendused, mis hõlbustavad taaskasutust, parandamist ja ümbertöötlemist. Ringdisain on tekstiilisektori ringmajanduslike ärimudelite oluline osa. See aitab tagada kõrgema kvaliteedi, pikema kasutusea, materjalide tõhusama kasutamise ning paremad võimalused toodete taaskasutuseks ja ümbertöötlemiseks. Tootedisainis tuleks arvesse võtta ka ohtlike kemikaalide vältimist ning toksiliste heitmete ja mikroplastiku eraldumise vähendamist kõigis toote elutsükli etappides. [2]

Eestis põlevkivi sektor võib pakkuda potentsiaali ka tekstiilijäätmete käitlemise arendamisel. Kuna Eesti põlevkivi tootjad on aastaid kasutanud pürolüüsil põhinevaid tehnoloogiaid, loob see eeldused sarnaste protsesside rakendamiseks ka teiste materjalide, sealhulgas tekstiili, töötlemisel. Olemasoleva tehnoloogilise baasi edasiarendamine võiks seega anda võimaluse tekstiilijäätmete suuremahuliseks keemiliseks ringlussevõtuks. [22]

## 4 TEKSTIILIJÄÄTMETE SORTIMINE

Kõikide tekstiilide taaskasutustehnoloogiate eelduseks on tekstiilijäätmete sortimine ja/või kvaliteedikontroll, et tagada edasine kasutamine taaskasutustehnoloogia jaoks. See, kui täpselt ja millisel tasemel tuleb sisendmaterjale kontrollida, sõltub otseselt taaskasutusprotsessi nõuetest ning määrab ka sortimise täpsuse. Sortimisprotsess võib oluliselt mõjutada nii taaskasutuse majanduslikke kui ka keskkonnavalasid kulusid, kuna mida puhtamalt (nt 100% puuvill) tekstiilid sorditakse, seda suurem on võimalus need edastada taaskasutusevõttele. Kasutatud tekstiilid sorditakse, et määrata nende edasine teekond, olgu selleks korduvkasutamine, ringlussevõtt, põletamine või prügilasse ladestamine. Sortimistehnoloogiad võib jagada kolme kategooriasse: manuaalne, poolautomaatne ning automaatne sortimine. [23]

Tuleviku ringmajanduse raames on Euroopas kasutatud tekstiilide töötlemisel võtmetähtsusega nii käsitsi kui ka täis- või poolautomaatne sortimine. Manuaalne sortimine on ja jääb oluliseks esmaseks sammuks, mille käigus tuvastatakse, eraldatakse ja klassifitseeritakse tekstiilid. Korduvkasutus on kasutatud tekstiilide töötlemisel nii keskkonna- kui ka majanduslikust vaatenurgast üks eelistatuid lahendustest ning lähiaastatel on käsitsi sortimine ainus praktiline viis, mis võimaldab tekstiile sobivalt sortida. Täis- ja poolautomaatsed sortimise lahendused on eelistatud meetodiks käsitsi sortimise käigus tekkivate jääkide töötlemisel ning samuti muude tekstiilijäätmete puhul millel puudub korduvkasutuse potentsiaal. [23]

### 4.1 Manuaalne sortimine

Manuaalset sortimist ei saa lugeda eraldi tehnoloogiaks, sest seda teostavad inimesed. Tavaliselt toimub see ilma tehnoloogiliste abivahenditeta, erandiks konveierid ning muud seadmed, mis aitavad materjali edasi kanda. Manuaalne sortimine on kõige laialdasemalt levinud sortimisviis Euroopas. Praegu ei ole korduskasutuseks mõeldud tekstiilide sortimine täielikult automatiseeritav ning samuti ei näe see lähiaastatel realistlikuna, et masinad suudaks hinnata ja eristada materjale nende funktsionaalsete kvaliteediomaduste järgi. Tööjõu kõrge maksumuse tõttu on käsitsi sortimine üldjuhul kulukam kui automaatne sortimine. Seetõttu rakendatakse seda eelkõige selliste tekstiilide puhul, millest märkimisväärne osa on tõenäoliselt korduvkasutatavad ja müügikõlblikud rahvusvahelistel korduvkasutusturgudel. [23]

Pärast kasutatud tekstiilide saabumist sortimiskeskusesse alustatakse käsitsi sortimist mittetekstiilse prügi eemaldamisega. Antud etapis eemaldatakse ühtlasi tekstiilid, mis on rikutud näiteks vihmavee, hallituse, õliplekkide või mõne muu saasteaine tõttu. Järgnevas

faasis sorditakse välja esemed, mis ei sobi korduskasutuseks, olgu see rebendite, kulumise, värvimuutuse või puudevate komponentide tõttu. Korduskasutuseks sobivad tekstiilid liiguvad seejärel kõige kogenenumate sortijate juurde, kes jaotavad need erinevatesse kategooriatesse. Kategooriate arv ning nende täpne iseloom varieerub sõltuvalt sortimisüksusest ning turunõudlusest. Mõnes ettevõttes eristatakse esemeid stiili, tüübi, värvuse, hooaja, sihtrühma ja seisukorra järgi, samas kui teised keskused lähevad veelgi detailsemaks ning sordivad esemeid ka materjali- ning kiukoostise alusel. Tänapäevased keemilise ja mehaanilise ümbertöötlemise lahendused nii suletud ahelaga (tekstiil uueks tekstiiliks) või avatud ahelaga (tekstiil mõneks muuks tooteks) eeldavad oluliselt puhtamaid materjalivooge. Seetõttu on vajalikud tehnoloogilised süsteemid, mis suudavad täpselt tuvastada tekstiilikiud ja nende koostist. Näiteks ei suuda käsitsi sortimisel eristada 70/30 ja 50/50 polüpuuvillasegusid. Selline teave on paraku kriitilise tähtsusega, et kohandada keemilise ringluse protsesse vastavalt materjalide tegelikule koostisele. [23]

## **4.2 Poolautomaatne sortimine**

Poolautomaatsena kirjeldatakse käsitsi sortimise vormi, mida toetavad spetsiifilised tehnoloogilised abivahendid. Tööpõhimõte sarnaneb täielikult manuaalse sortimisega, kuid sellele lisandub seadmeid, mis aitavad sortijal täpsemaid otsuseid teha (Joonis 2, lk 15). Siinkohal ei peeta silmas tavapäraseid automaatseid süsteeme, mis on tänapäeval levinud enamikus sortimistehastes näiteks tekstiilide transportimiseks ja pallimiseks. Poolautomaatika viitab pigem töövahenditele, mis toetavad otseselt kiutüübi ja materjalikoostise määramist korduskasutuse ja taaskasutuse eesmärgil. [23]

Poolautomaatse sortimise eelis automaatse sortimise ees on, et kvaliteetseks ümbertöötlemiseks vajalike materjalivoogude eristamine on võimalik integreerida samasse protsessi, millega tuvastatakse kasutuskõlblikud tekstiilid. See välistab vajaduse uue tööetapi ja täiendava sortimisüksuse järele, mis omakorda vähendab nii ruumikulu kui ka investeerimisvajadust. Siiski võib selline lahendus osutada kulukamaks kui lahus etappidel põhinev süsteem, kus korduskasutatavad esemed eraldatakse käsitsi ning ümbertöötlemiseks mõeldud materjalid käsitletakse automaatselt, kuna tööjõukulu hõlmab mõlemat tegevust korraga. [23]



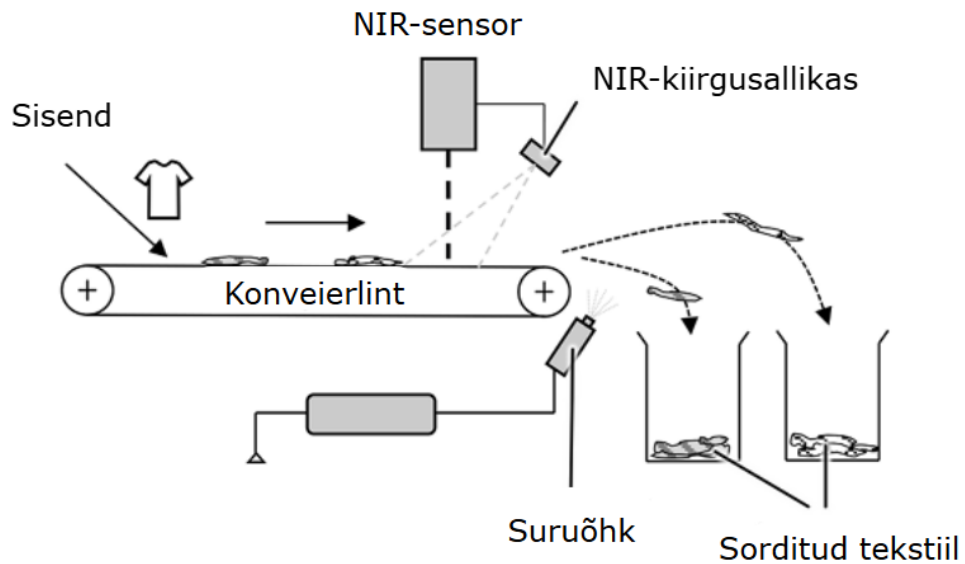
Joonis 2 Poolautomaatne sortimine [24], kohandatud

