TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Loodusteaduskond
Geoloogia instituut

DOLOKIVI AVAKAEVANDAMISE OPTIMAALSE TEHNOLOOGILISE SKEEMI VÄLJATÖÖTAMINE MARINOVA II DOLOKIVIKARJÄÄRI NÄITEL

Magistritöö

Üliõpilane: Tanel Treial 153106

Juhendaja: Tõnu Tomberg, MSc, Geoloogia Instituut, lektor
Õppekava: Maa-teadused ja geotehnoloogia, geotehnoloogia peaerial

Tallinn 2019

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Tanel Treial

[allkiri ja kuupäev]

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

Juhendaja: Tõnu Tomberg

[allkiri ja kuupäev]

Töö on lubatud kaitsmisele.

Kaitsmiskomisjoni esimees: Atko Heinsalu

[allkiri ja kuupäev]

TAL TECH
GEOLOOGIA INSTITUUT

Sisukord

Autorideklaratsioon 2
Annotatsioon 9
Abstract 10
Sissejuhatus 11
1. Mäeeraldise üldandmed 12
2. Karjääri eluiga 14
2.1 Toodangu vajadus 14
3. Geoloogiline iseloomustus 16
3.1 Katend 17
3.2 Kasulik kiht 18
3.3 12. plokk 18
3.4 13. plokk. 18
3.5 Lamam 19
4. Hüdrogeoloogiline iseloomustus 20
5. Maavara kvaliteet 23
6. Mäenduslikud tingimused 25
7. Marinova II karjääri tehnoloogiline skeem ja karjääri areng 26
8. Raimamine 29
8.1 Üldseisukohad 29
8.2 Raimamine puur-lõhketöödega 29
8.3 Puur-lõhketöödega alustamine 30
8.4 Lõhkeaukude paigutus 32
8.5 Lõhatud materjali kvaliteedi tagamine 33
8.6 Puur-lõhketööde väljamise parameetrid 34

9. Kobestatud dolokivi laadimine 38
9.1 Üldseisukohad 38
9.2 Lõhatud materjali väljamine ekskavaatoriga 38
9.3 Muud laadimismasinad 40
9.3.1 Draglain 40
9.3.2 Greifer 42
10. Dolokivi töötlemine 44
10.1 Eeltööd 44
10.2 Materjali purustamine 44
10.2.1 Mobiilne purustussõlm 44
10.2.2 Statsionaarne purustussõlm 45
10.3 Materjali sõelumine 47
10.4 Purustus-sorteerimissõlme reaalne tootlikkus 48
10.5 Toodetud materjali kvaliteet 50
11. Killustiku transport ja ladustamine 51
11.1 Üldseisukohad 51
11.2 Ladustamisplatside valik 51
11.3 Transporditav vahemaa 53
11.3.1 Variant 1 53
11.3.2 Variant 2 54
11.4 Transportimine kalluritega 54
11.4.1 Variant 1 54
11.4.2 Variant 2. 55
11.5 Materjali ladustamine karjääri arengut silmas pidades 55
12. Optimaalse tehnoloogia valik 58
12.1 Dolokivi raimamine 58
12.2 Dolokivi väljamine 58
12.3 Dolokivi töötlemine 59
12.4 Dolokivikillustiku laadimine ja ladustamine 60
13. Majandusarvutused 61

14. Karjääriala korrastamine 63
15. Keskkonnakaitseline analüüs 64
Kokkuvõte 65
Tänuavaldused 66
Kasutatud allikad 67
Arvutuste metoodika 72
Puur-lõhketööde arvutuse metoodika 72
Väljamise ja tootlikkuse arvutuste metoodika 76
Kopplaaduri tootlikkuse valemid 78
Lisad 80
Lisa 1. Marinova II karjääris kasutatavate mehhanismide tehnilised parameetrid 80
Lisa 2. Puur-lõhketööde parameetrid 82
Lisa 3. Dolokivikillustiku tootmisskeem, Kleemann MR110Z ja Kleemann MS 953 teoreetiline toodangu maht 84
Lisa 4. Terastikuline koostis (Positsioon 5.) 85
Lisa 5. Terastikuline koostise (Dolokivikillustik 16/32mm) 86
Lisa 6. Terastikuline koostis (Dolokivikillustik 4/16 mm) 87
Lisa 7. Väljavõte programmist Fleetcomplete 88
Graafiline lisa 1. Marinova II karjääri asukoha plaan 89
Graafiline lisa 2. Marinova II karjääri geoloogiline tüüpläbilõige 90
Graafiline lisa 3. Seiratavate kaevude asukoht Marinova II karjääri läheduses 91
Graafiline lisa 4. Marinova II karjääri plaan 92
Graafiline lisa 5. Kaevandamise suund Marinova II karjääris 93
Graafiline lisa 6. Viidete skeem 94
Graafiline lisa 7. Ekskavaatori Komatsu HB 365 LC-3-i tööparameetrite järgi arvutatud lõhatavate plokkide mõõdud 95
Graafiline lisa 8. Lõhkeaukude skeem 96
Graafiline lisa 9. Ee pass ekskavaatoriga vee alt väljamine 97
Graafiline lisa 10. Ee pass draglainiga vee alt väljamine 98
Graafiline lisa 11. Ee pass ekskavaatoriga dolokivi purustussõlme laadimine 99

Graafiline lisa 12. Ee pass frontaallaaduriga dolokivi purustussõlme laadimine 100

Graafiline lisa 13. Marinova II karjääri planeeritav veoskeem 101

Graafiline lisa 14. Marinova II karjääri planeeritav veoskeem täidetud ala korral 102

Joonised

Joonis 1.Marinova II karjääri asukohaplaan (Graafiline lisa 1) 12

Joonis 2. Marinova maardla karjääri geoloogiline läbilõige (Graafiline lisa 2) 17

Joonis 3. Marinova karjääri 12. plokk 18

Joonis 4. Seiratavad kaevud Marinova II karjääri läheduses (Graafiline lisa 3) 21

Joonis 5. Marinova II karjääri plaan (Graafiline lisa 5) 27

Joonis 6. Katendi eemaldamine ja killustiku tootmine Marinova II karjääris 28

Joonis 7. Marinova II karjääri tootmisliin 28

Joonis 8. Marinova II karjääri arenguplaan (Graafiline lisa 5) 30

Joonis 9. Esimeste puur-lõhketööde parameetrite skeem 32

Joonis 10. Lõhkeaukude paigutuse skeemid 33

Joonis 11. Marinova II karjääri viidete näitlik skeem (Graafiline lisa 6) 34

Joonis 12. Lõhatavate plokkide süsteem ekskavaatori Komatsu HB365LC-3 tööparameetrite korral (Graafiline lisa 7) 35

Joonis 13. Marinova II karjääri lõhkeaukude näitlik skeem ekskavaatori tööparameetreid arvestades (Graafiline lisa 8) 37

Joonis 14.Draglain Liebher HS 8040 [24] 42

Joonis 15 Greifer-ekskavaator [24] 43

Joonis 16 Kleeman Mobirex MR 110 Z mobiilne rootorpurusti Marinova II karjääris 45

Joonis 17. Metso Nordberg NP15 statsionaarne rootorpurusti [29] 47

Joonis 18.Marinova II karjääri 12. ploki päevane toodang 49

Joonis 19. Marinova II karjääri planeeritav veoskeem (Graafiline lisa 13) 52

Joonis 20. Marinova II karjääri skeem täitmise korral (Graafiline lisa 14) 56

Tabelid

Tabel 1. Marinova maardla geoloogilise läbilõike kirjeldus [8] 16

Tabel 2. Marinova II 13 ploki paksused 19

Tabel 3 Puuraukude ja interpolatsioonipunktide andmed [8] 19

Tabel 4. Jälgitavate kaevude veeproovide tulemused [9] [11] [10] 22

Tabel 5. Dolokivi CaO; MgO ja lahustumatu jäägi sisaldused Pa 3-Pa7 [8] 23

Tabel 6. Marinova II karjääris toodetud killustikuproovide tulemused. Sulgudes toodud katseprotokollide numbrid. [12] [13] [14] [15] 24

Tabel 7. Esimeste puur-lõhketööde parameetrid 31

Tabel 8. Esimeste lõhatavate plokkide parameetrid 31

Tabel 9. Puur-lõhketööde algandmed erinevate väljamismasinate korral [22] [23] [24] 35

Tabel 10. Puur-lõhketööde parameetrite arvutustulemused erinevate väljamismasinate kasutamise korral 36

Tabel 11. Puur-lõhketööde parameetrid kasutades väljamiseks ekskavaatorit Komatsu HB365LC-3.. 36

Tabel 12. Ekskavaatorite töö parameetrid [25] [23] [22] [26] 39

Tabel 13. Ekskavaatorite tootlikused 39

Tabel 14. Draglaini parameetrid [24] 41

Tabel 15. Metso Nordberg NP15 tööparameetrid [29] 46

Tabel 16. Marinova II karjääri 12. ploki päevane toodang 48

Tabel 17. Frontaallaadurite parameetrid [33] [34] 52

Tabel 18. Laadurite tootlikkus arvestades lao kauguseks 310 m 53

Tabel 19. Laadurite tootlikkus arvestades lao kauguseks 450 m 54

Tabel 20. Kalluri tootlikkus arvestades lao kauguseks 310 m 54

Tabel 21. Kalluri tootlikkus arvestades lao kauguseks 450 m 55

Tabel 22. Laadurite tootlikkus täidetud alale ladustamise korral 56

Tabel 23. Materjali omahinna võrdlus erinevate ekskavaatorite kasutamise korral 61

Tabel 24. Väljamata jääva maavara eest makstav tasu 62

Tabel 25. Lamamis asuva dolokivi väljamise korral saadav tulu 62

Tabel 26. Purustussõlme tehnilised parameetrid [28] [19] [44] 80

Tabel 27. Sorteerimissõlme tehnilised parameetrid 80

Tabel 28. Ekskavaatorite tehnilised parameetrid [25] 81

Tabel 29. Kopplaadurite tehnilised parameetrid [33] [34] 81

Tabel 30. Puur-lõhketööde parameetrid kasutades väljamiseks ekskavaatorit Hitachi ZX470 LC 82

Tabel 31. Puur-lõhketööde parameetrid kasutades väljamiseks ekskavaatorit Komatsu PC 650 LC.... 82

Tabel 32. Puur-lõhketööde parameetrid kasutades väljamiseks draglain Liebherr HS 8040.1..... 83

Annotatsioon

Mitmete Eesti dolo- ja lubjakivimaardlate kvaliteetsed maavarakihid lasuvad põhjaveetasemest all pool. Maavaravarude ratsionaalsemaks kasutamiseks peab väljama ka põhjaveetasemest allpool oleva paekivi. Keskkonnaaspektide vähendamiseks on mõistlik väljata varu põhjaveetaset alandamata. Käesolevas magistritöös uuriti vee alt kaevandamise ja killustiku tootmise tehnoloogilist skeemi ning selle optimeerimist Marinova II dolokivikarjääri näitel. Analüüsiti dolokivi veealust raimamist ja väljamist. Dolokivi kobestatakse puur-lõhketöödega ning väljatakse hüdraulilise pöördkoppekskavaatoriga. Dolokivist toodetud killustiku tootmise suure tootlikkuse tagab mobiilne rootorpurusti. Purustus- ja sorteerimiskompleksi teenindavad frontaallaadurid ning toodangu transpordiks kasutatakse kallureid. Töö tulemusena anti soovitused tootmisliinis kasutatavate masinate tööparameetrite optimeerimiseks ning toodangu efektiivsema ladustamisasukoha valikuks. Käesolev magistritöö sobib aluseks ka teiste sarnaste mäenduslike tingimustega paekivikarjääride tehnoloogilise skeemi optimeerimiseks.

Abstract

As a considerable amount of quality limestone lies under groundwater level in many Estonian limestone deposits, there is real need to start mining beneath groundwater level. To reduce the environmental impact, it is suggested to mine these underwater limestone deposits without reducing the level of groundwater. This thesis includes analysing the technology of underwater limestone mining and production of limestone aggregate in the conditions of Marinova II dolostone quarry.

Dolostone is broken by using drilling and blasting and mined by using a hydraulic excavator. Mobile crushing and screening plants are used to produce high quality dolostone aggregate. An impact crusher is used to increase the capacity of dolostone aggregate. Due to the high capacity of crushing and screening plants, multiple wheel loaders and trucks are needed to transport aggregate to different stockpiles.

As a result of this thesis, the author makes recommendations on how to optimize the use of mining equipment and location of stockpiles, to improve the mining capacity of Marinova II quarry.

The solutions presented in this thesis could also be suitable for other limestone quarries besides Marinova II, by fitting the given solutions to their specific conditions.

Sissejuhatus

Lubja- ja dolokivi on oluline maavara Eestis, mida kasutatakse peamiselt ehituses, teede ehituses ning põllumajanduses. Kvaliteetse paekivi suurenenud nõudluse tõttu on vajalik rajada uusi karjääre ja kasutada olemasolevate karjääride maavaravaru maksimaalselt ära. Paljudes erinevates Eesti karjäärides kaevandatakse vaid paekivi veepealne varu [1]. Põhjaveekihist allpool lasuv varu jäetakse väljamata või kaevandatakse kihti veetaset alandades, mis on ressursimahukas.

Marinova II karjäär on Eesti mõistes üks vähestest karjääridest, mis alustab dolokivi kaevandamist põhjaveetasemest allpool alandamata seejuures põhjaveetaset. Lisaks on Marinova II karjääriga piirnevale Marinova IV uuringualale esitatud kaevandamistaotlus, mis tähendab tulevikus karjääri töömahtude suurenemist. Karjäär on oma tööetapiga jõudnud piirini, kus pealmine kiht on kaevandatud ning peab alustama vee alt kaevandamisega. Käesolevas töös analüüsitakse vee alt kaevandamise tingimusi ja töötatakse välja optimaalne tehnoloogiline skeem dolokivi veealuseks väljamiseks, töötlemiseks ja ladustamiseks Marinova II karjääri mäendustingimuste näitel.

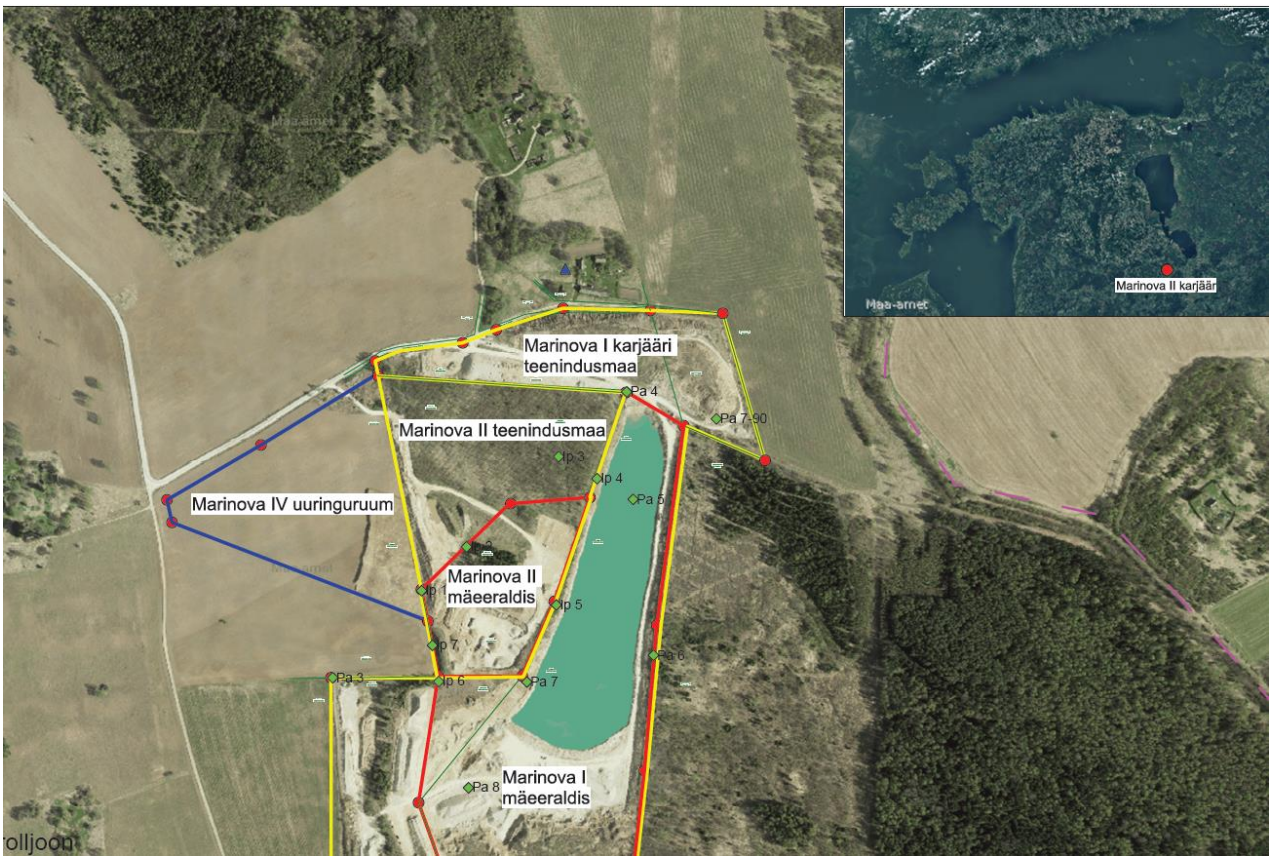
Töös on analüüsitud puur-lõhketööde parameetreid, erinevaid väljamismasinaid, tootmisliine ning karjäärisisese ladustamise võimalusi. Töö tulemusena on välja töötatud optimaalne tehnoloogiline skeem Marinova II dolokivikarjääri tingimustes.

Käesolevas magistritöös analüüsitud tootmisliin on koostatud küll Marinova II dolokivikarjääri tingimuste kohta, kuid töös kasutatud metoodika sobib analüüsimaks ka teisi veealuste varudega dolo- ja lubjakivikarjääre.

1. Mäeeraldise üldandmed

Marinova II dolokivikarjäär asub Võrumaal, Setomaa vallas, Marinova külas. Marinova dolokivimaardla (nr 612) hulka kuuluv karjäär asub Lillestiku maaüksusel (katastri tunnus 40002:003:0158). Mäeeraldise pindala on 4,00 ha ja teenindusmaa pindala 10,26 ha. [2]

Aigren OÜ-le kuuluv Marinova II karjäär piirneb ida ja lõuna küljest Marinova karjääriga, mis kuulub aktsiaseltsile TREV-2 Grupp AS . Mäeeraldise teenindusmaa piirneb lääne poolt samuti Aigren OÜ-le kuuluva Lahnova maaüksusega, millel asub Marinova IV uuringuruum. Alal on läbi viidud geoloogiline uuring. Põhjast piirneb Marinova II karjääri teenindusmaa Mari maaüksusega, mis kuulub Marinova karjääri teenindusmaa koosseisu (Joonis 1).



Joonis 1.Marinova II karjääri asukohaplaan (Graafiline lisa 1)

Marinova II karjäär sai kaevandamisloa aastal 2016 [2]. Käesoleval hetkel kaevandatakse karjääris vaid põhjaveetasemest kõrgemal asuvat kõrgemargilist dolokivi, kuid lähima aasta jooksul planeeritakse alustada kaevandamist alumisest plokist, sealhulgas vee alt. Sarnaselt naaberkarjäärile plaanitakse kaevandamist põhjavee taset alandamata ning kasutades puur-lõhketöid. Tänaseks on Marinova karjääri kujunenud ligikaudu 4 ha suurune veekogu, mille veetase on keskmiselt 134,5 m absoluutsel kõrgusel. Veekogu pindala väheneb, sest maastiku korrastamiseks täidetakse tehisveekogu katendiga.

Mäeeraldise lähiümbruses asub kuus elamut, mille salv- ja puurkaevude vett analüüsitakse vähemalt kolm korda aastas. Lähima, Rjabinka talu, ja Marinova maardla vahel on hetkel suur katendivall, mis moodustab hea müratõkke majapidamise ja karjääritööde vahel.

Marinova maardla piires ja lähiümbruses puuduvad muinsuskaitse ja looduskaitse üksikobjektid ning kaitsealad. Teenindusmaale on käesolevaks hetkeks alustatud autokaalu ehitamist ning koostatud on elektriliitumise projekt.

Marinova II karjääris ei ole erinevatel põhjustel veetaset alandada lubatud [2]. Esiteks tekib ümber karjääri alanduslehter, mille tõttu jäävad kuivaks karjääri läheduses olevate elumajade kaevud. Alanduslehter ulatub ka Vene Föderatsiooni aladele, millega kaasneks keeruline poliitiline faktor.

2. Karjääri eluiga

Seisuga 7.01.2019 on ainult pealmisest, 12. plokist, kaevandatud 41,5 tuh m^3 maavara. Mäeeraldise ehitusdolokivi jääkvaru maht on 319,5 tuh. m^3, millest kaevandatav varu on 277,5 tuh. m^3. Kaevandamisega on rikutud 6,6 ha maad (kaasa arvatud katendi ladustamine, laoplatsid). [3] Kaevandamisluba lõppeb 22.02.2031 [2]. Aastane toodangumaht arvutatakse järgnevalt:

$$Aastane\ toodangumaht = \frac{Karjääri\ jääkvaru}{Karjääri\ eluiga} = \frac{277{,}5}{12} = 23{,}1\ tuh.m^3$$

Taotletava Marinova IV dolokivikarjääri uuringuruumi dolokivi kaevandatav maht on 1 411,5 tuh. m^3 [4]. Aastane plaanitav toodangumaht arvutatakse järgnevalt:

$$Aastane\ toodangumaht = \frac{karjääri\ jääkvaru}{karjääri\ eluiga} = \frac{1411{,}5}{30} = 47{,}1\ tuh.m^3$$

Seoses viimase nelja aasta teede-ehituse ning ehitustööde kasvuga Kagu-Eesti piirkonnas ning plaanitavate ehitusobjektide ning piiriehitustööde raames on alust arvata, et piirkonna aastane dolokivikillustiku nõudlus suureneb ning seega ammendub dolokivivaru karjääris kiiremini kui kaevandamisloas on arvestatud.

2.1 Toodangu vajadus

Käesoleva töö optimaalse tehnoloogilise skeemi leidmiseks võetakse aluseks karjääri planeeritav toodangu vajadus. Planeeritava toodangu vajaduse sisse on arvestatud ka taotletava Marinova IV dolokivi mahud.

Marinova II karjääri tootmise vajadus tunnis arvutatakse järgnevalt:

$$toodangu\ vajadus = \frac{jääkvaru * dolokivi\ erikaal}{karjääri\ eluiga * tööpäevade\ arv * töötundide\ arv} = 107\ t/h$$

Kus dolokivi erikaal = 2,2 t/m^3 [5] [6]

karjääri jääkvaru = Marinova II jääkvaru + Marinova IV kaevandatav varu =

277 509 m^3 + 1 410 500 m^3= 1 688 tuh. m^3

karjääri eluiga = 30 a

tööpäevade arv = 193 päeva aastas

töötundide arv = 6 tundi päevas

Tööpäevade arv on võetud viimase kolme aasta reaalsete tööpäevade põhjal. Tootmise puhul on arvestatud, et detsembrist märtsini tootmist ei toimu, tegeletakse vaid katenditöödega. Töötundide arv on võetud viimase kolme aasta jooksul tehtud mobiilse purustussõlme rootori töötundide statistika põhjal. Mobiilne purustussõlme rootor töötab päevas keskmiselt kuus tundi. Ülejäänud tööaeg kulub seisakutele, mis on tingitud tootmisliini liigutamisest, töötajatele ettenähtud pausidest ning masinate tankimisest ja hooldusest.

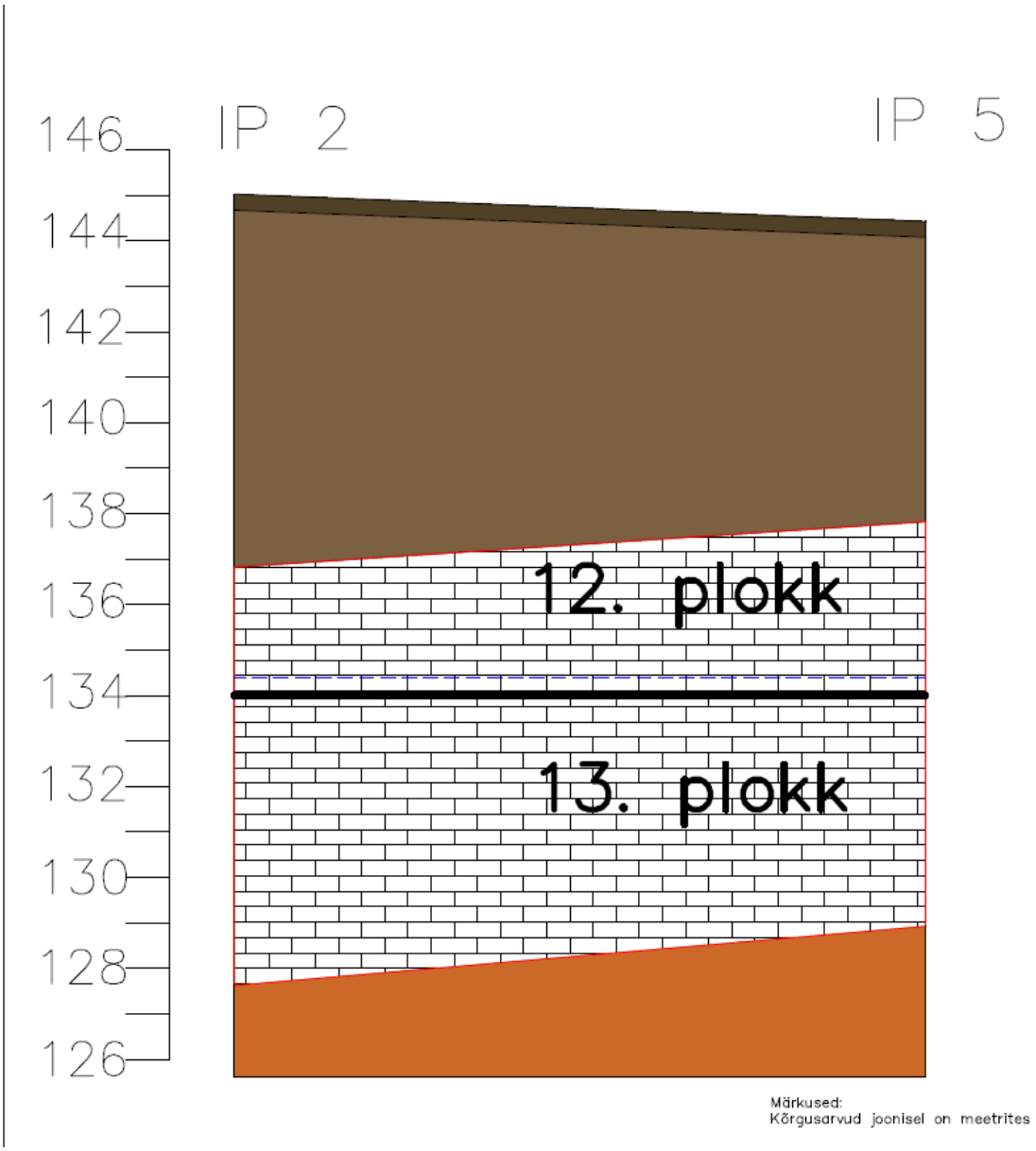
Karjääri eluiga on arvestatud Maapõueseaduse § 60, lõike 1 järgi, mille kohaselt on maksimaalne kaevandamisloa kehtivusaeg 30 aastat [7].

3. Geoloogiline iseloomustus

Marinova maardla paikneb Ülem-Devoni karbonaatkivimite avamusalal. Marinova maardla pinnakattesetete all avanevad põhjaveekihiga eraldatud dolokivikihid. Kasuliku kihi katend on saviliiv- ja liivsavimoreen ning selle peal kasvukiht. Dolokivi lamam koosneb domeriidist ja savist. [4] Dolokivimaardlast annavad täpsema ülevaate Tabel 1 ja Joonis 2.

Tabel 1. Marinova maardla geoloogilise läbilõike kirjeldus [8]

Kihi nimetus	Kihi paksus, m		Geoloogiline indeks
	Min	Max	
Kasvukiht	0,2	0,4	IV
Saviliiv ja liivsavimoreen	3,5	8,0	$g_m jr_3$
12. plokk, dolomiidistunud lubjakivi, karastunud ja lõheline, savi vahekihtidega, väljaleostunud detriidiga, kohati esineb merglikelmeid	2,5	5,0	$D_3 pl P$
13. plokk, dolomiit, hallikasbeež, pisikristalliline, massiivne, intervalliti lõheline	5,2	6,2	$D_3 pl P$
Domeriit savi vahekihtidega	1,0	8,0	$D_3 pl Sn$



Joonis 2. Marinova maardla karjääri geoloogiline läbilõige (Graafiline lisa 2)

3.1 Katend

Marinova maardla kasulikule kihile moodustab katendi Ülem-Järva alamkihistu (g_mjr_3) punakaspruun saviliiv- ja liivsavimoreen ning kollakaspruun aleuriitne saviliiv (Joonis 2.) Mäeeraldisel on katendi paksuseks 3,9-8,3 m, keskmiselt 7,3 m. Pinnakatte paksus suureneb lõuna poole. Katend lasub keskmiselt 0,3 m paksuse kasvukihi all. [8]

3.2 Kasulik kiht

Kasulik kiht koosneb Plavinase kihistu Pskovi kihistiku (D_3*pl*P) dolokivist paksusega 8,1-10,5 m ja jaguneb kaheks plokiks: 12. ja 13. plokiks. [8].

