



**Pinnasepesuseadme kasutamine materjalide parendamise  
eesmärgil Karude IV karjääri näitel**

Bakalaureusetöö

Üliõpilane: Taavi Randjärv

Üliõpilaskood: 240598LARB

Juhendaja: Erik Väli, vanemlektor, Geoloogia instituut, TalTech

Õppekava: Maa süsteemid, kliima ja tehnoloogiad

## **Autorideklaratsioon**

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Taavi Randjärv  
[allkirjastatud digitaalselt]

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.  
Juhendaja: Erik Väli  
[allkirjastatud digitaalselt]

## Sisukord

Autorideklaratsioon .....	2
Annotatsioon.....	5
Abstract .....	6
Jooniste loetelu .....	7
Tabelite loetelu .....	8
Lisad.....	9
<b>Kasutatud mõistete ja/või lühendite loetelu .....</b>	<b>10</b>
<b>1. Sissejuhatus .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Pinnasepesutehnoloogiate kriitiline ülevaade.....</b>	<b>12</b>
2.1. Tehnoloogia areng ja kasutuspraktikad .....	12
2.2. Rakenduslikud eelised ja majanduslikud piirangud .....	13
2.3. Sobivus Eesti geoloogilistes ja kliimatingimustes.....	14
3. Karude IV karjäär kui rakendusühe objekt.....	14
3.1. Geoloogiliste tingimuste sobivus pinnasepesuks .....	14
3.2. Materjali kvaliteediprobleemide hindamine .....	15
<b>4. Metoodika.....</b>	<b>16</b>
4.1. Uurimisviis ja lähenemine .....	16
4.2. Andmekogumise meetodid.....	16
4.2.1. Ettevõtte dokumentide analüüs.....	16
4.2.2. Vestlused ekspertidega .....	17
4.2.3. Tööprotsessi osalusvaatlus.....	17
4.3. Andmeanalüüsi meetod.....	17
<b>5. Karude IV karjääri toodangu kvaliteeti parandavate tehnoloogiate otsing .....</b>	<b>18</b>
<b>6. Sobivaima pinnasepesuseadme valimine ja alternatiivide analüüs.....</b>	<b>20</b>
7. CDE pesuseadme Combo X70 tulemuste hinnanguline analüüs tööperioodil 2018-2020 .....	22
7.1. Pinnasepesuseadme tootlikkuse hindamine .....	22
7.2. Materjalikvaliteedi paranemise kriitiline analüüs.....	24
7.3. Majandusliku tasuvuse realistlik hinnang.....	26
7.4. Sesoonsuse mõju tootmisele .....	27
8. Arutelu: Tehnoloogia sobivus ja kasutamine .....	29
8.1. Karude IV karjääri tulemuste olulisus .....	29
8.2. Samalaadse tehnoloogia rakendatavus teistes karjäärides.....	30
8.3. Pesutehnoloogia keskkonna- ja ressursimõju.....	31

8.3.1. Materjaliveo CO <sub>2</sub> -heide ja selle vähendamise potentsiaal .....	32
9. Kokkuvõte.....	34
Tänuavaldused .....	35
Kasutatud kirjandus.....	36

## Annotatsioon

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on hinnata pinnasepesutehnoloogia sobivust looduslike täitematerjalide kvaliteedi parandamiseks Tariston AS-ile kuuluvas Karude IV karjääris. Karjääris kaevandatavad liiva- ja kruusavarud on kõrge savi- ja peenosise sisaldusega ning ei vasta töötlemata kujul teedeehituse kvaliteedinõuetele.

Töö põhineb rakenduslikul juhtumiuuringul, mille käigus analüüsiti statsionaarse pinnasepesuseadme (CDE Combo X70) toimivust reaalses tootmiskeskkonnas. Andmestik pärineb ettevõtte dokumentatsioonist, laborikatsetest, ekspertintervjuudest ning autori praktilisest töökogemusest.

Uurimistulemused näitavad, et pinnasepesutehnoloogia vähendab oluliselt materjali peenosise- ja savisisaldust ning parandab filtratsiooniomadusi, võimaldades viia täitematerjalid vastavusse kehtivate nõuetega. Samuti selgus, et kohaliku materjali väärindamine vähendab transpordikuludid ja keskkonnamõju. Tehnoloogia rakendamisel on olulised tegurid geoloogiline varieeruvus, seadme tööparameetrite optimeerimine ning talviste töötingimuste lahendamine.

Töö järeldeb, et pinnasepesutehnoloogia on Eesti tingimustes tehniliselt rakendatav ja majanduslikult põhjendatud, aidates tõhusamalt kasutada olemasolevaid maavarasid ning vähendada vajadust uute karjäärade avamiseks. Teema on eriti aktuaalne seoses suurte taristuprojektidega, nagu Rail Baltica, mis suurendavad nõudlust kvaliteetsete ehitusmaterjalide järele.

## **Abstract**

The aim of this Bachelor's thesis is to evaluate the suitability of soil washing technology for improving the quality of natural aggregates at the Karude IV quarry owned by Tariston AS. The sand and gravel resources extracted at the quarry contain high levels of clay and fine particles and do not meet road construction standards in their natural state.

The study is based on an applied case study analyzing the performance of a stationary soil washing plant (CDE Combo X70) under real production conditions. The data were collected from company documentation, laboratory tests, expert interviews, and the author's practical work experience.

The results indicate that soil washing significantly reduces the content of fine particles and clay, while improving the filtration properties of the materials to meet required standards. Additionally, the use of locally processed materials reduces transportation costs and environmental impact. Key factors influencing performance include geological variability, optimization of operational parameters, and ensuring functionality in winter conditions.

The thesis concludes that soil washing technology is technically feasible and economically justified in Estonian conditions. It enables more efficient use of existing mineral resources and reduces the need for opening new quarries. The topic is particularly relevant in the context of large infrastructure projects, such as Rail Baltica, which increase the demand for high-quality construction materials.

## Jooniste loetelu

**Joonis 1.** Karude IV liivakarjäär.

**Joonis 2.** Purukruusa/killustiku tootmine Karude IV karjääris.

**Joonis 3.** Settevanniga ja eelpesuseadmega pesukompleks.

**Joonis 4.** Flokulandi segamis- ja doseerimisjaam.

**Joonis 5.** Pestud liiv.

**Joonis 6.** Tootmine talvel. Pestud kivi fr.30 -100mm ja pestud liiv fr 0-30 mm.

**Joonis 7.** Pesuseade RB Harju 2 objektil.

## Tabelite loetelu

**Tabel 1.** Eritüüpi pesuseadmete analüüs.

**Tabel 2.** Tootlikkuse koondtabel aastate lõikes.

**Tabel 3.** 2018 a. teise poolaasta tootlikkuse tabel.

**Tabel 4.** Toodetud materjalide ühikukulu koondtabel aastate lõikes.

**Tabel 5.** Telgi eelarvestuse kulude tabel.

**Tabel 6.** Toodetud kogused ja pesuseadme mototunnid talvekuudel.

**Tabel 7.** Võimalike CO<sub>2</sub> koguste arvutus.

## Lisad

**Lisa 1.** Karude karjääri uuringuruumi liivavaru koondtabel (Kobras, 2010).

**Lisa 2.** Karude karjääri uuringuruumi kruusavaru koondtabel (Kobras, 2010).

**Lisa 3.** Karude karjääri uuringuruumi puuraukude ja šurfide koondtabel (Kobras, 2010).

**Lisa 4.** Purukruusade terastikulise koostise tabel (TRAMi määrus, 2015).

**Lisa 5.** Täitematerjalide (TM) iseloomustav tabel (MTA käskkiri nr.0005, 2016).

**Lisa 6.** Vee erikasutusluba L.VV/333100.

**Lisa 7.** Võrdlusproovi protokoll K-54 A.

**Lisa 8.** Võrdluskatse protokoll K-54 B.

**Lisa 9.** Katseprotokoll K-58.

## Kasutatud mõistete ja/või lühendite loetelu

Filtratsioon – vee aeglane liikumine pinnases, mida iseloomustab filtratsioonimoodul (ühik m/d).

Fraktsioon – täitematerjali määratlus alumise sõela (d) ja ülemise sõela (D) avamõõtmete alusel (d/D).

Liiv ja kruus – geneetiliselt tihedalt seotud purdsetted, mis on peamiselt moodustunud kvaternaari ning vähemal määral devoni ajastul.

Liiv – peeneteraline purdsete, mis koosneb põhiliselt kristalsete kivimite murenemisel moodustunud kvartsi- ja päevakivimineraalidest.

Kruus – jäme purdsete, mis koosneb tard-, moonde- ja settekivimite veeristest ning munakatest.

Materjali sõelkõver – materjali terastikuline koostis mahukaalu protsentides.

Peenosised – täitematerjali osakesed, mis läbivad 0,063 mm avadega sõela.

Pinnase lõimistegur (tähis Cu) – dimensioonitu arv, mis iseloomustab pinnaseosakeste suurusjaotust ehk seda, kui ühtlase- või ebaühtlaseteraline pinnas on. Lõimistegur leitakse pinnase granulomeetrilise kõvera (sõelkõvera) põhjal valemiga  $Cu = d_{60}/d_{10}$ , kus:

d<sub>60</sub> – osakeste läbimõõt, millest väiksemaid osakesi on pinnases 60% massist.

d<sub>10</sub> – osakeste läbimõõt, millest väiksemaid osakesi on pinnases 10% massist.

Teede ehituses kasutatav ehitusliiv või kruus – täitematerjalid, mille peenosiste (alla 0,063 mm fraktsiooni) sisaldus on alla 5%.

TM – täitematerjal.

TRAM – Transpordiamet.

## 1. Sissejuhatus

Käesolev bakalaureusetöö on koostatud eesmärgiga uurida, kas Eestis on võimalik ja otstarbekas parandada looduslike täitematerjalide kvaliteeti pinnasepesutehnoloogiate abil, arvestades nii majanduslikke kui ka keskkonnamõjusid. Uurimisteema aktuaalsus tuleneb asjaolust, et suur osa Eestis leiduvatest looduslikest kruusa- ja liivavarudest on kõrge peenosise- ja savisisaldusega, mistõttu ei vasta need töötlemata kujul kehtivatele ehitus- ja teedehituse kvaliteedinõuetele ning nende kasutusvõimalused on seetõttu piiratud.

Varasemalt on Eestis pinnasepesuseadmeid rakendatud peamiselt paesõelmete töötlemisel, näiteks ettevõtetes Harku Karjäär AS ja Vao Paas OÜ. Looduslike täitematerjalide, eelkõige kruusa ja liiva pesemine ei ole aga seni laialdaselt kasutatud, kuna ehitussektoris on vajalikud materjalimahud olnud võimalik tagada kohalike karjääride varudest või mõistlike veokauguste piires transporditud materjalidega. Viimastel aastatel on olukord muutunud seoses suuremahuliste taristuprojektidega, eeskätt Rail Baltica raudtee ning Tallinn–Tartu maantee rekonstrueerimisega, mis on mitmetes Eesti piirkondades oluliselt suurendanud survet ehitusmaavarade varustuskindlusele. See on omakorda toonud kaasa vajaduse rajada uusi karjääre, millega kaasneb sageli kohalike omavalitsuste ja kogukondade vastuseis.

Üheks võimalikuks alternatiivseks lahenduseks ehitusmaavarade nappuse leevendamisel on pinnasepesutehnoloogiate laialdasem rakendamine nii olemasolevates karjäärides kui ka suuremate ehitusobjektide vahetus läheduses. Materjalide pesemine võimaldab parandada seni madalakvaliteediliste täitematerjalide omadusi, pikendada olemasolevate karjääride eluiga ning vähendada vajadust uute kaevandusalade avamiseks. Seejuures on oluline hinnata, kas selline tehnoloogiline lahendus on Eesti geoloogilistes ja kliimatingimustes praktiliselt teostatav, majanduslikult põhjendatud ning keskkonnamõtjude seisukohalt õigustatud.

Käesolev lõputöö põhineb Tariston AS-ile kuuluva Karude IV karjääri näitel ning keskendub loodusliku täitekruusa ja liiva pesemisele statsionaarse pinnasepesuseadme abil. Tegemist on rakendusliku juhtumiuuringuga, mis tugineb reaalses tootmiskeskkonnas kogutud andmetele ning autori vahetule töökogemusele pesuseadme kasutamisel.

Töö eesmärgiks on kirjeldava juhtumiuuringu baasil hinnata Karude IV karjääris kasutusele võetud kompleksse pinnasepesuseadme tehnoloogia juurutamise protsessi, tehnoloogilisi ja mäenduslikke eeldusi ning saavutatud tulemusi. Töö käigus analüüsitakse seadme tööpõhimõtteid, tootlikkust ja mõju pestud materjali kvaliteedile, samuti hinnatakse tehnoloogia sobivust Eesti kliimatingimustesse, sealhulgas võimalusi tööprotsessi jätkamiseks talveperioodil. Lisaks tuuakse välja tehnoloogia peamised eelised ja kitsaskohad ning esitatakse parendusettepanekuid, tuginedes analoogsete seadmete kasutuskogemusele Eestis ja mujal maailmas [EV2.1].

Lõputöös püstitatakse järgmised hüpoteesid:

**Hüpotees 1.** Täitekruusad ja liivad, mille filtratsiooninäitaja enne pesemist on väiksem kui 0,1 m/ööp, saavutavad pärast pinnasepesuseadmes töötlemist valdavalt filtratsiooninäitaja 3 m/ööp või enam, muutes materjali sobivaks kasutamiseks teede- ja hoonete ehituses.

**Hüpotees 2.** Ehitusobjekti vahetus läheduses asuvast karjäärist transporditud pestud täitematerjali omahind on väiksem võrreldes kaugemalt veetava materjaliga ning sellega kaasneb väiksem keskkonnajalajalg, eelkõige kallurtranspordist tulenevate heitgaaside vähenemise tõttu.

**Hüpotees 3.** Pinnasepesuseadme tööks ebasoodsate välistingimuste isoleerimine külmadel talvekuudel suurendab tööprotsessi kestvust, tootmismahte ja kogu protsessi majanduslikku tasuvust, võimaldades seadme efektiivset kasutamist ka talvetingimustes.

