

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Loodusteaduskond
Geoloogia instituut



**JÕHVI RAUAMAAGIKAEVANDUSE AVAMISE
EELPROJEKT**

ID: 1704M
Magistritöö

Juhendaja/õppejõud: Tõnu Tomberg, MSc

Üliõpilane: Sander Kanter

153724YAEM

Õppekava nimetus: YAEM14/15

Tallinn 2017

AUTORI DEKLARATSIOON

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

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

Sander Kanter

(allkiri ja kuupäev)

Juhendaja: Tõnu Tomberg

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

(allkiri ja kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

Tallinna Tehnikaülikool
Geoloogia instituut
Lõputöö ülesanne

Töö ID	1704M	Õppekava	YAEM14/15
Üliõpilane	Sander Kanter	Matrikli nr.	153724YAEM
Töö liik	Magistritöö	Õppeaine kood	
Juhendaja	Tõnu Tomberg	Ülesanne kehtib kuni	9.juuni 2017.a.

Töö ülesanne

Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt
--

Topic of the Thesis

Preliminary design of developing of the Jõhvi iron ore mine.
--

Töö sisu põhipunktid

<ol style="list-style-type: none">1. Maardla geoloogiline iseloomustus2. Mäendustingimused3. Kaevanduse asukoha ja avamise tehnoloogia valik4. Šahti läbindamise tehnoloogia valik5. Kaevandamise tehnoloogia6. Keskkonnanahoole7. Majandushinnang
--

Seotud teadusteema ja/või sihtasutus

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium

Tähtajad

Eelkaitsmine 23. mai 2017.a. Kaitsmine 2. juuni 2017.a.

Üliõpilane
Juhendaja
Konsultant

Sander Kanter	_____	
Tõnu Tomberg	_____	
_____	_____	
nimi	alkiri	kuupäev

Ülesanne kinnitatud _____
Ülesanne täpsustatud _____
Ülesanne pikendatud _____

ABSTRACT

The given Master's thesis aims at preliminary design of developing of the Jõhvi iron ore mine. Main focus is on selection of the shaft location and suitable technology for the shaft sinking.

Jõhvi iron ore occurrence is located in Estonia, in Ida-Viru County. It was found in 1930s when Estonian army carried out mapping of magnetic declination. Two deep drill holes were drilled for mineral exploration and magnetic quartzite was found. During the soviet occupation the geological survey of bedrock was carried out in more detail and also magnetic quartzite was found.

Shaft sinking is sophisticated because of the difficult geological strata and groundwater conditions. Two shafts are designed with diameters of 12,5 and 8,2 meters. The shafts are up to 564 meters deep and shafts are sunk through 170 meters of soil with groundwater where some aquifers are pressurized. To reduce the environmental impact, the shaft sinking is done in multiple stages. There are different groundwater control methods used during different shaft development stages, for example lowering groundwater level with pumping or ground freezing.

Shaft sinking is designed by using conventional methods like drilling and blasting with sinking platform. In sedimentary rocks the support of the shaft is constructed with segmental shaft linings and some linings are cast with concrete in situ. In bedrock the shotcrete is used for the shaft support.

In near future, Jõhvi iron ore mine could become a reality and more geological surveys must be carried out.

SISSEJUHATUS

Jõhvi rauamaagi leiukoht avastati möödunud sajandi 30ndatel Eesti Vabariigi sõjaväe topograafia osakonna poolt. Anomaaliad avastati magnetkompassi häirealade kaardistamise käigus kui Jõhvist kirdes ilmnis kaks maksimaalse anomaaliaga piirkonda ja nende põhjuseks pakuti magnetiliste omadustega kivimite kompleksi olemasolu maapõues. Moodustati AS Magna, mille eesmärgiks oli süvapuurimistega selgitada, millised kivimid anomaaliat põhjustavad [1]. Uuringud pakkusid huvi ka kodanikele ja lausa elati kaasa puurimistöödele, et maapõuest leitaks raualademed või parimal juhul isegi kullakihid [2]. Huvi raua vastu oli ka 1944. a kui Mart Neumann projekteeris lõputöö raames Jõhvi rauamaagikaevanduse. Leiukohta uuriti viimati 60nda lõpus aluskorra uuringute käigus ning viimati pakkus leiukoht huvi 2009. a kui Rootsi firma Geoforum Scandinavia AB soovis seda piirkonda geoloogiliselt uurida.

Nüüd nähakse rauamaaki perspektiivse maavarana ka riiklikul tasemel. Dokumendi Maapõuepoliitika põhialused aastani 2050 raames nähakse ette maapõue rakenduslike uuringuid rauamaagi osas [3]. Nende uuringute tegemine on vajalik, kuna hoolimata Hiina majanduskasvu aeglustumisest prognoosib Rio Tinto, et globaalne nõudlus terase järele peaks kasvama 2030. aastaks 65% [4]. Tehnoloogiate arenguga ja nõudluse suurenedes võib muutuda ka Jõhvi rauamaak konkurentsivõimeliseks.

Käesoleva magistritöö eesmärk on Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekteerimine. Magistritöö tegemise käigus muutus teema sõnastus ning projekti asemel on tegu eelprojektiga. Eelprojekti põhirõhk on pea- ja tuulutusšahti läbindamise eelprojekteerimisel. Projekteerimisel lähtutakse olemasolevatest geoloogilistest andmetest ja tehnoloogia valikul arvestatakse ka sellega, et kaevanduse avamisel oleks mõju keskkonnale võimalikult väike. Tuuakse välja ka kaevandamiseks sobilikud tehnoloogiad ning kaevanduse rajamise ligikaudne maksumus.

Tänan oma juhendajat Tõnu Tombergi igakülgse abi eest. Lisaks tänan heade soovitude ja nõuannete eest emeritprofessorit Enno Reinsalut ning tänan ka kõiki teisi, kes aitasid käesoleva töö tegemisel kaasa.

SISUKORD

ABSTRACT	4
SISSEJUHATUS	5
SISUKORD	6
TABELITE LOETELU	8
JOONISTE LOETELU	9
1. ASUKOHA VALIK	11
2. GEOLOOGILISED JA HÜDROGEOLOOGILISED TINGIMUSED	12
2.1. Geoloogilised tingimused	12
2.1.1. Kvaternaari pudedad setted	13
2.1.2. Aluspõhi	13
2.1.3. Kristalne aluskord	14
2.2. Hüdrogeoloogilised tingimused	17
3. MÄENDUSTINGIMUSED	18
4. KAEVANDUSE AVAMINE.....	19
4.1. Kaevanduse avamise tehnoloogiad	19
4.2. Šahtide läbindamise tehnoloogia valik	21
4.3. Vertikaalšahtide asukohad ja parameetrid	22
4.3.1. Šahti asukohtade võrdlus.....	22
4.3.2. Šahti parameetrid.....	24
5. ŠAHTI LÄBINDAMISE TEHNOLOOGIA KIRJELDUS	25
5.1. Ettevalmistustööd šahtide rajamiseks	25
5.2. Šahtide läbindamise etapid	25
5.3. Šahtide läbindamine.....	26
5.3.1. Esimene etapp	26

5.3.2.	Teine etapp	27
5.3.3.	Kolmas etapp.....	31
5.3.4.	Neljas etapp	34
5.3.5.	Viies etapp.....	37
5.3.6.	Kuues etapp.....	38
5.3.7.	Peašahti sektsioneerimine	41
5.4.	Tuulutusšahti läbindamine	41
6.	KAEVANDAMISTEHNOLLOOGIA VALIK JA KIRJELDUS	43
7.	MAJANDUSHINNANG	46
8.	KAEVANDAMISE MÕJU KESKKONNALE	47
9.	SOOVITUSED UURINGUTE SUUNAMISEL.....	47
10.	KOKKUVÕTE.....	48
11.	KASUTATUD KIRJANDUS	49
12.	LISAD	52
12.1.	Lõhketööde arvutamise meetodika	52
12.2	Joonis nr 1 Kaevanduse avamise asukohtade variandid	54
12.3	Joonis nr 2 Šahti läbindamise esimene etapp.....	55
12.4	Joonis nr 3 Lõhkeaukude paiknemine lubjakivis lõhates	56
12.5	Joonis nr 4 Šahti läbindamise teine etapp	57
12.6	Joonis nr 5 Lõhkeaukude paiknemine liivakivis lõhates	58
12.7	Joonis nr 6 Šahti läbindamise kolmas etapp	59
12.8	Joonis nr 7 Lõhkeaukude paiknemine savis lõhates	60
12.9	Joonis nr 8 Šahti läbindamise neljas etapp	61
12.10	Joonis nr 9 Lõhkeaukude paiknemine külmunud liivakivis.....	62

12.11	Joonis nr 10 Lõhkeaukude paiknemine aluskorras lõhates	63
12.12	Joonis nr 11 Lõhkeaukude paiknemine aluskorra horisontaalkaeveõõnte lõhkamisel	64
12.13	Joonis nr 12 Tuulutussähti läbindamise 1.-4. etapp	65
12.14	Joonis nr 13 Kaeveõõnte põhimõtteline skeem, alakorrustega varistamine	66
12.15	Joonis nr 14 Kaeveõõnte põhimõtteline skeem, täitväljamine	67

TABELITE LOETELU

Tabel 1	Magnetiitkvartsiiti sisaldanud puuarugud [10].....	13
Tabel 2	Hüdrogeoloogilised tingimused [11].....	17
Tabel 3	Kaevanduse avamise asukoha variandid	22
Tabel 4	Šahtide parameetrid ja asukoht.....	25
Tabel 5	Puur-lõhketööde parameetrid lubjakivis.....	29
Tabel 6	Puur-lõhketööde parameetrid liivakivis	32
Tabel 7	Puur-lõhketööde parameetrid savis	34
Tabel 8	Puur-lõhketööde parameetrid külmunud liivakivis ja savis	37
Tabel 9	Puur-lõhketööde parameetrid aluskorras	39
Tabel 10	Puur-lõhketööde parameetrid aluskorra põikkäigus	40
Tabel 11	Lõhketööde parameetrid tuulutussähti läbindamisel	42
Tabel 12	Kaevanduse avamise läbindustööde maht	45
Tabel 13	Majandusarvutus Cammi meetodika põhjal.....	46

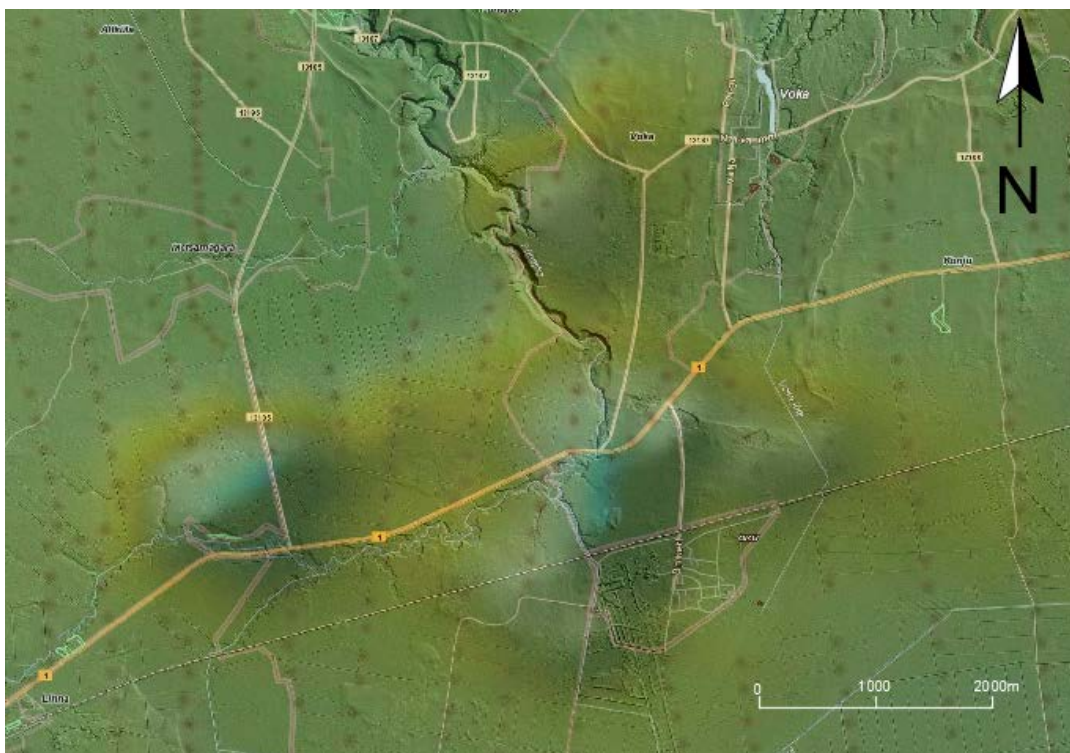
JOONISTE LOETELU

Joonis 1 Magnetilised anomaaliad magnetvälja intensiivsuse alusel [1]	11
Joonis 2 Magnetilised anomaaliad magnetvälja intensiivsuse alusel, Maa-ameti kaardirakendus, numbritega tähistatud puuraugud [5]	15
Joonis 3 Skemaatiline geoloogiline läbilõige [5]	16
Joonis 4 Šahti läbinduskombain [2]	20
Joonis 5 Vertical shaft sinking machine [18]	22
Joonis 6 Kaevanduse avamise asukoha variandid	23
Joonis 7 Šahti läbindamise esimene etapp, krae läbilõige	27
Joonis 8 Puuraukude asukohad, mõõtmed meetrites	28
Joonis 9 Läbindusplatvormi näide [25]	28
Joonis 10 Lõhkeaukude paiknemine lubjakivi läbindamisel	30
Joonis 11 Toestiku paigaldamine [24].....	30
Joonis 12 Šahti läbindamise teine etapp	31
Joonis 13 Lõhkeaukude paiknemine liivakivi läbindamisel	32
Joonis 14 Šahti läbindamise kolmas etapp	33
Joonis 15 Lõhkeaukude paiknemine savi läbindamisel	35
Joonis 16 Šahti läbindamise neljas etapp	35
Joonis 17 Puurpink GM 100 GT [27].....	36
Joonis 18 Lõhkeaukude paiknemine külmunud savi ja liivakivi läbindamisel	38
Joonis 19 Lõhkeaukude paiknemine aluskorra läbindamisel	39
Joonis 20 Lõhkeaukude paiknemine aluskorras ning põikkäigu läbilõige	40

Joonis 21 Peašahti seksioneeritud läbilõige, mõõtmed meetrites.....	41
Joonis 22 Tuulutusšahti läbilõige	43
Joonis 23 Alakorrustega varistamise põhimõtteline skeem	44
Joonis 24 Täitväljamise põhimõtteline skeem	45

1. ASUKOHA VALIK

Anomaalia ulatuses on kolm lokaalset maksimumi, lääne, ida ja kirde ilming (Joonis 1). Kaevanduse asukohta valikul kolme lokaalse maksimumi vahel lähtutakse olemas olevatest puuraukudest, nende andmetest ja maapealsest situatsioonist. Lühidalt öeldes on kaevandusele soodsaim asukoht läänepoolsele anomaaliale. Piirkonda on seniste uuringute käigus puuritud enim puurauke ja raudkvartsiit on maapinnale kõige lähemal. Samuti on seal ka kõige sügavam puurauk, mille andmed kinnitavad ka seda, et seal on kaevanduse arendamine kõige perspektiivikam (vt peatükk 2.1.3).



Joonis 1 Magnetilised anomaaliad magnetvälja intensiivsuse alusel [1]

Jõhvi rauamaagi leiukoht asub Ida-Virumaal, Jõhvi vallas Kotinuka külas ja Toila vallas Pühajõe ning Voka külas. Huvipakkuv läänepoolne anomaalia asub katastriüksustel Kohtla metskond 38 (katastritunnus 25201:005:0314) ja Kohtla metskond 40 (katastritunnus 80201:001:0264) ning nende mõlema valitseja on Keskkonnaministeerium (volitatud asutus Riigimetsa Majandamise Keskus). Anomaaliat läbib ka Kõrve-Toila kõrvalmaantee nr 13105 (katastritunnus 80201:001:0265), mille valitseja on Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium (volitatud asutus Maanteeamet) [6].

Keskkonnakaitselised piirangud on katastriüksusel Kohtla metskond 40, kus on III kategooria kaitsealuste liikide elupaigad *Platanthera bifolia* (käoheel), registrikood KLO9303700 ja *Colchicum autumnale* (sügislill) registrikood KLO9303047 [7]. Planeeritud vertikaalšahti asukoht (vt. peatükk 4.3) jääb lähimast elupaigast umbes 200 m kaugusele.

Katastriüksuste kitsendused on seotud elektripaigalduse, gaasipaigalduse, avalikult kasutatava tee kaitsevöönditega, ranna või kalda veekaitsevöönditega, veehaarde sanitaarkaitsealaga ja kogu katastriüksuste ulatuses oleva maaparandussüsteemide hoiualaga. Vertikaalšahti asukoht kattub ainult maaparandussüsteemi hoiualaga Lagedi/TTP-560 Toila (registrikood 1106700010040) [8].

Ligipääs alale on rahuldav, vertikaalšaht asub umbes 120 m kaugusel Kõrve-Toila maanteest ning maanteelt pääseb vertikaalšahtini mööda kruusateed. Enamus alast on kaetud kuuse, männi, kase ja lepa metsaga. Lähim 110 kV kõrgepingeliin asub umbes 330 m kaugusel ja kuna alale on rajatud kuivenduskraavide süsteem, siis on võimalik neid kasutada šahti rajamisel liigse vee eemale juhtimiseks. Vertikaalšahtile lähim puurkaev on 20 m sügav ja umbes 1,3 km kaugusel [9].

2. GEOLOOGILISED JA HÜDROGEOLOOGILISED TINGIMUSED

2.1. Geoloogilised tingimused

Rauamaagi leiukohta uuriti esimest korda aastatel 1937-1938, kui aktsiaselts Magna eestvedamisel puuriti läänepoolsele anomaalia maksimumile kaks puurauku. Esimese puurauguga jõuti 505 m ja teise puurauguga 721,5 m sügavusele. Anomaaliat uuriti uuesti aastatel 1967-1968, kui kristalse aluskorra kaardistamise käigus puuriti anomaalia piires 10 puurauku, millest 5 avasid kristalses aluskorras raudkvartsiidi. Puuraukude sügavused jäid vahemikku 306-443 m [5]. Kahjuks on nendest uuringutest säilinud ainult kaks esimest puursüdamikku, ülejäänud viis puursüdamikku on hävinenud (Tabel 1).

Tabel 1 Magnetiitkvartsiti sisaldanud puuarugud [10]

Puurauk	Koordinaadid L-EST97		PA suudme abs. kõrgus, m	Puuraugu sügavus, m	Aluspõhja sügavus, m	Aluskorra sügavus, m	Puursüdamiku asukoht
	X	Y					
Jõhvi-I	6587579	698956	41	505	8	230	Arbavere
Jõhvi-II	6587628	698934	41	722	8	234	Arbavere
F1	6587568	698947	41	443	7	234	Hävinenud
F2	6587873	702066	38	311	9	227	Hävinenud
F3	6587327	702051	39	373	8	230	Hävinenud
F9	6590040	701834	38	306	58	228	Hävinenud
F12	6587925	702780	41	343	-	229	Hävinenud

2.1.1. Kvaternaari pudedad setted

Pinnakate koosneb Kvaternaari setetest, mille moodustavad kasvukiht, aleuriidikas liiv ja veeriste ning munakatega moreen. Pinnakatte paksus on umbes 7 m [10].

2.1.2. Aluspõhi

Aluspõhja moodustavad Ordoviitsiumi, Kambriumi ja Eriacara sette kivimid. Sette kivimid jälgivad aluskorra pealispinna reljeefi ja geoloogiline ehitus on monotoonne.

Ordoviitsiumi ajastu kivimite paksus on umbes 25 m, millest Kesk-Ordoviitsiumi 17 m ja Alam-Ordoviitsiumi 8 m. Kesk-Ordoviitsiumi kompleks koosneb lubjakivist, savikast lubjakivist või glaukoniiti sisaldavast lubjakivist. Alam-Ordoviitsiumi kompleks koosneb glaukoniitliivakivist, graptoliitargilliidist ja oobolusliivakivist [11].

Kambriumi ajastu kivimite paksus on umbes 100 m ja koosneb 10 m ulatuses peeneteralisest nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud kvartslivakivist, 8 m ulatuses aleuroliidi vahekihtidega kohati tugevalt tsementeerunud kvartslivakivist ning 82 m ulatuses sinisavist [11].

Aluskorra murenemiskoorikul lasuv Ediacara Vendi kompleksi paksus on umbes 100 m. Esinevad kolm kihistut – Voronka, Kotlini ja Gdovi. Voronka kihistu paksus on umbes 20 m, see koosneb nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud peeneterasest kvartslivakivist, kus esinevad ka aleuroliidist vahekihid. Kotlini kihistu paksus on kuni 40 m ja koosneb enamasti laminariitsavist, millel on õhukesi liivakivi vahekihte. Gdovi kihistu paksus on ligikaudu 40 m

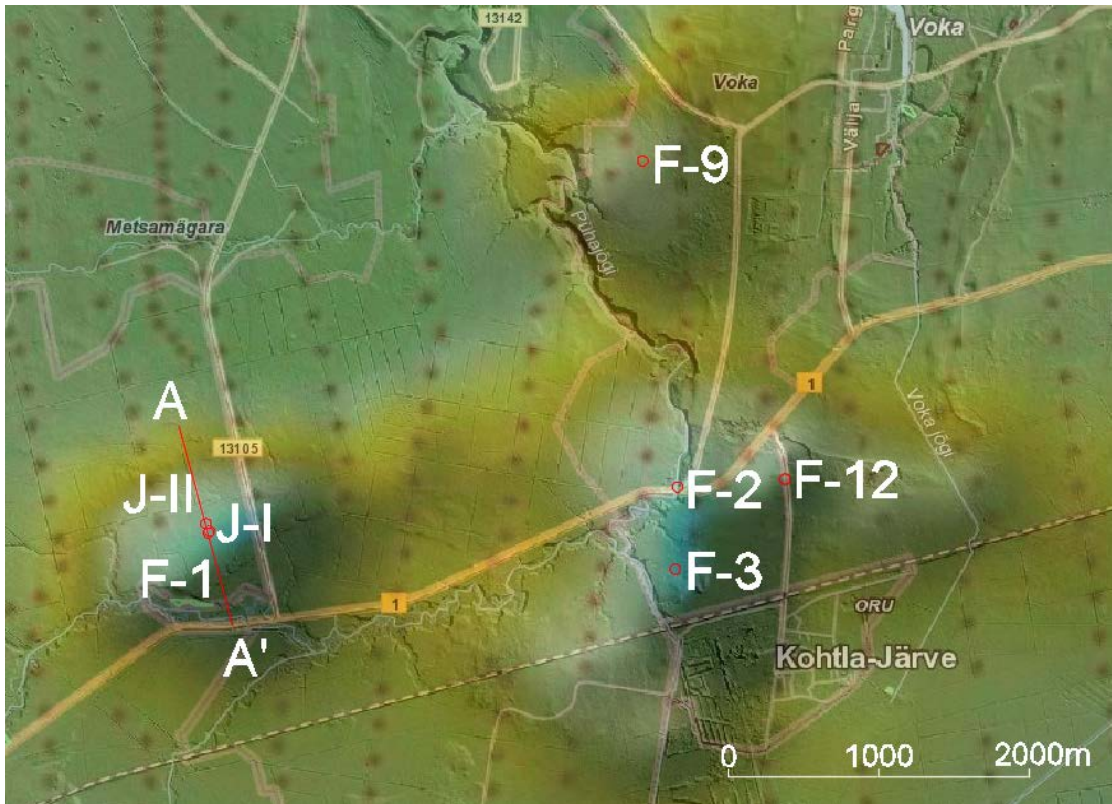
ja koosneb nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud liivakivist ning esinevad ka õhukesed aleuroliidi vahekihid [11].

2.1.3. Kristalne aluskord

Kristalne aluskord algab anomaalia piirkonnas 227-234 m sügavusel maapinnast ja koosneb Paleoproterosoikumi aegkonna Vaivara moondekivimite kompleksist. Kivimitena esinevad erinevad gneisid (pürokseengneisid, kvarts-päevakivigneisid, biotiit-plagioklassgneisid), mida lõikavad graniitsed sooned. Magnetilise anomaalia põhjustajaks on gneisi vahel vahekihte moodustav magnetiitkvartsiit ja sellised vahekihtidega kivimite kompleksid on kümnete meetrite ulatuses [5].

