

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Loodusteaduskond

Geoloogia instituut



**PUUR-LÕHKETÖÖDE PARAMEETRITE
VARIANTIDE VÄLJATÖÖTAMINE
ETTEVALMISTUSTÖÖDE LÄBIVIIMISEKS
PÕLEVKIVI ALLMAAKAEVANDAMISEL ESTONIA
KAEVANDUSE TINGIMUSTES**

Juhendaja: Tõnu Tomberg, MSc

Üliõpilane: Carl-Richard Saks

153417 YAEM

Maa-teadused ja geotehnoloogia, geotehnoloogia peeriala

TALLINN 2017

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev magistritöö 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.

Carl-Richard Saks

Allkiri:

Kuupäev:

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

Juhendaja: Tõnu Tomberg

Allkiri:

Kuupäev:

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

LÄHTEÜLESANNE

Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia instituut Lõputöö ülesanne

| | | | |
|------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Töö ID | 1705M | Õppekava | YAEM14/15 |
| Üliõpilane | Carl-Richard Saks | Matrikli nr. | 153417YAEM |
| Töö liik | Magistritöö | Õppeaine kood | |
| Juhendaja | Tõnu Tomberg | Ülesanne kehtib kuni | 02. juuni 2017.a. |

| | |
|---------------------|---|
| Töö ülesanne | Puur-lõhketööde parameetrite väljatõõtamine ettevalmistustööde läbiviimiseks põlevkivi allmaakaevandamisel Estonia kaevanduse tingimustes |
| Topic of the Thesis | Developing of the parameters of oil shale underground blasting for developing works in conditions of Estonia oil shale mine |

Töö sisu
põhipunktid

1. Kaevanduse iseloomustus
2. Geoloogiline iseloomustus
3. Mäenduslikud tingimused ja kaevandamise tehnoloogia
4. Ettevalmistuskaevetööde rajamine
5. Puur-lõhketööde kasutatav tehnoloogia ja selle puudused
6. Alternatiivsed puur-lõhketööde meetodid
7. Optimaalse meetodi valik
8. Keskkonnanõue
9. Majandushinnang

Seotud
teadusteema
ja/või sihtasutus

Enefit Kaevandused

Tähtajad

| | | | |
|--------------|--------|-----------|-------------------|
| Eelkaitsmine | 23. 05 | Kaitsmine | 02. juuni 2017.a. |
|--------------|--------|-----------|-------------------|

Üliõpilane
Juhendaja
Konsultant

Carl-Richard Saks
Tõnu Tomberg

CRSaks
Tomberg

08.05.2017
08.05.2017

nimi

alkiri

kuupäev

Ülesanne kinnitatud
Ülesanne täpsustatud
Ülesanne pikendatud

LÜHIKOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli välja töötada käesoleval ajal kasutatavatele alternatiivsed puur-lõhketööde parameetrid ettevalmistustööde läbiviimiseks põlevkivi allmaakaevandamisel Estonia kaevanduse tingimustes. Peamiseks eesmärgiks uue puur-lõhketööde tehnoloogia kasutusele võtmiseks oli lõhkeaine erikulu vähendamine. Selleks kasutatakse iseliikuvat soonurit MVB-140, mis soonib ees vertikaalse soone põlevkivikihist F3 kuni põlevkivikihti A. Kirjeldatud soonega tekitatakse ees lisa vaba pind, mille tulemusel väheneb lõhatava lõhkeaine kogus. Magistritöös on esitatud kolm erinevat puur-lõhketööde tehnoloogilist varianti sõltuvalt soonte arvust ning nende asukohtadest ees. Lõhketööde erikulu välja töötatud variantidel on vastavalt: esimene variant – $0,54 \text{ kg/m}^3$, teine variant – $0,66 \text{ kg/m}^3$ ja kolmas variant - $0,66 \text{ kg/m}^3$.

Võtmesõnad: Puur-lõhketööd, lõhkeaine erikulu, põlevkivi, Eesti

ABSTRACT

The aim of the Thesis is to develop new drilling and blasting parameters to improve the preparatory working conditions in the Estonia underground oil shale mine. The main goal was to reduce the specific charges by using new kind of drilling and blasting technology methods. In order to achieve the goal, the used cutting machine is MVB-140, which cuts vertical veins in the working face. With this kind of specific cut, there is made an additional free surface in the face area, which leads to the reduction of the amount of explosives. In the Thesis are presented three different technological methods, which differ from the drillings and blastings by the numbers and the location of the cuts in the face area. Specific charges are calculated perspectively: first option – 0,54 kg/m³, second option – 0,66 kg/m³ and third option – 0,66 kg/m³.

Keywords: Drilling and blasting, specific charge, oil shale, Estonia

SISUKORD

| | |
|---|----|
| AUTORIDEKLARATSIOON..... | 2 |
| LÄHTEÜLESANNE..... | 3 |
| LÜHIKOKKUVÕTE | 4 |
| ABSTRACT..... | 5 |
| SISUKORD | 6 |
| SISSEJUHATUS | 10 |
| ESTONIA KAEVANDUS | 11 |
| Kaevanduse iseloomustus | 12 |
| Tööprotsessid | 12 |
| Ettevalmistustööd | 15 |
| Koristustööd..... | 18 |
| Kaevis rikastamine | 19 |
| GEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS..... | 20 |
| Tootuskihindi füüsikalised-mehaanilised omadused..... | 24 |
| Hüdrogeoloogia..... | 25 |
| KIVIMITE LÕHKAMISE ÜLDPÕHIMÕTTED..... | 28 |
| Laengu toime kivimis | 28 |
| Lõhketööde meetodid | 29 |
| Erinevad algmurded Eesti põlevkivikaevandustes..... | 30 |
| Vertikaalselt soonitud algmurre | 31 |
| Laengute arvutus | 32 |
| ETTEVALMISTUSKAEVEÕÕNTE RAJAMINE..... | 33 |
| Läbindamine Estonia kaevanduses..... | 33 |

| | |
|--|----|
| Puur- ja lõhketööde tehnoloogia käesoleval ajal..... | 34 |
| Probleemi olemus..... | 37 |
| ALTERNATIIVSED PUUR- JA LÕHKETÖÖDE MEETODID..... | 38 |
| Iseliikuv soonur..... | 38 |
| Väljatöötatud puur- ja lõhketööde tehnoloogilised variandid..... | 41 |
| Esimene tehnoloogiline variant..... | 42 |
| Teine tehnoloogiline variant..... | 45 |
| Kolmas tehnoloogiline variant..... | 48 |
| Ettevalmistustööde protsessid uue tehnoloogia korral..... | 51 |
| Optimaalse meetodi valik..... | 53 |
| MAJANDUSOSA..... | 54 |
| JÄRELDUSED..... | 58 |
| KESKKONNAMÕJU..... | 59 |
| KOKKUVÕTE..... | 61 |
| KASUTATUD ALLIKAD..... | 62 |
| LISAD..... | 64 |
| Lisa 1. Laengute arvutus..... | 64 |
| Lisa 2. Iseliikuva soonuri külgvaade..... | 66 |
| Lisa 3. Iseliikuva soonuri pealtvaade (vasakpoolne soon)..... | 67 |
| Lisa 4. Iseliikuva soonuri pealtvaade (parempoolne soon)..... | 68 |
| Lisa 5. Iseliikuva soonuri pealtvaade (ee keskel asuv soon)..... | 69 |
| Lisa 6. Esimese variandi eestvaade..... | 70 |
| Lisa 7. Horisontaallõige esimese variandi korral..... | 71 |
| Lisa 8. Vertikaallõige esimese ja teise variandi korral..... | 72 |
| Lisa 9. Teise variandi eestvaade..... | 73 |
| Lisa 10 Teise variandi horisontaallõige..... | 74 |

| | |
|--|----|
| Lisa 11 Kolmanda variandi eestvaade..... | 75 |
| Lisa 12. Kolmanda variandi horisontaallõige..... | 76 |
| Lisa 13. Kolmanda variandi vertikaallõige..... | 77 |

JOONISED

| | |
|--|----|
| Joonis 1. Estonia kaevanduse asukoha skeem [1]..... | 11 |
| Joonis 2. Läbindustööde protsesside järjestus [18]..... | 16 |
| Joonis 3. Lähislae ja tootuskihi läbilõige [7]..... | 20 |
| Joonis 4. Estonia kaevanduse litoloogiline läbilõige [7]..... | 22 |
| Joonis 5. Laengust tekkivate lainete levik kivimis [21]..... | 29 |
| Joonis 6. Plahvatuse üldtoime [21]..... | 29 |
| Joonis 7. Puur-lõhketööde pass LP 0007 [9]..... | 35 |
| Joonis 8. Puur-lõhketööde pass LP 0080 [17]..... | 36 |
| Joonis 9. Iseliikuv soonur MVB-140 [14]..... | 39 |
| Joonis 10. Iseliikuv soonur MVB-140 Estonia kaevanduses [13]..... | 39 |
| Joonis 11. Iseliikuv soonur MVB-140 Estonia kaevanduses [13]..... | 40 |
| Joonis 12. Vertikaalne soon Estonia kaevanduse läbinduse ees [13]..... | 41 |
| Joonis 13. Esimese variandi eerinna eestvaade (Lisa 6)..... | 45 |
| Joonis 14. Teise variandi eerinna eestvaade (Lisa 9)..... | 48 |
| Joonis 15. Kolmanda variandi eerinna eestvaade (Lisa 11)..... | 51 |
| Joonis 16. Saasteainete erikogused (Q) ühe tonni lõhkeaine kohta [24]..... | 60 |
| Joonis 17. Lõhkamistöde käigus tekkivad saasteainete heitkogused [24]..... | 60 |

TABELID

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Estonia kaevanduse põlevkivi kaevandamise põhiprotsessid [5]..... | 13 |
| Tabel 2. Tootuskihi füüsikalised-mehaanilised omadused. [12]..... | 24 |
| Tabel 3. Lõhkeainete trotüülekvalendid ehk REF [22]..... | 32 |
| Tabel 4. Iseliikuva soonuri MVB-140 omadused. [13] [14]..... | 38 |
| Tabel 5. Esimese variandi algandmed..... | 43 |
| Tabel 6. Esimese variandi arvutuslikud andmed..... | 43 |
| Tabel 7. Esimese variandi kasutatavad lõhkematerjalid..... | 44 |
| Tabel 8. Esimese variandi puur-lõhketööde koondtabel..... | 44 |
| Tabel 9. Teise variandi algandmed..... | 46 |

| | |
|---|----|
| Tabel 10. Teise variandi arvutuslikud andmed..... | 46 |
| Tabel 11. Teise variandi kasutatavad lõhkematerjalid..... | 47 |
| Tabel 12. Teise variandi puur-lõhketööde koondtabel..... | 48 |
| Tabel 13. Kolmanda variandi variandi algandmed..... | 49 |
| Tabel 14. Kolmanda variandi ühe ee osa kohta arvatud andmed..... | 49 |
| Tabel 15. Kolmanda variandi arvutuslikud andmed..... | 50 |
| Tabel 16. Kolmanda variandi kasutatavad lõhkematerjalid..... | 50 |
| Tabel 17. Kolmanda variandi puur-lõhketööde koondtabel..... | 50 |
| Tabel 18. Tööprotsessid ja nende kestus käesoleval ajal..... | 51 |
| Tabel 19. Tööprotsessid ja nende kestus esimese variandi korral..... | 52 |
| Tabel 20. Tööprotsessid ja nende kestus teise ja kolmanda variandi korral..... | 52 |
| Tabel 21. PLT 0007 lõhkematerjalide maksumus ühe ee kohta..... | 54 |
| Tabel 22. PLT 0080 lõhkematerjalide maksumus ühe ee kohta..... | 54 |
| Tabel 23. Esimese variandi lõhkematerjalide maksumus ühe ee kohta..... | 55 |
| Tabel 24. Teise variandi lõhkematerjalide maksumus ühe ee kohta..... | 55 |
| Tabel 25. Kolmanda variandi lõhkematerjalide maksumus ühe ee kohta..... | 55 |
| Tabel 26. PLT 0007 lõhkematerjalide maksumus kolme kasutuskorra juures ööpäevas..... | 55 |
| Tabel 27. PLT 0080 lõhkematerjalide maksumus kolme kasutuskorra juures ööpäevas..... | 56 |
| Tabel 28. Esimese variandi lõhkematerjalide maksumus kolme kasutuskorra juures ööpäevas..... | 56 |
| Tabel 29. PLT 0007 lõhkematerjalide maksumus viie kasutuskorra juures ööpäevas..... | 56 |
| Tabel 30. PLT 0080 lõhkematerjalide maksumus viie kasutuskorra juures ööpäevas..... | 57 |
| Tabel 31. Teise variandi lõhkematerjalide maksumus viie kasutuskorra juures ööpäevas..... | 57 |
| Tabel 32. Kolmanda variandi lõhkematerjalide maksumus viie kasutuskorra juures ööpäevas..... | 57 |

SISSEJUHATUS

Lõhketööd on mäetööde tehnoloogia üks tähtsamaid protsesse, mida kasutakse kivimite raimamisel. Lõhketööde kvaliteedist sõltub väga suures osas teiste mäetööde tehnoloogiliste protsesside jõudlus. Lõhketööde korralik kvaliteet eeldab korrektset projekteerimist ja kasutatavate lõhkematerjalide omaduste teadmisi.

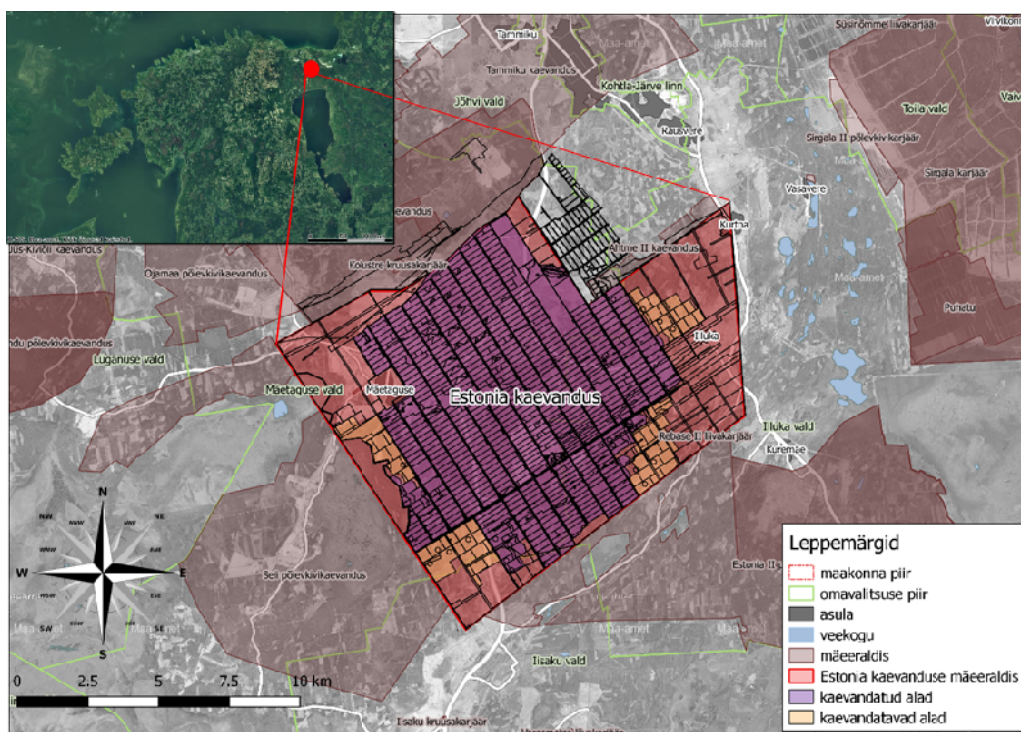
Puur-lõhketöid kasutatakse Estonia põlevkivi allmaakaevanduses kaeveõõnte, veekraavide rajamisel ja põlevkivi raimamisel kambriplökkides. Iga ee kohta koostatakse puur- ja lõhketööde pass, mis sisaldab vajalikke andmeid laenguaukude puurimiseks, laadimiseks ja lõhkamiseks ning ohutuse tagamiseks. Ettevalmistuskaeveõõnte rajamise puur-lõhketööde tehnoloogia peamiseks probleemiks käesoleval ajal on lõhkeaine suur erikulu. Lõhkeaine erikulu sõltub kasutatavast algmurdest, ee edasinihkest, kaeveõõne ristlõike pindalast, geoloogilistest ja mäenduslikest omadustest ning lõhkeaine kogusest. [15]

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on välja töötada uued puur-lõhketööde parameetrid ettevalmistustööde läbiviimiseks põlevkivi allmaakaevandamisel Estonia kaevanduse tingimustes. Töös kasutatakse iseliikuvat soonurit MVB-140, mis soonib ees vertikaalse soone põlevkivikihi F3 põlevkivikihti A. Lähtudes iseliikuva soonuri tehnilistest parameetritest, on välja töötatud kolm erinevat puur-lõhketööde tehnoloogilist varianti, milledeks on prioriteediks lõhkeaine erikulude vähendamine.

Magistritöö valmimisele kaasa aitamise ja toetamise eest soovib töö autor lisaks juhendajale – Tõnu Tombergile, tänada ka Enefit Kaevandused AS töötajaid Stanislav Ignatovetsit, Nikolai Zotovi, Igor Smirnovi, Dmitri Glijantsevit, Andrei Pistrailovit, Nikolai Rjabušenkot, Raimond Äri, Liudmila Utrobinat, Evelin Krekkerit, Sergey Ovsyannikovi, Martin Lohki ja Aleksandr Mihhaltšenkot. Samuti soovib töö autor toetuse eest tänada Selina Lindu ja oma vanemaid.

ESTONIA KAEVANDUS

Estonia kaevandus on maailma suurim põlevkivikaevandus, mis kuulub Eesti Energia AS tütarettevõttele Enefit Kaevandused AS. Mäeeraldis asub Ida-Viru maakonnas Mäetaguse, Iisaku ja Illuka vallas. Estonia kaevanduse mäeeraldise pindala on 14162,54 ha ja mäeeraldise teenindusmaa pindala on 720,73 ha. Kaevandus asub Eesti põlevkivimaardla keskosas. [1]



Joonis 1. Estonia kaevanduse asukoha skeem [1]

Estonia kaevandus ehitati aastatel 1964–1972 ja hakkas tööle 28.12.1972. aastal. Kaevandamistöde teostamiseks on olemas vajalikud rajatised (teedevõrk, elektrivarustuse liinid, tuulutus- ja veekõrvaldussüsteemid) ning pealmaa tehnoloogiline kompleks. Mäetööde elektrivarustus toimub maapinnal ja maa all asuvate elektriliinide kaudu. Allmaakaevandustest, paneelidelt läbindatakse iga 2...2,5 km tagant maapinnale tuulutusšurfid. Veekõrvalduse tarvis on rajatud pumplad, settetiigid ja veekraavid. [1]

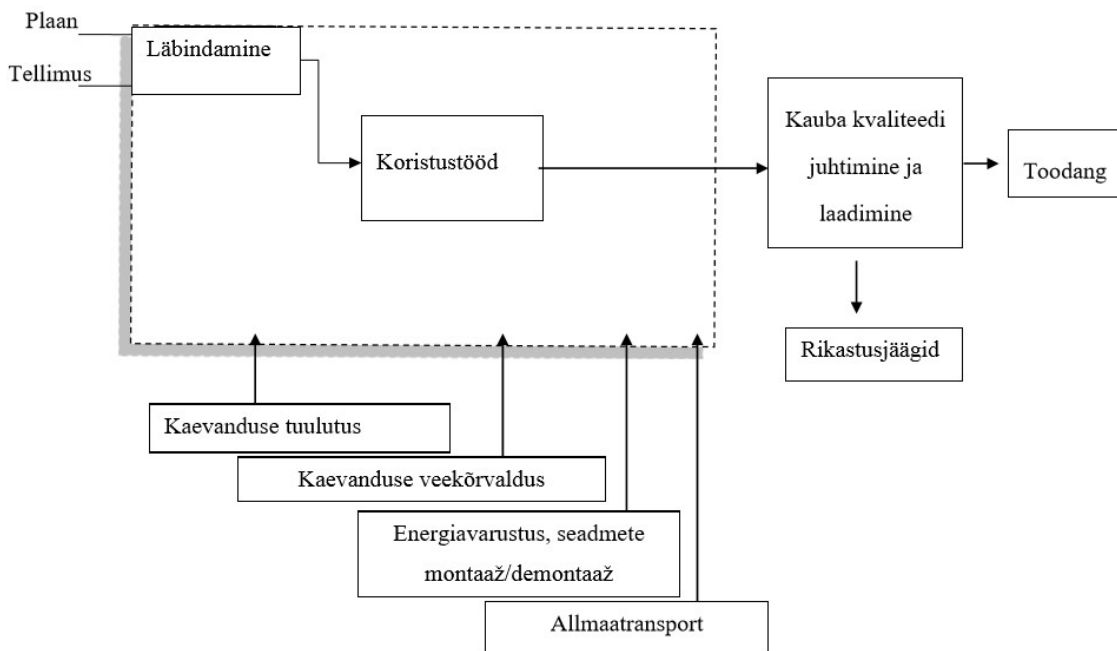
2016. aasta seisuga on kaevanduse aastane toodang 8,3 mln tonni. Sarnase kaevandamismahu korral jätkub kaevanduses varusid veel umbes 15 aastaks. Estonia kaevanduse kaevandatava varu suurus on 264 mln tonni põlevkivi. Enamus kaevanduse toodangust müüakse kontsernisiseselt Eesti Energia elektrijaamadele ja õlitööstusele. [3]
[11]

Kaevanduse iseloomustus

Estonia kaevandus on jagatud paneelideks, mida eraldavad veo-, konveier- ja tuulustusstrekid. Paneelid on omakorda jagatud kamberplokkideks, kus kasutatakse lae ülalhoidmiseks ruudukujulisi tervikuid küljepikkusega 6...7 meetrit. Kambrite laius sõltub geoloogilistest tingimustest, kuid enamasti on 7...8 meetrit. Kirde-edela suunalised peastrekid eraldavad kaevanduse põhja- ja lõunaosa. Välja lõunaosas on paneelstrekide asimuut 150° ja põhjaosas 330°. Kaevandamistöde suund on kaevandusõuest kaevandusvälja piiride poole. [4]

Tööprotsessid

Kaevanduse põhiprotsessideks on läbindus- ehk ettevalmistustööd ning koristustööd. Neid toetavad protsessid on tuulutus, veekõrvaldus, energiavarustus, seadmete montaaž/demontaaž ja allmaatransport. [5]



Tabel 1. Estonia kaevanduse põlevkivi kaevandamise põhiprotsessid [5]

Tuulutuse eesmärgiks on tagada kasutusel olevates kaeveõntes pidev õhuvahetus, et töölistel oleks võimalik töötada. Kaevanduse allmaaosas tuulutamiseks kasutatakse pealmaaventilaatoreid, mis annavad läbi tuulutussurfide kaevandusse värsket õhku. Kaevanduses juhitakse värsket õhku mööda transpordi- ja konveierstrekke kamberplokkidesse ja läbinduskaeveõntesse. Heitõhk suunatakse tuulutustõkete ja teiste rajatiste abil tuulutustrekki ja sealt šurfi kaudu maapinnale. Kaeveõntes eraldatakse kasutatud ja värsket õhuvoo üksteisest tervikute ja tuulutustõkete abil. Kasutatud ja värsket õhuvoo ristumiskohtadesse ehitatakse õhusild ehk crossing, mis välistab õhuvoo segunemise. Talvel soojendatakse kaevanduse õhku mäemassiivi soojuse arvelt, milleks juhitakse külm õhk väljatõttatud kamberplokkide kaudu töökohtadesse. Kamberplokkidesse suunatakse värsket õhku mööda kogumistrekke ning pärast töökohtade tuulutamist liigub heitõhk külgstrekide kaudu tuulutustrekkidesse. Läbinduskaeveõntes kujutab endast umbkaeveõnt ning selle tuulutamiseks kasutatakse survetuulutust, mille kohaselt suunatakse värsket õhuga töökohta kohaliku tuulutusventilaatori tuulutustorude abil. Töökohta tuulutuseks vajaminev õhuhulk arvutatakse metoodika järgi, mis arvestab ees töötavate inimeste arvu ja eraldunud mürkgaaside hulka (lõhketöödest tekkinud gaasid, diiselmootorite heitgaasid).

