

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Energeetikateaduskond

Mäeinstituut



AKM70LT

# ŠURFIPUURIMISE ANALÜÜS EESTI PÕLEVKIVIKAEVANDUSTE TINGIMUSTES

Magistritöö, ID: 2722

Instituudi direktor	professor Ingo Valgma
Juhendaja	professor Ingo Valgma
Lõpetaja	Kaspar Peebo,143657AAGM

Tallinn 2016

## AUTORIDEKLARATSIOON

Kinnitan, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus. Kõik selle koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Varem ei ole selle alusel kutsekraadi, teaduskraadi ega inseneridiplomit taotletud.

Tallinn, 16.03.2016

..... Kaspar Peebo

## RESÜMEE

**Peebo, K. (2016). Šurfipuurimise analüüs Eesti põlevkivikaevanduste tingimustes. Tallinna Tehnikaülikool. Magistritöö. Käsikiri. Maht 87 lehekülge, 31 kasutatud allikat, 38 joonist, 16 tabelit, 2 lisa.**

Magistritöö eesmärk on analüüsida šurfipuurimise tehnoloogia kasutuselevõtu tingimusi ning sobivust Eesti põlevkivikaevandustes Eesti Energia Kaevanduste AS Estonia kaevanduse näitel. Peamine põhjus tehnoloogia uurimiseks on tööohutus, mis peab olema viidud mäendusettevõtetes vähemalt minimaalsele tasemele, kuid hetkel kasutatava tehnoloogia puhul on näidustatud mitmed erinevad ohud, nagu näiteks mürgiste gaaside sissehingamine või lagede varingud. Taoliste õnnetuste ärahoidmiseks on olemas tehnoloogiad, mille puhul inimesed rajatavas kaeveõones viibima ei pea, seega tagatakse maksimaalne tööohutus kõiki ohutusnõudeid järgides.

Uurimistöö metoodilises osas antakse ülevaade töö metoodilistest suundadest, mis viisid uurimuse tulemusteni. Vajalike šurfide arvu ning sobiva diameetriga šurfi leidmiseks kasutati Venemaa mäeinseneri S. S. Kobylkini metoodikat. Šurfipuurimise põhiparameetrite arvutamiseks kasutati Hiina mäeülikoolide professorite koostatud teaduslikke artikleid. Ankrute paigutuskeemi arvutustes kasutati Eesti Energia Kaevanduste ankurdamise juhendit. Estonia kaevanduse kattekivimeid iseloomustatavate tegurite leidmiseks kasutati põhiliselt Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituudi õppejõudude artiklit nõrkade kihiliste kivimite tugevusomadustest.

Uurimuse tulemuste osast on võimalik leida kogu Estonia kaevanduse kattekivimite geoloogia ning hüdrogeoloogia, tõsupuurimise tehnoloogia kirjelduse ja selle modifikatsioonid, hetkel Estonia kaevanduses kasutatava tehnoloogia kirjelduse ning mõlema tehnoloogia majanduslikud näitajad. Tulemuste osas saadud andmeid analüüsitakse uurimuse neljandas peatükis.

Uurimistöö analüüsi osas antakse ülevaade tehnoloogia sobivusest Estonia põlevkivikaevandusega, tuulutusšurfide rajamise tugevatest külgedest ning ohtudest, samuti analüüsitakse tasuvusarvutusi. Analüüsi osas leitakse vastus küsimusele, kas praegune puur-lõhketöödega šurfide rajamise tehnoloogia on võimalik asendada uurimistöös välja pakutud šurfipuurimise tehnoloogiliste protsessidega.

Uuringu diskussiooni peatükis arutatakse, kas analüüsi osa järeldused on tegelikkusega kooskõlas ning kas uus tehnoloogia tõstab kaevanduste tööohutust.

Uurimistööst võib järeldada, et teatud modifikatsioonide toel on võimalik kasutusele võtta tööohutust tõstev šurfipuurimise tehnoloogia Eesti põlevkivikaevandustes, mis lisaks ohutuse tõusule oleks kasumlik 20 eksploatatsiooniaasta juures.

**Võtmesõnad:** šurfipuurimine, tõsupuurimine, tööohutuse tõstmine, põlevkivikaevandus, Estonia kaevandus

## ABSTRACT

**Peebo, K. (2016). Analysis of the raise boring in the conditions of Estonian oil shale mines. Tallinn University of Technology. Master's Thesis. Manuscript. 87 pages, 31 used sources, 38 figures, 16 tabels, 2 appendices.**

The given Master's thesis aims at analysing the conditions for the deployment of raise boring technology and its suitability for Estonian oil shale mines by the example of Mines of Estonian Energy AS (i.e., Estonia Mines). The main reason for carrying out the technological research is occupational safety as risks must be minimised in the mining industry; the technology currently in use has indicated several hazards, such as toxic gases or ceiling collapses. To prevent such accidents in the future, new technologies have been developed that do not require the actual presence of workers in the excavation, thus ensuring maximum safety standards in compliance with all safety requirements.

The methodological chapter of the research paper provides an overview of the methodological directions of the thesis, which helped obtain results. To ensure the necessary amount of raises of suitable diameter, the methodology of Russian mining engineer S. S. Kobylkin has been used. Calculating the main parameters of raise boring, scientific articles published by professors of Chinese mining institutes have been used. Calculating the anchor layout diagram, the anchoring instructions of Mines of Estonian Energy AS have been used. To identify the factors that characterise overburden rocks at Estonia Mines, mainly articles on the strength properties of weak overburden rocks published by scientists at the Mining Institute of Tallinn University have been used.

The results provide information on geology and hydrogeology of overburden rocks in terms of Estonia Mines, the specifications and modifications of the raise boring technology, the description of the technology used at Estonia Mines today as well as the economic indicators of both technologies. The data obtained in the form of research results are analysed in the fourth chapter.

The analysis provides an overview of the suitability of the technology and its compliance with Estonian oil shale mines, the advantages and disadvantages of installing ventilation raises; economic calculations are also analysed. The analysis answers the question of whether the current drilling construction technology can be replaced with the technological processes of raise boring suggested in the research paper.

The discussion debates about whether the conclusions of the analysis are practical as well as whether the new technology will ensure the desired effect, in particular, in terms of safety awareness.

It has been concluded that taking into account certain modifications, the raise boring technology that ensures improved occupational safety can be introduced in Estonian oil shale mines, which, in addition, would be profitable in terms of the 20th operational year.

**Keywords:** drilling of surf, raise boring, raise borer, oil shale mine, Estonia mine

## SISUKORD

AUTORIDEKLARATSIOON .....	2
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	3
RESÜMEE .....	4
ABSTRACT .....	5
SISUKORD .....	6
TABELITE SISUKORD .....	8
JOONISTE SISUKORD .....	9
EESSÕNA .....	11
1. SISSEJUHATUS .....	12
2. METOODIKA .....	14
2.1 Tehnoloogia valik Estonia kaevandusse .....	14
2.2 Tõusupuurimise põhiparameetrid Estonia kaevanduses .....	17
2.3 Tõusupuurimise tehnoloogia tasuvusarvutus .....	20
2.4 Puur-lõhketöödega rajatavate šurfide kulud.....	21
2.5 Tehnoloogiate majanduslike näitajate võrdlemine.....	21
3. TULEMUSED .....	22
3.1 Estonia kaevandus Eesti põlevkivimaardlas .....	22
3.2 Estonia põlevkivikaevanduse geoloogia .....	23
3.2.1 Estonia kaevanduse kattekivimite geoloogia.....	23
3.2.2 Estonia kaevanduse põlevkivihindi geoloogia .....	25
3.3 Estonia põlevkivikaevanduse hüdrogeoloogia .....	27
3.4 Estonia kaevanduse tööprotsesside kirjeldus .....	28
3.5 Hetkel kasutatav tuulutusšurfide rajamise tehnoloogia.....	30
3.5.1 Tuulutusšurfi kaldosa läbindamine.....	32
3.5.2 Tuulutusšurfi vertikaalse osa läbindamine .....	35
3.6 Tõusupuurimise tehnoloogia üldkirjeldus .....	38
3.7 Tõusupuurimise sobilikkus Estonia kaevandusse .....	41
3.7.1 Tõusupuurimise tehnoloogilised parameetrid .....	42
3.7.2 Rajatava šurfi platsi ettevalmistustööd .....	52

3.7.3	Tehnoloogia iseärasustest sõltuvalt vajalikud lisaseadmed.....	54
3.7.4	Tõusupuurimise pilootpuurraugu puurimine .....	56
3.7.5	Tuulutusšurfi tõusupuurimine .....	58
3.7.6	Tõusupuurimise lõpetamine ning ala korrastamine.....	62
3.8	Tõusupuurimise tehnoloogia tasuvusarvutus .....	64
3.9	Puur-lõhketöödega rajatavate šurfide kulud.....	68
3.10	Tehnoloogiate majanduslike näitajate võrdlemine.....	69
4.	ANALÜÜS .....	70
4.1	Tõusupuurimise sobilikkus Estonia kaevanduse geoloogiliste ning hüdrogeoloogiliste tingimustega .....	70
4.2	Puur-lõhketöödega šurfide rajamine .....	72
4.3	Tõusupuurimise tehnoloogiline sobilikkus Estonia kaevandusse .....	73
4.4	Tõusupuurimise turvalisus ning ohud .....	77
4.5	Tasuvusarvutuse analüüs.....	79
5.	DISKUSSIOON .....	80
6.	KOKKUVÕTE .....	81
7.	KASUTATUD KIRJANDUS .....	83
8.	LISAD .....	85

## TABELITE SISUKORD

Tabel 1. Estonia kaevanduse põlevkivikihi keskmised näitajad plokkide kaupa [18] .....	26
Tabel 2. Estonia kaevanduse kaubapõlevkivi keskmised näitajad [18].....	26
Tabel 3. Vajaliku ringjoonelise ristlabilõikega šurfi diameeter [Masina_valik.xlsx] .....	42
Tabel 4. Asendusšurfide arv [Masina_valik.xlsx] .....	42
Tabel 5. Asendusšurfide vajalik arv aastate jooksul [Masina_valik.xlsx] .....	44
Tabel 6. Sobivad tehnoloogiad Estonia kaevandusele ning hilisemalt teistele objektidele.....	44
Tabel 7. RHINO 600H tõusupuurimise tehnoloogia tähtsamad näitajad [RB_RHINO600H.xlsx] .....	45
Tabel 8. Ühe šurfi rajamiseks kuluv aeg [Kasutamine_aastas.xlsx] .....	48
Tabel 9. Estonia kaevanduse kattekivimite põhilised omadused [Puurparameetrid.xlsx] .....	50
Tabel 10. Šurfipuurimise põhiparameetrid Estonia kaevanduse kattekivimite jaoks [Puurparameetrid.xlsx] .....	50
Tabel 11. Šurfi ümbruse ankurdamise hinnang [Ankurdamine.xlsx].....	51
Tabel 12. Tõusupuurimise tehnoloogia maksumus [RB_maksumus.xlsx] .....	64
Tabel 13. Investeeritavad asenduskulud perioodi vältel [RB_maksumus.xlsx].....	65
Tabel 14. Aastased kulud erinevate šurfide läbimõõtude juures [RB_maksumus.xlsx] .....	67
Tabel 15. Puur-lõhketöödega rajatava šurfi kulu [PLT_maksumus.xlsx].....	68
Tabel 16. Erinevate tehnoloogiate majanduslikud võrdlused [RB_vs_PLT.xlsx] .....	69

## JOONISTE SISUKORD

Joonis 1. Estonia kaevanduse paiknemine Eesti kaardil [ <a href="#">Paiknemine.wor</a> ].....	22
Joonis 2. Estonia kaevanduse tüüpiline kattekivimite litoloogia [ <a href="#">Katte kivimite läbilõige.dwg</a> ] .....	24
Joonis 3. Estonia kaevanduse tüüpiline põlevkivikihi litoloogia [ <a href="#">Põlevkivikihi geoloogia.xls</a> ] .....	25
Joonis 4. Estonia kaevanduse kamberplokki mäetoode tsükkel [ <a href="#">22,23</a> ].....	29
Joonis 5. Tuulutussurfi üldjoonis [ <a href="#">PLT_surfi_joonised.dwg</a> ].....	30
Joonis 6. Tuulutussurfi vertikaalosa ristlõike [ <a href="#">PLT_surfi_joonised.dwg</a> ].....	31
Joonis 7. Tuulutussurfi kaldosa ristlõike [ <a href="#">PLT_surfi_joonised.dwg</a> ].....	31
Joonis 8. Vaade surfi kaldosale kaeveõhnest [ <a href="#">EEK</a> ].....	32
Joonis 9. Estonia kaevanduse surfi kaldosa [ <a href="#">EEK</a> ].....	33
Joonis 10. Estonia kaevanduse kaldšahti lõhketööde ja lõhkeaugu kirjeldus [ <a href="#">PLT_surfi_joonised.dwg</a> ] .....	34
Joonis 11. Estonia kaevanduse kaldšahti lõhkeaukude paiknemine [ <a href="#">PLT_surfi_joonised.dwg</a> ] .....	34
Joonis 12. Tuulutussurfi lõhketööd lühikeste lõhkeaukude puhul [ <a href="#">PLT_surfi_joonised.dwg</a> ].....	36
Joonis 13. Tuulutussurfi lõhketööd pikkade lõhkeaukude puhul [ <a href="#">PLT_surfi_joonised.dwg</a> ].....	37
Joonis 14. Puur-lõhketöödega rajatud surfi kaitsevõre [ <a href="#">EEK</a> ].....	37
Joonis 15. Tõusupuurimise tehnoloogiline üldkirjeldus [ <a href="#">RB_joonised.dwg</a> ].....	40
Joonis 16. Tõusupuurimine [ <a href="#">26</a> ].....	41
Joonis 17. Aastased kulud erinevate läbimõõtudega šurfide puhul [ <a href="#">RB_maksumus.xlsx</a> ].....	43
Joonis 18. RB näritspuurpea [ <a href="#">27</a> ].....	45
Joonis 19. TBR RHINO 600H mõõtmed [ <a href="#">27</a> ].....	45
Joonis 20. TBR RHINO 600H [ <a href="#">27</a> ].....	46
Joonis 21. Tõusupuurimise kallutusmeetodika [ <a href="#">27</a> ].....	46
Joonis 22. RB tööorgan, sadul ja lõikepea [ <a href="#">27</a> ].....	47
Joonis 23. RB tööorgan läbimõõduga 2,44 m [ <a href="#">RB_surfi_joonised.dwg</a> ].....	48
Joonis 24. Tõusupuurimise tööde ajakava (värvide tähendused välja toodud <a href="#">Tabelis 8</a> ) [ <a href="#">Kasutamine_aastas.xlsx</a> ].....	49
Joonis 25. Ettevalmistatava platsi parameetrid [ <a href="#">RB_surfi_joonised.dwg</a> ].....	52
Joonis 26. Ettevalmistatud platsi pealtvaade [ <a href="#">RB_surfi_joonised.dwg</a> ].....	53



Joonis 27. Võimalik seadmete paiknemine tööde platsil [ <a href="#">RB_šurfi_joonised.dwg</a> ] .....	54
Joonis 28. Pilootpuurangu ristläbiõige [ <a href="#">RB_šurfi_joonised.dwg</a> ] .....	56
Joonis 29. Pilootpuurangu puurimine [ <a href="#">RB_šurfi_joonised.dwg</a> ] .....	57
Joonis 30. Rajatava tuulutussurfi ristläbilõige [ <a href="#">RB_šurfi_joonised.dwg</a> ] .....	58
Joonis 31. Ankurtoestiku paiknemise skeem kaeveõone laes [ <a href="#">RB_šurfi_joonised.dwg</a> ] .....	59
Joonis 32. Tõusupuurimise alustamine kaeveõones [ <a href="#">RB_šurfi_joonised.dwg</a> ] .....	60
Joonis 33. Tõusupuurimise lõppfaas [ <a href="#">RB_šurfi_joonised.dwg</a> ].....	61
Joonis 34. Platsi korratamine ning surfi kindlustamine raketega [ <a href="#">RB_šurfi_joonised.dwg</a> ] ....	62
Joonis 35. Rakke kindlustamine metallvõrega [ <a href="#">RB_šurfi_joonised.dwg</a> ] .....	63
Joonis 36. Tõusupuurimise tehnoloogia tasuvusarvutus [ <a href="#">RB_maksumus.xlsx</a> ].....	66
Joonis 37. Pilootpuurangu rajamine [ <a href="#">RB_šurfi_joonised_A3.dwg</a> ].....	86
Joonis 38. Šurfi tõusupuurimine [ <a href="#">RB_šurfi_joonised_A3.dwg</a> ] .....	87

## EESSÕNA

Käesoleva magistritööga "Šurfipuurimise analüüs Eesti põlevkivikaevanduste tingimustes" soovin panustada Eesti põlevkivitööstuse arengule. Tõusupuurimise tehnoloogia kasutuselevõtuga on võimalik muuta Estonia kaevanduse tuulutusšurfide rajamine oluliselt ohutumaks ning efektiivsemaks. Lisaks on võimalik tulevikus seda tehnoloogiat kasutada nii Narva kui ka Uus-Kiviõli kaevandustes.

Esimest korda puutusin antud teemaga kokku 2015. a suvel, kui Sandvik AB ja RHINO esindajad tutvustasid tehnoloogia võimalusi ja nende rakendamist Estonia kaevanduses. Uurimuse ajendiks oli 2015. a alguses toimunud õnnetusjuhtum tuulutusšurfi kaldosa rajamisel, kus hukkus kaks mäetöölist. Seega on väga oluline uurida praegu kasutatavale tehnoloogiale alternatiive.

Täna oma juhendajat, Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituudi professorit Ingo Valgmat, igakülge toetuse, sõbralikkuse, asjakohase kriitika ja nõuannete eest.

Samuti soovin tänada järgmisi ettevõtteid: Eesti Energia Kaevandused AS, Sandvik AB ja RHINO Raise Boring, kes kõik aitasid kaasa antud magistritöö valmimisele.

Kaspar Peebo

Tallinn

16.03.2016

## 1. SISSEJUHATUS

Viimase saja aasta jooksul on Eestis kaevandatud ligi miljard tonni põlevkivi. Hinnatakse, et meie maapõues on kokku 4,8 mld t põlevkivi, millest 1,2 mld t asub looduskaitsealade all. Kokku on hetkel arvel 1,3 mld t aktiivset põlevkivi tarbevaru, millest peaks jätkuma veel vähemalt pooleks sajandiks. Eestis on põlevkivitööstustel luba kaevandada aastas 20 mln t, millest kaevandatakse umbes 15 mln t aastas ehk ligi 75% lubatud määrast. [1]

Estonia kaevandus on maailma kõige suurem põlevkivikaevandus [2], kus kaevandatakse aastas ligi 6–7 mln t põlevkivi, mis aga tähendab, et kaevist väljatakse kokku ligi 12 mln t. Tänapäeval kasutatakse Estonia kaevanduses puur-lõhketöödega kamberkaevandamise tehnoloogiat. Inimeste transpordiks ning toodangutöödel kasutatakse mobiilseid masinaid, kaevis transporditakse maapinnale otse rikastusvabrikusse konveiertranspordi abil. Rikastamise saadus, aheraine, töödeldakse killustikuks või transporditakse karjäärrikalluritega aherainemäkke.

Estonia kaevanduse projekti koostas Leningradi instituut Giprošaht 1960ndate alguses Eesti Põlevkivi tellimisel. Toodangu mahuks oli ette nähtud 5 mln t kaubapõlevkivi aastas. Ehitamist alustati 1964. a ja kokku kestis see 8 a. Ehitamise ajal kandis kaevandus 9. kaevanduse nime. Kaevanduse tööle hakkamiseks tuli läbindada kokku 22 km kaeveõõsi. Kaevanduse keskmine sügavus on 65 m. Alles 1977. a saavutati kaevanduses projekteeritud tootmisvõimsus. [3]

Hetkel kasutatakse Estonia kaevanduses tuulutusšurfide rajamiseks puur-lõhketööde meetodit. 2015. a 29. jaanuaril hukkusid Estonia kaevanduse kaks tuulutusšurfi läbindajat šurfi kaldosas, mille põhjustasid kõige tõenäolisemalt mürgised gaasid ummikkaeveõõnes. [4]

Tulenevalt viimasest hukkunutega õnnetusest tuulutusšurfi rajamisel on Eesti Energia Kaevanduste (edaspidi EEK) juhtkond huvitatud uute ja turvalisemate lahenduste juurutamisest Estonia kaevanduses. Üheks võimalikuks šurfide rajamise tehnoloogiaks pakutakse välja *raise boring* tehnoloogiat ehk tõsupuurimist. See on näritspuur (antud tehnoloogia puhul hõõrits), mida tõmmatakse spetsiaalse seadme abil üles, samal ajal hõõritsat puurajami ja puurvarda abil ringi ajades [5].

Juba 1896. a olid olemas šahtide läbindamiseks mõeldud tehnoloogiad, kuid tõsupuurimise tehnoloogia võeti kasutusele hiljem. 1950ndatel esitleti Saksamaal esimest tõsupuurmasinat, mis oli veel suhteliselt algeline. Pöördlõikepea ülespoole tõstmiseks kasutati vintsi, mille küljes olid tõstetross ning elektrikaabel. Antud tehnoloogiat oli väga keeruline kontrollida, eriti geoloogiliste rikete korral. Esimene tänapäevane tõsupuurimise masin valmistati U. S.

Robins'i poolt 1962. a ning see avas uue ajastu tõsupuurimise maailmas. Sügavaim šaht, mis on rajatud tõsupuurimisega, on üle tuhande meetri sügav ja rohkem kui kuus meetrit lai. [6]

Antud töö eesmärgiks on analüüsida šurfide puurimise tehnoloogia kasutamise võimalusi Eesti põlevkivikaevanduste tingimustes ning töös keskendutakse Estonia kaevandusele. Oluliseks põhjuseks, miks peaks antud tehnoloogia sobivust Estonia kaevanduses uurima, on šurfide läbindamisel tööõnnetuste ärahoidmine ning töökeskkonna ohutuse parandamine.

Antud magistr töö on seotud Mäeinstituudi uurimisteamiga “Kivimi raimamine ja rikastamine valikmeetoditega” – <http://mi.ttu.ee/rikastamine>.

## 2. METOODIKA

Käesolev magistritöö on teoreetiline töö, mille valmimisele aitasid kaasa Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Eesti Energia Kaevandused AS ning Sandvik AB. Kõikides peatükkides, mis kirjeldavad nii Estonia kaevanduse ala geoloogilist, hüdrogeoloogilist kui ka hetkel kasutatavat tehnoloogiat, lähtutakse viidatud andmeallikatest. Paljud faktid on üldtuntud teadmised, millel seetõttu ka viited puuduvad. Kõik joonised ja skeemid on joonestanud töö autor, kui pole teisiti märgitud.

### 2.1 Tehnoloogia valik Estonia kaevandusse

Šurfide läbindamiseks kasutatav puur-lõhketööde tehnoloogia on aeganõudev ning väga ohtlik, seega on aktuaalne uute võimaluste uurimine.

Hetkel kasutatava tuulutusšurfi rajamise meetodi kohaselt on minimaalne vertikaalosa ristlabilõike pindala 9 m<sup>2</sup>, mis on aluseks ringjoonekujulise ristlabilõikega šurfi diameetri leidmisel.

Vajaliku läbimõõduga šurfi ringjoonelise ristlabilõike diameeter leitakse järgmise valemi abil:

$$d = 2 * \sqrt{\frac{S_{PLT}}{\pi}} \quad (\text{valem 1), kus}$$

*d* - vajalik šurfi läbimõõt (m),

*S<sub>PLT</sub>* - hetkel kasutatava meetodi ristlabilõike pindala (m<sup>2</sup>).

Saamaks teada, mitu väiksema läbimõõduga šurfi on vaja ühe suure asemele, kasutati Moskva mäeülikooli lõpetanud mäeinseneri S. S. Kobylkini metoodikat [7].

Arvutuste käigus saadi teada vajalik šurfi läbimõõt, mis on aluseks edasistele arvutustele. Eesmärgiks on hetkel üks šurf läbimõõduga *d* asendada väljaarvutatavate šurfide arvuga *N*, võttes arvesse, et õhu kogus, mis šurfe läbib (ühte suurt ja mitut väiksemat) on võrdne ning nende depressioon jääb konstantseks.

Hetkel on teada kasutatava tehnoloogia puhul:

- 1) *d* - diameeter (m),
- 2) *L* - šurfi pikkus (m),
- 3)  $\alpha$  - õhutakistustegur (kg\*m<sup>4</sup>/s<sup>2</sup>),
- 4) *Q* - šurfi läbiva õhu hulk (m<sup>3</sup>/s).

Seega on võimalik leida vastavad parameetrid järgmiste valemite alusel:

$$1) \text{ šurfi raadius: } r = \frac{d}{2} \quad (\text{valem 2}), \text{ kus}$$

$r$  - šurfi raadius (m);

$$2) \text{ šurfi ristlõikepindala: } S = \pi r^2 \quad (\text{valem 3}), \text{ kus}$$

$S$  - šurfi ristlõikepindala (m<sup>2</sup>);

$$3) \text{ šurfi ümbermõõt: } P = 2\pi r \quad (\text{valem 4}), \text{ kus}$$

$P$  - šurfi ümbermõõt (m);

$$4) \text{ aerodünaamiline hõõrdetakistus: } R = \alpha \frac{P \cdot L}{S^3} \quad (\text{valem 5}), \text{ kus}$$

$R$  - aerodünaamiline hõõrdetakistus;

$$5) \text{ depressioon: } h = RQ^2 \quad (\text{valem 6}), \text{ kus}$$

$h$  - depressioon.

Kui tahame asendada ühe suurema läbimõõduga (d) šurfi väiksemate šurfidega, siis peab järgima tingimust, et šurfe läbiva õhu kogus ning depressioon jääksid konstantseks ning väiksemad šurfid tuleb rajada samade parameetrite järgi. Seega kehtivad järgmised tingimused:

$$1) Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N \quad (\text{valem 7}), \text{ kus}$$

$Q$  - vajalik õhu kogus suure läbimõõduga šurfi puhul,

$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N$  - õhu kogus väiksemates šurfides (m<sup>3</sup>/s);

$$2) L = L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L_N \quad (\text{valem 8}), \text{ kus}$$

$L$  - suure läbimõõduga šurfi pikkus,

$L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L_N$  - väiksemate läbimõõdudega šurfide pikkus (m);

$$3) r_1 = r_2 = r_3 = \dots = r_N \quad (\text{valem 9}), \text{ kus}$$

$r_1 = r_2 = r_3 = \dots = r_N$  - väiksemate šurfide raadius (m);

$$4) P_1 = P_2 = P_3 = \dots = P_N \quad (\text{valem 10}), \text{ kus}$$

$P_1 = P_2 = P_3 = \dots = P_N$  - väiksemate šurfide ümbermõõdud (m);

$$5) S_1 = S_2 = S_3 = \dots = S_N \quad (\text{valem 11}), \text{ kus}$$

$S_1 = S_2 = S_3 = \dots = S_N$  - šurfide ristlõike pindalad (m<sup>2</sup>);

seega peab ka kehtima seos:

$$6) Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N = NQ_1 = NQ_2 = NQ_3 = \dots = NQ_N \quad (\text{valem 12}).$$

Kui šurfid on identsed ja ühendatud paralleelselt, siis depressioonid on identsed:

$$1) h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_N \quad (\text{valem 13}),$$

Tuginedes depressiooni säilimise tingimustele on:

$$2) h = h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_N \quad (\text{valem 14}).$$

Ja silmas pidades, et:

$$1) h = RQ^2 = \alpha \frac{PL}{S^3} Q^2 \quad (\text{valem 15});$$

$$2) h_1 = R_1 Q_1^2 = \alpha \frac{P_1 L}{S_1^3} Q_1^2 \quad (\text{valem 16});$$

$$3) Q = N Q_1 \quad (\text{valem 17});$$

saame:

$$4) \alpha \frac{PL}{S^3} Q^2 = \alpha \frac{P_1 L}{S_1^3} \left(\frac{Q}{N}\right)^2 \quad (\text{valem 18})$$

ning kui avaldada eelmisest võrrandist muutuja N [7], saame:

$$5) N = \sqrt{\frac{S^3 P_1}{S_1^3 P}} \quad (\text{valem 19}), \text{ kus}$$

$N$  - vajalik asendusšurfide arv (tk).

Asendusšurfide arvutused põhinevad EEK infol, milles on välja toodud, mitut šurfi nad järgnevatel aastatel vajavad.

Arvutused tuginevad valemile:

$$6) K = NV \quad (\text{valem 20}), \text{ kus}$$

$K$  - vajalike šurfide koguarv (tk),

$N$  - asendusšurfide arv asendamaks ühte suurt šurfi (tk),

$V$  - hetke seisuga vajalike suurte šurfide vajadus järgnevatel aastatel (tk).

Seejärel hinnati erinevate šurfide läbimõõtude järgi kõiki rajamise kulusid ning valiti majanduslikult kõige kasulikum läbimõõt.

Šurfide rajamise ajakava koostamisel lähtuti puurimistöde puhul võimalikest puurimiskiirustest ning sellest tulenevalt arvutati ajaline kulu. Ettevalmistustööde ja korrastamistöde puhul arvestati tööde mahtude järgi ajalast kulu. Seejärel liideti päevade ning töötundide arv, arvestades erinevate tööde puhul tehtavate vahetustega ja saadi orienteeruv aeg, mis kulub ühe šurfi rajamiseks.

Kuna antud töid on otstarbekas läbi viia suvistes tingimustes, siis koostati tööde ajagraafik alates maikuust kuni augustikuu keskpaigani. Tehnikaseadmetega töötamisel peab alati olema valmis ootamatuteks seisakuteks ning seega on mõistlik arvestada tööde kestvust väikese varuga (antud juhul augustikuu lõpuni) ehk ligikaudu neli kuud aastas. Kõik tehnoloogilised joonised ja nendel olevad tehnilised lahendused tõusupuurimise tehnoloogia kohandamiseks Estonia kaevandusse on koostatud töö autori poolt ning joonestatud programmiga *AutoCad*.

## 2.2 Tõusupuurimise põhiparameetrid Estonia kaevanduses

Puuragregaadi sobivuseks uuritakse Estonia kaevanduse kattekivimite raimamise omadusi ning leitakse puuragregaadiga puurimiseks vajalikud põhiparameetrid.

Raimamisseadmete sobivuse hindamise peamiseks kriteeriumiteks on lõiketugevus, erienergia kulu, kontaktugevus ning abrasiivsus.

Energia hulka kivimi purustamiseks on võimalik leida valemiga [8]:

$$E = \frac{S}{M_e} \quad (\text{valem 21}), \text{ kus}$$

$E$  - purustamiseks kulunud erienergia ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ),

$S$  - kivimi survetugevus ( $\text{MPa}$ ),

$M_e$  - purustatud materjali keskmine vajalik tükisuurus ( $\text{mm}$ ).

Erienergia näitab, kui palju energiat on vaja kulutada ühe kuupmeetri kivimi raimamiseks. Näiteks ühe  $\text{MJ}/\text{m}^3$  erienergiaga kivim vajab ühe kuupmeetri raimamiseks lõhketöödega ligikaudu 0,3 kg lõhkeainet. [8]

Lisaks erienergiale leiti kirjandusest kattekivimite lõiketugevus, kontaktugevus ning abrasiivsus, mis on kolm kõige olulisemat näitajat šurfipuurimise puhul.

Šurfipuurimiseks leitakse põhilised parameetrid, nagu näiteks vajalik surve puuragregaadile, tõusupuurimise pöörlemissagedus, vajalik jõud kivimi purustamiseks ning lisaks ka vajalik puurajami tõstejõud selleks, et välja selgitada töörežiimid Estonia kaevanduse kattekivimite purustamiseks.

Tööorgani vajalik pöörlemissagedus leitakse valemiga [9]:

$$n_r = \frac{60V_c}{\pi D_r} \quad (\text{valem 22}), \text{ kus}$$

$n_r$  - puuragregaadi pöörlemissagedus ( $\text{rm}$ ),

$V_c$  - pöörlemiskiirus ( $\text{m/s}$ ),

$D_r$  - puuragregaadi läbimõõt ( $\text{m}$ ).



Vajalik jõud kivimi purustamiseks leitakse valemiga [6]:

$$M_t = C_r \frac{V_c}{16n_r} (D_r^2 - D_p^2) \tan \varphi \quad (\text{valem 23}), \text{ kus}$$

$M_t$  - jõud kivimi purustamiseks (kNm),

$C_r$  - purustatava kivimi survetugevus (MPa),

$V_c$  - pöörlemiskiirus (m/h),

$n_r$  - puuragregaadi pöörlemissagedus (pm),

$D_r$  - puuragregaadi läbimõõt (m),

$D_p$  - pilootpuurangu läbimõõt (m),

$\varphi$  - löikepeade nurk tööorgani korpusel (kraadi).