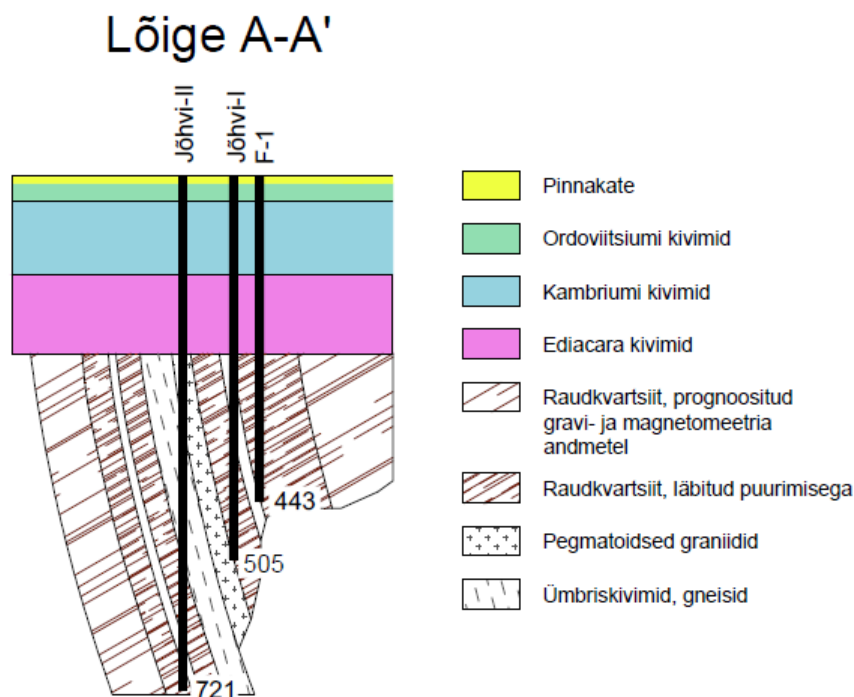
Kristalne aluskord on ülemises osas ligikaudu 30 m ulatuses murenenud. Sügavuse suurenedes murenemine väheneb ja umbes 20 m on tugevalt ja 10 m nõrgalt murenenud. Lõhed on vertikaal- ja horisontaalsuunalised ning on täidetud rauahüdroksiididega ja kaltsiidiga [10].

Jõhvi magnetilise anomaalia moodustavad kolm lokaalset maksimumi (Joonis 2). AS Magna puuris läänepoolsele ilmingule kaks puurauku (J-I ja J-II), kuna magnetilise häiringu mõõtmisandmete põhjal tundus, et seal on anomaalia maapinnale kõige lähemal [11]. Lisaks puuriti 1967. a puurauk F-1 ja sama uuringu raames idapoolsele kolm ning kirdesuunalisele ilmingule üks puurauk.



Joonis 2 Magnetilised anomaaliad magnetvälja intensiivsuse alusel, Maa-ameti kaardirakendus, numbritega tähistatud puuraugud [5]

Magnetilise häiringu ja puurimisandmete põhjal on läänepoolse anomaalia kihistunud gneisside kallakus lõuna suunas subvertikaalne ($70-90^\circ$) (Joonis 3) ja selline kihistumine on magnetilise häiringu järgi ida-lääne-suunaline. Ida-anomaalia ulatuses on kihtide kallakus enam varieeruv ($50-80^\circ$) ja kirdeanomaalias idasuunaline ($50-60^\circ$). Suure tõenäosusega levivad anomaaliade vahelisel alal gneisjad kivimite kompleksid, mis võivad sisaldada ka raudkvartsiiti [5].



Joonis 3 Skemaatiline geoloogiline läbilõige [5]

Rauasisaldus on puurakude põhjal väga muutlik ja jääb puuraukudes 20-30% vahele, samas esineb vahekihte, kus rauasisaldus ületab 40%. Puuraugus F-1 on vahemikus 403,8-406,3 m kiht rauasisaldusega 48,44% [10]. Kui võrrelda rauasisaldust Põhja-Rootsis asuva Kiruna kaevandusega, siis sealne maak on keskmiselt 60%, kuid kaaskaevisena tuleb väljata ka aherainet, millest tingituna on kaevise keskmine rauasisaldus 45% [12].

Maagistunud vööndi paksus on 280-400 m ja pikkus on kuni 8 km. Prognoositud varu raudkvartsiiidi 3,5 t/m³ mahukaalu korral on maapinnast sügavuseni 500 m 535 mln tonni, sügavuseni 700 m 947 mln tonni ja 1000 m sügavuseni 1564 mln tonni. Varu arvutus on tehtud eeldusel, et anomaaliade vahelisel alal esineb raudkvartsiiiti. Kui anomaaliade vahel puudub raudkvartsiid, siis varu kogus on väheneb väga suures osas [5]. Mart Neumann tegi oma projektis eelduse, et maagivööndeid on kaks ja mõlema kihi paksuseks on 40 m, pikkus kuni 800 m sügavuseni 530 m ja laius 1000 m. Saadud varu oli tema arvutuste kohaselt 144 mln tonni [13].

Käesoleva projekti raames on maagivööndite paksuse arvutuse aluseks puurauk F-1. Eeldusel, et puurauk on täiesti vertikaalne, gneisi ja raudkvartsiiidi kihid levivad terve puuraugu ulatuses ühtlaselt ja nende kallakus on 80°, on maaki sisaldava kihi paksuseks 36 m. Kuigi prognoositud gravi- ja magnetomeetria andmetel võib raudkvartsiiidi kihi paksus olla oluliselt suurem, lähtutakse selle töö raames eelmainitud puursüdamiku andmetest.

Raud pole ainus metall, mida võib sellisest leiukohast leida. Sarnastes Edela-Soome ja Kesk-Rootsi rauamaardlates esinevad värvilisi metalle sisaldavaid erimid, mis sisaldavad lisaks rauale vaske, tsinki ja pliid. Värviliste metallide esinemise võimaluse tõttu pakkus Jõhvi rauamaak huvi 2009. a Rootsi firmale Geoforum Scandinavia AB'le, kuid nende üldgeoloogilise uuringu taotlust ei rahuldatud [14].

2.2. Hüdrogeoloogilised tingimused

Jõhvi rauamaagi leiukoht asub Ida-Eesti vesikonna Viru alamvesikonnas. Põhjavesi on pinnakattes, aluspõhja kivimites ning aluskorra kristalsetes kivimites (Tabel 2). Kõige suurema vee hulgaga on aluspõhja kivimites olev surveiline põhjavesi [11].

Tabel 2 Hüdrogeoloogilised tingimused [11]

Veekompleks	Veehorisont	Veepide	Keskmine paksus, m	Erideebit, l/sek*m
Kvaternaari	jääjärvelised setted		5	0,05-0,5
		glatsigeensed setted	3	
Ordoviitsiumi	Ordoviitsiumi liigestamata		23	0,05-5
		Ordoviitsiumi veepide	2	
Ordoviitsiumi-Kambriumi	Ordoviitsiumi-Kambriumi		23	0,10-1
		Kambriumi veepide	82	
Kambrium-Vendi	Voronka		20	0,50-1
		Kotlini	40	
	Gdovi		40	1-5
Alam-Proterosoikumi			30	-

Kvaternaari veekompleksi jääjärveliste setete veekiht on survetu ja kuulub aeratsioonivööndisse, kus vesi liigub läbi filtreerudes, auruna või kapillaarjõudude toimel. Veepideme moodustavad glatsigeensed setted, mis koosnevad veeristega moreenist [11].

Ordoviitsiumi veekompleks on survetu ja vesi liigub murenenud lubjakivi lõhedes. Veekihti kasutatakse klindipealsel, kus on eratarbijatele veevarustuse allikaks. Ordoviitsiumi veepideme moodustab Türisalu kihistu graptoliitargilliit (filtratsioonimoodul 10^{-6} - 10^{-4} m/ööpäevas) [15].

Ordoviitsiumi-Kambriumi veehorisontides kannavad vett erinevate terasuurustega kvartslüüvakivid ja aleuroliidid ning selle veekihi ulatus on umbes 23 m. Tegu on ka esimese veehorisondiga, mis on surveiline ja erideebit jääb vahemikku 0,1-1 l/s meetrise alanduse korral.

Veekihti kasutatakse ka ühisveevarustuse allikana, kuid selle horisondi veevarustuses kasutamise piirkond jääb leiukohast eemale. Veekihile järgneb regionaalne veepide, mille moodustab 82 m ulatuses lasuv sinisavi (filtratsioonimoodul 10^{-7} - 10^{-5} m/ööpäevas) [11].

Kambrium-Vendi veekompleks koosneb Voronka ja Gdovi veehorisontidest, mis on vettkandvate kivimite poolest sarnased. Mõlemad koosnevad kvartsliaakivist ja aleuroliidi vahekihtidest ning mõlemad kihid on selles piirkonnas peamised ühisveevarustuse allikad. Suure veetarbimise tõttu jääb šahti rajamise piirkond ulatusliku survepinna alanduslehtri piiresse ja veetaseme alandus on kuni 10 m. Alumise, Gdovi veekihi, veeandvus ja surve on suuremad kui ülemisel Voronka kihil. Erideebitid on vastavalt 1-5 ja 0,5-1 l/s meetrise alanduse kohta. Veekihte eraldab nende vahel lasuv Kotlini veepide, mis koosneb laminariitsavidest ja selle isolatsioonivõime ning filtratsioonimoodulid on võrreldav Ordoviitsiumi-Kambriumi sinisavidega [11].

Aluskorra murenemiskoorikus on Alam-Proterosoikumi veekompleks, kus põhjavesi on kõrgsurveline, kuid väikese veeandvusega. Sügavuse suurenedes murenemine väheneb ja samuti väheneb ka kihis oleva vee hulk [11].

3. MÄENDUSTINGIMUSED

Mäendustingimused on keerulised maavara suure lasumissügavuse tõttu. Šahtide rajamiseks tuleb läbindada kogu settekivimite kompleks, aluskorra murenenud koorik ja ligikaudu 300 m ulatuses aluskorra kivimeid.

Settekivimites vertikaalšahti läbindamist raskendab abrasiivsete kvartsliaakivide suur ulatus. Umbes poole settekivimite kompleksist moodustavad erineva terasuurusega liivakivid. Abrasiivsete kivimite läbindamine jätkub ka aluskorras, kus esinevad kvartsi sisaldavad kivimid.

Settekivimite läbindamist raskendavad keerulised hüdrokeoloogilised tingimused, kus tuleb läbindada suure vee-erituvusega survelisi veekihte. Veekihtide läbindamine tuleb läbi viia kvaliteetselt, et erinevad veehorisondid oleks ka peale šahti rajamist teineteisest isoleeritud ja ei toimuks segunemist erinevate kihtide vahel ning vältida veekihtide reostamist, kuna veekihid on selles piirkonnas peamised ühisveevarustuse allikad.

Seniste geoloogiliste uuringute põhjal võib väita, et aluskorra geoloogiline ehitus on keeruline ja see mõjutab ka mäendustingimusi. Kvaliteetsed maavarakihid vahelduvad väiksema rauasisaldusega vahekihtidega, mille mehaanilised ja füüsikalised omadused võivad erineda (graniidi vahekihtide tihedus alates $2,58 \text{ g/cm}^3$ ja magnetiitkvartsiidi tihedus on kuni $3,77 \text{ g/cm}^3$) [10]. Suure lasumissügavuse tõttu tuleb kaevandamisel arvestada suureneva mäerõhuga, mis hakkab kaevandamise tehnoloogia, toestiku ja tervikute valikut mõjutama. Kuid sellisel geoloogilisel ehitusel on ka kaevandamist lihtsustavaid tegureid. Suur kihi kallakus lihtsustab maakide kaevandamist. Kaevisel transportimisel saab kasutada gravitatsiooni ja vähendada kulutusi.

Suure sügavuse tõttu tuleb arvestada temperatuuri tõusuga sügavuse suurenedes. Eesti geotermilise gradiendi 33 m [16] korral oleks kaevanduse tõenäoline kõrgeim temperatuur umbes 25°C ja sellega tuleb arvestada kaevanduse tuulutamisel. Tööde käigus tuleb tähelepanu pöörata SiO_2 tolmule, selle leviku vähendamisele ja võimalikule radioaktiivsele kiirgusele, mis mõjutavad tööohutust.

4. KAEVANDUSE AVAMINE

4.1. Kaevanduse avamise tehnoloogiad

Jõhvi rauamaagiga sarnastes soonmaardlates on kaevandamine alanud tavaliselt karjäärides. Mäetööde arenguga tekib paratamatult olukord, kus karjääri laiendamine pole enam majanduslikult otstarbekas ja tuleb üle minna allmaakaevandamisele. Selleks avatakse kaevandus, kas rambi, kaldšahti või siis vertikaalšahti läbindamisega. Rauamaagi karjääri avamine Eestis tähendaks sügavat aukkarjääri ja suures koguses vee välja pumpamist ehk sellistes tingimustes on avakaevandamine võimatu. Puudub alternatiiv allmaakaevandamisele.

Läbindamise mahu järgi saab jagada kaevanduse avamise kaheks. Vertikaalšahti rajamisel läbindatakse settekivimid ja kristalne aluskord otse vertikaalselt ning läbindatud kivimite maht on oluliselt väiksem kui kaldšahti või rambi korral. Kaldse kaeveõõne optimaalne tõus on 8% [17] ehk settekivimite osas tuleks läbindada umbest 3 km kaeveõõnt, millest umbes 1,1 km osa moodustavad põhjavett sisaldavad abrasiivsed liivakivid. Seetõttu on otstarbekam rajada vertikaalšaht kaevanduse avamiseks ja selleks on olemas erinevad tehnoloogiad:

1. Traditsiooniline puur-lõhketöödega läbindamine toimub erinevatest operatsioonidest ja on tsükliline. Näiteks moodustavad puur-lõhketööde korral puurimine, laadimine, lõhkamine, koristamine, tõste ja toestamine koos samaaegsete abitöödega (veekõrvaldus, tuulutus jne) läbindamistöde tsükli. Tegu on šahtide läbindamisel enim kasutatava tehnoloogiaga.
2. Šahti läbindamine mehhaaniliselt – läbindamine on pidev protsess ja samaaegselt toimuvad kõik etapid. Nende tehnoloogiate aluseks on läbinduskilpide ja läbinduskombainide kasutamine vertikaalšahti läbindamiseks (Joonis 4). Selle tehnoloogia suurim arendaja on Herrenknecht, kus on välja töötatud mitmeid erinevaid lahendusi šahtide läbindamiseks. Šahtide läbinduskombaine kasutatakse järjest rohkem, kuna see on turvalisem võrreldes traditsioonilise läbindamisega.



Joonis 4 Šahti läbinduskombain [2]

3. Kessoonläbindamine – kasutatakse ebastabiilsetes ja veega küllastunud pinnastes, kus töökambri tõrjutakse sururõhu abil vesi välja. Kasutatakse tsiviilehituses vundamentide, sildade ja vesiehitiste rajamisel [19].
4. Injekteerimine – kasutatakse vee sissetungimise vähendamiseks. Kogu šahti ulatuses puuritakse puuraugud ja nende kaudu surutakse tsemendi, akrüüli või epoksüvaigu baasil segusid [20] kivimi pooridesse, lõhedesse ja õõnsustesse. Kasutatakse lisaks mäendusele ka tsiviilehituses.
5. Külmutamine – kasutatakse vee sissetungimise vähendamiseks. Šahti ümber puuritakse puuraugud, mille kaudu külmutatakse kogu šahti ümbrus ja moodustunud jäätunud massiiv tõkestab vee sissevoolu ja nõrkades pinnastes suureneb seina püsivus. Külmutamiseks pumbatakse külmutuslahust (CaCl_2) topeltseinaga torudesse ja maapinnast kantakse soojus

külmutusseadmesse, kus see jahutatakse ammoniaagi, süsihappegaasiga või lämmastikuga [21].

6. Sulundseintega toestamine – enim kasutatakse tsiviilehituse valdkonnas, kus kaevikute toestamiseks rammitakse, vibreeritakse või surutakse pinnasesse näiteks Z või U kujulise profiiliga elemente. Lukkühenduse kasutamisega saavutatakse vett pidav ühendus, seda meetodit saab kasutada ka šahtide rajamisel seinä püsivuse tagamiseks, kuid ainult pudedate kivimite ulatuses, lubjakivisse sulundseina raiumine pole võimalik [22].

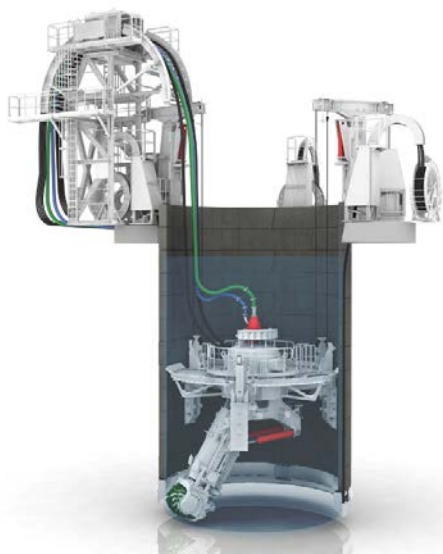
4.2. Šahtide läbindamise tehnoloogia valik

Kaevanduse avamisel on kõige parem kasutada traditsioonilist puur-lõhketöödega läbindamist. Šahti rajamisel läbinduskombainiga tekivad probleemid liivakivide läbindamisel, mille suure abrasiivsuse tõttu lõiketerad kuluvad kiirelt ja nende vahetamisega tekivad töös seisakud. Teiseks on läbinduskombaini maksumus võrreldes tavalise läbindusplatvormiga oluliselt suurem, sest kombain on läbindusplatvormist ehituselt ja tehnoloogiliselt keerukam. Kombainläbindamise korral tuleb läbinduskombaine soetada või rentida kaks tükki, sest peašaht ja tuulutussaht on erinevate läbimõõtudega.

Veekihte läbindades on otstarbekas kasutada alternatiivseid tehnoloogilisi lahendusi. Kessooni saab kasutada kuni 60 m sügavuseni, sügavamal on kessooni kambri rõhk liiga suur ja on läbindajatele ohtlik [21]. Injekteerimine segudega on võimalik veekihte läbindades, aga puurimine on väga töömahukas ja läbindamisel tekivad suured tööseisakud. Sulundseina šahti rajamisel kasutada ei ole vaja, 7 m pinnakatte osas on vee juurdevool väike ja sulundseina horisontaaljõude vastuvõtavad toed segaks šahti läbindamist ja krae ehitamist. Veekihtide läbindamisel on otstarbekas kasutada maapinna külmutamist, sest sellega tekitatakse kõige paremad tingimused läbindamisel.

Kaugemas perspektiivis on Herrenknechti poolt pakutavate lahenduste poolest märkimisväärne läbinduskombain VSM (*vertical shaft sinking machine*) (Joonis 5), millega saab käesoleval ajal läbindada kuni 16 m läbimõõdu ja 150 m sügavusi šahte [18]. Selle meetodi kasutamine võib tulla tulevikus kõne alla, sest sellega saab läbindada šahte ilma veetaset alandamata. Raimamine toimub vee all, koristamine toimub raimatud pulbi pumpamisega maapinnale ja toestiku paigaldamine toimub maapinnal segmentide paika ladumisega ning vastavalt läbindamisele šahti toestiku langetamisega. Kui arendatakse välja lõiketerad, millega saab abrasiivseid

liivakive raimata, siis võib see meetod osutada otstarbekaks Eesti tingimustes sügavate vertikaalšahtide rajamisel.



Joonis 5 Vertical shaft sinking machine [18]

4.3. Vertikaalšahtide asukohad ja parameetrid

4.3.1. Šahti asukohtade võrdlus

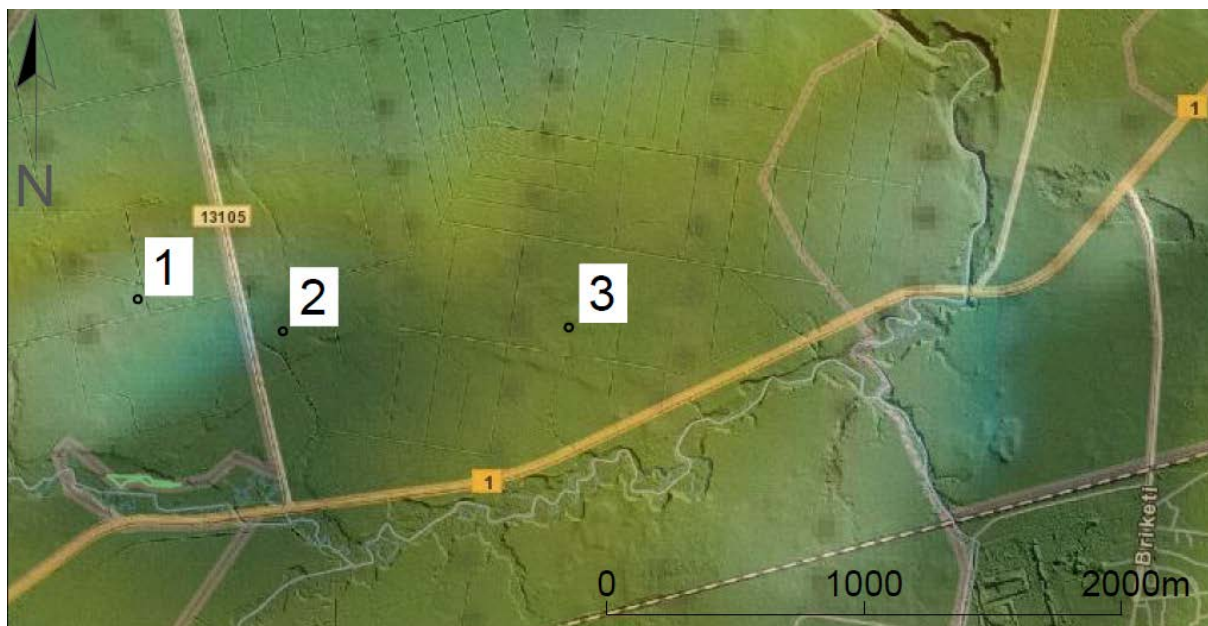
Kaevanduse avamise asukohaks on kolm varianti (Tabel 3), kus peašaft ja tuulutussšaft võiksid paikneda (Joonis 6). Kõik kolm varianti paiknevad Riigimetsa Majandamise Keskuse hallataval katastriüksustel ning käesoleval ajal kasvab seal mets.

Tabel 3 Kaevanduse avamise asukoha variandid

Variant nr	Koordinaadid L-EST97		Maapinna abs. kõrgus, m	Šahti kaugus maavara kihist kaevanduses, m	
	X	Y	Z	Läänepoolne anomaalia	Idapoolne anomaalia
1	6587830	698810	41,5	250	3270
2	6587705	699374	41,5	570	2680
3	6587721	700484	40,0	1680	1570

Šahtide asukoha valiku aluseks on horisontaalsete läbindustööde maht aluskorras, kaevanduse laiendamise võimalikkus idapoolsele anomaaliale, ligipääs maanteedelt ja maapinna stabiilsus võimaliku varingu korral. Kaevanduse rajamise juures on kõige kulukam šahtide rajamine ja

seetõttu valitakse asukoht selline, et neid šahte saaks kasutada ka tulevikus idapoolse anomaalia avamiseks ja kaevandamiseks.



Joonis 6 Kaevanduse avamise asukoha variandid vt lisa 12.2

Esimene võimalik asukoht asub läänepoolsele anomaaliale kõige lähemal ja läbindustööde maht on aluskorras kõige väiksem. Paiknemine anomaaliast põhjas on valitud seetõttu, et maagikiht on lõuna suunas kaldu ja sellisel juhul paikneksid šahtid ja kaevanduskäigud maagikihi lamami poolses osas. Hoolimata sellest, et kiht on subvertiaalne tasub lamamipoolset asukohta eelistada, kuna võimaliku varingu korral on lamam stabiilsem kui lasum. Selle asukoha puhul on negatiivseks küljeks kaevanduse laiendamise komplitseeritus idapoolsel anomaalial kaevandamiseks. Suur läbindustööde maht ja hilisemalt on kaevanduse tuulutamine raskendatud kui kasutada olemasolevaid šahte.

Teise asukoha korral on kaevanduse avamise etapis läbindustööde maht suurem kui esimese variandi puhul, kuid sealt on kaevanduse laiendamine idapoolsele anomaaliale lihtsam. Ligipääs maanteelt on kõige lähemal, maapinna stabiilsus probleeme ei tekita, sest kaevanduskäigud läbindatakse lamami poolt.

Kolmas asukoht on kahe anomaalia keskel. Selle asukoha miinuseks on kaevanduse avamise käigus suurem läbindustööde maht, kui esimese või teise asukoha korral. Sealt on kõige parem laiendada kaevandust ida suunas, aga just kaevanduse avamise etapis maksumuste madalana hoidmise pärast seda šahti asukohta ei valita.

Kui idapoolset anomaaliat ei peeta perspektiivikaks, siis on kindlasti otstarbekas rajada šahtid 1. asukohta, aga kuna suureneva nõudlusega rauamaagi suhtes tuleb arvestada ka kaevanduse laiendamise võimalusega ja seetõttu tuleb otstarbekaimaks pidada asukohta nr 2.

4.3.2. Šahti parameetrid

Šahtide läbimõõtude valimisel tuleb arvestada erinevate faktoritega, näiteks kuidas toimub kaevisse ja tööliste tõste, ventilatsioon, mida kaevandatakse, mäemasinate suurus, torustike ja juhtmete hulk, toestiku paksus ja šahti kasutamise aeg. Varem rajati šahte ristkülikulise läbilõikega kuna maa alla lastud skipid, kongid oli sellise kujuga. Tänapäeval rajatakse peamiselt ringikujulise ristlõikega šahte. Sellised šahtid võtavad paremini vastu horisontaalseid pingeid ja õhu liikumine on vähima takistusega.

Suurimad süvakaevanduste teenindamiseks rajatud šahtid on käesoleval ajal läbimõõduga kuni 13,4 m [23] ja rauamaagi kaevandamisel on skippidega tõstetavad kogused suured, Kirunas tõstetakse skipiga korraga kuni 40 t [12]. Samuti on kaevanduses kasutatavad masinad suured, kaevanduse täitmise korral on vajalikud eraldi skipid põlevkivitööstuse aheraine maa alla transportimiseks ja peale šahti läbindamist on läbimõõdu suurendamine võimatu. Seega valiti peašahti läbimõõduks 13,2 m ja selle valiku aluseks on raudbetoonist valmistatavad standardse tüübingtoestiku mõõtmed [24].