Veekõrvalduse eesmärgiks on kaevandusvee ärajuhtimine mööda veekõrvaldussooni ja veekraave allmaa veekoguritesse ja nendest vee väljapumpamine maapinnale. Mööda kaevanduse veekõrvaldussooni ja veekraave juhitakse kaevandusvesi kamberplokkidest, läbindus- ja teistest kaeveõõntest allmaa veekoguritesse. Allmaapumplates asuvate pumpade abil pumbatakse kaevandusvesi maapinnal asuvasse settebasseinidesse. Pärast vee setitamist liigub see mööda maapealseid veekraave looduslikesse veekogudesse.

Energiavarustusega tagatakse kaevandustehnoloogia toimimine. Alutaguse ja Põhja alajaamad saavad toite Eesti Energia 110 kV ja 6 kV kõrgepingevõrgust. Alutaguse alajaamast saavad toite objektid, mis asuvad kaevanduse maapealsel tööstusterritooriumil: remondi- ja laomajandusehoone, abi-administratiivhoone, administratiivhoone, mäepäästehoone, rikastusvabrik, tehnoloogilise auto- ja traktoritehnika garaažid, muud auto- ja traktorimajanduse garaažid, allmaa lõuna-, ida- ja läänetiiva kaevevälja osad, allmaapumplad ja pealmaa ventilaatorid. Põhja alajaamast saavad toite kaevevälja äärealadel töötavad tootmisüksused. Allmaatarbijaid varustatakse pingega 6 kV läbi trafoalajaamade.

Allmaatranspordi abil toimub kaevisse vedu kaeveõõntes ja kaevandusest maapinnale ning inimeste ja materjalide vedu kaevanduses. Kaevanduses esineb kaks liiki transporti: konveier- ja autotransport.

Konveiertranspordi korral toimub kaevandatava kaevisse vedu lintkonveiereid mööda põlevkivi laadimiskompleksi ja põlevkivihoidlasse. Kamberploki koristusest veetakse raimatud kaevis kopplaaduritega kraapkonveieritele. Seal liigub kaevis läbi kraapkonveieril asuva purusti või toituri-purusti, kus toimub ülemõõduliste tükkide purustamine. Kraapkonveierilt või toituri-purustist kukub kaevis lintkonveierile, mida mööda transporditakse see kaevandusõues olevasse kaevisse peapunkrisse. Seal laaditakse kaevis toituri abil peatõste konveierlintidele, mida mööda jõuab see maapinnale.

Autotranspordi eesmärgiks on kaevisse, inimeste, lõhkematerjalide, kütte- ja määrdeainete, seadmete, mehhanismide ja muude materjalide vedu. Allmaa autotranspordi marsruudid jagunevad üldkasutatavateks ja jaoskonna jaoks kasutatavateks. Jaoskonna jaoks kasutatava marsruuti määratakse mäetöödest või mäetingimustest tulenevateks übersõitudeks, samuti läbinduskaeveõõntesse, kus toimub kaevisse laadimine kaevanduskalluritele ning nende liiklus. Kallurid veavad kaevisse ümberlaadimispunkti, kust see transporditakse läbi kraapkonveieri ja purusti paneeli lintkonveierile.

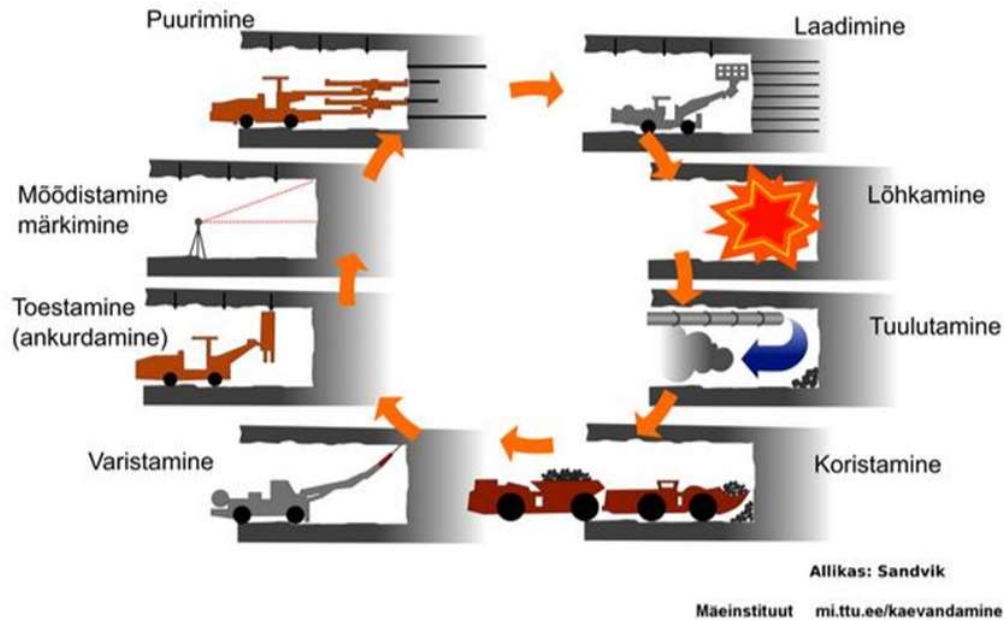
Autotranspordivahendid on allmaautod, -autobussid, -kallurid ja teised seadmete, mehhanismide või materjalide veoks vajalikud ratasveokid. [5]

Ettevalmistustööd

Läbindus- ehk ettevalmistustöödega rajatakse juurdepääs kaevandatavasse alasse. Läbindustööde eesmärgiks on lõigustada kaeveväli paneelideks ja kamberplokkideks ning tagada kaevanduse tuulutus ja inimeste liikumisvõimalus. Lisaks paigaldatakse vajalikud transpordiseadmed ning kommunikatsioonid. Läbindustöödel toimub kivimi raimamine puur- ja lõhketöödega. Allmaakaevetööde läbindamine toimub puur- ja lõhketööde passi alusel.

Kaevetööde läbindamise töösükkel koosneb:

- kaevetööde ee, külgede ja lae kontroll ning puhastamine lahtikoorunud ripikutest
- puuraukude puurimine lähilakke ja sinna ankrupoltide paigutamine, vajadusel täiendav raamistikuga toetamine
- algmurde puurimine
- lõhkeaukude puurimine
- tuulutustorude paigaldamine
- veekõrvaldussoone soonimine
- lõhketöö teostamine
- kaevetööde tuulutamine
- kaevise laadimine kopplaaduriga allmaakalluritele
- kaevise vedu allmaakalluritega ümberlaadimispunkti



Joonis 2. Läbindustööde protsesside järjestus [18]

Värske õhujoaga kaeveõõnde paigaldatakse kohaliku tuulutuse ventilaator, mille tuulutustorude abil antakse värske õhk vahetult läbindustööde tegemise kohta st umbkaeveõõnde. Heitõhk liigub vastavalt üldkaevanduslikule tuulutusskeemile väljuva õhujoaga šurfi kaudu maapinnale.

Läbinduskaeveõõnte põrandasse soonitakse soonuriga veekõrvaldussooned, mis kaetakse kinni nende töökorrasoleku kindlustamiseks laudadega. Veesooned ühendatakse paneeli tuulutusstrekil asuva veekraaviga, mida mööda jookseb vesi kaevanduse allmaa-veekoguritesse ja sealt allmaapumplates asuvate pumpade abil pumbatakse see maapinnal asuvatesse kaevandusvee settebasseinidesse.

Kaeveõõne lähislagi toestatakse ankurtoestikuga. Ankrute paigaldamiseks puuritakse puurseadmega kaeveõõne lakke puuraugud. Pärast ankrupoldi kinnitamist puurauku, keeratakse ankrupolt mehaanilise võtmega kinni ja seejärel pingutatakse. Kogu tsükli võib teostada automaatselt vastava ankurduspingiga.

Puurimist teostatakse kaevisel lahtimurdmiseks mäemassiivist (horisontaalne puurimine) ja lähislae toestamiseks (vertikaalne puurimine). Puuraugud puuritakse lakke iseliikuva puurseadmega. Kaeveõõne lagi toestatakse vastavalt toestuspässile. Lõhkeaugud puuritakse puurseadmega vastavalt puur- ja lõhketööde pässile.

Lõhketööde eesmärgiks on kaevisse lahti murdmise mäemassiivist, mida kasutatakse kaeveõõnte, veekõrvalduskraavide ning eriotstarbeliste allmaarajatiste läbindamiseks. Lõhketööd viib läbi koolitust saanud lõhkemeister. Patroneeritud lõhkeaine lõhketööga seotud tehnoloogiline tsükkel:

- laadimisala tähistamine
- lõhkematerjalide võtmine lõhkematerjalide veomasinast
- lõõkpadruni valmistamine ja lõhkeauku paigutamine
- lõhkeaugu laadimine ja topistamine
- lõhkevõrgu montaaž
- lõhketööga mitteseotud inimeste kõrvaldamine ohtlikust alast
- laadimisala tõkke eemaldamine
- lõhkematerjalide veomasina sõitmine ohutusse kohta
- valvpostide ja hoiatusmärkide ülesseadmine
- lõhkevõrgu ühendamine magistraaljuhtmega ja selle viimine lõhkemeistri varjumiskohta
- lõhkamise algust tähistava helisignaali andmine
- magistraaljuhtme ühendamine elektrisüüturiga
- lõhkevõrgu terviklikkuse kontroll
- lõhkamine
- tuulutamine
- lõhkamiskoha kontroll
- tõrkelaengute likvideerimine või tähistamine
- lõhketöö lõppu tähistava helisignaali andmine
- lõhkematerjalide arvestusega seotud dokumentide vormistamine ja lõhketööde jaoskonda esitamine.

Kaevisse laadimiseks kasutatakse diiselajamiga kopplaadureid. Nende tööd läbinduses reglementeerib ettevalmistuskaeveõõne rajamise projektis sisalduv tehnoloogiline skeem. Kopplaaduritega allmaakalluritele laaditud kaevisse veavad kallurid kaevisse ümberlaadimispunkti, kus see satub läbi purusti ja kraapkonveieri lintkonveierile ja sealt edasi kaevandusõues olevasse kaevisse peapunkrisse. [5]

Koristustööd

Koristustöödel kasutatakse kamberkaevandamiseviisi, mis eeldab põhilae ülalhoidmist tervikutel ning lähislae toestamist ankurtoestikuga. Kaevis raimamiseks kasutatakse puur-lõhketöid, kus ühes lõhketööde tsüklis toimub ee edasihihe 3,4...3,6 m. [6]

Kaevanduse pealmaa ventilaatorite poolt maa alla suunatav värske õhk liigub kald- ja/või vertikaalšurfide kaudu rööbas-, transpordi- ja konveierstrekke mööda kamberplokidesse. Kasutatud õhk suunatakse tuulutustökete ja teiste rajatiste abil tuulutusstrekki ja sealt läbi šurfide maapinnale.

Kaeveõõne lähislagi toestatakse ankurtoestikuga. Ankrute paigaldamiseks puuritakse ankurdamispingiga või puurseadmega kaeveõõne lakke puuraugud. Ankurdamispingiga ankrute paigaldamisel juhitakse toestamise protsessi (puuraukude puurimine, ankrute paigaldamine) ankurdamispingi kabiinist või distantsjuhtimise puldiga väljaspool kabiini. Puurseadmega puurimisel, pärast ankrupoldi kinnitamist puurauku, keeratakse ankrumutter mehaanilise võtmega kinni ja seejärel pingutatakse. [5]

Kamberplokis puuritakse kuus algmurde puurauku sügavusega 4,2 m. Puurimisinstrumendina kasutatakse rataskäigul puurmasinaid, millel on kolm puuri diameetriga 280 mm ning pikkusega 4,7 m. Ülejäänud lõhkeaugud puuritakse 4,0 m sügavusele, milleks kasutatakse läbimõõduga 35...38 mm puuripeaga puurvarrast. [3]

Kambriplokkides kasutatakse pumbatavat emulsioonilõhkeainet, mille valmistamiseks kasutatakse mobiilset laadimismasinat (Orica Eesti OÜ). Antud masin valmistab korraga lõhkeaine ja pumpab selle lõhkeauku. Pärast lõhketöid toimub kambrite tuulutus üldkaevandusliku kompressiooni arvelt, mida tekitavad maapealsed ventilaatorid. [6]

Kaevis laadimiseks koristusetest kasutatakse diiselajamiga laadurveokeid. Nende tööd kamberplokis reglementeerib kamberploki kaevandamise projektis sisalduv tehnoloogiline skeem. Lõhketöödega lahtimurtud kaevis laaditakse laadurveokitega kraapkonveierile. Kaevis liigub läbi kraapkonveieril asuva purusti, mis purustab suuremõõdulised tükid. Kraapkonveierilt liigub kaevis kogumisstrekil asuvale lintkonveierile ja sealt paneeli lintkonveieritele.

Allmaa kaeveõõntes, kus on tootmistegevus lõpetatud, võetakse vastavalt lahtitoestamise tehnoloogilisele skeemile ankrud laest välja. Seda tööd teevad vähemalt

kaks inimest liikurtoestiku abil. Kvaliteetsed väljatud ankrud lähevad korduvkasutusse lagede toetamiseks. [5]

Kaevis rikastamine

Rikastusvabrikus toimub kaevandusest tulnud kaevis sorteerimine ja põlevkivi rikastamine. Pärast kaevis eelnevat purustamist purustuskorpuses liigub kaevis galeriidesse monteeritud lintkonveieritel rikastusvabriku tehnoloogilistele liinidele. Sõeltel toimub põlevkivi selekteerimine ja seejärel saadetakse rikastamise lõpp-produkt läbi laadimiskompleksi tarbijatele või ladustatakse põlevkivi hoidlasse. Suurema fraktsiooni rikastamine toimub magnetiitsuspensiooni abil. Pärast põlevkivi pesemist magnetiidist liigub põlevkivi laadimiskompleksi ja sealt edasi tarbijatele või põlevkivi hoidlasse. Rikastusjäätgid (aheraine) saadetakse pärast magnetiidist pesemist mööda lintkonveiereid punkritesse. Pärast purustamist ja sõelumist saadakse vajaliku tükisuurusega killustik. Killustik transportitakse mööda lintkonveiereid, ladustatakse laos, seejärel laaditakse otse tarbijatele. [5]

GEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS

| Kihi indeks | Läbilõige | Kihi paksus, m | Kõrgus A kihist | Kütteväärtus, MJ/kg | Kivimite lühike iseloomustus |
|----------------------------------|-----------|----------------|-----------------|---------------------|---|
| | | | | | Savikas lubjakivi |
| H | | 0,40 | 5,39 | 6,7 | Põlevkivi, sisaldab kuni 50% paekongretsioone |
| G/H | | 0,25 | 4,99 | 0,25 | Savikas lubjakivi |
| G | | 0,36 | 4,74 | 10,17 | Põlevkivi, sisaldab paekongretsioone kuni 15% |
| lub. | | 0,06 | 4,38 | 0,42 | Savikas lubjakivi |
| F ₅ | | 0,05 | 4,32 | | Savikas põlevkivi |
| lub. | | 0,20 | 4,27 | | Tihes savikas lubjakivi |
| F ₄ | | 0,06 | 4,07 | | Savikas põlevkivi |
| lub. | | 0,15 | 4,01 | | Savikas lubjakivi |
| F ₃ | | 0,38 | 3,86 | 2,72 | Lubjakivimugulatega põlevkivi |
| F ₂₋₃ /F ₃ | | 0,15 | 3,48 | 0,16 | Tihes savikas lubjakivi |
| F ₂₋₃ | | 0,19 | 3,33 | 2,80 | Lubjakivimugulatega savikas põlevkivi |
| V.L | | 0,16 | 3,14 | 0,18 | Savikas lubjakivi |
| F ₂ | | 0,24 | 2,98 | 3,34 | Põlevkivi, sisaldab kuni 45% paekongretsioone |
| F ₁ | | 0,45 | 2,74 | 8,29 | Põlevkivi, sisaldab kuni 35% paekongretsioone |
| E | | 0,55 | 2,29 | 11,75 | Kollakaspruun põlevkivi, sisaldab kuni 20% paekongretsioone |
| D/E | | 0,06 | 1,74 | 2,47 | Lubjakivi kerogenilisandiga |
| D | | 0,08 | 1,68 | 7,43 | Nõrgalt savikas põlevkivi |
| C/D | | 0,28 | 1,60 | 0,00 | Lubjakivi |
| C | | 0,31 | 1,32 | 11,38 | Põlevkivi, sisaldab paekongretsioone kuni 15% |
| B/C | | 0,15 | 1,01 | 2,82 | Bituminoosne lubjakivi |
| B | | 0,44 | 0,86 | 17,42 | Puhas kerge põlevkivi |
| A ₁ /B | | 0,20 | 0,42 | 0,22 | Savikas lubjakivi |
| A ₁ | | 0,06 | 0,22 | 5,84 | Mergiline põlevkivi |
| A/A ₁ | | 0,03 | 0,16 | 2,44 | Lubjakivi kerogenilisandiga |
| A | | 0,13 | 0,13 | 11,27 | Erepruun kerge ja puhas põlevkivi |

Joonis 3. Lähislae ja tootuskihindi läbilõige [7]

Põlevkivikihid ja nendega vahelduvad lubjakivikihid erinevad teineteisest paksuse, kihi sisemise ehituse ja koostise poolest. Kõige alumine põlevkivikiht (A kiht) on värvuselt erepruun ning võib mõnes kohas olla savikas. Teda eraldab järgnevast A1 kihist 3...4 cm paksustest läätsetaolistest mugulatest koosnev savika lubjakivi katkendlik vahekiht (A/A1). A1 kiht kujutab endast õhukest (6...7 cm) savikat kukersiiti. A1 ja B kihti eraldab kuni 20 cm paksune sinakashalli savika lubjakivi kiht, mida kutsutakse „siniseks paeks“ (A1/B). B kiht on kõige paksem ja enamasti kõige suurema kerogeenisisaldusega (kuni 50%) põlevkivikiht. B kihi kukersiiti iseloomustab šokolaadipruun värvus, väga peen kihilisus, mis on markeeritud kihipindadele kogunenud fossiilide õrnade valgete lubiskelettide ja detriidiga. B kiht on eraldatud järgmisest C kihist katkendliku, 15 cm paksuse kerogeenilisandist beeživärvilise kõva ja tiheda lubjakivi vahekihiga B/C. C kihi põlevkivi kerogeenisisaldus on väiksem kui B kihis ja kihti läbivad kahel või kolmel tasemel lubjakiviläätsete katkendlikud vahekihid. C kihi paksus jääb enamasti 30 cm juurde. Iseloomulikuks tunnuseks on kihi ülemises neljandikus leiduvad valge lubiainesega täitunud kuni 0,5 cm läbimõõduga ussikäigud, mis muudavad kivimi ristlõike valgemummuliseks.

Lubjakivikiht C/D lasub tootuskihi keskosas paksusega kuni 30 cm. Kiht laguneb tihti keskelt pooleks, millest ka nimetus „kaksikpaas“. Vahetult „kaksikpael“ lasuv D kiht on esindatud nõrgalt savika põlevkiviga, millel paksust kuni 10 cm. D ja E kihti eraldav lubjakivi on kerogeenilisandist beežikas-roosaka värvusega, kõva, ebaühtlase paksusega ning kohati katkendlik. D/E kihti kutsutakse selle värvuse tõttu „roosaks paeks“. E kihi paksus jääb 0,5 m juurde, lubjakivimugulate sisaldus kihis on keskmiselt 20%. Värvuselt on E kiht kollakaspruun ning organismide lubiskelettide jäänused (detriit) on peenikesed ja kivimis ühtlaselt jaotunud. E kihile järgnevas põlevkivikompleksis võib eraldada kaks ilma selgete piirideta, kuid üksteisest mõnevõrra erinevat taset – kihid F1 ja F2. Piir E ja F1 kihi vahel pannakse tavaliselt sinna, kus lubjakivimugulad muutuvad kujult ja paiknemiselt korrapärasemaks. F1 kihi suhteliselt kerogeenirikkas (kuni 40%) põlevkivis on 6...7 õhukest horisontaalset katkendlikku lubjakivi vahekihti. Kihi paksus ulatub kuni 60 cm. Kihtide F1 ja F2 vahel puudub samuti selge piir. F2 kihiks loetakse kompleksi ülemist kuni 30 cm paksust osa, milles kerogeenisisaldus ülespoole pidevalt väheneb ja suureneb karbonaatse materjali osakaal. Kihis on rikkalikult lubjakivimugulaid. F2 kihist ülespoole jäävad vahekihid sisaldavad savikaid lubjakive ning F2-3 ja F3 on lubjakivimugulatega põlevkivi kihid. [7] [8]

| Geol. Indeks | Sügavus,m | | Paksus, m | Läbilõige | Kivimite kirjeldus |
|-------------------|-----------|-------|-----------|-----------|---|
| | alates | kuni | | | |
| Q | 0,0 | 2,60 | 2,60 | | Liivsavid, liivad |
| O _{2 rk} | 2,60 | 13,50 | 10,90 | | Tühikulised dolomiidid peeneteralised lubjakivid. Kivimid kohati purunenud. |
| O _{2 on} | 13,50 | 16,50 | 3,00 | | Mergel lubjakivid |
| O _{2 kl} | 16,50 | 28,00 | 11,50 | | Monoliitsed savikad lubjakivid. Kohati purunenud. |
| O _{2 ih} | 28,00 | 39,00 | 11,00 | | Savikad lubjakivid. |
| O _{2 id} | 39,00 | 45,50 | 6,50 | | Savikad lubjakivid põlevkivi vähekihtidega. |
| O _{2 kk} | 45,50 | 60,64 | 15,14 | | Savikad lubjakivid põlevkivi vähekihtidega. |
| | | | | | Tootuskiht |

Joonis 4. Estonia kaevanduse litoloogiline läbilõige [7]

Estonia mäeeraldis asub Viru lavamaa ja Alutaguse madaliku piiril, kus maapinna absoluutkõrgus on kaevandusala põhjaosas valdavalt 55...75 m ning ala lõunaosas 45...65 m. Pinnakatte paksus on mäeeraldisel alal valdavalt 2...5 m, kohati on alasid kus pinnakatte paksus jääb alla 1 m. Pinnakate koosneb valdavalt alla 3 m paksusest moreenist, mida osaliselt katab saviliiv ja liivsavi. Veeriselist liiva esineb Kõnnu oosi piirkonnas ja erineva lagunemisastmega turvast Selisoos ja Ratva rabas, kuid ka õhukese kihina mujal liigniisketel metsaaladel.