### 4.3 Automaatne sortimine

Automaatse sortimise süsteemid on mõeldud korduskasutuskõlbmatute jääkide eraldamiseks, mis pärinevad sortimise keskustest või kogutud tekstiilijätmetest, mille korduvkasutusepotentsiaal ja väärtus on madal. Eriti kehtib see uuenduslike, kas keemilise või mehaanilise meetodiga tekstiili ringlussevõtuprotsesside kohta, kus tekstiil suunatakse kas uueks tekstiiliks (suletud ring) või kvaliteetseks materjaliks teiste toodete valmistamisel (avatud ring). Sellised protsessid on tundlikud kõrvaliste materjalide suhtes, mistõttu on vaja tehnoloogilisi lahendusi, mis suudavad täpselt kindlaks teha kiudude tüübi ja koostise. Täisautomaatne sortimine võimaldab madalate kuludega ja suure täpsusega eraldada tekstiilijätmeid vastavalt nende materjalikoostisele, sobitumaks erinevate tootmisprotsesside vajadustega. Selliste tehnoloogiate arendustöö on kestnud juba aastaid ning need on jõudnud peaaegu tööstusliku rakenduse tasemele. [23]

Automaatse sortimistehnoloogia areng on avaldanud märkimisväärset mõju tekstiilide ringlussevõtu tarneahelale. Peamised kasutatavad tehnoloogiad on lähiinfrapuna (NIR) spektroskoopia (Joonis 3, lk 16), mis tuvastab materjalide kiudusid ja nähtava spektri (VIS) spektroskoopia, mis eristab värve. Lisaks majanduslikule kasule, mis tuleneb väiksemast käsitsi töö osakaalust kõrgema tööjõukuluga riikides, pakub automaatne sortimine täpsemat materjalide tuvastust võrreldes rõivaste hooldusetikettidel toodud

teabega. Seetõttu paraneb automaatse sortimise abil materjalide äratundmise täpsus, mida peetakse oluliseks eelduseks tekstiilide ringlussevõtu laiemaks rakendamiseks. Kasvav nõudlus ringlussevõtjate poolt on üks peamisi tegureid, mis ajendab investeerima automaatsetesse sortimissüsteemidesse. Seetõttu käsitletakse automaatset sortimist ja ringlussevõttu üha sagedamini koos, kuna nende arenguprotsessid on vastastikku sõltuvad. [14, lk 3]



Joonis 3 Tekstiilijäätmete sensoripõhise sortimise kontseptsioon [25, lk 9], kohandatud

## 5 FINANTSNÄITAJAD TASUVUSE HINDAMISEKS

Diskontomäärade olemasolu näitab, et tulevikus kättesaadav raha on tänases rahas vähem väärt kui sama summa nimiväärtus [26]. Juhul kui diskontomäär on kõrgem kui IRR (*Internal Rate of Return*), kujuneb NPV (*Net Present Value*) negatiivseks, mis viitab sellele, et projekt ei suuda katta vajalikke kapitalikuluseid ja pole seetõttu majanduslikult otstarbekas [27]. Kuigi mudelis võib diskontomäär püsida, muutub see tegelikkuses ja põhjustab investeringu reaalse väärtuse kõikumisi [26]. Risk ilmneb seetõttu, et nüüdisväärtuse arvutamisel kasutatakse eeldatavaid rahavooge ja diskontomäärade ning tegelike diskontomäärade kõikumine võib mõjutada lõpptulemust [26].

Neto nüüdisväärtus (NPV) näitab investeringu rahavoogude tänases väärtuses summat, millest on lahutatud tehtud kulud. Investeeringusid tehakse tuleks arvesse võtta vaid neid projekte, kus NPV on positiivne. [26] Tasuvuspunkti saavutamise aeg hindab kui kaua kulub investoril aega algselt tehtud investeringu summa tagasi teenimiseks [27].

Kapitalikulusteks (CapEx) nimetatakse ettevõtte makseid pikaajaliste materiaalse pöhibarade soetamiseks, mida kasutatakse ettevõtte igapäevastes tegevustes. Sellised kulutused ei kajastu kohe kasumiaruandes kuluna, vaid kantakse bilanssi varana, sest neid käsitletakse ettevõtte investeringuna oma tegevuse laiendamisesse ja tulevase kasu saavutamisesse. Kapitalikulused on ettevõttele olulised, sest võimaldavad neil kasvada ja säilitada oma tegevusvõimekust investeerides uutesse pöhibaradesse (nt kinnisvarasse, seadmetesse ja tehnoloogiasse) ning uutesse toodetesse. Finantsanalüütikud ja investorid jälgivad kapitalikuluseid tähelepanelikult, kuna need ei kajastu esialgu kasumiaruandes, kuid võivad oluliselt mõjutada ettevõtte rahavooge. Kapitalikulustel on organisatsiooni finantsseisundile ulatuslik mõju nii lühi- kui ka pikaajaliselt. Seetõttu on CapEx-i puudutavad otsused ettevõtte majandusliku jätkusuutlikkuse seisukohalt väga olulised. [28]

Arvestades NPV mõningaid puuduseid, kasutatakse sageli alternatiivina sisemise tasuvusmäärade (IRR-i) meetodit. IRR aitab määrata kui kasumlik on konkreetne investeringuprojekt. Sisemine tasuvusmäär on diskontomäär, mille abil kõik projekti rahavood (sissetulekud ja väljaminekud) kokku arvestatuna annavad neto nüüdisväärtuseks nulli. Kui projekti IRR ületab projekti kapitalikulu, tekib positiivne NPV ning projekt on investeringuvääriline. [26]

IRR suudab hinnata ka investeringuprojekti riskitaluvust, mida NPV ei suuda. Kapitaliturul esineb riske kõikjal, sest turg võib kiiresti muutuda ning sellega kaasa tuua ebakindluse

investorile. IRR aitab määrata maksimaalset kapitalikulu (nt kulum või inflatsioon), mida projekt suudab taluda, et olla kasumlik. [26]

IRR ja diskontomäära vahet võib peegeldada projekti riskitaluvust. Mida suurem on IRR ja diskontomäära vahe, seda paremini suudab projekt riske taluda ja seda turvalisem see on. IRR annab investorile määra, mille abil saab võrrelda erinevaid projekte, mille algkapitalid on erinevad. Mida kõrgem on IRR, seda suurem on projekti tootlus sama algkapitali puhul. [26]

## 6 METOODIKA

Uurimuse usaldusvääruse ja tulemuste kindluse tagamiseks koguti ja analüüsiti andmeid ainult kontrollitud, kvaliteetsetest ja asjakohastest allikatest. Allikate hulka kuulusid riiklikud andmebaasid (nt Statistikaamet), valdkonda käsitlevad veebilehed, teemaspetsiifilised aruanded ning ka teadusartiklid, mis andsid mitmekülgse ülevaate uuritavast teemast ning tagasid, et kogutud andmete põhjal tehtud järeldused põhinevad usaldusväärusel ja laiapõhjalisel informatsioonil.

Lõputöö üheks osaks oli jäätmejaamade külastus, et saada visuaalne ülevaade tekstiilijäätmetest. Samuti võeti igas jäätmejaamas 20 kg tekstiilijäätmeid, seejärel jaotati need materjalide kaupa erinevatesse kategooriatesse ja kaaluti vastavad kategooriad. Sellega loodi ülevaade, mis materjalid jäätmejaamades domineerivad. Külastati Paljassaare, Rahumäe, Pärnamäe ja Pääsküla jäätmejaama ning Lilleküla ringmajanduskeskust. Otsustati just nende jäätmejaamade kasuks, sest Tallinna elanikud moodustasid 2022 aastal 33 % Eesti rahvastikust [29]. Seega tuli märkimisväärne osa tekstiilijäätmetest just tallinlastelt. Jäätmejaamasid külastati vahemikus 2.- 6. märts 2025. Vaatlusalusel perioodil ei olnud Lilleküla ringmajanduskeskusest võimalik andmeid koguda, kuna konteiner oli eelnevalt tühjendatud.