3.3 12. plokk

Põhjaveetasemest kõrgemale jääv 12. plokk on väga tugevalt karstunud ja lõheline (Joonis 3). Mõningatel aladel on tegemist kollakashalli dolomiidistunud lubjakiviga, mis on teraline ja biomorfne. Mõningatel aladel puudub dolomiidistumine ning leidub puhast lubjakivi. Esineb biohermse savi vahekihte. 12. ploki paksus jääb vahemikku 2,5 – 5 m. Antud kihti raimatakse ja väljatakse ekskavaatoriga. [8]



Joonis 3. Marinova karjääri 12. plokk

3.4 13. plokk.

Põhjaveetasemest madalam, 13. plokk, on massiivsem ning koosneb hallikasbeežist dolomiidist. Kivim on mikro- ja pisikristalliline ning intervalliti kavernoosne. Esineb vähesel määral lõhesid ning

üksikuid kaverneid. Kihi väljamiseks kasutatakse lõhkamist. 13. ploki paksus jääb vahemikku 5,5 – 6,8 m (Tabel 2). [8]

Tabel 2. Marinova II 13 ploki paksused

Puurauk	13 ploki sügavus, m
IP 4	6,8
IP 5	5,5
IP 6	6,4
Pa 7	5,7
Keskmine	6,1

3.5 Lamam

Dolokivile moodustab lamami Plavinase kihistu Snetnaja Gora kihistik (D_3plSn). Kihistik koosneb valdavalt domeriidist ja savist. Aivar Brutuse andmetel on kihi ulatuseks kuni kaheksa meetrit. Snetnaja Gora kihistu all lamavad Amata kihistu (D2am) terrigeensed kivimid. Kivimid koosnevad savikate vahekihtidega liivakividest. Kihi paksuseks on hinnatud 12 – 21 meetrit. [8]

Marinova maardla geoloogiat hinnatakse puuraukude Pa 3- Pa 7 järgi (Tabel 3) (Joonis 1) [8] .

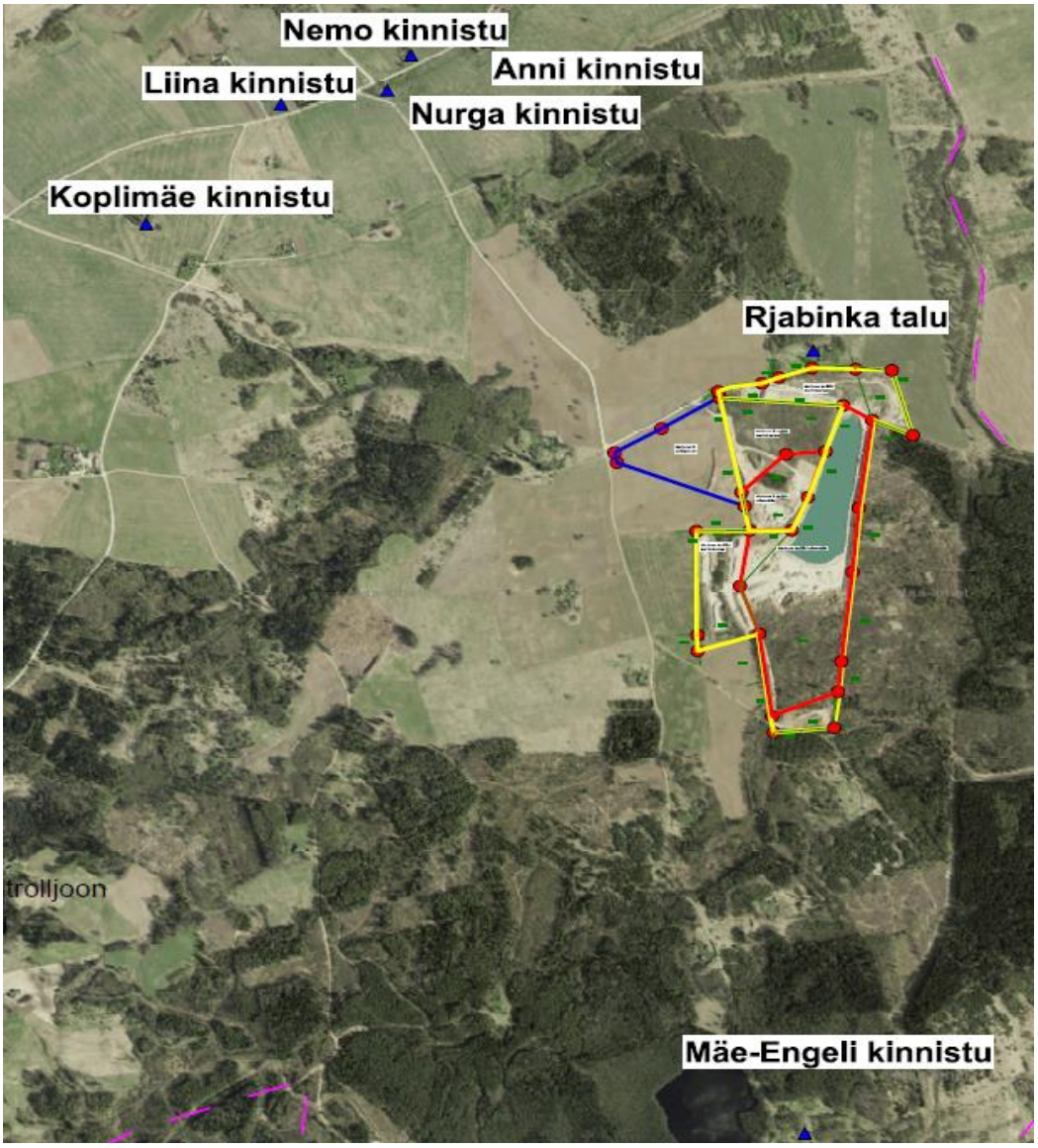
Tabel 3 Puuraukude ja interpolatsioonipunktide andmed [8]

Puurauk	Koordinaadid L-Est 97		Suudme kõrgus (m)	Katendi paksus (m)	Dolokivi kogupaksus (m)	Dolokivi ülemise pinna abs. kõrgus (m)	Dolokivi alumise pinna abs. kõrgus (m)
	X	Y	Z				
Pa 3	6405036,4	709269,4	140,7	5,0	6,9	135,7	128,8
Pa 4	6405451,6	709696,7	142,3	3,9	10,8	138,4	127,6
Pa 5	6405295,4	709705,8	142,5	4,5	9,3	138,0	128,7
Pa 6	6405068,8	709735,6	144,5	7,0	7,9	137,5	129,6
Pa 7	6405030,2	709551,4	146,4	7,9	9,2	138,5	129,3
Pa 8	6404876,5	709466,8	145,0	6,4	9,1	138,6	129,5
Ip 1	6405162,8	709398,6	143,8	6,6	8,5	137,2	238,7
Ip 2	6405226,4	709464,0	145,9	8,3	9,1	137,6	128,5
Ip 3	6405357,6	709597,7	142,8	5,3	10,1	138,1	128,0
Ip 4	6405325,7	709653,5	142,7	4,8	9,7	137,9	128,2
Ip 5	6405142,1	709594,3	144,5	6,4	9,1	138,1	129,0
Ip 6	6405031,1	709423,4	143,7	6,5	8,1	137,2	129,1
Ip 7	6405083,4	709414,4	145,1	7,9	8,3	137,2	128,9
Pa 7-90	6405412,2	709827,0	142,8	6,1	7,7	136,7	129,0

4. Hüdrogeoloogiline iseloomustus

Devoni platool asuva Marinova maardla esimeseks pidevaks veekompleksiks on Ülem-Devoni veekompleks. Vettkandvateks kivimiteks on Plavinase kihistu Pskovi kihistiku lõhelised ja karstunud dolo- ja lubjakivid. Pskovi kihistiku lamamis oleva Snetnaja Gora kihistiku domeriidid ja savid moodustavad regionaalse veepideme. [8]

Vihma- ja lume sulavee äravool toimub karbonaatkivimites olevate lõhede kaudu. Põhjavee liikumine on erinevate andmete kohaselt erinev [4]. Viimased uuringud näitavad, et põhjavee liikumine toimub põhja ja loode poole. Varasemad uuringud on näidanud, et põhjavesi liigub lõuna ja kagu suunas [8]. Samuti kõigub põhjavee absoluutne kõrgus, mis on seotud sademete hulgaga [9]. Absoluutseks kõrguseks on mõõdetud veeseiretel 134,4-134,7 m. 2018. a sügisel oli põhjaveetase AS TREV-2 grupi Marinova karjääris 134,15, mis oli tingitud erakordselt kuivast suvest [9]. Kuiva perioodi tõttu jäid 2018. a suvel kuivaks Nemo ja Anni kinnistute kaevud [10] [11]. Ka teised seiratavad kaevud olid veenappuses. Põhjavee seiret teostatakse karjääris ja karjääri ümbritsevatel kinnistutel vähemalt kolm korda aastas [2]. Järgneval joonisel on välja toodud seiratavate kaevude asukohad (Joonis 4).



Joonis 4. Seiratavad kaevud Marinova II karjääri läheduses (Graafiline lisa 3)

2018. a novembri seisuga on vesi Marinova karjääri veekogu erinevate näitajate poolest piirnormides. Ammooniumlämmastiku sisaldus on 0,018 mgN/l, nitraadi sisaldus on 0,68 mgN/l, nitriti sisaldus on 0,033 mgN/l, mis jäävad piirnormidesse. Hõljuvainet on 17 mg/l ning naftasaaduseid <20 µg/l. [9] Proovivõtmise ajal avatud või vett täis olnud kaevude veeproovide analüüsid on välja toodud järgmises tabelis (Tabel 4).

Tabel 4. Jälgitavate kaevude veeproovide tulemused [9] [11] [10]

	Ühik	Piirsisaldus	Liina kinnistu	Nurga kinnistu	Rjabinka kinnistu
Ammoonium (NH_4^+)	mg/l	0,5	<0,02	<0,02	<0,02
Hõljuvaine	mg/l		4,8	2,3	4,0
Nitrit(NO_2^-)	mg/l	0,5	0,24	<0,01	0,016
Nitraat (NO_3^-)	mg/l	50	54	16	13
Naftasaadused (süsivesinikud C_{10}-C_{40})	µg/l		90	<10	<10

Viimased tulemused on näidanud, et kaevandamise mõju põhjavee kvaliteedile puudub ning vee reostust pole kaasnenud (Tabel 4). Kuigi Liina kinnistu analüüsitulemused olid piirnormide ligidal, ei saa väita, et antud tulemused on kehvad Marinova karjäärist kaevandamise tõttu. Sellisel juhul peaks olema tulemused halvemad ka Nurga kinnistu kaevus. Üldjoontes vastab vesi kaevudes joogivee normidele.

5. Maavara kvaliteet

Marinova karjääri dolokivivaru aktiivseks ümberhindamisel kasutati andmeid puuraukudest Pa 3 – Pa 7. Dolokivi keemiline koostis Marinova II karjääri alal on esitatud järgnevas tabelis (Tabel 5). [8]

Tabel 5. Dolokivi CaO; MgO ja lahustumatu jäägi sisaldused Pa 3-Pa7 [8]

Puurauk	Proovitud sügavus (m)	CaO (%)	MgO (%)	Lahustumatu jääk (%)
Pa 3	3,2 – 11,9	34,34	15,21	3,75
Pa 4	3,9 – 14,7	34,83	15,20	3,14
Pa 5	4,5 – 13,8	31,24	15,44	3,69
Pa 6	7,0 –14,9	31,09	18,29	4,49
Pa 7	7,9 – 17,1	35,98	14,55	3,52
Kaalutud keskmine		33,6	15,65	3,68

Tabel 5 näitab, et keemiline koostis karjääri piires on suhteliselt ühtlane. Tõenäoliselt on lahustumatu jäägi sisaldus dolokivilasundis suurem, sest puurimisel on kõige suurem kadu just pudedates savikates intervallides, mida Marinova maardla pealmises kihis on rohkesti.

Ülemisest kihist laboris valmistatud killustiku peamised füüsikalis-mehaanilised omadused on järgmised: külmakindlus 25 tsüklit, puistemahumass 1300 – 1380 kg/m^3; veeimavus 1,3 – 2,6%. Killustiku tolmu- ja saviosade sisaldus on 3,6 – 4,0 % (fraktsiooni 10-20 mm juures). Survetugevuse mark jääb 600-1200 vahele. Plaatsusteguriks on 7-20,9 % ning killustiku saagis (üle 5 mm osad) 70,9-81,9%. [8]

Kuna Aigren OÜ on tootnud Marinova II karjääri killustikku töö koostamise ajaks ainult pealmisest, 12. plokist, siis kirjeldatakse 12. ploki dolokivi sellest toodetud fraktsioneeritud killustikuproovide kaudu (Tabel 6). [3]

Tabel 6. Marinova II karjääris toodetud killustikuproovide tulemused. Sulgudes toodud katseprotokollide numbrid. [12] [13] [14] [15]

	Peenosiste sisaldus (%)	Plaatsustegur (%)	Purunemiskindlus (LA)	Külmakindlus (%)
4/16 (nr 5007/18)	2,1	12	31	2,2
16/32 (nr 3355/18)	0,8	10	30	0,7
32/64 (nr 2923/18)	0,4	4	31	0,5
4/64 (nr 2242/18)	3,9	12	32	0,7

Eelnevast tabelist järeldub, et suuremate fraktsioonide korral on dolokivist toodetud killustik külmakindlam ning väiksema peenosiste sisaldusega. Peenematel fraktsioonidel on suurem peenosiste hulk ning ka suurem külmakindluse protsent, mis tuleneb sellest, et plokis 12 on lõhedesse settinud saviosakesi.

Alumisest kihist valmistatud killustiku füüsikalis-mehaanilised omadused on järgmised: külmakindlus 25 tsüklit, puistemahumass 1280 kg/m^3, veeimavus 1,5 – 2,8% Survetugevuse mark jääb 1000 kuni 1200 vahele, mis on tugevam kui pealmise kihi dolokivil. Tolmu- ja saviosakeste sisaldus on 10 – 20 mm fraktsiooni juures 3,2 – 3,5 %, mis on madalam tulemus kui pealmise kihi materjalil. Killustiku väljatulek jääb vahemikku 75,4 – 80 %. [8]

Dolokivi survetugevus kuivalt jääb vahemikku 157 – 237 MPa. Külmakindluseks on 25 tsüklit. Mõlemad normid vastavad ehitusdolokivi põhinõuetele [8]. Ülemise ja alumise ploki maavara kvaliteeti võrreldes järeldub, et alumise kihi materjal on kvaliteetsem ning vee alt tasub materjali kaevandada.

6. Mäenduslikud tingimused

Marinova II karjääri mäendustingimused on keerulised. Kasvukiht kooritakse ja ladustatakse kuni 3 m kõrgustesse puistangutesse. Aunasid ei tihendata säilitamaks mulla bioloogilist aktiivsust. [16] Eeldatav kattekiht on paks (keskmiselt 7,3 m). Katend kooritakse kihtide kaupa ning ladustatakse teenindusmaale. Kasuliku kihi keskmine paksus on 9,1 m, mis teeb katte- ja kasuliku kihi suhteks 1:1,25. [16]

Põhjaveetasemest kõrgemal asuv dolokivikiht on lõheline ning seda saab väljata eelneva kobestamiseta. Kihi negatiivseks omaduseks on, et lõhedes peitub palju saviläätsi, mis tuleb toodetud killustikust eemaldada. Kuna kiht on lõheline ja pindmiselt murenenud, siis on purustamisel toodetud killustikusaagis väiksem ning tekib rohkem sõelmeid, millele puudub nõudlus. [4]

Põhjaveetasemest madalamal asuv dolokivikiht on massiivne, seda saab raimata vaid puur-lõhketööde abil, kuid veetaset alandada ja ümber juhtida pole lubatud [2]. Veealuse kihi paksus on keskmiselt 6,0 meetrit. Väljamine toimub ühe astanguga. Väljata tuleb veealuste puur-lõhketööde abil. [16]

Kuna mäeeraldise pindala on 4,0 ha, siis tuleks katend eemaldada läänes olevale teenindusmaale, et mäeeraldis oleks vaba kaevandamiseks (Joonis 5).

7. Marinova II karjääri tehnoloogiline skeem ja karjääri areng

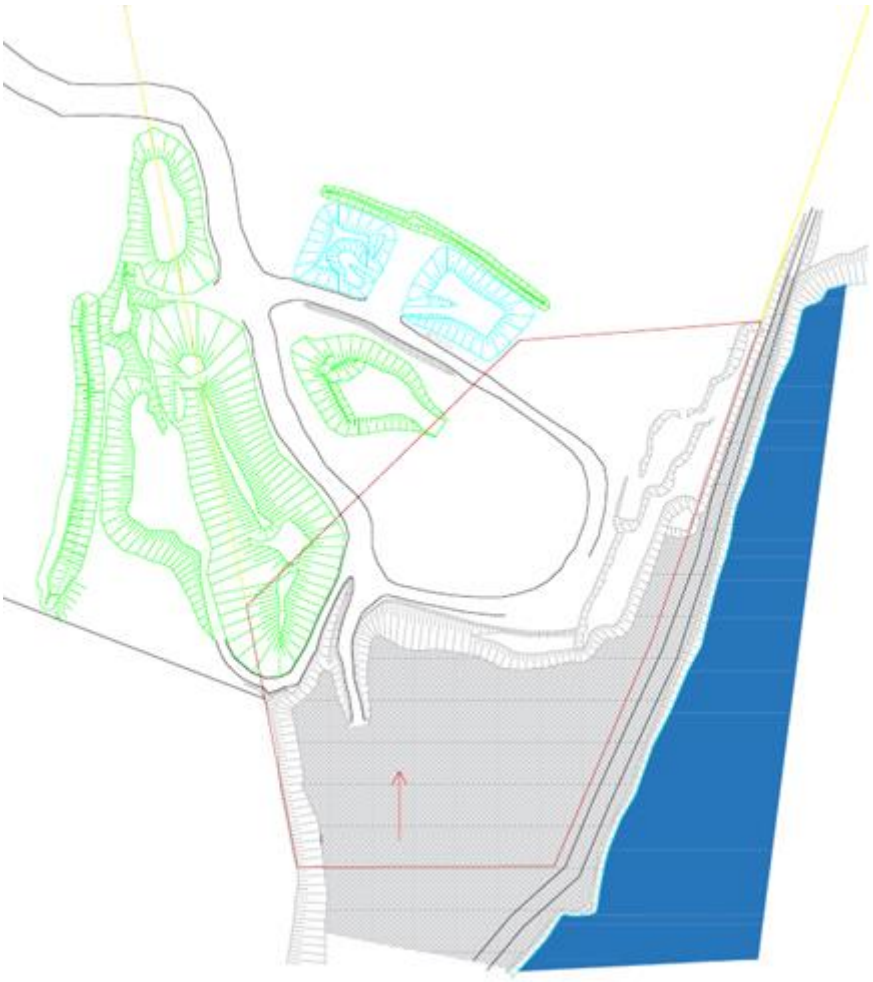
2016. a kevadel alustati katendi koorimist ja kaevandamist karjääri kagunurgast, TREV-2-le kuuluva Marinova karjääri piirist. Katend kooriti ja teisaldati lääneosas olevale Marinova II karjääri teenindusmaale. 2017. a alustati katendi ladustamist kõrvalasuvale Lahnova maaüksusele. 2019. a seisuga on katendit vallis ligi 100 tuh m^3. 2018. a suvel kaevandati kokkuleppel TREV2-ga kahe karjääri vahel olnud nõlvad nii, et Marinova II karjääri põhi on sama kõrgel kui on Marinova karjääri põhi. Katendit hakati eemaldama Marinova karjääriga piirnevalt alalt lääne suunas (Joonis 5). [3]

Katendi ladustamiseks kasutatakse Scania, Volvo või Kamaz-i kallureid. Ekskavaator laadib katendi kalluritele ja see teisaldatakse vastavale ladustamisplatsile. Katendi koorimine toimub kahes etapis. Alguses eemaldatakse suurem maht katendist ning laaditakse see otse kalluri peale. Katendit laadib ekskavaator. Seejärel kooritakse järele jäänud õhuke katendikiht. See etapp tagab pealmise dolokivikihi puhtuse (Joonis 6.). [16]

Materjali toodetakse kasutades Aigren OÜ-le kuuluvaid masinaid. Materjali purustamiseks on rootorpurusti Kleemann MR 110 Z EVO 2 ning sõelumiseks sõelumissõlm Kleemann Mobiscreen MS 953. Tootmisliini alustab roomikekskavaator CAT 320 DL. Tootmisliin on kujutatud järgnevatel joonistel (Joonis 7.). Toodetud materjali laadib ladudesse või veokitele frontaallaadur Volvo L150G, mis on varustatud koormakaaluga.

Kasvukihi koorimiseks, katendi ladustamiseks või veoteede planeerimiseks kasutatakse buldooserit CAT D6K LGP. Kaevise ja toodangu karjäärisiseseks transpordiks kasutatakse kallureid Volvo FH 480 6x2.

Käesoleval ajal kasutatavate mehanismide tehnilised parameetrid on välja toodud lisas (Lisa 1).



Joonis 5. Marinova II karjääri plaan (Graafiline lisa 5)



Joonis 6. Katendi eemaldamine ja killustiku tootmine Marinova II karjääris



Joonis 7. Marinova II karjääri tootmisliin

8. Raimamine

8.1 Üldseisukohad

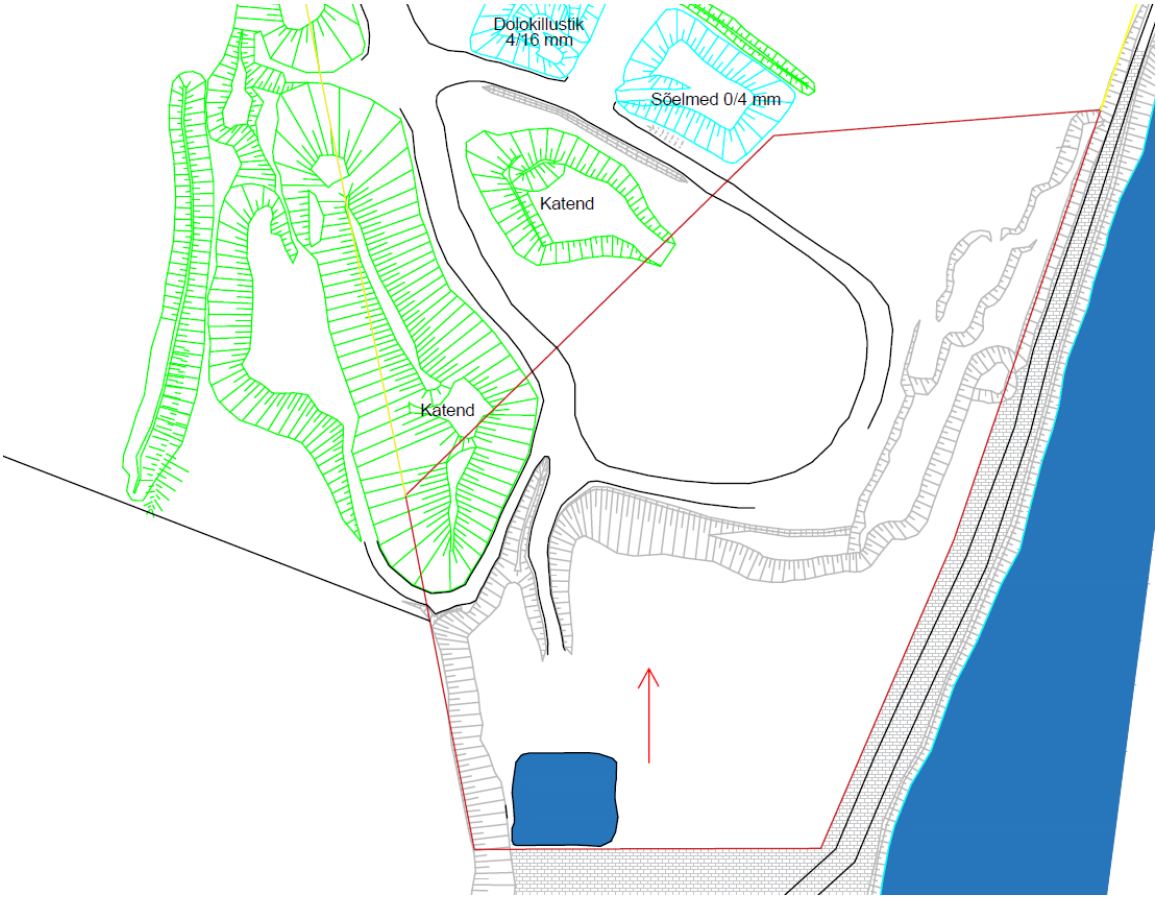
Marinova II karjääris ei ole erinevatel põhjustel veetaset alandada lubatud [2]. Esiteks tekib ümber karjääri alanduslehter, mille tõttu jäävad kuivaks karjääri läheduses olevate elumajade kaevud. Teiseks ulatub alanduslehter ka Vene Föderatsiooni aladele, millega kaasneks keeruline poliitiline faktor.

Üheks võimaluseks oleks rajada ümber maardla savikast materjalist veetõke, mille tulemusena saaks veetaset karjääris alandada. Veetõkke sügavus peab olema suurem, kui maavara lamami sügavus [17]. Marinova II karjääri läbilõike järgi on maavara lamam 16 m sügavusel (Joonis 2). Sellest järeldub, et veetõke peaks ulatuma maapinnast vähemalt 17 – 18 m sügavusele, mis teeb selle rajamise mäetehniliselt keeruliseks ning ressursimahukaks. Lisaks puuduvad veetõkete tõhususe kohta usaldusväärsed katsetulemused.

Eelnevat arvesse võttes raimatakse dolokivi puur-lõhketöödega.

8.2 Raimamine puur-lõhketöödega

Puur-lõhketöödega kobestamiseks tuleb esmalt lõhata Marinova II alale algmurre, sest hetkel olemasoleva Marinova karjääri veekoguga ühendust luua ei saa, kuna Marinova karjääri veotee asub Marinova II ja Marinova veekogu vahel. Lõhketöödega alustatakse karjääri edelanurgast ja liigutakse põhja suunas (Joonis 8). Kuna katendi maht on väga suur (291 tuh. m^3), siis on otstarbekas katendipuistanguid võimalikult vähe ümberladustada ning paigutada katend sinna, kust enam ei kaevandata. See tähendab, et eemaldatud katendit oleks otstarbekas kasutada tekkiva veekogu täitmiseks.



Joonis 8. Marinova II karjääri arenguplaan (Graafiline lisa 5)

8.3 Puur-lõhketöödega alustamine

Algmurde parameetrid on välja toodud järgnevas tabelis (Tabel 7). Kuna esimeste lõhkamiste eesmärgiks on rajada edasise lõhkamise jaoks piisava pikkusega ee, siis lõhatud materjali lõimisele rõhku ei panda ning puur-lõhketööde algparameetrid on lõhkamiseks valitud eelnevate analoogsete puur-lõhketööde põhjal sarnastes tingimustes [18].

Oluline on topistamine. Topis ei tohi lõhkeaugust välja paiskuda, tagamaks plahvatuse töö suletud keskkonna. Optimaalne oleks kasutada killustiku peenfraktsioone.

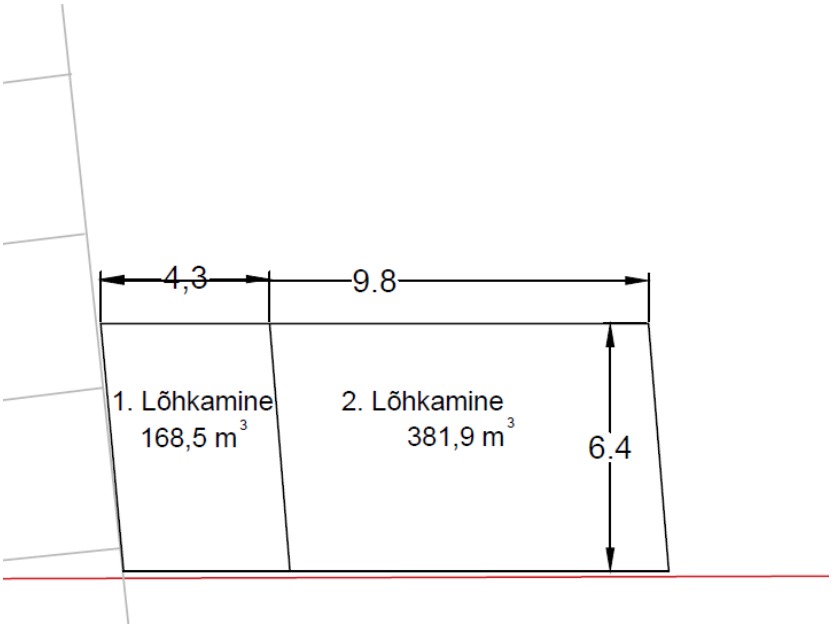
Tabel 7. Algmurde parameetrid

Parameeter	Algne lõhkamine
Lõhkeaine erikulu, (kg/m³)	0,7
Lõhkeaine paigutustegur	1,2
Lõhkeaine parandustegur	1,2
Ülepuure tegur	4
Laengu jaotatud mass	6,2
Lõhkeaugu läbimõõt, (m)	0,089
Astangu kõrgus, (m)	6,1
Vähim vastupanujoon,(m)	2,89
Puuraukude laengusamm reas, (m)	1,45
Laenguridade vaheline kaugus, (m)	3,47
Laengu mass, (kg)	15,32
Laengu pikkus, (m)	2,47
Ülepuure pikkus, (m)	0,36
Lõhkeaugu sügavus, (m)	6,46
Topise pikkus, (m)	3,99

Algmurre tehakse kahe reaga, mõlemas kolm laenguauku. Selle lõhkamisega rajatakse esimene vaba pind. Lõhkeaine paigutusteguriks ja parandusteguriks valiti 1,2 mis on üldlevinud koefitsent lühiviitlõhkamist kasutades. Ülepuure teguriks valiti 4 korda laengu läbimõõtu, mis tagab puurimisel tekkinud osakes langemise alla poole kasulikku kihti. Edasi liigutakse ida suunas, lõhates kolm rida ja neli laenguauku reas (Tabel 8). Selleks hetkeks on ala veel piisavalt väike, et hetkel kasutatava ekskavaatoriga igalt poolt dolokivi väljata (Joonis 9).