## 2. Pinnasepesutehnoloogiate kriitiline ülevaade

### 2.1. Tehnoloogia areng ja kasutuspraktikad

Üks esimesi pinnasepesu tehnoloogiaid läbi ajaloo oli kullapesemine. Selle puhul kasutati vett pinnase ja setete eraldamiseks gravitatsiooni abil. Selleks kasutati kullapesupanne ja lokaalset vett või veekogu. Eesmärgiks oli eraldada suurema tihedusega kuld pinnasest ja saada majanduslikku kasu. Kuna tegemist on käepärase ja odava tehnoloogiaga, on kullapesu sellisel viisil kasutusel ka tänapäeval.

Suurem pinnasepesutehnoloogia areng toimus 1970.–1980. aastatel ja seda tingis tööstusreostuse kasv tööstuspiirkondades. Kiiresti arenevates tööstuspiirkondades (Põhja-Ameerikas ja Lääne-Euroopas – Saksamaal, Belgias) tekkis suurel määral saastunud pinnast. Algselt saastunud pinnas kas maeti või ladustati kindlatele territooriumidele, kuid kuna saastunud pinnase mahud kasvasid seoses tööstusarenguga kiiresti, muutus selliste mahtude teisaldamine majanduslikult liiga kulukaks. Esimesed pinnasepesutehnoloogiad põhinesid mehaanistel protsessidel (sõelumine, settimine) ja peamisteks eesmärkideks olid raskemetallide ja naftasaaduste eraldamine (Kuhlman, 1990).

Pinnasepesutehnoloogia areng on olnud tihedalt seotud tööstuse laienemise ja keskkonnanõuete karmistumisega. 1980. aastal käivitus USA Superfund programm (CERCLA) ja sellest tulenevalt tõusid pinnase- ja veepuhastusprobleemid suurendatud avaliku tähelepanu alla (Sandra George O’Neil, 2007). Pinnasepesutehnoloogiatesse lisandusid keemilised ja füüsikalised-keemilised meetodid, nagu näiteks pindaktiivsed ained, kelaatained (raskemetallide eraldamine läbi metalliioonide sidumise) ja pH-regulatsioon. Edasi arenes ka pesuseadmete tehniline pool. Pinnasepesuüksused muutusid mobiilseteks ja neid oli võimalik kasutada otse objektidel või vastavalt vajadusele ümber paigutada. Toimus osade protsesside automatiseerimine (nt doseerimine) ja pinnasepesutehnoloogiad muutusid efektiivsemaks.

Tänapäeval areneb ja täiustub pesuseadmete tehnoloogia pidevalt. Kasutatakse erinevaid kombineeritud tehnoloogiaid, kus pinnase pesemine on ühildatud erinevate saasteainet siduvate tehnoloogiatega (bioremedatsioon, solidifitseerimine, nanotehnoloogia). Täiustuvad veeringlussüsteemid, mis vähendavad vee- ja kemikaalikul, ning arendatakse digitaalset protsessijuhtimist ja reaajas monitoorimist, mis kõik muudavad pesuseadmed üha efektiivsemaks ja keskkonnasäästlikumaks. Näitena võib tuua Londonis käivitatud ettevõtte „Frontline“ pesusüsteemide „R.M.S. London Project“, kus linna arengule jalgu jäänud vanem pesukompleks asendati uue pesusüsteemiga, mis on kompaktsem ja kõrgema tootlikkusega. Viimases pesuetapis üle jäänud savi ja muda pressitakse lõpuks kokku, mis muudab jäätmete transportimise ja utiliseerimise eriti lihtsaks (Frontline, 2020). Eestis käivitati 2025. aastal Eesti Killustik OÜ Röstla

lubjakivikarjääris uus pesuseadmekompleks, kus mobiilne pesuseade on kombineeritud statsionaarse settevanniga ja ettevõtte enda arendatud 4-kolulise dosaatoriga. Eesmärgiks on pesta sõelmeid ja killustikku ning toota ühtlase koostisega erineva fraktsiooniga killustikutooteid (Eesti Killustik OÜ).

## 2.2. Rakenduslikud eelised ja majanduslikud piirangud

Pinnasepesuseadmete esmane ja kõige suurem rakenduslik eelis on savirikaste pinnaste savisisalduse vähendamine nende läbipesemisel. Seeläbi saame muuta mittekvaliteetsed maavarad ehitusmaavaradeks ning kasutada neid erinevatel ehitusobjektidel. Näiteks on võimalik muuta täiteliivad pesemisega ehitusliivadeks. Savi eemaldamine parandab materjalide filtratsioonimoodulit.

Kasutades pinnasepesukomplekse, kus kasutatakse ka erinevaid pinnasesõelaid, on võimalik pesemise käigus kogu pestav materjal protsessi käigus vastavalt vajadusele erinevatesse fraktsioonidesse sõeluda. Ehk siis materjali mitte ainult ei pesta, vaid see pestakse ja sõelutakse täpselt vajalikku fraktsiooni. See annab võimaluse toota erinevaid Tm-materjale (Transpordiamet (TRAM) – „Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi nr 2001-52“, 2017), mille klassifitseerimise aluseks on materjalide sõelkõver.

Kuna pinnasepesuseadmete protsessijuhtimine on andurite abil digitaliseeritud ja monitooritud, on pesuseadme toodang ühtlase kvaliteediga. See on suur eelis võrreldes looduslike materjalidega, kus materjali kvaliteet võib lasundis kiiresti muutuda.

Pinnasepesuseadmed toetavad ringmajanduse põhimõtteid. Pestud pinnast on võimalik uuesti kohapeal kasutada. Kuna pinnasepesuseadmed on mobiilsed üksused, on neid võimalik kasutada otse suurematel taristu ehitusobjektidel. Seade on võimalik paigaldada objektidel sobivasse kohta ja taaskasutada objektilt väljakaevatud materjali. Nii säästetakse loodust läbi vähendatud kaevandamise ja materjali transpordist tingitud saastamise vähendamise.

Lisaks eelistele on pesuseadmetel ka mõningaid piiranguid. Kõige suurem neist on majanduslik piirang. Pesuseadmete soetamise hind ehk alginvesteering on suur ja pesuseadmed on kallid. Nende soetamine on ettevõtete jaoks finantsiliselt riskantne ning investeeringu tasuvusaeg on pikk.

Pesuseadmed on keerulised ja mitmest erinevast tehnoloogilisest agregaadist (hüdraulilised sõelad, pesuaine dosaatorid, vee- ja savipumbad, juhtmoodulid jne) koosnevad kompleksid. See muudab nende hoolduskulud suureks ja kohati ettearvamatuks, kuna vigade võimaluste arv kasvab sünkroonis pesuseadme keerukusega.

Kuigi pinnasepesuseadmed on mobiilsed, on nende kolimine ning lahti- ja kokkumonteerimine tulenevalt nende keerukusest väga ajamahukas ja kulukas töö. See nõuab pesuseadmete kasutamisel hoolikat tööde eelplaneerimist ja põhjalikku analüüsi. Sellest sõltub objekti tasuvus. Pinnasepesuseadmed ei sobi väikese mahuga tööde jaoks.

## 2.3. Sobivus Eesti geoloogilistes ja kliimatingimustes

Eesti tänapäevast maastikku on kujundanud viimane jääaeg ja selle järgselt tekkinud pinnavormid. Pinnakate ehk kvaternaarisetted on pudedatest setenditest koosnev kiht, mis lasub aluspõhjal ning mille struktuur on kihiti muutlik. Eesti pinnakate koosneb põhiliselt moreenist. Lisaks leidub savi, liiva ja teisi purdseteid.

Eesti geoloogia sobib pesukomplekside kasutamiseks, kuna kihiline ja savirikas pinnakate toob hästi välja pesuseadmete eelised. Maavarade kvaliteet ja sõelkõver paranevad läbi pesemise oluliselt. Küll aga piirab geoloogia pesuseadmete kasutamist regionaalselt, sest pesuseadmeid ei ole majanduslikult otstarbekas kasutada regioonides, kus leidub piisavalt looduslikku ehitusliiva ja -kruusa. Samuti ei saa kasutada pesuseadmeid seal, kus pole piisavalt katendit.

Pesuseadmete kasutamist soodustab ka Eesti hüdrogeoloogia. Eestis leidub piisavalt pinna- ja põhjavett, mida saab kasutada pinnasepesuseadmetega töötamisel ning mille tarbimine ei tekita piirkonnas vee defitsiiti.

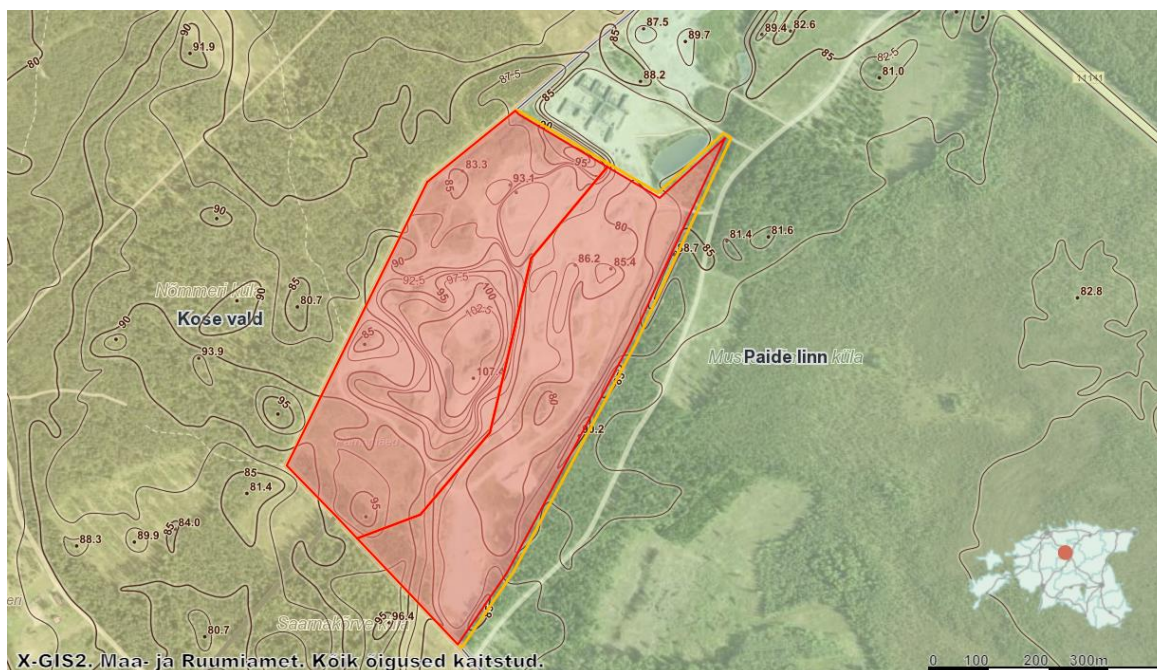
Kliimaatiliselt asub Eesti parasvöötmes. Enamiku aastast on Eestis valdavalt plusskraadid. Kuna pinnasepesuseadmed kasutavad oma töös olulisel määral vett, mis miinuskraadide korral külmub, siis talvistes tingimustes on pesuseadmete kasutamine Eesti kliimas võimatu. Pesuseadme erinevates tööorganites vee külmumine võib põhjustada seadmete lõhkikülmumist ja sellest tulenev rahaline kahju võib olla väga suur. Olenevalt talvest võib pesemiseks mittedobivaid kuid olla kokku kolm kuni neli (detsembrist märtsini). Tulenevalt kompleksi kõrgest maksumusest on talvised „seisukuud“ ettevõtetele suur kulu.

## 3. Karude IV karjäär kui rakendusüraingu objekt

### 3.1. Geoloogiliste tingimuste sobivus pinnasepesuks

Karude kruusamaardla Karude IV liivakarjäär (joonis 1) asub Järvamaa idaosas Paide suurvalla territooriumil Mustla-Nõmme külas, piirnedes läänest Harju ja Järva maakonna piiriga, idast Tariston AS-i Karude II kruusakarjääriga ning kirde poolt Tariston AS-i Karude kruusakarjääriga. Karude IV liivakarjäär asub endisest Tallinn–Tartu–Võru–Luhamaa riigi põhimaanteest ca 500 m edela pool ja uuest Tallinn–Tartu maanteest kirde suunas. Maastikuliselt paikneb Karude IV liivakarjäär Kõrvemaal Pandivere staadiumis Aegviidu–Lelle joonel levivate servamoodustiste piires kujunenud marginaalse künnise kagunõlval ning selle ees kujunenud limnoglatsiaalse tasandiku madalatel sandurilaadsetel kühmudel. Maapinna absoluutsed kõrgused mäeeraldisel ulatuvad 81,46–105,76 meetrini (Karukäpp, 1997).

Karude IV liivakarjääri mäeeraldisel pindala on 16,27 ha ning mäeeraldis on piiritletud 16 piiripunktiga (piiripunktid 1–16). Mäeeraldisel sügavus ühtib kinnitatud täiteliiva (10. plokk) aktiivse tarbevaru sügavusega. Varu on kinnitatud täiteliiva aktiivse tarbevaru kategoorias ning kvalitatiivne iseloomustus on antud eraldi liivale ja kruusale (Kobras, 2010). Kruus esineb ainult kitsa ribana karjääri mäeeraldisel äärmisel idapoolsel serval Karude II kruusakarjääri mäeeraldisega piirneval alal. Kogu varu on veepealne.



Joonis 1. Karude IV liivakarjäär. (Maa-ameti Geoportaal, 2025)

Karude IV karjääri kaavelo taotlemisel oli kaevandatav varu 1783 tuhat m<sup>3</sup> täiteliiva. Kaevandatav jääkvaru 2025. aasta alguse seisuga on Maa-ameti andmetel 1168 tuhat m<sup>3</sup> täiteliiva (Maa-ameti Geoportaal, 2025). Karude IV liivakarjääri mäeeraldisel ulatuvad absoluutsed kõrgused 81,46–105,76 meetrini. Varude suurus ja kaevandatava lasundi paksus loovad eelduse, et Karude IV liivakarjääri mäetehnilised ja geoloogilised tingimused on soodsad pinnasepesuseadme kasutamiseks. Kaevandamist saab jätkata töötavast Karude II kruusakarjäärist. Juurdepääs tulevasele karjäärile on hea mööda valla kruusateed, mis kulgeb Karude II kruusakarjääri kagupoolel piiril.