Tuulutusšaht rajatakse läbimõõduga 8,7 m. Läbimõõdu valiku on aluseks on tüübingtoestiku segmentide mõõtmed. Kaevanduse esimese etapi suhtes on tuulutusšahti läbimõõt üledimensioneeritud, kuid kaevanduse hilisema laiendamise tõttu on suurem läbimõõt vajalik. Sarnaselt peašahliga ei saa hiljem šahti laiendada ja suure läbimõõduga on ka võimalik esimeses lähenduses sinna paigaldada täiendav skipp kaevisse tõsteks või täitematerjali kaevandusse transportimiseks.

Šahtide asukohad (Tabel 4) on antud L-EST97 koordinaatsüsteemis ja on määratud millimeetri täpsusega. Maavara kaevandamise suhtes ei ole šahti täpsus nii oluline. Ei ole vahet, kas šaht on 1 m teises kohas kui planeeritud. Küll aga on suur täpsus vajalik selle pärast, et kõik maapealsed hooned ja seadmed projekteeritakse šahti tsentri suhtes ja selle pärast tuleb šahtide tsentrid täpselt määrata.

Tabel 4 Šahtide parameetrid ja asukoht

Šahti tüüp	Koordinaadid L-EST97		Maapinna abs. kõrgus, m	Läbimõõt, m		Tüübingute arv ühes tasapinnas
	X	Y		Läbindades	Toestikuga	
Peašaht	6587705,226	699373,682	41,5	13,2	12,5	12
Tuulutusšaht	6587732,726	699373,682	41,5	8,7	8,2	10

5. ŠAHTI LÄBINDAMISE TEHNOLOOGIA KIRJELDUS

5.1. Ettevalmistustööd šahtide rajamiseks

Enne šahtide läbindamise algust tuleb alustada ettevalmistustöödega. Nendeks on kaevanduse tööstusplatsi ligikaudne asukohta maha märkimine ja selles alas metsa raadamine, kändude juurimine, kasvupinnase eemaldamine ning läheduses kuivenduskraavide korrastamine. Samaaegselt peab toimuma elektriliini rajamine, teede ehitamine ligipääsu parandamiseks, tööstusplatsi teedevõrgu täiendamine ja laoplatside ehitus. Laohoonete, ajutiste kontorite ja teiste ruumide jaoks saab kasutada PVC-halle, soojakuid ja konteinereid. Peale suuremaid pinnase ja mullatöid tuleb markšneiderite poolt alale luua kapitaalne tugipunktide võrk. Nende põhjal märgitakse maha šahtide tsentrite asukohad ja šahtide teljed.

5.2. Šahtide läbindamise etapid

Šahtide rajamine on jagatud mitmeks etapiks vastavalt geoloogilistele ja hüdrogeoloogilistele tingimustele. Selles projektis käsitletakse kahte erinevat tehnoloogilist võimalust.

Variant A:

1. Pinnakatte pudedate setete läbindamine
2. Ordoviitsiumi lubjakivide läbindamine kuni graptoliitargilliidist veepidemeni
3. Ordoviitsiumi oobolusliivakivi kuni sinisavist veepidemeni
4. Sinisavi läbindamine
5. Ediacara liivakivide läbindamine kuni Voronka kihistu veepidemeni
6. Voronka kihistu veepideme läbindamine

7. Ediacara alumiste liivakivide läbindamine kuni murenemata aluskorrani
8. Aluskorra läbindamine

Variant B:

1. Pinnakatte pudedate setete läbindamine
2. Ordoviitsiumi lubjakivide läbindamine kuni graptoliitargilliidist veepidemeni
3. Ordoviitsiumi oobolusliivakivi kuni sinisavist veepidemeni
4. Sinisavi läbindamine
5. Ediacara liivakivide läbindamine murenemata aluskorra kivimiteni
6. Aluskorra läbindamine

Kahe variandi erinevus seisneb Ediacara kivimite läbindamises. Variant A korral läbindatakse Ediacara kolmes etapis – ülemine veekiht, Kotlini veepide eraldi ning selle järel alumine veekiht. Sellise tehnoloogia valiku aluseks on asjaolu, et Kotlini veepide on isolatsioonivõime ning filtratsioonimooduli poolest võrreldav Kambriumi sinisaviga. Sellise tehnoloogia korral toimub kivimimassiivi külmutamine kahes etapis ning Kotlini veepide läbindatakse sarnastes tingimustes kui sinisavi läbindamine. Variant B korral külmutatakse kogu Ediacara kivimite kompleks. Variant A korral on vaja külmutada ülemises osas 35 m ning alumises osas 80 m ulatuses ehk kokku 115 m. Variant B puhul on vaja kokku külmutada 135 m ulatuses.

Nende kahe variandi välja toomise põhjus seisneb külmutamise suures energiakulus ning selle vähendamise võimaluste kaalumisel. Külmutustorude puurimine nõuab suurt täpsust ning pinnase külmumise ootamine pikendab šahtide rajamise aega. Variandi A korral veepidemest tingitud mitmeetapiline külmutamine ei osutu otstarbekaks ning lihtsam on läbindada variandis B välja toodud etappide kaupa (üheetapiline külmutamine).

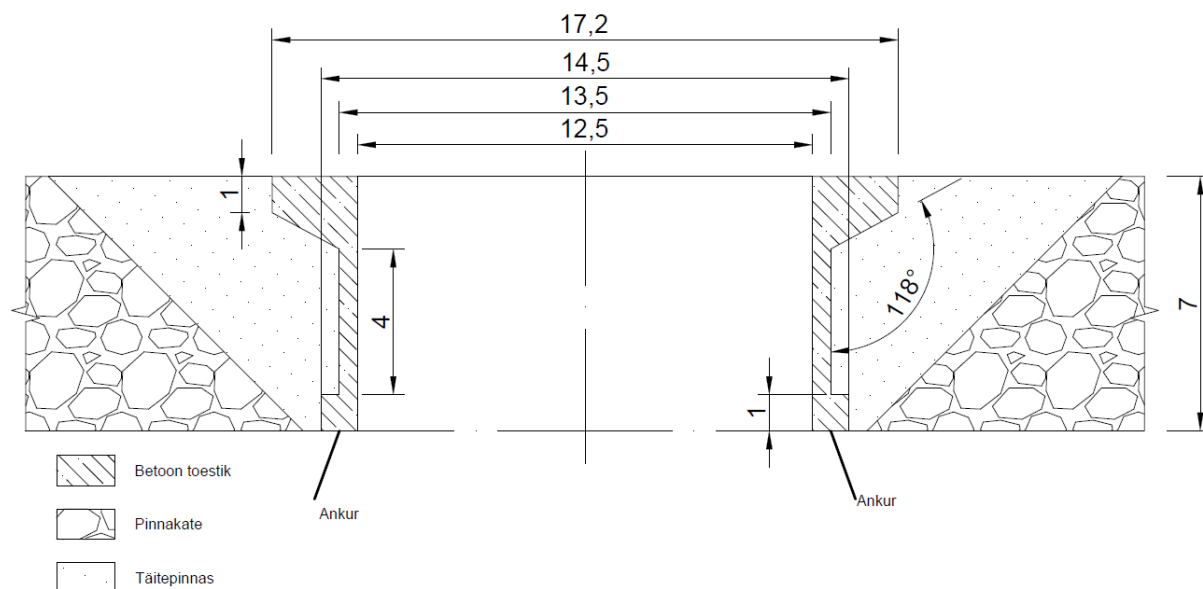
5.3. Šahtide läbindamine

5.3.1. Esimene etapp

Šahtide rajamise esimeses etapis läbindatakse pinnakatte pudedad setted. Selleks kasutatakse roomikekskavaatoreid, mille ammutussügavus on üle 7 m. Eemaldatud pinnase kehvade omaduste tõttu seda materjali turustada pole võimalik ja materjal ladustatakse tööstusplatsil eraldi, et seda saaks kasutada hiljem kaevanduse kaeveõõnte täitmiseks. Vee juurdevool on

pinnakatte osas suure savisisalduse tõttu väike ja sisseimbuv vesi pumbatakse ehitusobjektidel kasutatavate pumpadega süvendist välja.

Peale kaevetööde lõppu alustatakse šahti krae raketiste ehitust (Joonis 1). Selle käigus ankurdatakse armeering aluspõhja lubjakivide külge ning paigaldatakse järgmise etapi raames paigaldatavate tüübingute kinnitamiseks poldid. Krae betoon valatakse kahes osas, esimeses osas on lubjakivide pealne krae vundament ning selle peal olev 4 m pikkune šahti sein. Teises osas valatakse šahti maapealne osa, millele hakkab hiljem toetuma tõstetorn. Kahes osas valamise põhjus seisneb selles, et peale esimest valamist täidetakse šahti väline tühimik ning tihendatakse. Peale seda toimub ülemise osa valamine ning selle järel täidetakse ülejäänud tühimik sobiliku materjaliga. Sedasi saavutatakse parem tugevusvaru kõrval oleva pinnase kandevõime suurendamisega.

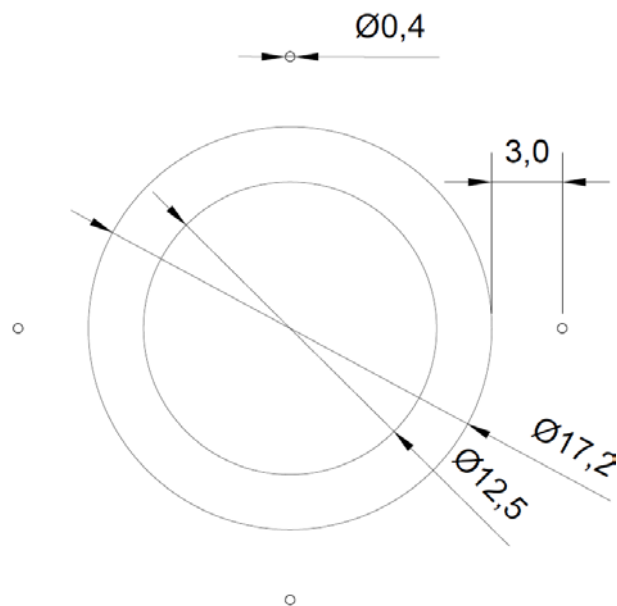


Joonis 7 Šahti läbindamise esimene etapp, krae läbilõige vt lisa 12.3

5.3.2. Teine etapp

Teises etapis läbindatakse erinevad Ordoviitsiumi lubjakivid, glaukoniitliivakivi kuni graptoliitargillidini, mis on veepidemeks. Esimene suurem probleem seisneb veekõrvalduses, kuna Ordoviitsiumi lubjakivid on lõhelised ning vee juurdevool võib olla sõltuvalt aastaajast väga suur. Vee kõrvaldamiseks puuritakse šahti perimeetrist 3 meetri kaugusele neli puurauku (Joonis 8). Pumpadena kasutatakse suure tootlikkusega süvapumpasid. Puuraugud puuritakse teise etapi läbindamise ajaks 30 m sügavusele kuni veepidemeni. Kuna Ordoviitsiumi veekompleks pole survealine, siis pumpasid langetatakse šahti läbindamise edenedes olles šahti

põhjast mõne meetri võrra sügavamal. Kui šahti koguneb endiselt väikeses koguses vett, siis saab seda ka šahti seest välja pumbata.



Joonis 8 Puuraukude asukohad, mõõtmed meetrites

Läbindamise teisel etapil kasutatakse šahtis mitmekorruselist läbindusplatvormi (Joonis 9), mille küljes on viie manipulaatoriga puurmasin, lõhkeaukude läbimõõduks on 45 mm ja kasutatakse löökpuurimist. Lõhatud materjali laadimiseks kasutatakse greiferit, mida saab juhtida ka maapinnalt, et suurendada tootlikkust.

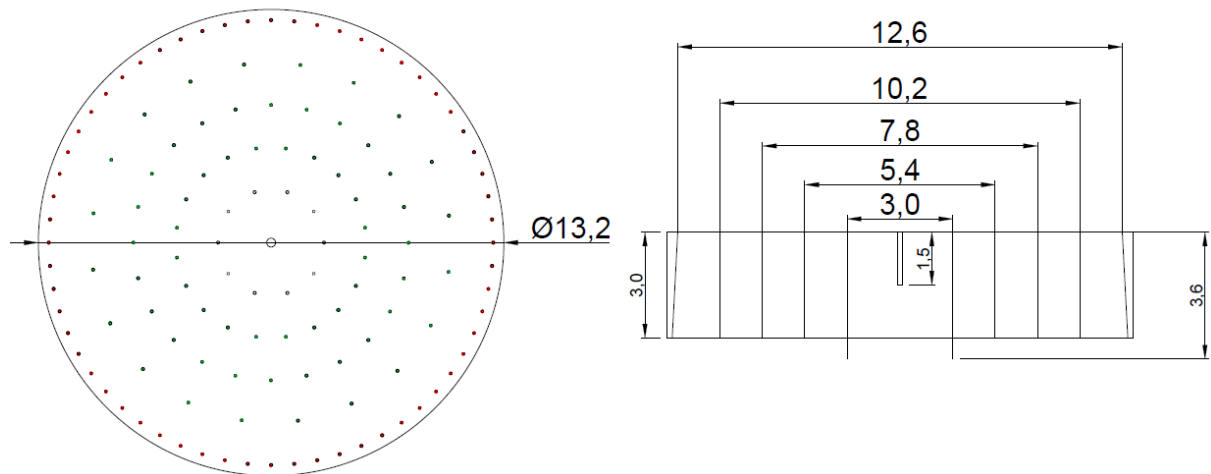


Joonis 9 Läbindusplatvormi näide [25]

Lõhkamiseks kasutatakse padrundatud dünamiiti, laengute initsieerimiseks kasutatakse programmeeritavaid elektrilisi detonaatoreid ja kõik lõhkeaugud initsieeritakse suudme poolt. Lubjakivis lõhates on algmurde, raima- ja kontuurlaengud eraldi viiteseeriates. Algmurde tekitamisel kasutatakse hetklõhkamist ja koonus-almurret. Täiendava vaba pinna tekkides järgneb raimalaengute lõhkamine, kus kasutatakse lühiviitlõhkamist ning lõhkamine toimub spiraalselt. Viimases viiteseerias on kontuurlaengud, mis laetakse üle ühe. Nii tekitatakse kontuurlõhkelaengute vahele täiendav vaba pind, mille suunas lõhkeauk töötab. Kontuurlaengud initsieeritakse sarnaselt raimalaengutega spiraalselt. Lõhketööde parameetrid lubjakivis on toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 5) ja lõhkeaukude paiknemine alljärgneval joonisel (Joonis 10). Lõhketööde passide arvutamise meetodika on toodud lisan (vt peatükk 12.1). Peale lõhkamist peavad lõhkajad veenduma, et ei tekkinud tõrget ja kõik laengud on plahvatanud. Selleks saab kasutada suure kaadrisagedusega kaameraid, mille abil saab eemalt hinnata lõhketööde kvaliteeti. Saadud videomaterjali ja katselõhkamise põhjal on võimalik lõhketööde projekti täpsustada.

Tabel 5 Puur-lõhketööde parameetrid lubjakivis

Kaeveõõne läbimõõt, m	13,2
Lõhkeaugu pikkus, m	3,0
Puuraugu läbimõõt, mm	45
Ee edasinihke samm, m	2,6
Ee ristlõike pindala, m ²	137
Korruga lõhatava kivimi maht, m ³	349
Suletustegur k _s	0,77
Laengute arv ee lõhkamiseks	104
Koonus-almurde lõhkeaukude arv n*	10
Algmurde puuraukude pikkus, m	3,6
Algmurde mass, kg	3,5
Algmurde topise pikkus, m	0,8
Raima- ja kontuurlaengute mass, kg	3,0
Topise pikkus raima- ja kontuurlaengul, m	0,60
Kontuurlaengute arv	30
Raimalaengute arv	64
Lõhkeaine tegelik kulu, kg	318
Padrunite arv	636
Lõhkeaine tegelik erikulu, kg/m ³	0,91
Puurtööde maht, m	319
Puurtööde erimaht, m/m ³	0,91



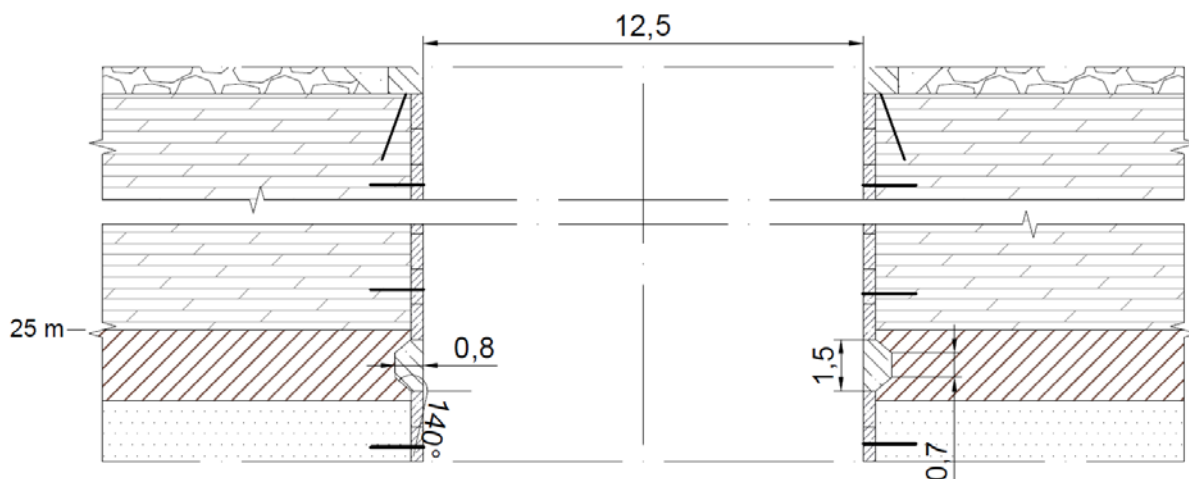
Joonis 10 Lõhkeaukude paiknemine lubjakivi läbindamisel vt lisa 12.4

Läbindamisel on tuulutamine tagatud jäiga või elastse ventilatsioonitoruga. Lõhkamise ajal tuleb elastne toru kõrgemale tõsta, et lõhketööd ei vigastaks torusid. Peale lõhkamist saab lõhatud materjali laadimist alustada koheselt, sest tõstetoobrite ja greiferi tööd saab eemalt juhtida. Kui tekib ülegabariitseid kive, siis saab neid järelpurustada eraldi laengutega või kasutada muid meetodeid. Kui lõhketööde järgselt on šaht tuulutatud, siis alustatakse läbindusplatvormil toestiku paigaldamist. Toestik paigaldatakse kohe peale lõhatud materjali laadimist ja ajutist toestiku ei kasutata. Kui seina püsivuse tõttu tuleb koheselt toestada, siis tüübingute kaitsmiseks saab kasutada kummist matte. Kui seina püsivus probleeme ei põhjusta, siis toestamine on eest paari tsüklilise viivitusega. Toestiku paksuseks on 35 cm ning tüübingud kinnitatakse poltidega, tüübingutel olevate tihenditega saavutatakse koheselt veekindlus (Joonis 11). Tüübingute allavajumise vältimiseks paigaldatakse ankrud ümbritsevasse kivimitesse.



Joonis 11 Toestiku paigaldamine [24]

Teine etapp on kuni graptoliitargiliidini (25 m maapinnast), kus umbes 2 m paksuse kihi ulatuses šahti läbimõõtu suurendatakse kuni 14,1 m ja sinna valatakse šahti stabiilsuse ja veepideme säilivuse tagamise tõttu raudbetoonist krae (Joonis 12). Selleks koostatakse eraldi lõhketööde pass või kasutatakse raimamiseks alternatiivseid meetodeid. Armeeringu valmistamisel ühendatakse see ülemiste tüübingutega ja alumiste tüübingute kinnitamiseks paigaldatakse poldid, mille järel valatakse ühe korraga kogu krae.



Joonis 12 Šahti läbindamise teine etapp vt lisa 12.5

5.3.3. Kolmas etapp

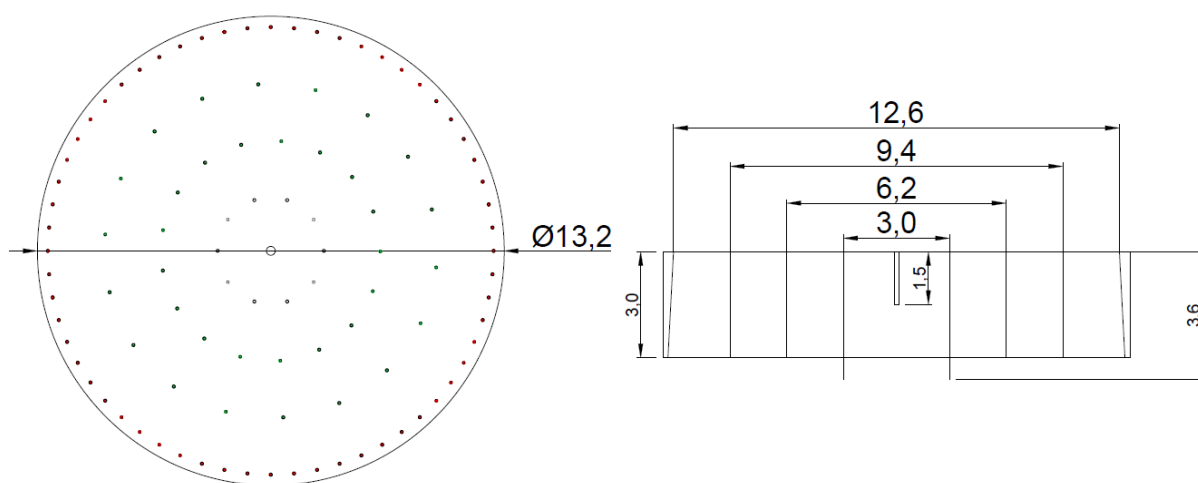
Kolmandas etapis läbindatakse alates Ordoviitsiumi oobolusliivakivist kuni sinisavist veepidemeni. Läbindada tuleb umbes 23 m liivakive, milles olev põhjavesi on survealine. Enne läbindamist tuleb rajatud puurauke süvendada kuni 50 m maapinnast sinisavini. Paigaldatakse manteltorud ja seeläbi tõkestatakse Ordoviitsiumi veekihi tungimine puurauku. Kui eelnevas etapis sai ee edasinihkega pumpasid langeta, siis survealise vee korral Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihis tuleb kohe kogu kihi ulatuses veetaset alandama hakata. Ei ole välistatud ka, et šahti võib vett hakata kogunema. Selleks on šahtis eraldi pump millega saab vett välja pumbata.

Läbindamise tehnoloogia on täpselt sama nagu teise etapi korral, ainus erinevus seisneb puur-lõhketöödes. Samasuguse ee edasinihke juures on lõhkeaukude arv ja lõhkeaine kulu väiksemad kui lubjakivis lõhates.

Tabel 6 Puur-lõhketööde parameetrid liivakivis

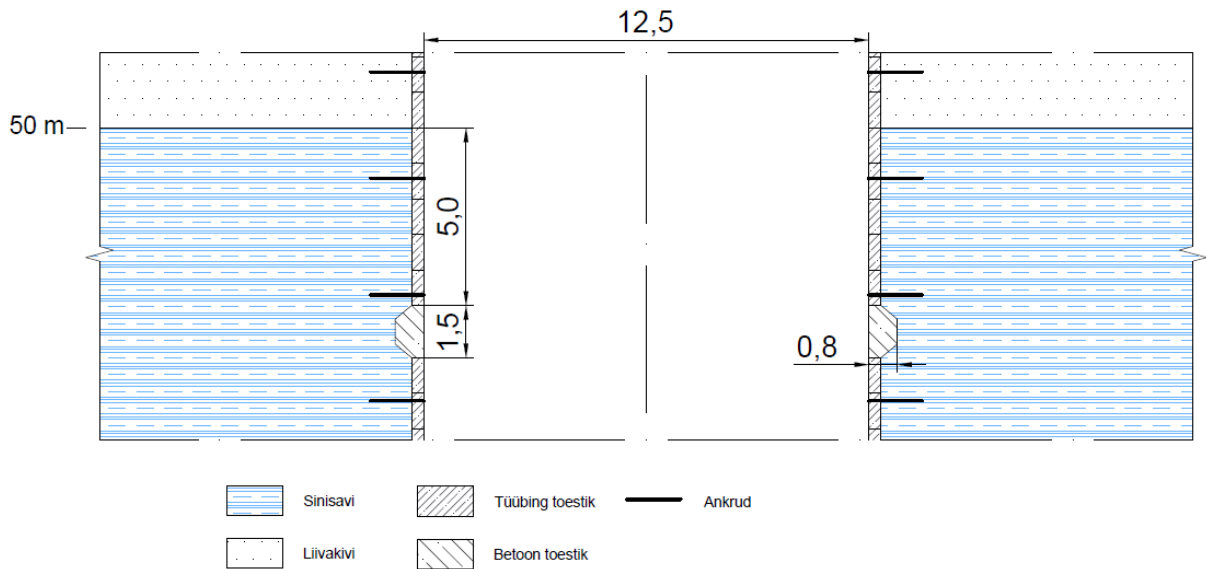
Kaevõõne läbimõõt, m	13,2
Lõhkeaugu pikkus, m	3,0
Puuraugu läbimõõt, mm	45
Ee edasinihke samm, m	2,6
Ee ristlõike pindala, m ²	137
Korruga lõhatava kivimi maht, m ³	349
Suletustegur k _s	0,77
Laengute arv ee lõhkamiseks	75
Koonus-almurde lõhkeaukude arv n*	10
Almurde puuraukude pikkus, m	3,6
Almurde mass, kg	3,5
Almurde topise pikkus, m	0,8
Raima- ja kontuurlaengute mass, kg	3,0
Topise pikkus raima- ja kontuurlaengul, m	0,60
Kontuurlaengute arv	30
Raimalaengute arv	35
Lõhkeaine tegelik kulu, kg	229
Padrunite arv	457
Lõhkeaine tegelik erikulu, kg/m ³	0,66
Puurtööde maht, m	230
Puurtööde erimaht, m/m ³	0,66

Võrreldes lubjakivis lõhkamisega on liivakivi läbindamisel puurimise maht ja lõhkeaukude arv väiksem. Liivakivis läbindamise lõhkeaukude paigutus on toodud alljärgneval joonisel (Joonis 13).



