

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Loodusteaduskond

Geoloogia Instituut



**SILLAMÄE PIIRKONNA SAVIKIVI
(GRAPTOLIITARGILLIIDI) TELEVÄLJAMISE
PROJEKT**

Magistritöö

Juhendaja/õppejõud: Tõnu Tomberg, MSc

Üliõpilane: Janno Lumiste

153621YAEM

Õppekava nimetus: Maa-teadused ja
geotehnoloogia

Tallinn 2017

Deklareerin, et käesolev magistritöö, mis on minu iseseisva töö tulemus ning kinnitan, et esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Kinnitan, et antud töö koostamisel olen kõikide teiste autorite seisukohtadele, probleemipüstitustele, kogutud arvandmetele jmt viidanud.

Janno Lumiste

Allkiri:

Kuupäev:

Juhendaja: Tõnu Tomberg

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

Allkiri:

Kuupäev:

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....
(nimi, allkiri, kuupäev)

Tallinna Tehnikaülikool
Geoloogia instituut
Lõputöö ülesanne

Töö ID	1709M	Õppekava	YAEM14/15
Üliõpilane	Janno Lumiste	Matrikli nr.	153621YAEM
Töö liik	Magistritöö	Õppeaine kood	
Juhendaja	Tõnu Tomberg	Ülesanne kehtib kuni	02. juuni 2017

Töö ülesanne	Sillamäe piirkonna savikivi (graptoliitargilliidi) televäljamise projekt
Topic of the Thesis	Project of Development of Graptolite Argillite Mine in Sillamäe Region

Töö sisu põhipunktid	Maardla geoloogiline iseloomustus Mäendustingimused Kaevandusvälja asukoha valik Ülevaade televäljamise tehnoloogiate kasutamisest Seadmete valik ja tehnoloogilise skeemi koostamine Kaevandamis- ja ettevalmistustööde parameetrite määramine Keskkonnanhoole Majandushinnang
----------------------	--

Seotud teadusteema ja/või sihtasutus	Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium
--------------------------------------	---

Tähtajad

Eelkaitsmine	23. mai 2017	Kaitsmine	02. juuni 2017
--------------	--------------	-----------	----------------

Üliõpilane	Janno Lumiste	<i>Janno Lumiste</i>	12 mai 2017
Juhendaja	Tõnu Tomberg	<i>Tõnu Tomberg</i>	12. mai 2017.
Konsultant			
	nimi	alkiri	kuupäev

Ülesanne kinnitatud	_____
Ülesanne täpsustatud	_____
Ülesanne pikendatud	_____

LÜHIKOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli projekteerida Sillamäe piirkonda graptoliitargilliidi kaevandamine televäljamisega. Selleks uuriti Sillamäe ümbruse geoloogilisi- ja mäendustingimusi, valiti kaeveala asukoht, vajalikud masinad ja tehti tasuvusanalüüs. Optimaalseks asukohaks osutus Sillamäe sadama läheduses olev ala, sest seal on katendikivimite paksus väike ning sadama läheduse tõttu on transpordikulud madalad. Samuti on piirkonnas graptoliitargilliidi uraani, vanaadiumi ja molübdeeni sisaldus kõrge. Majandusarvutuste tulemusena selgus, et graptoliitargilliidi väljamishind on 24 €/t ehk 47 €/m³. Põhilisteks suuremateks iga-aastasteks kuludeks on keskkonnatasud, vajaliku kaeviku rajamine televäljamise jaoks ning tootmiskulud, millest enamuse moodustavad elektrienergia ja masinate käituskulud.

Võtmesõnad: Graptoliitargilliit, televäljamine, tasuvusanalüüs, Eesti

ABSTRACT

Project of Development of Graptolite Argillite Mine in Sillamäe Region.

The Masters' thesis describes the possibilities of mining Graptolite Argillite with high-wall mining method in Sillamäe Region. Cost-benefit analysis was carried out to determine if the effectiveness of high-wall mining method. Sillamäe Region was analyzed to find an acceptable area for mining. To reduce transportation costs to port the location was chosen as close to Sillamäe port as possible, it is also known that in this area the compositions of uranium, vanadium and molybdenum in Graptolite Argillite are high. Cost-benefit analysis revealed that the lowest acceptable Graptolite Argillite price with this mining method would be 24 €/t, which is about 47 €/m³. Annual expenses are environmental charges, necessary trench construction and the cost of production.

Keywords: Graptolite Argillite, high-wall mining, cost-benefit analysis, Estonia

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	3
ABSTRACT	4
SISSEJUHATUS	9
ASUKOHT	10
ALA GEOLOOGILINE JA HÜDROGEOLOOGILINE KIRJELDUS	11
Geoloogiline kirjeldus.....	11
Graptoliitargilliit	12
Hüdrogeoloogiline kirjeldus	16
Kvaternaari veekompleks.....	16
Ordoviitsiumi veekompleks	16
Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleks	16
MÄENDUSTINGIMUSED	17
KAEVANDUSVÄLJA ASUKOHA VALIK	18
TELEVÄLJAMINE	22
Televäljamise kogemused	22
Televäljamise eelised	23
Televäljamine maailmapraktika	23
KAEVANDAMIS- JA ETTEVALMISTUSTÖÖDE PARAMEETRID	26
Kaevik	26
Kaeviku puur- ja lõhketööd	26
Tervikute arvutus	29
SEADMETE VALIK JA TEHNOLOOGILINE SKEEM.....	30
Caterpillar HW300.....	30

Veo ja laadimisseadmed	34
Mobiilne sõelur	35
Tehnoloogilised skeemid	35
KESKKONNAHOOLE	38
MAJANDUSARVUTUSED.....	39
Eeldused.....	39
Esialgse kaeviku ja sissesõidurambi rajamise maksumus	39
Teleraimamiseks vajaliku kaeviku rajamise maksumus	41
TASUVUSANALÜÜS	43
Lähteandmed.....	43
Arvutused.....	43
Tasuvushinnangu kokkuvõte	55
KOKKUVÕTE	56
KASUTATUD KIRJANDUS	58
LISAD.....	60
Lisa 1. Puur- ja lõhketööde valemid ja arvutused.....	60
Lisa 2. Teleraimamine ja kaevise sõelumine, ee pass.....	68
Lisa 3. Lubjakivi laadimine ekskavaatoriga, ee pass	69
Lisa 4. Kaevise laadimine laaduriga, ee pass.....	70

JOONISTE LOETELU

Joonis 1. Uuringuala asukoht.....	10
Joonis 2. Pimestiku uraanistoll. Oleg Tsernetsov 11.12.2014	12
Joonis 3. V, Mo ja Pb kontsentratsioonid Eesti graptoliitargilliidis (5).....	14

Joonis 4. Puuraugu F7 geoloogiline läbilõige.....	15
Joonis 5. Võimalikud kaevandite asukohad.....	19
Joonis 6. Kaeveala plaan.....	20
Joonis 7. Kaevik.....	21
Joonis 8. Cat HW300 televäljamismasinaga raimatud ala. Allikas: https://www.youtube.com/watch?v=l6nlWxzRQ8o&t=173s	24
Joonis 9. Cat HW300-ga kivisõe raimamine. Allikas: https://www.youtube.com/watch?v=l6nlWxzRQ8o&t=173s	25
Joonis 10. HW300 televäljamismasin (25).....	31
Joonis 11. Väga madala paksusega kihi närits (25).....	32
Joonis 12. Madala paksusega kihi närits (25).....	32
Joonis 13. Keskmise paksusega kihi närits (25).....	33
Joonis 14. Kõrge paksusega kihi närits (25).....	33
Joonis 15. Ekskavaatoriga laadimine.....	36
Joonis 16. Cat HW300 televäljamine.....	37
Joonis 17. Kaevisse laadimine frontaallaaduriga.....	37
Joonis 18. Väljamishind aastate lõikes.....	55

TABELITE LOETELU

Tabel 1. puur- ja lõhketööde algandmed.....	27
Tabel 2. Puur- ja lõhketööde arvutuste tulemused ilma sissesõidurambita.....	28
Tabel 3. Cat HW300 parameetrid (25).....	31
Tabel 4. Väga madala paksusega kihi näritsa spetsifikatsioonid (25).....	31
Tabel 5. Madala paksusega kihi näritsa spetsifikatsioonid (25).....	32
Tabel 6. Keskmise paksusega kihi näritsa spetsifikatsioonid (25).....	32
Tabel 7. Kõrge paksusega kihi näritsa spetsifikatsioonid (25).....	33
Tabel 8. Puur- ja lõhketööde materjali kulu (esialgne kaevik).....	40
Tabel 9. Puur- ja lõhketööde töötasu (esialgne kaevik).....	40

Tabel 10. Masinakuulud laadimiseks, veoks ja graptoliitargilliidi raimamiseks (esialgne kaevik).	41
Tabel 11. Rajamise maksumus (esialgne kaevik).	41
Tabel 12. Puur- ja lõhketööde materjali kulu (televäljamise kaevik).	42
Tabel 13. Töötasu (televäljamise kaevik).	42
Tabel 14. Masinakuulud laadimiseks, veoks ja graptoliitargilliidi raimamiseks (televäljamise kaevik).	42
Tabel 15. Rajamise maksumus (televäljamise kaevik).	42
Tabel 16. Arvutuslehtede spetsifikatsioon.	43
Tabel 17. Masinad ja seadmed.	44
Tabel 18. Masinate soetamismaksumus.	45
Tabel 19. Masinate soetamisgraafik.	46
Tabel 20. Masinate ostmiseks vajalikud investeeringud.	47
Tabel 21. Aastased masinakuulud, 1 osa tabelist.	48
Tabel 22. Aastased masinakuulud, 2 osa tabelist.	48
Tabel 23. Aastased veo- ja laadimiskulud sisse tellitud teenusega.	49
Tabel 24. Töötajate arv.	49
Tabel 25. Rajamise ajakava ja maksumus.	50
Tabel 26. Palga- ja muud kasvavad kulud.	52
Tabel 27. Majandustegevuse bilansi lähteandmed.	53
Tabel 28. Majandustegevuse bilanss, mln €.	54

SISSEJUHATUS

Graptoliitargilliit on oluline tuleviku maavara mis käesoleval ajal maavarade registris arvel ei ole. Perspektiivikamaks on loetud graptoliitargilliidis esinevate haruldaste ja hajutatud elementide kõrgendatud sisaldus. Nimetamist väärivad uraan, vanaadium, molübdeen, tsink, plii ja reenum. Nimetatud elementide sisaldus kivimis ületab kümneid kordi nende maakooses esineva keskmise hulga, kuid ei ole ligilähedalgi võrreldes tänapäevaste kaevandatavate maakidega. Graptoliitargilliidi kaevandamist pidurdab asjaolu, et kivim sisaldab ligikaudu 2,4-6% püriiti, mistõttu võib kivim õhuga reageerides süttida, samuti on miinuseks asjaolu, et kokkupuutes hapnikurikka veega toimub argilliidi leostumine.

Argilliit lasub üle kogu Eesti, Loode-Eestis on kivim orgaanikarikkam, paksem on läänelevialas ja metalliderikkam on Virumaa põhjaosa idalevialas. Graptoliitargilliidi kaevandamise võimalikke asukohti on mitmeid, kaks potentsiaalset asukohta on välja pakutud raamatus „Eesti mäendus III“. Avakaevandamine on võimalik vaid Põhja-Eestis, kus katendi paksus pole väga suur (1).

Antud magistritöö eesmärk oli analüüsida graptoliitargilliidi võimalikku kaevandamist teleraimamisega, määrata kaevandamise võimalik asukoht Sillamäe piirkonnas, võimaliku tehnoloogilise skeemi väljatöötamine ja arvutada kaevandamise bilanss. On teada, et Sillamäe piirkonnas on uraani, vanaadiumi ja molübdeeni sisaldus kivimis kõrge. Samuti ei ole piirkonnas kattekivimite paksus suur, mistõttu kaeviku rajamine on soodsam kui teiste variantide puhul.

ASUKOHT

Uuringus käsitletakse ala mis jääb Toila valla ja Sillamäe linna piiridesse. Ala sisse jäävad Vaivina küla, Päite küla, Konju küla, Voka alevik ja Sillamäe linn. Põhja poolt on piiriks Soome laht, Ida poolt Sillamäe linn, Lõunast Tallinn-Narva raudtee ja Läänest Voka alevik. Uuritud ala on näidatud joonisel 1, kus on näha uuritud puuraugud, uuringuala piir ja suletud uraanikaevanduse stollid.

Alternatiivseid asukohti Põhja-Eestis on mitmeid, kus katendikivimite paksus ei takistaks antud projekti raames valitud televäljamist. Asukoha valikul oli prioriteediks sadama ja raudteetranspordi lähedus, antud alal on need mõlemad aksepteeritava kaugusega.



Joonis 1. Uuringuala asukoht.

ALA GEOLOOGILINE JA HÜDROGEOLOOGILINE KIRJELDUS

Geoloogiline kirjeldus

Kvaternaari setete paksus uuringualal varieerub 0,5 meetrist kuni 3 meetrini. Kõige madalam kvaternaari setete paksus on puuraugu F7 juures ja kõige suurem kvaternaari setete paksus puuraugu 2467 juures.

Ordoviitsiumi ladestu uuringualal on enamasti esindatud karbonaatkivimitega. Ladestu paksus ulatub 10 meetrist kuni 33 meetrini. Valdavaks kivimiks Ordoviitsiumi ladestus on lubjakivi. Graptoliitargilliidi kihindi paksus uuritud alas jääb 0,5-2 meetri vahele, kusjuures kõige paksem on graptoliitargilliidi paksus puuraukude F7 ja 2467 juures.

Kallavere kihistu (Ca3–O1kl) paksus on 3–5 m, see koosneb nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud peenteralisest kvartslüüvakivist. Kallavere kihistu on tuntud ka **ooboluslüüvakivi** või **fosforiidilasundi** nime all. Kihistu alumisel piiril on sageli ooboluskonglomeraat, st rohkesti terveid kojapoolmeid sisaldav ooboluslüüvakivi (2).

Türisalu kihistu (O1tr) paksus on 1–1,5 m, seal on esindatud pruuni kerogeense graptoliitargilliidina. Kihistu paksus suureneb lõunast põhja suunas. Graptoliitargilliit uuringualal, seda eriti Sillamäe ümbruses, paistab silma oma kõrge (kuni 800 g/t) uraani sisalduse poolest (2).

Leetse kihistu (O1lt), mis kuulub Hunnebergi lademesse, paksus alal on 0,4–0,9 m. Kihistu koosneb hallikasrohelistest peenteralisest aleuriidikast nõrgalt tsementeerunud glaukoniitlüüvakivist. Lisaks glaukoniidile, mida glaukoniitlüüvakivis on enamasti üle 60%, on selles veel kvartsi (10–20%), vilke (10–20%) ja lubi- või dolomiitset tsementi. Kihistus on eristatavad 2 kihistikku (alt üles): Iru ja Mäeküla. Valdav osa kihistust (kuni 80%) kuulub alumisse, glaukoniitlüüvakivist koosnevasse Iru kihistikku. Kihistu ülaosas on õhuke (0,2–0,3 m) Mäeküla kihistik, mis on esindatud glaukoniitse lubilüüvakiviga kuni liivalubjakiviga, erineb esimesest eelkõige

karbonaatse tsemendi ja sellest tuleneva suurema kõvaduse poolest. Piir kihistike vahel on üleminekuline (2).

Ühe uraanikaevanduse käigu läbilõige on joonisel 2, seal on käigu geoloogiline läbilõige hästi näha. Puuraugu F7 geoloogiline läbilõige on kirjeldatud joonisel 4.