Mäeeraldis asub ordoviitsiumi lubjakivide avamusalal. Ordoviitsiumi ladestu moodustab karbonaatkivimite kompleks – erineva savikusega lubjakivi ja dolomiit, mis sisaldavad kihtidena savi, metabentoniiti ja põlevkivi. Ladestu paksus suureneb 20 m põhjas kuni 100 meetrini ala lõunaosas. Valdaval alal mäeeraldisest lasuvad Kukruse lademel Idavere (O₂id), Jõhvi (O₂jh), Keila (O₂kl), Oandu (O₂on), Rakvere (O₂rk) ja kohati Nabala (O₂-₃nb) lademete lubjakivi ja mergli kihid kogupaksusega 40...50 m.

Põlevkivi esineb põhiliselt ülem-ordoviitsiumi Kukruse lademes, mille 15-meetrise üldpaksusest moodustavad põlevkivikihid ca 4 m. Kõige paksemad ja pindalaliselt väljapeetud põlevkivikihid on koondunud Kukruse lademe alumisse ossa, kus nad moodustavad põlevkivi- ja lubjakivikihtide vaheldumise läbi keerulise ehitusega kompleksi, mis kokku moodustab käesoleval ajal kaevandatava tootsa kihindi. Kaevandatava tootsa põlevkivikihind mäeeraldise alal on 2,3 kuni 3,1 meetri paksune. Kaevandatava põlevkivi lasuvussügavus on Estonia keavanduse mäeeraldise põhjaosas 37...60 m sügavusel ning Eesti aluspõhja lõunasuunalisest kaldest tingituna mäeeraldise lõunaosas ca 75 m sügavusel. Ordoviitsiumi kompleksi all lasuvad kambriumi ning vendi liiva- ja savikivimid kogupaksusega 170...200 m. [1]

Tootuskihindi füüsikalised-mehaanilised omadused

| Kihi indeks | Mahukaal, t/m ³ | Protodjakonovi tugevusarv | Survetugevus, MPa | |
|-------------|----------------------------|---------------------------|-------------------|------|
| | | | min | max |
| F3 | | | | |
| F2-3/F3 | | | | |
| F2-3 | 2,25 | 2,3-8,9 | 22,5 | 87,8 |
| V.L | | | | |
| F2 | 2,07 | 2,4-4 | 23,5 | 39,2 |
| F1 | 1,8 | 2,4-4 | 23,5 | 39,2 |
| E | 1,66 | 2-3 | 19,6 | 29,4 |
| D/E | 2,11 | 3-5 | 29,4 | 54,0 |
| D | 1,83 | 1,5-3 | 14,7 | 29,4 |
| C/D | 2,46 | 6-7 | 58,8 | 85,0 |
| C | 1,55 | 1,8-2,6 | 17,2 | 25,5 |
| B/C | 2,18 | 5,8-7,3 | 56,8 | 71,5 |
| B | 1,45 | 1,5-3 | 14,7 | 29,4 |
| A1/B | 2,38 | 4-7 | 41,2 | 67,6 |
| A1 | 1,81 | 1,6-2 | 15,7 | 18,4 |
| A/A1 | 2,19 | 1,5-3 | 14,7 | 29,4 |
| A | 1,43 | 1,6-2 | 15,7 | 18,4 |

Tabel 2. Tootuskihindi füüsikalised-mehaanilised omadused [12]

Arvestades töös kasutatavaid iseliikuva soonuri tehnilisi parameetreid on tabelis välja toodud erinevate põlevkivi kihtide füüsikalised-mehaanilised omadused. Tabelist võib järeldada, et kõige rohkem kulutab tööorgan oma löiketerasid lubjakivi vahekihtides. Märkimist väärib F2-3 vahekiht, millel on maksimaalne survetugevus ja Protodjakonovi tugevusarv. Suure survetugevuse ja Protodjakonovi tugevusarvuga on ka C/D kiht ehk kaksikpaas paksusega 30 cm. [12]

Hüdrogeoloogia

Estonia kaevanduse mäeeraldise piirkonna hüdrogeoloogilises läbilõikes on esindatud järgmised veekompleksid ja veekihid:

1. Kvaternaari veekompleks
2. Ordoviitsiumi veekompleks
 - Nabala-Rakvere veekiht
 - Keila-Kukruse veekiht
 - Lasnamäe-Kunda veekiht
3. Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleks
4. Kambriumi-Vendi veekompleks
 - Voronka veekiht
 - Gdovi veekiht
5. Kristalse aluskorra lõhelise vööndi põhjavesi

Kvaternaari veekompleks (Q) saab oma vee erineva geneesiga setetest, mille paksus ja levik on väga muutlikud. Põhjavesi on vabapinnaline ja veetasemete muutused on mõjutatud meteoroloogilistest teguritest. Õhukese pinnakatte tõttu on ka Q veekompleks vaadeldaval alal õhuke valdavalt 2...5 meetrit, väljaarvatud oosid, kus see võib ulatuda üle 15 m. Kvaternaari settekompleksis vaadeldavas piirkonnas omaette põhjaveekihti ei moodustu, kui välja arvata kvaternaarisetetega täitunud ürgorud.

Ordoviitsiumi veekompleksi (O) vettandvateks kivimiteks on lubjakivi ja dolomiit, mille veerohkus sõltub nende lõhelisusest ja karstumusest ning on reeglina ebaühtlane nii pindalaliselt kui ka läbilõikes. Vooluhulga-karotaaži andmed näitavad, et Siluri ja Ordoviitsiumi ladestu karbonaatkivimites levivad katkendlikud kihilisusega paralleelsed, enamasti 1...2 m paksused suhteliselt tugevasti lõhestunud vööd, mille kaudu põhjavesi liigub lateraalsuunas ka puurkaevudesse. Keskmiselt annab 15 m paksune ülemine sügavusvahemik ligikaudu poole kogu puurauku tungivast veest. Kivimikompleksi selle osa veejuhtivus on keskmiselt 400 m²/d.

Ordoviitsiumi ladestu geoloogilises läbilõikes esinevad savikas lubjakivi ja mergel on oma füüsikaliste omaduste poolest plastsemad ja vähem lõhelised. See võimaldab veekompleksi piires eraldada suhteliselt iseseisvaid veekihte, millel on erinevad

hüdrogeoloogilised ja hüdrodünaamilised omadused. Vaadeldaval alal eristatakse Ordoviitsiumi veekompleksis Nabala-Rakvere, Keila-Kukruse ja Lasnamäe-Kunda veekihti.

Nabala-Rakvere veekihi (O_3nb-rk) moodustavad ülem-ordoviitsiumi Nabala ja Rakvere lademe lõheline, kavernoosne, kohati dolomiidistunud ja karstunud lubjakivi. Vettjuhtiva kivimikompleksi paksus ulatub 25 meetrini. Veekihi lamamiks on Oandu ja osaliselt ka Keila lademe vett vähe läbilaskev savikas lubjakivi ja mergel. Põhjaveetase lasub 0,3...6,0 m sügavusel maapinnast ning vesi on valdavalt surveta.

Keila-Kukruse veekihi (O_3kl-kk) vettandvateks kivimiteks on Keila, Haljala ja Kukruse lademe lõheline ja kohati kavernoosne dolomiidistunud lubjakivi. Veekihi lasumiks ning lasuvaks veepidemeks on Oandu lademe savikas lubjakivi ja mergel, lamamiks aga kesk- ordoviitsiumi Uhaku lademe tugevalt savikast ja tihedast lubjakivist koosnev 10-15 m paksune veepide. Vettandvate kivimite paksus on Estonia kaevanduse mäeeraldise piirkonnas ligikaudu 30...40 m, töötavate kaevanduste ja karjääride piirkonnas on veetase alandatud kuni veekihi lamamini. Töötavate ja likvideeritud kaevanduste piirkonnas on põhjavees tõusnud sulfaatide, kaltsiumi, magneesiumi sisaldus ning üldmineraalsuse väärtus. Mäetööde piirkonnas kuivendatakse põhjaveekihti, sest selle vesi võtab vahetult osa kaevandusvee moodustamisest.

Lasnamäe-Kunda veekiht (O_2ls-kn) koosneb Lasnamäe, Aseri ja Kunda lubjakividest ja dolomiitidest. Veekiht lasub Estonia kaevanduse mäeeraldise piirkonnas 70...130 m sügavusel maapinnast. Veekihi alumiseks suhteliseks veepidemeks on Volhovi lademe Leetse kihistu savikas glaukoniitlubjakivi ja -liivakivi, samuti Varangu lademe savi ja Pakerordi lademe argilliit. Veekihi põhjavesi on valdavalt survealine, veetaseme lasumissügavus on kuni 25 m, põlevkivikaevanduste mõjupiirkonnas võib veetase paikneda sügavamal. [1]

Ordoviitsiumi-kambriumi veekompleks, mille paksus on 20 m, levib alamordoviitsiumi Pakerordi lademe alamkambriumi Tiskre kihistu liivakivis. Põhjavesi on survealine ning keskmine veejuhtivus on $15 \text{ m}^3/\ddot{o}p$.

Kambriumi-vendi veekompleksi moodustavad moodustavad Voronka ja Gdovi veekiht. Vaadeldaval alal on kaks puurkaevu, mis avavad kambriumi-vendi veekompleksi ja üks puurkaev, mis avab Voronka veekihti.

Voronka veekiht esineb peene- ja keskmiseteralises liivakivis, mille paksus on 15...18 m. Veekihi lasumiks on paks kiht Lontova savi, lamamiks Kotlini savi. Põhjavesi on survealine, veetase on 10 m alla merepinna.

Gdovi veekiht paikneb Kotlini savide all 18 m paksuses keskmise- ja jämedateralises liivakivis. [2]

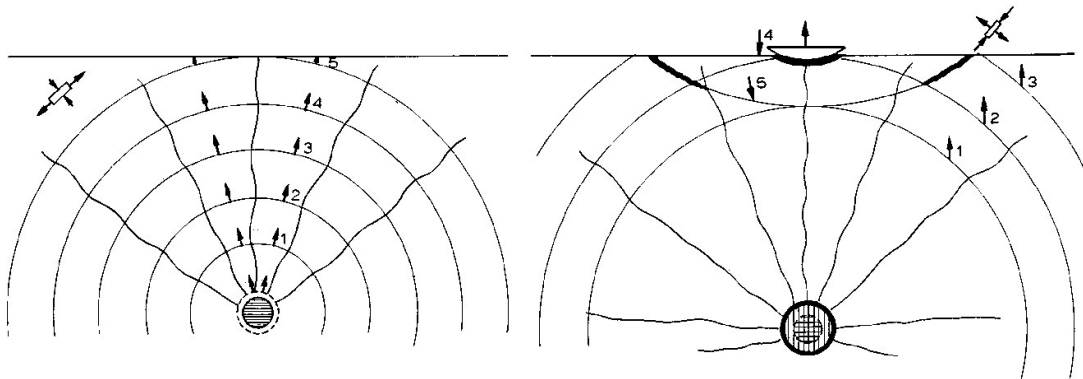
Estonia kaevanduse 2016 aastal välja pumbatud vee maht on 68,28 miljonit m³.
[3]

KIVIMITE LÕHKAMISE ÜLDPÕHIMÕTTED

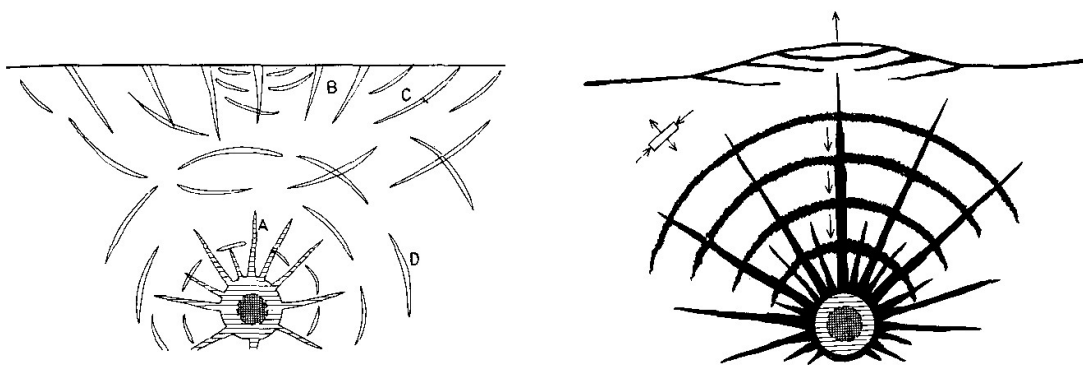
Laengu toime kivimis

Laengu plahvatusel tekib kõigepealt laengus eneses lööklaine, mis levib seejärel ka laengu vahetus läheduses ühelikiirusega. Kivimis levides muutub lööklaine (sõltuvalt lõhatava kivimi omadustest) ca 5...7 laengu läbimõõdu kaugusel helikiirusega levivaks pingelaineiks. Veel kaugemal (üle 100 laengu läbimõõdu) muutub pingelaine sama kiirusega levivaks seismiliseks laineks. Plahvatusel tekkivate gaaside rõhk ja lööklaine tekitavad kivimimassiivis levides suuri radiaalseid survepingeid ning tangentsiaalselt suunatud tõmbepingeid. Laengu vahetus läheduses, kus lööklainest tekkiv survepinge ületab mitmekordselt kivimi survetugevuse, tekib pihustatud kivimiga osaliselt täidetud õõs, mida nimetatakse surualaks. Surualale järgneb purustusala, milles plahvatusgaaside poolt põhjustatud tõmbepinged ületavad kivimi tõmbetugevuse. Purustusalas säilitab kivim oma struktuuri, kuid selles tekivad tihedad radiaalsed ja kontsentrilised lõhed, seega selles alas kivim puruneb. Radiaalsed lõhed moodustavad laengust leviva pingelaine mõjul ning kontsentrilised lõhed tekivad kogunenud potentsiaalse energia mõjul kivimi tagasinihkel laengu suunas pärast plahvatusgaaside rõhu vähenemist.

Plahvatusel tekkinud pingelaine levib kuni vaba pinnani, misjärel peegeldub see vastavalt geomeetrilise optika seadustele tagasi laengu suunas. Peegeldunud pingelaine toimel tekivad kivimimassiivis radiaalsed tõmbepinged ning tangentsiaalsed survepinged. Laengust leviva ning peegeldunud pingelainete liitumisel võivad vaba pinna läheduses tekkivad radiaalsed tõmbepinged ületada kivimi tõmbetugevuse, mille tagajärjel kivim puruneb ning purustusala on vaba pinna suunas välja venitatud. [21]



Joonis 5. Laengust tekkivate lainete levik kivimis [21]



Joonis 6. Plahvatuse üldtoime [21]

Lõhketööde meetodid

Lõhketööde meetodi valikult lähtutakse purustava kivimi mehhaanilistest omadustest, geoloogilistest tingimustest ja lõhketööde eesmärgist. Antud magistritöös kasutatakse lõhkeaugumeetodit, mis seisneb kivimisse puuritud lõhkeaukudesse paigutatud laengute lõhkamises. Lõhkeaugumeetodi kasutamise tõhusus sõltub oluliselt laengu ehitusest, lõhkeaukude paigutusest, vabade pindade arvust ning laengute lõhkamise järjekorrast. Sõltuvalt vabade pindade arvust liigitatakse lõhkeaugumeetod kaheks: a) lõhkeaugumeetod ühe vaba pinna puhul; b) lõhkeaugumeetod kahe ja enama vaba pinnaga. Kuna allmaakaevandamisel on reeglina etes üks vaba pind, siis on järgnevalt kirjeldatud lõhketööde meetodit ühe vaba pinna puhul. [21]

Ühe vaba pinnaga lõhkamise korral sõltub lõhkeaukude asetus ees purustava kivimi kõvadusest ja struktuurist, aga ka rajatava kaeveõone kujust ja mõõtmetest ning veel

paljudest muudest teguritest. Allmaatöödel tuleb esimeste laengute lõhkamisega moodustada veel üks täiendav vaba pind ehk algmurre, mis suurendab järgmiste laengute tõhusust. Ühe vaba pinnaga lõhkamisel liigituvad lõhkeaugud algmurde-, raima- ja kontuurlõhkeaukudeks.

Algmurde lõhkeaugud on allmaa-lõhketöödel teistest lõhkeaukudest harilikult 10...20% pikemad. Sõltuvalt algmurde-lõhkeaukude arvust ning nende paigutusest ees, eristatakse ühepoolset kaldlaengutega, mitmepoolset kaldlaengutega ning otsealgmurret. Lisaks nimetatud algmurretele kasutatakse ja on kasutatud lõhketööde praktikas ka erinevaid mehhaanilisel teel loodud algmurdeid, mille puhul täiendav vaba pind luuakse mehhanismide abil, millest levinumad on soonitud ning puuritud algmurded. Soonitud algmurde puhul soonitakse iseliikuva soonuriga ee alumisse pinda (põlevkivikaevandustes põlevkivikihti A) täiendavaks vabapinnaks soon. Puuritud algmurde puhul puuritakse täiendavaks vabapinnaks eerinda suure läbimõõduga (üle 30 cm) puuraugud.

Raimalaengud lõhatakse algmurde laiendamiseks ning purustava kivimi kobestamiseks pärast algmurdelaengute plahvatamist. Raimalõhkeaugud puuritakse risti ee vaba pinnaga ning nende arv ja paigutus sõltub ee ristlõike pindalast ja kujust.

Kontuurlaengute lõhkamisega saavutatakse kaeveõõnele projektis ettenähtud kuju ja mõõtmed. Nimetatud lõhkeaugud puuritakse kaldu kaeveõõne kontuuri suunas. [10]

Erinevad algmurded Eesti põlevkivikaevandustes

Enim kasutatavaim algmurde liik Estonia kaevanduse ettevalmistuskaeveõõntes (kõrgus – 3,8 m; laius – 5,0 m) on püstkiil-almurre põlevkivikihtides B ja C. Nimetatud algmurde liiki on kiire ja mugav puurida. Säärase algmurde kasutamine plastsetes savikates kivimites ei ole alati otstarbekas kuna selle kasutamisel ei moodustu igakord piisavalt suur vaba pind. Sellisel juhul jääb suletustegur liiga suureks, millest tulenevalt suureneb ka lõhkeaine erikulu. Lisaks on kirjeldatud algmurde meetodi probleemiks tervikute stabiilsus. [9] [10]

Mehaaniliste algmurretena kasutatakse Estonia kaevanduse ettevalmistuskaeveõõntes (kõrgus 3,8 m; laius – 5,5 m) puuritud algmurret. Puuraukude pikkus on 3 m ja läbimõõt 20 cm. Kirjeldatud algmurdega saavutatakse küll suur edasinihe

(2,5 m), kuid lõhkeaine erikulu on sellest hoolimata suur kuna summaarne vaba pind jääb väikseks. Samuti ei ole tagatud piisavat tervikute stabiilsust. [17] [10]

Mehaanilise algmurdena on kasutatud varasemalt Eesti põlevkivikaevandustes põlevkivikihi A soonimist. Viiteseeriad liikusid soonitud osast ehk vaba pinna poolt kaeveõõne kontuuride poole (suunaga alt ülesse). See algmurdetüüp andis soonimissügavusega võrdse edasinihke. Samuti saavutati piisavalt suur lõhkeaukudega paralleelne vaba pind. Sellest tulenevalt langes lõhkeaine erikulu, mille tulemusena hoiti kokku lõhkematerjale. Lisaks tagati hea töökindlus ning parandati võrreldes lõhatud algmurretega mäemassi kvaliteeti. [10]

Vertikaalselt soonitud algmurre

Magistritöös on esitatud uut liiki mehaaniline algmurde variant, milleks on vertikaalne soon eerinnas. Soone ulatus on põlevkivikihist F3 kuni põlevkivikihini A. Antud töös kasutatakse taolist algmurret ettevalmistuskaeveõõntes lae kõrgusega 3,8 m ning laiusega 5,0 m. Vertikaalset soont on võimalik soonida eerinna mõlemale äärele kui ka keskele. Soonides eerinna mõlemale äärele, tekib kokku kolm vaba pinda, eerinnale lisanduvad vasakul ning paremal oleva soone pindalad. Viiteseeriad peavad sellisel juhul liikuma vabade pindade poolt ee keskele kokku. Soonides ühe soone eerinna äärde või keskele, tekib kokku kaks vaba pinda. Keskel oleva soone puhul liiguvad viiteseeriad ee keskelt kaeveõõne kontuuride poole. Ühes ee ääres oleva soone puhul liiguvad viiteseeriad vaba pinna poolt teise kaeveõõne ääre poole. Kasutades kahte soont eerinna äärtes, saavutatakse suurim vabade pindade summaarne pindala, millega vähendatakse suletustegurit ja sellega seoses ka lõhkeaine erikulu. Samuti tagatakse taolise variandiga tervikute parem stabiilsus (kaeveõõs kontuuritakse mehaaniliselt, mistõttu lõhede teke tervikus lõhketööde mõjul on äärmiselt ebatõenäoline). Ühe soone korral on vabade pindade summaarne pindala väiksem kui kahe soone puhul, kuid suurem kui lõhatava või puuritava algmurde korral ettevalmistuskaeveõõnes (kõrgus – 3,8 m; laius – 5,0 m). Sellest tulenevalt on ka ühe vertikaalse soone soonimisel suletustegur madalam, mis vähendab lõhkeaine erikulu. Ühe vertikaalse soonega ee keskel ei tagata nii stabiilset tervikute püsivust kui ühe vertikaalse soonega ee ääres.

Laengute arvutus

Käesolevas magistritöös on laengute arvutusel aluseks võetud emeriitprofessor Enno Reinsalu väljatöötatud arvutusmetoodika, milles on arvestatud Eesti põlevkivimaardla geoloogilisi tingimusi.