Vajaliku puurimissurve leidmiseks šurfile läbimõõduga 2,44 m lähtuti suurema (läbimõõduga 3,5 m) šurfi vastavatest juba teadaolevatest andmetest. Nii suurema kui ka väiksema läbimõõduga šurfil on arvutusteks võetud ühine omadus, milleks on kivimi survetugevus on alla 120 MPa. Teades 3,5 m läbimõõduga šurfi vajalikku puursurvet ühele löikepeale, saadakse ristkorrutise teel hinnanguline vajalik surve ühele löikepeale 2,4 m läbimõõduga šurfi korral [9]. Saadud tulemus korrutatakse löikepeade arvuga ning leitakse vajalik puurimissurve tööorgani kõigile löikepeadele.

Vajaliku tõstejõu leidmiseks liideti maksimaalne puurvarraste, stabilisaatori ning tööorgani mass, mille tulemusel saadi minimaalne vajalik puurajami tõstejõud.

Šurfi ava ümbruse ankurdamise skeemi väljatöötamisel lähtuti ühe ankru poolt ülalhoitava ala pindalast ning kontrolliti selle vastavust eeskirjadele [10].

Ankru poolt ülalhoitava lae pindala leitakse valemiga [10]:

$$S = \frac{10,2R}{\gamma(1+K)(l+q)-10} \quad (\text{valem 24}), \text{ kus}$$

$S$  - ankru poolt ülalhoitava lae pindala (m<sup>2</sup>)

$R$  - ankru pingutus (t),

$\gamma$  - laekivimite erimass (t/m<sup>3</sup>),

$K$  - lõhede vahekauguse tegur (-),

$l$  - kaeveõõne laius (m),

$q$  - lõhketöödega nõrgestatud materjal massiivis (m).

Ning eelnevast valemist lähtuvalt on võimalik erijuhtudeks leida ankrupingutust valemiga:

$$R = \frac{S \cdot (1+K)(l+q) - 10}{10,2} \quad (\text{valem 25}),$$

millega kontrollitakse vajalikku ankrupingutust sellistel erijuhtudel nagu lõhede olemasolul laes või siis antud töö raames ümber šurfi paiknevatel ankrupoltidel.

Hindamiseks kaevanduses ankrute õigeid vahekauguseid üksteisest ümber šurfi ava, kasutati Estonia kaevanduse tüüpilist ankurdamise juhendit lõhede puhul ning kontrolliti ankrute pingutust nii juba välja töötatud lõhede olemasolu meetodil kui ka ümber šurfi ringjoonekujuliselt toestamise puhul. Eeldati, et kuna mõlemal juhul on ohutegur 6–7 korda suurem normaaljuhust (ankrud kaevanduses laes vahekaugustega 1,5 m), siis hoiavad ankrud ümber šurfi vahetut lage stabiilsena.

## 2.3 Tõusupuurimise tehnoloogia tasuvusarvutus

Tasuvusarvutuse aluseks oli tehnoloogia erinevate seadmete hindade väljaselgitamine ning koostöös Sandvik AB'ga leiti hinnad, mille suurusjärgud on õiged. Lisaks hindadele määrati ka erinevatele seadmetele amortisatsiooniperioodid vastavalt oodatavale kasutuseale. Arvutused sooritati eeldusel, et tehnoloogia osa vahetatakse amortisatsiooniperioodi lõpus välja. Nendele teadmistele tuginedes koostati investeringute tabel, mis kajastab kogu perioodi investeringuid, otseinvesteringuid ning asenduskulusid.

Seejärel tehti mitmeid arvutusi, et tõestada projekti kasumlikkust. Algselt fikseeriti investeerimise aasta, tööde algusaasta, investeringu bilansiline eluiga ning kapitali kaalutud hind. Arvutused põhinevad puur-lõhketööde tehnoloogia mittekasutamise kokkuhoiul, tõusupuurimise tehnoloogia kasutamise kuludel ning tehnoloogia algmaksumusel, mille alusel leitakse, mitme aasta jooksul projekt ära tasub. Kui see aeg jääb alla projekti oodatava eluea, siis võib oletada, et tegemist on kasumliku ettevõtmisega. Lisaks tuleb kontrollida sisemist tasuvusläve, nüüdispuhasväärtuse ning rentaablusindeksi vastavust tuntud majandusteaduse seaduspärasustele. Kui väärtused on positiivse tulemiga, võib väita, et projekt tuleks vastu võtta.

Lisaks arvutatakse välja erinevate puuragregaatide läbimõõtude juures tehnoloogia operatiivkulud, mida kasutati sobiva diameetriga šurfi väljavalimisel. Antud töö käigus hinnati tööjõukulused, diiseldiiseliinide rendi kulu, diislikütuse kulu, raudbetoonplaatide kulu, kraana rendi kulu, transpordikulu, seadmete amortisatsiooni, pumpade rendi kulu, platsi ettevalmistamise ja korrastamise kulud, määrdeainete kulu ning valvekulu ja nendest lähtuvalt arvutati ühe aasta kogukulud, mis erinevad üksteisest eelkõige puuritavate šurfide aastasest vajadusest ning sellest tulenevalt tööde ajalisest mahust.

## **2.4 Puur-lõhketöödega rajatavate šurfide kulud**

Tuulutusšurfi kulude arvestuse aluseks on EEK-st saadud andmed. Nende andmete põhjal on lisaks ühe šurfi kogukulule võimalik näha, kuidas jaotub ajaline skaala šurfi rajamisel ning lisaks mitu meetrit šurfi rajamise töödega mingil konkreetsel kuul edasi liiguti. Šurfi rajamise kulud on toodud välja põhjalikult 19 kuluartikli järgi, milles on välja toodud näiteks palgakuludest kuni valvekuludeni. Aasta jooksul tuleb rajada viis šurfi, seetõttu leiti lihtsa korrutise alusel aastane kulu šurfide läbindamisele kasutades puur-lõhketööde meetodit.

## **2.5 Tehnoloogiate majanduslike näitajate võrdlemine**

Kuna šurfide aastane vajadus aastani 2023 ning alates aastast 2024 on erinev, siis tehnoloogiate omavahelises võrdluses eristati need kaheks perioodiks. Esmalt võrreldi ühe šurfi rajamise kulusid aastani 2023 ja siis alates aastast 2024. Kuna ühele puur-lõhketöödega rajatud šurfile vastab kolm tõusupuurimise tehnoloogiaga rajatud šurfi, siis tõusupuurimise puhul võeti ühe šurfi (puur-lõhketöödega rajatud) võrdlusesse kolm puuritud šurfi. Tekkivad kulud aastani 2023 ja alates aastast 2024 leiti eelmistes peatükkides toodud arvutuste alusel.

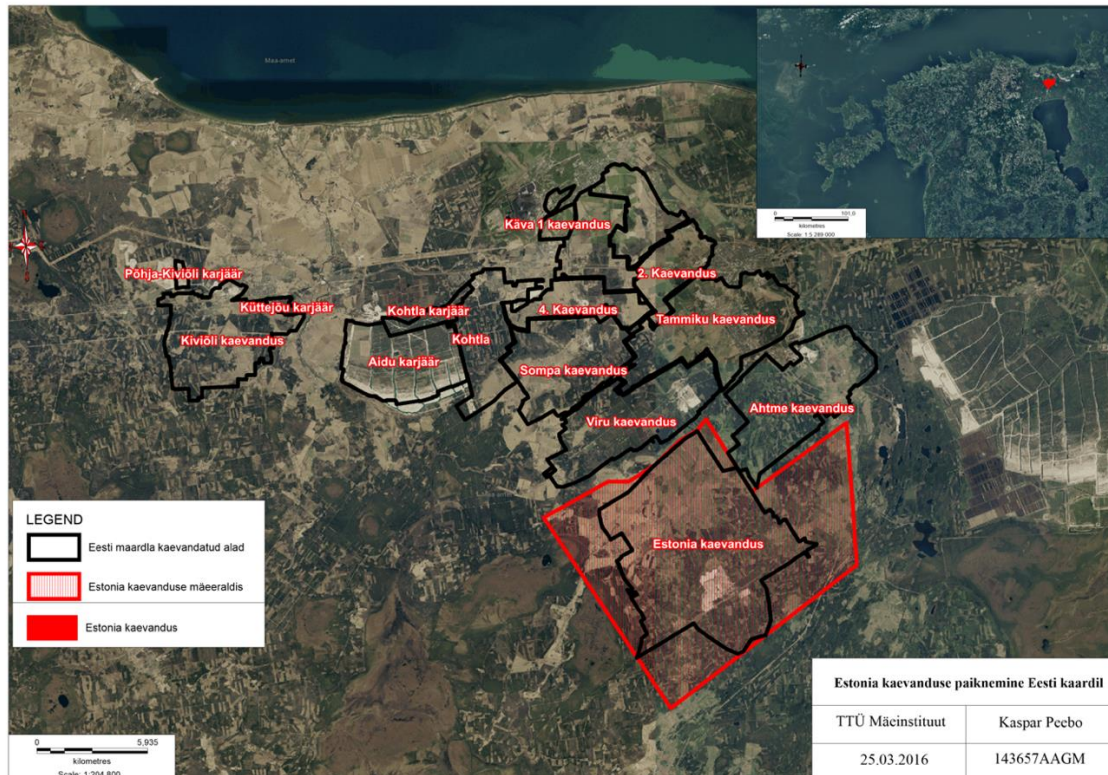
Kuna Estonia kaevandus vajab veel tuulutusšurfe hinnanguliselt kümneks aastaks ehk aastani 2026, siis leiti ka šurfide rajamise kulum Estonia kaevanduse eluea lõpuni, milleks kasutati eelnevalt väljaarvutatud aastaseid kulusid aastani 2023 ning alates aastast 2024. Kõiki lõplikke tulemusi on võimalik näha peatükkides 3.8, 3.9 ja 3.10.

### 3. TULEMUSED

#### 3.1 Estonia kaevandus Eesti põlevkivimaardlas

Estonia kaevandus asub Ida-Virumaal Illuka, Iisaku ja Mäetaguse vallas. Kaevanduse tööstuskompleks asub Väike-Pungerja külas Jõhvi-Tartu maantee umbes 20. kilomeetril. Estonia kaevanduse mäeeraldise pindala on 14 162 ha, millel on kaevandamine lubatud kaevandamisloa number KMIN-054 alusel. Kaevandus asub Eesti põlevkivimaardla keskosas ning on põhjast piiratud nüüdseks suletud Viru ja Ahtme kaevandusega, loodest töötava Ojamaa kaevanduse mäeeraldisega (vt [Joonis 1](#)). Estonia kaevandusest ida suunas asub Puhatu, lääne suunas Seli ning lõuna suunas Peipsi uuringuväljad. Seli ja Ratva soo idapoolsemad äärealad ulatuvad kohati kaevanduse mäeeraldise läänepoolsele alale. Estonia kaevanduse mäeeraldise idapoolne külg piirneb Kurtna maastikukaitsealaga. [11]

Estonia kaevanduse kaeveväli paikneb Põhja-Eesti lavamaal, mis on nõrga lainelisusega. Kaevevälja maapinna absoluutsed kõrgused jäävad vahemikku 55–57 m. Ala lõuna- ja keskosa on valdavalt kaetud metsakultuuridega. Heina- ja põllumaad paiknevad rohkem ala põhjaosas. Estonia kaevanduse territooriumilt saab alguse Rannapungerja jõgi, mis suubub Peipsi järve. [12]



Joonis 1. Estonia kaevanduse paiknemine Eesti kaardil [[Paiknemine.wor](#)]

## 3.2 Estonia põlevkivikaevanduse geoloogia

Lähtuvalt antud töö uurimisteedest eristatakse põlevkivikihi ning kattekivimite geoloogiat. Seega, kuna tõusupuurimise tehnoloogia puhul on olulisem kattekivimite geoloogia, keskendutakse põhiliselt kattekivimitele. Põlevkivikihi geoloogiat esitletakse informatiivse osana.

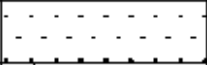
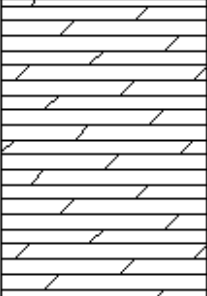

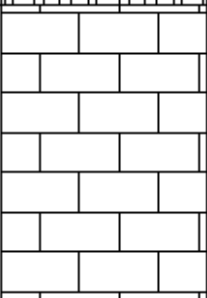
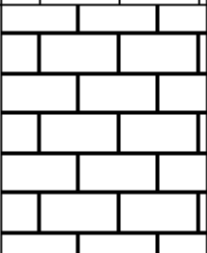
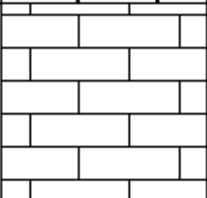
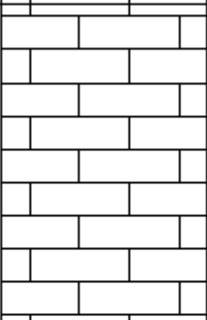
Eesti põlevkivimaardla kuju meenutab läätse, mis paikneb Ida- ja Lääne-Virumaal. Põlevkivimaardla avamusjoon asub maakondade põhjapiiril, maardla pikkus läänest itta on kuni 140 km, laius lääneosas kuni 15 km ning idaosas kuni 45 km. [11] Alates maardla põhjaosa avamusalast kuni lõunapiirini langeb põlevkivi tootuskiht iga kilomeetri kohta 3 m võrra Ülem-Ordoviitsiumi kivimite alla. [13] Kuna Estonia kaevanduse keskosa asub ligi 20 km kaugusel maardla avamusalast [11], on arvutuslikult põlevkivi tootuskiht 60 m sügavusel.

### 3.2.1 Estonia kaevanduse kattekivimite geoloogia

Estonia kaevanduse kattekivimite tüüpiline litoloogiline läbilõige (vt [Joonis 2](#)) algab kuni 2,5 m paksuse liivsavide ja liivadega [Q], millest mullakiht on paksusega kuni 0,4 m. Järgneb ligi 12,0 m paksune tühikulistest dolomiitidest ja peeneteralistest lubjakividest koosnev Rakvere lade [O<sub>2rk</sub>], lademe erijooneks on afaniitsed lubjakivid, s.o peitkristalliliste karpja murdega kivimite valdav esinemine [14]. Seejärel lasuvad Oandu lademe [O<sub>2on</sub>] mergel lubjakivid ~3,5 m paksuselt, mille all paiknevad Keila lademe [O<sub>2kl</sub>] monoliitsed savikad lubjakivid ~12,0 m, mille all omakorda lasub ~10,0 m paksune Jõhvi lademe [O<sub>2jh</sub>] savikate lubjakivide kiht. Kattekivimite lamamiks on Idavere [O<sub>2id</sub>] (~8,0 m paksused savikad lubjakivid põlevkivi vahekihtidega) ja Kukruse lademe kivimid [O<sub>2kk</sub>] (~13,0 m paksused savikad lubjakivid põlevkivi vahekihtidega). Kukruse lademe allosas paikneb põlevkivi tootuskiht kuni 3 m paksuselt. Kuna kaevandamine on jõudnud Estonia kaevanduse mäeeraldise lõunaossa, siis peab arvestama keskmiseks kattekivimite kogupaksuseks ~62 m, mille all lasub põlevkivikiht. [15]

Põlevkivikihi lamamiks on Uhaku lademe [O<sub>2uh</sub>] savikad lubjakivid ning savikate ja õhukeste põlevkivi vahekihtidega merglid, lademe kogupaksus on keskmiselt 15 m. [16]




Estonia kaevanduse mäeeraldisel on kaks suuremat rikkevööndit: Ahtme tektooniline rikkevöönd, mis paikneb kirde-edela suunas, ning Viivikonna tektooniline rikkevöönd, mis asub lõunapiiril. Nende laius võib kohati ulatuda kuni 500 m. Üldjuhul on rikkevööndites kihtide lasumus rikutud. [16]

Geol. Indeks	Sügavus, m		Paksus, m	Läbilõige	Kivimite kirjeldus
	alates	kuni			
Q	0,0	2,5	2,5		Liivsavid, liivad
O <sub>2rk</sub>	2,5	14,5	12,0		Tühikulised dolomiidid peeneteralised lubjakivid
O <sub>2on</sub>	14,5	18,0	3,5		Mergel lubjakivid
O <sub>2kl</sub>	18,0	30,0	12,0		Monoliitsed savikad lubjakivid
O <sub>2jh</sub>	30,0	40,0	10,0		Savikad lubjakivid
O <sub>2id</sub>	40,0	48,0	8,0		Savikad lubjakivid põlevkivi vahekihtidega
O <sub>2kk</sub>	48,0	61,0	13,0		Savikad lubjakivid põlevkivi vahekihtidega

Joonis 2. Estonia kaevanduse tüüpiline kattedekivimite litoloogia [[Kattedekivimite läbilõige.dwg](#)]

### 3.2.2 Estonia kaevanduse põlevkivihindi geoloogia

Eesti põlevkivimaardla põlevkivihind koosneb paljudest erinevatest kihtidest, milles on nii põlevkivikihte (A, A', B, C, D, E, F<sub>al</sub>) kui ka lubjakivi vahekihte (A/A', A'/B, B/C, C/D, D/E). Tüüpiliselt väljatakse põlevkivihindi kihid A–F<sub>al</sub> (paksus ~2,8 m), mida nimetatakse madalate lagedega väljamiseks. Mittepüsiva lae korral väljatakse kihid A–F<sub>3</sub> (paksus ~3,8 m), antud juhul väljatakse ka niinimetatud vahetu lagi. Kõrget lage kasutatakse ka konveierstrekkides. Keskmiselt lasub kõige alumine põlevkivihindi kiht A 64–65 m sügavusel (vt [Joonis 3](#)), mille sügavus ulatub Eesti põlevkivimaardlas kuni 100 m [17]. Lubjakivivahekiht C/D on tugevaim, paksem ning orgaanikavaeseim kiht põlevkivihindis.

Geol. Indeks	Sügavus, m		Paksus, m	Läbilõige	Kivimite kirjeldus
	alates	kuni			
F <sub>ül</sub>	61,00	61,20	0,20		Rohkete lubjakivimugulatega savikas põlevkivi
F <sub>al</sub>	61,2	61,71	0,51		Lubjakivimugulatega savikas põlevkivi
E <sub>ül</sub>	61,71	61,96	0,25		Rohkete lubjakivimugulatega savikas põlevkivi
E <sub>al</sub>	61,96	62,22	0,26		Lubjakivimugulatega pruun põlevkivi
D/E	62,22	62,28	0,06		Bituminoosne lubjakivi
D	62,28	62,35	0,07		Savikas põlevkivi
C/D	62,35	62,62	0,27		Lubjakivi
C	62,62	63	0,38		Lubjakivimugulatega pruun põlevkivi
B/C	63	63,09	0,09		Bituminoosne lubjakivi
B	63,09	63,57	0,48		Üksikute detriitsete lubjakiviläätsedega pruun põlevkivi
A/B	63,57	63,73	0,16		Savikas lubjakivi
A <sub>1</sub>	63,73	63,84	0,11		Savikas põlevkivi
A/A <sub>1</sub>	63,84	63,89	0,05		Bituminoosne lubjakivi
A	63,89	64,01	0,12		Puhas põlevkivi

Joonis 3. Estonia kaevanduse tüüpiline põlevkivihindi litoloogia [[Põlevkivihindi geoloogia.xls](#)]



Paljud põlevkivikihid sisaldavad läätsjaid kerogeenseid lubjakivi mugulaid. Maksimaalne lubjakivikihi paksus on 30 cm ning lubjakivi- ja põlevkivikihid paiknevad suhteliselt paralleelselt. Lubjakivikihtides on orgaanilise aine sisaldus madal, üldjuhul alla 5%. Üldiselt on tootuskihi paksus kogu kaevevälja ulatuses sarnase kvaliteedi ja paksusega. Eestis leiduvat põlevkivi nimetatakse kukersiidiks, mis on segakivim ning koosneb kolmest süngeneetiliselt tekkinud põhikomponentidest, milleks on orgaaniline, karbonaatne ja terrigeenne materjal. [12]

Estonia kaeveväljal on väljastatud kolmele varuplokile (nr 1, nr 3, nr 10) kaevandamisluba numbriga KMIN-054 (vt Tabel 1).

Tabel 1. Estonia kaevanduse põlevkivikihi keskmised näitajad plokkide kaupa [18]

	<b>Plokk 1</b>	<b>Plokk 10</b>	<b>Plokk 3</b>
Ploki pindala, m <sup>2</sup>	5 689	5 157	3 326
Tootuskihi keskmine paksus, m	2,68	2,73	2,74
Põlevkivikihtide kogupaksus, m	2,10	2,16	2,17
Kaevis kütteväärtus, MJ/kg	8,3	8,8	8,2
Põlevkivikihtide kütteväärtus, MJ/kg	11,4	12,0	11,0
Energiatootlus, GJ/m <sup>2</sup>	39,3	41,8	39,5
Kattekivimite paksus, m	50–60	40–65	60–65

Estonia kaevanduse kaubapõlevkivi võib jagada kasutusotstarbe järgi kaheks: energeetiline ja tehnoloogiline (vt Tabel 2).

Tabel 2. Estonia kaevanduse kaubapõlevkivi keskmised näitajad [18]

<b>Kaubapõlevkivi tüüp</b>	<b>Tüki suurus, mm</b>	<b>Erikütteväärtus tööniiskusel, MJ/kg</b>
Energeetiline	0–25	8,20
Tehnoloogiline	25–125	11,24

Estonia kaevanduses toodetud energeetilist põlevkivi kasutatakse põlevkivielektriijaamades, tehnoloogilist põlevkivi kasutatakse keemiatoodete koostisosana ning põlevkiviõli tootmiseks.

### 3.3 Estonia põlevkivikaevanduse hüdrogeoloogia

Eesti põlevkivimaardlat loetakse üldiselt veerohkeks, sest põlevkivikiht paikneb tektooniliselt rikutud ja lõhestunud lubjakivimassiivis suhteliselt maapinna lähedal, mille tõttu on kaevandustesse ja karjääridesse küllaltki suur vee sissevool. Estonia kaevanduse alal esineb Kvaternaari veekompleksi pinnavesi ning Ordoviitsiumi põhjaveekompleks [19].

Sademete erinev hulk aastaegade lõikes mõjutab eelkõige madalamate kaevanduste vee sissevoolu (kuni 70 m) [19], seega Estonia kaevanduses on Kvaternaari veekompleksi mõju kaevandamise hüdrogeoloogilistele tingimustele suhteliselt väike.

Lubjakivi ning dolokivi on Ordoviitsiumi veekompleksi vettandvad kivimid ning veerohkus sõltub kivimite lõhelisusest ja karsti esinemisest, üldjuhul on see vertikaalsuunas ja horisontaalsuunas ebahütlane. Füüsiliste omaduste poolest on savikad lubjakivid ja merglid vähem lõhelised ja plastsemad. See aga aitab kaasa iseseisvate hüdrogeoloogiliste ja hüdrodünaamiliste omadustega veekihtide tekkele. [19] Üldiselt jaotatakse Ordoviitsiumi põhjaveekompleks kolmeks veekihtiks – kõige lähemal maapinnale on Nabala-Rakvere veekiht, järgnevad Keila-Kukruse veekiht ning Lasnamäe-Kunda veekiht [19].

Estonia kaevanduse kattekivimite, maapinnast kuni 25 m sügavusel, levib veerikas Nabala-Rakvere veekiht. Estonia kaevanduse kaeveõnnete lagedest umbes 15 m kõrgemal asub Keila-Kukruse veekiht. Lasnamäe-Kunda veekiht lasub Uhaku lademe savikate lubjakivide all, kogupaksusega keskmiselt 20 m. [20] Estonia kaevanduses on vee survetase alandatud kuni 30–40 m võrra, mille on peamiselt põhjustanud tehnilised, eksploatatsioonilised ja tolmu levikut piiravad puuraugud ning kaevandusest vee välja pumpamine [21].

Estonia kaevanduse mäetööde alal ning selle ümber on tekitatud depressioonilehter, millesse on kaasa haaratud Keila-Kukruse veekiht ning kuni 500 m mäetöödega külgnevatest aladest. Mõnel juhul võib ala veel suurendada, sest see sõltub oluliselt mäetööde sügavusest ning ala geoloogilisest ehitusest. Üldiselt on Nabala-Rakvere veekiht kaevandustööde käigus säilinud, sest asub maapinnast kuni 25 m sügavusel. [16]

### 3.4 Estonia kaevanduse tööprotsesside kirjeldus

Estonia kaevanduse kaevandamisviis on tulptervikutega kamberkaevandamine ning kaevisel väljamiseks kasutatakse puur-lõhketöid. Kaevanduses on seitse tootmisjaoskonda, millest neli on koristusjaoskonnad (põhitoodang) ning kolm läbindusjaoskonnad.

Kaevanduse tuulutus toimub üldkaevandusliku kompressiooni arvelt, mida tekitavad maapealsed ventilaatorseadmed. Õhujugade mittesegunemiseks kasutatakse krossinguid ning metalluksi, et tagada puhta õhu juurdevool ning saastunud õhu väljavool. Ummikkaeveõontes kasutatakse ee-rinda puhta õhu juhtimiseks kohaliku tuulutuse ventilaatoreid. Puhas õhk jõuab kaevandusse ning saastunud õhk väljub kaevandusest tuulutussurfide kaudu.

Töötetel liigse vee kõrvaldamiseks soonitakse soonuriga põrandasse dreanaažikanalid, mööda mida voolab vesi dreanaažikraavidesse ja suubub allmaapumplate veekogujatesse. Estonia kaevanduses on kokku 9 allmaapumplat, mis tõstavad aasta jooksul maa peale üle 71 mln m<sup>3</sup> kaevandusvett [EEK andmetel]. Maa peale pumbatud vesi juhitakse alguses settebasseini, mille läbinud kaevandusvesi on puhas ja elukeskkonnale kõlblik.

Estonia kaevanduse kamberplokis on mäetööd tsüklilised ja korduvad. Tööde üks täistsükkel saab alguse markšneidermöödistamistest (vt [Joonis 4](#)), mille tulemusel on kaeveõoned sirged ning koostatud detailsed plaanid kaevanduskäikudest ning tulptervikutest.

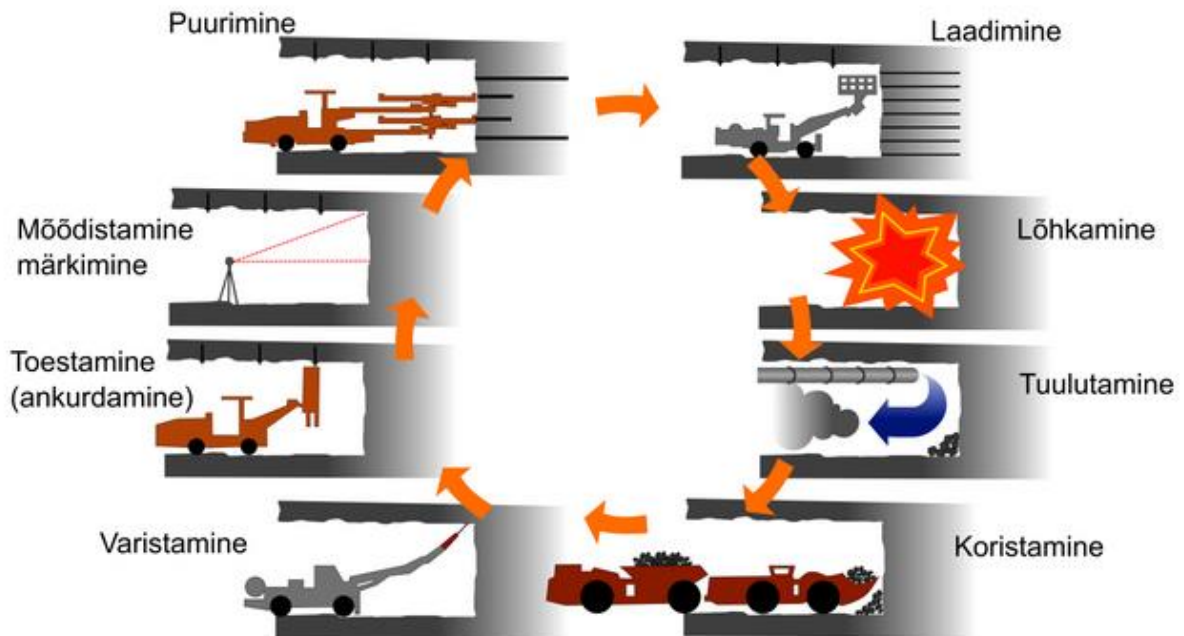
Puurimistöodel puuritakse esimesena kuus ligi nelja meetri pikkust algmurde puurauku lõhketööde efektiivsuse tõstmiseks puurvankriga SMAG GB280, alles seejärel puuritakse 26 lõhkeauku pikkusega 4 m puurvankriga Atlas Copco Boomer S1D.

Lõhkeaugud täidetakse lõhkeaine padrunitega (läbindus) või emulsioonlõhkeainega, mille komponendid pumbatakse spetsiaalse masina peal asuvast moodulist puuraukudesse. Emulsioonlõhkeaine valmib puuraukudes ligi 20 min jooksul [EEK andmetel].

Seejärel toimub lõhkamine, peale mida tuulutatakse kamberplokk hoolikalt. Lõhatud mäemass transporditakse 6 m<sup>3</sup> (nt Sandvik LH410) ja 9 m<sup>3</sup> (nt Sandvik LH514) kopa mahuga allmaakopplaaduritega kambritest välja ning laetakse kogumisstreki kraapkonveierile.

Koristatud kaeveõones tuleb puhastada laed ja seinad lahtistest kivimitükkidest, milleks kasutatakse 6 m<sup>3</sup> kopaga allmaakopplaadureid või laepuhastajat Getman S320LN. Ühe kamberplokki mäetööde täistsükli lõpetab lae toestamine ankurtoestikuga. Selleks kasutatakse spetsiaalseid puurvankreid (nt Roof Master 1,7), millega puuritakse puuraugud ning

paigaldatakse ankrud. Ankruid on erineva pikkusega, alates 1,14 m kuni 2,14 m, mis sõltuvad kaeveõõne lae kõrgusest. Ankrulukk paigaldatakse tugevasse paekivikihti G/H [EEK andmetel].