Tabel 8. Esimeste plokkide parameetrid

Lõhkamise järjekord	Ridade arv lõhatavas plokis	Lõhkeauke reas	Ploki pikkus, (m)	Ploki laius, (m)	Lõhatava ploki maht, (m³)	Väljatav materjal, (t)
1.	2	3	4,3	6,4	168,5	370,7
2.	3	4	6,4	9,8	381,9	840,2

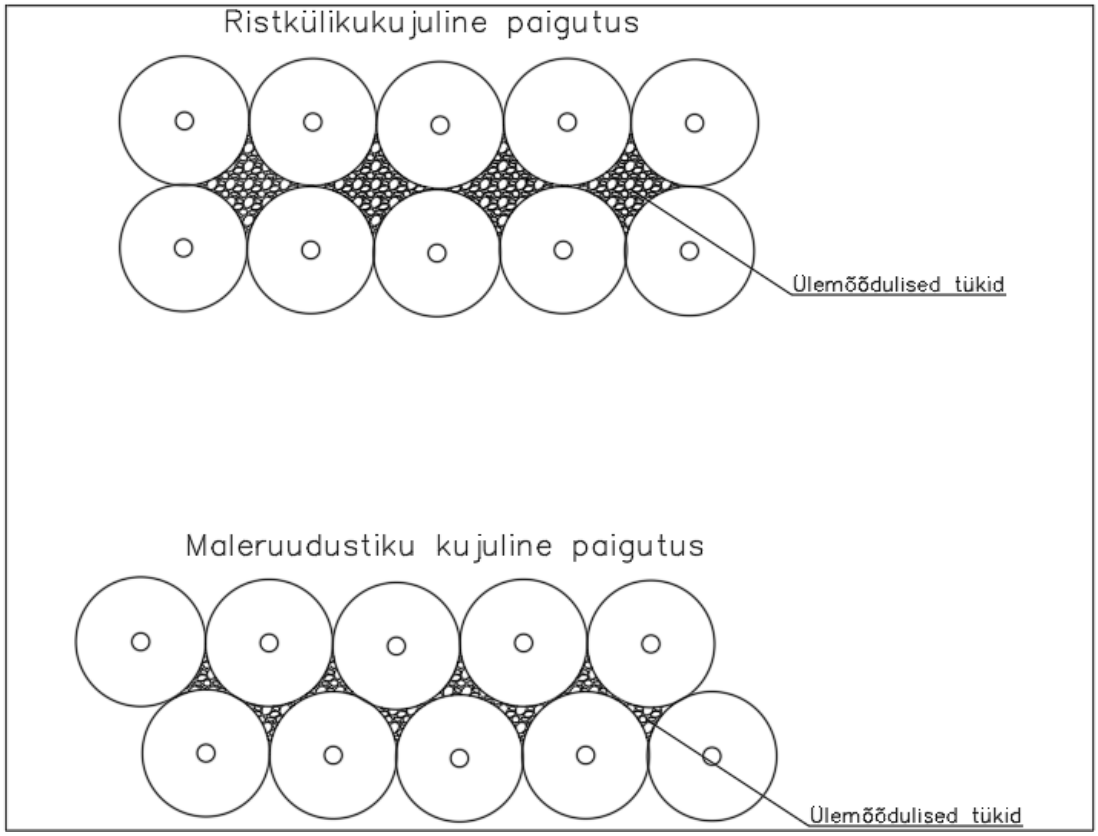


Joonis 9. Esimeste puur-lõhketööde parameetrite skeem

Edasiste lõhkamise jaoks peab valima puur-lõhketööde parameetreid täpsemalt. Lõhatud materjal peab olema võimalikult ühtlase lõimisega tagamaks dolokivi purustamiseks parema algmaterjali. Maksimaalne tükisuuruse läbimõõt hetkel kasutatavasse purustisse sisestamisel on kuni 550 mm [19]. Kuna käesoleval ajal kasutatav ekskavaator suudab väljata 6,1 m sügavuselt (keskmine veealuse dolokivikihi paksus) passi järgi 4,5 meetri raadiuselt, siis lõhatava ploki laius ei tohi olla üle 4,5 m.

8.4 Lõhkeaukude paigutus

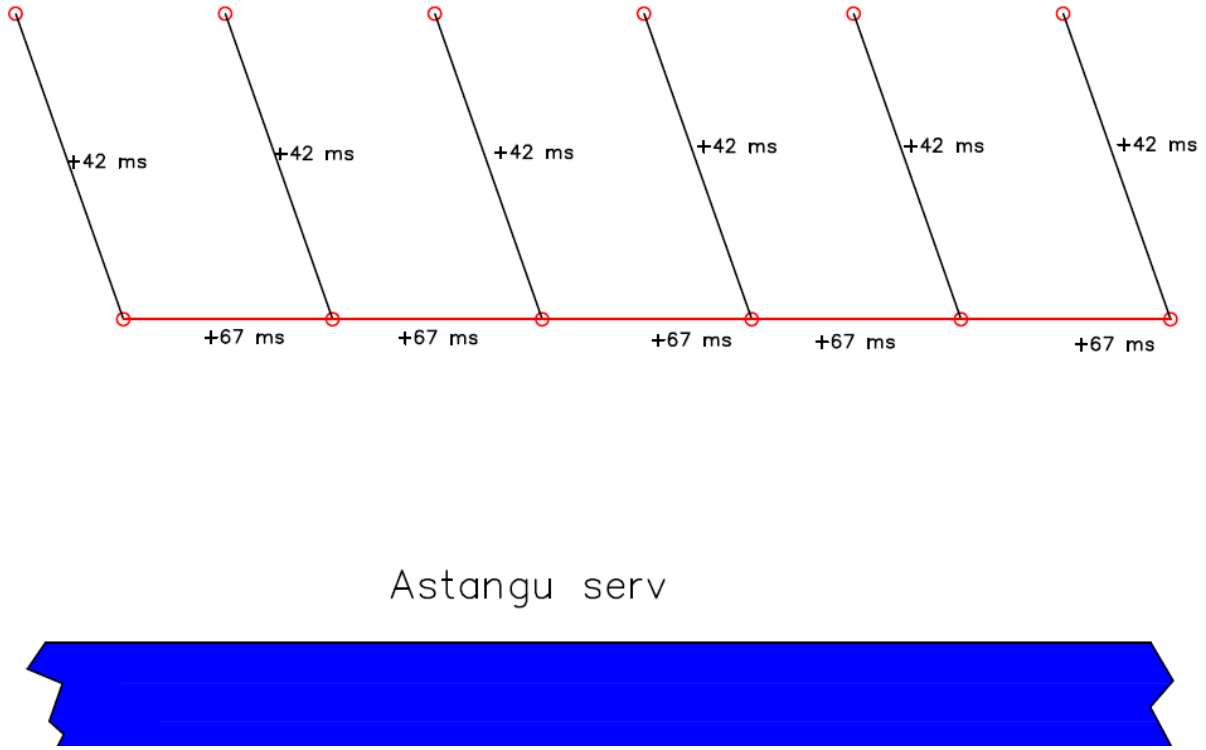
Lõhkeauke saab paigutada mitut moodi. Peamiselt paigutatakse laenguid ristküliku- või malekorras võrguna. Killustiku tootmiseks on vajalik ühtlane materjali tüki suurus. Seda tagab paremini malekorras paigutatud lõhkeaukude võrk (Joonis 10). Jooniselt on näha, et ülegabariitseid tükke tekib rohkem alal, kuhu lõhkamiste mõju täies ulatuses ei ulatu. Ülegabariitseid tükke saab küll hüdrovasara abil purustada, kuid see töö on väga aja- ja energiakulukas. Kui ridade vahelist kaugust vähendada, väheneb küll ülemõõduliste tükkide moodustumise ala, kuid suureneb ala, kus on mitme laengu koosmõju. See tähendab, et suureneb ala, kus tekib lõhkamise tagajärjel peenem materjal. Maleruudustiku kujulise paigutuse korral ulatub lõhkamise mõju paremini ridade vahelisele alale, kus ülemõõdulisi tükke tekib vähem ning peent materjali ei teki tavapärastest paigutusest rohkem. Maleruudustiku kujulise paigutuse märkimiseks kulub küll rohkem aega kui ristkülikukujulise paigutuse märkimiseks, kuid malekorras paigutatud aukudega saab paremini kasutada olemasolevaid lõhesid massiivis, laenguaukude paigutust soositud suunas muutes.



Joonis 10. Lõhkeaukude paigutuse skeemid

8.5 Lõhatud materjali kvaliteedi tagamine

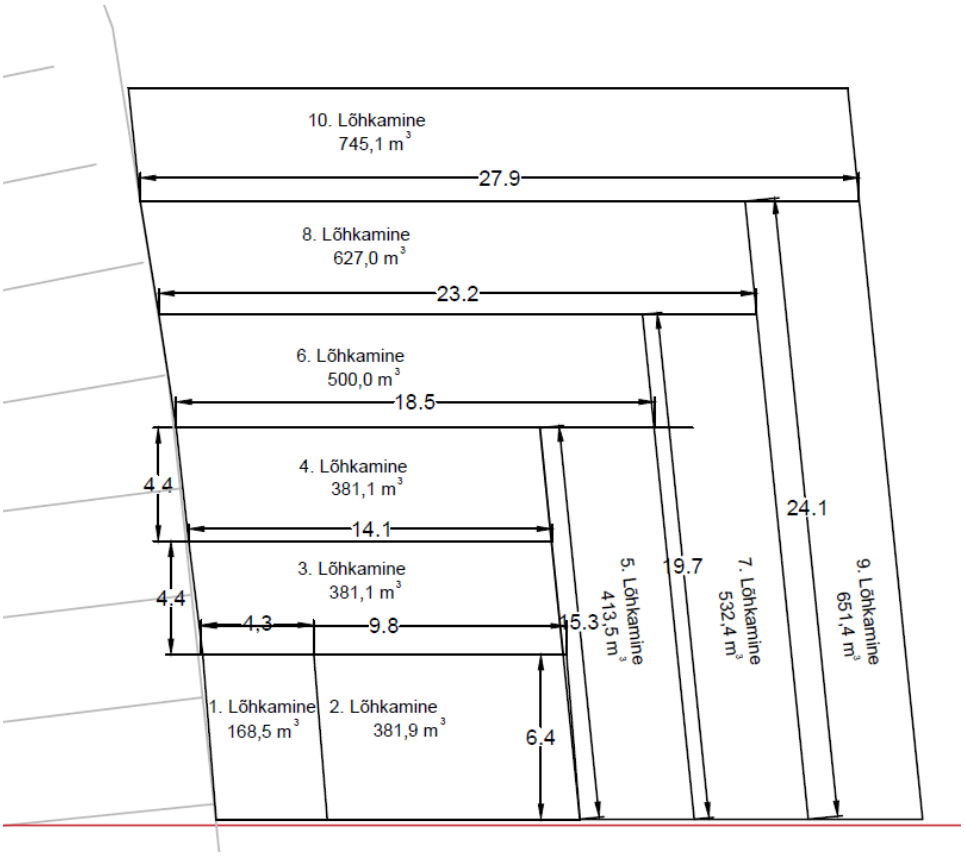
Puur-lõhketöödega raimatud materjali tüki suurus peab olema võimalikult ühtlane. Ühtlase lõimise tagab lühiviitlõhkamine, kus iga laeng on eraldi viites (Joonis 11). Iga eelnevalt lõhatud laeng tagab järgmisele laengule lisaks uue vaba pinna. Samuti ei mõju ühele alale samal ajal mitu laengut, mis purustaks materjali peenemaks.



Joonis 11. Marinova II karjääri viidete näitlik skeem (Graafiline lisa 6)

8.6 Puur-lõhketööde väljamise parameetrid

Lõhkamist alustatakse karjääri kagunurgast. Pärast ettevalmistavaid puur-lõhketöid ja esmast väljatud plokki alustatakse väljamist põhjasuunas, pikema lõhatud vabapinna suunas. Sellist süsteemi kasutades lõhatakse järjest suuremaid plokke kuni on saavutad lõhkamiseks piisava pikkusega plokid (Joonis 12). Edasi võib lõhata vaid ühes suunas vastavalt vajadusele.



Joonis 12. Lõhatavate plokkide süsteem ekskavaatori Komatsu HB365LC-3 tööparameetrite korral (Graafiline lisa 7)

Edasine puur-lõhketööde parameetrite valik sõltub väljamismasina töö parameetritest, seega arvutatakse parameetrid erinevate väljamismasinate kasutamise korral (9.2). Erinevate väljamismasinate tööparameetreid arvesse võttes koostati järgnev tabel (Tabel 9).

Tabel 9. Puur-lõhketööde algandmed erinevate väljamismasinate korral [22] [23] [24]

Masin	Komatsu HB365LC-3	Hitachi ZX470 LC	Komatsu PC 650 LC	Liebherr HS 8040.1
Erikulu, (kg/m³)	0,6	0,6	0,6	0,6
Maht, (m³)	7000	7000	7000	7000
Paigutustegur	1,4	1,4	1,4	1,4
Lõhkeaine parandustegur	1,2	1,2	1,2	1,2
Ülepuure tegur	4	4	4	4
Laengu jaotatud mass	5,8	6	5,8	6,2

Masin	Komatsu HB365LC-3	Hitachi ZX470 LC	Komatsu PC 650 LC	Liebherr HS 8040.1
Viitetegur	5	5	5	5
Astangu kõrgus, (m)	6,1	6,1	6,1	6,1
Ammutusraadius 6,1m sügavuselt, (m)	4,5	5	5,5	14,2

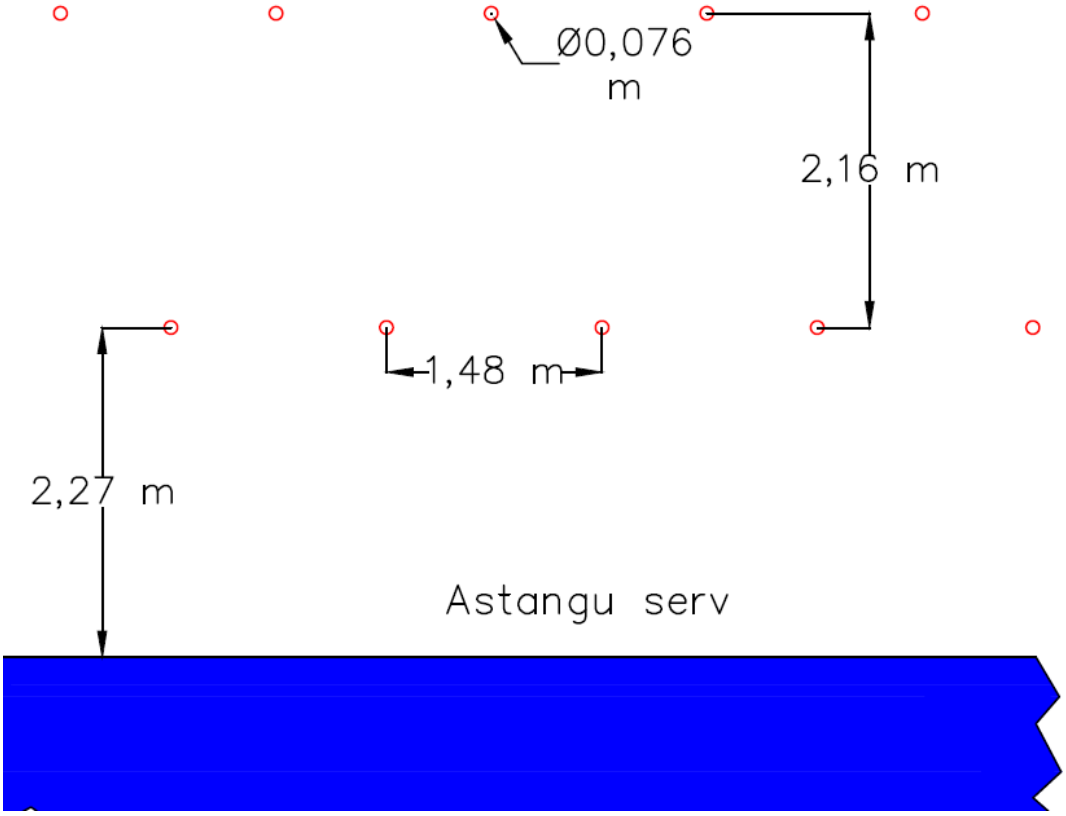
Eelneva tabeli põhjal arvutati puur-lõhketööde parameetrid erinevate väljamismasinate tööparameetrite korral (Tabel 10).

Tabel 10. Puur-lõhketööde parameetrite arvutustulemused erinevate väljamismasinate kasutamise korral

Masin	Komatsu HB365LC-3	Hitachi ZX470 LC	Komatsu PC 650 LC	Liebherr HS 8040.1
Vähim vastupanujoon, (m)	2,27	2,36	2,36	2,68
Puuraukude laengusamm reas, (m)	1,48	1,42	1,54	1,74
Laenguridade vaheline kaugus, (m)	2,16	2,36	2,84	2,68
Laengu mass, (kg)	15,97	14,74	15,97	17,07
Laengu pikkus, (m)	2,75	2,54	2,75	2,75
Ülepuure pikkus, (m)	0,30	0,30	0,30	0,36
Lõhkeaugu sügavus,(m)	6,40	6,40	6,40	6,46
Topise pikkus, (m)	3,65	3,86	3,65	3,70

Tabel 11. Puur-lõhketööde parameetrid kasutades väljamiseks ekskavaatorit Komatsu HB365LC-3

Lõhkamise järjekord	Ridade arv lõhatavas plokis	Lõhkeauke reas	Ploki pikkus, (m)	Ploki laius, (m)	Lõhatava ploki maht, (m^3)	Väljatav materjal, (t)	Lõhkeaine kulu, (kg)
3	2	10	14,1	4,4	381,1	838,4	292,47
4	2	10	14,1	4,4	381,1	838,4	292,47
5	2	10	15,3	4,4	413,5	909,7	317,36
6	2	13	18,5	4,4	500,0	1100,0	383,73
7	2	13	19,7	4,4	532,4	1171,4	408,62
8	2	16	23,2	4,4	627,0	1379,5	481,22
9	2	16	24,1	4,4	651,4	1433,0	499,89
10	2	19	27,9	4,4	754,1	1658,9	578,71



Joonis 13. Marinova II karjääri lõhkeaukude näitlik skeem ekskavaatori tööparameetreid arvestades (Graafiline lisa 8)

9. Kobestatud dolokivi laadimine

9.1 Üldseisukohad

Dolokivi veealt laadimiseks on võimalik kasutada kolme erinevat masinat: roomikekskavaatorit, draglaini või greiferkoppa. Puur-lõhketöödega raimatud dolokivi tuleb tõsta ee lähedale puistangusse. Kuna masinad ei saa minna ise vee sisse, siis peavad valitud masinate ammutusraadiused ja ammutussügavused olema suuremad astangu kõrgusest ja raimatud ploki laiusest.

9.2 Lõhatud materjali väljamine ekskavaatoriga

Vee alt kaevandamiseks ekskavaatorit valides on tähtis, et ekskavaatori ammutussügavus oleks suurem kui veealuse ee kõrgus. Kui see on väiksem, siis jääb lõhatud materjal väljamata ja seda hiljem väljata ei saa. Tähtsateks parameetriteks on veel kopa maht ja jõud, millega materjali väljatakse. Reeglina on nii, et mida suurem kopa maht ja kopa murdmisjõud, seda raskem ja suurem on ekskavaator ise. Marinova karjääri puhul on olnud vee aluse ee kõrguseks 6 – 6,5 m. Marinova II karjääri vee aluse dolokivikihi keskmine paksus on 6,1 m. Sellest järeldades arvestatakse ekskavaatori valikul ekskavaatori ammutussügavuseks vähemalt 6,1 m. Ekskavaatoriga pealmise kihi otse purustussõlme laadimisel on tähtis, et ekskavaatori tootlikkus oleks suurem purustussõlme tootlikkusest. Katendi teisaldamisel on tähtis, et ekskavaatori laadimiskõrgus on suurem kui ekskavaatorit teenindavate kallurite kõrgus. Ekskavaatorid on võrdlemiseks valitud standardvarustusega. Võimalik on valitud ekskavaatoreid tellida ka erandkorras pikendatud poomi ja noolega, kuid sellisel juhul ei ole võimalik kinnitada suure mahulist koppa. See tähendab, et ekskavaatori tootlikkus väheneb ning antud töö raames pikendatud poomi ja noolega eksavaatoreid ei analüüsita.

Ekskavaator valitakse järgnevate kriteeriumi alusel:

Ekskavaatori ammutusraadius 6,1 m sügavuselt peab olema suurem kogu lõhatud ploki laiusest (Tabel 9) (Graafiline lisa 9).

Kuna dolokivilasund võib ulatuda kuni 7 meetri sügavuseni, siis tuleb masinal väljata ka sügavamalt, kui keskmine lasundi sügavus.

Ekskavaator peab kaevandamisel asuma lõhkamata astangu peal ohutuse eesmärgil (Graafiline lisa 9). Kobestatud materjali peal on veekiht, mis ekskavaatoriga peale sõites muutub sogaseks. See omakorda teeb ohtlikuks ekskavaatori liikumise, kuna ei ole võimalik tuvastada lõhatud materjalist tekkinud nõlva, mis ulatub kuue meetri sügavusele. Samuti ei ole võimalik garanteerida veealuse nõlva stabiilsust.

Lisaks peab ekskavaatori tootlikkus olema ligilähedane kasutatava purustus- ja sorteerimissõlme tootlikkusega. Marinova II karjääri tehnoloogilisse skeemi sobivate purustussõlmede teoreetilised tootlikkused jäävad vahemikku 350 – 380 t/h, mis tähendab, et ka ekskavaatorite tootlikkused peaksid olema ligilähedased, et kasutada mõlemat masinat optimaalselt tootmiseks (Tabel 15), (Tabel 26).

Antud kriteeriumeid arvesse võttes valiti töösse võrdlemiseks erineva suuruse ja võimsusega ekskavaatorid, mille parameetrid on välja toodud allpool asuvas tabelis (Tabel 12).

Tabel 12. Ekskavaatorite töö parameetrid [25] [23] [22] [26]

Parameeter	Cat 320 DL	Kobelco 210	Komatsu HB365LC-3	Hitachi ZX470 LC	Komatsu PC 650 LC
Kaal, (t)	21	21,3	36,4	49,4	64,5
Mootori võimsus, (kW)	103	114	202	270	325
Kopa maht, (m^3)	1,1	1	2,2	2,4	2,7
Ammuturaadius max , (m)	9,4	9,9	10,9	12,1	12,8
Ammutusraadius min, (m)	3,3	3,6	4,3	4,8	5,4
Ammutusraadius masina horisondil, (m)	9,4	9,7	11,1	12,2	13,0
Ammutuskõrgus, (m)	9,38	9,72	10,21	10,26	11,9
Ammutussügavus, (m)	6,2	6,7	7,4	7,8	8,4
Ammutusraadius 6,1 m sügavuselt, (m)	0,4	0,9	4,5	5	5,5
Laadimiskõrgus max, (m)	6,6	6,9	7,1	7,7	8,0
Kopa murdmisjõud, (kN)	141	143	212	254	285

Eelnevalt mainitud parameetreid arvesse võttes koostati järgnev tabel (Tabel 13).

Tabel 13. Ekskavaatorite tootlikused

Parameeter	Cat 320 DL	Kobelco 210	Komatsu HB365LC-3	Hitachi ZX470 LC	Komatsu PC 650 LC
Kopa maht, (m^3)	1,1	1	2,2	2,4	2,7
Ammutussügavus, (m)	6,2	6,7	7,4	7,8	8,4
Teoreetiline tootlikkus, (t/h)	155	144	317	345	389
Tehniline tootlikkus, (t/h)	108	100	219	239	269

Parameeter	Cat 320 D L	Kobelco 210	Komatsu HB365LC-3	Hitachi ZX470 LC	Komatsu PC 650 LC
Efektiivne tootlikkus, (t/h)	98,	91	200	218	245
Ammutusraadius 6,1 m sügavuselt, (m)	0,4	0,9	4,5	5	5,5

Tabelist järeldub, et kahe käesoleval ajal karjääris kasutatava ekskavaatori tootlikkused on kordades madalam, kui Marinova II karjääris kasutatava purustussõlme tootlikkus (Tabel 13). Samuti on kasutatavate ekskavaatorite ammutussügavus võrdne veealuse ee kõrgusega, mis tähendab, et lõhatav esi peaks olema kitsas, sest need ekskavaatorid ei ulatu kaugemalt materjali ammutama. Seega Cat 320 DL ja Kobelco 210 ekskavaatorid Marinova II karjääri tehnoloogilisse skeemi ei sobi.

Ekskavaatorite Komatsu HB365LC-3, Hitachi ZX470 LC ja Komatsu PC 650 LC korral tuleks lõhatava ploki laiuseks 4,5 – 5,5 m. Samuti on ekskavaatorite tootlikkused lähemal purustussõlme tootlikkusele, mis tähendab, et masinad sobiksid ammutama materjali ka purustisse nii, et purusti tootlikkust optimaalsemalt ära kasutada. Seega arvutatakse lõhatavate plokkide mahud kolme eelnevalt välja toodud ekskavaatori parameetrite põhjal (Tabel 11).

9.3 Muud laadimismasinad

9.3.1 Draglain

Draglain ammutab materjali tõmmates koppa mööda karjääri põhja enda poole ja seejärel laadides materjali kas puistangusse või kallurile (Graafiline lisa 10).

Draglaini eelisteks on tema suur ammutussügavus ja ammutusraadius, mis vähendab lõhketööde teostamise sagedust.

Väiksematest ekskavaatoritest, mis sobiksid dolokivikarjääri on hetkel turul kaks Liebherri mudelit: Liebherr HS853 HD ja Liebherr HS8040.1 (Joonis 14). Mõlemal mudelil on väiksemaks noole pikkuseks 11 m. Sobitades draglain Liebherr HS8040.1 Marinova II karjääri vee aluseks väljamiseks, tuleks poomi pikkuseks valida 14 m, sest just sellise poomiga, saab kätte materjali vähemalt 6,1 m sügavuselt. Ammutusraadiuseks 6,1 m sügavuselt on võrreldes hüdrauliliste ekskavaatoritega palju suurem – 14,2 m. [24]

Tabel 14. Draglaini parameetrid [24]

Parameeter	Liebherr HS 8040.1
Kopa maht, (m^3)	3
Ammutussügavus, (m)	7,1
Teoreetiline tootlikkus, (t/h)	270
Tehniline tootlikkus, (t/h)	139
Efektiivne tootlikkus, (t/h)	125
Ammutussügavus, (m)	7,1
Ammutusraadius 6,1 m sügavuselt, (m)	14,2

Töös arvutati välja draglaini Liebherr HS 8040.1 parameetreid kasutades lõhatavate plokkide mahtusid. Kasutades draglaini oleks võimalik lõhata korraga oluliselt suuremate mõõtmetega plokid kui ekskavaatoriga väljates (Tabel 32), mis vähendaks lõhkamisele kuluvaid seisakuid ja tõenäoliselt on suurema koguse lõhkamise korral odavam ka lõhkamise maksumus.

Draglaini kasutamise miinusteks on tema kasutamisvõimaluste vähesus. Masinat saaks kasutada vaid lõhatud dolokivi veealuseks väljamiseks, kuid puudub võimalus laadida materjali purustisse. Draglainiga ei saa raimata ka ülemist, 12. plokki. Hüdraulilise pöördkoppekskavaatoriga on see võimalik. Samuti ei saa draglainiga väljata savi, mille teisaldamine karjääris toimub vähemalt kaks kuud aastas. Küsitav on ka kopa täitetegur, sest vees on veetakistus kopa liikumisele ning pole teada, kuidas see draglain kobestatud dolokivi koppa tõmbab.



Joonis 14.Draglain Liebher HS 8040 [24]

Kuigi draglainil on palju miinuseid, mis Marinova II karjääri tingimustega kokku ei sobi, tuleks antud masinat karjääris siiski katsetada, kuna ammutamisraadius on võrreldes ekskavaatoritega märgatavalt suurem. Peamisteks katsetatavateks parameetriteks peaksid olema just kopa täitetegur vees ja ammutamiseks kuluv aeg, mis määravad, masina tootlikkuse.

9.3.2 Greifer

Greifer kopp haarab kobestatud dolokivi oma haarade vahele ning tõstab selle siis kõrvale. Greifer-ekskavaatori kasuks räägib tema ammutusraadius, ammutussügavus ning tõstevõime [27].

Kuigi teoreetiline tootlikkus tuleks greiferkopa puhul kõrge just tänu eelnevalt nimetatud parameetritele, on selle kasutamine dolokivi väljamiseks siiski ebatõenäoline. Esiteks, ei näe ekskavaatorijuht vee alla, sest vesi muutub sogaseks. Teiseks, on greiferi kopa täitetegur dolokivi puhul väike. Greiferiga on keeruline haarata kobestatud dolokivi, sest kopp ei vaju materjali sisse

ning seetõttu haarab ainult õhukese kihi materjali. Eelnevalt nimetatud põhjuste tõttu ei sobi greiferekskavaator Marinova II dolokivikarjääri kaevandama.



Joonis 15 Greifer-ekskavaator [24]

10. Dolokivi töötlemine

10.1 Eeltööd

Väljatud materjal jäetakse ee kõrvale kuivama. Materjal peaks nõrguma olenevalt ilmastikuoludest vähemalt üks nädal. Kui materjal laadida purustisse liiga niiskena, siis ummistuvad peenema fraktsioonide sõelad. Suure niiskusesisaldusega peenfraktsioon kleepub suuremate osade külge ja selle tulemusena ei vasta nõuetele materjalide terastikulised koostised. Samuti kleepub suure niiskusesisaldusega peenfraktsioon rootorilabade külge ning tsementeerudes võib ummistuda lisaks sõeltele ka purusti rootor.