Jäätmejaamadest kogutud materjalid jagati järgnevatesse kategooriatesse:

- sildita/loetamatu silt,
- puuvill,
- vill,
- polüester,
- akrüül,
- viskoos,
- puuvillasegu,
- polüestersegu,
- polüamiidsegu,
- viskoossegu,
- nailonsegu.

Lõputöös mõistetakse segu all kangaid, milles loetletud kiud (puuvill, polüester, polüamiid, viskoos ja nailon) moodustavad üle 50% koostisest. Antud materjalitüübid on kõige levinumad, mistõttu osutusid need analüüsi valimiks.

Kvalitatiivse andmekogumise meetodina kasutati poolstruktureeritud intervjuud Ragn-Sells AS käitluse arendusjuhi Mihkel Ulmiga. Intervjuud viidi läbi kahes etapis: suuline

intervjuu toimus 2025. aasta märtsis ning täiendav elektrooniline intervjuu 2025. aasta juulis. Intervjuude eesmärgiks oli koguda teavet tootmisettevõtetest pärinevate tekstiilijäätmete olukorra ning ettevõtte tegevuse ja arengusuundade kohta tekstiilijäätmete valdkonnas.

26. märtsil 2025 võeti elektroonilise kirja teel ühendust kolme Eestis tegutseva teise ringi kauplusketiga: Uuskasutuskeskus, Sõbralt Sõbrale ja Humana. Uurimusse kaasati nimetatud teise ringi kauplused, kuna tegemist on Eesti kõige tuntumate ja suurima tegevusmahuga teise ringi kaupluskettidega. Uuringu eesmärk oli välja selgitada, kui suur on nende kaupluste tegevuse käigus tekkiv tekstiilijäätmete kogus, mida nad jäätmekäitlejatele üle annavad. Vastused saadi Uuskasutuskeskuse protsessijuhilt Kärt Puusepalt, Sõbralt Sõbrale logistika- ja operatsioonijuhilt Miikael Kibuspuult ning Humana infojuhilt Mari-Helene Kaberilt. Täiendava ülevaate saamiseks sortimisprotsessidest külastati 13. mail 2025 Humana sortimiskeskust.

Lõputöö koostamisel kasutati abivahendina tehisintellektil põhinevat keelemudelit ChatGPT (OpenAI). Keelemudelit kasutati finantsanalüüsi toetava tööriistana tekstiilijäätmete sortimisliini rajamisega seotud stsenaariumite, finantskalkulatsiooni struktuuri ning investeringu tasuvusanalüüsi väljatöötamiseks. Keelemudelile ChatGPT (OpenAI) esitati tööprotsessi käigus esmalt detailne tööjuhised finantskalkulatsiooni koostamiseks, mille tulemusel töötati välja kolm tehnoloogilist stsenaariumit (manuaalne, poolautomaatne ja automaatne sortimisliin) koos vastavate kulude ja tuludega. Sama sisendandmestiku ja stsenaariumite põhjal kasutati keelemudelit seejärel investeringu tasuvusnäitajate arvutamiseks. Täispikk keelemudelile antud tööjuhised on esitatud antud lõputöö lisas (Lisa 1).

## 7 TULEMUSED

### 7.1 Tekstiilijäätmed jäätmejaamas

Analüüsitud tekstiilijäätmete proovide põhjal saab teha ülevaate, milline on Tallinna jäätmejaamadesse jõudva tekstiili tegelik materjali koostis (Tabel 1). Neljast jäätmejaamast kogutud andmed viitavad selgelt sellele, et suurim osa eraisikute poolt ära antavatest tekstiilidest on sildita või loetamatu sildiga. Need moodustasid 54,4% kogu massist, mis tähendab, et üle poole tekstiilijäätmetest saabub jäätmejaamadesse ilma tuvastatava märgistusega. Materjalimärgistuse puudumine piirab ringlussevõtu võimalusi ning teeb keeruliseks kiudude kvaliteedipõhise töötlemise manuaalse sortimise korral. Samuti võib antud olukord olla otsene viide tarbimiskäitumistele. Tekstiile antakse sageli alles siis, kui need on kulunud või kahjustunud määral, mis muudab siltide loetavuse säilimise ebatõenäoliseks.

Tabel 1. Materjalide kogused jäätmejaamades

<b>Materjal</b>	<b>Rahumäe kogus, kg</b>	<b>Pääsküla kogus, kg</b>	<b>Paljassaare kogus, kg</b>	<b>Pärnamäe kogus, kg</b>	<b>Osakaal kogu massist, %</b>
Sildita/loetamatu silt	9,65	10,55	14,85	8,50	54,4
Puuvill	1,65	1,55	0,95	7,00	13,9
Vill	0,35	0,00	0,00	0,00	0,4
Polüester	1,5	0,15	0,70	2,50	6,1
Akrüül	0,95	0,00	0,70	0,00	2,1
Viskoos	0,00	0,00	0,70	0,00	0,9
Puuvillasegu	3,40	6,75	1,20	1,50	16,1
Polüestersegu	1,25	1,00	0,20	0,30	3,4
Polüamiidsegu	0,30	0,00	0,00	0,20	0,6
Viskoossegu	0,45	0,00	0,70	0,00	1,4
Nailonsegu	0,50	0,00	0,00	0,00	0,6
<b>Kokku</b>	<b>20,00</b>	<b>20,00</b>	<b>20,00</b>	<b>20,00</b>	<b>100</b>

Järgmise olulise rühma moodustavad looduslikud kiud ja nende segud. Puuvillased tekstiilid moodustasid 13,9% ning puuvillasegud 16,1% kogu kaalutud massist. See näitab, et kodumajapidamistest tekkivad tekstiilijäätmed on suures osas valmistatud kiududest, millel on potentsiaali nii korduskasutuseks kui ka mehaaniliseks ümbertöötlemiseks. Sünteetilistest materjalidest olid enim esindatud polüester ja akrüül. Sünteetiliste kiudude osakaal jääb küll alla looduslike kiudude ja segumaterjalide osakaalust, kuid siiski on

oluline nende olemasolu arvestada. Sünteetilised kiud vajavad ringlusesse suunamisel teistsuguseid tehnoloogilisi lahendusi ning võivad segumaterjalide koostises mõjutada taaskasutusprotsessi kvaliteeti.

Võrreldes erinevaid jäätmejaamade tulemusi siis Tallinna piires ei olnud tekstiiljätmete koostises olulisi erinevusi, mis viitab suhteliselt samataoliste tarbimis- ja äraviskamisharjumustele erinevates linnaosades. Siiski ilmnes mõningaid väiksemaid, kuid tähelepanu vääri vaid erisusi. Kõige märgatavam neist oli Pärnamäe jäätmejaamas, kus puuvillaste tekstiilide kogus oli oluliselt kõrgem kui teistes jaamades. Seal leidis 20 kg proovis 7 kg puuvillast materjali. Teistes jäätmejaamades jäi antud materjal 0,95–1,65 kg vahele. Kuigi selline erinevus ei muuda üldist järeldust Tallinna linnasiseste tarbimismustrite sarnasusest, näitab see, et üksikutes jaamades võib esineda materjalipõhiseid kõikumisi. Need võivad olla seotud piirkondlike elanike tekstiilivalikute või juhusliku proovikoosseisuga.

Konteinerite sisust on selgelt näha, et jäätmeid tuuakse enamjaolt jäätmejaamadesse suurtes kilekottides (Joonis 4). Selline pakendamisviis on mugav küll jäätmete toojale, kuid muudab sortimise ja eeltöötuse jäätmekäitlejale oluliselt tömahukamaks. Seetõttu eelneb sortimisele kottide avamine, mis pikendab sortimisprotsessi ning võib suurendada tööjõukulusid. Lisaks tekitavad kilekotid ka omakorda plastjätmeid, mis tuleb sortimisel eraldi eemaldada ja suunata sobivasse jäätmevoogu.