Karude kruusakarjääris olevas veekogus on fikseeritud veetase absoluutsetel kõrgustel 79,64 m (02.10.1992), 79,66 m (09.09.2003), 79,91 m (26.03.2007) ja 80,00 m (18.08.2009). Maardla registrikaardil on keskmine veetase absoluutsetel kõrgusel 79,60 m. Antud veekogu ei ole väga sügav ning veehulk selles on väike. Pesuseadme valikul tuleb sellega arvestada.

### 3.2. Materjali kvaliteediprobleemide hindamine

Karude IV liivakarjääri mäeeraldis asub Karude kruusamaardla täiteliiva aktiivse tarbevaru 10. ploki. Varu on kinnitatud täiteliiva aktiivse tarbevaru kategoorias, kvalitatiivne iseloomustus on antud eraldi liivale ja kruusale (Kobras, 2010). Karude IV liivakarjääri mäeeraldisel ala geoloogilise ehituse kirjeldus on antud 2009. aasta detsembris puuritud 13 puuraugu (PA-1 kuni PA-13, sügavusega 8,0–12,0 meetrit), J. Viru Markšeideribüroo OÜ poolt 2006. aasta oktoobris kaevatud 6 šurfi (Š-1, Š-1A, Š-8, Š-12, Š-15 ja Seinapuhustus-Š-19, sügavusega 4,7–9,7 meetrit) ning TK „Eesti Geoloogia” poolt 1989. aastal puuritud 4 puuraugu (PA-157, PA-159, PA-161, PA-162, sügavusega 4,5–9,0 meetrit) andmete põhjal (lisa 3). Karude IV liivakarjääri mäeeraldisel ala kattekihi moodustab kasvukiht (muld). Kasvukihi (mulla) paksus on 0,0–0,3 m, keskmine paksus 0,2 m. Kasuliku kihi moodustab glatsiofluviaalne liiv, kruus ja liiv kruusaga (fIII) paksusega 2,96–19,81 m, keskmine paksus on 11,35 m. Karude IV liivakarjääri lääneosas esineb liiv kruusaga ja liiv ning ainult äärmises idaosas esineb valdavalt kruus. Kasuliku kihi lamam on läbitud kolmes 2009. aasta puuraugus (PA-7, PA-9 ja PA-10) ning kolmes 1989. aasta puuraugus (PA-157, PA-159 ja PA-161).

Kasuliku kihi lamami moodustab moreen (gIII), PA-7 puhul jõuti lubjakivini (S1rk). Lamam on läbitud 0,1–2,0 m ulatuses (lisa 3).

Kasuliku kihi laboranalüüside tulemused on esitatud tabelitena lisas 1 (Karude IV uuringuruumi looduslikust materjalist väljasõelatud liiva lõimis ja näitajad) ja lisas 2 (Karude IV uuringuruumi looduslikust materjalist väljasõelatud kruusa lõimis) (Kobras, 2010).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et Karude IV karjääri täiteliiv (lisa 1) on kõrge peenosise sisaldusega (keskmiselt 24,6%) valdavalt alla 1 mm terasuurusega peenliiv. Karude IV karjääris leviv kruus (lisa 2) on samuti savirikas (keskmiselt 8,3%). Kumbki materjal ei sobi oma looduslike omaduste tõttu teedehituse ega hoonete ehituse objektidele.

## 4. Metoodika

### 4.1. Uurimisviis ja lähenemine

Käesolevas bakalaureusetöös kasutati **kvalitatiivset rakenduslikku juhtumiuuringut**, mille eesmärk oli analüüsida statsionaarse pinnasepesuseadme (CDE Combo X70) rakendamist Karude IV karjääris. Juhtumiuuring on sobiv lähenemine olukordades, kus uuritakse konkreetset tehnoloogiat reaalses töökeskkonnas ning soovitakse mõista protsesside põhjuslikke seoseid, toimivust ja praktikas ilmnevat kitsaskohti (Yin, 2018; Creswell, 2014).

Kuna lõputöö keskendus ühe karjääri geoloogiliste, tehnoloogiliste ja majanduslike tingimuste hindamisele siis seetõttu oli kvalitatiivne juhtumiuuring parim viis koguda ja analüüsida protsessipõhist, kontekstiga seotud teavet.

### 4.2. Andmekogumise meetodid

Lõputööks vajalik andmestik koosneb kolmest peamisest allikast: (1) ettevõtte dokumentatsioon; (2) vestlused ja ekspertintervjuud; (3) vahetu tööprotsessi vaatlus ja autori praktiline kogemus.

#### 4.2.1. Ettevõtte dokumentide analüüs

Dokumentide analüüsi käigus kasutati järgmisi materjale:

- Tariston AS-i andmekogud (tootlikkuse tabelid, masina seireandmed, proovivõtu protokollid, kulukokkuvõtted),
- karjääri geoloogilised uuringud (Kobras, 2010),
- pesuseadmega seotud tehniline dokumentatsioon (CDE Group, 2025),
- asjakohased riiklikud normatiivid ja juhendid (nt MTA Käskkiri nr. 0005, 2016).

Dokumentide analüüs võimaldas hinnata nii Karude IV karjääri materjalide kvaliteeti kui pesuseadme töötingimusi enne ja pärast tehnoloogia juurutamist (Bowen, 2009).

## 4.2.2. Vestlused ekspertidega

Töö koostamise käigus viidi läbi vestlused järgmiste isikutega:

- Tariston AS-i mäetööde osakonna spetsialistid,
- pesukompleksi seadistamise ja hooldusega tegelejad tehnikud,
- karjääri tootmist juhtinud töötajad.

Vestluste eesmärk oli:

- täpsustada seadme kasutamisega seotud kitsaskohti,
- hinnata tootmisprotsessi muutumist ajas,
- mõista otsuste taga olevat praktilist loogikat.

## 4.2.3. Tööprotsessi osalusvaatlus

Autor osales pesukompleksi käivitamise, seadistamise ja talvise töö tagamise juures. See võimaldas koguda vahetut infot järgmiste aspektide kohta:

- seadme töökindlus erinevates ilmastikutingimustes,
- geoloogiliste tingimuste mõju seadme tootlikkusele,
- torustike, pumpade ja settevani toimimine eri töörežiimides,
- talvise tootmise korraldus (tellingutest „telgi“ ehitus, kütmine, andurite töö jälgimine).

Osalusvaatlus võimaldas mõista tööprotsessi sisemist dünaamikat, mida dokumentidest üksi ei oleks olnud võimalik välja lugeda.

## 4.3. Andmeanalüüsi meetod

Andmeanalüüs toimus **temaatilise analüüsi** põhimõttel (Braun & Clarke, 2006), mille käigus eristati andmestikust peamised uurimisteemad:

1. materjalide kvaliteedi probleemid enne pesemist,
2. pesutehnoloogia toimivus geoloogilises kontekstis,
3. pesuseadme tehnilised kitsaskohad ja nende põhjused,
4. tootlikkuse muutused ajas,
5. majanduslikud ja keskkondlikud mõjud,
6. talvise tootmise jätkusuutlikkus.

Lisaks võrreldi kahe erineva tootjafirma pesuseadmete sobilikkust Karude IV karjääri tingimustesse.

Tabel 1 . Eritüüpi pesuseadmete analüüs. (Randjärv, 2025)

	Hind	Toodetavate fraktsioonide hulk	Seadme mobiilsus	Tarbitava vee hulk	Võimekus pesta kruusa ja liiva	Lubatud tootlikus (t/h)
MWS McCloskey Washing Systems	✓	◦ (3)	✓	◦	✓	120
CDE Combo X70 Washing Plant	◦	✓ (5)	◦	✓	✓	120

Ülal toodud tabelis on välja toodud ja võrreldud erinevaid faktoreid, mis olid olulised pesuseadme valikul Karude IV karjääris. Sümbol „✓“ märgib eelist, sümbol „◦“ puudust.

## 5. Karude IV karjääri toodangu kvaliteeti parandavate tehnoloogiate otsing

Karude IV karjääris leiduv liiv ja kruus on valdavalt kõrge peenosise sisaldusega. See loob olukorra, kus nimetatud materjale saab kasutada ainult teedehituses mullete alumistes kihtides või erinevate objektide tagasitaitematerjalina. Selleks, et karjääri varusid paremini realiseerida ja kaubastada, tuli leida erinevaid tehnoloogiaid, mille abil toota teedehituses ja teede korrashoius kasutatavaid materjale.

Esimese variandina prooviti Karude IV karjääri materjali sõeluda mitmetekiliste pinnasesõeltega. Eesmärk oli eemaldada materjalist võimalikult palju savi ja peenosiseid. Kuna pinnasesõelte alumisel tekil kasutatava kõige peenema sõelalina ava on 2 mm (harfsõel), ei sobi see Karude IV karjääri täiteliivade töötlemiseks. Uuringu põhjal koostatud täiteliiva keskmiste sõelkõverate järgi läbiks 2 mm sõela üle 80% materjalist (lisa 1, lisa 2). Seetõttu osutub täiteliiva sõelumine majanduslikult mõttetuks.

Pinnasesõela kasutamine Karude IV karjääri täitekruusa sõelumisel oli materjali kvaliteedi parandamisel veidi edukam. Kruusa puhul oli 2 mm või väiksema fraktsiooniga materjali hulk kogu sõelutud materjalist keskmiselt 40%. Samas on see protsent kogu tootmist silmas pidades liiga suur ning tekib oht, et lattu jääv täiteliiv ei ole tulevikus realiseeritav. Samuti tõstab suur tootmisjäägi osakaal müügiks toodetud materjali omahinda.

Pinnasesõeltega sõelumisel, eriti peenete vahedega sõelalinade puhul, on suureks miinuseks sõltuvus ilmast ja algmaterjali niiskusest. Nimelt ummistuvad niiske materjali sõelumisel peenikese vahega sõelad kiiresti, eriti juhul, kui toormaterjal on savirikas, nagu Karude IV karjääri kruus ja liiv. Kui lisada siia Eestis valitsev heitlik ilm, on tulemuseks sagedased tootmisseisakud või ummistunud sõeltest tingitud materjali ebakvaliteetne sõelumine ja savika liiva sattumine toodetud materjali hulka. Kõik see töö kaasa madala tootlikkuse ja ebaühtlase kvaliteediga materjali tootmise.

Teine kasutusvariant on täitekruusa sõelumine või purustamine, mille käigus saadavaid materjale saab kasutada kõrvalteede (kruusateede) ehituses ja korrashoius. Selline

materjali tootmisviis toimus Karude IV karjääris hästi ning saadud purukruusad ja sõelutud kruusad vastasid määrusele nr 101 „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded” (TRAM määrus, 2015) (lisa 4). Selliste materjalide vajadus lähiregioonides sõltub suuresti riiklikest hangetest ning nende aastased mahud võivad tugevasti kõikuda. Seega on purukruusade tootmine vaid üks väike lisavõimalus Karude varude vääristamiseks.



Joonis 2. Purukruusa/killustiku tootmine Karude IV karjääris. (Kiiman, 2017)

Karude IV karjäär asub uue 2+2 Tartu maantee arenduse vahetusläheduses, kus kvaliteetse tee-ehitusmaterjali vajadus aastatel 2018–2020 oli väga suur. Selleks, et karjääri materjale kaubastada, tuli leida alternatiivseid lahendusi karjääris leiduva maavara kvaliteedi parandamiseks.

Üheks võimalikuks lahenduseks on täitematerjalide pesemine pinnasepesuseadmega. Pinnasepesuseade on seade, mis on mõeldud täitematerjalis (liiv, kruus-liiv, sõelmed jms) sisalduvate savi- ja tolmuosakeste (peenosise) kontsentratsiooni vähendamiseks. Peenosise vähendamine on omakorda vajalik, et parandada valdavalt teedehituses kasutatavate täitematerjalide filtreerumisomadusi. Varasemalt on Eestis kasutatud pesuseadmeid lubjakivikarjäärides sõelmete pesemiseks paeliiva tootmisel (Väo Paas OÜ, 2017). Loodusliku materjali, eriti loodusliku kruusa, pesemise kogemust ei olnud teadaolevalt Eestis varasemalt kellelgi. Karude IV karjääris leviv täitekruus sisaldab suuri veeriseid (kuni 500 mm), mis loob olukorra, kus liivapesuseadmele on vaja täiendavaid tehnilisi lahendusi, et nii suure fraktsiooniga kruusa pesemine oleks võimalik. Ainuüksi pesuseadmest ei piisaks, vaja oleks terviklikku pesukompleksi.

## 6. Sobivaima pinnasepesuseadme valimine ja alternatiivide analüüs

2016.–2017. aastal ilmnes, et uute Maanteeameti hangete teedehitusmaterjalide nõuded on muutunud ning Karude IV karjääri täiteliiv ja kruus ei sobi enam täiel määral teedehituseks. Uutel hangetel oli muldkehamaterjalide määratlemise aluseks võetud peenosise sisaldus ja sõelkõver (TRAM-i käskkiri nr 0005, 2016) (lisa 5). Varasemalt oli põhinõudeks materjalide filtratsiooninäit, mille järgi muldkeha kihte eraldati. Kuna varud Karude IV karjääris olid väga suured ja surve karjääri materjali pakkuda tulevaste 2+2 hangete tarbeks oli suur, siis asusin otsima võimalusi, kuidas materjali kvaliteeti parandada.

Kuna pinnasesõela kasutamine oli osutunud Karude karjääri materjali puhul ebaefektiivseks, alustasime 2017. aastal aktiivseid otsinguid karjääri jaoks sobiva pesuseadme või pesukompleksi leidmiseks, millega oleks võimalik pesta nii looduslikku kruusa kui ka liiva. Esmalt kaardistasime kriteeriumid, mille alusel saaksime analüüsida, millist pesuseadet me Karude IV karjääris vajaksime ja milline neist oleks kõige efektiivsem, arvestades materjalide omadusi.