10.2 Materjali purustamine

Purustus- ja sorteerimiskompleks valitakse vastavalt purustatavatele kivimitele. Dolokivi kuulub nõrkade kaljuste kivimite hulka. Eestis purustatakse paekivi peamiselt rootorpurustiga. Rootorpurustid võivad olla nii statsionaarsed kui ka mobiilsed. Purusti valikul tuleb arvestada toodangu vajadust ja sellest olenevalt valida masin piisava tootlikkusega. Oluline on ka purustatava materjali tükilisus. Suuremate tükkide purustamiseks kulub rohkem aega ja energiat, liiga peenest materjalist ei saa jällegi toota suurema fraktsiooniga killustikke.

Käesolevas töös võrreldakse statsionaarset ja mobiilset purustus- ja sorteerimissõlme.

10.2.1 Mobiilne purustussõlm

Mobiilse purustussõlme eeliseks on võimalus seda karjääris liigutada ilma teisi veovahendeid kasutamata. Väljatud materjali saab otse tõsta purustisse, mille puhul ei ole vajalik materjali ümberlaadimine (Graafiline lisa 11). Tänu vahelaadimise puudumisele puudub vajadus kasutada kallureid, mis omakorda vähendab heitgaaside teket ning karjääriteede kulumist ja kastmist kuival ajal tolmamise vältimiseks. [28]

Käesoleval ajal on Marinova II karjääris kasutusel mobiilne purustussõlm Kleemann Mobirex MR110Z (Joonis 16). Tegemist on kolme rootorilabaga rootorpurustiga, mis on roomikutel võimeline karjääris liikuma. Masina eeliseks on sööturialune vibrosõel, mis sõelub peenema fraktsiooniga materjali välja

enne materjali purustisse sisenemist. See tähendab, et purustisse liigub ainult materjal, mis vajab purustamist (Lisa 3). Purustussõlme parameetrid on välja toodud lisas (Lisa 1).



Joonis 16 Kleeman Mobirex MR 110 Z mobiilne rootorpurusti Marinova II karjääris

10.2.2 Statsionaarne purustussõlm

Statsionaarsel tootmisliinil puuduvad roomikud ja iseseisvaks liikumiseks vajalikud sõlmed. See tähendab, et masinatel on vähem kuluvaid osasid. Kuna tootmisliin seisab paigal, siis saab purustussõlm töötada seisakuteta, mis tagab purusti suurema tootlikkuse. Statsionaarne tootmisliin vähendab ka ekskavaatori ning frontaallaaduri töö ajakulu, kuna ei pea tegema tootmisliinile tööee edasiliikumisel tasandatud platsi ning juurdepääsu teed.

Statsionaarse purustussõlme negatiivseks küljeks on, et purustussõlmel ei ole sööturit, mis materjali purustisse viiks ega sõelurit, mis ülegabariidsed ja väiksemad osakesed enne purustisse minekut välja sõeluks. See tähendab, et juurde tuleb hankida eelsõel, millel on söötur ning mis ülegabariitsed ja peenfraktsiooni välja sõeluks.

Käesolevas töös on võrdluseks valitud statsionaarne rootorpurusti Metso Nordberg NP15 (Joonis 17). Statsionaarne rootorpurusti valiti tootlikkuse järgi. Käesoleval ajal kasutatava mobiilse rootorpurusti tootlikkus on kuni 350 t/h. Sarnase tootlikkusega purusti on ka Metso Nordberg NP15, mille

tootlikkus on kuni 380 t/h, mistõttu sobib see täitma iga-aastast Marinova karjääri nõudlust (2.1) (Tabel 15) (Lisa 1).

Tabel 15. Metso Nordberg NP15 tööparameetrid [29]

Purusti	Metso Nordberg NP15
Purusti tüüp	Statsionaarne
Masina mass (t)	16
Võimsus (Kw)	355
Maksimaalne tootlikkus (t/h)	380
Rootori diameeter (mm)	1300
Rootori laius (mm)	1500
Rootorilabade arv (tk)	4
Rootorlaba materjal	martensiit
Sisenev maksimaalne tükisuurus (mm)	400
Väljuv tükisuurus (mm)	60
Eelsõel	puudub
Järelsõel	puudub
Sisendi ava kõrgus (m)	1,67



Joonis 17. Metso Nordberg NP15 statsionaarne rootorpurusti [29]

10.3 Materjali sõelumine

Materjali sõelumise eesmärgiks on saada ehituses ja teedeehituses nõutavaid fraktsioone ning vabaneda killustikus oleva peenosise sisaldusest. Viimase saavutamiseks sõelutakse materjalist välja osakesed vahemikus 0 – 4 mm ehk sõelmed.

Kogemus Marinova II karjääris on näidanud, et peenosise ning sõelmete hulga toodangus nõuetele vastavaks viimisel tuleb killustikku läbi sõeluda kaks korda. Marinova II karjääris kasutatakse kolmesõelalist mobiilset sorteerimissõlme Kleemann Mobiscreen MS 953 EVO, mille abil on võimalik toota samaaegselt nelja erinevat fraktsiooni [30]. Käesoleval ajal kasutatavas tootmisliinis sõelutakse sõelmed välja eelsõeluris ning sõeluris. Kõigepealt sõelutakse välja materjal, mis purustamisele ei lähe, selleks on fraktsioon 0/16 mm. See tähendab, et purustamisele läheb materjal tükisuurusega vähemalt 16 mm. Pärast purustamist fraktsioneerib sorteerimissõlm materjali neljaks erinevaks fraktsiooniks. Toodetavateks materjalideks on 0/4 mm sõelmed, 4/16 mm killustik, 16/32 mm killustik ja 32/64 mm killustik. Tootmisskeem on välja toodud lisas (Lisa 3).

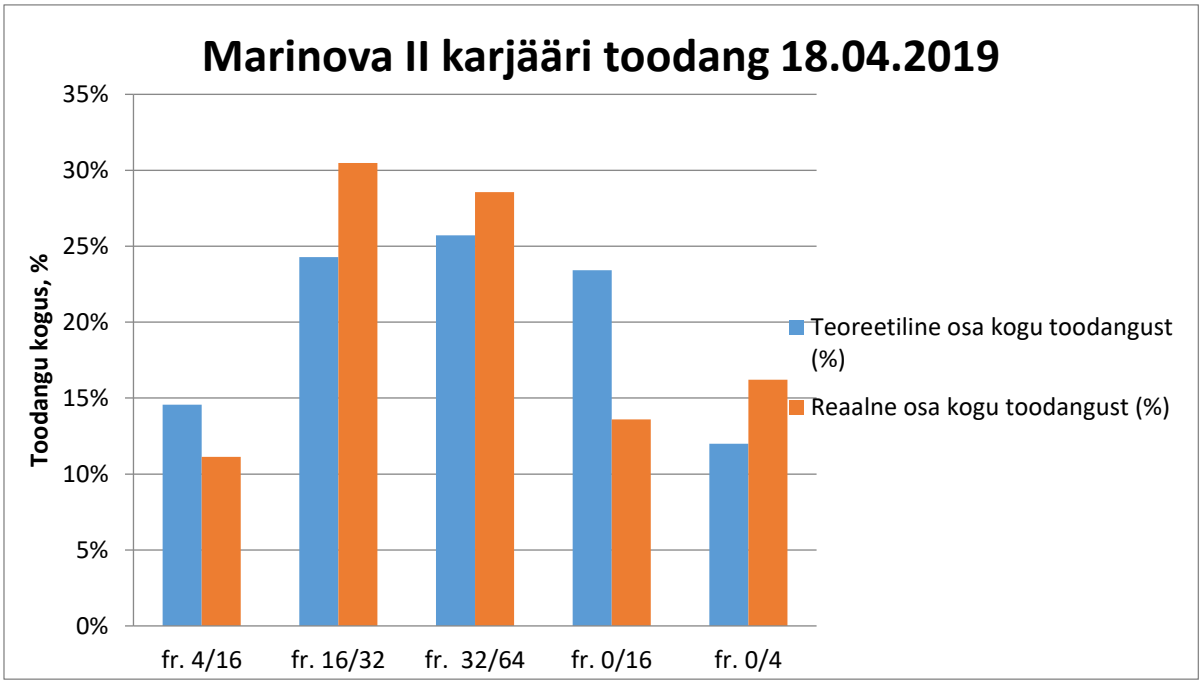
Kuna statsionaarsel rootorpurustil ei ole komplektis sööturi all vibrosõela, siis kasutatakse kahte sorteerimiskompleksi, et eemaldada killustikust peenosis ja sõelmed. Kõige väiksema ajalukuluga saab seda teha kasutades kahte sorteerimissõlme samal ajal. Esimene sõelur sõelub välja materjali 0/4 mm ja 32/63 mm. Materjal vahemikus 4/32 liigub konveierit mööda järgmisesse sorteerimiskompleksi, kus sõelutakse materjal uuesti läbi. Erinevaid konveiereid ja sõelu kasutades toodetakse materjale fraktsioonidega 0/4 mm, 4/16 mm ja 16/32 mm.

10.4 Purustus-sorteerimissõlme reaalne tootlikkus

Võrdlemaks erinevate killustikufraktsioonide saagist 12. dolokiviplokist teoreetilise saagisega kaaluti ühe tööpäeva tootmisliini reaalne toodang laadurikaaluga. Katse teostamise päeval töötas purustussõlm kuus tundi, mis on statistika järgi ühtlasi purustussõlme keskmine tööaeg Marinova II karjääris. Arvutuslikud mahud ja reaalsed mahud on välja toodud järgnevas tabelis (Tabel 16).

Tabel 16. Marinova II karjääri 12. ploki päevane toodang

Materjal	fr. 4/16	fr. 16/32	fr. 32/64	fr. 0/16	fr. 0/4	KOKKU
Teoreetiline kogus (t/h)	51	85	90	82	42	350
Teoreetiline osa kogu toodangust (%)	14,6%	24,3%	25,7%	23,4%	12,0%	100,0%
Reaalne toodetud kogus (t)	131,8	360,5	338,0	160,9	191,8	1183,0
Reaalne osa kogu toodangust (%)	11,1%	30,5%	28,6%	13,6%	16,2%	100,0%



Joonis 18.Marinova II karjääri 12. ploki päevane toodang

Eelnevast graafikust järeldub, et purustades toodetakse võrreldes teoreetilise toodanguga liiga palju sõelmeid. Lisaks sorteerimissõlmest väljunud 16,4% sõelmetele, sõeluti enne purustisse sisenemist välja 23,4 % materjali fraktsiooniga 0/16 mm. Positsioon 5 sõelkõverast (Lisa 3) selgub, et 0/4 on materjalis 53 %, mis moodustab kogu tootmisliini mahust 12,4% ja teeb kogu sõelmete tootmise mahuks 28,6 %. Põhjuseks on purustisse siseneva materjali ebaühtlane lõimis ja kehv kvaliteet. Rootoriga purustades tekkiv dünaamiline löök on siseneva materjali jaoks liiga tugev ning selle tõttu puruneb materjal liiga peeneks. Sõelmete teke väheneb siis, kui hakata purustama 13. ploki dolokivi, mis on parema kvaliteediga ja ühtlasema lõimisega.

Positiivseks tulemuseks on teoreetilisest tootlikkusest suurem 16/32 mm ja 32/63 mm materjali tootlikkus (vastavalt 6,2 % ja 2,9 %). Selline tulemus näitab, et lõimise jämedam osa on vastupidav dünaamilisele löögile ning vastab standardi poolt ette nähtud terastikulisele koostisele.

Teostatud katse tulemusena arvutati purustus- ja sorteerimiskompleksi päevaseks reaalseks tootlikkuseks 197 t/h, mis on teoreetilisest tootlikkusest üle 100 t/h madalam. Suure erinevuse põhjuseks on see, et ekskavaator, mis laeb materjali sööturisse, on purusti jaoks liiga väikese tootlikkusega. Kopa poolt haaratavat materjali on ekskavaatori väiksema jõudluse tõttu vähe. Tootlikkust parandab suurema ja võimsama ekskavaatori valik, sest suuremal ekskavaatoril on rohkem jõudu väljata pealmist kihti ning suurema kopa tõttu tõuseb ka purustisse siseneva materjali kogus.

10.5 Toodetud materjali kvaliteet

Katse käigus toodetud killustiku terastikulise koostise nõuded vastasid standardis EVS-EN 13242:2006+A1:2008 antud terastikulise koostise kategooriale G_c80-20 ja peenosise kategooriale f_4 [31] (Lisa 5) (Lisa 6).

Katsed on näidanud, et fraktsioon 0/16 mm vastab Maanteeameti poolt nõutud Positsioon 5 terastikulise koostise graafikule (Lisa 3). Kui vahetada purustussõlme sööturi all olevaid sõelasid, siis on võimalik saada materjali fraktsiooniga 0/32, mis vastab Maanteameti poolt nõutud Positsioon 6 graafikule. [32]

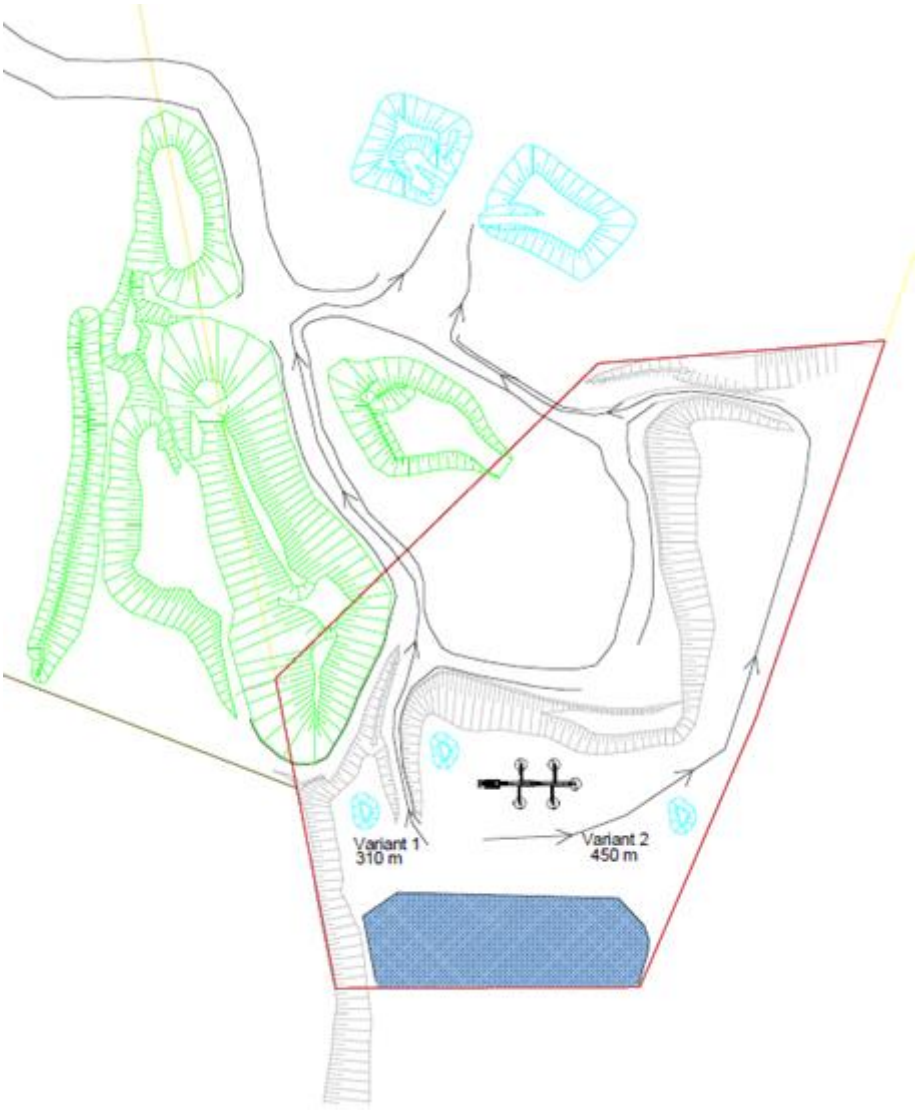
11. Killustiku transport ja ladustamine

11.1 Üldseisukohad

Kaks peamist varianti, kuidas toodetud killustikku ladudesse transportida, on kasutada ainult frontaallaadureid või frontaallaadureid koos karjäärikalluritega. Valik sõltub tootmise asukoha ja toodangu lao vahelisest kaugusest. Tootmisliini laadimismasinate valikul tuleb arvestada purustus- ja sorteerimisliini ja frontaallaaduri efektiivseid tootlikkusi. Masinate efektiivsed tootlikkused peavad olema küll suuremad kui tootmisliini tootlikkus, kuid liiga suure vahe korral tuleb masinate töösse palju pause. Lisaks võiks fronaallaadur kalluri kasti materjali laadida 3 – 4 ühtlase kopatäiega. Väiksem laadimise arv kalluri kohta tähendab päris suurt lööki masina kastile ja vedrustusele ning suurem laadimiste arv juba liigset ajakulu.

11.2 Ladustamisplatside valik

Toodangu jaoks ladustamisplatside asukohta valides on tähtis teada, kui kauaks toodang lattu jääb. Töö koostamise ajal on nõudlus kõige suurem 16/32 mm killustiku järgi. See tähendab, et tõenäoliselt seisab see ladustamisplatsil võrreldes teiste fraktsioonidega kõige lühemat aega. Siit järeldades peaks tootmisliinile lähimal ladustamisplatsil olema just 16/32 mm fraktsiooniga killustik. Kõige väiksema nõudlusega on sõelmed fraktsiooniga 0/4 mm. Selle ladustamisplatsi asukoht tuleks valida võimaluse korral mäeeraldise teenindusmaale, sest puistang võib kasvada vähese nõudluse tõttu väga suureks. Antud materjali saaks kasutada tehisveekogu täitmisel ja rajamisel. Väiksem nõudlus on hetkel ka 4/16 mm killustiku järgi, seega võiks ka see olla ladustatud teenindusmaale. Eelnevat arvesse võttes tuleks erineva fraktsiooniga killustiku puistangud ladustada Marinova II karjääris järgneva joonise kohaselt (Joonis 19).



Joonis 19. Marinova II karjääri planeeritav veoskeem (Graafiline lisa 13)

Frontaallaadurite tootlikkuste võrdlemiseks valiti olemasolevatele frontaallaaduritele võrdluseks sama tootja suurem mudel Volvo L220H, mille parameetrid on välja toodud järgnevas tabelis (Tabel 17).

Tabel 17. Frontaallaadurite parameetrid [33] [34]

Laaduri parameetrid	Volvo L110G	Volvo L150H	VOLVO L220H
Kopamaht, (m^3)	3,5	5,2	7
Kopa laius, (m)	3	3,4	3,6
Kopa tõstevõime, (t)	11,21	15,97	17,48

Laaduri parameetrid	Volvo L110G	Volvo L150H	VOLVO L220H
Kobestatud dolokivi mahumass, (t/m^3)	1,8	1,8	1,8
Laaduri mass, (t)	19,8	24,1	31,2
Tühjenduskõrgus, (m)	4	4,3	4,6
Veojõud, (kN)	162	202	254
Mootori võimsus, (kW)	190	220	280
Maksimaalne kiirus (km/h)	40	38	38

11.3 Transporditav vahemaa

Toodangu transpordikaugus on mõõdetud joonise järgi. Analüüsitud on kahe erineva karjääritee kaudu transportimist karjääri praeguse arengu käigus ja juba osaliselt täidetud karjääri käigus (Joonis 19).

11.3.1 Variant 1

Kaugemate materjaliladude kaugus L = 310 m (Joonis 19)

Tabel 18. Laadurite tootlikkus arvestades lao kauguseks 310 m

Parameeter	Volvo L110G	Volvo L150 H	VOLVO L220H
Töötsükli kestvus (s)	260	260	260
Kopa nominaalne tõstevõime (t)	8	10	12
Täitetegur	1,1	1,1	1,1
Kobestustegur	1,25	1,25	1,25
Materjali erikaal (t/m3)	1,8	1,8	1,8
Kopa arvestuslik maht (m3)	3,9	4,9	5,9
Efektiivne tootlikkus (t/h)	54,1	67,6	81,1

Arvestades, et purustus- ja sorteerimiskomlpleks toodab fraktsioone 0/4 mm ja 4/16 mm tootlikkusega 93 t/h (Tabel 16), siis ei piisaks kogu purustussõlme toodangu laadimiseks ka ühest, kõige suuremast, Volvo L220H laadurist (Tabel 18). Laadimiseks läheks vaja vähemalt kahte laadurit. Üks laadur transpordiks materjale kaugemale ladudesse ning teine laadur laadiks 0/16mm, 16/32 mm ja 32/63 mm materjalid purusti lähedal asuvatesse ladudesse, mis asuvad maksimaalselt 200 m raadiuses purustus- ja sorteerimisliinist.

11.3.2 Variant 2

Kaugemate materjaliladude kaugus L = 450 m (Joonis 19)

Tabel 19. Laadurite tootlikkus arvestades lao kauguseks 450 m

Parameeter	Volvo L110G	Volvo L150 H	VOLVO L220H
Töötsükli kestvus (s)	362	362	362
Kopa nominaalne tõstevõime (t)	8	10	12
Täitetegur	1,1	1,1	1,1
Kobestustegur	1,25	1,25	1,25
Materjali erikaal (t/m^3)	1,8	1,8	1,8
Kopa arvestuslik maht (m^3)	3,9	4,9	5,9
Efektiivne tootlikkus (t/h)	38,9	48,6	58,3

Pikema teepikkuse korral ei jõuaks toodangut purustussõlme alt ära vedada ka kaks suurimat valikus olevat laadurit (Tabel 19). See tähendab, et materjali vedamiseks peaks kasutama lisaks frontaallaaduritele ka kallureid.

11.4 Transportimine kalluritega

Marinova II karjääris on kalluriteks varasemalt kasutatud Volvo FH 480 6x2 kallureid, mille kasti mahutavus on 9 m^3, ning kandevõime tehnilise passi järgi 12,5 t. Kalluri tootlikkus arvutati analoogselt kopplaaduri efektiivse tootlikkuse valemile. Materjali laaditakse kalluri kasti keskmiselt 4 – 5 kopatäit.

11.4.1 Variant 1

Kaugemate materjaliladude kaugus L = 310 m (Joonis 19)

Tabel 20. Kalluri tootlikkus arvestades lao kauguseks 310 m

Parameeter	Volvo FH 480 6x2
Töötsükli kestvus (s)	376
Masina nominaalne kandevõime (t)	20
Täitetegur	1,1
Kobestustegur	1,25
Materjali erikaal (t/m^3)	1,8
Kasti arvestuslik maht (m^3)	9,8
Efektiivne tootlikkus (t/h)	93,6

Eelnevast tabelist järeldub, et üks Volvo FH 480 6x2 kallur suudaks transportida toodetud 0/4 mm ja 4/16 mm materjali mäeeraldise teenindusalale. Tuleb kindlasti arvestada, et teatud aja tagant peab siiski üks frontaallaadur käima kallutatud materjalikuhjasid kokku lükkamas ning teed silumas.

11.4.2 Variant 2.

Kaugemate materjaliladude kaugus L = 450 m (Joonis 19)

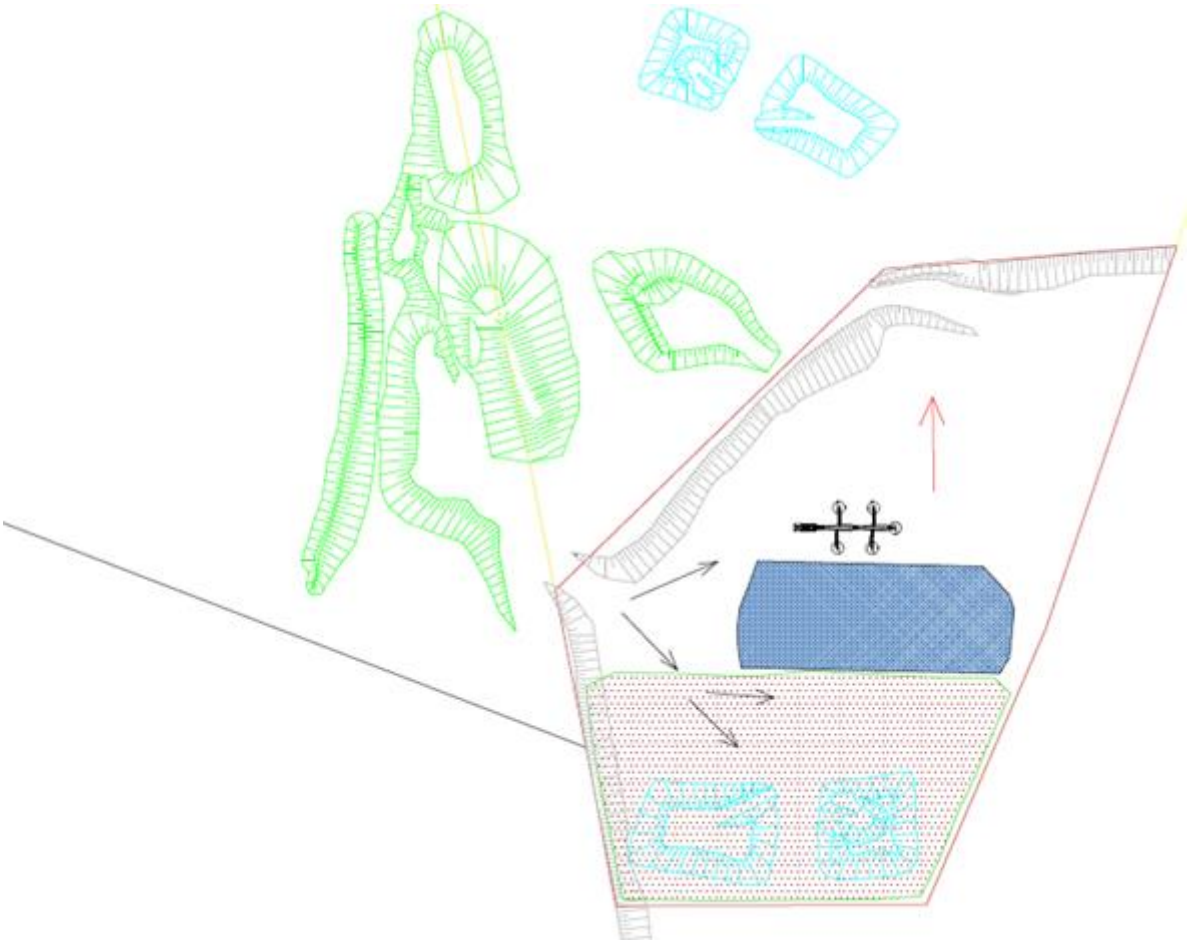
Tabel 21. Kalluri tootlikkus arvestades lao kauguseks 450 m

Parameeter	Volvo FH 480 6x2
Töötsükli kestvus (s)	450
Masina nominaalne kandevõime (t)	20
Täitetegur	1,1
Kobestustegur	1,25
Materjali erikaal (t/m^3)	1,8
Kasti arvestuslik maht (m^3)	9,8
Efektiivne tootlikkus (t/h)	78,2

Eelnevast tabelist järeldub, et pikema teepikkuse korral, üks kallur materjale kaugematesse ladudesse viia ei suuda, sest efektiivne tootlikkus on madalam kui tootmisliini tootlikkus (Tabel 21). Tuleks kasutada vähemalt kahte kallurit.

11.5 Materjali ladustamine karjääri arengut silmas pidades

Materjali ladustamisel tuleb arvesse võtta ka karjääri arengut. Materjali laod tuleks rajada kohtadesse, kust maavara on juba väljatud või maavara väljata pole lubatud. Karjääri arenguplaan näeb ette lõhkamisel tekkiva veekogu täitmist katendiks oleva moreensaviga. Kuna katendilaod asuvad hetkel osaliselt Marinova II mäeeraldise peal ning suurel hulga Marinova IV uuringualal tuleks ladustatud katend sealt ära teisaldada (Joonis 5). Katendiga täidetud kaevandatud ala peale saaks rajada vähem kasutatavate materjalide (0/4 mm ja 4/16 mm) laod. Eelnevat arvesse võttes, koostati Marinova II karjääri täitmise- ja veoskeem (Joonis 20).



Joonis 20. Marinova II karjääri skeem täitmise korral (Graafiline lisa 14)

Eelnevalt jooniselt on näha, et täita plaanitakse karjääri lõunapoolne ala. Tööeega liigutakse pidavalt põhja suunas. Sellisel juhul ei pea toodetud materjali vedama kaugele vaid saaks selle ladustada täidetud ala peale (Joonis 20). Eelnevat arvesse võttes koostati järgnev tabel (Tabel 22).

Tabel 22. Laadurite tootlikkus täidetud alale ladustamise korral

Parameeter	Volvo L110G	Volvo L150 H	VOLVO L220H
Töötsükli kestvus (s)	71	71	71
Kopa nominaalne tõstevõime (t)	8	10	12
Täitetegur	1,1	1,1	1,1
Kobestustegur	1,25	1,25	1,25
Materjali erikaal (t/m^3)	1,8	1,8	1,8
Kopa arvestuslik maht (m^3)	3,9	4,9	5,9
Efektiivne tootlikkus (t/h)	197,3	246,6	295,9

Tabelist järeldub, et 50 m veopikkuse korral suudaks purusti reaalse toodangu ladustada kõik võrreldavad frontaallaadurid (Tabel 22).