Joonis 4 Konteinerite sisu jäätmejaamades a) Paljassaare, b) Rahumäe, c) Pärnamäe, d) Pääsküla

Konteinerites on näha märkimisväärsel hulgal mahukaid esemeid nagu tekid, padjad ja madratsid. Need võtavad konteinerites ruumi ning konteinerid täituvad ebaühtlaselt ja vajavad tihedamat tühjendamist. Suured ja pehmed esemed kipuvad moodustama konteinerites ülemisesse kihtidesse ebakorrapäraseid kuhjasid, mis raskendab jäätmete kompaktset paigutamist ning tõstab seeläbi halduskulusid.

Konteinerite seiramise käigus ilmnes, et nendesse paigutatakse esemeid, mis ei vasta etteantud jäätmeliigile ning ei kuulu tekstiiliringlusesse. Konteinerites leidis mitmesugust kõrvalist prügi (Joonis 5). Võõristena leidis jäätmetes toidujääke, plastpakendeid ja töötavaid suitsuandureid ning suurematest jäätmetest diivanid ja reisikohvrid . Antud olukord on jäätmekäitlejatele märkimisväärselt koormav, sortimisprotsess muutub aeganõudvaks ja kulukaks, seadmed võivad saada kahjustada ning ohtlikud jäätmed (nt elektroonika või kemikaalijäägid) võivad tekitada ohutusriske nii töötajatele kui ka keskkonnale.



Joonis 5 Tekstiiljätmete konteinerist leitud muu jäätmeliik

Olukord peegeldab ühtlasi inimeste puudulikku teadlikkust jäätmete liigiti kogumise põhimõtetest ja jäätmetekke vähendamise olulisusest. Valede jäätmeliikide sattumine tekstiilikonteinerisse näitab, et info jõudmine elanikkonnani ei ole alati piisav või tõlgendatakse jäätmekäitlusjuhiseid valesti. See omakorda tõstab vajadust tõhustada elanike juhendamist, suurendada visuaalseid ja selgitavaid juhiseid konteineritel ning rõhutada avalikus kommunikatsioonis, millist mõju avaldab vale käitumine kogu jäätmete ringlusprotsessile. Mida rohkem sobimatuid esemeid jõuab tekstiiljätmete hulka, seda

väiksem on taaskasutatava tekstiili hulk ning seda keerulisem ja kulukam on tagada materjalide kvaliteetne suunamine tagasi ringlusesse. Antud juhul ei ole tegemist üksnes tehnilise või logistilise probleemiga, vaid ka laiemalt ühiskondliku teadlikkuse ja vastutustundliku tarbimiskäitumisega.

## 7.2 Tekstiilijäätmed tootmisettevõttest

Osa tekstiilijäätmetest jõuab jäätmekäitlejatele otse tootmisettevõtetest, kus tootmisjäädid pressitakse tihedateks pallideks ning suunatakse seejärel edasiseks käitlemiseks. Antud pallid ei koosne paraku üksnes tekstiilijäätmetest, vaid sinna lisatakse ka muid materjale (Joonis 6). Näiteks kasutavad tootmisettevõtted teadlikult pappi, sest see toimib pallide stabiliseerijana, aidates hoida materjali koos ning parandades transpordi ja ladustamise efektiivsust. Papp aitab säilitada pallide kuju ja takistab tekstiilijääkide lahtiharutamist, mis muudab kogu logistika sujuvamaks ja kulutõhusamaks tootja vaatenurgast. [30]

Siiski tekitab see jäätmekäitlejate jaoks mitmeid olulisi probleeme. Pallidesse lisatud papp ja muud mittetekstiilsed materjalid raskendavad oluliselt jäätmete sortimist ja töötlemist. Jäätmekäitlejad peavad pappi ja muid lisandeid eraldama, mis nõuab lisatööd, suurendab kulusid ning aeglustab ringlussevõtu protsessi. See vähendab puhta tekstiilmaterjali osakaalu, mida saab efektiivselt taaskasutusse suunata, ning tekitab täiendavaid väljakutseid jäätmekäitluse efektiivsusele ja jätkusuutlikkusele. [30]



Joonis 6 Tööstuse tekstiilijääde pallituna, foto: Urve Roots

Veelgi keerulisemaks muudab olukorra tootmisettevõtete hoiak. Tootmisettevõtte pole valmis pappi ja muid võõriseid oma pallidest eemaldama. Sageli on paljud ettevõtted oma praeguste töövõtete suhtes kindlameelsed ning ei ole väga avatud muudatustele või uute meetodite kasutuselevõtule, mis võiksid parandada jäätmete liigiti kogumist ja sortimist. Sellised hoiakud võivad tuleneda nii harjumustest, kuluefektiivsuse kaalutlustest kui ka teadmatuses paremate praktikate olemasolust. Selle tulemusena jäävad jäätmed tihti siiski segamini ja jõuavad sellisel kujul jäätmekäitlejateni, põhjustades tarbetuid lisatöid ja kulutusi. [30]

### **7.3 Tekstiilijäätmed teise ringi kauplustest**

Teise ringi kaupluste praktikad näitavad selget suundumust jäätmetekke minimeerimise ja maksimaalse ringlusse suunamise poole. Kuigi teiseringi kauplustes tekib vältimatult ka tekstiilijäätmeid, on nende osakaal võrreldes käideldavate tekstiilide kogumahuga suhteliselt väike ning süsteemne lähenemine võimaldab suurem osa materjalist suunata uude eluringi.

Uuskasutuskeskuse sõnul valdav osa üleliigsetest tekstiilidest ei anta jäätmekäitlejatele, sest ka väiksemate defektidega esemed suunatakse koostööpartnerite kaudu samal kujul ringlusesse [31]. Jäätmekäitlejale antakse üle peamiselt tekstiilid, mis on liigitatud olmeprügiks. Asutuse sõnul moodustasid sellised tekstiilid varasema testperioodi põhjal kuni 5% kõigist sorditud tekstiilidest ning 2024 aasta koguste põhjal võis see vastata ligikaudu 75 tonnile aastas [31]. Oma kestlikkuse aruandes on Uuskasutuskeskus väljatoonud, et 2024. aastal prügisse saadetud tekstiili osakaal on hoopis 0,4%, mis vastab 5,7 tonnile tekstiilile [32]. Antud osakaal oli 2023. aastal 1,5% [32]. See viitab sellele, et üha väiksem osa jõuab lõppkäitlusena prügisse ning üha enam materjalist leiab kasutust ringmajanduse põhimõtete kohaselt.

Sõbralt Sõbrale heategevusorganisatsiooni sõnul on tekstiilijäätmete käitlemise süsteem ettevõttes alles arengujärgus ning täpsem ülevaade jäätmevoogude üle on kujunemas. Keeruline on täpselt määratleda, kui suur osa müügiks mittesobivatest toodetest suunatakse korduskasutusse, taaskasutusse või ümbertöötlemisse ning kui suur osa tuleb lõplikult utiliseerida. Märkimisväärne osa müügiks mittesobivatest toodetest leiab siiski alternatiivse kasutuse ning jäätmekäitlejale antakse võimalikult väike osa. Täpseid proportsioone ei ole hetkel võimalik esitada, kuid ligikaudsed kogused on siiski hinnatavad. Kogu kauplusketi lõikes, kuhu kuulub 18 kauplust, tekib kuus hinnanguliselt 2-3 tonni jäätmeid, millele pole võimalik leida muud väljundit. Aastas moodustab see ligikaudu 24-36 tonni jäätmeid. [33]

Humana andmete kohaselt sordib nende sortimiskeskus aastas keskmiselt 7000 tonni riideid. Suur osa sorditud tekstiilidest suunatakse müüki Humana kauplustesse, annetatakse partnerorganisatsioonidele või eksporditakse. Kandmiskõlbmatud tekstiilid suunatakse ümbertöötlemisse. Vaid ligikaudu 5% kogu mahust moodustab prügi, mis tuleb utiliseerida. [34]