Joonis 13 Lõhkeaukude paiknemine liivakivi läbindamisel vt lisa 12.6

Kolmanda etapi lõpus läbindatakse 5 m sinisavi ja rajatakse sarnaselt esimesele etapile krae (Joonis 14). Iseärasused sinisavis lõhketöödel on toodud järgnevas peatükis. Peale kolmanda etapi krae paigaldamist saab lõpetada vee pumpamise ja moodustunud šaht on täielikult veekindel maapinnast kuni 50 m sügavuseni.



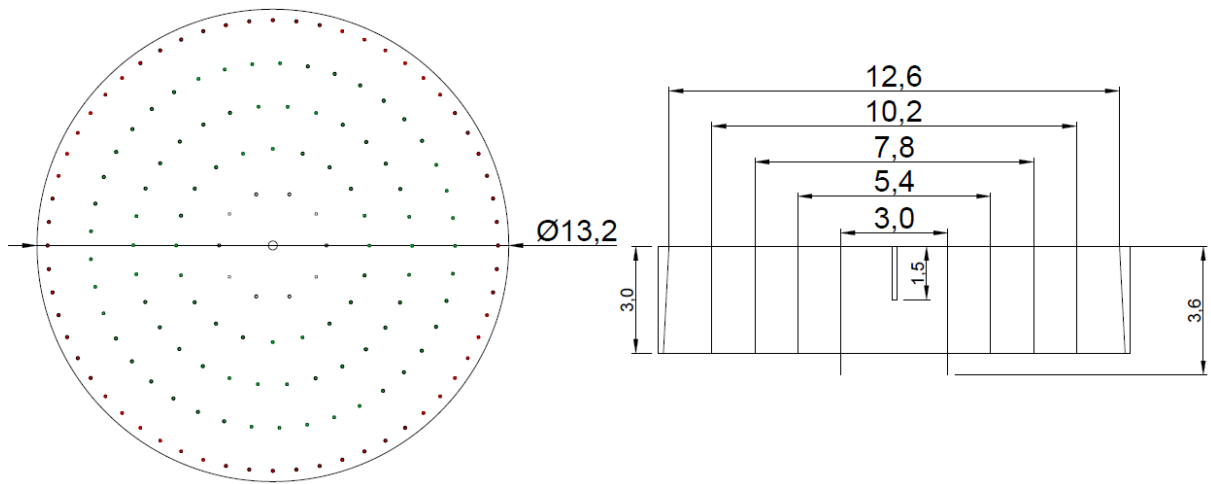
Joonis 14 Šahti läbindamise kolmas etapp vt lisa 12.7

5.3.4. Neljas etapp

Neljandas etapis tuleb läbindada ainult Kambriumi sinisavid ja seda 72 m ulatuses, Suure isolatsioonivõime tõttu selles etapis veekõrvaldusega tegelema ei pea. Muudes aspektides on läbindamise tehnoloogia sama nagu eelnevates etappides, erinevus on ainult puur-lõhketöodes. Savis lõhkamise parameetrid on toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 7) ja lõhkeaukude asetus joonisel (Joonis 15).

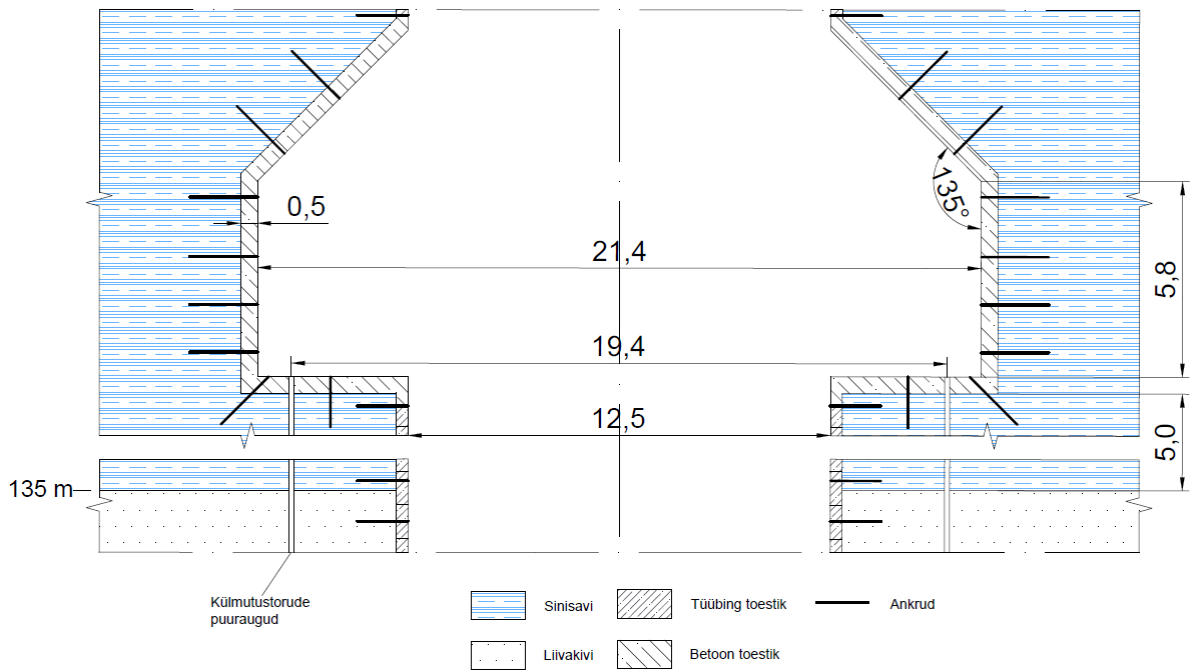
Tabel 7 Puur-lõhketööde parameetrid savis

Kaeveõõne läbimõõt, m	13,2
Lõhkeaugu pikkus, m	3,0
Puuraugu läbimõõt, mm	45
Ee edasinihke samm, m	2,6
Ee ristlõike pindala, m ²	137
Korruga lõhatava kivimi maht, m ³	349
Suletustegur k _s	0,77
Laengute arv ee lõhkamiseks	131
Koonus-almurde lõhkeaukude arv n*	10
Algmurde puuraukude pikkus, m	3,6
Algmurde mass, kg	3,5
Algmurde topise pikkus, m	0,8
Raima- ja kontuurlaengute mass, kg	3,0
Topise pikkus raima- ja kontuurlaengul, m	0,60
Kontuurlaengute arv	30
Raimalaengute arv	91
Lõhkeaine tegelik kulu, kg	397
Padrunite arv	793
Lõhkeaine tegelik erikulu, kg/m ³	1,14
Puurtööde maht, m	398
Puurtööde erimaht, m/m ³	1,14



Joonis 15 Lõhkeaukude paiknemine savi läbindamisel vt lisa 12.8

Neljanda etapi lõpus 5 m enne Ediacara settekivimeid laiendatakse läbindatavat läbimõõtu 22,4 meetrini. Laiema läbimõõdu põhjus seisneb viienda etapi läbindamise ettevalmistuses. Selleks toestatakse 50 cm ulatuses seinad valatud raudbetoonist. Tulevaste külmutuspuuraukude asukohtadesse paigaldatakse torud, et hiljem ei peaks läbi betooni puurima.



Joonis 16 Šahti läbindamise neljas etapp vt lisa 12.9

Maapinna külmutamiseks vajaliku läbimõõdu leidmiseks saab kasutada seost:

$$\frac{D}{A} = \left(1,2 + \frac{T}{1000}\right) \pm 10\% [21]$$

D – külmutamist vajav läbimõõt, *m*

A – rajatava šahti läbimõõt, *m*

T – külmutamist vajav sügavus, *m*

Peašahti korral on vaja külmutada šahtist 1,34 korda suurem läbimõõt. Selleks, et lõhketööde käigus külmutustorusid ei vigastataks suurendatakse läbimõõtu 10% ja seega tuleb külmutada 1,47 korda suurem läbimõõt. Peašahti külmutuspuuraukude läbimõõt on seega 19,4 m.

Puuraukude omavaheliseks kauguseks võetakse 1,28 m ± 10% [21]. Peašahti läbindamisel on puuraukude vahekauguseks 1,3 m ja kokku tuleb puurida 47 puurauku 135 m sügavusele.

Külmutuspuuraukude puurimiseks kasutatakse Geomachine GM 100 GT puurpink (Joonis 17), mis langetatakse šahti põhja tõstetorni abil. Külmutamise kestus sõltub kivimite soojusjuhtivusest ja hüdrogeoloogiast, liivades on külmumise kiirus 25 mm/ööpäevas ja savides 10-15 mm/ööpäevas. Külmutades moodustub puuraugu ümber silinder, mille läbimõõt on liivakividel kuni 3 m ja savides 2,5 m. Veerikastes ja suure filtratsiooniga kivimites on jäätunud kivimi läbimõõt kuni 2 m [26]. Kõige keerulisem on liivakivide ja sealse veekihi läbindamine, 1,3 m jääkihi moodustumise aeg on umbes 52 päeva. Külmutusseadmed paiknevad maapinnal ja peašahti külmutamise ajal alustatakse tuulutussahti läbindamist.



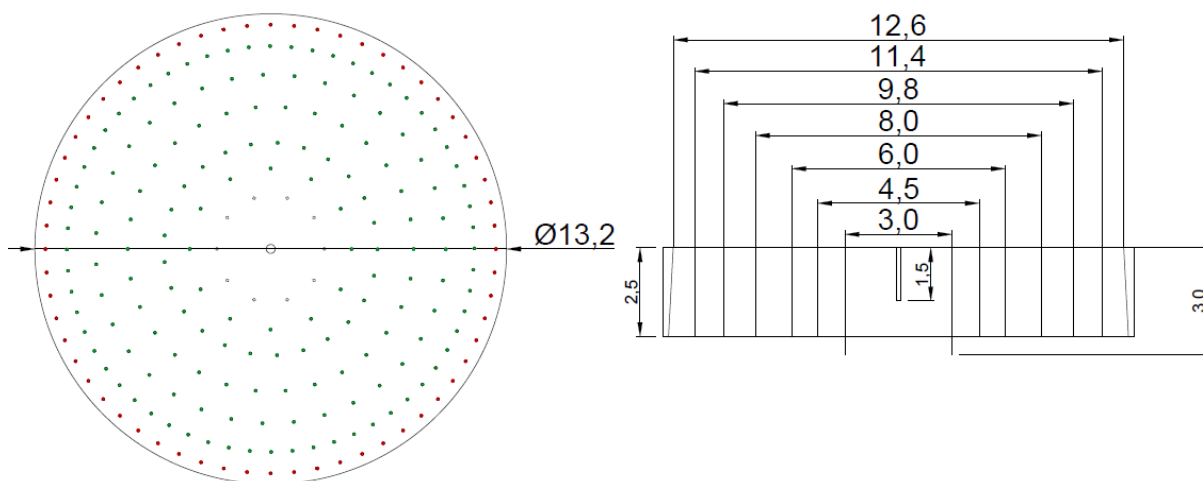
Joonis 17 Puurpink GM 100 GT [27]

5.3.5. Viies etapp

Viendas etapis läbindatakse Ediacara settekivimid umbes 100 m ulatuses aluskorra murenenud koorikuni. Läbindamise tehnoloogia on sarnane eelnevate etappidega, erinevus seisneb eelkõige külmunud kivimite lõhkamisel. Külmutamispuuraukude vigastamise vältimiseks on lõhkeaugud võrreldes eelnevate etappidega 0,5 m lühemad ja lõhatakse kahes etapis. Esmalt koonus-almurde lõhkeaugud hetklõhkamisega, mille järel koristatakse kobestunud kivimid ja selle järel lõhatakse raima- ja kontuurlaengud erinevates viiteseeriates ning spiraalselt. Almurde-lõhkeaukude eraldi lõhkamisega saadakse raima- ja kontuurlaengute jaoks täiendav vaba pind ja lõhketööde seismiline mõju külmutamispuuraukudele väheneb oluliselt. Täpsemad lõhketööde parameetrid on toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 8) ja lõhkeaukude paiknemine alljärgneval joonisel (Joonis 18).

Tabel 8 Puur-lõhketööde parameetrid külmunud liivakivis ja savis

Kaeveõõne läbimõõt, m	13,2
Lõhkeaugu pikkus, m	2,5
Puuraugu läbimõõt, mm	45
Ee edasinihke samm, m	2,1
Ee ristlõike pindala, m ²	137
Korruga lõhatava kivimi maht, m ³	291
Suletustegur k _s	0,64
Laengute arv ee lõhkamiseks	202
Koonus-almurde lõhkeaukude arv n*	10
Almurde puuraukude pikkus, m	3
Almurde mass, kg	3,0
Almurde topise pikkus, m	0,6
Raima- ja kontuurlaengute mass, kg	2,0
Topise pikkus raima- ja kontuurlaengul, m	0,90
Kontuurlaengute arv	30
Raimalaengute arv	162
Lõhkeaine tegelik kulu, kg	414
Padrunite arv	828
Lõhkeaine tegelik erikulu, kg/m ³	1,42
Puurtööde maht, m	510
Puurtööde erimaht, m/m ³	1,75



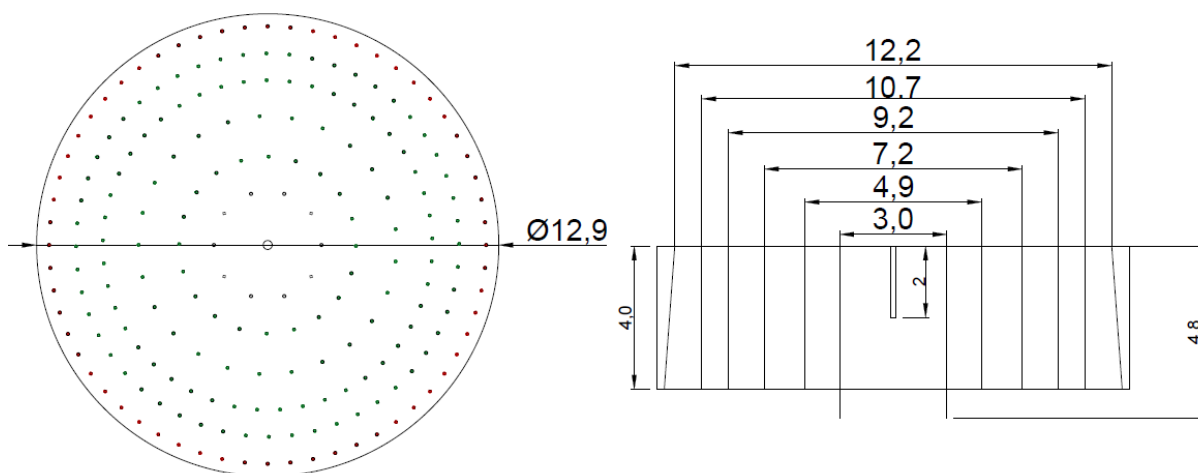
Joonis 18 Lõhkeaukude paiknemine külmunud savi ja liivakivi läbindamisel vt lisa 12.10

5.3.6. Kuues etapp

Kuuendas etapis läbindatakse murenenud aluskord 30 m ulatuses. Murenemiskooriku läbindamise järel saab alustada külmutatud kivimite üles sulatamist ja selle järel saab alustada tuulutusšahti külmutamisega. Peale murenemiskooriku läbindamist šahti läbimõõtu vähendatakse 12,9 meetrini, kuna murenemata aluskorras tüübingute kasutamine pole enam otstarbekas. Šahti seinad toetatakse ankrutega ning kaetakse 20 cm paksuse pritsbetooni kihiga. Lõhelistes kohtades võib kasutada ka armeeringut stabiilsuse suurendamiseks. Muus osas on läbindamise tehnoloogia eelnevate etappidega sarnane, erinevad ainult puur-lõhketööd, mille parameetrid on toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 9) ja joonisel (Joonis 19). Võrreldes eelnevate etappidega on lõhkeaukude sügavus 4 m. Lõhatakse kahes osas, esmalt koonus-almurde lõhkeaugud hetklõhkamisega ja sellele järgneb raimalaengute lõhkamine järgmises viiteseerias spiraalselt. Peale seda koristatakse lõhatud kivimid ning sellele järgneb viimane kontuurlaengute lõhkamine spiraalselt. Sellise tehnoloogia korral saavutatakse stabiilne, pritsbetooniga kindlustatud šahti sein.

Tabel 9 Puur-lõhketööde parameetrid aluskorras

Kaevõõne läbimõõt, m	12,9
Lõhkeaugu pikkus, m	4,0
Puuraugu läbimõõt, mm	45
Ee edasinihke samm, m	3,4
Ee ristlõike pindala, m ²	131
Korraga lõhatava kivimi maht, m ³	444
Suletustegur k _s	1,05
Laengute arv ee lõhkamiseks	178
Koonus-almurde lõhkeaukude arv n*	10
Almurde puuraukude pikkus, m	4,8
Almurde mass, kg	5,0
Almurde topise pikkus, m	0,8
Raima- ja kontuurlaengute mass, kg	4,0
Topise pikkus raima- ja kontuurlaengul, m	0,80
Kontuurlaengute arv	30
Raimalaengute arv	138
Lõhkeaine tegelik kulu, kg	723
Padrunite arv	1445
Lõhkeaine tegelik erikulu, kg/m ³	1,63
Puurtööde maht, m	721
Puurtööde erimaht, m/m ³	1,62



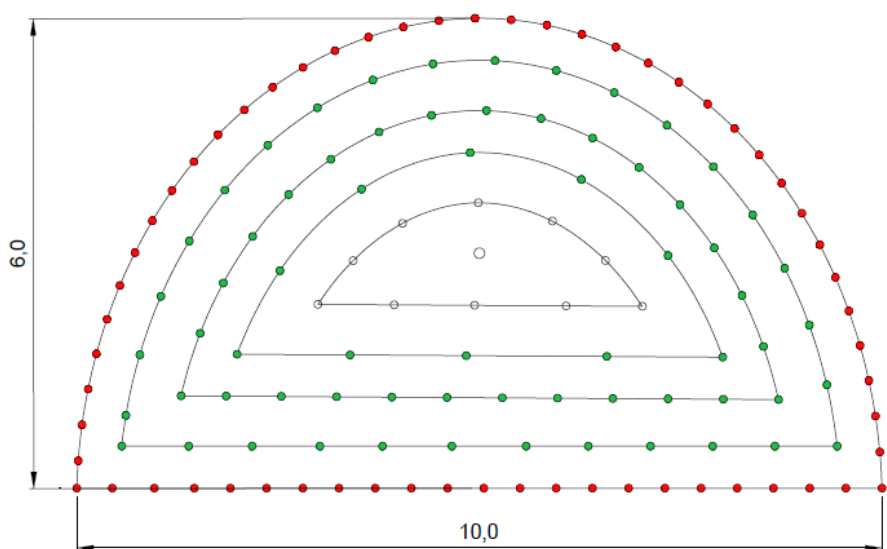
Joonis 19 Lõhkeaukude paiknemine aluskorra läbindamisel vt lisa 12.11

Kui aluskorras läbindades jõutakse 365 m sügavusele maapinnast, vertikaalšahti läbindamine peatatakse ja alustatakse esimese põikkäigu läbindamist. Selleks on eraldi puur-lõhketööde pass ja lõhketööde parameetrid on toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 10) ja joonis kaevõõne

läbilõikega ning lõhkeaukude paiknemisega (Joonis 20). Kaeveõõne läbilõige on võlvi kujuga (pool ellipsit). Laius on 10 m ning keskel kõrguseks 6 m.

Tabel 10 Puur-lõhketööde parameetrid aluskorra põikkäigus

Lõhkeaugu pikkus, m	4,0
Puuraugu läbimõõt, mm	45
Ee edasinihke samm, m	3,4
Ee ristlõike pindala, m ²	47
Korraga lõhatava kivimi maht, m ³	159
Suletustegur k _s	1,76
Laengute arv ee lõhkamiseks	107
Koonus-algmurde lõhkeaukude arv n*	10
Algmurde puuraukude pikkus, m	4,8
Algmurde mass, kg	5,0
Algmurde topise pikkus, m	0,8
Raima- ja kontuurlaengute mass, kg	4,0
Topise pikkus raima- ja kontuurlaengul, m	0,80
Kontuurlaengute arv	30
Raimalaengute arv	67
Lõhkeaine tegelik kulu, kg	436
Padrunite arv	872
Lõhkeaine tegelik erikulu, kg/m ³	2,74
Puurtööde maht, m	434
Puurtööde erimaht, m/m ³	2,73

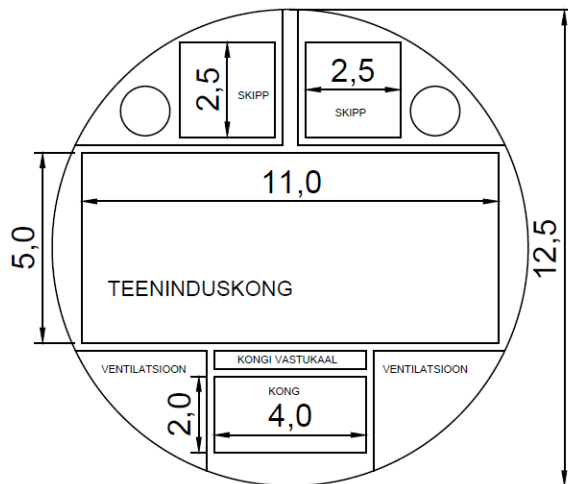


Joonis 20 Lõhkeaukude paiknemine aluskorras ning põikkäigu läbilõige vt lisa 12.12

Peašahti läbindamist saab jätkata peale seda, kui põikkäigu esi on liikunud piisavalt kaugemale, et sealne lõhkamine ei ohusta peašahti läbindamist ja *vice versa*. Peale seda saab samaaegselt mõlemas kohas läbindada. Sarnane tehnoloogiline paus peašahti läbindamisel tuleb ka 445 m sügavusel maapinnast, kus tuleb järgmise korruse põikkäik.

5.3.7. Peašahti sektsioneerimine

Šahti läbindamisele järgneb peašahti sektsioneerimine, kus arvestatakse kõiki faktoreid, mis mõjutavad šahti läbimõõdu valikut. Šahti sektsioneerimiseks (armeerimine) kasutatakse I-talasisid ning muid profiile. Talad asetsevad horisontaalselt ja vertikaalselt ning nende paigaldamine peab olema väga täpselt teostatud. Mõõda neid juhtlatte hakkavad skipid ning kongid liikuma. Peašahti sektsioneeritud läbilõige on toodud alljärgneval joonisel (Joonis 21). Šahtis on teeninduskong materjalide ja masinate jaoks, kaks skippi, kong inimeste tõsteks, sektsioonid ventilatsioonile ja muudele torudele ning juhtmete.



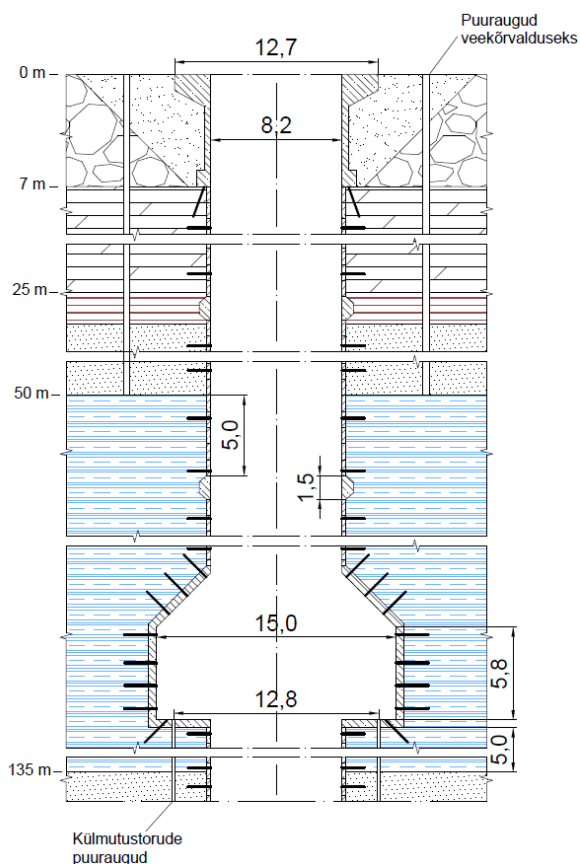
Joonis 21 Peašahti sektsioneeritud läbilõige, mõõtmed meetrites

5.4. Tuulutussahti läbindamine

Tuulutussahti läbindamise tehnoloogia on täpselt sama nagu peašahti korral. Šahti läbimõõt aluspõhja läbindamisel on 8,7 m ja aluskorras 8,6 m. Paigaldatav tüübingtoestiku paksus on 25 cm ja aluskorras pritsbetooni paksuseks on 20 cm. Raudbetoonist valatud kraed veekihtide isoleerimiseks on samade parameetritega nagu peašahti korral. Külmutuspuuraugud paiknevad läbimõõduga 12,8 m, puuritavate aukude vahekaugus on 1,3 m ja kokku on 31 puurauku. Kõik lõhketööde parameetrid on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 11) ja tuulutussahti läbilõige pealiskorra osas joonisel (Joonis 22).