Teepikkused on koostatud skeemi puhul lühikesed ja karjääritööd saaks teostada ainult kahe laaduriga. Üks laadur veab materjali kaugematesse ladudesse ning teine laadur laadib toodangut kalluritele ja lähematesse ladudesse. Kalluritele laadimiseks valitakse frontaallaadur Volvo L110G, mis laadib materjali kalluritele kolme kopatäiega. Materjali teisaldamiseks ladudesse valitakse laadur Volvo L150 H, mis suudab materjali ladudesse teisaldada piisava efektiivse tootlikkuse korral. Suurema laaduri valimine Marinova II karjääri tehnoloogilisse skeemi ei oleks mõistlik. Suurema laaduri kopamaht on liiga suur. Ühe kopatäiega kallurit laadides jääb auto täituvusest natuke puudu ning kaks kopatäit ühte kasti ei mahu. Samuti on suure koguse materjali korraga laadimine ühte kasti kahjulik kalluri kastile ning kalluri vedrustusele.

Kallureid selle tööetapi korral ei kasutata, kuid kallureid peab kasutama kaevandatud ala täitmiseks.

12. Optimaalse tehnoloogia valik

12.1 Dolokivi raimamine

Puur-lõhketöödega dolokivi raimamine on tehnoloogilise skeemi esimene etapp, mis määrab kogu tehnoloogilise ahela tõhususe. Olulisemaks osaks on lõhatud materjali võimalikult ühtlase tükisuuruse tagamine, mis omakorda suurendab dolokivi edasise töötlemise kvaliteeti ja efektiivsust.

Ühtlast tükisuurust tagab malekorras paigaldatud lõhkeaukude võrk (Joonis 10). Selline lõhkeaukude paigutus jagab laengute purustustsoone ühtlasemalt. See tähendab, et ei teki suuri purustustsoonide vahelisi alasid ega ülekattuvusi.

Lõhkamiseks tuleb kasutada lühiviitlõhkamist, mille korral on iga laeng eraldi viites (Joonis 11). See tähendab, et iga laenguaugu plahvatus tekitab täiendava vaba pinna, mis tõstab järgnevalt plahvatavate laengute tõhusust. Samuti on eelnevalt mainitud lõhkamisviis keskkonnasäästlikum, sest iga laenguauk plahvatab erineval ajahetkel. Kuna lõhkamine toimub vee poolt moodustatud tugiseina poole, on otstarbekas võtta lõhkeaine erikuluks sõltuvalt konkreetsest lõhatavast plokist vahemikus 0,5 - 0,8 kg/m³, mis kindlustab kivimi ühtlase kobestamise. Lõhkeaugu opimaalne läbimõõt on määratakse vastavalt konkreetsele lõhatavale plokile. Laengu ridade vahekaugus ja laengusamm reas määratakse sõltuvalt lõhatava ploki parameetritest ja massiivi häiritusest. Ühes puur-lõhketööde tsüklis lõhatakse korraga kaks laengurida. Optimaalne laengu mass jääb vahemikku 14,7-17,1 kg, sõltuvalt astangu kõrgusest ning lõhatava ploki tingimustest (Tabel 10).

Topise materjalina on otstarbekas kasutada dolokivikillustiku peenfraktsiooni, mis plahvatusgaaside mõjul kiiluvad lõhkeauku kinni ja kindlustavad sellega plahvatuse töö suletud keskkonnas.

Laeng tuleb lõhkeauku paigutada nii, et on välistatud lõhkeaine valgumine massiivi lõhedesse.

12.2 Dolokivi väljamine

Käesolevas magistritöös tehtud võrdlustest võib järeldada, et Marinova II karjääri tingimustes on sobivaimaks eksavaatoriks Komatsu PC 650LC. Nimetatud ekskavaator suudab võrreldes teiste analüüsitud ekskavaatoritega väljata materjali kõige suurema ammutusraadiusega ning samuti kõige

sügavamalt (Tabel 12). Suuremate parameetritega ekskavaator võimaldab väljata laiemalt lõhatud kivimite plokki, mis suurendab väljamise efektiivsust. Komatsu PC 650 LC kasutamine võimaldab väljatava ploki laiust oluliselt vähendamata suurendada väljamissügavust vähemalt ühe meetri võrra (Tabel 12).

Komatsu PC 650 LC on võrreldes teiste töös analüüsitud ekskavaatoritega ka kõige võimsam (Tabel 12). Masina võimsus (325 kW) ja kopa murdmisjõud (285 kN) tagavad nii dolokivi vee alt ammutamise kui ka pealmise dolokivikihi väljamise piisava tootlikkuse (Tabel 13).

Töö raames analüüsitud greiferekskavaatori kasutamine Marinova II karjääri tingimustes ei ole ratsionaalne. Greiferekskavaatoril on küll suur ammutusraadius ja –sügavus, kuid sellega on raskendatud jämeda purdmaterjali tõhus veealune ammutamine. Ka muutub tehisveekogu sogaseks, mille tõttu puudub visuaalne kontroll vee alt ammutatava materjali üle. Samuti ei ole greiferiga efektiivne materjali purustussõlme laadimine, dolokivi pealmise kihi väljamine ega katenditööd.

Draglaini kasutamist Marinova II karjääris dolokivi laadimiseks ei saa lugeda efektiivseks. Nagu greiferekskavaatorilgi on draglainil suur ammutamisraadius ja -sügavus (Tabel 14). Sarnaselt greiferekskavaatorile saab ka draglaini kasutada vaid raimatud dolokivi veealuseks väljamiseks. Seejuures ei saa kindel olla kopa piisavas täituvuses veealusel väljamisel. Ka suureneb tõenäoliselt oluliselt väljamistsükli kestvus. Välistada ei saa draglaini võimaliku katsetamist dolokivi veealusel väljamisel.

Kokkuvõttes on dolokivi veealusel väljamisel kõige ratsionaalsem kasutada hüdraulilist pöördkoppekskavaatorit, näiteks analüüsitud parameetritega Komatsu PC 650LC.

12.3 Dolokivi töötlemine

Purustus- ja sorteerimissõlmede analüüsimise tulemusena selgub, et käesoleval ajal Marinova karjääris kasutatava purustus-sorteerimisliini kasutamine on efektiivsem statsionaarse tootmisliini kasutamisest. Kuigi mõlema purustussõlme teoreetilised tootlikkused sobivad Marinova II karjääri tootmismahuga, siis on mobiilse tootmisliini kasutamisega karjääris efektiivsem killustiku toota. Tootmisliini mobiilsus võimaldab selle kiiret ümberpaiknemist mäetööde tööeede vahel vastavalt konkreetsel ajal väljatavale astangule.

Pärast veealt väljatud materjali kuivamist on võimalik selle purustamine puistangu vahetus läheduses ilma selle eelneva transportimiseta. Lõhketööde ajal paikneb tootmisliin ülemise astangu tööee vahetus läheduses väljaspool lõhketööde ohuala. Seega vähendab purustussõlme mobiilsus oluliselt laadurite koormust. Mobiilse tootmisliini paiknemine väljamismasina vahetus läheduses võimaldab väljatud materjali purustisse laadimise ekskavaatoriga ning frontaallaadurid oleks hõivatud vaid valmistoodangu käitlemisega.

Katsetööde tulemustest järeldub, et kasutatav tootmisliin (Kleemann Mobirex MR110Z ja Kleemann Mobiscreen 953 EVO) suudab toota esitatavatele nõuetele vastavat killustikku (Lisa 5) (Lisa 6).

12.4 Dolokivikillustiku laadimine ja ladustamine

Laadurite kasutamise ja ladude analüüs viidi läbi karjääri arengu kahe etapi kohta.

Esimesel etapil on pikkade transpordi vahemaade puhul ebaotstarbekas kasutada ladustatava materjali veoks frontaallaadurit. Oluliselt otstarbekam on sellel etapil ladustatava materjali traspordis kasutada kompleksi, mis koosneb laaduritest ja kalluritest. Üks laaduritest laadib valmistoodangut kallurile, teine paigutab tootmisliini juures killustikku lähimasse toodangulao puistangusse. Seejuures on võimalik mõlemat laadurit kasutada mõlemal eelnimetatud protsessil.

Teisel etapil, kaevandatud ala täitmisel, on transpordivahemaad oluliselt lühemad. Toodangu saab täidetud alal paiknevasse lattu teisaldada frontaallaadurit kasutades. Samas on teine laadur vajalik valmistoodangu laadimiseks kalluritele ning killustiku veoks tootmisliinile lähimatesse toodangupuistangutesse.

Mõlema tööetapi puhul on ratsionaalne kasutada kahte laadurit. Sobivate tööparameetritega laadurid on näiteks Volvo L110G ja Volvo L150 H.

Teise etapi korral kasutatakse kallureid ainult kaevandatud ala täitmiseks.

13. Majandusarvutused

Marinova II karjääri tehnoloogilise skeemi optimeerimiseks tuleb välja vahetada olemasolev ekskavaator suurema ekskavaatori vastu. Sellest tulenevalt muutub ka materjali omahind. Ekskavaatori kulude arvutamiseks kasutati Enno Reinsalu Mäemajanduse õpikus välja toodud rusikareegleid ning arvutatati materjali omahind uue ekskavaatori korral (Tabel 23) [35].

Tabel 23. Materjali omahinna võrdlus erinevate ekskavaatorite kasutamise korral

Ekskavaator	Komatsu PC 650 LC	Hitachi ZX470 LC	Komatsu HB365LC-3
Masina hind, (€)	650 000	500 000	370 000
Ettevõtte palgakulu, (€/h)	13,38	13,38	13,38
Kütuse hind, (€/l)	1,1	1,1	1,1
Kütuse tarbimine, (l/h)	65	50	37
Kütuse tarbimine, (€/h)	71,5	55	40,7
Hoolduse ja remondikulud,(€/h)	7,15	5,5	4,07
Masina kulu kokku, (€/h)	92,03	73,88	58,15
Masina efektiivne tootlikkus (t/h)	245	218	200
Materjali omahind, (€/t)	0,38	0,34	0,29

Eelnevast tabelist järeldub, et suurema ekskavaatori soetamisel tõuseb materjali omahind 0,09 €/t võrra (Tabel 23). Omahinna suurenemise põhjustab suurema ekskavaatori suurem kütusekulu ning määrete kulu.

Arvesse tuleb võtta ka veealuse dolokivikihi varieeruv paksus. Marinova IV uuringuruumi keskmine dolokivikihi paksus on küll 6,2 m, kuid 57 % puuraukude korral on veealuse dolokivikihi paksus 6,7 m, mis tõttu jääks ekskavaatoriga Komatsu HB365LC-3 väljates osa mahust väljamata. Komatsu PC 650 LC suudab väljata dolokivi ka sellelt sügavuselt. Eelnevaid andmeid kasutades koostati järgnev tabel.

Tabel 24. Väljamata jääva maavara eest makstav tasu

Keskmisest sügavamal olevad puuraugude osa, (%)	57%
Sügavamate puuraukude keskmine sügavus, (m)	0,525
Ala pindala, (m^2)	170 700
Sügavamal asuvate puuraukude ala, (m^2)	97 543
Sügavamal asuv dolokivi, (m^3)	51 210
Ressursitasu 2019 a seisuga,(€/m^3) [36]	2,36
Sügavamal asuva dolokivi eest maksatav resursitasu, (€)	120 855

Eelnevast tabelist järeldub, et põhja jääva dolokivi eest tuleb maksta 121 tuh. €. Kui kasutada ekskavaatorit Komatsu PC 650 LC saab ka sügavamale jääva dolokivi väljata. Põhjas asuva dolokivi väljamise korral koosati järgnev tabel. Tabeli koostamisel arvestati toodangu keskmiseks omahinnaks 6,0 €/t ning arvutati kasum kahe erineva kasumimarginaali korral (Tabel 25).

Tabel 25. Lamamis asuva dolokivi väljamise korral saadav tulu

Keskmine toodangu omahind, (€/t)	6,0
Dolokivi mahumass, (t/m^3)	2,2
Toodetav materjal väljamata dolokivist, (t)	112 662
Toodetava materjali omahind, (€)	675 972
Kasumimarginaal 5 %, (€)	33 798
Kasumimarginaal 10 %, (€)	67 597
Väljamisest saadav kaudne 5% kasumimarginaali juures, (€)	154 654
Väljamisest saadav kaudne tulu 10 % kasumi juures, (€)	188 452

Eelnevast tabelist järeldub, et põhja jäävast materjalist saaks toota 112 662 t killustikku, mis on hetkel toodetavate mahtude korral võrreldav kahe aasta toodangumahuga. Kihi väljamisest võidab kaevandaja 5% kasumimarginaali juures 154 654 € ning 10 % kasumarginaali juures 188 452 € (Tabel 25).

14. Karjääriala korrastamine

Maavaravaru ammendumisel korrastatakse ala veekoguks ja metsamaaks [2]. Karjääri korrastamise tulemusel rajatakse piisava sügavusega veekogu ning liivaga täidetud ranna-ala, mis loob kohalikele elanikele suurepäraseid puhkamisvõimalusi. Veekogu sügavuseks tuleb hinnanguliselt 5 – 6 m. [16]

Teenindusmaale ladustatud katendipuistanguid kasutatakse veekogu täitmisel ja kujundamisel. Ülejäänud puistangud kaetakse mullaga ning metsastatakse. Karjäär korrastatakse korrastamisprojekti alusel, mille on kinnitanud Keskkonnaamet ja mille tingimused on kooskõlastatud maaomaniku ja kohaliku omavalitsusega.

Korrastatud ala reljeef ja pinnavormid peavad olema võimalikult looduslähedased. Karjääri küljed tuleb kujundada nii, et oleks välditud varingud, erosioon ning karjääri nõlvad, tuleb katta taimestikule sobiva pinnasega. Karjääri nõlvad rajada nõlvsusega ülevalpool veetaset suhtega vähemalt 1:2, allpool veetaset 1:5. Võimaluse korral jätta eespool mainitud nõlvad laugemad. Kaldad kujundada selliselt, et need ei kujutaks ohtu seal liikuvatele inimestele ega loomadele. [37]

15. Keskkonnakaitseline analüüs

Keskkonnakaitsele Marinova karjääris on pandud erilist rõhku, kuna karjäär asub Vene Föderatsiooni piirile lähedal, ning suur keskkonnamõju tooks lisaks keskkonnaprobleemidele kaasa ka poliitilise mõju.

Valitud optimaalne tehnoloogiline skeem ei riku kaevandamisloas esitatud täiendavaid keskkonnakaitselisi tingimusi. Lähimate talude ja karjääri vahele on rajatud müra- ja tolmutõkke vallid. Kuival ajal kastetakse karjäärisiseseid teid liigse tolmu vältimiseks. [2]

Karjääris toimub kaevandamine tööpäeviti vahemikus 7.00 – 19.00 [2].

Veealuse kaevandamise tõttu seiratakse karjäärile lähedal asuvate majade kaevude veetaset ja kvaliteeti kolm korda aastas. Vee seire toimub kinnistuomanikega kokkuleppel. [2]

Lõhketöid teostatakse tööpäeviti kella 11-st kuni 14-ni ning mitte üle kahe korra nädalas. Kui tuul on lähimate elumajade suunas, siis lõhketöid ei teostata [2]. Ei tohi lõhata liiga suurte laengutega ning viitegruppidega, millest tulenev seismiline efekt võib lähimaid elumaju häirida. Laengute viited ei tohi olla alla 50 ms [38].

Puur-lõhketööde teostamine Marinova karjääris ei tekita ehitistele maapinnavõnkeid, ega ohtlikku õhulöögklainet. Samuti ei ole lõhkamise tõttu tekkiv vibratsioonikiirendus ning helirõhutase suurem kui lubatud normid [39].

Puur-lõhketööde planeerimisel tuleb Politsei- ja Piirivalveameti Lõuna prefektuuri saata teavitus toimuva lõhkamise kohta ning vähemalt 30 minutit enne lõhkamist helistada kooskõlastuses olevale numbrile ja teavitada lõhkamise täpne kellaaeg [2].

Kokkuvõte

Käesoleva magistritöö tulemusel optimeeriti Marinova II dolokivikarjääri tehnoloogiline tootmisskeem. Karjääri tööjärg on jõudnud etapini, mil alustatakse puur-lõhketöödega veealuse dolokivivaru raimamist. Dolokivikillustiku tootmiseks vajaliku ühtlase lõimise saamiseks lõhatakse malekorras paigutatud lõhkevõrk lühiviitlõhkamist kasutades.

Vee aluse kaevandamise tõttu valiti karjääri suurem ekskavaator, mille tootlikus on 245 t/h. Valitud ekskavaatori suur ammutusraadius lubab lõhata ja väljata keskmise veealuse kihi paksuse korral 5,5 m laiuse ploki, mis on 1 m võrra suurem kui käesoleval ajal karjääris kasutatava eksavaatori ammutusraadius. Suurema ekskavaatori kasutamine tagab ka olemasoleva purustus- ja sorteerimissõlme tootlikkuse suurenemise.

Marinova II karjääris kaevandatakse kahe astanguga, mis on soosib kasutama mobiilset purustus- ja sorteerimissõlme. Puur-lõhketööde ettevalmistamisel toodetakse killustiku pealmisest, 12. dolokiviplokist. Pärast lõhkamist väljatakse materjal vee alt ning tootmisliin liigutatakse vee alt väljatud dolokivikillustiku tootma. Suure koguse sõelmete ja peenosise sisalduse vähendamiseks sõelutakse dolokivi kaks korda tootmisliinis läbi. Mobiilne purustus- ja sorteerimissõlm võimaldab toota kvaliteetset ja puhast nõuetele vastavat dolokivikillustikku.

Toodetud dolokiviladude asukoht tuleb valida killustiku nõudluse järgi. Dolokivisõelmete väikese nõudluse tõttu rajatakse ladu mäeeraldise teenindusmaale. Toodangu transpordiks kasutatakse kahte kallurit ja kahte frontaallaadurit.

Karjääri edasistes arenguetappides ladustatakse vähem nõutud killustikufraktsioonid katendiga täidetud lõhatud ala peale. Väiksemate transpordikauguste tõttu saab kasutada kahte frontaallaadurit ilma kalluriteta.

Käesoleva magistritöö käigus Marinova II karjääri valitud tootmisliin tagab suurema ressursitõhususe ning vähendab vee alla jääva dolokivi kadusid.

Tänuavaldused

Avaldan tänu töö juhendajale, Tõnu Tomberg'ile, kes oli töö koostamisel suureks abiks. Tänan ettevõtte Aigren OÜ juhatajat Meelis Kibena't ja tootmisjuhti Lembit Toots'i, kes olid abiks töös esitatud andmete kogumisel. Avaldan tänu ka kursusekaaslastele, Sander Kanter'ile ja Kaidi Sulp'ile, kes andsid oma panuse töö vormistamiseks ja keeleliseks kontrollimiseks. Tänan veel kurususekaaslasi Joosep Makko't, Janno Lumiste't, ja Carl-Richard Saks'i, kes olid töö koostamisel suureks moraalseks toeks. Lisaks avaldan tänu elukaaslasele Kadri Raag'ile.

Kasutatud allikad

[1] E. Vaguri, „Hüdrotõkete rajamise tehnilis-majanduslikud võimalused Eesti," Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut, Tallinn, 2015.

[2] E. Poltimäe, „Maavara kaevandamise luba," Keskkonnaamet, Põlva-Valga-Võru regioon, 2016.

[3] A. Pokk, „Marinova II dolokivikarjääri (maavara kaevandamise luba nr. L.MK/326117) markšeidermõõdistus seisuga 07.01.2019," Maavarauuringud OÜ, Tartu, 2019.

[4] A. Põldvere, Marinova IV uuringuruumi dolokivi varu geoloogiline uuring, Tartu: Maavarauuringud OÜ, 2019.

[5] В. Ржевский, Открытые горные работы. Часть 1. Производственные процессы, Москва: Недра, 1985.

[6] A. Raukas ja A. Teedumäe, Geology and mineral resources of Estonia, Tallinn: Estonian Academy Publishers, 1997.

[7] Riigikogu, „Riigi Teataja," 1 Jaanuar 2017. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.riigiteataja.ee/akt/MaaPS. [Kasutatud 11 Jaanuar 2019].

[8] A. Põldvere, Marinova dolokivimaardla ehitusdolokivi aktiivse reservvaru osaline ümberhindamine aktiivseks tarbevaruks, Tartu: Eesti Geoloogiakeskus, 2014.

[9] H. Allemann, „Analüüsiakt TA18003642 - Pinnavesi," OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskus, Tartu, 2018.

[10] H. Allemann, „Analüüsiakt TA18003646 - Joogivesi," OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskus,

Tartu, 2018.

[11] H. Allemann, „Analüüsiakt TA18003645 - Joogivesi,“ OÜ Keskkonnauuringute Keskus, Tartu, 2018.

[12] J. Makke, „Katseprotokoll nr 3355/18,“ Teede Tehnokeskus, Tallinn, 2018.

[13] J. Makke, „Katseprotokoll nr 3230/18,“ Teede Tehnokeskus, Tallinn, 2018.

[14] R. Efremova, „Katseprotokoll nr 5007/18,“ Teede Tehnokeskus, Tallinn, 2018.

[15] J. Makke, „Katseprotokoll nr 2242/18,“ Teede Tehnokeskus, Tallinn, 2018.

[16] A. Põldvere, „Aigren OÜ Marinova II dolokivikarjääri projekt, tehnokaart, veoskeem, ee passid,“ Eesti Geoloogiakeskuse Tartu regionaalosakond, Tartu, 2016.

[17] В. Ржевский, Открытые горные работы. Часть 2. Технология и комплексная механизация, Москва: Недра, 1985.

[18] K. Veersalu ja T. Tomberg, „Marinova dolokivikarjääri puur-lõhketööde tüüpprojekt,“ Tallinn Tehnikaülikooli Geoloogiainstituut, Tallinn, 2018.

[19] Wirtgen Group Company, „Mobile Impact Crushers Mobirex,“ Wirtgen Group Company, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: https://media.wirtgen-group.com/media/05_kleemann/pdfs/02_prallbrechanlagen/00_mobirex_gesamtprospekt/Brochure_kleemann_MOBIREX_en.pdf. [Kasutatud 24 Aprill 2019].

[20] H. Aruküla, L.Eigo, E.Joosep ja E.Reinsalu, Puur-ja Lõhketööd, Tallinn: Valgus, 1980.

[21] Справочник по буровзрывным работам / под общей редакцией М.Ф. Друкованого, Москва: Недра, 1976.

[22] Komatsu America Corp, „Komatsu PC 650LC Hydraulic excavator,“ Komatsu, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.komatsuamerica.com/equipment/excavators/large/pc650lc-11. [Kasutatud 7 Aprill 2019].

[23] Hitachi Construction and Mining Products, „Hitachi ZX470LC-5," Hitachi Construction and Mining Products, 2015. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.hitachiconstruction.com/wp-content/uploads/2015/11/ZX470LC-5_specs.pdf. [Kasutatud 17 Aprill 2019].

[24] Liebherr-Werk Nenzing, GmbH, „Construction Maschine, HS 8040.1," Liebherr-Werk Nenzing, GmbH, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/618203-2/Data%20sheet%20HS%208040.1.pdf. [Kasutatud 3 Mai 2019].

[25] Kobelco Construction Machinery CO.,LTD., „Kobelco SK 200, Kobelco SK 210," Kobelco Construction Machinery CO.,LTD., 2016. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.kobelcocm-global.com/products/excavators/australia/pdf/SK200210LC-10_ANZ.pdf. [Kasutatud 7 Märts 2019].

[26] Komatsu Europe International N.V, „Komatsu HB365LC-3 Hydraulic Excavator," Komatsu Ltd, Aprill 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://webassets.komatsu.eu/SiteCore/GetBrochureByProductName.aspx?id=HB365LC/NLC-3%20Hybrid&langID=en. [Kasutatud 1 Mai 2019].

[27] M. Aasrand, „Tehnoloogiliste skeemide väljatöötamine pae veealuseks väljamiseks Eesti lubjaning dolokivi karjäärides," Tallinn, 2017.

[28] Metso Corporation, Basics in minerals processing, Metso Corporation, 2015.

[29] Metso Corporation, „Impact crushers, Nordberg NP13 & NP15," Metso, 2016. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.metso.com/globalassets/saleshub/documents---episerver/impact-crusher-metso-nordberg-np13-np15-np20-en-2965.pdf. [Kasutatud 13 Mai 2019].

[30] Wirtgen Group Company, „Mobile Screening Plants, Mobiscreen," Wirtgen Group Company, 2018. [Võrgumaterjal]. Available: https://media.wirtgen-group.com/media/05_kleemann/pdfs/04_siebanlagen/00_mobiscreen_evo_gesamtprospekt/00_ms_evo_bro_gb.pdf. [Kasutatud Veebruar 27 2019].

[31] Eesti Standardikeskus, EVS-EN 13242:2006+A1:2008 "Ehitustöödel ja tee-ehituses kasutatavad sidumata ja hüdrauliliselt seotud täitematerjalid'', Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2009.

[32] Majandus- ja taristuminister, „Tee ehitamise kvaliteedinõuded, Lisa 10, Sidumata segude terastikuline koostis," Riigiteataja, 3 August 2015. [Võrgumaterjal]. Available:

https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1070/8201/5001/MKM_m101_lisa10.pdf. [Kasutatud 06 Mai 2019].

[33] Volvo Construction Equipment, „L150H, L180H, L220H,“ Volvo Construction Equipment, 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/wheel-loaders/wheel-loaders/brochures/brochure_l150h_l180h_l220h_t4f_en_21_20039761_g.pdf?v=--gtPw. [Kasutatud 23 Märts 2019].

[34] Volvo Construction Equipment, „Volvo Wheel Loaders L110G, L120g,“ Volvo Construction Equipment, 2011. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/global-site/product-archive/documents/03-wheel-loaders/10-volvo-g-series/v-l120g/brochure_l110g_l120g_t4i_en_21_20026571_b.pdf?v=uVk9Pw. [Kasutatud 23 Märts 2019].

[35] E. Reinsalu, Mäemajandus, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut, 2008.

[36] Vabariigi Valitsus, „Lisa 1 Riigile kuuluva maavara, välja arvatud energeetilise maavara, kaevandamisõiguse tasumäärad aastateks 2016–2025,“ Riigi Teataja, 12 Juuli 2016. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1281/2201/8049/VV_75m_lisa1.pdf#. [Kasutatud 11 Mai 2019].

[37] A. Saarnits, „Marinova II dolokivikarjääri korrastamistingimuste esitamine,“ Keskkonnaamet, Tallinn, 2018.

[38] Majandus- ja taristuminister, „Lõhkematerjali kasutamise ja hävitamise nõuded,“ Riigi Teataja, 8 September 2017. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.riigiteataja.ee/akt/112092017. [Kasutatud 26 Aprill 2019].

[39] I. Valgma, „Marinova dolokivi karjääri kaevandamisloa eritingimustega ettenähtud vibratsioonimõõtmine,“ Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Tallinn, 2010.

[40] R. Vuolio, Räjäytystyöt, Suomen Maarakentajien Keskusliitto r.y., 1991.

[41] J. Naapuri, Surface Drilling and blasting, Tamrock OY, 1995.

[42] М. Ф. Друкованый, В. И. Йльин ja Э. И. Ефремов, Буровзрывные работа на карьерах, Москва: Недра, 1978.

[43] В. Н. Ковранова, Физические свойства горных, Москва: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1962.

[44] Wirtgen Group Company, „Mobirex MR 110 Z Tehcnical Information,“ Wirtgen Group Company, 2017. [Võrgumaterjal]. Available: https://media.wirtgen-group.com/media/05_kleemann/pdfs/02_prallbrechanlagen/03_mr_110_z_evo_2/Datasheet_kleemann_mr110_EVO_2_en.pdf. [Kasutatud 15 Aprill 2019].

[45] T. Tomberg, „Mäetööd ja mäemasinad loenguslaidid,“ Tallinn, 2018.

[46] T. Tomberg, Lõhketööd I, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Mäeosakond, 2017.

Arvutuste metoodika

Puur-lõhketööde arvutuse metoodika

Puur-lõhketööde arvutuskäigu metoodika aluseks on kasutatud allkates välja toodud raamatud. [40] [41] [42]

Vähima vastupanujoone leidmine üksiklaenguga:

$$B = 0{,}9 * \sqrt{\frac{q_1}{q * m}}$$

Kus B = vähim vastupanujoon [m]

q_1= laengu jaotatud mass [kg/m]

q = lõhkeaine erikulu [kg/m^3]

m = paigutustegur

Puuraukude laengusamm:

$$S = n * B$$

Kus S = puuraukude vaheline laengusamm [m]

n = suhteline laengutevaheline kaugus

B = vähima vastupanujoone pikkus [m]

Ridadevaheline kaugus lühiviitlõhkamisel

$$B_b = 0{,}95 * B$$

Kus B_b = ridadevaheline kaugus [m]

B = vähima vastupanujoone pikkus [m]

Topise pikkus

Topise pikkus valitakse vähemalt 15 laenguläbimõõtu, sellisel juhul ei ole vaja arvestada õhulööklaine ohtlikku mõju

$$l_s = 15 * d$$

Kus l_s = topise pikkus [m]

d = lõhkeaugu diameeter [m]

Topisena kasutatakse Marinova II karjääris killustiku peenfraktsioone, kuna seda materjali jääb toodangust kõige rohkem üle.