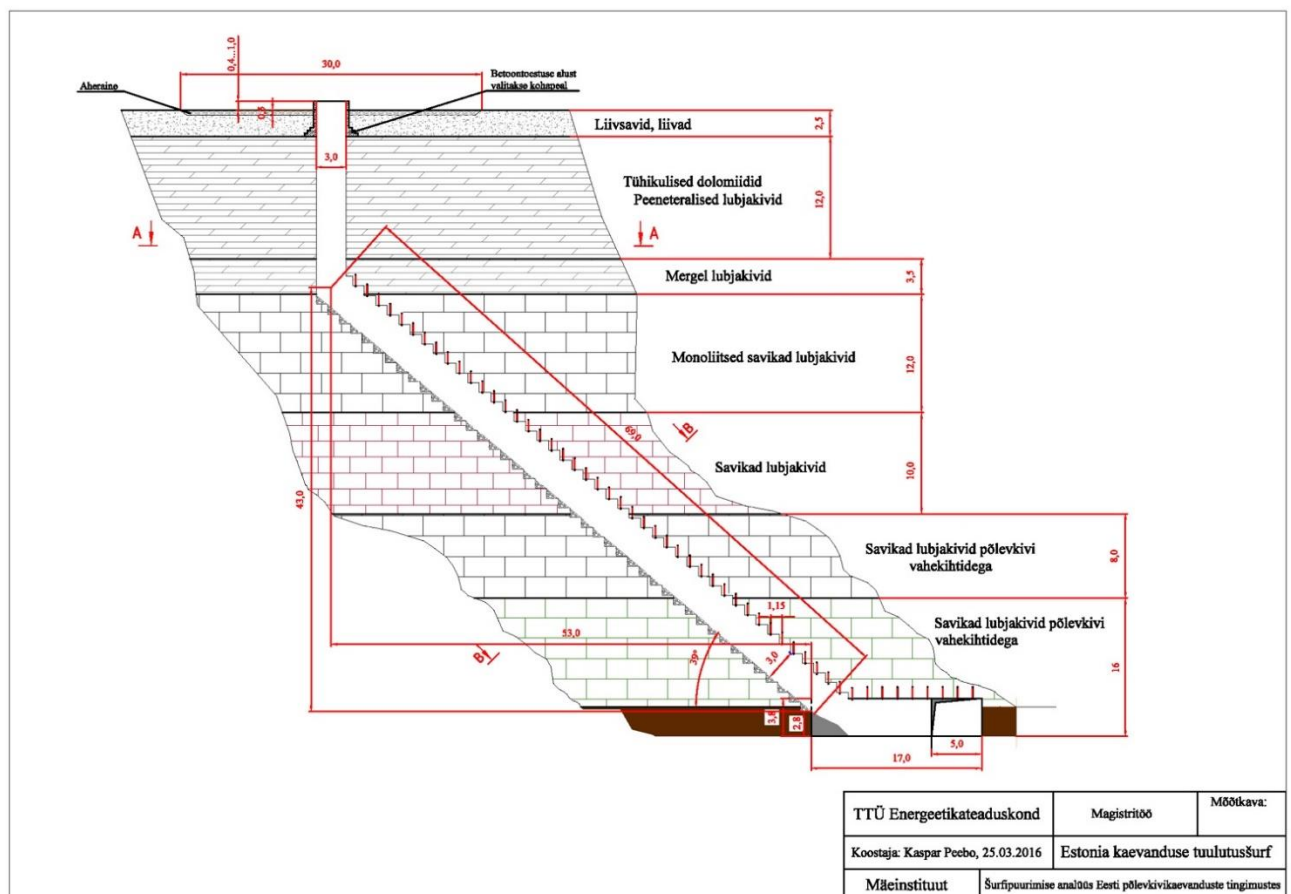


Joonis 4. Estonia kaevanduse kamberploki mäetoode tsükkel [22,23]

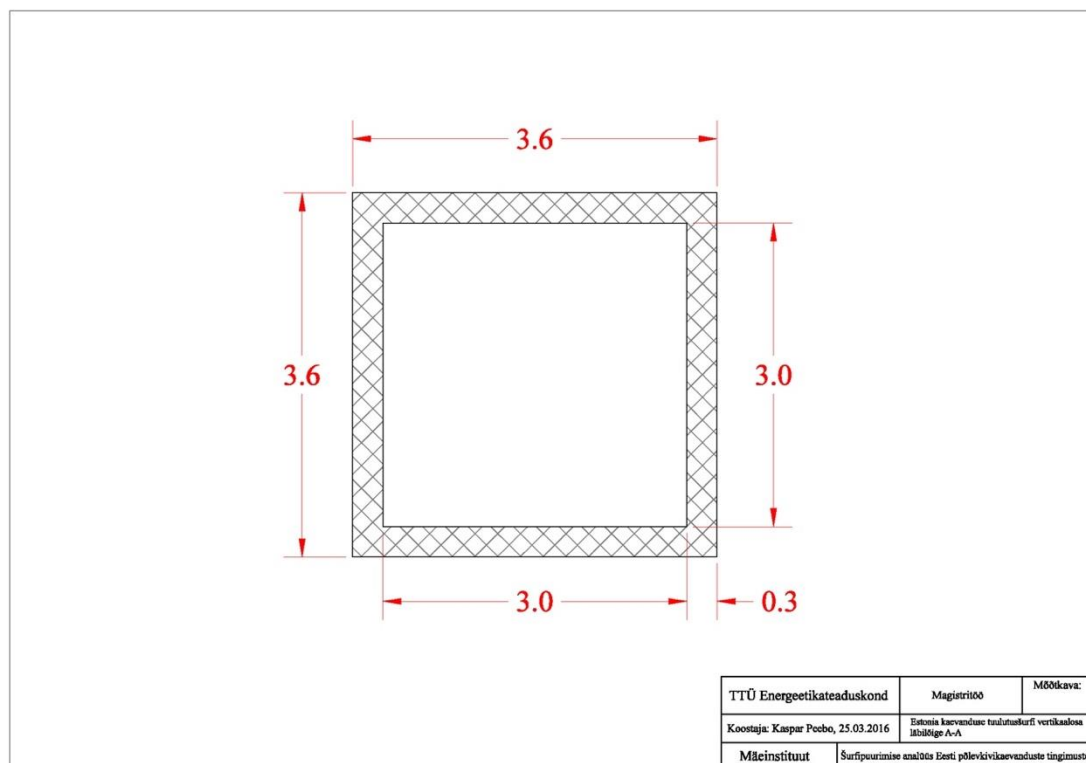
Kogumisstreki kraapkonveierilt liigub mäemass lintkonveierile. Kraapkonveieri ja lintkonveieri vahel asub esimene purusti, mis teostab suurte mäemassitükkide esmase purustamise. Kamberploki kogumisstreki lintkonveierilt liigub mäemass mööda paneeli- ja magistraalkonveiereid peapunkrisse. Sealt edasi tõstetakse mäemass mööda peakallakšahti lintkonveiereid maa peale rikastusvabrikusse. Rikastusvabrikus toimub põlevkivi eraldamine mäemassist raske suspensiooni keskkonnas, kus põlevkivi tõuseb vedeliku pinnale, raskem lubjakivi vajub vedelikus põhja. Kaubapõlevkivi transportitakse põlevkilattu. Rikastamisel tekkinud lubjakivist suurem osa transportitakse karjäärrikalluritega aherainemäkke, väiksem osa kivist (umbes 5%) purustatakse ja sõelutakse erinevate fraktsioonidega lubjakivikillustikuks, mida müüakse tarbijatele [EEK andmetel].

### 3.5 Hetkel kasutatav tuulutusšurfi rajamise tehnoloogia

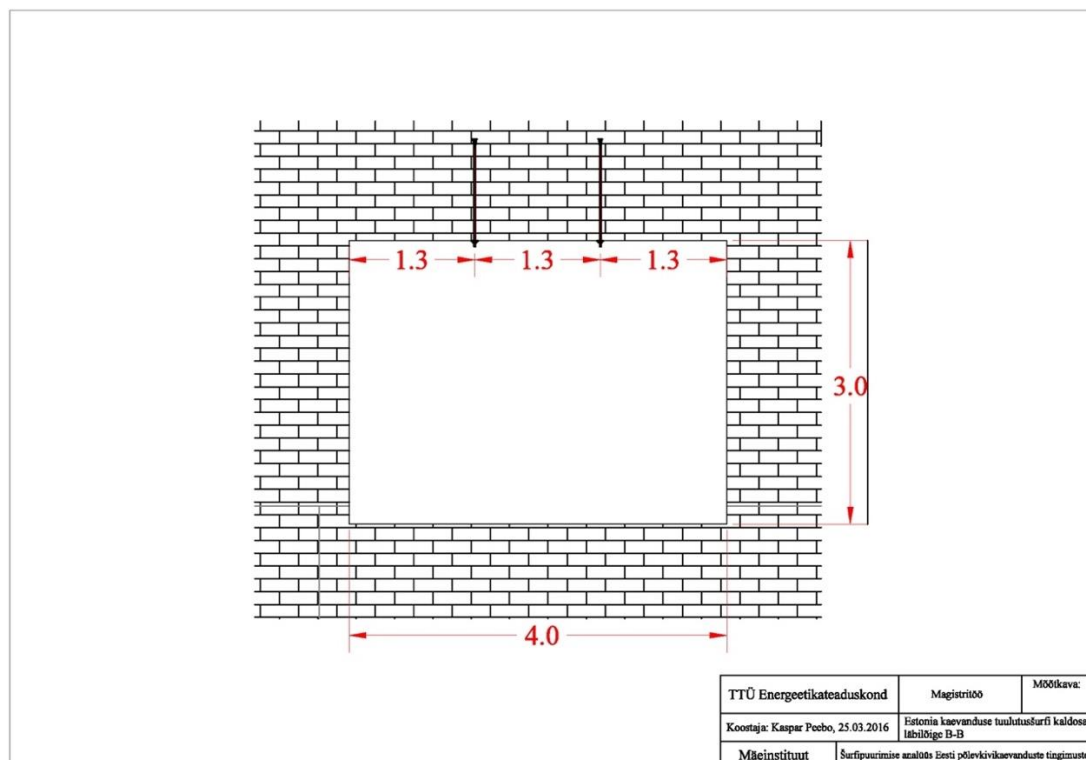
Estonia kaevanduses on tuulutusšurfid ettenähtud maa all asuvate kaeveõonte tuulutamiseks, ehk heitõhujoa väljutamiseks kaevandatud alast maapinnale ning puhta õhu kaevandusse juhtimiseks. Tuulutusšurfid koosnevad kahest osast: kald- ja vertikaalosast (vt [Joonis 5](#)). Kaldosa ristlõikeks on 3x4 m (vt [Joonis 7](#)) ning vertikaalosa ristlõikeks 3x3 m suurune nelinurk (vt [Joonis 6](#)). Estonia kaevanduses kasutatakse šurfi läbindustöödel puur-lõhketöid. Šurfi kaldosa läbindatakse alt üles ehk põlevkivi tootuskihi põhjast kuni mergellubjakivide kihini, vertikaalosa aga ülevalt alla ehk maapinnalt kuni ristumiseni šurfi kaldosaga. Šurfi kaldosa läbindamist alustatakse 38–40° nurga all. Vertikaalosa läbindamiseks maapinnalt rajatakse ehitusplats mõõtmetega 30x30 m vajalike seadmete jaoks ning eemaldatud mulla ja liiva ümber paigutamiseks. Vajadusel rajatakse maapealse ehitusplatsini tehnoloogiline juurdesõidutee. Šurfi eksploatatsiooniperiood määratakse Estonia kaevanduse tööajaga.



Joonis 5. Tuulutusšurfi üldjoonis [[PLT šurfi joonised.dwg](#)]



Joonis 6. Tuulutusšurfi vertikaalosa ristlõibilõige [PLT\_šurfi\_joonised.dwg]



Joonis 7. Tuulutusšurfi kaldosa ristlõibilõige [PLT\_šurfi\_joonised.dwg]

### 3.5.1 Tuulutussurfi kaldosa läbindamine

Šurfi kaldosa rajatakse puur-lõhketööde meetodil. Šurfi kaldosa rajamisel ehitatakse kaldšurfist kivimite varisemiseks kaeveõõnde tõkkesein, mis ei lase materjalil täita kaeveõõne väljapääsuteed. Lisakaeveõõne laed toestatakse terves ulatuses ankurtoestikuga. Seejärel märgistatakse täpne šurfi asukoht, kus alustatakse puur-lõhketöödega. Kaldšurf rajatakse 39-kraadise nurga all kaevanduse põrandast. Esimese tööee (astme) kõrgus kaeveõõne põrandast on 1,5 m. Rajatava kaldosa laiuseks on 4,0 m ning kõrguseks 3,0 m (vt [Joonis 7](#)).

Kui kaldosa rajamisel on liiga palju vett, puuritakse maapinnalt pinnasepuurauk ( $\varnothing 112$ – $127$  mm), mis on ette nähtud pinnasest vee väljavooluks. Šurfi kaldosa lagede toestamine toimub ankurtoestikuga, mis kinnitatakse tugevasse lubjakivikihti. Pudedate ja nõrkade kivimite korral betoneeritakse see tugi. Ankrupoltide pikkuseks on 1,14 m ning nende vaheline paigaldamise kaugus piki kaldšurfi on 1,15 m (vt [Joonis 5](#)), risti 1,3 m (vt [Joonis 7](#)). Tavaolukorras paigaldatakse igasse edasinihkesse ühte ritta kaks ankurpolti.

Ankurtoestiku rida ei tohi jääda tööeest maha kaugemale kui 3 m ning peavad olema paigaldatud enne lõhkamiseks vajalike puuraukude puurimist. Üksikute ning paralleelsete lõhede ristumise esinemisel ei tohi ankrute vahemaa ületada 1 m ja põhiankrutele lisatakse täiendavaid ankruid, mis jäävad lõhest 0,3–0,5 m kaugusele. Ankrute vahemaa piki lõhet ei tohi olla rohkem kui 1,5 m (vt [Joonis 9](#)). Paralleelsete lõhede puhul paigaldatakse ankrud nii, et nende vaheline kaugus ei oleks rohkem kui 1 m ning lisaks kasutatakse ka poolpalke (vt



Joonis 8. Vaade šurfi kaldosale kaeveõõnest [[EEK](#)]

[Joonis 8](#)), mis asetatakse risti üle lõhede ja kinnitatakse ankrutega. Läbindustööde läbiviimine toimub kahes vahetuses, mis on 7-tunnise kestvusega. Lõhatud mäemassi koristatakse siis, kui läbindustöötajaid on lahkunud kaldšurfist. Tõkke ette kogunenud materjal laaditakse

allmaakopplaaduriga kallurtõukurile, millega transporditakse materjal ettenähtud kohta.

Läbindustöödel tuleb läbindajatel end kinnitada turvalisuskaalutustel kaldšurfis turvaköie külge, mille läbimõõt on tavaliselt 8–10 mm. Turvaköis kinnitatakse kaldšahti seintesse paigaldatud ankrupoltide külge. Kõik puurimistööd toimuvad käsi-elektripuuridega. Kuna lõhkeaugud peavad olema kindlate nurkade all, siis läbindajatel on spetsiaalsed toed, millega on võimalik kerge vaevaga õige nurga all puurida. Peale puurimistööd tuleb töövahendid viia ohutusse kohta, et lõhketööd neid ei kahjustaks. Kokku puuritakse 40 lõhkeauku kuues reas. Ülalt alla esimese viie rea puuraukude pikkuseks on 2,0 m, viimasel real 1,0 m. Pikemates lõhkeaukudes kasutatakse kolme Senatel Powerfrag lõhkeaine padrunit, mille detoneerimiseks kasutatakse elektridetonaatorit EDZN. Lõhkeauk topistatakse umbes 15–20 cm paksuselt



Joonis 9. Estonia kaevanduse šurfi kaldosa [EEK]

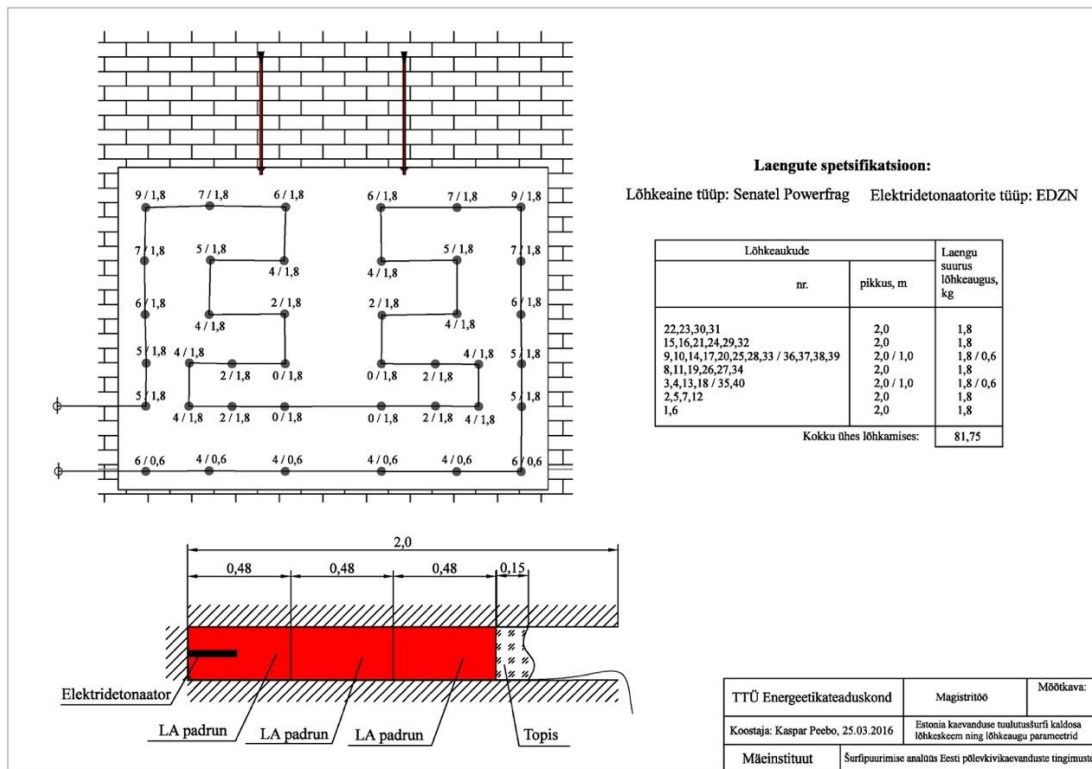
puurpuruga. Lühikeste lõhkeaukude puhul kasutatakse samasuguseid lõhkevahendeid, kuid kolme lõhkeaine padrunit asemel piirdutatakse ühe padrunitiga. Kokku lõhatakse ühes ees ligi 82 kg lõhkeainet (vt [Joonis 10](#)). Lõhkeaugud paiknevad erinevate kallete all nii vertikaalselt kui ka horisontaalselt (vt [Joonis 11](#)).

Tegelik puuraukude pikkus

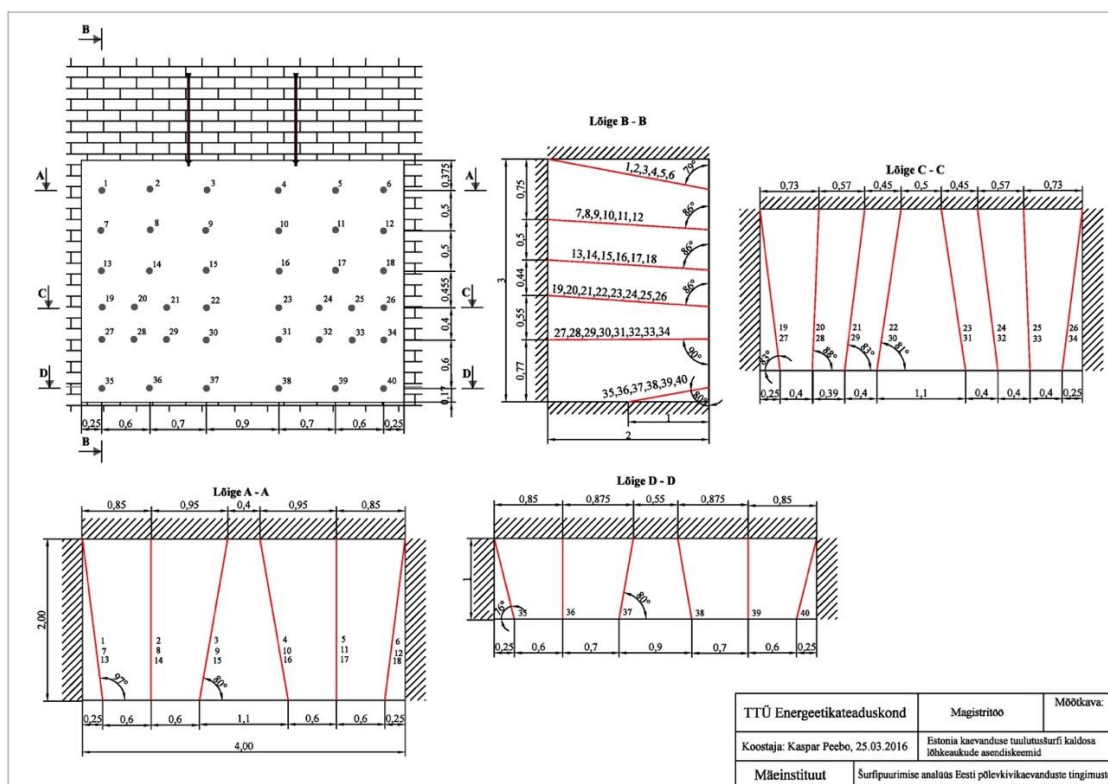
tohib erineda lõhketööde passist 5%. Peale lõhketööd tuleb üle vaadata kaldšurfi seinad ja lagi, et seal poleks varisemisohlikke kivimitükke. Vajadusel puhastada nn astmed, et oleks mugavam uut ett ette valmistada.

Kaldšurfi tööfronti tuulutatakse kohaliku suruõhu ventilaatoriga ehk puhas õhk pumbatakse tööfronti mööda toru. Lõhketööde teostamise tõttu kaitstakse ventilatsioonitoru spetsiaalse kattega. Pärast lõhketööd tuulutatakse kaldšurfi samuti kohaliku ventilaatoriga kuniks õhu kvaliteet on piisav, et eemaldada lahtisi kivimitükke ning paigaldada uue edasinihke laetoestik.





Joonis 10. Estonia kaevanduse kaldšahti lõhketööde ja lõhkeaugu kirjeldus [PLT šurfi joonised.dwg]



Joonis 11. Estonia kaevanduse kaldšahti lõhkeaukude paiknemine [PLT šurfi joonised.dwg]

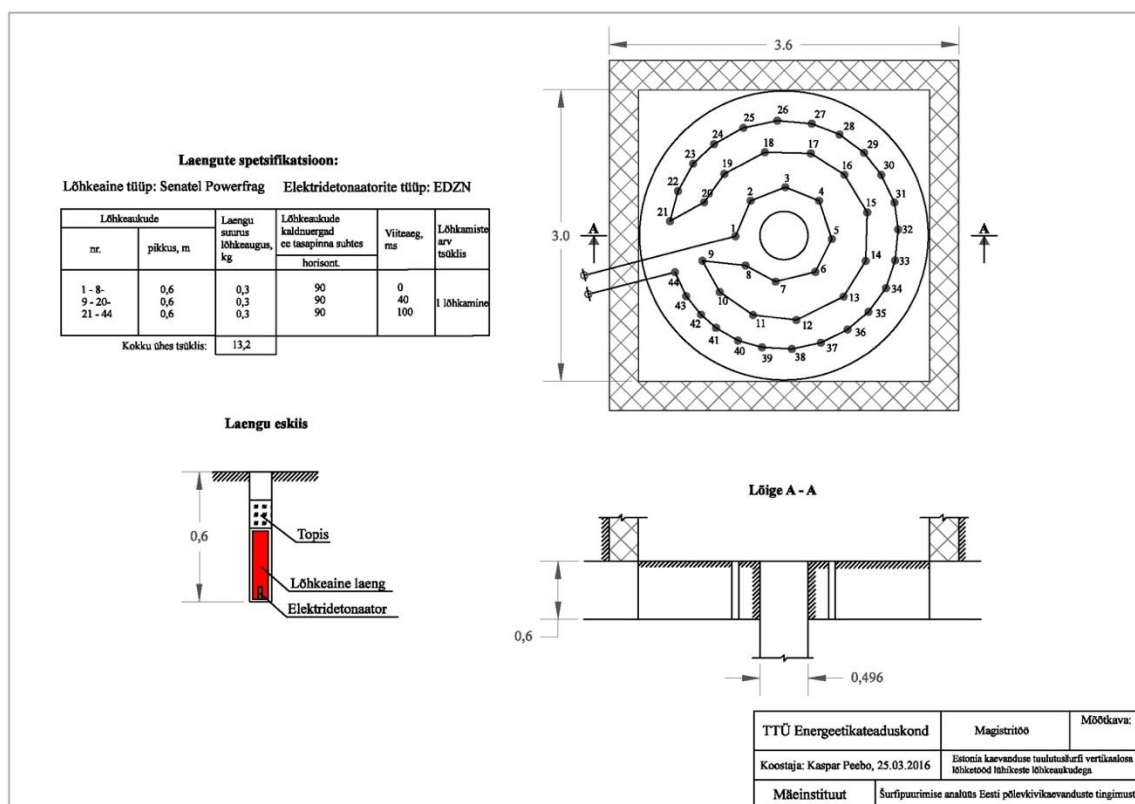
### 3.5.2 Tuulutusšurfi vertikaalse osa läbindamine

Šurfi vertikaalse osa läbindamine algab peale šurfi kaldosa läbindamist. Vertikaalse osa rajamiseks puuritakse kvaternaarisetesse šurfi tööplatsi keskele puurauk Ø635 mm kuni 0,5–1,0 m allpool lasuvasse dolomiidi kihti. Puuraugu sisse paigaldatakse Ø530–600 mm manteloru, mis ulatub 0,4–1,0 m üle maapinna. Seejärel jätkatakse puurimist Ø496 mm puurauku läbi manteloru kuni šurfi kaldosa kaeveõone laeni, järgmiseks kaetakse puurauk konveierlindiga, mille eesmärgiks on takistada heitõhu väljapaiskumist. Peale puurimistöde lõpetamist eemaldatakse ekskavaatoriga ümber manteloru kvaternaarisetted kuni dolomiitideni, mille tagajärjel tekib süvend mõõtmetega 6x6 m. Rajatud süvendisse ehitatakse raudbetoonist tuulutusšurfi suudme toestik sisemõõtmetega 3x3 m ja seinte paksusega 0,3 m. Šurfi suudme toestiku sisse on betoneeritud kahele küljele karprauad sulgemiskatte paigaldamiseks, suuet kasutatakse tööde läbiviimisel tõstemehhanismi osana ja köisredeli paigaldamise toetusena. Peale betooni kivistumist täidetakse väljaspool betoontoestikku olev tühimik eelnevalt väljatud kvaternaarisetetega ning likvideeritakse manteloru. Seejärel alustatakse šurfi läbindamist puur-lõhketöödega, vertikaalosa seinad, mis läbivad kaljukivimeid, ei vaja lisatoestust ning seega neid ei toestata. Siiski ohutuse tagamiseks peavad šurfi läbindamisel tööees viibivad läbindajad olema kaitstud ülevalt kukkuvate esemete eest nn kaitseriivliga, mis peab olema paigaldatud šurfi tööest mitte üle 5 m kõrgusele. Lisaks peavad kõik vertikaalosa läbindustööd olema tehtud päevasel ajal.

Puuraugud puuritakse käsi-elektripuurmasinaga CЭP.1. Puurimise, puuraukude lõhkeainega laadimise ja lõhkevõrgu koostamise ajaks puurauk Ø496 mm suletakse vastava klapiga, et vähendada õhu kadusid ja parandada töötingimusi. Peale eelnimetatud tööde lõpetamist puurauk avatakse. Lõhkeaineks kasutatakse lõhkepadruneid Senatel Powerfrag ning elektridetonaatoreid EDZN. Betooniäärise põhjast kuni 3 m allapoole teostatakse lõhketöid lühikeste (0,6 m) puuraukudega ja vähendatud lõhkeaine kogusega, et vältida betooniäärise purunemist. Ee edasinihe selles lõhketööde töösüklis moodustab ~0,5 m (vt [Joonis 12](#)). Edasi puuraukude pikkust (1,25 m) ja lõhkeaine kogust suurendatakse ning ee edasinihe lõhketööde töösüklis moodustab 1,0 m. (vt [Joonis 13](#))

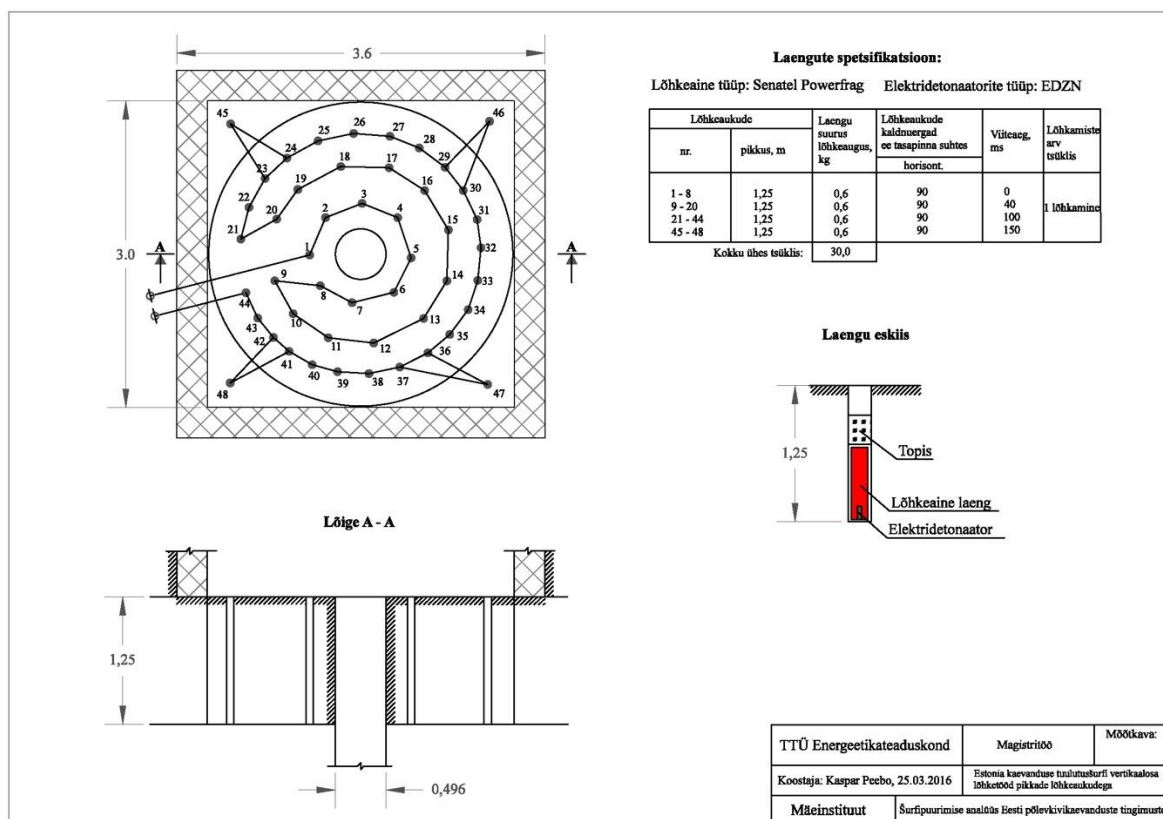
Lõhketööde ajaks tuleb šurfi suue katta sulgemiskattega ning kõik kõrvalised isikud peavad lahkuma ohtliku tsooni piiri taha, kuhu peavad olema välja pandud ka valvepostid. Tööfront tuulutatakse peale lõhkamist ettepuuritud puuraugu Ø496 mm kaudu. Peale ee täielikku tuulutamist viiakse lõhkaja või tehnilise järelevaataja poolt läbi kontroll, mille käigus tuleb šurfi seinte küljest hoolikalt eemaldada kõik lahtised kivimi tükid. Lõhketööd, kontrolli läbiviimine

ja ohtlike olukordade likvideerimine võivad toimuda ainult jaoskonna tehnilise järelevaataja juhendamisel.



Joonis 12. Tuulutusšurfi lõhketööd lühikeste lõhkeaukude puhul [PLT šurfi joonised.dwg]

Lõhatud kivimite väljalaadimine toimub Ø496 mm puuraugu kaudu, mille ümbrus on eelnevalt 0,5 m raadiuses puhastatud ning paigaldatud on spetsiaalne jalgadel seisev vari töötingimuste parandamiseks. Kivimite väljalaadimine puuraugu kaudu toimub käsitsi labidaga. Puuraugu Ø496 mm kaudu suunduvad kivimid šurfi kaldosasse, kust need alla veerevad ja kuhjuvad vastava konstruktsiooni ette. Kivimite laadimist ja transporti šurfi alt teostatakse allmaakopplaaduritega selleks ettenähtud kohta. Kivimite koristamisel kaevõõnest ei tohi šurfi vertikaalosas teha muid töid ja Ø496 mm puurauk peab olema pealt kaetud. Tööde tegemisel šurfi vertikaalses osas peavad šurfi alumise osa juurdepääsu teede olema paigaldatud hoiatavad sildid. Inimeste laskumine šurfi vertikaalosas ja sealt väljumine toimub köisredeli abil, kusjuures inimene peab kasutama kaitsevööd, mille üks ots on kinnitatud ohutustrossi ja teine käsivintsi külge. Käsivintsil on kraapmehhanism ohutustrossi pidurdamiseks vastassuunalisel liikumisel. Käsivintsi tööd juhhib teine inimene.



Joonis 13. Tuulutusšurfi lõhketööd pikkade lõhkeaukude puhul [PLT\_šurfi\_joonised.dwg]

Instrumentide ja materjalide alla toimetamiseks ning ülestõstmiseks kasutatakse tõstemehhanismi, mis töötab üle plokiratta, ning nende alla toimetamise ja ülestõstmise protsessis on keelatud inimeste viibimine šurfi vertikaalosas. Kui šurfi läbindatakse asustuse



Joonis 14. Puur-lõhketöödega rajatud šurfi kaitsevõre [EEK] mitte alla 2 m. Lisaks tuleb šurfi ümbrus 2 m raadiuses ääristada 1,1 m kõrguse barjääriga ja paigaldada barjäärile nähtavalt ohutuslint, et vältida inimeste ja loomade juhuslikku sattumist šurfi läbindamise perioodil. Tööde lõpetamisel kaetakse šurf ohutuse eesmärgil metallvõre (vt Joonis 14).

### 3.6 Tõusupuurimise tehnoloogia üldkirjeldus

Esimene tõusupuurimise tehnoloogia pärineb Saksamaalt, kus 1949. a arendati välja esimene masin insener Bade'i juhtimisel. Tänapäeval on antud tehnoloogiat kasutades võimalik puurida üle 7 m läbimõõduga ning rohkem kui 1200 m sügavusi šahte. Sügavaim šaht, mis on rajatud tõusupuurimise tehnoloogiaga, on 1260 m sügav ning 7,1 m läbimõõduga. [24]

Tõusupuurimise tehnoloogia koosneb suures plaanis kahest põhitegevusest: pilootpuuraugu puurimisest ning seejärel šurfi või šahti tõusupuurimisest spetsiaalsete lõikepeadega.