- Karude IV karjääris leidub nii savirikast täiteliiva kui ka jämedat kruusa. Need materjalid võivad mõnes kohas paikneda kihiti üksteise peal, seetõttu ei ole nende eraldi kaevandamine võimalik või oleks see liiga kulukas. Sellest tulenevalt tuleb arvestada, et pesuseade peab suutma pesta materjali, mille fraktsioon võib olla vahemikus 0 kuni 500 mm.
- Vastavalt uuele TRAM-i käskkirjale peame suutma toota materjale, mis vastaksid täitematerjalide (Tm) tabelis toodud nõuetele (TRAM-i käskkiri nr 0005, 2016) (lisa 5). Seega peab lisaks peenosise eraldamisele olema võimalik pestud materjali ka vastavalt nõuetele fraktsioneerida.
- Kuna Karude IV karjääri varud asuvad ülevalpool looduslikku veepiiri ja kõrvaloleva ammendunud karjääri alal olev veekogu on väike, siis on pesuseadme valikul tähtsaks kriteeriumiks tarbitava vee hulk.
- Väga tähtsaks osutus võimalikult suure tootlikkuse kriteerium. Kuna 2018. aastal alustati uue Tartu mnt 2+2 maantee rajamist Kosest Mäoni, siis materjalivajadus kuni aastani 2020 oli väga suur. Seega oli eesmärk realiseerida võimalikult suur kogus varusid antud objekti raames.

Selleks, et hinnata jämeda loodusliku materjali võimaliku pesemise võimalusi ja uute TRAM-i nõuete täitmist, sai kiiresti selgeks, et lihtsalt pinnasesõelumisest ja seejärel täiteliiva pesemisest ei piisa. Selline lahendus oleks jätnud sõelutud kruusa liiga savirikkaks ning pestud liiva ja savirikka sõelutud kruusa kokkusegamine poleks andnud soovitud tulemust ega kvaliteeti. Oleks tekkinud risk, et kokkusegatud materjal on ebaühtlane ja peenosise jälgimine kokkusegamise käigus oleks olnud keeruline. Seega vajaksime lisaks liivapesuseadmele eelpesuseadet ka kruusa pesemiseks. Eelpesuseadmega on võimalik pesta ja seejärel sõeluda kruusa vahemikus 30–150 mm. Sellega oleksime täitnud TRAM-i uue määruse nõuded, suurendanud kogu pestud materjali hulka ja tootlikkust ning vähendanud kvaliteediriske.

Eelpesuseadme lisamise miinuseks oli see, et see tõstis kogu kompleksi hinda, ning tekkis küsimus, kas üks olemasolev frontaallaadur suudab lisanduva eelpesuseadme materjalid lisaks muudele pesuseadme töödele (laadimiskolu täitmine, pestud liiva lattu vedu) teisaldada. Kuna eelpesuseade suurendaks kogu pestud materjali hulka ja seeläbi ka tootlikkust, siis eeldatav tulu ületas seadme kulu. Nii majanduslikult kui ka kvaliteediriskide vähendamise seisukohalt oli eelpesuseade

põhjendatud. Frontaallaaduri puhul otsustasime soetada uue laaduri, mille tootlikkus vastaks kogu pesuseadme kompleksi eeldatavale tootlikkusele.

Kuna Karude IV karjääri kruus sisaldab veeriseid, mis on suuremad kui 150 mm, siis pidime need eraldama enne eelpesuseadme moodulit. Selleks ehitasime pesukompleksi söoturkolule peale varbsõela koos kaugjuhitava hüdroüsteemiga. Nii vältisime ülegabariidilise materjali sattumist eelpesuseadmesse ning juhul, kui varbsõel hakkas ummistuma, sai laadurijuht ilma tööd katkestamata varbsõela puhastada.

Veekasutuse järgi saab pinnasepesuseadmed jagada kahte tüüpi. Esimene tüüp on selline, kus pesemiseks kasutatav vesi pumbatakse läbi düüside otse pinnasesõela moodulil olevale liikuvale materjalile ja savine vesi, mis kogutakse pärast materjali pesemist kokku, pumbatakse koos selles sisalduvate saviosakestega karjääri ehitatud settebasseini tagasi. Sellist tüüpi pinnasepesuseadmed kasutavad 300–500 m<sup>3</sup> vett tunnis. See eeldab omakorda loodusliku veekogu olemasolu veevõtuks (järv, jõgi, karjääri veekogu). Settebasseinid, mis asuvad seadmest veidi eemal karjääri alal, on tavaliselt jaotatud 2–3 sektoriks ning settebasseini lõpus on lüüside süsteem, kuhu vee lendlev savi settib. Sealt kaudu lastakse puhas vesi tagasi veevõtu veekogusse (Baltem AS, 2017). Selline veeringlus eeldab suure veekogu olemasolu karjääris, sest pesuseadmes kasutatav vesi peab olema puhas. Vastasel juhul pesemise kvaliteet langeb. Sellist tüüpi pesuseadmete hind oli 2017. aastal hinnanguliselt 450 000 eurot.

Teist tüüpi pesuseadmete puhul on veekasutus lahendatud taaskasutusmeetodi alusel. Pesemiseks kasutatav vesi puhastatakse kemikaalide (flokulandi) abil eraldi settevannis. Flokulandi abil seotakse saviosakesed ja setitatakse settevanni põhja. Sealt pumbatakse eraldi mudapumbaga vedel savi selleks ehitatud savi settekaardile. Puhas vesi suunatakse uuesti pesusüsteemi kasutusse. Selline vee taaskasutus ja ringluses hoidmine hoiab kokku 95% vett (CDE). Seega on eeldatav veekulu 5 kuni 10 m<sup>3</sup> tunnis. Karjääri seisukohalt võib oluliseks kujuneda ka asjaolu, et savi settekaart on oma mõõtmetelt kompaktsem ja väiksem kui 2–3-sektoriline settebasseinide süsteem. Sellist tüüpi pesukompleksi hind on hinnanguliselt 700 000 eurot. Kui võrrelda neid pesuseadmeid ostuhinna järgi, siis teist tüüpi (taaskasutava veesüsteemiga) pesuseadmed on keskmiselt 35–40% kallimad. Kallim hind tähendab pikemaajalist investeringut ja suuremat äririski.



Joonis 3. Settevanniga ja eelpesuseadmega pesukompleks. CDE

Olukorras, kus Karude IV karjääri varud asuvad pealpool veepiiri, on võimalikult madal veetarbimine pesuseadme valikul väga oluline faktor. Selleks, et karjääris puhast vett saada, rajasime Karude II karjääri kaevandatud alale puurkaevu (nr. 57710) ja taotlesime vastava vee erikasutusloa (L.VV/333100) (Lisa 6). Lähtudes eelloetletud faktidest, pikemaajalisest visioonist ja sellest, et Tariston AS omab paljusid karjääre erinevates Eesti regioonides, langetati valik CDE pinnasepesu kompleks Combo X70 kasuks.

## **7. CDE pesuseadme Combo X70 tulemuste hinnanguline analüüs tööperioodil 2018-2020**

### **7.1. Pinnasepesuseadme tootlikkuse hindamine**

Tasuvusarvutuste ja materjalihinna kalkulatsioonide tarbeks küsiti pesuseadme valmistajalt ja vahendajalt hinnapakumiste faasis seadme eelduslikku tootlikkust. Inglismaa firma CDE poolt toodetud pinnasepesuseadme Combo X70 kompleksi puhul lubas tootja keskmiseks tootlikkuseks 120 tonni tunnis.

120 t/h on selline tootlikkus, mille puhul tuleb arvestada suurema frontaallaaduriga ning seetõttu teha lisainvesteering selle soetamiseks. Vastasel juhul jääks seadme teenindamine ebapiisavaks ja kompleksi maksimaalne tootlikkus võib seetõttu jääda saavutamata.

Pärast pesuseadme ostu ja selle kasutuselevõttu selgus, et antud seadmega lubatud tootlikkust ei ole võimalik saavutada. 2018. aasta keskmiseks tootlikkuseks oli 62,0 t/h (tabel 3). Seadme tootlikkust pärssisid mitmed tegurid. Suurimaks probleemiks oli Karude IV karjääri muutlik geoloogia. See tähendab, et materjal, mida pesuseade pidi pesema ja mida söötur kolusse laadis, oli väga muutliku peenosise sisaldusega. Muutlik peenosise sisaldus algmaterjalis takistas pesemiskiiruse seadistamist maksimumini. Kui homogeenne materjali puhul on võimalik pesekompleksil seadistada etteandekiirus vastavalt savi pesemis- ja setitamisprotsessidele ning seeläbi saavutada parim efektiivsus, siis muutlik peenosise sisaldus algmaterjalis tekitab rea probleeme.

Kuna seadme algseadistamisel arvestati kruus-liiva või liiv-kruusa pesemisega, tekkis esimene probleem olukorras, kus materjal oli liiga vähe kive. Liivase materjali puhul on vaja vähendada etteandekiirust. Vastasel juhul võib eelpesuseadme liivapump ummistuda. Ilma kivideta pulp on tihedam ja veesisalduse protsent väiksem ning pump ei tule materjali pumpamisega toime. Tulemuseks oli sageli ummistunud liivapump, mille lahtivõtmine ja puhastamine võtab ligikaudu kaks töötundi. Halvimal juhul tuleb vahetada pumbamootori rihmad.

Teine peenosise sisaldusega seotud probleem puudutas settevani setitamise- ja doseerimisprotsessi seadistamist. Kompleksi prooviperioodil seadistati sellele optimaalne setitamis- ja doseerimisrežiim. Kui materjal, mille peenosise sisaldus oli periooditi kõrgem ja mille „pesuvesi“ jõudis pesemisprotsessi lõpuks suurde settevani, põhjustas muda kiiremat settimist, oli muda hulk settevani põhjas liiga suur ja selle konsistents liiga paks. See omakorda mõjutas mudapumba töörežiimi, puhta vee taaskasutust ja kogu ringluses oleva vee puhtusnäitu. Tagajärjeks oli mudapumba ummistumine või halvimal juhul kogu pesemiskvaliteedi oluline langus.

Pesukompleksi käivitamisperioodil esines veel rida „sünnitusvalusid“, kuid need olid enamasti ühekordsed ning said töökäigus likvideeritud või parandatud. Enamasti olid need masinaehituslikku laadi.



Joonis 4. Flokulandi segamis- ja doseerimisjaam. (CDE, 2025)

Mida homogeensemaks muutus sisselaetav looduslik materjal, seda paremat tootlikkust oli võimalik saavutada. Karude IV karjääri kaevandamise edenedes esines sageli erinevate liivade ja kruusade kihistumist. Selleks, et pestav materjal oleks ühtlasem, otsustasin mäetööde juhina kasutada vajadusel ekskavaatorit, mis materjali frontaallaadurile ette kaevates seda samaaegselt ka segas. Nii segunesid erinevad kruusa- ja peenliivakihid ühtlasemaks massiks. Lisaks oli laadurijuhil võimalik sőturit laadides materjali jälgida ja vajadusel teha lisasegamist.

Kui 2018. aastal oli kompleksi keskmine tootlikkus 62 t/h, siis aastaks 2020 olid kogemused ja tööprotsessid sedavõrd arenenud, et kompleksi keskmine tootlikkus tõusis 77 t/h-ni (tabel 2). Sisselaetav materjal oli ühtlasem ning tööseisakuid esines masinarikete vähenemise tõttu vähem.

Tabel 2. Tootlikkuse koondtabel aastate lõikes. (Randjärv, 2025)

Aasta	2018	2019	2020
Mototunnid kokku	1076	2563	2740
Toodangu üldkogus, T	66644	152919	211448
Tootlikus (tonni/h)	62	60	77

Võrreldes muude kaevise rikastamismasinatega, nagu pinnasesõelad või purustid, on firma CDE kompleksne pesuseade suhteliselt madala tootlikkusega. Varasematele töökogemustele toetudes oli teada, et pinnasesõelte keskmine tootlikkus jääb ligikaudu 250–300 tonni tunnis ning purustite tootlikkus on enamasti 150–200 tonni tunnis.

Oodatust madalam pesuseadme tootlikkus tähendab, et suuremate objektide tarbeks tuleb materjalide pesemiseks planeerida pikem aeg ehk vajadusel ja võimaluse korral tuleb pesuseadmega töötada kahes või kolmes vahetuses. Seda võimalust kasutasin mäetööde juhina Karude IV karjääris võimalikult tihti. Mitmes vahetuses tootmine tõstab kogumahtu ja keskmist tootlikkust. See tuleneb masina pidevas töös hoidmisest, kuna ära jäävad käivitamis- ja pesuseadme läbipesuprotsessid. Kumbki protsess võib võtta kuni 15–20 minutit. Näitena toon 2018. aasta juuli- ja septembrikuu, mil kasutasin kahte operaatorit (tabel 3).

Tabel 3. 2018a. teise poolaasta tootlikkuse tabel. (Randjärv, 2025)

2018				
Kuu	Suurkivi, t	Pestud materjal, t	Mototunnid	Tootlikkust/h
Juuni	550	2748	51	64,7
Juuli	1 100	11 778	179	71,9
August	1 150	5 692	110	62,2
September	3 550	13 424	249	68,2
Oktoober	2 150	7 400	161	59,3
November	2 050	7 432	200	47,4
Detsember	1 620	6 000	126	60,5
KOKKU	12 170	54 474	1 076	
Keskmine tootlikkus				62,0

Tuleb ära märkida, et pesuseadme tootlikus sõltub suurel määral karjääri geoloogiast ja võib igas karjääris olla väga erinev. Karude IV karjääri keskmine maksimum oli veidi alla 80 tonni/tunnis.