Tabel 11 Lõhketööde parameetrid tuulutusšahti läbindamisel

Lõhketööde parameetrid	Etapp				
	2	3	4	5	6
Kaeveõõne läbimõõt, m	8,7				8,6
Lõhkeaugu pikkus, m	3	3,5	3	2,5	4
Puuraugu läbimõõt, mm	45				
Ee edasinihke samm, m	2,6	3,0	2,6	2,1	3,4
Ee ristlõike pindala, m ²	59				58
Korraga lõhatava kivimi maht, m ³	152	177	152	126	197
Suletustegur k _s	1,2	1,4	1,2	1,0	1,6
Laengute arv ee lõhkamiseks	69	57	86	133	119
Koonus-algmurde lõhkeaukude arv n*	10				
Algmurde puuraukude pikkus, m	3,6	4,2	3,6	3	4,8
Algmurde mass, kg	3,5	4	3,5	3	5
Algmurde topise pikkus, m	0,8	1	0,8	0,6	0,8
Raima- ja kontuurlaengute mass, kg	3	3	3	2	4
Topise pikkus raima- ja kontuurlaengul, m	0,6	1,1	0,6	0,9	0,8
Kontuurlaengute arv	30	30	30	30	30
Raimalaengute arv	29	17	46	93	79
Lõhkeaine tegelik kulu, kg	211	182	263	276	485
Padrunite arv	423	364	526	552	970
Lõhkeaine tegelik erikulu, kg/m ³	1,4	1,0	1,7	2,2	2,5
Puurtööde maht, m	212	208	264	338	483
Puurtööde erimaht, m/m ³	1,4	1,2	1,7	2,7	2,4



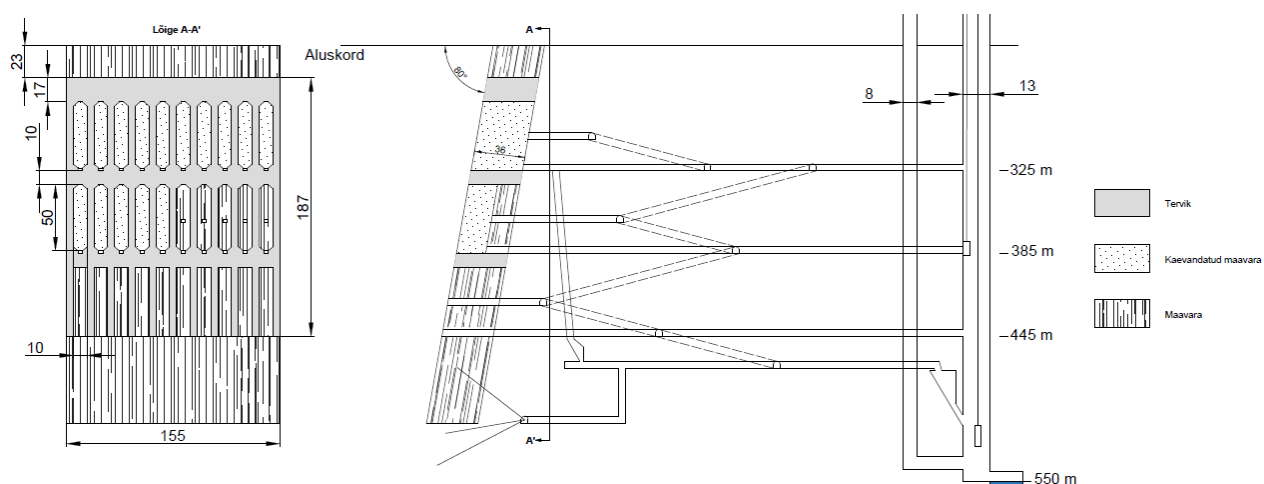
Joonis 22 Tuulutusšahti läbilõige vt lisa 12.13

6. KAEVANDAMISTEHNOLOOGIA VALIK JA KIRJELDUS

Jõhvi rauamaagikaevanduses on võimalik kasutada kahte tehnoloogiat kaevandamiseks, nendeks on alakorrustega varistamine (*sub-level caving*) ja täitväljamine (*cut-and-fill stoping*). Nende kahe kaevandamistehnoloogia eeliseks on maapinna stabiilsus ja varingute oht on mäerõhku juhtides minimaalne. Mäekonstruktsioonid peavad olema püsivad, sest varingu korral võib hakata pealmistest veekihtidest vesi kaevandusse tungima.

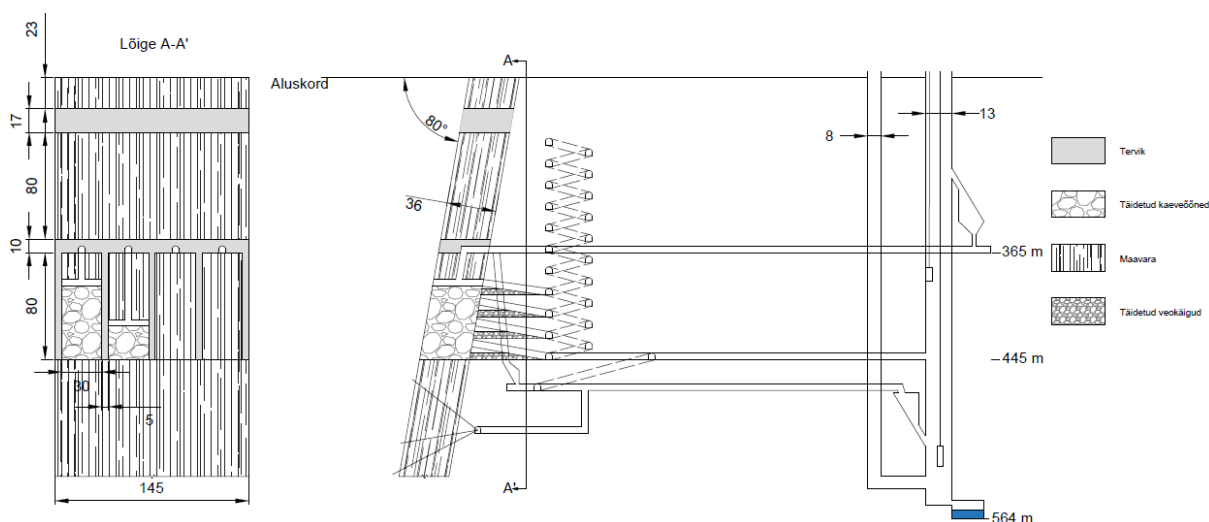
Alakorrustega varistamise korral on mäetööde suund ülevalt alla ja tekitatakse löövkambrid, milles kaevis gravitatsiooni jõul variseb kogumiskäiku. Alakorrustele pääsemiseks rajatakse korruste vahele kalkäigud. Tänapäeva puurpinkide abil suudetakse puurida alakorrustel kuni 60 m puurauke [28] ehk kambri kõrguseks on 120 m. Sellistes kaevandustes lastakse lasumil variseda ning varingud jõuavad tavaliselt maapinnale. Jõhvis tekkivate kambrite stabiilsuse tagamiseks on alakorruused 25 m kõrgemal kogumiskäigust ning puuritakse alakorruselt üles ja alla. Tekkiva kambri kõrguseks tuleb 50 m. Kogumiskäigust koristatakse kaevis kopplaaduriga

ja mööda liugu transporditakse purustisse, kust konveieril edasi läheb kaevis punkrisse ning sealt tõstetakse skipiga maapinnale. Jõhvis tuleb puur-lõhketöid nii projekteerida, et kambri lakke tekiks võlv ja tekkivad kambriid jäävad stabiilseks. Kaevanduse tuulutamiseks suunatakse värske õhk peašahtist kaevandusse ning juhitakse läbi kambrite tuulutuseks rajatud põikkäikudesse ning läbi tuulutussahtis maapinnale. Kaevanduse põhimõtteline skeem on toodud alljärgneval joonisel (Joonis 23).



Joonis 23 Alakorrustega varistamise põhimõtteline skeem vt lisa 12.14

Täitväljamise korral liiguvad mäetööd alt üles. Kaevandatavad plokid on palju suuremate mõõtmetega, sest kaeveõõned täidetakse. Täidetakse rauamaagi rikastusjääkidega või muu materjaliga, kasutatakse ka kivistuvat täidet kaeveõõnte täitmiseks. Jõhvi rauamaagikaevanduse korral saab täitematerjali põlevkivitööstuse aherainepuistangutest, rikastamisjäätmete kasutamine on ka võimalik, aga nende kasutamine on raskendatud. Mäetööde käigus liigub esi suunaga alt üles, lõhatakse umbes 4 m korruga, lõhketööde käigus tuleb kaeveõõnte stabiilsuse tagamiseks anda neile võlvi kuju. Ligipääsuks koristuskaeveõõntele ja kaevisse transpordiks kasutatakse kalkkäike, mida ee liikumise järel arendatakse alt üles vanade käikude täitmisega või rambit uue ligipääsu läbindamisega. Kaevis transporditakse kopplaaduriga liugu, kust kaevis läheb purustisse, konveieril edasi punkrisse ning sealt tõstetakse skipiga maapinnale. Täide lastakse skipiga kaevandusse eraldi punkrisse, kust lintkonveieriga transporditakse kaevis kaevandatava ploki keskele ja lastakse mööda pimešahti töökõrgusele, kus kaeveõõned täidetakse kopplaadurite või buldoosritega kogu kaevandatav ala ulatuses. Tuulutuse tagamiseks suunatakse värske õhk mööda peašahti kaevandusse, juhitakse läbi pimešahti üles ning sealt tuulutussahti. Täitväljamise põhimõtteline skeem on toodud alljärgneval joonisel (Joonis 24).



Joonis 24 Täitväljamise põhimõtteline skeem vt lisa 12.15

Jõhvi rauamaagikaevanduses saab mõlemat tehnoloogiat rakendada, kuid maapinna stabiilsuse tagamiseks on otstarbekam täitväljamise kasutamine. Kaeveõõned täidetakse ning varingute tekkimine on välistatud. Lisaks on täitväljamise korral maavara kadu väiksem. Ainus negatiivne külg on, see et täitväljamine on suurema töömahuga ning kaevandamine on kulukam.

Kaevanduse ettevalmistamisel tuleb vertikaalšahtide rajamisel läbindada kokku 117 tuh m³ kivimeid ning muude kaeveõõnte läbindamise maht kokku on 111 tuh m³ (Tabel 12). Välja toodud mahud on ainult ettevalmistamise suhtes, mahuarvutses puuduvad maagikihini viivad kalkkäikude ning lamamis asuva rambi läbindamise mahud, kuna neid arendatakse mäetööde käigus ning ettevalmistavas osas neid välja toodud pole.

Tabel 12 Kaevanduse avamise läbindustööde maht

Vertikaalšahtide läbindamise maht, m ³			Kaeveõõnte läbindamise maht, m ³	
Ajastu	Peašaht	Tuulutusaht	Hooldusruumid	2300
Kvaternaar	2873	1874	Kütusehoidla	920
Ordoviitsium	2702	1178	Lõhkeaine ladu	460
Kambrium	17516	7151	Personali ruumid	920
Ediacara	13548	5885	Põikkäik	69000
Murenenud aluskord	4105	1783	Tuulutuskäik	34500
Aluskord	41092	17436	Sump	100
Kokku	81837	35308	Punkrid	2500
Kokku	117144		Liug	400
			Kokku	111100

7. MAJANDUSHINNANG

Majandushinnang on tehtud Enno Reinsalu poolt koostatud arvutusmudeli põhjal, mis on koostatud Thomas W. Cammi metoodikale tuginedes [29][30]. Kaevandamise alustamine on võetud eelnevalt mainitud Rio Tinto prognoosi põhjal, kui 2030. aastaks tõuseb terase nõudlus 65%. Aastane kaevandamismaht on 1 mln tonni ja kaevanduse rajamise kapitalikulu Cammi metoodika põhjal on 149 mln € ja kaevise hind ilma väärindamata 66 €/t (Tabel 13).

Tabel 13 Majandusarvutus Cammi metoodika põhjal

Kaevandus	Jõhvi rauamaagikaevandus	
Sügavus, m	445	
Aastatootlus, tuh t	1000	
Toodang päevas, tuh t	4	
Aherdumine, %	5	
Saagis, %	85	
Aasta	2030	
Kaevandamise kapitali- ja käidukulu		
	Kapitalikulu, M EUR	Käidukulu, EUR/t
Sügavuse mõju	20	7
Väljamise mõju	128	59
Kokku	149	66

Cammi metoodika on koostatud USA kõrbeliste piirkondade kaevanduste alusel. Selle metoodikaga ei arvestata veekõrvalduse hinda, millega tuleb Jõhvi rauamaagi juures arvestada šahtide rajamisel. Kõige kulukam osa šahtide rajamise juures on Kambrium-Vendi veehorisoni läbindamine, kus külmutatakse kivimid. Ameerika Ühendriikides koostatud šahtide ajutise toestamise metoodikate võrdluse alusel on külmutamise tehnoloogia 50-100% kallim kui teised meetodid. Sellise hinnangu põhjal on külmutamise hind 2700-3600 €/m² [31]. Peašahti külmutamise maksumus on sellisel juhul 45-60 mln €. Tuulutusahti külmutamise maksumus on 19-26 mln €. Külmutamise maksumust mõjutab põhjavee liikumise kiirus, mineraalsus, kivimite soojusjuhtivus, külmutusseadme võimsus, külmutuslahuse liikumise kiirus, külmutuspuuraukude omavaheline kaugus jne. Seega kaevanduse rajamise maksumus sõltub väga suurelt veekihtide läbindamisest ja võib ulatuda kuni 235 mln €

8. KAEVANDAMISE MÕJU KESKKONNALE

Rauamaagikaevandus on süvakaevandus ja kaevandamise ajal on selle eeldatav keskkonnamõju suhteliselt väike. Kaevandamise ajal on maapealse tööstusplatsi mõju võrreldav tavaliste, maavarde kaevandamisega mitte seotud tööstusettevõtetega. Tootmisplatsi asukoht on metsaga ümbritsetud alal ja keskkonnamõju on väga väikese ulatusega.

Kõige suurem keskkonnamõju on kaevanduse avamise jooksul, kui läbindatakse vertikaalšahte läbi veekihtide. Konkreetselt selle asukoha kivimite veejuhtivused pole teada ja seega on vee alanduse hindamine äärmiselt komplitseeritud. Lihtsa mudeli põhjal on Ordoviitsiumi veehorisondi depressioonilehtri mõju kuni 700 m, Ordoviitsiumi-Kambriumi veehorisondi depressioonilehtri mõju on kuni 450 m [32] ja Kambriumi-Vendi veekihtides alandust ei toimu. Selle eelprojekti raames välja toodud lahenduse põhjal on veetaseme alandamine võimalikult lühiajaline ja koheselt peale šahtide isoleerimist lõpetatakse veekihtides pumpamine ja loomulik veetase taastub mingi aja jooksul.

9. SOOVITUSED UURINGUTE SUUNAMISEL

Maapõuepoliitika põhialustes aastani 2050 on rauamaak välja toodud kui perspektiivne maavara ja ei saa välistada asjaolu, et aastakümnete pärast on rauamaagi kaevandamine Eestis reaalsus.

Seniste uuringute põhjal on väga vähe teada tegelikust geoloogilisest ehitusest. Käesoleval ajal olemasolevatest andmetest on alles ainult kahe puuraugu puursüdamikud ja aruanded teistest uuringutest, mille puursüdamikud on kõik hävinenud. Rauamaagi uurimiseks on vaja alustada olemasolevate andmete töötlemisest tänapäeva tehnilisi võimalusi ära kasutades. Nende andmete põhjal saaks täpsemalt suunata geofüüsikalisi uuringuid ja alles siis välja valitud asukohtades puurida uued puuraugud.

10. KOKKUVÕTE

Mäendustingimused on keerulised suure lasumissügavuse tõttu. Kaevanduse avamiseks on vaja läbindada kogu settekivimite kompleks, milles on erinevad veehorisondid. Kaevanduse avamise asukoha valikul kaaluti kolme varianti ja täpsed šahti asukohad on eelprojekti raames määratud.

Valiti eri kihtide jaoks erinevad šahti rajamise tehnoloogiad sõltuvalt mäendustingimustest. Töötati välja kuue-etapiline vertikaalšahtide läbindusskeem, kus erinevate kivimikomplekside läbindamisel kasutatakse erinevaid tehnoloogilisi lahendusi, näiteks veekõrvaldus pumpamisega või külmutamisega, raudbetooniga veekihtide isoleerimine, erinevate toestike kasutamine jne.

Töötati välja kaevandamise tehnoloogilise skeemi kaks eskiislahendust – alakorrustega varistamine ja täitväljamine. Sobilikuna valiti välja täitväljamine, millega saavutatakse suurem maapinna stabiilsus ja väiksem maavara kadu. Täitväljamise tehnoloogiale määrati kaevanduse avamise orienteeruv maksumus, milleks on kuni 235 mln €

Rauamaagikaevanduse keskkonnamõju on kõige suurem šahtide läbindamise etapis, kui läbindatakse vertikaalšahte veetaset alandades. Peale šahtide läbindamist on mõju keskkonnale väike ja võrreldav tavaliste, maavarade kaevandamisega mitte seotud tööstusettevõtetega.

Seniste uuringute põhjal on väga vähe teada tegelikust geoloogilisest ehitusest. Järgnevate uuringutega tuleb alustada olemasoleva informatsiooni läbi töötamisega ja nende andmete põhjal saab välja valida uute puuraukude asukohad.

Kokkuvõtvalt võib tulevikus Jõhvi rauamaagikaevandus muutuda perspektiivseks ja seega peaks kindlasti leiukohta täpsemalt uurima riiklikul tasandil.

11. KASUTATUD KIRJANDUS

1. Reinsalu, E. 2013. Eesti mäendusklassika III: Arthur Aleksander Linari-Linholm artiklid. Tallinn Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut.
2. Ümera, A. 1937. Rauapalavik Jõhvis haripunktil - *Päevaleht*. 12.11.1937.
3. Riigikogu otsus Maapõuepoliitika põhialused aastani 2050 410 OE. Riigikogu. [Võrgumaterjal] www.riigikogu.ee/tegevus/eelnoud/eelnou/731f32b1-1411-4b56-8a6e-1acd108359f8/Riigikogu%20otsus%20Maap%C3%B5uepoliitika%20p%C3%B5hialused%20aastani%202050 (21.05.2017).
4. Must, B. 2015. Rio Tinto: rauamaagi nõudlus kasvab - *Äripäev*. 03.09.2015.
5. Shtokalenko, M., Bromley-Challenor, M., Petersell, V., All, T. 2009. Seletuskiri Jõhvi uuringuruumi üldgeoloogilise uuringuloa taotluse juurde. Tallinn :Eesti Geoloogiakeskus, Geoforum Skandinavia AB.
6. Riigi kinnisvararegister. [Võrgumaterjal] Rahandusministeerium. www.riigivara.fin.ee/kvr/vara/kinnisvarad (05.05.2017).
7. Keskkonnaregistri avalik teenus. [Võrgumaterjal] Keskkonnaministeerium. www.register.keskkonnainfo.ee/envreg (05.05.2017).
8. Maaparandussüsteemide register. [Võrgumaterjal] Põllumajandusamet. www.portaal.agri.ee/avalik/#/maaparandus/ (05.05.2017).
9. VEKA, Keskkonnaregistrisse kantud puurkaevu andmed. [Võrgumaterjal] Keskkonnaagentuur. www.veka.keskkonnainfo.ee/veka.aspx?pkArvestus=1924746732 (07.05.2017).
10. Erisalu, E., Arvisto, E., Norman, A., Dantšenko, V., Koppelmaa, H., Niin, M., Kivisilla, J. 1969. Aruanne aluskorra uuringust Jõhvi magnetanomaalia alal ja selle ümbruses. EGF 3032.
11. Suuroja, K., Ploom, K., Mardim, T., Vahtra, T., All, T., Veski, A., Kõiv, M., Otsmaa, M. 2008. Eesti geoloogilise baaskaardi Kohtla-Järve (6444) leht. Seletuskiri. Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus.
12. How ore is mined. 2013. Luleå : Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag.
13. Neumann, M. 1944. Jõhvi rauamaagi kaevanduse projekt. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Mäeosakond.
14. Käärt, U. 2009. Rootslased ihuvad Virumaa rauamaagi peale hammast - *Eesti Päevaleht*. 02.11.2009.

15. Karise, V., Metsur, M., Perens, R., Savitskaja, L., Tamm, I. 2004. Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse. Tallinn: Eesti Põhjaveekomisjon, Maves AS.
16. Reinsalu, E. 2008. Mäemajandus. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut.
17. Lowrie, R. L. 2002. SME Mining Reference Handbook. Colorado : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
18. Mechanized shaft construction for a profitable future in mining. [Võrgumaterjal] Herrenknecht AG. www.herrenknecht.com/en/products/core-products/mining (12.05.2017).
19. Tehnikaleksikon. 1981. Tallinn : Valgus.
20. BetoniPlast. Hüdroisolatsioonid. [Võrgumaterjal] www.betoniplast.eu/hydroisolatsioonid (12.05.2017).
21. Tatiya, R. 2005. Surface and Underground Excavations: Methods, Techniques and Equipment. London: A. A. Balkema.
22. Lemminkäinen Eesti AS. Terasest sulundseinad. [Võrgumaterjal] www.lemminkainen.ee/taristu/geotehnilised-tood/terasest-sulundseinad (12.05.2017).
23. Chadwick, J. 2011. The most modern shafts. International Mining.
24. Precast Tunnel & Shaft Solutions. Cadeby : FP McCann Ltd., 2016.
25. Fifandi. Mining. [Võrgumaterjal] www.fifandi.wordpress.com/2014/01/31/mining (17.05.2017).
26. Inseneribüroo Steiger OÜ. 2008. Maardu II graniidikaevanduse mäetööde tehnilised lahendused.
27. Geomachine OY. GM 100 GT brošüür. [Võrgumaterjal] Geomachine OY. www.geomachine.fi/_media_1910_/PDF/GM_Tekninen_erittely_GM100GT.pdf (18.05.2017).
28. Gertsch, R., Bullock, R. 1998. Techniques in Underground Mining. Littleton : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc.
29. Camm, T. W. 1991. Simplified Cost Models For Prefeasibility Mineral Evaluations. Bureau of Mines: Information Circular.
30. E, Reinsalu. 2017. Kaevandamise kapitali- ja käidukulu hindamise meetodika arvutusmudel. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool.
31. Elnabolsy, K. 2015. Shaft construction methods comparison. Denver : North American Society for Trenchless Technology.

32. Government of Western Australia. Cone of depression. Department of Environment Regulation. [Võrgumaterjal] www.der.wa.gov.au/your-environment/acid-sulfate-soils/66-cone-of-depression (19.05.2017).
33. Tomberg, T. 2015. Vertikaalkaevetõõnte läbindamine, Allmaakaevandamise konspekt.

12. LISAD

12.1. Lõhketööde arvutamise meetodika

Kaeveõõnte läbindamine ühe vaba pinnaga lõhkamisel [33].