Sõltuvalt kivimite tugevusest jääb pilootpuuraugu puurimise kiirus vahemikku 0,75–2,50 m/h ning tõusupuurimise kiirus vahemikku 0,20–2,00 m/h, sõltuvalt läbindatavate kivimite geoloogiast ning šahti diameetrist. Kaasaegsete masinatega on võimalik saavutada pilootpuurimisel väga täpsed tulemused, näiteks 500 m puurimise kohta on kõrvalekalle umbes 0,1 m [24]. Seega määramatus on kõigest 0,0002%.

Esimene tõusupuurimise masin (Bade, 1949) koosnes põhiliselt vintsist ja šurfi lõikepeast, mille läbimõõt oli 1,52 m. Vintsi ja trossi süsteem muutis antud tehnoloogia kaevuritele ohtlikuks. 1950. toimus arenduses edasiminekuks, kui R. E. Cannon (Robbins Company) tutvustas enda firma arendatud tõusupuurimise tehnoloogiat. Üldsüsteem oli Bade'i omaga sarnane, kuid Cannon oli kaotanud vintsi ja trossi süsteemi ning asendanud selle metallkonstruktsiooniga. Esimese tänapäevase tõusupuurimise masina arendas 1962. a samuti Robbins Company, mis kandis nime 31R ning mida katsetati Homer-Wauseca kaevanduses Michigani. Kanada Inco kaevandus oli esimene, kes hakkas regulaarselt kasutama tõusupuurimist ventilatsiooni ning muude šahtide rajamiseks. 1975. a telliti üheksa Robbins 61R-i, mis rajasid šurfe läbimõõduga kuni 2,4 m ja sügavusega kuni 450 m. [9]

Tõusupuurimine on mäenduses väga laialt levinud ning seda kasutatakse lisaks ka teiste allmaa objektide rajamisel nagu veeliikumisteed, õhu- ja kaablišahtid hüdroelektrijaamades, tuulutuse ja väljapääsu šahtid pikkades maantee, raudtee või metroo tunnelites, militaarkonstruktsioonid ning maa-alused tuumajäätmete hoidlad. [9]

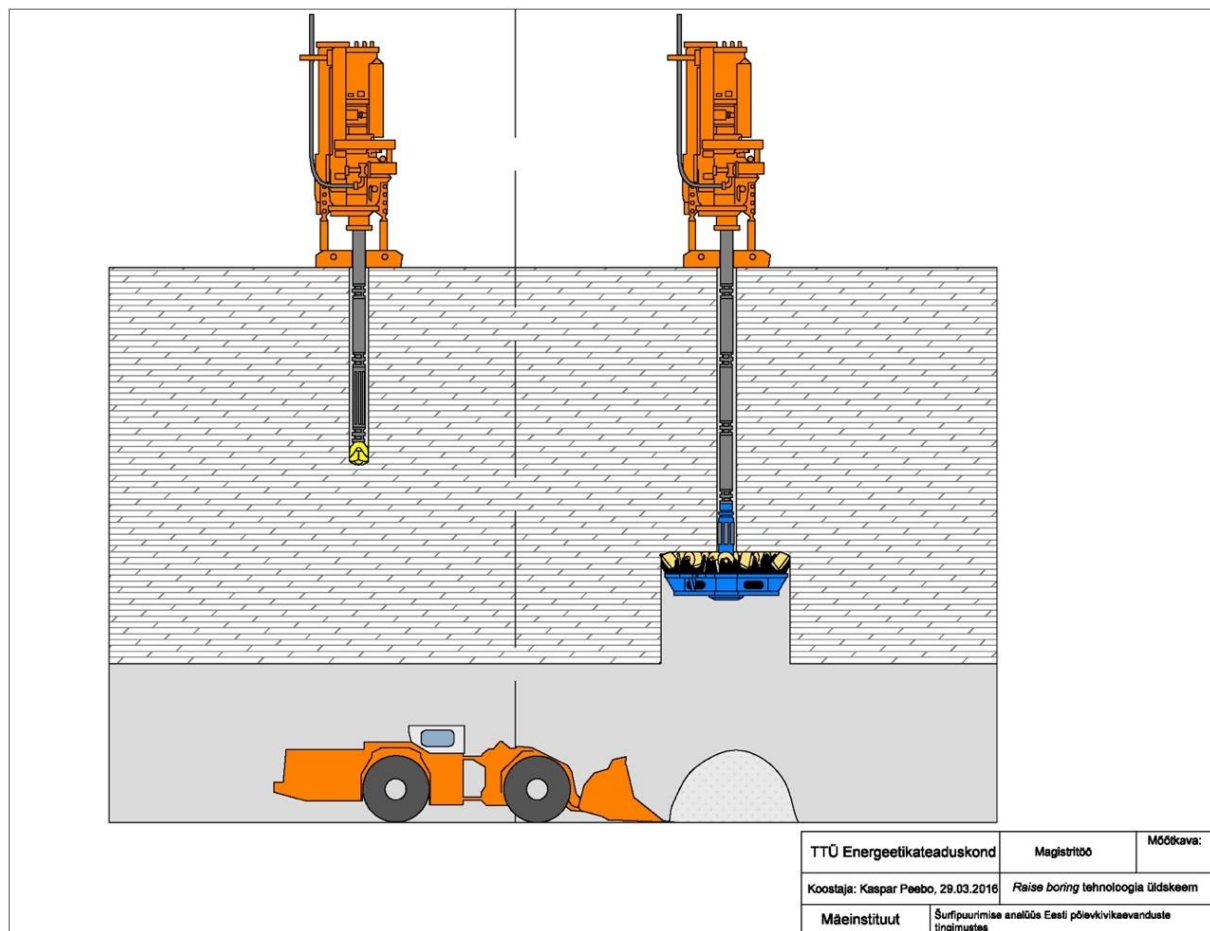
Kõige klassikalisem tõusupuurimine toimub kahe vaba pinna vahel, milleks võivad olla kaks kaeveõõnt või maapind ja kaeveõõs (vt [Joonis 15](#)). Töid alustatakse puurajamile tööplatsi ettevalmistamisest, mis peab olema stabiilne ning tasasel pinnasel. Vajadusel eemaldatakse pehmete settekivimite kiht, rajatakse tehnoloogiline tee, rajatakse tööplats lisaseadmetele ja paigaldatakse veetorud ning pumbad pilootaugu puurimiseks. Mõnel juhul tuleb platsi ettevalmistustöödel eemaldada pehme pinnas ning see asendada betooniga, et vältida hilisemaid

varinguid. Tõusupuurimise masin tuleb kinnitada kahele tugevale ja piisavalt pikale raudbetoonplaadile, et vältida puurimise ajal puurajami varisemisohtu.

Esmalt tuleb puurida pilootpuurauk, mille puurpeaks on näritspuur (vt [Joonis 18](#)). Masinale tuleb ette anda spetsiaalseid puurimise puurvardaid, mis puurajami kápptõstukiga tõstetakse õigele kohale ning kinnitatakse, et jätkata puurimist. Puurimisel tekkiu puurpuru ning väiksemad kivimitükid uhutakse suure veesurvega pinnale, mille jaoks on ülioluline, et vee kättesaadavus oleks puurimisplatsil olemas. Pilootpuurimine lõpetatakse kui puurpea ja selle stabilisaator jõuavad kaeveõõnes piisavale kõrgusele, et need eemaldada. Seejärel kinnitatakse kaeveõõnes puurvarda külge sobiliku diameetriga lõikepeade korpus koos stabilisaatoriga, mida tõusupuurimise puurajam hakkab piisava jõuga ülespoole tõmbama, lõikepeade korpus samal aja ringi ajades. Lõikepead on kinnitatud korpuse külge sadulatega, mille sees nad saavad vabalt ringi käia. Tõmbejõu ning lõikepea korpuse pöörlemise tulemusel purustatakse kivimit, purustatud kivim kukub mööda rajatud šahti all oleva kaeveõõne põrandale. Tekkiu puistang koristatakse allmaakopplaaduriga siis, kui läbindusprotsess on peatunud või eemaldatakse puurvardaid. Süsteemi töötamise ajal ei tohi antud kaeveõõne osas inimesi viibida (vt [Joonis 15](#)). Kui lõikepea jõuab viimaks vaba pinnani, lõpetatakse puurimistööd, kuid lõikepea tuleb puurvarraste lisamisel lasta tagasi kaeveõõnde. Seejärel korrastatakse tööplats, transporditakse seadmed järgmisele ettevalmistatud alale ning viimaks kindlustatakse šurfi või šahti ava, et inimesed või loomad sinna sisse ei kukuks.

Lisaks klassikalisele tõusupuurimisele on olemas ka sama tehnoloogia erinevad modifikatsioonid, mida kasutatakse üldiselt kas spetsiifilisest vajadusest või puuduvad võimalused klassikalist varianti kasutada. Üheks võimaluseks on horisontaalne puurimine, mida kasutatakse rohkem tsiviilehituses asustatud aladel näiteks kaabli-, põgenemis- ja reoveetunnelite rajamiseks. Teiseks modifikatsiooniks on nn pime puurimine, mille puhul alustatakse puurimist alumiselt tasapinnalt ning liigutakse järjest ülespoole. Seda puurimise tüüpi on võimalik läbi viia nii vertikaalselt kui ka kalde all. Kolmandaks modifikatsiooniks on ülalt alla puurimine eelpuuritava pilootpuurraugu abil. Antud modifikatsiooni konstruktsioonile on lisatud pilootpuurraugu puurpea ning pilootpuurraugu ja šahti puurimise tööd toimuvad samal ajal.

Kirjeldatud lisamodifikatsioonid on kulukad ning klassikalisest puurimise tüübist oluliselt keerulisemad. Seega on mõistlik alati kasutada kõige töökindlamat ning lihtsamat tõusupuurimise meetodit, kui puudub otsene vajadus erinevate modifikatsioonide järgi. Lisaks on modifikatsioonidele palju rohkem erinevaid piiranguid, näiteks on piiratud šahti läbimõõt ning pikkus. [\[25\]](#)



Joonis 15. Tõuspuurimise tehnoloogiline üldkirjeldus [[RB\\_joonised.dwg](#)]

### 3.7 Tõusupuurimise sobilikkus Estonia kaevandusse

Tõusupuurimise tehnoloogia kasutuselevõtt on Estonia kaevanduses aktuaalne teema, kuna hetkel kasutatav tuulutusšurfide läbindamise tehnoloogia on suhteliselt ohtlik. Šurfi läbindamist loetaksegi Estonia kaevanduse kõige raskemaks ning ohtlikumaks tööks. 2015. a hukkus kaks tuulutusšurfi läbindajat, kes olid parajasti läbindamas šurfi kaldosa. Veel pole avaldatud surmade põhjus, kuid on võimalik, et õnnetus oli tingitud õhus sisalduvatest mürgistest gaasidest. Taoliste õnnetuste vältimiseks tuleks muuta läbindamise tehnoloogiat, mis küll ei pruugi olla majanduslikult kasumlik, kuid tehnoloogia efektiivsus võimaldaks seda kasutada nii Narva allmaaprojektis kui tulevastel uutest kaevandustest, nagu näiteks Uus-Kiviõlis.

Tõusupuurimise tehnoloogia (vt [Joonis 16](#)) puhul ei pea üksi tööline viibima šurfis, kõik tööprotsessid on kaugjuhitavad. Isegi puurvarraste kättesaadavus puurajamile on võimalik muuta automaatseks. Sellist tehnoloogiat kasutatakse eelkõige aladel, kus on suur radiatsioonioht [9]. Seega on tõusupuurimise tehnoloogia üks ohutumaid šurfide ja šahtide läbindamise tehnoloogiaid.



Joonis 16. Tõusupuurimine [26]



### 3.7.1 Tõusupuurimise tehnoloogilised parameetrid

Antud autori töö ning Sandvik AB koostöö tulemusena kajastatakse uurimuses Sandvik AB esindatava TBR RHINO tõusupuurimise tehnoloogia seadmeid ning kasutatakse nende seadmete andmeid. Kõigi valitud tehnoloogiate puhul tuuakse välja tähtsamad näitajad, mille järgi on võimalik hinnata konkurentide sarnaste tehnoloogiate sobivust.

Estonia kaevanduses kasutatakse hetkel puur-lõhketöödega tuulutusšurfi läbindamist, mida teostatakse kahes osas: esimesena kaldosa, mille mõõtmed on 3x4 m ning seejärel vertikaalosa, mille mõõtmed on 3x3 m. Seega minimaalne šurfi ristlabilõike on 9 m<sup>2</sup>.

Minimaalse šurfi ristlabilõike pindala järgi on võimalik tagurpidi arvutuste teel leida sellele vastava ringjoonelise ristlõikega šurfi mõõtmed. Et tagada sama suur õhuliikumise võimekus, peaks olema ringjoonelise ristlabilõikega šurfi diameeter vähemalt 3,4 m (vt [Tabel 3](#)).

Tabel 3. Vajaliku ringjoonelise ristlabilõikega šurfi diameeter [[Masina valik.xlsx](#)]

Hetkel kasutatava vertikaalse šurfi osa ristlõikepindala	9,0	m <sup>2</sup>
Seega peab RB tehnoloogiaga rajatava šurfi diameeter olema	3,4	m

Mäeinsener S. S Kobylkini meetodika järgi on võimalik etteantud ringjoonelise ristlabilõikega šurfile leida vajalik arv väiksemaid šurfe ehk võimalik on leida alternatiiv ühele 3,4 m diameetriga šurfile.

Arvutuste käigus katsetati kaheksa erineva läbimõõduga šurfi sobivust: Ø1060 mm, Ø1420 mm, Ø1829 mm, Ø2134 mm, Ø2440 mm, Ø2765 mm, Ø3154 mm ja Ø3372 mm.

Tabel 4. Asendusšurfi arv [[Masina valik.xlsx](#)]

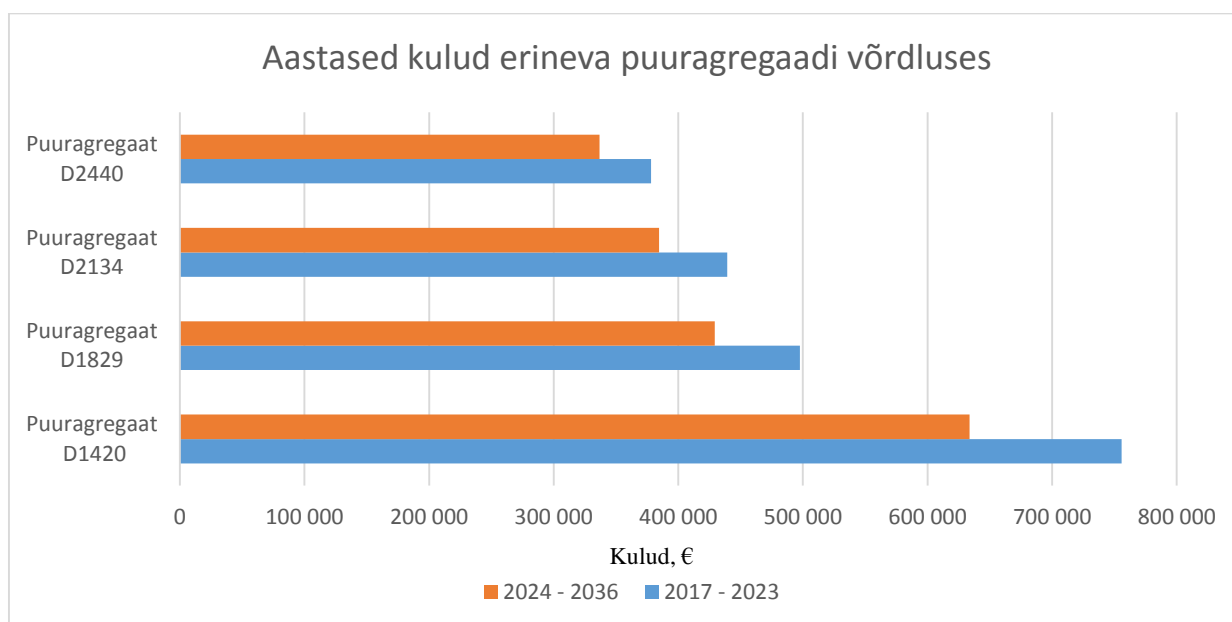
Šurf diameetriga 3,4 m				Asendusšurfi diameeter d, m				Asendusšurfi arv		
D	S	P	S <sup>3</sup>	d	s	p	s <sup>3</sup>	p*S <sup>3</sup>	P*s <sup>3</sup>	N
3,4	9,1	10,7	748,4	1,1	0,9	3,3	0,7	2492,3	7,3	<b>19,0</b>
				1,4	1,6	4,5	4,0	3338,7	42,4	<b>9,0</b>
				1,8	2,6	5,7	18,1	4300,4	193,7	<b>5,0</b>
				2,1	3,6	6,7	45,8	5017,5	488,7	<b>4,0</b>
				2,4	4,7	7,7	102,2	5737,0	1092,0	<b>3,0</b>
				2,8	6,0	8,7	216,5	6501,1	2312,4	<b>2,0</b>
				3,2	7,8	9,9	476,9	7415,7	5094,1	<b>2,0</b>
				3,4	8,9	10,6	712,2	7928,3	7607,2	<b>1,0</b>

Rajades šurfe Ø1060 mm, tuleks ühe 3,4 m šurfi asendamiseks puurida 19 väikest šurfi (vt [Tabel 4](#)), mis on ebaefektiivne. Samamoodi võib väita ka šurfi Ø1420 mm kohta. Järgmiste

läbimõõtude sobilikkuse võrdlemiseks tuleks hinnata aastas puuritavate šurfide arvu (vt [Tabel 5](#)).

Tõusupuurimise tehnoloogiaga kulub keskmiselt šurfi rajamisele 13 päeva ehk umbes 228 töötundi. Uue platsi ettevalmistustööd kattuvad šurfi tõusupuurimise ajaga. Selle tulemusel on võimalik kaks šurfi rajada 19,5 päevaga, kolm šurfi aga 26 päevaga. Šurfidel läbimõõtudega 2765 mm (ligi kolm kuud), 3154 mm (ligi kolm kuud) ning 3372 mm (poolteist kuud) oleks aastane puurimistööde ajaline maht väga väike, mis põhjustaks masina kasuteguri olulist langust. See muudab tehnoloogia Estonia kaevanduse tingimustes ebaefektiivseks. Lisaks nõuab 2,4 m läbimõõdust suuremate šurfide rajamine juba võimsamat puurajamit, mis ei tasuks majanduslikult ära.

TBR RHINO 600H tõusupuurmasin on võimaline puurima kuni 2,4 m läbimõõduga šurfe. Üks tase väiksem, RHINO 400H jääb aga juba liiga väikeseks, sest on ehitatud šurfide rajamiseks, mille läbimõõt on kuni 1,4 m. Seega on sobilik masin RHINO 600H, mille juurde antud juhul sobiksid lõikeorganid läbimõõtudega 1829, 2134 ja 2440 mm. Leidmaks sobivaimat šurfi läbimõõtu, tuleks võrrelda erinevate läbimõõtudega šurfide rajamise kulusid (vt [Joonis 17](#)).



Joonis 17. Aastased kulud erinevate läbimõõtudega šurfide puhul [[RB\\_maksumus.xlsx](#)]

Kõige paremini sobib seega puuragregaat läbimõõduga 2,44 m, sest antud juhul on aastased kulud kõige väiksemad ning puuritavate šurfide arv kõikidest valikuvariantidest on väiksem. See tähendab, et tööd jätkuks ligi kolmeks ja pooleks kuuks aastas (vt [Joonis 24](#)) (aeg võib mõnevõrra pikeneda ettenägematute seisakute tõttu).

Tabel 5. Asendusšurfide vajalik arv aastate jooksul [[Masina valik.xlsx](#)]

Aastad	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
<b>Kasutuskoht</b>	<b>Estonia kaevandus</b>										<b>Narva allmaa, Uus-Kiviõli kaevandus</b>									
PLT tehnoloogial plaanitud šurfide arv, tk	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
RB tehnoloogia šurf diameetriga 1829 mm, tk	25	25	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
RB tehnoloogia šurf diameetriga 2134 mm, tk	20	20	20	20	20	20	20	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
RB tehnoloogia šurf diameetriga 2440 mm, tk	15	15	15	15	15	15	15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
RB tehnoloogia šurf diameetriga 2765 mm, tk	10	10	10	10	10	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
RB tehnoloogia šurf diameetriga 3154 mm, tk	10	10	10	10	10	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
RB tehnoloogia šurf diameetriga 3372 mm, tk	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Erinevatest parameetritest lähtudes on tehnoloogiliselt kõige sobivam puuragregaat RHINO 600H ning šurf läbimõõduga 2,44 m (vt [Tabel 6](#)).

Tabel 6. Sobivad tehnoloogiad Estonia kaevandusele ning hilisemalt teistele objektidele

Tüüp	Valitud tehnoloogia
Puurmasin	SANDVIK AB TRB RHINO 600H
Šurfi läbimõõt	Ø2440 mm

RHINO 600H on suhteliselt kompaktne puurajam, mis on ligi 4 m kõrge ning kogulaiusega ligi 2,6 m (vt [Joonis 19](#), [Tabel 7](#)). Selle masinaga on võimalik puurida šurfe läbimõõduga kuni 2,4 m. Maksimaalseks šurfi sügavuseks on kuni 400 m. Piloopuuraugu puurimiseks vajab tehnoloogia vett ligi 600 l/min ning 21 m<sup>3</sup>/min õhku, millega tuuakse puurpuru maapinnani. Piloopuuraugu diameetrik on 279 mm (vt [Joonis 18](#)). Ühe puurvarda pikkuseks on 1,524 m ning Estonia kaevandus vajaks neid kokku ligi 50 tk, kogupikkusega ligi 76 m, et oleks võimalik šurfe rajada ka kaevanduse lõunaosasse.

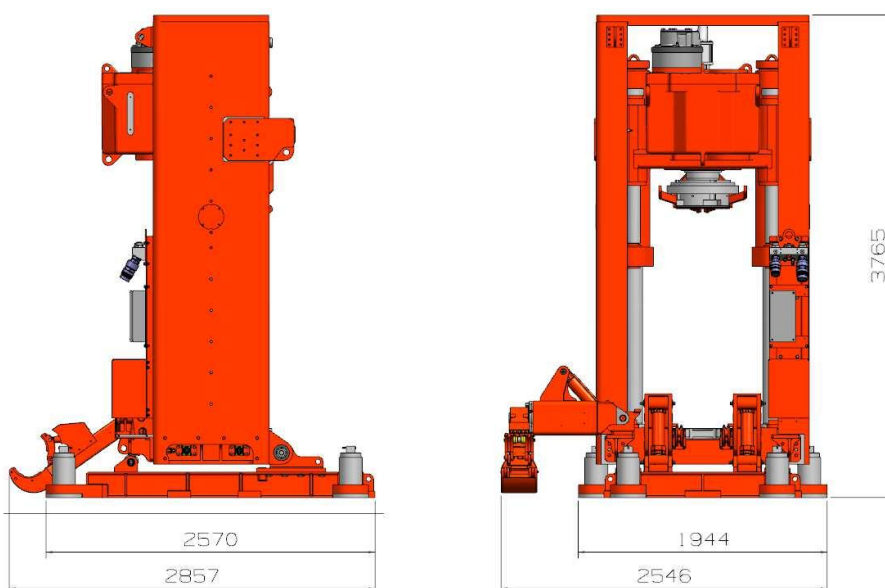
Tabel 7. RHINO 600H tõusupuurimise tehnoloogia tähtsamad näitajad  
[RB\_RHINO600H.xlsx]

RHINO 600H		
Kõrgus	3765	mm
Laius	1944	mm
Pikkus	2570	mm
Kaal	11 000	kg
Šurfi diameeter	1,0–2,4	m
Šurfi sügavus	kuni 400	m
Pilootpuuraugu puurimise kiirus	kuni 37	pm
Tõusupuurimise kiirus	kuni 10,5	pm
Tõusupuurimisel maks. Jõud	2540	kN
Puurvarda läbimõõt	254	mm
Puurvarda pikkus	1524	mm
Pilootaugu diameeter	279	mm
Õhuvajadus puurimisel	21	m <sup>3</sup> /min
Veevajadus puurimisel	600	l/min



Joonis 18. RB näritspuurpea [27]

RHINO 600H puhul on tegemist kõige tüüpilisema tõusupuurmasinaga, millega on võimalik puurida ainult vertikaalseid šurfe. Puurvarraste installeerimiseks on masinal spetsiaalne kääptõstik, millega tõstetakse puurvarras õigesse asukohta ning seejärel keermestatakse see teise puurvardasse. Masinale on külge ehitatud võimas pump, mis surub vee õhu mõjul mööda puurvardaid löikekohani, kus see jahutab nii puurpead kui ka transpordib puurpuru tagasi maapinnani.

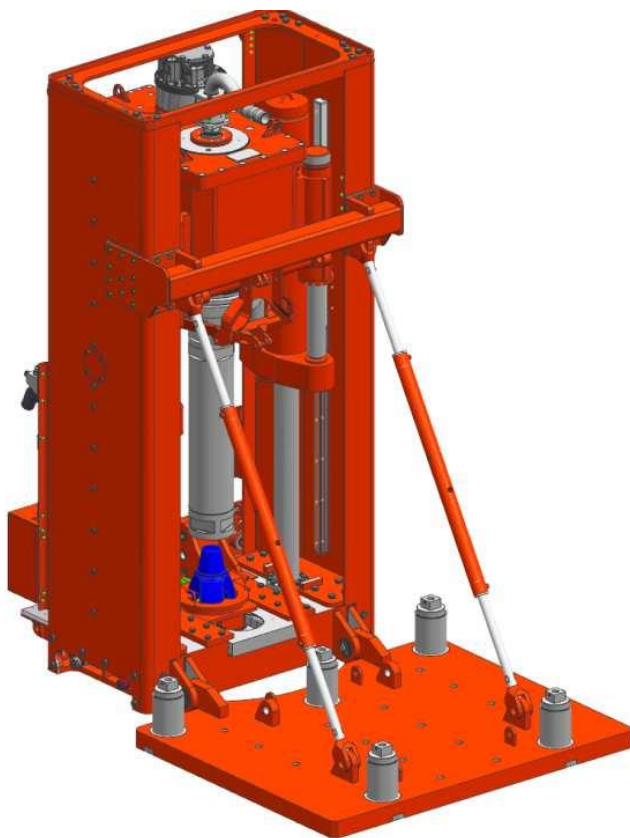


Joonis 19. TBR RHINO 600H mõõtmed [27]

Puurajameid on erinevaid, kuid Estonia kaevandusse sobivateks võiks pidada mitteliigutatavaid ning liigutatavaid ajami konstruktsioone. Mitteliigutatav puurajam valiti sobilikuks tehnoloogiaks Estonia kaevandusse (vt [Joonis 20](#)). Liigutatava erinevus mitteliigutatava puurajamiga seisneb selles, et liigutatava puurajami alusplaat kinnitatakse rajatava šurfi kõrvale, puurajam ning alusplaat on omavahel kinnitatud liigendiga ning masina asendit saab muuta hüdrosilindrite kõrguse muutmisega (vt [Joonis 21](#)). Taolise tehnoloogia puhul on võimalik šurfi läbindada kalde all ning lisaks on võimalik löikeorgan kraanaga šurfist välja tõsta. Kuid antud tehnoloogia vajab olulisemalt keerukamat platsi eeltööd, kuhu peab



Joonis 20. TBR RHINO 600H [27]



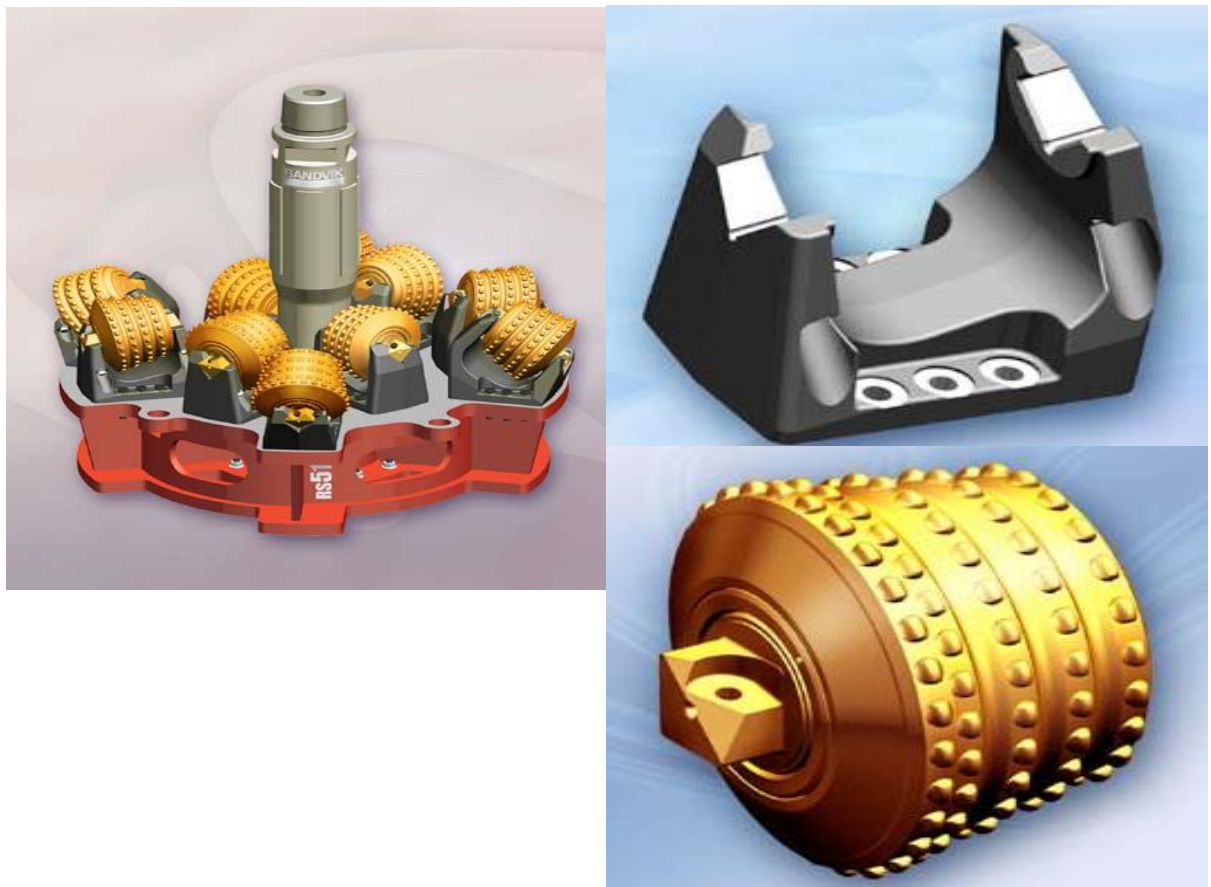
Joonis 21. Tõusupuurimise kallutusmetoodika [27]

olema rajatud betoonist puurajami alusraamipõhi, et see kinnitada kindlalt maapinnale. Lisaks on ka antud tehnoloogiline lahendus kallim kui mitteliigutatava puurajami kasutamine ning leiab kasutust eelkõige väga sügavate šurfide ja šahtide rajamisel, kus on liiga suur ajakulu löikeorgani tagasi laskmisel kaeveõnde.