Lõhkeaine erikulu arvutamisel on lähtunud vaba pindade arvust, mida antud magistritöös on kaks või enam. Lõhkeaine erikulu valemis on käesolevas töös muudetud lõhkeaine erikulu parandustegurit kuna lõhkeained, mida kasutati valemi koostamise ajal on tänapäeval kasutatavatest erineva töövõimega. Lõhkeaine töövõime sõltub lõhkeaine võimsusest. Parandusteguri arvutustel on kasutatud lõhkeainete suhtelist võimsust etalonlõhkeaine TNT suhtes REF (Relative Effectiveness Factor, edaspidi lühendatult REF) ehk trotüülekvivalenti. Sealhulgas on arvesse võetud REF-i impulsi osas, kuna see määrab otseselt lõhkeaine töövõimet. Kasutusel on ka REF detonatsioonilaine surve osas, mis määrab lõhkeaine brisantsuse. Lõhkeaine erikulu parandustegur, mida arvutustes kasutatakse on eespool mainitud REF-i pöördväärtus. Käesoleval ajal kasutatav lõhkeaine Senatel Powerfrag on suurema REF-ga kui valemi koostamise ajal kasutatud ammoniidid PŽV-20 ja T-19. Sellest tulenevalt on antud magistritöös kasutatav lõhkeaine Senatel Powerfrag võimsam, kui varasemalt kasutatud ammoniidid PŠV-20 ja T-19. [20] [10] [22]

| Lõhkeaine | REF |
|-----------------|------|
| ANFO | 0,81 |
| Ammoniid PŠV-20 | 0,8 |
| Ammoniid T-19 | 0,8 |
| Senatel | 0,96 |
| TNT | 1 |

Tabel 3. Lõhkeainete trotüülekvivalendid ehk REF [22]

ETTEVALMISTUSKAEVEÕÕNTE RAJAMINE

Läbindamine Estonia kaevanduses

Praegusel ajal töötab Estonia kaevanduses kaks läbindusjaoskonda, vastavalt I läbindusjaoskond ja II läbindusjaoskond. I läbindusjaoskond töötab kaevevälja idapoolses osas: 17 ja 19 paneelidel kirdes ning 39 ja 313 paneelidel kagus. II läbindusjaoskond töötab kaevevälja läänepoolses osas: 14 ja 18 paneelidel loodes ning 312 ja 314 paneelidel edelas. Tehnoloogilise skeemi järgi kontuuritakse paneele veo-, konveier- ja tuulustusstrekidega ning kamberplokkide alglõõridega, külgstrekidega ja ühe kogumisstrekiga. Paneelide läbindamine toimub kahel erineval viisil: a) kahe strekiga (veo- ja tuulustusstrek); b) kolme strekiga (veo-, konveier- ja tuulustusstrek). Paneelide strekkide erinevus tuleneb üldkaevandusliku konveiertranspordi kontseptsioonist, mille puhul üle ühe paneeli on rajatud konveierstrek, kuhu liigub kaevis mööda kogumisstreki konveiereid. Kahe strekiga paneelide läbindamine toimub 18, 314, 19 ja 39 paneelidel ning kolme strekiga 14, 312, 17 ja 313 paneelidel. [3] [6]

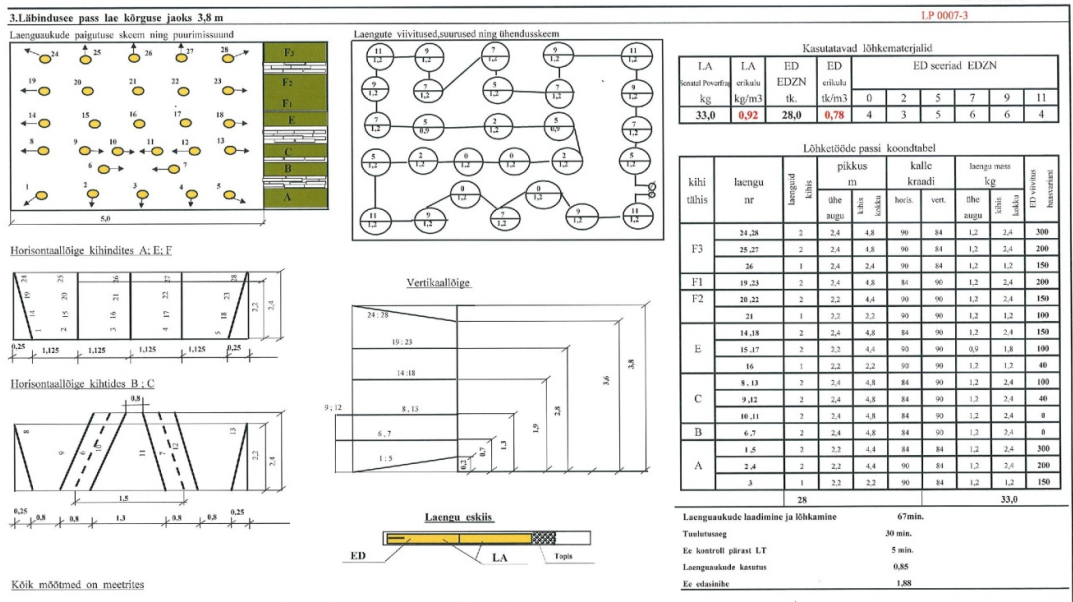
Läbindamisel kasutatakse puur- ja lõhketööde passe vastavalt kaeveõõne laekõrgusele ning geoloogilistele tingimustele. Puur- ja lõhketööde pass koosneb laenguaukude paigutamise skeemist, kus on esitatud laenguaukude vahekaugused, laengute spetsifikatsioonitabelid, millel on kihtide kaupa näidatud laenguaukude arv ja pikkused, laengu mass, elektridetonatorite arv ja viide. Lisaks sisaldab pass detonaatorite ühendusskeemi ja laengu paigutusskeemi. Estonia kaevanduse läbindusjaoskondadel on kolme erineva lae kõrguse kohta läbindusee passid: 2,8 m; 3,8 m ja 4,6 m. Antud töös on on välja toodud 3,8 m lae kõrgusega puur-lõhketööde pass, mida kasutatakse kõige sagedamini. [3] [15]

Puur- ja lõhketööde tehnoloogia käesoleval ajal

Lõhketööde passi LP 0007 põhjal puuritakse kaks algmurde laenguauku B kihisse (6 ja 7) ja neli algmurde laenguauku C kihisse (9...13). Algmurde laenguaukude sügavus on 2,5 m. Esimeste laengute lõhkamisega moodustatakse täiendav vaba pind, mis suurendab järgmiste laengute tõhusust. Raimalaengud (15...17 ja 20...22) puuritakse E ja F1-2 kihtidesse sügavusega 2,4 m. Raimalaengute abiga laiendatakse algmurret pärast algmurdelaengute plahvatamist. Kontuurlaengute (1...5, 8, 13...14, 18, 19 ja 23...28) lõhkamisega antakse kaeveõonele magistritööis ettenähtud kuju ja mõõtmed. Need laenguaugud puuritakse kaldu kaeveõone kontuuri suunas. Kontuurlaenguaugud 8 ja 13 puuritakse 2,2 m sügavused ning ülejäänud kontuurlaenguaugud 2,4 m. [9] [10]

Igasse laenguauku asetatakse kaks Senatel Powerfrag padrunit ehk kokku 1,2 kg lõhkeainet (üks padrun sisaldab 0,6 kg lõhkeainet). Kahte laenguauku (15 ja 17) asetatakse 0,9 kg lõhkeainet ehk 1,5 padrunit Senatel Powerfrag'i. Laengu eskiisi põhjal kinnitatakse detonaator padruni otsa külge ning asetatakse laenguaugu põhja poole, misjärel asetatakse teine padrun esimese padruni järgi. Topisena kasutatakse nii savibriketti kui ka plastikut olenevalt veerohkusest laenguaugus. Lõhkamisel kasutatakse lühiviitlõhkamist, mille korral on kokku 6 erinevat seeriat. Lõhkamist alustatakse algmurde keskmistest laenguaukudest (6...7 ja 10...11) ning viimasena lõhatakse kaeveõone kontuuri nurkades asetsevad kontuurlaengud (1, 5, 24, 28). Detonaatorite ühendusskeemina kasutatakse jadaühendust ning viitesammuna 50 ms.

Antud lõhketööde passi järgi kulub lõhkamisele kokku 33,0 kg Senatel Powerfrag lõhkeainet ning lõhkeaine erikuluks on $0,92 \text{ kg/m}^3$. Elektridetonaatorite arv on 28 ning nende erikuluks on $0,78 \text{ tk/m}^3$. Laenguaukude laadimiseks ja lõhkamiseks kulub 67 minutit, millele lisandub tuulutusaeg 30 minutit ning ee kontroll pärast lõhketöid 5 minutit. Keskmise ee edasinihe passi järgi on 1,88 m. [9]



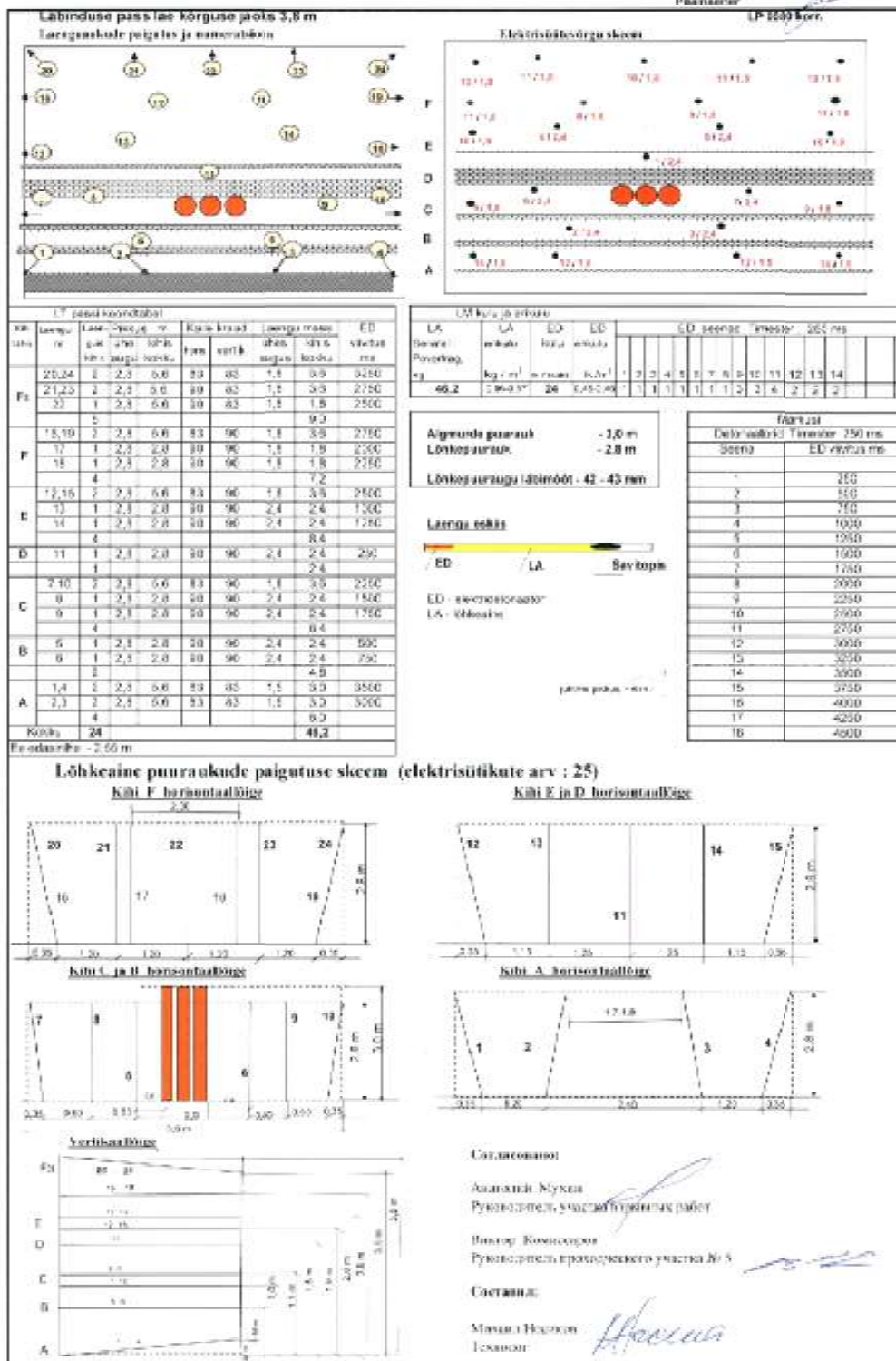
Joonis 7. Puur-lõhketööde pass LP 0007 [9]

Puur- ja lõhketööde passi LP 0080 põhjal puuritakse kolm algmurde puurauku sügavusega 3,0 m põlevkivikihti C, vahetult C/D ehk kaksikpae alla. Lõhkeaugud puuritakse 2,8 m sügavusele. Raimalaengud (5...6, 8...9, 13...14, 17...18) puuritakse algmurde puuraukude ümber põlevkivikihtides F, E, D, C ja B. Kaeveõõne kontuuri tekitamiseks on puuritud 15 kontuurlaengu lõhkeauku (1...4, 7, 10, 12, 15...16, 19...24).

Antud lõhketööde passi järgi kulub lõhkamisele kokku 46,2 kg Senatel Powerfrag lõhkeainet ning lõhkeaine erikulu on 0,86 kg/m³. Detonaator kinnitatakse padruni otsa külge ning asetatakse laenguaugu põhja poole. Topisena kasutatakse savitopist. Viitesammuks on ettenähtud 250 ms. Elektridetonaatorite arv on 24 ning erikulu 0,45 tk/m³. Viitesammuna kasutatakse 250 ms detonaatoreid. Keskmine ee edasinihe passi põhjal on 2,55 m. [17]

LP 0080

Raamatlohe lohkendamise passi kiirpilt:
13.01.2014 Igor Apuhtin
Paasnik



Joonis 8. Puur-lõhketööde pass LP 0080 [17]

Probleemi olemus

Eespool kirjeldatud puur- ja lõhketööde passide põhjal on peamiseks probleemiks suur lõhkeaine erikulu, mis mõlema passi puhul ulatub peaaegu 1 kg/m^3 . Sellest tulenevalt on läbindustöödel kulutused lõhkeainele liiga suured. Lisaks omavad negatiivsed efekti esitatud puur- ja lõhketööde passid tervikute püsivuse osas, sest kontuurlõhkamine ei taga alati sellist kaeveõõne kontuuri nagu puur- ja lõhketööde passis ettenähtud. Lõhkeaine erikulu vähendamiseks ja tervikute püsivuse stabiliseerimiseks on vaja välja töötada uued meetodid puur- ja lõhketööde läbiviimiseks ettevalmistuskaeveõõntes.

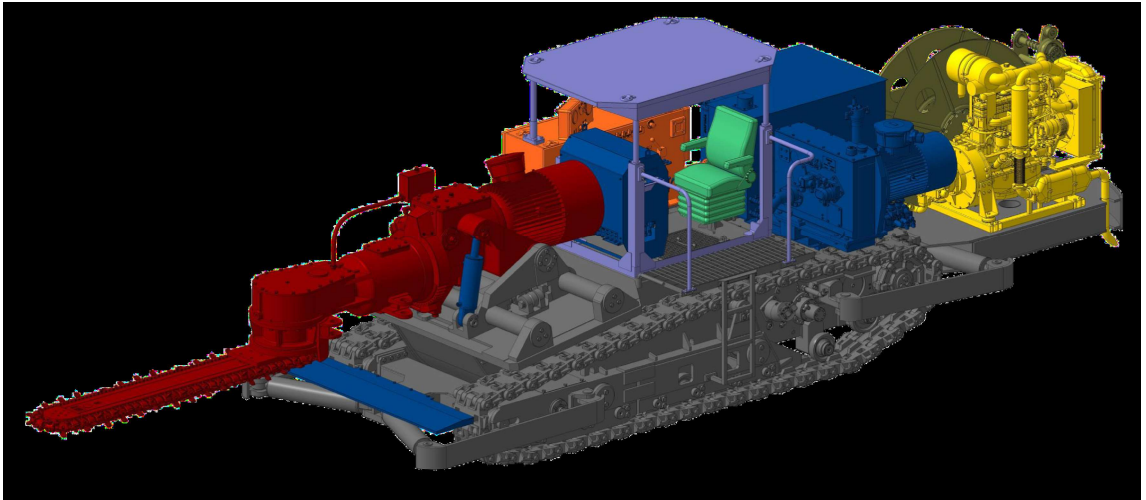
ALTERNATIIVSED PUUR- JA LÕHKETÖÖDE MEETODID

Iseliikuv soonur

Uue tehnoloogia kasutusele võtmise eesmärgiks on tekitada täiendav vaba pind ettevalmistuskaeveõõnte ees, milles antud magistritöös on vertikaalne soon kogu ee kõrguses. Soonimisel kasutatakse iseliikuvat soonurit MVB-140, millega on võimalik soonida vertikaalsuunas pörandas ja vertikaal- ning horisontaalsuunas läbinduse ees kõrgusega 3,8 m ning laiusega 5,0 m. Nimetatud masinat katsetati 2017 a veebruaris Estonia kaevanduses. Iseliikuva soonuri tehnilised näitajad on esitatud Tabelis 4. [13] [14]

| Omadused | Näitaja |
|---|--------------|
| Soonimiskiirus, m/min | 1,5 |
| Lõiketugevus, N/mm | 450 |
| Maksimaalne kivimi Protodjakonovi tugevusarv, mida saab soonida | 6 |
| Soonimisorgani liik | lõikekett |
| Lõiketerade liikumise kiirus, m/s | 5,2 |
| Veermiku liik | roomik |
| Ajam | hüdrauliline |
| Maksimaalne liikumiskiirus, km/h | 1,5 |
| Kaablrulli mahutavus, m | 150 |
| Elektrimootori koguvõimsus, kW | 97 |
| Masina pikkus, mm | 10515 |
| Masina laius, mm | 2450 |
| Masina kõrgus, mm | 2500 |
| Lõikeorgani pikkus, mm | 2400 |
| Masina mass, t | 30 |

Tabel 4. Iseliikuva soonuri MVB-140 omadused [13] [14]



Joonis 9. Iseliikuv soonur MVB-140 [14]



Joonis 10. Iseliikuv soonur MVB-140 Estonia kaevanduses [13]

Iseliikuva soonuri väikese liikumiskiiruse tõttu on seda mõistlik kasutada paneelide ettevalmistamisel, kus asetsevad veo-, konveier- ja tuulutustrekk üksteise kõrval, mistõttu ei pea masin läbima pikki vahemaid. Soonimist alustatakse kaeveõone laest (põlevkivikihis F3), misjärel tööorgan liigub kaeveõone põhja suunas (põlevkivikiht A). Soonimine toimub kahes erinevas etapis, et tööorganit mitte ülekoormata. Esmalt soonitakse kogu soon 1 meetri sügavuselt ja seejärel soonitakse maksimaalsügavusele. Kuna iseliikuv soonuri reduktor on ehitatud ühte asendisse, siis pole võimalik tervet soont 2 m sügavusega soonida. Soone laiuseks on 0,12 m ning soone konfiguratsioon on esitatud Lisas 2. Soone sügavus põlevkivikihtides on vastavalt: A - 1,5 m; B - 1,8 m; C - 2,0 m; E - 1,8 m; F2 - 1,5 m ja F3 - 0,8 m. Kirjeldatud soone valmistamiseks kulub iseliikuvale soonurile 25 minutit. Soonimise tagajärjel tekkinud põlevkivi- ja vahekihtide puru, mis langeb maha, koristatakse iseliikuv soonuri juhi poolt, et oleks võimalik alumisi põlevkivikihi A lõhkeauke puurida. [13]



Joonis 11. Iseliikuv soonur MVB-140 Estonia kaevanduses [13]



Joonis 12. Vertikaalne soon Estonia kaevanduse läbinduse ees [13]

Väljatöötatud puur- ja lõhketööde tehnoloogilised variandid

Magistritöös koostatud puur- ja lõhketööde tehnoloogilistel variantidel on esitatud laenguaukude paigutus ja numeratsioon, laengute viivitused ning ühendusskeem. Lisaks on esitatud erinevate põlevkivi ja –vahekihtide horisontaallõiked, kus on välja toodud lõhkeaukude sügavused, kalded ning kaugused üksteisest. Esitatud on ka vertikaallõige, mis kirjeldab lõhkeaukude paiknemise kõrgust kaeveõõne põhjast ning kaldeid koos soone konfiguratsiooniga (Lisa 2). Iga puur- ja lõhketööde tehnoloogilise variandi jaoks on koostatud koondtabel, kus on esitatud kihtides asuvad laengud, lõhkeaukude pikkused, lõhkeaukude kalded ning elektridetonatorite viitesammud. Kasutatavate lõhkematerjalide tabelis on esitatud elektridetonatorite arv, nende erikulu ja seeriad ning lõhkeaine kogus ja erikulu. Lõhkeaine erikulu ja koguse arvutamise aluseks on võetud emeriitprofessor Enno

Reinsalu 1960. aastatel väljatöötatud arvutusmetoodika, mis arvestab kõige paremini Eesti põlevkivimaardla geoloogilisi tingimusi (Lisa 1). [20]

Lõhkeaukude paigutamisel eerinnas on lähtunud ee kivimite füüsikalismehaanilistest omadustest, kivimimassiivi ehitusest ning käesoleval ajal kasutusel olevatest puur- ja lõhketööde passidest. Tehnoloogilistel variantidel esitatud lõhkeaugud on läbimõõduga 44 mm ning sügavusega 2,1 m. Lõhkeainena kasutatakse padrundatud Senatel Powerfrag'i, padrundi läbimõõduga 38 mm, pikkusega 460 mm ja massiga 0,6 kg. Initsieerimisvahendina kasutatakse lühiviit-elektridetonatoreid, mis ühendatakse padrunita ja padrun asetatakse lõhkeauku nii, et detonaatori poolne ots jääb lõhkeaugu suudme poole. Lühiviit-detonatorite viitekestus on 50 ms ning detonaatorite ühendusskeemina kasutatakse jadaühendust. Lõhkevõrgu skeemi koostamisel on lähtunud lõhkaja tööst, et tal oleks mugavam detonaatoreid ühendada.

Esimene tehnoloogiline variant

Puur-lõhketööde tehnoloogiline variant sisaldab kahte vertikaalset soont ee äärtes, millega tekitatakse ees kokku kolm vaba pinda. Iseliikuvast soonuriga MVB-140 soonitakse mõlemad sooned 83 kraadise kaldega terviku suunas maksimaalse sügavusega, et mitte vähendada kaeveõõne laiust edaspidisel läbindamisel (Lisa 3, 4). Soonimist alustatakse 0,28 m kauguselt tervikust. Lõhkeaukude arv on 20, mis puuritakse põlevkivikihtidesse A, C, E, F1-2 ja F3 nelja kaupa. Soone kõrval asetsevate lõhkeaukude kaugus soonest on 0,8 m ning lõhkeaukude omavahelised kaugused ühes kihis on 0,8...0,9 m. Viiteseeriaid on kokku viis (0, 2, 4, 6, 8) ning nende projekteerimisel on arvestatud kolme vaba pinna olemasolu. Esimese viiteseeriana lõhatakse soonte kõrval olevad kolm laengut (5, 8, 9, 12, 13 ja 16). Teise viiteseeriana lõhatakse lõhkevõrguskeemi diagonaalides asuvad kontuurlaengud (1, 4, 17 ja 20). Kolmanda viiteseeriana lõhatakse põlevkivikihtides C ja E asuvad keskmised laengud (6, 7, 10 ja 11). Neljanda viiteseeriana lõhatakse kaeveõõne põhjas keskosas asetsevad laengud (2 ja 3) ning põlevkivikihis F2 keskosas asetsevad laengud (14, 15). Viimase ehk kaheksanda viiteseeriana lõhatakse kaks kaeveõõne keskosas lae all asetsevad laengud (18, 19). Lõhkeaugud 17 ja 20 puuritakse 65 kraadise kaldega tervikute suunas ning 83 kraadise kaldega kaeveõõne lae suunas. Lõhkeaugud 18 ja 19 puuritakse 83 kraadise kaldega kaeveõõne lae suunas. Lõhkeaugud 5, 8, 9, 12, 13 ja 16 puuritakse 83 kraadise kaldega soone suunas. Lõhkeaugud 6, 7, 10 ja 11 puuritakse risti

kaeveõõne eega. Lõhkeaugud 1 ja 4 puuritakse 83 kraadise kaldega tervikute suunas ning 83 kraadise kaldega kaeveõõne lae suunas. Lõhkeaugud 2, 3 puuritakse 83 kraadise kaldega kaeveõõne põranda suunas.

Lõhkeaine erikulu arvutustel on arvesse võetud ee laius, millest on maha lahutatud kahe soone paksus ning mõlemale ee küljele jääv terviku mitte kandva osa laius. Summaarse vaba pinna arvutamisel on kokku arvestatud mõlema soone konfiguratsiooni pindala ja ee pindala. Arvutatud lõhkeaukude suurus on ümardatud suurema paarisarvuni. Arvutatud lõhkeaine kulu näitab lõhkeaine kogust lõhkamisel. (Lisa 6, 7, 8)

| Andmed | Suurus | Ühik |
|--------------------------------|--------|----------------|
| Ee kõrgus | 3,8 | m |
| Ee laius | 5,00 | m |
| Soone laius | 0,12 | m |
| Terviku mitte kandva osa laius | 0,28 | m |
| Soone pinna pindala | 5,40 | m ² |
| Puurimissügavus | 2,10 | m |
| Ee edasinihe | 2,00 | m |

Tabel 5. Esimese variandi algandmed

| Arvutatud näitajad | Suurus | Ühik |
|--------------------------|-------------|-------------------|
| Ee laius | 4,2 | m |
| Summaarne vaba pind | 26,76 | m ² |
| Suletustegur | 2,39 | |
| q ₆ | 0,22 | kg/m ³ |
| Lõhkeaine Erikulu | 0,54 | kg/m ³ |
| Lõhkeaine kulu | 17,09 | kg |
| Laengute erikulu | 0,6 | |
| Laenguaukude arv | 18,7 | tk |

Tabel 6. Esimese variandi arvutuslikud andmed

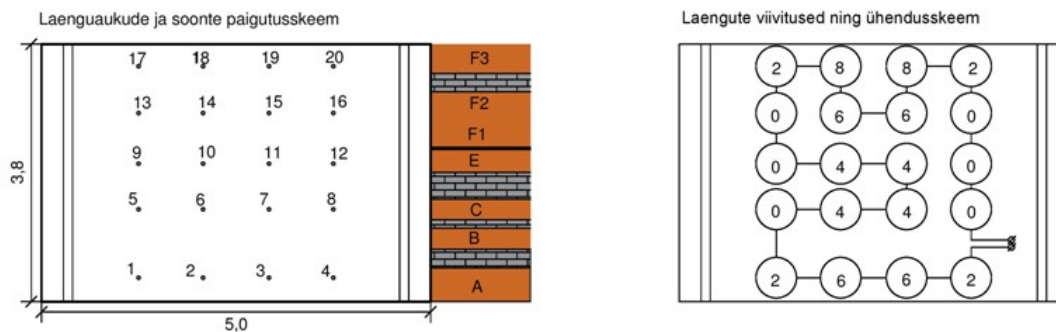
| LA Senatel Powerfrag, kg | LA erikulu, kg/m ³ | ED tk. | ED erikulu tk/m ³ | ED seeriad | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--------|------------------------------------|------------|---|---|---|---|
| | | | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 17,09 | 0,54 | 20 | 0,63 | 6 | 4 | 4 | 4 | 2 |

Tabel 7. Esimese variandi kasutatavad lõhkematerjalid

| Kihi tähis | Laengu nr | Laenguid kihis | Pikkus, m | | Kaldenurk, ° | | ED viide, ms |
|---------------|--------------|-------------------|------------|----------------|-----------------|-------|--------------------|
| | | | Üks auk | Kihis kokku | Horis. | Vert. | |
| F3 | 17, 20 | 2 | 2,1 | 4,2 | 65 | 83 | 50 |
| | 18, 19 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 83 | 200 |
| F2; F1 | 13, 16 | 2 | 2,1 | 4,2 | 83 | 90 | 0 |
| | 14, 15 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 90 | 150 |
| E | 9, 12 | 2 | 2,1 | 4,2 | 83 | 90 | 0 |
| | 10, 11 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 90 | 100 |
| C | 5, 8 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 90 | 0 |
| | 6, 7 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 90 | 100 |
| A | 1, 4 | 2 | 2,1 | 4,2 | 83 | 83 | 50 |
| | 2, 3 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 83 | 150 |
| | | 20 | | 42 | | | |

Tabel 8. Esimese variandi puur-lõhketööde koondtabel

Esitatud puur-lõhketööde tehnoloogilise variandi põhjal on lõhkeaine kulu 17,09 kg ning erikuluks on 0,54 kg/m³. Elektridetonaatorite arv on 20 ning detonaatorite erikulu on 0,63 tk/m³. Ee edasinihe esitatud variandi puhul on 2,0 m.



Märkused:
 1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2015
 2. Lõhkeaukude läbimõõt 44 mm
 3. Kõik mõõtmised on meetrites

Joonis 13. Esimese variandi eerinna eestvaade (Lisa 6)

Teine tehnoloogiline variant

Puur-lõhketööde tehnoloogiline variant sisaldab ühte vertikaalset soont ee ääres, millega tekitatakse ees kokku kaks vaba pinda. Iseliikuva soonuriga MVB-140 soonitakse üks 83 kraadise kaldega soon terviku suunas maksimaalse sügavusega (Lisa 3). Soonimist alustatakse 0,28 m kauguselt tervikust. Lõhkeaukude arv on 25, mis puuritakse põlvkivikihtidesse A, C, E, F1-2 ja F3 viie kaupa. Soone kõrval asetsevate lõhkeaukude kaugus soonest on 0,8 m ning lõhkeaukude omavahelised kaugused ühes kihis on 0,8...0,9 m. Viiteseeriaid on kokku kuus (0, 2, 4, 6, 8, 10) ning nende projekteerimisel on arvestatud kahe vaba pinna olemasolu. Esimese seeriana lõhatakse soone kõrval olevad kolm laengut (6, 11, 16). Teise seeriana lõhatakse soone kõrval asuvad kontuurlaengud 1 ja 21 ning ee keskosas asuvad laengud 7, 12 ja 17. Kolmanda seeriana lõhatakse kontuurlaengud 2 ja 22 ning ee keskel asuvad laengud 8, 13 ja 18. Neljanda seeriana lõhatakse kontuurlaengud 3 ja 23 ning ee keskosas asuvad laengud 9, 14 ja 19. Viienda seeriana lõhatakse kontuurlaengud 4 ja 24 ning terviku ääres olevad kontuurlaengud 10, 15 ja 20. Viimase seeriana lõhatakse ee diagonaalides asuvad kontuurlaengud 5 ja 25. Lõhkeauk 21 puuritakse 65 kraadise kaldega tervikute suunas ning 83 kraadise kaldega kaeveõõne lae suunas. Lõhkeaugud 22 ja 25 puuritakse 83 kraadise kaldega terviku ja lae suunas. Lõhkeaugud 22...24 puuritakse 83 kraadise kaldega lae suunas. Lõhkeauk 16 puuritakse 83 kraadise kaldega terviku suunas. Lõhkeauk 1 ja 5 puuritakse 83 kraadise kaldega terviku

ning põranda suunas. Lõhkeaugud 10, 15 ja 20 puuritakse 83 kraadise kaldega terviku suunas. Lõhkeaugud 2...4 puuritakse 83 kraadise kaldega. Lõhkeaugud 6...9, 11...14 ja 17...19 puuritakse risti eega.

Lõhkeaine erikulu arvutustel on arvesse võetud ee laius, millest on maha lahutatud ühe soone paksus ning ühele ee küljele jääv terviku mitte kandva osa laius. Summaarse vabapinna arvutamisel on kokku arvestatud soone konfiguratsiooni pindala ja ee pindala. Arvutatud laenguaukude suurus on ümardatud suurema paarisarvuni. Arvutatud lõhkeaine kulu näitab lõhkeaine kogust lõhkamisel. (Lisa 8, 9, 10)

| Andmed | Suurus | Ühik |
|--------------------------------|--------|----------------|
| Ee kõrgus | 3,8 | m |
| Ee laius | 5,00 | m |
| Soone laius | 0,12 | m |
| Terviku mitte kandva osa laius | 0,28 | m |
| Soone pinna pindala | 5,40 | m ² |
| Puurimissügavus | 2,10 | m |
| Ee edasinihe | 1,95 | m |

Tabel 9. Teise variandi algandmed

| Arvutatud näitajad | Suurus | Ühik |
|--------------------------|-------------|-------------------|
| Ee laius | 4,60 | m |
| Summaarne vaba pind | 22,88 | m ² |
| Suletistegur | 2,96 | |
| q ₆ | 0,22 | kg/m ³ |
| Lõhkeaine Erikulu | 0,66 | kg/m ³ |
| Lõhkeaine kulu | 22,61 | kg |
| Laengute erikulu | 0,7 | |
| Laenguaukude arv | 24,8 | tk |

Tabel 10. Teise variandi arvutuslikud andmed

| LA Senatel Powerfrag, kg | LA erikulu, kg/m ³ | ED tk. | ED erikulu tk/m ³ | ED seeriad | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--------|------------------------------------|------------|---|---|---|---|----|
| | | | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 22,61 | 0,66 | 25 | 0,73 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 2 |

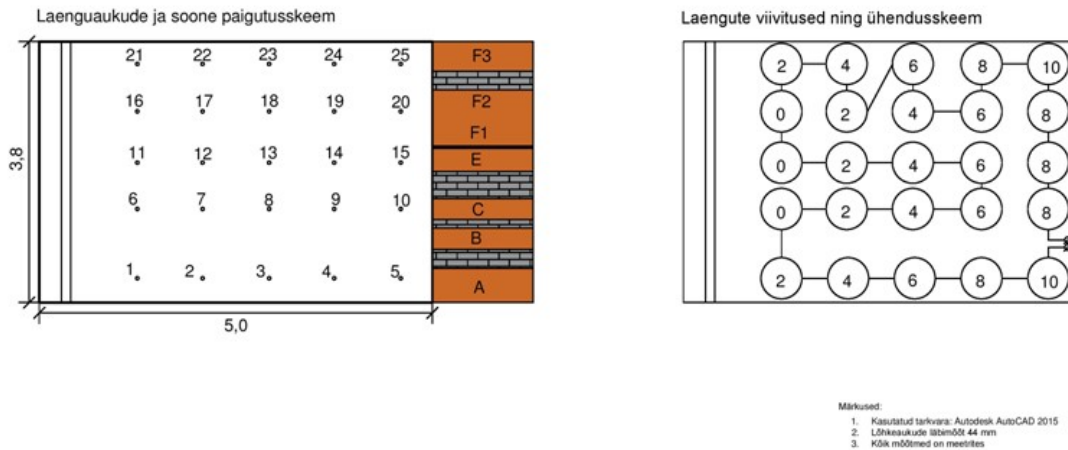
Tabel 11. Teise variandi kasutatavad lõhkematerjalid

| Kih tähis | Laengu nr | Laenguid kihis | Pikkus, m | | Kaldenurk, ° | | ED viide, ms |
|--------------|--------------|-------------------|------------|----------------|-----------------|-------|--------------------|
| | | | Üks auk | Kihis kokku | Horis. | Vert. | |
| F3 | 21 | 1 | 2,1 | 2,1 | 65 | 83 | 50 |
| | 22 | 1 | 2,1 | 2,1 | 83 | 83 | 100 |
| | 25 | 1 | 2,1 | 2,1 | 83 | 83 | 250 |
| | 24 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 83 | 200 |
| | 23 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 83 | 150 |
| F2; F1 | 20 | 1 | 2,1 | 2,1 | 83 | 90 | 200 |
| | 19 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 90 | 150 |
| | 18 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 90 | 100 |
| | 17 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 90 | 50 |
| | 16 | 1 | 2,1 | 2,1 | 83 | 90 | 0 |
| E | 15 | 1 | 2,1 | 2,1 | 83 | 90 | 200 |
| | 14 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 90 | 150 |
| | 13 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 90 | 100 |
| | 12 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 90 | 50 |
| | 11 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 90 | 0 |
| C | 10 | 1 | 2,1 | 2,1 | 83 | 90 | 200 |
| | 9 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 90 | 150 |
| | 8 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 90 | 100 |
| | 7 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 90 | 50 |
| | 6 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 90 | 0 |
| A | 1 | 1 | 2,1 | 2,1 | 83 | 83 | 50 |

| | | | | | | | |
|--|---|-----------|-----|-------------|----|----|-----|
| | 5 | 1 | 2,1 | 2,1 | 83 | 83 | 250 |
| | 2 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 83 | 100 |
| | 3 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 83 | 150 |
| | 4 | 1 | 2,1 | 2,1 | 90 | 83 | 200 |
| | | 25 | | 52,5 | | | |

Tabel 12. Teise variandi puur-lõhketööde koondtabel

Kirjeldatud puur-lõhketööde tehnoloogilise variandi põhjal on lõhkeaine kulu 22,61 kg ning erikulu 0,66 kg/m³. Elektridetonaatorite arv on 25 ning detonaatorite erikulu on 0,73 tk/m³. Ee edasinihe esitatud variandi alusel on 1,95 m.



Joonis 14. Teise variandi eerinna eestvaade (Lisa 9)

Kolmas tehnoloogiline variant

Puur-lõhketööde tehnoloogiline variant sisaldab üht vertikaalset soont ee keskosas, millega tekitatakse kaks vaba pinda (Lisa 5). Soone paksus on 0,12 m ning kaugus mõlemast tervikust 2,38 m. Lõhkeaukude arv on 28, mis on jaotatud võrdselt soonest mõlemale poole. Põlevkivikihtidesse A, C, E, F2 ja F3 puuritakse igasse neli lõhkeauku. Põlevkivikihtidesse B ja F1 puuritakse kaks lõhkeauku. Vahekihtidesse C/D ja F2-F3 puuritakse samuti kaks lõhkeauku. Kihtides, kus on kaks lõhkeauku, on lõhkeaugu ja soone vaheline kaugus 1,54 m. Kihtides, kus on neli lõhkeauku, on lõhkeaugu ja soone vaheline kaugus 0,8 m ning raimalaenguaukude ja kontuurlaenguaukude vaheline kaugus on 1,4 m. Viiteseeriaid on kokku viis (0, 2, 4, 6 ja 8). Esimese seeriana lõhatakse soone kõrval asuvad raimalaengud (8..9, 14...15, 20...21). Teise seeriana lõhatakse soone kõrval

asuvad kontuurlaengud (2...3, 26...27) ning C/D ja F1 kihis asetsevad raimalaengud. Kolmanda seeriana lõhatakse B ja F2-F3 vahekihis asetsevad raimalaengud. Neljanda seeriana lõhatakse ee külgedel asetsevad kontuurlaengud (7, 10, 13, 16, 19 ja 22). Viimase seeriana lõhatakse ee diagonaalides asuvad kontuurlaengud (1, 4, 25 ja 28). Ee diagonaalides asetsevad lõhkeaugud 1, 4, 25 ja 28 puuritakse 83 kraadise kaldega terviku ja kaeveõõne lae suunas. Lõhkeaugud 7, 10, 13, 16, 19 ja 22 puuritakse 83 kraadise kaldega terviku suunas. Lõhkeaugud 26 ja 27 puuritakse 83 kraadise kaldega kaeveõõne lae suunas. Lõhkeaugud 2 ja 3 puuritakse 83 kraadise kaldega kaeveõõne põranda suunas.

Lõhkeaine erikulu arvutustel on ee jagatud kaheks osaks, mida eraldab keskele vertikaalselt soonitud soon. Mõlema osa kohta on koostatud eraldi arvutused. Mõlema osa laius on alates soone servast kuni tervikuni. Summaarse vaba pinna arvutamisel on kokku arvestatud soone konfiguratsiooni pindala ja poole ee pindala. Arvutatud laenguaukude suurus on ümardatud suurema paarisarvuni. Arvutatud lõhkeaine kulu näitab lõhkeaine kogust lõhkamisel. (Lisa 11, 12, 13)

| Andmed | Suurus | Ühik |
|---------------------|--------|----------------|
| Ee kõrgus | 3,8 | m |
| Ee laius | 2,50 | m |
| Soone laius | 0,12 | m |
| Soone pinna pindala | 5,40 | m ² |
| Puurimissügavus | 2,10 | m |
| Ee edasinihe | 2,00 | m |

Tabel 13. Kolmanda variandi algandmed

| Arvutatud näitajad | Suurus | Ühik |
|--------------------------|-------------|-------------------|
| Ee laius | 2,44 | m |
| Summaarne vaba pind | 14,672 | m ² |
| Suletistegur | 2,97 | |
| q_6 | 0,22 | kg/m ³ |
| Lõhkeaine Erikulu | 0,66 | kg/m ³ |
| Lõhkeaine kulu | 12,32 | kg |
| Laengute erikulu | 0,7 | |
| Laenguaukude arv | 13,5 | tk |

Tabel 14. Kolmanda variandi ühe ee osa kohta arvutatud andmed

| | | |
|-------------------|---------------|-------------------|
| Kokku | Suurus | Ühik |
| Lõhkeaine Erikulu | 0,66 | kg/m ³ |
| Lõhkeaine kulu | 24,64 | kg |
| Laenguaukude arv | 27,0 | tk |

Tabel 15. Kolmanda variandi arvutuslikud andmed

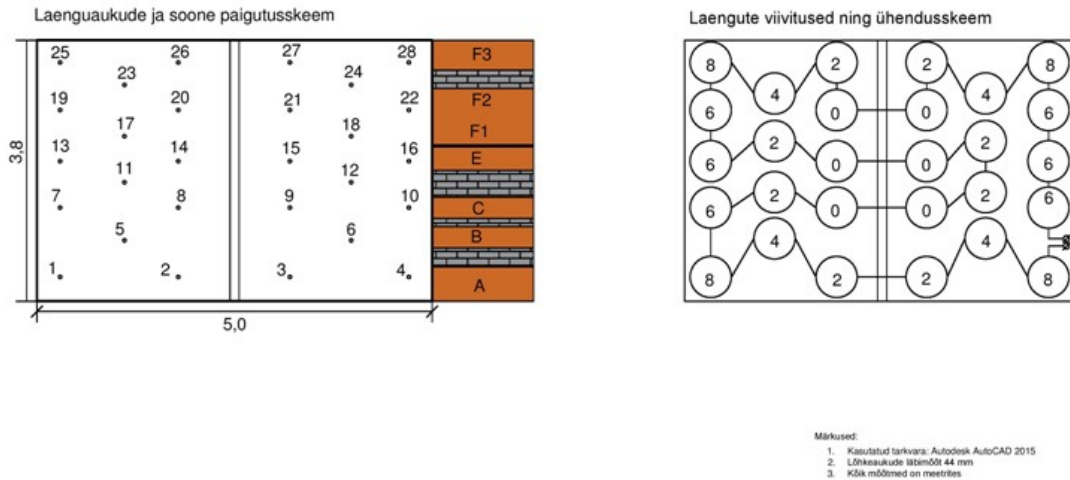
| LA Senatel Powerfrag, kg | LA erikulu, kg/m ³ | ED tk. | ED erikulu tk/m ³ | ED seeriad | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------|------------------------------------|------------|---|---|---|---|
| | | | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 24,64 | 0,66 | 28 | 0,75 | 6 | 8 | 4 | 6 | 4 |

Tabel 16. Kolmanda variandi kasutatavad lõhkematerjalid

| Kihi tähis | Laengu nr | Laenguid kihis | Pikkus, m | | Kaldenurk, ° | | ED viide, ms |
|---------------|--------------|-------------------|------------|----------------|-----------------|-------|--------------------|
| | | | Üks auk | Kihis kokku | Horis. | Vert. | |
| F3 | 25, 28 | 2 | 2,1 | 4,2 | 83 | 83 | 200 |
| | 26, 27 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 83 | 50 |
| | 23, 24 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 90 | 100 |
| F2 | 19, 22 | 2 | 2,1 | 4,2 | 83 | 90 | 150 |
| | 20, 21 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 90 | 0 |
| F1 | 17, 18 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 90 | 50 |
| E | 13, 16 | 2 | 2,1 | 4,2 | 83 | 90 | 150 |
| | 14, 15 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 90 | 0 |
| C/D | 11, 12 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 90 | 50 |
| C | 7, 10 | 2 | 2,1 | 4,2 | 83 | 90 | 150 |
| | 8, 9 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 90 | 0 |
| B | 5, 6 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 90 | 100 |
| A | 1, 4 | 2 | 2,1 | 4,2 | 83 | 83 | 200 |
| | 2, 3 | 2 | 2,1 | 4,2 | 90 | 83 | 50 |
| | | 28 | | 58,8 | | | |

Tabel 17. Kolmanda variandi puur-lõhketööde koondtabel

Kirjelatud puur- ja lõhketööde tehnoloogilise variandi põhjal on lõhkeaine kulu 24,64 kg ning erikulu 0,66 kg/m³. Elektridetonaatorite arv on 28 ning detonaatorite erikulu on 0,75 tk/m³. Ee edasinihe antud variandi põhjal on 2,00 m.



Joonis 15. Kolmanda variandi eerinna eestvaade (Lisa 11)

Ettevalmistustööde protsessid uue tehnoloogia korral

Käesoleval ajal koosneb ettevalmistuskaevetööde töötsükkel viiest tähtsamast tööoperatsioonist, mis on esitatud koos nende kestusega Tabelis 18.

| Tööprotsess | Kestus, min |
|-------------------------------------|-------------|
| Lae toestamine | 15 |
| Ee puurimine | 30 |
| Laenguaukude laadimine ja lõhkamine | 60 |
| Tuulutamine | 30 |
| Ee koristamine | 30 |
| Kokku | 165 |

Tabel 18. Tööprotsessid ja nende kestus käesoleval ajal

Nimetatud protsessidele lisanduvad veel vajadusel abiprotsessid (tuulutustoru paigaldamine, lukksepatööd ja veesoone soonimine). Kirjeldatud protsesside põhjal on ühes ees töötamiseaeg kokku optimaalselt 3 tundi. [19]

Uue tehnoloogia puhul lisandub eelpool kirjeldatud nimekirjale ee soonimine lisa vaba pinna jaoks. Sõltuvalt soonte arvust ees on koostatud töödeprotsesside tabel kahe soonega ee kohta ja ühe soonega ee kohta.

| Tööprotsess | Kestus, min |
|-------------------------------------|----------------|
| Lae toestamine | 15 |
| Ee puurimine | 25 |
| Soonimine | 50 |
| Laenguaukude laadimine ja lõhkamine | 60 |
| Tuulutamine | 30 |
| Ee koristamine | 30 |
| Kokku | 210 |

Tabel 19. Tööprotsessid ja nende kestus esimese variandi korral

| Tööprotsess | Kestus, min |
|-------------------------------------|----------------|
| Lae toestamine | 15 |
| Ee puurimine | 30 |
| Soonimine | 25 |
| Laenguaukude laadimine ja lõhkamine | 60 |
| Tuulutamine | 30 |
| Ee koristamine | 30 |
| Kokku | 190 |

Tabel 20. Tööprotsessid ja nende kestus teise ja kolmanda variandi korral

Nimetatud tööprotsessidel lisanduvad veel vajadusel abiprotsessid (tuulutustoru paigaldamine, lukksepatööd ja veesoone soonimine). Kirjeldatud protsesside põhjal on

ühes ees töötamiseaeg kahe vertikaalsoone soonimisel optimaalselt kolm ja pool tundi ning ühe vertikaalsoone soonimisel optimaalset üle kolme tunni.

Lae toestamise kestus sõltub eelkõige kaeveõõne geoloogilistest tingimustest (kaeveõõne laes jooksva lõhe korral võtab toestamine rohkem aega tavapärasest). Ee puurimise kestus sõltub lõhkeaukude arvust, asendist ja sügavusest. Laenguaukude laadimise kestus sõltub lõhkeaukude arvust, laengute massist lõhkeaugus ja detonaatorite ühendusskeemist. Ee koristamise kestus sõltub lõhatud mäemassi mahust, ee ja laadimispunkti vahekaugusest ning kallurite arvust. Lisaks määrab espool kirjeldatud protsesside kestuse inimfaktor.

Optimaalse meetodi valik

Kirjeldatud puur- ja lõhketööde meetoditel on kõigil omad eelised ja puudused. Optimaalse variandi leidmiseks tuleb kõigi variantide omadusi võrrelda.

Esimese meetodi ehk kahe vertikaalse soonega ees on madalaim lõhkeaine erikulu kõigist kolmest meetodist. Lisaks lõhkematerjalidele hoitakse antud tehnoloogilist varianti rakendades kokku ka puurimistöde mahtu kuna lõhkeaukude arv on kõige väiksem. Kahe vertikaalse soonega soonimisel mõlema ee ääres jäetakse tervikute püsivus stabiilsem. Antud variandi puhul on soonimise ajakulu suur kuna tuleb kaks soont soonida ning soonuri lõikeorgani hambad kuluvad kiiremini.

Teise meetodi ehk ühe vertikaalse soonega ee ääres on lõhkeaine kulu kõrgem esimesest variandist. Puurimismaht on suurem kuna puuritakse viis auku rohkem esimesest variandist. Terviku stabiilsust saab kontrolli all hoida ainult ühelt poolt st soone poolt. Antud variandi puhul on ajakulu ning lõikeorgani hammaste kulu väiksem võrreldes esimesega kuna tuleb soonida vaid üks soon.

Kolmanda meetodi ehk ühe vertikaalse soonega ee keskel on lõhkaine kulu sama kõrge kui teisel variandil. Puurimismaht on suurim, sest lõhkeaukude arv on 28. Terviku stabiilsuse kontroll antud juhul puudub kuna soon asub ee keskel. Antud variandi puhul on ajakulu ning lõikeorgani hammaste kulu sama suur kui teisel variandil.

Kirjeldatud meetodite põhjal on optimaalne esimene variant, mille puhul soonitakse ee mõlemasse külge vertikaalsed sooned. Seda varianti rakendades vähendatakse oluliselt lõhkeaine erikulu. Samuti on tervikud oluliselt püsivamad.

MAJANDUSOSA

Kulude arvutamisel on arvestatud hindadega vastavalt lõhkeainel 0,86 eurot kilogrammi kohta ning detonaatoritel 0,55 eurot tükk. Välja on arvatud lõhkematerjalide kulu ühe ee lõhkamise korral praegu kasutusel oleva puur-lõhketööde tehnoloogiate kohta ning magistritöös esitatud uute puur-lõhketööde tehnoloogiate kohta. Täiendavalt on välja arvatud lõhkematerjalide kulu uute puur-lõhketööde tehnoloogiate korral aasta lõikes ning võrreldud neid käesoleval ajal kasutusel olevate puur-lõhketöödega seotud kuludega. Esitatud arvutustes on arvestatud olukorda, kus kaevanduses töötab üks iseliikuv soonur kõrvuti olevates strekkides (tuulutus- ja konveierstrekk) kuna masina liikumiskiiruse tõttu on selline lahendus kõige mõistlikum. Lähtudes läbinduses toimuvate tööprotsesside kestusest, on välja arvestatud, et iseliikuv soonurit kasutatakse ühe ee soonimisel kolm (kahe soone soonimisel) ja viis (ühe soone soonimisel) korda ööpäevas. [3]

| PLT 0007 | Kogus | Ühik | Hind, eur |
|---------------------|-------|------|--------------|
| LA | 33 | kg | 28,38 |
| ED | 28 | tk | 15,4 |
| | | | 43,78 |

Tabel 21. PLT 0007 lõhkematerjalide maksumus ühe ee kohta

| PLT 0080 | Kogus | Ühik | Hind, eur |
|---------------------|-------|------|--------------|
| LA | 46,2 | kg | 39,732 |
| ED | 24 | tk | 13,2 |
| | | | 52,93 |

Tabel 22. PLT 0080 lõhkematerjalide maksumus ühe ee kohta

| 1. variant | Kogus | Ühik | Hind, eur |
|-----------------------------|-------|------|--------------|
| LA | 17,09 | kg | 14,70 |
| ED | 20 | tk | 11 |
| | | | 25,70 |

Tabel 23. Esimese variandi lõhkematerjalide maksumus ühe ee kohta

| 2. variant | Kogus | Ühik | Hind, eur |
|-----------------------------|-------|------|--------------|
| LA | 22,61 | kg | 19,44 |
| ED | 25 | tk | 13,75 |
| | | | 33,19 |

Tabel 24. Teise variandi lõhkematerjalide maksumus ühe ee kohta

| 3. variant | Kogus | Ühik | Hind, eur |
|-----------------------------|-------|------|--------------|
| LA | 24,64 | kg | 21,19 |
| ED | 28 | tk | 15,4 |
| | | | 36,59 |

Tabel 25. Kolmanda variandi lõhkematerjalide maksumus ühe ee kohta

Esitatud arvutustest selgub, et majanduslikult on otstarbekaim kasutada puur-lõhketööde esimest varianti, mille korral soonitakse kaks vertikaalset soont ee külgedele. Teise variandi kasutamise korral tuleb lõhkematerjalide maksumus kaheksa euro võrra kallim esimesest variandist. Kolmas variant ehk soon ee keskel on kõige kallim käesolevas magistritöös välja töötatud variantidest. Kõigis kolmes välja töötatud puur-lõhketööde tehnoloogia variantide põhjal kujunevad ettevalmistustöödel kulud lõhkeainele madalamaks, kui tänapäeval kasutusel olevatel puur-lõhketööde tehnoloogiatel.

| PLT 0007 | Lõhkamiste arv | LA kulu, kg | ED kulu, tk |
|---------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| Ööpäev | 3 | 99 | 84 |
| Nädal | 15 | 495 | 420 |
| Kuu | 60 | 1980 | 1680 |
| Aasta | 720 | 23760 | 20160 |
| Maksumus, eur | | 20434 | 11088 |

Tabel 26. PLT 0007 lõhkematerjalide maksumus kolme kasutuskorra juures ööpäevas

| PLT 0080 | Lõhkamiste arv | LA kulu kg | ED kulu tk |
|----------------------|----------------|--------------|-------------|
| Ööpäev | 3 | 138,6 | 72 |
| Nädal | 15 | 693 | 360 |
| Kuu | 60 | 2772 | 1440 |
| Aasta | 720 | 33264 | 17280 |
| Maksumus, eur | | 28607 | 9504 |

Tabel 27. PLT 0080 lõhkematerjalide maksumus kolme kasutuskorra juures ööpäevas

| 1. variant | Lõhkamiste arv | LA kulu, kg | ED kulu, tk |
|----------------------|----------------|--------------|-------------|
| Ööpäev | 3 | 51,27 | 60 |
| Nädal | 15 | 256,35 | 300 |
| Kuu | 60 | 1025,4 | 1200 |
| Aasta | 720 | 12305 | 14400 |
| Maksumus, eur | | 10582 | 7920 |

Tabel 28. Esimese variandi lõhkematerjalide maksumus kolme kasutuskorra juures ööpäevas

Tabelites välja toodud andmetest selgub, et esimese variandi puur-lõhketööde tehnoloogia kasutamisega hoitakse lõhkematerjalide pealt kokku 13 000 eurot võrreldes PLT 0007-ga ning 20 000 eurot võrreldes PLT 0080-ga ühe aasta jooksul.

| PLT 0007 | Lõhkamiste arv | LA kulu, kg | ED kulu, tk |
|----------------------|----------------|--------------|--------------|
| Ööpäev | 5 | 165 | 140 |
| Nädal | 25 | 825 | 700 |
| Kuu | 100 | 3300 | 2800 |
| Aasta | 1200 | 39600 | 33600 |
| Maksumus, eur | | 34056 | 18480 |

Tabel 29. PLT 0007 lõhkematerjalide maksumus viie kasutuskorra juures ööpäevas

| PLT 0080 | Lõhkamiste arv | LA kulu kg | ED kulu tk |
|----------------------|----------------|--------------|--------------|
| Ööpäev | 5 | 231 | 120 |
| Nädal | 25 | 1155 | 600 |
| Kuu | 100 | 4620 | 2400 |
| Aasta | 1200 | 55440 | 28800 |
| Maksumus, eur | | 47678 | 15840 |

Tabel 30. PLT 0080 lõhkematerjalide maksumus viie kasutuskorra juures ööpäevas

| 2. variant | Lõhkamiste arv | LA kulu, kg | ED kulu, tk |
|----------------------|----------------|--------------|--------------|
| Ööpäev | 5 | 113,05 | 125 |
| Nädal | 25 | 565,25 | 625 |
| Kuu | 100 | 2261 | 2500 |
| Aasta | 1200 | 27132 | 30000 |
| Maksumus, eur | | 23334 | 16500 |

Tabel 31. Teise variandi lõhkematerjalide maksumus viie kasutuskorra juures ööpäevas

| 3. variant | Lõhkamiste arv | LA kulu, kg | ED kulu, tk |
|----------------------|----------------|--------------|--------------|
| Ööpäev | 5 | 123,2 | 140 |
| Nädal | 25 | 616 | 700 |
| Kuu | 100 | 2464 | 2800 |
| Aasta | 1200 | 29568 | 33600 |
| Maksumus, eur | | 25428 | 18480 |

Tabel 32. Kolmanda variandi lõhkematerjalide maksumus viie kasutuskorra juures ööpäevas

Tabelites välja toodud andmetest selgub, et teise variandi kasutamise korral hoitakse aastas kokku 13000 eurot võrreldes PLT 0007-ga ning 24 000 eurot võrreldes PLT 0080-ga. Kolmanda variandi kasutamise korral hoitakse kokku 9000 eurot võrreldes PLT 0007-ga ning 20 000 eurot võrreldes PLT 0080-ga.

JÄRELDUSED

Magistritöös väljatöötatud puur-lõhketööde tehnoloogilistest variantidest kõige madalama lõhkeaine erikuluga on esimene variant - $0,54 \text{ kg/m}^3$. Teise ja kolmanda variandi korral on lõhkeaine erikulu võrdne - $0,66 \text{ kg/m}^3$. Esimese variandi korral on tööprotsesside kestus umbes kolm ja pool tundi. Teise ja kolmanda variandi korral on tööprotsesside kestus umbes kolm tundi. Lõhkeaukude arv on kõige suurem kolmandal variandi puhul - 28 tk ning vähim esimesel variandil - 20 tk. Ee edasinihe esimese ja kolmanda variandi korral on 2,0 m ning teise variandi korral 1,95 m. Majanduslikult on otstarbekas kasutada esimest varianti, mille maksumus ühe ee lõhkematerjalide kohta on 25,70 eurot. Teise variandi korral on sama näitaja 33,19 eurot ja kolmanda variandi puhul 36,59 eurot.

Parimaks variandiks antud magistritöös on esimene puur-lõhketööde variant, mille korral soonitakse kaks soont mõlemasse ee äärde. Taolise meetodiga tekib esitatud variantidest kõige suurem vaba pinna pindala ning kokku on ees kolm vaba pinda. Vabade pindade suure pindala tõttu on suletistegur väiksem, mis vähendab lõhkeaine erikulu. Lõhkeaine erikulu vähenemisest tuleneb ka lõhkeaine koguse vähenemine. Esimese variandi puhul on lõhkeaukude arvu tõttu puurtööde maht väiksem kui teistel variantidel. Lõhkeaine koguse ja lõhkeaukude arvu vähenemisega kaasneb lõhkematerjalide (lõhkeaine ja detonaatorite) kulud. Kahe soone soonimisel ee äärtesse, suurendatakse tervikute püsivuse stabiilsust, mida teise variandi puhul on vähem ning kolmanda variandi korral puudub.

KESKKONNAMÕJU

Kasutades algsuurdega soonimist eesmärges, tagatakse tervikute kindlad mõõtmed. Tervikute suurus määrab maapinna stabiilsuse. Kohas, kus tervikud on väiksemad on suurem oht langatuste ja varingute jaoks, samas kui tervikud on liiga suured jäetud, jääb suur osa tootsast põlevkivist kasutamata.

Samuti sõltuvad lõhketöödest ka maavõnked, kuna lõhketöödel tekkiva seismilise võnkumise intensiivsus sõltub korraga lõhatavate laengute summaarsest massist, kaitsvate objektide kaugusest lõhketööde läbiviimise piirkonnast ning kaitsava objekti aluse pinnase seismilisest tugevusest. Lõhketöödel tekkiva maapinna seismiliste võnkumiste intensiivsuse näitaja on võnkekiirus. Kaitsvate objektide konstruktsiooniisearasustest sõltuvalt võib neile kahjustusi tekitamata mõjuda erinev võnkekiirus. Seetõttu Estonia kaevanduse kaitsvate Selisooga piirneva ala juures tuleks olla eriti hoolas lõhketöödel kasutatava lõhkematerjalide kogustega ja lõhatavate pindadega ning samuti kohtades, mille läheduses on suurem hoonestus (Mäetaguse ja Illuka alevikud). [16] [23]

Väga oluline aspekt, mida jälgida on lõhkamistööl tekkiva keskkonnagaaside teke. Lõhkamistööl on olemas tekkivate saasteainete heitkogus eelkõige lõhkeaine erikulu (kg/m^3) lõhatava mäemassi mahu kohta, aastas lõhatava mäemassi kogusest ja saasteainete erihetist lõhkeaine massiühiku kohta (kg/t). Lõhkeaine erikulu vähendamiseks minimeeritakse lõhkamisel lõhkeaine gaaside kogust kaevanduses. Gaasid mis tekivad lõhketööde käigus võivad õhku lendudes reageerida teiste gaasidega, moodustades ohtlike keskkonnagaase. Seetõttu on oluline jälgida gaaside koguseid, mis lõhketööde käigus tekivad. Samuti on mitmed väljatoodud gaasid suurtes kogustes ohtlikud inimestele, mille tõttu tuleb peale lõhketöid alati kaevanduses ventilatsioon. Ventilatsiooniga juhitakse gaasid välja šurfide kaudu. Jooniselt 16 võib jälgida erinevate keemiliste komponentide koguseid, mida on arvatud ühe tonni lõhkeaine kohta. [24]

| Saasteaine | Senatel Powerfrag | |
|------------------|-------------------|----------|
| | liiter/t | Q*, kg/t |
| CH ₄ | 2,61 | 0,0019 |
| CO | 5910 | 7,3875 |
| CO ₂ | 84100 | 165,196 |
| NH ₃ | 18900 | 14,344 |
| H ₂ S | 200 | 0,304 |
| NO | 40 | 0,05357 |
| SO ₂ | 388 | 1,1085 |

Joonis 16. Saasteainete erikogused (Q) ühe tonni lõhkeaine kohta [24]

| Saasteaine | M läbindus, t/a A _g = 1000 t/a |
|------------------|--|
| CH ₄ | 0,0029 |
| CO | 11,0813 |
| CO ₂ | 247,7940 |
| NH ₃ | 21,5160 |
| H ₂ S | 0,4560 |
| NO | 0,0536 |
| SO ₂ | 1,6628 |

Joonis 17. Lõhkamistööde käigus tekkivad saasteainete heitkogused [24]

KOKKUVÕTE

Käesolevas magistritöös koostati kolm erinevat puur-lõhketööde tehnoloogilist varianti, milleks kasutati algselt vertikaalset soont. Laengute arvutustel kasutati emeritprofessor Enno Reinsalu poolt välja töötatud Eesti põlevkivimaardla jaoks välja töötatud arvutusmetoodikat ning lähtuti soonte asukohast ees ja nende mõõtmest. Tehnoloogiliste analüüside tulemusena selgus, et lõhkeaine erikulu on kõige madalam kui soonida kaks vertikaalset soont ees äärtes. Selline variant on majanduslikult kõige otstarbekam kuna säästab ettevalmistuskaevetööde lõhkematerjalide kulusid hetkeolukorraga võrreldes ligi 13 000 eurot. Negatiivseks asjaoluks võib pidada fakti, et iseliikuva soonuri liikumiskiirus on aeglane, mistõttu saab taolist tehnoloogiat kasutada paneele jaotavates veo-, tuulutus- ja konveierstrekides. Samuti vähendab lõhketööde efektiivsust vertikaalse soone sügavus ees, mistõttu tuleb olukord lahendada erinevate lõhkeaukude asetustega.

Magistritöös saadud arvutuslikud parameetrid (laenguaukude paigutus, lõhkeaine kogus, viidete paigutus, jms) tuleb kontrollida katselõhkamistega ning neid parameetreid vajaduse korral vajalikus suunas korrigeerida.

KASUTATUD ALLIKAD

1. Kutsar, R., „AS Enefit Kaevandused Estonia kaevanduse maavara kaevandamisloa KMIN-054 pikendamise taotluse keskkonnamõju hindamine,“ Keskkonnamõju hindamise aruanne, Hendrikson & Co, Tallinn, 2016.
2. Savitsi, L., Savva, V. „Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambrium-Vendi veekompleksi põhjaveevaru hinnang Estonia Kaevanduse veehaardel,“ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 2001.
3. Enefit Kaevandused AS, „Estonia kaevanduse sisedokumentatsioon,“ Estonia kaevandus, Väike-Pungerja, 2017.
4. Enefit Kaevandused AS, „Allmaakaevandamine,“ , [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.enefit.com/et/underground-mining> [Kasutatud 04.04.2017]
5. Enefit Kaevandused AS, „Protsessikäsiraamat,“ Estonia kaevandus, Jõhvi, 2017.
6. Ignatovets, S. „Põlevkivi kamberkaevandamise alternatiivse tehnoloogilise skeemi kasutuselevõtmise analüüs estonia kaevanduse tingimustes,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2016.
7. Utrobina, L. „Estonia kaevanduse geoloogiline läbilõige,“ Enefit Kaevandused AS, Väike-Pungerja, 2016.
8. Aaloe, A., Bauert, H., Soesoo, A. „Kukersiit-Eesti põlevkivi,“ Tallinna Tehnikaülikool, Geoloogiainstituut [Võrgumaterjal] Available: http://www.gi.ee/geoturism/Polevkivi_CMYK_062011_100dpiS.pdf [Kasutatud 10.04.2017]
9. Nossikov, M., Frolov, A. „Läbindusee pass lae kõrguse jaoks 3,8 m (LP 0007)“ Enefit kaevandused AS, Väike-Pungerja, 2016.
10. Aruküla, H., Eigo, L., Joosep, E., Reinsalu, E. „Puur- ja lõhketööd“ Valgus, Tallinn, 1980.
11. Maaamet, „Estonia kaevanduse kaevandamisluba,“ 04 09 2004. [Võrgumaterjal]. Available:

<http://xgis.maaamet.ee/xGIS/bronx/maardlad/showdata.aspx?mkood=340>.

[Kasutatud 16.05.2017]

12. Utrobina, L. „Põlevkivi kihtide füüsilised ja mehaanilised omadused”, Enefit Kaevandused AS, Väike-Pungerja, 2014.
13. Ovsyannikov, S. „Объект испытания”, Enefit Kaevandused AS, Väike-Pungerja, 2017.
14. Ovsyannikov, S. „МББ-140 технические характеристики”, Enefit Kaevandused AS, Väike-Pungerja, 2017.
15. Tomberg, T. „Lõhketööd”, TTÜ Mäeinstituut, Tallinn, 1998.
16. Riigiteataja, „Lõhketööde projektile esitatavad nõuded” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12962191> [Kasutatud 20.05.2017]
17. Nosikov, M., Agutin, I. „Läbinduse pass lae kõrguse jaoks 3,8 m (LP 0080)” Enefit kaevandused, Väike-Pungerja, 2016.
18. Mäeinstituut, „Maavarade kaevandamine,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://picasaweb.google.com/118197680824516216376/Allmaakaevandamine?feat=embedwebsite#5887492568081830162>. [Kasutatud 28.03.2016].
19. Mihhaltšenko, A., Agutin, I. „17. paneeli ettevalmistuskäveõõnte rajamise pass”, Enefit kaevandused, Väike-Pungerja, 2016.
20. Reinsalu, E. „Проектирование буровзрывных работ на сланцевых шахтах”, Tallinn, 1970.
21. Tomberg, T. „Laengu toime maapõues”, Lõhketööde kursuse loengumaterjalid, TTÜ Mäeinstituut, Tallinn, 2016.
22. Tomberg, T. „Eestis enamkasutatavate lõhkeainete trotüülekvalendid”, Tallinn, 2016.
23. Valgma, I. „Estonia kaevanduse lõhketööde mõjutegurite mõõtmine” TTÜ Mäeinstituut, Tallinn, 2014.
24. Paju, M., Maasikmets, M. „AS Eesti Energia Kaevandused Estonia kaevanduse välisõhusaasteloa lubatudheitkoguste magistritöö” Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn, 2014.

LISAD

Lisa 1. Laengute arvutus

Kahe ja enama vaba pinnaga lõhketöödel määratakse lõhkeaine erikulu valemist:

$$q = q_6 C_s \text{ (kg/m}^3\text{)},$$

- $q_6 = 0,22 \text{ kg/m}^3$ – lõhkeaine erikulu massiivist eraldatud (kuue vaba pinnaga) kivimitüki lõhkamiseks [22];
- C_s - suletustegur, mis on määratav kui lõhatava massiivi täispindala ja vaba pinna pindala suhe.

Ristkülikukujulise massiivi lõhkamisel leitakse suletustegur valemist:

$$C_s = \frac{2(Bh + hl + lB)}{Z}$$

- B – ee laius (m);
- h – ee kõrgus (m);
- l – ee edasinihe (m);
- Z – vaba pinna summaarne pindala (m^2).

Lõhkeaine kulu ee lõhkamiseks:

$$Q = qSl \text{ (kg)}$$

- q – lõhkeaine erikulu (kg/m^3);
- S – ee ristlõike pindala (m^2);
- l – ee edasinihe (m).

Laengute erikulu:

$$q_1 = \frac{2,3q}{l_0} \text{ (laeng/m}^3\text{)}$$

- q – lõhkeaine erikulu (kg/m^3);
- l_0 – puurimissügavus (m).

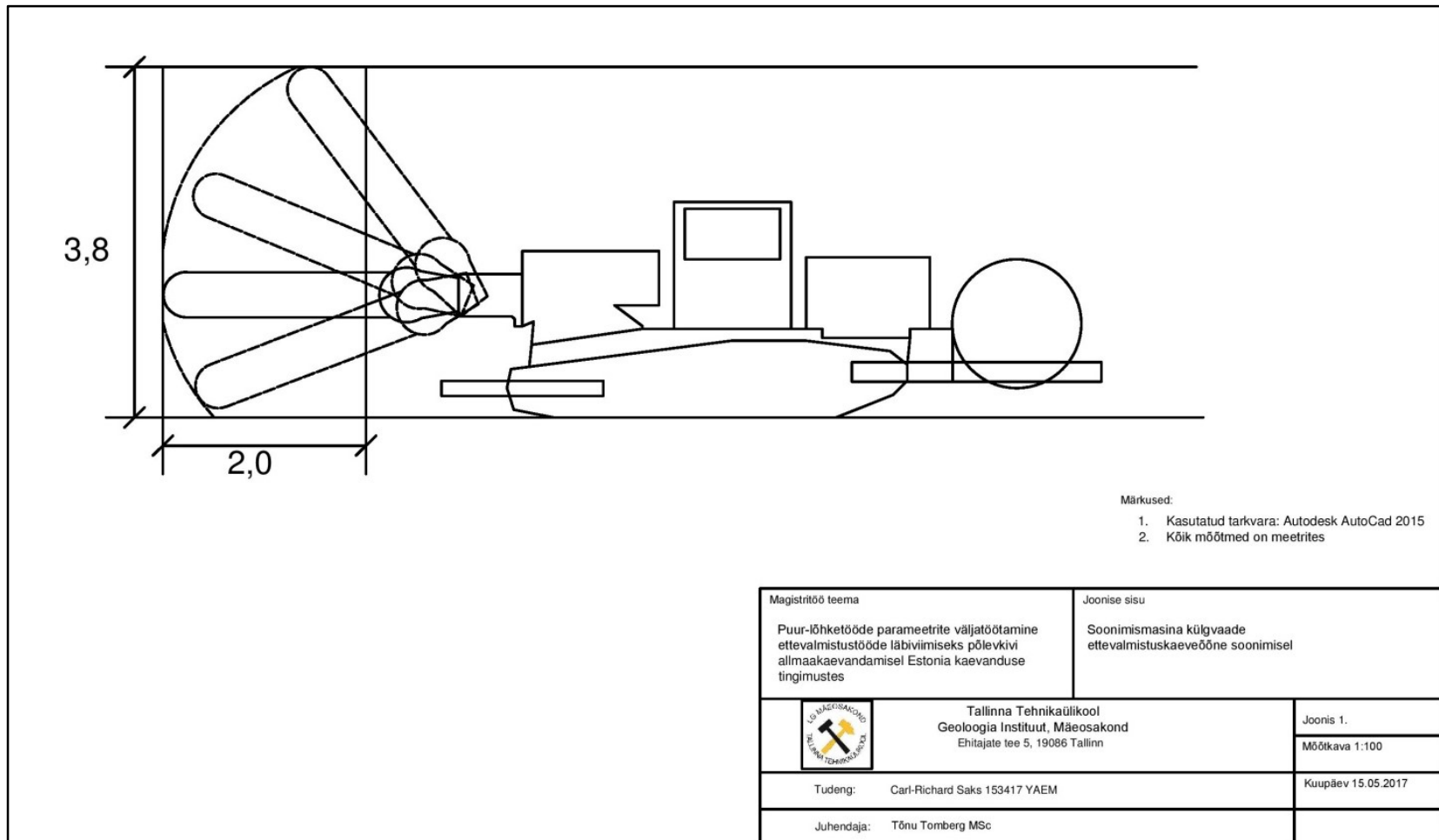
Laenguaukude arv:

$$Q = q_1Sl$$

- q_1 – laengute erikulu (laeng/m^3);

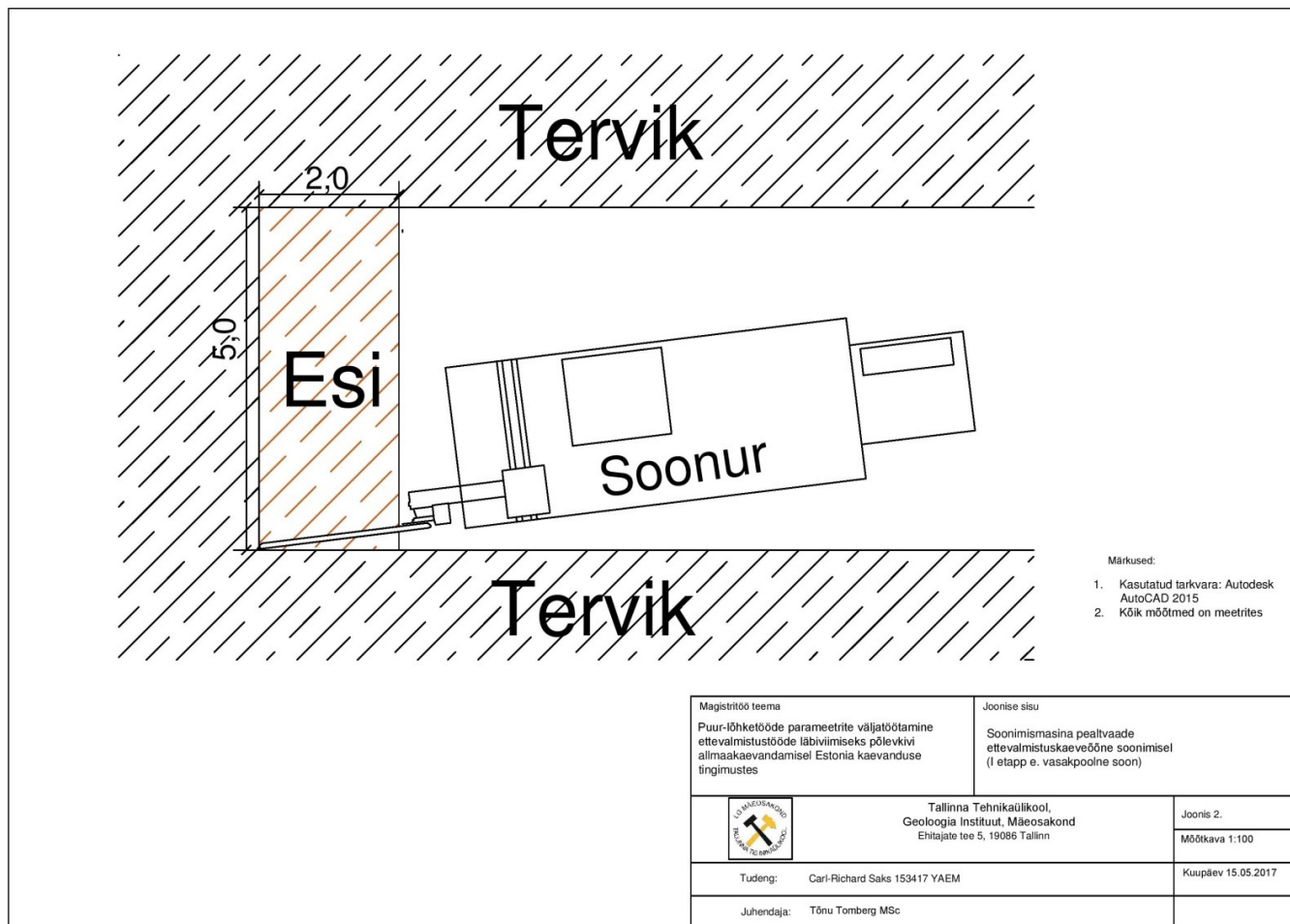
- S – ee ristlõike pindala (m^2);
- l – ee edasinihe (m) [20].

Lisa 2. Iseliikuva soonuri külgvaade



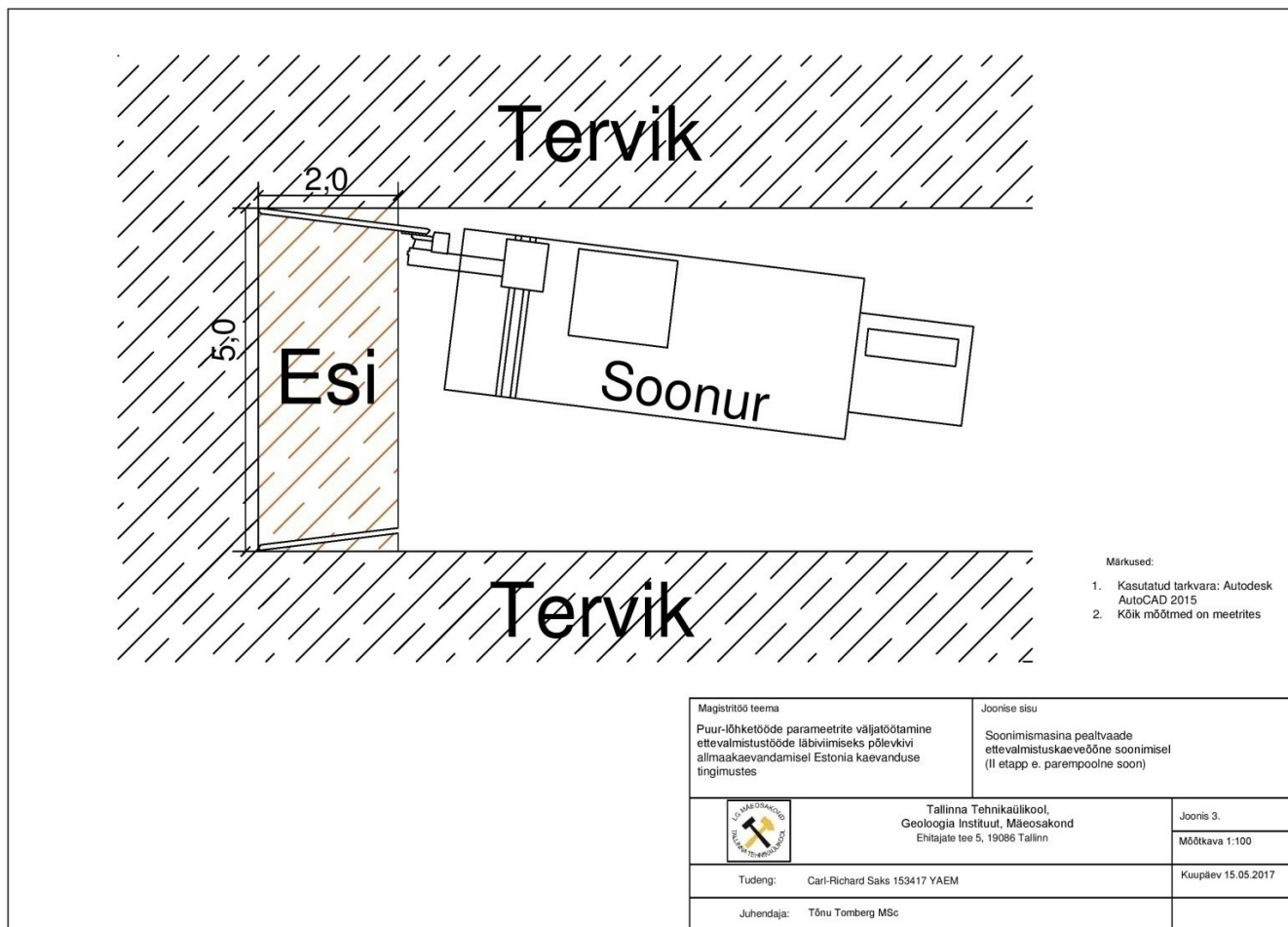
Carl-Richard Saks
Geoloogia Instituut, Mäeosakond

Lisa 3. Iseliikuva soonuri pealtvaade (vasakpoolne soon)



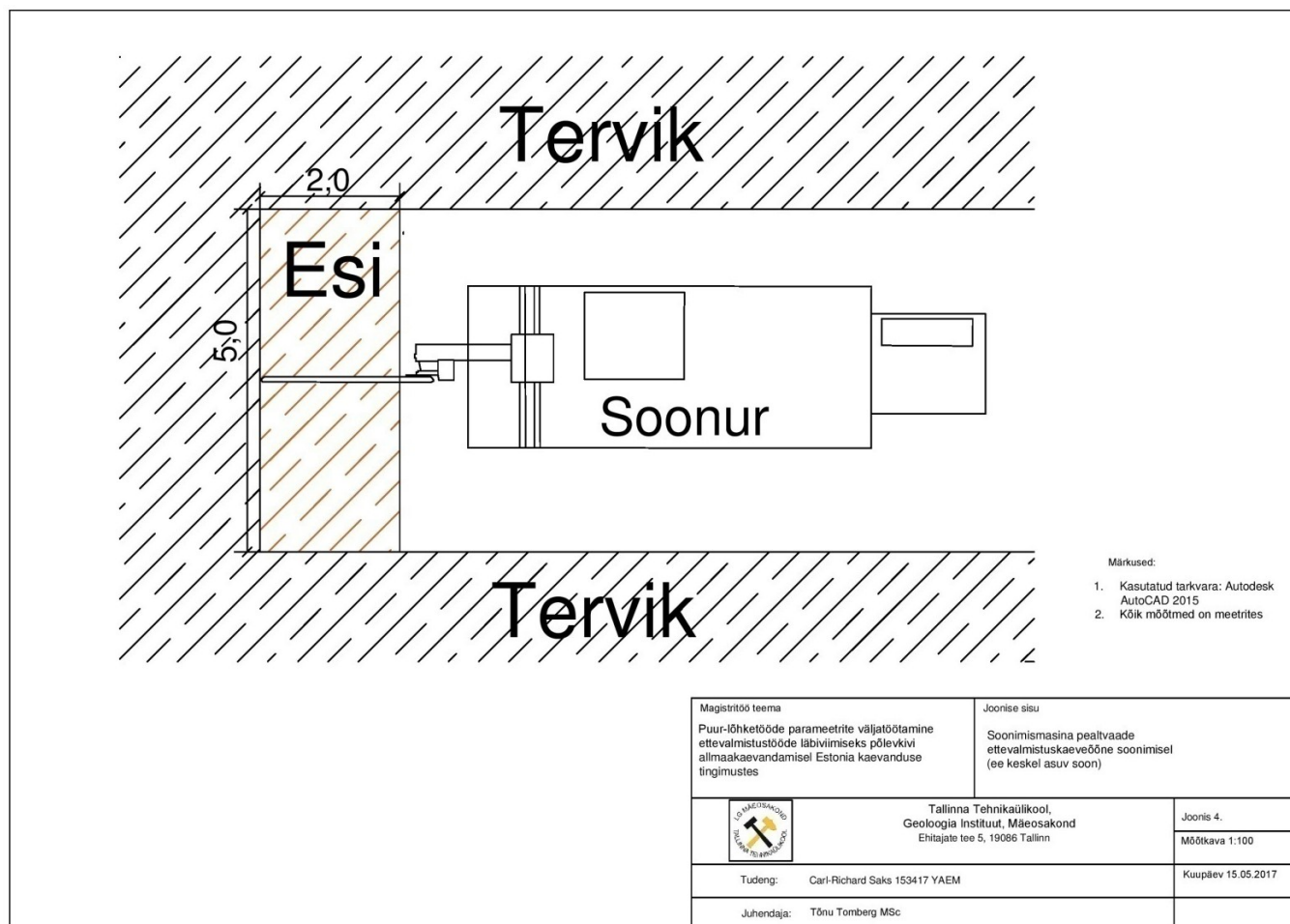
Carl-Richard Saks
Geoloogia Instituut, Mäeosakond

Lisa 4. Iseliikuva soonuri pealtvaade (parempoolne soon)



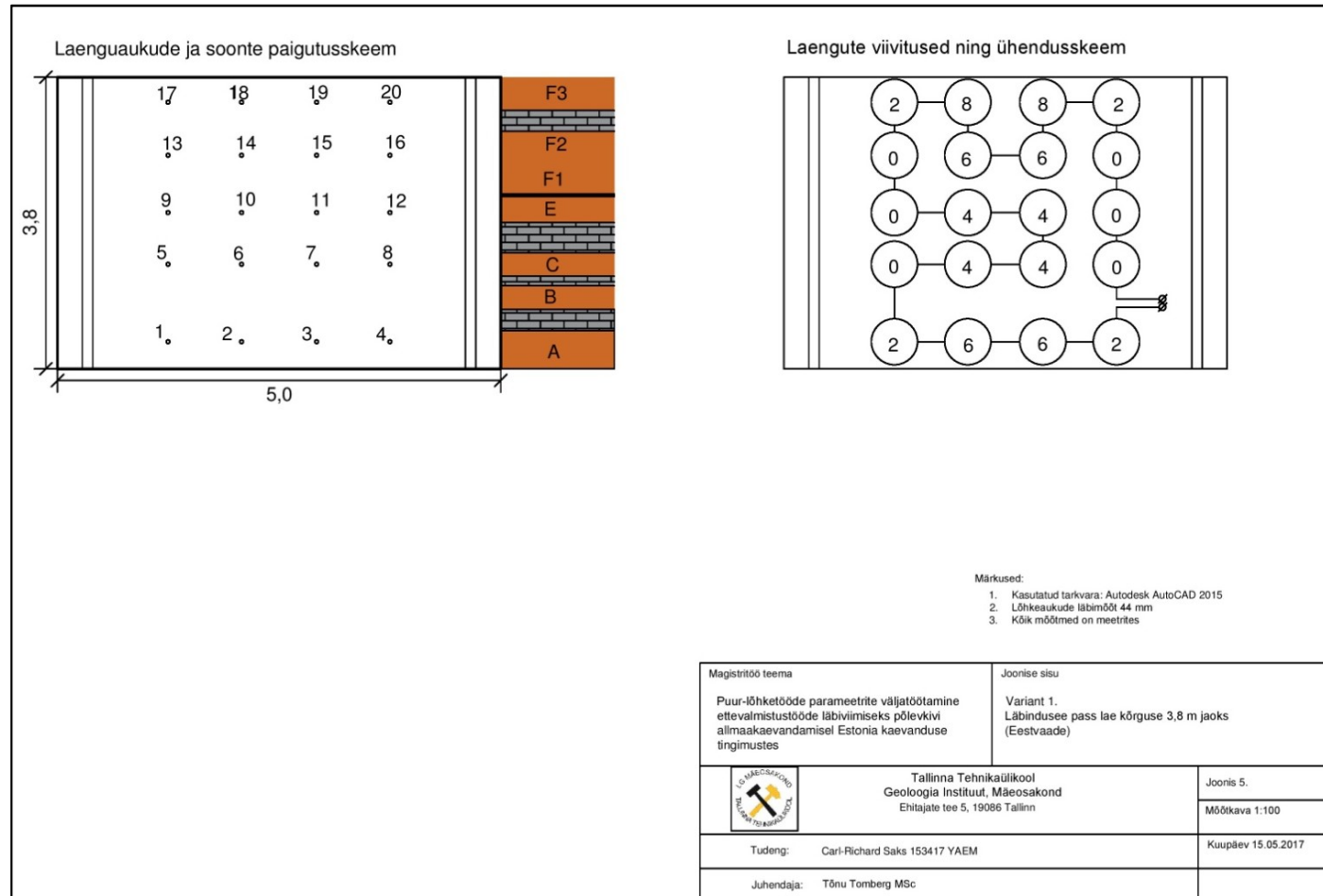
Carl-Richard Saks
Geoloogia Instituut, Mäeosakond

Lisa 5. Iseliikuva soonuri pealtvaade (ee keskel asuv soon)



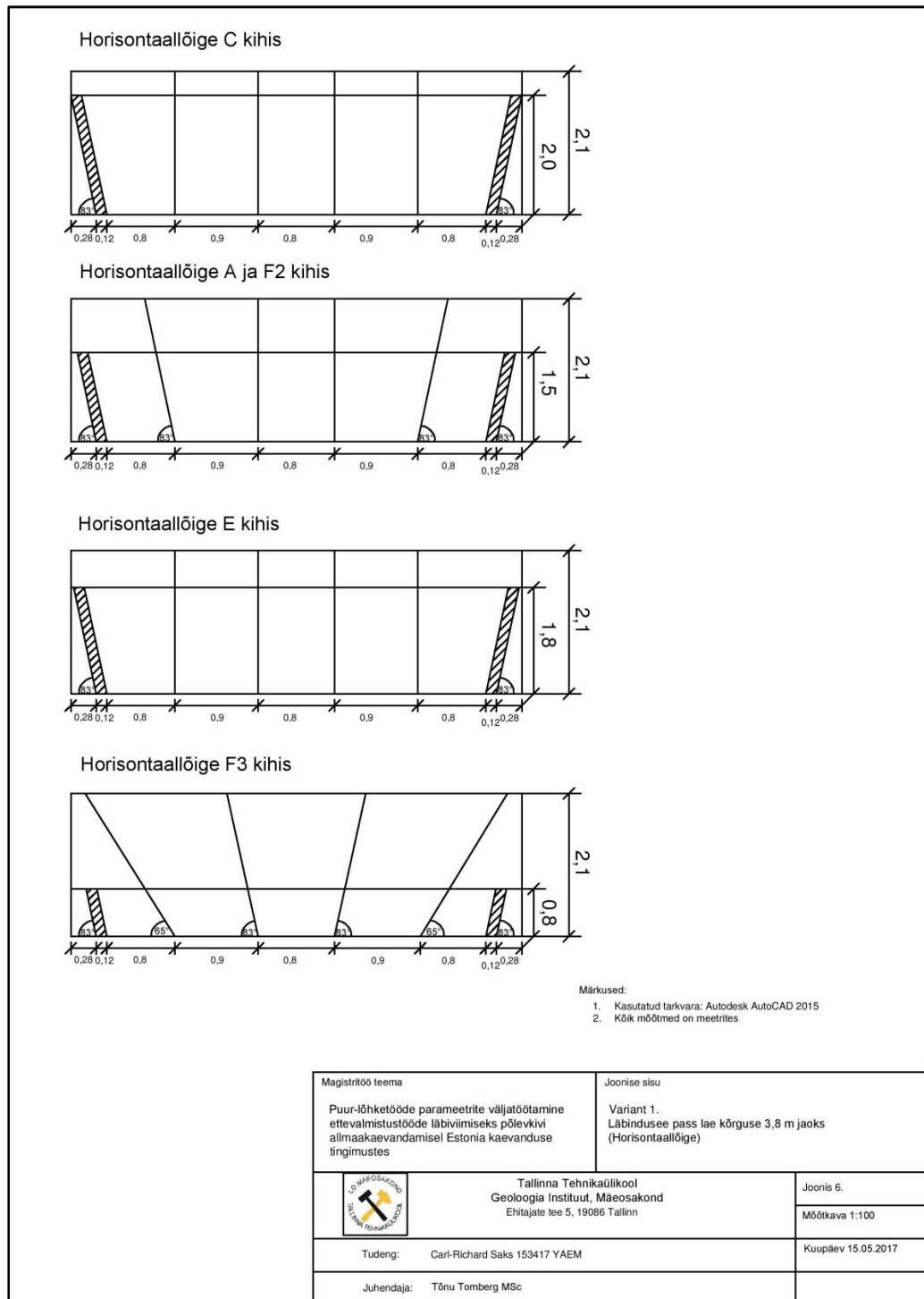
Carl-Richard Saks
Geoloogia Instituut, Mäeosakond

Lisa 6. Esimese variandi eestvaade

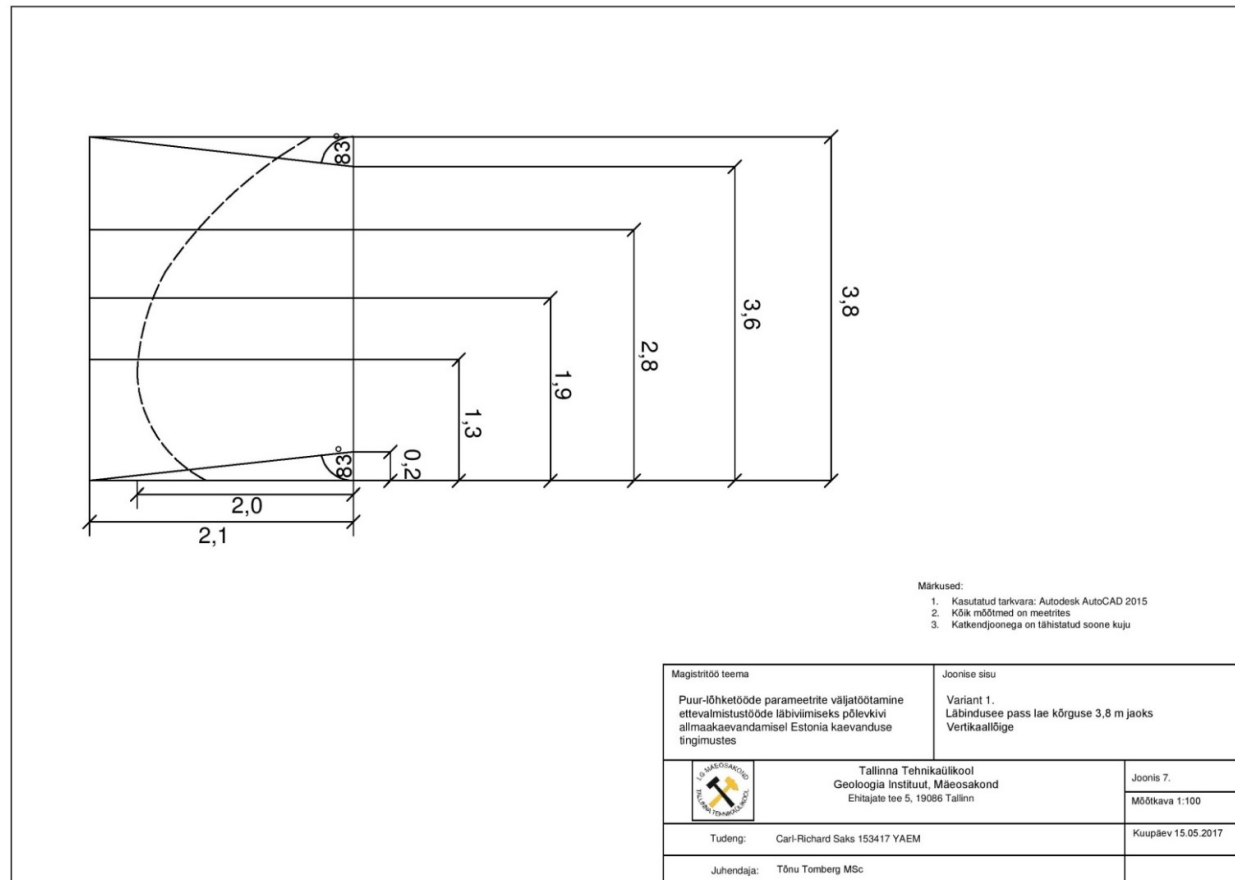


Carl-Richard Saks
Geoloogia Instituut, Mäeosakond

Lisa 7. Horisontaallõige esimese variandi korral

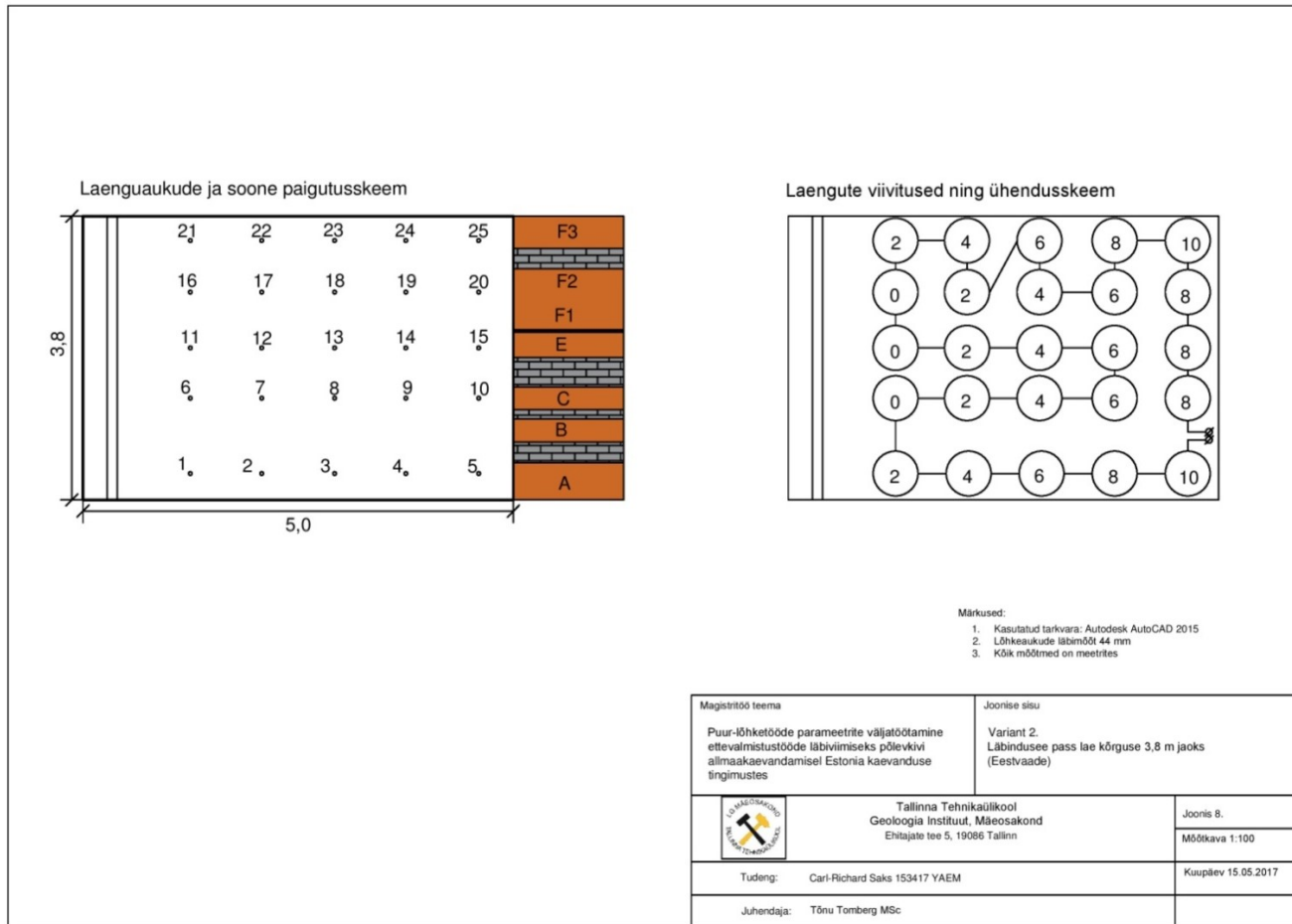


Lisa 8. Vertikaallõige esimese ja teise variandi korral



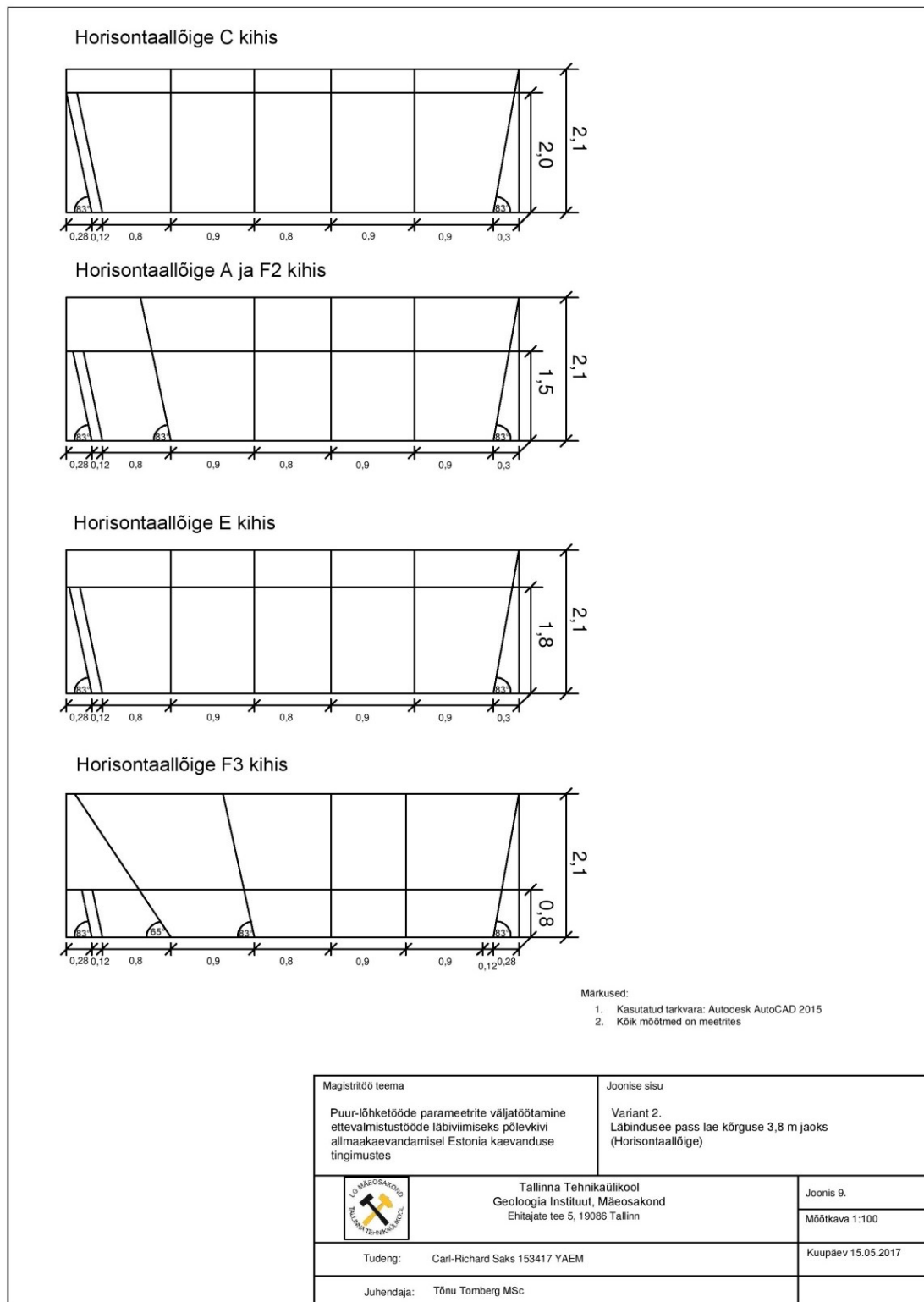
Carl-Richard Saks
 Geoloogia Instituut, Mäeosakond

Lisa 9. Teise variandi eestvaade

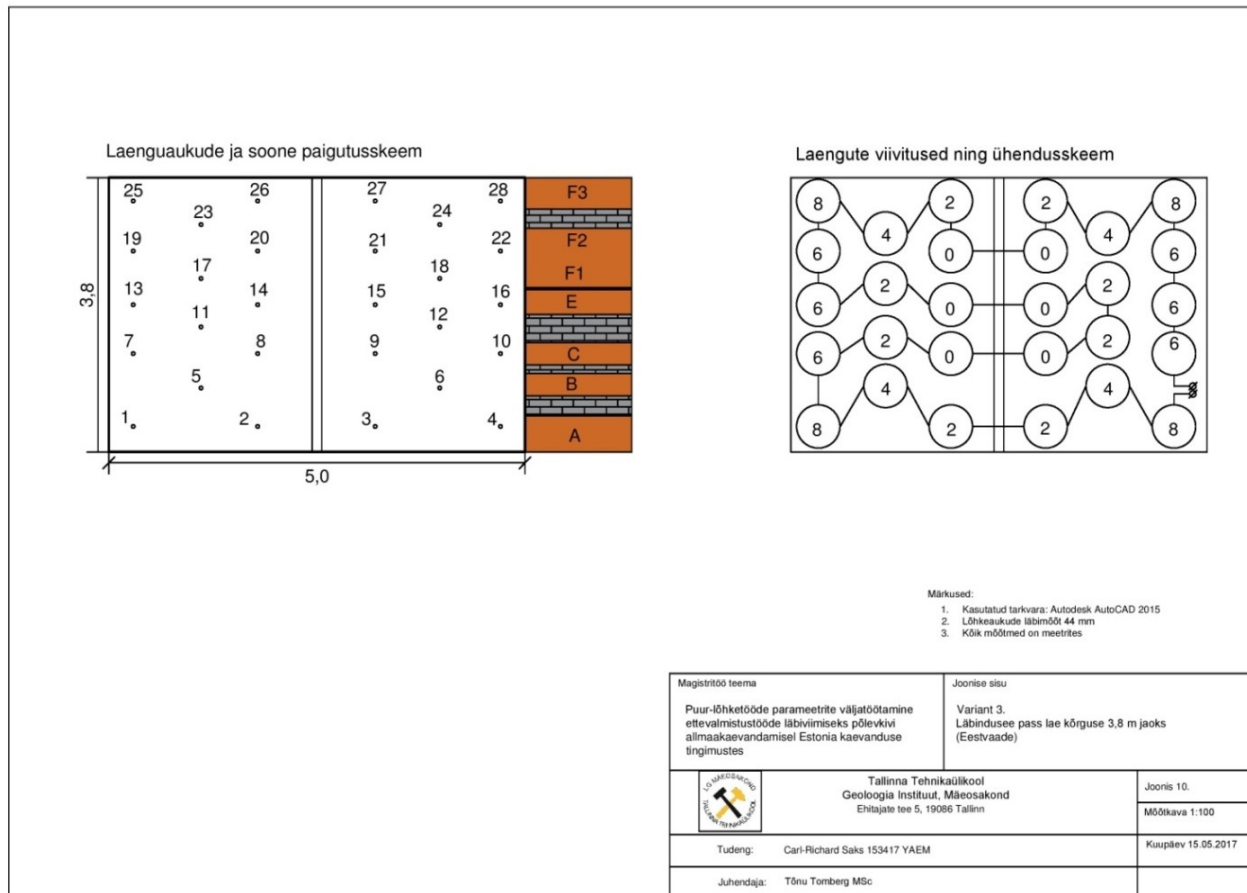


Carl-Richard Saks
Geoloogia Instituut, Mäeosakond

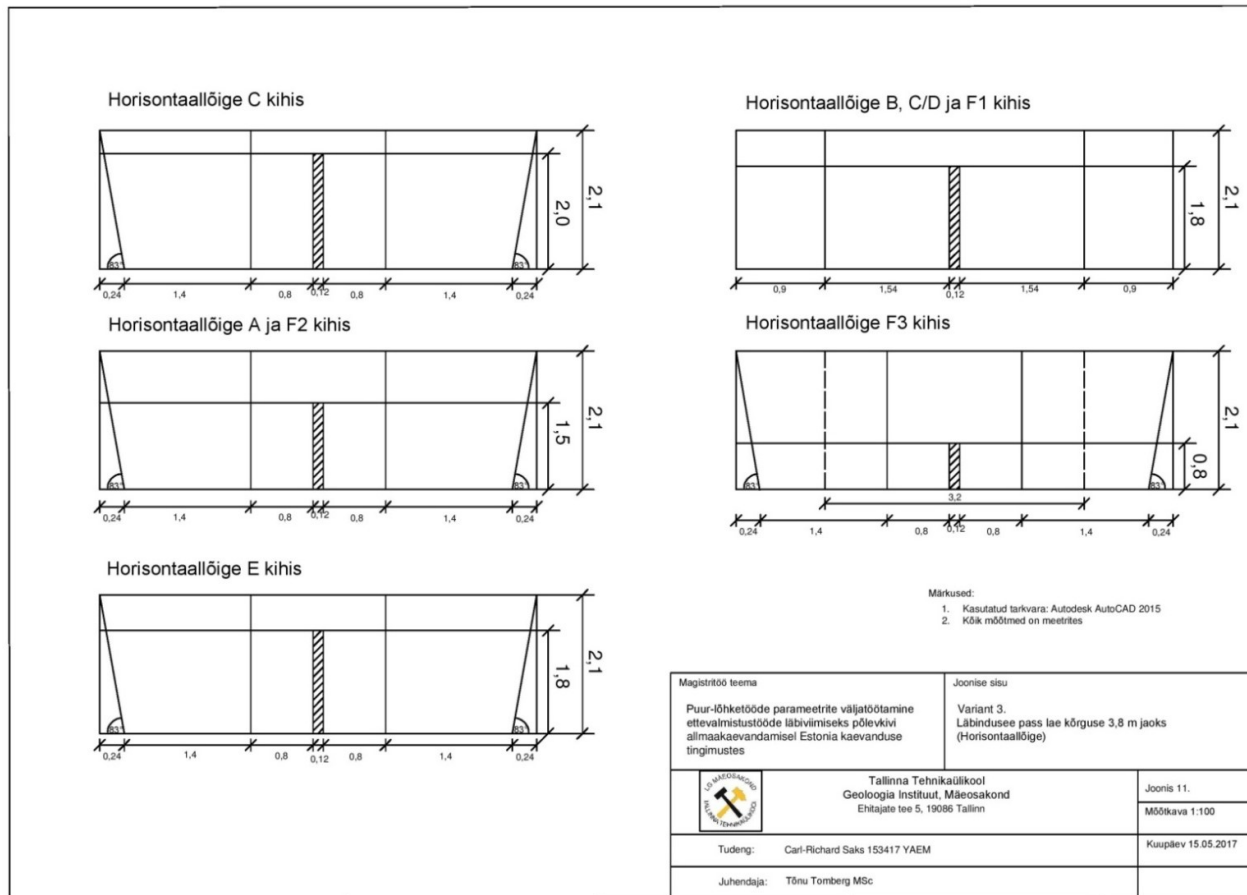
Lisa 10 Teise variandi horisontaallõige



Lisa 11 Kolmanda variandi eestvaade

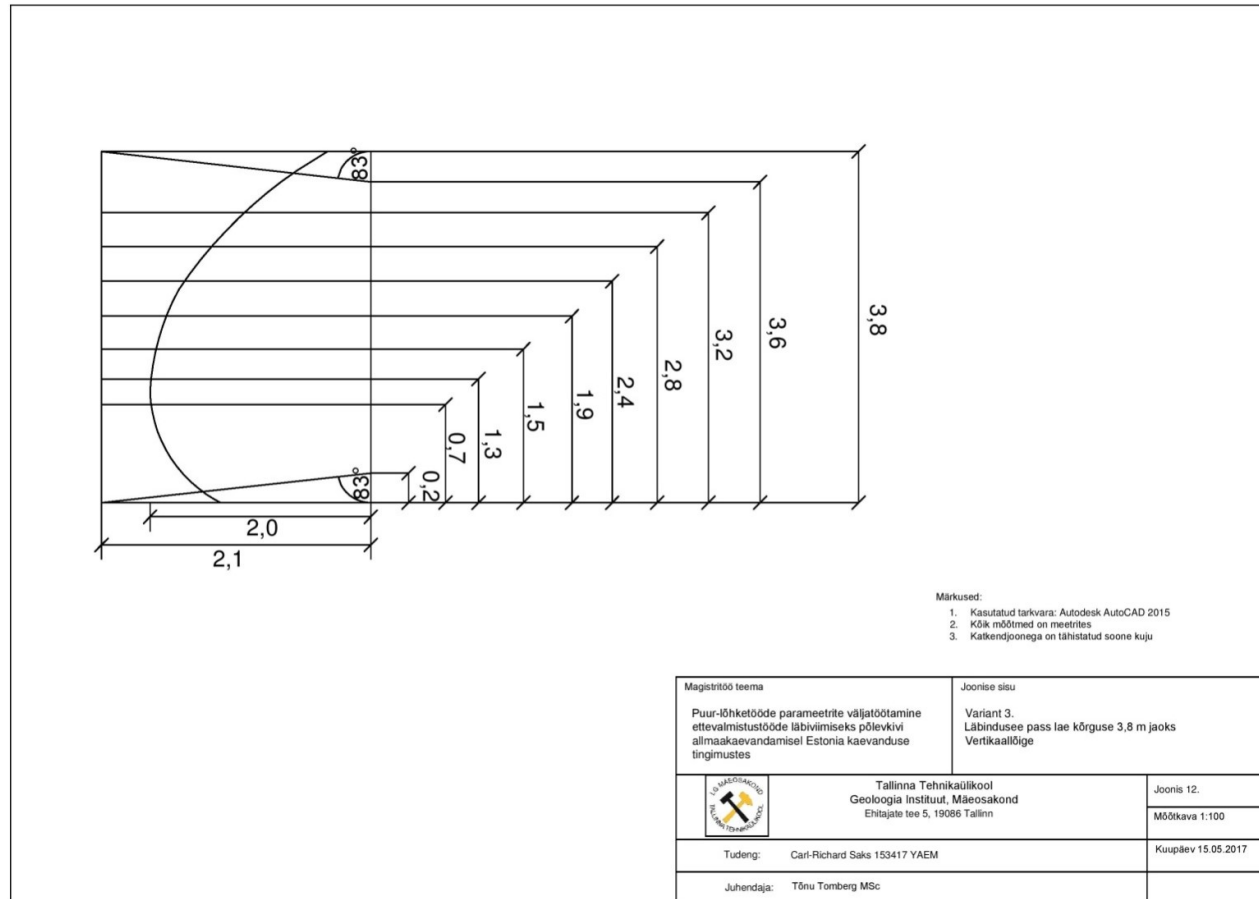


Lisa 12. Kolmanda variandi horisontaallõige



Carl-Richard Saks
Geoloogia Instituut, Mäeosakond

Lisa 13. Kolmanda variandi vertikaallõige



Carl-Richard Saks
Geoloogia Instituut, Mäeosakond