## **7.4 Hetkeolukord ettevõttes Ragn-Sells AS**

Täna tekstiilile ringluslahendus puudub ja saab öelda, et enamus Ragn-Selli jõudvast tekstiilijäätmetest liigub ladestusse või energia tootmisesse ehk põletusse [30]. Peamine põhjus selleks on, et tekstiili ringluslahendusi on piiratud hulk Eesti naaberriikides ning nende kvaliteedinõuded sisendmaterjalile on väga kõrged [30]. Samuti on vastuvõtu hind küllaltki kõrge [30]. Antud juhul viib olukorrani, kus materjal ei vasta kvaliteedile või pole klient valmis tasuma sellist tasu ringluse eest ja valitakse odavam lahendus [30]. 2024 aastal võttis Ragn-Sells vastu ligikaudu 800 tonni erinevaid tekstiilijäätmeid [30]. Kliimaministeeriumi tellimusel valminud „Tekstiili ringlussevõtu tehnoloogiate uuring ja analüüsi“ tulemusena selgus, et Eestis tekib aastas ligikaudu 18 tuhat tonni tekstiilijäätmeid [35]. Antud kogus sisaldab nii liigiti kogutud rõiva- ja tekstiilijäätmeid ning ka segaolmejäätmetes sisalduvaid rõiva- ja tekstiilijäätmeid. [35]

Ragn-Sellsil on tugev motivatsioon parandada tekstiilijäätmete käitlemise olukorda ning välja töötada toimivad ringluslahendused. Eesmärgiks ei ole spetsialiseeruda kitsale tekstiilirühmale, vaid luua võimalikult laia materjalivalikut hõlmav lahendus. Avalikest kogumiskohtadest laekuvad jäätmed on väga varieeruva koostisega ning spetsialiseerumine üksikutele materjalidele ei aitaks probleemi piisavalt lahendada. [30]

Ragn-Sells usub, et kõige otstarbekam on rajada sortimisliin või teha koostööd partneriga, kes pakub professionaalset sortimisteenust. Pärast sortimist on erinevatele tekstiililiikidele juba olemas sobivad ringlussevõtjad. Praeguses olukorras keskendub ettevõtte eeskätt ringlusvõimaluste puudujääkide lahendamisele ning on valmis liikuma edasi sortimislahenduse väljatöötamisega kohe kui ringluskanalid on kindlalt paigas. [30]

## **7.5 Finantskalkulatsioon**

Finantskalkulatsiooni eesmärgiks on hinnata sortimisliini rajamise majanduslikku otstarbekust ning selgitada välja, millal investering ennast ettevõtte jaoks tasuvaks muudab. Analüüsi fookus on sortimisliiniga kaasnevate kulude ja tulude hinnangulisel võrdlusel ning investeringu tasuvusnäitajate määramisel.

Kolme stsenaariumi (manuaalne, poolautomaatne, automaatne sortimisliin) finantsanalüüs põhineb ühtsetel põhieeldustel, et tagada tulemuste võrreldavus (Tabel 2). Kõigi stsenaariumite puhul on koostatud 10-aastane finantskalkulatsioon, milles on arvesse võetud tekstiilijäätmete algkogus ja aastane kasv ning tulude ja kuludega seotud hinnamuutused. Samuti on kõigis variantides arvestatud samu elektri hindu, palgakasvu, ringlusesse mittemineva jäätmete kõrvaldamiskulu ning investeeringu amortisatsiooni. Stsenaariumid erinevad omavahel eelkõige sortimisprotsessi automatiseerituse taseme poolest, mis mõjutab investeeringu suurust, tööjõuvajadust ning püsikulude struktuuri

Tekstiilijäätmete sortimisliini tüübist sõltub oluliselt ringlusesse mittemineva jäätmete osakaal. Manuaalsel sortimisliinil jääb ligikaudu 30% materjalist ringlusesse suunamata, sest sortimise täpsus ja eristamisvõime on piiratum. Pool-automaatse liini kasutamisel väheneb ringlusesse mittemineva osa osakaal 25% juurde, sest masinate ja käsitöö kombinatsioon parandab sortimise efektiivsust. Kõige väiksem, ligikaudu 20% suurune osakaal saavutatakse automaatsel sortimisliinil, kus tehnoloogilised lahendused võimaldavad täpsemat ja järjepidevamat materjalide eraldamist. [36]

Tabel 2 Põhieeldused [36]

<b>Eeldus</b>	<b>Väärtus</b>
Algne tekstiilijäätmete kogus, t/a	800
Jäätmemahu kasv, %/a	6
Jäätmetasu tootjatelt €/t	200
Sorditud tekstiili keskmine müügitulu, €/t	150
Tulude hinnakasv, %/a	2
Elektrihind €/kWh	0,15
Palgakasv, %/a	3
Ringlusesse mittemineva jäätme kõrvaldamise kulu	120
Kõrvaldamiskulu hinnakasv, %/a	3
Investeeringu amortisatsioon, %/a	10

Manuaalne sortimisliin töötab ühe vahetusega, mille pikkus on 8 tundi ning tööpäevi on aastas 250. Liini läbilaskevõime on 0,4 tonni tunnis, mis võimaldab maksimaalselt sortida kuni 800 tonni aastas. Töötajaid on kokku kaheksa. Projekti investeeringu kogusumma on 1 200 000 eurot, millest hoone maksumus on 800 000 eurot ning seadmete maksumus

400 000 eurot. Hoone pindala on 800 m<sup>2</sup>. Investeeringu amortisatsioonimäär on 10% aastas, mis teeb aastaseks amortisatsioonikuluks 120 000 eurot. [36]

Kuigi sortimismaht püsib aastate jooksul stabiilsena, suurenevad tulud ja kulud järkjärgult (Tabel 3). Manuaalse sortimisliini puhul avaldub kõige tugevamini tööjõukulude mõju, sest nende kasv põhjustab olulist omahinna suurenemist. Kuigi amortisatsioon jääb muutumatuks, mõjuavad kogukulud ka jäätmekäitluse, energia ja hoolduse kulude tõus. Manuaalse sortimisliini efektiivsuse parandamiseks on tööjõukulude juhtimine ja protsesside optimeerimine määrava tähtsusega.

Tabel 3 Manuaalse sortimisliini finantstabel [36]

<b>Tegur</b>	<b>1. aasta</b>	<b>5. aasta</b>	<b>10. aasta</b>
Sortimismaht, t	800	800	800
Tulud, €	244 000	264 000	2991 000
Ringlusesse mittemineva jäätme kõrvaldamine, €	28 800	32 400	37 440
Tööjõukulud, €	216 000	296 000	343 000
Energia, €	24 000	26 000	29 000
Hooldus, €	30 000	32 000	35 000
Amortisatsioon, €	120 000	120 000	120 000
Kogukulud, €	418 800	506 400	564 440
Omahind, €/t	524	633	706

Pool-automatse tekstiilijäätmete sortimisliini tehnilised ja töörežiimi eeldused lähtuvad kahevahetuselisest töökorraldusest, kus sortimisliin töötab 250 tööpäeva aastas ning ühe vahetuse pikkus on 8 tundi. Sellise töökorraldusega on liini läbilaskevõime 0,8 tonni tunnis, mis võimaldab saavutada maksimaalse aastase läbilaskevõime kuni 3 200 tonni. Finantsanalüüsis on siiski arvestatud tegeliku sortimismahuga, mis vastab prognoositavatele tekstiilijäätmete koguse kasvule. Tööjõuvajadus on kasvavas mahus. Analüüsi esimesel neljal aastal on sortimisliinil tööga seotud 10 inimest ning alates viiendast aastast on see number 12. Projekti raames rajatakse 1 200 m<sup>2</sup> suurune hoone hinnaga 1,2 miljonit eurot ning poolautomatse sortimisliini soetamine hinnaga 1 miljon eurot. Selle tulemusel kujuneb koguinvesteeringu suuruseks 2,2 miljon eurot. Investeering amortiseeritakse lineaarselt 10 aasta jooksul, mille tulemusel on aastane amortisatsioonikulu 220 000 eurot. [36]

Poolautomaatse sortimisliini puhul on näha, et süsteemi efektiivsus kasvab ajas koos sortimismahu kasvuga (Tabel 4). Sortimismahu kasvuga kasvavad tulud märkimisväärselt, samas kui kogukulu suurenemine on suhteliselt tagasihoidlik. Kuigi tööjõu-, energia- ja hoolduskulud kasvavad, jaotuvad need siiski suuremale mahul, mille tulemusena langeb omahind järjepidevalt. Poolautomaatne sortimisliin muutub ajas kulutõhusamaks ning loob paremad eeldused majanduslikuks jätkusuutlikkuseks.

Tabel 4 Poolautomaatse sortimisliini finantstabel [36]

<b>Tegur</b>	<b>1. aasta</b>	<b>5. aasta</b>	<b>10. aasta</b>
Sortimismaht, t	800	1 010	1 352
Tulud, €	268 000	366 000	542 000
Ringlusesse mittemineva jäätme kõrvaldamine, €	24 000	34 100	52 700
Tööjõukulud, €	270 000	303 000	351 000
Energia, €	45 000	50 000	58 000
Hooldus, €	55 000	60 000	65 000
Amortisatsioon, €	220 000	220 000	220 000
Kogukulud, €	614 000	667 100	746 700
Omahind, €/t	768	660	552

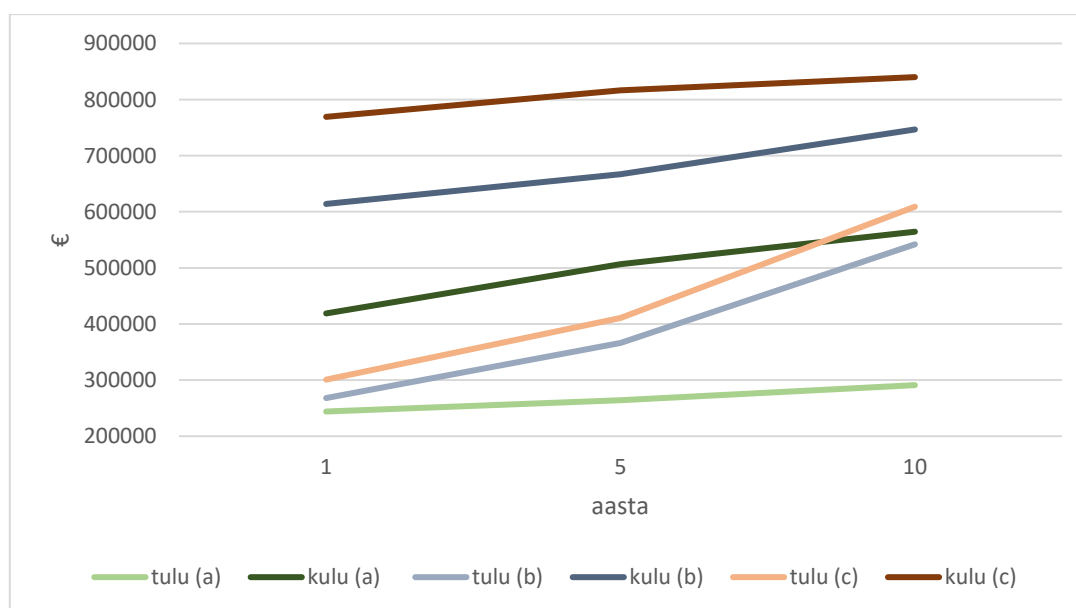
Automaatse tekstiili sortimisliini tehnilised ja töörežiimi eeldused põhinevad intensiivsemal töökorraldusel ja kõrgemal tehnoloogilisel tasemel. Sortimisliin töötab kahe vahetusega 300 tööpäeva aastas ning ühe vahetuse pikkus on 8 tundi. Liini läbilaskevõime on 2,0 tonni tunnis, mis võimaldab teoreetiliselt saavutada kuni 9 600 tonni suuruse maksimaalse aastase läbilaskevõime. Finantskalkulatsioonis on tegelik sortimismaht siiski piiratud sisendmaterjali kättesaadavusega ning ulatub kümnendal aastal 1 352 tonnini. Tänu suurele automatiseerituse tasemele on tööjõuvajadus võrreldes teiste stsenaariumitega väiksem. Nimelt on kuuel esimesel aastal liinil hõivatud kuus töötajat ning alates seitsmendast aastast suureneb see seitsme töötaja peale. [36]

Automaatse sortimisliini puhul kasvab sortimismaht märgatavalt, mis toetab tulude olulist suurenemist aasta lõikes (Tabel 5, lk 30). Tööjõukulude osakaal on kogukuludes väiksem kui manuaalsel liinil, samas kui energia ja hoolduse kulud kasvavad mõõdukalt. Suurenenud tootmismahud aitab kindlalt alla tuua omahinda, mis näitab liini efektiivsuse paranemist. Automaatse sortimisliini eeliseks on suurem tootmisvõime ning parem kuluefektiivsus.

Tabel 5 Automaatse sortimisliini finantstabel [36]

Tegur	1. aasta	5. aasta	10. aasta
Sortimismaht, t	800	1 010	1 352
Tulud, €	300 800	411 000	609 000
Ringlusesse mittemineva jäätme kõrvaldamine, €	19 200	27 300	42 200
Tööjõukulud, €	190 000	214 000	248 000
Energia, €	70 000	80 000	92 000
Hooldus, €	90 000	95 000	100 000
Amortisatsioon, €	400 000	400 000	400 000
Kogukulud, €	769 200	816 300	840 000
Omahind, €/t	962	808	621

Tulude ja kulude paremaks mõistmiseks loodi graafik selle ilmestamiseks (Joonis 7). Erinevate stsenaariumite kasvutempo ja väärtused erinevad märkimisväärselt. Manuaalse sortimisliini puhul on täheldada madalamaid kulusid, kuid ka oluliselt madalamaid tulusid kui võrreldes poolautomaatse ja automaatse lahendusega. Poolautomaatse liini puhul on mõõdukas tulude kasv, mis ületab kulude kasvu, viidates potentsiaalselt paremale tasakaalule investeringu ja majandusliku efektiivsuse vahel. Automaatne sortimisliin saavutab anaüüsi perioodi jooksul kõige kõrgemad tulud, kuid sellega kaasnevad ka suurimad kulud, mis on selge peegeldus investeerimis- ja tegevuskuludele.



Joonis 7 Kulude ja tulude prognoos (a) manuaalne (b) pool-automaatne (c) automaatne

Manuaalse sortimisliini stsenaariumi puhul on diskonto määraks 9%, kuid projekti IRR jääb all nulli, mis tähendab, et diskontomäär on selgelt kõrgem kui projekti tootlus (Tabel 6). Sellest tulenevalt on NPV nii 7-aastase perioodi lõikes kui ka alates CapEx-i esimesest osast negatiivne, mis viitab sellele, et projekt ei suuda katta kapitalikulud ega pole majanduslikult otstarbekas. Tasuvuspunkti ei saavutata kogu investeeringu ega CapEx-i esimese osa lõikes, mis kinnitab, et algset investeeringut ei teenita projekti vaatlusperioodi jooksul tagasi. Vastavalt NPV ja IRR teooriale tuleks selline projekt investeerimisotsuste tegemisel välistada.

Poolautomaatse sortimisliini puhul on diskontomäär 9% ja IRR ületab seda vaid 0,6% võrra (Tabel 6). Projekt on küll teoreetiliselt investeerimisvääriine, kuid selle riskitaluvus on madal, diskontomäär ja IRR-i väikse vahe tõttu. NPV on 7-aastase perioodi lõikes negatiivne, kuid muutub positiivseks alates CapEx-i esimesest osast. Selle põhjal saab väita, et investeering hakkab väärtust looma alles pärast algset kapitalikulu. Tasuvuspunkt saavutatakse kogu investeeringu puhul 8,5 aasta jooksul ja CapEx-i esimese osa arvestuses 7,5 aasta jooksul. Kapital teenitakse tagasi alles pärast pikka perioodi ning projekt hakkab väärtust looma alles suhteliselt hilja. Antud stsenaarium tasub end väga piiripealselt ning on väga tundlik diskontomäär muutusele.

Automaatne sortimisliin näitab kõige tugevaimaid majanduslikke näitajaid (Tabel 6). IRR on 12,8%, mis ületab diskontomäär. IRR-i ja diskontomäär vahe näitab, et projekt suudab paremini taluda kapitalikulude ja tururiskide muutusi. NPV on positiivne nii 7-aastase perioodi lõikes kui ka alates CapEx-i esimesest osast, seega loob projekt selget lisandväärtust. Tasuvuspunkt saavutatakse suhteliselt kiiresti, mis vähendab rahalist riski ja teeb investeeringu turvalisemaks.

Tabel 6 Tasuvusnäitajad [36]

<b>Tasuvusnäitaja</b>	<b>Manuaalne sortimisliin</b>	<b>Poolautomaatne sortimisloom</b>	<b>Automaatne sortimisliin</b>
Diskontomäär, %	9	9	9
NPV, 7 aastat, diskontomäär 9%, EUR	-520 000	-180 000	310 000
Tasuvuspunkti saavutamise aeg, a	Ei saabu	8,5	6,5
NPV alates CapEx-i esimesest osast, diskontomäär 9%, EUR	-430 000	40 000	620 000
Tasuvusaeg alates CapEx-i esimesest osast, a	Ei saabu	7,5	5,5
IRR, %	<0	9,6	12,8

## 8 JÄRELDUSED

Uurimuste põhjal selgub, et tekstiilijäätmete sortimise peamine väljakutse Eestis seisneb materjali madalas kvaliteedis ja puhtuses, mis raskendab tõhusat sortimist ning vähendab ringlussevõtu potentsiaali. Samuti kujunes probleemiks jäätmete puhtus ka tootmisettevõtetest pärinevate jäätmete puhul. Ettevõtete madal valmisolek jäätmevoogu puhastada või muuta kogumist süsteemsemaks kujutab täiendavat barjääri tõhusale ringlusele.

Finantskalkulatsioon näitas selgelt, et manuaalse sortimisliini investering ei ole majanduslikult põhjendatud ning poolautomaatne stsenaarium tasub end alles pika perioodi jooksul. Poolautomaatne sortimisliin jääb riskantseks ja tundlikuks turu- ja kulumuutustele. Automaatne sortimisliin on majanduslikust vaatepunktist kõige parem otsus. Automaatse sortimisliini tasuvusnäitajad viitavad selgele lisandväärtusele ja paremale riskitaluvusele. Samas tuleb arvestada, et automaatse sortimisliini puhul on alginvesteering märkimisväärne ning nõuab ettevõttelt olulist kapitalikulu, mistõttu võiks paralleelselt kaaluda partnerluse võimalusi mõne ettevõttega, kellel on olemasolev tehnoloogia.

Eestis puudub toimiv tekstiilijäätmete ringluslahendus ning suurem osa jäätmekäitleja kogutud tekstiilist suunatakse ladestusse või energia tootmisse. Nii Eestis kui ka naaberriikides on ringlusvõimalused piiratud ning olemasolevad kvaliteedinõuded sisendmaterjalidele on ringlussevõtjate poolt väga kõrged. Üheks kriitiliseks teguriks ei ole mitte ainult sortimistehnoloogia valik, vaid ka turuolukord ja ringlusevõtukanalite nappus, mis piiravad projekti elluviimise võimalusi. Automaatne sortimisliin tagaks kõrge sortimistäpsuse, mis loob paremad eeldused turule sisenemiseks ning ringluspõhisteks ärimudeliteks tulevikus.

## KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli välja selgitada, milline tekstiilijäätmete sortimislahendus sobib ettevõttele kõige paremini, arvestades valdkonna õiguslikke nõudeid, materjalivoogu, turuolukorda ning investeringu majanduslikku tasuvust. Analüüs näitas, et tekstiilijäätmete kogus kasvab ning sortimis- ja ringlusvõimekuse arendamine muutub vältimatuks. Eriti arvestades Euroopa Liidu 2025. aastast kehtivast tekstiili liigiti kogumise kohustust ja 2028. aastast jõustuvat laiendatud tootjavastutust. Samal ajal eksisteerib Eesti ja Euroopa ringlussevõtuvaldkonnas olulisi puudujääke nagu piiratud tehnoloogiline võimekus, materjalide heterogeensus ning killustunud sortimis- ja ringlusahelad. Lõputöö käigus analüüsiti tekstiilijäätmete koostist jäätmejaamades ning kaardistati ettevõtte hetkeolukord ja väljakutsed. Selgus, et tekstiilijäätmete ringlussevõttu takistab eelkõige materjali madal puhtus ja kvaliteet, mis muudab sortimise aeganõudvaks ja kulukaks.

Finantsanalüüsi alusel võrreldi kolme sortimisstsenaariumit: manuaalset, poolautomaatset ja automaatset sortimisliini. Tulemused näitasid, et manuaalne lahendus ei kujune majanduslikult tasuvaks ning poolautomaatne stsenaarium jääb tasuvuse piirialale. Automaatne sortimisliin osutus ainsaks, mille investering annaks pikas perspektiivis positiivse majandusliku tulemuse. Automaatne sortimisliin võimaldab saavutada suurema sortimisvõimekuse, parema materjalitäpsuse ja madalama omahinna. Automaatse sortimisliini üheks negatiivseks küljeks on kõrge alginvesteering, mistõttu võiks ettevõtte kaaluda partnerlussuhted teiste ettevõtetega antud valdkonnas.

Lõputöö tulemusena võib järeldada, et automatiseeritud sortimisliin on ettevõttele majanduslikult kõige jätkusuutlikum valik, mis võimaldaks tõsta sortimise efektiivsust, parandada ringlussevõtu taset ning toetada tekstiilijäätmete väärindamise arengut Eestis laiemalt.

## **SUMMARY**

Finding a Textile Waste Sorting Solution for a Company: Case of Ragn-Sells AS

Graduation thesis explores how Ragn-Sells AS could implement an effective textile waste sorting solution that meets future recycling requirements and supports circular material use. The research examined textile waste streams from civic waste stations, manufacturing sources and second-hand retail networks, identifying variability in material composition and generally low levels of quality. These findings indicate that manual sorting practices are insufficient for large-scale or high-value recycling and that a technology-based approach is required to improve consistency and performance.

A financial comparison was carried out between three possible sorting scenarios: manual, semi-automated and fully automated. The results show that a manual line is not economically viable and a semi-automated solution offers only limited long-term value. In contrast, a fully automated system delivers a strong financial outcome through higher material recovery rates, improved throughput and lower operating costs per tonne. While the initial investment is substantial, strategic collaboration with external partners could reduce capital risks and speed up implementation.

The study also highlights the role of waste stations as a meaningful part of the circular system rather than simply serving as a collection point. Material arriving at these stations is often mixed, damaged or contaminated, which directly impacts sorting accuracy. This underlines the need for quality control processes and reliable technology to maximise recycling outcomes.

Overall, the research concludes that automated sorting provides the most resilient and future-proof direction for Ragn-Sells AS, supporting economic performance while contributing to national sustainability goals.

## VIIDATUD ALLIKAD

- [1] N. Nørup, K. Pihl, A. Damgaard, ja C. Scheutz, „Development and testing of a sorting and quality assessment method for textile waste“, *Waste Manag.*, kd 79, lk 8–21, sept 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2018.07.008.
- [2] European Environment Agency, „Textiles and the environment: the role of design in Europe’s circular economy“. Vaadatud: 3. detsember 2025. [Online]. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/textiles-and-the-environment-the-role-of-design-in-europes-circular-economy-1>
- [3] Statistikaamet, „KK068: JÄÄTMETEKE | Aasta, Jäätmeliik ning Tegevusala (EMTAK 2008). Statistika andmebaas“. Vaadatud: 18. oktoober 2025. [Online]. Available at: [https://andmed.stat.ee/et/stat/keskkond\\_\\_surve-keskkonnaseisundile\\_\\_jaatmete-teke/KK068/table/tableViewLayout2](https://andmed.stat.ee/et/stat/keskkond__surve-keskkonnaseisundile__jaatmete-teke/KK068/table/tableViewLayout2)
- [4] „Tallinna jäätmekava 2022-2026“. Tallinna Linnavolikogu, 2022.
- [5] Riigikogu, „Jäätmeseadus“. Vaadatud: 17. oktoober 2025. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/114062013006?leiaKehtiv>
- [6] European Environment Agency, „Management of used and waste textiles in Europe’s circular economy“. Vaadatud: 27. november 2025. [Online]. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/management-of-used-and-waste-textiles-in-europes-circular-economy>
- [7] I. Wojnowska-Baryła, K. Bernat, M. Zaborowska, ja D. Kulikowska, „The Growing Problem of Textile Waste Generation—The Current State of Textile Waste Management“, lk 1528, 2024, doi: 10.3390/en17071528.
- [8] „Textile waste management in Europe’s circular economy“. European Environment Agency, 2024.
- [9] Tallinna linn, „Tekstiiljäätmed“. Vaadatud: 18. oktoober 2025. [Online]. Available at: <https://www.tallinn.ee/et/keskkond/tekstiiljaatmed>
- [10] B. Ciuffi *et al.*, „Slow pyrolysis of mixed textile waste: towards sustainable recycled coal and added value chemicals“, *Waste Manag.*, kd 205, lk 115013, aug 2025, doi: 10.1016/j.wasman.2025.115013.
- [11] European Commission, „EU strategy for sustainable and circular textiles“. Vaadatud: 15. oktoober 2025. [Online]. Available at: [https://environment.ec.europa.eu/publications/textiles-strategy\\_en](https://environment.ec.europa.eu/publications/textiles-strategy_en)
- [12] Euroopa Komisjon, „EL jõudis esialgsele kokkuleppele suurendada tekstiiliringlust ja vähendada toidujäätmeid“. Vaadatud: 16. oktoober 2025. [Online]. Available at: [https://estonia.representation.ec.europa.eu/uudised/el-joudis-esialgsele-kokkuleppele-suurendada-tekstiiliringlust-ja-vahendada-toidujaatmeid-2025-02-20\\_et](https://estonia.representation.ec.europa.eu/uudised/el-joudis-esialgsele-kokkuleppele-suurendada-tekstiiliringlust-ja-vahendada-toidujaatmeid-2025-02-20_et)