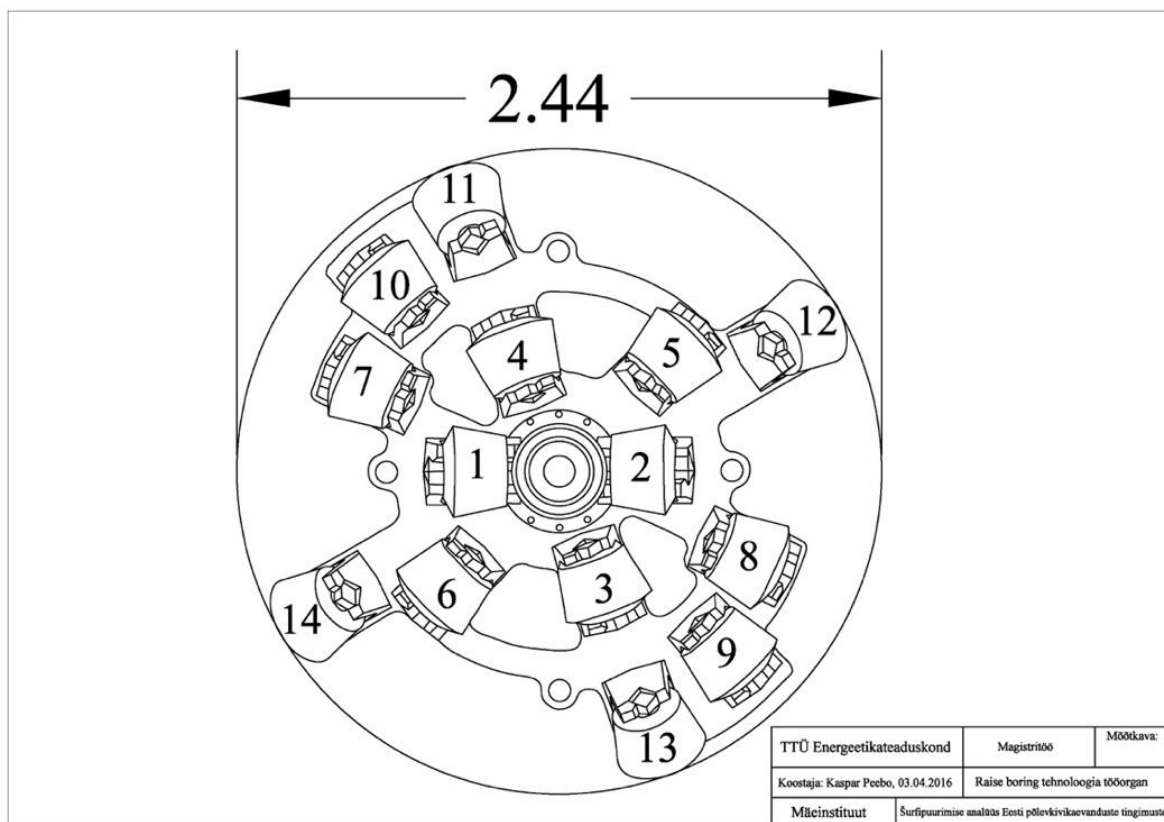
Estonia kaevanduse sügavaim šurf on oletatavasti umbes 70 m, mis näitab, et lisainvesteering pole mõistlik ning kõige paremini sobib mitteliigutatav puurajam löikeorgani kaeveõnde tagasi laskmisega. Mitteliigutatav puurajam kinnitatakse suurtele raudbetoonplaatidele, mida on võimalik korduvkasutada. Kuid kuna

antud tehnoloogiaga ei ole võimalik šurfist tööorganit välja tõsta, juhatakse see puurvardaid lisades tagasi kaeveõõne põrandale.

Lõikeorgan koosneb lõikepeadest, sadulatest, korpusest ning stabilisaatorist. 2,44 m diameetriga lõikeorganil on kokku 14 lõikepead, mis on paigutatud tööorgani korpusele sadulatega, kus lõikepead saavad vabalt ringi käia. Lõikepead on paigutatud korpusele erinevate nurkade all ning asetsevad korpusel nii (vt [Joonis 22](#)), et oleks kaetud kogu šurfi ristlääbilõige. Lõikepead on paigutatud paralleelselt kahekaupa selliselt, et iga ring, mille tööorgan ümber oma telje teeb, purustatakse massiivi kaks korda sama koha pealt (vt [Joonis 23](#)). Lisaks on väga oluliseks komponendiks tööorganil stabilisaatorvarras, mille külge hakatakse kinnitama puurvardaid. Stabilisaatorit kasutatakse nii pilootpuurraugu puurimisel kui ka tõusupuurimisel. Stabilisaator takistab pilootpuurimisel etteantud sihist kõrvalekaldumist ning kaitseb puurvardaid vibratsiooni ning erinevate löökide eest. Seega tõuseb puurvarraste töökindlus, kuna stabilisaator vähendab puurvarraste kõverdumise või vigastuste ohtu.



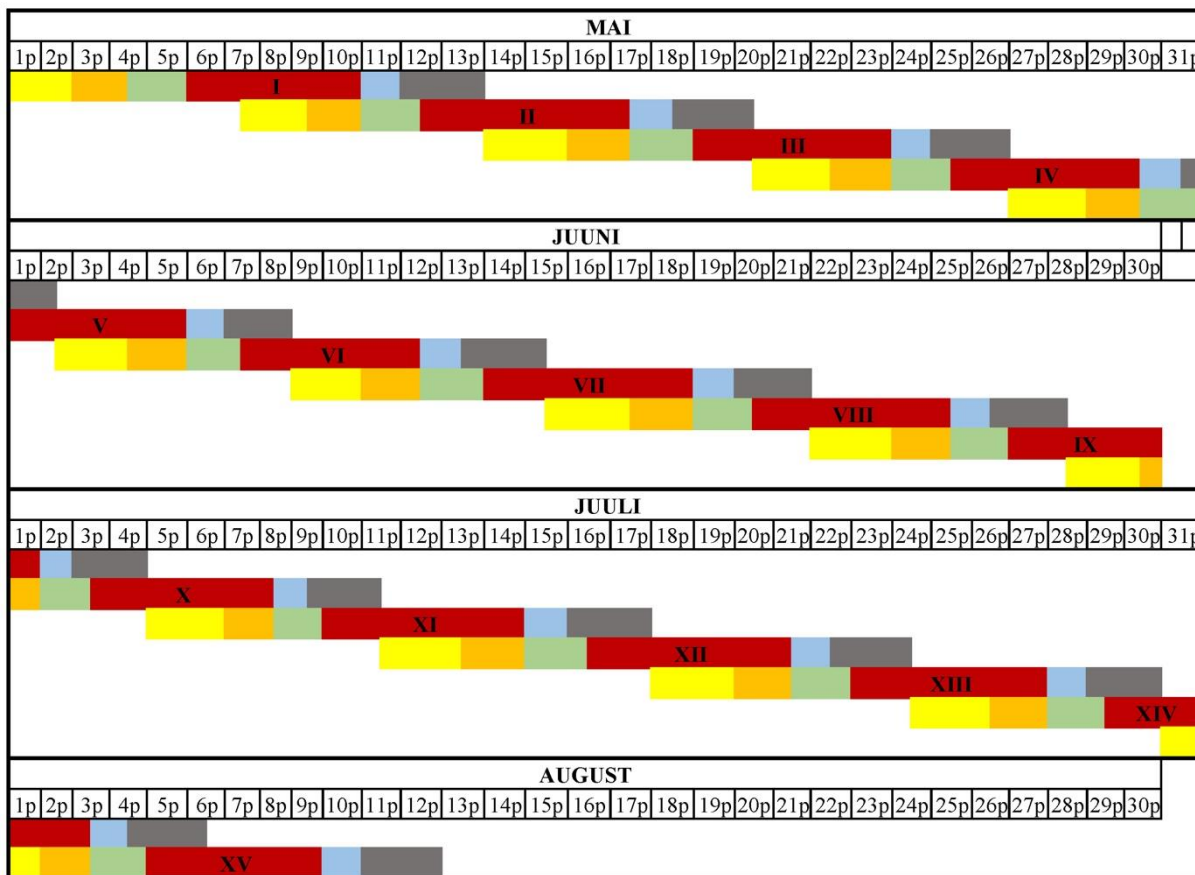
Joonis 22. RB tööorgan, sadul ja lõikepea [27]

Joonis 23. RB tööorgan läbimõõduga 2,44 m [[RB šurfi joonised.dwg](#)]Tabel 8. Ühe šurfi rajamiseks kuluv aeg [[Kasutamine aastas.xlsx](#)]

Töö liik	Aeg, päev	Aeg, h
Šurfipuurimise platsi ettevalmistustööd	2,0 päeva	28 h
Seadmete transport ning töökorda seadmine	1,5 päeva	21 h
Pilootpuurimine	1,5 päeva	32 h
Šurfi tõusupuurimine	5,0 päeva	105 h
Seadmete kokkupanek uude kohta liigutamiseks	1,0 päev	14 h
Šurfipuurimise tööplatsi korrastamine ning šurfi ava muutmise ohutuks	2,0 päeva	28 h
<b>KOKKU:</b>	<b>13,0 päeva</b>	<b>228 h</b>

Esimesel seitsmel aastal on vajalik puurida 2,4 m läbimõõduga šurfe 15 tk aastas ning kombineerides platsi ettevalmistustöid puurimistöödega, on võimalik rajada kõik 15 šurfi kolme ja poole kuuga (vt [Joonis 24](#)). Kuna tegemist on siiski seadmetega, võib ette tulla ka seisakuid, kuid kauem kui neli kuud ei tohiks kogu tööde tsükkel kesta. Mida kiiremini šurfe puuritakse, seda väiksemad on tehnoloogilised operatiivkulud, mistõttu on eesmärgiks šurfid rajada minimaalse aja jooksul. Ühe šurfi rajamiseks on arvestatud keskmiselt 13 päeva ehk 228 töötundi (vt [Tabel 8](#)). Šurfide rajamistööd on kombineeritud kahe meeskonna vahel, millest esimene töötab puurimistöödel ning viimane ettevalmistuse ja lõpetamise-korrastamise töödel. Sõltuvalt töö tüübist töötatakse seitsmel päeval nädalas, kahes või kolmes vahetuses.

Puurimistöödel on ühes vahetuses tööl üks inimene, ettevalmistuse ja korrastustööde tiimis on korraga kaks või kolm inimest.



Joonis 24. Tõusupuurimise tööde ajakava (värvide tähendused välja toodud Tabelis 8) [[Kasutamine aastaxlsx](#)]

Estonia kaevanduse kattekivimite purustamisele kuluv erienergia on ligi 4,9 MJ/m<sup>3</sup>. Kattekivimite maksimaalne survetugevus on 97 MPa (vt Tabel 9), sest arvutustes kasutati maksimaalset väärtust, et tagada kõigi kivimikihtide läbindamine puurorganiga. Keskmise tüki suuruseks, mida tõusupuurimise tööorgan purustab, on ligi 20 mm.

Lõiketugevus näitab kivimi vastupanu lõikamisorganiga irrutamisele, mille ühikuks on N/mm. Insenertehniliselt näitab lõiketugevus, kui suurt jõudu (N) on vaja rakendada ühe mm kivimi raimamiseks.

Kontaktugevus on kivimi vastupanuvõime surutavale silindrilisele otsakule, antud tugevuse ühikuks on MPa. Abrasiivsus on kivimi kulutamisevõime teimimisorgani massi kadu ette antud kulutamise režiimil, mille ühikuks on mg/km või mg. Kõik sedalaadi tunnused, nagu lõiketugevus, kontaktugevus ja abrasiivsus, on suhtelised arvud, mille abil saab kivimeid hinnata ja võrrelda, kuid mille põhjal ei ole võimalik teostada arvutusi [8].



Tabel 9. Estonia kaevanduse kattedivimite põhilised omadused [[Puurparameetrid.xlsx](#)]

<b>Põhilised näitajad kivimi purustamiseks</b>	
Purustamisele kulunud erienergia, (E) MJ/m <sup>3</sup>	4,9
Kivimi maksimaalne survetugevus, (S) MPa	97,0
Purustatud materjali keskmine tükisuurus, (Me) mm	20,0
Lubjakivi löiketugevus, N/mm	455
Abrasiivsus, mg	0,40
Kontaktugevus, MPa	79,5

Kattedivimite löiketugevus on ligikaudu 455 N/mm, abrasiivsus 0,4 mg ning kontaktugevus ligi 79,5 MPa. Šurfipuurimise põhiparameetriteks on pilootaugu diameeter, šurfi diameeter, šurfi sügavus, puurimise nurk ning kattedivimite survetugevus. Pilootpuurangu puhul on kõige olulisemad näitajad pöörlemissagedus, milleks on kuni 15 r/min ning edasiliikumise kiirus, mis on ligi 2 m/h. Tõsupuurimise vajalikuks pöörlemissageduseks saadi 5,5 r/min, puurorganile vajalik surve peab olema vähemalt 439 kN ning kivimi purustamiseks vajalik jõud on 236 kNm (vt [Tabel 10](#)). Tööorgani edasiliikumise kiirus on ligi 0,6 m/h ning puurajamil peab olema minimaalselt tõstejõudu 466 kN.

Tabel 10. Šurfipuurimise põhiparameetrid Estonia kaevanduse kattedivimite jaoks [[Puurparameetrid.xlsx](#)]

<b>Šurfipuurimise põhiparameetrid</b>	<b>Ühik</b>	<b>Väärtus</b>
<b>Põhiparameetrid</b>		
Pilootpuurangu diameeter	m	0,279
Šurfi diameeter	m	2,44
Šurfi sügavus	m	65
Puurimise nurk	°	90
Kivimi UCS	MPa	< 120
<b>Pilootpuurangu parameetrid</b>		
Pöörlemissagedus	r/min	0–15
Liikumiskiirus	m/h	2
<b>Tõsupuurimise parameetrid</b>		
Pöörlemissagedus	r/min	5,5
Tõsupuurimisel vajalik surve	kN	439
Kivimi purustamise vajalik jõud	kNm	236
Liikumiskiirus	m/s	0,6
Puurajami min vajalik tõstejõud	kN	466
Puurajami tehnoloogiline tõstejõud	kN	2540

Seega peaks olema minimaalne puurajami tõstejõud kokku 905 kN, kui arvestada tõsupuurimisel vajalikku survet ning puurajami vajalikku tõstejõudu.

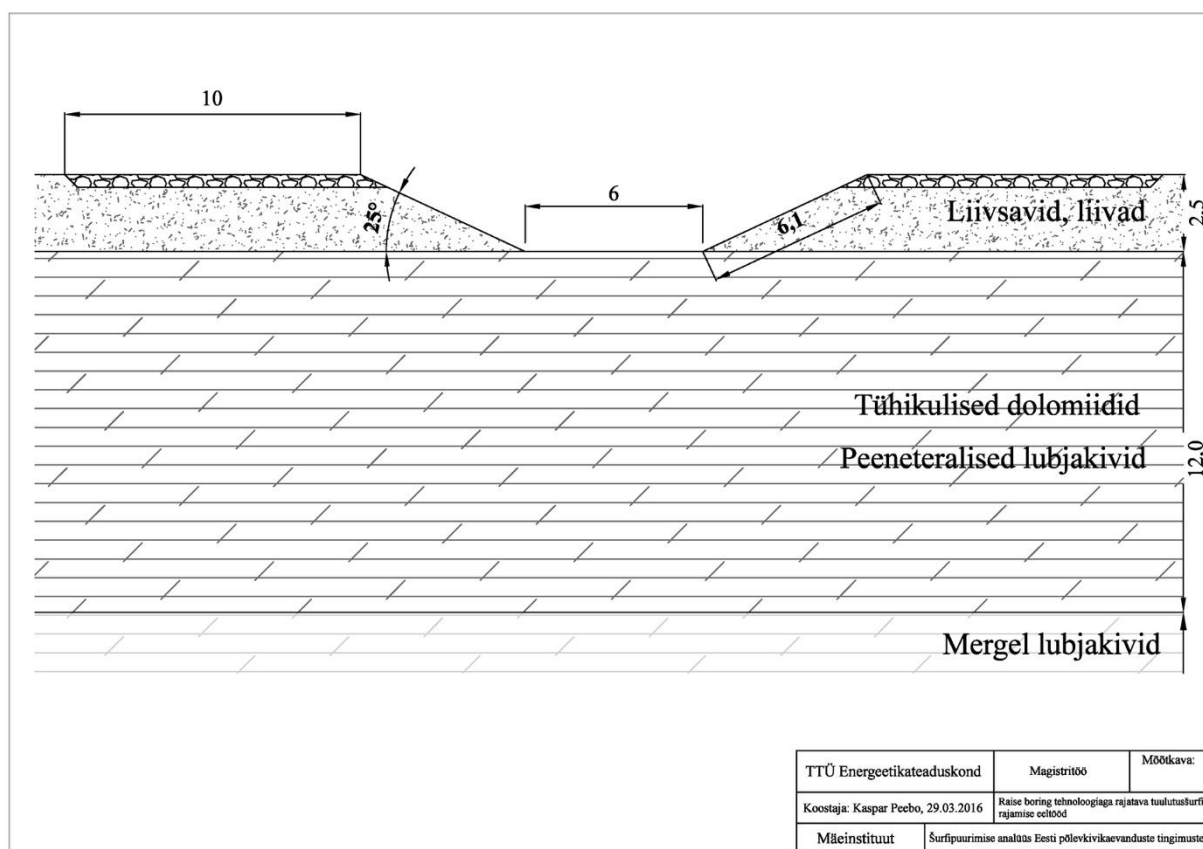
Estonia kaevanduse paigutatakse normaalolukorras ankrud ruudustikuna lakke vahekaugustega 1,5 m. Estonia kaevanduse ankurdamise juhendi järgi peab lõhede olemasolul ankrute vahekaugus olema kuni 1,0 m (soovitatavalt vähem) ning selle tõttu valiti ka ümber šurfi ava iga 30 kraadi järel ja 0,5 m šurfi avast 12 ankrupolti vahetu lae üleval hoidmiseks (vt [Tabel 11](#)). Selleks arvutati välja ühe ankru poolt üleval hoitava lae pindala, mida võrreldi erijuhuga lõhede puhul, mille tulemused olid peaaegu võrdsed. Tagurpidi arvutuste kaudu leiti lisakontrolliks ankrute pingutusmomendid, mille väärtused lõhede erijuhu ja šurfi ava ümbruse ankurdamise puhul olid samuti ligilähedased, seetõttu peaksid 12 ankrupolti ümber šurfi ava hoidma vahetut lage stabiilsena. Lisaks on ohutustegur võrreldes normaaljuhuga ligi 6–7 korda suurem.

Tabel 11. Šurfi ümbruse ankurdamise hinnang [[Ankurdamine.xlsx](#)]

Näitaja	Ühik	Normaaljuht	Erijuht, ankrud 0,5 m vahedega	Erijuht, ankrud ümber šurfi 0,5 m vahedega
Ankru pingutus (R)	t	3,00	0,43	0,47
Laekivimite erimass ( $\gamma$ )	t/m <sup>3</sup>	1,9	1,9	1,9
Lõhede vahekauguse tegur (K)	-	0,6	0,9	1
Kaeveõõne laius (l)	m	7	7	7
Lõhketöödega nõrgestatud materjal massivis (q)	m	0,6	0,6	0,6
Ankru poolt ülalhoitav lae pindala (S)	m <sup>2</sup>	2,34	0,25	0,26
Ankrute vahekaugus (a)	m	1,5	0,5	-

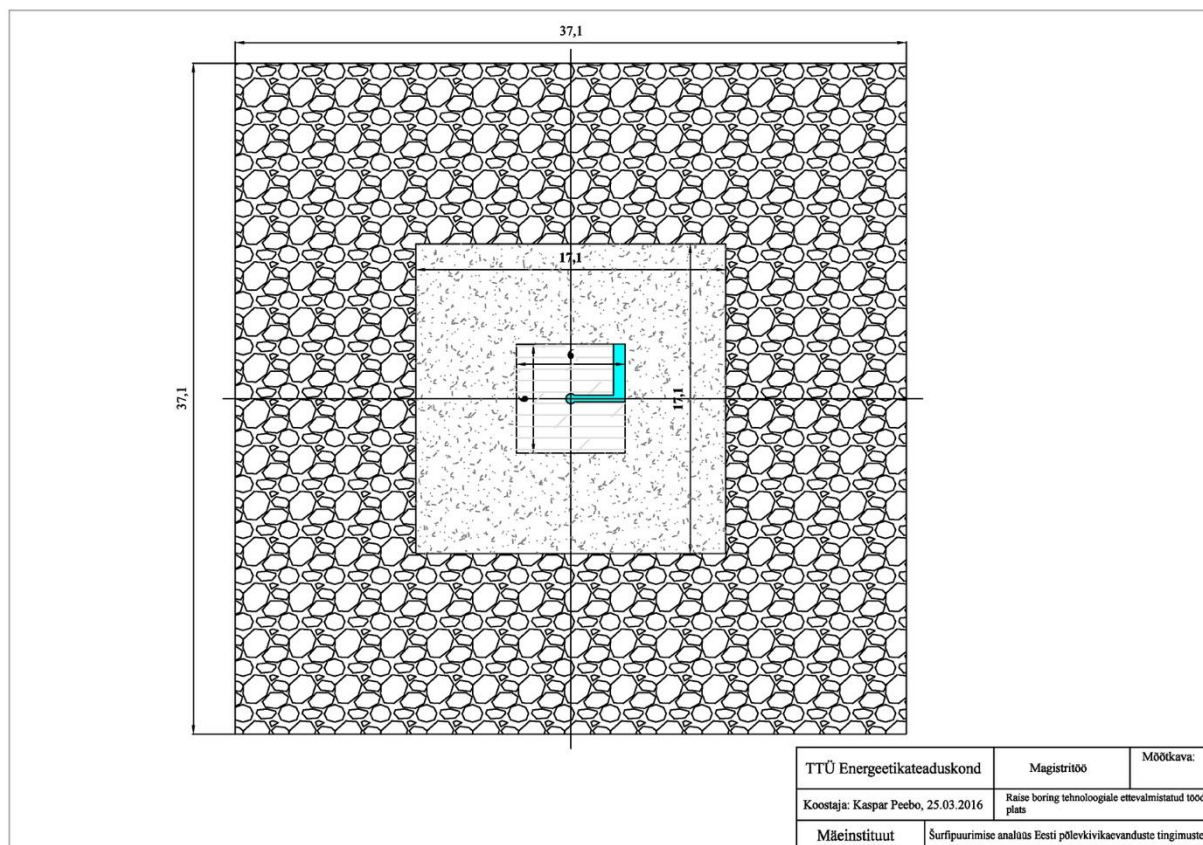
### 3.7.2 Rajatava šurfi platsi ettevalmistustööd

Šurfipuurimise tööde platsi ettevalmistamine algab täpsetest markseidermõõdistamistest. Seejärel ala puhastatakse taimestikust ning vajadusel rajatakse tehnoloogiline tee, et oleks võimalik transportida seadmeid ning käia hilisemalt ala hooldamas. Ala ettevalmistamiseks vajatakse ekskavaatorit, buldooseri ning teerulli. Ekskavaatoriga rajatakse 6 m küljepikkusega ruudukujuline süvend dolomiitideni välja (üldjuhul umbes 2,5 m sügavuseni), et oleks võimalik tõusupuurajami betoonplaadid paigutada stabiilsele ja tasasele pinnasele. Süvendi ääred tuleb tasandada selliselt, et kalle poleks suurem kui  $25^\circ$  (vt [Joonis 25](#)). Buldooseriga tuleb eemaldada alates nõlva äärest huumuse ja mullakiht kuni liivsaside või liivakihini igast küljest 10 m ulatuses, et tagada erineva masinatega šurfile juurdepääs. Seejärel transporditakse antud alale ning vajadusel ka tehnoloogilisele teele Estonia kaevanduse aherainekillustikku. Killustik tuleb teerulliga tasandada ja tihendada, et jääks ühtlase tasapinnaga ala ümber tulevase šurfi suudme. Kogu eemaldatud mullakiht ning liiv tuleks kuhjata puistangutesse tööalast mõnevõrra eemale, et seda oleks võimalik kasutada hilisemal korrastamisel.



Joonis 25. Ettevalmistatava platsi parameetrid [[RB šurfi joonised.dwg](#)]

Kuna pilootpuuraugu rajamisel tuakse puurpuru veesurvega puuraugu põhjast maapinnani, tuleks rajatud ruudukujulisse süvendisse lõigata dolomiitidesse kanal, mille kaudu oleks võimalik muuta vee ja puurpuru segu pumpamine oluliselt lihtsamaks ning efektiivsemaks. Kanal peaks algama pilootpuuraugu küljelt, et juhtida selle kaudu vesi ruudukujulise süvendi serva rajatud mõnevõrra sügavamasse kanalisse, kust pumbatakse see mööda toru juba tööde tsoonist eemale (vt [Joonis 26](#)).



Joonis 26. Ettevalmistatud platsi pealtvaade [[RB\\_šurfi\\_joonised.dwg](#)]

Väga oluliseks aspektiks on tagada vee olemasolu kogu puurimise vältel. Seega on tõenäoline, et on tarvidus rajada veetsoonid või -kraavid. Kõik antud alapeatükis nimetatud tööd tuleks valmis saada kahe päevaga ning kuna töid teostatakse pigem suvisel ajal, siis tööd toimuksid kahes vahetuses päevasel ajal (vt [Tabel 8](#)).

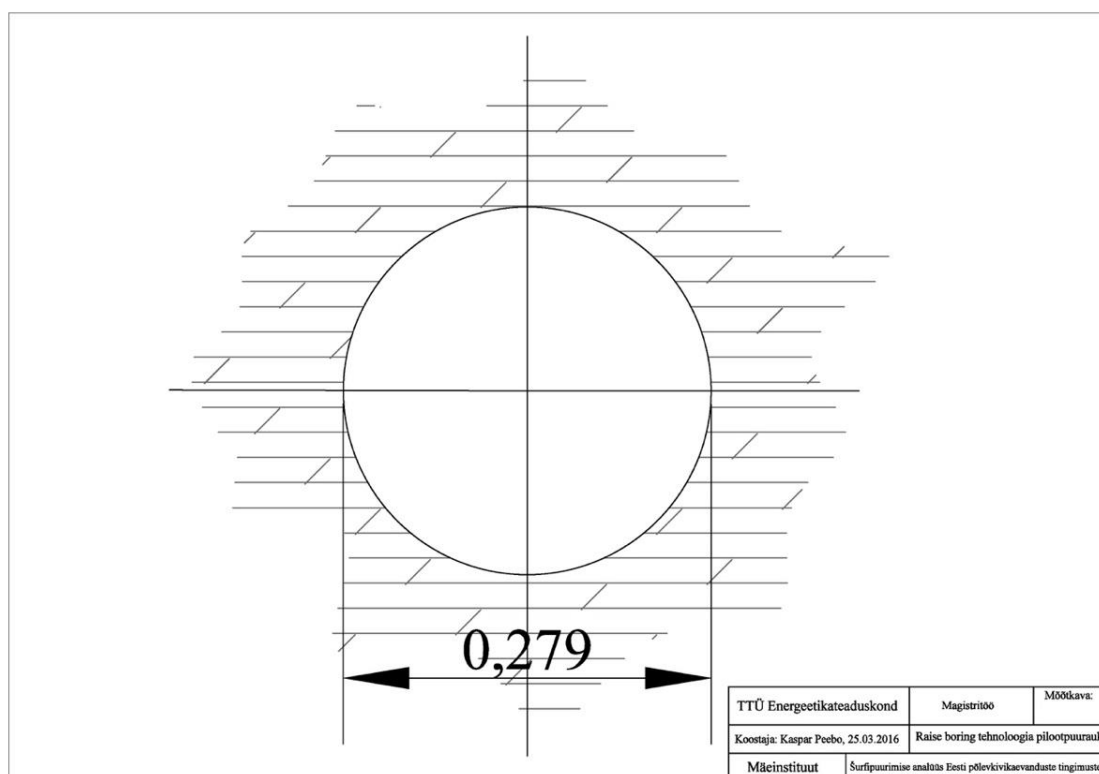




### 3.7.4 Tõusupuurimise pilootpuuraugu puurimine

Tõusupuurimise puurimistööd algavad pilootpuuraugu puurimisega. Selleks kasutatakse näritspuurpead koos stabilisaatorvardaga. Puurvardad kinnitatakse stabilisaatorvarda külge ning neid lisatakse puurimisel kuni vajaliku sügavuseni jõudmiseni. Pilootpuuraugu läbimõõduks on 279 mm (vt [Joonis 28](#)).

Puuraugu puurimisel on väga oluliseks rolliks selle sirgjoonelisus, mille tagamiseks kasutataksegi stabilisaatorit, mis leevendab puurvarrasteni jõudvat vibratsiooni ning lööke.

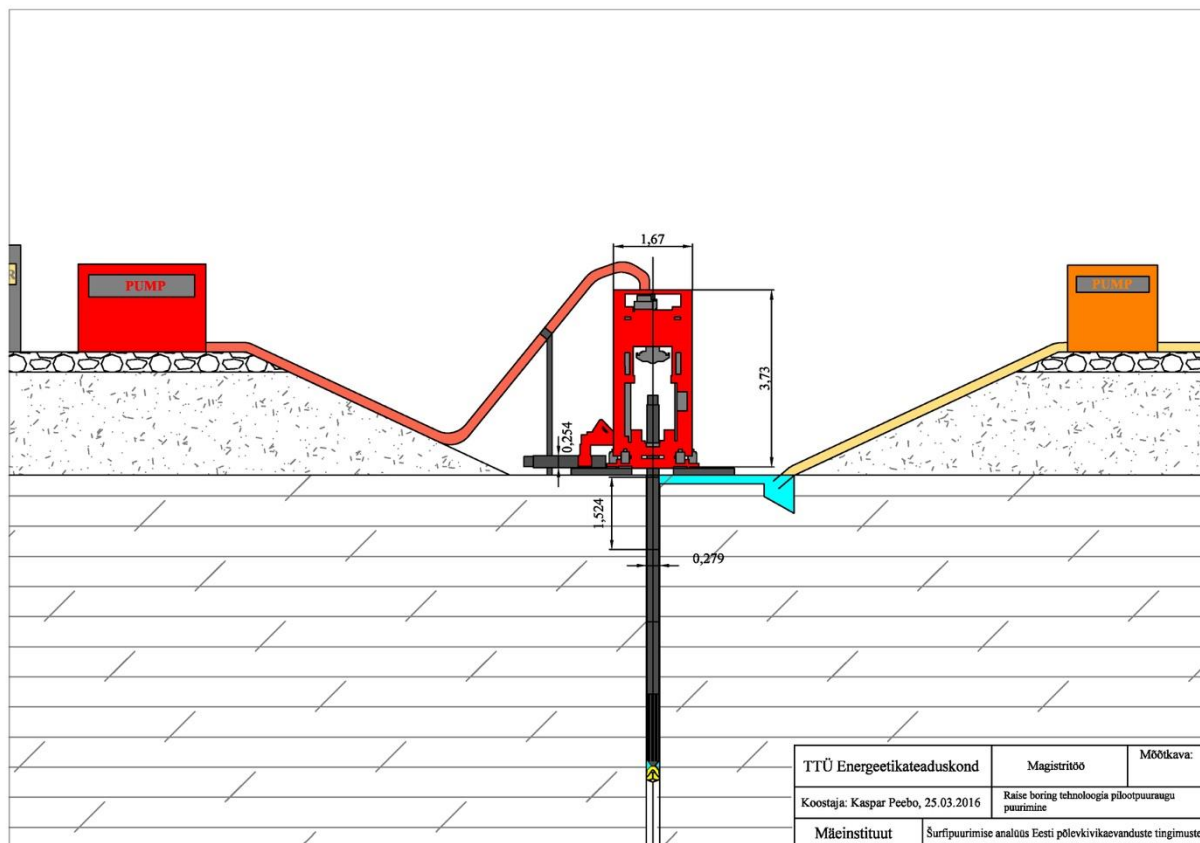


Joonis 28. Pilootpuuraugu ristläbiõige [[RB\\_šurfi\\_joonised.dwg](#)]

Väga oluline pilootpuuraugu puurimisel on vesi, mida pumbatakse puurajamini. Puurajam pumpab õhu ja vee segu puuraugu põhja, kust vee ja õhu surve tõstavad puurpuru puuraugust maapinnani tagasi.

Vee kättesaadavus sõltub suuresti iga šurfi konkreetsest asukohast. Vett on võimalik pumbata mõnest lähedal asuvast veekogust või äärmisel juhul kasutada paakautosid. Samamoodi peab olema hoolas lubjakiviseguse vee ärापumpamisega, sest otse looduslikku veekogusse seda pumbata ei ole lubatud. Võimalikeks variantideks oleks lubjakiviseguse vee pumpamine ja juhtimine reoveesüsteemi, settetiiki või paakautosse, mis transpordiks segu loodust kahjustamata selleks ettenähtud kohta.

Estonia kaevanduse jaoks kohandatud tehnoloogia puhul on juba tööde platsi ettevalmistavate tegevuste käigus lõigatud kanal puurpuruse vee väljapumpamiseks, milleks kasutatakse eraldiseisvat mobiilset pumpa. Seega protsessi käigus on kokku vaja kahte mobiilset pumpa, millest üks toimetab vee puurajamini ning teine pumpab vee ja puurpuru tööde platsilt eemale.



