

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikka, Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Maa- ja kalliorakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Mika Humalajoki

NALLITUKSEN VAIKUTUKSET LOHKAREKO- KÖÖN JA KENTÄN KÄSITELTÄVYYTEEN AVO- LOUHINNASSA

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

Mika Humalajoki

Nallituksen vaikutukset lohkarekokoon ja kentän käsiteltävyyteen avolouhinnassa, 34 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikan yksikkö, Rakennustekniikan koulutusohjelma

Maa- ja kalliorakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2010

Ohjaajat: yliopettaja Tuomo Tahvanainen SAIMIA, ylipanostaja Rauno Asp
Kuljetus T. Nikander Oy

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää nallituksen vaikutukset lohkarekokoon sekä kentän käsiteltävyyteen (räjäytyksen suuntaukseen ja kivien sinkoiluun) avolouhinnassa.

Tutkimusmenetelminä on käytetty olemassa olevan kirjallisuuden tutkimista sekä kenttäkokeita. Lisäksi tutkimuksissa on käytetty haastatteluja. Haastatteluja on tehty Kouvolassa sijaitsevalla Kuljetus T. Nikander Oy:n urakka-alueella.

Selvitystyö on tehty Kuljetus T. Nikander Oy:n toimeksiantona. Opinnäytetyötä tullaan käyttämään apuna sovellettaessa nallituksen suunnittelua urakkakohdeissa, joissa lohkarekokoon ja kentän hallintaan halutaan tietoisesti vaikuttaa hidastuksen avulla. Ominaispanostukset pyrittiin pitämään koekentissä samoina, jolloin saatiin selvitettyä pelkästään nallituksen tuomat vaikutukset lopputulokseen.

Kenttäkokeista selvisi, että nallituksen avulla voidaan vaikuttaa niin lohkarekokoon, kuin kentän suuntaukseenkin.

Avainsanat: louhinta, nallitus, lohkarekoko, suuntaus

ABSTRACT

Mika Humalajoki

The effects of detonator settings on the sizes of the boulders and manageability of the explosion field in quarrying, 34 pages

Saimaa University on Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Civil and Construction Engineering

Final Year Project 2010

Instructors: principal lecturer Tuomo Tahvanainen Saimaa University of Applied Sciences, senior charger Rauno Asp Kuljetus T. Nikander Oy

The purpose of this final year project was to investigate the effects of different detonator settings on the sizes of the boulders and manageability of the explosion field (direction of the explosion and the splashing stones) in quarry mining.

The research methods were the studying of existing literature, field tests and interviews. Interviews were made in Kuljetus T. Nikander Oyj's works area in Kouvola.

The research was an assignment by Kuljetus T. Nikander Oy. This project is used in the planning of detonations to control the size of the boulders and explosion field manageability by timing the detonators.

The specific charging was the same in all of the test fields, so the only effects were caused by the detonator settings.

The field tests proved that the sizes of the boulders and the direction of the explosion can be influenced by detonator settings.

Keywords: quarrying, detonator settings, sizes of the boulders, direction of the explosion

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	5
2	NALLITUKSEN SUUNNITTELU	6
2.1	Lähtökohdat	6
2.2	Hidasteaikojen virhemarginaalit	7
3	NONEL-JÄRJESTELMÄ.....	8
3.1	Ominaisuudet	8
3.2	Nonel-nallit	8
3.3	Muut pengerlouhintanallit	10
3.3.1	Elektroniset nallit	10
3.3.2	Sähkönallit.....	11
3.4	Nonel-pintahidasteet.....	12
4	KOERÄJÄYTYKSET	15
5	NALLITUKSEN VAIKUTUKSET KÄSITELTÄVYYTEEN	17
6	NALLITUKSEN VAIKUTUKSET LOHKAREKOKOON.....	22
6.1	Paikoilleen räjäytettävä kenttä	22
6.2	Liikutettava kenttä.....	27
6.3	Lohkarekokoon vaikuttavat tekijät.....	29
7	POHDINTA.....	30
8	YHTEENVETO.....	31
	KUVAT	33
	TAULUKOT	33
	LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on selvittää nallituksen vaikutukset lohkarekoon ja kentän käsiteltävyyteen avolouhinnassa, lähinnä pengerialueilla. Tavoitteena on selvittää, voidaanko pelkäämistä nallitusta säätelemällä päästä parempaan lopputulokseen halutun lohkarekoon kannalta ominaispanostuksen pysyessä vakiona. Lisäksi selvitetään, millaisia vaikutuksia nallituksen säätelemisellä on kentän käsiteltävyyteen.

Työssä selvitetään millaisia vaikutuksia poikkeavilla hidasteajoilla on lohkarekoon verrattuna ohjearvoihin ja samalla tutkitaan nallituksen vaikutusta kentän käsiteltävyyteen (räjähtämisen suuntaukseen ja kivilohkareiden sinkoiluun).

Työ sisältää työmaakokeita Kouvolan tykkimäen teollisuusalueella. Kokeilut tehdään vierekkäisillä kentillä, jolloin vertailukenttiin saadaan mahdollisimman yhdenmukaiset lähtökohdat. Nallitus tullaan toteuttamaan pintahidasteita käyttämällä Nonel-järjestelmällä. Mahdollisuutta elektronisten nallien käyttöön ei ole, ja Nonelia käyttämällä on helpompaa kokeilla eri nallitustapoja verrattuna sähkönsäätöihin.

Kenttätutkimustyö tullaan rajaamaan käsittämään ainoastaan Tykkimäellä tapahtuvat koeräjähtykset tammi-maaliskuussa 2010. Kalliolaadun tutkimiseen ei tulla puuttumaan muutoin kuin silmämääräisellä arvioinnilla rakoilusta, mitään kivilajitutkimuksia ei tulla suorittamaan. Kentät tullaan poraamaan ja panostamaan samalla tavoin ja ominaispanostus pyritään pitämään noin 450 grammassa räjähdysainetta kuutiometriä kohden. Lohkarekoko tullaan arvioimaan silmämääräisesti tarkastellen.