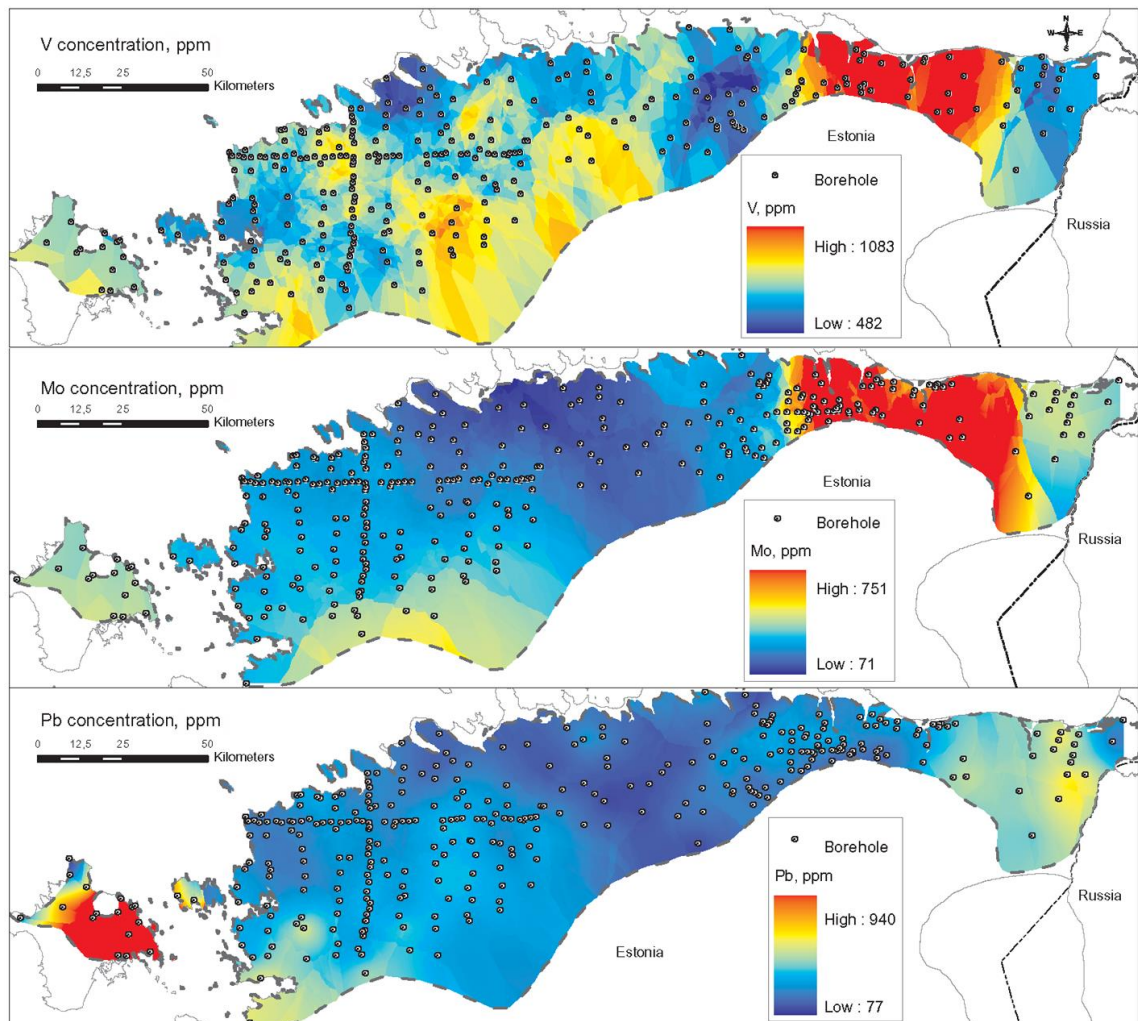
Joonis 2. Pimestiku uraanistoll. Oleg Tsernetsov 11.12.2014

Graptoliitargilliit

Graptoliitargilliit on peeneteraline savikivim, mis sisaldab orgaanilist ainet 15-20%. Graptoliitargilliit moodustus Balti paleobasseinis Vara-Ordoviitsiumis ligi 480 miljonit aastat tagasi (3). Graptoliitargilliidi lasund levib Eesti põhja- ja loodeosas Hiiumaalt Narvani. Graptoliitargilliidi üle 3 meetrised paksused levivad Haapsalu-Tallinna vahelisel alal. Maksimumpaksused võivad küündida loode Eestis kuni 6-7 meetrini ning kahanevad ida ja lõuna suunas (4). Geoloogilises läbilõikes asub lasund

fosforiidilasundi peal ning seda katab rohekasvärviline glaukoniidirikas lasund. Võrreldes kukersiidiga on graptoliitargilliidi kütteväärtus väike (1500-1600 kcal/kg), mis tuleneb vähese orgaanilise aine sisalduse tõttu, kuid kivimis on mitmeid kõrge kontsentratsiooniga jälgelemente nagu molübdeen, vanaadium, uraan jt. Veel sisaldab graptoliitargilliit keskmiselt 2,4-6,0% püriiti, mis põhjustab põlemisel atmosfäärisaastet (4). Eestis uuriti graptoliitargilliiti eelmise sajandi keskpaigas just tänu fosforiidi uuringutele ja laialdasele geoloogilise aluspõhja kaardistamisele. Hilisemad uuringud on andnud parema ülevaate jälgeelementide varieeruvuse üle (5). Graptoliitargilliidi kivimi omadusi pole palju analüüsitud, on uuritud survetugevust, mis varieerub väga palju ja on 8.6 – 23 MPa, tõmbetugevus jääb 1.2 – 1.4 MPa vahele, samuti on teada, et mahumass on 1.9-2.1 kg/m³. Teada on, et graptoliitargilliit on suhteliselt abrasiivne, aga tehnilisi katseid selle kohta tehtud pole. Abrasiivsus paneb määravaks kaevandamismeetodi, kui kivim on väga abrasiivne, siis ei ole otstarbekas näritsaga kivimit raimata, sest lõiketerad kuluvad kiiresti läbi.

Perspektiivikaks on graptoliitargilliiti loetud just erinevate haruldaste ja hajutatud elementide kõrge sisalduse pärast. Märkimist väärivad uraan, molübdeen, vanaadium, plii, tsink ja reenum, mille sisaldus kivimis ületab kümneid kordi nende maakooses esineva keskmise hulga. Elementide sisaldus ei ole võrreldav erinevate maakidega, milles nende elementide sisaldus on kordades suurem. Rikastamise võimaliku tehnoloogia väljatöötamisel oleks graptoliitargilliidi kaevandamine väga tasuv. Joonisel 3 on näha vanaadiumi, molübdeeni ja plii sisaldused Eestis. Vanaadiumi ja molübdeeni sisaldused on kõrged Ida-Virumaal ja plii sisaldus on kõrgeim Hiiumaal.

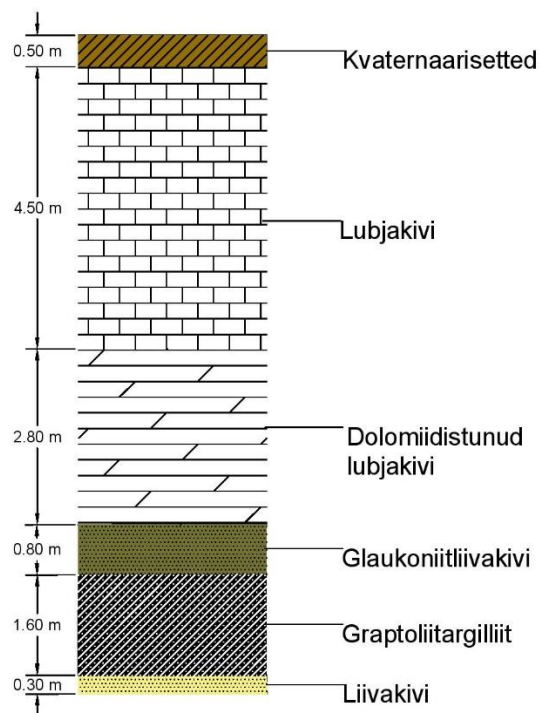


Joonis 3. V, Mo ja Pb kontsentratsioonid Eesti graptoliitargilliidis (5).

Eestis on kaevandatud graptoliitargilliiti Sillamäel uraanitootmise eesmärgil aastatel 1949-1952. Kaevandus oli 24 ha suurusel maa-alal ning kaevandatava kihi paksus oli ligikaudu 1 m, mis lasus 10 m sügavusel (6). Uraanistollide asukoht on näidatud joonisel 1. Kaevandusest saadi kätte ligi 250 000 t maaki, millest toodeti üle 60 t uraaniühendeid. Kaevandamist teostas Nõukogude Liit, kellel oli soov kasutada uraani tuumapommide valmistamiseks. Kaevandamisest loobuti tehniliste raskuste ja maagi vähese uraanisisalduse tõttu (6).

Sillamäe piirkonnas on graptoliitargilliidi uraani, vanaadiumi ja molübdeeni sisaldus üsna kõrge. Vanaadiumi sisalduseks on ligikaudu 1000 ppm, molübdeeni

sisalduseks ligikaudu 750 ppm ning uraani sisalduseks ligikaudu 800 ppm. Kiht pole ka väga sügaval, jääb 10-20 meetri sügavusele, sügavamaks läheb kivimi lasund lõuna suunas. Valitud kaevandamise avamiskohas on graptoliitargilliit 8.6 meetri sügavusel, sellest ka üks avamiskoha valiku põhjus, et katendit tootsa kivimikihindi peal on minimaalselt. Samuti on valitud alal graptoliitargilliit keskmise paksusega, puurauk F7 andmete põhjal 1.6 meetrit.



Joonis 4. Puurauku F7 geoloogiline läbilõige.

Hüdrogeoloogiline kirjeldus

Kvaternaari veekompleks

Kvaternaari veekompleksi suure puudus on selle väike reostustaluvus. Põhiliselt on pinnakatte setted sügavamasse Ordoviitsiumi veekompleksi filtreerivate sademete regulaatoriks (2). Uuringualal pole suuremaid jõgesid ega järvesid. Ainukesed suuremad kvaternaari veekompleksi kuuluvad ojad on Puskari oja ja Ukuoru oja, muidugi on alal ka mõningal määral kuivenduskraave.

Ordoviitsiumi veekompleks

Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogum katab kogu ala, põhjavesi levib ordoviitsiumi ladestu lubjakivis ja dolomiidis. Põhjaveekiht toitub peamiselt sademeveest ja võib kergesti reostuda, eriti alal kus pinnakate on õhuke. Veepideme moodustab Türisalu kihistu graptoliitargilliit ja Toila kihistu glaukoniitlubjakivid koos lamamiks oleva glaukoniitliivakiviga. Veekompleksi erideebit on ligikaudu 10 l/s*m (2).

Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleks

Veekompleks levib enamikul alast, olles maapinnalt esimeseks aluspõhjaliseks veekompleksiks. Kallavere ja Tiskre kihistu peeneteralisest liivakivist ja jämedateralisest aleuroliidist koosneva kompleksi paksus on 10-20 m. Veekompleks toitub peamiselt läbi Ordoviitsiumi veepideme. Veekompleks on survealine, muutudes survetuks vaid avamusalal. Veekompleksi erideebit on ligikaudu 2 l/s*m (2).

MÄENDUSTINGIMUSED

Mäendustingimused on olulised, sest neist sõltub kaevandamise tehnoloogia valik ja tõhusus, kaevurite töötingimused ja ohutus ning kaevandamise mõju keskkonnale. Kõigil neil on tugev majandustoime, mistõttu kaevandatava ala mäendustingimuste selgitamine on maavara uuringu üks peamisi osi (7).

Uuritava ala tootsa kihindi paksus on ligikaudu 1.5 meetrit, keskmine lasumissügavus on 10 meetrit. Maavara kvaliteet on hea, uuringute alusel leidub alal graptoliitargilliidis võrreldes ülejäänud Eestiga keskmisest rohkem molübdeeni, uraani ja vanaadiumi. Alal ei ole teadaolevaid geoloogilisi rikkeid, karsti ja lõhelisust. Kihi kallakus uuritava alal ei ole takistavaks teleraimamismasinaks kasutamiseks, sest tänapäeva televäljamismasinad suudavad raimata kivimilasundid millel on kuni 8 kraadine kalle. Takistavaks faktoriks graptoliitargilliidi näritsaga raimamisel on kivimi abrasiivsus, mida pole kahjuks veel uuritud ning seda tuleb teha enne masinate soetamist. Samuti ei ole teada, milline on vee-erituvus kaevandamisalal, täpsemad hüdrogeoloogilised uuringud on vajalikud enne projekti võimalikku evitamist.

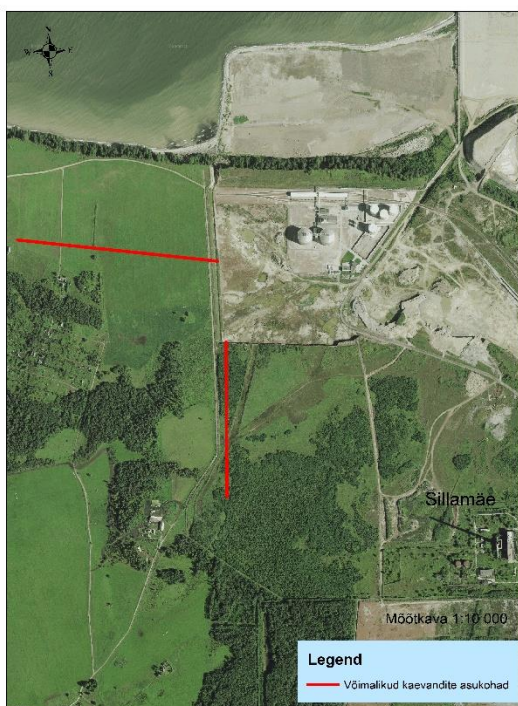
Kaevurite jaoks on televäljamismeetodi kasutamine suhteliselt ohutu, maa all töötajad ei viibi, mistõttu gaasi, maa soojuse, lae varisemise ja tolmu ohud langevad välja. Ainsateks riskifaktoriteks on võimalikud tööõnnetused, mis on eelkõige seotud puur- ja lõhketöödega kaeviku rajamisel.

KAEVANDUSVÄLJA ASUKOHA VALIK

Kaevandusvälja asukoha valikul oli mitmeid kriteeriume, nendeks olid:

- geograafiliselt soodne asukoht kaevise veoks potentsiaalsete tarbijate või transportijateni.
- piisav vaba maa-ala kaeviku rajamise jaoks
- soodne teleraimamise suund mõlemast kaeviku küljest 300 meetri ulatusest
- võimalikult väike kattekivimite paksus
- graptoliitargilliidi kõrge metallisisaldus.

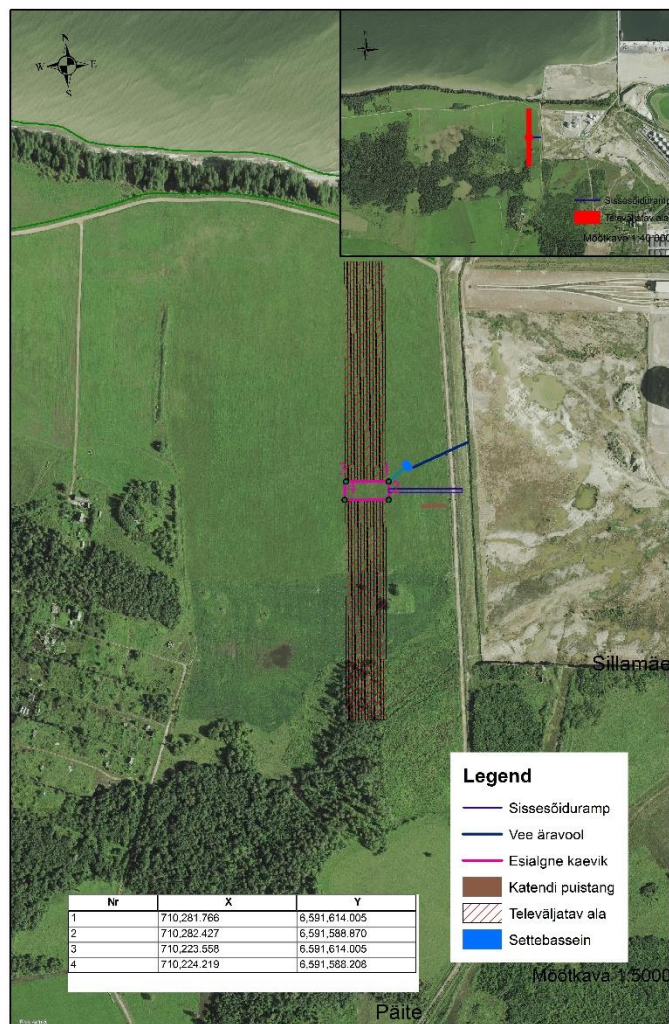
Vajaliku kaeviku avamiskoha valikuks oli kaks soodsat varianti, mõlemad jäid Sillamäe linna kõrvale ja on näidatud joonisel 5. Asukoha valiku põhjuseks oli asjaolu, et sellel on vaba ala, kust saab kaeviku sisse teha, samuti on mõlemas asukohas 600 meetrit ruumi teleraimamise jaoks. Otstarbekamaks osutus põhjapoolne kaeviku asukoha variant, sest seal on lühim veotee Sillamäe sadamasse. Samuti jääb see asukoht kaugemale Sillamäe linnast, mis vähendab kaeviku rajamisel tekkivat lõhketööde häirivat mõju inimestele. Kaeviku lähedusse jäävad kütusemahutid ja elumajad, mis piiravad lõhketööde mahtu, kuid ei takista seda. Ohutu lõhkeaine kogus üheks puur-lõhketööde tsükliks on välja arvatud projekti lõhketööde osas.



Joonis 5. Võimalikud kaevandite asukohad.

Esialgu on vaja graptoliitargilliiti vaid tehniliseks proovimiseks. Argilliidi kogus ei pea olema väga suur, piisab 3-4 tonnist, sellest piisab tehnilisteks proovideks. Käesolevas töös leiti, et rajatav kaevik peab olema vähemalt 25 meetrit lai ja 60 meetrit pikk, kaeviku laiuse määras televäljamismasina pikkus, milleks on 20 meetrit. Samuti tuleb kaevikusse rajada sissesõiduramp, mis on planeeritud 5 meetrise laiusega ja 100 meetrise pikkusega. Sellise rambi pikkusega tagatakse 10% kalle mis vastab peaveotee kriteeriumitele. Arvestades, et graptoliitargilliidi kihi paksus alal on ligikaudu 1,5 meetrit, saame väljatavaks mahuks 4275 tonni. Joonisel 6 on näha kaeveala plaan koos planeeritava settebasseini ja ladustatava kvaternaarisetete puistanguga. Viirutatul alal on näha televäljamise ala, mille pikkuseks mõlemast küljest on 300 meetrit. Teleraimamiseks on valitud Caterpillari HW300, mille spetsifikatsioonid ja valikupõhjendused on kirjeldatud masinapargi valiku osas. Viirutatud teleraimatava ala graptoliitargilliidi varu on ligikaudu 103 tuhat tonni. Eeldatav kadu HW300

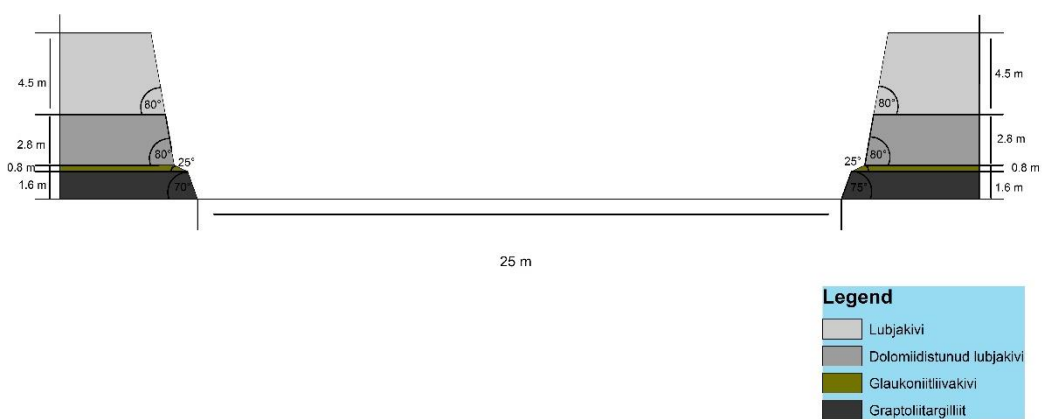
teleraimamismasinaga kaevandamisel on antud alal ligikaudu 18%, mis tähendab, et langilt väljatakse graptoliitargilliiti ligikaudu 84 tuhat tonni. Kuna antud piirkonnas on võimalik kaevikut pikendada, ilma, et peaks uut kaevikut rajama, saab vajaliku kaeviku pikkuse arvutada ka Cat HW300 masina tootlikkuse järgi. Majandusarvutuste osas ongi aluseks võetud teleraimamismasina maksimaalne tootlikkus ning selle järgi on määratud ka vajalik kaeviku pikkus.



Joonis 6. Kaeveala plaan.

Kaevikut rajades tuleb arvestada nõlvade stabiilsusega, mis on eri kivimite puhul erinev. Kaeviku nõlvad tuleb jätta sellise nurgaga, et ei tekiks varinguohtu. Antud töös

valiti erinevate kivimite vajalikud kaldenurgad Maardu fosforiidikarjääri põhjaosa sulgemise projektist (8). Analoogselt sellele projektile võeti lubjakivi ja dolomiidistunud lubjakivi kaldenurgaks 80 kraadi, glaukoniitliivakivi kaldenurgaks 25 kraadi ja graptoliitargilliidi kaldenurgaks 70 kraadi. Nende väärtuste korral on tagatud kaeviku nõlvade stabiilsus. Joonisel 7 on näha kaeviku seinte kaldenurgad ja erinevate kivimikihtide paksused.



Joonis 7. Kaevik.

TELEVÄLJAMINE

Televäljamise kogemused

Televäljamine on kaevandamise meetod mida algselt kasutati kivisöe kaevandamiseks karjääridest mis olid ammendunud. Televäljamise idee sai alguse oherdamisest. Oherdamist ehk kaevise väljapuurimist hakati Ameerika Ühendriikides Apalatšides kasutama 1940ndatel kui karjääri eluea lõppemisel keerasid avakaevandajad vertikaalsed lõhkeaukude puurmasinad horisontaalseks, et saada kätte viimne kivisüsi. Järgmiseks tehtigi esimene oherdi, mis oli ühe puuriga mille diameeter oli 1.5 meetrit ja 30 meetrit pikk ning väljas 726 tonni sütt päevas neljamehelise meeskonnaga (9). Sellest tagasihoidlikust algusest on tänapäevased oherdid ja televäljamismasinad arenenud kõrge tootlikkuse, intelligentsuse ja kõrgtehnoloogilise avakaevandamise osaks, vajades vaid 3-4 töötajat ühte vahetusse (10). Oherdist hakati televäljamismasinat välja töötama mitmete asjaolude pärast. Oherdi maksimaalne puurimissügavus jäi 130 meetri juurde, mis oli liiga väike. Limiteeritud puurimispaksuse pärast, oli pakseneva kivisöe kihi puhul kaevandamise kadu liiga suur. Oherdiga ei olnud võimalik nurga all raimata, mistõttu kaldkihid olid kättesaamatud, samuti oli oherdi väikese tootlikkusega (11).

Hetkel on turul kaks suuremat teleraimamismasina tootjat, nendeks on Caterpillar oma televäljamismasinaga HW300, selle firma masinaid on maailmas töös 80 tükki. Teiseks on ADDCAR oma erinevat tüüpi masinaga kahe masinaga, milledest üks on lühem (12,2 meetrit) ja teine pikem (24,4 meetrit), 2003. aastal oli töös 30 masinat, mille arv praeguseks on kindlasti tõusnud (12). Kahe firma masinate peamine erinevus on see, et ADDCAR televäljamismasin laiale alale suudab raimata kuni 480 meetri sügavusele samal ajal kui Caterpillari HW300 suudab väljata 300 meetrit (13) (14).

Televäljamise eelised

Televäljamisel on mitmeid eeliseid võrreldes allmaakaevandamisega ja tavalise pealmaakaevandamisega. Kuna televäljamine on paindlik ja mobiilne, on palju kergem väljata väiksemaid kivimiblokke. See võimaldab näiteks täiendavat söe kaevandamist suletud karjääri seintest või raskesti kaevandatavates kohtades nagu jõgede kallastest, teeninduskoridoridest ja isegi aherainepuistangute alt (15) (16) (17). Järgmiseks eeliseks on madalad halduskulud, sest ühte vahetusse on vaja ainult kolm kuni seitse töötajat ning lage pole vaja toetada (18) (19). Kulud on palju väiksemad kui allmaakaevandamisel ning keskmine tootlikkus on 1 miljonit tonni aastas (15). Viimaseks ja kõige suuremaks eeliseks on see, et televäljamine on ohutu, töötajad on eemal kaeveõõntest ega ole kaitsmata erinevatele riskantsetele faktoritele nagu lae vajumine, kaeveõõne süttimine ja kivimitolmule (18).

Televäljamine maailmapraktika

Televäljamist kasutatakse mitmel pool maailmas kivisöe kaevandamisel. Esimesena alustati televäljamisega Ameerika Ühendriikides, sellepärast on seal ka kõige rohkem objekte kus antud varianti kasutatakse. 2013 aasta seisuga oli Caterpillari toodetud televäljamismasinaid USAs 72, Colombias 1, Venemaal 4, Indias 2 ja Indoneesias 1 (20). ADDCAR televäljamismasinaid kasutatakse Austraalias, USAs, Lõuna-Aafrikas ja Indias. Austraalias on alates 1991 aastast televäljamist kasutatud kivisöe raimamiseks 40 karjääris ja 17 kaevanduses (21) (14).

2001 aastaks oli televäljamisel Austraalias esinenud mitmeid tõrkeid ja seetõttu antud meetodi kasutamine ka vähenes. 2001 aastaks oli toimunud 7 suuremat tervikute purunemist ja 3 suuremat lae varisemist erinevatel aegadel nii kaevandamise ajal kui ka pärast kaevandamist. Õnnetused põhjustasid nii ajalisi kui materiaalseid kahju (22).

Tuues näiteks ühe firma esimesed muljed teleraimamismasinast Cat HW300 on tehnika paljulubav. Firma Omega Highwall Mining asus HW300 masinat kasutama Townhill kaevealal 10. oktoober 2011. Antud objektile suutsid nad esimesel kuul toota

neljamehelise meeskonnaga, 12-tunnise tööpäevaga, 57 tuhat tonni kivilüüdi ja usuvad, et on võimalik kaevandada isegi 70 tuhat tonni lüüdi kuus. Omega suudab toota $\frac{3}{4}$ rohkem kivilüüdi teleraimamisega võrreldes allmaakaevandamisega. Omega võrdles tootmiskulu oma allmaakaevanduses ja televäljamisel ja sai tulemuseks, et televäljamise puhul langesid kulud 75%, aga samas toodang suurenes neli korda (23). Joonisel 8 on lisatud televäljamisega raimatud ala ning joonisel 9 näide karjäärist, kus kivilüüdi televäljatakse.



Joonis 8. Cat HW300 televäljamismasinaga raimatud ala. Allikas:
<https://www.youtube.com/watch?v=16nlWxzRQ8o&t=173s>



Joonis 9. Cat HW300-ga kiviõe raimamine. Allikas:
<https://www.youtube.com/watch?v=l6nlWxzRQ8o&t=173s>

KAEVANDAMIS- JA ETTEVALMISTUSTÖÖDE PARAMETRID

Kaevik

Kaevik on vaja rajada graptoliitargilliidi esmaste tehniliste proovide saamiseks, kaeviku minimaalseks vajalikuks laiuks tuleb 25 meetrit ja pikkuseks 60 meetrit. Esialgu on vajalik eemaldada kvaternaarisetete kiht kas buldooseri või ekskavaatoriga, et pääseda ligi lubjakivi kihile. Kvaternaarisetete kihi paksuseks antud alal on 0,5 meetrit. Nagu eelpool toodud geoloogilises läbilõikes näha, on alal lubjakivi paksus ligikaudu 7.3 meetrit. See lubjakivikiht tuleb eemaldada puur- ja lõhketöödega ning sissesõiduramp kaevikusse rajatakse sama meetodiga. Järgmiseks kihiks on glaukoniitliivakivi, mis laetakse ekskavaatoriga autole. Graptoliitargilliidi kiht raimatakse kaeviku rajamisel ripperiga, sest graptoliitargilliit on kihiline ja mitte väga kõva kivim, mistõttu puur-lõhketööde kasutamine on ebaotstarbekas. Ripperiga raimati graptoliitargilliiti ka Kumu Kunstimuuseumi ehitades.

Kaeviku puur- ja lõhketööd

Kaeviku rajamisel on lõhketööde mahu takistavaks näitajaks Sillamäe linn ja Sillamäe sadama piirkond, esmajärjekorras kõige lähedamal asuvad kütusemahutid, mis on ligikaudu 350 meetri kaugusel. Antud projektis määravad ohutu lõhkelaengu suuruse kütusemahutid. Tabelis 1 on kirjas algandmed mille põhjal on puur- ja lõhketööde arvutused teostatud.

Tabel 1. puur- ja lõhketööde algandmed.

		Ühik
Lõhkeaine arvutuslik erikulu	0.55	kg/m ³
Astangu kõrgus	7.3	m
Ploki laius	25	m
Ploki pikkus	60	m
Erikulu parandustegur	1.23	
Laengutihedus	1.2	kg/dm ³
Lööklaengutihedus	1.1	kg/dm ³
Lõhkeaugu läbimõõt	76	mm
Laengu jooksev mass Q1	5	kg/m
Laengu paigutustegur	1.1	

Arvutuste tulemusena saadi lõhatava ploki mahuks 11881 m³ ja lõhkeaine kuluks 7340 kg, sellest järeldades on lõhkeaine erikulu 0.62 kg/m³ kohta. Puurtööde mahuks saadi terve ploki lõhkamisel 1707 meetrit ja puurtööde erimaht tuli 0.14 m/m³ kohta. Olulised on just erikulu tulemused, nende järgi saab tulevikus arvutada lõhkeaine kulu ja puurtööde mahu, kui tekib vajadus kaevikut pikendada.

Kui juurde arvestada sissesõidurambi rajamiseks vajalikud puur-lõhketööd, siis suureneb lõhatava massiivi maht 2450 m³ võrra, lõhkeaine kulu suureneb 1500 kg võrra ja puurtööde maht suureneb 350 meetri võrra. Järelikult kogu kaeviku mahuks kaasaarvatud sissesõidurambiga on 14331 m³ ning avamise lõhkeaine kuluks on ligikaudu 8840 kg.

Võttes arvesse, et lähimaks ehitiseks lõhketööde alale on kütusemahutid ja elumajad, mis asuvad 350 meetri kaugusel, arvutati ohutu laengu suurus ehitise vibratsioonitaluvuse järgi. Arvutuse tulemuseks saadi, et ohutu laengu suurus on ligikaudu 2000 kg. See tähendab, et korraga saab lõhata 3220 m³ lubjakivi, mis tähendab, et terve ploki lõhkamiseks ilma sissesõidurambita on vaja teha 4 lõhkamist. Kuna viimane lõhkamine jääb niikuinii väiksemaks kui eelnevad kolm, siis tuleb kogu lõhatava ploki lõhkeaine kogus jagada neljaga, et saada teada lõhkeaine kogus, et kõik lõhkamised oleksid samaväärsed. Tulemuseks saadi et korraga lõhatava lõhkeaine

kogus on 1652 kg ning lõhatava ploki maht on 2660 m³. Kõik puur- ja lõhketööde arvutuskäigud ja valemid on lisas 1 ning tulemused on esitatud tabelis 2.

Tabel 2. Puur- ja lõhketööde arvutuste tulemused ilma sissesõidurambita.

Üksiku laengu vähim vastupanujoon	2.48 m
Lõhkeaukude laengusamm	2.72 m
Ridade vaheline kaugus lühiviitlõhkamisel	2.35 m
Laengu suurus ehk laengumass	33.33 kg
Kogu laengu pikkus	6.67 m
Ülepuure pikkus	0.46 m
Lõhkeaugu sügavus	7.76 m
Topise pikkus	1.09 m
Topise kulu	9.58 m ³
Arvutuslik viitekestus	12.39 ms
Viitesamm	15 ms
Laenguridade arv	11
Lõhatava ploki tegelik laius	27.12 m
Laengute arv reas	22
Lõhatava ploki tegelik pikkus	60 m
Laengute arv ploki lõhkamisel	220
Lõhkeaine kulu	7340.02 kg
Lõhatava ploki maht	11880.75 m ³
Lõhkeaine erikulu	0.62 kg/m ³
Puurtööde maht	1707.82 m
Puurtööde erimaht	0.14 m/m ³
Ohutu laeng chitise vibratsioonitaluvuse järgi	2013.50 kg

Tervikute arvutus

Tervikute arvutus, on vajalik stabiilsete stollidevaheliste tervikute mõõtmete määramiseks, seejuures on prioriteediks maapinna stabiilsuse tagamine.

Arvutused teostati lintterviku valemiga:

$$b = \frac{A}{\frac{\sigma_s}{n\gamma_k H} - \frac{\gamma_{terv} h_{terv}}{\gamma_k H} - 1} \quad (24)$$

kus:

- A – kambri laius (m)
- σ_s – terviku (nõrgima kihi) survetugevus (Pa)
- n – varutegur
- γ_k – laekivimite keskmine erikaal (kg/m^3)
- H – kõrgus maapinnani kambri laest (m)
- γ_{terv} – terviku keskmine mahukaal (kg/m^3)
- h_{terv} – terviku kõrgus (m).

Võttes varuteguriks 2,5 saadi vajalikuks terviku laiuseks 0,47 meetrit. Arvestades, et teleraimates tekib mingil määral vibratsiooni ning on võimalikud ka masina väikese ulatusega kõrvalekalded väljatava stollitelt, otsustati, et poole meetrine tervik on liiga väike ning seepärast valiti antud projekti raames terviku laiuseks 0,8 meetrit. Sellise terviku laiusega püsib maapind vajumiteta stabiilselt, kuigi maavara kadu suureneb.

SEADMETE VALIK JA TEHNOLOOGILINE SKEEM

Caterpillar HW300

Cat HW300 on televäljamise masin, mis on välja töötatud Caterpillari poolt, aga esialgselt Superior Highwall Mining firma poolt, mille Caterpillar ära ostis. HW300 on mõeldud kaevandamiseks kohtadest kuhu inimene ligi ei pääse või ei ole mõtet maa-aluseks kaevandamiseks. Tavaliselt on asukohaks ammenduvate karjääride piirialad, kust saab veel tänu sellele masinale 300 meetrit kivisütt kaevandada. Masina valiku üheks kriteeriumiks on tootsa kihindi paksus. Kui väljatava kihi paksus on väike ja maa-alune töötamine inimestele ei ole mõeldav, pakub Caterpillar alternatiivi, kus inimesi ei peagi maa all olema, et materjali kätte saada. HW300 töös hoidmiseks on vaja vaid 3-4 meest, tavaliselt on päevastes vahetustes 3 meest ja öises vahetuses 4 meest. Arvestades, et masina tootlikkus on kivistõõ kavandamise puhul 250 tonni tunnis võib see variant osutada otstarbekaks ka graptoliitargilliidi kaevandamisel (19). Üks töötaja juhib masinat kontrollkeskuses, üks kinnitab vahelülisid ja üks transpordib ladustatud vahelülid masina juurde ning üks on kohapeal viibiv tehnik. Masin on optimaalse konstruktsiooniga, selles on kombineeritud nii puurväljamise kui lühiee kombainväljamise meetodid. Pikendamiseks mõeldud konveieri vahelülide sees on kaks tigu, mis transpordivad materjali maa alt välja ning töötavad ka näritsa tõukurina. Raimamiseks kasutatakse lühiee kombainile sarnaseid näritsaid, mis raimavad tootsat kihindit. Samuti on masin varustatud nelja ankruga mis puuritakse 2,4 meetri sügavusele, et masin seisaks stabiilselt paigal. Tabelis 3 on esitatud masina tööparameetrid, need olid peamiseks kriteeriumiks kaeviku mõõtmete valmisel. Masina laius on 11.7 m, kõrgus 8.7 m, pikkus 20.3 m, mass 225 tonni ja maksimaalne käigu pikkus on 305 meetrit (25).

Tabel 3. Cat HW300 parameetrid (25).

Laius (m)	Kõrgus (m)	Pikkus (m)	Mass (t)	Maksimaalne raimamissügavus (m)
11.7	8.7	20.3	225	305

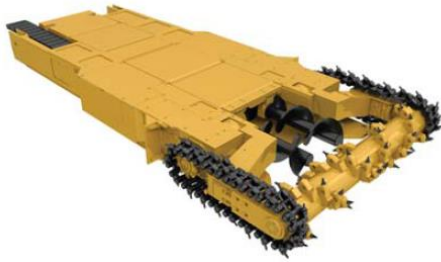


Joonis 10. HW300 televäljamismasin (25).

Joonisel 10 on esitatud Cat HW300 masina tööorganid ja tööõhimõtte. Joonisel on: kontrollkeskus (*control cabin*), tõukurkonveier (*push beam*) ja närits (*cutter module*). Kontrollkeskusest kontrollitakse raimamissügavust ja kindlas kihis püsimist erinevate anduritega. Tõukurkonveierid on raimamissügavuse pikendamise jaoks mõeldud tööorganid mis lükkavad ka näritsat edasi vastu ett ning toimivad ka konveierina. Tõukurkonveierid on kuumeetrised ja täielikult kinnises süsteemis, et vältida kaaskivimite sattumist laest kaevise hulka (26).

Tabel 4. Väga madala paksusega kihi näritsa spetsifikatsioonid (25).

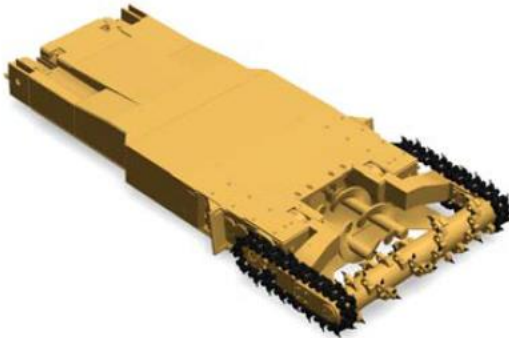
Mass	23.1 tonni
Lõiketrumli läbimõõt	648 mm
Lõikelaius	2946 mm
Lõikekõrgus ülespoole	1549 mm
Lõikekõrgus allapoole	191 mm
Minimaalne väljatav kihipaksus	711 mm



Joonis 11. Väga madala paksusega kihi närits (25).

Tabel 5. Madala paksusega kihi näritsa spetsifikatsioonid (25).

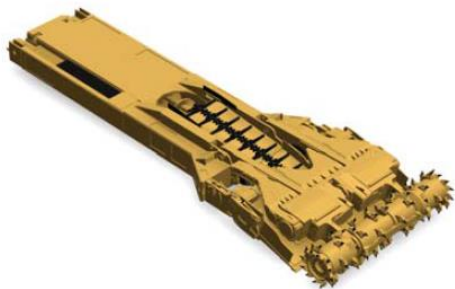
Mass	23.1 tonni
Lõiketrumli läbimõõt	648 mm
Lõikelaius	2946 mm
Lõikekõrgus ülespoole	1575 mm
Lõikekõrgus allapoole	203 mm
Mínimaalne väljatav kihipaksus	762 mm



Joonis 12. Madala paksusega kihi närits (25).

Tabel 6. Keskmise paksusega kihi näritsa spetsifikatsioonid (25).

Mass	42.8 tonni
Lõiketrumli läbimõõt	965 mm
Lõikelaius	3505 mm
Lõikekõrgus ülespoole	3060 mm
Lõikekõrgus allapoole	230 mm
Mínimaalne väljatav kihipaksus	1200 mm



Joonis 13. Keskmise paksusega kihi nährts (25).

Tabel 7. Kõrge paksusega kihi nährtsa spetsifikatsioonid (25).

Mass	48.5 tonni
Lõiketrumli läbimõõt	965 mm
Lõikelaius	3505 mm
Lõikekõrgus ülespoole	4494 mm
Lõikekõrgus allapoole	243 mm
Mínimaalne väljatav kihipaksus	2400 mm



Joonis 14. Kõrge paksusega kihi nährts (25).

Nährtsate variante teleraimamismasinale Cat HW300 on 4, kõik nad on erineva kihi paksuse jaoks välja töötatud, joonistel 11-14 on näha valikus olevad nährtsad ning nende spetsifikatsioonid on tabelites 4-7. On valikus nii väga õhukesele kihile alates 711 millimeetrile kui ka paksule kihile kuni 4737 millimeetrile. Valimise peamiseks näitajaks on tootsa kihindi paksus. Antud nährtsad on konstrueeritud sõe kaevandamiseks, arvestades, et graptoliitargilliit on abrasiivsem võib tulla ette, et nährtsat tuleb vastavalt vajadusele modifitseerida, millist võimalust Caterpillar ka pakub.

Arvestades, et graptoliitargiliidi kihindi paksus kaevandataval alal on 1,6 meetrit ning glaukoniitliivakivi paksus on 0,8 meetrit, mis tuleb samuti väljata, et see vahelülidele peale ei langeks. Raimatava kivimikihi paksuse põhjal tuleb valida keskmise paksusega kihi jaoks mõeldud närits. Antud lõikuri spetsifikatsioonid on tabelis 6 ja pilt on joonisel 12.

Tabelis on näha, et antud näritsa jaoks minimaalne soovitatav tootsa kihindi paksus on 1.2 meetrit. Antud alal on see aga 2,3 meetrit, arvestades, et väljatakse ka glaukoniitliivakivi. Maksimaalne lõikepaksus on aga 3,3 meetrit, mis on piisav kaevandatavale kihindile.

Veo ja laadimisseadmed

Vahelülide laadimiseks Cat HW300 masinale on vajalik suhteliselt väike laadur, milleks võiks olla Cat 926M. Tegemist on sama firma masinaga, mis kombainil – hooldus ja logistika on soodsam. Väikese laaduri valiku põhjuseks on asjaolu, et ei vaja suurt jõudlust. Samuti pole laadur terve aja töös vaid seisab vahepeal kuni uut tõukurkonveieri osa vaja laadida on.

Kaevise veoks ja peale laadimiseks on otstarbekas osta teenus sisse. Piisaks ühest 3-4 m³ kopasuurusega rataslaadurist näiteks Cat 950 GC ja kahest 24 tonnise kandevõimega kallurist, milleks võiks olla näiteks Volvo A25G. Kuna 3 m³ kopasuurusega rataslaaduri laadimise jõudlus tunnis on kuni 300 tonni, siis sellest piisaks, sest kaevist raimatakse ligikaudu 200-250 tonni tunnis (27). Transpordikaugus ei ole suur ning seepärast piisaks kahest 24 tonnise kandevõimega kallurist. Transpordikaugus jääb esialgu alla kilomeetri, hiljem kui kaevik pikeneb ja transpordikaugus suureneb saab laadurite arvu suurendada. Algselt oleks lubjakivi tõenäoliseks kasutajaks Sillamäe sadam, mida viimastel aastatel pidevalt laiendatakse. Glaukoniit tuleb ladustada puistangusse, et seda tulevikus kasutada kaeviku täitematerjalina või muul otstarbel. Alalt tuleb piisavalt palju glaukoniiti, et saaks

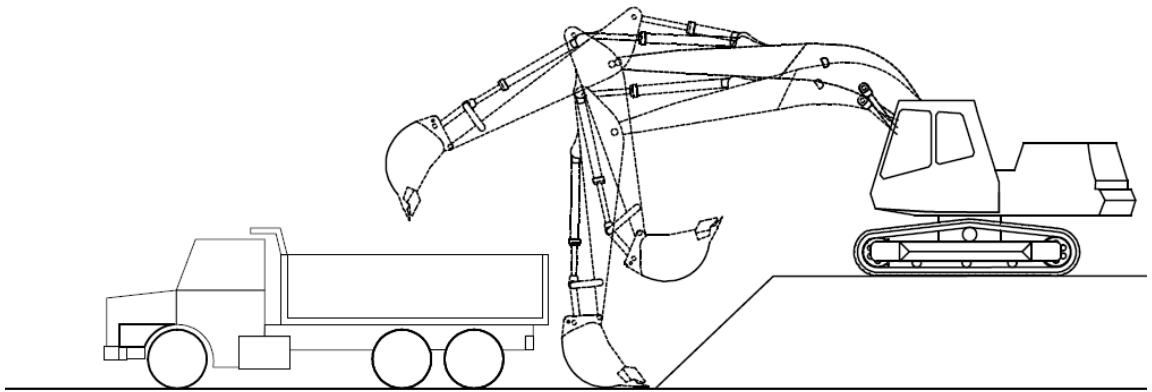
tagasi täita terve kaeviku. Graptoliitargilliidi vedu toimub kas Sillamäe sadamasse, et see laevale laadida ja välismaale tehnilisteks proovideks või rikastamiseks saata. Samuti võib lähedalasuv metallurgiaettevõtte NPM Silmet AS olla huvitatud graptoliitargilliidi rikastamise proovimisest.

Mobiilne sõelur

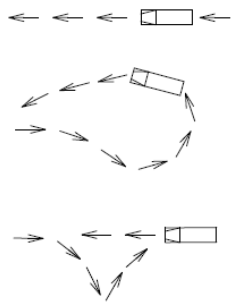
Mobiilset sõelurit on vaja, sest argilliit raimatakse koos glaukoniitliivakiviga ja sõeluriga saaks kaks materjali eraldada. Sobiks näiteks Sandvik QA331 millega toimub küll kolmeks eri materjaliks sõelumine, aga kindlast on võimalik tellida variant, millega saab sõeluda materjali kaheks erinevaks fraktsiooniks, et eraldada glaukoniitliivakivi ja graptoliitargilliit. Antud sõeluri sõelumisjõudlus on kuni 300 tonni materjali tunnis, mis on aksepteeritav väljatava mahu suhtes (28).

Tehnoloogilised skeemid

Lubjakivi laadimine toimub frontaallaaduri ja ekskavaatoriga. Lõhatud lubjakivi laetakse 24 tonnise kandevõimega autodele ja transporditakse kas Sillamäe sadama täiteks või puistangusse hilisemaks kasutamiseks. Ekskavaatoriga lubjakivi laadimise ja kallurite manööverduse skeem on joonisel 15 ning lisas 3.

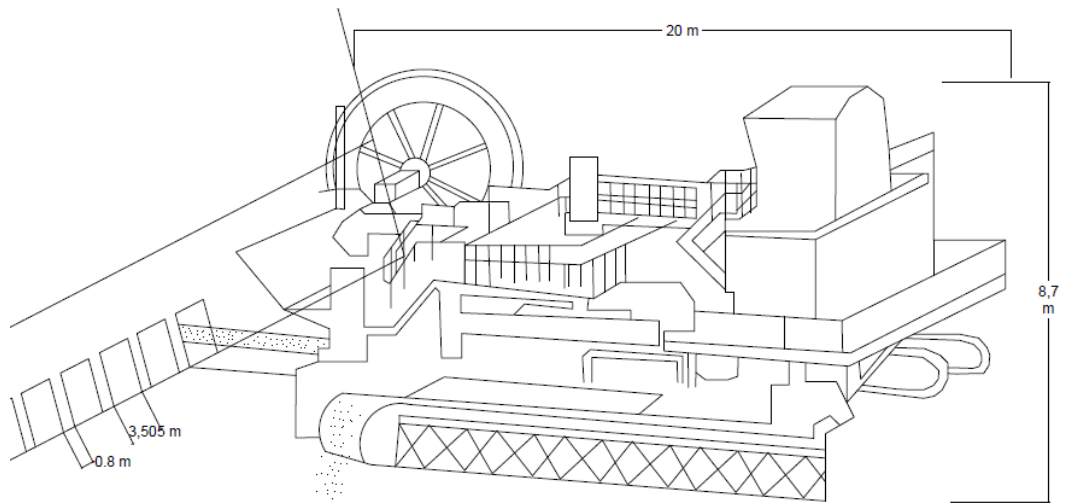


KALLURITE
MANÖÖVERDUSKKEEMID



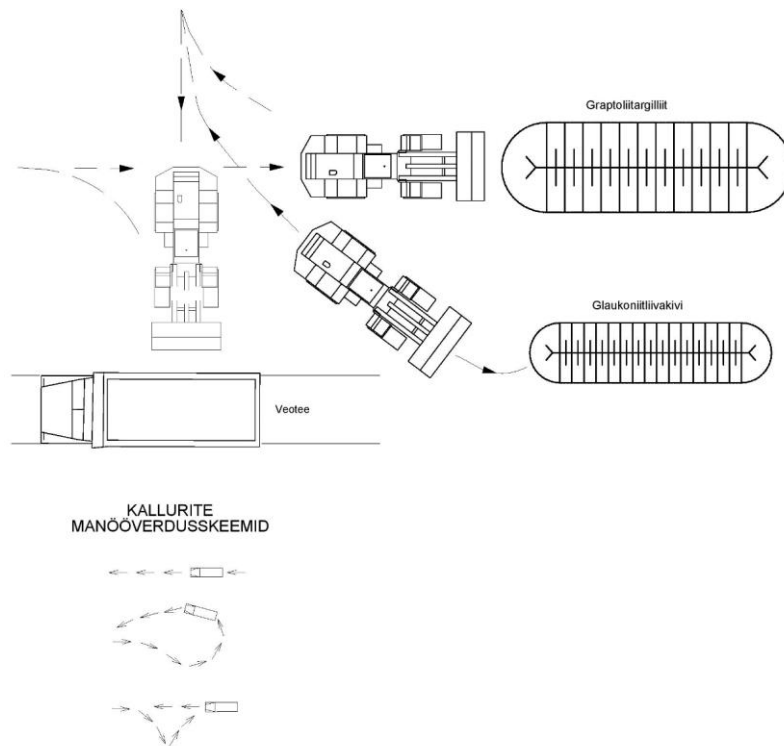
Joonis 15. Ekskavaatoriga laadimine.

Graptoliitargilliidi raimamine toimub Cat HW300 televäljamismasinaga. Argilliit väljatakse koos glaukoniitliivakiviga misjärel läheb kaevis otse mobiilsesse purustisse, milleks võib olla näiteks Sandvik QA331 või selle analoog. HW300 televäljamise tehnoloogiline tööskeem on joonisel 16 ning, suurem joonis koos mobiilse sõeluriga on lisa 2.



Joonis 16. Cat HW300 televäljamine.

Sõelatud kaevis laaditakse autodele frontaallaaduriga, milleks võib olla Cat 950 GC või mõni sarnane sama suure jõudlusega masin. Rataslaaduri laadimisskeem on nähtav joonisel 17 ning lisas 4.



Joonis 17. Kaevise laadimine frontaallaaduriga.

KESKKONNAHOOLE

Televäljamine toimub alal nii, et kaevevälja lagi alla ei vaju. Arvutuste tulemustena võeti piisavalt suur terviku laius, et maapind püsiks. Määrõhk piirkonnas on marginaalse väärtusega, sest kattekivimite paksus on väike, sellepärast piisab ka 0,8 meetrisest terviku laiusest. Järelikult maapind väljaspool kaevikut jääb rikkumata.

Keskkonnaohuks on järele jäävates tervikutes argilliidi leostumine, juhul kui ligi pääseb piisavalt hapnikurikas vesi. Samuti pole teada kaevandamise mõju põhjavee tasemele, pärast täpsemaid hüdrogeoloogilisi uuringuid tuleb arvutada põhjavee alanduslehtri raadius (29).

Antud projektis on planeeritud rajatav kaevik korrastada täielikult täita kuni maapinna tasandini, sest kaevandamisel tekib piisavalt glaukoniitliivakivi, et kaevik seda täis ladustada. Üle jääv glaukoniitliivakivi leiab kasutust mujal või jääb puistangusse ootama tulevikukasutust.

Ainus lähedalasuv looduskaitseala on Päite maastikukaitseala mis piirab põhja poolt kaevandamist, sellega on arvestatud ning kaevik rajatakse sellises suunaga, et ei juhtuks olukorda kus televäljatakse maastikukaitse ala alt.

MAJANDUSARVUTUSED

Eeldused

Majandusarvutuste tegemisel on kasutatud bilansimeetodit, sest antud meetod annab parima ülevaate kuludest.

Inflatsioonimääraks on valitud 2% aastas. Masinahinnad on võetud seosega 10 USD/t (7).

Masinakulud on määratud aasta lõikes iga masina kohta. Masinakulude arvutamisel on arvesse võetud:

- remondi ja varuosade kulutuste suurus
- kütuse ja õlide kulu
- erivahendite ja rehvide soetamiseks vajalike kulutuste suurus
- elektrikulusid vastavatel masinatel.

Kütusekulu arvestamisel on kasutatud valemit:

$0,93 \cdot m^{0,95}$ l/h, kus m on masina mass (30).

Diiselmütuse hinnaks on võetud 1 Eur/l.

Elektrienergia tariifiks on võetud 0.8 €/kWh.

Remondi ja varuosade kulutuste suuruseks on valitud 5% masina soetamismaksumusest aastas. Kulutused õlidele moodustavad 10% kütuse maksumustest. Rehvide ja erivahendite maksumus on valitud 140% kütuse ja õlide kogumaksumusest. Kindlustus on ette nähtud 5% masinate soetusmaksumusest.

Esialgse kaeviku ja sissesõidurambi rajamise maksumus

Arvutuste jaoks vajalikud algandmed on leitud erinevatest firmade kodulehtedelt ja osa on võetud Maardu II graniidikaevanduse projektist (30).

Esialgse kaeviku rajamisel kulub puur- ja lõhketööde materjalidele 8757 eurot, millest enamuse moodustab lõhkeaine, mis on näidatud tabelis 8.

Tööjõukulu kaeviku rajamisel on ligikaudu 1100 eurot, tööjõukulusse on arvestatud ainult lõhketöödega seotud inimesed, ülejäänud kaeviku rajamisel osalevad töötajad on arvestatud renditavate masinate hinna hulka, tööjõukulu on esitatud tabelis 9.

Kõige enam läheb maksma kaeviku rajamisel vajalike masinate rentimine, kokku on vaja masinate rendile kulutada 23650 eurot. Erinevate vajalike masinate tunnihinnad ja arvutuste tulemused on välja toodud tabelis 10.

Kogukulu esialgse kaeviku rajamisel, on ligikaudu 33500 eurot. Erinevate kulude suurus ja kogumaksumuse osalus on näidatud tabelis 11.

Tabel 8. Puur- ja lõhketööde materjali kulu (esialgne kaevik).

Materjal	Ühik	Ühiku hind	Materjali kulu	Maksumus	Eri-maksumus	Osalus
					€/m ³	
Lõhkeaine	kg	0.80 €	8840	7 072.00 €	0.35 €	0.81
Detonaatorid	tk	0.70 €	350	245.00 €	0.01 €	0.03
Puurkroonid	tk	29.00 €	2	58.00 €	0.00 €	0.01
Puurvardad	tk	511.00 €	2	1 022.00 €	0.05 €	0.12
Initsieeriv nõör	m	0.30 €	1200	360.00 €	0.02 €	0.04
Kokku				8 757.00 €	0.44 €	1

Tabel 9. Puur- ja lõhketööde töötasu (esialgne kaevik).

Tööline	Arv	Tasu	Päevatasu	Tööpäevade arv	Kogutasu	Osalus
		€/h				
Lõhkemeister	1	10.00 €	80.00 €	6	480.00 €	0.43
Lõhkaja	1	8.00 €	64.00 €	6	384.00 €	0.35
Abitööline	1	5.00 €	40.00 €	6	240.00 €	0.22
Kokku					1 104.00 €	1

Tabel 10. Masinakulud laadimiseks, veoks ja graptoliitargilliidi raimamiseks (esialgne kaevik).

Masin	Arv	Tasu	Päevatasu	Tööpäevade arv	Kogukulu	Osalus
		€/h				
Puurpink	1	70.00 €	560.00 €	11	6 160.00 €	5.58
Laadur	1	37.00 €	296.00 €	15	4 440.00 €	0.19
Kallur 24t	2	33.60 €	537.60 €	15	8 214.07 €	0.35
Ekskavaator	1	35.00 €	280.00 €	15	4 200.00 €	0.18
Buldooser	1	40.00 €	320.00 €	2	640.00 €	0.03
Kokku					23 654.07 €	1

Tabel 11. Rajamise maksumus (esialgne kaevik).

Kogumaksumus	Summa	Osalus
Puur- ja lõhketööd	8 757.00 €	0.26
Tööliste tasu	1 104.00 €	0.03
Masinakulud	23 654.07 €	0.71
Kokku	33 515.07 €	1

Teleraimamiseks vajaliku kaeviku rajamise maksumus

Televäljamiseks vajaliku kaeviku pikkus peab olema ligikaudu 400 meetrit, et teleraimamismasin Cat HW300 saaks 18 tunniste tööpäevadega terve aasta töös olla.

Puur- ja lõhketööde materjali kogukulu kaeviku rajamisel on ligikaudu 58 tuhat eurot, millest lõhkeaine moodustab 81%, arvutuste tulemused on esitatud tabelist 12, kus on välja toodud materjali kulu ja hinnad.

Töötasu peale kulub kaevikut rajades 8040 eurot ja seda 40 tööpäeva puhul, selle ajaga saab lõhkajate meeskond kaeviku lõhatud. Töötasu määrasid ja kogutasud on näidatud tabelis 13.

Masinateenuste tellimisele kulub kõige enam, kokku ligikaudu 129500 eurot, sellest 32% moodustab puurpingi tasu ja 32% kallurite tasu. Masinakulud on esitatud tabelis 14.

Kokku kulub televäljamise jaoks vajaliku kaeviku rajamiseks ligikaudu 196 tuhat eurot, sellest 66% moodustavad masinakulud, mis on näidatud tabelis 15.

Tabel 12. Puur- ja lõhketööde materjali kulu (televäljamise kaevik).

Materjal	Ühik	Ühiku hind	Materjali kulu	Maksumus	Erimaksumus	Osalus
					Eur/m ³	
Lõhkeaine	kg	0.80 €	59228	47 382.40 €	0.58 €	0.81
Detonaatorid	tk	0.70 €	1635	1 144.36 €	0.01 €	0.02
Puurkroonid	tk	29.00 €	13	388.60 €	0.00 €	0.01
Puurvardad	tk	511.00 €	13	6 847.40 €	0.08 €	0.12
Initsieeriv nõör	m	0.30 €	8040	2 412.00 €	0.03 €	0.04
Kokku				58 174.76 €	0.71 €	1

Tabel 13. Töötasu (televäljamise kaevik).

Tööline	Arv	Tasu	Päevatasu	Tööpäevade arv	Kogutasu	Osalus
		Eur/h				
Lõhkemeister	1	12.00 €	96.00 €	40	3 859.20 €	0.48
Lõhkaja	1	8.00 €	64.00 €	40	2 572.80 €	0.32
Abitööline	1	5.00 €	40.00 €	40	1 608.00 €	0.20
Kokku					8 040.00 €	1

Tabel 14. Masinakulud laadimiseks, veoks ja graptoliitargilliidi raimamiseks (televäljamise kaevik).

Masin	Arv	Tasu	Päevatasu	Tööpäevade arv	Kogukulu	Osalus
		Eur/h				
Puurpink	2	70.00 €	1 120.00 €	37	41 272.00 €	0.32
Laadur	1	37.00 €	296.00 €	78	23 088.00 €	0.18
Kallur 24t	3	33.60 €	537.60 €	78	41 698.20 €	0.32
Ekskavaator	1	35.00 €	280.00 €	78	21 840.00 €	0.17
Buldooser	1	40.00 €	320.00 €	5	1 600.00 €	0.01
Kokku					129 498.20 €	1

Tabel 15. Rajamise maksumus (televäljamise kaevik).

Kogumaksumus	Summa	Osalus
Puur- ja lõhketööd	58 174.76 €	0.30
Tööliste tasu	8 040.00 €	0.04
Masinakulud	129 498.20 €	0.66
Kokku	195 712.96 €	1

TASUVUSANALÜÜS

Lähteandmed

Arvutuste lähteandmed pärinevad erinevatest allikatest. Masinate ja seadmete soetamishinnad on hinnatud ühikhinna (massiühiku hinna) alusel. Kaeviku rajamise maksumus on võetud projekti majandusarvutuste osast. Palgad ja masinate rendihinnad on määratud erinevate allikate keskmiste tulemuste järgi.

Tasuvusanalüüsi arvutamisel on kasutatud metoodikat mis on välja töötatud Mäeinstituudi poolt ning on kasutatud mitmete sarnaste projektide tegemisel.

Arvutused

Bilansimeetod on arvutatud excelis. Tabelis 16 on välja toodud arvutuslehtede spetsifikatsioon.

Tabel 16. Arvutuslehtede spetsifikatsioon.

Lähteasta ⇒	2025
Leht ↓	
1	SISUKORD:
2	MASINAD JA SEADMED
3	MASINATE SOETUSMAKSUMUS
4	MASINATE SOETAMISE GRAAFIK
5	MASINATE OSTMISEKS VAJALIKUD INVESTEERINGUD
6	AASTASED MASINAKULUD
7	RAJATISED
8	RAJAMISE AJAKAVA JA MAKSUMUS
9	TÖÖTAJAJD
10	PALGA- JA MUUD KULUD
11	TOODANGU HIND JA MÜÜGI MAHT
12	MAJANDUSTEGEVUSE BILANSI LÄHTEANDMED
13	MAJANDUSTEGEVUSE BILANSS

Masinate ja seadmete valikul tehti esialgu televäljamismasina valik, parimaks valikuks osutus Caterpillari toodetud HW300. Järgnevad masinate valikud tehti teleraimamismasina tootlikkuse järgi. Tabelis 17 on näidatud vajalikud masinad ja seadmed ja nende võimalikud tüübid, koormustegurid, massid ja nende arv.

Tabel 17. Masinad ja seadmed.

Masin, seade	Võimalik tüüp (parim näide)	Vahetusi päevas	Koormustegur	Meeskond	Elektriline võimsus kW	Diiselmootor, on / ei ole	Variant: on / pole / on mitmekordselt	Mass, t	Tavaline arv
Televäljamismasin + abiseadmestik	Cat HW300	3	0.8	3	1600	0	1	418	1
Sõelur	Sandvik QA331	3	0.9	1		1	1	27	1
Muud vajalikud seadmed		3	0.5			0	1	10	1
Vahelülide laadimiseks	Cat 926M	3	0.7	1		1	1	13	1
Veekõrvaldus		3	0.8		50	0	1	20	1

Masinate soetamismaksumus määrati masina massi alusel, arvesse võeti veel palju erinevaid aspekte. Näiteks müügikoht määras transpordikauguse ja kulu, veotariifid on võetud raamatust „Eesti Mäendus“. Masina müüja riik määras käibemaksu suuruse ja tollimaksu. Näiteks Cat HW300 televäljamismasinat toodetakse Ameerika Ühendriikidest Texase osariigis, kus käibemaks on 6,25%, samuti on antud masina pealt vaja maksta ka tollimaks.

Cat HW300 soetusmaksumus tuli arvutuste põhjal 5,43 miljonit eurot, Sandvik QA331 soetusmaksumus saadi 0,37 miljonit eurot ja Cat 926M soetusmaksumuse tulemuseks tuli 0,17 miljonit eurot. Muud vajalikud seadmed ja veekõrvalduse jaoks vajalikud seadmete maksumus tuli kokku 0,5 miljonit eurot. Arvutuse tulemused on esitatud tabelis 18.

Tabel 18. Masinate soetamismaksumus.

Masin, seade		Televäljamismasin + abiseadmestik	Sõelur	Muud vajalikud seadmed	Vahelülide laadimiseks	Vee- kõrvaldus
Võimalik tüüp		Cat HW300	Sandvik QA331		Cat 926M	
Ostmise aeg	y	2026	2026	2026	2026	2026
	m	1	1	1	1	1
	d	1	1	1	1	1
Hind teatati	y	2017	2017	2017	2017	2017
	m	6	6	6	6	6
	d	1	1	1	1	1
Müügi koht		USA	SWE		EST	
Mass	t	418	27	10	13	20
Hind ja raha	milj.	4.18	0.27	0.1	0.13	0.2
	ühik	USD	USD	USD	USD	USD
Inflatsioon	%	2	2	2	2	2
Kurss	€/1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Hinna vanus ostes	y	8.58	8.58	8.58	8.58	8.58
Ajaldatud hind	€	4.46	0.29	0.11	0.14	0.21
Erihind	€/kg	11	11	11	11	11
Kohaletoomine	km	5000	600	1000	200	100
Veotariif	€/t.km	0.01	0.01	0.1	0.1	0.1
Veomaksumus		0.02	0	0	0	0
Käibemaks	%	6.25	25	20	20	20
Käibemaks	€	0.28	0.07	0.02	0.03	0.04
Tollimaks		0.45	0	0	0	0
Muud kulud		0.22	0.01	0.01	0.01	0.01
Soetusmaksumus	milj €	5.43	0.37	0.13	0.17	0.27

Masinate kaevandamise alustamiseks on planeeritud soetada 2026 aastal, 2025 aastaga rajatakse kaevik. 2025 aastal soetatakse veekõrvalduse- ja muud vajalikud seadmed. Masinate soetamisgraafik on esitatud tabelis 19.

Tabel 19. Masinate soetamisgraafik.

	Masin, seade	Televäljamismasin + abiseadmestik	Sõelur	Muud vajalikud seadmed	Vahelülide laadimiseks	Vee- kõrvaldus
	Võimalik tüüp (parim näide)	Cat HW300	Sandvik QA331		Cat 926M	
		1	1	4	1	2
	Orientiir	1	1	1	1	1
Avamine	2025			1		1
	2026	1	1		1	
	2027			1		
	2028					
	2029			1		1
	2030					
	2031			1		
	2032					
	2033			1		1
	2034					
	2035			1		
	2036					
	2037			1		1
	2038					

Masinate ostmiseks on vajalik teha suuri investeeringuid. 2025. aastal, kui toimub televäljamiseks vajaliku kaeviku rajamine, on vaja investeeringuid teha 0,13 miljoni euro ulatuses. 2026. aastal kui tuleb soetada kaevandamise alustamiseks vajalikud masinad, on investeeringu suurus 5,98 miljonit eurot. Aastate lõikes vajalikud investeeringud masinatele on näidatud tabelis 20.

Tabel 20. Masinate ostmiseks vajalikud investeeringud.

Masin, seade		Televäljamismasin + abiseadmestik	Sõelur	Muud vajalikud seadmed	Vahelülide laadimiseks
Võimalik tüüp (parim näide)		Cat HW300	Sandvik QA331		Cat 926M
Aastad:	Kokku, mln €:				
2025	0.13	0	0	0.13	0
2026	5.98	5.43	0.37	0	0.17
2027	0.13	0	0	0.13	0
2028	0	0	0	0	0
2029	0.13	0	0	0.13	0
2030	0	0	0	0	0
2031	0.13	0	0	0.13	0
2032	0	0	0	0	0
2033	0.13	0	0	0.13	0
2034	0	0	0	0	0
2035	0.13	0	0	0.13	0
2036	0	0	0	0	0
2037	0.13	0	0	0.13	0
2038	0	0	0	0	0

Kaevandamise jaoks soetatud masinate aastakulud moodustavad: remont, erivahendid, kindlustus, kütuse ja elektrienergia. Kõige suurem käituskulu on televäljamismasinal 1123 tuhat eurot, sest masin on võimas ja seetõttu on ka käituskulud suured. Tabelis 21 välja arvatud masinate käituskulud, kütuse ning elektrikulu.

Tabel 21. Aastased masinakulud, 1 osa tabelist.

0.7 << erivahendite kordaja	Masin, seade		Televäljamismasin + abiseadmestik	Sõelur	Muud vajalikud seadmed	Vahelülide laadimiseks	Vee-kõrvaldus
	Võimalik tüüp (parim näide)		Cat HW300	Sandvik QA331		Cat 926M	
	Remont ja varuosad	tuh.€	360.89	16.08	6.21	7.62	11.73
	Eri-vahendid	tuh.€	1123.61	21.03	0	8.17	0
	Kindlustus	tuh.€	360.89	16.08	6.21	7.62	11.73
	Kokku käituskulu		1845.4	53.18	12.41	23.41	23.46
	Kütusekulu	l/h	0	21.3	0	10.63	0
		l/y	0	87624.84	0	34035.6	0
	Elektri-kulu	kWh/a	5852160	0	0	0	182880

Elektrienergiat kulub palju televäljamismasinale, sest elektriline võimsus antud masinal on lausa 1600 kW. Elektrienergia aastaseks kogukuluks tuli 5,85 GWh ja kütuse kogukuluks tuli 121,66 tonni, mis on näidatud ka tabelis 22.

Tabel 22. Aastased masinakulud, 2 osa tabelist.

		Masin, seade		Televäljamismasin + abiseadmestik	Sõelur	Muud vajalikud seadmed	Vahelülide laadimiseks	Vee-kõrvaldus
		Võimalik tüüp (parim näide)	Kokku	Cat HW300	Sandvik QA331		Cat 926M	
1.2	Aastakulu ühele masinale	Käituskulu, milj.€	1.93	1.85	0.05	0.01	0.02	0
1.2		Kütust t	121.66	0	87.62	0	34.04	0
1.2		El en.GWh	5.85	5.85	0	0	0	0
Muude kulude	Masinaid on:	2025		0	0	1	1	1
		2026		1	1	1	1	1
		2027		1	1	2	1	1
		2028		1	1	2	1	1
		2029		1	1	3	1	2
Kululiigid kasvavalt, aastate kaupa	Käituskulu, mln €	2025	0.04	0	0	0.01	0.02	0
		2026	1.93	1.85	0.05	0.01	0.02	0
		2027	1.95	1.85	0.05	0.02	0.02	0
		2028	1.95	1.85	0.05	0.02	0.02	0
		2029	1.96	1.85	0.05	0.04	0.02	0
	Kütus, t	2025	34.04	0	0	0	34.04	0
		2026	121.66	0	87.62	0	34.04	0
		2027	121.66	0	87.62	0	34.04	0
		2028	121.66	0	87.62	0	34.04	0
		2029	121.66	0	87.62	0	34.04	0
	Elekter, GWh	2025	0	0	0	0	0	0
		2026	5.85	5.85	0	0	0	0
		2027	5.85	5.85	0	0	0	0
		2028	5.85	5.85	0	0	0	0
		2029	5.85	5.85	0	0	0	0

Kaevise vedu ja laadimise teenus ostetakse tellimustööna sisse, laadimise tunnitasuks on 37 €/h ja veo tasuks võeti seos 0,07€ t*km. Veo maksumus tunnis tuli sellise tasuga 33,6 eurot. Aastased veo ja laadimiskulud on esitatud tabelis 23.

Tabel 23. Aastased veo- ja laadimiskulud sisse tellitud teenusega.

Masin	Arv	Maksimaalne veokaugus	Tsüklite arv tunnis	Kandevõime	Jõudlus tunnis	Maksumus tunnis	Maksumus aastas
		km		t	t		
Laadu	1		52		300	37.00 €	169 164.00 €
Kallur	2	2	10	24	240	33.60 €	153 619.20 €
Kokku							322 783.20 €

Televäljamismasinaga Cat HW300 maavara raimates ei ole tööjõukulud suured, sest töötajaid on masina peale vaja vaid 4 ühes vahetuses. Arvestati ka abitöölistega ja juhtkonnaga. Kaevandamise töös-hoidmiseks vajalike töötajate arv on näidatud tabelis 24.

Tabel 24. Töötajate arv.

PÕHITÖÖKOHT	Variant	1. Highwall miner		
		INIMESTE ARV	abitöönormatiiv, %	10
Televäljamismasin + abiseadmestik	Cat HW300	12	juhtkonnannormatiiv, %	5
Sõelur	Sandvik QA331	3	PÕHITÖÖKOHTADEL	18
Muud vajalikud seadmed		0	KÕIK KOKKU	21
Vahelülide laadimiseks	Cat 926M	3	MUUD TÖÖKOHAD:	
Veekõrvaldus		0	ABITÖÖLISED	2
			JUHTKOND	1

Televäljamise jaoks vajalike ehitiste rajamine on suuremahuline investeering mis on iga-aastane, sest üks 400 meetri pikkune kaevik ammendub ühe aastaga. Tabelis 25 on esitatud kulu tuhandetes eurodes rajatava ehitise kohta. Arvutustes valiti, et iga aasta suureneb rajamiskulu 2%, näiteks 2025 aastal on ehitiste rajamisele vajalik investeerida 263 tuhat eurot, aga 2038 aastal juba 340 tuhat eurot.

Tabel 25. Rajamise ajakava ja maksumus.

EHITISED / AASTAD:		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	<i>Orientiir</i>							
	tuh €							
Veeärastus	20.4	20.4	20.81	21.22	21.65	22.08	22.52	22.97
Kaevik	229.23	229.23	233.81	238.49	243.26	248.12	253.09	258.15
Tehnoplats ja jäätmemajandus	12.9664	12.97	13.23	13.49	13.76	14.04	14.32	14.60
Kokku	262.59	262.59	267.85	273.20	278.67	284.24	289.93	295.72
		2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
	tuh €							
Veeärastus		23.43	23.90	24.38	24.87	25.36	25.87	26.39
Kaevik		263.31	268.58	273.95	279.43	285.02	290.72	296.53
Tehnoplats ja jäätmemajandus		14.89	15.19	15.50	15.81	16.12	16.44	16.77
Kokku		301.64	307.67	313.82	320.10	326.50	333.03	339.69

Töötajate palgad, elektrienergia kulu, kütusekulu, masinate käituskulu, kaevandamisõiguse hind ja korrastamise kulud on näidatud tabelis 26.

Keskmiseks töötajate kuupalgaks on võetud 2000 eurot, mis tõuseb iga aastaga 2%. Kokku on vaja palgata 21 töötajat. Esimene aasta kulub palgade maksmiseks 0,67 miljonit eurot, kusjuures juurde on arvestatud sotsiaal- ja teised maksud, mille väärtuseks on määratud 33%.

Elektrienergia kulu on aastate peale määratud konstantseks ja selleks on 58521 GWh aastas. Elektri hinna tõusutegur on määratud esimesel kolmel aastal 10%, neljandal aastal 5% ja pärast seda konstantseks. Elektrienergia hinnaks esimesel aastal on 0,8 €/KWh, mis tõuseb viiendaks aastaks 1,02 €/KWh. Elektrienergia maksumus 2026 aastal ehk esimesel kaevandamise aastal on 5,15 miljonit eurot.

Kütusekulu arvutamisel on võetud kütuse hinnaks 1 €/l, mis tõuseb iga aasta kuni kuuenda 2030 aastani 5% võrra. Kokku kulub kütusele esimesel kaevandamise aastal 0,13 miljonit eurot.

Maavara kadu antud kaevandamismeetodil on 0,8 meetriste tervikute puhul 18,6%. Kaevandamisõiguse tasu tuleb maksta ka maavara kao pealt. Kaevandamisõiguse hinnaks valiti 1 €/t, mis ei ole hetkel keskkonnaministeriumi poolt määratud, sest graptoliitargilliit ei ole maavarana arvel ja seda ei kaevandata. Arvutuses lisatakse juurde, et teised maksud on 50% kogu maavaramaksust. Esimene aasta tuleb

kaevandamistasu maksta kaevikust väljatava graptoliitargilliidi ja lubjakivi eest 0,23 miljonit eurot. Järgnevatel aastatel kui graptoliitargilliiti juba televäljatakse tuleb kaevandamisõiguse tasu maksta 1,15 miljonit eurot.

Korrastada tuleb vaid rajatav kaevik, korrastamise maksumuseks on määratud 0,5 €/m². Kaeviku korrastamiseks sellisel juhul kulub 0,5 miljonit eurot.

Tabel 26. Palga- ja muud kasvavad kulud.

PALGAKULU		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
KULU LIIK / AASTAD:		2000	2040	2080.8	2122.42	2164.86	2208.16	2252.32	2297.37	2343.32	2390.19	2437.99	2486.75	2536.48	2587.21
KESKMINNE KUUPALK, €		1	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
PALGATÖÖSUTEGUR		21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
TÖÖTAJAD		0.50	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.61	0.62	0.63	0.64	0.66
PALGAFOND, milj.€		0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.2	0.2	0.2	0.21	0.21	0.22
SOTSIAAL- J.T. MAKSUD, %		0.67	0.69	0.70	0.72	0.73	0.74	0.76	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.88
KOKKU, milj.€															
Toodang, mln t/a		0	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
ELEKTRIENERGIA KULU															
Erikulu, MWh/t		0.00	5852.16	5852.16	5852.16	5852.16	5852.16	5852.16	5852.16	5852.16	5852.16	5852.16	5852.16	5852.16	5852.16
orientir															
Elektri hinna tõusutegur		1.10	1.10	1.10	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kütuse hinna tõusutegur		0.80	0.88	0.97	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Elektrienergia laandatud hind, €/kWh,		0.00	5.15	5.66	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95
Elektrienergia maksumus, milj.€/a															
KÜTUSEKULU															
Kütuse erikulu, l/t		0.00	0.21	0.23	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Kütuse hinna tõusutegur		1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kütuse hind, €/l		1.05	1.10	1.16	1.22	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Kütuse maksumus, milj.€/a		0.04	0.13	0.14	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
MASINATE KÄITUSKULU															
Anestades kuldude kasvu, aastaprotsendiga		0.04	1.76	1.78	1.78	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79
Anestades kuldude kasvu, aastaprotsendiga		0.04	1.80	1.81	1.81	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83
KAEVANDAMISÕIGUSE HIND JA TEISED MAKSUD (teised + 50 %)															
Maavara kadu, %		0	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6
Kaevandamisõiguse hind, €/t		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KOKKU, mln € / a		0.23	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
KORRASTAMINE															
Kaevku sügavus, m		10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Korrastatav pind, ha		0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Korrastamise maksumus, €/m2		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
KOKKU, mln €/a		0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

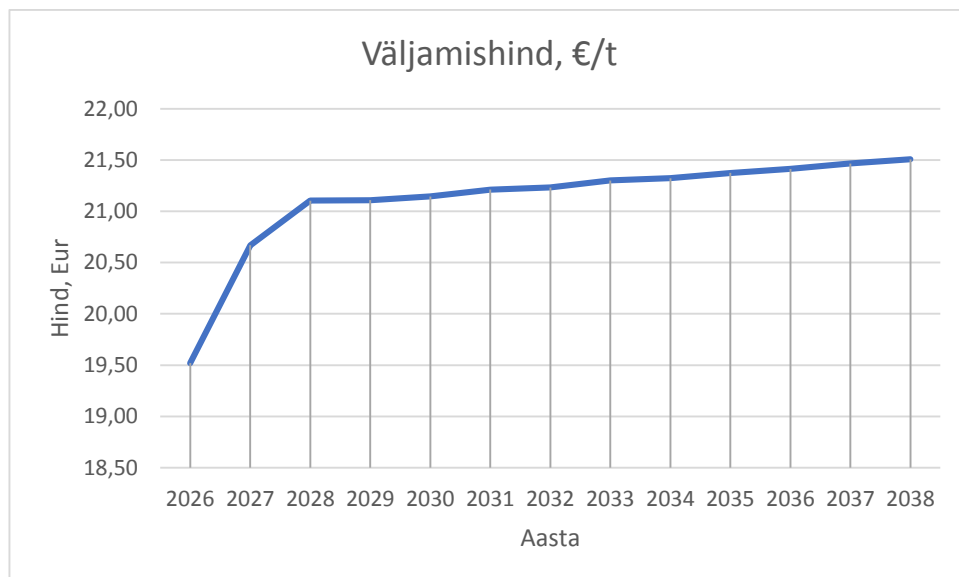
Majandustegevuse lähteandmetes on määratud intressimääraks 3% aastas, inflatsiooni määr on võetud nulliks. Majandustegevuse bilansi lähteandmed on esitatud tabelis 27.