Ee edasinihke samm, m:

$$L_b = l_d \eta$$

l_d – lõhkeaugu sügavus, m

η – lõhkeaugu kasutegur

Korruga lõhatava kivimi maht, m³:

$$V = AL_b$$

A – ee ristlõike pindala, m²

Suletustegur:

$$k_s = \frac{3 \times l_d}{\sqrt{A}}$$

Lõhkeaine erikulu, kg/m³:

$$q = q_1 k_1 k_s K_p$$

q_1 – lõhkeaine erikulu, kg/m³

k_1 – kivimi struktuuritegur

K_p – lõhkeaine parandustegur

Lõhkamiseks vajalik lõhkeaine kogus, kg:

$$Q = qV$$

Laengu keskmine mass ühes lõhkeaugus, kg:

$$Q_l = q_l l_d k_t$$

q_l – laengu jaotatud mass, kg/m

k_t – lõhkeaugu täitetegur

Laengute arv ee lõhkamiseks:

$$n = \frac{Q}{Q_l}$$

Lõhkeaine tegelik kulu, kg:

$$Q_{tegelik} = nQ_l + (n - n^*)Q_l$$

n^* - algmurde lõhkeaukude arv

Lõhkeaine tegelik erikulu, kg/m³:

$$q_{tegelik} = \frac{Q}{V}$$

Puurtööde maht, m:

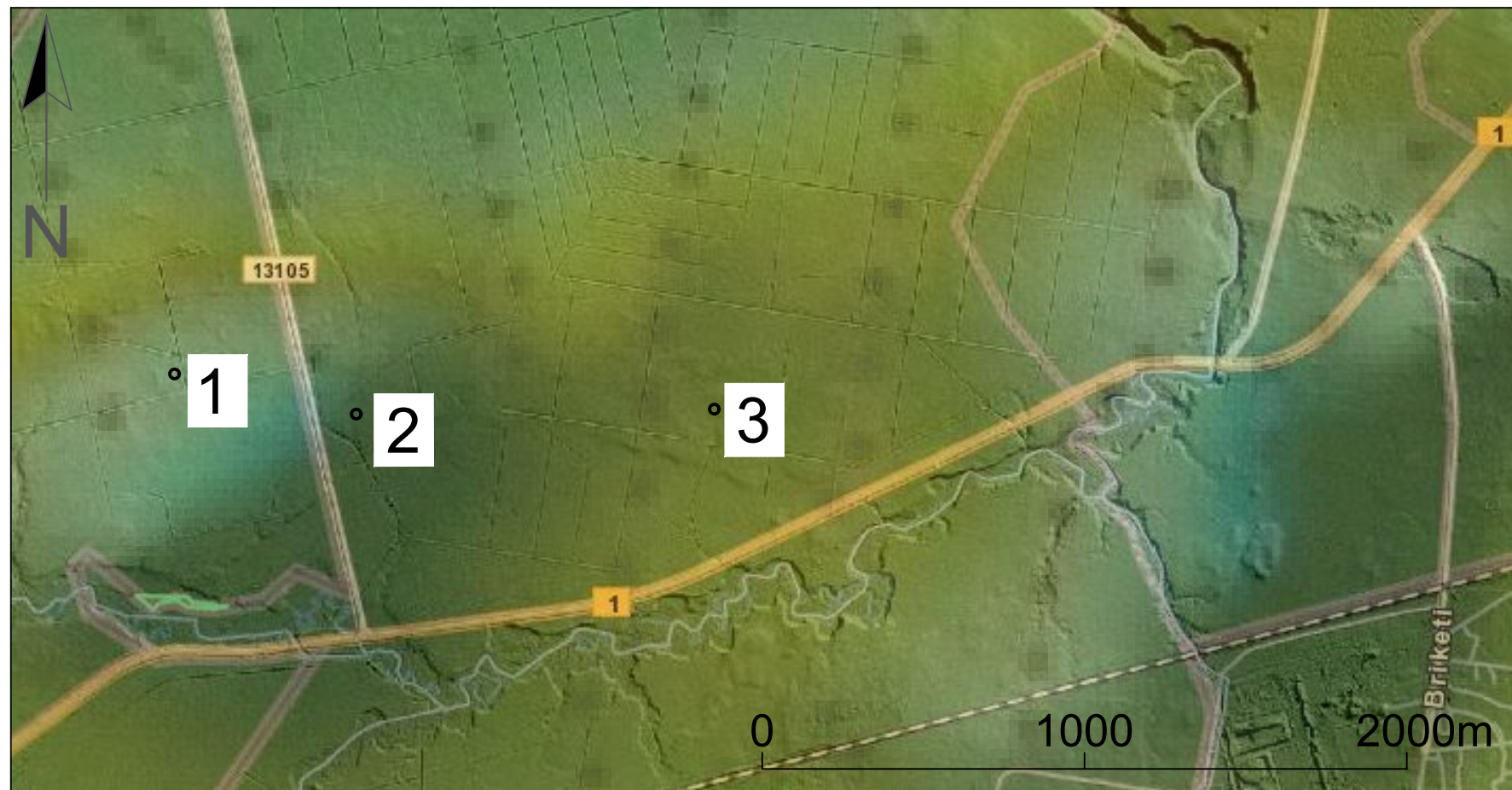
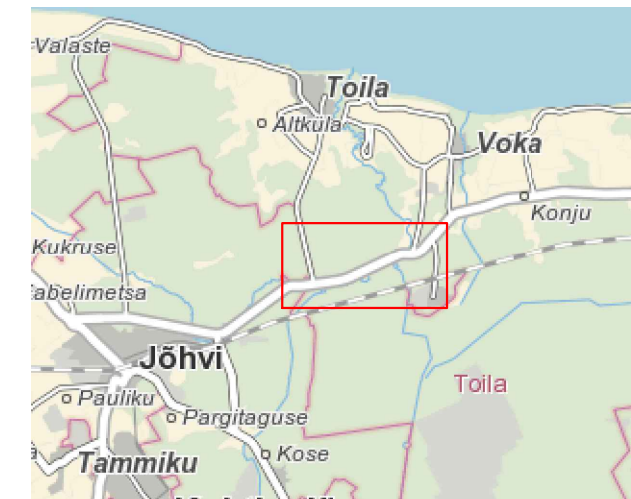
$$PT = n^*l_{algm} + (n - n^*)l_d$$

l_{algm} – algmurde lõhkeaukude pikkus, m

Puurtööde erimaht, m/m³:

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

ASENDIPLAAN M 1: 200 000

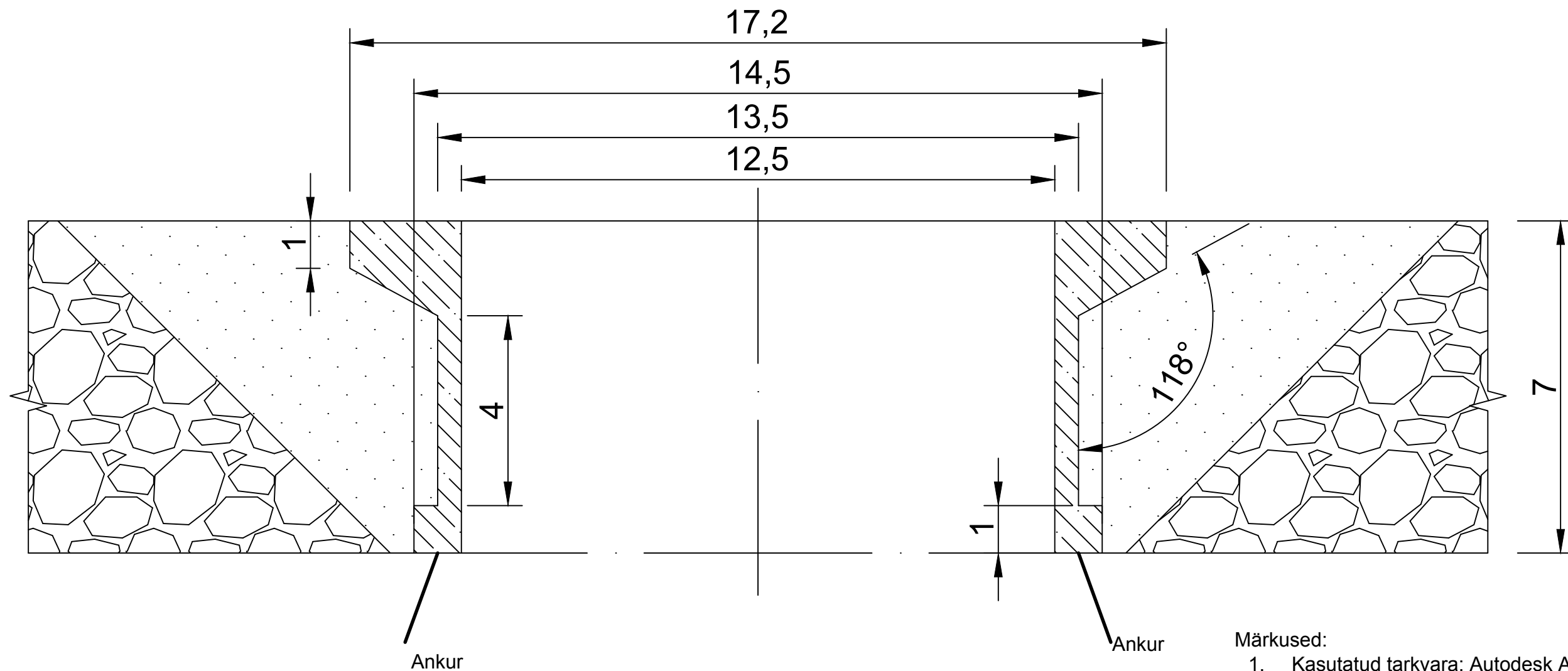


◦ Šahtide asukoht

Märkused:

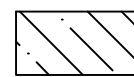
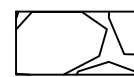
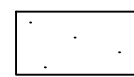
1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018 (litsents: TTÜ Education Stand-alone)
2. Magentilised anomaaliad magnetvälja totaalkvektori intensiivsuse alusel.
3. Asendiplaan: Maa-ameti X-GIS kaardirakendus


Magistritöö teema	Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt	Kaevanduse avamise asukohtade variandid	
 <p>Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010</p>		Töö nr 1704M Joonis nr 1
Tudeng:	Sander Kanter 153724YAEM	Kuupäev 13.05.2017
Juhendaja:	Tõnu Tomberg MSc	

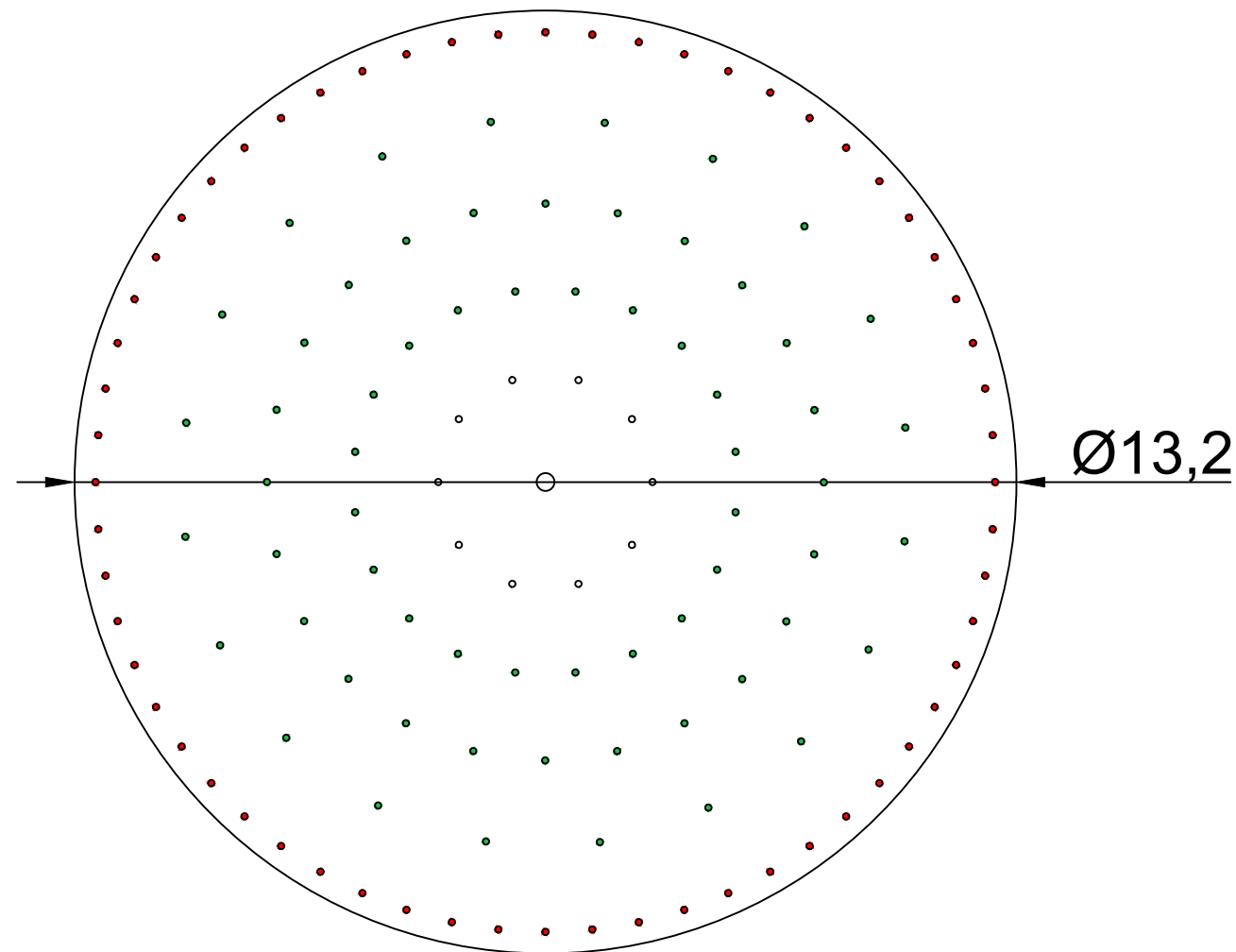
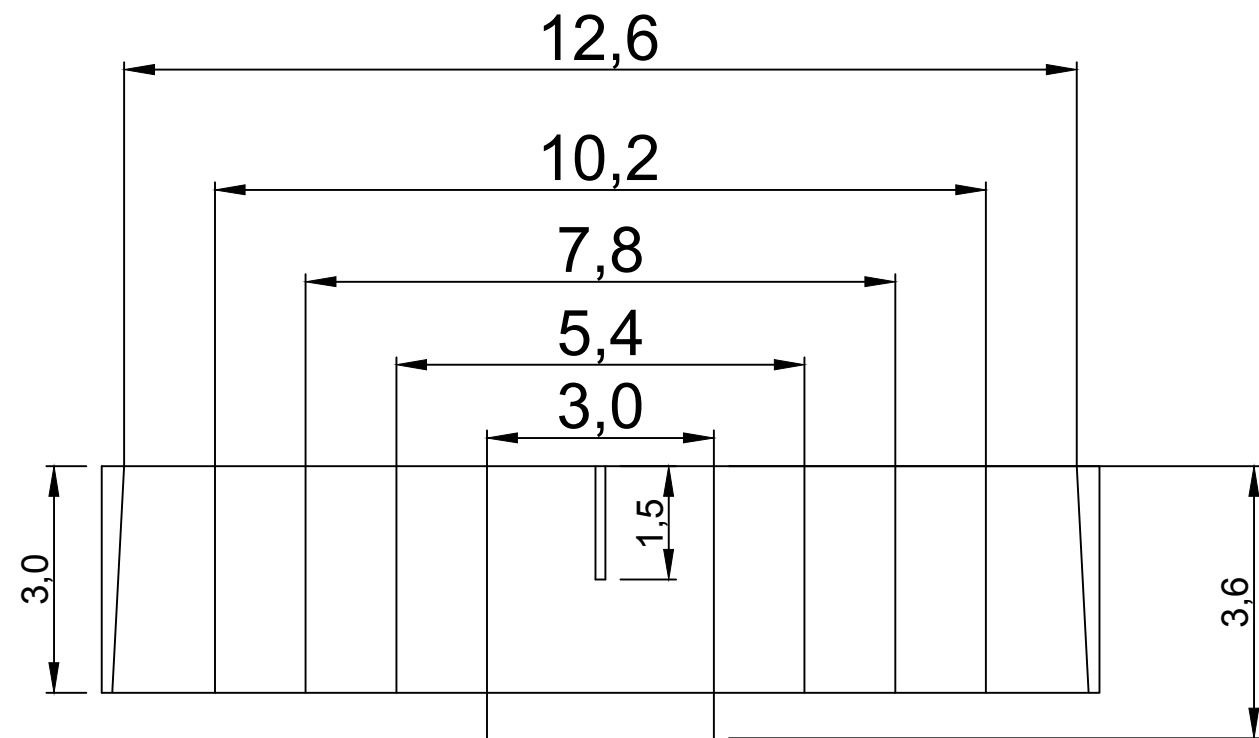


Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018
(litsents: TTÜ Education Stand-alone)

	Beton toestik
	Pinnakate
	Täitepinnas

Magistritöö teema		Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt		Šahti läbindamise esimene etapp. Šahti krae läbilõige	
	Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010		Töö nr 1704M
			Joonis nr 2
Tudeng: Sander Kanter 153724YAEM		Möötkava 1: 100	
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc		Kuupäev 14.05.2017	

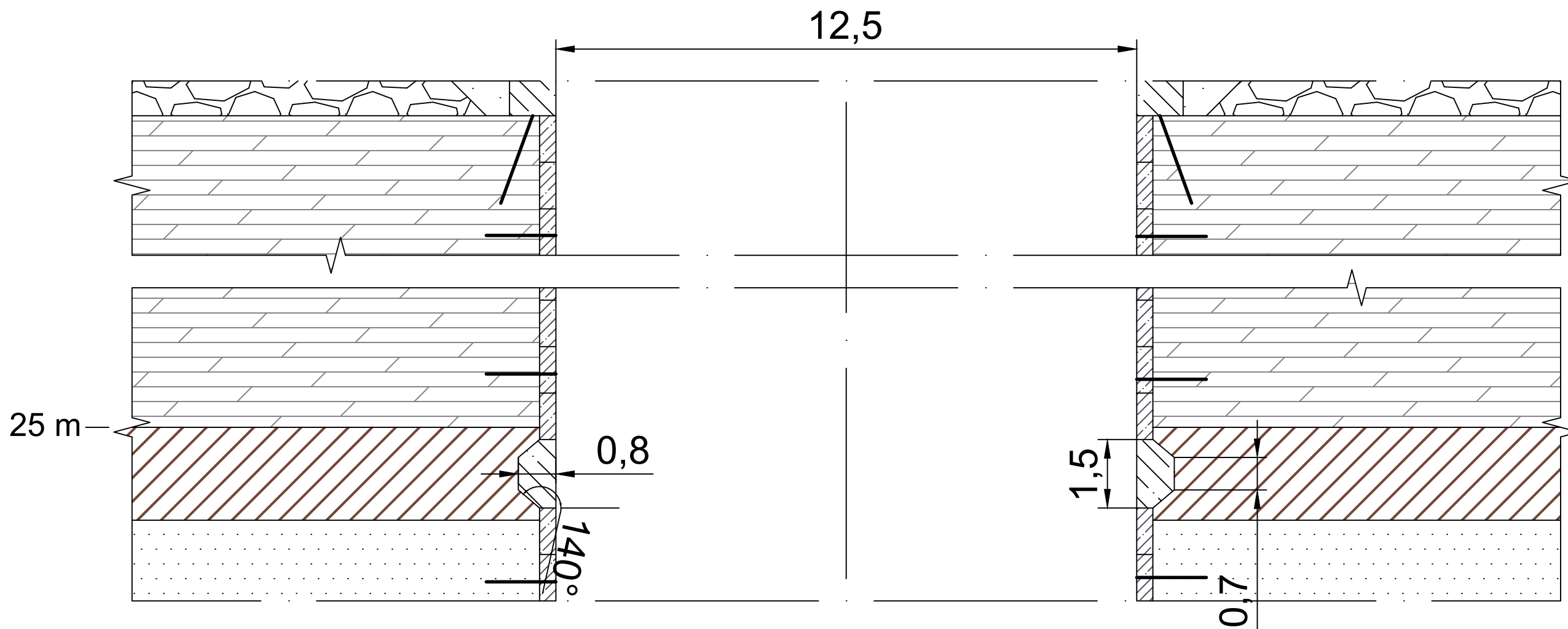


- Algmurde laenguaugud, 10 tk
- Raimalaengud, 64 tk
- Kontuurlaengud, 30 tk
- Täiendav vabapind, 127 mm

Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018 (litsents: TTÜ Education Stand-alone)
2. Lõhkeaukude läbimõõt 45 mm
3. Kontuurlaengud laetakse üle ühe

Magistritöö teema		Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt		Lõhkeaukude paiknemine lubjakivis lõhates	
	Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010		Töö nr 1704M
			Joonis nr 3
Tudeng: Sander Kanter 153724YAEM		Möötkava 1: 100	
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc		Kuupäev 14.05.2017	

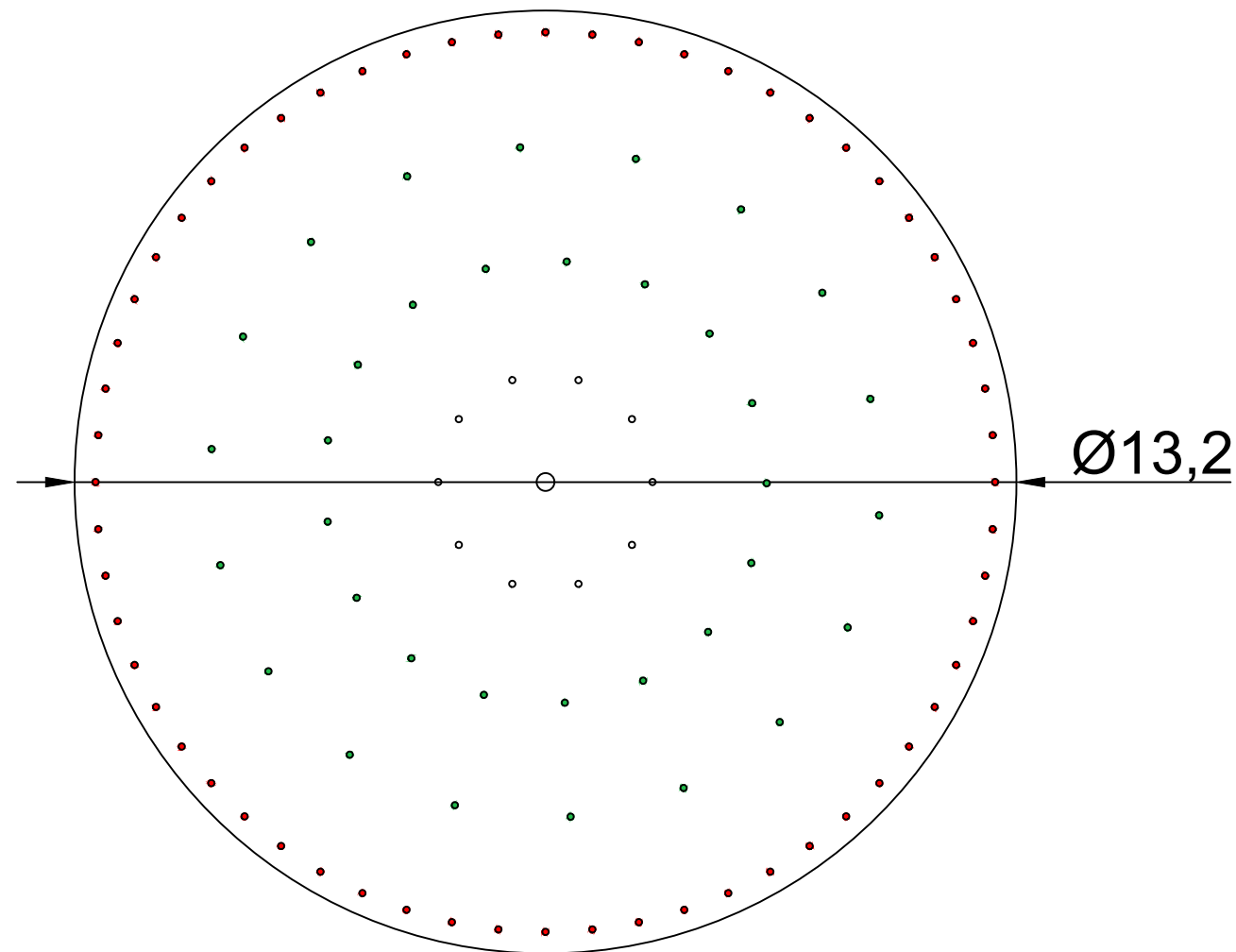
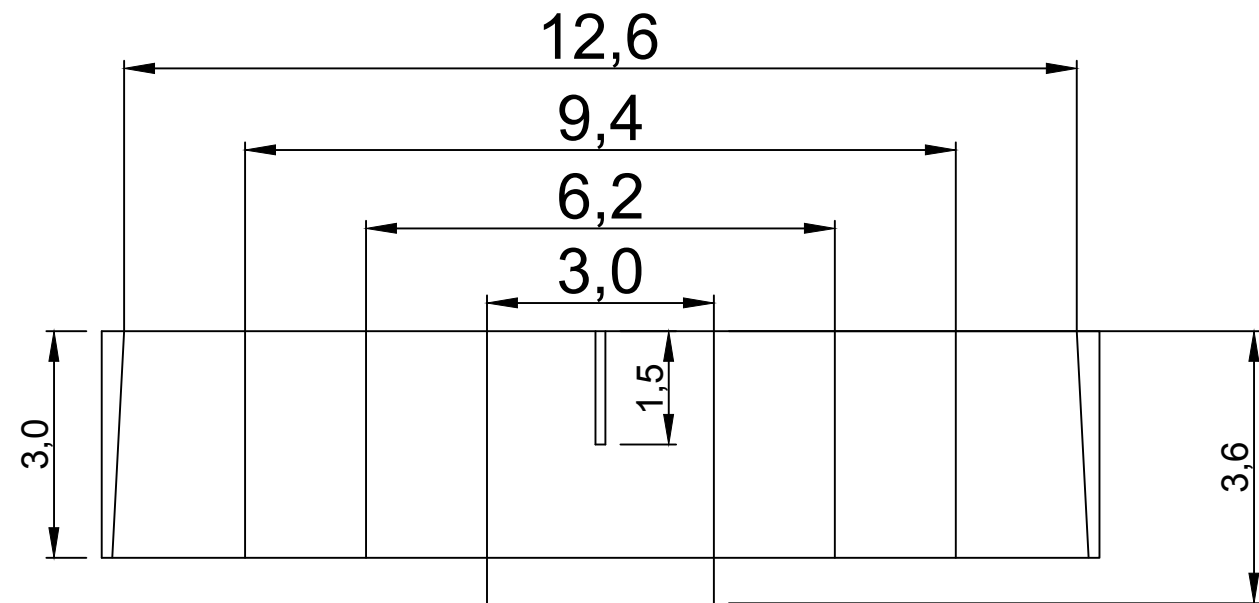


Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018
(litsents: TTÜ Education Stand-alone)

	Tüübing toestik		Ordoviitsiumi kivimid
	Betoon toestik		Graptoliitargilliid
	Pinnakate		Oobolusliivakivi
	Täitepinnas		Ankrud

Magistritöö teema		Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt		Šahti läbindamise teine etapp	
	Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010		Töö nr 1704M
			Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc
Tudeng: Sander Kanter 153724YAEM		Möötkava 1: 100	
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc		Kuupäev 14.05.2017	