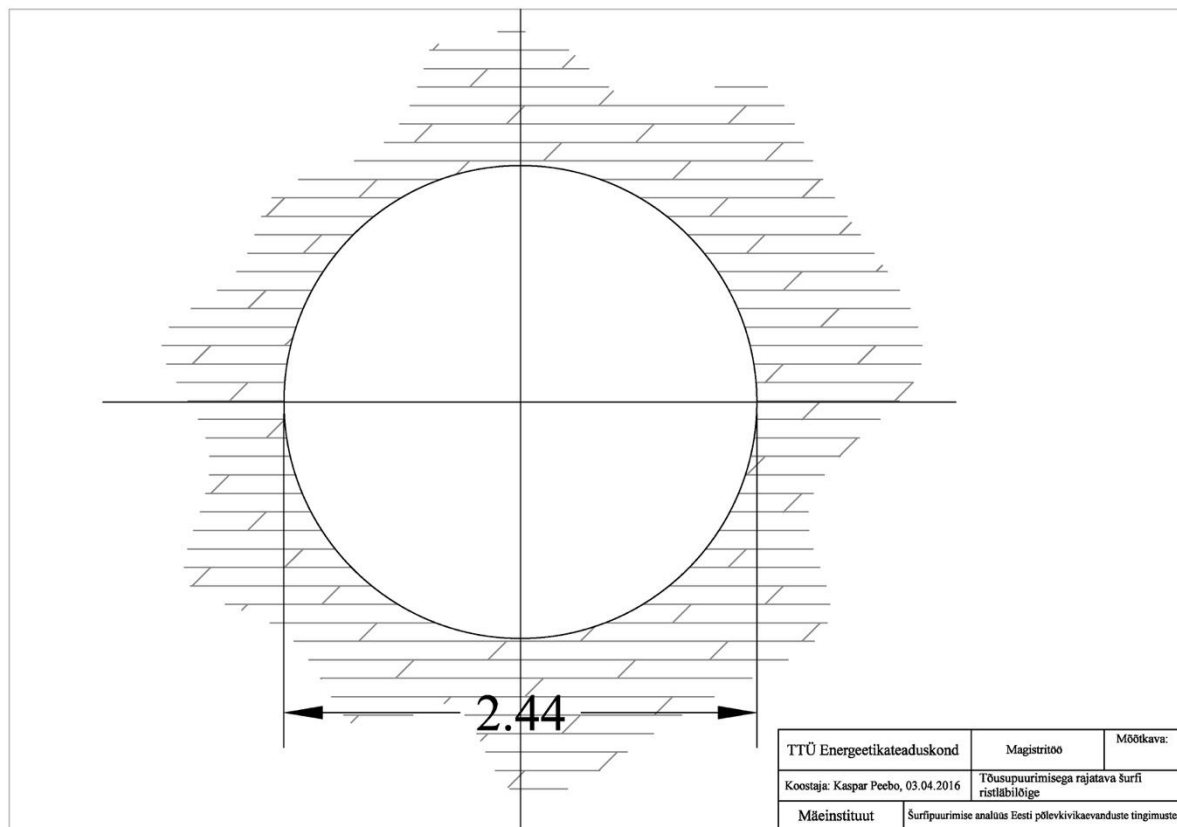
Joonis 29. Pilootpuurraugu puurimine [RB\_šurfi\_joonised.dwg]

Kui puurpea on jõudnud kaeveõõnde, ühendatakse puurpea koos stabilisaatoriga puurvarraste küljest lahti ning ühendatakse põhitööorgan koos ettenähtud stabilisaatoriga (vt [Joonis 29](#)). Pilootpuurraugu rajamiseks on arvestatud poolteist päeva (32 h), töö toimub kolmes vahetuses ning vahetusse piisab ühest töötajast (vt [Tabel 8](#)). Pilootpuurraugu puurimise kiirus on ligi 2 m/h.



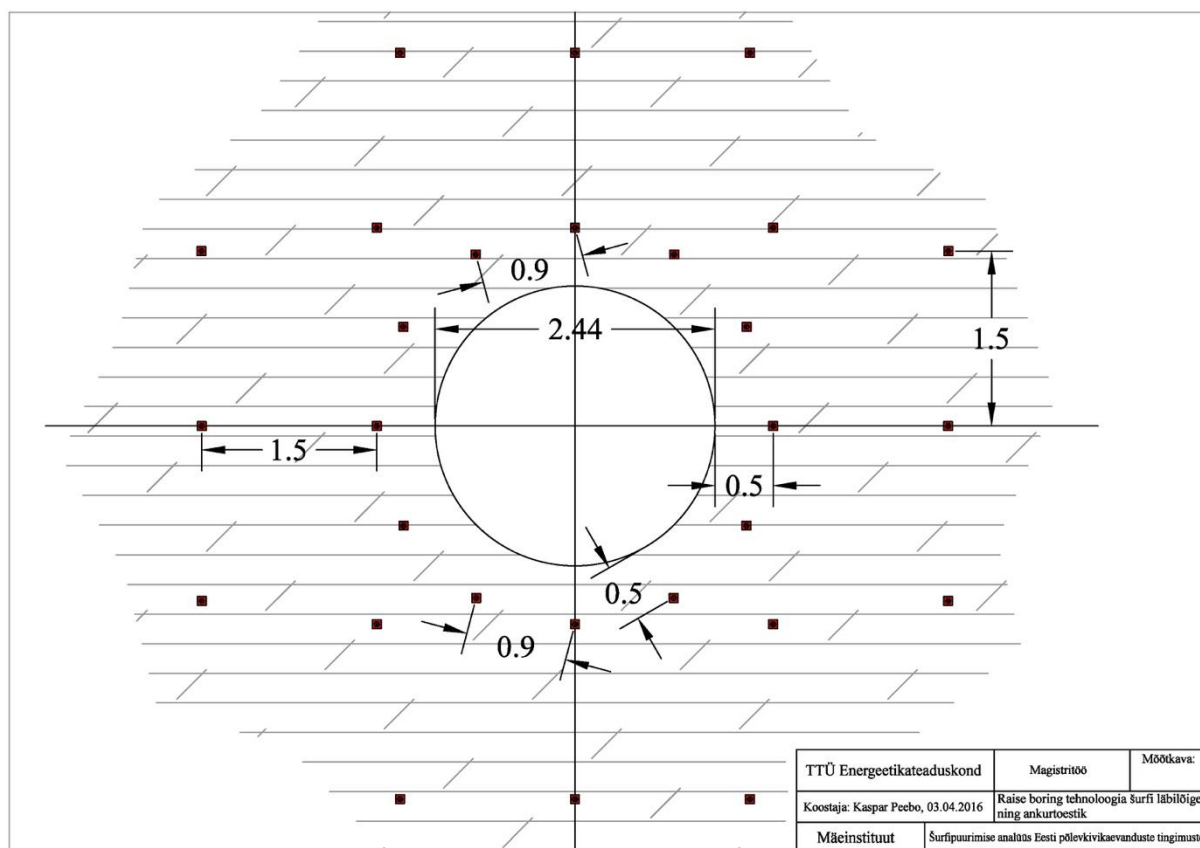
### 3.7.5 Tuulutussurfi tõsupuurimine

Tuulutussurf rajatakse diameetriga 2,44 m (vt [Joonis 30](#)). Šurfi rajamiseks kasutatakse antud töös põhjalikult kirjeldatud tõsupuurimise tehnoloogiat.



Joonis 30. Rajatava tuulutussurfi ristlõbilõige [[RB\\_šurfi\\_joonised.dwg](#)]

Enne tõsupuurimise alustamist on vaja toetada šurfi ava ümbruse vahetu lagi ankurtoestikuga, mida kasutatakse ka mujal Estonia kaeveõõnte lagede toetamiseks. Kõige mõistlikum on teha puurimise ja toetamise töid peale pilootpuuraugu puurimist. Toetada tuleb šurfiava kokku 12 ankrupoldiga. Ankrute kaugus šurfi servast on 0,5 m ning kaugus üksteisest ligi 0,9 m. Ümber šurfi ringjoonelise toetusskeemi puhul lähtuti Estonia kaevanduse jaoks välja töötatud lõhede olemasolu meetodikast, mille kohaselt tuleb ankrud ümber lõhe paigaldada kuni 1,0 m sammuga. Šurfi suue vajab suuremat toetust, kuna šurfi tõsupuurimine tekitab kivimites vibratsiooni, mis võib viia vahetu lae varisemiseni ümber šurfi avause. Ankruteks kasutatakse 1,4 m pikkuseid metallvardaid, kus ülemises otsas on kinnituslukk, millega ankur kinnitatakse tugevasse lubjakivikihti (vt [Joonis 31](#)). Estonia kaevanduses kasutatakse ankruaukude puurimiseks ning nende kinnitamiseks puurvankreid, millega on võimalik töö väga kiiresti ära teha. Lõhede olemasolul võib ankrute vahele lisada poolpalke, mis peaksid tagama parema lagede püsivuse.

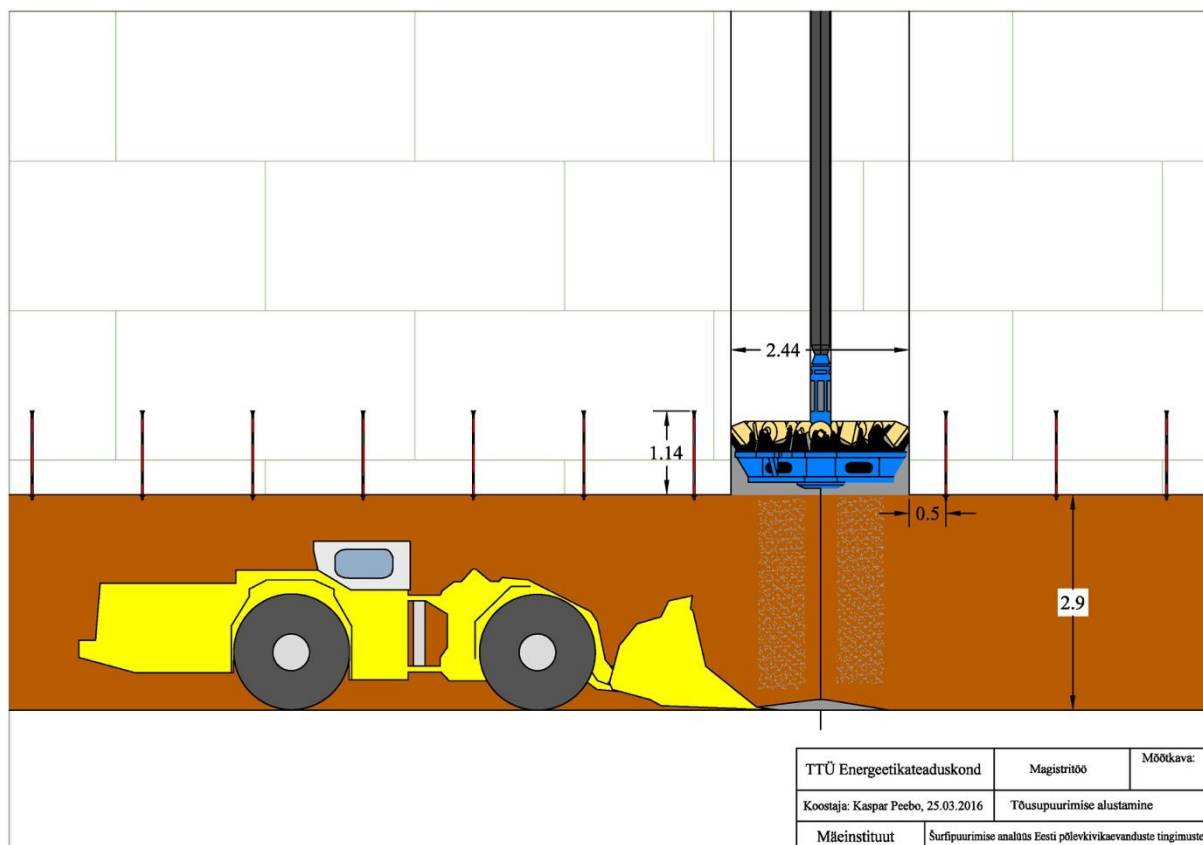


Joonis 31. Ankurtoestiku paiknemise skeem kaeveõõne laes [[RB\\_šurfi\\_joonised.dwg](#)]

Peale ankrute paigaldamist võib puurvarda külge kinnitada tõsupuurimise tööorgani koos spetsiaalse stabilisaatoriga. Tööorgani transpordiks kaeveõõnes sobivad teleskooptõstukid, millel on kopa asemel tõstekahvel, sest selle külge on väga lihtne tööorgan kinnitada. Puurajami operaatori ning kaeveõõnes oleva tiimi vahel peab olema hea koostöö, sest puurvardad tuleb juhtida piisavalt madalale, et puurajam saaks tööorgani keermestada. Seega peab stabilisaatori keermesosa asuma täpselt puurvarda keermesosaga kohakuti, et vältida keermes kahjustamist ja muid rikkeid.

Kui tööorgan on kindlalt kinnitatud puurvarraste külge, algab tõsupuurimine. Tööorgani korpus on spetsiaalse kujuga, mis võimaldab purustatud kivimipurul variseda kaeveõõne põrandale. Kaeveõõnest koristab allmaakopplaadur kivimid piisavalt suure puistangu korral ära. Kopplaaduri operaator peab puurajami operaatorile teada andma, kui toimub koristustöö, sest selleks ajaks peab ohutuse tagamiseks läbindamine seiskuma. Selleks, et koristustööd toimuksid kiiremini ja efektiivsemalt, kasutatakse allmaakopplaadureid ainult puurpuru laadimiseks allmaaveoautodele, mis toimetavad koristatud puurjätmed maa-all või maa peal asuvasse vastavatesse hoidlatesse. Laadimiseks kasutatakse 3,5 m<sup>3</sup> kopamahuga väikeseid allmaakopplaadureid, millel on üldjuhul Estonia kaevanduses haaratskopad. Veoautodeks on

Mercedes Atego raamile ehitatud spetsiaalsed tõukurkastiga masinad. Tööorganil raimavad kivimit 14 lõikepead, mis käivad vabalt ringi lõikepeade sadulates. Puurajam liigutab lõikepeade korpust, mille tulemusel lõikepead sadulates liiguvad ning põhjustavad kivimi purunemise. Puurvarraste hea seisukorra tagamiseks ning sirgjoonelise šurfi saamiseks kasutatakse vahelülina puurvarraste ja lõikepea korpuse vahel stabilisaatorvarrast, mis on oluliselt tugevama ning keerulisema ehitusega kui tavalised puurvardad. Tõusupuurimise kiiruseks Estonia kaevanduses on ligi 0,6 m/h (vt [Joonis 32](#)).



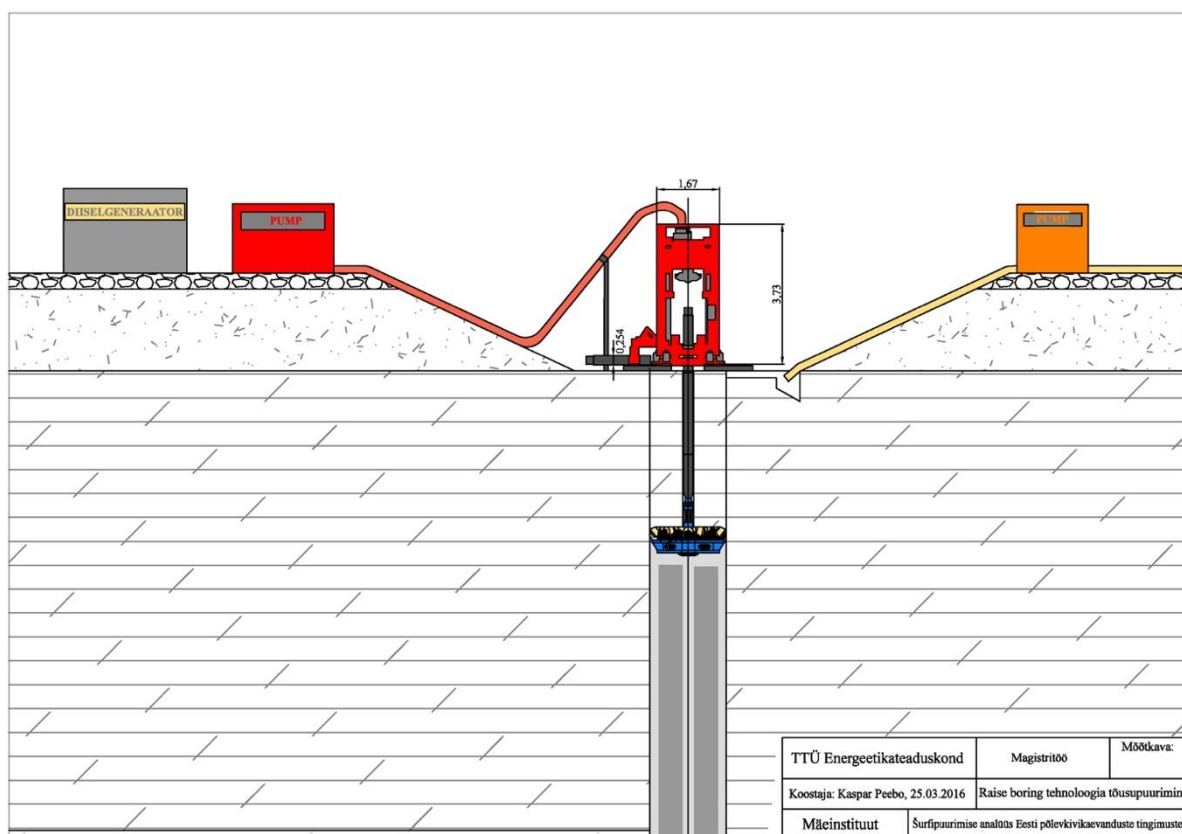
Joonis 32. Tõusupuurimise alustamine kaeveõõnes [[RB\\_šurfi\\_joonised.dwg](#)]

Sobilikuks osutunud tõusupuurimise tehnoloogia puhul toimub tõusupuurimine seni, kuni maapinnani on jäänud ligi 10 cm. Siis tuleb operaatoril vähendada tööorgani pöörlemiskiirust ning valmistada šurfipuurimise lõpetamiseks. Oluline on jälgida, et lõikepead raudbetoonplaatidele vigastusi ei tekitaks. Operaatoril tuleks raudkangiga veel purustamata kivimitükid lahti murda šurfi osadest, kuhu lõikepead ei ulatunud, ning alles seejärel alustatakse tööorgani tagasi laskmist kaeveõõne põrandale puurvarraste juurde lisamisega (vt [Joonis 33](#)). Selleks ajaks, kui tööorgan jõuab kaeveõõne põrandale, peaks allmaakopplaadur olema ära koristanud purustatud kivimite puistangu. Kaeveõõnes vahetatakse tööorgan näritspuurpea

vastu, mis tõstetakse puurajamiga puurvardaid eemaldades maapinnani, et hakata puurima uuel ettevalmistatud platsil.

Kahe veepideme läbimine tõsupuurimise tehnoloogiale probleeme ei tohiks tekitada, pigem soodustab see tõsupuurimist, kuna jahutab lõikepeade terasid.

Viimasena toimub puurseadmete puhastus ning hakatakse puurimiseks vajalikke seadmeid transpordiks ette valmistama. Kõik seadmed tõstetakse veoautodele ning transporditakse uuele ettevalmistatud platsile, kus kordub kogu eelpool kirjeldatud protsess.

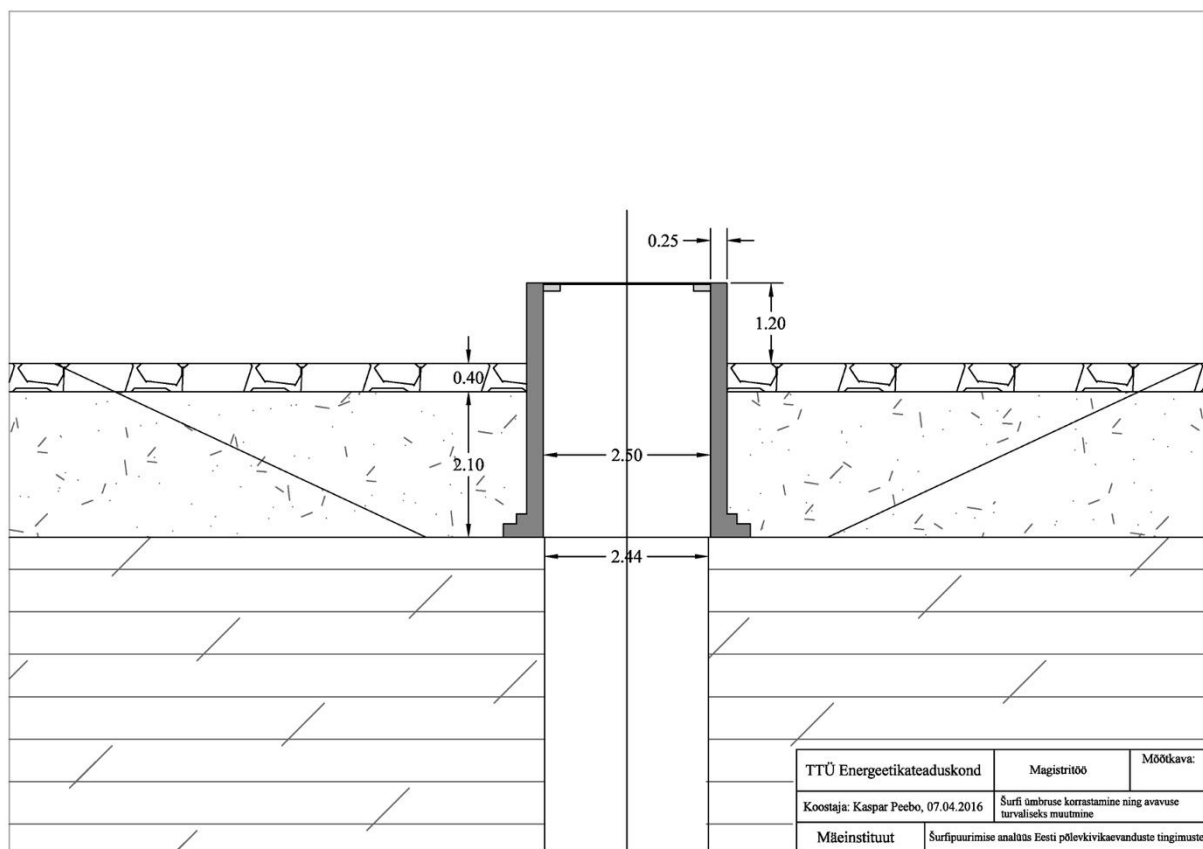


Joonis 33. Tõsupuurimise lõppfaas [[RB\\_šurfi\\_joonised.dwg](#)]

Kokku kulub tõsupuurimiseks eelduste kohaselt 105 tundi, töötatakse ühes ööpäevas kolmes vahetuses, mis teeb kokku ligi viis päeva (vt [Tabel 8](#)).

### 3.7.6 Tõusupuurimise lõpetamine ning ala korrastamine

Kui kogu tõusupuurimise tehnoloogiline seadmestik on töödeplatsilt ära toimetatud järgmisesse puurimise kohta, algavad platsi korrastustööd. Esmalt paigaldatakse kolmest osast koosnevad ringjoonelise ristlabilõikega raudbetoonist rakked, milles esimesele osale on valatud spetsiaalne kaheastmeline jalg, et oleks tagatud võimalikult stabiilne rakete püsivus. Lisaks kinnitatakse esimene rake astmekohalt kaheksa ankrupoldiga tugevasse lubjakivikihti, mis väldib rakete edasised nihkumised. Esimesele rakkele listakse järgmine rake, mis peab sobituma vastavasse soonde ning lisaks kasutatakse nende kinnitamiseks spetsiaalset tardsegu (vt [Joonis 34](#)). Viimaks lisatakse viimane betoonrake, mille ülemisse otsa on ehitatud spetsiaalsest kaardus karprauast toestik metallvõre jaoks. Karpraua laiuseks on 0,1 m.

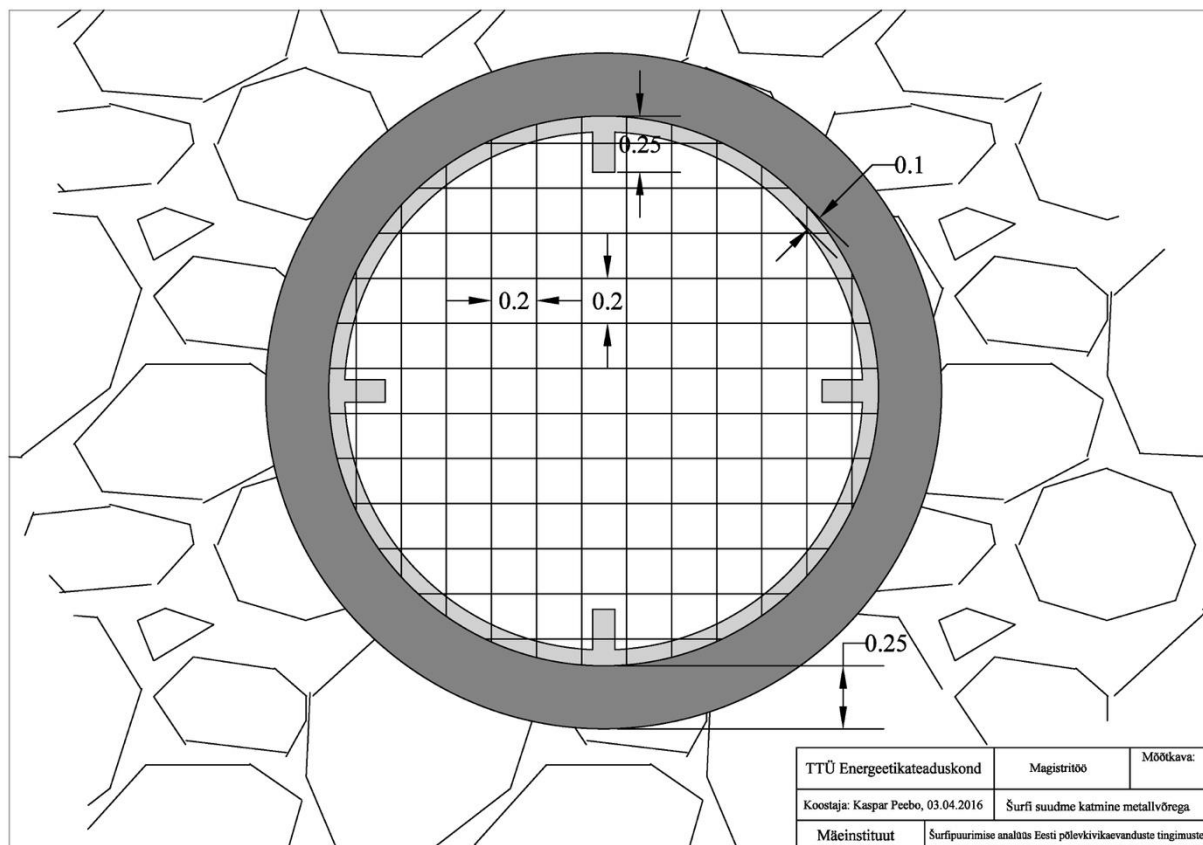


Joonis 34. Platsi korrastamine ning šurfi kindlustamine raketega [[RB\\_šurfi\\_joonised.dwg](#)]

Kui šurfiava on raketega kindlustatud ning on veendunud, et rakked on stabiilsed, alustatakse platsi ettevalmistustöödel eemaldatud liivaga süvendi täitmist. Liivaga täidetakse süvendi rakete ümbrus vajaliku tasemeni. Liiva peale laotatakse aherainekillustikku nii palju, et kogu platsi pind oleks tasane ning stabiilne (ligi 0,4 m). Nende tööde jaoks kasutatakse taaskord nii ekskavaatorit, buldooserit kui ka teerulli tihendustöödeks. Tööde tegemisel peab olema

äärmiselt ettevaatlik rakete lähedal töötamisega, et neid mitte vigastada, vastasel juhul tuleb vigastatud rake asendada uuega.

Viimaks tõstetakse karpraudadele kinnitamiseks metallvõre, mis keevitatakse koha peal karpraudade külge. Võre aukude suurus on 0,2x0,2 m, mis peaks tagama, et metsloomad ning inimesed šurfi ei kukuks. Metallvõre on valmistatud 2 cm jämedustest metallvarrastest (vt [Joonis 35](#)).



Joonis 35. Rakke kindlustamine metallvõrega [[RB šurfi joonised.dwg](#)]

Kõik rakked ning metallvõre on juba varasemalt valmistatud allhangete käigus. Soovituslik on laos hoida varu, kuna esineda võib praaktooteid ning on võimalik, et tööde käigus kahjustatakse detaile sedavõrd, et need tuleks asendada.

Korrastustööde tegemiseks on tööplaanis kokku arvestatud kahe tööpäevaga (ligi 28 töötunniga), kui töötatakse peamiselt päevasel ajal kahes vahetuses ööpäevas (vt [Tabel 8](#)).

### 3.8 Tõusupuurimise tehnoloogia tasuvusarvutus

Tootja on hinnanud TBR RHINO 600H tegeliku eluea vähemalt 20 aasta pikkuseks juhul, kui seadet hooldatakse järjepidevalt kvaliteetsete vahenditega. Seega on mõistlik valida RHINO 600H puurajami amortisatsiooniperioodiks 20 aastat, sest tegemist on antud tehnoloogia puhul kõige kallima seadmega, makstes umbes 1 000 000 eurot. Tehase soovitusel on tehnoloogia ostuhetkel otstarbekas soetada ka kohe põhilised varuosad, et vajadusel oleks võimalik rikked kiiresti kõrvaldada. Seda tehakse ligi 75 000 euro ulatuses. Puurvardad, mida tuleks osta 50 tükki, maksavad kokku ligi 275 000 eurot, seega tüki hind on ligi 5000 eurot. Stabilisaatorvardaid ostetakse alguses neli tükki, kogumaksumusega ligi 75 000 eurot. 2,44 m läbimõõduga lõikeorgani korpus maksab ligi 150 000 eurot ning mudapump maksab ligi 35 000 eurot.

Tasuvusarvutuses on võetud kõigi eelpool nimetatud seadmete amortisatsiooniperioodiks 10 aastat. Tootja on hinnanud lõikepeade eluea umbes kahe aasta pikkuseks, mille järel tuleks need välja vahetada, seetõttu valiti amortisatsiooniperioodiks kaks aastat. Tööorgani 14 lõikepead maksavad kokku ligi 80 000 eurot. 4000 eurot maksev pilootpuuraugu näritspuurpea on kasutatav ainult ühe aasta. Kokku tuleb teha 1,7 mln euro suurune alginvesteering. Arvestades seadmete amortisatsiooniperioode, tuleb aastaseks amortisatsiooniliseks kogukulumiks 155 000 eurot (vt [Tabel 12](#)). Kõik investeeringutega seotud arvutused on tehtud eeldusel, et kasutusele võetakse puuragregaat läbimõõduga 2,44 m.

Tabel 12. Tõusupuurimise tehnoloogia maksumus [[RB maksumus.xlsx](#)]

Puuragregaadi seade	Maksumus, €	Amortisatsiooni-periood, a	Amortisatsiooni-määr aastas, €
RHINO 600H masin	1 000 000	20	50 000
RHINO 600H soovituslikud varuosad	75 000	10	7500
Puurvardad (50 tk - kogupikkusega 76 m)	275 000	10	27 500
Stabilisaatorid (4 tk)	75 000	10	7500
Pilootpuuraegu puurpea	4000	1	4000
Lõikepead	80 000	2	40 000
Lõikepea korpus	150 000	10	15 000
Mudapump	35 000	10	3500
<b>KOKKU:</b>	<b>1 694 000</b>		<b>155 000</b>

Lisaks alginvesteeringutele tuleks teha 20 aasta jooksul mitmeid asenduskulutusi vastavalt amortisatsiooniperioodile, kuid tegelikkuses ei pea amortisatsiooniperioodi lõpp tähendama seadme väljavahetamist. Seega on oluline, et hoolega jälgitakse seadmete kulumist. Investeeringute tabelis (vt [Tabel 13](#)) on arvestatud sellega, et amortisatsiooniperioodi lõpus seade asendatakse uuega ning seda põhjusel, et arvutusi tehakse kõige kulukama stsenaariumi järgi. Kui investeerida 2016. a ligi 1,7 mln eurot, siis esimesel tööaastal, 2017. a, lisakulusid ei tekiks, kuid alates 2018. a tuleks teatud seadmed välja vahetada. 2027. a tuleks teha tehnoloogiasse suurem investeering, ligi 720 000 eurot. Tegelik kogukulude summa selgub seadmete kulumise hindamisel pärast kümnet aastat. Koguinvesteeringud 20 aasta jooksul oleksid ligi 3,1 mln eurot, millest 1,7 mln moodustavad otseinvesteeringud ning 1,4 mln asenduskulud (vt [Tabel 13](#)).

