



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Loodusteaduskond
Geoloogia instituut

**Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine
lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes**

Elaboration of optimal parameters for limestone blasting in conditions of Gotland
island

Magistritöö
LG70LT

Üliõpilane: Gaia Grossfeldt, 144371AAGM
Juhendaja: Tõnu Tomberg, Geoloogia instituut, lektor
Õppekava: Geotehnoloogia AAGM02/09

Tallinn 2018

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

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: Gaia Grossfeldt

[allkiri ja kuupäev]

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

Juhendaja: Tõnu Tomberg

[allkiri ja kuupäev]

Töö on lubatud kaitsmisele.

Kaitsmiskomisjoni esimees:

[allkiri ja kuupäev]

SISUKORD

AUTORIDEKLARATSIOON	2
ANNOTATSIOON	8
ABSTRACT	9
SISSEJUHATUS	10
1 ÜLDINFO STORUGNS, GOTLAND	11
2 GEOLOOGILISED JA HÜDROGEOLOOGILISED TINGIMUSED	13
2.1 GEOLOOGIA	13
2.2 HÜDROGEOLOOGIA	14
3 MAAVARA KVALITEET	18
4 MÄENDUSLIKUD TINGIMUSED JA KAEVANDAMISTEHNOLGOOGIA	22
5 PUUR-LÕHKETÖÖD	24
5.1 PUUR-LÕHKETÖÖD KLINTHAGENI KARJÄÄRIS.....	27
5.2 KÄESOLEVAL AJAL KASUTATAV PUUR-LÕHKETÖÖDE TEHNOLOOGIA	28
6 PUUR-LÕHKETÖÖDELE ALTERNATIIVSETE MEETODITE VÄLJATÖÖTAMINE	31
6.1 ALTERNATIIV 1	34
6.2 ALTERNATIIV 2	35
6.3 ALTERNATIIV 3	37
6.4 ALTERNATIIV 4	39
6.5 ALTERNATIIV 5	41
6.5.1 Alternatiiv 5 a.....	41
6.5.2 Alternatiiv 5 b.....	43
6.6 ALTERNATIIV 6	45
6.6.1 Alternatiiv 6 a.....	45
6.6.2 Alternatiiv 6 b.....	47
7 PUUR-LÕHKETÖÖDE VARIANTIDE VÕRDLEV ANALÜÜS	50
8 OHUTUS JA KESKKONNAKAITSE	53
8.1 PLASTIKKOTTIDE KASUTAMINE LÕHKETÖÖDEL	56
8.2 MATTIDE KASUTAMINE	58
9 KOKKUVÕTE	60
TÄNUAVALDUSED	61
KASUTATUD KIRJANDUS	62
LISAD	63
LISAD	
Lisa 1 Üksiklõhkeaugu skeem, topisega hajutatud laeng.....	63
Lisa 2 Lõhkamise protokoll.....	64
Lisa 3 Lõhkamiste protokoll - viited.....	65

JOONISED

Joonis 1 Vasakul pool Nordkalk AB Storugnsi tehase ja Klinthageni karjääri asukoht Gotlandi saarel ning paremal saarelt transporditava materjali marsruudid	11
Joonis 2 Storugnsi tehase koos Klinthageni karjääriga, vaade läänest kagusse [1]	12
Joonis 3 Vaade karjäärile lõunast-põhja (Autor Gunnar Britze), punasega on näidatud vaadeldava ala	12
Joonis 4 Gotlandi erinevad lubjakivid – 1- rifilubjakivi, 2 - krinoidlubjakivi, 3 - stromatopoorlubjakivi, 4 - fragmenteeritud lubjakivi ja 5 – mergel [5]	13
Joonis 5 Karjääri plaan veeärastussüsteemiga. Ala F täitub veega korrastamisplaanide alusel, [8]	15
Joonis 6 Põhjavee tasemete kontroll, sinisega on näidatud joogivee kaevud ning rohelisega puurkaevud [8]	17
Joonis 7 Klinthageni karjääri vaadeldava ala plaan, [5].....	19
Joonis 8 Klinthageni karjääri vaadeldava ala geoloogiline läbilõige	20
Joonis 9 Lubjakivi keemilise koostise muutumine karjääris, [10]	21
Joonis 10 Lõhatud kaevise laadimine pöördkoppekskavaatoriga	23
Joonis 11 Karjääri purustus- ja sorteerimiskompleks.....	23
Joonis 12 Lõhelise massiivi lõhkamisel on selgelt eraldatavad kaks iseloomulikku purustustsooni:	25
Joonis 13 Kivimimassiivis tekkivate pingete jaotuse sõltuvus initsieerimissuunast, [14]	26
Joonis 14 Juhitava purustustsooni kuju erinevate laengukonstruktsioonide juures a- pidevlaeng e hajutamata laeng, b-vahetopisega hajutatud laeng, B- õhuvahedega hajulaeng, [14]	26
Joonis 15 Puurmasin AtlasCopco SmartROC T40 summuti ja GPS seadmega	27
Joonis 16 Kivimite väljapaiske võimalus kaldlõhkeaukude korral, [16]	28
Joonis 17 Lõhkeaugu kalde kontrollimine, [16].....	28
Joonis 18 Baas - Topisega hajutatud laeng	29
Joonis 19 Skeem alternatiiv 1, astang ja lõhkeaugud vertikaalselt, jaotamata pidevlaeng.....	34
Joonis 20 Skeem alternatiiv 2, astang ja lõhkeaugud 74 kraadise nurga all, jaotamata pidevlaeng	36
Joonis 21 Vasakul pool riskülikukujuline, paremal malekorras lõhkeaukude võrk.....	37
Joonis 22 Skeem alternatiiv 3, astang ja lõhkeaugud vertikaalselt, vahetopisega hajulaeng, malekorras lõhkeaukude võrk.....	38
Joonis 23 Skeem alternatiiv 4, astang ja lõhkeaugud 74 kraadise nurga all, vahetopisega hajulaeng, malekorras puurvõrk.....	40
Joonis 24 Skeem alternatiiv 5a, astang ja lõhkeaugud vertikaalselt, jaotamata pidevlaeng, malekorras puurvõrk.....	42

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Joonis 25 Skeem alternatiiv 5b, astang ja lõhkeaugud vertikaalselt, jaotamata pidevlaeng, malekorras puurvõrk.....	43
Joonis 26 Skeem alternatiiv 6a, astang ja lõhkeaugud 74 kraadise nurga all, jaotamata pidevlaeng, malekorras puurvõrk.....	46
Joonis 27 Skeem alternatiiv 6b, astang ja lõhkeaugud 74 kraadise nurga all, jaotamata pidevlaeng, malekorras puurvõrk.....	48
Joonis 28 Vaadeldava ala läheduses asuvate hoonete asukohad, [16]	54
Joonis 29 Väljavõtte vaadeldava ala läheduses asuvate hoonete ehitusekspertiisist ning vastavatest talutavatest vibratsioonidest, [16].....	55
Joonis 30 Online andmebaas ning lõhkamiste info kuvamine kaardirakenduses.....	56
Joonis 31 Plastikkotid - ülemine suruõhuga täidetav, alumised isetäituvad, [18]	57
Joonis 32 Plastikkottide kasutamine lõhketöödel, [17]	58
Joonis 33 Teraskaablist tehtud matt, [19].....	58
Joonis 34 Näide rehvidest tehtud matist, Vasalemma karjäär	59

TABELID

Tabel 1 Lubatud saasteainete kogused karjäärivees [8], Kvaliteet_1.xlsx	16
Tabel 2 Gotlandi lubjakivi keemilised näitajad [5], % Kvaliteet_1.xlsx	18
Tabel 3 Karinu ja Gotlandi lubjakivide keemiliste näitajate võrdlus. Punasega on märgitud sobilikud piirväärtused lubjatootmiseks [5], Kvaliteet_1.xlsx	18
Tabel 4 Maavara keemiline varieeruvus, [10] Kvaliteet_1.xlsx.....	20
Tabel 5 Kasutatava puur-lõhketööde baasandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx	29
Tabel 6 Alternatiiv 1 algandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx	34
Tabel 7 Alternatiiv 1 - lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx.....	35
Tabel 8 Alternatiiv 2 algandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx	36
Tabel 9 Alternatiiv 2 - lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx.....	37
Tabel 10 Alternatiiv 3 algandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx	38
Tabel 11 Alternatiiv 3 – lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx.....	39
Tabel 12 Alternatiiv 4 algandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx	40
Tabel 13 Alternatiiv 4 – lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx.....	41
Tabel 14 Alternatiiv 5a algandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx	42
Tabel 15 Alternatiiv 5a – lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx.....	43
Tabel 16 Alternatiiv 5b algandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx	44
Tabel 17 Alternatiiv 5b – lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx.....	45
Tabel 18 Alternatiiv 6a algandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx	46

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Tabel 19 Alternatiiv 6a lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx.....	47
Tabel 20 Alternatiiv 6b algandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx.....	48
Tabel 21 Alternatiiv 6b lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx.....	49
Tabel 22 Arvutatud variantide lõhketööde parameetrid, Vordlus_2.xlsx.....	51
Tabel 23 Alternatiivide üldhinnang, Vordlus_2.xlsx.....	52
Tabel 24 Rootsi standardite SS 460 48 66 ja SS 02 52 10 alusel kalkuleeritud väärtused lähtudes hoonete kaugusest, [16]	55

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Tallinna Tehnikaülikool

Geoloogia instituut

Lõputöö ülesanne

Töö ID	LG70LT	Õppekava	AGM 02/09
Üliõpilane	Gaia Grossfeldt	Matrikli nr.	144371AAGM
Töö liik	Magistritöö	Õppeaine kood	LG70LT
Juhendaja	Tõnu Tomberg	Ülesanne kehtib kuni	

Töö ülesanne Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes

Topic of the Thesis Elaboration of optimal parameters for limestone blasting in conditions of Gotland island

Töö sisu põhipunktid

1. Klinthageni lubjakivikarjääri geoloogilised, hüdrogeoloogilise ja mäenduslikud tingimused
2. Lubjakivi kaevandamise tehnoloogia
3. Puur- lõhketööd Klinthageni karjääris
4. Käesoleval ajal kasutatav puur- lõhketööde tehnoloogia
5. Puur-lõhketööde alternatiivsete meetodite väljatöötamine
6. Puur- lõhketööde variantide võrdlev analüüs
7. Järeldused analüüsist
8. Keskkonnakaitse ja ohutusküsimused
9. Kokkuvõte

Seotud teadusteema ja/või sihtasutus

Tähtajad

Eelkaitsmine

Kaitsmine

Üliõpilane

Juhendaja

Konsultant

nimi

allkiri

kuupäev

Ülesanne kinnitatud

Ülesanne täpsustatud

Ülesanne pikendatud

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Annotatsioon

Nordkalk AB kaevandab Rootsis Gotlandi saarel Klinthageni karjääris lubjakivi, kuid hetkel olemasolevad ressursid on ammendumas lähima kümne aasta jooksul. Sellest tulenevalt on ettevõttel soov liikuda karjääri lõunapoolses osas plokki, mida antud töös ka käsitletakse. Ploki piiranguteks on elamute kaugus, mis jäävad 150 -200 meetri kaugusele vaadeldavast alast.

Töö eesmärgiks on välja töötada lõhketööde optimaalsed parameetrid, pakkudes selleks välja võimalikud alternatiivid olemasolevale meetodile. Arvutuste käigus leitakse 8 erinevat alternatiivi, millest on lõplikult valitud välja üks, mis arvutuste ja hinnangute alusel on kõige reaalsem rakendamaks karjääris. Kuna arvutuskäigud on teoreetilised tuleb teostada alternatiivi kontrollimine ning kalibreerimine katsetööde käigus.

Lisaaspektidena käsitletakse töös ohutustegureid, millega oleks võimalik suurendada ohutuse tagamine lõhketööde teostamise käigus – plastikkottide ning kaitsemattide kasutuselevõtt. Jätkata tuleks ettevõttel ka pideva monitooringuga lähedalasuvates elamutes.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Abstract

Nordkalk AB is extracting limestone in the Klinthagen quarry in Gotland, Sweden. The existing reserves will be exhausted within one decade, pending additional permitting. As a result, the company is looking possibilities to expand to the block in the southern part of the quarry. The area has in close range residential houses - 150 to 200 meters.

The aim of the work is to develop optimal parameters for blasting, providing possible alternatives to the existing method that has been in use for many years in different parts of the quarry. There are 8 different alternatives calculated, from where one is proposed to be used in the selected area. Since the calculations are theoretical, it is necessary to check the alternatives and calibrate during fieldworks.

Additional aspects of the work include safety factors that can enhance safety during blasting - the introduction of plastic bags and protective mats. The company should also continue to monitor residential buildings.

Sissejuhatus

Puur-lõhketööd on valdavaks kivimite raimamise tehnoloogiaks modernses mäenduses. Tänapäeval ei kasutata puur-lõhketöid vaid väga pehmete kivimite väljamisel (liiv, kruus, savi jms) või kui selleks esinevad piirangud. Lõhketööd mõjutavad ümbritsevat piirkonda peamiselt vibratsiooni ja õhulööklaine kaudu. Nendel lainetel on peamiselt kaks võimalikku tagajärge, mida tavapäraselt käsitletakse. Ühelt poolt on oht kahjustada ümberkaudseid hooneid, teiselt poolt häirib vibratsioon kohalikke elanikke.

Selleks, et ettevõtte saaks edukalt tegutseda tuleb leida tasakaal kohalike elanike, piirangute ning vajaliku tootlikkuse vahel.

Soomes on lubjatootmine pikaajalise taustaga, mis sai ametlikult alguse 1898 aastal, kui asutati Pargas Kalks Aktiebolag. 1980. aastate algul liideti ettevõttega Põhjamaade suurim lubjakivimaardla Storugns Rootsisis Ojamaa saarel. 1995 algas laienemine Balti riikidesse, Eestis osteti Vasalemma lubjakivikarjäär ja Kurevere dolomiidikarjäär ning 1998 võeti üle Eesti juhtiv põletatud lubja tootja Rakke Lubjatehase AS, mida tänasel päeval varustab toormega ettevõtte omanduses olev Karinu lubjakivikarjäär [1], [2]. Aastal 2003 sai ettevõtte omanikuks NK-Holding Oy Ab, 2004 sai ettevõtte nimeks Nordkalk Corporation. Aastast 2010 on ettevõtte omanik Rettig Group Ltd. [3]

Nüüdseks kuulub Nordkalk Korporatsiooni alla üle 20 üksuse Läänemere ümbruses ja Kesk-Euroopas. Ettevõtte on juhtiv lubjakivitoodete ja lahenduste pakkuja Põhja-Euroopas. Vajalikku toorainet tarnitakse näiteks tselluloosi-, paberi-, metalli-, energeetika- ja keemiatööstusele, ehitussektorisse ning põllumajandusse. [1]

Nordkalk Korporatsiooni alla kuuluv ettevõtte Nordkalk AB asub Rootsisis, Gotlandi saarel Storugnsis, kus asub lisaks Klinthageni lubjakivikarjäärile veel sadam ja lubjatehas koos töötlemiskompleksiga.

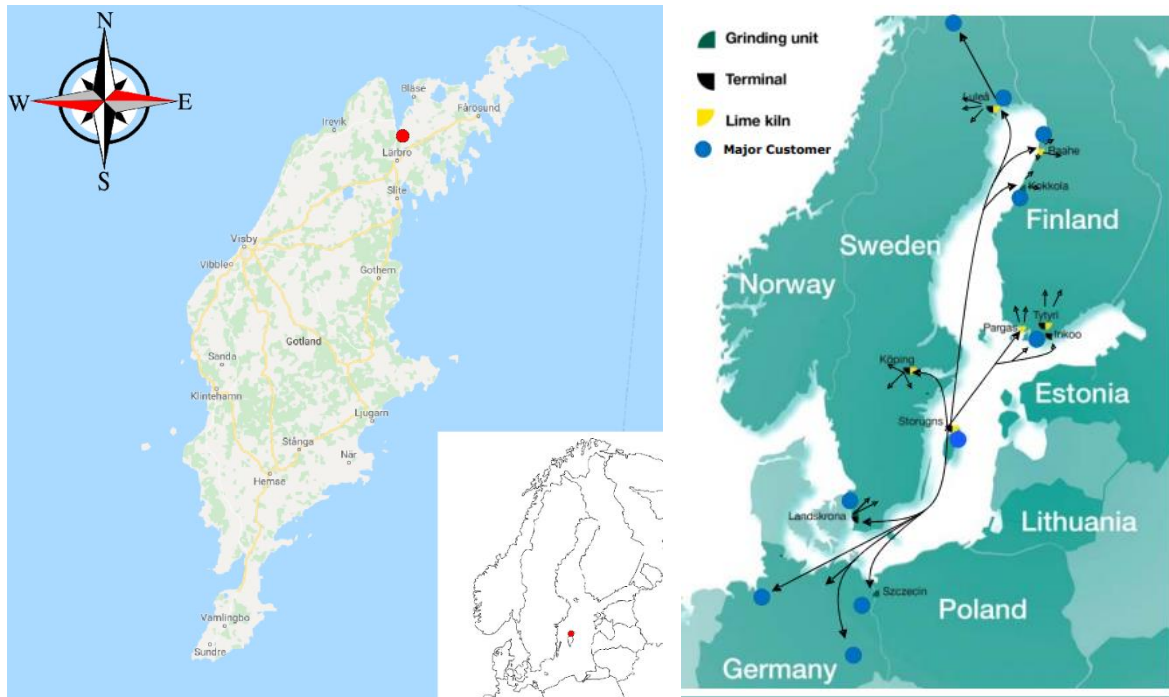
Nordkalk AB Klinthageni karjääri varud ammenduvad lähima 3 aasta jooksul. Ettevõtte otsib karjääri ümbruses võimalusi laienemiseks ning üheks võimaluseks on laiendada karjääri lõunaosas asuvasse plokki. Laienemine on problemaatiline antud ploki puhul, kuna lähimad elamud asuvad ploki piirist 150-200 meetri kaugusel. Selleks, et tagada kvaliteetne tooraine tööstusele ning vastav tooraine lubjaahjudele on vajalik välja töötada meetod, millega oleks tagatud elanike ohutus ning oleks välistatud võimalus elamute kahjustustele. Selleks, et leida parim võimalik lahendus on otstarbekas välja töötada puur-lõhketööde optimaalsed parameetrid, millele tuleb teostada kontroll ja kalibreerimine läbi katsetööde.

Teema on aktuaalne Nordkalkile ning toob kasu Eesti lõhketööde praktikale, kuna suhteliselt sarnaste mäenduslike ja geoloogiliste tingimuste tõttu on Rootsi praktikat karbonaatsetes kivimites võimalik rakendada ka Eestis ja vastupidi.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

1 Üldinfo Storugns, Gotland

Nordkalk AB kaevandab ja töötleb Gotlandi saare põhjaosas Storugnsis Klinthageni karjääris lubjakivi (Joonis 1). Tegemist on Skandinaavia suurima lubjakivikarjääriga ning kaevandamisega alustati karjääris aastal 1960. Territooriumil asub lisaks karjääri sadam, lubjaahjud ning purustus- ja sõelumiskompleks (Joonis 2). Põhiliseks toodanguks on lubjakivikillustik, lubjakivipulber ning kustutamata lubi. [1]



Joonis 1 Vasakul pool Nordkalk AB Storugnsi tehase ja Klinthageni karjääri asukoht Gotlandi saarel ning paremal saarelt transporditava materjali marsruudid

Karjäär paikneb territoriaalselt soodsas kohas, Läänemere ääres ning on varustatud sadamaga, mida ettevõtte kasutab toorme ja toodangu eksportimiseks Saksamaale, Poola, Rootsi mandrile ning Soome (Joonis 1, Joonis 2) [7]. Materjali kasutavad nii suuremad tarbijad, kui ka ettevõtte teised tehased erinevates riikides .

Karjääri territoorium on 140 hektarit (Joonis 3, Joonis 7) ning praeguseks ajahetkeks on orienteeruvalt 80% kogu kaevandamismahust ammendunud, mistõttu otsib ettevõtte uusi võimalusi karjääri laienemiseks. Ettevõtte on välja valinud potentsiaalsed alad karjääri laienemiseks, arvestades lubjakivi keemilist kvaliteeti, millest ühte ala käsitletakse antud töös (Joonis 3, Joonis 7).

Lubjakivi kaevandamismaht karjääris on orienteeruvalt 1,5-2 miljonit tonni (580-770 tuh m³) aastas ning sõltub otseselt nõudlusest, kuid tipphetkedel on ulatunud kuni 3,6 Mt/a (2006 a) [4].