Laengu pikkus

$$l_{ch} = H - l_s$$

Kus l_{ch}= laengu pikkus [m]

H = astangu kõrgus [m]

l_s= topise pikkus [m]

Laengu mass

$$Q = l_{ch} * q_1$$

Kus Q = laengu mass [kg]

l_{ch}= laengu pikkus [m]

q_1= laengu jaotatud mass [kg/m]

Ülepuure pikkus:

Ülepuure on tähtis, sest osa puurimisel tekkivat puurpuru jääb puuraugu põhja.

$$U_d = 4 * d$$

Kus d= lõhkeaugu läbimõõt [m]

U_d =ülepuure pikkus [m]

Lõhkeaugu sügavus:

$$I_d = H + U_d$$

Kus I_d = puuraugu sügavus[m]

H = astangu kõrgus [m]

U_d = ülepuure pikkus [m]

Lõhatava ploki laius

$$W = B + ((x - 1) * B_b$$

Kus W= lõhatava ploki laius [m]

B = vähim vastupanujoon [m]

x= laengute arv

B_b = ridadevaheline kaugus [m]

Laengute arv reas

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

Kus n= laengute arv reas [tk]

L= ploki pikkus [m]

S = puuraukude vaheline laengusamm [m]

Laengute arv ploki lõhkamiseks

$$N = n * n_{rida}$$

Kus N= laengute arv ploki lõhkamiseks [tk]

n= laengute arv reas [tk]

n_{rida} = ridade arv plokos [tk]

Lõhkeaine kulu

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

Kus Q_{Σ}= lõhkeaine kulu

N= laengute arv ploki lõhkamiseks [tk]

Q = laengu mass [kg]

Lõhatava ploki maht

$$V = W * L * H$$

Kus V= lõhatava ploki maht [m^3]

W= lõhatava ploki laius [m]

L= ploki pikkus [m]

H = astangu kõrgus [m]

Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu

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

Kus $q_{tegelik}$=lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu [kg/m^3]

Q_{Σ}= lõhkeaine kulu

V= lõhatava ploki maht [m^3]

Puurtööde maht

$$P_t = N * I_d$$

Kus P_t= puurtööde maht [m]

I_d = puuraugu sügavus [m]

N= laengute arv ploki lõhkamiseks [tk]

Puurtööde erimaht

$$P_t = \frac{P_t}{V}$$

Kus P_t= puurtööde erimaht [m/m^3]

P_t= puurtööde maht [m]

V= lõhatava ploki maht [m^3]

Väljamise ja tootlikkuse arvutuste metoodika

Väljamise ja tootlikkuse arvutuste metoodika aluseks on kasutatud allikates välja toodud raamatud. [5] [43]

Masinate liikumisele ja manööverdamisele kuluvad ajad on välja võetud programmi Fleet Complete kaudu (Lisa 7).

Ekskavaatori teoreetiline tootlikkus

$$Q_{teor} = \left(\frac{3600}{T_{ts}}\right) * E$$

Kus Q_{teor} = ekskavaatori teoreetiline tootlikkus [m^3/h]

E = kopa maht [m^3]

T_{ts} = töötsükli kestvus [s]

Ekskavaatori tehniline tootlikkus

$$Q_{tehn} = \left(\frac{3600}{T_{ts}}\right) * E * \left(\frac{K_{täite}}{K_{kob}}\right) * K_{tehn}$$

Kus Q_{tehn}= ekskavaatori tehniline tootlikkus [m^3/h]

$K_{täite}$ = kopa täitetegur

K_{kob} = kobestustegur

K_{tehn} = kasutatava tehnoloogia mõju arvestav tegur

Ekskavaatori töötsükli kestus:

$$T_{ts.teor} = T_{ammut} + T_{tühj} + T_{pöörd}$$

Kus $T_{ts.teor}$ = ekskavaatori töötsükli kestus [s]

T_{ammut} = kopa täisammutamiseks kuluv aeg [s]

$T_{tühj}$= kopa tühjendamiseks kuluv aeg [s]

$T_{pöörd}$ = ekskavaatori pööreteks ja kopa allalaskmiseks kuluv aeg [s]

Tehniline ammutusaeg

$$T_{amm.teh} = \frac{\Pi_{tegelik}}{\Pi_{teor}} * T_{amm.teor} * K_{kob}$$

Kus $T_{amm.teh}$= ekskavaatori tehniline ammutusaeg [s]

$\Pi_{tegelik}$= kivimi tegelik ekskaveeritavus

Π_{teor}= kivimi teoreetiline ekskaveeritavus

$T_{amm.teor}$= ekskavaatori teoreetiline ammutusaeg [s]

K_{kob}= kobestustegur

Efektiivne tootlikkus

$$Q_{ef} = \left(\frac{3600}{T_{ts}}\right) * \left(\frac{K_{täite}}{K_{kob}}\right) * K_{tehn} * K_{kaod} * K_{ekspl} * K_{trans}$$

Kus Q_{ef}= efektiivne tootlikkus [m^3/h]

T_{ts} = töötsükli kestvus [s]

$K_{täite}$ = kopa täitetegur

K_{kob}= kobestustegur

K_{tehn} = kasutatava tehnoloogia mõju arvestav tegur

K_{kaod}= kadusid arvestav tegur

K_{ekspl}= ekspluatatsioonilisi ajakadusid arvestav tegur

K_{trans}= transpordi valmisolekut arvestav tegur

Kopplaaduri tootlikkuse valemid

Kopplaaduri teoreetiline tootlikkus

$$Q_{teor} = \left(\frac{3600}{T_{ts}}\right) * E$$

Kus Q_{teor} = kopplaaduri teoreetiline tootlikkus [m^3/h]

E = kopa maht [m^3]

T_{ts} = töötsükli kestvus [s]

Kopplaaduri kopa arvestuslik maht

$$E_{arv} = \frac{q_{tõste} * K_{täite}}{\gamma * K_{kob}}$$

Kus E_{arv}= kopa arvestuslik maht [m^3]

$q_{tõste}$= kopa nominaalne tõstevõime [t]

$K_{täite}$ = kopa täitetegur

γ = laaditava materjali erikaal [kg/m^3]

K_{kob}= kobestustegur

Kopplaaduri töötsükli kestus:

$$T_{ts} = T_{ammut} + T_{täis} + T_{tühi} + T_{tühj}$$

Kus: T_{ts} = töötsükli kestvus [s]

T_{ammut} = kopa täisammutamiseks kuluv aeg [s]

$T_{täis}$= täis kopaga liikumise aeg [s]

$T_{tühi}$= tühja kopaga liikumise aeg [s]

$T_{tühj}$= kopa tühjendamiseks kuluv aeg [s]

Kopplaaduri liikumiseks kuluv aeg:

$$T_{täis} + T_{tühi} = \frac{2L}{V_k}\sum t_{man}$$

Kus $T_{täis}$= täis kopaga liikumise aeg [s]

$T_{tühi}$= tühja kopaga liikumise aeg [s]

L = kopplaaduri poolt läbitav teepikkus [m]

V_k= keskmine liikumiskiirus [m/s]

$\sum t_{man}$ = summaarne manöövritele kuluv aeg töötsüklis

Kopplaaduri efektiivne tootlikkus

$$Q_{ef} = \left(\frac{3600 * E_{arv}}{T_{ts}}\right)$$

Kus Q_{ef}= efektiivne tootlikkus [m^3/h]

T_{ts} = töötsükli kestvus [s]

E_{arv}= kopa arvestuslik maht [m^3]

Lisad

Lisa 1. Marinova II karjääris kasutatavate mehhanismide tehnilised parameetrid

Tabel 26. Purustussõlme tehnilised parameetrid [28] [19] [44]

Masin	Kleemann MR 110 Z EVO 2
Masina kaal (t)	43,9
Võimsus (kW)	371 kW
Mootor	Diisel-otse-elekter
Maksimaalne tootlikkus (t/h)	350
Paekivi tootlikkus	265 t/h 0/45, milles 10-15 % ülemõõdulisi
Rootori diameeter (mm)	1100
Rootori laius (mm)	1080
Rootorilabade arv (tk)	3
Rootorilabade materjal	Martxtra/martensiit
Sisenev tükisuurus (mm)	250-450
Purustavate kivimite kõvadus	55-56 HRC
Välljuva konveieri kõrgus (m)	3,6
Sööturi kõrgus (m)	Koos kõrgendusega 4,5
Sööturi maht (m^3)	9 (kõrgendusega)

Tabel 27. Sorteerimissõlme tehnilised parameetrid

Parameeter	Kleemann Mobiscreen MS 953 EVO
Tootlikkus (t/h)	500
Max sisenenud tüksisuurus (mm)	150 x 150
Sööturi kõrgus (mm)	3650
Sööturi kõrgus ilma sõelarestita (mm)	3300
Sõelade arv	3
Võimsus (kW)	90
Mootor	Diisel-hüdrauliline ajam
Kaal (t)	36,3

Tabel 28. Ekskavaatorite tehnilised parameetrid [25]

Parameeter	Komatsu HB365LC-3	Cat 320 D L	Kobelco 210
Kaal (t)	36,4	21	21,3
Mootori võimsus, (kW)	202	103	114
Kaevekopa maht, (m)	2,2	1,08	1
Ammutusraadius max, (m)	10,92	9,44	9,9
Ammutusraadius min, (m)	4,31	3,45	3,55
Ammutusraadius masina horisondil, (m)	11,1	9,4	9,73
Ammutuskõrgus, (m)	10,21	9,38	9,72
Ammutussügavus, (m)	7,38	6,2	6,7
Laadimiskõrgus max, (m)	7,11	6,59	6,91
Laadimiskõrgus min, (m)	2,89	2,62	2,43
Kopa murdmisjõud, (kN)	211,8	141	143

Tabel 29. Kopplaadurite tehnilised parameetrid [33] [34]

Parameetrid	Volvo L110G	Volvo L150H
Kopamaht, (m^3)	3,5	5,2
Kopa laius, (m)	3	3,4
Kopa tõstevõime, (t)	11,21	15,97
Laaditava materjali max mahumass, (t/m^3)	1,8	1,8
Laaduri mass, (kg)	19840	24100
Tühjenduskõrgus, (m)	4	4,3
Veojõud, (kN)	162	202
Mootori võimsus, (kW)	190	220
Maksimaalne kiirus, (km/h)	40	38

Lisa 2. Puur-lõhketööde parameetrid

Tabel 30. Puur-lõhketööde parameetrid kasutades väljamiseks ekskavaatorit Hitachi ZX470 LC

Lõhkamise järjekord	Ridade arv lõhatavas plokis	Lõhkeauke reas	Ploki pikkus, (m)	Ploki laius, (m)	Lõhatava ploki maht, (m^3)	Väljatav materjal, (t)	Lõhkeaine kulu, (kg)
3	2	10	14,1	4,8	413,8	910,3	297,91
4	2	10	14,1	4,8	413,8	910,3	297,91
5	2	11	16,1	4,8	472,5	1039,4	340,17
6	2	13	19,0	4,8	557,6	1226,6	401,44
7	2	14	20,9	4,8	613,3	1349,3	441,59
8	2	16	23,8	4,8	698,4	1536,5	502,86
9	2	18	25,7	4,8	754,2	1659,2	543,01
10	2	20	28,7	4,8	842,2	1852,9	606,39

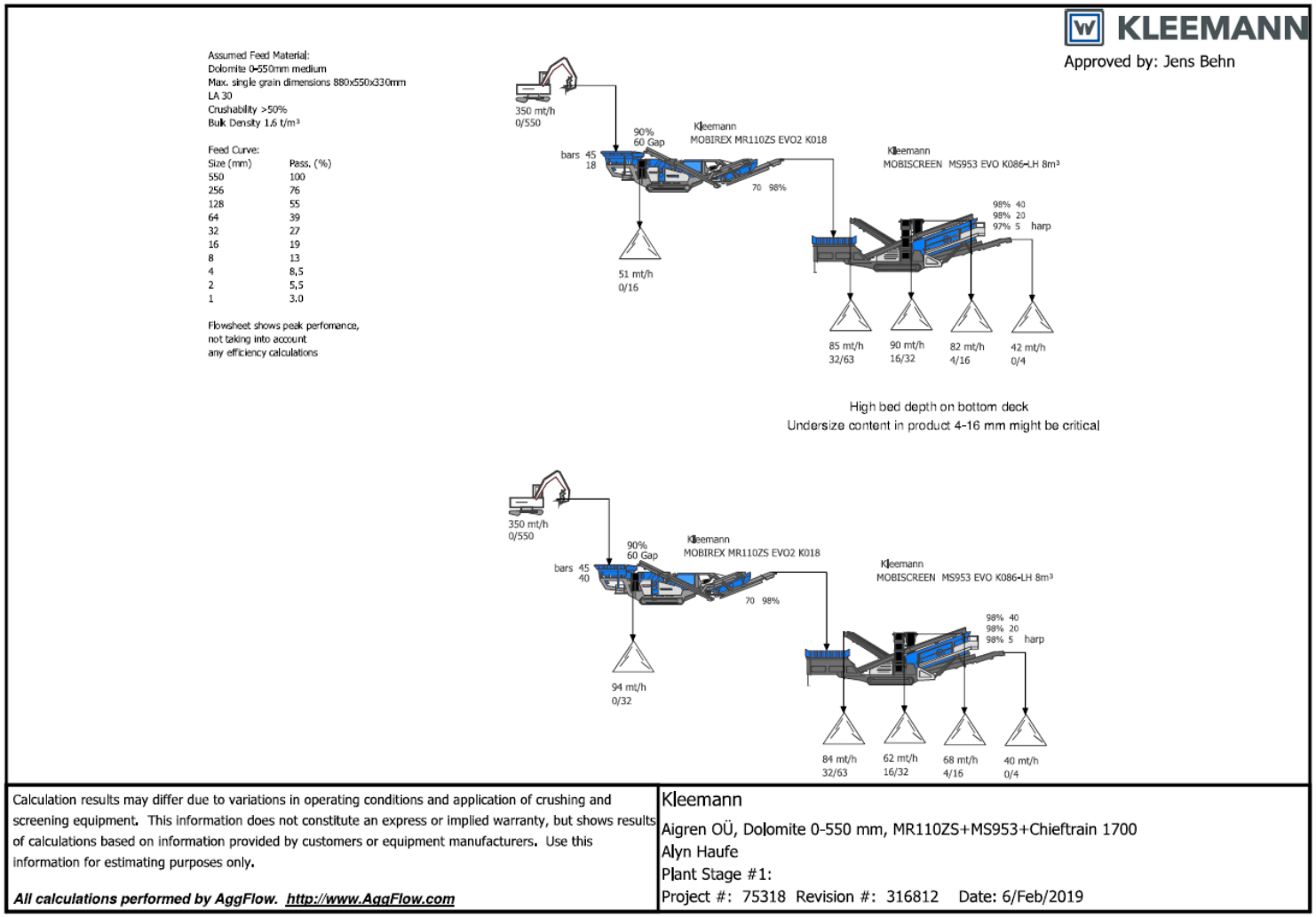
Tabel 31. Puur-lõhketööde parameetrid kasutades väljamiseks ekskavaatorit Komatsu PC 650 LC

Lõhkamise järjekord	Ridade arv lõhatavas plokis	Lõhkeauke reas	Ploki pikkus, (m)	Ploki laius, (m)	Lõhatava ploki maht, (m^3)	Väljatav materjal, (t)	Lõhkeaine kulu, (kg)
3	2	9	14,1	5,2	447,5	984,5	292,91
4	2	9	14,1	5,2	447,5	984,5	292,91
5	2	11	16,9	5,2	536,4	1180,0	351,07
6	2	13	19,4	5,2	615,7	1354,5	403,01
7	2	14	22,1	5,2	701,4	1543,1	459,09
8	2	16	24,6	5,2	780,7	1717,6	511,03
9	2	18	27,3	5,2	866,4	1906,1	567,12
10	2	19	29,8	5,2	945,8	2080,7	619,05

Tabel 32. Puur-lõhketööde parameetrid kasutades väljamiseks draglain Liebherr HS 8040.1

Lõhkamise järjekord	Ridade arv lõhatavas plokis	Lõhkeauke reas	Ploki pikkus, (m)	Ploki laius, (m)	Lõhatava ploki maht, (m^3)	Väljatav materjal, (t)	Lõhkeaine kulu, (kg)
3	4	10	14,1	10,7	921,5	2027,3	584,93
4	5	12	17,2	13,4	1405,1	3091,3	891,92
5	5	19	27,6	13,4	2254,7	4960,4	1431,22
6	5	21	30,7	13,4	2508,0	5517,6	1591,97
7	5	28	41,0	13,4	3349,4	7368,8	2126,09
8	5	30	44,1	13,4	3602,7	7925,9	2286,84
9	5	37	54,5	13,4	4452,3	9795,1	2826,14
10	5	39	57,6	13,4	4705,6	10352,2	2986,89

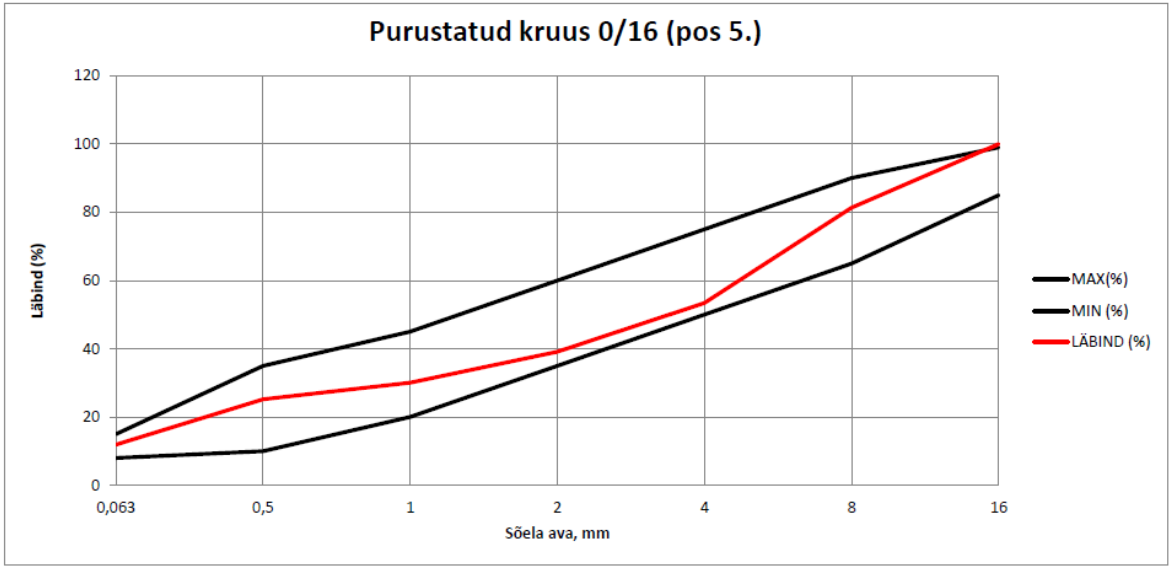
Lisa 3. Dolokivikillustiku tootmisskeem, Kleemann MR110Z ja Kleemann MS 953 teoreetiline toodangu maht



Lisa 4. Terastikuline koostis (Positsioon 5.)

Katseprotokoll nr. 444

TERASTIKULINE KOOSTIS, SÕELUMISMEETOD, EN 933-1	Tellija:	Aigren OÜ
Proovi identifitseerivad andmed : pos 5.	Proovi vastuvõtmise kuupäev:	20.03.2019
Purustatud kruus 0/16 Marinova	Katsetaja:	Tanel Treial

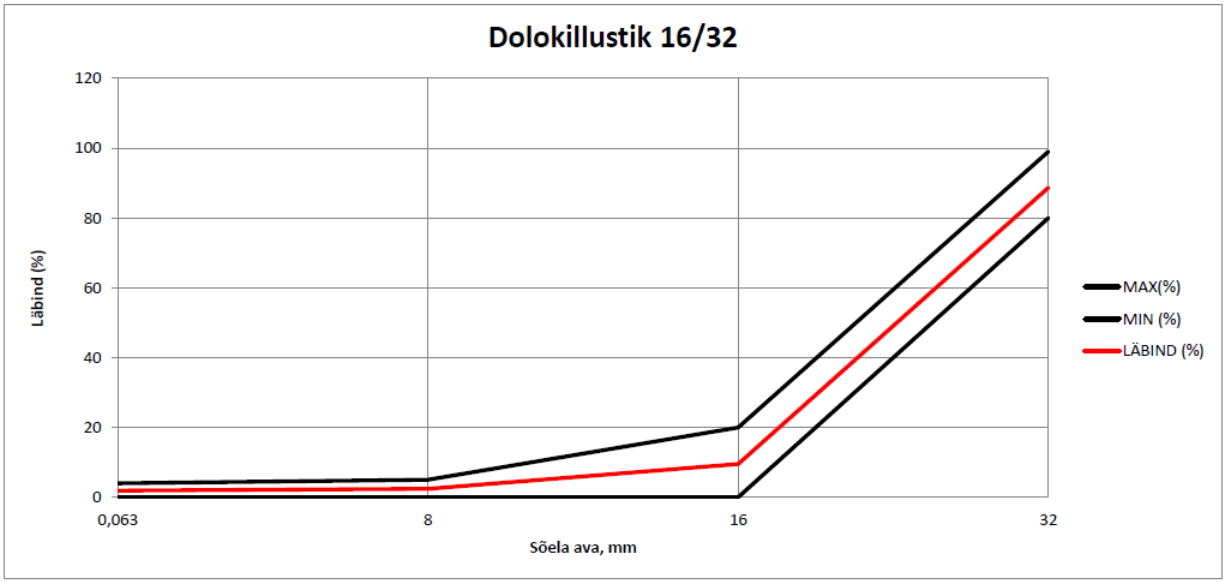


Ava (mm)	0,063	0,5	1	2	4	8	16
MAX(%)	15	35	45	60	75	90	99
MIN (%)	8	10	20	35	50	65	85
LÄBIND (%)	12	25	30	39	53	81	100
Hälve	-	-	-	-	-	-	1,0

Lisa 5. Terastikuline koostise (Dolokivikillustik 16/32mm)

Katseprotokoll nr. 458

TERASTIKULINE KOOSTIS, SÕELUMISMEETOD, EN 933-1	Tellija:	Aigren OÜ
Proovi identifitseerivad andmed :	Proovi vastuvõtmise kuupäev:	20.04.2019
Dolokillustik 16/32 Marinova	Katsetaja:	Tanel Treial

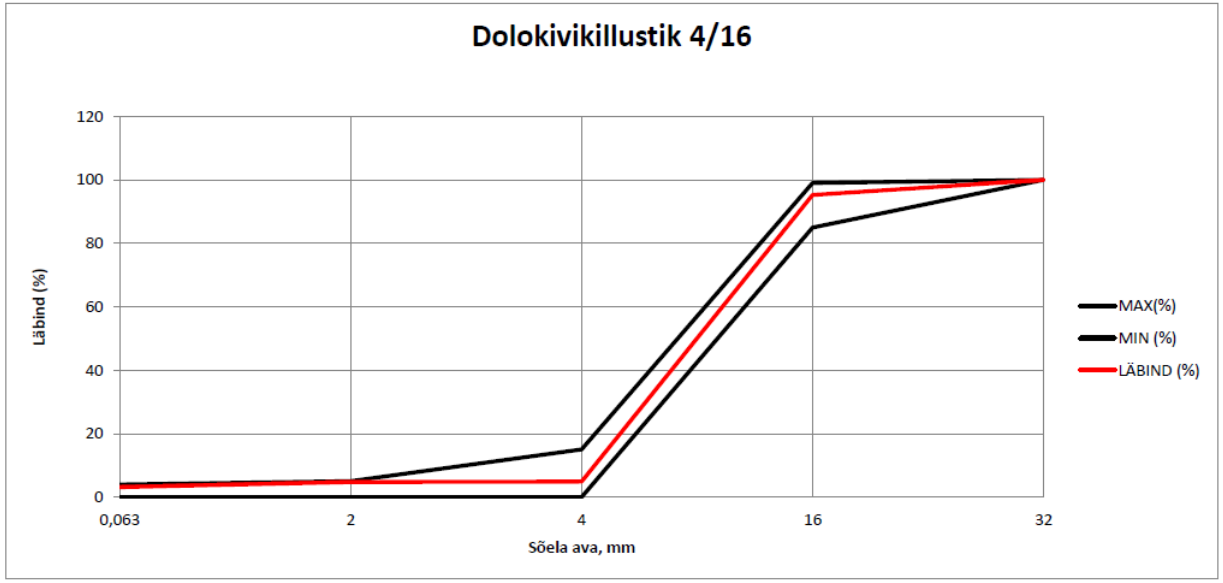


Ava (mm)	0,063	8	16	32
MAX(%)	4	5	20	99
MIN (%)	0	0	0	80
LÄBIND (%)	2	2	9	89
Hälve	-	-	-	-

Lisa 6. Terastikuline koostis (Dolokivikillustik 4/16 mm)

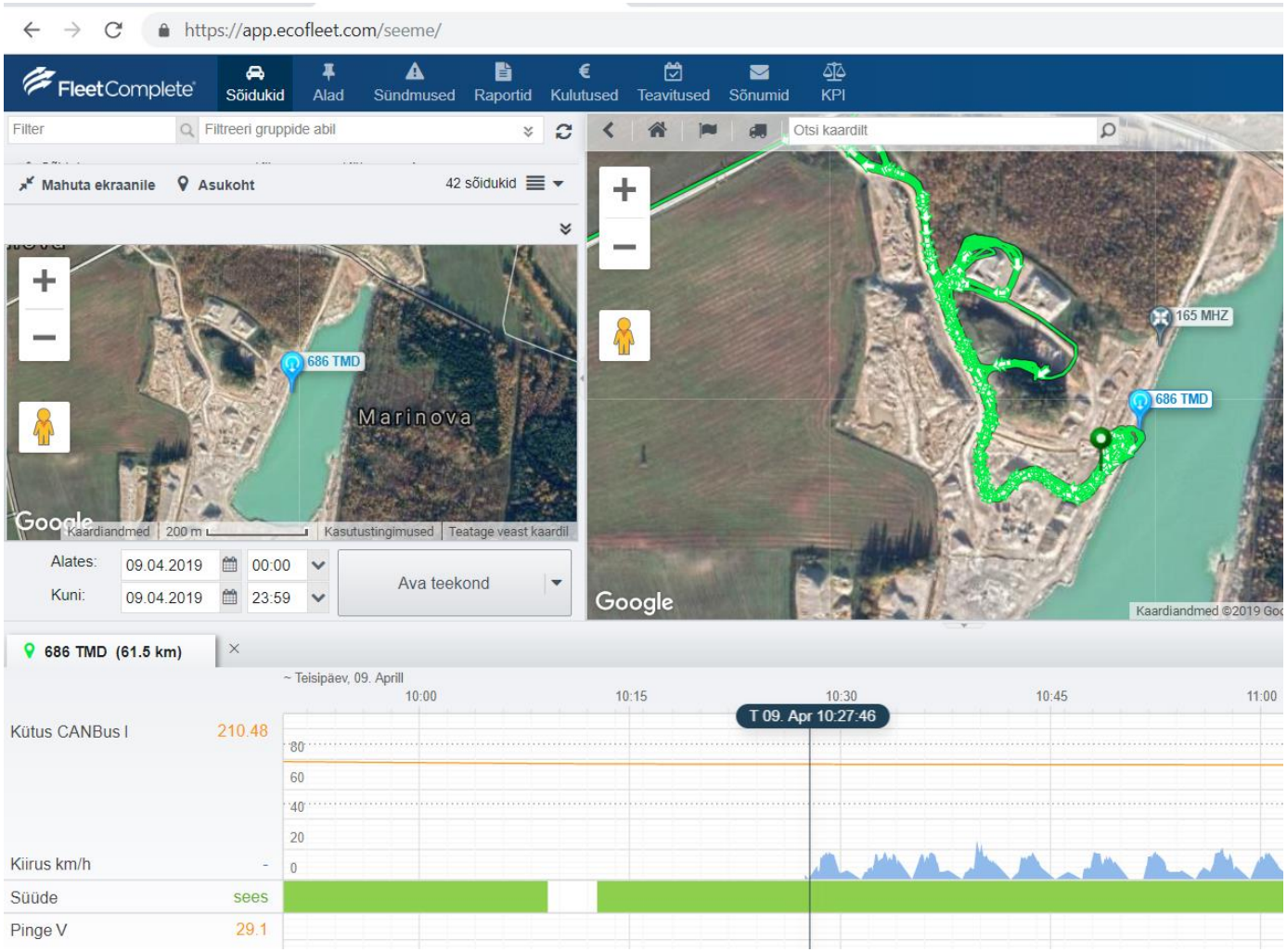
Katseprotokoll nr. 459

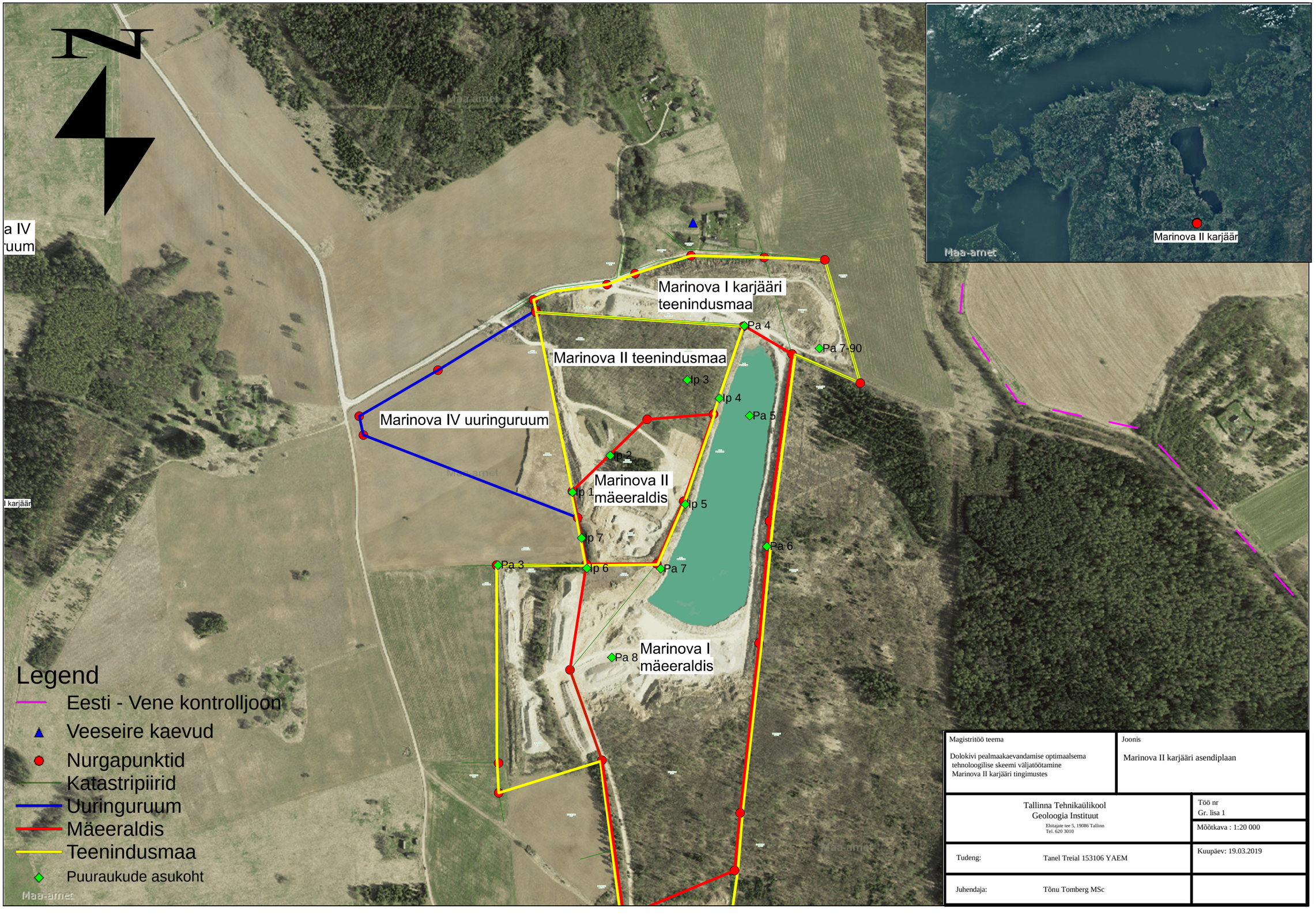
TERASTIKULINE KOOSTIS, SÕELUMISMEETOD, EN 933-1	Tellija:	Aigren OÜ
Proovi identifitseerivad andmed :	Proovi vastuvõtmise kuupäev:	20.04.2019
Dolokivikillustik 4/16 Marinova	Katsetaja:	Tanel Treial