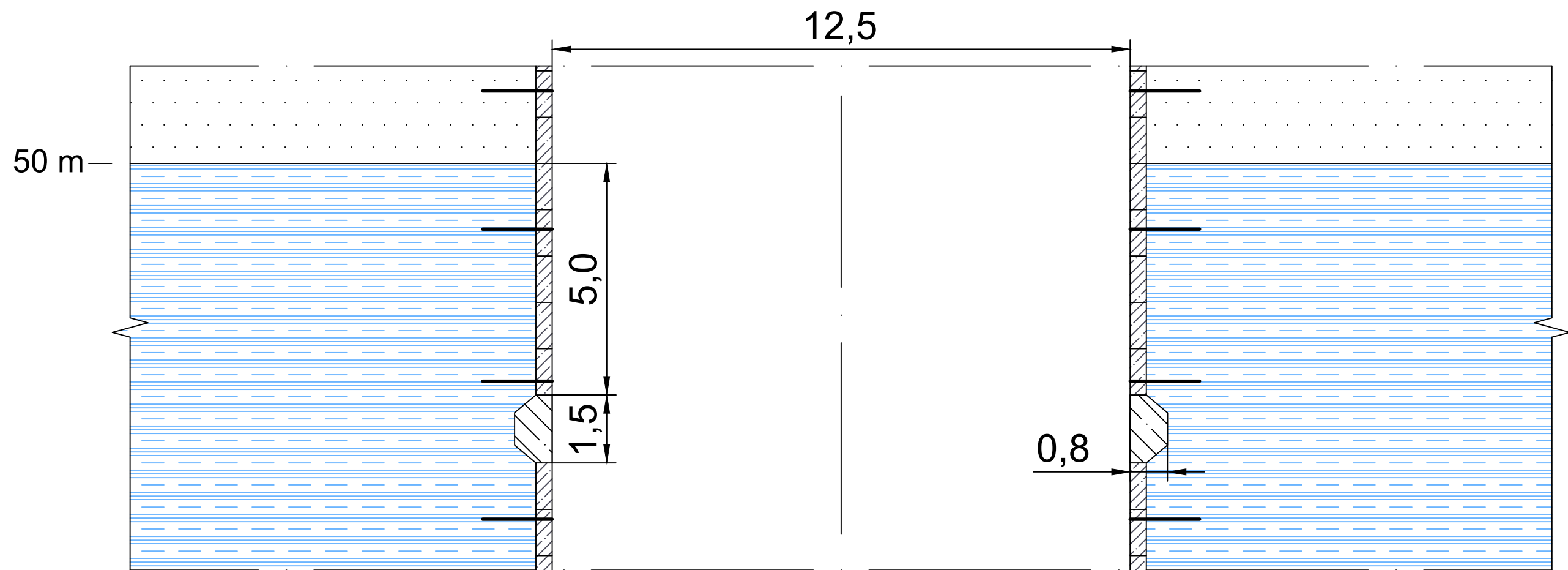


- Algmurde laenguaugud, 10 tk
- Raimalaengud, 35 tk
- Kontuurlaengud, 30 tk
- Täiendav vabapind, 127 mm

Märkused:

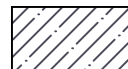


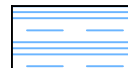
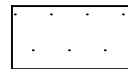
1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018 (litsents: TTÜ Education Stand-alone)
2. Lõhkeaukude läbimõõt 45 mm
3. Kontuurlaengud laetakse üle ühe

Magistritöö teema		Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt		Lõhkeaukude paiknemine liivakivis lõhates	
	Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010		Töö nr 1704M
			Möötkava 1: 100
Tudeng:	Sander Kanter 153724YAEM	Kuupäev 17.05.2017	
Juhendaja:	Tõnu Tomberg MSc		

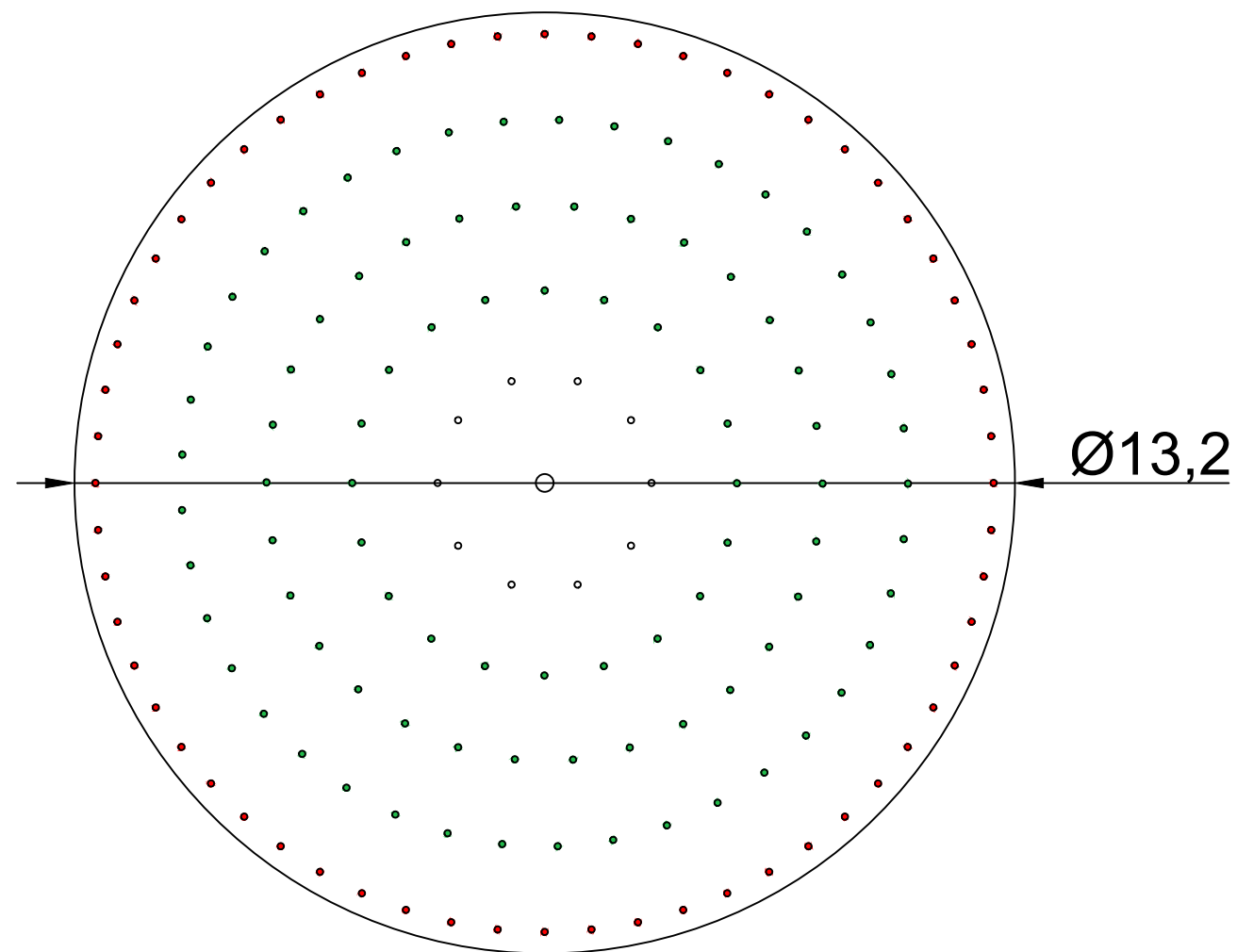
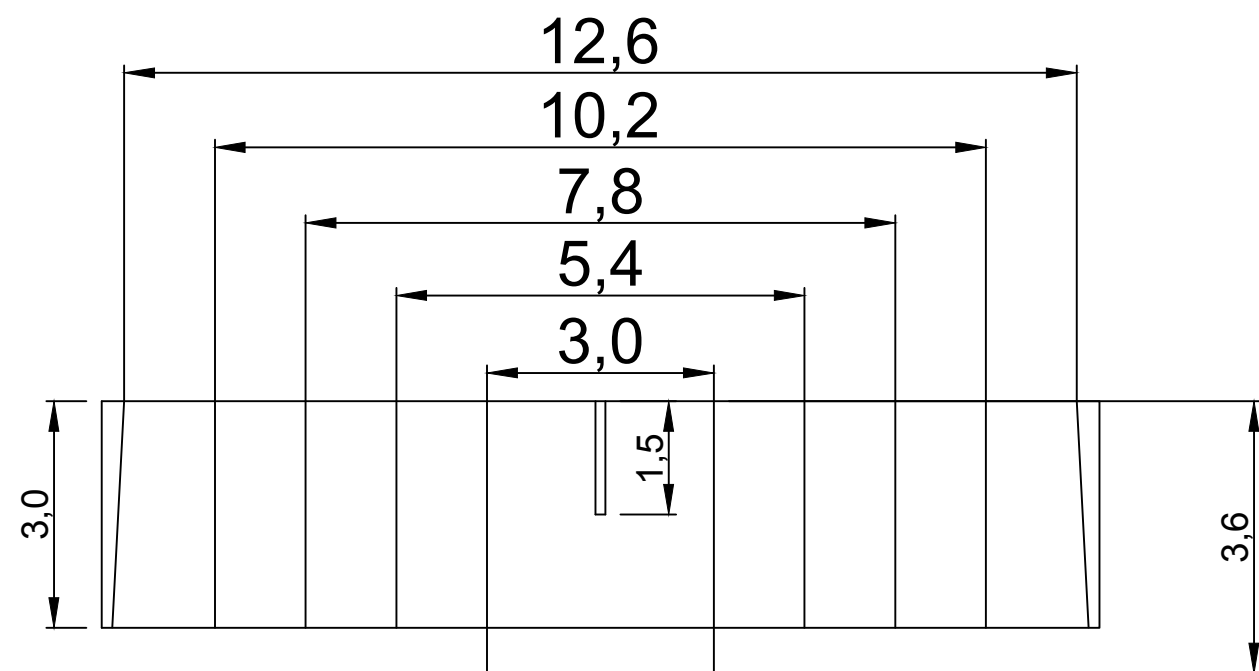


Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018
(litsents: TTÜ Education Stand-alone)

	Tüübing toestik		Ankrud
	Beton toestik		
	Sinisavi		
	Liivakivi		

Magistritöö teema		Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt		Šahti läbindamise kolmas etapp	
	Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010		Töö nr 1704M
			Joonis nr 6
Tudeng: Sander Kanter 153724YAEM		Möötkava 1: 100	
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc		Kuupäev 17.05.2017	

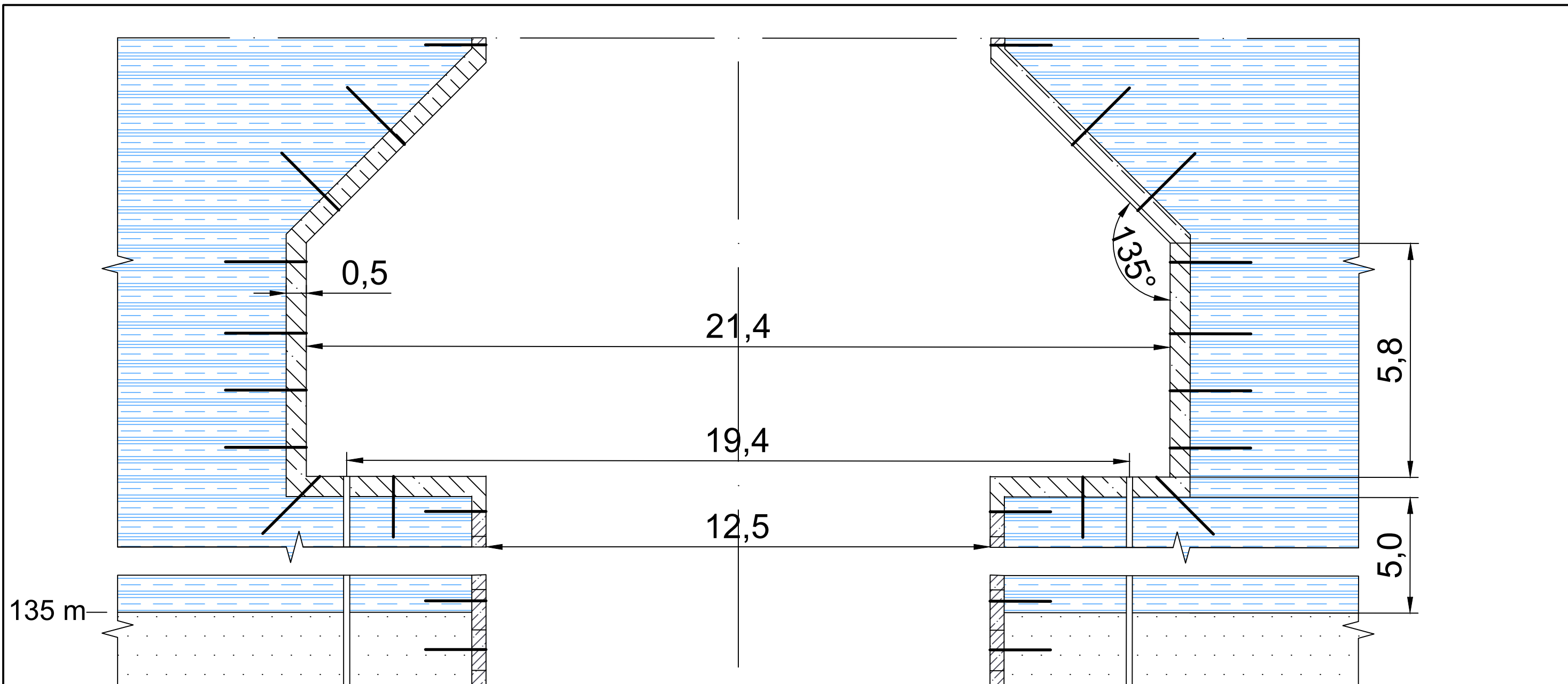


- Algmurde laenguaugud, 10 tk
- Raimalaengud, 91 tk
- Kontuurlaengud, 30 tk
- Täiendav vabapind, 127 mm

Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018 (litsents: TTÜ Education Stand-alone)
2. Lõhkeaukude läbimõõt 45 mm
3. Kontuurlaengud laetakse üle ühe

Magistritöö teema		Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt		Lõhkeaukude paiknemine savis lõhates	
	Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010		Töö nr 1704M
			Joonis nr 7
			Mõõtkava 1: 100
Tudeng:	Sander Kanter 153724YAEM	Kuupäev 17.05.2017	
Juhendaja:	Tõnu Tomberg MSc		



135 m

0,5

21,4

19,4

12,5

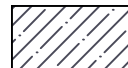

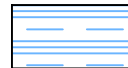
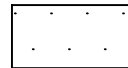

135°


5,8

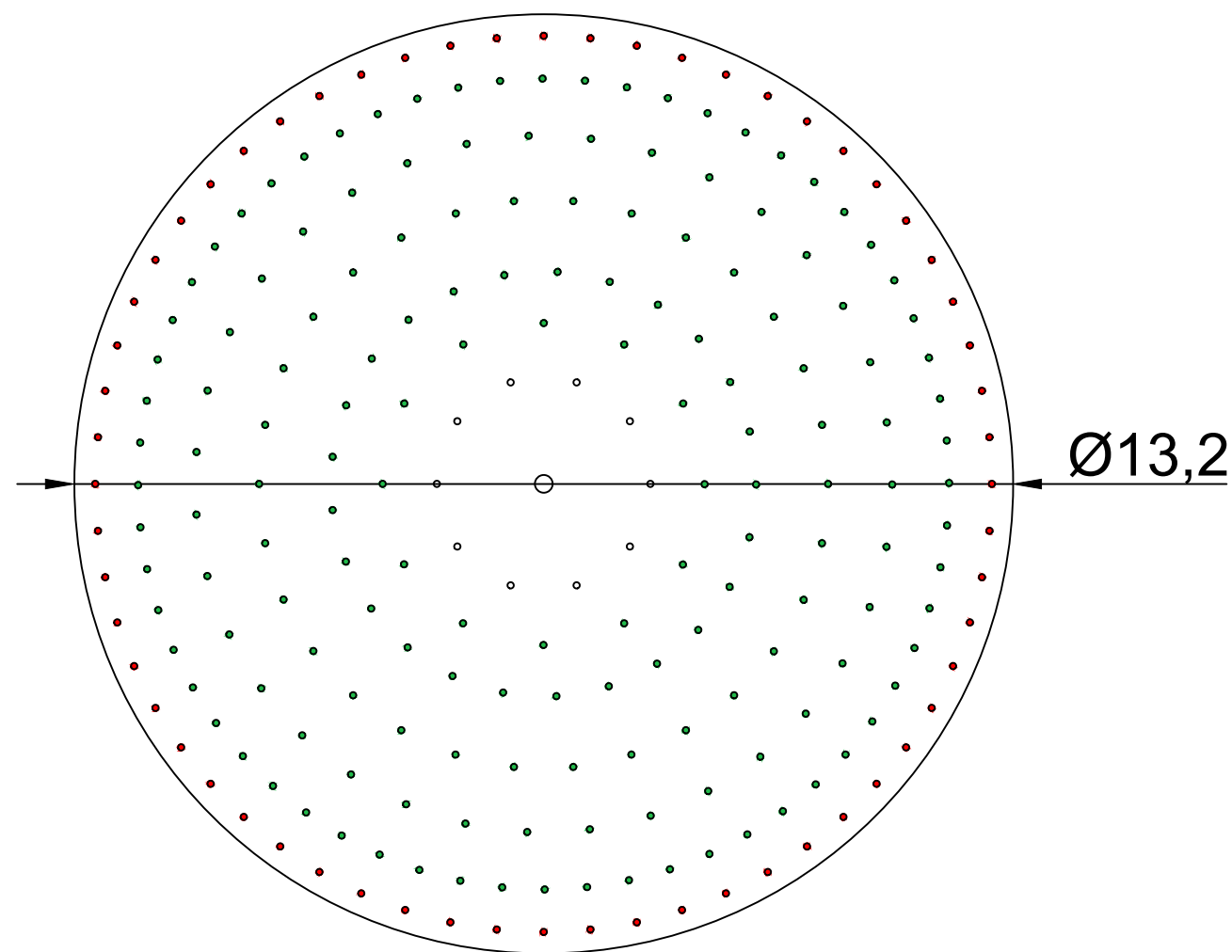
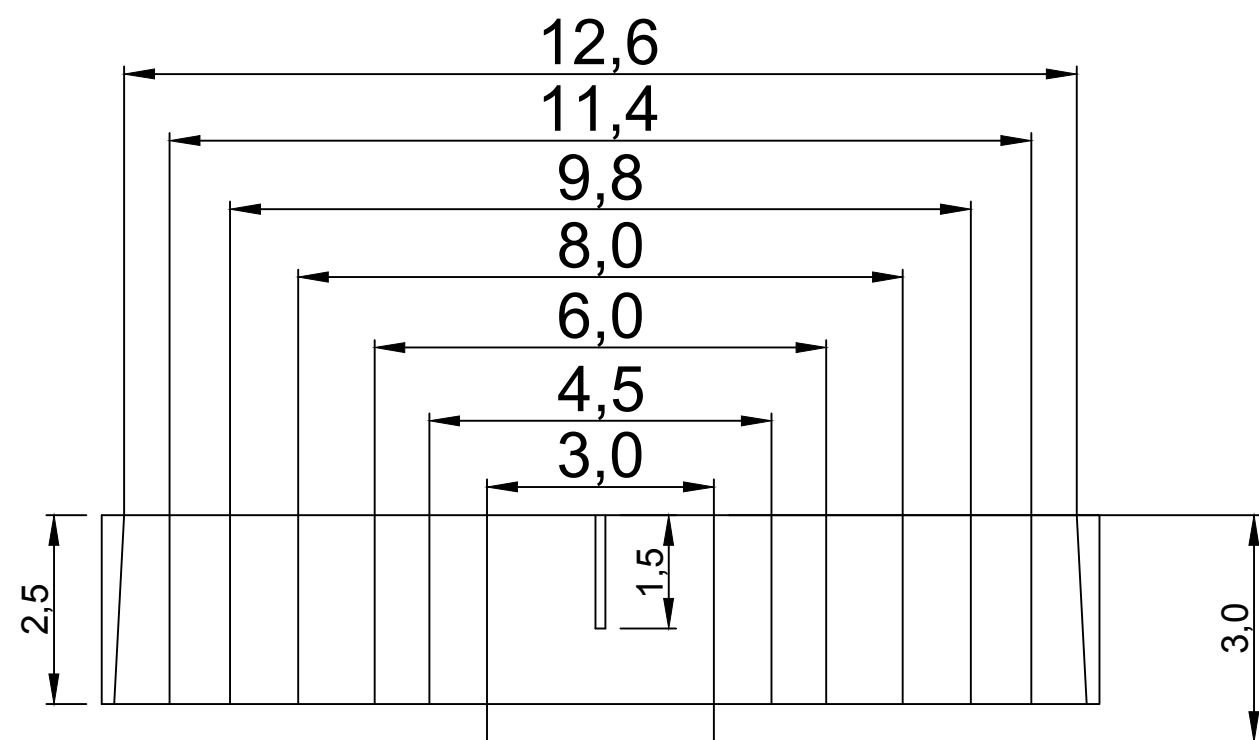
5,0

Külmutustorude puuraugud

Märkused:
1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018 (litsents: TTÜ Education Stand-alone)

-  Tüübing toestik
-  Beton toestik
-  Sinisavi
-  Liivakivi
-  Ankrud


Magistritöö teema		Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt		Šahti läbindamise neljas etapp	
	Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010		Töö nr 1704M
			Joonise nr 8
		Mõõtkava 1: 100	
Tudeng:	Sander Kanter 153724YAEM	Kuupäev 18.05.2017	
Juhendaja:	Tõnu Tomberg MSc		

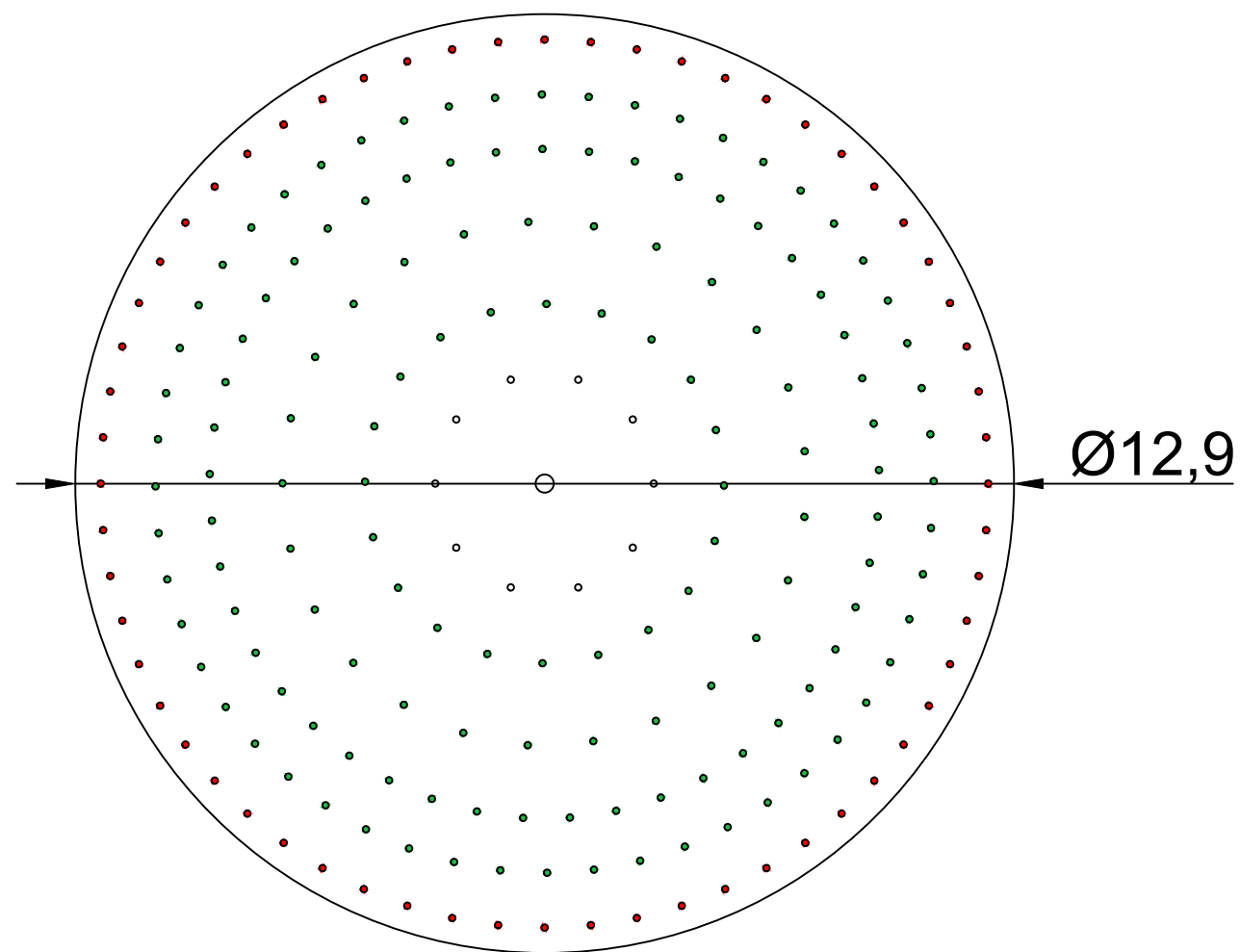
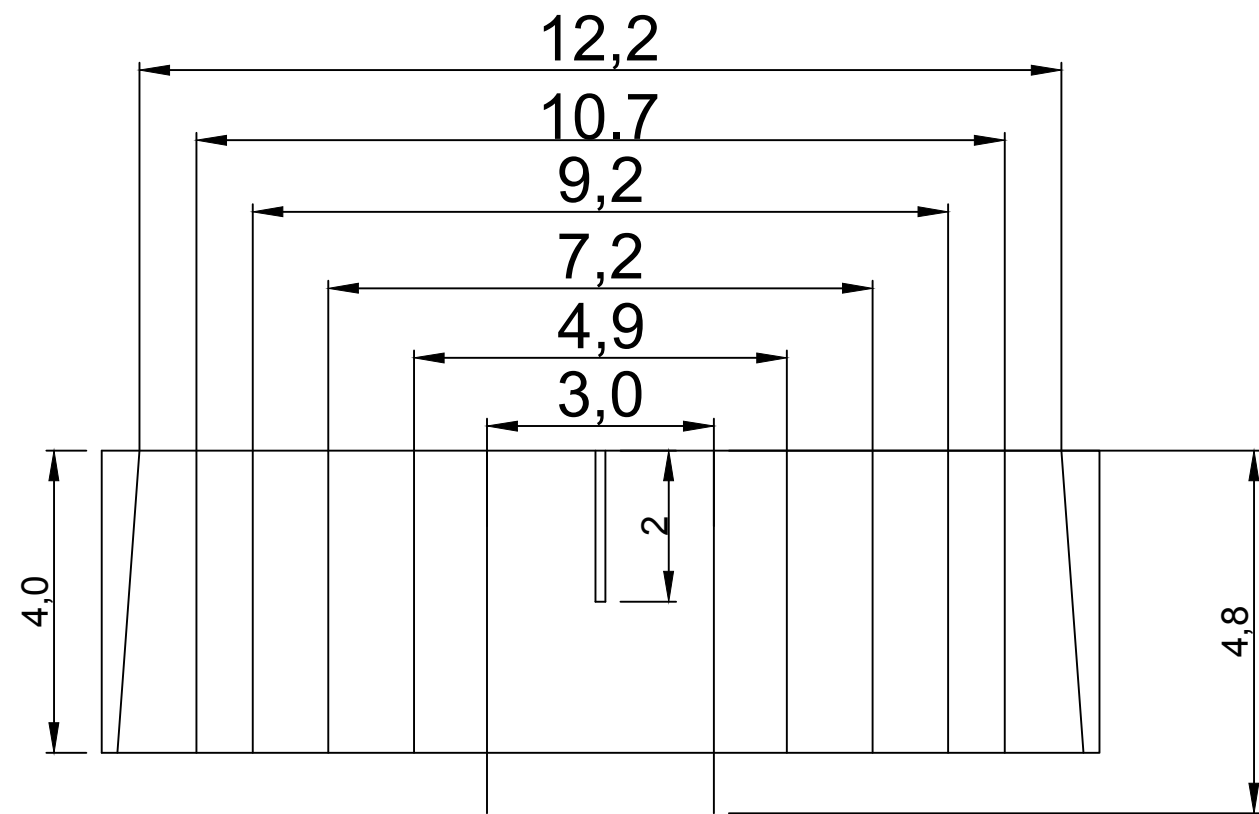