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Umbkaudu 1/10 kaevandatud lubjakivi mahust toodetakse kohapeal šahtahjus kustutamata lupja, millest 50% läheb metallitööstusesse.



Joonis 2 Storugnsi tehas koos Klinthageni karjääriga, vaade läänest kagusse [1]

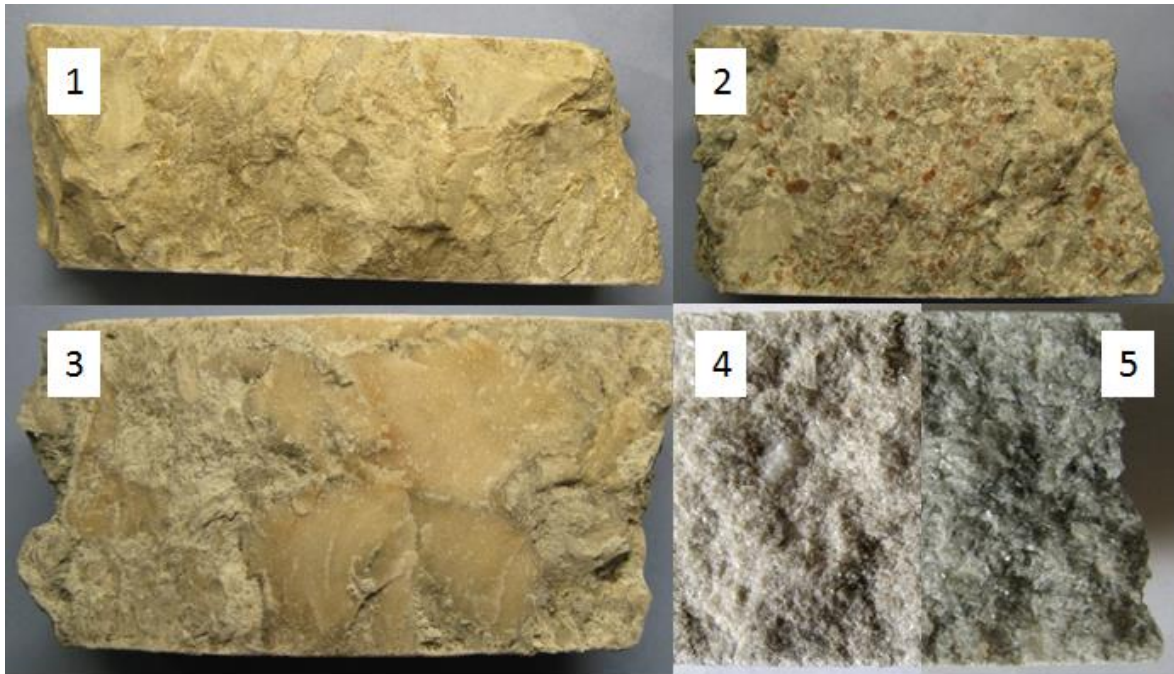


Joonis 3 Vaade karjäärile lõunast-põhja (Autor Gunnar Britze), punasega on näidatud vaadeldav ala

2 Geoloogilised ja hüdrogeoloogilised tingimused

2.1 Geoloogia

Aluspõhjakiivid Storugnsi piirkonnas ja Gotlandil terviklikult koosnevad Siluri 430 mln aasta vanustest settekivimitest. Storugnsi lubjakivid kuuluvad täpsemalt Slite alamgruppi, mis on saarel suurema levikuga lubjakivi. Gotlandi pinnavormid ja pinnakate on seotud Kvaternaari ajastu jää kulutava tegevuse ja pärast- jääaegse merevee taseme muutustega. Need tegevused on korrigeerinud ala topograafiat lamedate põllumaadega, kus lasuvad savikad settekivimid ja mõnevõrra kõrgemate metsastunud piirkondadega, kus esineb enam ilmastikule vastupidavamat lubjakivi. [5], [6]



Joonis 4 Gotlandi erinevad lubjakivid – 1- rifilubjakivi, 2 - krinoidlubjakivi, 3 - stromatopoorlubjakivi, 4 - fragmenteeritud lubjakivi ja 5 – mergel [5]

Eristatakse vastavalt settimistingimustele viite liiki lubjakivi: rifilubjakivi, krinoidlubjakivi, stromatopoorlubjakivi, mergel ja fragmenteeritud lubjakivi (Joonis 4) [5]:

- 1) Stromatopoorlubjakivi iseloomustab 5-20 cm suurused stromatopoorseid läätsed, mida leidub kristallilise keskmise teraselise koostisega krinoidlubjakivis. Stromatopooride läätsede sagedus varieerub ja kohati on see lubjakivi peamine koostisosa. Stromatopoorid ise on väga tihedad, krüptokristallilised kehad, mis sisaldavad 100 % kaltsiiti.
- 2) Krinoidlubjakivi on tavapäraselt peene- kuni keskmiseteraline, ühtlane ja homogeenne. Sageli on kivim rekristalliseerunud, mistõttu ei ole tavapäraselt kivimis säilinud fossiile.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

- 3) Rifilubjakivi on ainus sedasorti lubjakivi Gotlandil, millel puudub igasugune kihilisus. Rifi formatsioonid on tavapäraselt massiivsed, läätse tüüpi kehad, moodustades orienteeruvalt 200 meetri pikkuseid ja 70 meetri laiuseid moodustisi, paksusega umbes 10-20 meetrit. Siluri ajastu rifilubjakivi põhiosa moodustavad stromatopoorid, aga ka erinevat sorti korallid.
- 4) fragmenteeritud lubjakivi tekkis, kui erosiooni tagajärjel kuhjati materjal kokku. Fragmenteeritud lubjakivi sisaldab kergelt tsementeerunud fossiilide fragmente.
- 5) Mergel on väga savikas, tume ning peeneteraline lubjakivi. [5]

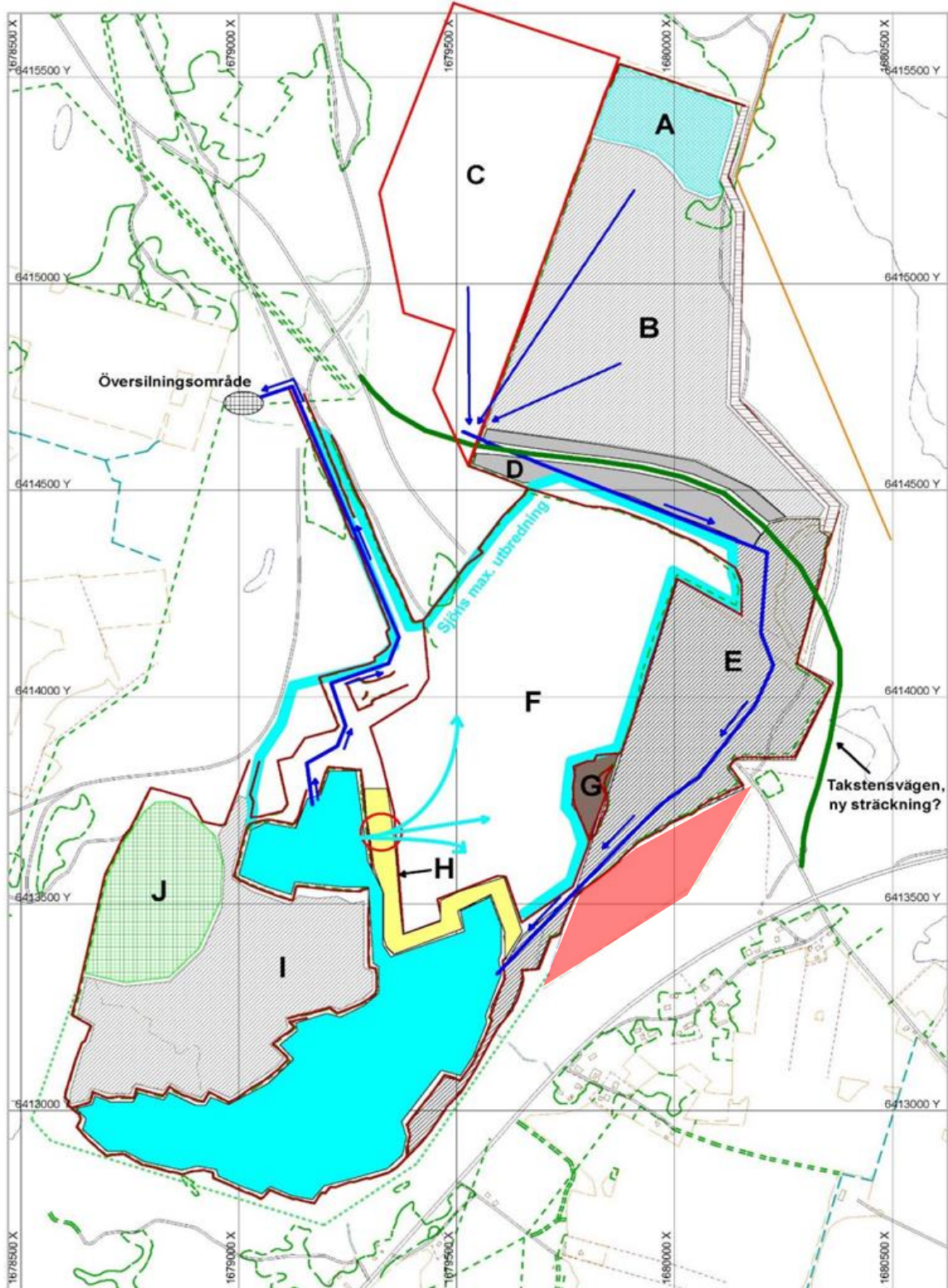
Kõiki viite liiki lubjakivi esineb karjääri lõikes. Lubjakivi kihid lasuvad peaaegu horisontaalselt, olles siiski 0,15-0,3° kaldu kagu suunas. Erinevaid lubjakivikihte eraldavad savikad vahekihid, tänu millele puruneb lubjakivi mööda nimetatud kihte kergesti. [5]

2.2 Hüdrogeoloogia

Kogu vesi karjääri territooriumilt kogutakse kokku karjääri lõunaosas asuvasse tehisejärvedesse. Järved on tekkinud kaevandamise käigus ning nüüdseks kasutatakse neid karjäärivee koguritena (Joonis 3). Lisaks täidavad järved ka settebasseini funktsiooni, milles setitatakse kaevandamistöõde ning toorme töötlemise käigus tekkinud heljum enne vee edasi pumpamist oja, kust vesi liigub edasi merre. Karjäärile väljastatud keskkonnavala alusel on karjäärivee pumpamiseks sätestatud mahuline piirang 200 l/s. Piirangu sätestamise põhjuseks on allavoolu jääva oja kaitsmine erosiooni tekkimise eest. [8]

Karjääri alale on kujunenud kaks järve, lõunapoolsem (edaspidi suur järv) mahutavusega 2,5 M m³ ning sellest põhjapoolsem järv (edaspidi väiksem järv) mahutavusega 740 000 m³. Karjäärivee kogutakse kokku ning suunatakse karjääri põhjaosast ning madalamatest aladest mööda veekraave suuremasse järve. Veerikkal ajaperioodil suunatakse suurema järve täitumisel osa veest ülevoolselt väiksemasse järve, kust omakorda toimub vee edasine pumpamine läbi märgala oja ning mööda oja merre (Joonis 5). [8]

Karjääris kogutav ja pumbatav vesi on suures osas sademetest sõltuv ning seetõttu on kokku lepitud keskkonnavalas, et pumpamise puhul ei jälgita mitte aastaseid veekoguseid vaid hoitakse suurema järve vee tase kindlates piirides. [8]



Joonis 5 Karjäri plaan veearastussüsteemiga. Ala F täitub veega korrastamisplaanide alusel, [8]

Karjärist väljapumbatava vee koguseid mõõdetakse automaatselt, sellele lisaks mõõdetakse ka vee koguseid ojas, kuhu karjäärivesi suunatakse. Kord kuus on ettevõttel kohustus kontrollida saasteainete koguseid väljapumbatavas karjäärivees, mis ei tohi ületada lubatud nõudeid (Tabel 1).

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Tabel 1 Lubatud saasteainete kogused karjäärivees [8], Kvaliteet_1.xlsx

Saasteaine nimetus	Lubatud suurim sisaldus, mg/l
Heljum	<10
Kloriid (Cl-)	<10
Üld lämmastik (N-üld)	<1
Sulfaat (SO4-)	150-180

Põhjavee taseme kontrolli teostab ettevõtte kümnel krundil karjääri ümbruses. Enamus kaeve, milles veetaseme mõõtmine teostatakse asub karjäärist lõunas. Lähim elamu on 300 meetri kaugusel karjäärist, ülejäänud kaugemal. Mõõtmisi teostatakse alates 2016 aastast *diveritega* (seade, mis on paigutatud kaevu statsionaarselt ning kogub automaatselt infot rõhutasete muutusest kaevus), enne seda mõõdeti veetasemeid paar korda aastas käsitsi.

Kaevude veekvaliteeti kontrollitakse paar korda aastas ning võrreldakse tulemusi 2016 aasta algul tehtud joogivee kvaliteedinõuetele. [8]

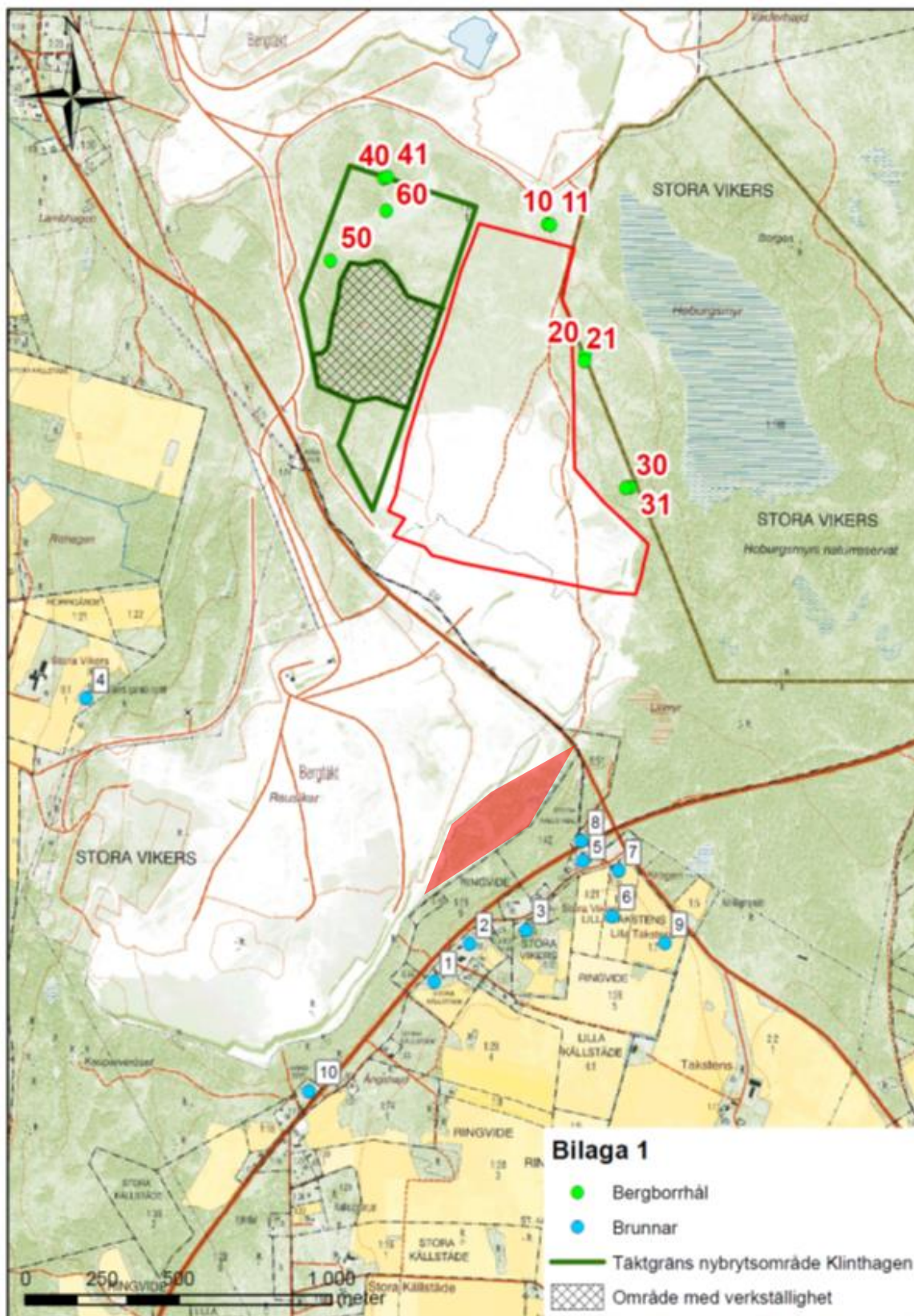
Ettevaatusabinõuna monitooritakse lisaks joogivee kaevudele ka karjääri ümbruses asuvaid puurkaeve. Puurkaevude jälgimise eesmärk on tagada karjäärist idas asuva soo kaitstus. Nimetatud soo asub kaitsealal ning ettevõtte ei tohi sood kahjustada (Joonis 6). [8]

Lisaks eelnevalt kirjeldatud põhjavee monitoorimisele teostab ettevõtte ka pinnavee kontrolli karjäärist idas asuval kaitsealal. Jälgitakse veetaseme muutusi erinevatel aastaegadel, et oleks võimalik tuvastada ebaharilikud veetasemete kõikumised soos. Jälgitakse soost väljaliikuvat vee kogust, sademetest juurde tulevat vee kogust ning vee temperatuuri. Monitoorimise käigus on täheldatud, et talvisel ajal, kui temperatuurid on madalad ja sademete kogused suured, liigub suurem kogus vett märgalalt välja. Kui mõõtmistulemuste alusel on tuvastatav suurematsorti tasakaalu paigast nihkumine, on vajalik tellida ekspertiis tuvastamiseks probleemi põhjus. [8]

Karjääri läheduses asuvast kaitsealast asub 5 km kaugusel teine sarnane suur märgala, mida samuti monitooritakse. Kahe ala samaaegsel monitoorimisele on võimalik kaugemat märgala kasutada referentsina võrdlemaks kahe ala veetasemete muutusi erinevatel aastaegadel. Tänu sedasorti mõõtmistele on ettevõttel head referentsid hindamiseks, kuidas karjäär mõjutab kaitsealal asuvat sood. [8]

Karjääri lõplikul ammendumisel on korrastamisplaanide alusel alale ette nähtud veekogu (Joonis 5), mis ühendab kaks olemasolevat järve ning lisaks laieneb karjääri madalamale alale. Korrastamise järgselt on ettevõttel kohustus kogu karjääri jätkuvalt monitoorida, sealhulgas teostada 2 aasta jooksul ka kalade kudemiskohtade seiret. [8]

Ettevõttel käivad läbirääkimised ka kohaliku omavalitsusega, kes soovib, et osa karjääri veest oleks võimalik kasutada Gotlandi põhjaosa puhta vee reservuaarina. [8]



Joonis 6 Põhjavee tasemete kontroll, sinisega on näidatud joogivee kaevud ning rohelisega puurkaevud [8]

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

3 Maavara kvaliteet

Kvaliteedilt on Storugnsi lubjakivi väga heade näitajatega ning sobib suurepäraselt lubja tootmiseks. Kvaliteedinäitajate poolest on kivil kõrge karbonaatne osakaal (>96%), madal väävlisisaldus (<0,07%), madal ränidioksiidi sisaldus (<1,5%), lisaks on madalad ka K, Al, Fe ja Na sisaldused (Tabel 2). Raskemetallide sisaldus on samuti madal.

Tabel 2 Gotlandi lubjakivi keemilised näitajad [5], % Kvaliteet_1.xlsx

	CaCO ₃	SiO ₂	S	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	TS
Stromatopoorlubjakivi	97,3	1,30	0,02	1,2	0,91	0,39	0,29	0,04	0,015	0,008	0,07	5,6
Krinoidlubjakivi	97,4	0,90	0,05	1,2	0,58	0,25	0,18	0,03	0,014	0,010	0,04	9,0
Rifi lubjakivi	96,6	1,50	0,05	0,9	0,83	0,32	0,27	0,04	0,035	0,022	0,04	4,5
Fragmenteeritud lubjakivi	98,1	0,63	0,05	0,4	0,71	0,23	0,04	0,02	0,020	0,010	0,01	23,6
Mergel	86,6	7,56	0,39	1,9	2,18	2,04	0,69	0,06	0,032	0,013	0,14	

Lubja tootmiseks on lisaks kivi keemilisele sisaldusele oluline ka termiline murenemine (thermal decrepitation- TS, %), mis iseloomustab mineraalide pragunemist kuumuse mõjul [9]. Mida madalam on murenemine protsentuaalselt, seda parema kvaliteediga on toodang. Lubjatootmisel peaks olema termiline murenemine alla 14% (Tabel 2, Tabel 3).