Tabel 27. Majandustegevuse bilansi lähteandmed.

NÄITAJAD		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
INTRESSIMAAR, % aastas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
INFLATSIOON, % aastas	0														
SOETATAV PÕHIVARA, s.h.	7.0	0.4	6.2	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.3
masinad ja seadmed		0.1	6.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
ehitised ja rajamine		0.26	0.26	0.27	0.27	0.28	0.28	0.29	0.30	0.30	0.31	0.31	0.32	0.33	0.33
PÕHIVARA		0.4	6.4	6.5	6.5	6.7	6.7	6.8	6.8	6.9	7.0	7.1	7.1	7.2	7.2
seadmed		0.1	6.1	6.2	6.2	6.4	6.4	6.5	6.5	6.6	6.6	6.8	6.8	6.9	6.9
ehitised		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
maa		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
KULUMINORMATIIV															
seadmed	0.14	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ehitised	0.025	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Majandustegevuse kogubilanss on näidatud tabelis 28. Graptoliitargilliidi hinnaks, mis rahuldaks äriplaani peab arvutuste kohaselt olema 24 €/t. Sellise hinna kohaselt saaksid investorid aastas 15% kasumit. Aastatega kasum väheneb, sest tootmiskulud aastatega suurenevad, aga kaevandamismaht ja graptoliitargilliidi müügihind on jätud konstantseks.

väljamishinna tõusu, mis esimesel kaevandamise aastal on 19,52 eurot tonn ja bilansi viimasel aastal on 21,51 eurot tonn.



Joonis 18. Väljamishind aastate lõikes.

Tasuvushinnangu kokkuvõte

Graptoliitargilliidi kaevandamine antud projekti arvutuste põhjal tasub ära kui kaevist saab müüa hinnaga 24 €/t, alla selle ei tasu investoritele investeering ära, sest siis oleks aastane kasum investoritele alla 15%. Põhilised suured aastased kulud on vajaliku kaeviku rajamine, keskkonnatasud ja tootmiskulud. Kusjuures enamus tootmiskuludest läheb elektrienergia ja masinate käituskuludele.

KOKKUVÕTE

Käesolevas magistritöös uuriti televäljamise võimalusi Sillamäe piirkonnas ning tehti majandusanalüüs. Kaeviku pikkuse määras masina tootlikkus ja kaeviku laiuse masina enda laius. Kaeviku asukoht valiti võimalikult Sillamäe sadama lähedusse, et oleks lühike maa kaevist sadamasse transportida, samuti oli antud asukohas piisavalt ruumi kaeviku mõlemast küljest 300 meetri ulatuses televäljamiseks.

Maapinna stabiilsuse tagamiseks määrati kambri ja terviku mõõtmed, terviku paksus arvutati pärast kambri laiuse määramist, milleks saadi 0,8 meetrit. Samuti töötati välja ka esialgsed tehnoloogilised skeemid ning valiti ka võimalik masinapark.

Majandusarvutuste tulemuseks saadi, et kaevandamine tasuks ära kui graptoliitargilliit müüdaks hinnaga 24 €/t, mis teeb ligikaudu 47 €/m³. Sellise müügihinnaga saaksid investorid aastas 15% kasumit. Kõige suuremaks aastasteks kulutusteks on masinate ülalpidamine ja vajaliku kaeviku rajamine, mis tuleb igal aasta rajada uuesti või pikendada.

Esialgne investering oleks ligikaudu 7 miljonit eurot, mis läheks rajamiseks ja masinate soetamiseks, kusjuures televäljamismasina Cat HW300 soetamine moodustab sellest 5,4 miljonit eurot.

Sellise väljamishinnaga nagu 24 €/t, ei tasu antud alal graptoliitargilliidi kaevandamine kindlalt ära. Võrdluseks tuues, et kui graptoliitargilliiti ei väljatakse koos glaukoniitliivakiviga oleks väljamishind 16 €/t, sellise hinnaga oleks televäljamine antud alal mõeldav, aga sellisel juhul oleks maavara kadu ka suurem, sest osa graptoliitargilliiti tuleks jätta lakke, et glaukoniitliivakivi ei saaks alla variseda.

Keskkonna seisukohalt on antud kaevandamisvariant ohutu, ei teki maapinna vajumisi ja muid deformatsioone.

Antud magistritööd tuleb edasi arendada tehes täpsem majandusanalüüs, antud projekti raames jäeti arvutustest välja vajaliku maa ostmise ning samuti tuleks keskkonnakulud täpsemalt välja arvutada, sest antud töös määrati graptoliitargilliidi keskkonnatasu 1 €/t kohta, mis võib suuremaks osutuda. Esimesena tuleks aga teha täpsemad geoloogilised ja hüdrogeoloogilised uuringud, sest priikonnas on

olemasolevaid puurauke minimaalselt. Samuti on vajadus täpsustada kivimite füüsikali-mehaanilisi omadusi, sealhulgas tuleb erilist tähelepanu pöörata abrasiivsusele, mis on eriti tähtis mehaanilise raimaise võimalikkuse ja parameetrite määramisel.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Reinsalu, Enno. 2016. *Eesti mäendus III*. Tallinn : TTÜ.
2. Geoloogiakeskus, Eesti. 2009. *Eesti Geoloogiline Baaskaart, 6533 Sillamäe Seletuskiri*. Tallinn : Eesti Geoloogiakeskus.
3. Hints, R, et al. 2014. Depositional framework of the East Baltic Tremadocian marginal black shale revisited. *GFF*.
4. Pirrus, E. 2000. *Maavarade Geoloogia*. Tallinn : TTÜ mäeinstituut.
5. Voolma, M, et al. 2013. *Geochemical heterogeneity of Estonian graptolite argilite*.
6. Reinsalu, E, Toomik, A ja Valgma, I. 2002. *KAEVANDATUD MAA*. Tallinn : TTÜ.
7. Reinsalu, Enno. 1998. *Mäemajandus*. Tallinn : TTÜ.
8. Naumov, B. 1991. *Maardu fosforiidi põhjakarjääri sulgemisprojekt*. Tallinn : TTÜ.
9. Mo, S, et al. 2016. *A Review of Highwall Mining Experience and*. Wollongong : University of Wollongong.
10. Newman, D ja Zipf, K. 2005. *Analysis of Highwall Mining Stability - The Effect of Multiple Seams and Prior Auger Mining on Desig*. Morgantown : West Virginia University.
11. Fouche, J. 2013. *Highwall Mining Extend Mine-able Reserves*. s.l. : Bucyrus.
12. Zipf, K ja Bhatt, S. 2003. *ANALYSIS OF PRACTICAL GROUND CONTROL ISSUES IN HIGHWALL MINING*. Pittsburgh : National Institute for Occupational Safety and Health.
13. CAT. [Võrgumaterjal] Caterpillar. [Tsiteeritud: 11. aprill 2017. a.] <http://www.cat.com>.
14. ADDCAR Highwall Mining System. [Võrgumaterjal] ADDCAR. [Tsiteeritud: 11. aprill 2017. a.] <http://www.addcarsystems.com>.
15. Shen, B. 2014. *Highwall mining stability, in Proceedings Taishan Academic Forum-Project on Mine Disaster Prevention and Control*. Qingdao : Atlantis Press.

16. Kleiterp, J. 2010. *Opencut coal mining; history and future of highwall mining*. s.l. : Mining Engineering.
17. Fan, M. 2015. *Design programs for highwall mining operations*. Morgantown : West Virginia University.
18. Luo, Y. 2013. *Highwall mining: design methodology, safety and suitability*. Morgantown : West Virginia University.
19. Schmidt, D. Coal Age. [Võrgumaterjal] 5. jaanuar 2015. a. [Tsiteeritud: 23. aprill 2017. a.] <http://www.coalage.com/features/4125-highwall-paragon-commonwealth-mining.html#.WReDAeWGOUk>.
20. *Highwall Mining in India: extending mineable reserves a presentation for CMPDI*. s.l. : CAT, 2013. a.
21. Christensen, P. 2004. *Highwall mining revival around the corner?* s.l. : AMC Consultants.
22. Shen, B ja Fama, M. 2001. *REVIEW OF HIGHWALL MINING EXPERIENCE IN AUSTRALIA AND A CASE STUDY*. Brisbane : CISRO Exploration and Mining.
23. Buchsbaum, L. 2011. *Highwall Mining in the Heart of Appalachia*. s.l. : Coal Age.
24. Borissov, A.A. 1980. *Mehanika gornõh porod i massivov*. Moskva : Nedra.
25. *CAT HW300 mining systems brochure*. 23. november 2013. a.
26. White, T. 2016. *Utilising CAT HW300 at the Kangoon Coal Mine to Maximise Coal Production*. s.l. : The University of Queensland.
27. *Caterpillar Performance Handbook, Edition 29*. s.l. : Caterpillar.
28. *Sandvik QA331 screen unit in Action*. s.l. : Sandvik, 2011. a.
29. *Eesti põhjavee kasutamise ja kaitse*. Tallinn : Põhjaveekomisjon, 2004.
30. Sabanov, S, et al. 2009. *MAARDU II GRANIIDIKAEVANDUSE TOOTMISPROTSESSI TEHNILIS - MAJANDUSLIKU EELHINNANGU KOOSTAMINE*. Tallinn : TTÜ.

LISAD

Lisa 1. Puur- ja lõhketööde valemid ja arvutused.

Lõhkeaugu optimaalne läbimõõt d (tabelist):

Algandmeid arvestades valiti tabelist lõhkeaugu läbimõõduga $d = 76 \text{ mm}$.

Laengu jooksev mass q_1 :

Laengutihedusel $1,1 \text{ kg/dm}^3$ on 76 mm läbimõõduga lõhkelaengu puhul $q_1 = 5 \text{ kg/m}$.

Laengute paigutustegur m :

$$m = 1,1$$

Vähima vastupanujoone pikkuse leidmine üksiklaengule

Vähim vastupanujoone kauguse B arvutamiseks kasutatakse valemit:

$$B = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{q_1}{q \cdot m}} \quad (\text{m})$$

- p – laengu jaotatud mass, $[\text{kg/m}]$.
- q – lõhkeaine erikulu, $[\text{kg/m}^3]$.
- m – paigutustegur.

$$B = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{5}{0,6 \cdot 1,1}} = 2,48(\text{m})$$

Puuraukude laengusamm

$$S = m \cdot B \quad (\text{m})$$

- m – suhteline laengutevaheline kaugus,
- B – Vähima vastupanujoone pikkus.

$$S = 1,1 \cdot 2,48 = 2,72 \quad (\text{m})$$

Ridadevaheline kaugus

$$B_b = 0,95 \cdot B \text{ (m)}$$

- **B** - Vähima vastupanujoone pikkus (m)

$$B_b = 0,95 \cdot 2,48 = 2,35 \text{ (m)}$$

Laengu suurus ehk laengumass

$$Q = q \cdot S \cdot B \cdot H \cdot K_p \text{ (kg)}$$

- **q**- lõhkeaine erikulu, (kg/m³).
- **S** - laengusamm reas (m)
- **B**- vähima vastupanujoone pikkus astme jalamil (m)
- **H**- astme kõrgus (m)
- **K_p**- lõhkeaine erikulu parandustegur

$$Q = 0,55 \cdot 2,72 \cdot 2,48 \cdot 7,3 \cdot 1,23 = 33,33 \text{ (kg)}$$

Kogu laengu pikkus

$$l_{ch} = \frac{Q}{q_l} \text{ (m)}$$

- **Q**- laengu mass, (kg),
- **q_l**- laengu jaotatud mass (kg/m).

$$l_{ch} = \frac{33,33}{5} = 6,67 \text{ (m)}$$

Ülepuure pikkus

$$U_d = 6 \cdot d$$

- **d**- lõhkeaugu läbimõõt (m)

$$U_d = 6 * 0,076 = 0,46 \text{ m}$$

Puuraugu sügavus

$$I_d = H + U_d$$

- **H**- lõhatava ploki kõrgus (m)
- **U_d** - ülepuure pikkus (m)

$$I_d = 7,3 + 0,46 = 7,76 \text{ (m)}$$

Topise pikkus

$$I_s = I_d - I_{ch}$$

- **I_d**- laenguaugu sügavus (m)
- **I_{ch}**- laengu pikkus (m)

$$I_s = 7,76 - 6,67 = 1,09 \text{ (m)}$$

Topise kulu

$$t_{kogu} = \pi * \frac{d^2}{4} * I_s * N$$

- **d** – lõhkeaugu läbimõõt (m)
- **I_s**- topise pikkus (m)
- **N** - Laengute arv ploki lõhkamisel

$$t_{kogu} = \pi * \frac{0,076^2}{4} * 1,09 * 220 = 9,58 \text{ m}^3$$

Viitekestus

Viitekestuseks nimetatakse viiteaega eri laengute plahvatuste (viiteseeriade) vahel, mis arvutatakse valemiga:

$$\tau = K_\tau * B \text{ (ms)}$$

- **B** – Vähima vastupanujoone pikkus (m)
- **K_τ** – Viitetegur

$$\tau = 5 * 2,48 = 12,39 \text{ (ms)}$$

Viitesamm

Valime **τ = 15 ms**

Laenguridade arv

$$n_{\text{rida}} = \frac{W}{B_b}$$

- **B_b** - Ridade vaheline kaugus
- **W** - Ploki laius

$$n_{\text{rida}} = \frac{25}{2,35} = 11 \text{ rida}$$

Lõhatava ploki tegelik laius

$$W = B + n_{\text{rida}} * B_b$$

- **B_b** - Ridade vaheline kaugus
- **n_{rida}** - Laenguridade vahede arv
- **B** – Vähima vastupanujoone pikkus (m)

$$W = 2,35 + 10 * 2,48 = 6,3\text{m}$$

Laengute arv reas

$$n' = \frac{L}{S}$$

- **L** - Ploki pikkus
- **S** - Laengusamm reas

$$n' = \frac{60}{2,72} = 22 \text{ laengut}$$

Lõhatava ploki tegelik pikkus

$$L = n' * S$$

$$L = 22 * 2,72 = 60 \text{ m}$$

Laengute arv ploki lõhkamisel

$$N = n' * n_{\text{rida}}$$

- n_{rida} - Laenguridade vahede arv
- n' - Laengute arv reas

$$N = 22,02 * 10 = 220,19 \text{ laengut}$$

Lõhkeaine kulu

$$Q_{\Sigma} = N * Q$$

- Q - Laengumass
- N - Laengute arv ploki lõhkamisel

$$Q_{\Sigma} = 33,3 * 220,19 = 7340,02 \text{ kg}$$

Lõhatava ploki maht

$$V = W * L * H$$

Kus:

- W - Ploki laius
- L - Ploki pikkus
- H - Astangu kõrgus

Järelikult:

$$V = 27,12 * 60 * 7,3 = 11880,75 \text{ m}^3$$

Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu

$$q_{\text{tegelik}} = \frac{Q_{\Sigma}}{V}$$

Kus:

- Q_{Σ} - Lõhkeaine kulu
- V - Lõhatava ploki maht

Järelikult:

$$q_{\text{tegelik}} = \frac{7340,02}{11880,75} = 0,62 \text{ kg/m}^3$$

Puurtööde maht

$$PT = N * I_d$$

Kus:

- N - Laengute arv ploki lõhkamisel
- I_d - laenguaugu sügavus (m)

Järelikult:

$$PT = 220,19 * 7,76 = 1707,01 \text{ m}$$

Puurtööde erimaht

$$p_t = \frac{PT}{V}$$

Kus:

- PT - Puurtööde maht
- V - Lõhatava ploki maht

Järelikult:

$$p_t = \frac{1707,01}{11880,75} = 0,14 \text{ m/m}^3$$

Õhulööklaine mõju poolest ohuala piir inimesele

Õhulööklaine mõju poolest ohuala piir inimesele välislaengu lõhkamisel arvutatakse valemiga:

$$r = 15 \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (\text{m})$$

Kus:

- **Q**- lõhatava välislaengu mass, kg.

