



# **AHERAINE SÕELMETE KASUTAMINE JA SELLE MÕJUST KESKKONNALE ESTONIA KAEVANDUSE NÄITEL**

Bakalaureusetöö

Üliõpilane: Valdo Tohver (123926)

Juhendaja: vanemlektor Erik Väli, PhD

Õppekava: Geotehnoloogia (AAGB)

Tallinn 2019

## **AUTORI DEKLARATSIOON**

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:

[Ees- ja perenimi]

[allkiri ja kuupäev]

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

Juhendaja:

[allkiri ja kuupäev]

Töö on lubatud kaitsmisele.

Kaitsmiskomisjoni esimees:

[allkiri ja kuupäev]

## SISUKORD

AUTORI DEKLARATSIOON .....	2
SISUKORD .....	3
SISSEJUHATUS .....	4
ABSTRACT .....	5
TÖÖS KASUTUSEL OLEVAD MÕISTED .....	6
1. EESTI ENERGIA ENEFIT KAEVANDUSED ESTONIA KAEVANDUSE (EDASPIDI ESTONIA KAEVANDUS) KIRJELDUS .....	7
2. ESTONIA KAEVANDUSE TOOTMISTEGEVUS .....	8
2.1 Kasutatavad tootmisprotsessid .....	8
3. SÕELMETE KASUTAMINE KAEVANDUSTEGEVUSE MÕJUDE VÄHENDAMISEL KESKONNALE .....	11
3.1 Maapinna vajumine .....	11
3.2 Põlevkivi kaevandamisega seotud jäätmete teke .....	12
3.3 Põlevkivi töötlemisega tekkivad jäätmed .....	13
4. SÕELMETE TEKE JA KASUTAMINE ESTONIA KAEVANDUSES .....	14
5. SÕELMETE TAGASITÄITEKS KASUTAMISE TEHNOLOOGIA .....	15
6. KAMBRIPLOKI TAGASITÄITMISE MAJANDUSLIK PÕHJENDUS .....	16
6.1 Estonia kaevanduse tagasitaitmisaladel asetsevate kambriploki tervikute pindalade arvutus: .....	17
6.2 Estonia kaevanduse tagasitaitmisele kuuluva poolploki tervikute mahu arvutus: .....	18
6.3 Estonia kaevanduse tagasitaitmisele kuuluva poolploki massiivi mahu arvutus : .....	18
6.4 Estonia kaevanduse tagasitaitmisele kuuluva poolploki tühimike mahu arvutus: .....	19
6.5 Estonia kaevanduse tagasitaitmisel kasutatavate materjalide mahu arvutus: .....	19
6.6 Tagasitaidetava mahu osakaal kogu poolploki suhtes: .....	21
6.7 Peale tagasitaitmist väljatava varu mahu ja massi arvutused: .....	22
6.8 Tagasitaitmisel kasutatavate masinate töötundide arvutused: .....	22
6.9 Tagasitaitmisel kasutatavate masinate kasutusmaksumused: .....	24
6.10 Väljatud põlevkivi pealt teenitud kasumi arvutus: .....	25
6.11 Vaadeldava ala tagasitaitmise tasuvuse arvutus: .....	25
7. JÄRELDUSED .....	26
8. KOKKUVÕTE .....	26
KASUTATUD KIRJANDUS .....	27
LISAD .....	29

## SISSEJUHATUS

Põlevkivi on Eesti tähtsaim maavara, mida kaevandatakse juba 1916. aastast. Põlevkivi kasutatakse elektrijaamades elektri tootmiseks ning sellest toodetakse ka põlevkiviõli. Hetkel kaevandatakse Eesti Energia AS-s põlevkivi Estonia kaevanduses, mis on ühtlasti ka maailma suurim põlevkivikaevandus (umbkaudne pindala on 120 km<sup>2</sup>, peaaegu võrreldav Tallinna pindalaga) ja Narva karjääris, mis on maailma suurim põlevkivikarjäär.

Kuigi energiatootmise võimalusi on teisigi, tootis Eesti Energia AS 2017. aastal kogu Eesti elektrienergiast 88%, millest 80% toodeti põlevkivist. Oma energeetilise maavara olemolu ja selle kasutamine tagab Eestile energeetilise sõltumatus, pakkudes tööd tuhandetele inimestele ning teenitud kasum jääb Eesti riigile. Lisaks põlevkivile, toodab Estonia kaevandus ka killustikku, mida saab kasutada teedehituses või betooni valmistamises täitematerjalina. Killustiku tootmise jäägiks on üliväikese fraktsiooniga sõelmed, mis moodustavad ligi 10% kogu killustiku toodangust. [1]

Nagu igasuguse muu maavara kaevandamisega, kaasnevad ka põlevkivi kaevandamisega mõjud keskkonnale. Peamiselt tootmisjäätmete ladustamise näol, kuid mõju avaldub ka põhjaveele ja maapinnale (tõenäolised varingud kaevanduspiirkondades).

Antud töö eesmäriks on pakkuda välja tehniline lahendus jäätmete ladustamiseks maa alla kamberploki tingimustes. Analüüsida ja anda majanduslik hinnang killustiku tootmisjäägi - sõelmed ja põlevkivi töötlemisjäägi – tuha kokkusegamise teel valmistatud segu kasutamiseks täitematerjalina.

Täna oma juhendajat Erik Väli mitmekülgse abi ja juhendamise eest. Samuti täna Eesti Energia Enefit kaevandused tootmisosakonna töötajaid Estonia kaevanduse tehnoloogiat ja masinaparki tutvustava info eest.

## **ABSTRACT**

In the year 2017 the total amount of oil shale mined from Estonia Mine was 9.8 million tons. Almost one third of that amount consists of waste rock (3.5 million tons) and another one third of that waste rock was actually reused for other purposes. Increasing the usage of waste rock would decrease it's negative effects on environment.

Oil shale waste rock is reprocessed into limestone rubble, which is sold as another product, that can be used to build roads.

The fine particle fraction (0-25mm) of oil shale waste rock could be used in two different fields. The first one, that is also used currently in Estonia Mine, is mixing it together with oil shale, to decrease it's calorific value, when it's needed.

The second way would be backfilling. Using fine particles and oil shale ashes from power plants as two main ingredients in concrete, that is used in backfilling. Backfilling technology would increase the efficiency of current technology, that is used in Estonia Mine, as almost 30% of all oil shale is currently left behind in the empty chambers of the mine, to ensure that the land above the mine is stabilized.

## **TÖÖS KASUTUSEL OLEVAD MÕISTED**

Tagasitäitmine – Rikastamisel tekkinud jääkide suunamine tagasi maapõue.

Põlevkivituhk – Põlevkivi põletamisel tekkinud mineraalne materjal.

Aheraine – Kaevandamisel koos maavaraga saadud mineraalid ja kivimid.

Killustik – Kivimi purustamise saadus.

Sõelmed – Killustiku tootmise väiksefraktsiooniline(0-4 mm) materjal.

Fraktsioon – Lähedase tiheduse või suurusega osakeste kogum.

Tuhkbetoon – Batoon (kivistunud segu), mis koosneb sideainest, täitematerjalist, veest ja tuhast.

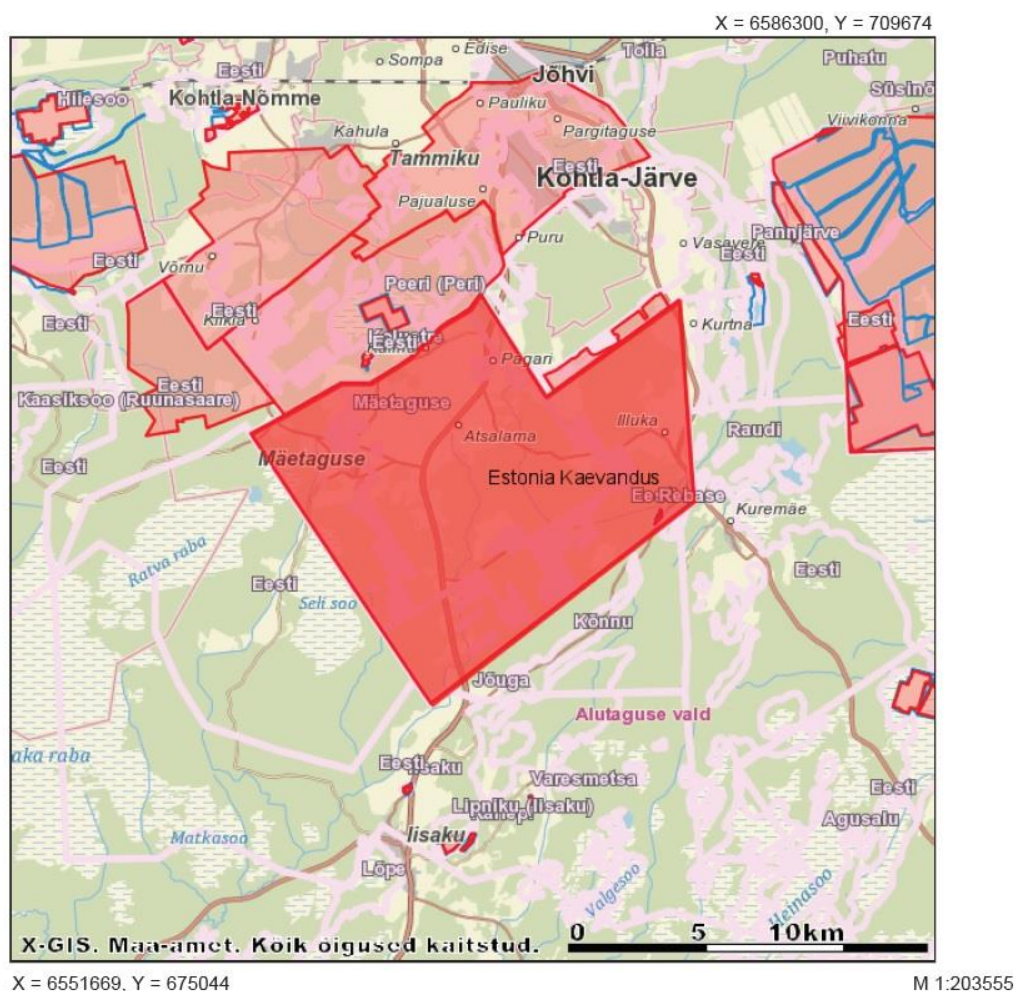
Kamberkaevandamine – Kaevandamise tehnoloogia, kus kaevandatakse kambrite kaupa. Jätakse alles tervikud.

Heljum – Vedelikus liikuvad väikesed tahked osakesed.

Kerogeen – Põlevkivis sisalduv orgaaniline aine.

# 1. EESTI ENERGIA ENEFIT KAEVANDUSED ESTONIA KAEVANDUSE (EDASPIDI ESTONIA KAEVANDUS) KIRJELDUS

Eesti Energia tütarettevõttele AS Enefit Kaevandused kuuluv Estonia kaevandus avati 1972. aastal. Tegemist on hetkel nii Eesti, kui ka maailma suurima põlevkivikaevandusega. Estonia kaevandus asub Ida-Virumaa maakonnas Iisaku, Illuka ja Mäetaguse valdade piires. Mäeeraldise kogupindalaks on ca 142 km<sup>2</sup>. Põlevki tootsa kihindi paksus on valdavalt 2.80 m.[8] Kihindi paksus sõltub väljatavate kaeveõõnte lae kõrgusest, mida mõjutavad omakorda geoloogilised tingimused. Kaevanduse keskmiseks sügavuseks loetakse 65 m. Estonia kaevevälja kirdeosas väheneb tootsa kihindi paksus 2.8 meetrilt 2.6 m peale edela suunas.



Joonis 1. Estonia kaevanduse mäeeraldis. [3]

## **2. ESTONIA KAEVANDUSE TOOTMISTEGEVUS**

2017 aastal toodeti Estonia kaevanduses 9.8 miljonit tonni kaubapõlevkivi. Sealjuures aherainet tekkis 3.5 miljonit tonni.[5] Valdav enamus Estonia kaevanduse toodangust müüakse Eesti Energia elektrijaamadele ja õlitechastesse. Tarbijatele saadetava kaubakivi kütteväärtust saab tõsta kaevist rikastades või langetada segades kaubatoodangu hulka lubjakivi või sõelmeid. Tellimus kaubakivi kogusele ja kvaliteedile tuleneb elektrijaamade vajadusest. Narva elektrijaamadesse (NEJ) tarnitakse põlevkivi ka Narva karjäärist.

Estonia kaevanduses on kasutusel kamberkaevandamise tehnoloogia, kus ligi 30% varust jäetakse tervikutesse, et vältida hilisemaid võimalikke varinguid maapinnal.[2]

### **2.1 Kasutatavad tootmisprotsessid**

#### **Läbindamistööd.**

Kaevetööd algavad läbindamisega ehk koristustöödeks vajalike kamberplokkide ettevalmistustöödega, nende rajamisega. Läbindatud kaevanduskäikudega jagatakse kaeveväli paneelideks ja kambriplokkideks. 2017 aasta läbindusmaht Estonias oli umbes 40 km. Vee ärajuhtimiseks läbinduskaeveõntest soonitakse soonur Ural-33 abil veekõrvaldussooned, mis kaetakse laudadega, et vältida sodi sattumist soontesse. Veesooneid ühendatakse paneeli tuulutustrekis asuva veekraaviga. Veekraave mööda suunatakse vesi maaalusesse veekoguritesse ja sealt edasi pumbatakse see kas maapealsetesse või maa-alustesse settebasseinidesse. 2017 aastal pumbati Estonia kaevandusest välja 80 miljonit m<sup>3</sup> vett. Läbindusesidest saadakse kuni 13% kaevanduse kaevisest.

#### **Lae toestamine.**

Selleks kasutatakse korduvkasutatavaid ankruid. Lae ankruaukude puurimine ja ankrute paigaldamine teostatakse selleks ettenähtud mehaniseeritud moel ehk siis põlevkivikaevanduste tingimustesse kohandatud erinevate välismaiste toestamismasinatega. Levinuim nendest sakslaste SMAG. Ankrud kinnitatakse lukkude abil ülemistesse püsivatesse paekihtidesse ning hiljem eemaldatakse, et neid taaskasutada.



### **Laenguaukude puurimine.**

Laenguaukude puurimiseks kasutatakse Estonias firmade MineMaster ja SMAG puurmasinaid . Augud puuritakse vastavalt puur-lõhketööde passile ja eesmärgiga täita need hiljem lõhkeainega.

### **Lõhketööd.**

Lõhkeaine valmistab ja tarnib Estonia kaevandusse Orica Eesti OÜ. Sama ettevõtte varustab ka teisi kaevandusi ja karjääre üle Eesti. Kasutatakse vedelat emulsioonlõhkeainet, mis transporditakse kohale ja laetakse laenguaukudesse Orica laadimismasinaga. Lõhkeaine initsieeritakse elektridetonatoritega.

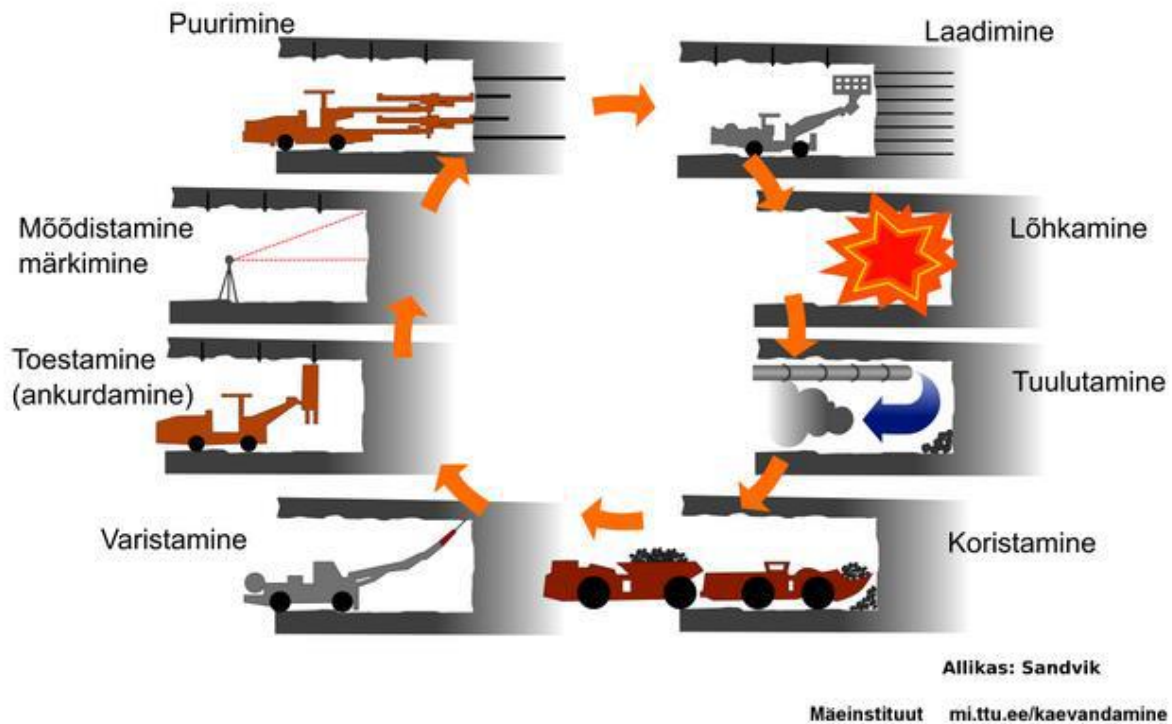
### **Tuulutus.**

Peale lõhketöid toimub kambrite või läbinduseside tuulutamine, et vabaneda plahvatusel tekkinud mürgistest gaasidest ehk muuta töökeskkond inimestele ohutuks. Kaevanduskäikude ja kambriplokkide tuutumist teostatakse suruõhu meetodil. See tähendab, et võimsate maapealsete ventilaatorite abil pumbatakse värske õhk maa all. Kaevälja kaugemates punktides asuvate vertikaalsete kaevanduskäikude kaudu liigub ära kasutatud õhk maa peale. Täiendava tuulutuse vajalikkusel kasutatakse maa all ka kohaliku tuulutuse ventilaatoreid.

### **Kaevise transport.**

Kaevise veoks kasutatakse Sandvik ja Epiroc firmade laadurveokeid, kraapkonveiereid ja lintkonveiereid. Raimatud kivimimass transporditakse laadurveokiga kraapkonveierile, kus see juhitakse purustisse (või toituri-purustisse), et purustada ülemõõdulised tükid. Peale purustamist transporditakse kaervis lintkonveierite abil kaevanduse kaevise kogumispunkrisse, kust see omakorda jõuab lintkonveierite abil maapinnale ning sealt edasi rikastusvabrikusse kaevise rikastamiseks.

Allpool on esitatud ülevaatlik skeem olulisematest kaevise tootmisprotsessidest.



Joonis 2. Estonia kaevanduse töösükkel. Mäeinstituudi joonis.

### Tootmisega kaasnevad põlevkivi kaod ja nende vähendamine.

Kaubapõlevkivi tootmisega kaasnevad kahjuks ka märkimisväärsed kaod. Kaod jagunevad kaheks – geoloogilised ja tehnoloogilised kaod. Valdava enamuse (umbes 63%) moodustavad tehnoloogilised kaod, mis sõltuvad kaevandamiseks valitud tehnoloogia kasutamisest eesmärgiga hoida maapinda ülal, sealseid objekte jms. Näiteks Estonia kaevanduses kamberkaevandamise tulemusena jäävad enamus kadudest tervikutesse – tugi-, tõkke- ja hoidetervikutesse. Tugitervikutesse võib jääda koguni ligi 1/3 varust. [4]

Kadude vähendamiseks peaks juurutama tehnoloogia, mis võimaldaks väljata ka looduslikesse tervikutesse jäävad varud. Maapinna hoideks tuleks rajada kunstlikud tervikud – seda protsessi nimetatakse kaeveõõnte tagasitäitmiseks.

Hetkel võetakse väljatöötatud aladelt välja lage toestavad ankruud (need on taaskasutatavad). See tähendab, et vanu altkaevandatud alasid ohutuse pärast enam täita ei saa, küll aga uuemaid. Kusjuures laed tuleb sel juhul jätta lahtitoestamata.

### **3. SÕELMETE KASUTAMINE KAEVANDUSTEgevuse MÕJUDE VÄHENDAMISEL KESKONNALE**

Kaevandamine toob kaasa ka rida keskkonnaprobleeme. Kuna käesolev lõputöö käsitleb põlevkivi aheraine käitlemisel tekkivaid sõelmeid ja nende kasutamist keskkonnaohu vähendamiseks, siis antud töös on käsitletavad alljärgnevad keskkonnaprobleemid :

- 1) Maapinnavajumised
- 2) Põlevkivi kaevandamisega seotud jäätmete teke
- 3) Põlevkivi töötlemisega seotud jäätmete teke

#### **3.1 Maapinna vajumine**

Allmaakaevandamisega on seotud umbes 290 km<sup>2</sup> maapinda. Kuivõrd püsivaks jäävad hiljem altkaevandatud alad, ei ole võimalik ette ennustada, sest suletud kaevanduste puhul hakkab kamberkaevandamise tehnoloogia korral allesjäänud tervikute püsivust mõjutama ka põhjavesi. [6]

Praegusel ajal on Estonia kaevanduses kasutusel olevad tugitervikud planeeritud põhimõtteliselt igavesti vastu pidama. Seetõttu on kaevandamisel kaod oluliselt suured, ent mõju keskkonnale oluliselt väiksem. Sellegipoolest toimub ka värskemalt kaevandatud aladel varinguid. Eeldatavalt põhjustavad neid geoloogilised rikked kambriploki kohal olevas katendis.



Joonis 3. 2017. aastal Estonia kaevanduses toimunud varing. Autor E.Väli 2017.

Maapinna püsivuse suurendamiseks saab kasutada tagasitäitmist. See tähendab looduslike tervikute asemel jäätmetest (sõelmed ja tuhk) püstitatud kunstlike tervikute ehitamist maa alla. Tehistervikute ehitamine vähendab ka tugitervikutesse jäävat varude kadusid. Sarnaselt ehitusbetoonile, saavutab elektrijaamade tuhast ja aherainest segatud täitematerjal oma tugevuse ca 1 kuu jooksul. [7]

### **3.2 Põlevkivi kaevandamisega seotud jäätmete teke**

Eestis on kokku 34 erinevat aherainemäge, millest enamus asub Ida-Virumaal. Aheraine tekib peale mäemassi purustamist, sõelumist ja rikastamist (lähemalt kirjeldatud punktis 2.1). Estonia kaevanduses on rikastusvabrik, kuhu mäemass suunatakse kaevandusest lintkonveieriga. Peale eelnimetatud toiminguid transporditakse mittevajalik aheraine

puistangutesse. Ladestatud aheraine koosneb lubjakivist ja seda kvalifitseeritakse tänapäeva normidele vastavalt jäätmeks.[9]

Tahkete jäätmete taaskasutus on suhteliselt väike. Aastas taaskasutatakse kuni kolmandik tekkinud aherainest. See tähendab, et jäätmeid tekib oluliselt rohkem, kui neile hetkel taaskasutuseks otstarvet on.



Joonis 4. Kukuruse aherainemägi. Autor K. Sokman 2005.

### **3.3 Põlevkivi töötlemisega tekkivad jäätmed**

Põlevkivi põletamisel tekib tuhk (tuhasus ligi 45-47%). Põletamisel tekkinud tuha hulga ja koostise füüsikalise-keemilised omadused on peamiselt tingitud kütuse koostisest ja põlemisprotsessist ning kasutatavast tehnoloogiast. Tuhk ladestatakse nõuetekohaselt ettenähtud tuhaväljadele. [7]

Kuigi tuhka on taaskasutatud teedehituses stabiliseerimiskihina, tsemendi tootmises ja peamiselt Lõuna-Eestis põldude happelisuse reguleerimiseks lubiväetisena, on tegelik taaskasutuse protsent suhteliselt väike. [11]



Joonis 5. Tuhaväljad. Autor Eesti Energia fotoarhiiv.2005

#### **4. SÕELMETE TEKE JA KASUTAMINE ESTONIA KAEVANDUSES**

Rikastusvabrikusse jõuab Estonia kaevanduse kaemis mööda konveiereid. Rikastusvabrikus kaemis purustatakse, sõelutakse ning rikastatakse. Rikastamise käigus eemaldatakse lubjakivi põlevkivist. Suspensioonivanni põhja vajunud lubjakivi on rikastusjääk.

Saadud kaubapõlevkivi läheb tarbijatele ning allesjäänud aheraine suunatakse killustikukompleksi või aherainemäkke.

Killustikukompleks rajati Estonia kaevanduse kõrvale 2007 aastal, mille maksimaalne tootmisvõimsus on 1.2 miljonit tonni aastas. 2017 aastal toodeti umbes 140 000 tonni killustikku. Killustikuvabrikus toodetakse lõppsaadusena 4/16 mm, 16/32 mm ja 32/64 mm fraktsiooniga killustikku.[10]

Sõelmeid (0-4 mm) tekib killustiku tootmise käigus ligikaudu 10%. 2017. aastal toodetud 140 000 tonnist killustikust tekkis 14 000 tonni sõelmeid, mille kütteväärtus on 1.6 MJ/kg.

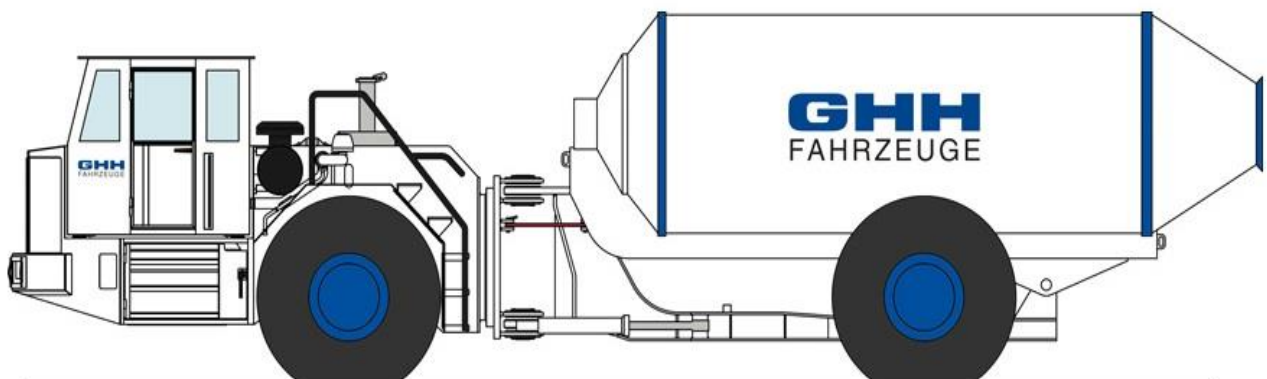
Praegu segatakse sõelmeid valmistoodangu lattu madalama kvaliteediga kaubapõlevkivi valmistamiseks. Enne segamist arvutatakse sõelmete kogused ja nende mõju laos oleva kaubakivi kütteväärtusele. Sõelmete kasutamise mõju valmistoodangu kogusele on siiski väga marginaalne.

Käesolevas lõputöös pakutakse välja tehnoloogiad sõelmete ja tuha ärakasutamiseks tehistervikute rajamisel maa alla. Tehistervikute kasutamine on kasulik nii kadude vähendamise, kui ka maapinna ülalhoiu mõttes.

## 5. SÕELMETE TAGASITÄITEKS KASUTAMISE TEHNOLOOGIA

Antud töös pakub selle autor välja uue tehnoloogia - kaeveõõnte tagasitäitmine mobiilsete ratasveokite pump-betoonmikseritega.

Maapealsetes segusõlmedes sõelmetest ja tuhast valmistatud segu juhitakse mööda torustikku maa alla, täitmisele võimalikult lähedalolevasse kohta. Materjali juhtimiseks maa alla tuleks kasutada vanu energeetilisi puurauke või väljuva õhujoaga tuulutusšurfe, millesse paigutatud manteltoru mööda jookseb tagasitäitmiseks kasutatav segu (50% tuhk + 50% sõelmed) kaevandusse. Maa all ootab segu mobiilne ratasveok-pumpmikser, mahutavusega 12 m<sup>3</sup>



Joonis 6. Allmaa pump-betoonmikser MK-A12M3. [12]

Ratasveok – pumpmikseriga transporditakse segu kambriploki täitmisele kuuluvate kambrite juurde. Täitmisala on ümbritsetud puidust ehitatud tõketega. Mikseril asuv pump pumpab sõelmete ja tuhasegu puidust tõkke taha kambrisse. Segu ülemise piiri ja kambri lae vahele jäetakse segule paisumisruum. Pärast segu tardumist ja hilisemat kivistumist võetakse laudvooderdis ära ja kasutatakse neid järgmiste tõkete ehitamisel.

Peale tehistervikute kivinemist nõutud survetugevusele ( $2 \text{ MPa/cm}^2$ ) algab looduslike tervikute likvideerimine. See saab toimuda mehaanilist purustustehnoloogiat kasutades lühieekombaini. Käesolevas töös on pakutud selleks lühieekombaini firmalt Komatsu.

Kui eeldada, et iga-aastane killustiku tootmine Estonia killustikukompleksis ei muutu ning sõelmeid tekib igal aastal umbes 14 000 tonni, siis saab valmistada 28 000 tonni segu, millest poole sisaldab elektrijaamade tuhka. Tuha transportimise kulused NEJ-dest Estonia kaevandusse ei ole antud töö majandusarvutustes kajastatud.

## **6. KAMBRIPLOKI TAGASITÄITMISE MAJANDUSLIK PÕHJENDUS**

Majandusarvutustega seotud lisainfo ja lähteandmed:

Estonia kaevanduse killustikukompleks tootis 2017. aastal 140 000 tonni killustikku. Sõelmed fraktsiooniga 0-4 mm moodustavad kogu toodetud killustiku kogusest 10%, seega toodetud sõelmete kogus on  $140\,000/10 = 14\,000$  tonni. Kuna mördi materjalid jagunevad suhtega 50% - 50%, kuluks tagasitäitmisel ka tuhka 14 000 tonni ning kogu materjali massi oleks 28 000 tonni. Arvutused hõlmavad selle koguse täielikku kasutamist.

Tagasitäitmist teostab Saksamaa firma GHH Fahrzeuge pump-betoonmikser MK-A12M3, mille maksimaalne mahutavus on  $12 \text{ m}^3$  segu. Masina liikumiskiirus on 30 km/h ning planeeritav maksimaalne tööpiirkond on 3 km. Arvutustes kasutasin keskmist väärtust (1.5 km), et välja selgitada tunnis tehtav töösüklite arv. [12][Lisa 1]

Looduslikest tervikutest varu väljamiseks kasutan Lühieekombaini Komatsu 12CM12B, mille tootlikus on 145 t /tunnis.[13] [Lisa 2]



## **6.1 Estonia kaevanduse tagasitõitmisaladel asetsevate kambriploki tervikute pindalade arvutus:**

Kambriplokis asetsevaid tervikuid on kahes erinevas suuruses.

6.1.1. Standardse tugiterviku külgede mõõtmeteks on  $a = 6.5 \text{ m}$  ja  $b = 6.0 \text{ m}$ ,

kus:

a- on tugiterviku laius (m)

b- on tugiterviku pikkus (m)

Pindala arvutamiseks kasutan valemit:

$$S = (a * b)$$

Tugiterviku pindalaks saame :  $6.5 * 6.0 = 39 \text{ m}^2$

6.1.2. Standardse hoideterviku külgede mõõtmeteks on  $a = 9,0 \text{ m}$  ja  $b = 9,0 \text{ m}$ ,

kus:

a- on terviku laius (m)

b- on tugiterviku pikkus (m)

Pindala arvutamiseks kasutan valemit:

$$S = (a * b)$$

Hoideterviku pindalaks saame :  $9,0 * 9,0 = 81,0 \text{ m}^2$

6.1.3 Poolplokis on kokku 1064 tervikut.

Hoidetervikuid on  $74 * 2 = 148$  hoidetervikut [ $x_h$ ]

Tugitervikuid on  $1064 - 148 = 916$  tugitervikut [ $x_t$ ]

Kogu poolploki tervikute pindala arvutamiseks kasutan valemit:

$$S_1 = (x_t * S_t) + (x_h * S_h)$$

kus:

$S_1$ - on kõigi tervikute pindala ( $\text{m}^2$ )

$x_t$ - on tugitervikute arv (tk.)

$S_t$ - on ühe tugiterviku pindala ( $m^2$ )

$x_h$ - on hoidetervikute arv (tk.)

$S_h$ - on ühe hoideterviku pindala ( $m^2$ )

Kogu poolploki tervikute pindalaks saame:  $S_1 = (916 \cdot 39) + (148 \cdot 81) = 35724 + 11988 = 47712 m^2$ .

## 6.2 Estonia kaevanduse tagasitäitmisele kuuluva poolploki tervikute mahu arvutus:

Tervikutes peituva põlevkivivaru saab peale tagasitäitmist väljata.

6.2.1 Poolploki lae kõrguseks on  $h = 2.80m$

Tervikute mahu arvutamiseks kasutan valemit:

$$V = (S_1 \cdot h)$$

kus:

$S_1$ - on kõigi tervikute pindala ( $m^2$ )

$h$ - on tugiterviku kõrgus (m)

Tervikute mahuks saan:  $V_1 = (47712 \cdot 2.8) = 133\,593.6 m^3$

## 6.3 Estonia kaevanduse tagasitäitmisele kuuluva poolploki massiivi mahu arvutus :

Kambriplokk jaguneb kaheks võrdse suurusega poolplokiks.

6.3.1 Poolplokk mõõtmetega on  $a = 1000 m$  ja  $b = 180 m$

Poolploki pindala arvutamiseks kasutan valemit:

$$S_2 = (a \cdot b)$$

kus:

$a$ - on poolploki külje pikkus (m)

$b$ - on poolploki laius (m)

Poolplokki pindalaks saame:  $S_2=(1000*180)=180\ 000\ m^2$

Poolplokki mahu arvutamiseks kasutan valemit:

$$V_2=(S_2*h)$$

kus:

$S_2$ - on poolplokki pindala ( $m^2$ )

$h$ - kõrgus (m)

Poolplokki ruumalaks saan:  $V_2=(S_2*h) = (180\ 000*2.8) = 504\ 000\ m^3$

#### **6.4 Estonia kaevanduse tagasitäitmisele kuuluva poolplokki tühimike mahu arvutus:**

Tühimike mahu saab kui kogu poolplokki mahust lahutan tervikute mahu.

6.4.1 Tühimike mahu arvutan valemiga:

$$V_3= (V_2-V_1)$$

kus:

$V_3$ - on poolplokki tühimike maht ( $m^3$ )

$V_2$ - on poolplokki massiivi maht ( $m^3$ )

$V_1$ - on poolplokki tervikute maht ( $m^3$ )

Poolplokki tühimike mahuks saame:  $V_3= (504\ 000 -133\ 593.6)= 370\ 406.6\ m^3$

Poolplokki tühimike maht [ $V_3$ ] on tagasitäitmiseks kasutatav ruum.

#### **6.5 Estonia kaevanduse tagasitäitmisel kasutatavate materjalide mahu arvutus:**

Estonia kaevanduse killustikukompleks tootis 2017. aastal 14 000 tonni.

Pae mahumass jääb vahemikku 2200–2650  $kg/m^3$

6.5.1 Pae keskmise mahumassi arvutan valemiga:

$$\gamma= (\gamma_{max}+ \gamma_{min})/2$$

kus

$\gamma$ - on pae keskmine mahumass ( $\text{kg/m}^3$ )

$\gamma_{\text{max}}$ - on pae maksimaalne mahumass ( $\text{kg/m}^3$ )

$\gamma_{\text{min}}$ - on pae minimaalne mahumass ( $\text{kg/m}^3$ )

Pae mahumassiks saame:  $\gamma = (2650 + 2200) / 2 = 2425 \text{ kg/m}^3$

6.5.2 Sõelmete mahu arvutus:

1000 kg = 1 t

Teisendan pae mahumassi tonnidesse:  $2425 / 1000 = 2.425 \text{ t/m}^3$

2.425 tonni vastab  $1 \text{ m}^3$  kohta.

Et teada saada, kui mitu  $\text{m}^3$  vastab 1 tonni kohta, jagan mõlemad arvud sellega läbi:

$$1 / 2.425 = 0.412 \text{ m}^3,$$

seega  $1 \text{ t} = 0.412 \text{ m}^3 [y_1]$

Sõelmete mahu arvutan valemiga:

$$V_s = (m_s * y_1)$$

kus:

$V_s$ - on sõelmete maht ( $\text{m}^3$ )

$m_s$ - on sõelmete mass (m)

$y_1$ - on sõelmete maht ühe tonni kohta

Sõelmete mahuks saame:  $V_s = (14\,000 * 0.412) = 5\,768 \text{ m}^3$

6.5.3 Enefit 280 tuha mahu arvutus:

Enefit 280 tuha keskmine mahumass on  $1.1 \text{ t/m}^3$

Et teada saada, kui mitu  $\text{m}^3$  vastab 1 tonni kohta, jagan mõlemad arvud sellega läbi:

$$1 / 1.1 = 0.91 \text{ m}^3$$

seega  $1 \text{ t tuhka} = 0.91 \text{ m}^3 [y_2]$

Enefit 280 tuha mahu arvutamiseks kasutan valemit:

$$V_t = (m_t * y_2)$$

kus:

$V_t$ - on Enefit 280 tuha maht ( $m^3$ )

$m_t$ - on Enefit 280 tuha mass (m)

$y_2$ - on Enefit 280 tuha maht ühe tonni kohta

Enefit 280 tuha mahuks saame:  $V_t = (14\,000\text{ t} * 0.91\text{ m}^3) = 12\,740\text{ m}^3$

6.5.4 Kogu tagasitäidetava materjali mahu arvutus:

Kogu mahu arvutan valemiga:

$$V_k = (V_s + V_t)$$

kus:

$V_k$ - on tagasitäidetav maht ( $m^3$ )

$V_s$ - on sõelmete maht ( $m^3$ )

$V_t$ - on Enefit 280 tuha maht ( $m^3$ )

Kogu materjali mahuks saan:  $V_k = (5\,768 + 12\,740) = 18\,508\text{ m}^3$

## 6.6 Tagasitäidetava mahu osakaal kogu poolploki suhtes:

6.6.1 Tagasitäidetava mahu osakaalu arvutan valemiga:

$$o = V_k * 100\% / V_3$$

kus:

$o$ - on tagasitäidetava mahu % võrreldes kogu poolploki mahuga (%)

$V_k$ - on kogu tagasitäidetava materjali maht ( $m^3$ )

$V_3$ - on poolploki tühimike maht ( $m^3$ )

Tagasitäidetava mahu osakaaluks saame:  $o = 18\,508 * 100 / 370\,406.6 = 4.99\% = 5\%$

## 6.7 Peale tagasitäitmist väljatava varu mahu ja massi arvutused:

6.7.1 Potentsiaalselt väljatava varu mahu arvutuseks kasutan valemit:

$$V_v = V_1 * o / 100\%$$

kus:

$V_v$ - on väljatava põlevkivivaru maht ( $m^3$ )

$V_1$ - on kogu tervikute maht ( $m^3$ )

$o$ - on tagasitäidetava mahu % võrreldes kogu poolploki mahuga (%)

Väljatava varu mahuks saame:  $V_v = 133\,593.6 * 5\% / 100\% = 6679.68\,m^3$

6.7.2 Põlevkivi keskmine mahumass on  $1.41\,t/m^3$

Et teada saada, kui mitu  $m^3$  vastab 1 tonni kohta, jagan mõlemad arvud sellega läbi:

$$1 / 1.41 = 0.71\,m^3,$$

seega 1 t põlevkivi =  $0.71\,m^3$  [ $y_3$ ]

Väljatava varu massi arvutuse valem:

$$m_p = (V_v * y_3)$$

kus:

$m_p$ - on väljatava põlevkivi mass (m)

$V_v$ - on väljatava põlevkivivaru maht ( $m^3$ )

$y_3$ - on põlevkivi maht ühe tonni kohta

Seega väljatava põlevkivivaru massiks saame:  $m_p = 6679.68 * 0.71 = 4742.6\,t$

## 6.8 Tagasitäitmisel kasutatavate masinate töötundide arvutused:

Segu transpordiks kambritesse sobib Saksamaa firma GHH Fahrzeuge pump-betoonmikser MK-A12M3, mille maksimaalne mahutavus [ $n$ ] on  $12\,m^3$  segu. Keskmine sõitude arv, mida

segumasin teha suudab, on 5 sõitu tunnis edasi-tagasi 1.5 km raadiuses. Looduslike tervikute väljamiseks kasutame lühieekombaini Komatsu 12CM12B.

6.8.1 MK-A12M3 tööaeg kogu mördi laialivedamiseks:

Sõitude arvu leidmiseks kasutan valemit:

$$\tilde{o} = V_k/n$$

kus:

$\tilde{o}$ - on kogu mördi transpordiks kuluv sõitude arv

$V_k$ - on tagasitäidetava mördi maht

$n$ - on MK-A12M3 mahutavus

Seega saame sõitude arvuks:  $\tilde{o} = 18\,508 \text{ m}^3 / 12 \text{ m}^3 = 1543$  sõitu.

Masin teeb sõltuvalt sihtkohast minimaalselt 5 sõitu tunnis [ $\tilde{a}_s$ ]

Töötundide leidmiseks kasutan valemit:

$$\tilde{o}_s = \tilde{o}/\tilde{a}_s$$

kus:

$\tilde{o}_s$  – Pump-betoonmikseri töötundide arv (h)

$\tilde{a}_s$ - on sõitude arv tunnis (tk)

$\tilde{o}$ - kogu sõitude arv (tk)

Saame töötundideks:  $\tilde{o}_s = 1543/5 = 309$  töötundi (ümardatud ülespoole täistunniks)

6.8.2 Lühieekombaini Komatsu 12CM12B tunnitootlikus on 145 t/h [ $\tilde{a}_1$ ]. [LISA 2]

Arvutan lühieekombaini töötundide arvu valemiga:

$$\tilde{o}_1 = m_p/\tilde{a}_1$$

kus:

$\ddot{o}_j$ - on töötundide arv (h)

$m_p$ - on väljatava põlevkivi mass (m)

$\ddot{a}_l$ - on lühieekombaini tunnitootlikus (t/h)

Saame töötundide arvuks:  $\ddot{o}_1 = 4742.6/145 = 33h$  (ümardatud ülespoole täistunniks)

### **6.9 Tagasitöötamise kasutatavate masinate kasutusmaksused:**

Pump-betoonmikseri tunnihind  $c_s$  on 190.51€ [LISA 1] ja lühieekombaini tunnihind  $[c_l]$  on 374.5€ [LISA 2]

6.9.1 S Pump-betoonmikseri kasutuskulu arvutan valemist:

$$k_s = \ddot{o}_s * c_s$$

kus:

$k_s$  – on segumasina kasutuskulu (€)

$\ddot{o}_s$  – on pump-betoonmikseri töötundide arv (h)

$c_s$  – on pump-betoonmikseri kasutamise tunnihind [Lisa 1]

Pump-betoonmikseri kasutamise kogukuluks saame:  $k_s = 309 * 190.51€ = 29\,388.4\,€$

6.9.2 Lühieekombaini kasutuskulu arvutan valemist:

$$k_l = \ddot{o}_l * c_l$$

kus:

$k_l$ - on lühieekombaini kasutuskulu (€)

$\ddot{o}_l$ - on lühieekombaini töötundide arv (h)

$c_l$ - on lühieekombaini kasutamise tunnihind (€/h)

Seega lühieekombaini kogukuluks saame:  $k_l = 33 * 374.5€ = 12358.5€$

6.9.3 Masinate kogukulu arvutan valemist:

$$k_k = k_s + k_l$$



kus:

$k_k$ - on masinate kasutamise kogukulu (€)

$k_s$ - on segumasina kasutamise kulu (€)

$k_l$ - on lühieekombaini kasutamise kulu (€)

Seega masinate kasutamise kogukuluks saame:  $kk\ 29388.4€+12358.5€= 41746.9€$

### **6.10 Väljatud põlevkivi pealt teenitud kasumi arvutus:**

Põlevkivi tonnihind on keskmiselt 9€/t. [j]

Teenitud kasumi arvutan valemist:

$$z_p = m_p * j$$

kus:

$z_p$ - on põlevkivi müügi pealt teenitud kasum (€)

$m_p$ - on väljatud põlevkivi mass (m)

$j$ - on põlevkivi tonnihind (€/t)

Seega väljatud varu pealt teenitud kasumiks saame:  $z_p = 4742.6\ t * 9€ = 42\ 683.4€$

### **6.11 Vaadeldava ala tagasitäitmise tasuvuse arvutus:**

Kogu tööde tasuvust arvutan valemiga:

$$z_k = z_p - k_k$$

kus:

$z_k$ - on kogutulu (€)

$z_p$ - on põlevkivi müügi pealt teenitud kasum (€)

$k_k$ - on masinate kasutamise kogukulu (€)

Seega kogu tagasitäitmise tööde lõppkasumiks on:  $z_k = 42\ 683.4€ - 41746.9€ = 936.5€$

## 7. JÄRELDUSED

1. Käesolevas töös väljapakutud altkaevandatud alade täitmistehnoloogia, mis baseerub täitesegu transpordil pump-betoonmikseritega ja segu hilisemal pumpamisel tervikute vahelistesse tühimikesse on teostatav.
2. Majandusarvutused näitavad, et Estonia kaevanduse aastase sõelmete kogusega täidetav maht kambriplokis on marginaalne, ca 7000 m<sup>3</sup> ja sellest tulenev rahaline efekt väike s.o. 936.5€.
3. Tagasitäiteks sobiliku segu kogust saab oluliselt muuta suurendades killustiku tootmismahu. Selle arvelt kasvab ka sõelmete hulk ning maa all täidetavate tühimike maht.

## 8. KOKKUVÕTE

Igal aastal tekib Estonia kaevanduses miljoneid tonne tootmisjääke – aherainet, millest taaskasutatakse kõigest kolmandiku. Et vähendada jäätmete poolt keskkonnale avaldatavat mõju, tuleb nende taaskasutust suurendada.

Estonia killustikuvabrikus killustiku tootmisel tekkinud väikesefraktsioonilisele (0-4 mm) jäägile – sõelmetele, pakutakse autori poolt nende kasutamist täitesegu ühe koostisosana. Teise poole segust moodustab Narva elektrijaamade tuhk.

Tagasitäitmine võimaldab ladustatava tuha koguse vähenemise kõrval vähendada tervikutesse jäetavat varu, muutes kasutuseloleva kamberkaevandamise tehnoloogia oluliselt efektiivsemaks.

Tehistervikute rajamisel looduslike asemele, saab kadude arvelt rohkem toodangut, kuid sellega lisandub kaevandusel mitmeid tegevusi, mis muudavad põlevkivi kaevandamise kulukamaks ja ettevõtjatele mittetasuvaks tegevuseks. Üheks suuremaks kuluartikliks peetaksegi ehituskillustiku kasutamise täitesegu ühe koostisosana.

Käesolevas lõputöös väljapakutud pump- betoonmikserite kasutamine tagasitäitematerjali transpordiks muudab tühimike täitmise ja sellele järgneva looduslike tervikute väljamise protsessi ettevõtja jaoks atraktiivseks, sest see ei suurenda toodangu ühiku omahinda. Keskkonnahoiust lähtuvalt toob sellise tehnoloogia kasutuselevõtt olulist kasu ka riigi majandusele.

## KASUTATUD KIRJANDUS

[1] AS Eesti Energia. 2018. Eesti Energia aastaaruanne 2017. [Võrgumaterjal]

[https://www.energia.ee/-/doc/8457332/ettevottest/investorile/pdf/annual\\_report\\_2017\\_est.pdf](https://www.energia.ee/-/doc/8457332/ettevottest/investorile/pdf/annual_report_2017_est.pdf)

[Kasutatud 14.10.18]

[2] Maa-amet. Maavarade koondbilansi seletuskiri 2017. [Võrgumaterjal]

[https://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/maavaravarude\\_koondbilanss\\_2017\\_seletuskiri.pdf?t=20180627085524](https://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/maavaravarude_koondbilanss_2017_seletuskiri.pdf?t=20180627085524) [Kasutatud 14.10.18]

[3] Maa-amet. Maardlate kaardirakendus. [Võrgumaterjal]

<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Teenused/Kaardirakendused/Maardlate-kaardirakendus-p163.html> [Kasutatud 29.10.18]

[4] Keskkonnaministeerium. 2014. Põlevkivi kasutamise riikliku arengukava 2016-2030 keskkonnamõju strateegiline hindamise aruanne. Lisa 1. Eeldatavalt mõjutatava keskkonna kirjeldus, keskkonnamõju ja selle leevendamismeetmed. Tallinn.

[5] Kutsar, R. 2017. Estonia kaevanduse maavara kaevandamisloa KMIN-054 pikendamise taotluse keskkonnamõju hindamine.

[6] Keskkonnaministeerium. Põlevkivi arengukava 2016-2030. Lisa 8. [Võrgumaterjal]

[https://www.envir.ee/sites/default/files/arengukavas\\_eelnou\\_okt\\_2014.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/arengukavas_eelnou_okt_2014.pdf)

[Kasutatud 03.11.18]

[7] Reinsalu, E., Toomik, A., Valgma, I. 2015. „Kaevandatud maa“, Tallinn: TTÜ Mäeinstituut.

[8] Keskkonnaministeerium. 2016. Eesti põlevkivi energeetilise kasutamise parima võimaliku tehnika uuring. Tallinn. [Võrgumaterjal]

[https://www.envir.ee/sites/default/files/pvt\\_lopparuanne\\_02.01.2017.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/pvt_lopparuanne_02.01.2017.pdf)

[Kasutatud 01.12.18]

[9] Žigadlo, J., Kaarlõp, R. 2013. Estonia kaevanduse kaevandamisjäätmekava. Eesti Energia Kaevandused AS. Tallinn.

