

**DIGITAALISET APUVÄLINEET
RÄJÄYTYSTEN SUUNNITTELUSSA**

Tiittala Jarkko

Opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2022

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Jarkko Tiittala	Vuosi	2022
Ohjaaja	Juha Vesa		
Työn nimi	Digitaaliset apuvälineet räjäytysten suunnittelussa		
Sivu- ja liitesivumäärä	38		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, minkälaisia digitaalisia apuvälineitä louhintatyön suunnittelun tueksi on olemassa ja millaisia hyötyjä niillä voidaan saavuttaa räjäytysten suunnittelussa.

Tutkimustyön aikana tutustuttiin apuvälineisiin ja käsiteltiin niiden ominaisuuksia. Apuvälineitä käytettiin työmaalla ja niillä saatuja tietoja hyödynnettiin räjäytysten suunnitteluohjelmassa. Räjäytyksiä valitussa kohteessa suoritettiin sekä suunnitteluohjelman avustamana että perinteisin työtavoin. Räjäytyksien vertailu suoritettiin värinämittaustulosten ja visuaalisten havaintojen perusteella.

Työn tuloksena saatiin vertailukelpoisia tietoja räjäytyksistä. Näiden tietojen perusteella voitiin osoittaa, että apuvälineiden käytöllä on mahdollisuus parantaa työn laatua ja turvallisuutta, mutta ne eivät voi suoraan korvata kokemusta käytännön työstä.

Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Jarkko Tiittala	Year	2022
Supervisor	Juha Vesa		
Subject of thesis	Digital tools in blasting planning		
Number of pages	38		

The purpose of this thesis was to find out what kind of digital tools can be used as a part of blasting planning and what kind of advantage they can give to blasting planning.

In this thesis study digital tools were introduced and their features were discussed. Digital tools were used on a construction site and information obtained with them was utilized in the blasting planning program. Blasts on the selected site were carried out both assisted by the blasting planning program and in traditional ways of working. Comparisons of blasts were performed based on vibration measurement results and visual observations.

Based on this information, it could be demonstrated that the use of digital tools has the potential to improve the quality and safety of work but they cannot directly replace the experience of practical work.

Key words

Blasting, O-Pitblast, Laser scanning

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 LOUHINTA SUOMESSA	7
2.1 Louhinnan historiaa	7
2.2 Louhinta nykypäivänä	8
2.3 Turvallisuusnäkökulmat	14
3 APUVÄLINEET JA MENETELMÄT	16
3.1 Laserkeilaus.....	16
3.2 Reikäsuoruuden mittaus	17
3.3 GPS-mittaus	18
3.4 Suunnitteluohjelmat	19
4 TULOKSET JA VERTAILU	21
4.1 Kohde	21
4.2 Suunnittelu ja toteutus	23
4.2.1 Kenttä 3.....	23
4.2.2 Kenttä 6.....	24
4.2.3 Kenttä 7	26
4.2.4 Kenttä 9.....	27
4.3 Tuloksien vertailu	31
5 POHDINTA	36
LÄHTEET	38

SANASTOA

Anfo	Ammoniumnitraatti-polttoöljy räjähdysaine
Etu	Peräkkäisten reikien etäisyys
Kansi	Panostamaton osa porareistä
Lusta	Kalliossa esiintyvä halkeama
Ms	Millisekunti
Ominaispanostus	Kg räjähdysainetta / m ³ kalliota
Panostusaste	Kg räjähdysainetta / metri porareissä
Q _m	Momentaaninen, samanaikaisesti räjähtävä
Reikäväli	Vierekkäisten reikien etäisyys
Rikkokivi	Louhinnassa liian suureksi jäänyt lohkar, joka vaatii pienentämistä ennen murskausta

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, miten voidaan digitaalisia apuvälineitä hyödyntää louhinta- ja räjäytystyön suunnittelussa. Tutkimukset suoritetaan avolouhintakohteissa Suomessa. Aihe on valittu, koska aihealueesta on tehty vain vähän tutkimuksia ja digitalisaation aikakaudella myös louhinta-alalla on tarvetta kehittyä. Opinnäytetyö tehdään yhteistyössä Kreaten kanssa käyttäen heidän välineitään ja suunnitteluohjelmiston lisenssiä.

Teoriaosuudessa käsitellään louhinta-alaa yleisellä tasolla, käydään läpi käytössä olevia toimintatapoja ja menetelmiä sekä tarkastellaan turvallisuusnäkökulmia avolouhinnassa. Tutkimustyössä esitellään käytettävät laitteet ja tutustutaan niiden käyttöön työmaalla. Lopuksi vertaillaan louhintatyön tuloksia muihin vastaavassa kohteessa tehtyihin räjäytyksiin.

Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä louhinnan perusteita, vaan tämä on suunnattu enemmänkin alan kokemusta jo entuudestaan omaaville. Työn ulkopuolelle on rajattu myös koneohjaus poravaunuissa ja muut työnaikaiset apuvälineet keskittyen räjäytysten suunnitteluun. Myöskään maanalaista louhintatyötä ei käsitellä tämän työn osana.

2 LOUHINTA SUOMESSA

2.1 Louhinnan historiaa

Louhinta-alalla on pitkä historia Suomessa, ja se on vuosien saatossa kehittynyt monilla paikkakunnilla merkittäväksi työllistäjäksi kaivosten muodossa. Myös peruskallio on Suomessa ja muissa Pohjoismaissa esimerkiksi Etelä-Eurooppaan verrattuna huomattavasti kovempaa ja edellyttää usein louhintaa infrarakentamisen yhteydessä.

Ennen teollista aikakautta louhintaa suoritettiin käsityökaluilla ja ne liittyivät pääasiassa linnojen ja kirkkojen rakentamiseen. Sen ajan tyypillistä louhintatekniikkaa oli kiilausmenetelmä. Siinä kiven tai kallion pintaan tehdään hakulla kiilausvako, johon kiilat asetellaan. Kiiloja lyödessä kivi alkaa rakoilla lopussa haljeten. Kaivostoiminta Suomessa on alkanut merkittävässä määrin keskiajalla ja rakennuskiveä on käytetty myös katujen, siltojen ja laitureiden rakentamiseen.

1700-luvun loppupuolella menetelmät ottivat askeleen eteenpäin käsiporauksen tullessa kiilausmenetelmän rinnalle. Siinä työtä tehtiin kahden tai kolmen miehen ryhmässä. Heistä yksi piti ja kiersi porakankea muiden lyödessä kangen päähän leikalla. Edelleen suurin osa rakennuskivestä meni linnoitustyömaille, mutta 1700-luvun jälkipuoliskolla kiveä käytettiin myös tulipaloissa tuhoutuneiden puukaupunkien jälleenrakentamiseen, sekä maaseudulla kiviavetoihin. (Niukkanen 2009, 46.)

Räjähdysaineiden keksimisen myötä myös louhinta-ala koki suuren muutoksen. Eryityisesti dynamiitin keksiminen vuonna 1866 kehitti työtä suuresti, mutta samalla myös muutti louhinta-alan luonnetta. Kiven irrottaminen räjäyttämällä teki työstä ympäristölle vaarallista ja edellytti enemmän huolellisuutta. Samanaikaisesti se kuitenkin avasi uudenlaisia mahdollisuuksia kalliorakentamisessa. Tällöin kasvoi myös rakennuskiven kysyntä ja käyttö. Uudet menetelmät mahdollistivat myös maanalaisten kalliorakennuskohteiden louhinnan. Ensimmäinen kohde Suomessa oli 1898 valmistunut Pohjankurun rautatietunneli, jolla oli mittaa 156 metriä (Marsio ym. 1987, 19).

1900-luvulla ja erityisesti sotien jälkeisessä Suomen jälleenrakennusvaiheessa louhinta-ala työllisti enenevässä määrin työmiehiä. Tienrakennushankkeissa ja rakennustyömailla ympäri Suomen maan räjäytettiin kalliota. Tuolloin kallion po-raaminen tapahtui enimmäkseen paineilmakäyttöisillä käsikoneilla ja työ oli ver-rattain hidasta. Kuviossa 1 työmiehiä Meilahden sairaalan rakennustyömaalla 1950-luvun lopulla (Kähkönen 2016, 3).



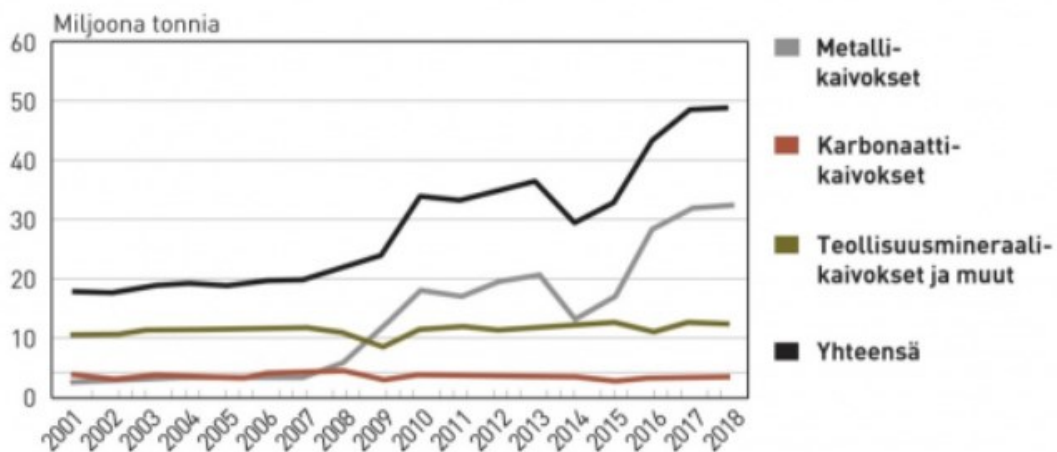
Kuvio 1. Louhintaa 1950-luvulla (Heinonen)

2.2 Louhinta nykypäivänä

2020-luvun rakentamisessa louhinnalla ja kiviaineksen käytöllä on suuri merkitys. Pohjoiset olosuhteet ja routiva maaperä vaativat paljon kiviainesta, ja niitä käytetäänkin 100 miljoonaa tonnia vuodessa (INFRA ry). Murskattua kiviainesta käytetään tie- ja ratarakentamisessa, rakennusten pohjiin, rakennusaineeksi ja kunnossapitoon. Infrarakentamisessa ja kaivostoiminnassa siviiliräjähteitä Suomessa kuluu vuosittain arviolta 65 000 000 kiloa (Forcit).

2008 alkaneen kaivosbuumin myötä ovat malmi- ja hyötykivilouhinta Suomessa lisääntyneet reippaasti, kuten kuviosta 2 käy ilmi. Vuoden 2018 lopulla kaivoksia oli 46 ja ne työllistivät noin 5100 henkilöä (Kaivosteollisuus 2020). Kaivosala on kuitenkin herkkä suhdanteiden vaihtelulle ja kaivokset ovat riippuvaisia maailmanmarkkinoista. Tulevaisuudessa voikin olla, että louhittavat mineraalit ovat esimerkiksi sähköautojen akkuihin tarvittavia, ja perinteisemmissä kaivoksissa toiminta joudutaan keskeyttämään. Joka tapauksessa kaivosten rooli työllistämässä on tärkeä erityisesti paikallisella tasolla. Esimerkiksi Kittilässä Agnico Eaglen kultakaivos tuo yli kolmasosan työpaikoista. Myös vientiin vaikutukset ovat merkittäviä. Kemi-Tornion alueen osuus Suomen viennistä on 8 % ja tärkeä rooli on Kemin kaivoksella ja Tornion terästehtaalla (Kaivosteollisuus 2020).

Malmi- ja hyötykivilouhinta 2001-2018



Kuvio 2. Louhintamäärät kaivoksissa (Kaivosteollisuus)

Työmenetelmät ovat olleet samankaltaisia jo vuosikymmeniä. Kallioon porataan reiät hydraulisella poravaunulla suunnitelman mukaisesti, kuten aikaisemmin tehtiin käsikoneilla. Louhintatyön tehokkuus ja tarkkuus on toki vuosien saatossa kehittynyt, uuden teknologian mahdollistaessa jopa etäohjatut poravaunut. Ne tulevat luultavasti yleistymään kaivostoiminnassa, mutta vaihtelevissa olosuhteissa infrarakentamisessa tehokkaan toiminnan edellytys on ammattitaitoinen porari vaunussaan. Nykypäivän tehokkaammat poravasarat mahdollistavat huomattavasti aikaisempaa suurempien reikäkokojen käytön. Reikäkoon kasvaessa myös reikäväli ja etu kasvavat suhteessa. Tämän vuoksi porausvirheen vaikutukset ovat suuremmassa roolissa, ja niihin on syytä kiinnittää huomiota.

Panostamisessa merkittävimpiä muutoksia 2000-luvulla on bulk-emulsioräjähdyksaineiden käytön yleistyminen. Emulsioräjähdyksaineiden valmistajia on muutamia, ja kaikilla perusemulsio on samankaltainen. Yksi tuotemerkki on Forcitin valmistama Kemiitti. Panostaminen Kemiitillä on taloudellista ja tehokasta, ja aikaisemmin yleisimpänä räjähdysaineena massalouhinnoissa käytettyyn Anfoon verrattuna myös ympäristölle parempi vaihtoehto. Emulsioräjähdyksaineiden palaminen on täydellisempää ja se vähentää haitallisten räjähdyskaasujen määrää. Anfot ja muut ammoniumnitraattipohjaiset räjähdysaineet lisäävät myös vesistöjen rehevöitymistä suuren typpipitoisuuden vuoksi. Myös muiden räjähdysaineiden kohdalla kemialliset ominaisuudet ovat jatkuvan kehitystyön ansiosta parantuneet. Tämä mahdollistaa aikaisempaa korkeamman panostusasteen ja tuo kustannussäästöjä porametrien, sytytysvälineiden ja panostustyön vähentyessä.

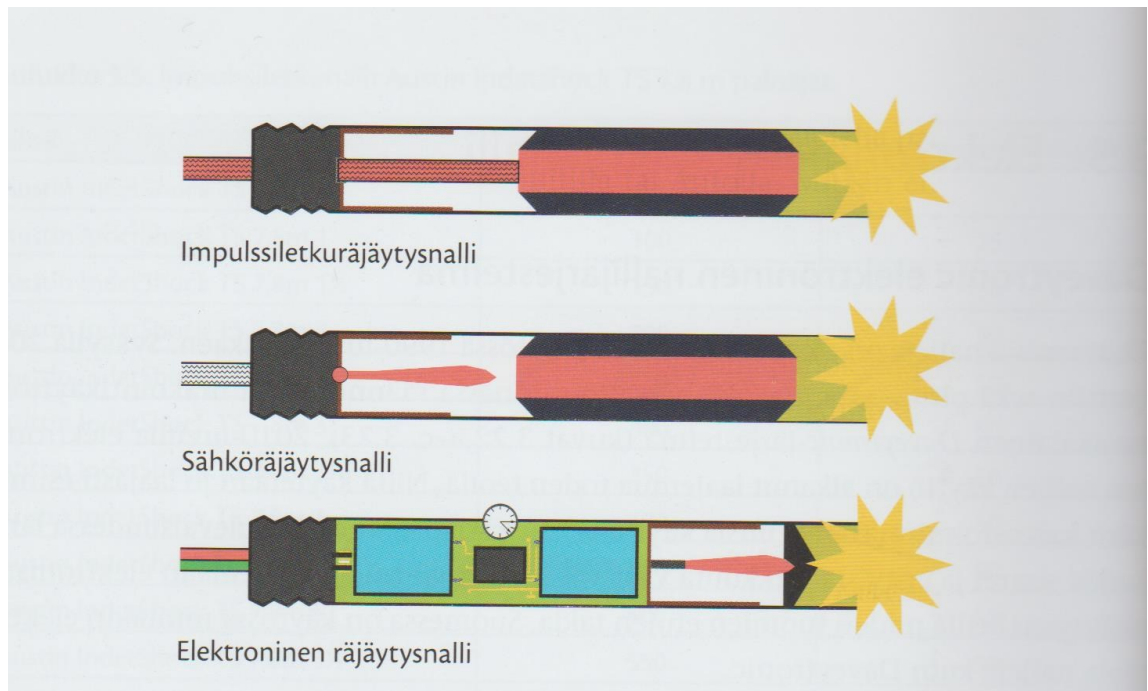
Emulsioräjähdyksaineet kuten Kemiitti tulevat maanpäällisessä louhinnassa panostuspaikalle kuorma-autolla. Vasta siinä vaiheessa emulsiomatriisi herkistetään lisäaineella ja pumpataan suoraan reikään. Kuviossa 3 panostaja syöttää panostusletkua porareikään ja autosta pumpataan reikään sopiva määrä räjähdysainetta. Kemiitti on myös täysin vedenkestävää, joten valmisteluvaiheesta jää pois vesireikien puhaltaminen kuivaksi.



Kuvio 3. Panostamista Kemiitillä (Forcit 2020)

Nallituksen käyttö olennainen osa kokonaisuutta ja nykypäivänä käytettävät nallit voidaan jakaa kolmeen pääryhmään, sähkö-, impulssiletku- ja elektronisiin nallisiin.

Impulssiletku- ja sähkönalleissa aikaansaadaan eri aikaan räjähtävien nallien syttymisviive pyroteknisestä massasta tehdyllä hidaste-elementillä. Elektronisissa nallissa viive aikaansaadaan mikropiirillä. (Kuvio 4; Vuolio & Halonen 2017, 64.)



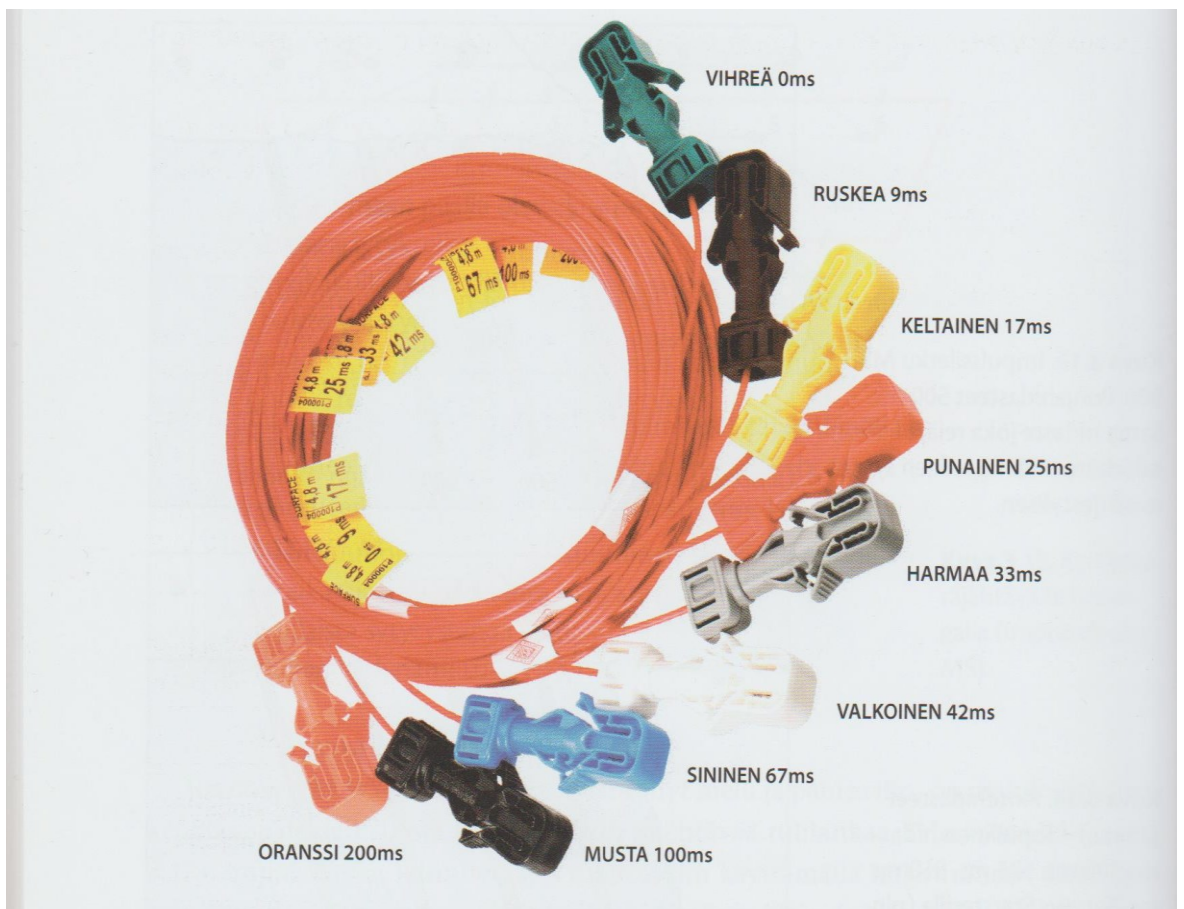
Kuvio 4. Erilaisia nallityyppejä (Vuolio & Halonen 2017, 64)

Sähkönallit ovat olleet louhintakäytössä 1900-luvun alkupuolelta, ja ovat edelleen hyvin yleisiä. Niiden etuna on toimintavarmuus ja matalat kustannukset verrattuna muihin käytössä oleviin nallityyppeihin. Erityisesti panostettua kenttää kumimatoon peitettäessä, on sähkönallien muodostaman virtapiirin toimintaa helppo seurata vastusmittarista.

Käyttöä rajoittavia tekijöitä ovat hidasteaikojen rajoitettu määrä sekä tahattoman syttymisen vaara. MS-sarjan nallinumeroissa 1-20 hidasteajat ovat 25 millisekunnin välein 25-500 ms ja numeroissa 21-30 hidasteajat ovat 50 millisekunnin välein 550-1000 ms (Forciti). Sähkönallien tahaton syttyminen on mahdollista esimerkiksi ukkosen, voimalinjojen tai lähettimien läheisyydessä.

Impulssiletkunallit kehiteltiin 1970-luvun alussa Nitro Nobel yhtiön toimesta, ja tuotiin markkinoille vuonna 1973 (Dyno Nobel). Impulssiletkunallit ovat turvallisia käyttää myös voimakkaiden sähkölaitteiden ja -linjojen vieressä, eikä niissä ole tahattoman syttymisen vaaraa. Ne sopivat hyvin käytettäväksi suurissa louhintakohteissa, koska hidasteajoilla ei ole ylärajaa. Erilaisilla pintahidastimilla (Kuvio 5) voidaan kentän sytytysaikoja jatkaa käytännössä rajattomasti ja niiden yhdistelmät antavat paljon vaihtelumahdollisuuksia sytytys suunnitelmalle. Erityisesti pitkien kenttien kohdalla on kuitenkin huomioitava, että suurilla hidasteajoilla varustettujen nallien syttymisaika on hajonnaltaan suurempi. Tämä voi aiheuttaa reikien ristiin menon, mikäli teoreettiset sytytysajat ovat lähellä toisiaan.

Vaikka impulssiletku onkin varsin kestävä, on sen käytössä huomioitava varovaisuus. Mikäli letkuun tulee reikä, jää nalli ja koko reikä useimmiten räjähtämättä. Viallista nallia ei pysty toteamaan kuin visuaalisin keinoin, ja näin ollen riskit kentän katkeamiseen ovat selkeästi suuremmat kuin sähkönallia käytettäessä.



Kuvio 5. Pintahidastimia impulssiletkunalleille (Vuolio & Halonen 2017, 56)

2000-luvulla sähkö- ja impulssiletkunallin rinnalle on tullut elektroninen nalli. Se on impulssiletkunallin tavoin turvallinen tahatonta syttymistä vastaan. Elektronisen nallin merkittävin hyöty on kuitenkin mahdollisuus ohjelmoida hidasteaika jokaiselle nallille erikseen. Nallit voidaan ohjelmoida 1 millisekunnin tarkkuudella välillä 0–14000 millisekuntia ja sen ansiosta räjäytyksen optimointiin on aikaisempaa paremmat edellytykset. Optimoinnilla saavutetaan merkittäviä etuja ja tarkkuuslouhinnassa näkyville jäävä seinä on laadukkaampi. Tyypillisiä käyttökohteita ovat työmaat, joiden läheisyydessä sijaitsee värinäherkkiä rakenteita, kuten sairaala tai kulttuurihistoriallisesti merkittävä, rakenteellisesti heikommassa kunnossa oleva rakennus. Elektroniset nallit ovat käytössä myös kaivostoiminnassa ja tulevaisuudessa niiden käyttö tulee varmasti lisääntymään. Massalouhinnoissa suuremmat kenttä- ja ruutukoot mahdollisia, ja myös lohkaroituminen on parempaa. Tällä hetkellä käyttöä merkittävästi rajoittava tekijä on niiden moninkertainen hinta verrattuna muihin nallityyppeihin. Elektronisten nallien käyttö vaatii koulutuksen ja siihen soveltuvat laitteet. Kuviossa 6 DaveyTronicin laitteita.



Kuvio 6. DaveyTronic digitaalisen räjäytysjärjestelmän laitteet (Forcit 2020)

2.3 Turvallisuuskäsitteet

Räjähdyksiin liittyy aina riskejä, joiden asianmukainen hallinta on tärkeää. Eri-tyisesti suoritettaessa louhintaa asutulla alueella vaaraa kohdistuu myös ulkopuolisiin henkilöihin. Asuttu alue ulottuu 200 metrin etäisyydelle asutusta rakennuksesta tai paikasta, jossa ihmisiä tavallisesti oleskelee (Työturvallisuuskeskus 2016). Asutulla alueella on sallittua käyttää ainoastaan patruunoituja räjähdysaineita. Tämän asetuksen tarkoituksena on estää räjähdysaineiden hallitsematon pääsy kallion rakoihin ja varmistaa, ettei panostusaste nouse suunniteltua korkeammaksi.

Yksi suurimpia riskejä räjäytyksissä on kivien sinkoilu. Tätä pyritään estämään kentän eteen kasattavalla louhetäkkäyksellä, sekä kentän peittämällä kumimatoilla. Luonnollisesti myös panostusasteella on merkittävä vaikutus, ja liian suuri räjähdysainemäärä aiheuttaa hallitsematonta kivien sinkoilua. Kun alueen läheisyydessä liikkuu paljon ulkopuolisia ihmisiä, tulee työn suorittamiseen kiinnittää erityistä huolellisuutta.

Jonkin osa-alueen peittäessä, voi käydä kuten Espoossa vuonna 2012. Puutteellisen peittämisen vuoksi kiviä lensi työmaalta useaan suuntaan ja seitsemän ihmistä loukkaantui. Räjähdyksestä sinkoutui kiviä myös Ison Omenan kauppakeskuksen, sekä muiden läheisten rakennusten ikkunoiden läpi. (Kuvio 7; Yle 2012).



Kuvio 7. Poliisi ja pelastuslaitoksen yksiköitä Ison Omenan räjähdyspaikalla (Yle 2012)

Hallitsemattoman kiven sinkoilun estäminen edellyttää huolellista työtä jokaisessa vaiheessa. Poraus tulee suorittaa suunnitelman mukaisesti, jotta panostaminen voidaan tehdä, kuten ajateltu. Nallittamisessa tulee huomioida kiven heittoa suunta. Panostuksessa on tärkeää, ettei kansi jää liian ohueksi, tai keulareikien panostusaste kasva liian korkeaksi. Kentän eteen on mahdollisuuksien mukaan kasattava louhepenkka. Erittäin korkean rintauksen kohdalla voi toki olla mahdollonta kasata penkka kentän reunan tasolle, mutta se tulee ottaa huomioon panostuksessa. Kentän peittäminen on tehtävä tarkasti ja painopeitteenä käytettäviä kumimattoja on oltava riittävästi. Ennen räjäytystä on vaaralliseksi määritellyltä alueelta poistettava kaikki ihmiset ja pidettävä huoli, ettei kenelläkään ole mahdollisuutta sinne päästä. Kaikkien näiden toimenpiteiden jälkeen riskit kiven hallitsemattomaan sinkoiluun, ja siitä aiheutuviin vaaratilanteisiin ovat erittäin pienet.

Toinen merkittävä riskitekijä räjäytyksissä on tärinä. Liian suuret tärinät voivat aiheuttaa vaurioita läheisille rakennuksille ja laitteille. Tärinään vaikuttaa merkittävästi kallion ominaisuudet kohteessa ja ympäristössä. Sitä voidaan rajoittaa samanaikaisesti räjähtävän räjähdysaineen määrällä. On myös tärkeää, että reiät ovat samassa pohjantasossa ja kivi pääsee liikkumaan riittävästi. Paikalleen räjähtäessä on riski, että tärinäarvot kohoavat. Tärinämittausten tuloksia on seurattava aktiivisesti, jotta nähdään, onko tarvetta tehdä muutoksia suunnitelmiin.

3 APUVÄLINEET JA MENETELMÄT

3.1 Laserkeilaus

Laserkeilaus on mittaustapa, jolla voidaan luoda kolmiulotteinen kuva halutusta kohteesta skannaamalla lasersäteiden avulla. Louhintatöissä sitä käytetään mallintamaan kalliorintauksia. Laserkeilaus voidaan suorittaa paikalleen asemoitavalla keilaimella tai ilmasta kuvattaessa dronella. Mittauksen jälkeen tiedoista muodostuu pistepilvimalli, jota voidaan tutkia erilaisilla ohjelmistoilla.

Kiviainestuotantoon tarkoitellulla louhoksella mallintaminen tehdään tyypillisesti yhteen pisteeseen sijoitetulla, kuvion 8 kaltaisella laserkeilaimella. Kuvauksen voidaan suorittaa vasta, kun edellisen räjäytyksen kivet on poistettu rintauksen edestä. Laite asemoidaan siten, että sen ja mallinnettavan kohteen välissä ei ole mitään esteitä. Nykyaikaiset laserkeilaimet ovat varsin nopeita ja tuottavat sekä laadukkaita, että tarkkoja tuloksia. Muutamassa minuutissa keilain skannaa kohteen ja data on valmis siirrettäväksi ohjelmistoon tarkastelua varten. Jotta mittaustulokset saadaan asetettua koordinaatistoon, on laserkeilaimen asema ja referenssipiste mitattava. Mittaukset suoritetaan GPS-mittasauvalla.



Kuvio 8. Carlson Quarryman Pro laserkeilain (Carlsonsw.com)

3.2 Reikäsuoruuden mittaus

Porareiät taipuvat kalliossa monesta syystä. Porakangen pyörivän liikkeen ja kankiletkan painon takia reikä pyrkii taipumaan kallistetussa reiässä. Taipuminen korostuu erityisesti, jos porataan liian suurilla paineilla. Kalliossa olevat lustat voivat ohjata reikää pois halutusta suunnasta. Myös kallion rakenteella ja muilla geologisilla ominaisuuksilla on vaikutusta porareiän taipumiseen. Taipumista voidaan vähentää erikoiskalustolla ja työtavoilla, mutta sitä tapahtuu kaikesta huolimatta varsinkin reikäsyvyyden kasvaessa.

Porareiän taipumisella on huomattavasti vaikutusta louhinnan lopputulokseen ja turvallisuuteen. Pitkiä reikiä porattaessa voivat taipumat olla useita metrejä ja ne aiheuttavat siten muutoksia etuun ja reikäväliin syvemmälle mentäessä. Tällä on vaikutuksia kiven lohkokokoon ja pohjan leikkaantumiseen. Ensimmäisessä rivissä olevien reikien taipuminen voi johtaa edun pienentymiseen, ja tällöin on suurempi riski kiven hallitsemattomaan sinkoiluun.

Reikäsuoruuden mittauksella on mahdollista selvittää reiän todellinen sijainti. Vääristymien tarkastelu ja vertailu suunnitelmaan voidaan tämän jälkeen tehdä suunnitteluohjelmaa käyttäen. Suomessa reikäsuoruuden mittaaminen ei ole pakollista, mutta yleisen turvallisuuden kannalta mittausten suorittaminen olisi syytä tehdä kohteissa, joissa kiven sinkoilu voi aiheuttaa vaaratilanteita. Yleensä tulisi mitata keularivin lisäksi toinen reikäriivi ja pengerkorkeuden kasvaessa suureksi, myös kolmas rivi. On myös mahdollista, että tulevaisuudessa laki muuttuu tältä osin Ruotsin malliin. Lainsäädännön mukaan Ruotsissa urakoitsijan tulee todeta kahden ensimmäisen reikäriivin taipumat asutulla alueella, tai rintauksen ollessa yli 10 metriä. Taaempänä olevien rivien mittaamisella on enemmän vaikutusta kiven lohkaroitumiseen, eikä niiden mittauksella saavuteta merkittävää hyötyä.

Porareiän taipuman mittaus suoritetaan laitteistolla, johon kuuluu reikään narulla laskettava mittalaite sekä vastaanottimena toimiva älylaite. Bluetooth yhteydellä toimivaa mittalaitetta voi sovelluksen kautta hallita omalla puhelimella tai tabletilla. Reikä voidaan mitata joko pohjalta tai pinnasta alkaen, ja sen tiedot tallennetaan halutulla tarkkuudella, esimerkiksi metrin välein.

3.3 GPS-mittaus

GPS-mittasauva on oivallinen apuväline mittauksiin sekä tarkistuksiin, ja kulkee pienen kokonsa ansiosta helposti mukana. Mittasauvan osia ovat hiilikuitusauva, lautasmallinen satelliittiantenni ja ohjainyksikkö. Sen avulla voidaan louhintatöissä kartoittaa kalliopinta ja porareikien lähtöpisteet, sekä mitata esimerkiksi referenssipisteitä. Mikäli kartoitettava alue on laaja, on takymetri parempi valinta, mutta GPS-sauvalla saadaan usein riittävän kattavia tuloksia. Keskikokoisen murskakentän kartoittaminen onnistuu 1–2 tunnissa. Mittausaikaan vaikuttaa kalliion pinnanmuodot. Tasaisella pinnalla mittauspisteitä ei tarvitse ottaa niin paljoa, kuin korkeudeltaan vaihtelevassa maastossa. GPS-mittasauvan avulla on myös helppo merkitä korkoja ja linjoja porarille, mikäli käytössä ei ole koneohjauksella varustettua poravaunua.

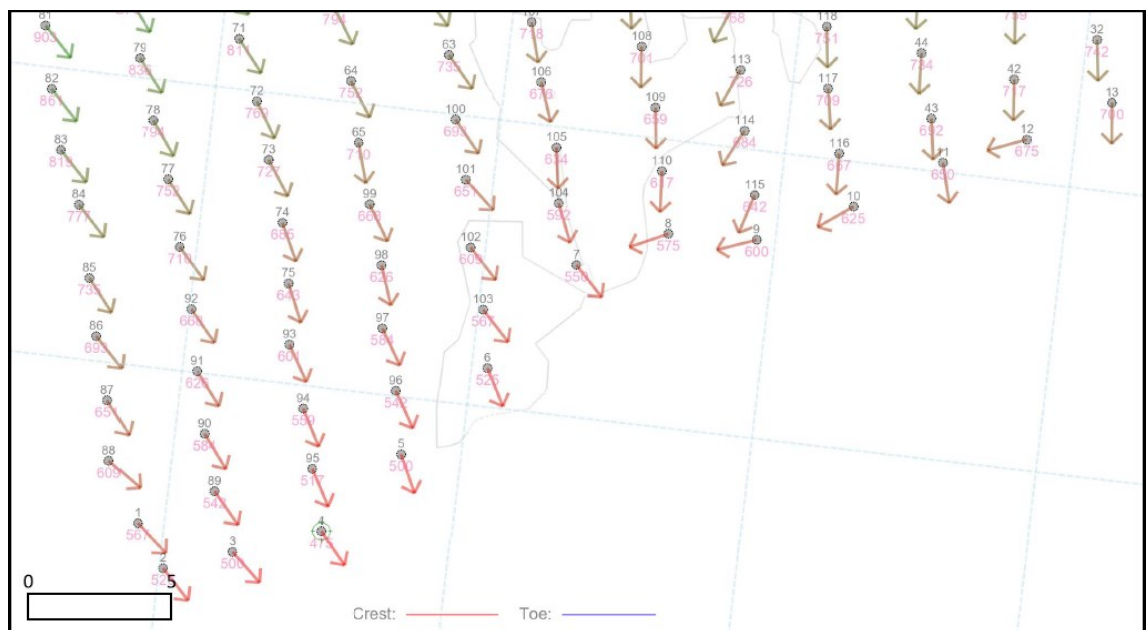


Kuvio 9. GPS-mittasauva

3.4 Suunnitteluohjelmat

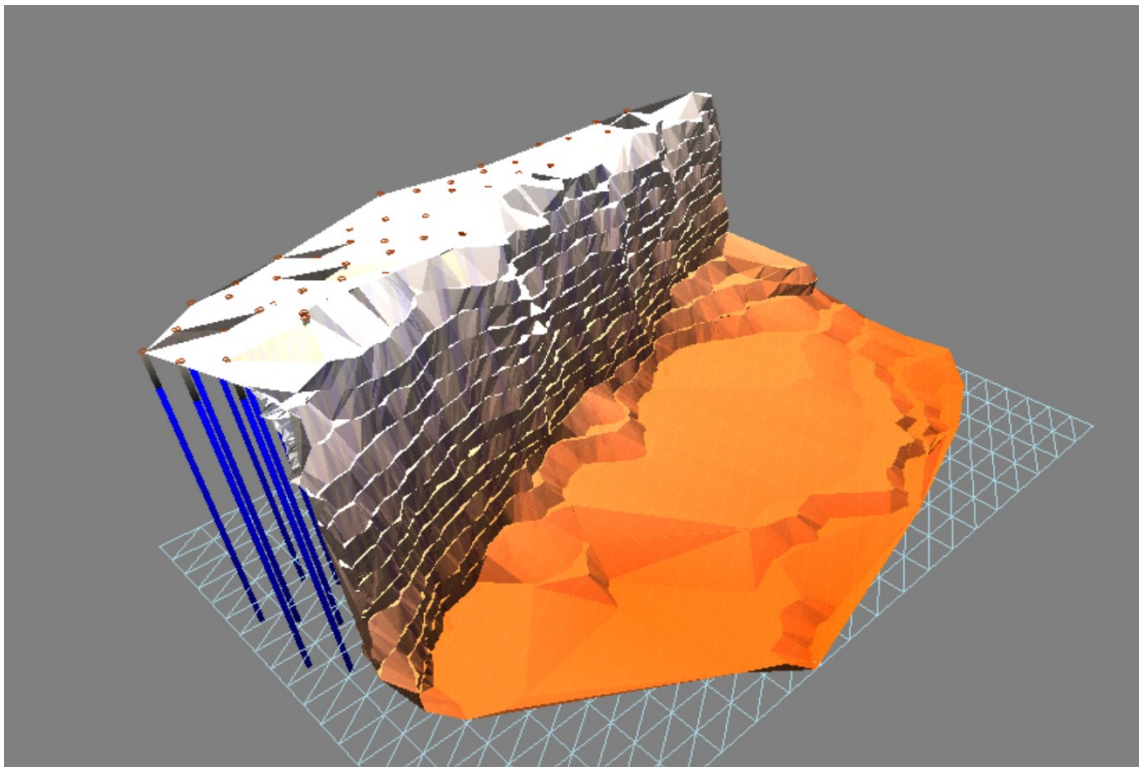
Louhinta-alalla on käytössä muutamia suunnitteluohjelmia, joiden avulla voidaan tapauskohtaisesti luoda yksityiskohtainen räjäytyssuunnitelma ja optimoida räjähdysaineen, sekä nallien käyttö. Tässä tutkimuksessa käytetään O-Pitblastin suunnitteluohjelmaa. O-Pitblast on perustettu Portugalissa 2016 ja siirtynyt yrittäjäkaupalla suomalaisen Forcitin omistukseen 2021 (Forcit 2021).

O-Pitblast tarjoaa monipuoliset ominaisuudet räjäytettävän kentän suunnitteluun. Syöttämällä ohjelmaan tiettyjä arvoja, kuten kruunukoko, käytettävät räjähdysaineet, tavoitesyvyys ja ruutukoko, saadaan nopeasti perustiedot kentästä. Sytytysuunnitelman tekoon ohjelma tarjoaa paljon vaihtoehtoja ja niiden muokkaaminen on nopeaa. Tuloksista on helppo katsoa esimerkiksi jokaisen reiän laskennallinen heittosuunta ja tehdä sen perusteella tarvittavia muutoksia sytytysaikoihin (Kuvio 10). Tuloksista nähdään myös yhtäaikaaisesti lähtevät reiät ja momentaaninen räjähdysainemäärä. Mikäli kohteen lähellä sijaitsee rakenteita, joille on asetettu värinäräjä-arvoja, voidaan suunnitelmaa helposti muokata ja kokeilla erilaisia vaihtoehtoja, kunnes saadaan tehtyä optimaalinen suunnitelma. Kehittyneet ominaisuudet antavat lisäksi mahdollisuuksia tarkkaan suunnitteluun haastavissa kohteissa.



Kuvio 10. Kenttäreikien heittosuunta

Suunnitteluohjelmia on mahdollista käyttää ilman sisään tuotua dataa, mutta mitaustuloksia yhdistelemällä saadaan luotua todenmukainen 3D-malli kohteesta. Laadukkaan mallin avulla luodulla suunnitelmalla saavutetaan merkittäviä etuja sekä kustannuksissa, että turvallisuuden saralla. Malli muodostuu tyypillisesti laserkeilauksen ja porareikien mittaustuloksista, sekä kalliopinnan kartoituksesta, joka voidaan suorittaa GPS:n tai takymetrin avulla. Ohjelmaan voi tuoda myös muita maasto- ja mittatietoja täydentämään kokonaisuutta.



Kuvio 11. 3D-malli kallioista

Kuviossa 11 O-Pitblastin malli kohteesta, kun lähtötiedoiksi on annettu laserkeilauksen ja GPS-mittauksen tulokset. Kallion päällä mallissa näkyvillä porareikien lähtöpisteet punaisilla pisteillä. Pisteet voidaan määrittää joko suunnitelman mukaiseen ruutukokoon, tai mitata jokainen reikä GPS:n avulla ja syöttää mittaustulokset ohjelmaan. Kuviossa sinisellä näkyvät porareivät asetettujen parametrien, eli tavoitesyvyiden, kallistuksen ja suuntauksen mukaisesti.

4 TULOKSET JA VERTAILU

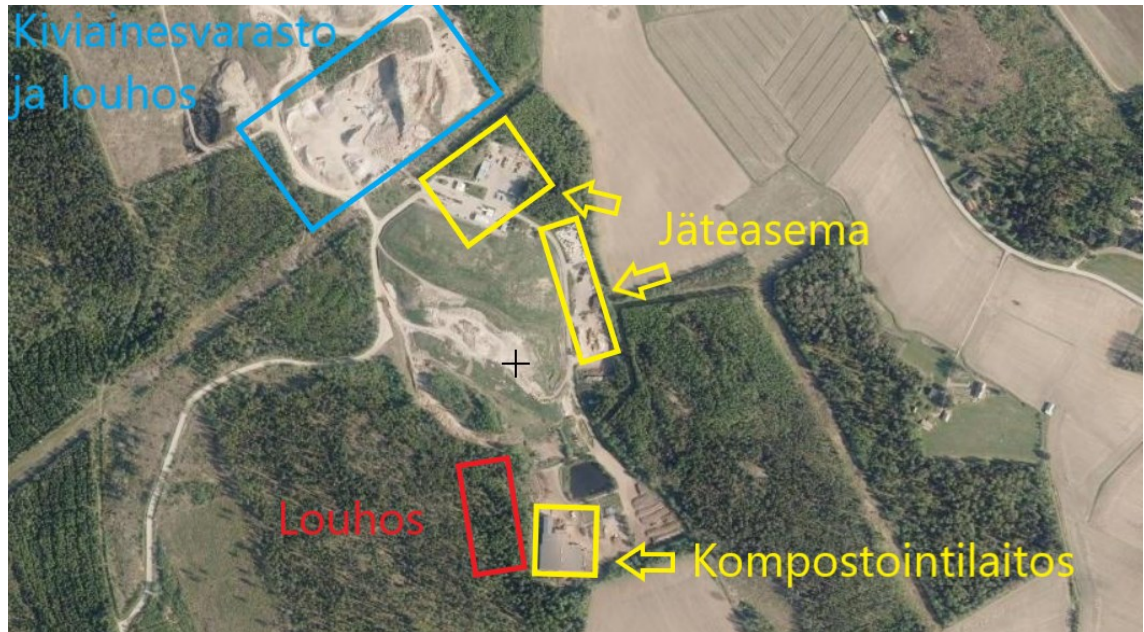
4.1 Kohde

Tutkimuskohteena on Nurmijärvellä, Uudenmaan maakunnassa sijaitseva louhos. Alueella toimiva yritys murskaa ja jatkojalostaa kalliosta räjäyttämällä irrotetun kiven murskeeksi ja sepeliksi. Räjäytys- ja louhintatyöt hoituvat Kreaten kalliorakennusyksikön toimesta. Kohteen välittömässä läheisyydessä sijaitsee Kekkilän kompostointilaitos (Kuvio 12), joka asettaa rajoituksia louhinnalle. Alueella on myös toinen käytössä oleva louhos ja sen yhteydessä oleva kiviainesvarasto. Kuviossa 13 ilmakuvassa louhosten sijainnit, niiden välissä oleva jäteasema sekä kompostointilaitos.



Kuvio 12. Kompostointilaitos ja louhintakohde

Louhintatöiden riskien kartoituksessa on selvitetty töiden vaikutuspiirissä olevat kiinteistöt noin 800 metrin säteeltä sekä määritetty rakennusten, rakenteiden, tärinäherkkien laitteiden suurimmat sallitut tärinän raja-arvot. Tavoitteena on ollut selvittää lähikiinteistöissä olevat työtä rajoittavat tekijät, jotka on huomioitava louhintatyön suunnittelussa ja toteutuksessa.



Kuvio 13. Ilmakuva alueesta (Maanmittauslaitos.fi)

Kartoituksen perusteella kaikkiin 500 metrin säteellä sijaitseviin rakennuksiin on tehty kiinteistökatselmus ennen louhintatöiden aloittamista. Katselmuksilla todetaan vauriot rakenteissa ja asetetaan rakenteiden kunnon sekä perustamistavan perusteella raja-arvot tärinöille. Katselmukset ovat tärkeää todistusaineistoa, mikäli räjäytysten ja rakennevaurioiden välistä syy-yhteyttä joudutaan tarkastelemaan myöhemmässä vaiheessa.

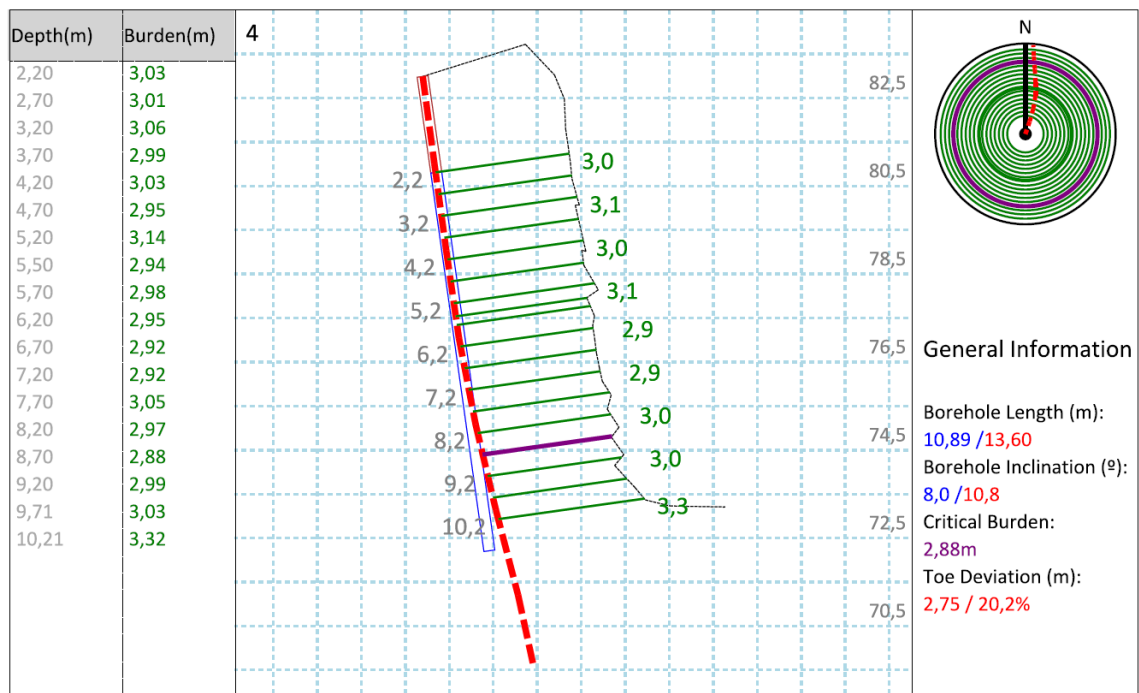
Kohteen ympäristöön on asennettu viisi tärinämittaria, joista kaksi Kekkilän kompostointilaitokseen, kaksi lähimpiin asuinrakennuksiin ja yksi vieressä sijaitsevalle jäteasemalle. Tärinämittauksien avulla voidaan tuloksia seurata reaaliaikaisesti internetin kautta. Tärinän lisäksi vaaratekijänä on kiven sinkoilu. Murskalouhinnoissa räjäyttäminen tapahtuu tyypillisesti ilman peittämistä, ja tällöin vaara-alue huomattavasti suurempi.

Kohteessa on suoritettu louhintatöitä 2021 helmikuusta alkaen. Tutkimustyön materiaalina käytetään vuoden 2021 aikana tehtyjä räjäytyksiä. Osa räjäytyksistä on suoritettu käyttäen apuna O-Pitblast suunnitteluohjelmaa ja osa perinteisillä työtapoilla. Louhittavan alueen korkeus vaihtelee 10 ja 21 metrin välillä. Kentät kohteessa numeroidaan juoksevin numeroin, siten että vuoden ensimmäinen kenttä on numero 1. Vertailuun valitaan samankaltaisia kenttiä yhteensä 4 kpl.

4.2 Suunnittelu ja toteutus

4.2.1 Kenttä 3

Kenttä nro 3 on porattu 76 millimetrin kruunulla, edun ollessa 2,3 m ja reikävälin 2,9 m. Keulareikien kohdalla etua on jätetty turvallisuussyistä hiukan enemmän. Kaikkiaan reikiä on 110 kpl ja rintauksen keskikorko 15 m. Räjätys suunnittelun lähtötietoina ovat lisäksi mittaustulokset laserkeilauksesta ja keulareikien reikäsuoruudesta. Suunnitteluohjelmaan syötetään mittaustiedot kentästä, jonka tuloksena saadaan malli kentästä. Mallin lisäksi jokaiselta mitatulta reiältä on nähtävillä kuvion 14 kaltaisesti suoruus ja vaikutukset etuun. Kuviossa 14 nähdään, että reikä on suunnattu ja kallistettu poraussuunnitelman mukaisesti. Nähtävissä on kuitenkin pientä taipumaa reiässä kuudesta metristä alkaen, mutta etu on n. 3 m koko reiän matkalla, eikä näin ollen aiheuta tarvetta poikkeuksellisiin suunnitelmiin.



Kuvio 14. Reikätaipuma

Koska myös muissa keulareiässä on tuloksien perusteella riittävä etu, voidaan kaikki reiät panostaa normaalisti. Pohjapanokseksi valitaan yksi pötkö \varnothing 50 mm dynamiittia ja varsipanoksena käytetään kemiittiä. Sytytyksen varmistamiseksi

pintaan laitetaan puolikas pötkö dynamiittia toisella nallilla. Kantta jätetään 1,8 metriä. Nalleina käytetään pohjalla 500 ms ja pinnassa 475 ms impulssiletkunalleja. Nallien kytkentä suoritetaan käyttäen erilaisia pintahidastimia siten, että momentaaninen räjähdysainemäärä ei ylitä aikaisempien räjäytysten perusteella määriteltyä raja-arvoa 250 kg.

Suunnitelman mukaisesti panostetun kentän ominaispanostus on 0,78 kg/m³ ja momentaaninen räjähdysainemäärä 172 kg. Kaikkiaan räjähdysainetta käytetään 8035 kg. Kenttä räjäytettiin 15.3.2021. Tärinämittaustulosten perusteella räjäytys onnistui hyvin. Sekä heilahdusnopeus että kiihtyvyys pysyivät raja-arvojen sisällä, ollen maksimissaan 51 % sallitusta (Taulukko 1). Visuaalisen havainnoinnin perusteella lohkokoko on pääosin hyvää ja rikkokivien määrä kohtalainen.

Taulukko 1. Kentän 3 tärinämittaustulokset

Päiväys	Nro	MP	Etäisyys (m)	Heilahdusnopeus (mm/s)						Kiihtyvyys (g)						
				PVS	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%
15.03.2021 13:56:47.0	Kenttä_3	5	107	14.5			9.474	7.149	13.97	27.6	51	0.181	0.128	0.226	1.0	23
15.03.2021 13:56:46.0	Kenttä_3	4	84	19.26			11.65	18.83	10.31	37.4	50	0.249	0.496	0.199		
15.03.2021 13:56:42.0	Kenttä_3	3	510	3.172			2.794	2.842	2.461	17.9	16	0.06	0.066	0.055		

4.2.2 Kenttä 6

Kentän nro 6 poraus on suoritettu käyttäen 83 mm:n porakruunua. Muuttuneen ruutukoon lisäksi on myös edun ja reikävälin suhdetta muutettu edelliseen kenttään verrattuna. Poraussuunnitelman mukainen etu on 2,3 m ja reikäväli 3,4 m. Rintauksen keskikorko on 15 m ja reikiä kentässä on 82 kpl. Kentän ampuuunassa ei ole mitään varottavaa lähietäisyydellä, joten turvallisuuden puolesta reikäsuoritusmittauksille ja laserkeilaukselle ei ole tarvetta.

Käytettävänä räjähdysaineina ovat pääasiassa ø 50 mm dynamiitti ja kemiitti. Näiden lisäksi rikkonaisiin, ohuemmalla edulla oleviin keulareikiin käytetään ø 50 mm Kemix patruunoita. Kemiitin tiheys on 1,15 kg/dm³, joten 83 millin reiässä panostusaste on n. 6,22 kg/m. Käytettäessä räjähdysaineina dynamiittia ja kemiittiä, saadaan laskennalliseksi ominaispanostukseksi kahden metrin kannella 0,72 kg/m³, joka on murskakentälle tyypillinen lukema.

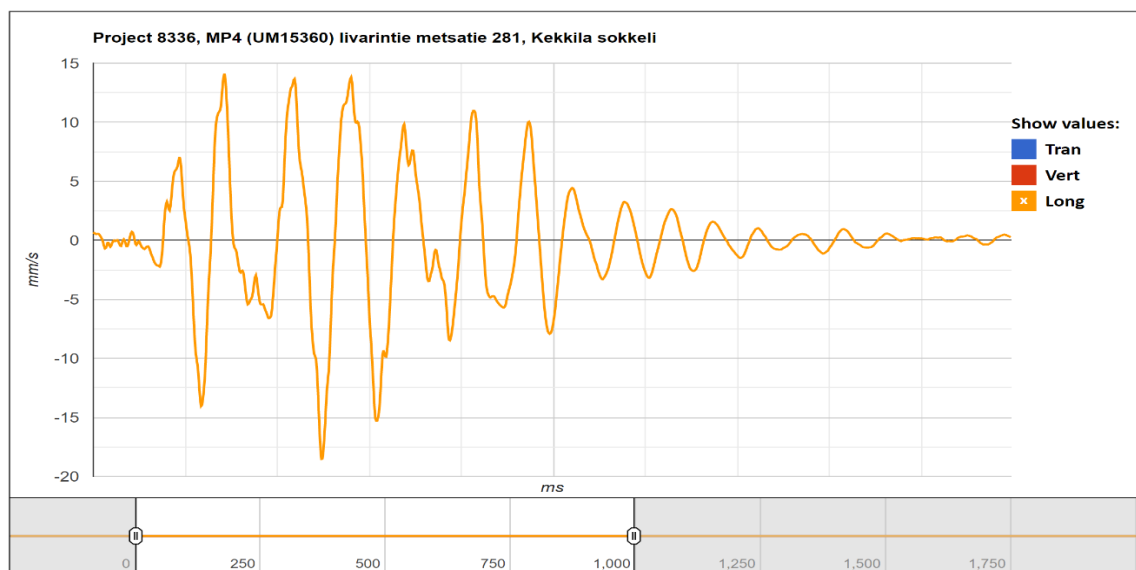
Nalleina käytetään edelleen impulssiletkunalleja aikaisempien kenttien tapaan. Sytytysuunnitelmaa laadittaessa, on huomioitava yhtäaikaaisesti lähtevien reikien määrä. Tämän kentän suunnittelun apuna ei käytetä suunnitteluohjelmaa sytytysaikojen tarkistamiseen, joten käytettävät hidastimet valikoituvat kokemusperäisen tiedon avulla. Tässä tilanteessa ei kuitenkaan voi olla 100 % varma, ellei tarkista sytytysaikoja esimerkiksi käsin piirtämällä ja laskemalla. Tällainen tarkistaminen on kuitenkin aikaa vievää ja se on parempi tehdä ohjelmalla tarvittaessa.

Kentän 6 räjäytys suoritettiin 8.4.2021. Siinä oli räjähdysainetta 6100 kg ja kentän ominaispanostus 0,66 kg/m³. Momentaaninen räjähdysainemäärä oli 192 kg. Tärinämittaustulosten perusteella raja-arvojen sisällä pysyttiin selvästi (Taulukko 2).

Taulukko 2. Kentän 6 tärinämittaustulokset

Päiväys	Nro	MP	Etäisyys (m)	Heilahdusnopeus (mm/s)						Kiihtyvyys (g)						
				PVS	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%
08.04.2021 15:10:04.0	Kenttä_6	5	115	17.08			12.29	14.46	16.13	27.1	60	0.151	0.199	0.23	1.0	23
08.04.2021 15:10:03.0	Kenttä_6	4	87	20.6			10.79	13.87	18.52	36.8	50	0.211	0.322	0.23		
08.04.2021 15:10:00.0	Kenttä_6	3	512	3.694			3.429	2.286	3.048	17.9	19	0.08	0.066	0.08		
08.04.2021 15:09:58.0	Kenttä_6	1	646	1.551			1.286	0.937	0.746	10.4	12	0.017	0.02	0.013		

Kun kuviosta 15 tarkastellaan huippuarvojen lisäksi heilahdusnopeutta tarkemmin mittapisteessä 4, voidaan todeta, että tärinöitä on tullut varsin tasaisesti. Yksittäinen korkea arvo viittaisi liian suureen momentaaniseen räjähdysainemäärään. Tämän perusteella voidaan päätellä nallituksen onnistuneen kuten ajateltu.



Kuvio 15. Heilahdusnopeus mittapisteessä 4

4.2.3 Kenttä 7

Kenttä nro 7 on porattu 76 mm:n kruunulla. Ruutukoko on tällä kertaa hiukan suurempi kuin edellisessä 76 mm:n kruunulla poratussa kentässä. Etu on 2,1 m ja reikäväli 3,4 m. Rintauksen keskikorko on 11 m ja reikiä kentässä yhteensä 120 kpl. Räjähdyksen suunnittelun avuksi ei ole käytetty reikäsuoruuksmittausta ja laserkeilausta.

Räjähdyssuunnitelman laatiminen aloitetaan jälleen valitsemalla räjähdysaineet. Pohjapanokseksi otetaan toimintavarma \varnothing 50 mm dynamiitti ja varsipanoksena käytetään Kemiittiä. 76 mm:n reiässä Kemiitin panostusaste on n. 5,22 kg/m. Näillä räjähdysaineilla ja kahden metrin kannella ominaispanostus on 0,59 kg/m³, joka on aikaisempia pienempi, mutta massalouhinnoissa edelleen tyypillinen luku. Nallien käytössä ei ole tarvetta muutoksiin, ja impulssiletkunallit ovat myös tähän kenttään paras valinta. Nalleja menee kenttään yhteensä 240 kpl, kun jokaiseen reikään laitetaan 475 ms nalli pohjapanokseen ja 500 ms nalli pintapanokseen. Pintapanoksella varmistetaan Kemiitin syttyminen pitkässä reiässä. Sytytysjärjestelmän toteuttamiseen on useita eri tapoja, mutta jokaisen lähtökohdana on oma pintahidastin jokaiselle reiälle. Sytytyksen ja onnistuneen räjähtymisen varmistamiseksi on myös toisinaan tarpeen käyttää tuplahidastimia. Tällöin jokaiseen väliin tulee kaksi samanlaista hidastinta. Tämä ratkaisu nostaa hieman kustannuksia, mutta kasvattaa onnistumisen todennäköisyyttä erityisesti pitkissä kentissä ja käytettäessä peitteitä kentän päällä.

Kenttä räjähtäys suoritettiin 29.4.2021 klo 18:00. Kentän tilavuus oli 9240 m³ ja räjähdysainetta käytettiin yhteensä 5474 kg. Momentaaninen räjähdysainemäärä oli 153 kg. Tärinämittaustulokset mittauspisteistä ovat jälleen selvästi raja-arvojen sisäpuolella, ollen maksimissaan 53 % sallitusta (Taulukko 3).

Taulukko 3. Kentän 7 tärinämittaustulokset

Päiväys	Nro	MP	Etäisyys (m)	Heilahdusnopeus (mm/s)						Kiihtyvyys (g)						
				PVS	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%
29.04.2021 18:01:12.0	Kenttä_7	5	103	14.03			9.269	6.613	12.03	27.8	43	0.179	0.105	0.316	1.0	32
29.04.2021 18:01:11.0	Kenttä_7	4	69	23.61			7.669	21.75	12.98	41.1	53	0.165	0.467	0.346		
29.04.2021 18:01:08.0	Kenttä_7	1	653	0.698			0.54	0.635	0.556	10.4	6	0.013	0.017	0.017		

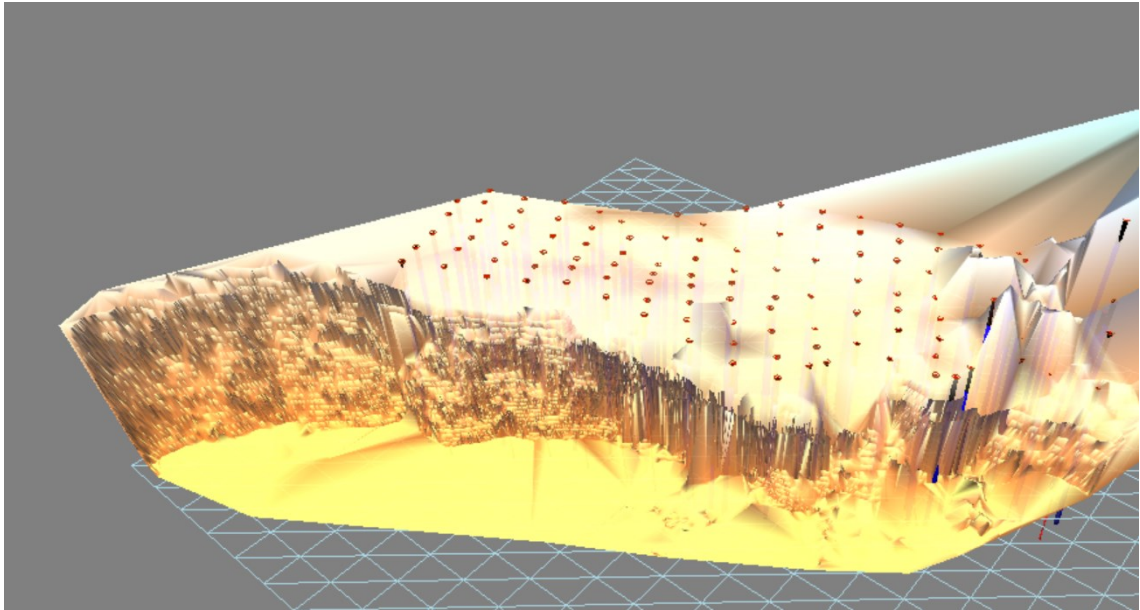
4.2.4 Kenttä 9

Kenttä 9 on työalueen ja metsän reunaan rajoittuva (Kuvio 16). Rintauksen keskimääräinen korkeus on 18 metriä ja syvimät reiät ovat yli 22 metriä. Kruunukokona porauksessa on käytetty 83 mm:n kruunua. Etu on 2,3 metriä ja reikäväli 3,5 m. Edestä katsottuna kentän oikeassa reunassa on vinolusta, jonka vuoksi siinä on ns. ”lippa”. Keularivissä on tarkoituksella suurempi noin 3,5 metrin etu, mutta lipan vuoksi keulareikien poraaminen siten, että etu olisi joka kohdassa lähelläkään suunniteltua, on haastavaa. On oletettavaa, että etu voi olla vaarallisen kapea paikoitellen ja siitä syystä sekä laserkeilauksen, että reikäsuoritusmittauksien suorittaminen on tärkeää tehdä. Lisäksi syvät reiät lisäävät todennäköisyyttä reikien taipumiselle.



Kuvio 16. Kentän 9 sijainti kohteessa

Mittauksien suorittamisen jälkeen suunnittelutyö voidaan aloittaa O-Pitblast ohjelmalla. Ensimmäisenä syötetään tarvittavat lähtötiedot, eli laserkeilauksen data ja referenssipiste, jolla malli saadaan sidottua koordinaatistoon. Näiden lisäksi ohjelmalle annetaan GPS-mittauksen tiedot porareikien sijainnista, sekä reikäsuoritusmittauksista saatu data. Näiden tietojen avulla ohjelma luo kolmiulotteisen mallin kohteesta. Kuviossa 17 malli, jossa mitattujen porareikien lisäksi kaavan avulla lisättyinä kaikki kentän reiät.



Kuvio 17. 3D-malli kentästä 9

Mallin luomisen jälkeen voidaan aloittaa varsinaisen räjäytyssuunnitelman luonti. Ensimmäisenä normaaliin tapaan on räjähdysaineiden valinta. Käytettävät aineet voi valita suoraan luettelosta, tai esimerkiksi aikaisemman räjäytyssuunnitelman yhteydessä valmiiksi luodun mallin perusteella. Myös tähän kenttään valitaan Kemiitti ja \varnothing 50 mm Dynamiitti. Sytytysjärjestelmän asettamisen jälkeen on mahdollista katsoa animaatiosta, kuinka räjäytys asetettujen tietojen perusteella eteenpäin. Ohjelman luomasta raportista löytyy kuvion 18 kaltaisten perustietojen lisäksi kattavat tiedot kentästä ja jokaisesta mitatusta porareistä.



Blast Plan
Blast ID: kenttä 9

Project Information

Site name:	Date: 30/08/2021, 00:00	Shotfirer:
Country:	Location:	D&B Resp.:

Explosive Ordering

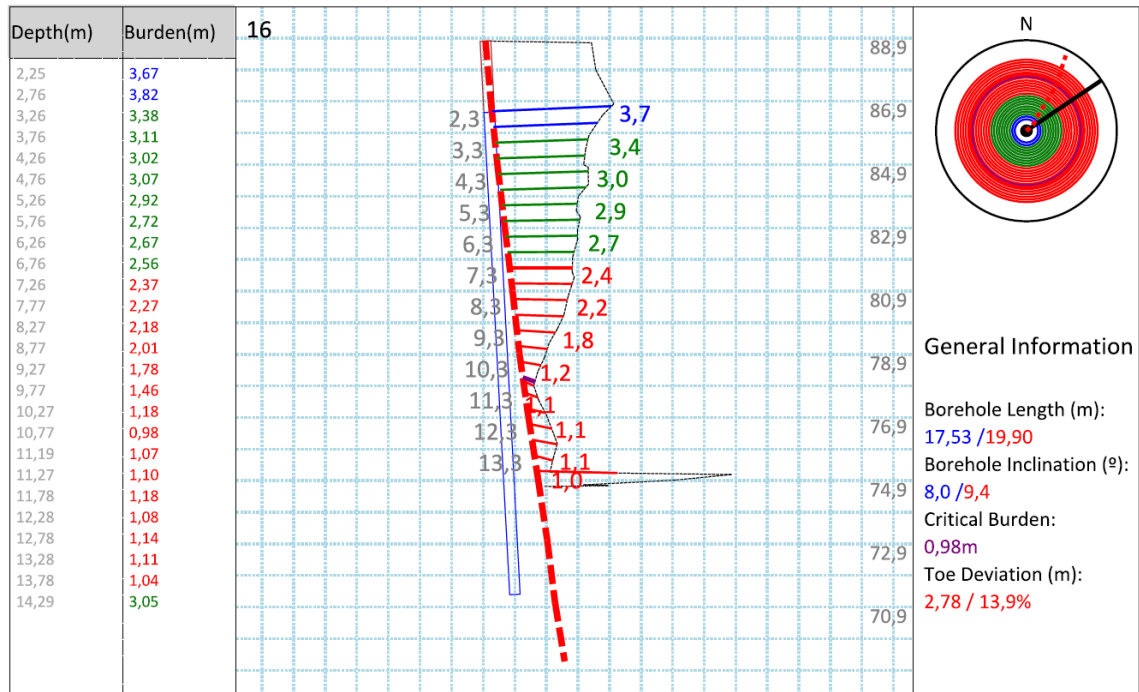
Explosive Product	Density & Weight	Type	Quantity
K-610_<3tn_(1.15)	1,15 g/cm ³	Bulk	11 324,8 Kg
Fordyn50	1,50 g/cm ³ - 1,600 Kg	Cartridge	290,4 Kg
Total			11 615,2 Kg

Accessories Ordering

Product	Type	Quantity
AustinSC4,8m25	SurfaceConnector	18
AustinSC4,8m67	SurfaceConnector	101
Austin21m475ms	InHoleDelay	120

Kuvio 18. O-Pitblast raportin tiedot räjähteistä ja nalleista

Tarkastelun perusteella on helppo tehdä tarvittavia esimerkiksi muutoksia syytysjärjestykseen ja räjähdysaineisiin. Tässä vaiheessa on syytä tehdä tarkempi silmäys keulareikiin.



Kuvio 19. Etu keulareiällä

Kentän oikeassa reunassa olevien keulareikien kohdalla on selvästi havaittavissa, että vinolustan vuoksi etu on kaventunut, ollen paikoitellen vaarallisen ohut. Kuviossa 19 keulareiällä etu on ainoastaan aivan yläosassa riittävä. Syvemmälle mentäessä etu kapenee rintauksen muodon lisäksi myös reiän taipumisen vuoksi ja liian suuren kallistuksen vuoksi. Samankaltaista ohutta etua on muutaman muunkin reiän kohdalla ja niiden panostusta on muutettava. Kemiittiä ei voi käyttää koska panostusaste nousee liian korkeaksi, joten varsipanoksena käytetään \varnothing 50 mm Kemix patruunoita. Kriittisen kapean edun kohdalla on syytä täyttää reikä siltä osalta sepelillä ja jatkaa panostamista ylempää. Tällöin on luonnollisesti laitettava toinen nalli ja siihen tarkoitukseen on varattava mukaan ylimääräisiä nalleja. Suunnitteluohjelmalla on mahdollista muokata jokaisen reiän kohdalla yksityiskohtaisesti räjähdysaineet, mikäli haluaa tarkemman arvion käytettävien räjähdysaineiden määrästä. Tärkeämpi tieto on kuitenkin reikäkohtaiset mittaustulokset, jotka räjäytyssuunnitelman liitteenä antavat panostajalle riittävän informaation.

Kenttä nro 9 räjäytys suoritettiin 1.9.2021. Kentän tilavuus oli 16205 m³ ja räjähdysainetta käytettiin 110 reikään yhteensä 11901 kg. Ominaispanostus oli 0,73 kg/m³. Momentaaninen räjähdysainemäärä oli 223 kg. Tärinämittaustulosten perusteella heilahdusnopeuden arvo mittauspisteessä 5 on lähellä raja-arvoa, ollen maksimissaan 99 % sallitusta (Taulukko 4).

Taulukko 4. Kentän 9 tärinämittaustulokset

Päiväys	Nro	MP	Etäisyys (m)	Heilahdusnopeus (mm/s)					Kiihtyvyys (g)							
				PVS	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%	Tran	Vert	Long	raja	%
01.09.2021 14:59:12.0	kenttä_9	5	144	2.666			2.396	1.198	1.994	25.4	9	0.022	0.021	0.028	1.0	3
01.09.2021 14:59:10.0	kenttä_9	5	144	26.4			14.04	9.159	25.24	25.4	99	0.211	0.125	0.276	1.0	28
01.09.2021 14:59:10.0	kenttä_9	4	110	17.54			13.6	12.56	13.39	32.9	41	0.247	0.298	0.235		
01.09.2021 14:59:02.0	kenttä_9	1	676	1.627			1.318	1.079	1.032	10.3	13	0.017	0.018	0.013		

Räjäytyksen jälkeistä ilmakuvaa (Kuvio 20) tarkastellessa voidaan havaita, että kivi hyvin liikkunut. Jonkin verran on nähtävissä isompaa lohkarettä, mutta varsinkin epätasaisten pinnanmuotojen vuoksi niitä oli odotettavissa. Tarkempaa analyysiä lohkarukoosta on kuitenkin vaikea tehdä pelkän kuvan perusteella ja sen vaikutukset rikotuksen määrään selviävät lastauksen aikana.



Kuvio 20. Kenttä 9 räjäytyksen jälkeen

4.3 Tuloksien vertailu

Kohteessa räjäytettiin vuoden 2021 aikana 10 kenttää. Näistä äsken esitelty neljä kenttää valikoituivat tarkastelun alle, koska ne olivat eniten toistensa kaltaisia. Täytyy kuitenkin muistaa, että kahta täysin samanlaista kenttää ei ole, vaan niissä on aina muuttujia. Rintauksen korkeus ja reiän syvyys vaihtelee yksittäisenkin kentän kohdalla toisinaan huomattavasti. Kallion geologiset ominaisuudet voivat olla täysin erilaiset muutaman kymmenen metrin päässä ja kalliossa olevat lustat vaikuttavat suuresti toteutukseen. Kentän koko on usein riippuvainen olosuhteista, toisinaan voi olla viisasta ottaa hieman pienempi kenttä, jotta seuraavasta saa paremman mallisen. Lisäksi jokaisen kentän etäisyys ja suunta mittauspisteistä vaihtelee.

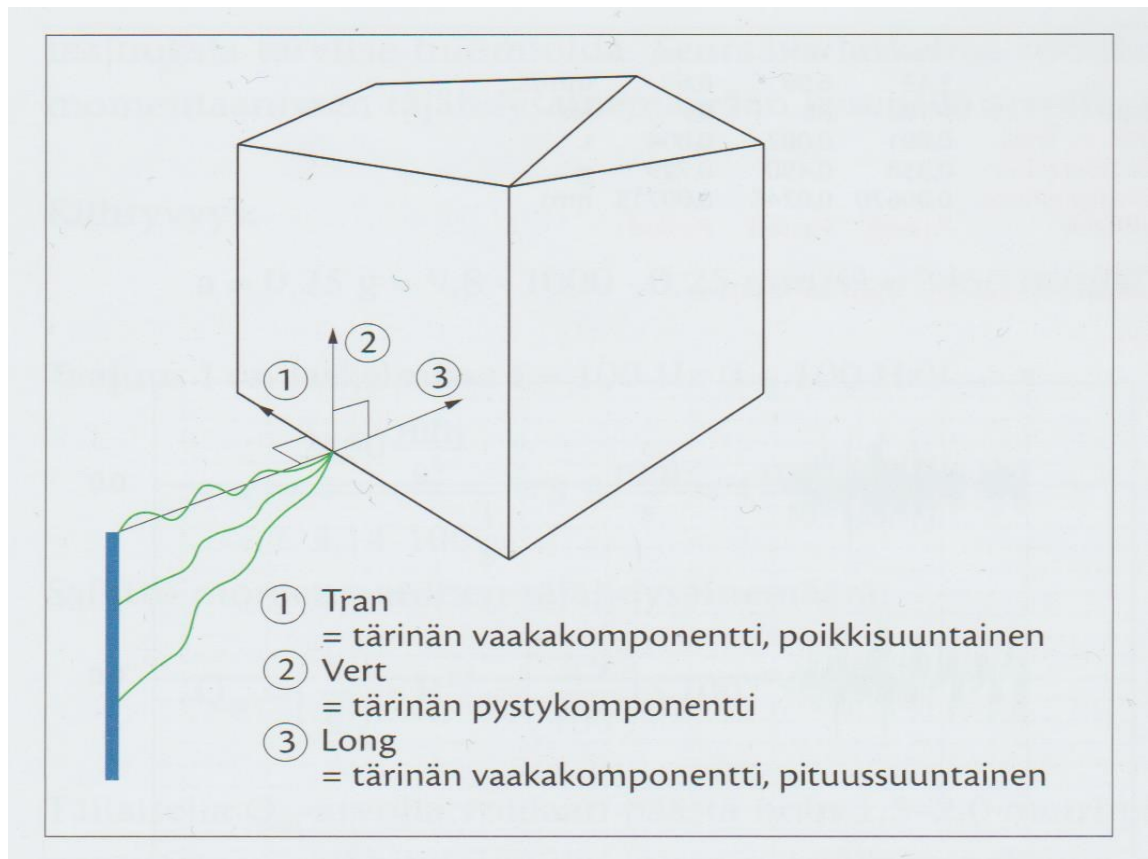
Valituista neljästä kentästä kaksi, 6 ja 7 on toteutettu perinteiseen tyyliin. Suunnittelun tukena on käytetty havaintoja aikaisemmista räjäytyksistä kohteessa, sekä muuta kokemusperäistä tietoa vastaavanlaisista kohteista. Toisten kahden kentän, 3 ja 9 suunnittelussa on käytetty apuna O-Pitblast suunnitteluohjelmaa ja mittalaitteita tietojen keräämiseen. Kenttien perustiedot esitetty alla taulukossa 5.

Taulukko 5. Kenttien perustietoja

Kenttä	Tilavuus	Reikiä	Räjähteet	Ominaispanostus	Q _m
3	10318 m ³	110	8035 kg	0,78 kg/m ³	173 kg
6	9200 m ³	82	6100 kg	0,66 kg/m ³	192 kg
7	9240 m ³	120	5475 kg	0,59 kg/m ³	153 kg
9	16205 m ³	110	11901 kg	0,73 kg/m ³	223 kg

Räjäytysten vertailuun on tässä kohteessa kaksi tapaa. Tärinämittareiden tulokset heilahdusnopeudesta ja kiihtyvyydestä eri mittapisteissä antavat vertailukelpoista tilastotietoa. Räjäytysten jälkeinen visuaalinen havainnointi paikan päällä antaa tietoa kokonaisuudesta. Lohkarekoosta ja kiven liikkumisesta pystyy päättämään, miten räjäytys on onnistunut. Näiden lisäksi on käytettävissä videot räjäytyksistä kolme ja yhdeksän. Hidastukset ja uusintakatselut niistä antavat vielä paremman kuvan räjäytyksistä. Näiden tietojen ja havaintojen perusteella pyritään selvittämään eroja lopputuloksissa.

Kaikissa räjäytyksissä värinämittausten tulokset pysyivät raja-arvojen sisällä, ja kenttää 9 lukuun ottamatta eivät edes lähennelleet sallittua rajaa. Jokaisessa mittauspisteessä mitattiin heilahdusnopeudelta kolme komponenttia (Kuvio 21). Näistä kolmesta komponentista suurin mitattu lukema on merkitsevä, kun verrataan räjäytyksestä aiheutuvaa heilahdusnopeutta raja-arvoon.



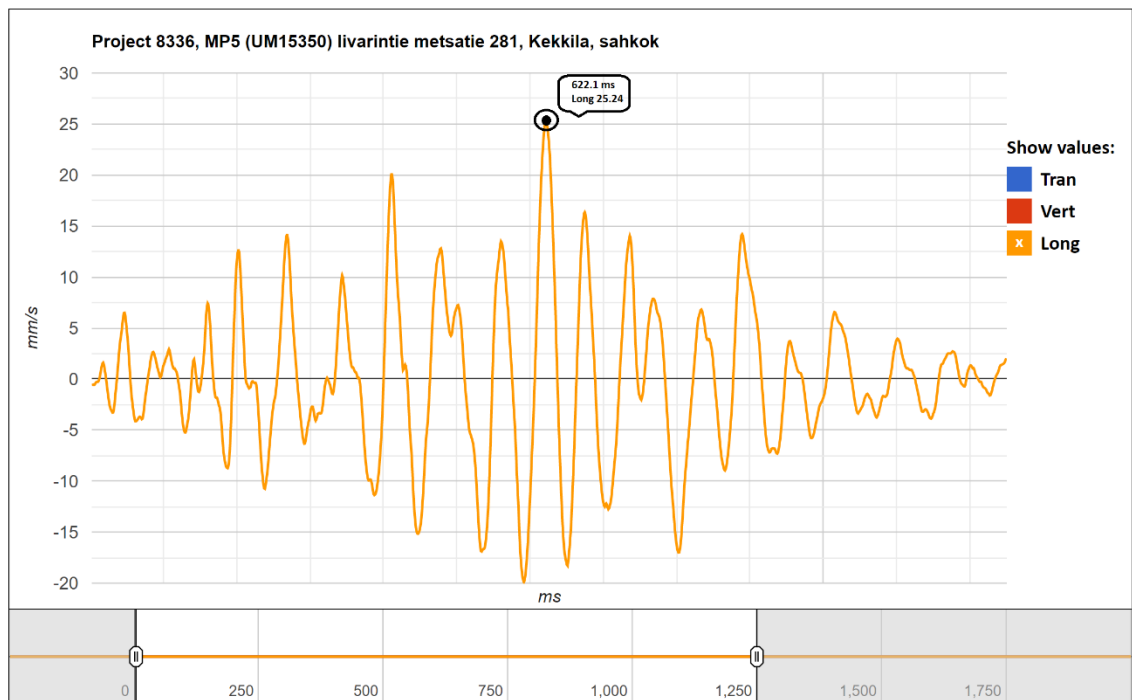
Kuvio 21. Värinän komponentit (Vuolio & Halonen 2017, 176)

Heilahdusnopeuden huippuarvoja mittauspisteissä neljä ja viisi esitetty taulukossa kuusi. Tarkastellessa mittauspisteen neljä arvoja, voidaan havaita, että esimerkiksi kenttien kolme ja kuusi huippuarvot ovat liki samat. Etäisyys kentistä mittauspisteelle on lähes sama ja ainut ero on momentaanisen räjähdysaineen määrässä, ja siinäkin eroa vain noin 10 %. Sen sijaan kenttiä kuusi ja seitsemän vertaillaessa huippuarvoissa on selkeitä eroja. Erot selittyvät pidemmällä etäisyydellä ja momentaanisen räjähdysaineen määrällä. Samankaltaisia havaintoja voi tehdä myös vertaillaessa muita kenttiä eri mittauspisteissä ja myös ne noudattelivat kaavaa, jonka mukaan etäisyyden pienentyessä tai momentaanisen räjähdysainemäärän lisääntyessä heilahdusnopeuden arvot kasvavat.