Järelikult:

$$r = 15 \cdot \sqrt[3]{33,33} = 48,28 \quad (\text{m})$$

Õhulööklaine mõju poolest ohuala piir kaitstavate objektideni

$$r = K \sqrt[3]{Q}$$

Kus:

- **K** - ohutustegur, mille väärtus sõltub kahjustuse lubatud ulatusest (100 - kahjustuse täielik puudumine)
- **Q**- lõhatava välislaengu mass, kg.

Järelikult:

$$r = 100 * \sqrt[3]{33,33} = 321,83 \quad \text{m}$$

Kütusemahutid asuvad 350 meetri kaugusel kaevikust, seega väljaspool ohuala piiri.

Võnkekiirus

Lõhketööde projekteerimisel ehitise maksimaalne lubatud võnkekiirus arvutatakse valemiga:

$$v = v_1 F_k \quad (\text{cm/s})$$

Kus:

- v_1 – kaitstava ehitise kaugusest ja tema aluspinnasest sõltuv suurim lubatud võnkekiirus (cm/s);
kaugus ehitiseni 200 m, kui ehitise aluspinnas on tugev lubjakivi, siis suurim lubatav võnkekiirus on 2,2 cm/s.

- F_k – ehitise liigist sõltuv parandustegur;
Ehitise parandustegur on 1,5.

Järelikult:

$$v = 2,2 \cdot 1,5 = 3,30(\text{cm/s})$$

Ohutu laeng maja vibratsioonitaluvuse järgi

$$Q_{\max} = \frac{v^2 \cdot r^{2,7}}{K^2} \text{ (kg)}$$

Kus:

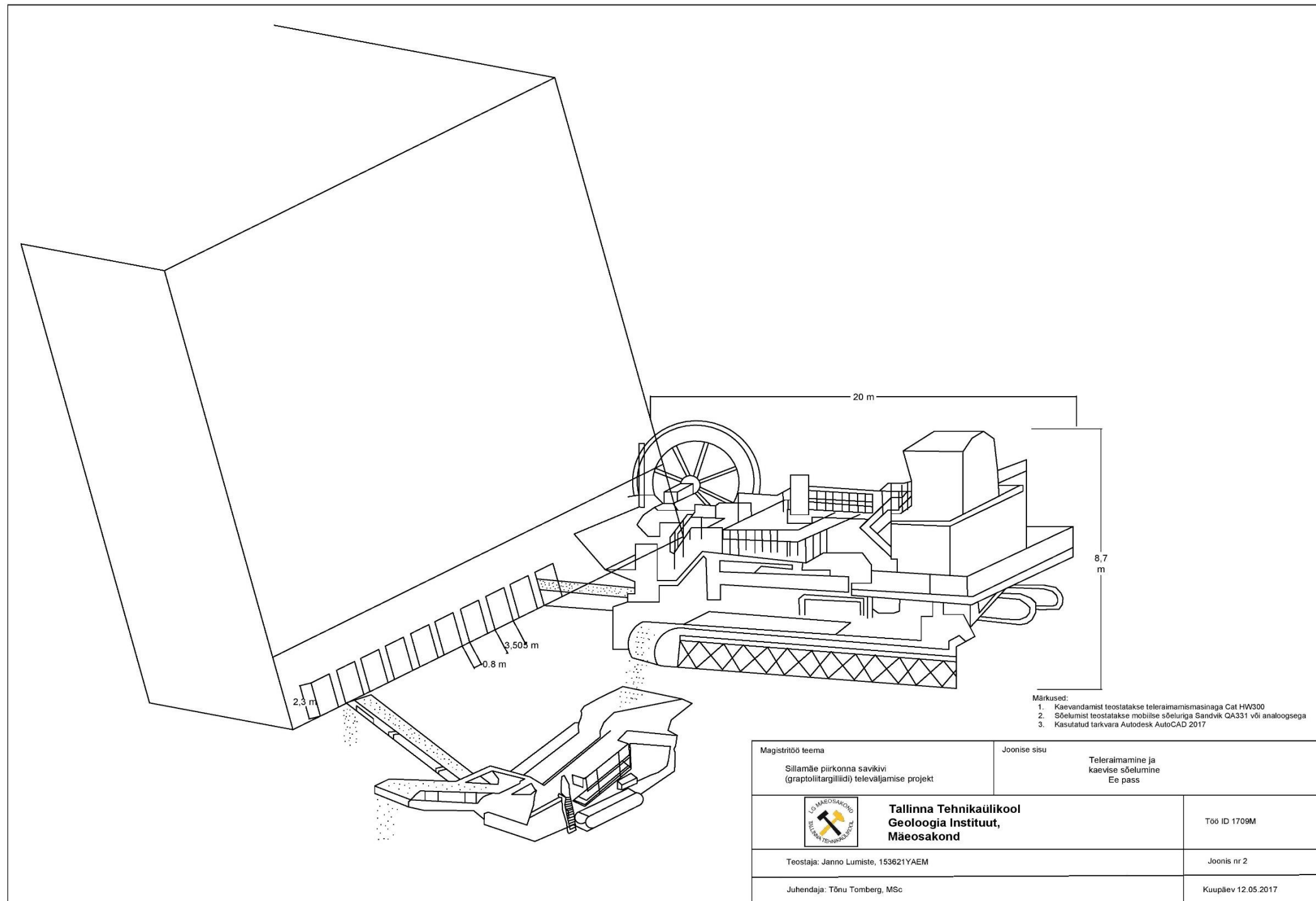
- **v**- kaitstava objekti suurim lubatav võnkekiirus (cm/s)
- **r**- kaitstava objekti kaugus lõhketööde läbiviimise piirkonnast (m)
- **K**- kaitstava objekti aluse pinnase seismilisuse tegur.

Veevaene kaljupinnas paksusega kuni 15 m pinnase seismilisuse tegur on suvisel kuival perioodil on 200.

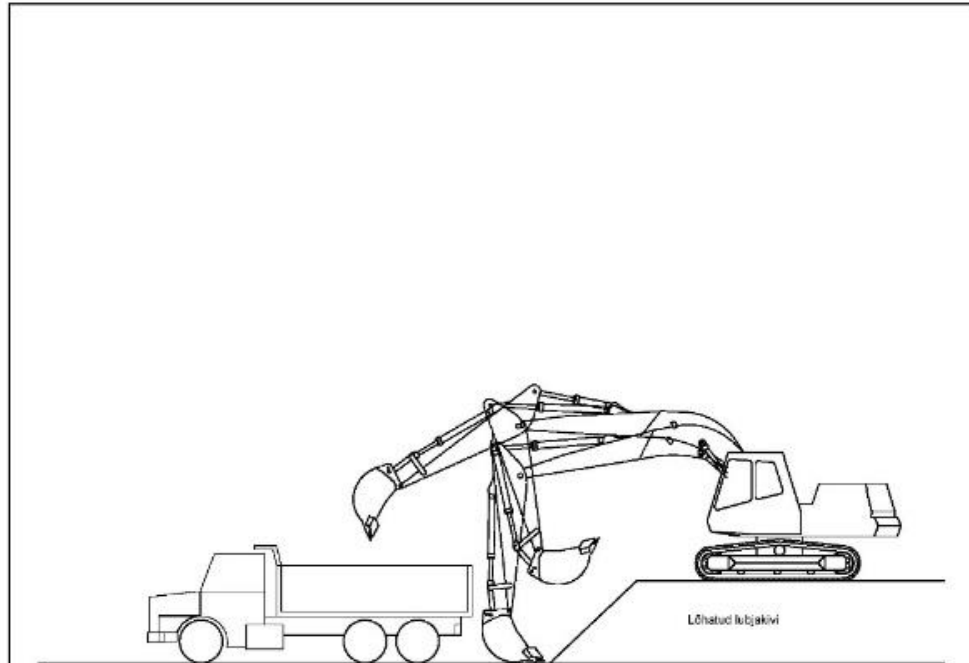
Järelikult:

$$Q_{\max} = \frac{3,3^2 \cdot 350^{2,7}}{200^2} = 2013,50 \text{ (kg)}$$

Lisa 2. Teleraimamine ja kaevise sõelumine, ee pass



Lisa 3. Lubjakivi laadimine ekskavaatoriga, ee pass



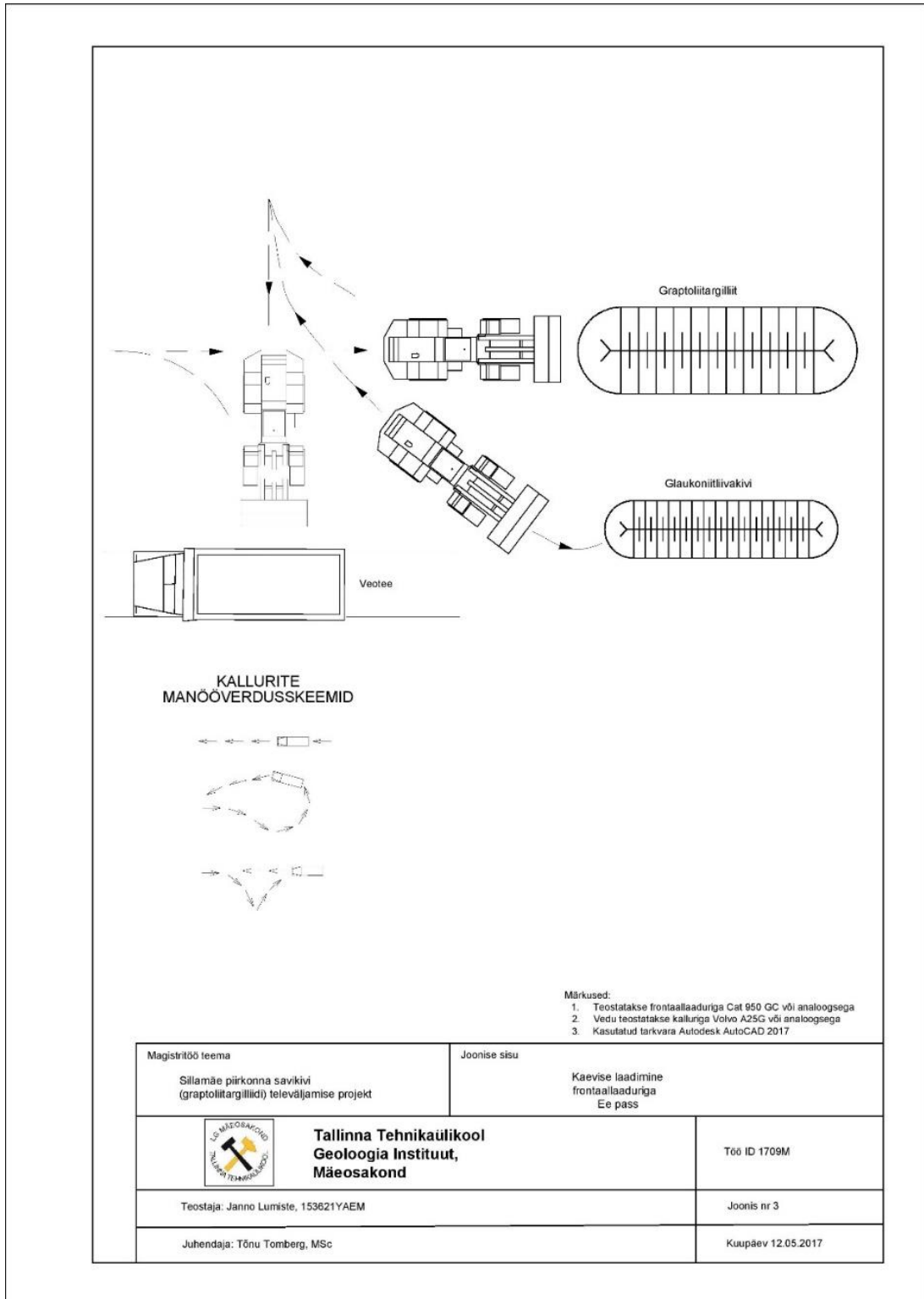
KALLURITE MANÖÖVERDUSKEEMID



- Märkused:
1. Laadimist teostatakse ekskavaatoriga Cat 322b või analoogsena
 2. Vedu teostatakse kalluriga Volvo A25G või sarnasega
 3. Kasutatud tarkvara Autodesk AutoCAD 2017

Magistritöö teema Silamäe piirkonna savikivi (graptoliitargilliidid) televäljajamise projekt	Joonise sisu Lubjakivi laadimine ekskavaatoriga Ee pass
 Tallinna Tehnikaukool Geoloogia Instituut, Mäeosakond	Töö ID 1709M
Teostaja: Janno Lumiste, 153621YAEM	Joonis nr 1
Juhtedaja: Tõnu Tomberg, MSc	Kuupäev 12.05.2017

Lisa 4. Kaevise laadimine laaduriga, ee pass



Lihtlitsents lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ja reprodutseerimiseks

Mina, Janno Lumiste: 26.07.1993

Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose, Sillamäe piirkonna savikivi (graptoliitargilliidi) televäljamise projekt, mille juhendaja on Tõnu Tomberg,

- 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

1. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
2. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

(allkiri)

25.05.2017 *(kuupäev)*

METAANDMED

Töö pealkiri (eesti keeles): Sillamäe piirkonna savikivi (graptoliitargilliidi) televäljamise projekt

Töö pealkiri (inglise keeles): Project of Development of Graptolite Argillite Mine in Sillamäe Region

Autor: Janno Lumiste

Juhendaja(d): Tõnu Tomberg

Kaitsmise kuupäev: 08.06.2017

Töö keel: est / eng / rus: est

Asutus (eesti keeles): TTÜ / TTÜ õppeasutus (nimi): Tallinna Tehnikaülikool

Asutus (inglise keeles): TTÜ / TTÜ õppeasutus (nimi): Tallinn University of Technology

Teaduskond (eesti keeles): Loodusteaduskond

Teaduskond (inglise keeles): School of Science

Instituut (eesti keeles): Geoloogia Instituut

Instituut (inglise keeles): Department of Geology

Õppetool (eesti keeles): Mäeosakond

Õppetool (inglise keeles): Division of Mining

Märksõnad /kui on/ (eesti keeles):

Märksõnad /kui on/ (inglise keeles):

Õigused: juhul kui ligipääs on piiratud, siis sellekohane märkus