[10] AS Teede tehnokeskus. 2015. Aheraine killustiku omaduste kaardistamine Eestis ning nõrga kivi vääristamise teadusuuringud. Lõpparuanne. Tallinn. [Võrgumaterjal]

[https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/150410\\_aheraine\\_uuring\\_lopparuanne.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/150410_aheraine_uuring_lopparuanne.pdf) [Kasutatud 01.12.18]

[11] Vals, M. 2018. Ehitagem Eesti idapiir aherainele ja põlevkivituhale, tuleb odavam. [Võrgumaterjal]

<http://epl.delfi.ee/news/arvamus/eesti-energia-juhatuse-liige-ehitagem-eesti-idapiir-aherainele-ja-polevkivituhale-tuleb-odavam?id=82004495> [Kasutatud 12.12.18]

[12] GHH Fahrzeuge. MK-A12M3 pump-betoonmikseri brošüür. [Võrgumaterjal]

<http://www.ghh-fahrzeuge.de/en/products/concrete-mixer/mk-a12m3/> [Kasutatud 20.12.18]

[13] Komatsu. 12CM12B lühieekombaini brošüür. [Võrgumaterjal]

<https://mining.komatsu/product-details/12cm12#!specifications> [Kasutatud 10.11.18]

[14] Reinsalu, E. 2008. EMS konverentsi kogumik. Artikkel. Masina soetusmaksumuse ja tunnihinna arvutamine.

## LISAD

Lisa 1. Allmaa pump-betoonmikser MK-A12M3 soetumus- ja tunnihinna arvutamine [14]

MASINA SOETUSMAKSUMUSE JA TUNNIHINNA ARVUTAMINE					
<b>1. Soetamismaksumus</b>					
Masina kavatsetava soetamise aeg		Masina nimetus, tähis või mark			MK-A12M3
aasta	2019	Riik, kust masin ostetakse			Eesti
kuu	1	Veokaugus ostukohast, km			190
päev	1	Valuuta, milles hind määratud			EUR
Masina hind on teada:		Inflatsioon masina müügikohas, %			2
aasta	2019	Hind	tuh	EUR	300 000
kuu	1	Masina mass		t	30
päev	1	Valuuta vahetuskurs		EUR	1,1341
Hinna vanus ostmise ajal	0,00	Veotariif (t/km hind)		EUR	1,5
1.1. Masina hind ostmise ajaks			340230,00	tuh	EUR
Masina erihind (kilogrammi maksumus) kontrolliks			11341,00		EUR
1.2. Veo maksumus			1,785	tuh	EUR
Soetamisele kasnevad maksud					
Käibemaks	20 %			tuh	EUR 68046,00
Katusemaks				tuh	EUR
Altkäemaks				tuh	EUR
Masina soetamismaksumus kokku			408277,785	tuh	EUR
<b>2. Kapitali</b>					
Masina nimetus, tähis või mark					MK-A12M3
Valuuta					EUR
Soetamismaksumus				tuh	EUR 408277,79
Kavandatav masina kasutamise aeg	15	aastat			
Kavandatav koormus	2400	tundi aastas			
Masina jääkväärtus maha kandmisel	15 %		tuh	EUR	61241,67
Pangalaenu kasvikunorm	6,5 %				
Seotud kapital				tuh	EUR 246327,60
2.1. Masinakulud			tuh	EUR	aastas
Kulum					23135,741
Kasvik					16011,294
3. käitiskulu					
Masina koheletoot	1,5	tuh € kord	1	korda	1,500
Varuosad	5 %	hinnast			20413,889
Kütus	30	l/h, hind	15	EUR	1080,000
Määrded, filtrid	5 %	Küttest			54,000
Eriosad	10 %	Küte+määre			113,400
Muud eriosad, summa aastas					0,000
Kindlustus	5 %				20413,889
Kokku masinakulu					81223,713
2.2. Töötasu				aastas	tunnis
Palk	tunnis	25	tuh	EUR	60,000
Sotsiaal- jm maks	33 %	töötasust			19,800
Muud (õpe, lähetused)					0,000
Kokku otsene töötasu					79,800
Muu töötasu	5 %	otsestest töötasust			3,990
Kokku töötasu					83,790
2.3. Juurdehindlus	10 %				8130,750
2.4. Käibemaks	20 %				17870,893
Lõpptulem: masinakulu tuhandetes eurodes, aastas ja tunnis					6858,304
Tunni hind				€/h	190,51
Masina tootlikkus				t/h	50
Masinakulu toodangus				€/t	3,81

## Lisa 2. Lühieekombain Komatsu 12CM12B soetumus- ja tunnihinna arvutamine [14]

MASINA SOETUSMAKSUMUSE JA TUNNIHINNA ARVUTAMINE					
<b>1. Soetamismaksumus</b>					
Masina kavatsetava soetamise aeg		Masina nimetus, tähis või mark			KOMATSU 12CM12B
aasta	2019	Riik, kust masin ostetakse			Eesti
kuu	1	Veokaugus ostukohast, km			190
päev	1	Valuuta, milles hind määratud			EUR
Masina hind on teada:		Inflatsioon masina müügikohas, %			2
aasta	2019	Hind	tuh	EUR	590 000
kuu	1	Masina mass		t	59
päev	1	Valuuta vahetuskurs		EUR	1,1341
Hinna vanus ostmise ajal	0,00	Veotariif (t/km hind)		EUR	1,5
1.1. Masina hind ostmise ajaks			669119,00	tuh	EUR
Masina erihind (kilogrammi maksumus) kontrolliks			11341,00		EUR
1.2. Veo maksumus			1,785	tuh	EUR
Soetamisele kasnevad maksud					
Käibemaks	20 %		tuh	EUR	133823,80
Katusemaks			tuh	EUR	
Altkäemaks			tuh	EUR	
Masina soetamismaksumus kokku			802944,585	tuh	EUR
<b>2. Kapitali</b>					
Masina nimetus, tähis või mark					KOMATSU 12CM12B
Valuuta					EUR
Soetamismaksumus			tuh	EUR	802944,59
Kavandatav masina kasutamise aeg	15	aastat			
Kavandatav koormus	2400	tundi aastas			
Masina jääkväärtus maha kandmisel	15	%	tuh	EUR	120441,69
Pangalaenu kasvikuunorm	6,5	%			
Seotud kapital			tuh	EUR	484443,23
2.1. Masinakulud			tuh	EUR	aastas
Kulum				45500,193	18,96
Kasvik				31488,810	13,12
<b>3. Käitiskulu</b>					
Masina koheletoot	1,5	tuh € kord	1	korda	1,500
Varuosad		5 % hinnast			40147,229
Kütus	59	l/h, hind	15	EUR	2124,000
Määrded, filtrid		5 % Küttest			106,200
Eriosad		10 % Küte+määre			223,020
Muud eriosad, summa aastas					0,000
Kindlustus		5 %			40147,229
Kokku masinakulu					159738,182
2.2. Töötasu				aastas	tunnis
Palk	tunnis	25	tuh	EUR	60,000
Sotsiaal- jm maks		33 % töötasust			19,800
Muud (õpe, lähetused)					0,000
Kokku otsene töötasu					79,800
Muu töötasu		5 % otsesest töötasust			3,990
Kokku töötasu					83,790
2.3. Juurdehindlus		10 %			15982,197
2.4. Käibemaks		20 %			35144,076
Lõpptulem: masinakulu tuhandetes eurodes, aastas ja tunnis					13482,050
Tunni hind				€/h	374,50
Masina tootlikkus				t/h	145
Masinakulu toodangus				€/t	2,58