Gotlandi lubjakivil on head põlemisomadused, kivi ei lagune põlemise ajal. Mehaaniline survetugevus on kivil keskmiselt 105 MPa. Mehaaniline käsitlemine, purustamine ja sõelumine ei tekita liiga palju peenosist. [5]

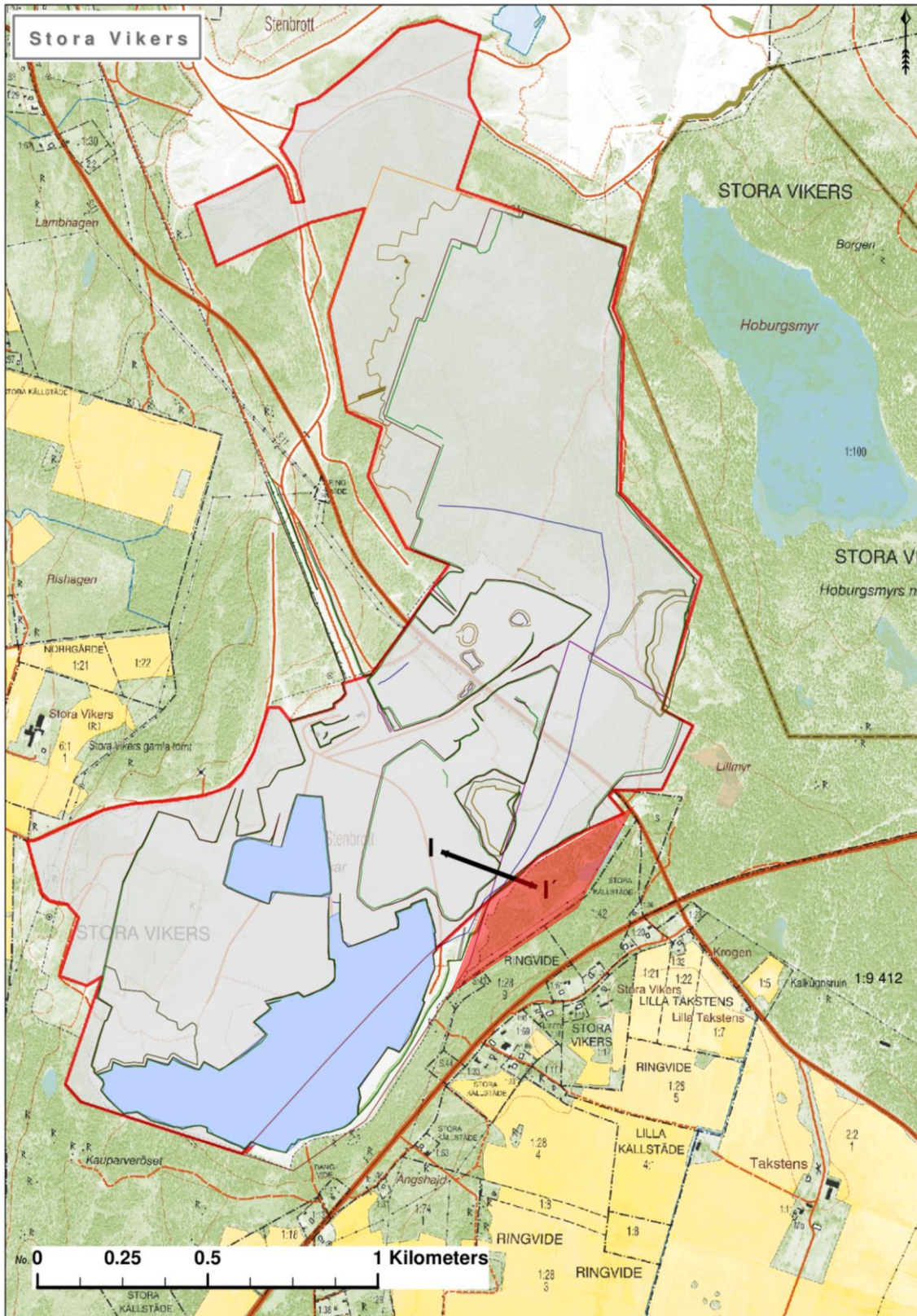
Eestis kasutatakse lubja tootmiseks Rakke tehases tooret Karinu lubjakivikarjäärist. Karinu karjääri materjal on oma omadustelt klassifitseeritud tehnoloogiliseks lubjakiviks, kuid kivi ei ole ühtlase kvaliteediga, varieerudes kohati kvaliteedilt lubjapõletuseks sobilike piirtingimuste piirmail (Tabel 3) ning seetõttu on Karinu toormest lubja tootmine korduvalt keerulisem, kui Gotlandil.

Tabel 3 Karinu ja Gotlandi lubjakivide keemiliste näitajate võrdlus. Punasega on märgitud sobilikud piirväärtused lubjatootmiseks [5], Kvaliteet_1.xlsx

	Täiskeemiline analüüs (silikaatanalüüs)					Termiline murenemine
	CaO%	MgO%	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	TS, %
	≥ 51,55	≤ 2,38	Σ ≤ 5 %			<14 %
Karinu tehnoloogiline lubjakivi	53-50	0,7-2,5	<2,17			7-15
Gotland - Stromatopoorlubjakivi	54,3	1,2	2,60			5,6
Gotland - Rifi lubjakivi	53,7	0,9	2,65			4,5

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

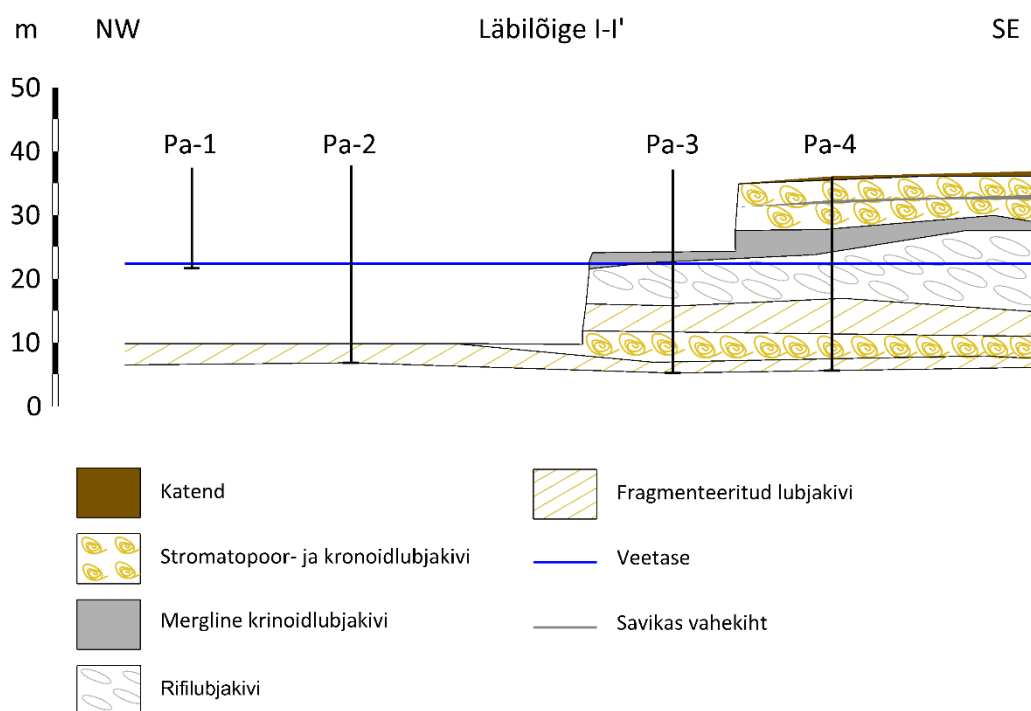
Antud töös on käsitletavaks alaks karjääri lõunaosas asuv läätsküjuline plokk (Joonis 7). Ploki orienteeruvad mõõtmed on 600 x 105 meetrit, astangu kõrguseks on võetud 11 meetrit, mis teeb ploki mahuks 692 t m³ ehk 1,8 Mt kasulikku kaevist.



Joonis 7 Klinthageni karjääri vaadeldava ala plaan, [5]

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Vaadeldaval alal lasuvad lubjakivikihid peaaegu horisontaalselt (Joonis 8). Maardla üldine geoloogia ei muutu karjääri eri piirkondades, kuid jälgitakse kivi keemilist muutust (Tabel 4, Joonis 9), tänu millele segatakse erineva piirkonna kivi, et saavutada ühtlane tooraine kvaliteet ning oleks võimalik ära kasutada ka madalama kvaliteediga materjal (Joonis 9). Veetase on keskmiselt absoluutkõrgusel +23 m, kõikudes sõltuvalt aastaajast 1-2 m. [5], [10]

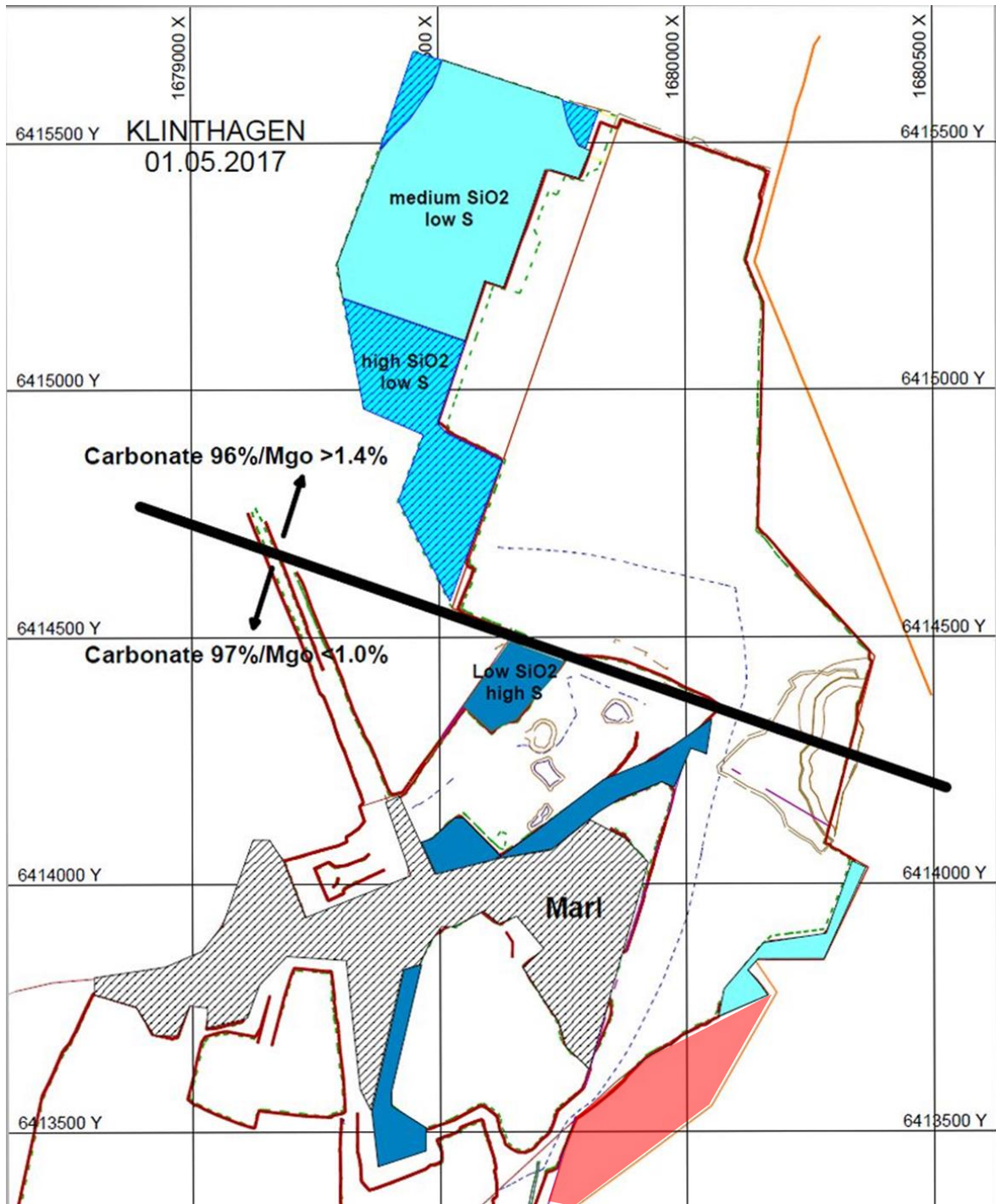


Joonis 8 Klinthageni karjääri vaadeldava ala geoloogiline läbilõige

Tabel 4 Maavara keemiline varieeruvus, [10] Kvaliteet_1.xlsx

Klass, maht ja segamise suhe	Kvaliteet
Keskmine SiO ₂ / madal S 2,89 Mt 50%	CaCO ₃ = 96.4 +/- 0.6 SiO ₂ = 1.70 +/- 0.37 MgO = 1.40 +/- 0.21 S = 0.02 +/- 0.02
Kõrge SiO ₂ / madal S 1,89 Mt 25%	CaCO ₃ = 94.9 +/- 2.0 SiO ₂ = 2.53 +/- 1.1 MgO = 1.49 +/- 0.25 S = 0.06 +/- 0.06
Madal SiO ₂ / kõrge S 1,68 Mt 25%	CaCO ₃ = 97.3 +/- 0.6 SiO ₂ = 1.18 +/- 0.34 MgO = 0.69 +/- 0.14 S = 0.15 +/- 0.03

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 9 Lubjakivi keemilise koostise muutumine karjääris, [10]

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

4 Mäenduslikud tingimused ja kaevandamistehnoloogia

Karjääri mäenduslikud tingimused on head. Maavara on oma kvaliteedilt ühtlane ning homogeenne. Lõhesid ei esine. Kasulik kiht on osaliselt kaetud kvaternaarisetetega, mille moodustab moreen ja muld. Enne kaevandamise alustamist tuleb vajadusel teostada metsa raadamine ja kändude juurimine ning seejärel saab alustada paljandustöödega. Katendipaksus on väike, sõltuvalt asukohast kuni 0,5 meetrit. Kattepinnase eemaldamisel tuleb kaevealalt materjal kokku lükata ning puistangus ladustada, mida hilisemalt on võimalik karjääri sulgemisel kasutada korrastamistöde käigus.

Maardla asub soodsas asukohas vahetult sadama läheduses, ligipääs karjäärile on hea. Toorme transport karjäärist purustus- ja sõelumiskompleksi toimub mööda sisetead, tänu millele ei teki vajadust transpordimüra vähendamiseks. Karjääritehnika liigub karjääris mööda lubjakivist põhja, lisateede ehitamiseks otsest vajadust ei ole.

Kuna tegemist on homogeense lubjakiviga püsib kivim looduslikult sisuliselt vertikaalse seinana. Turvalisuse huvides on karjääris kasutusel nõlva kaldenurgana 74 kraadne astang, mis minimeerib ripikute tekkimisvõimalust.

Rootsis ei piiritleta mäeeraldist sügavuti, mistõttu on võimalik väljata kogu kvaliteedilt sobiv maavara kiht, vastavalt kokkulepetele keskkonnaloale.

Geoloogiliselt on maavara väljamisel raskendavaks teguriks kahe lubjakivi vahel asuv savikas vahekiht (Joonis 8), mille sattumist toodangusse üritatakse minimeerida.

Juba väljatöötatud ala põhja absoluutkõrgused jäävad vahemikku +10 kuni +13 m.

Pärast paljandustöid puuritakse paljandatud lubjakivi astangule lõhkeaukude võrk ja kivim kobestatakse lõhketöödega. Lõhketöid tellib ettevõtte lepingu alusel litsentseeritud lõhketööde tegijalt. Kaevandamine toimub üldjuhul ühe astanguga, kuni kasuliku kihi põhjani. Ülegabariitne materjal kogutakse kokku ning kord nädalas hoogtöö käigus kasutatakse abimehhanismina hüdrovasarat kivimitükkide purustamiseks. Lõhketöid teostatakse vastavalt vajadusele orienteeruvalt kord kahe nädala tagant, tööpäeviti ajavahemikul 10-15.00.

Lõhatud kaevis laaditakse pöördkoppekskavaatoritega kalluritele (Joonis 10), millega transporditakse materjal purustus-sorteerimissõlme (Joonis 11), kus toimub kaevis purustamine ja jaotamine vastavalt tükisuurustele ning edasine materjali transport läbi sadama kliidini.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 10 Lõhatud kaevise laadimine pöördkoppekskavaatoriga



Joonis 11 Karjääri purustus- ja sorteerimiskompleks

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

5 Puur-lõhketööd

Puur- ja lõhketööde kvaliteedist sõltub kogu edasise tootmisprotsessi toimimine. Kvaliteedivead suurendavad oluliselt aja- ja teiste ressursside kulu edasistes tööprotsessides ning suurendavad seega kulutusi kaubastava materjali tootmiseks. Seetõttu on väga oluline lõhketööde korrektne projekteerimine ning läbiviimine.

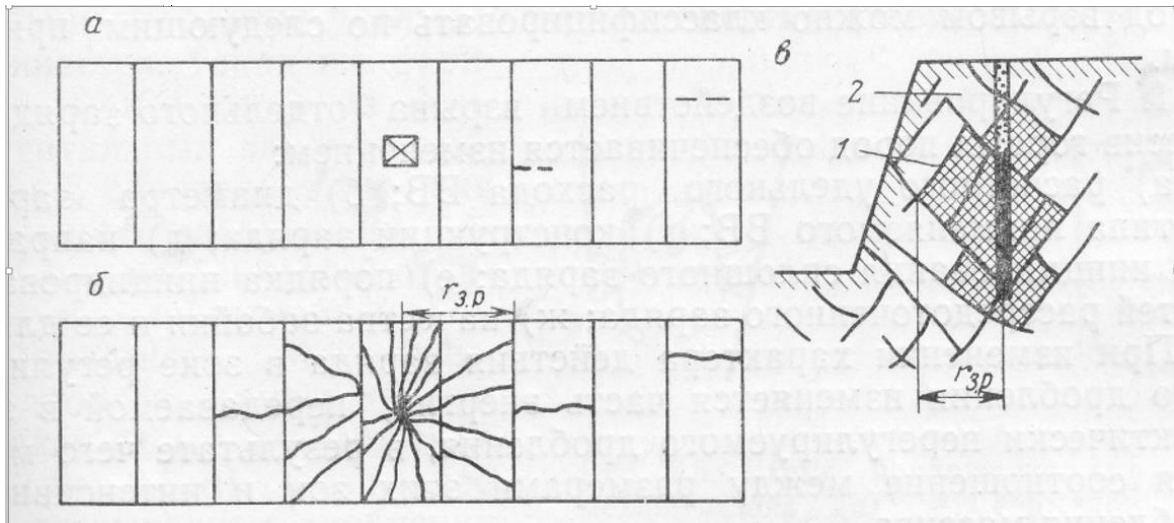
Lõhketööde kvaliteedi langust võivad põhjustada valesti valitud parameetrid. Kvaliteedi langus avaldub järgmiselt:

- ülemõõduliste kivimitükkide suur osakaal;
- lõhatud kivimi paiskumine astangu ülemisele servale;
- astangu põhja ebatasasus;
- astangu ülemise serva riipe;
- lõhendid kivimimassiivis viimase laengurea taga;
- lõhatud kivimilasu suur laius. [11]

Selleks, et kvaliteedivigu vältida on võimalik korrigeerida järgnevaid aspekte:

- lõhkeaine erikulu;
- lõhkeaugu läbimõõt;
- erineva lõhkeaine kasutamine;
- laengu ehitus (näiteks hajulaengud);
- laengu initsieerimissuund;
- muuta üksiku hajulaengu osade initsieerimisskeemi;
- topise pikkus;
- lõhkeaukude paigutus;
- viidete kestus jms. [11]

Kihilistes ja lõhelistes kivimimassiivides võib eristada kahte purustustsooni – juhitud ja mittejuhitav (Joonis 12). Juhitavas purustustsoonis on võimalik laengukonstruksiooni muutes muuta ka puur-lõhketööde kvaliteeti, mittejuhitavat purustustsooni on võimalik korrigeerida viiteskeemide ja viitepaigutuse alusel. Juhitud purustustsoon asub laengu vahetus läheduses ning jääb tavaliselt 1-2 lõhe (vertikaalsed) kaugusele lõhkeaugust. [11]



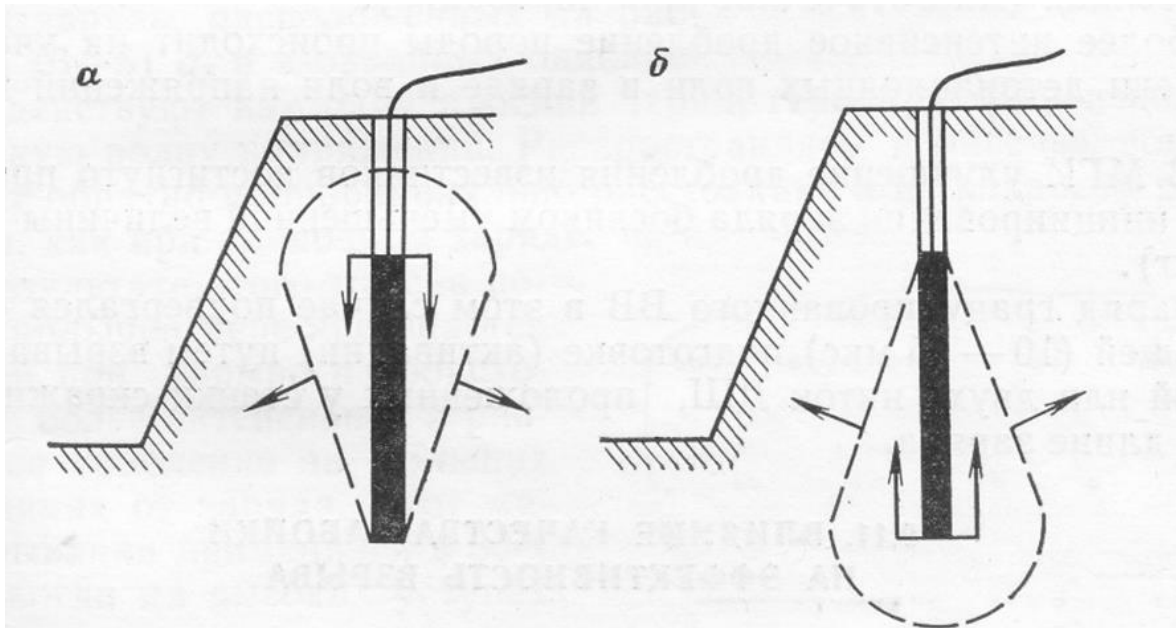
Joonis 12 Lõhelise massiivi lõhkamisel on selgelt eraldatavad kaks iseloomulikku purustustsooni:
1. Juhitav purustustsoon 2. Juhitamatu purustustsoon, [13]

Kivimimassiivi purustamise tõhusust on võimalik suurendada ka täiendavate vabade pindade tekitamisega, mis nõrgestavad kivimimassiivi. Täiendavad vabad pinnad tekivad ka mitmerealisel lühiviitlõhkamisel. Lühiviitlõhkamisel põrkuvad omavahel kokku eri aegadel lõhatud laengutega paisatud kivimitükid. Lühiviitlõhkamisel suureneb ka pingelõhke kestus lõhatavas massiivis, mis omakorda soodustab kivimi purustamist ja vähendab plahvatuse seismilist efekti, sest üheaegselt plahvatab väiksem kogus lõhkeainet. [11], [12], [13]

Mitmerealise lühiviitlõhkamise korral kasvab ridade arvu suurenemisega kivimi purunemise intensiivsus ja ka kõigi tööprotsesside jõudlus. Tagatud on kivimi tõhusama purustamise jääkpinged, mis soodustab pingelaine levikut massiivis ning plahvatusel tekkinud kivimitükkide kineetilise energia maksimaalset kasutamist kokkupõrgeteks ja purustamiseks. Mitmerealise lühiviitlõhkamise puudusteks on süütevõrgu mõnevõrra keerukam montaaž ning tõrgete võimalus kui puuraugud on üksteisele liiga lähedal ja viitesamm on liiga väike. [11]

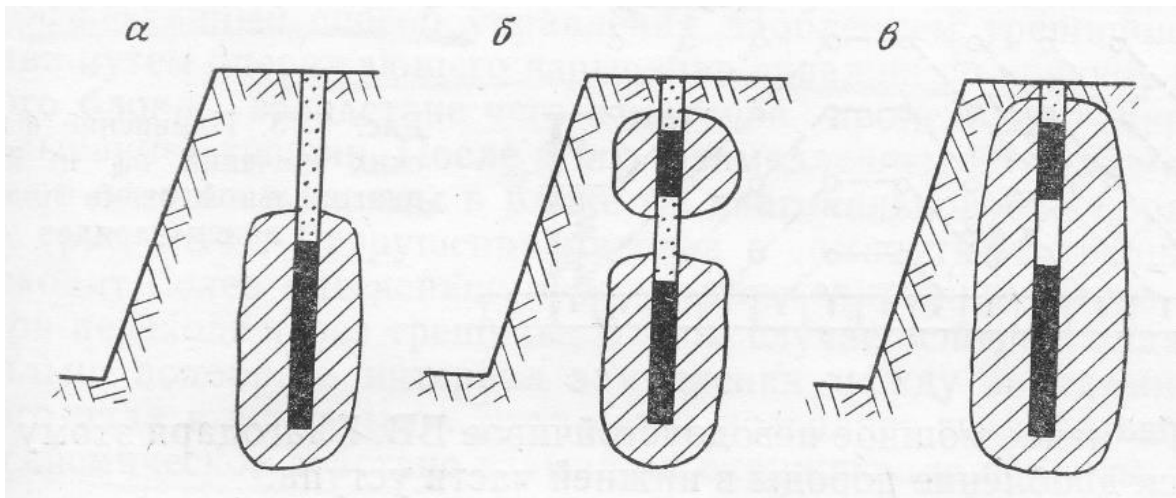
Kivimimassiivi pingeseisund sõltub initsieerimissuunast, sõltuvalt, kas initsieerimine toimub massiivis lõhkeaugu suudme või põhja poolt (Joonis 13).

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 13 Kivimimassiivis tekkivate pingete jaotuse sõltuvus initsieerimissuunast, [14]

Laengu ehituse puhul on võimalik kasutada hajutamata laengut, topisega hajutatud laengut ning õhuvahedega hajutatud laengut (Joonis 14).



Joonis 14 Juhitava purustustsooni kju erinevate laengukonstruktsioonide juures a- pidevlaeng e hajutamata laeng, b-vahetopisega hajutatud laeng, B- õhuvahedega hajulaeng, [14]

Lõhketööde parameetrite arvutuse aluseks on lõhkeaine erikulu ja plahvatusel moodustunud purustusala mahu määramine.

Lõhkeaine erikulu (q) on kivimite ja pinnase lõhkamisel antud kivimi ruumalaühiku normaalseks purustamiseks tarvilik lõhkeainekogus. Lõhkeaine erikulu sõltub kasutatavast lõhkeainest, lõhatava kivimi omadustest, lõhkamisviisist ja lõhketööde eesmärgist. [11]

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Plahvatuselise purustusala maht (V) sõltub lõhketööde meetodist, lõhkeaine erikulust, laengu suuruselt ning vähima vastupanujoone pikkusest. [11]

Lõhketööde arvutuslikke parameetreid tuleb täpsustada katselõhkamisega.

5.1 Puur-lõhketööd Klinthageni karjääris

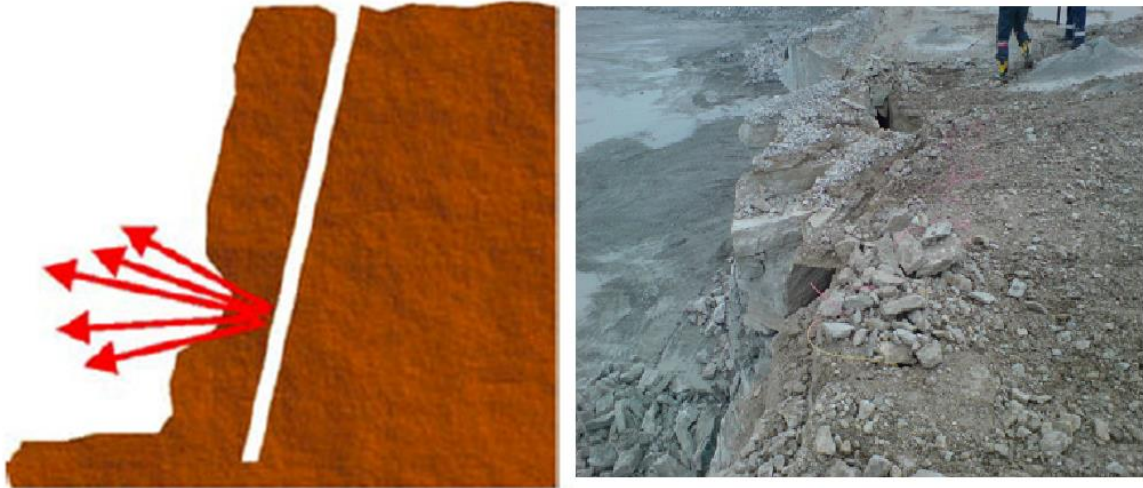
Puur-lõhketööde teostamiseks kasutab ettevõtte Klinthageni lubjakivikarjääris oma puurmasinat AtlasCopco SmartROC T40, mis on varustatud summuti ja GPS seadmega (Joonis 15). Summuti kasutamine on tingitud viimast keskkonnaloa läbirääkimistest tuleneva sooviga kohalike elanike poolt. Lõhketöid teostab ettevõtte Orica Sweden AB, kes fikseerib ka iga lõhkamise lõhketööde protokollis (Lisa 2, Lisa 3).



Joonis 15 Puurmasin AtlasCopco SmartROC T40 summuti ja GPS seadmega

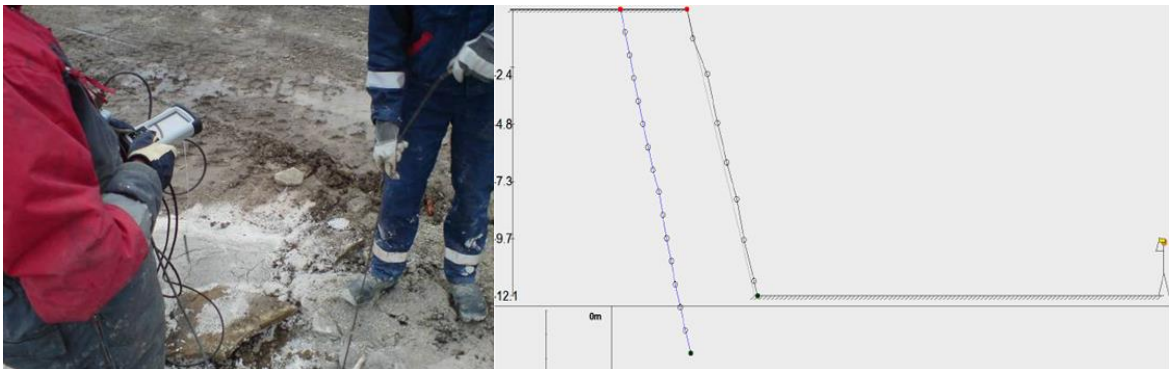
Puurvõrgu puurimiseks kasutatakse GPS seadet, et tagada planeeritud lõhkeaukude täpne asukoht. Pärast vastava ploki puurvõrgu puurimist toimub lõhkeaukude kontroll, millega kontrollitakse puuraugu õiget kallet, et vältida väljapaiskeid nõlvast lõhketööde ajal (Joonis 16).

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 16 Kivimite väljapaiske võimalus kaldlõhkeaukude korral, [16]

Kontrolli käigus lastakse lõhkeauku mõõtesond, enne selle lõhkeainega laadimist ning fikseeritakse puuraugu täpne asukoht massiivis (Joonis 17). Kui peaks ilmnema kõrvalekalle, mis võib tekitada ohu kivimite väljapaiskeks siis tuleb teostada lõhkeaugu uus puurimine.



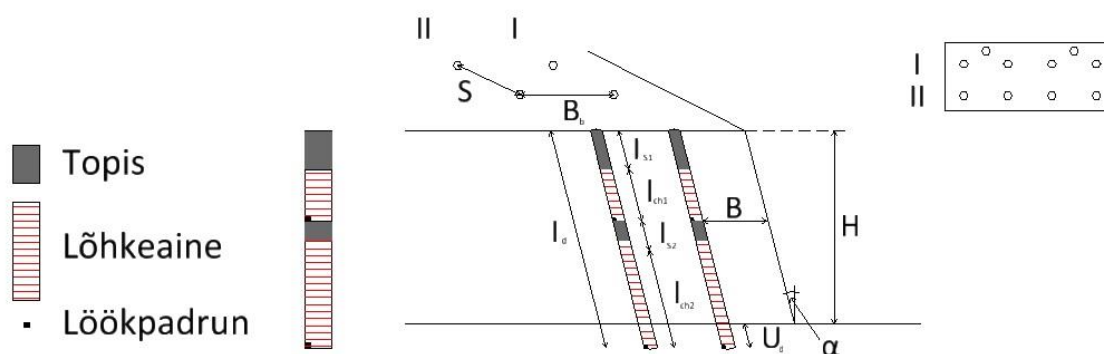
Joonis 17 Lõhkeaugu kalde kontrollimine, [16]

5.2 Käesoleval ajal kasutatav puur-lõhketööde tehnoloogia

Ettevõttel on välja kujunenud oma metoodika, mille alusel lõhketöid teostatakse. Lähtudes purustatava kivimi mehaanilistest omadustest, geoloogilistest tingimustest ja lõhketööde eesmärgist on ettevõttes kasutusel lõhkeaugumeetod, topisega hajutatud laeng (Lisa 1) ning lühiviitlõhkamine, kus iga lõhkeauk initsieeritakse eraldi viites. Vahetopisega hajutatud laengus on topis paigutatud lubjakivikihtide vahelisse savikasse vahekihti (Joonis 18).

Lõhkeaugus kasutatakse kahte löökpadrunit, millest üks on paigutatud lõhkeaugu põhja ning teine vahetopise peale. Lisaks on alumise löökpadrunitiga ühendatud vahedetonaator, mis annab 10 ms viite ülemise ja alumise laenguosa vahel.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 18 Baas - Topisega hajutatud laeng

Turvalisuse eesmärgil on kasutusel 74 kraadise nõlvnurgaga astang, et minimeerida võimalike ripikute teket. Lõhkeainena kasutatakse valdavalt ammooniumnitraadil baseeruv emulsioonlõhkeaine, mis muutub lõhkeaineks hetkel, mil aine laetakse voolikuga lõhkeauku.

Selleks, et tagada lõhkeaine optimaalne kasutus ning vältida ülelaadimisest tekkivaid potentsiaalseid ohuolukordi, kasutatakse lõhkeaineautol automaatikat, mis etteantud arvutusliku koguse saavutamisel katkestab automaatselt laadimise. Topisena kasutatakse lubjakivikillustikku.

Puur-lõhketöödel kasutatakse lõhkeaugu läbimõõduks 89 mm, astangu kõrgus varieerub, kuid keskmiselt on 11 meetrit, mis arvestades lõhkeaugu ja astangu kaldenurka teeb lõhkeaugu kogupikkuseks koos ülepuurega 12 meetrit (Tabel 5). Laengusammuks reas kasutatakse 5 meetrit vahemaad ning ridade vahekaugusena 3,6 meetrit (Tabel 5).

Tabel 5 Kasutatava puur-lõhketööde baasandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus
Lõhkeaugu läbimõõt, mm	\varnothing	89
Astangu kõrgus, m	H	11
Lõhkeaugu pikkus, m	l_d	12
Topise pikkus, m	l_{s1}	2
Vahetopise pikkus, m	l_{s2}	1
Laengu pikkus, m	l_{ch}	9
Ülepuure, m	U_d	0,5
Lõhkeaugu kaldenurk, °	α	74
Lõhkeaine erikulu, kg/m ³	q	0,42
Laengusamm reas, m	S	5
Laenguridade vaheline kaugus, m	B_b	3,6
Lõhkeaine		Emulsioon CG-80
tihedus, g/cm ³		1,15

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Hajulaengus topistatakse lõhkeauk keskelt 1 meetrise vahetopisega savikas vahekihis ning lisaks 2 meetrine topis, et minimeerida õhulööklaine mõju (Joonis 18, Tabel 5).

Puuraugud paiknevad riskülikukujulises lõhkevõrgus ning viiteskeemina kasutatakse standardset 25 ms viidet, kus lõhkeaugu ülemine osa initsieeritakse esimesena ning seejärel 10 ms viitega alumine osa (Joonis 18, Tabel 5).

6 Puur-lõhketöödele alternatiivsete meetodite väljatöötamine

Kahe ja enama vaba pinnaga lõhkamisel kasutatakse peamiselt vertikaalseid või kaldlõhkeauke, harvemini ka horisontaalseid lõhkeauke. Kivimi omadustest, lõhkamise mahust ning muudest piirangutest sõltuvalt võivad lõhkeaugud paikneda kas ühes või mitmes reas. Lõhketööde põhiparameetrite arvutuse aluseks võetakse lõhatava astangu kõrgu. [11], [12], [13]

Laengu mass lõhkeaugus arvutatakse valemiga:

$$Q = q * S * B * H * K_p \text{ (kg)}, \quad \text{(Valem 1)}$$

kus q – lõhkeaine erikulu, (kg/m³);

S – laengusamm reas e. laengutevaheline kaugus reas, (m);

B – vähima vastupanujoone pikkus lõhatava astangu jalamil, (m);

H – lõhatava astangu kõrgus, (m);

K_p – lõhkeaine erikulu parandustegur (emulsioonlõhkeainel =1,25).

Vähima vastupanujoone pikkus on otseses sõltuvuses sellest, kas lõhkamine toimub horisontaalsete või vertikaalsete lõhkeaukudega ning kas üheaegselt lõhatakse üks laeng, või on tegemist mitme laengu seeriaviisilise lõhkamisega. Kuna antud olukorras ei ole tarvilik leida üksiklaengu lõhkamisel vähimat vastupanujoont, käsitleme mitme laengu seeriaviisilisel lõhkamisel kasutatavat valemit:

$$B = 0,9 * \sqrt{\frac{q_l}{qm}} \text{ (m)}, \quad \text{(Valem 2)}$$

kus q_l – laengu jaotatud mass (laengu 1 meetri mass) lõhkeaugus, (kg/m);

m – laengute paigutustegur;

q – lõhkeaine erikulu, (kg/m³). [11], [12], [13]

Laengute paigutustegur sõltub lõhkamisviisist ning valitakse vastavalt:

- hetklõhkamine elektridetonaatorite või detoneeriva nööriaga – $m = 0,8...1,1$;
- lühiviitlõhkamisel – $m = 0,9...1,3$;
- leeksüütega lõhkamisel – $m = 1,2...1,4$.

Lõhkeaukude laengusamm arvutatakse valemiga:

$$S = m * B \text{ (m)}, \quad \text{(Valem 3)}$$

Vertikaalsete ja kaldlõhkeaukude mitmerealisel paigutusel tuleb määrata ka laenguridade vaheline kaugus B_b , mis lühiviitlõhkamisel arvutatakse valemiga:

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

$$B_b = 0,95 * B (m), \quad (\text{Valem 4})$$

Laengu pikkus lõhkeaugus arvutatakse valemiga:

$$l_{ch} = \frac{Q}{q_l} (m), \quad (\text{Valem 5})$$

Lõhkeaugu sügavus arvutatakse valemiga:

$$l_d = H + U_d (m), \quad (\text{Valem 6})$$

kus U_d – ülepuure pikkus, (m).

Ülepuure pikkus sõltub lõhatava astangu kõrgusest ja lõhkeaugu läbimõõdust. Ühtlase ehitusega massiivi lõhkamisel võib võtta aluseks rusikareegli:

- tugevate kivimite lõhkamisel – $U_d = (10...12) d$;
- keskmise tugevusega kivimite lõhkamisel – $U_d = (6...8) d$;
- pehmete kivimite lõhkamisel – $U_d = (3...4) d$. [11], [12], [13]

Topise pikkus lõhkeaugus arvutatakse valemiga:

$$l_s = l_d - l_{ch} (m), \quad (\text{Valem 7})$$

Lühiviitlõhkamisel tuleb täiendavalt määrata viitesamm ehk viiteaeg erinevate laengute või laenguseeriade plahvatuste (viiteseeriade) vahel. Optimaalse viitesammu puhul saavutatakse kivimi ühtlasem purustamine, ülemõõduliste kivimitükkide ja lõhede tekkimise vähenemine massiivis. [11], [12], [13]

Optimaalne viitesamm arvutatakse valemiga:

$$\tau = K_\tau * B (ms), \quad (\text{Valem 8})$$

kus K_τ – viitetegur.

Viitetegur sõltub lõhatavate kivimite tugevusest ning valitakse järgnevalt:

- väga tugevatel kivimitel (graniit) $K_\tau = 3$;
- tugevdel kivimitel (kvartsiit) $K_\tau = 4$;
- keskmise tugevusega kivimitel (lubjakivi) $K_\tau = 5$;
- pehmetel kivimitel (mergel, kips) $K_\tau = 6$.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Pärast viitesammu leidmist valitakse arvutuslikule lähima viitekestusega detonaatorid. Esimeste laengute (nullseeria) lõhkamiseks kasutatakse hetkdetonaatoreid. Elektridetonaatorite standardsed viitesammud on 15, 20 ja 25 ms. [11], [12], [13]

Võtame lõhatava ploki suuruseks 7 m * 20 m ning arvutame välja lõhatava ploki laiused vastavalt parameetritele, kus:

$$W = B + ((x - 1) * Bb) (m), \quad (\text{Valem 9})$$

kus x on lõhkeaukude arv, tk

Laengute arv reas:

$$n' = \frac{L}{S} (\text{laengut}), \quad (\text{Valem 10})$$

kus L on ploki pikkus, m

Laengute arv ploki lõhkamiseks:

$$N = n' * n_{rida} (\text{laengut}), \quad (\text{Valem 11})$$

Lõhkeaine kulu:

$$Q_{\Sigma} = N * Q (kg), \quad (\text{Valem 12})$$

Lõhatava ploki maht:

$$V = W * L * H (m^3), \quad (\text{Valem 13})$$

Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu:

$$q_{tegelik} = Q_{\Sigma} / V (kg/m^3), \quad (\text{Valem 14})$$

Puurtööde maht:

$$P_t = N * I_d (m), \quad (\text{Valem 15})$$

Puurtööde erimaht:

$$p_t = P_t / V (m/m^3), \quad (\text{Valem 16})$$

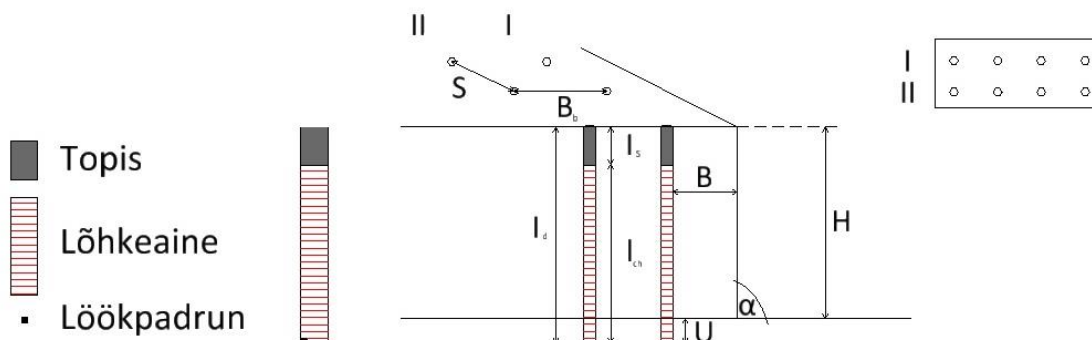
[11], [12], [13]

Erinevate alternatiivide valimisel varieerin algandmetes lõhkeaukude kaldenurgaga (vertikaalne või 74 kraadine nurk), kasutan kas pidevlaengut või vahetopisega hajulaengut ning kahe alternatiivi puhul muudan laenguaugu pikkust vastavalt savikale vahekihile.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

6.1 Alternatiiv 1

Esimese alternatiivina arvutame lõhketööde parameetrid, arvestades, et astang ja lõhkeaugud on vertikaalsed, tegemist on jaotamata pidevlaenguga ning puuraugud puuritakse ristkülikukujulises lõhkevõrgus (Joonis 19).



Joonis 19 Skeem alternatiiv 1, astang ja lõhkeaugud vertikaalselt, jaotamata pidevlaeng

Arvutuskäigu algandmetena (Tabel 6) võtame kaks erinevat puuraugu läbimõõtu 89 mm ja 76 mm. Astangu kõrguseks 11 m, lõhkeaugud puuritakse vertikaalselt. Lõhkeaine erikuluks võtame $0,5 \text{ kg/m}^3$, lõhkeaine erikulu parandusteguriks emulsioonlõhkeaine puhul võtame 1,15 (võrdsustatult TNT ekvivalendiga), laengute paigutusteguriks lühiviitlõhkamisel keskmise väärtuse 1,1, kasutame hetkel kasutatava lõhkeaine tihedust ning puuraugu läbimõõdu ning lõhkeaine tiheduse alusel leiame laengu jaotatud massi vastavalt puuraugu läbimõõdule 7,2 ja 5,2 kg/m. Valime viiteteguri vastavalt lõhatava kivimi tugevusele - 5.

Tabel 6 Alternatiiv 1 algandmed, Lõhketööde parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Puuraugu läbimõõt, mm	\varnothing	89	76
Astangu kõrgus, m	H	11	11
Lõhkeaugu kaldenurk, °	α	90	90
Lõhkeaine erikulu, kg/m^3	q	0,5	0,5
Lõhkeaine erikulu parandustegur	K_p	1,15	1,15
Laengute paigutustegur	m	1,1	1,1
Lõhkeaine tihedus, g/cm^3	ρ	1,15	1,15
Laengu jaotatud mass, kg/m	q_1	7,2	5,2
Viitetegur	K_r	5	5

Algandmete alusel leiame vähima vastupanujoone, laengusammu reas, laenguridade vahelise kauguse, laengu massi, laengu pikkuse, ülepuure pikkuse, lõhkeaugu sügavuse, topise pikkuse,

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

standardse viitesammu, arvutame välja lõhatava ploki laius, laengute arvu reas, laengute arvu valitud ploki lõhkamiseks, lõhkeaine kulu, lõhatava ploki mahu, lõhkeaine tegeliku arvutusliku erikulu, puurtööde mahu ning puurtööde erimahu (Tabel 7).

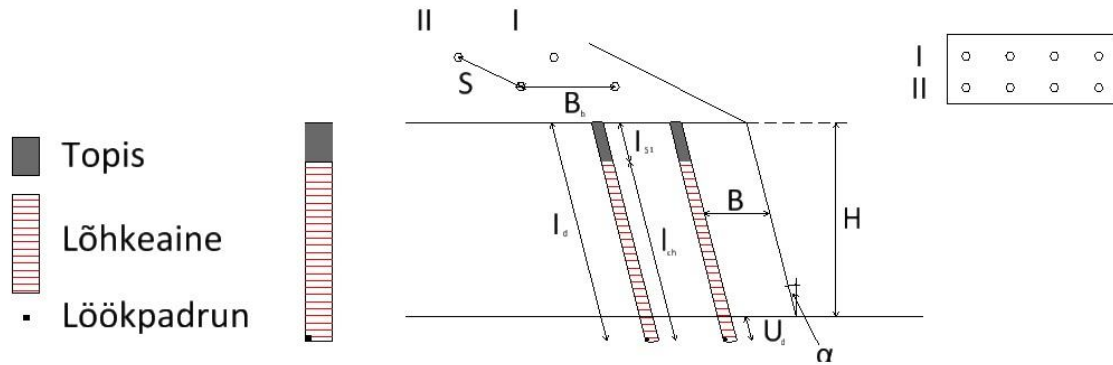
Tabel 7 Alternatiiv 1 - lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Vähim vastupanujoon, m	B	3,3	2,8
Laengusamm reas, m	S	3,6	3,0
Laenguridade vaheline kaugus, m	B_b	3,1	2,6
Laengu mass, kg	Q	73,8	53,3
Laengu pikkus, m	l_{ch}	10,2	10,2
Ülepuure pikkus, m	U_d	0,6	0,5
Lõhkeaugu sügavus, m	l_d	11,6	11,5
Topise pikkus, m	l_s	1,4	1,3
Optimaalne viitesamm, ms	τ	16	14
Standardne viitesamm, ms	τ_s	20	15
Ploki pikkus, m	L	20	20
Ridade arv, tk	n_{rida}	2	2
Lõhatava ploki laius, m	W	6,3	5,4
Laengute arv reas, laengut	n'	6	7
Laengute arv ploki lõhkamiseks, laengut	N	12	14
Lõhkeaine kulu, kg	Q_Σ	885	746
Lõhatava ploki maht, m ³	V	1397,0	1187,2
Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu, kg/m ³	q_{tegelik}	0,6	0,6
Puurtööde maht, m	P_t	139,5	161,4
puurtööde erimaht, m/m ³	p_t	0,10	0,14

6.2 Alternatiiv 2

Teise alternatiivina arvutame lõhketööde parameetrid, arvestades, et astang ja lõhkeaugud on 74 kraadise nurga all, tegemist on jaotamata pidevlaenguga ning puuraugud puuritakse riskülikukujulises lõhkevõrgus (Joonis 20).

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 20 Skeem alternatiiv 2, astang ja lõhkeaugud 74 kraadise nurga all, jaotamata pidevlaeng

Arvutuskäigu algandmetena (Tabel 8) võtame kaks erinevat puuraugu läbimõõtu 89 mm ja 76 mm. Astangu kõrguseks keskmiselt 11 m, lõhkeaugud puuritakse 74 kraadise nurga all. Lõhkeaine erikuluks võtame 0,5 kg/m³, lõhkeaine erikulu parandusteguriks emulsioonilõhkeaine puhul võtame 1,15 (võrdsustatult TNT ekvivalendiga), laengute paigutusteguriks lühiviitlõhkamisel keskmise väärtuse 1,1, kasutame hetkel kasutatava lõhkeaine tihedust ning puuraugu läbimõõdu ning lõhkeaine tiheduse alusel leiame laengu jaotatud massi vastavalt puuraugu läbimõõdule 7,2 ja 5,2 kg/m. Valime viiteteguri vastavalt lõhatava kivimi tugevusele - 5.

Tabel 8 Alternatiiv 2 algandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Puuraugu läbimõõt, mm	\emptyset	89	76
Astangu kõrgus, m	H	11	11
Lõhkeaugu kaldenurk, °	α	74	74
Lõhkeaine erikulu, kg/m ³	q	0,5	0,5
Lõhkeaine erikulu parandustegur	K_p	1,15	1,15
Laengute paigutustegur	m	1,1	1,1
Lõhkeaine tihedus, g/cm ³	ρ	1,15	1,15
Laengu jaotatud mass, kg/m	q₁	7,2	5,2
Viitetegur	K_{τ}	5	5

Algandmete alusel leiame vähima vastupanujoone, laengusammu reas, laenguridade vahelise kauguse, laengu massi, laengu pikkuse, ülepuure pikkuse, lõhkeaugu sügavuse, topise pikkuse, standardse viitesammu, arvutame välja lõhatava ploki laius, laengute arvu reas, laengute arvu valitud ploki lõhkamiseks, lõhkeaine kulu, lõhatava ploki mahu, lõhkeaine tegeliku arvutusliku erikulu, puurtööde mahu ning puurtööde erimahu (Tabel 9).

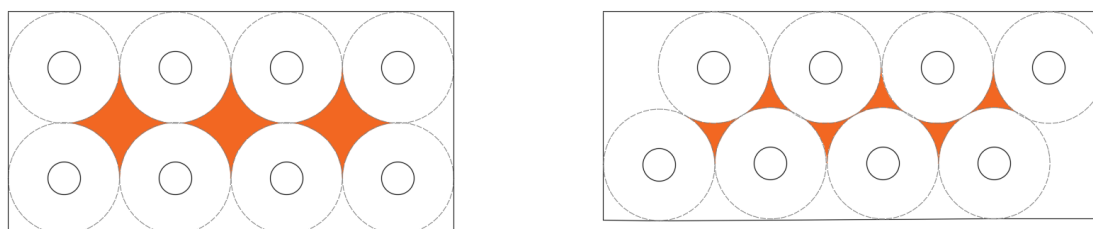
Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Tabel 9 Alternatiiv 2 - lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Vähim vastupanujoon, m	B	3,3	2,8
Laengusamm reas, m	S	3,6	3,0
Laenguridade vaheline kaugus, m	B_b	3,1	2,6
Laengu mass, kg	Q	73,8	53,3
Laengu pikkus, m	l_{ch}	10,2	10,2
Ülepuure pikkus, m	U_d	0,5	0,5
Lõhkeaugu sügavus, m	l_d	12,0	11,9
Topise pikkus, m	l_s	1,7	1,7
Optimaalne viitesamm, ms	τ	16	14
Standardne viitesamm	τ_s	20	15
Ploki pikkus, m	L	20	20
Ridade arv, tk	n_{rida}	2	2
Lõhatava ploki laius, m	W	6,3	5,4
Laengute arv reas, laengut	n'	6	7
Laengute arv ploki lõhkamiseks, laengut	N	12	14
Lõhkeaine kulu, kg	Q_Σ	885	746
Lõhatava ploki maht, m ³	V	1397,0	1187,2
Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu, kg/m ³	q_{tegelik}	0,6	0,6
Puurtööde maht, m	P_t	143,7	166,6
puurtööde erimaht, m/m ³	p_t	0,10	0,14

6.3 Alternatiiv 3

Lõhkamise käigus tekib lõhkeaugu ümber purustustsoon. Lähedalasuvate puuraukude purustustsoonide kattumiskiirkonnas tekib liigne purustumine ning piirkondades, kus kattumistsoon puudub tekib ülegabariitne kaevis (Joonis 21).



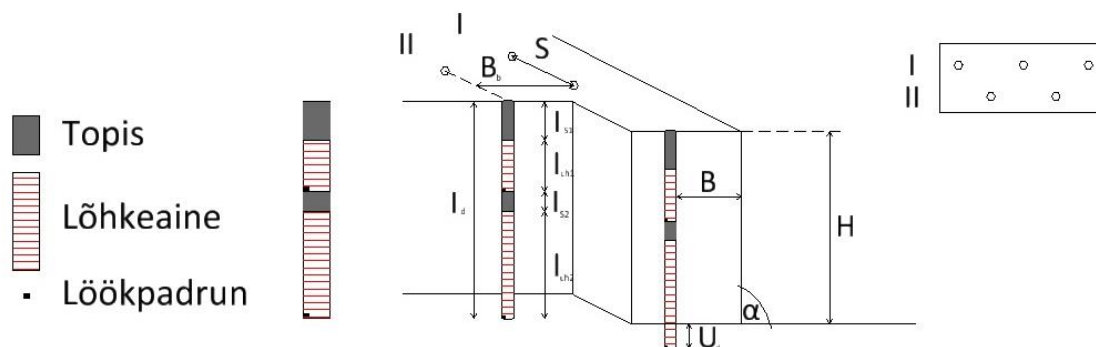
- Ülegabariit
- Purustustsoon
- Puurauk

Joonis 21 Vasakul pool ristkülikukujuline, paremal malekorras lõhkeaukude võrk

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Võttes aluseks lõhkeaukude purustustsoonide asetuse riskülikukujulises lõhkevõrgus ning võrreldes seda malekorras lõhkevõrguga on suurem võimalus ülegabariitse kivi osakaalu vähendada kasutades malekorras lõhkeaukude võrku (Joonis 21). Sellest tingitult on edasiste alternatiivide käigus lõhketööde parameetrite arvutamisel kasutatud malekorras lõhkeaukude võrku.

Kolmanda alternatiivina arvutame lõhketööde parameetrid, arvestades, et astang ja lõhkeaugud on vertikaalselt, tegemist on vahetopisega jaotatud hajulaenguga ning puuraugud puuritakse malekorras (Joonis 22).



Joonis 22 Skeem alternatiiv 3, astang ja lõhkeaugud vertikaalselt, vahetopisega hajulaeng, malekorras lõhkeaukude võrk

Arvutuskäigu algandmetena (Tabel 10) võtame kaks erinevat puuraugu läbimõõtu 89 mm ja 76 mm. Astangu kõrguseks keskmiselt 11 m, lõhkeaugud puuritakse vertikaalselt. Lõhkeaine erikuluks võtame $0,5 \text{ kg/m}^3$, lõhkeaine erikulu parandusteguriks emulsioonlõhkeaine puhul võtame 1,15 (võrdsustatult TNT ekvivalendiga), laengute paigutusteguriks lühiviitlõhkamisel keskmise väärtuse 1,1, kasutame hetkel kasutatava lõhkeaine tihedust ning puuraugu läbimõõdu ning lõhkeaine tiheduse alusel leiame laengu jaotatud massi vastavalt puuraugu läbimõõdule 7,2 ja 5,2 kg/m. Valime viiteteguri vastavalt lõhatava kivimi tugevusele - 5.

Tabel 10 Alternatiiv 3 algandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Puuraugu läbimõõt, mm	\emptyset	89	76
Astangu kõrgus, m	H	11	11
Lõhkeaugu kaldenurk, °	α	90	90
Lõhkeaine erikulu, kg/m^3	q	0,5	0,5
Lõhkeaine erikulu parandustegur	K_p	1,15	1,15
Laengute paigutustegur	m	1,1	1,1
Lõhkeaine tihedus, g/cm^3	ρ	1,15	1,15
Laengu jaotatud mass, kg/m	q₁	7,2	5,2
Viitetegur	K_T	5	5

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Algandmete alusel leiame vähima vastupanujoone, laengusammu reas, laenguridade vahelise kauguse, laengu massi, laengu pikkuse, ülepuure pikkuse, lõhkeaugu sügavuse, topise pikkuse, standardse viitesammu, arvutame välja lõhatava ploki laius, laengute arvu reas, laengute arvu valitud ploki lõhkamiseks, lõhkeaine kulu, lõhatava ploki mahu, lõhkeaine tegeliku arvutusliku erikulu, puurtööde mahu ning puurtööde erimahu (Tabel 11).

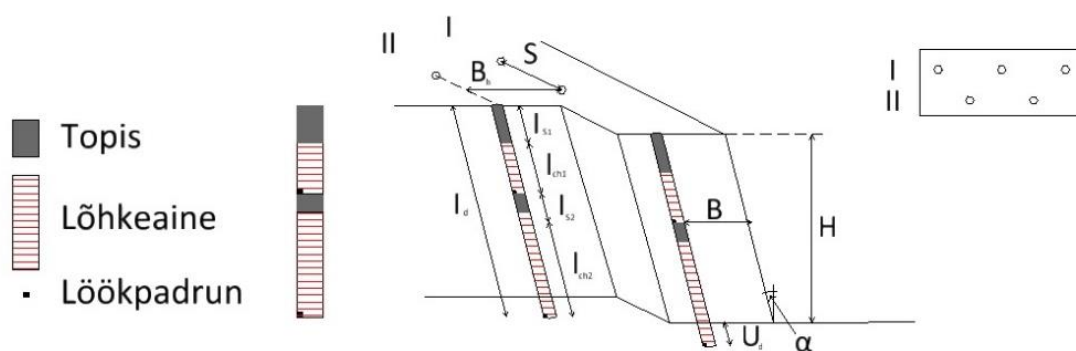
Tabel 11 Alternatiiv 3 – lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Vähim vastupanujoon, m	B	3,3	2,8
Laengusamm reas, m	S	3,6	3,0
Laenguridade vaheline kaugus, m	B_b	3,1	2,6
Laengu mass, kg	Q	73,8	53,3
Laengu pikkus, m	l_{ch}	10,2	10,2
Ülepuure pikkus, m	U_d	0,6	0,5
Lõhkeaugu sügavus, m	l_d	11,6	11,5
Topise pikkus, m	l_{s1}	1,4	1,3
Vahetopise pikkus, m	l_{s2}	1,0	1,0
Topise pikkus kokku, m	l_s	2,4	2,3
Optimaalne viitesamm, ms	τ	16	14
Standardne viitesamm	τ_s	20	15
Ploki pikkus, m	L	20	20
Ridade arv, tk	n_{rida}	2	2
Lõhatava ploki laius, m	W	6,3	5,4
Laengute arv reas, laengut	n'	6	7
Laengute arv ploki lõhkamiseks, laengut	N	12	14
Lõhkeaine kulu, kg	Q_Σ	885	746
Lõhatava ploki maht, m ³	V	1397,0	1187,2
Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu, kg/m ³	q_{tegelik}	0,6	0,6
Puurtööde maht, m	P_t	139,5	161,4
puurtööde erimahu, m/m ³	p_t	0,10	0,14

6.4 Alternatiiv 4

Neljanda alternatiivina arvutame lõhketööde parameetrid, arvestades, et astang ja lõhkeaugud on 74 kraadise nurga all, tegemist on vahetopisega jaotatud laenguga (hajulaeng) ning puuraugud puuritakse malekorras (Joonis 23).

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 23 Skeem alternatiiv 4, astang ja lõhkeaugud 74 kraadise nurga all, vahetopisega hajulaeng, malekorras puurvõrk

Arvutuskäigu algandmetena (Tabel 12) võtame kaks erinevat puuraugu läbimõõtu 89 mm ja 76 mm. Astangu kõrguseks keskmiselt 11 m, lõhkeaugud puuritakse 74 kraadise nurga all. Lõhkeaine erikuluks võtame $0,5 \text{ kg/m}^3$, lõhkeaine erikulu parandusteguriks emulsioonilõhkeaine puhul võtame 1,15 (võrdsustatult TNT ekvivalendiga), laengute paigutusteguriks lühiviitlõhkamisel keskmise väärtuse 1,1, kasutame hetkel kasutatava lõhkeaine tihedust ning puuraugu läbimõõdu ning lõhkeaine tiheduse alusel leiame laengu jaotatud massi vastavalt puuraugu läbimõõdule 7,2 ja 5,2 kg/m. Valime viiteteguri vastavalt lõhatava kivimi tugevusele - 5.

Tabel 12 Alternatiiv 4 algandmed, Lõhketööde_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Puuraugu läbimõõt, mm	\varnothing	89	76
Astangu kõrgus, m	H	11	11
Lõhkeaugu kaldenurk, °	α	74	74
Lõhkeaine erikulu, kg/m^3	q	0,5	0,5
Lõhkeaine erikulu parandustegur	K_p	1,15	1,15
Laengute paigutustegur	m	1,1	1,1
Lõhkeaine tihedus, g/cm^3	ρ	1,15	1,15
Laengu jaotatud mass, kg/m	q_1	7,2	5,2
Viitetegur	K_τ	5	5

Algandmete alusel leiame vähima vastupanujoone, laengusammu reas, laenguridade vahelise kauguse, laengu massi, laengu pikkuse, ülepuure pikkuse, lõhkeaugu sügavuse, topise pikkuse, standardse viitesammu, arvutame välja lõhatava ploki laius, laengute arvu reas, laengute arvu valitud ploki lõhkamiseks, lõhkeaine kulu, lõhatava ploki mahu, lõhkeaine tegeliku arvutusliku erikulu, puurtööde mahu ning puurtööde erimahu (Tabel 13).

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Tabel 13 Alternatiiv 4 – lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Vähim vastupanujoon, m	B	3,3	2,8
Laengusamm reas, m	S	3,6	3,0
Laenguridade vaheline kaugus, m	B_b	3,1	2,6
Laengu mass, kg	Q	73,8	53,3
Laengu pikkus, m	l_{ch}	10,2	10,2
Ülepuure pikkus, m	U_d	0,5	0,5
Lõhkeaugu sügavus, m	l_d	12,0	11,9
Topise pikkus, m	l_{s1}	1,7	1,7
Vahetopise pikkus, m	l_{s2}	1,0	1,0
Topise pikkus kokku, m	l_s	2,7	2,7
Optimaalne viitesamm, ms	τ	16	14
Standardne viitesamm	τ_s	20	15
Ploki pikkus, m	L	20	20
Ridade arv, tk	n_{rida}	2	2
Lõhatava ploki laius, m	W	6,3	5,4
Laengute arv reas, laengut	n'	6	7
Laengute arv ploki lõhkamiseks, laengut	N	12	14
Lõhkeaine kulu, kg	Q_Σ	885	746
Lõhatava ploki maht, m ³	V	1397,0	1187,2
Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu, kg/m ³	q_{tegelik}	0,6	0,6
Puurtööde maht, m	P_t	143,7	166,6
puurtööde erimaht, m/m ³	p_t	0,10	0,13

6.5 Alternatiiv 5

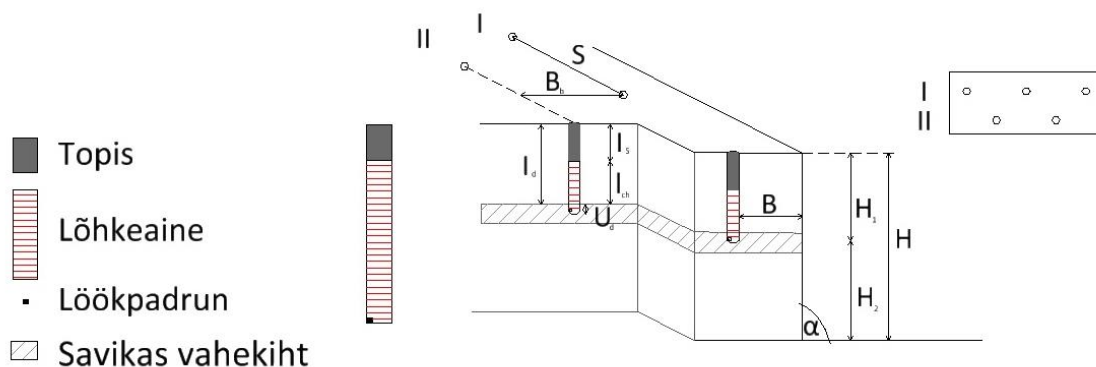
Viienda alternatiivina arvutame lõhketööde parameetrid, jagades astangu kaheks, võttes piiriks lubjakivikihtide vahel paikneva savika vahekihi. Lõhkeaugud puurime vertikaalselt, kasutades jaotamata pidevlaengut, puurvõrgu puurime malekorras.

6.5.1 Alternatiiv 5 a

Alternatiiv 5a puhul võtame arvutuskäigu algandmetena (Tabel 14) kaks erinevat puuraugu läbimõõtu 89 mm ja 76 mm. Astangu kõrguseks maapinnalt kuni savika kihini 6,5 m (Joonis 24), lõhkeaugud puuritakse vertikaalselt. Lõhkeaine erikuluks võtame 0,5 kg/m³, lõhkeaine erikulu parandusteguriks emulsioonlõhkeaine puhul võtame 1,15 (võrdsustatult TNT ekvivalendiga), laengute paigutusteguriks lühiviitlõhkamisel keskmise väärtuse 1,1, kasutame hetkel kasutatava lõhkeaine tihedust ning puuraugu läbimõõdu ning lõhkeaine tiheduse alusel leiame laengu jaotatud

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

massi vastavalt puuraugu läbimõõdule 7,2 ja 5,2 kg/m. Valime viiteteguri vastavalt lõhatava kivimi tugevusele - 5.



Joonis 24 Skeem alternatiiv 5a, astang ja lõhkeaugud vertikaalselt, jaotamata pidevlaeng, malekorras puurvõrk

Tabel 14 Alternatiiv 5a algandmed, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Puuraugu läbimõõt, mm	\varnothing	89	76
Kogu astangu kõrgus, m	H	11	11
Astangu kõrgus, m	H₁	6,5	6,5
Lõhkeaugu kaldenurk, °	α	90	90
Lõhkeaine erikulu, kg/m ³	q	0,5	0,5
Lõhkeaine erikulu parandustegur	K_p	1,15	1,15
Laengute paigutustegur	m	1,1	1,1
Lõhkeaine tihedus, g/cm ³	ρ	1,15	1,15
Laengu jaotatud mass, kg/m	q₁	7,2	5,2
Viitetegur	K_τ	5	5

Algandmete alusel leiame vähima vastupanujoone, laengusammu reas, laenguridade vahelise kauguse, laengu massi, laengu pikkuse, ülepuure pikkuse, lõhkeaugu sügavuse, topise pikkuse, standardse viitesammu, arvutame välja lõhatava ploki laius, laengute arvu reas, laengute arvu valitud ploki lõhkamiseks, lõhkeaine kulu, lõhatava ploki mahu, lõhkeaine tegeliku arvutusliku erikulu, puurtööde mahu ning puurtööde erimahu (Tabel 15).

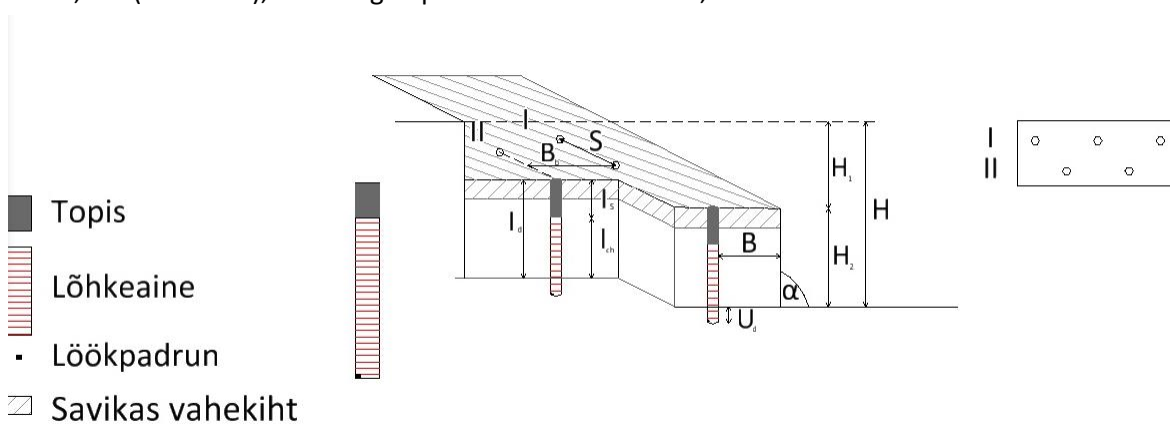
Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Tabel 15 Alternatiiv 5a – lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Vähim vastupanujoon, m	B	3,3	2,8
Laengusamm reas, m	S	3,6	3,0
Laenguridade vaheline kaugus, m	B_b	3,1	2,6
Laengu mass, kg	Q	43,6	31,5
Laengu pikkus, m	l_{ch}	6,1	6,1
Ülepuure pikkus, m	U_d	0,1	0,1
Lõhkeaugu sügavus, m	l_d	6,6	6,6
Topise pikkus, m	l_s	0,5	0,5
Optimaalne viitesamm, ms	τ	16	14
Standardne viitesamm	τ_s	20	15
Ploki pikkus, m	L	20	20
Ridade arv, tk	n_{rida}	2	2
Lõhatava ploki laius, m	W	6,3	5,4
Laengute arv reas, laengut	n'	6	7
Laengute arv ploki lõhkamiseks, laengut	N	12	14
Lõhkeaine kulu, kg	Q_Σ	523	441
Lõhatava ploki maht, m ³	V	825,5	701,5
Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu, kg/m ³	q_{tegelik}	0,6	0,6
Puurtööde maht, m	P_t	79,2	92,4
puurtööde erimaht, m/m ³	p_t	0,10	0,13

6.5.2 Alternatiiv 5 b

Alternatiiv 5b puhul võtame arvutuskäigu algandmetena (Tabel 16) kaks erinevat puuraugu läbimõõtu 89 mm ja 76 mm. Astangu kõrgust arvestame alates savikast kihist kuni karjääri põhjani ehk 4,5 m (Joonis 25), lõhkeaugud puuritakse vertikaalselt, malekorras.



Joonis 25 Skeem alternatiiv 5b, astang ja lõhkeaugud vertikaalselt, jaotamata pidevlaeng, malekorras puurvõrk

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Lõhkeaine erikuluks võtame $0,5 \text{ kg/m}^3$, lõhkeaine erikulu parandusteguriks emulsioonlõhkeaine puhul võtame 1,15 (võrdsustatult TNT ekvivalendiga), laengute paigutusteguriks lühiviitlõhkamisel keskmise väärtuse 1,1, kasutame hetkel kasutatava lõhkeaine tihedust ning puuraugu läbimõõdu ning lõhkeaine tiheduse alusel leiame laengu jaotatud massi vastavalt puuraugu läbimõõdule 7,2 ja $5,2 \text{ kg/m}$. Valime viiteteguri vastavalt lõhatava kivimi tugevusele - 5.

Tabel 16 Alternatiiv 5b algandmed, Lõhketööde_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Puuraugu läbimõõt, mm	\emptyset	89	76
Kogu astangu kõrgus, m	H	11	11
Astangu kõrgus, m	H₂	4,5	4,5
Lõhkeaugu kaldenurk, °	α	90	90
Lõhkeaine erikulu, kg/m^3	q	0,5	0,5
Lõhkeaine erikulu parandustegur	K_p	1,15	1,15
Laengute paigutustegur	m	1,1	1,1
Lõhkeaine tihedus, g/cm^3	ρ	1,15	1,15
Laengu jaotatud mass, kg/m	q₁	7,2	5,2
Viitetegur	K_{τ}	5	5

Algandmete alusel leiame vähima vastupanujoone, laengusammu reas, laenguridade vahelise kauguse, laengu massi, laengu pikkuse, ülepuure pikkuse, lõhkeaugu sügavuse, topise pikkuse, standardse viitesammu, arvutame välja lõhatava ploki laius, laengute arvu reas, laengute arvu valitud ploki lõhkamiseks, lõhkeaine kulu, lõhatava ploki mahu, lõhkeaine tegeliku arvutusliku erikulu, puurtööde mahu ning puurtööde erimahu (Tabel 17).

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Tabel 17 Alternatiiv 5b – lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Vähim vastupanujoon, m	B	3,3	2,8
Laengusamm reas, m	S	3,6	3,0
Laenguridade vaheline kaugus, m	B_b	3,1	2,6
Laengu mass, kg	Q	30,2	21,8
Laengu pikkus, m	l_{ch}	4,2	4,2
Ülepuure pikkus, m	U_d	0,3	0,3
Lõhkeaugu sügavus, m	l_d	4,6	4,6
Topise pikkus, m	l_s	0,4	0,4
Optimaalne viitesamm, ms	τ	16	14
Standardne viitesamm	τ_s	20	15
Ploki pikkus, m	L	20	20
Ridade arv, tk	n_{rida}	2	2
Lõhatava ploki laius, m	W	6,3	5,4
Laengute arv reas, laengut	n'	6	7
Laengute arv ploki lõhkamiseks, laengut	N	12	14
Lõhkeaine kulu, kg	Q_Σ	362	305
Lõhatava ploki maht, m ³	V	571,5	485,7
Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu, kg/m ³	q_{tegelik}	0,6	0,6
Puurtööde maht, m	P_t	57,6	67,2
puurtööde erimaht, m/m ³	p_t	0,10	0,14

6.6 Alternatiiv 6

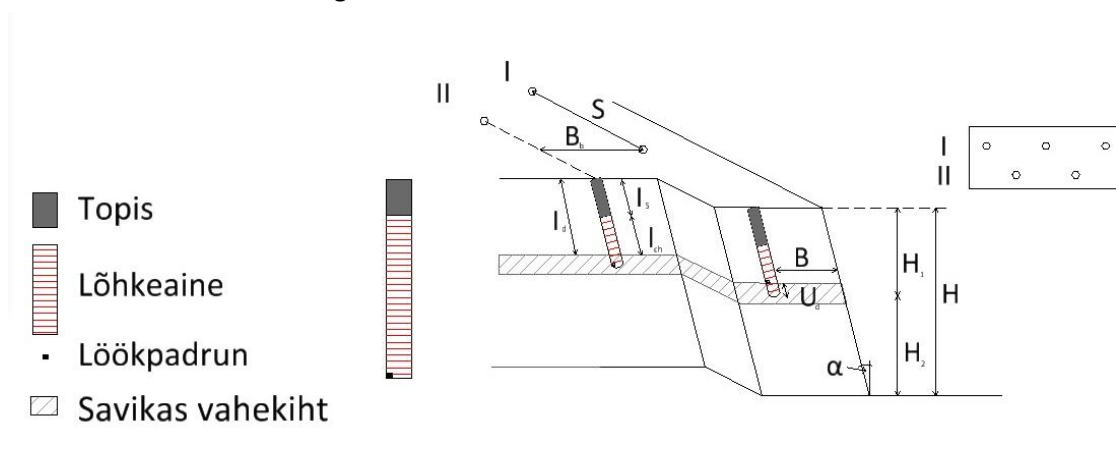
Kuuenda alternatiivina arvutame lõhketööde parameetrid, jagades astangu kaheks, võttes piiriks lubjakivikihtide vahel paikneva savika vahekihi. Lõhkeaugud puurime 74 kraadise nurga all, kasutades jaotamata pidevlaengut, puurvõrgu puurime malekorras.

6.6.1 Alternatiiv 6 a

Alternatiiv 6a puhul võtame arvutuskäigu algandmetena (Tabel 18) kaks erinevat puuraugu läbimõõtu 89 mm ja 76 mm. Astangu kõrguseks maapinnalt kuni savika kihini 6,5 m (Joonis 26), lõhkeaugud puuritakse 74 kraadise nurga all. Lõhkeaine erikuluks võtame 0,5 kg/m³, lõhkeaine erikulu parandusteguriks emulsioonlõhkeaine puhul võtame 1,15 (võrdsustatult TNT ekvivalendiga), laengute paigutusteguriks lühiviitlõhkamisel keskmise väärtuse 1,1, kasutame hetkel kasutatava lõhkeaine tihedust ning puuraugu läbimõõdu ning lõhkeaine tiheduse alusel

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

leiamete laengu jaotatud massi vastavalt puuraugu läbimõõdule 7,2 ja 5,2 kg/m. Valime viiteteguri vastavalt lõhatava kivimi tugevusele - 5.



Joonis 26 Skeem alternatiiv 6a, astang ja lõhkeaugud 74 kraadise nurga all, jaotamata pidevlaeng, malekorras puurvõrk

Tabel 18 Alternatiiv 6a algandmed, Lõhketööde_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Puuraugu läbimõõt, mm	\varnothing	89	76
Kogu astangu kõrgus, m	H	11	11
Astangu kõrgus, m	H₁	6,5	6,5
Lõhkeaugu kaldenurk, °	α	74	74
Lõhkeaine erikulu, kg/m ³	q	0,5	0,5
Lõhkeaine erikulu parandustegur	K_p	1,15	1,15
Laengute paigutustegur	m	1,1	1,1
Lõhkeaine tihedus, g/cm ³	ρ	1,15	1,15
Laengu jaotatud mass, kg/m	q₁	7,2	5,2
Viitetegur	K_{τ}	5	5

Algandmete alusel leiamete vähima vastupanujoone, laengusammu reas, laenguridade vahelise kauguse, laengu massi, laengu pikkuse, ülepuure pikkuse, lõhkeaugu sügavuse, topise pikkuse, standardse viitesammu, arvutame välja lõhatava ploki laius, laengute arvu reas, laengute arvu valitud ploki lõhkamiseks, lõhkeaine kulu, lõhatava ploki mahu, lõhkeaine tegeliku arvutusliku erikulu, puurtööde mahu ning puurtööde erimahu (Tabel 19).