## 7.2. Materjalikvaliteedi paranemise kriitiline analüüs

Nagu peatükis 3.1 kirjeldasin, on geoloogilises uuringus välja toodud, et Karude IV karjääri looduslik liiv ja kruus on keskmisest savirikkamad ega sobinud muutunud teedeehituse normatiivide alusel enam teede muldkeha ehitusmaterjaliks. Seda kinnitasid varasema kaevandamise käigus Karude IV karjäärist võetud proovide tulemused. 2017. aastal Transpordiameti poolt kehtima hakanud uus „Elastsete teekatendite projekteerimise juhend“ sätestab teedeehitusmaterjalidele lisaks filtratsioonile ka sõelkõvera ja lõimisteguri (Cu) nõuded. Kasutusele võeti uus „täitematerjalide“ klassifitseerimise Tm-tabel (MTA käskkiri nr 0005, 2016) (lisa 5. Täitematerjalide (TM) iseloomustav tabel). Selleks, et Karude IV karjääri materjal vastaks kehtivate tee-ehitusprojektide nõuetele, tuli soetada pesuseadme kompleks.

Osa Tm-tabeli materjale on küllaltki spetsiifiliste nõuetega ning looduslikul kujul on neid karjääridest peaaegu võimatu kaevandada. Pesuseadme suur pluss lisaks savi väljapesemisele ja filtratsiooni parandamisele on see, et tootmise käigus on võimalik määrata, millises fraktsioonis pestud materjal lattu jõuab. Võimalik on toota pestud liiv-kruusasid fraktsioonivahemikus 0–150 mm.

Vajadusel on veeärastussõelal sõelamatte vahetades võimalik toota kõiki Tm-tabelis (lisa 5) olevaid tooteid. Lisaks on pesuseadme poolt pestud materjal ühtlase terastikulise koostisega ja kõrgema

filtratsiooninäitajaga. See on teedehitajale väga oluline teadmine, sest nii saavad nad olla kindlad objektilt võetud proovide vastavuses nõuetele. Kuna suurte maantee- ja taristuehitusobjektide päevased mahud on väga suured, proove võetakse 1–2 päeva tagant ning laboritulemused saadakse tavaliselt kätte 1–2 nädalat pärast proovide võtmist, tähendab materjalide mittevastavus teehitusprojekti nõuetele ehitajale märkimisväärset raha-, aja- ja ressursikulu (materjali väljakaeve, asendamine vms).

Alustades pesemisprotsessiga Karude IV karjääris, kontrollisime pestud materjali kvaliteeti vastavalt tootmisohje nõuetele igal nädalal. Lisaks tegime võrdluskatseid, et hinnata, kui palju kompleks savi välja peseb ja materjali filtratsiooni parandab. Võrdluskatsete puhul võtsime ühe proovi laaduri kopast enne materjali kolusse laadimist ning teise proovi pestud materjalist konveierilindi alt. Eelnevalt oli kompleks tühikäigul „läbi pestud“. Neid võrdluskatseid tegime regulaarselt periooditi või juhtudel, kui oli näha, et looduslik materjal karjääri ees oli oluliselt muutunud. Nende katsete põhjal sai vajadusel kogu pesemisprotsessi uuesti seadistada, et tagada vajalik materjalide kvaliteet.

Näiteks võib tuua 22.10.2018 võetud kruus-liiva võrdlusproovide K-54 A ja B tulemused (lisa 7, lisa 8). Pesemata proovis K-54 A oli materjali peenosise sisaldus 4,6% ja filtratsioonimoodul < 0,1 m/ööp. Pestud materjali proovis K-54 B oli peenosise näitaja 0,9% ja filtratsioonimooduli tulemuseks 6,4 m/ööp. Võrdlusproovi tulemus näitab, et peenosise sisaldus vähenes viis korda ja filtratsiooninäitaja tõusis väärtuselt < 0,1 kuni 6,4-ni. See tähendab, et savikast täitematerjalist sai väga hea filtratsiooniga dreniv materjal.

See, kas pesekompleks vajas uut seadistamist ja kas toodetud materjali kvaliteet vastas nõuetele, selgus igal nädalal võetud proovide põhjal. Kui pestud materjali kvaliteet osutus oodatust madalamaks, tuli teha vajalikke muudatusi pesuseadme tööprotsessides. Näiteks juhul, kui proovi K-58 (lisa 9) pestud liiva filtratsiooni tulemuseks saadi 1,6 m/ööp, oli põhjust kogu pesuprotsess ja sisselaetav looduslik materjal kriitiliselt üle vaadata. Selline tulemus oli piiripealne, sest ehitusliivade minimaalne filtratsiooninõue on 1 m/ööp.

Tööprotsessidest mõjutasid kvaliteeti kõige enam sööturkonveieri etteandekiirus, puhta vee pealevoolu piisav hulk ning flokulandi doseerimine. Kui üks neist ei olnud vastavuses sisselaetava materjali omadustega (peenosise sisaldus või terastikuline koostis), võis see põhjustada hälbeid pestud materjali kvaliteedis.



Joonis 5. Pestud liiv. (Randjärv, 2019)

Kokkuvõttes võib öelda, et pesuseadmega pestud materjali kvaliteet paranes. Võrreldes pesemata loodusliku materjaliga paranes pestud liivade ja kruusade filtratsioon ning oluliselt vähenes ka materjalides peenosise sisaldus. Samuti sai tagatud pesemise abil materjali terastikuline homogeensus ja sai toota vajadusel tellija soovil erinevate sõelkõveratega Tm-tabeli vastavaid tooteid. Mitte-filtreeruvast ja kõrge savisisaldusega algmaterjalist toodeti väga heade dreenvate omadustega ehitusliiva (Joonis 5) ja kruusa.

### 7.3. Majandusliku tasuvuse realistlik hinnang

Pesuseadme ostu-müügi lepingu konfidentsiaalsusest ning Tariston AS-i lepinguliste partnerite hinnakokkulepete salastatusest tulenevalt ei saa selles lõputöös täielikult käsitleda algselt plaanitud pesuseadme kompleksi majanduslikku tasuvust. Ettevõtte ei ole kahjuks lubanud avaldada seadme ostuhinda ega pestud materjalide müügihindu, millega Karude IV karjäärist aastatel 2018–2022 uue Tallinn–Tartu maantee objektidele materjale müüdi.

Tariston AS-i nõusolekul saan lõputöös kajastada 2018., 2019. ja 2020. aasta pesuseadme kogukulu ning leida nende aastate tootmise ühikhinna. Pesuseadme aastane kogukulu sisaldab pesukompleksi ja frontaallaaduri laenu- ja liisingumakseid, kütusekulu, varuosakulu, kõiki tootmiskulusid, operaatorite palku ning nendega seotud halduskulusid (ametiauto, telefon). Ühikhind ei sisalda ressursitasusid ega osakonna juhtimiskulusid. Nagu eelpool öeldud, ei ole võimalik nende kulude omavahelisi proportsioone eraldi välja tuua.

Nii nagu suurenesid pesuseadmega igal aastal toodetud mahud ja kasvas keskmine tootlikkus (peatükk 5.1), vähenes ka pesuseadme poolt toodetud materjali ühikhind. Kui 2018. aastal oli see 2,28 eur/t, siis 2020. aastal oli tootmise ühikhinnaks 1,63 eur/t (tabel 4). Toodetud ühikhind langes kahe aastaga 28,5%. Pesuseadme soetamise algfaasis, kui uuriti erinevate seadmete omadusi, tootlikkust ja hindu, arvatati tasuvusarvutuste käigus välja nn nulltootmise ühikhind, mis oli 2 eur/t. Kui ühikhind ületas mingil perioodil seda näitajat, töötas pesuseade kahjumiga, kui aga jäi sellest väiksemaks, teenis kasumit. Mida madalam on toodetud materjali ühikhind, seda kiiremini tasub pesuseadme investering ettevõtte jaoks ära.

Karude IV karjääri pesemisprotsessi ja pestud materjali majanduslikust tasuvusest rääkides tuleb öelda, et mitmed kliendid olid algselt (2018. aastal) äraootaval seisukohal. Sooviti veenduda pestud materjali paremas kvaliteedis ning näha, kas tootmine käivitub plaanipäraselt. Tasuvuse ehk majandusliku poole pealt olid kõige kriitilisemad talvekuud, sest Eesti kliimas ei olnud keegi varem talveperioodil pesuseadmega tööd jätkanud.

Olles tol ajal Karude IV karjääri mäetööde juht, anti mulle ülesandeks panna pesuseade tööle ka talvekuudel. Ette rutates võib öelda, et ülesanne sai täidetud ning pesuseade töötas ja tootis materjali kõigil talvekuudel. Kuna toorme kaevandamine ja töötlemine on teadaolevalt mahuäri, siis seadme töötundide kasvu ja tootmismahu suurenemise tulemusel vähenesid ühikukulud. Sellega vähendasin oluliselt pesuseadme soetamisega seotud võimalikust mittetöötamisest tulenevat püsikulude koormust (pangalaen, frontaallaaduri liising). Seejuures muutus pesuseadme kasutamine kasumlikuks. Talvine tootmine näitas klientidele, et nad saavad suuremahuliste objektide puhul arvestada Karude IV karjääri pestud materjalidega.

Kokkuvõttes võib öelda, et esimesel aastal töötas pesuseade kahjumiga, teisel aastal olid kulud ja tulud võrdsed ning alates kolmandast aastast teenis pesuseade kasumit. Mahu suurenemist ja

tootlikkuse paranemist soodustas lisaks töötundide kasvule ka see, et aastatega suurenes pesuseadmega töötamise kogemus ning esimeste aastate tööseisakutest ja vigadest õpiti edukalt. Nii nagu tootlikkus sõltub iga karjääri geoloogilistest tingimustest, määravad samad tegurid olulisel määral ka tootmise ühikhinna kujunemise ning pesemisprotsessi majandusliku tasuvuse.

Tabel 4. Toodetud materjalide ühikukulu koondtabel aastate lõikes. (Randjärv, 2025)

Aasta	2018	2019	2020
Toodangu üldkogus, T	66644	152919	211448
Kogukulu, EUR	152000	302223	344988
Ühikukulu (EUR/T)	2,28	1,98	1,63

## 7.4. Sesoonsuse mõju tootmisele

Pesuseadet soetades oli selge, et majanduslikult kõige raskemad kuud saavad olema talvel, mil tootmine seisab, kuid püsikulud (laen, liising) vajavad tasumist. Seni ei olnud keegi Eesti kliimas proovinud talviti pesuseadmega tootmist jätkata. Oli selge, et iga tonn, mida suudetakse pesuseadmega talvel toota, oleks majanduslikult väga kasulik. Mida suurem on aastane toodetud üldkogus, seda väiksem on toodetud materjali ühikhind.

Kuna 2018. aastal algas uus Tallinn–Tartu maantee Ardu–Vööbu objekt, hakkasin materjalivajadusest tulenevalt ning ettevõtte soovil hoida pesukompleksi töös kogu talve vältel otsima selleks võimalusi.

Pesuseadme põhiolemus on vee kasutamine pinnase pesemiseks. Suurim risk miinuskraadide korral on erinevate torude ja pumpade külmumine ning külmapaisumine, mis võib neid torusid ja pumpasid lõhkuda või kahjustada. Nende vahetamine või remont tähendaks suuri lisakulusid. Samuti muudavad miinuskraadid flokulandi konsistentsi ja selle võimet vees lahustuda. Selle tagajärjel langeks materjali pesemise kvaliteet. Selleks, et pesukompleks talvel ei külmuks, oli esimene mõte rentida ajutine telk või angaar, mis oleks piisavalt suur, ning kütta seda tööstuslike diiselpuhuritega. Pesuseadme gabariidid on ligikaudu 20 × 8 meetrit, konveierilindid ulatuvad kompleksi tööraadiusest välja kuni 15 meetrit ning 6–7 meetri kõrgusele. Sellise angaari ostmine või rent osutus liiga kalliks. Samuti ei oleks suure frontaallaaduri töö kinnises ruumis olnud ohutustehniliselt turvaline.

Olles varasemalt tegelenud ehitustellingute paigalduse ja projekteerimisega, otsustasin ehitada külma suhtes eriti tundlike pesukompleksi osade ümber (kõik, mis kasutavad oma töös vett) moodultellingutest (CRAMO, 2025) nn telkfaasadi. Moodultellingute eelis on see, et vajadusel saab neid ehitada pesukompleksi kuju järgides. Samuti on moodultellingute rent ja paigaldus soodsamad, neid ei pea välja ostma ning need saab kevadel kerge vaevaga demonteerida ja tagastada. Sellise lahenduse päevarendi hinnaks koos diiselpuhuriga kujunes 35,58 eur/päev ning ühekordne paigalduskulu oli 1500 eurot. Alternatiivina pakuti ilmastikukindlat moodulhalli, mille päevarent oleks olnud 513,84 eur/päev ja paigalduskulu 19 500 eurot, või püsivat PVC-kaarhalli, mille hind oli 165 000 eurot (tabel 5). Minu poolt kasutusele võetud lahendus osutus oluliselt soodsamaks, kui algselt arvestatud, ning võimaldas hoida talvise tootmise korral tootmise ühikhinna piisavalt madalana.

Tabel 5. Telgi eelarvestuse kulude tabel (Randjärv, 2025)

Kulud (eur/päev)	Moodul tellingute lahendus (minu lahendus)	Teisaldava moodulhalli lahendus	PVC komplekshall
Katuse rent	16,2	480	
Tellingute rent	8,1		
Diiselpuhuri rent	11,28	33,84	
<b>Päeva kulu</b>	<b>35,58</b>	<b>513,84</b>	
<b>Paigaldus ja teisaldus kulu (ühekordne)</b>	1500	19500	<b>164000</b>

Vajadus oli kütta eelpesuseadet, veeärastussõela ja settevani. Kõik muda ja liivapumbad asusid nende pesukompleksi osade vahel või all, seega need oleksid samuti olnud soojas. Sellisel kujul tuli „telk“ piisavalt väike, mis omakorda vähendas oluliselt kütumiskulusid. Piisas ainult ühest 50 kW diiselpuhurist.