2 NALLITUKSEN SUUNNITTELU

2.1 Lähtökohdat

Sytytyssuunnitelmaa tehtäessä lähtökohtana on hidastaa kenttää siten, että peräkkäisillä riveillä olisi ohjeen mukainen noin 25 millisekuntia aikaa etumetriä kohden irrota ennen seuraavan rivin irtoamista. Edun pituus määräytyy poraus-suunnitelmista, joissa lähtökohtana on halutun ominaispanostuksen saavuttaminen käytettävillä räjähdysaineilla riippuen käytettävästä porareian koosta. Suurempaa reikäkokoa käytettäessä etu kasvaa, samoin räjähdysainemäärä porareikää kohden. Edun pituus ja kentän haluttu purkusuunta määrittelevät nallituksen suunnittelun lähtökohdat. /1/

Kentät tulee hidastaa siten, ettei taempana oleva reikä pääse räjähtämään ennen edessä olevia. Lisäksi tulisi huomioida, että koko kenttä mielellään pääsisi syttymään ennen ensimmäisen reiän räjähdystä. Näin siksi, että saataisiin minimoituja palokatkon mahdollisuus siltä osin. /2/

Käytännössä pengerlouhinnassa käytetään vielä pääosin joko 64 millimetrin tai 76 millimetrin reikäkokoa. Ominaispanostus pysyttelee välillä 400. 500 g räjähdysainetta kuutiometriä kohden. Kivilaaduista riippumatta käytännönkokeet ovat osoittaneet, että noin 400 gramman ominaispanostuksella voidaan suorittaa kentän avaus turvallisesti ja tulosten jälkeen korjailla ominaispanostusta haluttuun suuntaan seuraavilla räjäytyskerroilla. /3/

Käytettävät nallityypit määrittelevät sen, missä vaiheessa panostustyötä kentän hidastaminen suoritetaan kenttäolosuhteissa. Esimerkiksi sähkönalleilla nallitettaessa suunnittelu tehdään heti pohjapanosta asetettaessa, pintahidasteita käytettäessä hidasteajat asetetaan vasta panostustyön loppuvaiheilla kentän pinnalla. /3/

2.2 Hidasteaikojen virhemarginaalit

Nallien hidasteajat ovat melko tarkkaan oikeita valmistajien antaman takuun mukaan. Niissä on kuitenkin varaus yhden millisekunnin poikkeamaan suuntaan tai toiseen. Näin ollen esimerkiksi 42:n millisekunnin hidaste voi räjähtää välillä 41.43 millisekuntia syttymishetkestä. Ainoastaan elektroniset nallit ovat tarkempia, sillä ne ovat säädettävissä joka millisekunnille virhemarginaalilla 0,1 millisekuntia. /2/

Nonel- hidasteiden johdoissa on mukana paloaika, jolloin kytkennöillä voidaan vaikuttaa tahattomastikin hidasteajan lyhenemiseen. Hidasteet tulisikin kytkeä paloletkun loppupäästä toisiinsa, jolloin paloaika olisi mahdollisimman lähellä hidasteen ohjearvoa. Hidasteletkun paloajan vuoksi edes nollan millisekunnin (vihreä) hidaste ei räjähdä välittömästi, vaan siinä on nimellinen kahden millisekunnin hidastus. Tämä seikka on myös huomioitava nallituksen suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi kentän avausta tehtäessä avausreiät tulee kytkeä kiinni samaan nalliin, jolloin tuota kahden millisekunnin viivettä reikien välillä ei pääse syntymään. Erikseen kytkettäessä nallien välillä olisi viive. /3/

Kenttäolosuhteissa virheitä voivat aiheuttaa huolimattomat kytkennät. Panostajien ammattitaito korostuu siis tässä kohtaan. Porareikämallin johto tulee kytkeä kiinni hidasteeseen mahdollisimman läheltä maanpintaa ja hidasteet paloletkunjensa päistä. Silloin hidasteen paloaika vastaa mahdollisimman lähelle suunnitelmassa tarkoitettua, koska letkun koko paloaika on mukana. Eri lailla kytkettäessä hidasteen paloaika lyhenee. /5/

3 NONEL-JÄRJESTELMÄ

3.1 Ominaisuudet

Räjäytysteknisesti Nonel-sytytysjärjestelmä vastaa sytytystä hidasteisilla sähkönalleilla, mutta hidasteaikojen säätelymahdollisuudet ovat parempia ja näin ollen kentän käsittelymahdollisuudet monipuolisempia. Järjestelmänä Nonel on turvallisempi verrattuna sähkönalleihin, sillä se ei reagoi ulkoisiin sähköärsykeisiin lukuun ottamatta suoraa salamaniskua. Nonel-järjestelmää siis voidaan käyttää esimerkiksi voimalinjojen alla ja muissa kohteissa, joissa voisi olla tahattoman syttymisen vaara sähköisen ärsykkeen vaikutuksesta. Ominaisuuksiltaan Nonel-nallit ovat vedenpitäviä, ja soveltuvat myös niin kosteisiin olosuhteisiin maanpinnalla, kuin vedenalaisiinkin louhintoihin. Näiden Nonel-nallien muoviletkut ovat lisäksi pakkasenkestäviä, joten niitä voidaan käyttää myös talvisaikaan. Nonel-järjestelmä on hyvin käyttökelpoinen myös isoissa räjäytyksissä, sillä kerralla räjäytettävien nallien määrällä ei ole ylärajaa. /3/

3.2 Nonel-nallit

Pintahidasteiset nallit (esimerkiksi Nonel-United) eroavat muista käytössä olevista pengelouhintanalleista siinä, että niillä on sama sisäänrakennettu hidasteaika. Hidasteajan ilmaisee nallissa oleva U-arvo, joka tarkoittaa paloaikaa millisekunteina. Tavallisimmin pengelouhinnassa käytetään U 500 -tyypin nalleja, jolloin räjähdysaika on 500 millisekuntia. Kokonaishidasteaika on siis nallin perushidastuksen sekä kytkentäkappaleiden summa. /3/

Syttymiseen Nonel-nallit tarvitsevat räjähdysten, joka tapahtuu pintahidasteiden avulla. Sytyttämisen jälkeen shokkiaalto etenee näissä nalleissa sytytinosaan saakka vahingoittamatta ympäröivää räjähdysainetta, jolloin räjähdys saadaan alkamaan reiän pohjalta. Tämä seikka takaa normaali pengelouhinnassa osaltaan hyvän lopputuloksen. Palo etenee edelleen seuraaviin nalleihin shokkiaallona pintakytkinkappaleiden avulla. Alkusytytys voidaan tehdä esimerkiksi sähkö-

könallia apuna käyttäen, tai kentän sytyttämiseen tarkoitetulla starter-nallilla. /3/
KytKentöjen toimivuutta ei voida varmistaa muuten kuin huolellisella työskente-
lyllä. Tässä suhteessa sähkönallit ovat parempi ratkaisu kohteissa, joissa ken-
tän pakollisella peittämisellä voidaan vaurioittaa kytkentöjä, sillä kentän toimi-
vuutta voidaan seurata peittovaiheessa vastusmittareilla. /1/