Ava (mm)	0,063	2	4	16	32
MAX(%)	4	5	15	99	100
MIN (%)	0	0	0	85	100
LÄBIND (%)	3	5	5	95	100
Hälve	-	-	-	-	0,0

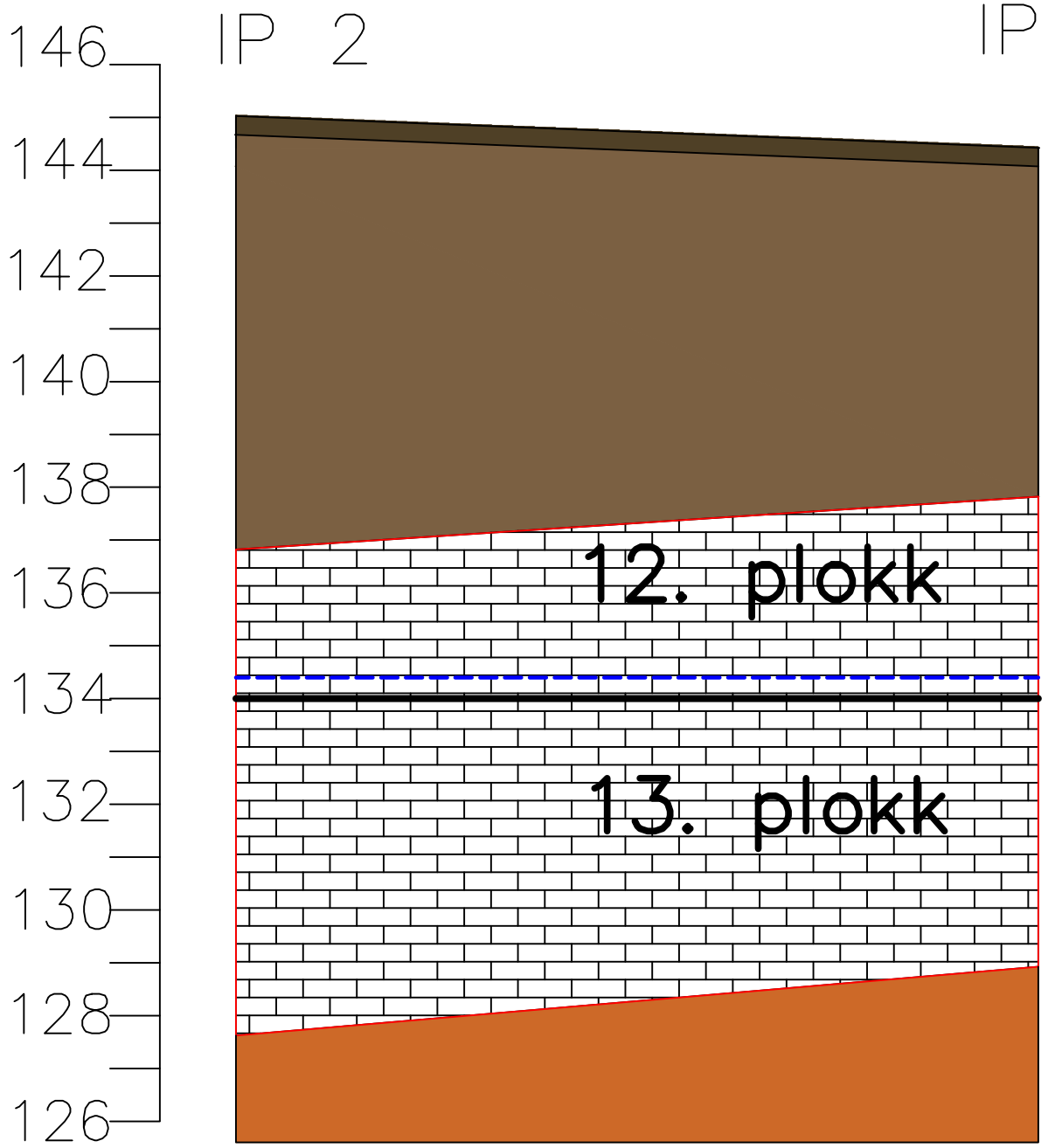
Lisa 7. Väljavõte programmist Fleetcomplete





Magistritöö teema Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Joonis Marinova II karjääri asendiplaan
Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010	Töö nr Gr. lisa 1 Mõõtkava : 1:20 000
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev: 19.03.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	

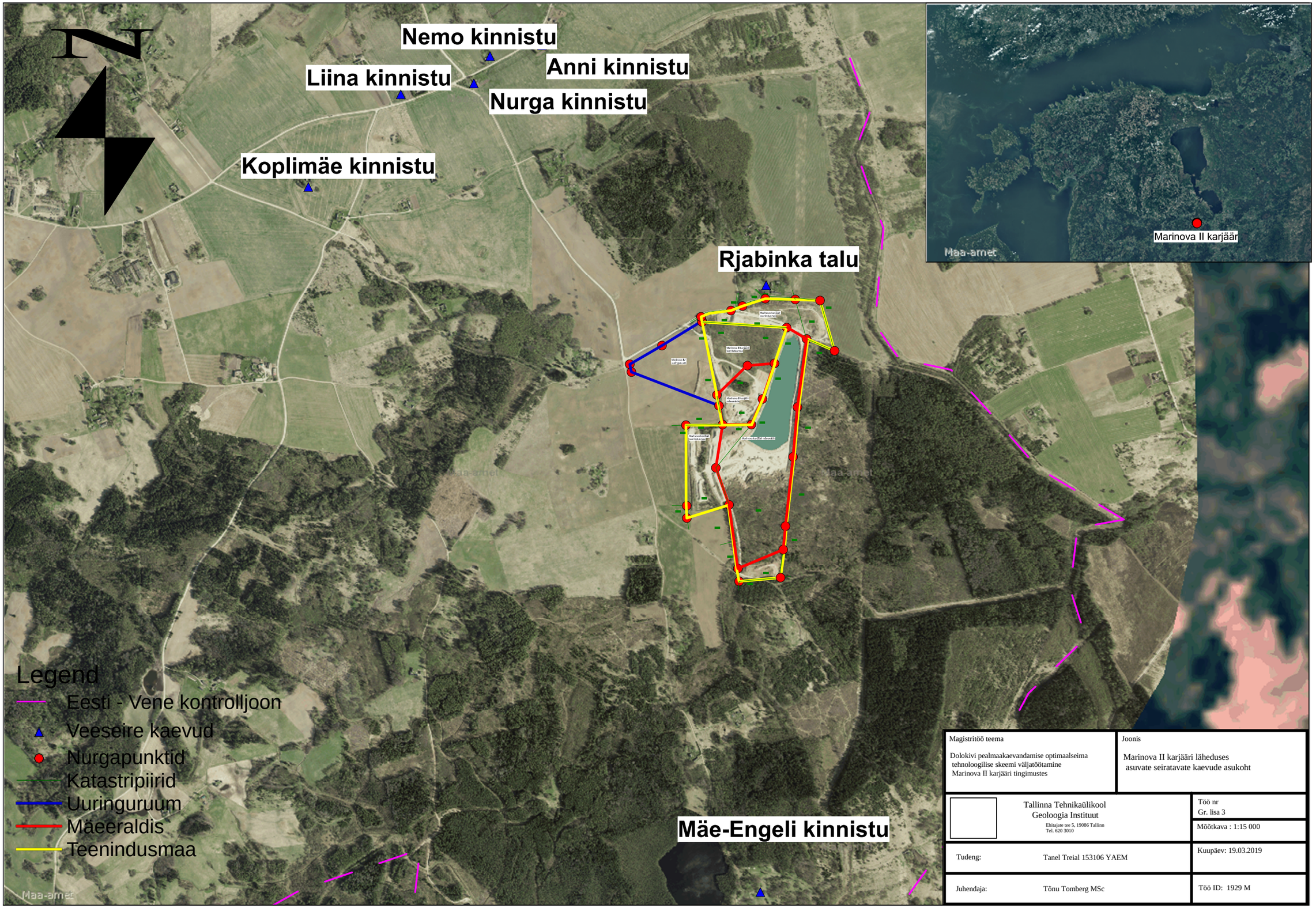
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Märkused:
Kõrgusarvud joonisel on meetrites

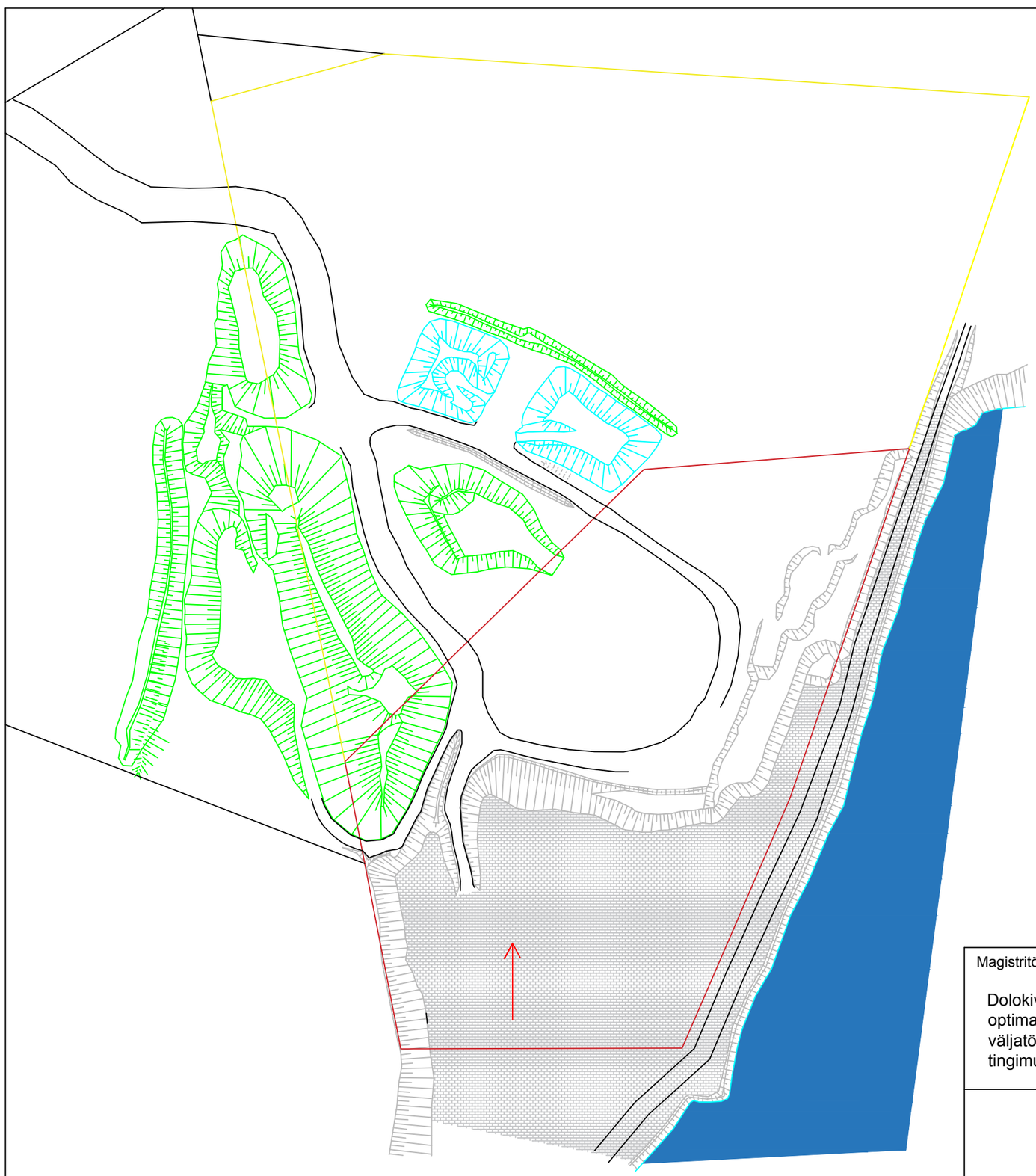
Magistritöö teema Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Joonise sisu Marinova II karjääri tüüpläbilõige
Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Joonis: Gr. Lisa 2 Mõõtkava H 1:1000 V 1:100
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	Töö ID: 1929M

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Magistritöö teema Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalseima tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Joonis Marinova II karjääri läheduses asuvate seiratavate kaevude asukoht
Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn Tel. 620 3010	Töö nr Gr. lisa 3
	Mõõtkava : 1:15 000
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev: 19.03.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	Töö ID: 1929 M

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Legend

- Mäeeraldise piir
- Teenindusmaa piir
- Katastriüksuse piir
- Katendipuistang
- Toodangupuistang
- Veotee
- 13. ploki dolokivi
- Kaevandamise suund

Tehnoloogilised skeemid kohalduvad kogu mäeeraldisel.
Moreenkatend paigutatakse puistangutesse mäeeraldise teenindusmaa lääneserva
Kasutatavamad materjalid paigutatakse purustus- ja sorteerimiskompleksi lähedusse, kust need laaduriga hiljem kalluritele laaditakse
Vähem kasutatavad materjalid laaditakse mäeeeraldise teenindusmaale karjääri põhjaosas

Märkused:

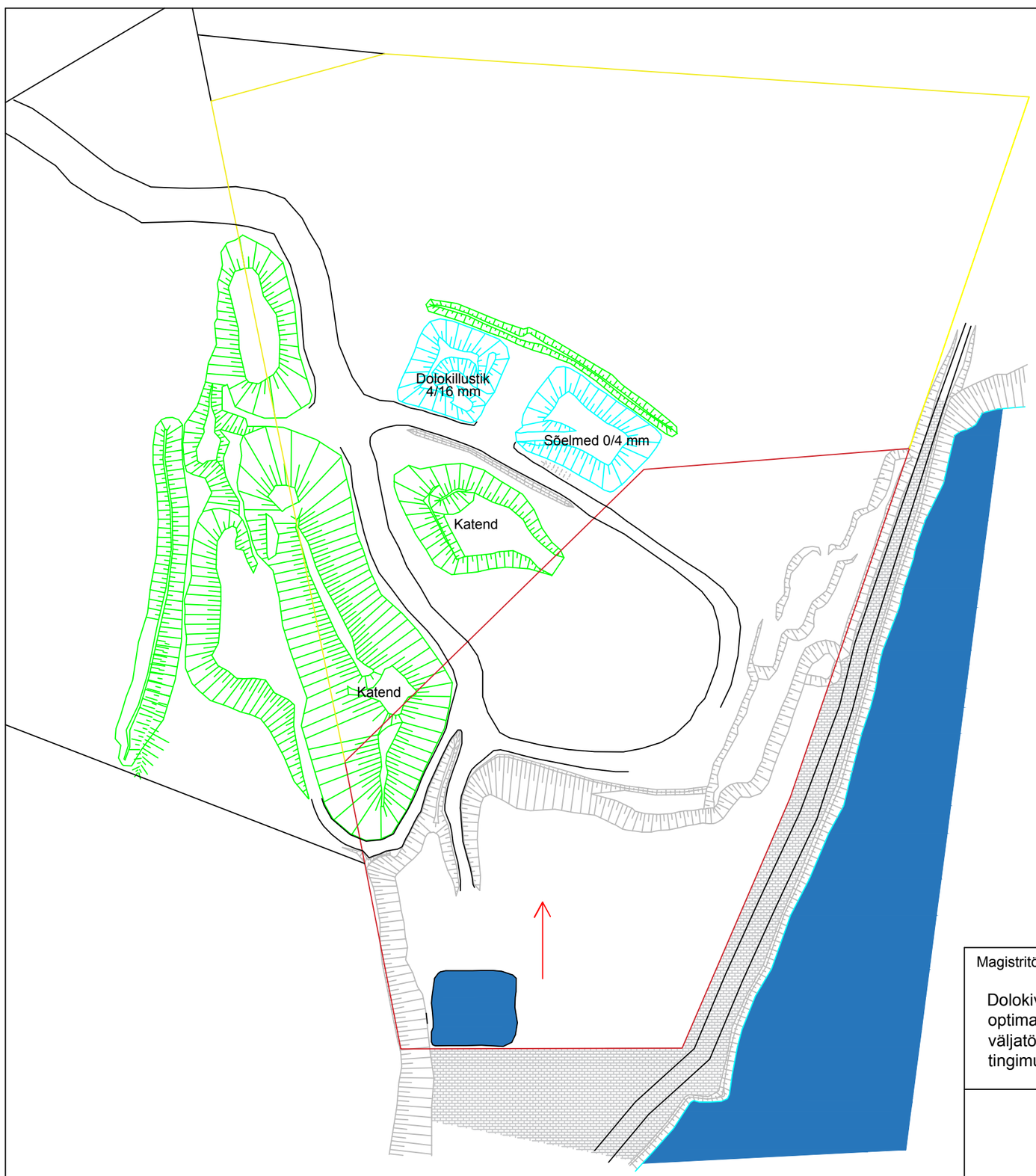
1. Kasutatud tarkvara:
   Autodesk AutoCad 2019
2. Kõik mõõtmed on meetrites

Magistritöö teema	Joonise sisu
Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Marinova II dolokivikarjääri plaan

Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Gr lisa 4. Mõõtkava 1:2000
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	Töö ID: 1929M

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Legend

- Mäeeraldise piir
- Teenindusmaa piir
- Katastriüksuse piir
- Katendipuistang
- Toodangupuistang
- Veotee
- 13. ploki dolokivi
- Kaevandamise suund

Tehnoloogilised skeemid kohalduvad kogu mäeeraldisel.
Moreenkatend paigutatakse puistangutesse mäeeraldise teenindusmaa lääneserva
Kasutatavamad materjalid paigutatakse purustus- ja sorteerimiskompleksi lähedusse, kust need laaduriga hiljem kalluritele laaditakse
Vähem kasutatavad materjalid laaditakse mäeeeraldise teenindusmaale karjääri põhjaosas

Märkused:

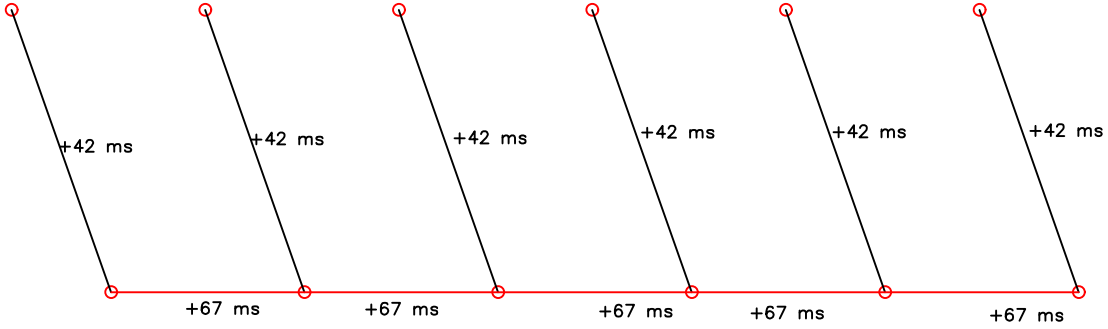
1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCad 2019
2. Kõik mõõtmed on meetrites

Magistritöö teema	Joonise sisu
Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Marinova II dolokivikarjääri areng

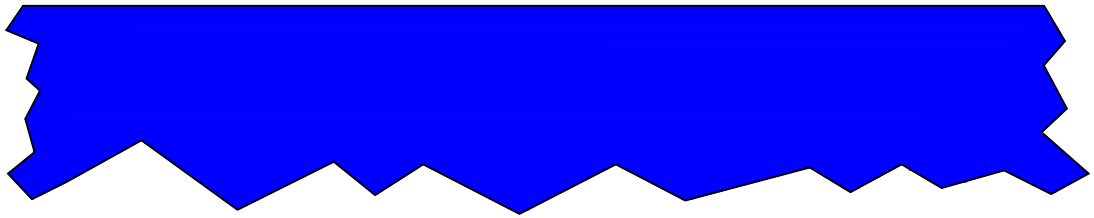
Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Gr lisa 5. Mõõtkava 1:2000
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	Töö ID: 1929M

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



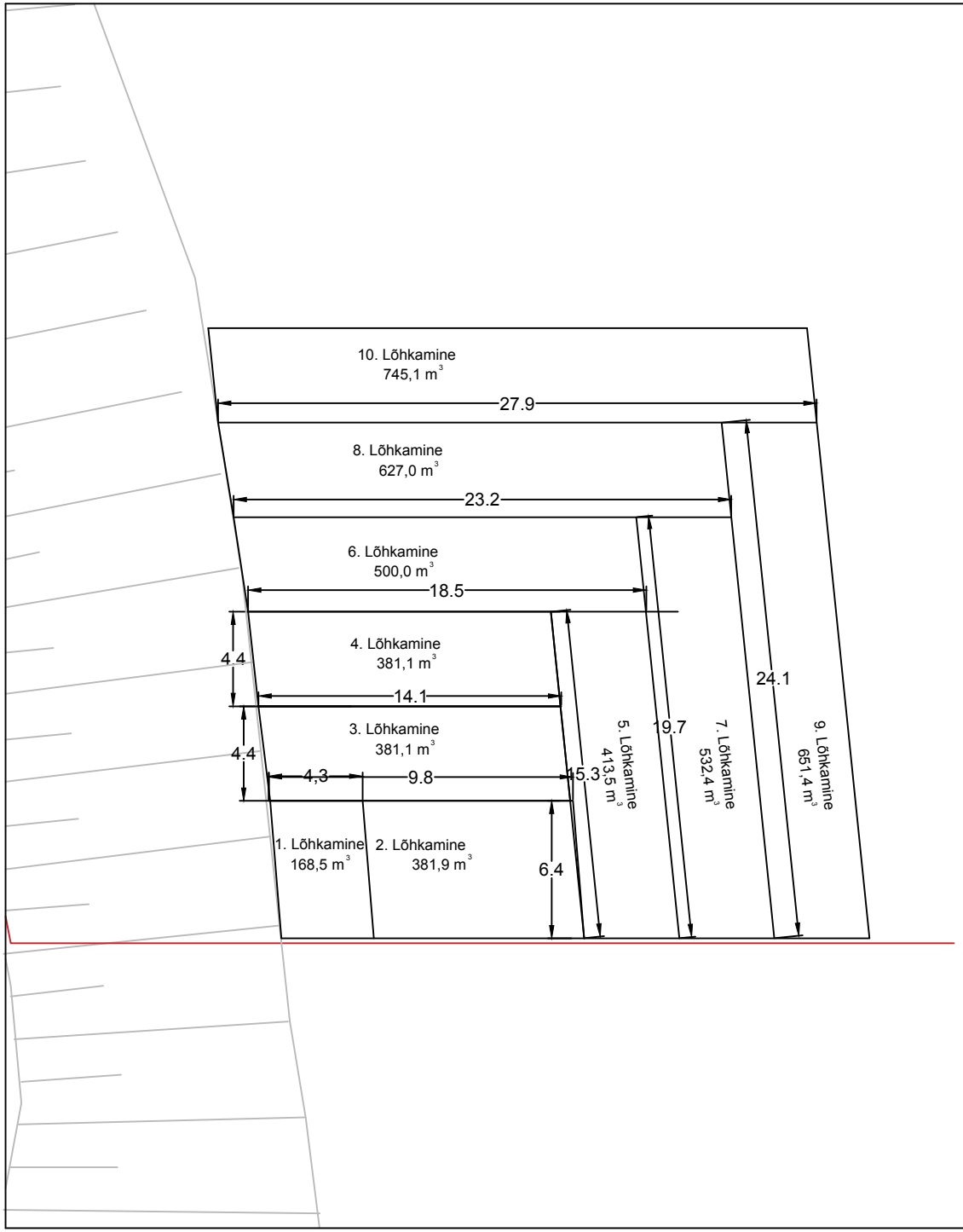
Astangu serv



Magistritöö teema Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Joonise sisu Marinova II karjääri viidete skeem
Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Gr. lisa 6. Mõõtkava 1:500
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Legend

Mäeeraldise piir

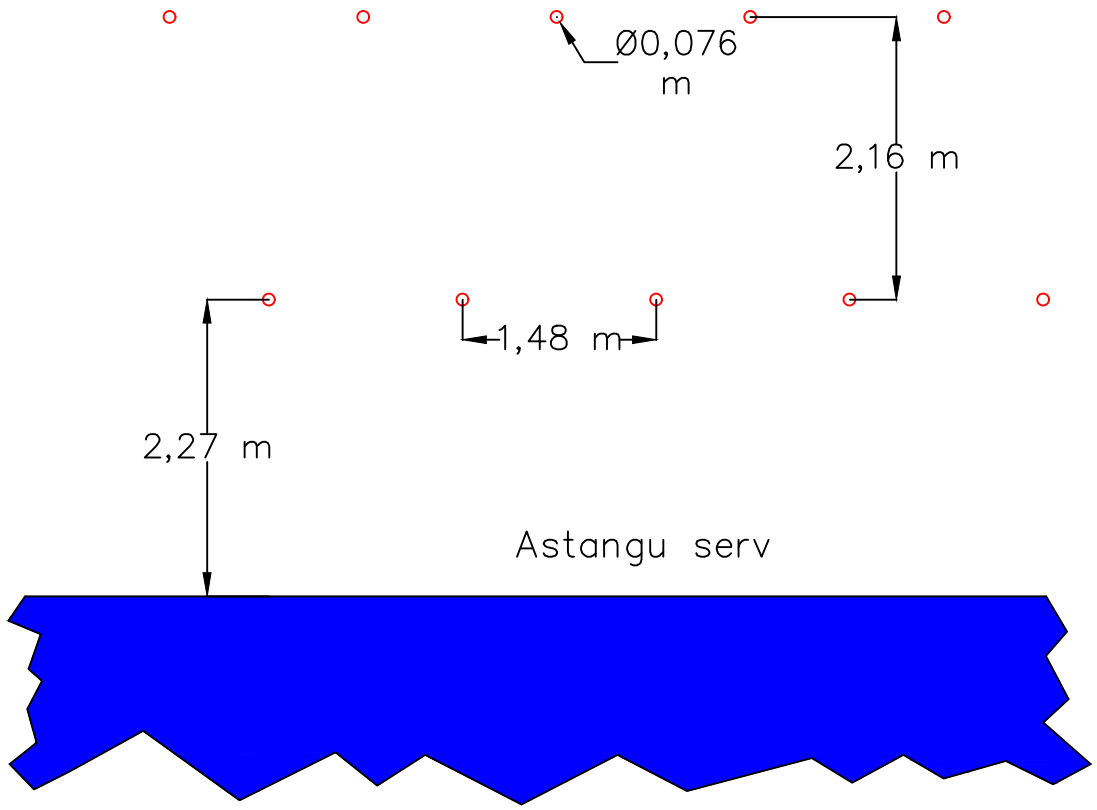
Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCad 2019
2. Kõik mõõtmed on meetrites

Magistritöö teema Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Joonise sisu Komatsu HB365LC-3 tööparameetrite järgi arvutatud plokkide mõõdud
Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Gr. lisa 7 Mõõtkava 1:300
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	Töö ID: 1929M