Joonis 6. Tootmine talvel. Pestud kivi fr.30 -100mm ja pestud liiv fr. 0-30mm. (Randjärv, 2019)

Pesuseadet soetades oli selge, et majanduslikult kõige raskemad kuud saavad olema talvel, mil tootmine seisab, kuid püsikulud (laen, liising) vajavad tasumist. Seni ei olnud keegi Eesti kliimas proovinud talviti pesuseadmega tootmist jätkata. Oli selge, et iga tonn, mida suudetakse pesuseadmega talvel toota, oleks majanduslikult väga kasulik. Mida suurem on aastane toodetud üldkogus, seda väiksem on toodetud materjali ühikhind.

Kuna 2018. aastal algas uus Tallinn–Tartu maantee Ardu–Vööbu objekt, hakkasin materjalivajadusest tulenevalt ning ettevõtte soovil hoida pesukompleksi töös kogu talve vältel otsima selleks võimalusi.

Pesuseadme põhiolemus on vee kasutamine pinnase pesemiseks. Suurim risk miinuskraadide korral on erinevate torude ja pumpade külmumine ning külmapaisumine, mis võib neid torusid ja pumpasid lõhkuda või kahjustada. Nende vahetamine või remont tähendaks suuri lisakulusid. Samuti muudavad miinuskraadid flokulandi konsistentsi ja selle võimet vees lahustuda. Selle

tagajärjel langeks materjali pesemise kvaliteet. Selleks, et pesukompleks talvel ei külmuks, oli esimene mõte rentida ajutine telk või angaar, mis oleks piisavalt suur, ning kütta seda tööstuslike diiselpuhuritega. Pesuseadme gabariidid on ligikaudu 20 × 8 meetrit, konveierilindid ulatuvad kompleksi tööraadiusest välja kuni 15 meetrit ning 6–7 meetri kõrgusele. Sellise angaari ostmine või rent osutus liiga kalliks. Samuti ei oleks suure frontaallaaduri töö kinnises ruumis olnud ohutustehniliselt turvaline.

Olles varasemalt tegelenud ehitustellingute paigalduse ja projekteerimisega, otsustasin ehitada külma suhtes eriti tundlike pesukompleksi osade ümber (kõik, mis kasutavad oma töös vett) moodultellingutest (CRAMO, 2025) nn telkfaasadi. Moodultellingute eelis on see, et vajadusel saab neid ehitada pesukompleksi kuju järgides. Samuti on moodultellingute rent ja paigaldus soodsamad, neid ei pea välja ostma ning need saab kevadel kerge vaevaga demonteerida ja tagastada. Sellise lahenduse päevarendi hinnaks koos diiselpuhuriga kujunes 35,58 eur/päev ning ühekordne paigalduskulu oli 1500 eurot. Alternatiivina pakuti ilmastikukindlat moodulhalli, mille päevarent oleks olnud 513,84 eur/päev ja paigalduskulu 19 500 eurot, või püsivat PVC-kaarhalli, mille hind oli 165 000 eurot (tabel 5). Minu poolt kasutusele võetud lahendus osutus oluliselt soodsamaks, kui algselt arvestatud, ning võimaldas hoida talvise tootmise korral tootmise ühikhinna piisavalt madalana.

Tabel 6. Toodetud kogused ja pesuseadme mototunnid talve kuudel. (Randjärv, 2019)

Kuu	Operatiivarvestuse üldkogus	Mototunnid	Operatiivarvestuse tootlikkus t/h
November	9482	200	47,4
Detsember	7620	126	60,5
Jaanuar	7 037	137	51,4
Veebruar	19 091	341	56,0
Märts	16 049	279	57,5
<b>KOKKU</b>	<b>59279</b>	<b>1083</b>	
		<b>Keskmine tootlikus</b>	<b>54,6</b>

## 8. Arutelu: Tehnoloogia sobivus ja kasutamine

### 8.1. Karude IV karjääri tulemuste olulisus

Karude IV karjääri geoloogilist mitmekesisust arvestades ei ole tegemist Eesti mõistes „klassikalise“ ehitusmaterjalide karjääriga, kus pesuseadmeid on seni kasutatud. Looduslikus lasundis esineb materjal kihiti, kus jäme kruus ja peenliiv on vaheldumisi settinud. Samuti on nende materjalide peenosise sisaldus ja sõelkõver väga muutlik nii üksikutes kihtides kui ka kaevefrondi edenedes. Eesti kontekstis oli sellise ulatuslikult varieeruva loodusliku materjali pesemine uudne ja katsetuslik lähenemine.

Karude IV karjääri näitel võib järeldada, et on võimalik komplekteerida pesukomplekse, mis võimaldavad samaaegselt pesta nii jämedat purdmaterjali kui ka peenliiva. Seejuures sõltuvad pesukompleksi soetusmaksumus ja tootlikkus valitud lahendusest. Kruusa ja liiva samaaegsel pesemisel tuleb arvestada kõrgema maksumusega pesuseadmetega. Mida keerukam on pesukompleksi ülesehitus ja mida rohkem sisaldab see eelpesuetappe, seda suuremad on kompleksi hooldus- ja käituskulud. Samuti väheneb tootlikkus peenema ja suurema savisisaldusega liiva töötlemisel.

Lisaks näitas pesuseadme kasutuselevõtt Karude IV karjääris, et teatud eelteadmiste ja oskuste olemasolul on võimalik hoida pesuseadet töös Eesti kliimatingimustes aastaringiselt. See võimaldas vähendada sesoonsete tegurite mõju pesemisprotsessidele. Kuigi talvisel perioodil tootlikkus vähenes, jätkus tootmine katkematult. See avaldas positiivset mõju nii materjali ühikuhinnale kui ka aastasele tootmismahule ning oli oluline tegur pesuprotsessi kasumlikkuse tagamisel Karude IV karjääris.

Pesuseadme soetamise etapis, hinnapakumiste küsimisel, esitati kõikide pakkujate poolt eelduslikud tootlikkusnäitajad. Tellija andis omalt poolt võimalikult täpse lähteinfo, sealhulgas katseprotokollid ja visuaalse materjali. Valituks osutunud pesukompleksi eeldatavaks tootlikkuseks märgiti 120 t/h. Tegelikuses on pärast mitmeaastast sissetöötamist seadme keskmine tootlikkus ligikaudu 75 t/h, mis kujutab endast ka maksimaalset saavutatavat taset Karude IV karjääri tingimustes. Sellest tulenevalt tuli tootjate poolt esitatud tootlikkusnäitajatesse suhtuda kriitiliselt. Soovitav on fikseerida eelduslikud tootlikkuse näitajad ostu-müügilepingus, kuna need on majanduslikust vaatepunktist ühed olulisemad tegurid seadme tasuvuse ja kulude hindamisel.

Pesuseadme soetamise peamiseks eesmärgiks oli Karude IV karjääris leiduva suure peenosise sisaldusega materjali pesemine ja kvaliteedi parandamine, et võimaldada selle turustamist lähedal asuvatele mahukatele taristuobjektidele. Katseprotokollide võrdlus näitas, et pestud materjali filtratsioonimoodul suurenes märgatavalt ning sõelkõverad kinnitasid peenosise sisalduse olulist vähenemist. Pesemisprotsessi tulemusena paranes materjali kvaliteet oluliselt ning seda kasutati edukalt suuremahulistel ehitusobjektidel. Lisaks peenosise vähendamisele võimaldas pesuseade toota ühtlasema koostisega ning erinevate sõelkõveratega materjale vastavalt teedeehituse spetsiifilistele nõuetele. See suurendas Karude IV karjääri toodangu konkurentsivõimet ning müüdavate materjalide mahtu.

## 8.2. Samalaadse tehnoloogia rakendatavus teistes karjäärides

Pesuseadme tehnoloogiat on võimalik rakendada kõigis karjäärides, kus on tagatud piisav veevarustus seadme töös hoidmiseks, sõltumata sellest, kas vesi pärineb looduslikust veekogust või puurkaevust. Pesuseadme tüüp ja kompleksi suurus sõltuvad konkreetse karjääri tingimustest, sealhulgas vee kättesaadavusest, geoloogiast ja kaevandamise eripäradest. Samuti määravad geoloogilised tingimused pesuseadme eeldatava tootlikkuse. Seadme tüübist ja tootlikkusest tulenevad omakorda materjali pesemise majanduslik tasuvus ning sellega seotud riskid. Kõiki neid aspekte tuleb tööde eelarvestamise etapis põhjalikult analüüsida.

Pestava algmaterjali omadused määravad pesemisprotsessi kvalitatiivsed tulemused. Algmaterjali savisisaldus ja sõelkõver määravad, milliseid lõpptooteid on võimalik toota. Savi sisaldusest sõltub ka pesemisprotsessi materjalikadu. Näiteks (üli)peene liiva puhul, mille savisisaldus jääb vahemikku 30–50%, võib sõltuvalt pesuseadme tsükloni tüübist ulatuda materjalikadu kuni 70%-ni. See tähendab, et 10 tonnist algmaterjalist saadakse ligikaudu 3 tonni lõpptoodangut, samal ajal kui kaevandamis- ja pesemiskulud tekivad kogu algmaterjali koguse ulatuses. Sellest tulenevalt ei ole savirikaste liivade pesemine üldjuhul majanduslikult otstarbekas.

### 8.3. Pesutehnoloogia keskkonna- ja ressursimõju

Tänapäeval on üha aktuaalsem pöörata tähelepanu nii individuaalsele kui ka ühiskondlikule ökoloogilisele jalajäljele (Rohegeenius, 2021). See suundumus on järjest enam kanda kinnitamas ka ehitus- ja mäetööstussektoris, kus näiteks materjalide taaskasutus ning elektriliste mäemasinate kasutuselevõtt on muutumas tavapraktikaks (FJDynamics, 2025).

Pinnasepesuseadmed kujutavad endast üht võimalust muuta kaevandamist ja materjalide rikastamist keskkonnasäästlikumaks. Nende abil on võimalik toota täitematerjalist või moreenist erinevaid ehitusliivaseid ja kruus-liivasegusid, parandades materjali filtratsiooniomadusi ning vähendades savisisaldust. See võimaldab võtta kasutusele ka sellise maavara, mis varem loeti mittesobivaks ja jäi kasutamata. Selle tulemusena pikeneb karjääride eksploatatsiooniperiood, paraneb ehitusmaavarade varustuskindlus erinevates piirkondades ning väheneb vajadus uute karjääride rajamiseks.

Näiteks Rail Baltica rajamisega on Eestis tekkinud olukord, kus trassi läheduses on oluliselt suurenenud uute karjääride rajamise taotluste arv. Kui 2019. aastal esitati geoloogiliste uuringute esmataotlusi 7, siis 2020. aastal juba 202 (KOTKAS, 2025). See on põhjustanud kohalikes elanikes märkimisväärset vastuseisu, kuna kardetakse elukeskkonna halvenemist. Pinnasepesutehnoloogia rakendamine võimaldaks lisaks olemasolevatele karjääridele kasutada ka varasemaid, kasutusest väljalangenud karjääre või töödelda ehitusobjektidel tekkivat väljakaevet ning suunata see uuesti kasutusse. Seeläbi väheneks uute karjääride avamise vajadus ning nendega kaasnev keskkonnamõju.

Materjali pesemine otse ehitusobjektidel vähendab oluliselt transpordivajadust ning sellega kaasnevaid heitmeid. Praktikas on esinenud olukordi, kus kvaliteetseid ehitusmaterjale transporditakse Rail Baltica lõikudele kuni 50 km kauguselt. Positiivse näitena võib tuua Verston OÜ ja RB Harju 2 objekti, kus 2025. aastal kasutati Kiviluks AS-i mobiilset pesuseadet otse objektidel. Väljakaevatud moreen pesti kohapeal ning saadud materjali kasutati uuesti aluskihtide rajamisel (Verston, 2025).



Joonis 7. Pesuseade RB Harju 2 objektil. (Randjärv, 2025)

Autotransport avaldab märkimisväärset koormust kohalikele teedele, suurendades tolmu, müra ja heitgaaside hulka. Samuti kantakse karjääridest materjale vedavate sõidukite ratastega teedele pori ja kivimaterjali (Raplamaa Sõnumid, 2025). Eriti teravalt tajutakse neid mõjusid väiksemates asulates, kus vastav koormus on varasemalt olnud madal. Sageli puuduvad sellistes piirkondades ka jalakäijate taristu lahendused, mis suurendab liiklusohutusi. Jätkusuutlik kaevandamine, sealhulgas materjalide pesemine ja kohapealne taaskasutus, aitab neid negatiivseid mõjusid vähendada nii keskkonna kui ka kohaliku elanikkonna seisukohast.

### 8.3.1. Materjaliveo CO<sub>2</sub>-heide ja selle vähendamise potentsiaal

Veoautode keskmine CO<sub>2</sub>-heide varieerub sõltuvalt sõiduki tüübist ja suurusest, kuid diiselmootoriga raskeveokite puhul väljendatakse seda sageli tonnkilomeetri kohta. Tegelik heitkogus sõltub eelkõige kütusekulust ja kasutatava kütuse omadustest. Diislikütuse põlemisel eraldub ligikaudu 3,19 kg CO<sub>2</sub> ühe liitri kütuse kohta (Maailmakool.ee).

Karude IV karjäär asub uue Tartu maantee 2+2 teelõigust ligikaudu 5–6 km kaugusel. Alternatiivse materjaliallikana oleks olnud võimalik kasutada Järvemaal paiknevaid Liivamäe II ja III karjääre, mis asuvad objekti keskpunktist umbes 45 km kaugusel. Poolhaagisega veoki keskmine kütusekulu on ligikaudu 0,15 l/km. Nende andmete alusel on võimalik hinnata ühe veosega seotud CO<sub>2</sub>-heidet: Karude IV karjäärist transportimisel ligikaudu 5,742 kg CO<sub>2</sub> ning Liivamäe karjääridest transportimisel 43,065 kg CO<sub>2</sub>. Seega on ühe veose heitkoguste erinevus ligikaudu 7,5-kordne.