Pengerkorkeuden ylittäessä 10 metriä tai olosuhteiden ollessa märät tai kallion
ollessa pahoin rakoillutta, olisi syytä käyttää kahta räjäytysnallia, toinen pohjalle,
toinen sijoitettuna varsipanokseen. Tällä toimenpiteellä halutaan vain varmistaa
jokaisen kenttäreiän sytyminen. Mikäli kahta nallia käytetään, pitää pintaan vali-
ta hidasteajaltaan hitaampi nalli kuin pohjalle. Esimerkiksi pohjalle panostetaan
U475 ja pintaan U500. Näin siksi, että ehkäistään panoksen sytyminen pinnalta
ja minimoidaan kivien sinkoiluvaara siltä osin. Nonel-järjestelmän porareikänallit
hidasteaikoineen on esitettyinä taulukossa 1. /3/

Taulukko 1 Nonel-United porareikänallit

NONEL-UNITED PORAREIKÄNALLIT	
TYYPPI	HIDASTEAIKA
U 400	400ms
U 425	425ms
U 450	450ms
U 475	475ms
U 500	500ms
U 1000	1000ms

Eriarvoisia Nonel-nalleja saa käyttää samassa kentässä keskenään, mutta tois-

ten merkkien käyttäminen samassa räjäytyksessä ei ole sallittua valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Kuvassa 1 on Nonel U 500 -nalleja. /2/



Kuva 1 Nonel U 500 -nalleja /2/

Kuvassa 1 oleva punainen kieppi on nallien paloletkuja. Krominväriset osat sisältävät nallien sisäänrakennetut sytyttimet, joista palo alkaa ja siirtyy seuraaviin nalleihin paloletkuja pitkin. /2/

3.3 Muut pengerialouhintanallit

3.3.1 Elektroniset nallit

Elektroniset nallit ovat käytössä olevista nalleista tarkimmin säädeltävissä., maksimihajonta on vain kymmenesosa (0,1 ms) verrattuna Nonel-järjestemän

yhteen millisekuntiin(1 ms). Nämä nallit soveltuvat erityisen hyvin tärinäherkkiin kohteisiin ja tarkkuuslouhintaan, koska räjähdysajat ovat tarkoin säädeltävissä. Ulkoisille ärsykeille elektroniset nallit eivät ole sen herkempiä kuin Nonel-sarjan nallitkaan. Elektronisia nalleja käyttämällä voidaan räjäyttää jopa 3000 nallia sisältäviä kenttiä. Kalliimman hintatason vuoksi tämä järjestelmä ei ole vielä kovin yleisessä käytössä, mutta yleistyneä tulevaisuudessa huomattavasti. /3/

3.3.2 Sähkönallit

Suomessa pengerialouhinnassa käytetään pääosin joko Forcit Oy:n valmistamia Firex-sarjan sähkönalleja tai Forcit Oy:n maahantuomia Orican-nalleja. /3/

Sähkönalleja käytettäessä merkittävin ero verrattuna Nonel-nalleihin tai elektronisiin nalleihin on, että nallitustyö suoritetaan jo pohjapanosta asetettaessa. Pengerlouhinnassa käytettävät nallit ovat numeroituina välille 1. 20. Jokainen numero vastaa 25 millisekunnin hidasteaikaa, eli numero 1 on varustettu 25 millisekunnin hidasteajalla, numero 20 puolestaan 500 millisekunnin hidasteajalla, loput ovat siltä väliltä porrastetusti. /3/

Toinen myös merkittävä ero Nonel-nalleihin verrattuna on, että sähkönallikenttä tulee saada syttymään samaan aikaan. Tämä seikka aiheuttaa ongelmia varsinkin suurissa kentissä, sillä vastusarvot nousevat helposti niin korkeiksi, että tavallisella kytkennällä laukaisimen kapasiteetti ei riitä räjäyttämään kenttää ilmaan. Vastusarvot määräytyvät nallimäärän sekä käytettävien kytkentäjohtojen vastusarvojen summana. Ratkaisuna nallimäärällisesti suuriin kenttiin ovat ryhmäkytkennät, jolloin kentät voidaan jakaa osiin siten, että sarjojen vastukset saadaan riittävän pieniksi, jotta laukaisijan tehot riittävät. Sallitut erot ryhmien vastusten välillä ovat maksimissaan 5 % toisistaan. /3/

Tällaiset kytkennät sähkönallituksessa aiheuttavat lisätyötä verrattuna muihin nallitustapoihin. Lisäksi sähkönallit ovat erittäin arkoja ulkoisille ärsykeille, ku-

ten voimalinjoille, muuntajille ja muille mahdollisille lähteille, jotka saattavat antaa virtapiikin läpi. Vesisade hankaloittaa myös nallitustyötä, sillä silloin virtaa purkautuu kytkentäpiiristä tavallistakin helpommin maahan. Kytkettäessä sähkönallikenttää, tulisi kytketyt johdot jättää mieluiten ilmaan, jos se vain on mahdollista. /3/

Kentän toimivuus kyllä voidaan ja pitääkin mitata vastusmittarein ennen laukaisua, että saadaan varmuus kytkentöjen toimivuudesta. Tätä tarkistusta Nonel-kentissä ei voida tehdä. /2/

3.4 Nonel-pintahidasteet

Pintahidasteita vaativia porareikänalleja, kuten Nonel-nalleja, käytettäessä kenttä hidastetaan Snapline-tyyppisillä kytkimillä pintahidastuksena. (Snapline-kytkimet esitettynä taulukossa 1.) Nämä kytkinkappaleet sisältävät pienen nallin, jotka räjähtäessään siirtävät paineaallon seuraaville nalleille. /2/

Tavoitteena on varmistaa, että kaikki hidasteet ehtivät sytyttää reikien räjäytysnallit ennen ensimmäisen kiven irtoamista ja ettei yksikään suoraan taempana oleva reikä räjähdä ennen edessä olevia. Nallimäärä ei ole rajoittava tekijä kentän koolle, mutta nallien sisäinen hidasteaika teoriassa on. Nyrkkisääntö 25 ms hidastusaikaa etumetriä kohden antaisi kentän pituudeksi laskennallisesti maksimissaan 20 metriä U500 -tyyppisillä nalleilla, ja silloinkin jo viimeisen rivin sivureiät syttyisivät ensimmäisten reikien räjähtämisen jälkeen. Käytännössä kuitenkin hyvinkin isoja kenttiä on ammuttu ongelmitta, vaikka nuo laskennalliset ajat ovat ylittyneet. Laskennallisesti on kuitenkin olemassa sellainen mahdollisuus, että kaikki nallit ja hidasteet eivät ehdi syttyä ennen kuin ensimmäisten reikien aiheuttama kivien sinkoilu tai liikehdintä repäisee kytkennän irti. /2/

Eri valmistajilla on käytössä samat väritunnisteet käytön helpottamiseksi. Porareikänallin ollessa tyyppiä U 500, ei suositella käytettäväksi rivivälien hidastuksena punaista kytkinkappaletta (25 ms) nopeampaa hidasteaikaa. Nopeampaa

aikaa käytettäessä ristiin menoriski kasvaa, eli taaempänä olevat porareivät voivat räjähtää ennen suoraan niiden edessä olevia reikiä.

U 1000-tyypin porareikänallia käytettäessä suositeltava minimiaika rivivälillä on 42 millisekuntia. Yleinen käytössä oleva tapa hidastaa kenttä on käyttää riviväliin 42 millisekuntia ja sivuille 25 millisekuntia. /2/

Kuvassa 2 on esitettyä kaikki Nonel-sarjan pintahidasteet, ja niitä vastaavat hidasteajat on listattuna taulukossa 2.

Kentän sytyttämisen kannalta Nonel-järjestelmä on helpompikäyttöinen varsinkin nallimäärällisesti isoissa räjäytyksissä verrattuna sähkönallikenttiin, sillä Nonel-järjestelmällä tehty kenttä sytytetään pääosin vain yhdellä, tai kahdella nallilla. Sähkönallikenttä vaatii syttyäkseen virtamäärän, joka sytyttää kaikki kentän nallit samaan aikaan. /3/

Taulukko 2 Snapline-kytkinkappaleiden väritunnisteet

SNAPLINE-KYTKINKAPPALEET	
VÄRITUNNISTE	HIDASTEAIKA
VIHREÄ	0ms(NIMELLINEN 2ms)
KELTAINEN	17ms
PUNAINEN	25ms
VALKOINEN	42ms
SININEN	67ms
MUSTA	109ms
ORANSSI	176ms
RUSKEA	285ms

Taulukon 2 hidasteajat kuvaavat kytkinkappaleiden paloaikaa syttymisestä räjähtämiseen. Huomioitavaa on, että 0 millisekunninkin hidaste sisältää paloaikaa, joka muodostuu paloletkun paloajasta. /2/



Kuva 2 Nonel-hidasteita /3, s. 46/

KytKentäkappaleiden tunnistamista on helpotettu valmistamalla ne erivärisiksi. Väritunnisteet nopeuttavat kytKentätyötä räjäytystyömaalla, sillä panostajat voivat pelkän värin perusteella havaita kytKentäkappaleen hidastearvon. /2/

4 KOERÄJÄYTYKSET

Koeräjäytyksiä suoritettiin yhteistyössä Kuljetus T. Nikanderin kanssa Kouvolan Tykkimäellä sijainneella urakka-alueella. Koekenttiä räjäytettiin yhteensä yksitoista kappaletta tammikuun ja maaliskuun välisenä aikana kevättalvella 2010. Koeräjäytyksissä räjäytettävät kentät jaettiin puoliksi kahteen osaan siten, että kumpikin puoli nallitettiin eri tavoin. Porauksen ja panostuksen osalta koekentät olivat siis yhdenmukaisia, ja syntyneet erot lohkokokoon sekä liikehdintään muodostuivat pelkän nallituksen vaikutuksesta. Kaikki koekentät peitettiin joko raskailla suojamatoilla tai kuvan x3tapaisilla kevyemmällä suojapeitteillä, sillä alueella oli rikkoontuvia kohteita, joiden vuoksi kivien sinkoilua haluttiin estää.



Kuva 3 Kentät peitettiin suojamatoilla

Koeräjäytysten havainnoinnin helpottamiseksi koekenttien osat puolet pyrittiin

peittämään erivärisillä peitoilla, kuten kuvassa 3.

Kaikissa koeräjäytyksissä nallitusajat pidettiin vähintään ohjeenmukaisessa arvossa 25 millisekuntia etometriä kohden. Sivusuunnassa kokeiltiin 0:n, 17:n, 25:n ja 42:n millisekunnin hidasteaikojen vaikutusta, rivivälien hidasteajat vaihtelivat 42:n ja 84:n millisekunnin välillä.

Taulukossa 3 on esitetty koekenttien nallitustapoja. Taulukossa on mukana vain ne koeräjäytykset, joissa nallitus tehtiin yhdenmukaisesti läpi koko koepuoliskon. Muissa koekentissä kokeiltiin lähinnä nallituksen vaikutusta kentän liikehdintään.

Taulukko 3 Koekenttien tietoja

kenttäno.	Nallitustapa	Peitto	Rikkokiviä %	Liike/metriä	etu/m	reikäväli/m	ominaispanostus g/m ³	suurimmat lohkarleet/m	korkeus
kenttä1	42/25	x	6,5	1	1,7	2	465	2	4
kenttä1	67/17	x	0	3	1,7	2	465	0,8	4
kenttä2	42/0	x	0,9	5	1,7	2	420	1,5	10
kenttä2	42/25	x	2,8	2	1,7	2	420	1	10
kenttä3	42/17	x	1,1	3	1,7	2	478	1	10
kenttä3	42/25	x	1,5	1	1,7	2	478	1,2	10
kenttä4	84/25	x	7,3	0	1,7	2	400	2	4

Koekenttien peittämisestä huolimatta voidaan päätellä nallituksella olevan vaikutuksista liikehdintään ja lohkar kokoon kuten taulukon 3 tiedot osoittavat. Lyhyemmät hidasteajat sivuille antoivat lohkar kokolta pienempää louhintajälkeä kuin nallitettaessa pidemmällä ajoilla, lisäksi rikkokiviä esiintyi lyhyemmällä hidasteajoilla vähemmän. Kenttäkokeiden muita päätelmiä ja tuloksia on esitetty

luvuissa 5 ja 6.

5 NALLITUKSEN VAIKUTUKSET KÄSITELTÄVYYTEEN

Hidasteita soveltamalla voidaan räjäytettävää kenttää ohjalla jossain määrin haluttuun suuntaan. Mikäli kenttää halutaan saada liikkeelle nallituksen avulla, onnistuu se parhaiten momentaanista räjähdysainemäärää lisäämällä, eli räjäyttämällä useampi reikä samaan aikaan. Huomioitavaa kuitenkin on se, että tällöin riviväleissä olisi kuitenkin oltava vähintään ohjearvon verran aikaa, ettei kenttä mene lukkoon. Liian lyhyt hidasteaika voi aiheuttaa sen, että edelliset rivit eivät ole ehtineet purkautua seuraavan rivin räjähtäessä niiden päälle, jolloin kenttä menee jumiin, eli lukkoon, koska kivellä ei ole tilaa turvota. Lukkoon meno aiheuttaa pahimmillaan sen, että kenttä pitää porata ja panostaa uudelleen. Lukkoon meno aiheuttaa aina pahoja tärinöitä, joten nallituksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota riittävään aikaväliin rivien välillä.

Eduilla, eli riviväleillä, tulee olla tilaa purkaantua sekä turvota. Jos sitä tilaa ei ole sivusuunnassa tai eteenpäin, kivet purkautuvat heikoimpaan mahdolliseen suuntaan, joka yleensä on ylöspäin, jolloin vahinkoriskit kasvavat hallitsemattoman sinkoilun myötä. /3/

Pelkällä nallituksella kenttään saadaan hyvin liikettä käyttämällä 0 millisekunnin hidasteita sivuille ja räjäyttämällä koko rivi kerrallaan. Taulukossa 3 on esitetty yksinkertaistettu nallituskaavio kytkennästä, jossa räjäytetään koko rivi kerrallaan käyttämällä nolliä sivuille. Kentän sytytys tapahtuu keskeltä, ja palo etenee siitä samanaikaisesti kummallekin sivulle sekä taaksepäin. Riviväleillä on 42:n millisekunnin hidastus

Taulukko 4 Nallituskaavio A

Nallituskaavio					Räjähdysajat (ms)				
		A					A		
0	0	<-42->	0	0	210	210	210	210	210
0	0	<-42->	0	0	168	168	168	168	168
0	0	<-42->	0	0	126	126	126	126	126
0	0	<-42->	0	0	84	84	84	84	84
0	0	<-42->	0	0	42	42	42	42	42
0	0	<-0->	0	0	0	0	0	0	0

Huomioitava seikka on, että nollan käyttäminen kokonaisiin riveihin on yleensä sallittua vain asutuskeskuslouhinnan ulkopuolella momentaanisen räjähdysainemäärän kasvamisesta aiheutuvan tärinävaaran vuoksi, (momentaanisen räjähdysainemäärän kasvu, eli samaan aikaan räjähtävien reikien yhteenlasketun räjähdysainemäärän kasvu lisää luonnollisesti tärinöitä). Samoin on 17 millisekunnin hidasteiden kanssa: tärinävaara kasvaa. /3/

Kuvassa 4 on käytetty kentän kokonaisiin riveihin 17 millisekunnin nallitusta sivuille. Tämänlaisen nallituksen seurauksena kivet ovat pyrkineet kauemmaksi kentän takaosasta kuin nallitettaessa kentän takaosa paikoilleen, kuten kuvassa 5.

Huomioitava seikka on, että tätä liikehdintää kentissä tapahtui, vaikka kaikki koekentät olivatkin peitetty suojamatoilla sinkoiluvaaran ehkäisemiseksi. Nallituksella siis voidaan ohjailla räjähdysten suuntaa, peittämättömillä kentillä liikettä tapahtuisi vain enemmän.



Kuva 4 Kentän takaosaa on liikutettu nallituksella

Mikäli tärinöistä ei alueella ole haittaa, ja kenttää halutaan liikuttaa, on nollien käyttö hyödyksi. Samaan aikaan räjähtelevät reiät antavat lisäpotkua toisilleen, ja näin saadaan enemmän liikettä. Lisäksi louhintajälki on parempaa verrattuna ohjearvoja pidemmillä hidasteajoilla ammuttuun kenttään, sillä lohkokoko on silloin pienempää. Riviväleillä on joka tapauksessa oltava riittävästi aikaa irrota, muuten kentässä on lukkoon menoriski. Suositeltavaa on käyttää vähintään ohjeenmukaista 25 millisekuntia etumetriä kohden. /5/

Räjäytettäessä matoilla peitettyjä kenttiä, tulee nallituksessa käyttää lyhyehköjä aikavälejä, jotta ensimmäiset rivit eivät lennätä suojamattoja pois ennen viimeisten reikien räjähtämistä. Matoilla peitettävät räjäytykset ovatkin tyypillisesti kuutiomäärällisesti pienehköjä. /6/

Jos taas halutaan kentän pysyvän likipitäen paikoillaan, olisi syytä antaa kentälle ohjearvoa enemmän aikaa purkautua, ainakin rivien päistä ja viimeisestä rivistä. Esimerkki tällaisesta kentän loppupäätä hidastavasta nallituksesta on kuvattuna taulukossa 5. Kenttä sytytetään nollalla keskeltä alhaalta, ja palo alkaa edetä sivuille ja taaksepäin.

Kentän loppupään riveille annetaan muuta kenttää enemmän hidasteaikaa, samoin rivien päille. Tämä toimenpide saa aikaan sen, että kenttä räjähtää hyvin vähäisellä liikehdinnällä paikoilleen (Kuva 5). Tämänkaltaista nallitusta voidaan soveltaa esimerkiksi teollisuushallien pohjatöissä tai muissa kohteissa, joissa tarkoituksena on vain irrottaa kiveä pohjan tasausta varten.

Taulukko 5 Nallituskaavio B

Nallituskaavio					Räjähdyssajat (ms)				
		B					B		
42	25	<-67->	25	42	327	285	260	285	327
42	25	<-67->	25	42	260	218	193	218	260
42	25	<-42->	25	42	193	151	126	151	193
42	25	<-42->	25	42	151	109	84	109	151
42	25	<-42->	25	42	109	67	42	67	109
25	25	<-0->	25	25	50	25	0	25	50

Tällainen nallitustapa jättää viimeiset reiät ja takarivin melkein paikoilleen, joskin lohkarikoko on siinä tapauksessa hieman suurempaa. Kuvassa 4 on kenttä, jonka takaosa on hidastettu muuta kenttää pidemmällä hidasteajoilla, ja kivi on saatu jäämään lähemmäksi kentän takaosaa.



Kuva 5 Kentän takaosa on hidastettu paikoilleen

Kuvassa 5 oleva räjäytys oli tarkoitettu tasattavaksi paikoilleen, silloin oli eduksi, ettei louhe lähtenyt liikehtimään pois paikoiltaan räjäytyksen seurauksena, jolloin kentän tasaaminen saatiin suoritettua nopeasti.

Nallituksella voidaan myös kääntää räjäytettävää kenttää poispäin alueella mahdollisesti olevasta rikkoontuvasta kohteesta, esimerkiksi rakennuksesta.

Jos kentän toisella sivulla on jotakin särkyvää, mitä räjäytyksessä tulee varjella, voidaan ampua ohjata esimerkiksi seuraavasti: Sytytetään kenttä keskeltä, ja laitetaan särkyvän kohteen puolelle pidempi hidasteaika kuin toiselle. Tämä toimenpide pyrkii suuntaamaan räjäytystä poispäin rikkoontuvasta kohteesta, ja myöhemmin lähtevä puoli ikään kuin hyppää aiemmin irronneen päälle. /5/

Kentän liikehdintään ja purkautumissuuntaan voidaan nallituksella siis vaikuttaa. Kivien hallitsematon sinkoilu ei sen sijaan johdu niinkään nallituksesta, kuin ominaispanostuksesta. Lisäksi jos paikallisesti jonkun reiän panostusaste on huomattavan suuri, on silloin sinkoiluvaara hyvinkin ilmeinen. Liian suuren ominaispanostuksen pystyy vielä jotenkin hallitsemaan nallituksen avulla, liian pieni ominaispanostus puolestaan on arvaamaton käyttäytymään halutulla tavalla. Jos ominaispanostusta ei ole riittävästi kiven irrottamiseen haluttuun suuntaan, purkautuminen tapahtuu heikoimpaan suuntaan, ja se on yleensä ylöspäin ja seurauksena on kivisadetta. Lisäksi tärinät lisääntyvät. /3/

6 NALLITUKSEN VAIKUTUKSET LOHKAREKOKOON

6.1 Paikoilleen räjäytettävä kenttä

Mikäli kenttä halutaan räjäyttää paikoilleen, tulee sillä olla riittävästi aikaa purkaantua. Tällöin tulee käyttää vähintään ohjearvon mukaisia suositusaikoja riviväleillä, mutta lisäksi tulee huomioida, että myös kentän sivujen reiille annetaan tarpeeksi aikaa, ja ne tulisi mieluiten nallittaa räjähtämään yksi kerrallaan. Muuten käy niin, että lähekkäin toisiaan räjähtelevät reiät antavat toisilleen lisäpotkua, ja kenttä alkaa liikkua. Toinen tärkeä seikka on suunnitella kentälle varovainen avaus yhdellä tai kahdella avausreiällä, ei koko rivillä. Iso avaus antaa tilaa taemmille reiille, ja liikehdintä purkusuuntaan lisääntyy. /5/

Koekentät osoittivat, että lohkarokooltaan pienin louhintajälki noissa Tykkimäen olosuhteissa saatiin aikaan silloin, kun riviväleillä oli mahdollisimman lähelle ohjearvoa (25 millisekuntia/ etumetri) oleva hidasteaika. Edun pituus koekentissä oli 1,7 metriä, ja lohkarokoolta pienin louhintajälki saatiin, kun riviväleillä käytettiin 42 millisekunnin hidastimia, mikä on laskennallisesti optimi. Pidemmän hidasteajan käyttö vertailuissa jätti lohkarokoon suuremmaksi ja selkeitä rikkoviäkin muodostui. (Kuvassa 5 näkyvät suurimmat lohkarokooltaan noin

6. 7 kuutiometriä ja vaativat uudelleen rikutusta.) Koekentistä ilmeni, että parhaiten ne saatiin jäämään paikoilleen, kun rivien viimeisiä reikiä hidasti muuta kenttää enemmän, esimerkiksi taulukossa 4 olevan mallin mukaisesti.

Huomioitava seikka on, että tällöin louhintajälki oli karkeampaa, ja rikkokiviäkin ilmaantui. Rikkokivien esiintymistä on odotettavissa silloin, kun kenttä on tarkoitukseen räjäytetty paikoilleen, lohkokoko jää silloin suuremmaksi verrattuna kenttään, jota on varaa liikuttaa nallituksen avulla. Paras louhintajälki tehtyjen kenttäkokeiden perusteella paikalleen räjäytettäessä kenttää syntyy silloin kun käytetään mahdollisimman lähelle ohjearvoja olevaa aikaa, eli 25 millisekuntia etumetriä kohden ja maltillisesti sivuille hidastaen.



Kuva 6 Rikkokiviä

Kuten kuva 6 osoittaa, rikkokivien muodostuminen räjäytystöissä aiheuttaa lisätöitä ja lisäkustannuksia, sillä suuret lohkokareet on käsiteltävä uudelleen. Aina

niitä ei voida olosuhteiden vuoksi välttää, mutta nallitusta suunniteltaessa voidaan tehdä rikkokiven määrää vähentäviä valintoja, mikäli paikka sen mahdollistaa.

Rikkokiviä muodostui optimaalisilla nallituksillakin, mutta täyttä varmuutta ei saatu siitä, muodostuivatko ne ryöstöinä kenttien takaosasta vai kenttien keskeltä kansikivestä. Joka tapauksessa niitä muodostui myös käytettäessä 42 millisekuntia taakse ja 25 millisekuntia sivuille ruutukoon ollessa 1,7 m x 2,0 m. (Kuva 7A)

Taulukko 6 Nallituskaavio C

Nallituskaavio C					Räjähdyssajat (ms) C				
67->	17	25	25	<-42	344	361	260	235	210
67->	17	25	25	<-42	277	294	218	193	168
67->	17	25	25	<-42	210	227	176	151	126
67->	17	25	25	<-42	134	151	134	109	84
67->	17	25	25	<-42	67	84	92	67	42
0	17	25	25	0	0	17	50	25	0

Taulukko 6 kuvastaa pelkistetysti Kuvissa 7A ja 7B käytettyjä nallitustapoja. Koekenttä jaettiin kahtia, ja sytytettiin alakulmista.

Kentässä toisella puolella käytettiin nallituksena 67 millisekuntia rivivälillä, ja 17 millisekuntia sivuille (Kuva 7B). Siinä rikkoja ei muodostunut ja lähemmin toisiinsa räjähtelevät reiät näyttivät pilkkovan kiveä paremmin verrattuna pidempään aikaväliin. Huono puoli oli, että kenttä pyrki liikkumaan jonkin verran eikä pysynyt niin hyvin paikoillaan kuin oli tarkoitus.



Kuva 7A Oikea puoli kentästä

Kuvan 7A nallitus oli ohjeidenmukainen, optimaalinen nallitustapa koekentän ruutukokoon nähden. Sekään ei kumminkaan taannut hyvää lopputulosta, mutta lohkokoko onkin usein suurempaa silloin, kun kentän pitäisi pysyä paikoillaan. Kuvien 7A ja 7B koekentillä oli täsmälleen sama ominaispanostus, noin 450 grammaa räjähdysainetta kuutiometrille.



Kuva 7B Vasen puoli kentästä

Kuvasta 7B voidaan todeta, että käytettäessä lyhyempää hidasteaikaa sivureiille, on lohkokoko pienempää verrattuna pidempään hidasteikaan.

Ryöstökiviksi kutsutaan kiviä, jotka lähtevät tahattomasti kentän takaa tai sivuilta irti räjähdysten seurauksena. Yleensä niitä voi muodostua vain kentän takaosasta, sillä kentän sivut on tavallisesti rajattu rakolinjojen avulla. Ryöstökiviä voi muodostua, jos esimerkiksi kentän takaosassa esiintyy vaakasuuntainen halkeama. Viimeinen reikärivi täräyttää kalliota ja saa ylimääräistä kiveä mukaansa, ja tällöin muodostuu ryöstökiviä. (Kuva 8)

Varsinkin suurissa louhintakohteissa tällaisten ryöstökivien muodostuminen saattaa aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia lastauksen ja kuljetuksen osalta, jos louhittua kiveä muodostuu huomattava määrä laskennallista enemmän. Sitä

kautta se voi pahimmillaan vaikuttaa jopa aikataulujen viivästymiseen ja aiheuttaa sanktioita urakassa.



Kuva 8 Ryöstökiviä

Kuvassa 8 kentän takaosan räjähtäminen on saanut kalliosta irtoamaan noin metrin pituisen, kuusi metriä leveän kiilan. Tämänkaltaisia kivien irtoamisia kutsutaan ryöstökiviksi. Koekentissä ryöstökiviä esiintyi kaikenlaisilla nallituksilla, ei vain millään tietyllä, joten todennäköisesti niiden muodostuminen ei ole nallituksella säädeltävissä.

6.2 Liikutettava kenttä

Mikäli tärinävaaraa ei ole ja kenttää saa liikuttaa, voidaan momentaanisen räjähdysainemäärän kasvun antamaa hyötyä käyttää pilkkomaan kiveä pienemmäksi. Parhaiten se tapahtuu räjäyttämällä koko rivi kerrallaan. Nallitusesimerkki on kuvattuna taulukossa 4, s. 18.

Kun kenttää voidaan liikuttaa, iskevät kivet enemmän toisiinsa ja louhintajälki on silminnähten parempaa verrattuna paikoilleen räjäytettävään kenttään. (kuva 7)

Pelkän nallituksen avulla saadaan siis muokattua lohkokokoa, jos olosuhteet ovat sellaiset, että kenttään voidaan nallittaa liikettä lyhyempiä hidasteaikoja käyttäen. (Kuva 8)



Kuva 9 Lyhyellä ajalla nallitettu louhos

Kuten kuvasta 9 voidaan päätellä, louhintajälki on lyhyemmällä hidasteajalla nallitettuna lohkokoolta huomattavasti pienempää kuin samanlaisella ominaispanostuksella nallitetun vertailukentän louhintajälki kuvassa 6. Kuvassa 9 suurimmat näkyvät lohkokareet ovat kooltaan noin 80 cm.

6.3 Lohkarekoon vaikuttavat tekijät

Nallitus ei ole ainoa eikä tärkein seikka, jolla on vaikutusta lohkarekoon muodostumiseen räjäytystöissä. Nallitusta merkittävämpi vaikutus lohkarekoon muodostumiseen on kallion laadulla, ominaisporauksella sekä ominaispanostuksella.

Ominaispanostuksen pysyessä vakiona reikäkokoja pienentämällä saadaan nostettua ominaisporauksen määrää ja räjähdysaineet jakautuvat tasaisemmin kallioon. Tämän seurauksena lohkarekoko on pienempää. Ominaispanostuksen kasvattaminen yleensä kasvattaa myös ominaisporausta, mutta samalla pienentää lohkarekokoja. Etutäytettä pienentämällä saadaan kansikiveen kohdistuva räjähdysainemäärä suurenemaan, jolloin rikkokivet vähenevät. Etutäytteen pienentäminen kuitenkin lisää sinkoiluvaaraa eikä siksi ole suositeltavaa ainakaan silloin, kun alueella on rikkoutuvia kohteita./4/

Ominaispanostuksen on pysyttävä sellaisella tasolla, että räjäytys on yleensä mahdollista suorittaa. Mitä enemmän räjähdysainetta kenttä sisältää kuutiometriä louhittavaa kiveä kohden, sitä hienompaa lohkarekoosta tulee.

Kallion rakoilu voi olla iso ongelma, sillä pahoin rakoilleessa kalliossa räjähdysten aiheuttama paineaalto pääsee purkautumaan ohi hajotettavan kiven, ja silloin lohkarekoko suurenee ja rikkokiviä muodostuu. Räjäytyksen suunnan oikealla valinnalla on merkitystä mahdollisimman pieneen lohkarekoon pyrittäessä. Purkusuunta kentälle tulisi valita siten, että se olisi kohtisuorassa liuskeisuutta ja rakoilua vasten. Porausreikien sijoittelussa on pyrittävä saamaan ne mahdollisimman ehjiin kallio-osiin. /4, s. 63/

7 POHDINTA

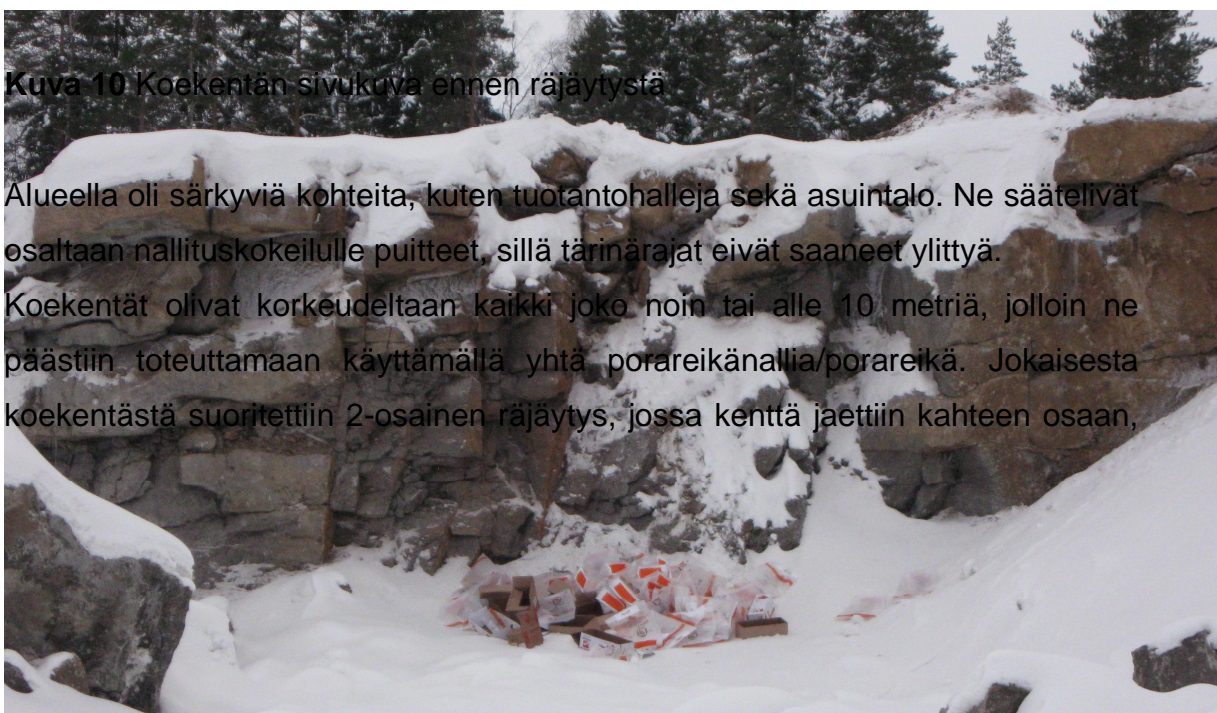
Silmämääräisesti kaikkien koekenttien luonnolliset rakoilut kallion pinnalta tarkasteltuna olivat vähäisiä (kuva 9) eikä kivilaadun vaihtelua koekentissä esiintynyt. Tarkempia kallion laadun tutkimuksia alueella ei suoritettu. Lisäksi talvinen sää haittasi jonkin verran havainnointia.



Kuva 10 Koekentän sivukuva ennen räjäytystä

Alueella oli särkyviä kohteita, kuten tuotantohalleja sekä asuintalo. Ne säätelivät osaltaan nallituskokeilulle puitteet, sillä tärinärajat eivät saaneet ylittyä.

Koekentät olivat korkeudeltaan kaikki joko noin tai alle 10 metriä, jolloin ne päästiin toteuttamaan käyttämällä yhtä porareikänallia/porareikä. Jokaisesta koekentästä suoritettiin 2-osainen räjäytys, jossa kenttä jaettiin kahteen osaan,



jotka kumpikin puoli nallitettiin eri tavoin. Näin saatiin vierekkäisistä ja peräkkäisistä kentistä vertailukohtia, jolloin vinohalkeilut ja mahdolliset muut kalliorakoin lun vaikutukset koetuloksiin saatiin minimoitua.

Ruutukoko oli koekentissä noin 1,7 metriä x 2,0 metriä, ja reikäkokona oli 64 millimetriä. Kivilaatualueella oli rapakivi, joka homogeenisillä ominaisuuksillaan tarjosi erittäin hyvät puitteet kokeiluille, sillä se on kivilaadusta tasalaatuisimpia. Erilaiset kivilaadut luultavastikin reagoisivat eri lailla nallituksen vaikutuksiin, ja nallituksen soveltaminen tulisi suunnitella paikka- ja tapauskohtaisesti.

Työssä oli myös tarkoituksena tutkia, onko pelkällä nallituksella vaikutuksia kivien sinkoiluun. Siltä osin kokeilut piti jättää tekemättä, sillä alueella oli särkyviä kohteita, eikä mitään ylimääräisiä riskejä haluttu ottaa. Lähellä rakennuksia räjäytetyt kentät peitettiin kaikki suojamatoilla, jolloin tietoa siitä, vaikuttiko nallitus kivien sinkoiluun, ei saatu. Jonkinlaisia sattumaroiskaisuja ilmeni kuitenkin jokaisessa koekentässä, mutta ne johtuivat todennäköisemmin yksittäisen reiän liian suuresta panostusasteesta kuin nallituksesta.

8 YHTEENVETO

Kenttäkokeista selvisi, että pelkällä nallituksella voidaan vaikuttaa niin lohkarikoon muodostumiseen kuin kentän käsiteltävyyteenkin. Lohkarekoko saadaan pienemmäksi jos tärinäistä ei ole haittaa ja räjäytettävään kenttään voidaan nallittaa liikettä. Lohkarekoko ei siis ole vain käytetystä räjähdysainemäärästä riippuvainen, vaan nallituksella on siihen oleellinen vaikutus, jos sen tuomia etuja on mahdollista hyödyntää. Toki ominaispanostuksen on oltava kohdallaan, että nallituksella voidaan hienosäätää haluttua louhintajälkeä. Joka tapauksessa nallitusta säätämällä louhintajälkeen voidaan vaikuttaa.

Täydelliseen nallituksen vaikutuksen tutkimiseen pitäisi suorittaa satoja räjäy-

tyksiä erilaisilla kivilaaduilla ja lukuisilla toistoilla. Kuitenkin jo näillä koeräjäytyksillä voidaan todeta, että nallituksen avulla voidaan vaikuttaa haluttuun lopputulokseen.

Urakka-alueella olleet rakennukset osaltaan haittasivat kokeilujen suorittamista, sillä mitään riskejä ei haluttu ottaa. Kentän liikehdinnästä nallituksen avulla olisi luultavasti saatu selkeämpiä tuloksia, mikäli koekenttiä ei olisi tarvinnut peittää.

Paras mahdollinen lopputulos saadaan, kun niin, poraus, panostus kuin nallituskin suoritetaan sopivassa harmoniassa keskenään, ammattitaitoisten alansa osaajien toimesta ja vallitsevat sääolosuhteet sekä kallion laatu huomioon ottaen.

KUVAT

Kuva 1. Nonel U 500 -nalleja, s. 10.

Kuva 2. Nonel. hidasteita, s. 14.

Kuva 3. Kentät peitettiin suojamatoilla, s. 15.

Kuva 4. Kentän takaosaa on liikutettu nallituksella, s. 19.

Kuva 5. Kentän takaosa hidastettuna paikoilleen, s. 21.

Kuva 6. Rikkokiviä, s.23.

Kuva 7A. Oikea puoli kentästä, s. 25.

Kuva 7B. Vasen puoli kentästä, s. 26.

Kuva 8. Ryöstökiviä, s. 27.

Kuva 9. Lyhyellä ajalla nallitettu louhos, s.28.

Kuva 10. Koekentän sivukuva ennen räjäytystä, s. 30.

TAULUKOT

Taulukko 1. Nonel-United porareikänallit, s. 9.

Taulukko 2. Snapline-kytkinkappaleiden väritunnisteet, s. 13.

Taulukko 3. Koekenttien tietoja, s. 16.

Taulukko 4. Nallituskaavio A, s 18.

Taulukko 5. Nallituskaavio B, s. 20

Taulukko 6. Nallituskaavio C, s. 24.

LÄHTEET

- 1 Hakapää A. & Lappalainen P. 2009. Kaivos- ja louhintatekniikka. Kai-vannaisteollisuusyhdistys ry: Opetushallitus, Vammala
- 2 Nonel käyttäjän opas, Forcit, 2008.
<http://www.forcit.fi/wp-content/uploads/2009/05/NONEL-Käyttäjänopas-02.06.2008.pf> (LUETTU 15.2.2010)

- 3 Vuolio R. ja SML:n Maarakentajapalvelu Oy. 2008. Räjätysopas 2008. Gummerus kirjapaino, Jyväskylä
- 4 Vuolio, R. 1991 Räjätystyöt. 3. uusittu ja laajennettu painos: Suomen Maarakentajien keskusliitto ry. Forssan kirjapaino Oy, Forssa
- 5 Asp. Rauno. Ylipanostaja. Kuljetus T. Nikander Oy. Haastattelu 10.2.2010.
- 6 Vartiainen. Sami. Panostaja. Freelancer. Haastattelu 29.3.2010.