- [13] Kliimaministeerium, „Tekstiilijäätmed“. Vaadatud: 20. oktoober 2025. [Online]. Available at: <https://kliimaministeerium.ee/elukeskkond-ringmajandus/tekstiil>
- [14] E. Sandberg ja R. Pal, „Exploring supply chain capabilities in textile-to-textile recycling – A European interview study“, *Clean. Logist. Supply Chain*, kd 11, lk 100152, juuni 2024, doi: 10.1016/j.clscn.2024.100152.
- [15] European Environment Agency, „The destruction of returned and unsold textiles in Europe’s circular economy“. Vaadatud: 1. detsember 2025. [Online]. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/the-destruction-of-returned-and-unsold-textiles-in-europes-circular-economy>
- [16] Euroopa Parlament, „Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv (EL) 2018/851, 30. mai 2018, millega muudetakse direktiivi 2008/98/EÜ, mis käsitleb jäätmeid (EMPs kohaldatav tekst)“. 30. mai 2018. Vaadatud: 15. oktoober 2025. [Online]. Available at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj/est>
- [17] K. Koppel, „Tekstiilijäätmete liigiti kogumine alates 01.01.2025“, märts 2024.
- [18] Kliimaministeerium, „Kasutuskõlbmatu tekstiil“. Vaadatud: 18. oktoober 2025. [Online]. Available at: <https://kliimaministeerium.ee/liigitikogumine/kasutuskolbmatutekstiil>
- [19] Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskus AS, „Tekstiilijäätmetest põhjalikumalt – TJT AS juhatuse liige Marti Viirmäe“. Vaadatud: 18. november 2025. [Online]. Available at: <https://tjt.ee/muu/tekstiiljaatmetest-pohjalikumalt-tjt-as-juhatuse-liige-marti-viirmae/>
- [20] F. Zammori, F. Moroni, ja G. Romagnoli, „Modelling the Behavioural Side of Textile Waste Collection: From Individual Habits to Systemic Design.“, *Information*, 2025, Vaadatud: 4. november 2025. [Online]. Available at: <https://research.ebsco.com/c/knude7/viewer/html/3ofbpiymuz>
- [21] Kliimaministeerium, „Jäätmetest ringmajanduseni“. Vaadatud: 26. november 2025. [Online]. Available at: <https://kliimaministeerium.ee/elukeskkond-ringmajandus/jaatmetest-ringmajanduseni>
- [22] ERR, „Eesti tekstiiliprügile võib lahendus leiduda põlevkivitööstuses“. Vaadatud: 18. november 2025. [Online]. Available at: <https://novaator.err.ee/1609475017/eesti-tekstiiliprugile-voib-lahendus-leiduda-polevkivitoostuses>
- [23] „Circular economy perspectives in the EU textile sector: Final report“. European Commission, 2021.
- [24] „NEWRETEX SORTING LINE CATALOGUE“. NEWRETEX, 2025.
- [25] A. Becker, A. Datko, N. Kroell, B. Küppers, K. Greiff, ja T. Gries, „Near-infrared-based sortability of polyester-containing textile waste“, *Resour. Conserv. Recycl.*, kd 206, lk 107577, juuli 2024, doi: 10.1016/j.resconrec.2024.107577.

- [26] „Comparison Between NPV and IRR: Evaluation of Investment“. BCP Business & Management, 2023.
- [27] „The Analysis of Three Main Investment Criteria: NPV IRR and Payback Period“. Atlantis Press, 2022.
- [28] „Capital Expenditure (CapEx)“, Corporate Finance Institute. Vaadatud: 1. detsember 2025. [Online]. Available at: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/accounting/capital-expenditure-capex/>
- [29] Statistikaamet, „RV0282U: RAHVASTIK, 1. JAANUAR | Sugu, Elukoht, Aasta ning Vanuserühm. Statistika andmebaas“. Vaadatud: 18. oktoober 2025. [Online]. Available at: [https://andmed.stat.ee/et/stat/rahvastik\\_\\_rahvastikunaitajad-ja-koosseis\\_\\_rahvaarv-ja-rahvastiku-koosseis/RV0282U/table/tableViewLayout2](https://andmed.stat.ee/et/stat/rahvastik__rahvastikunaitajad-ja-koosseis__rahvaarv-ja-rahvastiku-koosseis/RV0282U/table/tableViewLayout2)
- [30] M. Ulm, „Hetkeolukord ettevõttes Ragn-Sells AS“, 17. juuli 2025.
- [31] K. Puusepp, „Uuskasutuskeskuse tekstiilijäätmed“, 26. märts 2025.
- [32] „Kestlikkuse aruanne 2024“. Uuskasutuskeskus MTÜ, 2025.
- [33] M. Kibuspuu, „Sõbralt Sõbrale tekstiilijäätmed“, 26. märts 2025.
- [34] M.-H. Kaber, „Humana tekstiilijäätmed“, 26. märts 2025.
- [35] „Tekstiili ringlussevõtu tehnoloogiate uuring ja analüüs“. Kliimaministeerium, Eesti Kunstiakadeemia, Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus, 2024.
- [36] OpenAI, „Vastus autori päringule finantskalkulatsioon sortimisliinile“, ChatGPT. [Online]. Available at: <https://chatgpt.com/c/69411bd9-0b68-8329-965c-eea495fe97b9>

## Lisa 1. Tööjuhise keelemudelile ChatGPT

Koosta detailne finantskalkulatsioon tekstiilijäätmete sortimisliini rajamiseks Eestisse 10-aastase investimisperiodi jooksul. Eeldusena võtab ettevõtte algselt vastu 800 tonni tekstiilijäätmeid aastas ning jäätmete kogus kasvab ajas; arvuta iga aasta kohta kasvuga prognoos. Sortimisliin rajatakse Eestisse, kasutades 2025. aasta keskmisi turuhindu, ning alginvesteering hõlmab nii sortimisliini rajamist kui ka selleks vajaliku hoone ehitamist; kogu investeering amortiseeritakse lineaarselt 10 aasta jooksul. Koosta kolm stsenaariumi: manuaalne, poolautomaatne ja automaatne sortimisliin. Iga stsenaariumi puhul määra töörežiim (tööpäevade arv aastas, vahetuste arv päevas ja vahetuse pikkus) ning sortimisliini läbilaskevõime (tonnides tunnis ja aastas), mis piirab maksimaalset sortimismahtu. Arvesta, et jäätmemahu kasvades võib suureneda töötajate arv ning töörežiim võib muutuda, samuti võivad töötajate palgad 10 aasta jooksul muutuda. Arvuta iga aasta kohta kulud, sh tööjõukulud koos maksudega, energia- ja kommunaalkulud, hoone ülalpidamise ja hoolduse kulud, sortimisliini hooldus ning muud püsikulud, ning lisa amortisatsioon. Tulud tekivad sorditud tekstiili ringlusseviimisest ja tootmisettevõtelt laekuvast jäätmetasust; arvuta tulud vastavalt tegelikule sortimismahule. Arvuta iga aasta ja stsenaariumi kohta omahind €/tonn. Esita tulemused iga stsenaariumi kohta tabelina, kus iga rida on üks aasta ja näidatud on läbilaskevõime või sortimismaht, tulud, kulud (eraldi tööjõukulud, hoone ja liini hooldus, energia ja muud püsikulud), amortisatsioon ning omahind €/tonn. Lisa iga tabeli juurde lühike selgitus, mis kirjeldab, kuidas kulud ja tulud ajas muutuvad ning kuidas töörežiim, läbilaskevõime ja töötajate arvu muutus mõjutavad omahinda, ning põhjenda lühidalt kasutatud eeldusi töötajate arvu, energiakulude ja hoolduskulude kohta.