Tabel 13. Investeeritavad asenduskulud perioodi vältel [[RB\\_maksumus.xlsx](#)]

Investeeringute objektid	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	
	Estonia kaevandus											Narva allmaakaevandus, Uus-Kiviõli kaevandus										
RHINO 600H puurajam, €	1 000 000																					
RHINO 600H soovituslikud varuosad, €	75 000											75 000										
Puurvardad (50 tk - kogupikkusega 76 m), €	275 000											300 000										
Stabilisaatorid (4 tk), €	75 000											75 000										
Pilootpuurraugu puurpea, €	4000		4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Lõikepead, €	80 000			80 000		80 000		80 000		80 000		80 000		80 000		80 000		80 000		80 000		80 000
Lõikepea korpus, €	150 000											150 000										
Mudapump, €	35 000											35 000										
<b>KOKKU, €:</b>	<b>1 694 000</b>	<b>0</b>	<b>4000</b>	<b>84 000</b>	<b>4000</b>	<b>84 000</b>	<b>4000</b>	<b>84 000</b>	<b>4000</b>	<b>84 000</b>	<b>4000</b>	<b>719 000</b>	<b>4000</b>	<b>84 000</b>	<b>4000</b>	<b>84 000</b>	<b>4000</b>	<b>84 000</b>	<b>4000</b>	<b>84 000</b>	<b>4000</b>	<b>4000</b>
<b>KOGU PERIOODI INVESTEERINGUD, €</b>												<b>3 121 000</b>										
<b>OTSE INVESTEERINGUD, €</b>												<b>1 694 000</b>										
<b>ASENDUSKULUD, €</b>												<b>1 427 000</b>										

Investeeringu bilansiline eluiga oleks 20 aastat ning tasuvusarvutuste käigus selgus, et projekti tasuvusaeg on ligi 17 aastat, mis mahub projekti eeldatava eluea sisse. Projekti kaalutud kapitali hinnaks (WACC) määrati 6% ning arvutuste käigus saadi sisemiseks tasuvusláveks (IRR) 7%, mis on ühe protsendi võrra kaalutud kapitali hinnast suurem. Antud projekti nüüdispuhasväärtuse (NPV) määr on ligi 141 000 eurot (vt [Joonis 36](#)), mis näitab, kui palju antud projekti kasutuselevõtt ettevõtte väärtust tõstab. Projekti rentaablusindeks näitab, et antud projekt oleks kasumlik.



## Šurfiuurimise analüüs Eesti põlevkivikaevanduste tingimustes

Eeldused:	
Investeeringu algmaksumus, tuh €	1694
Investeeringu algusaasta	2016
Tööde algus	2017
Investeeringu bilansiline eluiga, aastat	20
Kaalutud kapitali hind (WACC), %	6

Tulem:		
Lihttasuvusaeg, aastat	16,7	OK
Sisemine tasuvuslävi (IRR):	7%	OK
Nüüdispuhasväärtus (NPV), tuh €	140,942	OK
Rentaablisindeks (NPV/invest.)	0,0832	Projekt vastu võtta!

Aasta	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
<b>Investeeringu maksumus, tuh €:</b>	1 694																					
- Raise boring tehnoloogia ost																						
<b>Investeeringud kokku, tuh €:</b>	1 694																					
<b>Investeeringu positiivne efekt:</b>																						
Kokkuvõttes olemasoleva tehnoloogiaga šurfi läbindamiskulude ärajäämisel,	0	571	571	571	571	571	571	571	457	457	457	457	457	457	457	457	457	457	457	457	457	0
Puuragregaadi realiseerimine pärast amort.perioodi lõpus (vanametall), tuh																						6
<b>Positiivne efekt kokku, tuh €:</b>	0	571	571	571	571	571	571	571	457	457	457	457	457	457	457	457	457	457	457	457	457	6
<b>Investeeringu negatiivne efekt, tuh €:</b>																						
<b>Kulud šurfi puurimisel puuragregaadiga, tuh €</b>	0	374	374	374	374	374	374	374	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	0
<b>Negatiivne efekt kokku, tuh €:</b>	0	374	374	374	374	374	374	374	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	0
<b>Rahavoog kokku, tuh €</b>	-1 694	197	197	197	197	197	197	197	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	6

### NPV arvutus

Näitajad	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Diskonteerimata rahavoog, tuh €	-1694	197	197	197	197	197	197	197	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	6
<b>Kumulatiivne, tuh €</b>	-1694	-1497	-1300	-1103	-905	-708	-511	-314	-190	-66	59	183	307	431	556	680	804	928	1053	1177	1301	1307
Diskonteerimistegur	1,00	1,06	1,12	1,19	1,26	1,34	1,42	1,50	1,59	1,69	1,79	1,90	2,01	2,13	2,26	2,40	2,54	2,69	2,85	3,03	3,21	3,40
Diskonteeritud rahavoog, tuh €	-1694,0	186,0	176,0	165,7	156,5	147,1	138,8	131,4	78,1	73,5	69,4	65,4	61,8	58,3	55,0	51,8	48,9	46,2	43,6	41,0	38,7	1,8
Diskonteeritud netoinvesteeringud, tuh €	1694	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Kumulatiivne (diskonteeritud), tuh €</b>	-1694	-1508	-1332	-1166	-1010	-863	-724	-593	-514	-441	-371	-306	-244	-186	-131	-79	-30	16	59	100	139	141
<b>NPV, tuh €</b>	141																					

Projekti tasuvusaeg aastates:	16,7
-------------------------------	------

Joonis 36. Tõuspuurimise tehnoloogia tasuvusarvutus [[RB\\_maksumus.xlsx](#)]

Kõige väiksemate operatiivkuludega on juba eespool mainitud tõusupuurimise tehnoloogia 2,4 m läbimõduga tööorganiga. Antud juhul on puurtööde perioodi vältel aastased kulud ligi 375 000 eurot, mis on ligi 60 000 eurot odavam kui puuragregaadi läbimõduga 2,1 m kulud ning poole odavam puuragregaadi D1420 kuludest. Niivõrd suur erinevus tuleneb põhiliselt operatiivkuludest, näiteks 15 šurfi asemel oleks vaja rajada lausa 45 tükki (puuragregaadi D1420 puhul) (vt Tabel 14), millele kuluks üle poole aasta rohkem aega. Seega kinnitab antud tabel veel kord, et hetkel kasutusel olev puur-lõhketööde tehnoloogia on kõige kasulikum asendada tuulutusšurfiga, mille läbimõõt on 2,44 m.

Tabel 14. Aastased kulud erinevate šurfide läbimõõtude juures [RB\_maksumus.xlsx]

Puuragregaadi efektiivsuse näitaja		Puuragregaat D1420		Puuragregaat D1829		Puuragregaat D2134		Puuragregaat D2440	
Vajalike šurfide rajamiseks kuluv aeg aastas, kuud		9,9	7,9	5,5	4,4	4,4	3,5	3,3	2,6
Vajalik šurfide arv aastas, tk		45	36	25	20	20	16	15	12
<b>Tõusupuurimine</b>		2017 - 2023	2024 - 2036	2017 - 2023	2024 - 2036	2017 - 2023	2024 - 2036	2017 - 2023	2024 - 2036
<b>1. Tööjõukulu</b>									
1.1 Töötajate arv vahetuses	tk	1	1	1	1	1	1	1	1
1.2 Vahetuste arv ööpäevas	tk	3	3	3	3	3	3	3	3
1.3 Töötaja palgakulu maksudega	€	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
1.4 Tööjõukulu kokku	€	29 700	23 760	16 500	13 200	13 200	10 560	9 900	7 920
<b>2. Diiseligeneraatorite rent</b>									
2.1 Rendihind	€/ööp	100	100	100	100	100	100	100	100
2.2 Keskm ööpäevade arv kuus	tk	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5
2.3 Rendikulu kokku	€	30 195	24 156	16 775	13 420	13 420	10 736	10 065	8 052
<b>3. Diislikütus</b>									
3.1 Kütusekulu	l/h	40	40	40	40	40	40	40	40
3.2 Diislikütuse hind	€/l	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
3.3 Ühe puurraugu puurimise kestvus	h	137	137	137	137	137	137	137	137
3.4 Kütusekulu kokku	€	197 280	157 824	109 600	87 680	87 680	70 144	65 760	52 608
<b>4. Raudbetoonplaatide vahetamine</b>									
	€	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500
<b>5. Kulud kraana kasutamisel puurseadme, betoonplaatide monteerimisel ja demonteerimisel</b>									
5.1 Kraana kohalesõit/ärasõit	€	300	300	300	300	300	300	300	300
5.2 Kraana masinatunni maksumus	€/h	55	55	55	55	55	55	55	55
5.4 Töötunnid šurfi rajamiseks	h	10	10	10	10	10	10	10	10
5.4 Kraana kasutamise kulud	€	38 250	30 600	21 250	17 000	17 000	13 600	12 750	10 200
<b>6. Puurseadme ja betoonplaatide veokulud</b>									
6.1 Veokulud ühele šurfile	€	750	750	750	750	750	750	750	750
6.3 Veokulud kokku	€	33 750	27 000	18 750	15 000	15 000	12 000	11 250	9 000
<b>7. Kulum</b>									
7.1 RHINO 600H puurajam	€	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
7.3 RHINO 600H soovituslikud varuosad	€	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500
7.4 Puurvardad	€	27 500	27 500	27 500	27 500	27 500	27 500	27 500	27 500
7.5 Stabilisaatorid	€	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500
7.6 Piloopuuraegu puurpea	€	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
7.7 Lõikepead	€	17 500	17 500	27 500	27 500	35 000	35 000	40 000	40 000
7.8 Lõikepea korpus	€	11 500	11 500	12 500	12 500	14 000	14 000	15 000	15 000
7.9 Mudapump	€	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500
<b>8. Pumpade rent</b>									
8.1 Rendihind	€/ööp	125	125	125	125	125	125	125	125
8.2 Keskm ööpäevade arv kuus	tk	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5
8.3 Rendikulu kokku	€	37 744	30 195	20 969	16 775	16 775	13 420	12 581	10 065
<b>9. Veevoolikute maksumus, paigaldus ning lisaks vajalike kraavide kaevamine</b>									
9.1 Kulu kokku	€	7 500	6 500	7 500	6 500	7 500	6 500	7 500	6 500
<b>10. Teede ja platsi ehitamine, süvendi kaevamine, hilisemad korrastustööd</b>									
10.1 Kulud kokku	€	225 000	180 000	125 000	100 000	100 000	80 000	75 000	60 000
<b>11. Kulud määrdeainetele</b>									
	€	1 600	1 600	1 600	1 600	1 600	1 600	1 600	1 600
<b>12. Valvekulud</b>									
	€	13 860	11 088	7 700	6 160	6 160	4 928	4 620	3 696
<b>Aastased kulud kokku:</b>	€	<b>752 129</b>	<b>629 973</b>	<b>493 894</b>	<b>425 585</b>	<b>435 585</b>	<b>373 268</b>	<b>374 276</b>	<b>332 891</b>

### 3.9 Puur-lõhketöödega rajatavate šurfide kulud

Estonia kaevanduses kulub tuulutusšurfide rajamiseks praeguse tehnoloogiaga ligi aasta, kusjuures tööd käivad samaaegselt viie šurfiga, mida rajab mitu brigaadi. Üldiselt kulub maa-aluse kaldosa rajamiseks ligi viis kuud, mille jooksul rajatakse kaldšurfi kokku umbes 64 m. Seejärel alustatakse maapealsete töödega, nagu näiteks platsi planeerimistööd, puurimistööd, platsi ettevalmistamine ja muud sarnased tööd. Alles aasta kahel viimasel kuul alustatakse reaalse vertikaalosa rajamisega (lõhketööd), mille käigus lõhatakse kokku umbes 21 m kivimeid.

Kokku kulub ühe šurfi rajamiseks umbes 114 000 eurot ning kui aastas rajatakse viis šurfi, siis aastased kogukulud on ligi 571 000 eurot (vt [Tabel 15](#)). Suurimaks kuluartikliks antud tehnoloogia puhul on palgakulud, mis moodustavad ligi 60% ühe šurfi rajamise kogukuludest. Tööülesannete ohtlikkuse tõttu peavad töötajad olema hästi tasustatud.

Tabel 15. Puur-lõhketöödega rajatava šurfi kulu [[PLT\\_maksumus.xlsx](#)]

Ühe šurfi läbindamise kulud														
Periood		1. kuu	2. kuu	3. kuu	4. kuu	5. kuu	6. kuu	7. kuu	8. kuu	9.kuu	10. kuu	11. kuu	12. kuu	Kokku
1. Kaldšahti rajamine	m	13	15	9	14	14								64
2. Vertikaalšahti rajamine	m											11	10	21
3. Töötajaid vahetuses	tk	2	2	2	2	4						4	4	20
4. Palgakulu maksudega	€	6300	6300	6700	7300	13000						17000	9200	65 800
5. Lõhkeaine kulu	kg	575	550	300	600	475	200	400	50			340	225	3715
6. Lõhkeaine kulu	€	489	468	255	510	404	170	340	43			289	191	3158
7. Detonaatorite kulu	tk	400	425	200	550	400	350	700	80			550	375	4030
8. Detonaatorite kulu	€	200	213	100	275	200	175	350	40			275	188	2015
9. Elektrienergia kulu	€	250	239	130	261	207						148	98	1333
10. Ankrute kulu	tk	24	27	17	26	25								119
11. Ankrute kulu	€	120	135	85	130	125								595
12. Vertikaalosa puurimine														
12.1 Platsi planeerimine	€							2000						2000
12.2 Vee vedu	€							1000						1000
12.3 Palgakulu (2 töötajat)	€							1600						1600
12.4 Näritspuurpea D490	€							3000						3000
12.5 Konduktortoru D530	€							750						750
12.6 Diislikütus	€							650						650
13. Diiselmootori rent	€						1000	2000	500			1400		4900
14. Diislikütus	€						300	606	152			424		1482
15. Maapealse platsi süvend	€									4000				4000
16. Suudme ehitamine	€									9500				9500
17. Teede ja platsi rajamine	€									3500				3500
18. Abitööd	€									1000	7000			8000
19. Valveteenus	€							1000						1000
<b>KOKKU</b>	<b>€</b>	<b>7359</b>	<b>7354</b>	<b>7270</b>	<b>8476</b>	<b>13 935</b>	<b>1645</b>	<b>13 296</b>	<b>734</b>	<b>18 000</b>	<b>7000</b>	<b>19 536</b>	<b>9677</b>	<b>114 282</b>
Aastased kulud kokku:														<b>571 411</b>

### 3.10 Tehnoloogiate majanduslike näitajate võrdlemine

Tuulutusšurfide rajamine praeguse puur-lõhketööde tehnoloogiaga on väga ohtlik ning nagu selgub, ka majanduslikult kallis. Nimelt kulub aastani 2023 ühe šurfi rajamiseks puur-lõhketöödega kuni 114 000 eurot, samas kui tõusupuurimise tehnoloogiat kasutades kulub ainult 75 000 eurot, mille juures on arvestatud kolme puuritud šurfi kulu, mis on võrdne ühe puur-lõhketöödega rajatava šurfiga. Alates 2024. a kulub tõusupuurimisega kolme šurfi rajamiseks 94 000 eurot, puur-lõhketööde tehnoloogiaga jäävad kulud samaks. Aastani 2023 ning alates aastast 2024 on tõusupuurimise tehnoloogiaga rajatud aastased šurfide kulud olulisemalt väiksemad, nimelt esimesel juhul ligi 196 000 eurot ning teisel juhul ligi 123 000 eurot odavam.

Tabel 16. Erinevate tehnoloogiate majanduslikud võrdlused [[RB vs PLT.xlsx](#)]

Võrreldav omadus	Šurfi rajamise kulud PLT-ga, €	Šurfi rajamise kulud RB-ga, €	Erinevus, €
Ühe šurfi rajamise kulud kuni 2023	114 000	75 000	39 000
Ühe šurfi rajamise kulud alates 2024	114 000	94 000	20 000
Aastased kulud šurfide rajamisele kuni 2023	570 000	374 000	196 000
Aastased kulud šurfide rajamisele alates 2024	456 000	333 000	123 000
Estonia kaevanduse eluea lõpuni kulutused šurfidele	5 358 000	3 617 000	1 741 000

Estonia kaevandus vajab veel enne varude lõppemist umbes 47 puur-lõhketöödega rajatud šurfi või tõusupuurimise tehnoloogia puhul 144 šurfi, kui rajada 2,44 m läbimõõduga šurfe. Kümne aasta jooksul maksaks puur-lõhketöödega šurfide rajamine kokku ligi 5,34 mln eurot. Sama perioodi jooksul tõusupuurimisega kulutatakse kokku ligi 3,62 mln eurot. Seega kümne aasta jooksul oleks võimalik säästa praeguses vääringus ligi 1,74 mln eurot (vt [Tabel 16](#)).

## 4. ANALÜÜS

Käesolevas peatükis analüüsitakse eelnevalt kirjeldatud teooriaid ning tuuakse välja nende sobilikkus, tugevad küljed, ohud ning tasuvus, mis peaksid eristama hetkel kasutatava puur-  
lõhketöödega šurfide rajamise tehnoloogia tõusupuurimise tehnoloogiast.

### 4.1 Tõusupuurimise sobilikkus Estonia kaevanduse geoloogiliste ning hüdrogeoloogiliste tingimustega

Tüüpilised probleemid, mis tekivad tõusupuurimise tehnoloogiat kasutades, on seotud just kivimite mehaaniliste omadustega. Probleeme tekitavad näiteks šurfi seinte stabiilsuse tagamine, kivimite eripärased omadused ning trajektoori kontrollimine pilootpuuraugu puurimisel [9].

Üldjuhul kehtib reegel, et tõusupuurimise tehnoloogiaga on võimalik puurida kivimeid survetugevusega  $\leq 120\text{--}200$  MPa [6, 9]. Seega ei tohiks Estonia kaevanduse kattekivimites leiduvate dolo- ja lubjakivide raimamisega probleeme tekkida. Lisaks pole lubjakivid abrasiivsed ning peaksid olema lihtsasti raimatavad. Estonia kaevanduse alal levinud lubja- ja dolokivide survetugevus on üldjuhul kuni 80 MPa.

Antud magistritöös on tõusupuurimise tehnoloogia üles ehitatud eesmärgiga muuta šurfiuurimine ohutumaks ning hoida samas ka kulud kontrolli all. Estonia kaevanduse jaoks kohandatud tehnoloogia alusel eemaldatakse liivade ja liivsavide kiht ning rajatakse süvend, kuhu asetatakse puurajam. Kuna liiv on üldiselt pehme ja mittepüsiv, siis võib väita, et süvendita puurimistööde teostamine lõppeb suure tõenäosusega pilootpuuraugu või šurfi varinguga. Kõigele lisaks on liiv ka abrasiivne materjal, mis kulutaks puurpead ning lõikepeasid oluliselt rohkem kui näiteks lubjakivi raimamine.

Maailma praktikas kasutatakse kahte erinevat pinnase stabiliseerimise tehnoloogiat šurfiuurimiseks. Nimelt kui kvaternaarisetete paksus on suhteliselt väike, siis kasutatakse süvendi meetodit, kuid kui pehmete ja pudedate kivimite kiht on paksem, püstitatakse suudme kohale spetsiaalne kraana. Selle abil rajatakse šurf, mis toestatakse raketega kuni ebasoodsa kihi lõppemiseni. Seejärel betoneeritakse raketega toestatud šurfi osa ning pärast betooni kivistumist alustatakse puurimistöödega. Taoline meetod on väga kulumahukas ning kasutatakse eelkõige sügavamates maagikaevandustes. Estonia kaevanduse aladel lasuvad tühikulised dolomiidid ja peeneteralised lubjakivid 2,5-14,5 m sügavusel maapinnast. Antud kivimid on head šurfi seinade materjalid, moodustades suhteliselt stabiilsed seinad. 14,5–

18,0 m sügavusel lasuvad merglid on küll oma savisisalduse tõttu natukene plastsemad kui tüüpilised lubjakivid, kuid šurfi seinte varisemisoht on siiski tavatingimustel peaaegu olematu. 18,0–40,0 m sügavusel lasuvad monoliitsed savikate lubjakivide ning savikate lubjakivide püsivus on hea, kuigi tegemist on veidi plastsemate kivimitega. 40,0–61,0 m sügavusel lasuvad juba savikad lubjakivid põlevkivi vahekihtidega, mis ei muuda neid šurfi seintes muude kivimitega võrreldes ebastabiilsemateks. Seega geoloogilisest aspektist ei tohiks tekkida tavajuhtudel šurfi seinte varisemist. Erandjuhul võivad seda põhjustada rikkevööndid või karstialad, kuid üldjoontes on kaevanduste alad piisavalt hästi geoloogiliselt uuritud, et neid vältida.

Maailmas esineb üldjoontes nelja erinevat tüüpi karsti. Karsti üheks võimalikus esinemise vormiks on kattekivimite sees olevate tühimike olemasolu, mis põhjustavad probleeme just pilootpuurangu puurimisel veesurve kadumisega. Antud juhul ei jõua puurpuru maapinnani ning lisaks võib pilootpuurauk kaotada oma sirgjoonelise sihi. Teiseks suuremaks karstivormiks on see, kui kivimites olevad tühimikud on täidetud veega. Sellisel juhul võib puurimise käigus probleeme tekitada äkiline vee sissevool. Kolmandaks vormiks võib välja tuua settekivimitega täidetud karstitühimikud. Sellisel juhul tekivad puurimise ajal probleemid settekivimite järsu väljapaiskumisega ning puuragregaatide takerdumisega pehmesse ja pudedasse kivimikihti. Neljandaks vormiks on olukord, kus tühimikud on täidetud nii vee kui ka settekivimitega, mis tähendab, et antud olukorras võivad ilmneda kõik eespool mainitud probleemid. [28]

Estonia kaevanduse alal võib esineda kõiki nelja karstivormi ning üldiselt on karstitühimike settekivimiks savikas materjal, mis võib põhjustada probleeme oma kleepuvuse tõttu nii pilootpuurangu rajamisel kui ka šurfi tõusupuurimisel.

Estonia kaevanduse kattekivimites levib kaks veekihti. Nendest üks on veerikas Nabala-Rakvere veekiht, mis on maapinnast kuni 25 m sügavusel ja see on üldiselt säilinud kogu kaevanduse alal. Teisena levib alal Keile-Kukruse veekiht, mis asub kaevanduse laest 15 m kõrgemal ning on mäetööde alal ja selle ümbruses depressioonilehtri tõttu üldiselt kadunud. Seega šurfipuurimise puhul peame arvestama ühe olulise veekihiga, mis asub 25 m sügavusel. Üldiselt ei takista vee juurdevool geoloogilistest veekihtidest pilootpuurimist ning tõusupuurimist, kuid mõnel juhul võib liigne vee juurdevool muuta kivimite stabiilsust ning võib tekkida oht šurfi seina osalisele varisemisele [9]. Samas aitab vee juurdevool puurseadme löikepeasid jahutada ning seetõttu on vee esinemisel pigem positiivsed kui negatiivsed mõjud. Kuna kõik Estonia kaevanduse kattekivimite lubjakivid paiknevad plaatjalt ning on mõnel juhul nõrgalt purustatud, siis on olemas oht šurfi seina osalisele varisemisele, kuid see ei tohiks mõjutada ülejäänud šurfi seina püsivust.

## 4.2 Puur-lõhketöödega šurfide rajamine

Praegu on tuulutusšurfide rajamiseks kasutatava tehnoloogia põhiliseks probleemiks just nende rajamise ohtlikkus. Nagu eespool kirjeldatud, alustatakse šurfi kaldosa rajamisega, mille puhul liigutakse puur-lõhketöödega treppmeetodil 39° nurga all, kuni jõutakse mergel lubjakivide kihini. Lagede toetuseks kasutatakse ankurtoestikku, mis paigutatakse kahekaupa iga edasiliigutud lõhkamise kohta. Läbindajate keeruliste töötingimuste tõttu on nad kohustatud olema kinnitatud turvakõitega seinte küljes olevate ankrupoltide külge kogu kaldosas viibitaval ajal. Puurimiseks ning ankrute kinnitamiseks kasutatakse käsi-elektritööriistu, mille käsitsemine antud kaldšahtis on suhteliselt keeruline. Šurfi kaldosa tuulutatakse kohaliku surutuulutuse ventilaatoriga, mis viib puhta õhu kaevetööde ees- ja taga. Šurfi kaldosa läbindamiseks kulub kokku viis kuud. Töö muudavad ohtlikuks eelkõige keerulised tingimused, sest šahtis on pidev varisemisoht ning värske õhu pealevoolu katkemisel mürgiste gaaside tõttu lämbumise ning surma oht.

Šurfi vertikaalosa läbindamist alustatakse töödeks ettevalmistava platsi rajamisega. Vertikaalosas alustatakse puur-lõhketööde teostamist pärast platsi valmimist. Šurfi vertikaalosa rajamine pole nii ohtlik kui kaldosa läbindamine. Ka vertikaalosa läbindamisel on kivimite varisemisoht ning tööees kaevanduse mürgiste gaaside ilmnemise oht, kui puurauk pole piisavalt hästi kaetud. Varingute vältimiseks on šurfis kohustuslik töid teha ainult päevasel ajal ja nn kaitseriivli all.

Vertikaalosa läbindamiseks kulub kokku ligi kaks kuud, millele lisanduvad platsi ettevalmistustööd ja puurtööd. Ühe tuulutusšurfi rajamiseks kulub ligi üks aasta ning kuna aastas vajatakse viite tuulutusšurfi, siis tegelevad nende rajamisega Estonia kaevanduses mitu brigaadi.

Tehnoloogia positiivseks küljeks on, et see ei sõltu nii palju tehnoloogilistest seadmetest, vaid põhiliselt siiski tööjõust. Antud tehnoloogia puhul ei kasutata keerukaid seadmeid, mis muudavad rikete korral uute kasutuselevõtu oluliselt lihtsamaks. Lisaks on Estonia kaevandus praeguse šurfide rajamise tehnoloogia omaks võtnud ainuõige lahendusena ning millegi uue kasutuselevõtt on selle tõttu raskendatud.

### **4.3 Tõusupuurimise tehnoloogiline sobilikkus Estonia kaevandusse**

Pilootpuurangu puurimisel on oluline teada puuritava ala geoloogilist ehitust, sest tihti tuleb erinevate geoloogiliste kihtide puhul muuta puurimise kiirust ja pöördemomenti, et tagada pilootpuurangu sirgjooneline trajektoor ning püsivus. Sirgjoonelise trajektoori tagamiseks kasutatakse stabilisaatorvarrast vahetult pärast puurpead. Stabilisaatorvarras summutab puurimisel tekkivaid lööke ja vibratsioone teistele puurvarrastele ning puurajamile, mis on ka peamiseks aluseks sirgjooneliste puuraukudele [9].

Estonia kaevanduse puhul on kattekivimite ühtlus positiivne, sest tegemist on üldjuhul lubja- ja dolokividega, mis ei erine üksteisest olulisete näitajate poolest. Estonia kaevanduse kattekivimite paksus on suhteliselt väike, seega pole põhjust karta, et pilootpuurimisel kaldutakse sirgjoonelisest trajektooriga eemale, seda võib juhtuda ainult sattudes ulatuslikule karstialale. Kui siiski peaks toimuma sirgjoonelisest trajektooriga suur kõrvale kaldumine, tuleb puurimine lõpetada ning puurauk sulgeda, kuna tõusupuurimine läbi sellise puurangu võib puurvardaid ning puurajamit kahjustada. Lisaks on juhtumeid, kus varingu tõttu on puurpea koos puurvarrastega puurauku takerdunud ning antud olukorras on seda väga keeruline või lausa võimatu puurangust kätte saada. [9]

Pilootpuurangu puurimisel tekkinud puurpuru eemaldatakse puurangust tugeva veesurve tulemusel, millega puhastatakse tööt puurpurust. Lisaks on oluline jälgida, et puurauku pumbatava vee hulk oleks piisavalt suur, et puurpuru ei hakkaks puurangu põhja settima. Seega on oluline enne puurtöid uurida ala geoloogiat, mis on keeruline sügavamates kaevandustes. Estonia kaevanduse kattekivimite geoloogia on suhteliselt täpselt teada ning taolisi probleeme ei tohiks esineda.

Šurfipuurimise tööde jaoks ettevalmistatud platsi süvendisse rajatakse vee ja puurpuru jaoks kanal, kust oleks võimalik kergelt tekkinud segu ära pumbata. Kui antud kanalit ei rajataks, ujutatakse kogu süvendi põhi antud seguga üle ning tööprotsess oleks suuresti takistatud. Lisaks võib see avaldada ka negatiivset mõju liivsavist ja liivast koosnevale süvendi kaldseintele. Antud probleemide tõttu on hädavajalik juhtida puurpurune vesi settetiiki või pumbata paakautosse.

Lisaks on oluline leida lahendused vee kättesaadavusele enne igat tööplatsi ettevalmistamist ja puurimistöid. Ühe pilootpuurimise käigus vajatakse kokku ligi 1200 m<sup>3</sup> vett. Lisaks kasutatakse vett ka kuivades tingimustes tõusupuurimisel löikepeade jahutamiseks, kuid seal on kasutatav vee kogus võrreldes pilootpuurimisel kasutatava vee kogusega väga väike. Puurauku pumbatav



vesi tuleb suures osas ka välja pumbata. Seetõttu on oluline välja selgitada, kas puurpurust vett on võimalik juhtida lähedal asuvasse settetiiki või on otstarbekas see pumbata mobiilsetesse mahutitesse, millega transporditakse segu settetiiki. Antud puurpuru ja vee segu ei tohi pumbata otse looduslikku veekogusse. Samuti on oluline välja selgitada, kuidas tagada vee kättesaadavus puurauku pumpamiseks, kas selleks tuleb rajada veekraavid või tuleb vesi kohale transportida paakautodega. Kuna suurte paakautode paakide mahud on ligi 240 m<sup>3</sup>, siis kulub puurimistöodel kokku sellelaadse masina viis paagitäit vett ning umbes sama palju on vaja tööplatsilt ära transportida.

Nii pilootpuurimisel kui ka tõsupuurimisel kasutatakse puurvarraste liigutamiseks puurajami kápptõstukini automaatset etteandesüsteemi, mille põhimõte on tegelikult üsna lihtne. Põhimõtteliselt on tegemist rööbasteega, mille peal puurvardad liiguvad ning millele tuleb lisada vintsisüsteem süvendi seinade kallakuse tõttu. Vintsisüsteem on puurvarraste etteandmisel pidurdusmehhanismiks ning puurvarraste süvendi kaldest üles tõmbamisel tõmbemehhanismiks. Puurajami kápptõstukiga tõstetakse puurvardad õigele kohale ja keermestatakse üksteise külge. Taolise seadme tõttu ei ole vaja pidevat kraana olemasolu tööplatsil, mis puurvardaid süvendisse puurajamile ette tõstaks.

Tõsupuurimise tehnoloogial on teatud parameetrid, mis avaldavad väga suurt mõju kogu puurimise efektiivsusele ning kvaliteedile. Nendest tähtsamad on puurajami lükkejõud, tõmbejõud, pöörlemiskiirus ja pöördemoment. Lükkejõud on üldjuhul oluline pilootpuurauku puurimisel ja tõmbejõud tõsupuurimisel. Pöörlemiskiirus sõltub suuresti sellest, millist puurimist teostatakse ning millist kivimit raimatakse, näiteks pilootpuurauku puurimine nõuab kiiret pöörlemiskiirust, samas tõsupuurimisel vähendatakse antud kiirust oluliselt. [6]

Tõsupuurimisel kasutatavatel tööorganitel on lõikepead sümmeetriliselt kahekaupa, et teostada lõplik kivimi purustamine. Lõikepeade põhilisteks parameetriteks on laius, koonuse nurk (kõik lõikepead on äralõigatud otsaga koonused), lõikepea laiema osa läbimõõt, lõikepiikide asetus ja lõikepiikide ridade paiknemine.

Estonia kaevanduse tõsupuurimise lõpetamiseks loodi spetsiaalne meetodika, mille kohaselt umbes 10–25 cm kaugusel maapinnast vähendatakse oluliselt tööorgani pöörlemiskiirust ning puurajami ülestõmbejõudu. Puurimine katkestatakse, kui esimesed lõikepead muutuvad maapinnal nähtavaks, seejärel jätkatakse ettevaatlikult puurimist kuni lõikepead jõuavad puurajamit toetavate raudbetoonplaatideni. Väga oluline on, et lõikepeadega ei vigastataks betoonplaate. Seejärel peab puurajami operaator eemaldama raudkangiga šurfi suudmes purustamata jäänud kivimitükid ning varistama need šurfi põhja. Turvalisuse huvides peab operaator kandma turvatrakse, mis on kinnitatud kindlalt mõne objekti külge. Seejärel lastakse

tööorgan tagasi šurfi põhja. Teise meetodi kohaselt lõpetatakse puurimistööd juba ~1 m enne maapinda ning seejärel lastakse tööorgan šurfi põhja tagasi. Raimamata 1 m paksusega osal teostatakse puur-lõhketöid pärast masinate teisaldamist tööplatsilt. Viimane meetod sobib eelkõige massiivsete kivimite korral nagu graniit ja basalt. Estonia kaevanduse plaatjate ja kergelt murenenud lubjakivikihtidega võib tekkida osalisi šurfi seina varisemisi. Samas on alati kivimite varisemisoht ka juba tööorgani tagasi šurfi põhja laskmisel, mis võib kahjustada tehnikat. Selle vältimiseks kasutatakse eespool kirjeldatud lõpuni puurimise tehnoloogiat, mida reguleeritakse puurimiskiiruse ja tõmbejõu vähendamisega.

Tüüpiline liikumiskiirus tõusupuurimisel on 0,5–0,8 m/h [9], kuid saab ka kiiremini ning teadaolevalt on puuritud kuni 2,0 m/h [24]. Sellest tulenevalt valiti tõusupuurimiseks puuragregaati ja muid seadmeid säästev kiirus ~0,60 m/h, mille õigsust kinnitasid ka hilisemad kontrollarvutused. Tööorgani pöörlemiskiirus tõusupuurimisel peaks jääma vahemikku 4–10 rpm [29]. Lõikepeadel paiknevate lõiketerade kokkupuuteaeg kivimiga peaks olema 0,02–0,03 s [6], vastasel korral ei toimu täielik kivimi purustamine. Tööorgani igal täielikul pöördringil on lõikesügavus umbes 1,6–2,7 mm [9]. Keskmiselt purustatakse tõusupuurimisel kivimit iga pöördringiga ~2 mm ning kuna tööorgani pöörlemiskiirus on 5,0 rpm, siis puuritakse ühe tunniga ~60 cm.

Šurfi ava maa-alune osa tuleb toetada enne tõusupuurimist. Selleks kasutatakse puur-lõhketöödega rajatavate šurfide toetamise meetodikat lõhede olemasolul. Selle kohaselt ei tohi üksikute ning paralleelsete lõhede ristumise esinemisel ankrute vahemaa ületada 1 m ja lisaks põhiankrutele lisatakse täiendavaid ankruid, mis jäävad lõhest 0,3–0,5 m kaugusele. Ankrute vahemaa piki lõhet ei tohi olla rohkem kui 1,5 m. Antud töö kontekstis loetakse šurfi ava n-ö lõheks ning 12 ankrut paigaldatakse ringikujuliselt šurfi avast 0,5 m kaugusele. Ankrute omavaheline kaugus on ~0,9 m, mis jääb meetodika nõuete piiresse. Ankrute paigaldamine 0,5 m kaugusele šurfi avast iga 30 kraadi järel tundub arvutuste järgi tagavat piisava stabiilsuse. Ankrude poolt üleval hoitava ala pindala on ligilähedane väärtusele, mida kasutatakse lõhede olemasolu meetodikas. Mõlemal juhul on ankrude poolt ülevalhoitava lae pindala normaaljuhuga võrreldes ligi 9,5 korda väiksem. Seega vahetu lagi ei varise, sest ankrute paigutamisel lakke on arvestatud suure varuteguriga.

Šurfi korrastamistöödel tuleb kõige alumine rake kinnitada ankrutega lubjakivikihtidesse ning paigutada ülejäänud rakked üksteise peale, kasutades kinnitamiseks spetsiaalset segu. Vastasel korral võivad süvendi täitmisel liiva ja liivsaviga rakked nihkuda. Šurfi suue tuleb katta metallvõrega, mis keevitatakse kohapeal karpraua külge. Šurfipuurimise tehnoloogia sobib Estonia kaevanduse tingimustesse, sest puuduvad negatiivsed argumendid, mis takistaks antud

tehnoloogiat olemasolevate tingimuste jaoks kohandada. Madalate kaevanduste puhul on mõistlik kasutada tööorgani tagasilaskmist šurfi põhja, sest tööorgani maapinnale tõstmine nõuaks oluliselt keerulisemaid šurfi platsi ettevalmistustöid. Seetõttu kasutatakse antud tehnoloogiat eelkõige sügavates kaevandustes, kuhu pole ajaliselt mõistlik tõusupuurimise tööorgani tagasi lasta. Estonia kaevanduse kattekivimite keskmine survetugevus on 60–70 MPa. Purustamisele kuluva erienergia leidmiseks kasutati teadaolevat maksimaalset kattekivimite survetugevust, milleks antud juhul on 97 MPa [8]. Purustatud kivimitükide suurus on keskmiselt 20 mm, millest on kindlasti nii suuremaid kui ka väiksemaid kivimitükke. Puurimissurve leidmisel lähtuti kahest kivimite tugevusklassist, millest esimene on  $\leq 120$  MPa ning teine  $\leq 200$  MPa. Estonia kaevanduse kattekivimid paiknevad esimeses tugevusklassis, st survetugevused on  $\leq 120$  MPa. Seega kattekivimite purustamiseks arvutuslik vajalik surve on 157 kNm, kuid saavutamaks reaalselt tulemust kasutatakse koefitsienti 1,5 [6] ning maksimaalse surve leidmiseks koefitsienti 1,8 [6]. Sellest tulenevalt vajatakse kattekivimite purustamiseks keskmiselt puurimissurvet 236 kNm. Vajalik minimaalne tõstejõud puurajamile leiti puurvarraste, stabilisaatori ning tööorgani masside summast. Maksimaalne puurseadmete mass on ligi 48 t ehk 466 kN. Lisaks on tõusupuurimisel vajalik arvestada survega kivimite purustamiseks, milleks on 439 kN. Kokku peaks seega olema minimaalne vajatav puurajami tõstejõud 905 kN, reaalse tulemuse saavutamiseks kasutatakse koefitsienti 1,5. Reaalne vajalik tõstejõud puurajamile on seega ligi 1400 kN. Kokku on puurajami tehnoloogiline tõstejõud 2540 kN, seega puurajam vastab vajalikule jõudlusele. Tehnoloogilise ja reaalse tõstejõu erinevus tekib Estonia kaevanduse sügavuse tõttu, sest puurajami puurvarraste maksimaalsest massist kasutatakse kõigest 19%.

## 4.4 Tõusupuurimise turvalisus ning ohud

Tõusupuurimise tehnoloogia juures on õnnetuste vältimiseks kõige olulisem aspekt ala eelnev geoloogiline uuritus. Seega juhendatakse eelkõige Estonia kaevanduse puhul varasematest geoloogilise seire andmetest ning üritatakse vältida karstiilminguid, mis on šurfipuurimisele Estonia kaevanduse kattekivimites kõige ohtlikum nähtus. Näiteks mujal maailmas täidetakse karsti tühimikud betooniga [24]. Karsti avastamisel on puurimise jätkamine keeruline, sest tegemist on lisaruumiga puuraugus ning puurpuru maapinnani transportimine muutub peaaegu võimatuks. Seega peab šurfide asukohtade valikul arvestama karsti levikuga.

Tõusupuurimise tehnoloogia vastab tööturvalisuse kõrgetele standarditele, sest inimesed viibivad tööest eemal – kõik toimub kaugjuhtimise abil. Seega on inimõnnetused šurfi rajamisel väga vähetõenäolised [30].

Maailma tõusupuurimise kogemustele tulenevalt peab seadmete poltide ja mutrite seisukorda pidevalt jälgima, sest tekkiva korrosiooni tõttu võivad need puruneda. Samuti ei tohi puurimise käigus ületada seadmete projektvõimsusi, kuna see võib põhjustada väga tõsiseid õnnetusi. [31] Ohutuse tagamiseks tuleb šurfi rajamiseks ettevalmistatud platsi süvendi kaldseinad varingute ärahoidmiseks tihendada. Veekõrvalduskanali rajamisel tuleb järgida kõiki ohutusnõudeid, mida ettevõtte on käsi-elektrisaagimistöös juures kehtestanud. Kraanaga seadmete paigutamisel on oluline järgida põhilisi ohutusnõudeid, näiteks ei tohiks seadmeid tõsta üle inimeste ning üle teiste seadmete, vältimaks ohtu inimeste tervisele ja seadmete vigastamisele. Tõusupuurimise puurajam tuleb kinnitada nõuetekohaselt raudbetoonplaatidele, kuna vastasel korral võib vibratsioon seadet nihutada ning mõjutada pilootpuuraugu sirgjoonelisust. Raudbetoonplaadid tuleb valida oluliselt suurema paindetugevusega, kui tegelikult vaja oleks, et vältida võimalikke puurajami varinguohtusid. Väga oluline on enne tõusupuurimist toetada kaeveõõne lagi vastavalt toetamise passile. Puurpuru koristamine kaeveõõne põrandalt võib toimuda ainult siis, kui šurfipuurimine on peatatud, vältimaks allmaakopplaaduri operaatori sattumist ohtlikku olukorda või vigastusi masinale. Šurfipuurimisega seotud ala tuleb kaeveõõnes märgistada vastavate siltidega või muude nähtavate märgistusvahenditega, et vältida kõrvaliste isikute ja masinate sattumise ohtlikule alale. Šurfipuurimise lõppfaasis tuleb oluliselt vähendada tööorgani pöörlemiskiirust ning tõmbejõudu. Oluline on jälgida, et tööorgan ei vigastaks puurajami raudbetoonplaate. Tööorgani seiskumisel likvideeritakse raudkangiga purustamata jäänud kivimitükid, mida ei tohi üritada maapinnale tõsta. Antud töö tegija peab kandma turvariidetust ning -trakse.

Korrasustööde käigus kindlustatakse šurfi suue betoonraketega, mis toetuvad lubjakivikihihile. Šurfi suue peaks jääma maapinnast vähemalt 1,2 m kõrgusele ning see kaetakse metallvõrega, et loomadel ega inimestel poleks võimalik kogemata šurfi kukkuda. Üldiselt on tõusupuurimine väga turvaline šurfide rajamise meetod, millel võivad küll olla mõned ohud, kuid tööde ohutu ja eeskirjade järgi läbiviimine on need viinud miinimumini.

## 4.5 Tasuvusarvutuse analüüs

Estonia kaevanduse sobilik tõusupuurimise tehnoloogia seadmete soetamine nõuab alginvesteeringut summas ligi 1,7 mln eurot. See on suur summa, kuid selline investeering aitab ära hoida inimohvritega lõppevaid õnnetusi. Investeeringu kogupikkuseks valiti tootja soovitusel 20 aastat. Teiste tehnoloogia seadmete kasutusajad on samuti määratud koostöös masina tootjaga. Sellest lähtuvalt kulub 20 aasta jooksul asenduskuludeks ligi 1,4 mln eurot. Arvutuste tulemusel on projekti tasuvusajaks 16,7 a, seega on projekt kasumlik ka majanduslikult ning loob ettevõttele lisandväärtust 20 aastaga ligi 141 000 eurot. Seega peaks Eesti Energia juhatus kaaluma, kas võtta Estonia kaevanduses kasutusele tõusupuurimise tehnoloogia, hiljem, selle sulgemise korral Narva allmaakaevanduses, võimalusel ehk isegi Uus-Kiviõli kaevanduses.

Kõige kasulikum on kasutusele võtta šurfiuurimise tööorgan läbimõõduga 2,44 m, mille tööaeg koos kuludega on viidud miinimumini nagu ka vajalik šurfide arv aastas. Kokkuhoid tuleneb eelkõige erinevatest operatiivkuludest, mis lisanduvad iga uue šurfi rajamisega.

Kui järgmised 20 aastat rajatakse šurfe hetkel kasutatava puur-lõhketööde tehnoloogiaga, kulub selleks kokku vahendeid praeguses vääringus ligi 5,4 mln eurot. Tõusupuurimise tehnoloogiaga oleks sama perioodi kogukuluks diskonteerimata 3,6 mln eurot. Seega on võimalik 20 aastaga säästa ligi 1,8 mln eurot ja tõsta kaevanduse tööohutust.

## 5. DISKUSSIOON

Antud magistritöö eesmärgiks on hinnata tõusupuurimise tehnoloogia sobivust Estonia kaevanduse tingimustes, seda eelkõige ohutuse tõstmiseks. Samas on ettevõttele oluline ka see, kuidas ja kui kiiresti kulumahukas investeering tagasi teenida ning kas ja kui suures ulatuses on kogu protsess kasumlik. Mäendusega seotud ettevõtetes on alati väga kõrge ohutase, kuna töötatakse ohtlikes tingimustes, seega teevad ettevõtted üldjuhul suuri pingutusi töötajate ohutuse tõstmiseks. Antud töö ajendiks oli kahe inimohvriga õnnetus Estonia kaevanduses, kus mehed hukkusid šurfi kaldosa läbindamisel. Õnnetusjuhtumi uurimisel on olnud üheks oletuseks, et kaldšahti õhk sisaldas liiga suures koguses mürgiseid gaase. Taoliste õnnetuste vältimiseks hakati otsima uusi lahendusi ning ühe võimalusena pakuti välja šurfide tõusupuurimise meetodit. Antud töö tulemusi arvesse võttes tooks tõusupuurimine šurfide rajamise seisukohalt Estonia kaevanduse nn uude sajandisse, muutes šurfide rajamise olulisemalt ohutumaks. Samuti sobib Estonia kaevanduse kattekivimite geoloogia ja hüdrogeoloogia tõusupuurimiseks ning võimaldab puurida kiiremini kui šurfiuurimise tehnoloogiline keskmine. Lähtudes ainult turvalisuse tõstmisest ning reaalsest kasutuselevõtust, võib väita, et antud tehnoloogiat oleks pidanud hakkama kasutama juba aastaid tagasi, mis oleks aidanud mitmed tõsised õnnetused ära hoida.

Kui lähtuda magistritöös tehtud arvutustest, siis majanduslikest aspektidest on antud tehnoloogia samuti kasumlik. Arvutuste käigus saadi projekti tasuvusajaks ligi 16,7 a, mis mahub projekti eluea sisse. Sellest tulenevalt suudab ohutaset vähendav projekt toota ettevõttele tasuvusaja möödudes 3,3 aastaga ligi 141 000 eurot lisandväärtust. Lisaks on järgneva 20 aastaga šurfide rajamise tehnoloogiat vahetades võimalik kokku hoida 1,8 mln eurot (diskonteerimata väärtus), mida on rohkem kui vajalik alginvesteering uude tehnoloogiasse.

Kokkuvõtvalt võib väita, et šurfide tõusupuurimise tehnoloogia tuleks Estonia kaevanduses võimalikult kiiresti kasutusele võtta.

## 6. KOKKUVÕTE

Estonia kaevandus asub Ida-Virumaal, Väike-Pungerja külas. Mäeeraldise pindala on 14 163 ha. Estonia kaevanduse kattekivimitest põhiosa moodustavad dolomiidid, lubjakivid, merglid ning lubja- ja dolokivide savikad erimid. Eesti maardla põlevkivikihind lasub keskmiselt Estonia kaevanduse alal 64–65 m sügavusel. Estonia kaevanduse alal esineb kaks erinevat veekihti, millest alumine, Keila-Kukuruse veekiht, on kaevanduse tekitatud depressioonilehtri tõttu peaaegu kogu alalt kadunud. Nabala-Rakvere veekiht on põhiliselt alal säilinud, sest asub maapinnast 25 m sügavusel ning on suhteliselt veerohke.

Estonia kaevanduses kasutatakse tulptervikutega kamberkaevandamist, kus kivimite raimamine toimub puur-lõhketöödega. Mäetööd on mobiliseeritud ning iga töö jaoks on ühes täistsükli vastav masin või seade. Praegu kasutatakse Estonia kaevanduses tuulutussurfide rajamiseks kaheosalist rajamise meetodit. Esimese osana rajatakse puur-lõhketöödega šurfi maa-alune kaldosa. Selle töö muudavad ohtlikuks varinguoht ning ebapiisava tuulutuse korral mürgised kaevandusgaasid. Kaldosa valmimisel rajatakse maapealse šurfi vertikaalosa tööde plats ning šurfi maapealse osa läbindamiseks kasutatakse nii puurimist kui ka lõhketöid. Antud tehnoloogia põhineb eelkõige inimtööjõul.

Tõusupuurimise tehnoloogia on üheks võimalikuks lahenduseks Estonia kaevanduse tuulutussurfide ohutuks rajamiseks, mis muudaks antud töö iseloomu ning efektiivsust. Estonia kaevandusse sobiks ringjoonekujulise 3,4 m diameetriga šurfid, kuid antud läbimõõduga puuragregaat vajab juba liiga suure jõudlusega ning oluliselt kallimat tehnoloogiat, kui Estonia kaevanduse tingimustes vajalik on. Seega arutati mitu väiksema läbimõõduga šurfi on vajalik ühe suure asendamiseks. Majanduslike arvutuste tulemusel leiti, et kõige kasulikum on Estonia kaevanduses kasutada 2,44 m läbimõõduga puuragregaat, millega tuleb ühe 3,4 m šurfi asemele puurida kolm väiksema läbimõõduga šurfi. Puurajamiseks sobib TBR RHINO 600H, mille maksimaalne lubatud puuragregaaadi läbimõõt ongi 2,4 m. Arvutuste kohaselt kulub ühe šurfi rajamiseks kokku 13 tööpäeva, kui mõned tööd tehakse kahes ja mõned kolmes vahetuses ööpäevas. Aastas oleks vaja rajada 15 väiksema läbimõõduga šurfi, mille puurimise ajakulu on kokku ligi neli kuud.

Tõusupuurimise tehnoloogia puhul tuleb rajada ruudukujuline süvend, mille küljed on lauged ja tihendatud nõlvad. Tööde platsi ümbrus tuleb katta aherainekillutikuga ning tihendada. Lisaks tuleb rajada süvendisse vee ärajuhtimise kanal, kust on võimalik välja pumbata pilootpuurangu puurimisel tekkinud puurpuru ja vee segu. Tehnoloogia lisaseadmed tuleb



paigutada ümber tõusupuurmasina nii, et üksteisest sõltuvad seadmed oleksid lähestikku. Puurajam tuleb kinnitada piisavalt suurte ja tugevate raudbetoonplaatidele spetsiaalsete poltidega. Seejärel puuritakse pilootpuurauk, mis peab olema sirgjooneline ning püsiv. Kaeveõõnes ühendatakse puurpea lahti ning asendatakse tööorganiga, mille korpusele on kinnitatud sadulatega 14 lõikepead. Puurajamiga pannakse tööorgan pöörlema ning seda jõuga ülespoole tõmbama, mille tulemusel kivimid purunevad. Pärast puuragregaadi maapinnani jõudmist puhastatakse šurfi suue suurematest kivimitükkidest ning tööorgan juhatakse tagasi šurfi põhja. Seadmed transporditakse uuele šurfi puurimiseks ettevalmistatud platsile. Kui puurimistööd on lõpetatud, korrastatakse plats, šurf kindlustatakse raketega ning kaetakse pealt tugeva metallvõrega erinevate õnnetuste ärahoidmiseks.

Antud tehnoloogiale üleminek nõuaks ettevõttelt 1,7 mln euro suurust alginvesteeringut, millele lisanduks 20 aasta jooksul 1,4 mln eurot asenduskulusid. Antud magistritöös kirjeldatud tehnoloogia tasuvusajaks on ligi 16,7 a ning enne projekti eluea lõppu lisaks see ettevõttele lisandväärtust 141 000 eurot. Kui võrrelda 20 aasta jooksul kogukulusid puur-lõhketööde ja tõusupuurimise tehnoloogia vahel, siis selgub, et kasutades tõusupuurimise tehnoloogiat hoitaks kokku 1,7 mln eurot (diskonteerimata väärtus).

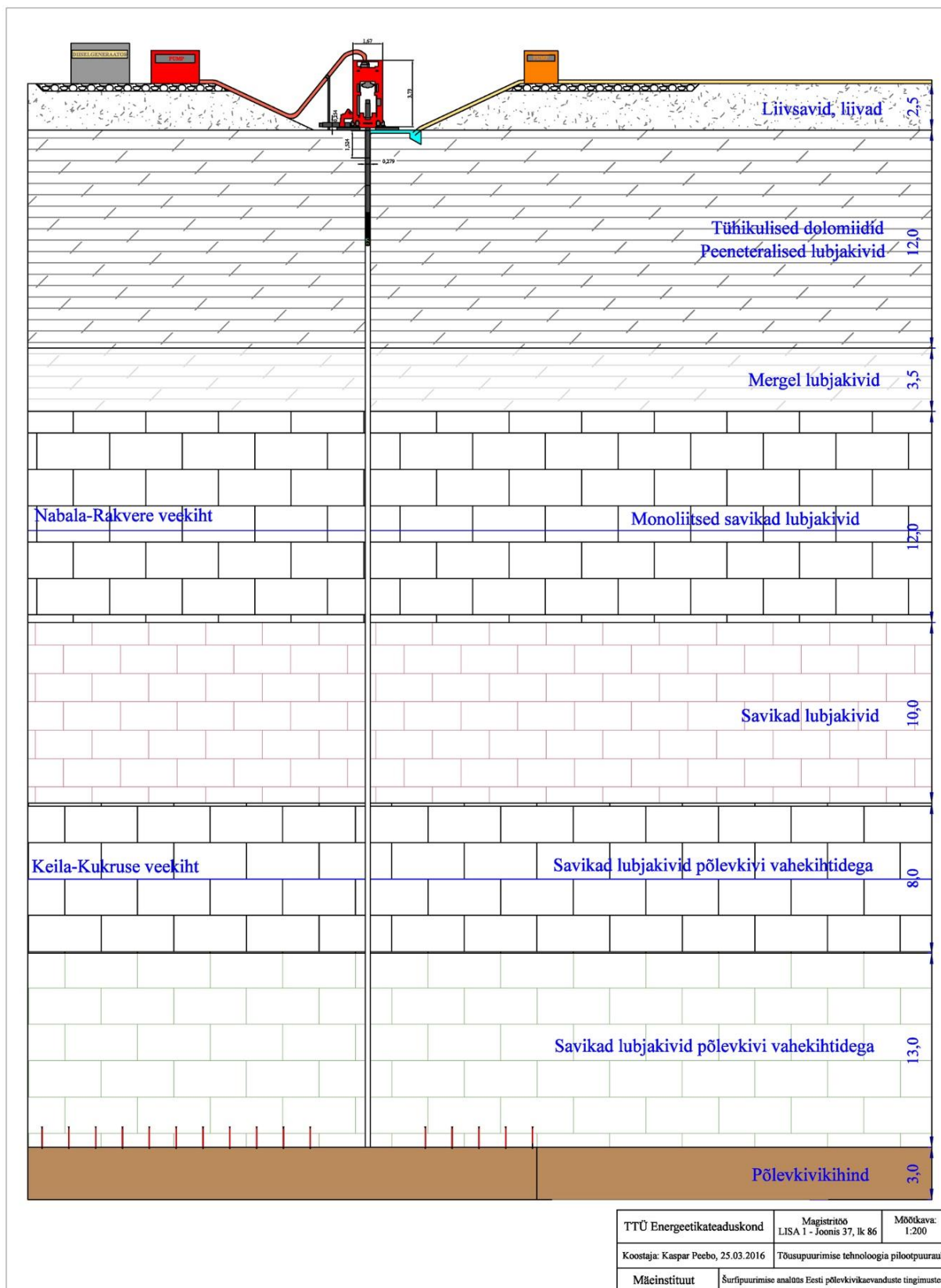
Kokkuvõtvalt sobib tehnoloogia Estonia kaevanduse tingimustesse suurepäraselt ning tõstaks šurfide rajamise Estonia kaevanduses uuele tasemele või lausa nn uude sajandisse.

## 7. KASUTATUD KIRJANDUS

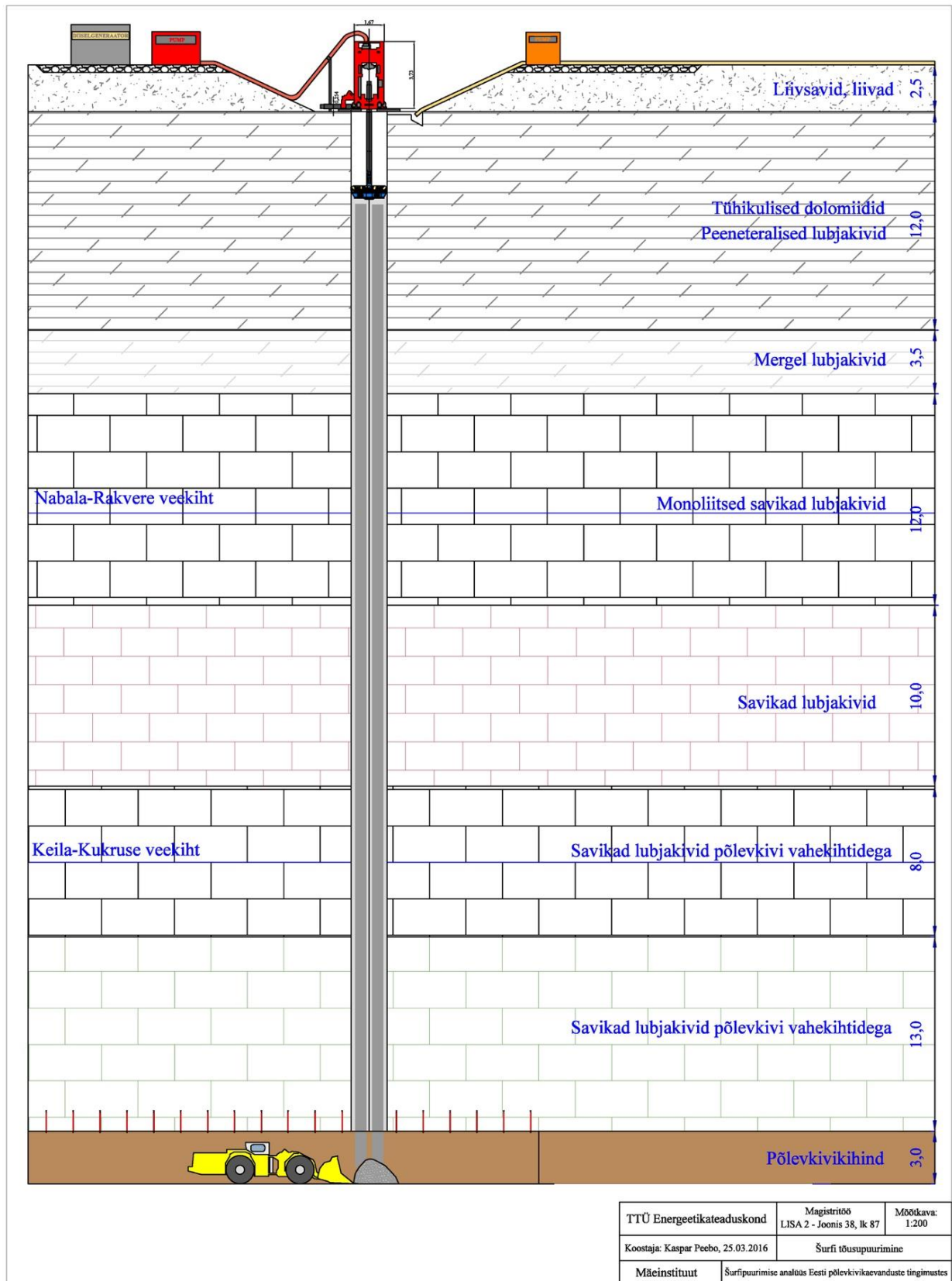
1. Eesti Energia AS, Viru Keemia Grupp AS, Kiviõli Keemiatööstuse OÜ, TTÜ Virumaa Kolledži Põlevkivi Kompetentsikeskus. Eesti põlevkivitööstuse aastaraamat 2014. Eesti, Ida-Virumaa, 2014.
2. Valgma, I. Estonia põlevkivikaevandus. Mäeinstituudi E-mäeõpik [WWW] <http://maeopik.blogspot.com/2015/05/estonia-polevkivikaevandus.html> (21.03.2016)
3. Vard, N., Tambet, Ü. 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis. Tallinn: OÜ GeoTrail KS, 2008.
4. Kalda, E. Põhjarannik: Kas kaks kaevurit tappis gaas? [WWW] <http://pr.pohjarannik.ee/?p=12361> (21.03.2016)
5. Valgma, I. Hõõrits. Mäeinstituudi E-mäeõpik. [WWW] <http://maeopik.blogspot.com/2012/07/hoorits.html> (21.03.2016)
6. Liu, Z.Q., Ji, H.G., Caiand, M.F., Tan, H. Drilling technology and development of LM series raise boring machine. Rock Mechanics: Achievements and Ambitions. China: Beijing, 2012.
7. Кобылкин, С.С. Расчёт необходимого количества шурфов с диаметром 1 метр взамен одного шурфа диаметром 2,5 метра. National University of Science and Technology MISiS. Russia: Moscow, 2014.
8. Reinsalu, E., Karu, V., Anepaio, A., Väizene, V. Nõrkade kihiliste kivimite tugevusomadused. Eesti, Tallinn: Mäeinstituut, 2014.
9. Liu Z., Meng Y. Key technologies of drilling process with raise boring method — Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2014, 7 (4), 385 - 394.
10. Eesti Energia Kaevandused AS. Estonia kaevanduse ankurdamise juhend. Eesti: Jõhvi, 2010.
11. Maa-amet. Maa-ameti Geoportaali Maardlate rakendus. [WWW] <http://geoportaal.maaamet.ee> (27.03.2016)
12. AS Eesti Põlevkivi. Seletuskiri “AS Eesti Põlevkivi Estonia kaevanduse Maavara kaevandamise loa KMIN-054 muutmise taotlusele”. Eesti: Jõhvi, 2012.
13. Kleesment, A., Mark-Kurik, E. Middle Devonian. Narva Stage. — Geology and Mineral Resources of Estonia. Tallinn: Estonian Academy Publishers, 1997.
14. Pirrus, E. Eesti Geoloogia. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2001.
15. Eesti Energia Kaevandused AS. Tüüpprojekt tuulutusšurfide läbindamiseks. Eesti: Jõhvi, 2013.

16. AS Eesti Põlevkivi. Seletuskiri. Estonia kaevevälja maavara kasutusloa taotlusele (registri nr. KMIN-036) ümbervormistamiseks maavara kaevandamise loaks. Eesti: Jõhvi, 2002.
17. Pirrus, E. Maavarade geoloogia. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2000.
18. Kattai, V., Klein, V. Eesti põlevkivimaardla Estonia kaevevälja varu hinnang seisuga 01.01.1998.a. EGF nr 6028, 3-7. Eesti: Tallinn, 1998.
19. Valling, V. Estonia kaevanduse kaguosa geoloogiline ehitus, tektoonilised rikked ja lõhelisus. Tallinn: Mäeinstituut, 2012.
20. Perens, R. Põhjavee seire. — Põhjavee seisund 1999.- 2003.aastal. Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus, 2005.
21. Катгай, В., Вингисаар, П. Строение Ахтмеского тектонического нарушения. – Изв. АН ЭССР, Геология, 1980, 29 (2), 55 - 62.
22. Анепаю, А. Allmaakaevandamise tsükkel. Mäeinstituudi E-mäeõpik [WWW] <http://maeopik.blogspot.com/2013/06/allmaakaevandamise-tsukkel.html> (21.03.2016)
23. Bachmann, M., Ilp, R., Kilk, K., Kopti, M., Leies, E., Loorents, K., Metusala, T., Nõgene, M., Sipelgas, K., Sirkel, E., Sokmann, T., Tammiksaar, E., Vennik, E. Kukersiit ja konnatahvel. Meie energia lugu. Tallinn: Motor, 2014.
24. Stakne, P. Basic considerations and practical experience with the boring of deep shafts by the raise boring process. Geomechanics and Tunnelling, 2005, Volume 8 (1).
25. Sandvik AB. Raise Boring Heads: User Manual. Finland: Tampere, 2012.
26. Antonsson, H. Raising awareness. Minestories [WWW] <http://minestories.com/raising-awareness/>(21.03.2016)
27. Sandvik AB. Sandvik Raiseboring Catalog. Finland: Tampere, 2013.
28. Filipponi, M., Stakne, P., Wannemacher, H. The influence of karst in penstock design and construction. France: Bordeaux, 2015.
29. Shaterpour-Mamaghani, A., Bilgin, N., Balci, C., Avunduk, E., Polat, C. 2015. Predicting Performance of Raise Boring Machines Using Empirical Models. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2015, 1 - 9.
30. TU Delft Institutional Repository. The final thesis. [WWW] [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Kp7xc\\_gazooJ:repository.tudelft.nl/assets/uuid:e748157d-2153-453b-88f8-a92dc6a4f495/Thesis\\_final.pdf+&cd=2&hl=et&ct=clnk&gl=ee&client=safari](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Kp7xc_gazooJ:repository.tudelft.nl/assets/uuid:e748157d-2153-453b-88f8-a92dc6a4f495/Thesis_final.pdf+&cd=2&hl=et&ct=clnk&gl=ee&client=safari)(11.04.2016)
31. James, A. Catastrophic failure of a raise boring machine during underground reaming operations. Engineering Failure Analysis, 1997, 4 (1), 71 - 80.

## **8. LISAD**



Joonis 37. Pilotpuurangu rajamine [[RB šurfi joonised A3.dwg](#)]



Joonis 38. Šurfi tõuspuurimine [RB šurfi joonised A3.dwg]