Eeldades keskmiseks veose suuruseks 30 tonni ning taandades heitkogused ühe tonni kohta, saadakse Karude IV karjääri puhul 0,19 kg CO<sub>2</sub>/t ja Liivamäe karjääride puhul 1,43 kg CO<sub>2</sub>/t. Arvestades pestud materjali kogumahtu aastatel 2018–2020 (tabel 6), kujunes Karude IV karjäärist pärineva materjali transpordiga seotud heitkoguseks ligikaudu 82 500 kg CO<sub>2</sub>. Alternatiivse stsenaariumi korral, kus materjal oleks tarnitud Liivamäe karjääridest, oleks vastav näitaja olnud

ligikaudu 618 000 kg CO<sub>2</sub>. Sellest tulenevalt vähenes tänu Karude IV karjääri lähedusele ja pestud materjali kasutamisele CO<sub>2</sub>-heidet ligikaudu 536 000 kg võrra.

Tuleb märkida, et üksikudel juhtudel tarniti objektile ehitusliiva ka Männiku karjäärist, mistõttu on võrdluse eesmärgil vastavad andmed esitatud ka tabelis 7.

Tabel 7. Võimalike CO<sub>2</sub> koguste arvutus

	Kaugus objekti keskpunktist (km)	Veoauto keskmine kütusekulu (l/km)	Diisel veoki keskmise tekitatud CO <sub>2</sub> -e kogus (kg)	Ühekoorma tekitatud CO <sub>2</sub> -e kogus (kg)	Võimalik CO <sub>2</sub> kogus kogu karjääri mahtude kohta (kg)	CO <sub>2</sub> mahtude vahe võrdluses Karude karjääriga
Karude IV karjäär	6	0,15	3,19	5,742	82496	
Liivamäe II&III karjäär	45	0,15	3,19	43,065	618716	<b>7,5</b>
Männiku liivakarjäärid	58	0,15	3,19	55,506	797457	<b>9,7</b>

Tänu materjali pesemisele Karude IV karjääris vähenes oluliselt materjali transpordikaugus objektini ja seeläbi ka materjali veost tingitud CO<sub>2</sub> paiskumine keskkonda. Selle tulemusena avaldati märksa väiksemat koormust riigi- ja kohalikele teedele ning teekatetele, samuti vähenes teatud määral ka veotehnika kulumine. Saadud tulemused kinnitavad, et materjali päritolu ja transpordikaugus mõjutavad märkimisväärselt ehitusprojektide keskkonnajalajälge ning kohapeal või selle läheduses toodetud ja töödeldud materjalide kasutamine võimaldab CO<sub>2</sub>-heidet oluliselt vähendada.

## 9. Kokkuvõte

Käesolevas bakalaureusetöös analüüsiti pinnasepesutehnoloogia rakendamist Tariston AS-i Karude IV karjääris rakendusliku juhtumiuuringu näitel. Töö eesmärk oli hinnata statsionaarse pinnasepesuseadme kasutuselevõtu tehnoloogilist, majanduslikku ja keskkondlikku põhjendatust ning selgitada, kas selline lahendus võimaldab parandada looduslike täitematerjalide kvaliteeti ja suurendada ehitusmaavarade kasutamise efektiivsust Eesti tingimustes.

Uurimistulemused kinnitasid püstitatud hüpoteese. Analüüs näitas, et pinnasepesuseadme abil on võimalik oluliselt vähendada täitematerjalide peenosise- ja savisisaldust ning parandada nende filtratsiooniomadusi. Materjalid, mille filtratsiooninäitajad enne pesemist ei vastanud ehitusnõuetele, saavutasid pärast pesemist valdavalt nõutava või sellest kõrgema taseme, muutes need sobivaks kasutamiseks teede- ja hoonete ehituses. Seega leidis kinnitust hüpotees, mille kohaselt võimaldab pinnasepesu toota kõrgekvaliteedilist ehitusmaterjali seni piiratud kasutusvõimalustega maavaradest.

Majandusliku ja keskkondliku analüüsi tulemused näitasid, et ehitusobjektide vahetus läheduses paiknevast karjäärist pärineva pestud täitematerjali kasutamine vähendab transpordikulusid ning kallurtranspordist tulenevat keskkonnakoormust. See avaldab positiivset mõju nii materjali omahinnale kui ka keskkonnajalajäljele, eriti suuremahuliste taristuprojektide kontekstis. Seeläbi leidis kinnitust ka teine hüpotees, mille kohaselt on lokaalselt toodetud ja töödeldud materjal majanduslikult ja keskkondlikult eelistatum võrreldes kaugemalt transporditava alternatiiviga.

Lisaks selgus, et pinnasepesuseadme tööprotsessi isoleerimine külmadel talvekuudel, näiteks kaitsetelgi kasutamise abil, võimaldab vähendada miinustemperatuuride mõju seadme töökindlusele ning toetab tootmisprotsessi jätkumist ka talvetingimustes. See suurendab seadme kasutusaega aastaringiselt, tõstab toodangumahtusid ning parandab kogu protsessi majanduslikku tasuvust, kinnitades seeläbi kolmandat hüpoteesi.

Kokkuvõtvalt võib järeldada, et pinnasepesutehnoloogia rakendamine Karude IV karjääri näitel on tehniliselt teostatav, majanduslikult põhjendatud ning keskkonnamõjude seisukohalt positiivne lahendus. Uurimistöö tulemused näitavad, et pinnasepesu võimaldab tõhusamalt kasutada olemasolevaid ehitusmaavarasid, vähendada vajadust uute karjäärade rajamiseks ning toetada ehitussektori varustuskindlust Eesti tingimustes.

## Tänuavaldused

Täna lõputöö juhendajat Erik Väli väärtuslike nõuannete ja abivalmiduse eest. Samuti tänan ettevõtet Tariston AS, kes võimaldas jagada pesuseadmega seotud teavet ning andis loa viia läbi lõputööga seotud tegevusi, sealhulgas seadme ja Karude IV karjääri dokumenteerimist. Eriti soovin tänada Tariston AS-i mäetööde osakonna juhti Kauri Kiimanit, kes panustas oma aega ning vahendas koostööd ettevõtte juhtkonnaga.

## Kasutatud kirjandus

Adelante - Ehitus tellingute paigaldamine <https://a-telling.ee/>

Baltem – „Baltem AS ajalugu ja masinad“ [www.baltem.ee](http://www.baltem.ee)

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101.

Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40.

Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE.

CDE – „Product-Range-Brochure-UK-042023“ <https://www.cdegroupp.com/>

Enefit - „Üldteenuse hinnad 2016-2023“

FJDynamics – „Elektrilised mäemasinad“

Frontline – „R.M.S. London Project“ (2025) <https://frontlinewashing.com/>

Harku Karjäär AS – Kaevandus ettevõtte, sõelmete pesemine

Horticom - Flokulandi mõiste

Karukäpp, R. *Gotiglatsiaalne morfogenees Skandinaavia mandriliustiku kagusektoris. Filosoofiadoktori dissertatsioon.* (Tartu Ülikool, Tartu, 1997).

Kobras, 2010 - „Nordecon INFRA AS Karude kruusamaardla Karude IIV liivakarjääri maavara kaevandamisloa taotlus“

KOTKAS - Keskkonnaotsuste Infosüsteem – „Uued keskkonnauuringute taotlused“ <https://kotkas.envir.ee/>

Kuhlman, M. I. (1990). “Soil washing: A preliminary assessment of its applicability.” *Journal of Hazardous Materials*

Lõputööde vormistamise kord ja töödele esitatavad nõuded loodusteaduskonnas. (TalTech) (2025)

Maa-amet Geoportaal – Maardlate rakendus – Karude IV karjäär <https://geoportaal.maaamet.ee/>

Maailmakool.ee – „Kliimakool – heitekoguste arvutamine“ (2025) [www.maailmakool.ee](http://www.maailmakool.ee)

MTA Käskkiri nr.0005,(2017) – „Elastsete teekatendite projekteerimise juhend“

Randjärv, T. ja Kiiman, K. (2017-2019). *Tariston AS pildi ja andmete kogumikud ja katsete tulemused.*

Raplamaa Sõnumid – „Rail Baltica ehitus tegi Kohila peatänava mudaseks“ (2025)

RB uuring - „Rail Baltica ehitamiseks vajalike ehitusmaavarade varustuskindluse uuring – kokkuvõtte“ (2017)

Reinsalu, E. (2019). *Eesti mäendus II.* TTÜ mäeinstituut.

Rohegeenius – „*Kuidas oma ökoloogilist jalajälge mõõta ja mida selle vähendamiseks teha annab?*“ (2021)

Sandra George O’Neil (2007). „*Superfund: Evaluating the Impact of Executive Order 12898*“

Transpordiamet (TRAM) - „*Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi nr 2001-52*“ (2017)

TTK uuring - „*Kaevandamise jääkmaterjalide kasutusvõimaluste uuring*“ (Tallinn, 2014)

Verston (Facebook) - „*RB Harju II objektil töötab Eestis ainulaadne pesusõlm*“ (2025)

Väo Paas OÜ – *Kaevandus ettevõtte, sõelmete pesemine* <https://vaopaas.ee/>

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE.

## LISAD

Lisa 1. Karude karjääri uuringuruumi liiva varu koondtabel (Kobras, 2010)

### Karude V uuringuruumi 10 plokk eriotstarbelise liiva (täiteliiva) varu

Näitaja	Karude V uuringuruumi 10 plokk täiteliiva varu		
	minimaalne	maksimaalne	keskmine kaaluline
<b>Looduslik materjal</b>			
osakeste läbimõõduga >5 mm sisaldus (%) (kruusa sisaldus kokku)	0,0	32,5	10,8
sealhulgas osakeste läbimõõduga >70 mm (veeriste ja munakate) sisaldus, %	0,0	0,0	0,0
osakeste läbimõõduga <5 mm sisaldus (%) (liiva sisaldus kokku)	67,5	100,0	89,2
sealhulgas savi- ja tolmuosakeste sisaldus (%)	1,4	53,9	24,6
Osakesed läbimõõduga >70 mm (%)	0,0	0,0	0,0
70-40 mm (%)	0,0	5,7	0,2
40-20 mm (%)	0,0	7,7	1,2
20-10 mm (%)	0,0	15,0	4,0
10-5 mm (%)	0,0	18,0	5,4
5-2,5 mm (%)	0,0	9,1	4,2
2,5-1,25 mm (%)	0,1	14,1	5,8
1,25-0,63 mm (%)	0,5	15,5	6,6
0,63-0,315 mm (%)	2,7	40,5	11,3
0,315-0,16 mm (%)	5,1	62,0	15,6
0,16-0,05 mm (%)	8,3	63,4	21,1
<0,05 mm (%)	1,4	53,9	24,6
<b>Väljasõelutud kruusa fraktsioon</b>			
Osakesed läbimõõduga >70 mm (%)	0,0	0,0	0,0
70-40 mm (%)	0,0	33,3	0,9
40-20 mm (%)	0,0	32,9	7,3
20-10 mm (%)	0,0	69,2	34,9
10-5 mm (%)	0,0	100,0	56,9
<b>Kokku kruusa</b>			<b>100</b>
<b>Väljasõelutud liiva fraktsioon</b>			
Osakesed läbimõõduga 5-2,5 mm (%)	0,0	12,3	6,5
2,5-1,25 mm (%)	0,1	17,0	8,0
1,25-0,63 mm (%)	0,5	15,8	7,7
0,63-0,315 mm (%)	3,8	62,8	10,2
0,315-0,16 mm (%)	2,7	47,8	15,7
0,16-0,05 mm (%)	9,5	63,5	23,1
<0,05 mm (%)	1,4	58,5	28,8
<b>Kokku liiva</b>			<b>100</b>
<b>Liiva põhinäitajad</b>			
osakeste läbimõõduga <0,16 mm sisaldus (%)	17,0	81,5	51,9
täisjääk sõelal 0,63 mm sisaldus (%)	0,6	38,5	22,2
savi- ja tolmuosakeste sisaldus liivas (%)	3,1	58,5	28,8
liiva peensusmoodul (Pm)	0,3	1,8	1,2

Lisa 2. Karude karjääri uuringuruumi kruusa varu koondtabel (Kobras, 2010)

Näitaja	Karude V uuringuruumi 11 plokk ehituskruusa varu		
	minimaalne	maksimaalne	keskmise kaaluline
<b>Looduslik materjal</b>			
osakeste läbimõõduga >5 mm sisaldus (%) <b>(kruusa sisaldus kokku)</b>	12,1	67,9	51,6
sealhulgas osakeste läbimõõduga >70 mm (veeriste ja munakate) sisaldus, %	0,0	28,8	12,0
osakeste läbimõõduga <5 mm sisaldus (%) <b>(liiva sisaldus kokku)</b>	32,1	87,9	48,4
sealhulgas savi- ja tolmuosakeste sisaldus (%)	0,9	24,9	8,3
<b>Osakesed läbimõõduga &gt;70 mm (%)</b>			
70-40 mm (%)	0,0	19,5	8,1
40-20 mm (%)	0,0	21,3	10,1
20-10 mm (%)	0,0	21,0	7,9
10-5 mm (%)	3,8	50,9	13,5
5-2,5 mm (%)	3,5	10,4	6,0
2,5-1,25 mm (%)	2,6	10,9	5,0
1,25-0,63 mm (%)	4,2	16,1	7,6
0,63-0,315 mm (%)	3,3	24,6	7,8
0,315-0,16 mm (%)	1,0	28,7	8,3
0,16-0,05 mm (%)	0,4	19,4	5,4
<0,05 mm (%)	0,9	24,9	8,3
<b>Väljasõelutud kruusa fraktsioon</b>			
Osakesed läbimõõduga >70 mm (%)	0,0	46,3	20,2
70-40 mm (%)	0,0	33,2	13,5
40-20 mm (%)	0,0	37,9	17,2
20-10 mm (%)	0,0	49,6	15,3
10-5 mm (%)	6,2	100,0	33,8
<b>Kokku kruusa</b>			<b>100</b>
<b>Väljasõelutud liiva fraktsioon</b>			
Osakesed läbimõõduga 5-2,5 mm (%)	6,3	26,1	13,3
2,5-1,25 mm (%)	5,0	26,0	11,3
1,25-0,63 mm (%)	8,7	32,3	16,4
0,63-0,315 mm (%)	8,9	28,6	16,6
0,315-0,16 mm (%)	2,5	33,4	13,9
0,16-0,05 mm (%)	1,1	22,1	10,9
<0,05 mm (%)	2,2	47,5	17,6
<b>Kokku liiva</b>			<b>100</b>
<b>Liiva põhinäitajad</b>			
osakeste läbimõõduga <0,16 mm sisaldus (%)	3,3	59,1	28,5
täisjääk sõelal 0,63 mm sisaldus (%)	22,7	79,7	41,0
savi- ja tolmuosakeste sisaldus liivas (%)	2,2	47,5	17,6
liiva peensusmoodul (Pm)	1,3	3,5	2,1