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

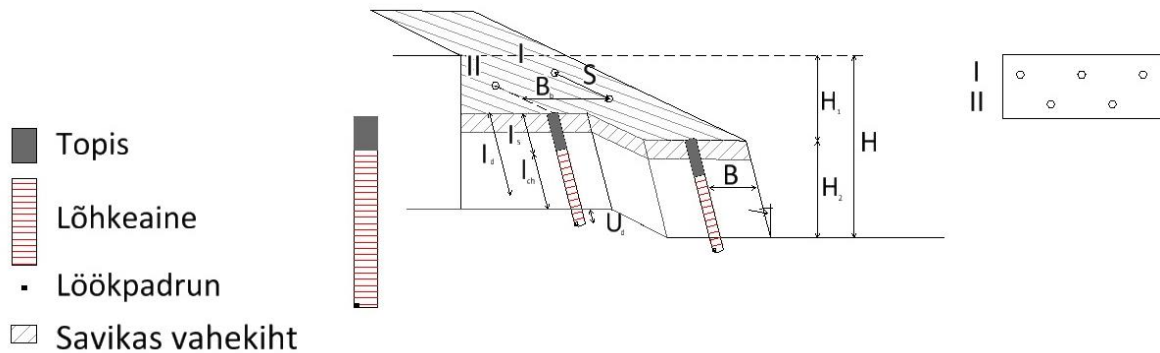
Tabel 19 Alternatiiv 6a lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Vähim vastupanujoon, m	B	3,3	2,8
Laengusamm reas, m	S	3,6	3,0
Laenguridade vaheline kaugus, m	B_b	3,1	2,6
Laengu mass, kg	Q	43,6	31,5
Laengu pikkus, m	l_{ch}	6,1	6,1
Ülepuure pikkus, m	U_d	0,1	0,1
Lõhkeaugu sügavus, m	l_d	6,9	6,9
Topise pikkus, m	l_s	0,8	0,8
Optimaalne viitesamm, ms	τ	16	14
Standardne viitesamm	τ_s	20	15
Ploki pikkus, m	L	20	20
Ridade arv, tk	n_{rida}	2	2
Lõhatava ploki laius, m	W	6,3	5,4
Laengute arv reas, laengut	n'	6	7
Laengute arv ploki lõhkamiseks, laengut	N	12	14
Lõhkeaine kulu, kg	Q_Σ	523	441
Lõhatava ploki maht, m ³	V	825,5	701,5
Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu, kg/m ³	q_{tegelik}	0,6	0,6
Puurtööde maht, m	P_t	82,3	96,1
puurtööde erimaht, m/m ³	p_t	0,10	0,14

6.6.2 Alternatiiv 6 b

Alternatiiv 6b puhul võtame arvutuskäigu algandmetena (Tabel 20) kaks erinevat puuraugu läbimõõtu 89 mm ja 76 mm. Astangu kõrguseks savikast kihist kuni karjääri põhjani 4,5 m (Joonis 27), lõhkeaugud puuritakse 74 kraadise nurga all. Lõhkeaine erikuluks võtame 0,5 kg/m³, lõhkeaine erikulu parandusteguriks emulsioonlõhkeaine puhul võtame 1,15 (võrdsustatult TNT ekvivalendiga), laengute paigutusteguriks lühiviitlõhkamisel keskmise väärtuse 1,1, kasutame hetkel kasutatava lõhkeaine tihedust ning puuraugu läbimõõdu ning lõhkeaine tiheduse alusel leiame laengu jaotatud massi vastavalt puuraugu läbimõõdule 7,2 ja 5,2 kg/m. Valime viiteteguri vastavalt lõhatava kivimi tugevusele - 5.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 27 Skeem alternatiiv 6b, astang ja lõhkeaugud 74 kraadise nurga all, jaotamata pidevlaeng, malekorras puurvõrk

Tabel 20 Alternatiiv 6b algandmed, Lohketööde_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Puuraugu läbimõõt, mm	\emptyset	89	76
Kogu astangu kõrgus, m	H	11	11
Astangu kõrgus, m	H₁	4,5	4,5
Lõhkeaugu kaldenurk, °	α	74	74
Lõhkeaine erikulu, kg/m ³	q	0,5	0,5
Lõhkeaine erikulu parandustegur	K_p	1,15	1,15
Laengute paigutustegur	m	1,1	1,1
Lõhkeaine tihedus, g/cm ³	ρ	1,15	1,15
Laengu jaotatud mass, kg/m	q₁	7,2	5,2
Viitetegur	K_t	5	5

Algandmete alusel leiame vähima vastupanujoone, laengusammu reas, laenguridade vahelise kauguse, laengu massi, laengu pikkuse, ülepuure pikkuse, lõhkeaugu sügavuse, topise pikkuse, standardse viitesammu, arvutame välja lõhatava ploki laius, laengute arvu reas, laengute arvu valitud ploki lõhkamiseks, lõhkeaine kulu, lõhatava ploki mahu, lõhkeaine tegeliku arvutusliku erikulu, puurtööde mahu ning puurtööde erimahu (Tabel 21).

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Tabel 21 Alternatiiv 6b lõhketööde parameetrid, Lohketoode_parameetrid_3_gg.xlsx

Nimetus, ühik	Tähis	Väärtus	Väärtus
Vähim vastupanujoon, m	B	3,3	2,8
Laengusamm reas, m	S	3,6	3,0
Laenguridade vaheline kaugus, m	B_b	3,1	2,6
Laengu mass, kg	Q	30,2	21,8
Laengu pikkus, m	l_{ch}	4,2	4,2
Ülepuure pikkus, m	U_d	0,3	0,3
Lõhkeaugu sügavus, m	l_d	4,8	4,8
Topise pikkus, m	l_s	0,6	0,6
Optimaalne viitesamm, ms	τ	16	14
Standardne viitesamm	τ_s	20	15
Ploki pikkus, m	L	20	20
Ridade arv, tk	n_{rida}	2	2
Lõhatava ploki laius, m	W	6,3	5,4
Laengute arv reas, laengut	n'	6	7
Laengute arv ploki lõhkamiseks, laengut	N	12	14
Lõhkeaine kulu, kg	Q_Σ	362,2	305,2
Lõhatava ploki maht, m ³	V	571,5	485,7
Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu, kg/m ³	q_{tegelik}	0,6	0,6
Puurtööde maht, m	P_t	59,8	69,7
puurtööde erimaht, m/m ³	p_t	0,10	0,14

7 Puur-lõhketööde variantide võrdlev analüüs

Võrdleva analüüsi käigus analüüsiti parameetreid, milleks primaarsena arvestati puurtööde erimahtu m³ kohta, sellele järgnevalt hinnati ohutegureid ripikute näol, ülegabariidi tekkimise võimalust ning üldist ajalist kulu. Selleks, et oleks võimalik minimaalse vajaliku ressursi kasutamisega tagada maksimaalne tulemus, on peamiseks kriteeriumiks aja- ja seeläbi ressursikulu.

Alternatiiv 1 – pidevlaeng, vertikaalsed lõhkeaugud, ristkülikukujuline lõhkeaukude võrk. Sellise alternatiivi puhul on ohuks, et lõhketööde tagajärjel jäävad astangule ripikud, mis põhjustavad ettevõttele liigset aja- ning seeläbi ka finantskulu. Ristkülikukujuline lõhkeaukude võrk soodustab ülegabariitse kivi teket (Joonis 21), mille järelpurustamine tekitab ettevõttele soovimatut aja- ning finantskulu.

Alternatiiv 2 – pidevlaeng, kaldlõhkeaugud, ristkülikukujuline lõhkeaukude võrk. Sellise alternatiivi puhul on ripikute tekkimise tõenäosus oluliselt väiksem, kuid ristkülikukujuline lõhkeaukude võrk soodustab jätkuvalt liigse ülegabariidi teket (Joonis 21), mille järelpurustamine tekitab ettevõttele liigset aja- ning finantskulu.

Alternatiiv 3 – vahetopisega hajulaeng, vertikaalsed lõhkeaugud, malekorras lõhkeaukude võrk. Hajulaenguga on arvestatud geoloogilisi tingimusi, malekorras lõhkeaukude võrgu puurimine vähendab ülegabariiti, kuid kuna tegemist on vertikaalsete lõhkeaukudega, siis on oht ripikute tekkeks.

Alternatiiv 4 – vahetopisega hajulaeng, kaldlõhkeaugud, malekorras lõhkeaukude võrk. Hajulaenguga arvestatakse geoloogilist eripära, malekorras lõhkeaukude võrgu puurimine vähendab võrreldes ristkülikukujulise lõhkeaukude võrguga ülegabariiti ning sellega väheneb ettevõtte aja- ja seeläbi finantskulu. Kaldlõhkeaukudega tagatakse astangu ohutus ning minimeeritakse ripikute esinemise tõenäosus.

Alternatiiv 5 – Kahe astanguga puur-lõhketööd, pidevlaeng, vertikaalsed lõhkeaugud, malekorras puurvõrk. Astangu kõrgus on madal, vertikaalne sein võib tekitada ohu ripikute tekkeks, malekorras lõhkeaukude võrk vähendab liigse ülegabariitse kivi teket, kuid astangu kahes osas lõhkamine tekitab topelt töömahu ning seetõttu tõstab toodangu omahinda, mis ei ole ettevõtte huvides.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Alternatiiv 6 – Kahe astanguga puur-lõhketööd, pidevlaeng, kaldlõhkeaugud, malekorras lõhkeaukude võrk. Astangul ei teki suure tõenäosusega ripikuid, malekorras puurvõrk vähendab liigse ülegabariitse kivi teket, kuid astangu kahes osas lõhkamine tekitab topelt töömahu ning seetõttu tõstab toorme omahinda, mis ei ole ettevõtte huvides.

Võrreldes kõiki alternatiive omavahel (Tabel 22) ning võttes aluseks peamisteks teguriteks: ripikute tekkimise tõenäosuse, ülegabariitse kivi tekke tõenäosuse, puurtööde erimahu ning töödele kuluva aja, on võimalik alternatiividele anda üldhinnang (Tabel 23).

Tabel 22 Arvutatud variantide lõhketööde parameetrid, Vordlus_2.xlsx

\emptyset	89	B1	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6
Lõhkeaine kulu, kg	Q_{Σ}	755	824	824	824	824	824	824
Lõhatava ploki maht, m ³	V	1882	1397	1397	1397	1397	1397	1397
Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu, kg/m ³	q_{tegelik}	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Puurtööde maht, m	Pt	123	130	134	130	134	125	130
puurtööde erimaht, m/m ³	pt	0,065	0,093	0,096	0,093	0,096	0,090	0,093

\emptyset	76	B1	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6
Lõhkeaine kulu, kg	Q_{Σ}	642	700	700	700	700	700	700
Lõhkeaine tegelik arvutuslik erikulu, kg/m ³	q_{tegelik}	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Lõhatava ploki maht, m ³	V	1295	1187	1187	1187	1187	1187	1187
Puurtööde maht, m	Pt	143	152	156	152	156	147	153
puurtööde erimaht, m/m ³	pt	0,111	0,128	0,132	0,128	0,132	0,124	0,129

Hinnangu andmisel on tehtud üldistusi ning lähtutud tingimustest – vertikaalsete lõhkeaukude puhul tekivad ripikud, ristkülikkorras lõhkeaukude võrgu puhul tekib ülegabariitne kivi. Ajakulu all on hinnatud üldist ajakulu selle alternatiivi alusel lõhketööde läbiviimisel alustades puurvõrgu puurimisest, lõpetades ripikute ja ülegabariidi likvideerimisega.

Lõpphinnanguna on eelnevad tegurid summeeritud ning mida madalamaks on hinnatud ohutusega seotud aspektid ja ajakulu, seda sobivamaks on alternatiiv variant olemasolevale baasvariandile.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Tabel 23 Alternatiivide üldhinnang, Vordlus_2.xlsx

Nr	Variant\Parameeter	Ripikud	Ülegabariit	Puurtööde erimaht, m/m ³	Ajakulu	Lõpphinnang
1	Baas 1	0	1	0	2	3
2	Alternatiiv 1, 89	1	1	1	1	4
3	Alternatiiv 1, 76	1	1	1	1	4
4	Alternatiiv 2, 89	0	1	1	2	4
5	Alternatiiv 2, 76	0	1	1	2	4
6	Alternatiiv 3, 89	1	0	1	2	4
7	Alternatiiv 3, 76	1	0	1	2	4
8	Alternatiiv 4, 89	0	0	1	2	3
9	Alternatiiv 4, 76	0	0	1	2	3
10	Alternatiiv 5, 89	1	0	0	4	5
11	Alternatiiv 5, 76	1	0	1	4	6
12	Alternatiiv 6, 89	0	0	1	4	5
13	Alternatiiv 6, 76	0	0	1	4	5

Ripikud
1 tekib
0 ei teki

Ülegabariit
1 tekib
0 ei teki

Puurtööde erimaht
1 üle 0,09
0 alla 0,09

Ajakulu
4 ebamõistlikult suur ajakulu
2 mõistlik ajakulu
1 vähene ajakulu

Kõige madalama lõpphinnangu sai alternatiiv 4, mis sobib kõige paremini nii ohutuse, geoloogiliste tingimuste, kui ka üldise ajakulu poolest asendama hetkel kasutatavat baasvarianti.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

8 Ohutus ja keskkonnavaitse

Ohutuse ja keskkonnavaitse seisukohalt on esmaprioriteediks kaitsta inimelu, mis tähendab, et karjääri lõhketööde puhul tuleb esmalt arvestada nii oma töötajate ohutuse, kui ka kohalike elanike ohutusega. Seejärel tuleb arvestada keskkonnavaitsete piiranguid.

Puur-lõhketööde planeerimisel tuleb arvesse võtta ning minimeerida kõikvõimalikud ohuallikad:

- Ripikute teke - võimalik minimeerida, kasutades kaldlõhkeauke või mehaaniliselt eemaldades ripikud enne töödega alustamist;
- Õhulööklaine teke – võimalik minimeerida, kasutades piisavas koguses topist ja vajadusel lisaks matet;
- Kivide paiskumine – võimalik minimeerida, kontrollides puuraukude kallet ning piirates/kontrollides lõhkeaine kogust ühes lõhkeaugus, alternatiivina võimalik kasutada matet;
- Lõhkeaukude ülelaadimine – võimalik kontrollida automaatsüsteemiga, mis piirab lõhkeaine pumbatavat kogust, alternatiivina on võimalik kasutusele võtta ka kilekotid, mis vähendavad lõhkeaine kogust puuraugus ja hoiavad kulusid kokku;
- Jne

Tihtiipeale on määratud piirnormid (vastavate ametkondade poolt) ainult häirete minimeerimiseks, see tähendab, et tegevus ei saa kunagi kahjustada ümbruskonda ja eeldatakse, et tegevus on selleks vastavalt kohandatud [16].

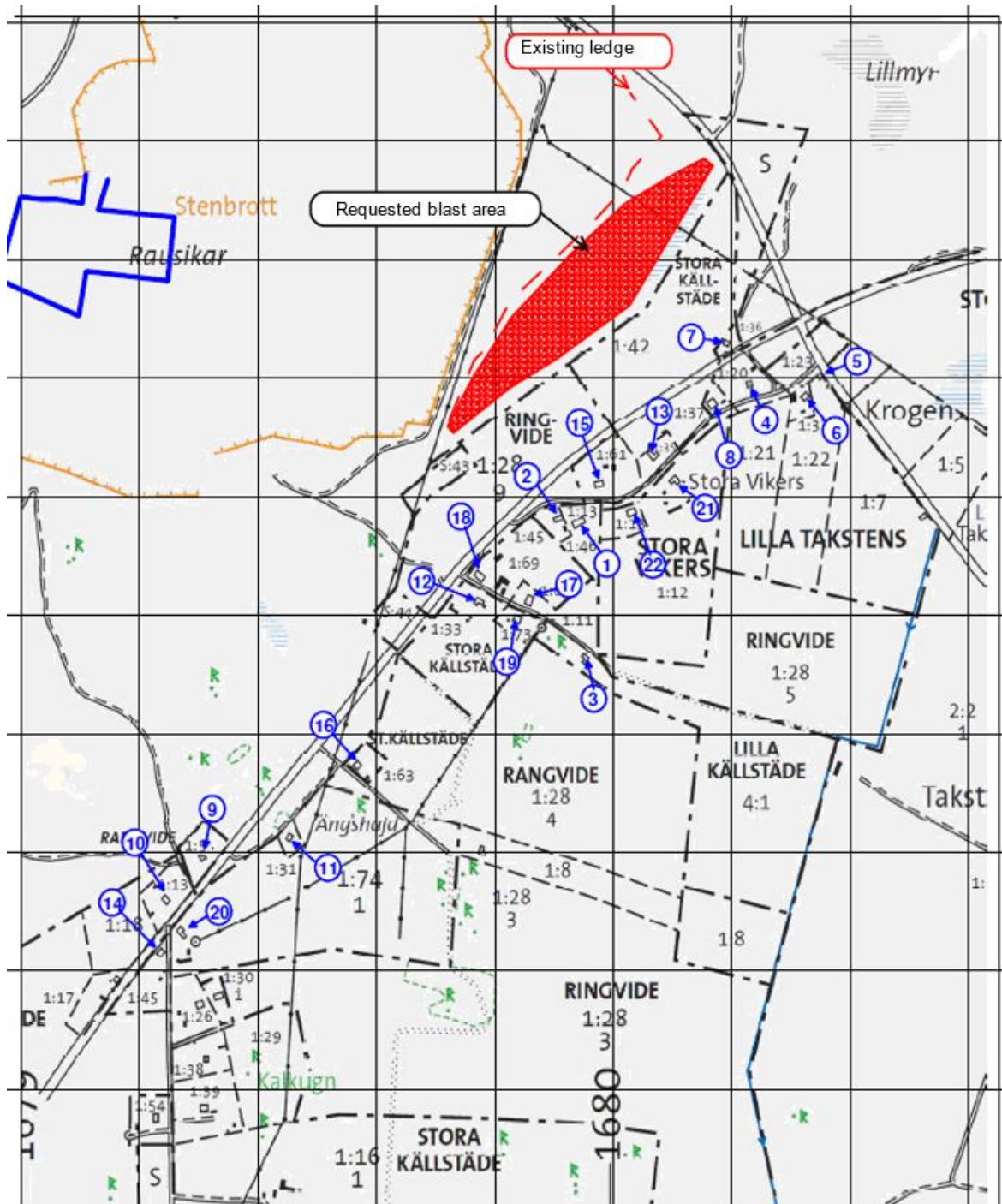
Lõhketööde otsene mõju elanikele on märgatav, kui vibratsioon ja õhklööklaine mõjutavad elamut. Lainete jõudmisel elamuni, toimub elamu liikumine, mida maja sees olevad inimesed tunnetavad. Kui lõhketööd toimuvad karjääris võib õhulööklaine olla tuntavam, kui maapinna vibratsioonid. Elanikel on keeruline eristada üht lainet teisest, kuna tuntakse vaid hoone liikumist. Inimesed võivad vibratsioonide osas olla väga tundlikud, tihtiipeale tuntakse vibratsioone alates 0,2 mm/s, kuid peaaegu mitte kunagi ei suuda inimene tunnetada kas vibratsioon kahjustab hoonet või mitte. [16]

Rootsi standardi SS 460 48 66 "Vibration an shock – Target values for blast-induced vibrations in buildings" alusel on arvestatud lähedalasuvate elamute liigist ja kaugusest lähtuvalt maksimaalseks lubatud vibratsiooniks 6-11 mm/s, kuid ettevõttel on kohustus vastavalt keskkonnavaitsele mitte ületada vibratsiooni (90% juhtudest) 4 mm/s. [16], [20]

Rootsi standardi SS 02 52 10 "Vibration an shock – Blast-induced airborne shock wave Target values for buildings" on välja arvatud ka lubatud õhulööklaine tasemed, mis sõltuvalt hoone ehitusest jäävad vahemikku 320-500 Pa. [16], [20]

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Vaadeldava ala läheduses asuvale 22 elamule (Joonis 28) on teostatud ehituseksperdiis, fikseerides hoonete seisukorra, kui on ka välja arvutatud lubatud talutav vibratsioonitase (Joonis 29, Tabel 24). Kahes lähimas elamus toimub pidev vibratsiooni ning ühes õhulööklaine seire, mille andmed kogutakse kokku andmebaasi ning kuvatakse koos lõhketööde üldinfoga kaardil (Joonis 30). Infore on ligipääs ettevõtte enda töötajatel, lõhketöid teostaval ettevõttel ning kohalikel elanikel.