- Algmurde laengaugud, 10 tk
- Raimalaengud, 162 tk
- Kontuurlaengud, 30 tk
- Täiendav vabapind, 127 mm

Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018 (litsents: TTÜ Education Stand-alone)
2. Lõhkeaukude läbimõõt 45 mm
3. Kontuurlaengud laetakse üle ühe

Magistritöö teema		Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt		Lõhkeaukude paiknemine külmunud liivakivis	
	Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010		Töö nr 1704M
			Joonis nr 9
Tudeng: Sander Kanter 153724YAEM		Möötkava 1: 100	
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc		Kuupäev 17.05.2017	

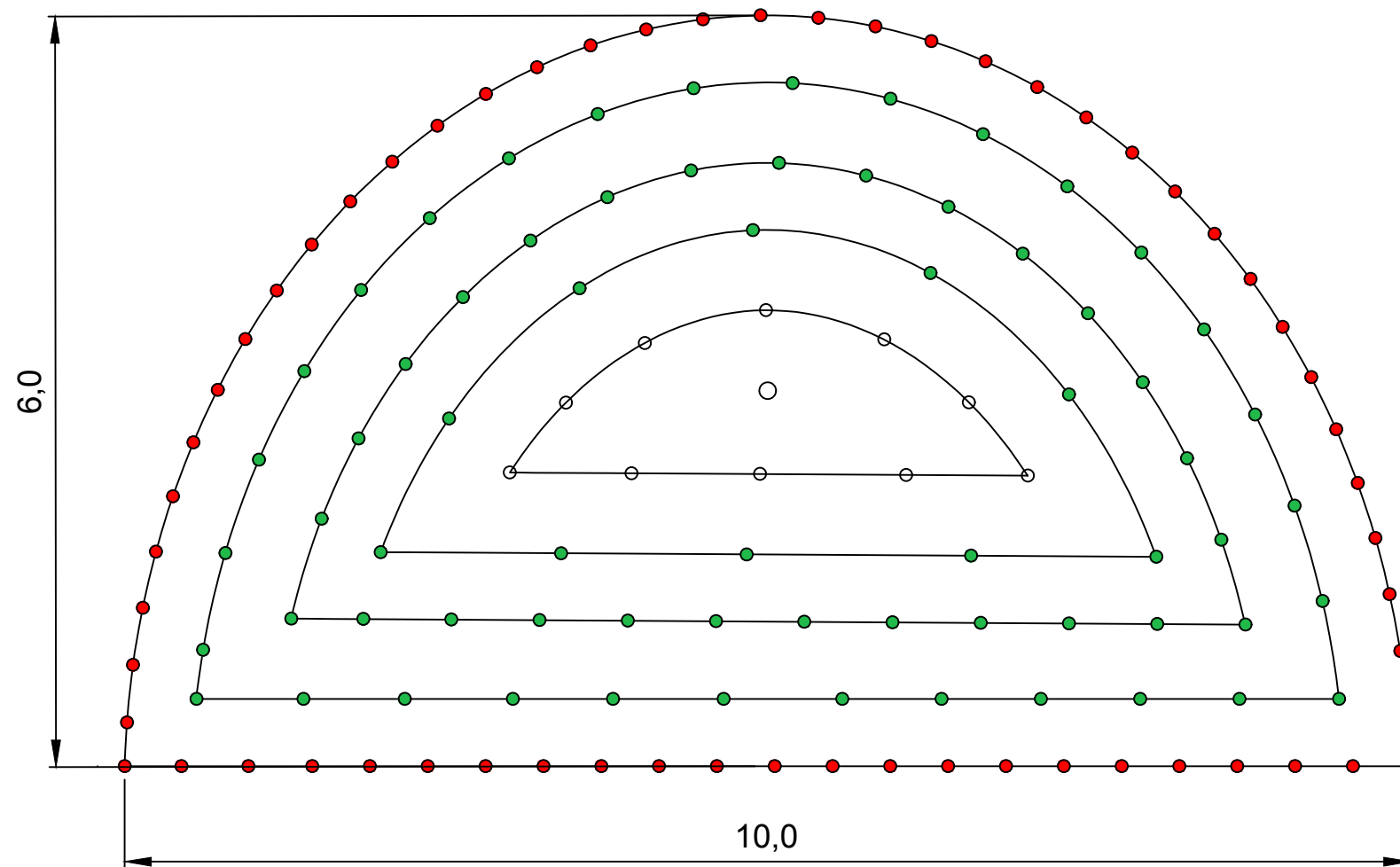


- Algmurde laenguaugud, 10 tk
- Raimalaengud, 138 tk
- Kontuurlaengud, 30 tk
- Täiendav vabapind, 127 mm

Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018 (litsents: TTÜ Education Stand-alone)
2. Lõhkeaukude läbimõõt 45 mm
3. Kontuurlaengud laetakse üle ühe


Magistritöö teema	Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt	Lõhkeaukude paiknemine aluskorras lõhates	
 <p>Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010</p>	Töö nr 1704M	
	Joonis nr 10	
Tudeng: Sander Kanter 153724YAEM	Mõõtkava 1: 100	Kuupäev 17.05.2017
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc		

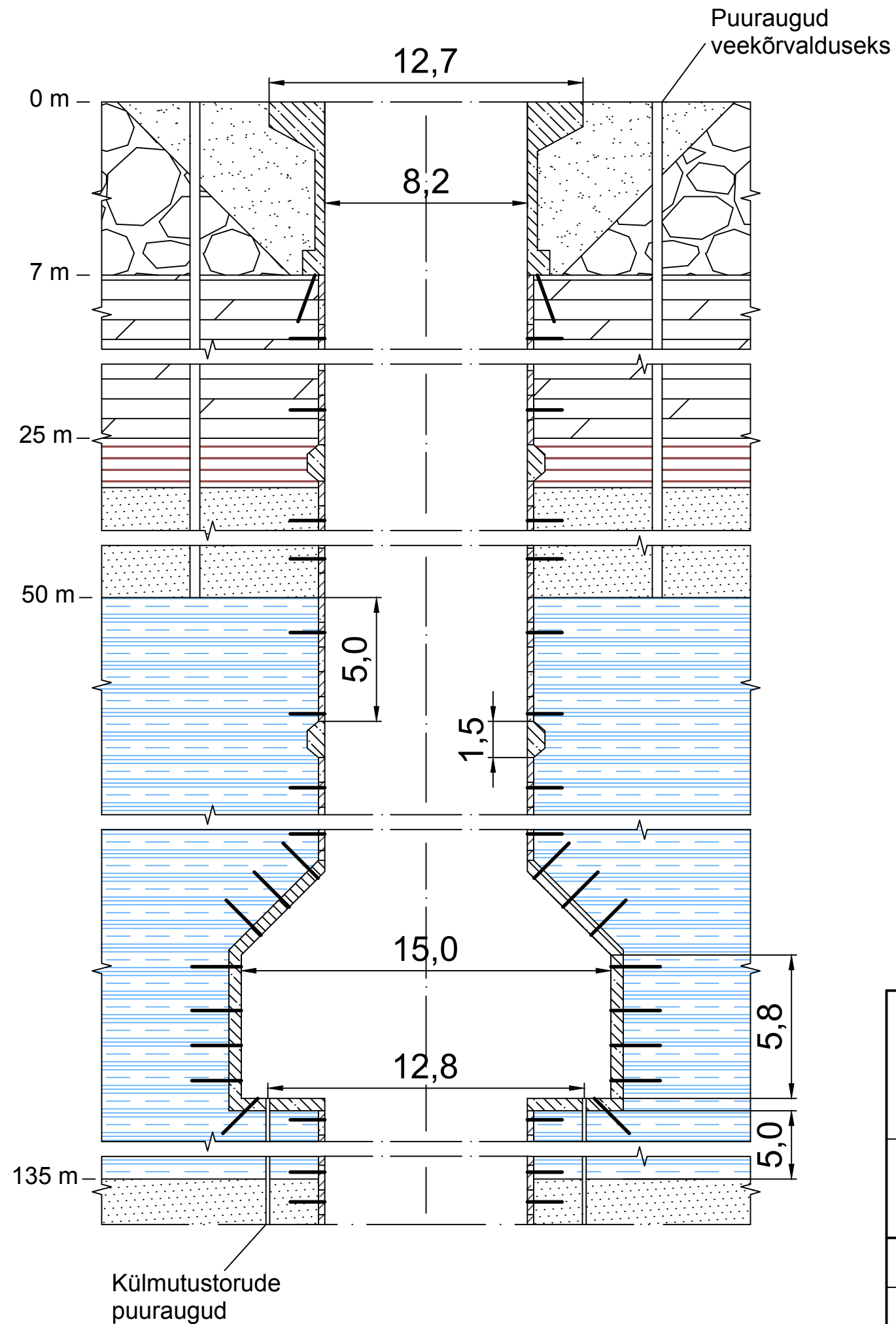



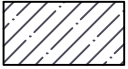


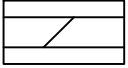

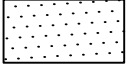


- Algmurde laengaugud, 10 tk
- Raimalaengud, 67 tk
- Kontuurlaengud, 30 tk
- Täiendav vabapind, 127 mm

Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018 (litsents: TTÜ Education Stand-alone)
2. Lõhkeaukude läbimõõt 45 mm
3. Kontuurlaengud laetakse üle ühe


Magistritöö teema		Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt		Lõhkeaukude paiknemine aluskorra horisontaalkaaveõõnte lõhkamisel	
	Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010		Töö nr 1704M
			Joonis nr 11
Tudeng: Sander Kanter 153724YAEM		Möötkava 1: 50	
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc		Kuupäev 19.05.2017	

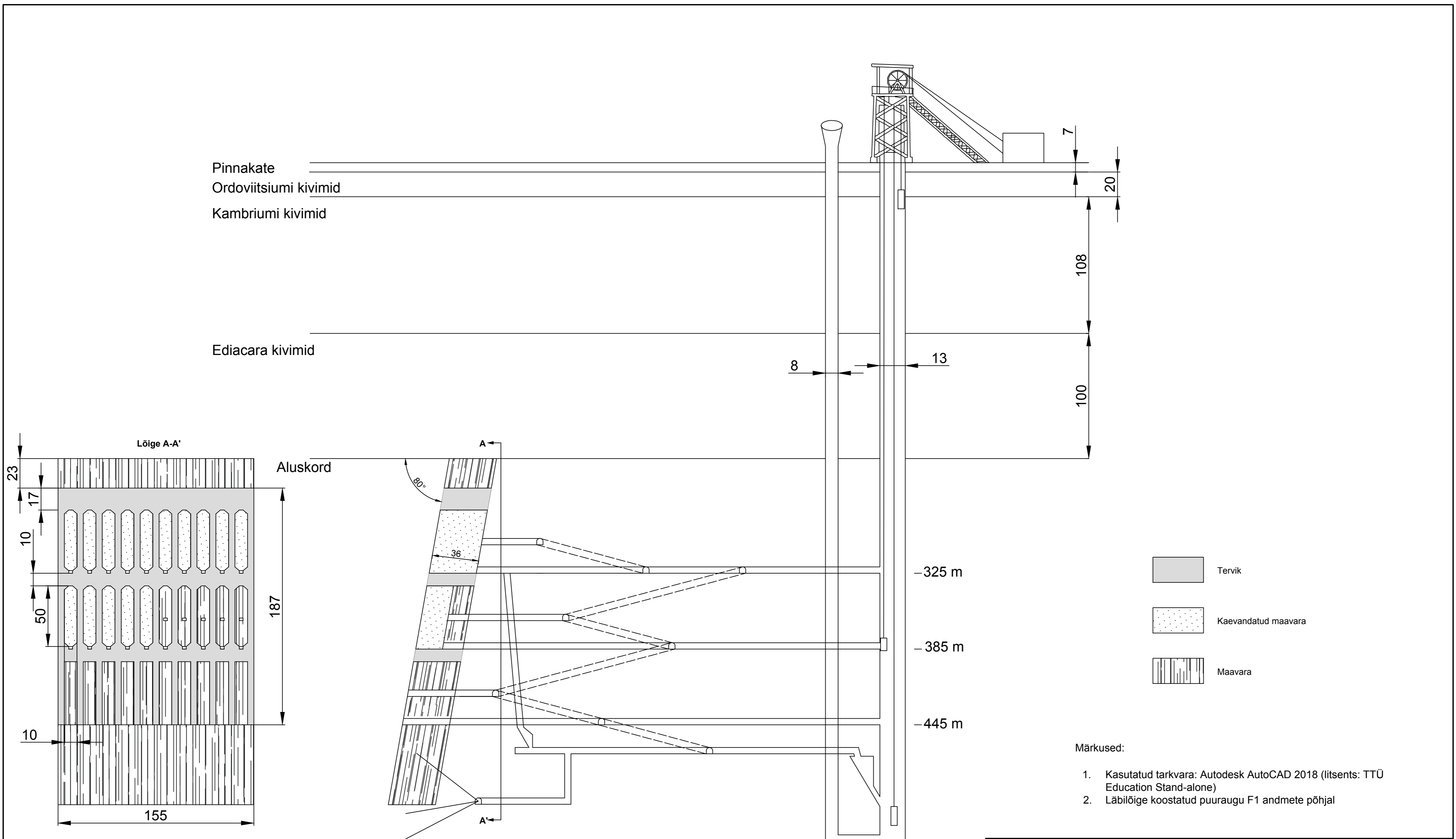


-  Betoon toestik
-  Tüübing toestik
-  Pinnakate
-  Täitepinnas
-  Ordoviitsiumi kivimid
-  Graptoliitargilliid
-  Liivakivi
-  Sinisavi
-  Ankrud

Märkused:


1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018
(litsents: TTÜ Education Stand-alone)

Magistritöö teema	Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt	Tuulutusšahti läbindamise 1.-4. etapp	
 <p>Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010</p>	Töö nr 1704M	
	Joonise sisu	Joonise sisu
		Joonise sisu
		Mõõtkava 1: 200
Tudeng:	Sander Kanter 153724YAEM	Kuupäev 18.05.2017
Juhendaja:	Tõnu Tomberg MSc	



Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018 (litsents: TTÜ Education Stand-alone)
2. Läbilõige koostatud puuraugu F1 andmete põhjal

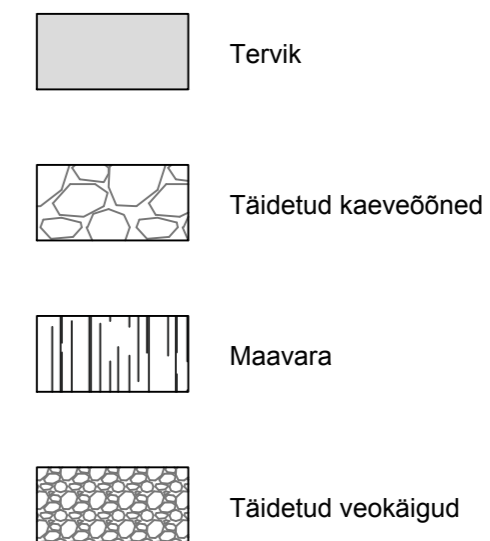
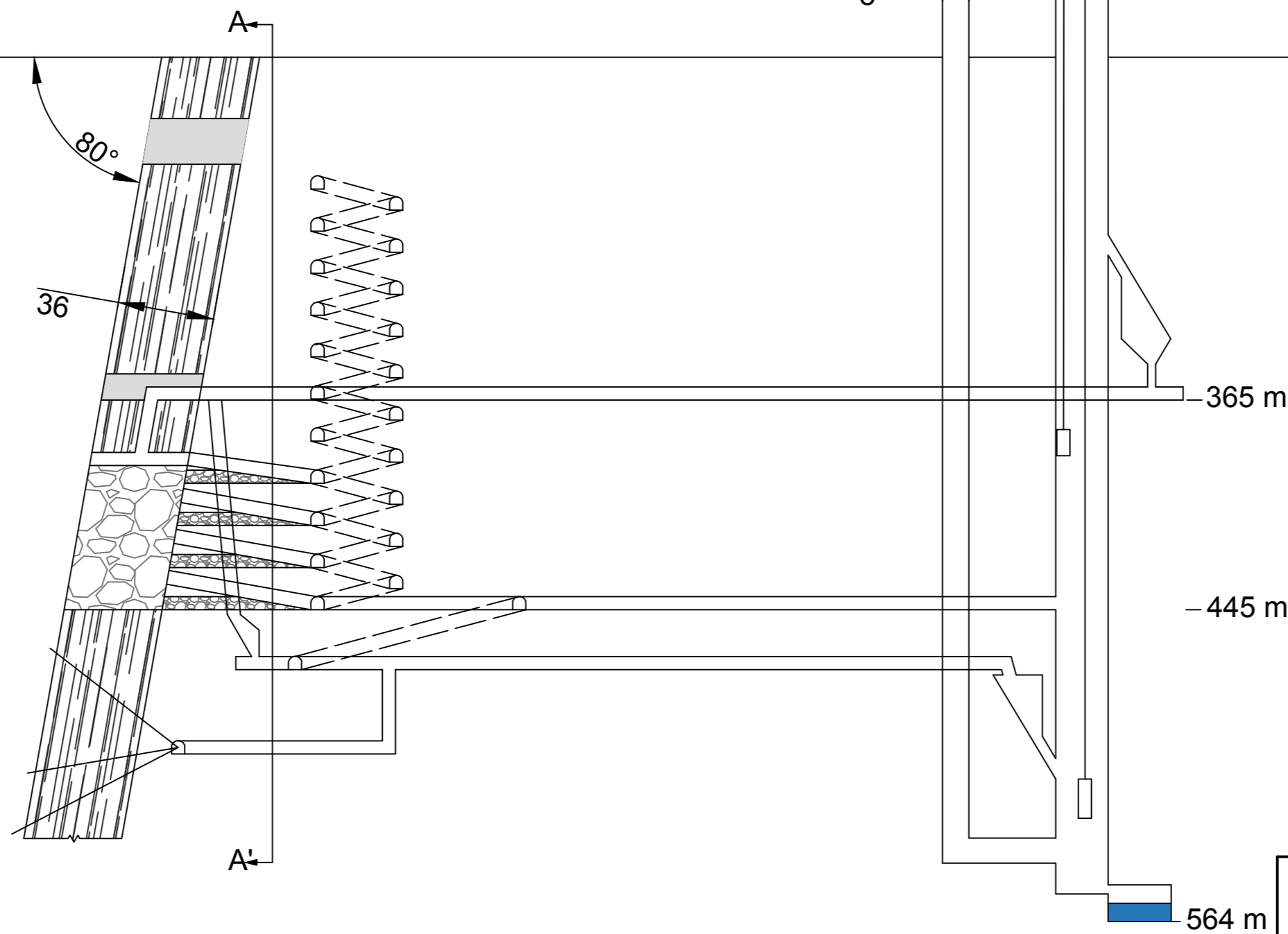
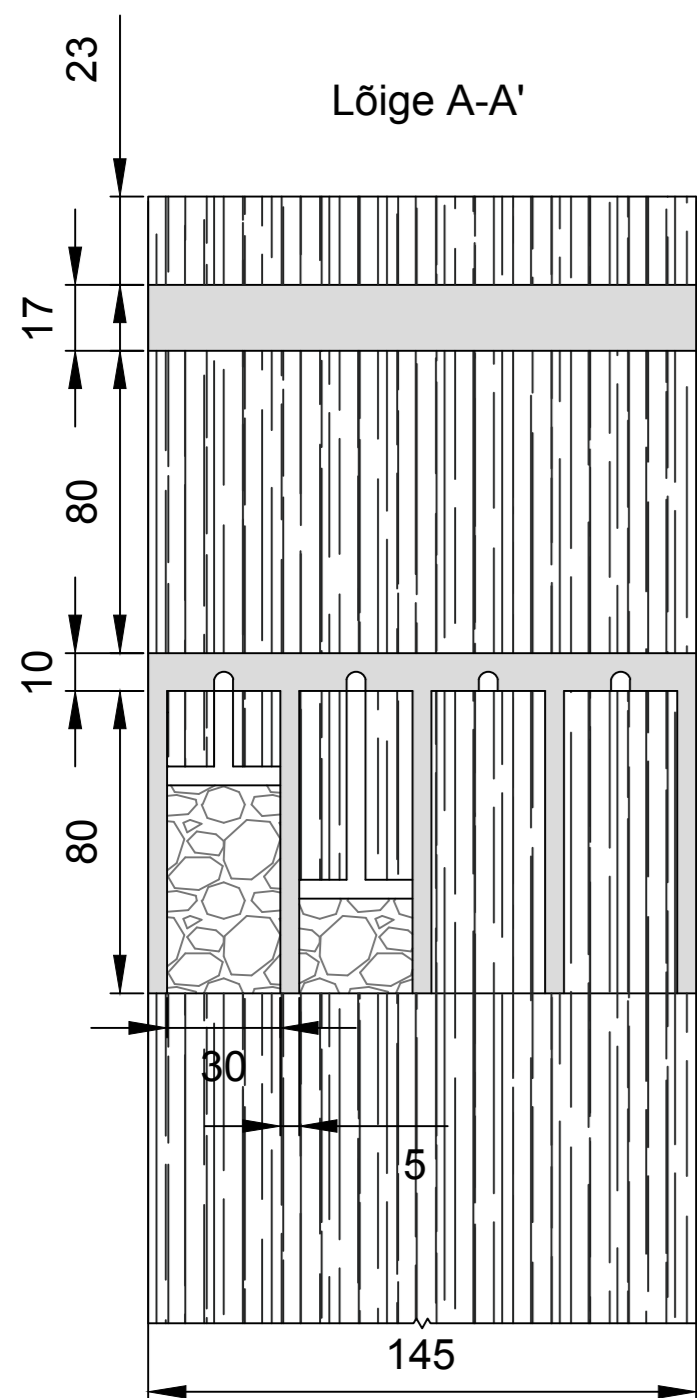
Magistritöö teema		Joonise sisu	
Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt		Kaevanduste põhimõtteline skeem, alakorrustega varistamine	
	Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010		Töö nr 1704M Joonis nr 13
	Tudeng: Sander Kanter 153724YAEM		Möötkava 1: 2 000
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc		Kuupäev 19.05.2017	

Pinnakate
 Ordoviitsiumi kivimid
 Kambriumi kivimid

Ediacara kivimid

Aluskord

Lõige A-A'



Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCAD 2018 (litsents: TTÜ Education Stand-alone)
2. Läbilõige koostatud puuraugu F1 andmete põhjal

Magistritöö teema Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt		Joonise sisu Kaeveõõnte põhimõtteline skeem, täitväljamine	
	Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut, Mäeosakond Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010		Töö nr 1704M
			Joonis nr 14
Tudeng: Sander Kanter 153724YAEM		Möötkava 1: 2 000	
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc		Kuupäev 23.04.2017	

Lihtlitsents lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ja reprodutseerimiseks

Mina, Sander Kanter (sünnikuupäev: 29.05.1991)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose - Jõhvi rauamaagikaevanduse avamise eelprojekt, mille juhendaja on Tõnu Tomberg,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

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

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

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (*allkiri*)

29.05.2015 (*kuupäev*)