Lisa 3. Karude karjääri uuringuruumi puuraukude ja surfide koondtabel (Kobras, 2010)

**Puuraukude ja šurfide kasuliku- ja kattekihi paksused, mida on kasutatud täiteliiva ja ehituskruusa varu arvutamisel**

Puuraugu, šurfi nr	Puuraugu, šurfi sügavus, m	Kattekihi (mulla) paksus, m	Kasuliku kihi paksus kokku, m	Täiteliiva kihi paksus, m	Ehituskruusa kihi paksus, m
<b>KOBRAS AS puuraugud (detsember 2009)</b>					
Puurauk nr 1	10,0	0,2	9,8	9,8	-
Puurauk nr 2	9,0	0,2	8,8	8,8	-
Puurauk nr 3	9,3	0,2	9,1	9,1	-
Puurauk nr 4	12,0	0,2	11,8	11,8	-
Puurauk nr 5	12,0	0,2	11,8	11,8	-
Puurauk nr 6	8,0	0,2	7,8	-	7,8
Puurauk nr 7	10,8	0,2	10,5	10,5	-
Puurauk nr 8	9,5	0,2	9,3	9,3	-
Puurauk nr 9	12,0	0,2	11,7	11,7	-
Puurauk nr 10	11,0	0,2	10,7	10,7	-
Puurauk nr 11	9,5	0,2	9,3	9,3	-
Puurauk nr 12	10,4	0,2	10,2	10,2	-
Puurauk nr 13	12,0	0,2	11,8	11,8	-
<b>OÜ J. VIRU MARKSEIDERIBÜROO šurfid (oktoober 2006)</b>					
Šurf nr 1	4,7	0,2	3,0	-	3,8
Šurf nr 1A	5,5	0,2	4,4	-	5,1
Šurf nr 8	5,4	0,1	5,3	1,5	3,8
Šurf nr 12	5,3	0,2	5,1	1,1	4,0
Šurf nr 15	4,9	0,3	4,6	1,4	3,2
SP-Šurf nr 19	9,7	-	9,7	-	9,7
<b>TK "EESTI GEOLOOGIA" puuraugud (1989)</b>					
Puurauk nr 157	9,0	0,1	7,2	2,4	4,8
Puurauk nr 159	7,5	0,2	5,5	3,3	2,2
Puurauk nr 161	8,0	0,2	5,8	-	5,8
Puurauk nr 162	4,5	0,2	4,3	4,3	-

Lisa 4. Purukruusade terastikulise koostise tabel (TRAM määrus, 2015)

**SIDUMATA SEGUDE TERASTIKULINE KOOSTIS**

Pos.	Segu	Kasutus	Sõela ava mõõt, mm											
			80	63	40	31,5	20	16	8	4	2	1	0,5	0,063
			Läbib sõela, massi-%											
1	0/31,5	Sideainega töötlemata alus			100	85-99	-	58-70	39-51	26-38	17-28	11-21	5-15	0-5
2	0/31,5				100	85-99	-	54-72	33-52	21-38	14-27	9-20	5-15	0-5
3	0/63		100	85-99	-	58-70	-	39-51	26-38	17-28	11-21	5-15	-	0-5
4	0/63		100	85-99	-	63-77	-	33-52	21-38	14-27	9-20	-	-	0-5
5	0/16	Kruuskate ja tugi-peenar			-	-	100	85-99	65-90	50-75	35-60	20-45	10-35	8-15
6	0/31,5				100	85-99	-	60-80	40-65	30-55	20-45	10-30	8-20	8-15

Märkus: Sideainega töötlemata alustes määratakse terastikulise koostise valmishitatud alusest võetud materjali proovist.

Lisa 5. Täitematerjalide (TM) iseloomustav tabel. (MTA Käskkiri nr.0005, 2016)

**L2.T3. KAP arvutuslehe kohustuslik lisa - materjalide klassifikatsioon, esitatud nõuded ja arvutusparameetrid**

Täite-materjalid (Tm)	E (MPa)	Sisehõõrdenurk F	Nidusus C (MPa)	Plastsus Rootsi W <sub>LR</sub>	Sõelkõver	Cu d60/d10	Senine nimetus	Plastsus Vassiljev
280	280						Tardkivikillustik	
280	280						Pae- või kruuskillustik (LA<35)	
240	240						Pae- või kruuskillustik (LA≥35)	
200	200						Ridakillustik, mittestd. killustik	
180	180	45	0,03				Opt.terastikuga kruusliivast kiht	
150	150	43	0,01		2...63 mm >50%		Kruuspinna	
_E (160) _F (110) _G (60)	160 110 60			<25	<0,63 10...40% ja >5 mm >20%		liiva-kruusa-killustiku segu	<7
130 115	130 115	42	0,007	<10	>0,5 mm >50%	>3 2...3	kruusliiv, jämeliiv mõõdukalt ühtlaseterine jämeliiv	<1
_120 105	120 105	40	0,006		>0,25 mm >50%	>3 2...3	keskliiv mõõd.ühtlaseterine keskliiv	<1
_100 90	100 90	38	0,005	<10	>0,1 mm >50%	>3 2...3	peenliiv mõõd.ühtlaseterine peenliiv	
75	75	33	0,005		piiranguteta	≤2	ühtlaseterine liiv	
65	65	40	0,005				jäme kerge saviliiv	
_A				10...25	2...0,25 mm >50%		kerge saviliiv	1...7
_B				<10	>0,1 mm <75%		tolmliiv	<1
_C				25...40 40...50 >50	2...0,05 mm ≥40%		kerge liivsavi raske liivsavi Savi	7...12 12...17 17...27
_D				10...25	2...0,05 mm <20% 2...0,05 mm 20...50%		raske tolme saviliiv tolme saviliiv	1...7 1...7
				25...40			kerge tolme liivsavi	7...12
				40...50	2...0,05 mm <40%		raske tolme liivsavi	12...17
				>50			tolme savi	17...27

Lisa 6. Vee erikasutusluba L.VV/333100



KESKKONNAAMET

**Keskkonnaluba**

Loa registrinumber	L.VV/333100	
Loa omaja andmed	Ärinimi / Nimi	AS Tariston
	Registrikood / Isikukood	10887843
Tegevuskoha andmed	Nimetus	Karude kruusakarjäär II (katastritunnus 56501:001:0363), Mustla-Nõmme küla, Paide linn, Järvamaa
	Aadress	Karude kruusakarjäär 2, Mustla-Nõmme küla, Paide linn, Järva maakond
	Katastritunnus(ed)	56501:001:0363
	Territoriaalkood EHAK	5090
Tegevusvaldkond	Loaga reguleeritavad tegevused	Vee erikasutus;
Loa andja andmed	Asutuse nimi	Keskkonnaamet
	Registrikood	70008658
	Aadress	Narva mnt 7a, 15172 Tallinn
Loa kehtivuse periood	Loa versiooni kehtima hakkamise kuupäev	05.11.2020
	Lõppemise kuupäev	19.03.2029

Lisa 7. Võrdlusproovi protokoll K-54 A



**Katseprotokoll nr 18/3132 K**  
**Katsed tehti tellimiskirja K-3132 alusel**

**Tellija**

Tariston AS, Pärnu mnt 158/1, 11318 Tallinn

**Katsetaja**

OÜ Inseneribüroo STEIGER, Männiku tee 104, 11216 Tallinn  
Kontaktisik: Kadri Mikkelsaar, e-mail: [kadri@steiger.ee](mailto:kadri@steiger.ee), tel: 54005152

**Tööülesanne ja meetodika**

- Täitematerjali filtratsioonimooduli määramine vastavalt standardile EVS 901-20.
- Täitematerjali terastikulise koostise ja peenosiste sisalduse määramine (pesemine ja sõelumine) vastavalt standardile EVS-EN 933-1 (baasrida +2).

**Proovide andmed**

Proovide hulk ja tähistus: 1; K-54 A pestud  
Materjali asukoht: Karude IV karjäär  
Proovi nimetus: Pestud liiv-kruus  
Proovide vastuvõtt: 22.10.2018  
Proovidega alustatud: 29.10.2018  
Proovide üleandja: Kauri Kiiman, Tariston AS  
Proovide kirjeldus: Proov oli üleandja poolt tähistatud ja registreeriti laboris registreerimisnumbriga 4520.

**Tulemused**

Proovi tähis	Proovi reg. nr	Peenosiste sisaldus, %	Maksimaalne kuivtihedus, Mg/m <sup>3</sup>	Optimaalne veesisaldus, %	Tihendus-tegur	Filtratsioonimoodul, m/ööp
K-54 A pestud	4520	4,6	1,96	9,0	1,00	<0,1

Terastikulise koostise ja Proctor-teimi detailsemad tulemused on esitatud lisas 1.

Katsed teostas:  
*/allkirjastatud digitaalselt/*  
Grete Merilaid  
Labori spetsialist

Katsed kinnitas:  
*/allkirjastatud digitaalselt/*  
Kadri Mikkelsaar  
Labori juhataja

NB! Protokoll ei tohi osadena paljundada ilma OÜ Inseneribüroo STEIGER loata

1/2

Lisa 8. Võrdluskatse protokoll K-54 B



**Katseprotokoll nr 18/3124 K**

**Katsed tehti tellimiskirja K-3124 alusel**

**Tellija**

Tariston AS, Pärnu mnt 158/1, 11318 Tallinn

**Katsetaja**

OÜ Inseneribüroo STEIGER, Männiku tee 104, 11216 Tallinn  
Kontaktisik: Kadri Mikkelsaar, e-mail: [kadri@steiger.ee](mailto:kadri@steiger.ee), tel: 54005152

**Tööülesanne ja meetodika**

- Täitematerjali filtratsioonimooduli määramine vastavalt standardile EVS 901-20.
- Täitematerjali terastikulise koostise ja peenosiste sisalduse määramine (pesemine ja sõelumine) vastavalt standardile EVS-EN 933-1 (baasrida +2).

**Proovide andmed**

Proovide hulk ja tähistus: 1; K-54 B pestud  
Materjali asukoht: Karude IV karjäär  
Proovi nimetus: Pestud liiv-kruus  
Proovide vastuvõtt: 22.10.2018  
Proovidega alustatud: 29.10.2018  
Proovide üleandja: Kauri Kiiman, Tariston AS  
Proovide kirjeldus: Proov oli üleandja poolt tähistatud ja registreeriti laboris registreerimisnumbriga 4512.

**Tulemused**

Proovi tähis	Proovi reg. nr	Peenosiste sisaldus, %	Maksimaalne kuivtihedus, Mg/m <sup>3</sup>	Optimaalne veesisaldus, %	Tihendus-tegur	Filtratsioonimoodul, m/ööp
K-54 B pestud	4512	0,9	1,77	12,2	1,01	6,4

Terastikulise koostise ja Proctor-teimi detailsemad tulemused on esitatud lisa 1.

Katsed teostas:  
*/allkirjastatud digitaalselt/*  
Grete Merilaid  
Labori spetsialist

Katsed kinnitas:  
*/allkirjastatud digitaalselt/*  
Kadri Mikkelsaar  
Labori juhataja

NB! Protokoll ei tohi osadena paljundada ilma OÜ Inseneribüroo STEIGER loata

1/2

Lisa 9. Katseprotokoll K-58



**Katseprotokoll nr 18/3227 K**  
**Katsed tehti tellimiskirja K-3227 alusel**

**Tellija**

Tariston AS, Pärnu mnt 158/1, 11318 Tallinn

**Katsetaja**

OÜ Inseneribüroo STEIGER, Männiku tee 104, 11216 Tallinn  
Kontaktisik: Kadri Mikkelsaar, e-mail: [kadri@steiger.ee](mailto:kadri@steiger.ee), tel: 54005152

**Tööülesanne ja meetodika**

- Täitematerjali filtratsioonimooduli määramine vastavalt standardile EVS 901-20.
- Täitematerjali terastikulise koostise ja peenosiste sisalduse määramine (pesemine ja sõelumine) vastavalt standardile EVS-EN 933-1 (baasrida +2).

**Proovide andmed**

Proovide hulk ja tähistus: 1; K-58 pestud  
Materjali asukoht: Karude IV karjäär  
Proovi nimetus: Pestud liiv-kruus  
Proovide vastuvõtt: 22.11.2018  
Proovidega alustatud: 23.11.2018  
Proovide üleandja: Kauri Kiiman, Tariston AS  
Proovide kirjeldus: Proov oli üleandja poolt tähistatud ja registreeriti laboris registreerimisnumbriga 4752.

**Tulemused**

Proovi tähis	Proovi reg. nr	Peenosiste sisaldus, %	Maksimaalne kuivtihedus, Mg/m <sup>3</sup>	Optimaalne veesisaldus, %	Tihendus-tegur	Filtratsioonimoodul, m/ööp
K-58 pestud	4752	1,6	1,79	12,0	1,00	1,6

Terastikulise koostise ja Proctor-teimi detailsemad tulemused on esitatud lisa 1.

Katsed teostas:

*/allkirjastatud digitaalselt/*  
Grete Merilaid  
Labori spetsialist

Katsed kinnitas:

*/allkirjastatud digitaalselt/*  
Kadri Mikkelsaar  
Labori juhataja

NB! Protokoll ei tohi osadena paljundada ilma OÜ Inseneribüroo STEIGER loata

1/2

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Taavi Randjärv

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Pinnasepesuseadme kasutamine materjalide parendamise eesmärgil Karude IV karjääri näitel „ , ,

mille juhendaja on Erik Väli,

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

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

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

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

---

[allkirjastatud digitaalselt]

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.