Taulukko 6. Heilahdusnopeuden maksimiarvoja

Kenttä	Etäisyys MP 4	Heilahdusnopeus MP4 (mm/s)	Etäisyys MP 5	Heilahdusnopeus MP5 (mm/s)	Q _m
3	84 m	18.83	107 m	13.97	173 kg
6	87	18.52	115	16.13	192 kg
7	69	21.75	103	12.03	153 kg
9	110	13.60	144	25.24	223 kg

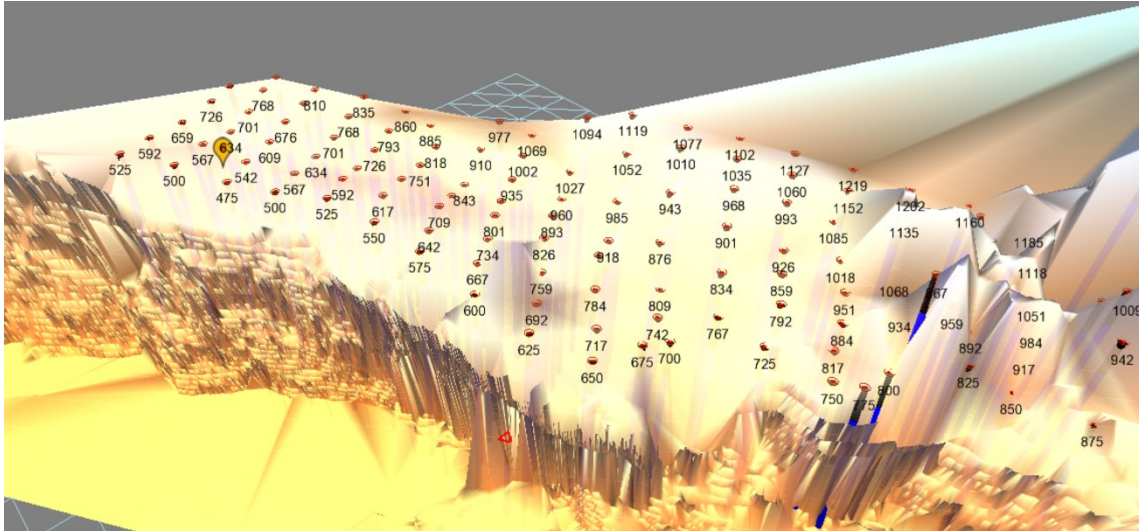
Ainoastaan kentän yhdeksän heilahdusnopeus mittauspisteessä viisi on muista poikkeava. Momentaanisen räjähdysaineen määrä on muita selvästi suurempi, mutta myös etäisyys kentästä mittauspisteeseen kasvaa selvästi. Sen sijaan mittauspisteellä neljä on heilahdusnopeuden arvo pienempi ja kenttä yhdeksän onkin ainut, missä absoluuttinen huippuarvo suurempi mittauspisteessä viisi.



Kuvio 22. Heilahdusnopeus graafisesti mittauspisteessä 5, kenttä 9

Kun heilahdusnopeutta tarkastellaan tarkemmin graafisesta esityksestä kuviossa 22, nähdään että värinät ovat tulleet suhteellisen tasaisesti ja huippuarvo 25.24 ms on tullut 622 millisekunnin kohdalla. Koska ensimmäisen reiän sytytysaika oli 475 ms, on heilahdusnopeuden suurin arvo sytytysjärjestelmän ajankohdassa

1095 ms. O-Pitblastin kautta voidaan kumulatiivisia sytytysaikoja tarkastella ja katsoa missä kohtaa kenttää ovat tuohon aikaan räjähtäneet reiät (Kuvio 23).



Kuvio 23. Sytytysjärjestys kentässä 9

Useita samanaikaisesti räjähtäviä reikiä ei ole ajassa 1095, tai muutaman millisekunnin aikaikkunassa. Ainoa reikä löytyy keskeltä takarivistä. Koska tuossa ajankohdassa on räjähtänyt vain yksi reikä, on momentaaninen arvo vain sen reiän räjähdysainemäärä. Kyseisessä kohdassa reikäsyvyyttä on ollut maksimissaan 20 metriä, joten reikäpanoksen suuruus on voinut olla enintään 113 kg. Koska syy heilahdusnopeuden suureen arvoon ei ole räjähdysaineen määrä, on todennäköisin vaihtoehto liian suuri etu. Tällöin kivi ei pääse riittävän vapaasti purkautumaan ja siitä aiheutuu poikkeavia tärinöitä. Liian suuri etu voi johtua joko porausvirheestä, jossa reikä lähtee väärästä paikasta tai reiän taipumisesta. Kumpaakaan ei voi jälkikäteen todeta, koska kentästä on mitattu ainoastaan keulareiät. Reiän taipuminen on kuitenkin pitkällä 20 metrin reikäsyvyydellä hyvinkin todennäköistä. Kolmantena vaihtoehtona on vääränlainen sytytys. Mikäli reikäriivien välillä on liian vähän aikaa, ei kivi ehdi siirtyä edestä pois ennen kuin seuraava rivi räjähtää. Tässä kentässä on kuitenkin käytetty rivin välissä 67 ms hidastimia, joka on riittävä aika edun ollessa 2,3 m. Myös hyvin liikkunut kasa kertoo sopivasta hidastuksesta (Kuvio 20). Näiden pohjalta todennäköisimmäksi vaihtoehdoksi muita kenttiä suurempaan yksittäiseen tärinään jääkin liian suuren edun aiheuttamat tekijät.

Visuaalinen havainnointi kenttien välillä on vaikeampaa ja perustuu kuviin, videoihin sekä omiin havaintoihin paikan päällä. Pitkällä aikavälillä muistinvaraiset mietteet kuitenkin saattavat sekoittua ja niihin pitää suhtautua tietyllä varauksella. Kaikkien vertailussa olleiden kenttien kohdalla on kuitenkin samankaltaisia piirteitä. Kivi on jokaisessa päässyt liikkumaan hyvin ja kasa on siirtynyt kuten suunniteltua. Rikkokivien määrä heti räjäytyksen jälkeisissä kuvissa on kohtalainen. Osittain johtuen pinnanmuodoista, mutta myös vieressä sijaitsevasta Kekkilän kompostointilaitoksesta. Koska räjäytykset suoritettiin peittämättä ja kiven sinkoutuminen aiheuttaisi vahinkoja, on kantta jätetty enemmän ja tällä on suorat vaikutukset pinnasta jäävien rikkokivien määrään.

5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli pohtia digitalisaation mukana tulevien apuvälineiden hyödyntämistä ja mahdollisuuksia erityisesti räjäytysten suunnittelussa. Kohteena ollut louhos antoi tilaisuuden vertailla perinteisten työtapojen ja apuvälinein avustetun suunnittelun tuloksia.

Tuloksien perusteella ei voida sanoa, että tietokoneavusteisen suunnittelun avulla olisi saavutettu selkeästi parempia tuloksia tässä kohteessa. Louhintatöissä kokemusperäisen tiedon hyödyntäminen sekä suunnittelussa, että työn toteuttamisessa on tärkeää ja tästä syystä perinteisin tavoin suoritettut räjäytykset onnistuivat hyvin. Myös suunnittelu O-Pitblast ohjelmaa käyttäen on helpompaa, kun kokemusta on myös käytännön työstä ja perinteisistä menetelmistä.

Selkeimmät hyödyt olivat reikäsuoruuksimittauksen ja laserkeilauksen antama tieto. Keulareikien panostaminen optimaalisesti lisää ennen kaikkea turvallisuutta räjäytyksissä. Tätä kautta tulee myös kustannussäästöjä, kun räjähdysaineen määrä voidaan määrittellä paremmin jo suunnitteluvaiheessa. Hyödyt tulevat parhaiten esiin korkeammassa rintaussissa, mutta lisääntyneen turvallisuuden kautta myös matalampien rintaussien kohdalla reikäsuoruuksimittaukselle on selkeät käytön edellytykset. Kehitysloikkaa voisi kuvailla merkittäväksi, kun verrataan tarkkaan mittaukseen kykeneviä 2020-luvun laitteita ja perinteisiä mittaustapoja. Mitanauhan avulla porareikään laskettavalla taskulampulla on toki saatu hiukan vihjettä siitä, kuinka reikä kalliassa etenee, mutta parhaimmillaankin tulokset ovat olleet vain suuntaa antavia.

O-Pitblastissa on lukuisia ominaisuuksia, joihin tämän tutkimuksen aikana ei ollut tarvetta eikä aikaa tutustua. Kuitenkin jo lyhyen käyttökokemuksen perusteella voisi sanoa, että suunnittelu helpottuu huomattavasti jo ohjelman perusteiden hallinnalla. Erityisesti erilaisten vaihtoehtojen vertailu on verrattain nopeaa. Myös suunnitteluohjelman luoman suunnitelman, tärinämittaustulosten ja visuaalisten havaintojen luoman kokonaisuuden perusteella räjäytysten jälkianalysointi on helpompaa. Mahdollisten vahinkojen sattuessa kerätyn datan avulla saadaan parempi kuva siitä, mikä on ollut syynä tapahtumiin. Analyysien tuloksena saadaan myös arvokasta lisätietoa, joka auttaa tulevien räjäytysten suunnittelussa.

Apuvälineiden hyöty voisi olla tätä kohdetta suurempi esimerkiksi haastavissa kaupunkikohteissa. Kun tärinän hallintaan on kiinnitettävä runsaasti huomiota, on räjäytyssuunnittelun toteuttaminen helpompaa parempien lähtötietojen kautta. Tiheällä asutusalueella suoritettavissa louhintatöissä myös turvallisuuden maksimoiminen luo omat haasteensa, mutta laserkeilauksesta ja reikäsuoritusmittauksista saadun datan avulla siihenkin saa merkittävää apua. Tämä voi olla myös tulevaisuutta louhinta-alalla, mikäli lainsäädäntö muuttuu Ruotsin malliin, joka edellyttää laserkeilauksen ja reikäsuoritusmittausten suorittamisen asutulla alueella.

Tämän opinnäytetyön kirjoittajalla on ylipanostajan ja räjäytystyön vastuuhenkilön pätevyys. Kokemusta on kertynyt maanpäällisestä, maanalaisesta ja vedenalaisesta louhinnasta lähes 20 vuotta ja tänä aikana sekä muutokset, että niiden vaikutukset louhinta-alan työtavoissa ja laitteissa ovat tulleet käytännön työn kautta selville.

LÄHTEET

Carlson 2021. Carlson quarryman pro. Viitattu 22.3.2022 <https://www.carlsonsw.com/product/carlson-quarryman-pro>.

Dyno Nobel. A Dyno Nobel Overview. Viitattu 8.3.2022 https://www.dynobel.com/~/_media/Files/Dyno/ResourceHub/Powerpoint%20Presentations/Company%20Overview%2005-13.pdf.

Forcit 2021. Forcit-konserni vahvistaa asemaansa modernina teknologiaosajana ostamalla globaalisti toimivan ohjelmistoyrityksen portugalista. Viitattu 4.3 <https://forcitgroup.com/news/forcit-konserni-vahvistaa-asemaansa-modernina-teknologiaosajana-ostamalla-globaalisti-toimivan-ohjelmistoyrityksen-portugalista/>.

Heinonen, E. Kuvamateriaalia lähteessä Ari Kähkönen. Turvallisesti töissä. Kiviaines- ja murskauspäivät 2016. Viitattu 21.3.2022 https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/infra-akatemia/kivianespaivat-2016/ari-kahkonen-turvallisuus_kiviainespaivat.pdf.

INFRA ry. Louhinta ja kiviainestuotanto. Viitattu 22.2.2022 <https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/tietoa-alasta/Louhinta-ja-kiviaines/>.

Kaivosteollisuus 2020. Kaivosala Suomessa. Viitattu 23.2.2022 <https://www.kaivosteollisuus.fi/fi/kaivosala-suomessa>.

[Maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/](https://www.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/).

Niukkanen, M. 2009. Historiallisen ajan kiinteät muinaisjäännökset. Viitattu 16.3.2022 <https://www.museovirasto.fi/uploads/Meista/Julkaisut/hist-ajan-muinaisjaannokset.pdf>.

RIL-1-1987. Tunneli- ja kalliorakennus 1. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Espoo: Otapaino.

Työturvallisuuskeskus 2016. Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje. 8. painos. Viitattu 22.2.2022 https://ttk.fi/files/6418/Rajaytys_ja_louhintatyon_turvallisuusohje_23123.pdf.

Vuolio, R. & Halonen, T. 2017. Räjätysopas. 5. painos. Vaasa: Fram.

Yle 2012. Seitsemän loukkaantui räjähdysonnettomuudessa Espoossa. Viitattu 3.3.2022 <https://yle.fi/uutiset/3-6204140>.