Joonis 28 Vaadeldava ala läheduses asuvate hoonete asukohad, [16]

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

17. Lärbro Stora Källstäde 1:66



Building type: 1 ½ floor villa
Frame: Timber
Joists: Timber
Facade: Plaster
Foundation:
Smoke ducts: yes
Soil type: Moraine
Other: outhouse
Nearest distance: 290 m
V₃₅₀ = 7 mm/s, V₂₉₀ = 7 mm/s

18. Lärbro Stora Källstäde 1:69



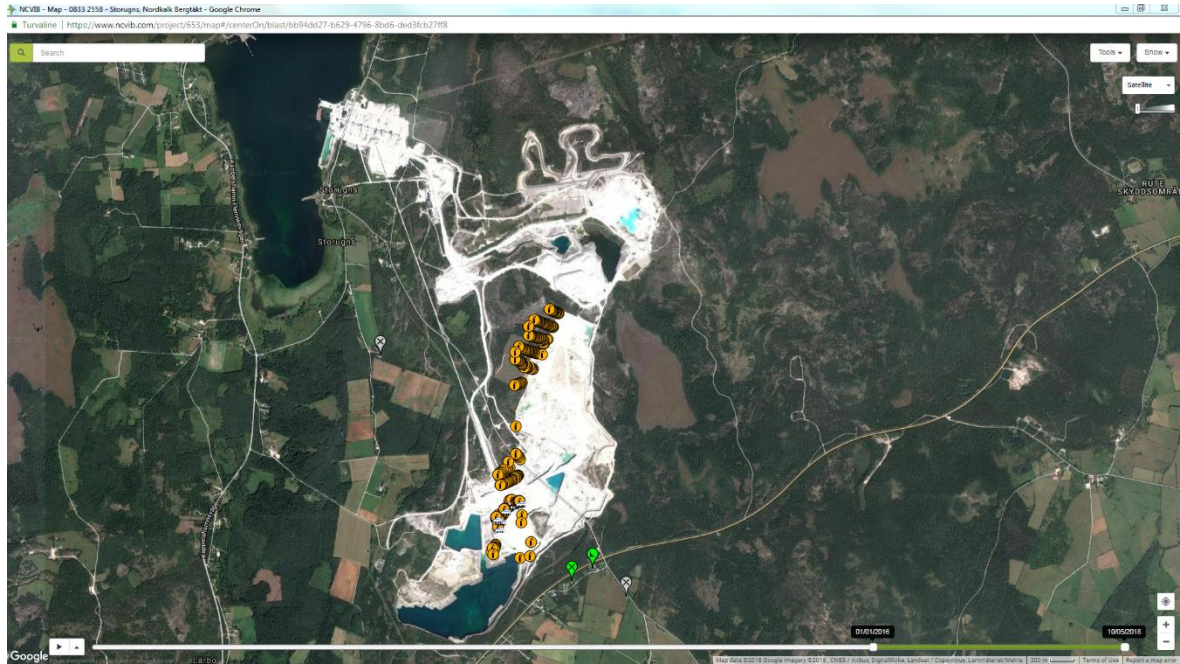
Building type: 1 ½ floor villa
Frame: Partially stone
Joists:
Facade: Plaster
Foundation: Suspended foundation
Smoke ducts: Sheet lined chimney
Soil type: Moraine
Other: Turkey farm
Nearest distance: 240 m
V₃₅₀ = 7 mm/s, V₂₉₀ = 8 mm/s

Joonis 29 Väljavõte vaadeldava ala läheduses asuvate hoonete ehitusekspertiisist ning vastavatest talutavatest vibratsioonidest, [16]

Tabel 24 Rootsi standardite SS 460 48 66 ja SS 02 52 10 alusel kalkuleeritud väärtused lähtudes hoonete kaugusest, [16]

Elamu	Minimaalne distant (m)	V ₃₅₀	V _{min. distant}	Öhulööklaine
1. Lärbro Liffride 1:46	205	9 mm/s	11 mm/s	500 Pa
2. Lärbro Liffride 1:45	230	9 mm/s	10 mm/s	500 Pa
3. Lärbro Lilla Källstäde 4:1	420	7 mm/s	-	370 Pa
4. Lärbro Lilla Takstens 1:20	220	9 mm/s	10 mm/s	500 Pa
5. Lärbro Lilla Takstens 1:22	310	9 mm/s	10 mm/s	500 Pa
6. Lärbro Lilla Takstens 1:32	305	7 mm/s	7 mm/s	370 Pa
7. Lärbro Lilla Takstens 1:36	150	9 mm/s	12 mm/s	500 Pa
8. Lärbro Lilla Takstens 1:37	195	9 mm/s	11 mm/s	500 Pa
9. Lärbro Rangvide 1:5	820	9 mm/s	-	500 Pa
10. Lärbro Ringvide 1:13	930	9 mm/s	-	500 Pa
11. Lärbro Stora Källstäde 1:31	740	7 mm/s	-	500 Pa
12. Lärbro Stora Källstäde 1:33	280	6 mm/s	6 mm/s	320 Pa
13. Lärbro Stora Källstäde 1:35	210	9 mm/s	11 mm/s	500 Pa
14. Lärbro Stora Källstäde 1:45	1000	9 mm/s	-	500 Pa
15. Lärbro Stora Källstäde 1:61	190	9 mm/s	11 mm/s	500 Pa
16. Lärbro Stora Källstäde 1:63	580	7 mm/s	-	370 Pa
17. Lärbro Stora Källstäde 1:66	290	7 mm/s	7 mm/s	370 Pa
18. Lärbro Stora Källstäde 1:69	240	7 mm/s	8 mm/s	370 Pa
19. Lärbro Stora Källstäde 1:73	320	9 mm/s	9 mm/s	500 Pa
20. Lärbro Stora Källstäde 1:74	960	7 mm/s	-	370 Pa
21. Lärbro Stora Vikers 1:12	260	6 mm/s	6 mm/s	320 Pa
22. Lärbro Stora Vikers 1:13	260	6 mm/s	6 mm/s	320 Pa

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 30 Online andmebaas ning lõhkamiste info kuvamine kaardirakenduses

Ülalpooltoodud meetmed on siiani taganud standardväärtuste mitteületamise ning seetõttu tuleb sama meetodikat kindlasti jätkata ka vaadeldavasse alasse liikumise puhul.

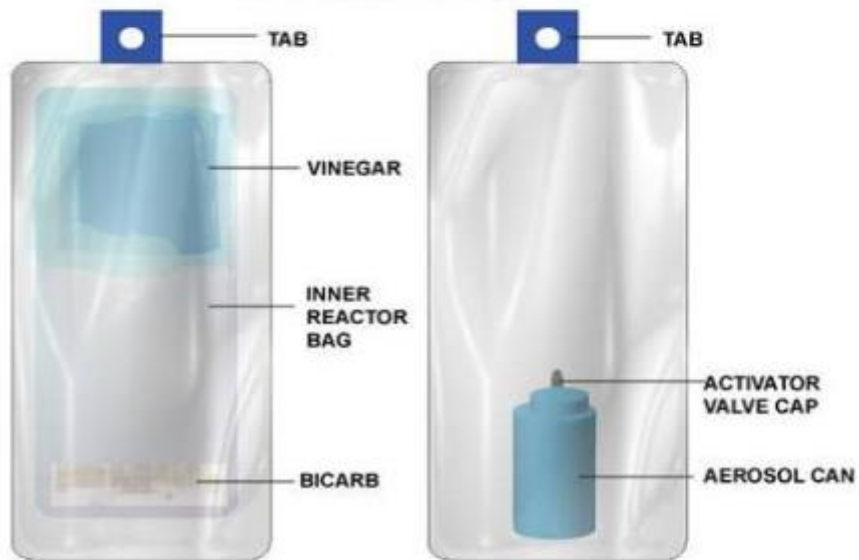
8.1 Plastikkottide kasutamine lõhketöödel

Selleks, et ohutust suurendada on turul alternatiive plastikkottide näol, mis lubavad vähendada lõhkeainekogust puuraugus ning lõhketööde üldkulu, tagades siiski vajaliku lõimise [17]. Lisavõimalusena on võimalik plastikkotte kasutada topeltkontrolliks puurauku pumbatava lõhkeainekoguse üle. Olemas on isetäituvaid plastikkotte või ise täidetavaid plastikkotte (Joonis 31).

Vähendades lõhkeaine kogust puuraugus on võimalik tagada ka nõuetekohastes piirides püsimine lõhketöödest tingitud vibratsiooni kontekstis.

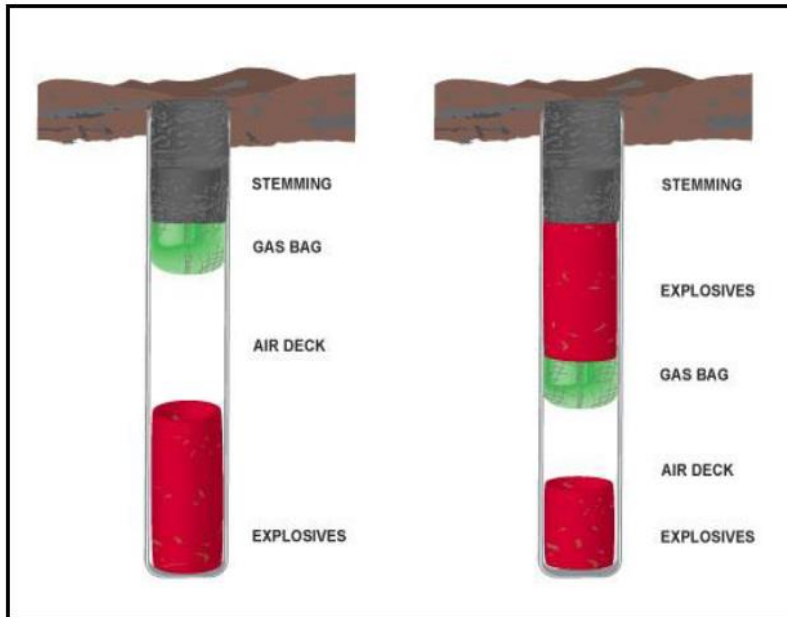
Plastikkotte on võimalik kasutada lõhkeaugu veekindlaks muutmiseks, takistades vee sissevoolu lõhkeaugu, lisaks sobib plastikkott edukalt vahetopise asendamiseks või õhuvahede tekitamiseks lõhkeaugus (Joonis 32). [17]

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 31 Plastikkotid - ülemine suruõhuga täidetav, alumised isetäituvad, [18]

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 32 Plastikkottide kasutamine lõhketöodel, [17]

8.2 Mattide kasutamine

Õhulööklaine minimeerimiseks piisab 15 kordse lõhkeaugu diameetri suurusest topisest [15], kuid kivide paiskumise eest topis ei kaitse. Selleks on võimalik kasutada erinevast materjalist matte, mis laotatakse ettevalmistatud alale vahetult enne lõhkamist ning eemaldatakse pärast lõhketööde teostamist.

Kasutusel on kummist matid (tavapäraselt tehtud vanadest autorehvidest), kui ka teraskaablist tehtud matid (Joonis 34, Joonis 33).



Joonis 33 Teraskaablist tehtud matt, [19]

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt



Joonis 34 Näide rehvidest tehtud matist, Vasalemma karjäär

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

9 Kokkuvõte

Töö eesmärgiks oli välja töötada lõhketööde optimaalsed parameetrid lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes Klinthageni karjääris. Töö käigus analüüsiti olemasolevat meetodit puur-lõhketöödeks ning võrreldi seda 12 võimaliku alternatiiviga.

Võimalike alternatiivide võrdlusanalüüsi alusel anti alternatiividele lõpphinnang skaalal 1-7. Lõppanalüüsi alusel on kõige suurema potentsiaaliga kasutatavad variandid asendamaks hetkel kasutatavat meetodikat alternatiiv 4 (hajutatud laeng, kaldlõhkeaugud, Ø89 mm, Ø76 mm).

Lõplikuks alternatiiviks oleks mõistlik teostada karjääris katselõhkamine lähtuvalt alternatiiv 4 alusel arvutatud lõhketööde parameetritest.

Lisaks lõhketööde alternatiivsete parameetrite arvutamisele tuleks ettevõttel kaaluda vaadeldavas alas kasutusele võtta plastikkotid, et minimeerida võimalik lõhkeaugu ületäitmine lõhkeainega. Kaitsemattide kasutus vähendaks õhulööklaine levikut ning takistaks võimalike kivide paiskumist väljaspoole ohuala.

Ettevõtte on edukalt tegelenud lõhketööde mõjude monitoorimisega, seda tuleb jätkata ning vajadusel juurde hankida kaasaskantav mõõtesead, mida on võimalik lõhketööde suuna muutumisel edukalt paigaldada mõõtmiseks mõne muu elamu krundile, kus see vajalikuks võib osutuda.

Eelpooltoodud lahendusi tuleks karjääris katsetada, mõõtes samal ajal vibratsiooni ning õhulööklaine mõju lähedalasuvates elamutes ning seeläbi oleks võimalik välja kalibreerida parim võimalik lahendus.

Lõhketööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Tänuavaldused

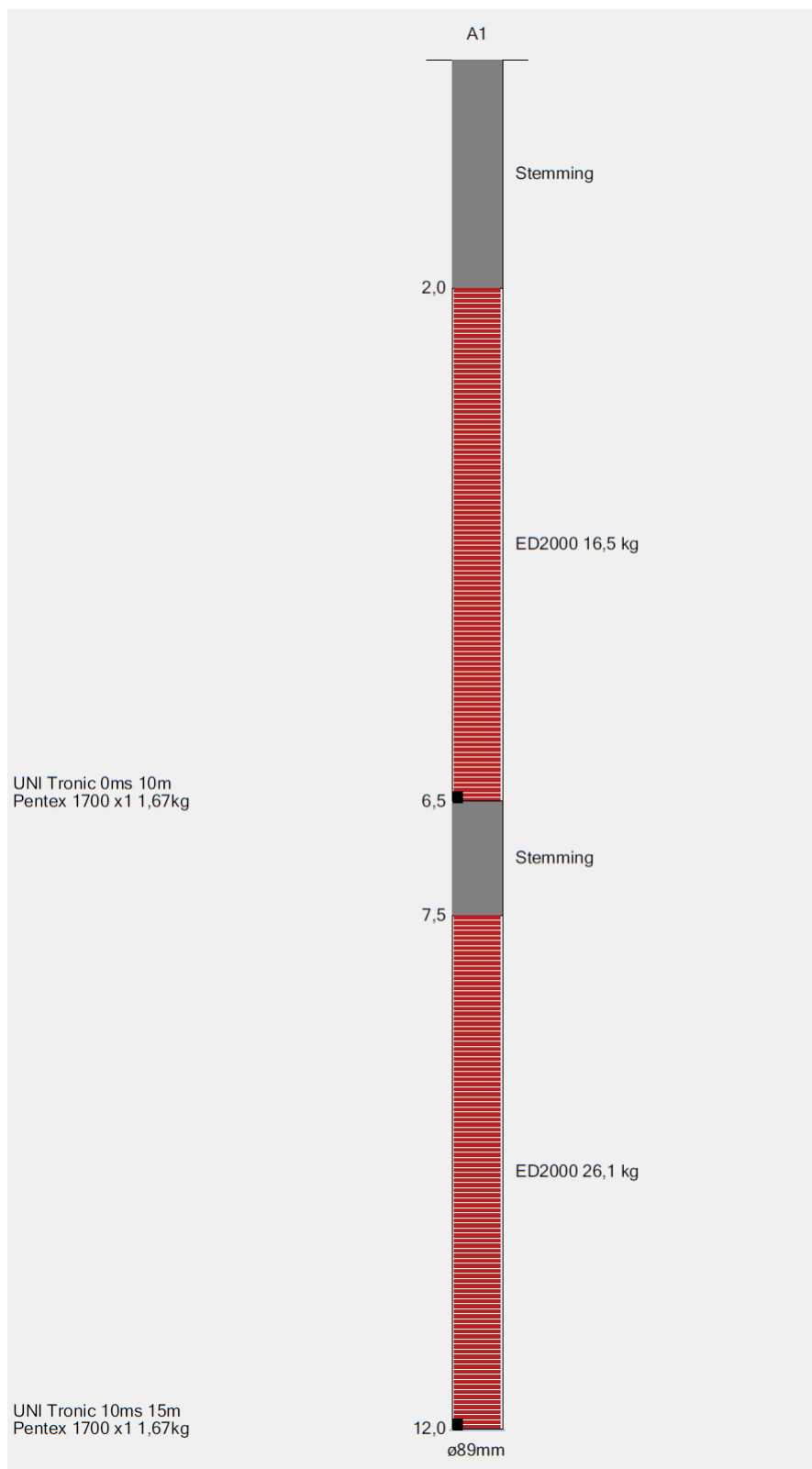
Töö autor soovib avaldada tänu oma juhendajale Tõnu Tombergile igakülgse juhendamise ning abi eest, kolleegidele Nordkalk AB-st Kenneth Fjäderile, Ola Thuressonile, Rasmus Magnussonile ja Hakan Pihlile. Kadri Mikkelsaarele ning oma perekonnale, tänu kellele ei oleks selle magistritöö kirjutamine olnud võimalik.

Kasutatud kirjandus

- [1] Nordkalk Corporation koduleht [WWW]
<http://www.nordkalk.com/contacts/locations/Sweden/Storugns/> (19.05.2018)
- [2] Kinep, A. (2014) Lubjakivi kaevandamine ja töötlemine Nordkalk AS näitel. Bakalaureusetöö, Eesti Maaülikool
- [3] Eesti Entsüklopeedia, Nordkalk Corporation [WWW]
<http://entsyklopeedia.ee/artikkel/nordkalk1> (19.05.2018)
- [4] Ettevõtte sisene tootmistulemuste andmebaas (19.05.2018)
- [5] Fjäder, K. (2003) Geological description of the Storugns limestone
- [6] Calner, M., Jeppsson, L., Munnecke, A. (2004) The Silurian of Gotland – Part I: Review of the stratigraphic framework, even stratigraphy, and stable carbon and oxygen isotope development. International Symposium on Early Palaeozoic Palaeogeography and Palaeoclimate, Germany
- [7] Pihl, H. (2013) Nordkalk and the Bunge limestone quarry project on Gotland island, Sweden. Powerpoint presentation.
- [8] Hammarskjöld, G. (2016) Water Management Plan of Klinthagen
- [9] Komisjoni rakendusotsus 2012/134/EL. Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi 2010/75/EL (tööstusheidete kohta) alusel parima võimaliku tehnika (PVT) alased järeldused klaasitootmise jaoks.
- [10] Pihl, H. (2014) Klinthagen quarry reserves. Powerpoint presentation.
- [11] Tomberg, T., Veersalu, K. (2017) Lõhketööd I, mäenduslikud ja enamlevinud lõhketööd. Loengukonspekt
- [12] Друкованый, М. Ф., Справочник по буровзрывным работам. 1976
- [13] Кутузов Б.Н. Взрывное и механическое разрушение горных пород. 1973
- [14] Суханов, А. Ф., Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород вырывом. 1983
- [15] Majandus- ja taristuministri määrus, RT I, 12.09.2017, 4, Lõhkematerjali kasutamise ja hävitamise nõuded, Lisa Ohuala ja ohutute laengute määramine (28.05.2018)
- [16] Jern, M., Nilsson, N. Forcit Sweden AB (2011) Environmental impact from blasting around the Klinthagen limestone quarry (Eastern side)
- [17] Oduro, L., Appianing, E. J. A., Kasanke, B. A. and Yenzanya, S. (2016), "Performance of Gas Bags in Drill and Blast Operations at Adamus Resources Limited – Nzema Gold Mine (ARL)", 4th UMaT Biennial International Mining and Mineral Conference, pp. MP 37-41.
- [18] Plastikkotid lõhkamisel. [WWW] <http://stemlock.com/products/gas-bags/> (27.05.2018)
- [19] Metallist matid lõhketöödel [WWW] <https://www.tmi2001.com/gallery.html> (27.05.2018)
- [20] Rootsi standard SS 460 48 66 "Vibration an shock – Target values for blast-induced vibrations in buildings"
- [21] Rootsi standard SS 02 52 10 "Vibration an shock – Blast-induced airborne shock wave Target values for buildings"

Lisad

Lisa 1 Üksiklõhkeaugu skeem, topisega hajutatud laeng



Löshetöde optimaalsete parameetreite väljatöötamine lubjakivi löhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Lisa 2 Löhkamise protokoll

LADDRAPORT Nordkalk AB, Storugns

Salvidentitet:

Datum 14/1-14	Skjuttid 13 ⁵⁰	Salvnr 1	Pall 1	Pall 2 X
Stenkastning	Ja <input type="checkbox"/> Nej <input checked="" type="checkbox"/>		Plats	Plats P25

Håldata:

Diameter, mm 89
Lutning, grader 16

Salvans placering koordinater:

Punkt 1: X: <u>6414542,45</u> Y: <u>1679400,27</u>	Punkt 2: X: <u>6413773,47</u> Y: <u>1679578,83</u>
Punkt 3: X: _____ Y: _____	Punkt 4: X: _____ Y: _____

Borrhälsavvikelse
Utförd <input checked="" type="checkbox"/>
Godkänd <input checked="" type="checkbox"/>

Salvdata:

Antal rader	Antal hål	Borrmeter totalt, m	Hållängd, m	Pallhöjd, m
1	24	336	14	13,5
Försättning, m	Hålavstånd, m	Avladdning, m	Bottenladdning, m	Pipladdning, m
3,60	5,0	2,0	3,50	8,50

Sprängämnesdata, totalt för salvan:

	Bottenladdning	Pipladdning	Bottentändare	Topptändare
Mängd, kg	720	1785	40,8	25
Sort	CG-80	CG-80	Pentex 1,7	Fordyn 65 mm
Medeldensitet, g/cm ³	1,12	1,08	1,5	—

Sprängkapslar och kopplingsblock, antal

U475		U500		SL 0		SL 25		SL 42		SL 67			
st	m	st	m	st	m	st	m	st	m	st	m	st	m
26	18	24	7,8			23	7,8	1	7,8				

Särskilda iakttagelser: (t.ex. igenrasade hål, ändring av borr eller laddplan, handladdade hål)

Sprängarbas underskrift: Stellan Gorden

Löhetööde optimaalsete parameetrite väljatöötamine lubjakivi lõhkamiseks Gotlandi tingimustes, ID LG70LT, Gaia Grossfeldt

Lisa 3 Lõhkamiste protokoll - viited

Tändplan

Datum: 16-4-14

Pall namn: 1

Salv nr: VB SALVA 46

Fördrojning, ms

Hål	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Rad 1	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50	25	0								
Rad 2	625	575	525	475	425	375	325	275	225	175	125	75								

Hål	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT
Rad 1																				
Rad 2																				

Hål	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT
Rad 1																				
Rad 2																				

Tot antal hål: # 24

Öppningshål: L

Antal samverkande: 0

	Typ	Antal
Bottentändare	24 U-475	24
Topptändare	U-500	24

Avvikelser/kommentarer: _____

Kopplingsblock typ	Kopplingsblock antal
SL-25	46

Utförd av: FEDE/2