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

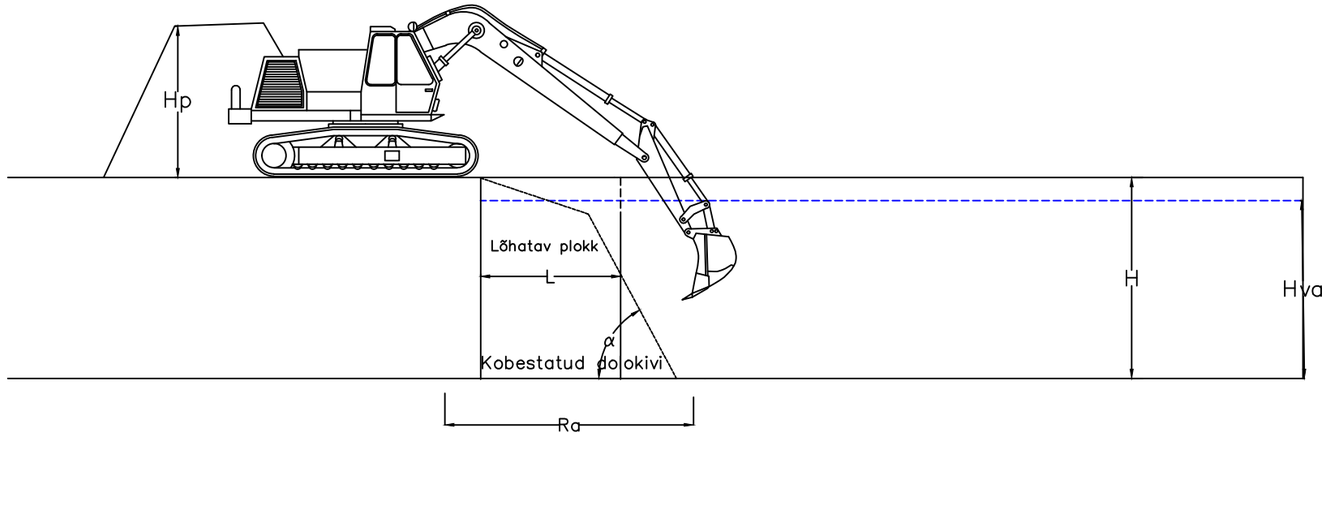


Magistritöö teema	Joonise sisu
Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Marinova II karjääri lõhkeaukude skeem

Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Gr. lisa 8 Mõõtkava 1:500
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

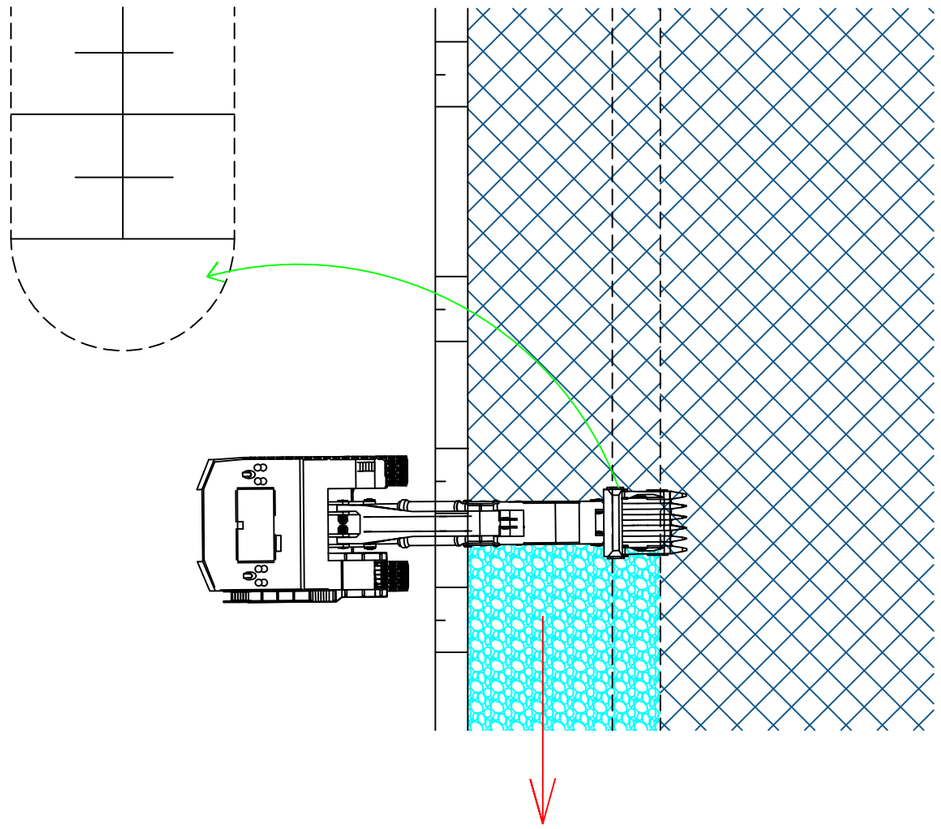


LEGEND

H Astangu kõrgus
Hva Veealuse astangu kõrgus
Hp Puistangu kõrgus
L Lõhatava ploki laius
Ra Ekskavaatori max ammutusraadius astangu sügavuselt
α Lõhatud dolokivi kaevandamise nurk

→ Kaevandamise suund

	Komatsu HB365LC–3	Hitachi ZX470 LC	Komatsu PC 650 LC
H	6,1 m	6,1 m	6,1 m
Hva	5,7 m	5,7 m	5,7 m
Hp	kuni 3 m	kuni 3 m	kuni 3 m
L	4,4 m	4,8 m	5,2 m
Ra	4,5 m	5,0 m	5,5 m
α	50°–60°	50°–60°	50°–60°



Märkused:

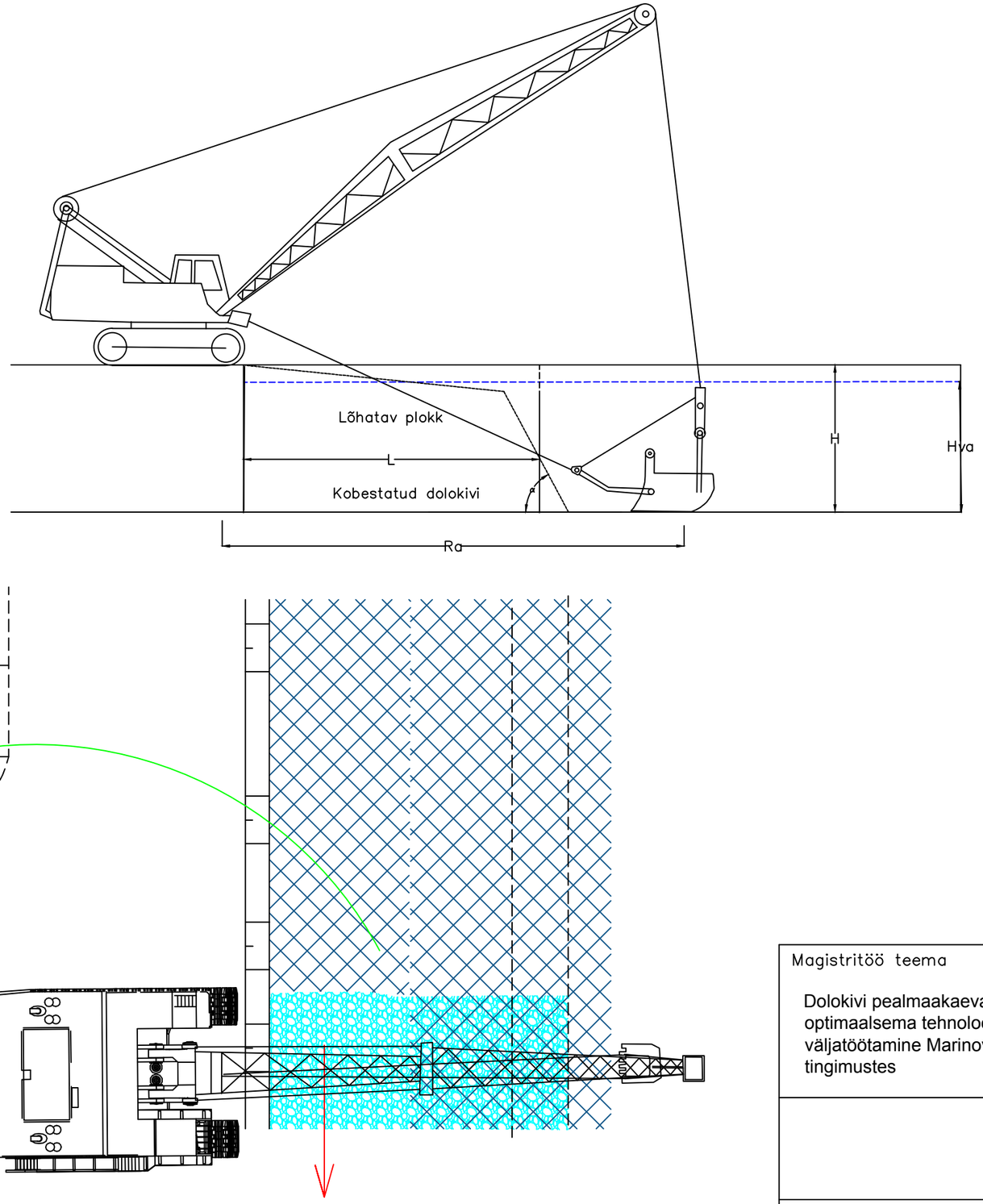
1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCad 2019
2. Kõik mõõtmed on meetrites

Magistritöö teema	Joonise sisu
Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Kobestatud veealuse dolokivi väljamine ja puistangusse tõstmine ekskavaatoriga

Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Gr lisa 9 Töö ID : 1929M
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



LEGEND

H	Astangu kõrgus
Hva	Veealuse astangu kõrgus
Hp	Puistangu kõrgus
L	Lõhatava ploki laius
Ra	Draglaini max ammutusraadius astangu sügavuselt
α	Lõhatud dolokivi kaevandamise nurk

→ Kaevandamise suund

	Liebherr HS8040.1
H	6,1 m
Hva	5,7 m
Hp	kuni 3 m
L	13,4 m
Ra	14,2 m
α	50°–60°

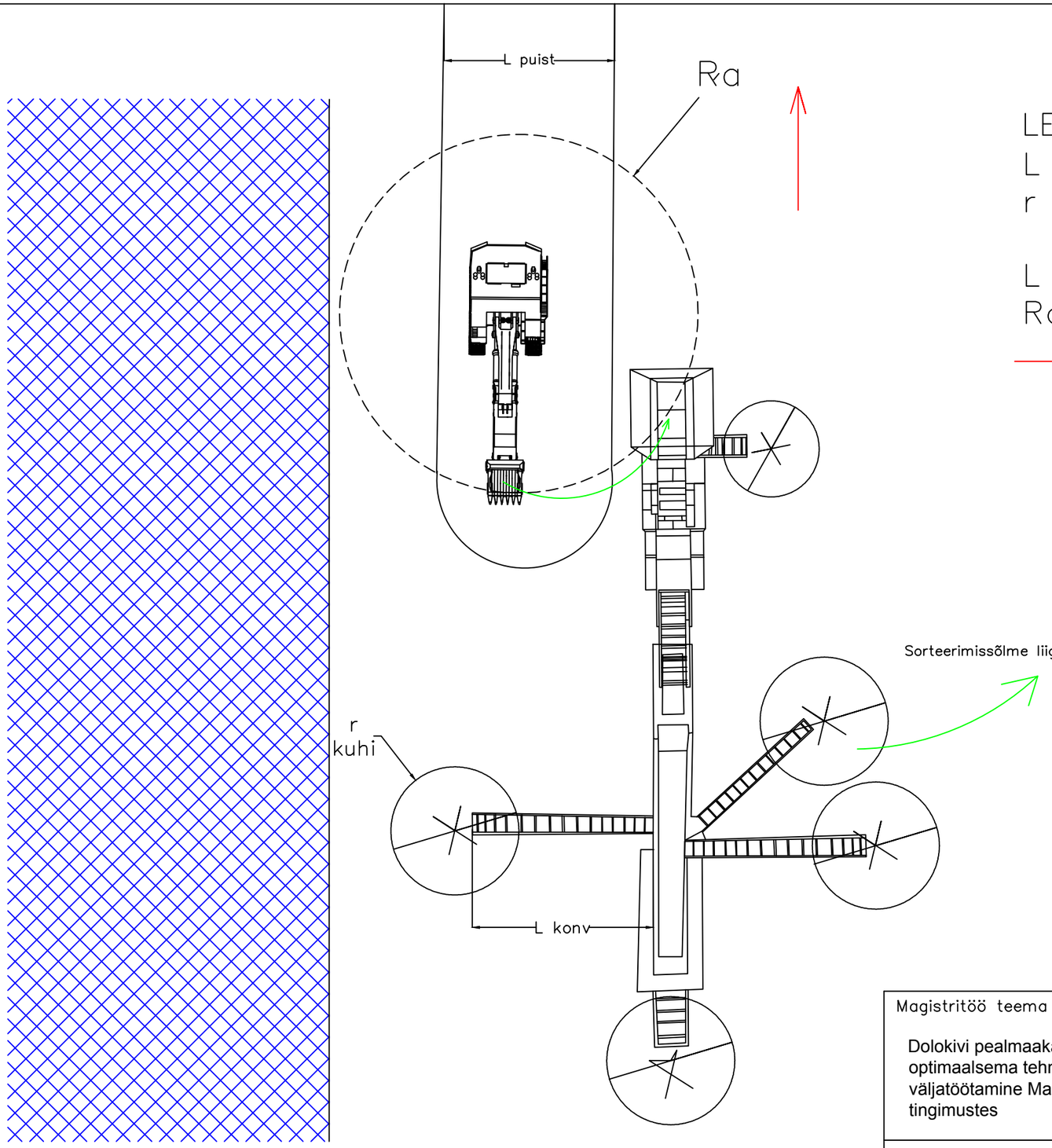
Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCad 2019
2. Kõik mõõtmed on meetrites

Magistritöö teema Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Joonise sisu Kobestatud veealuse dolokivi väljamine ja puistangusse tõstmine draglainiga
Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Gr. lisa 10 Töö ID : 1929M
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



LEGEND

L puist Väljatud dolokivipuistangu laius

r kuhi toodangukuhja raadius

L konv Konveieri pikkus

Ra Ekskavaatori max ammutusraadius

→ Tootmise suund

	Komatsu HB365LC-3	Hitachi ZX470 LC	Komatsu PC 650 LC
Ra	11,1 m	12,2 m	13,0 m
L puist	6,8 m	7,4 m	7,6 m

	Kleemann MS 953 EVO	
L konv	8 m	
r kuhi	3 m	

Märkused:

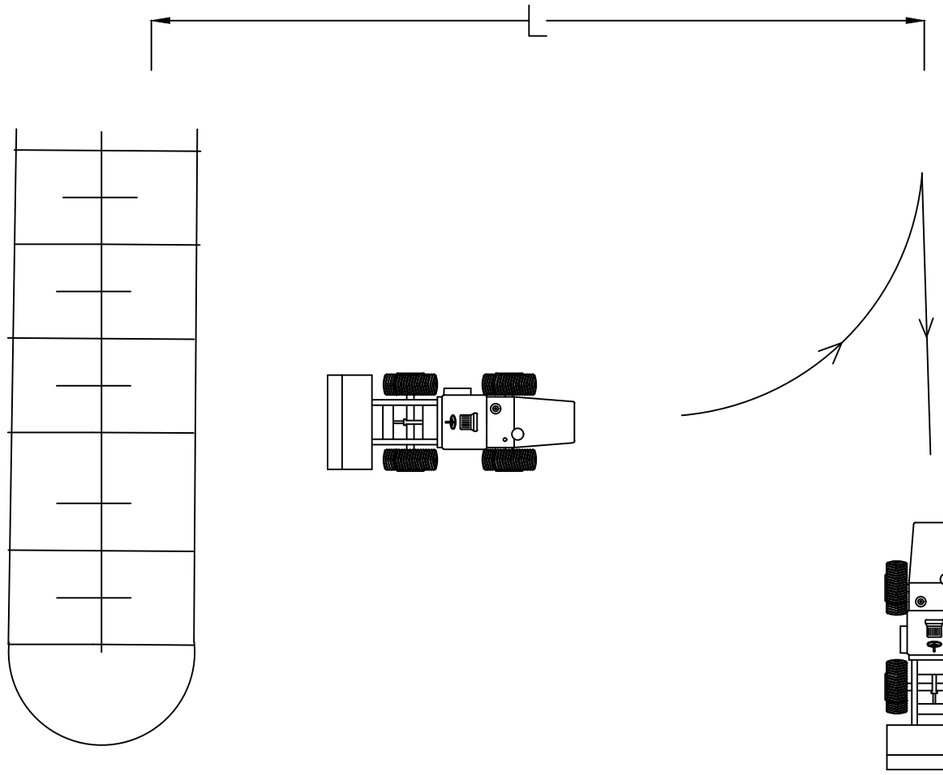
1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCad 2019
2. Kõik mõõtmed on meetrites

Magistritöö teema Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Joonise sisu Kobestatud veealuse dolokivi ekskavaatoriga tõstmine purustus- ja sorteerimissõlme

Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Gr. lisa 11 Töö ID : 1929M
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



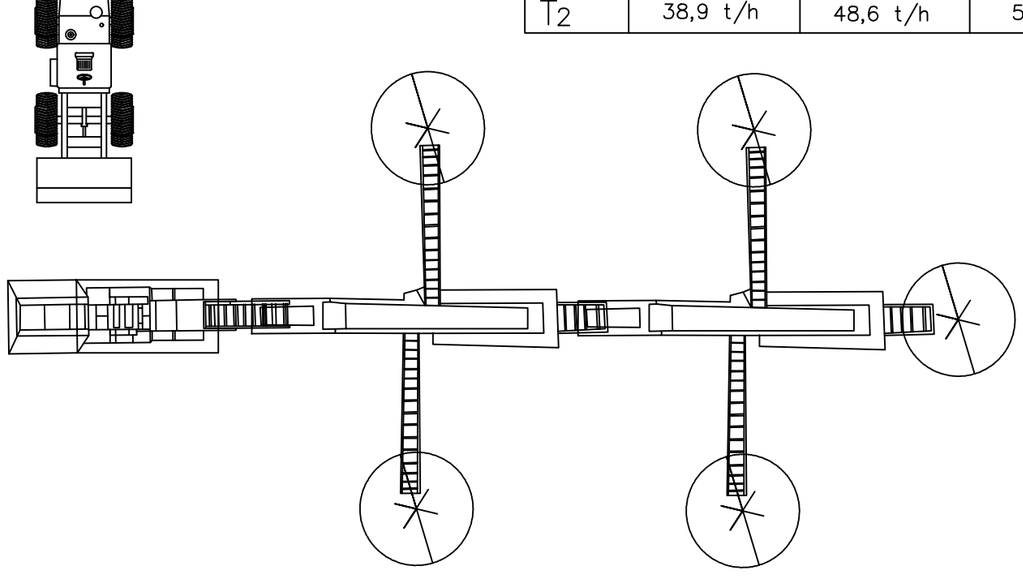
LEGEND

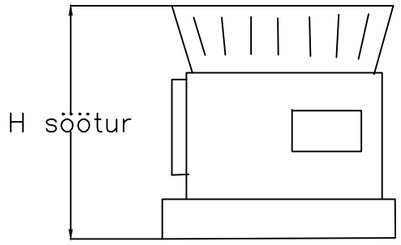
L Laaduri veokaugus

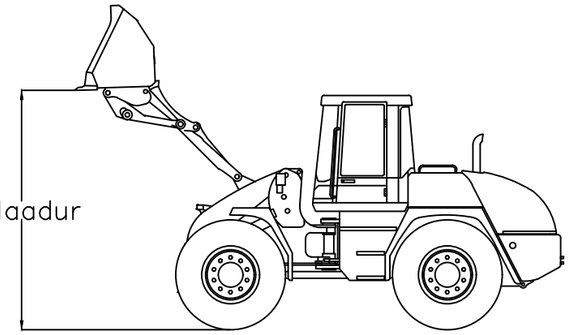
H laadur Laaduri max laadimiskõrgus

H söötur Purusti sööturi kõrgus

	Volvo L110G	Volvo L150H	Volvo L220H
Hla	4 m	4,3 m	4,6 m
Hsö	4 m	4 m	4 m
L_1	310 m	310 m	310 m
T_1	54,1 t/h	67,6 t/h	81,1 t/h
L_2	450 m	450 m	450 m
T_2	38,9 t/h	48,6 t/h	58,3 t/h







Märkused:

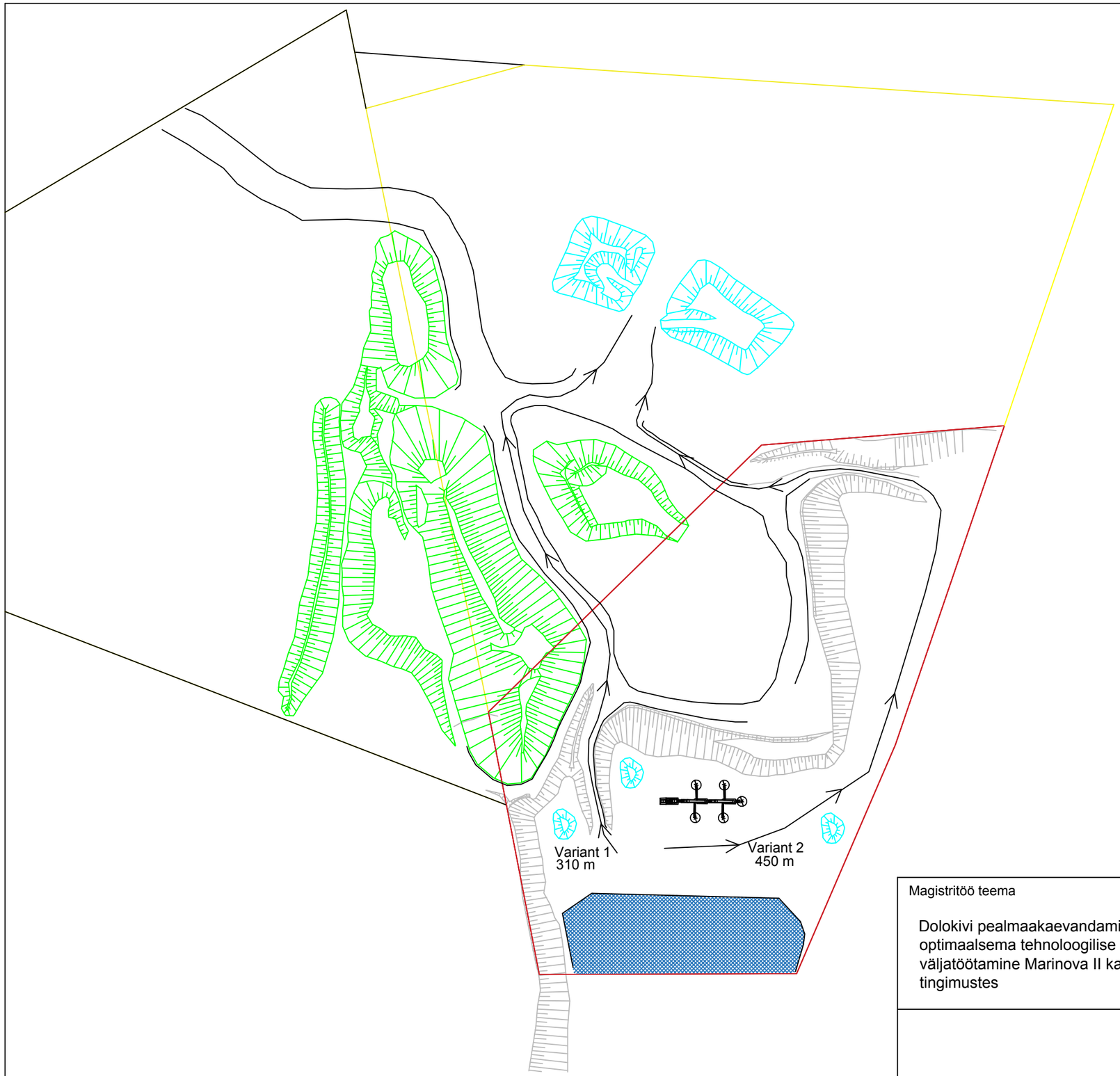
1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCad 2019
2. Kõik mõõtmed on meetrites

Magistritöö teema	Joonise sisu
Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Kobestatud veealuse dolokivi purustus- ja sorteerimissõlme tõstmine frontaallaaduriga

Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Gr lisa 12 Töö ID : 1929M
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Legend

- Mäeeraldise piir
- Teenindusmaa piir
- Katastriüksuse piir
- Katendipuistang
- Toodangupuistang
- Veotee

Tehnoloogilised skeemid kohalduvad kogu mäeeraldisel.
Moreenkatend paigutatakse puistangutesse mäeeraldise teenindusmaa lääneserva
Kasutatavamad materjalid paigutatakse purustus- ja sorteerimiskompleksi lähedusse, kust need laaduriga hiljem kalluritele laaditakse
Vähem kasutatavad materjalid laaditakse mäeeeraldise teenindusmaale karjääri põhjaosas

Märkused:

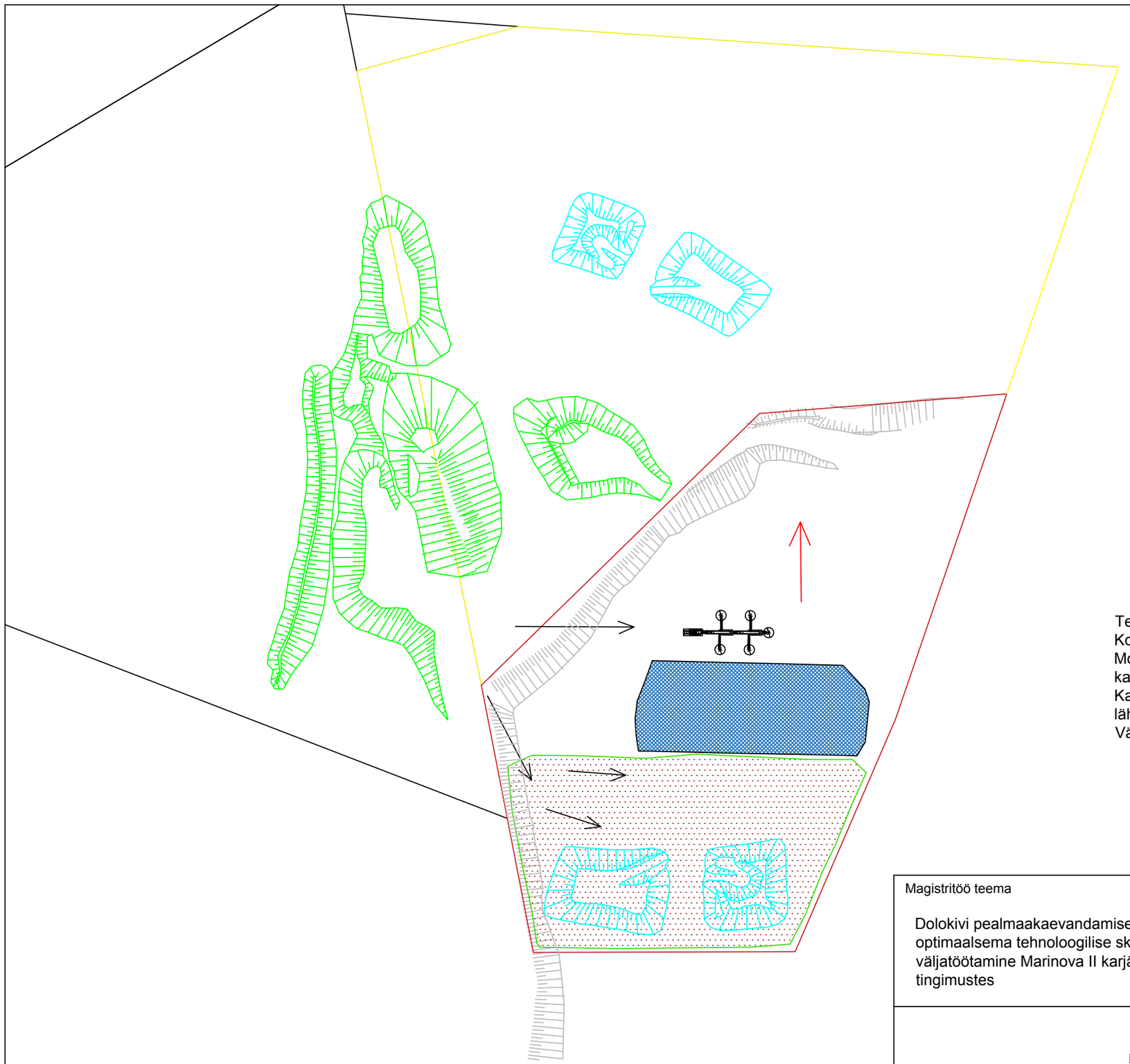
1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCad 2019
2. Kõik mõõtmed on meetrites

Magistritöö teema	Joonise sisu
Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Marinova II karjääri planeeritav veoskeem

Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Gr lisa 13. Mõõtkava 1:2000
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	Töö ID: 1929M

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Legend

- Mäeeraldise piir
- Teenindusmaa piir
- Katastriüksuse piir
- Katendipuistang
- Toodangupuistang
- Täitmise suund
- Kaevandamise suund
- Täidetud ala

Tehnoloogilised skeemid kohalduvad kogu mäeeraldisel.
Korrastamistööd toimuvad paralleelselt kaevandamisega.
Moreenkatend paigutataksevõimalusel otse kaevandatud ala täitmiseks karjääri lõunaosas.
Kasutatavamad materjalid paigutatakse purustus- ja sorteerimiskompleksi lähedusse, kust need laaduriga hiljem kalluritele laaditakse.
Vähem kasutatavad materjalid laaditakse täidetud alale.

Märkused:

1. Kasutatud tarkvara: Autodesk AutoCad 2019
2. Kõik mõõtmed on meetrites

Magistritöö teema Dolokivi pealmaakaevandamise optimaalsema tehnoloogilise skeemi väljatöötamine Marinova II karjääri tingimustes	Joonise sisu Marinova II karjääri veoskeem täidetud alale ladustamisega
Tallinna Tehnikaülikool Geoloogia Instituut Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn	Gr lisa 14 Mõõtkava 1:2000
Tudeng: Tanel Treial 153106 YAEM	Kuupäev 15.05.2019
Juhendaja: Tõnu Tomberg MSc	Töö ID: 1929M

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION