

Jarkko Leinonen

## **Louhintatärinöiden ennustaminen O-Pitblast-ohjelmistolla**

## **Louhintatärinöiden ennustaminen O-Pitblast-ohjelmistolla**

Jarkko Leinonen  
Opinnäytetyö  
Syksy 2021  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tut-  
kinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä(t): Jarkko Leinonen

Opinnäytetyön nimi: Louhintatärinöiden ennustaminen O-Pitblast-ohjelmistolla

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Computer-aided blasting vibration prediction

Työn ohjaaja(t): Jarmo Erho, Oamk, Juha Viitala ja Alekski Marjusaari, Destia Oy

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2021

Sivumäärä: 33 + 3 liitettä

---

Louhintatöistä syntyviä tärinöitä voidaan ennustaa käsin laskemalla tiettyjä kaavoja käyttäen. Viime vuosikymmeninä on tullut tietokoneavusteisia ohjelmia avustamaan tärinäennusteiden laatimisessa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä käyttöohje Destia Oy:lle O-Pitblast-ohjelmiston tärinän ennustamiseen tarkoitetusta ominaisuudesta. Tavoitteena oli perehtyä louhintatöihin ja O-Pitblastin tarjoamiin työkaluihin sekä erityisesti ohjelman mahdollistamaan analyysityökaluun, jolla voidaan ennustaa louhinnasta syntyviä tärinöitä.

Työ aloitettiin keräämällä tarvittava informaatio työmaalla suoritetuista louhintatöistä. Tämä piti sisällään poravaunuilta kerätyn toteumatiedon, tärinämittareilta saadut tulokset ja tiedot käytetyistä räjähdainetarvikkeista ja -välineistä. Tiedonkeruiden jälkeen opinnäytetyössä luotiin O-Pitblast-ohjelmistolla ennuste louhintatöistä syntyvistä tärinöistä. Lopuksi ennustetta verrattiin todellisiin työmaalta mitattuihin tuloksiin.

Työssä käytiin läpi myös ohjelmiston muita ominaisuuksia ja perehdyttiin ohjelmiston tarjoamiin hyötyihin. Louhintatöistä syntyvät tärinät ovat nykyään enemmän esillä ja niitä otetaan huomioon jo ennen töiden alkamista, minkä vuoksi ohjelmiston käsittely rajattiin tärinöiden tarkasteluun.

Opinnäytetyössä laadittiin ohjeistus siitä, miten ohjelmalla mallinnetaan kenttä käyttäen porato-teumatietoja, sekä käyttöopas ohjelmiston tärinän ennustamiseen tarkoitetusta ominaisuudesta. Lisäksi saatiin laadittua vertailu mittaustulosten ja ohjelmalla laadittujen ennusteiden eroavaisuuksista.

---

Asiasanat: tärinä, louhinta, ohjelmisto

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, Option of Municipal Engineering

---

Author(s): Jarkko Leinonen

Title of thesis: Computer-aided blasting vibration prediction

Supervisor(s): Jarmo Erho, Oamk, Juha Viitala and Aleksi Marjusaari Destia Oy

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2021

Number of pages: 33 + 3 appendices

---

Vibrations from blasting can be predicted by using certain formulas. In last decades there have been available computer-aided softwares to help with calculation of blasting vibration prediction

The aim of this thesis was to create manual for Destia LTD in O-Pitblast software from its feature about vibration prediction. Furthermore other point of this thesis was to familiarize into open pit mining and learn to use O-Pitblast software especially its feature about vibration prediction

Thesis was started with gathering all information what was needed. Information which was gathered included drilling log from surface drill rigs, vibration results from vibration gauge and information about what explosives and initiation system were used. After all needed information that had been gathered there were made vibration prediction by using O-Pitblast software and then prediction was compared to real measured results

During this thesis there were mentioned other utilities that software provides. Vibrations from blasting are getting more attention nowadays and are more considered before blasting work starts so that was one of the reasons why subject was narrowed to vibration predict.

---

Keywords: vibration, blasting, software

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	LOUHINTATYÖT .....	8
2.1	Avolouhinta.....	8
2.1.1	Pengerlouhinta.....	8
2.1.2	Kanaalilouhinta .....	9
2.1.3	Tarkkuuslouhinta.....	11
2.2	Pintamaan poisto.....	12
2.3	Poraus.....	12
2.4	Panostus .....	16
2.5	Räjäyttäminen .....	17
3	O-PITBLAST.....	26
4	TÄRINÄTULOSTEN VERTAILU.....	31
5	YHTEENVETO.....	32
	LÄHTEET.....	33
	Liite 1 Ennusteen ja mittaustulosten vertailu (yrityksen sisäisessä käytössä)	
	Liite 2 Kentän mallintaminen (yrityksen sisäisessä käytössä)	
	Liite 3 Tärinäennusteen luominen (yrityksen sisäisessä käytössä)	

## SANASTO

Anfo	varsipanoksena käytettävä räjähdaine, joka koostuu polttoöljystä ja ammoniumnitraatista
Etu	poratun reiän etäisyys louhittavan kallion etureunasta
Irrotus	koostuu seuraavista työvaiheista: poraus, panostus ja räjäytys
Kemiitti	varsipanoksena käytettävä emulsioräjähdaine, joka pumpataan suoraan panostusautosta porareikään
Kynsi	räjäytetyn kentän pohjalle jäänyt epätasaisuus
P-aalto	pressure, puristusaalto, räjäytyksistä syntyvä runkoaalto tyyppi
R-aalto	rayleigh-aalto, räjäytyksistä syntyvä pinta-aalto tyyppi
Ryöstö	räjäytettävän kentän ulkopuolelta repeytyvä kallioaines
S-aalto	shear, leikkausaalto, räjäytyksistä syntyvä runkoaalto tyyppi

# 1 JOHDANTO

Infrarakentamisessa ovat viime vuosikymmenen aikana yleistyneet koneautomaatio ja digitalisointi. Koneautomaation ja digitalisaation myötä myös louhintatöihin on tullut tietokoneavusteisia ohjelmistoja nopeuttamaan ja parantamaan louhintatöiden tarkkuutta ja laatua.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehdä käyttöopas O-Pitblast-ohjelmiston tarjoamaan louhintatärinän ennustamiseen tarkoitetusta ominaisuudesta. Aluksi perehdytään louhintatöiden peruskäsitteisiin, minkä jälkeen kuvataan O-Pitblast-ohjelmiston ominaisuuksia.

Destia on Suomen suurin infra-alan yhtiö. Destian tarjoamia palveluita ovat esimerkiksi väylä- ja kalliorakentaminen, teiden ja junaratojen kunnossapito, energiainfra ja monia muita palveluita infra-alalta. Joulukuun 2021 alusta alkaen Destia on virallisesti osa Colas-konsernia, jolloin Colas osti Destian sen aikaisemmalta omistajalta Ahlström Capitalilta. Colas-konserni on kansainvälisesti toimiva liikenneinfrastruktuurin rakentaja ja kunnossapitäjä.

## 2 LOUHINTATYÖT

Louhintatyöt voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan; avolouhinta, maanalainen louhinta ja vedenalainen louhintaan. Tässä opinnäytetyössä keskitytään avolouhintaan.

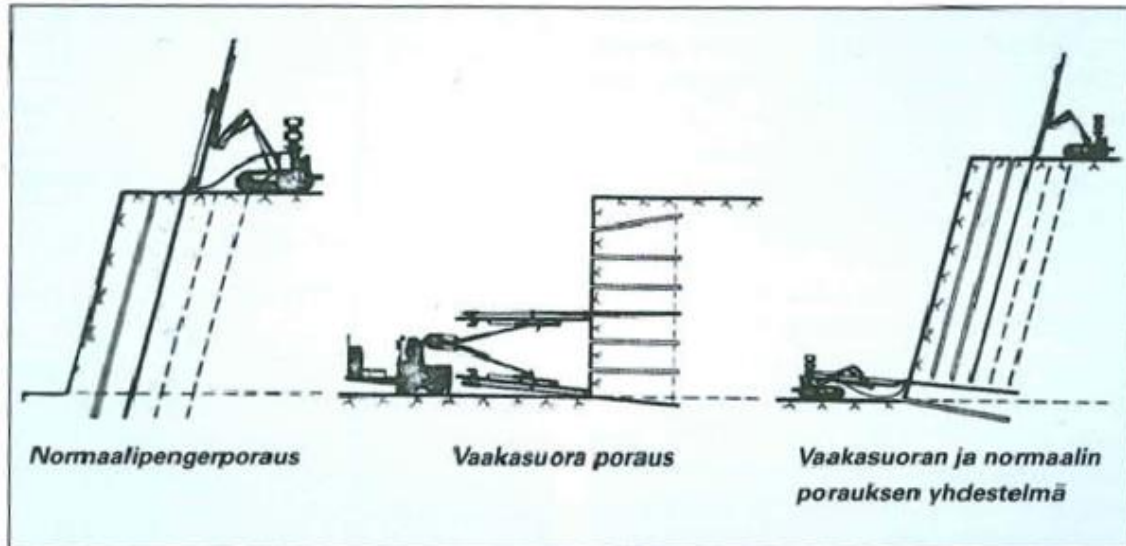
### 2.1 Avolouhinta

Avolouhinnalla tarkoitetaan louhintaa, joka tapahtuu maan päällä (1, s. 107). Avolouhinta liittyy useaan osa-alueeseen rakennusalalla, esimerkiksi pohjarakentamiseen, kiviainestuotantoon, tarvekilouhintaan sekä kalliotilojen rakentamiseen. Avolouhinta itsessään voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen: pengerlouhintaan, kanaalilouhintaan ja tarkkuuslouhintaan. (2, s. 141.)

#### 2.1.1 Pengerlouhinta

Tavanomaisin kallion irrotustapa on pengerlouhinta. Pengerlouhinnan työvaiheet menevät seuraavasti: suunnittelu, pintamaan poisto, poraus, panostaminen, räjäytys, rikotus ja kuljetus. Pengerlouhinnassa käytetään pääsääntöisesti pystysuunnasta porattuja reikiä, joissa on hieman kallistusta. On kuitenkin olemassa muitakin menetelmiä, esimerkiksi vaakasuora poraus. (2, s. 125.) Kuvassa 1 on esitetty pengerporauksen menetelmiä. Porauksesta, panostuksesta ja räjäytyksestä voidaan käyttää nimitystä irrotus. Kun suunniteltu kenttä on irrotettu, voidaan joutua ylisuuria kiviä rikottamaan pienemmäksi jatkotoimenpiteitä varten. Näitä ovat lastaus, poiskuljetus ja mahdollisesti kiviaineksen murskaaminen. (1, s. 109.)





KUVA 1. Pengerporauksen menetelmiä (2, s. 129)

## 2.1.2 Kanaalilouhinta

Yksi avolouhinnan variaatio on kanaalilouhinta. Usein kanaalilouhintaa tehdään vesijohtoja, viemäriputkia, salaojia ja kaapeleita varten. Kanaalilouhinnan pengerleveys vaihtelee 0 m:stä 4 m:iin. Kanaalilouhinnan ero tavanomaiseen pengerlouhintaan on irtoavan kiven purkaantumissuunta. Pengerlouhinnassa kivien purkaantumissuunnat ovat penkereen suuntaisesti ja ylöspäin, kun taas kanaalilouhinnassa purkaantumissuuntaa voi olla pelkästään ylöspäin. (2, s. 155.)

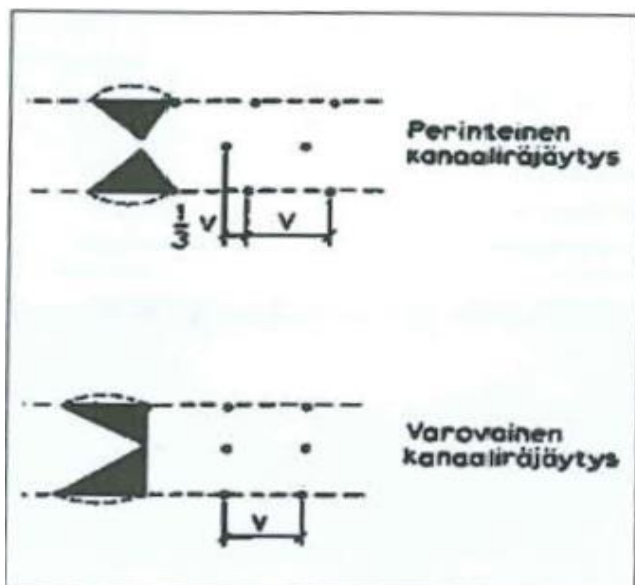
Kanaalilouhinta voidaan jakaa kahteen eri menettelytapaan: tavanomainen kanaalilouhinta ja varovainen kanaalilouhinta. Tavanomaisen ja varovaisen kanaalilouhinnan eroina ovat erilainen tapa sijoittaa räjähdysaine kalliioon ja erilainen porareikien sijoittelu. (2, s. 155.) Kuvassa 2 on vasemalla näkyvässä tavanomaisen kanaalilouhinnan panostus ja oikealla varovaisen kanaalilouhinnan panostus.



KUVA 2. Kanaalilouhinnan panostustavat (2, s. 155-156)

Tavanomaisessa kanaalilouhinnassa räjähdaineet jakautuvat symmetrisesti porareissä. Varovaisessa kanaalilouhinnassa reunimmaisien reikien varsipanosta vähennetään ja keskimmäisien reikien varsipanosta suurennetaan. (2, s. 155.)

Tavanomaisessa kanaalilouhinnassa keskimmäiset reiät ovat noin 1/3 edun verran edempänä purkaantumissuuntaan nähden kuin reunareivät. Varovaisessa kanaalilouhinnassa reunassa olevat reiät ja keskellä olevat reiät ovat samassa linjassa. (2, s. 156.) Kuvassa 3 on esitetty porareikien sijoittelu kanaalilouhinnassa.



KUVA 3. Kanaalilouhinnan porareikien sijoittelu (2, s. 156)

Tavanomaisen kanaalilouhinnan etuja ovat

- samanlainen panostus jokaisessa reiässä.
- pienemmät tärinät.

Tavanomaisen kanaalilouhinnan haittana on epäsymmetrinen porauskuvio, minkä vuoksi ryöstöt voivat olla suuria.

Varovaisen kanaalilouhinnan etuna on symmetrinen porauskuvio. Tällöin ryöstöt vähäisempiä kuin tavanomaisessa kanaalilouhinnassa.

Seuraavassa on esitetty varovaisen kanaalilouhinnan haittoja:

- panostus poikkeaa reunareikien ja keskireikien välillä.
- keskireikien panostus on suurempi kuin tavanomaisessa kanaalilouhinnassa, jolloin tärinät kasvavat. (2, s. 156.)

### 2.1.3 Tarkkuuslouhinta

Tarkkuuslouhinnan tarkoituksena on louhia kallioon suunniteltu tila tietyn toleranssin tarkkuudella. Pääpyrkimyksenä on saada louhitut kallion pinnat sileiksi siten, että louhitulla pinnalla ei olisi rakou-  
lua. (2, s. 261.) Kuvassa 4 on tarkkuuslouhittua kalliota.



KUVA 4. Tarkkuuslouhittu kallioseinä (2, s. 261)

Tarkkuuslouhinnan edellytyksenä on, että louhittavan kallion reunoilla on normaalia irrotuslouhinta huolellisemmin ja tiheämmin poratut reiät sekä kevennetty panostus. (2, s. 261.)

Yleensä louhintatöissä on tavoitteena rikkoa kallio mahdollisimman pieniksi lohkeiksi, kun taas tarkkuuslouhinnan pyrkimyksenä on jättää jäljelle jäävä kallioseinä mahdollisimman ehyeksi. (2, s. 261.)

## **2.2 Pintamaan poisto**

Ennen kuin kalliota päästään poraamaan, on siltä alueelta poistettava pintamaat ja suuret irtokivet, jolta kalliota tullaan irrottamaan. Pintamaat poistetaan sen takia, että porattuihin reikiin ei valuisi pintamaita, jotka voisi tukkia panostettavat reiät. Suuret irtokivet olisi hyvä poistaa, sillä ne voivat haitata poraustyötä, lisäksi irtokivet voivat sinkoutua räjähdysten voimasta ja näin aiheuttaa vaaraa. (3, s. 30.)

Pintamaiden poisto myös edesauttaa siinä, että kalliossa nähdään mahdolliset halkeamat, joita olisi hyvä ottaa huomioon panostustyötä tehdessä. Useasti irrotettu kallio halutaan jatkojalostaa murskelajikkeiksi, joiden joukossa ei saa olla pintamaita ja muita epäpuhtauksia. (3, s. 30.)

## **2.3 Poraus**

Louhintatyöt voidaan porauksen osalta jakaa karkeasti kahteen luokkaan, maanalaisiin ja maanpäällisiin työkohteisiin. Tässä opinnäytetyössä keskitytään maanpäälliseen poraukseen. Maanpäällisessä porauksessa käytetään useimmiten suurempia reikäkokoja kuin maanalaisessa porauksessa. (2, s. 129.)

Porauskalusto on erilaista maanalaisessa porauksessa verrattuna maanpäälliseen porauskalustoon, mutta kalustoja voidaan käyttää osittain ristiin. Avolouhinnassa voidaan käyttää porauksen osalta kolmea eri menetelmää: päältä lyövä-, uppo- ja kiertoporaus. Suomessa pengerlouhinnoissa käytetään pääsääntöisesti päältä lyövää porausta. (2, s. 129.) Kuvassa 5 on havainnollistettu päältä lyövän porauksen idea.



KUVA 5. Päältä lyövän porauksen idea (2, s. 130)

Avolouhintakohteissa porauskalusto valitaan useimmiten pengerkorkeuden perusteella. Avolouhinnassa käytettävät vaunut jaotellaan rakenteensa puolesta seuraavalla tavalla: kevyet, keskiraskaat ja raskaat yksiköt. (2, s. 133.)

Kevyitä yksiköitä käytetään matalien penkereiden poraamiseen pengerkorkeuden ollessa 3-10 metriä ja reiän läpimitta 45 millimetriä tai vähemmän. Kevyet poravaunut ovat usein liikuteltavissa kauko-ohjaimella ja ne kulkevat joko kumipyörillä tai telaketjuilla. Koska kevyet vaunut ovat useimmiten pieniä, ne soveltuvat hyvin ahtaisiin ja hankalakulkuisiin paikkoihin. (2, s. 133.)

Keskiraskaat yksiköt ovat vaunuja, joita ohjataan yleensä hytistä, mutta ne voidaan myös varustaa kauko-ohjaimella, jolloin vaunun kuljettaja voi hankalassa paikassa ajaa vaunua kauko-ohjaimen avulla. Keskiraskaita vaunuja käytetään pengerkorkeuden ollessa 5 - 25 metriä ja ne soveltuvat parhaiten reikäkokojen 45 - 89 millimetriä poraamiseen. (2, s. 133.) Kuvassa 6 on esitetty yleisesti käytetty keskiraskas poravaunu.



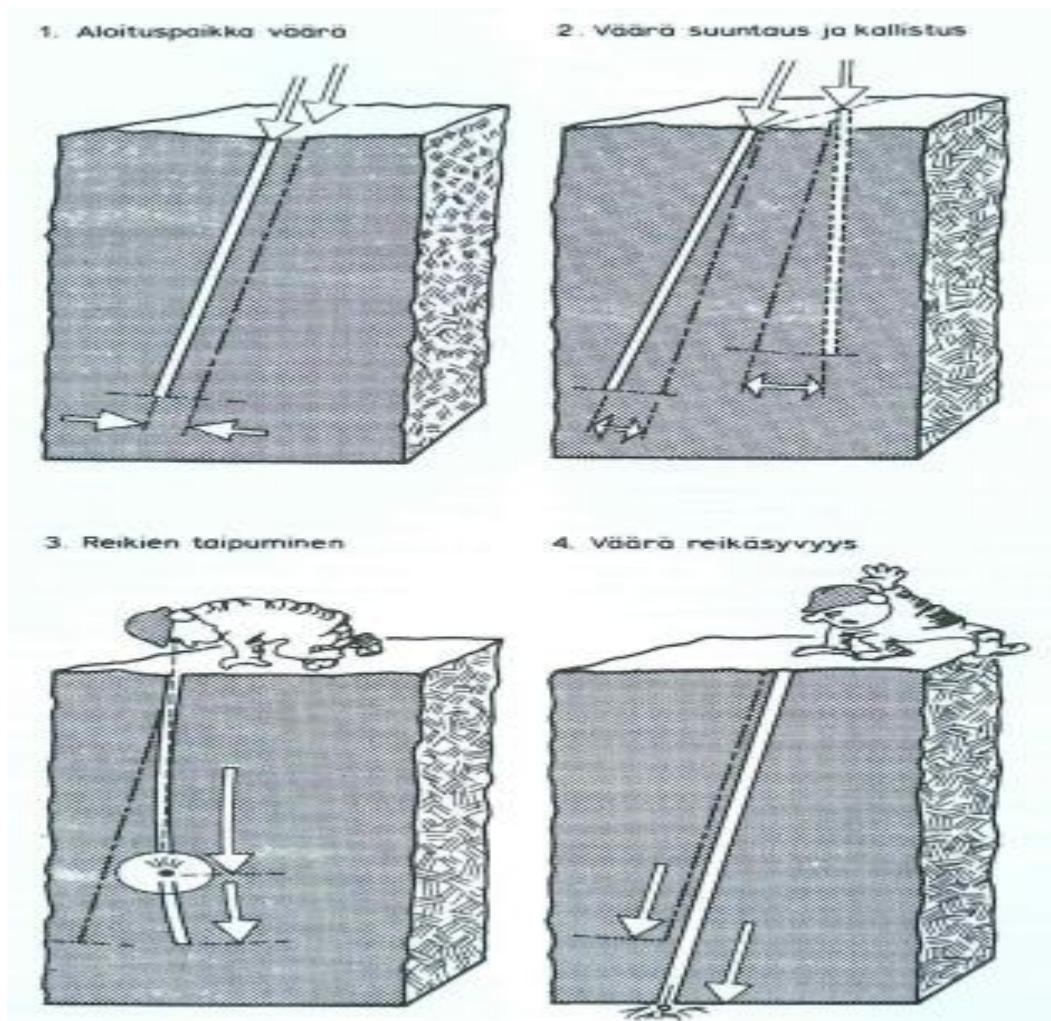
*KUVA 6. Sandvikin valmistama keskiraskas poravaunu*

Raskaita avolouhintavaunuja käytetään suurissa louhintakohteissa, kuten avokaivoksilla. Raskaiden avolouhintavaunujen poraamien reikien halkaisijat ovat 76 - 203 millimetriä. (2, s. 133.)

### **Porausvirheet**

Yleisimmät porausvirheet ovat väärä aloituspaikka, väärä suuntaus tai kallistus, reikien taipuminen ja väärä reikäsyvyys. Kuvassa 7 on havainnollistettu yleisimmät porausvirheet.





KUVA 7. Porausvirheet (2, s. 157)

Jos porattu reikä on liian lyhyt, kallio ei leikkaudu oikeasta tasosta ja kallioon voi jäädä kynsi louhintatason yläpuolelle. Kuvassa olevien virheiden seurauksena kivien lohkokoko voi jäädä hyvin suureksi, kun reikien väliset etäisyydet toisistaan ovat epäsäännöllisiä.

Porausvirheiden seurauksena voi olla kivien sinkoutumisvaara. Jos porauksen aloituspaikka tai suuntaus ja kallistus ovat väärät, voi niin kutsuttu ”etu” jäädä liian ohueksi ja räjäytettäessä kalliosta voi irrota kiviä, jotka saattavat sinkoilla hallitsemattomasti ympäristöön. Korkeissa penkereissä po-

ratut reiät alkavat herkemmin taipumaan kuin matalissa rei'issä. Kalliossa olevat heikkousvyöhykkeet ja rakoilut lisäävät porareikien taipumista, ja liian suuri tunkeutumisenopeus voi vaikuttaa osaltansa porareikien taipumiseen. (2, s. 113.)

## 2.4 Panostus

Panostus tapahtuu juuri ennen kuin kenttä pyritään räjäyttämään. Tätä ennen alueelta on poistettu pintamaa ja louhittava kenttä on porattu valmiiksi. Ennen kuin panostaminen tapahtuu, on panostajan tarkistettava, että panostettavat reiät ovat oikean syvyisiä ja että reiät ovat avoimia. Mikäli porattu reikä on liian syvä, voidaan reikä täyttää oikeaan syvyyteen sepelin avulla. Jos porattu reikä on liian lyhyt, voidaan paikalla käyttää poravaunua, joka poraa reiän sopivan pitkäksi. (2, s. 173.)

Porausreiässä olevat tukokset on usein mahdollista poistaa panostuskepillä tai ”juntalla”. Juntta on raudasta tehty painava tanko, jonka päähän on sidottu naru. Junttaa tiputetaan narun varassa porareikään ja koitetaan saada mahdollinen tukos poistettua. (2, s. 175.)

Porausreiässä olevaa vettä ei tarvitse poistaa, jos räjähdysaineet ovat vedenkestäviä. Dynamiitit ja emulsioräjähdysaineet ovat vedenkestäviä. Anfoa käytettäessä vesi tulee poistaa porareistä, koska se pilaantuu vedessä nopeasti. (2 s. 175.) Veden poistaminen voidaan toteuttaa pitkällä muoviputkella, joka liitetään poravaunun paineilmajärjestelmään tai itsenäiseen paineilmakompressoriin. Muoviputki syötetään poratun reiän pohjalle ja paineistettua ilmaa syötetään putken kautta reikään, jolloin siellä oleva vesi lähtee nousemaan ja lopulta poistuu reiästä.

Panostustapoja on pääpiirteittäin kaksi

- keppipanostus ja räjähdysaineiden kaataminen tai tiputtaminen porattuun reikään
- panostaminen panostuslaitteella.

Keppipanostusta käytetään Suomessa pienissä räjäytystöissä ja usein alueella, jossa on asutusta. Räjähdysainepatruunoiden halkaisijan on oltava mahdollisimman suuri verrattuna porattuun reikään, mikäli halutaan saavuttaa suuri panostustiheys keppipanostuksella. Tässä tulee kuitenkin ottaa huomioon se, että nallien johtimet sopivat myös porareikään. (2, s. 69.)



Panostuskeppiä käytetään pienissä porareißissä patruunoiden tiivistämiseen ja oikean kannen pakkuuden määrittämiseen. Panostuskepillä voidaan työntää jarrujousi haluttuun syvyyteen. Panostusastetta voidaan nostaa keppipanostuksessa siten, että jokainen porareikään sijoitettu räjähdäinepatruuna tiivistetään kepillä, pois lukien aloituspanos, jota ei saa tiivistää. (2, s. 176.)

Panostuskepin tulee olla

- kipinöimätön
- väljästi porareikään sopiva
- sellaisesta materiaalista, joka ei kerää staattisia varauksia (4, s. 205).

Panostuslaitteella, joka on yleensä panostusautossa, panostetaan avolouhinnassa useimmiten emulsioräjähdäaineita, kuten Kemiittiä ja joskus Anfoa. Panostuslaitteella pumpataan esimerkiksi Kemiittiä porausreikiin, jossa se muodostuu räjähdysherkäksi pienen ajan kuluessa. (2, s. 69.)

## 2.5 Räjähdyttäminen

Ennen työmaan aloittamista täytyy lähes aina ensin hakea viranomaislupia. Näitä ovat esimerkiksi maa-aineksen ottamislupa, rakennuslupa, kaivoslupa ja tieoikeus. Näissä luvissa on määritelty maankäytön suunnittelu ja esimerkiksi ottamistasot. Lisäksi tulee hakea turvallisuutta käsitteleviä lupia ja päätöksiä, joita voivat olla

- räjähteiden tilapäinen tai pysyvä varastointilupa
- siirtotodistus, mikä tarvitaan räjähteiden siirtoa ja hankintaa varten
- ympäristölupa ja melu- tai ilmansuojeluilmoitus tilapäisestä erityisen häiritsevästä melusta.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) myöntää luvat räjähteiden varastointiin ja siirtotodistuksen. Räjähdytyksen suorittamisesta tulee tehdä ilmoitus sen paikkakunnan poliisille, jonka alueella räjähtäminen suoritetaan. Ilmoitus tulee tehdä seitsemän vuorokautta ennen töiden aloittamista. Väehäisissä räjähtäytöissä asutun alueen ulkopuolella riittää, että ilmoitus tehdään yksi vuorokausi ennen töiden aloittamista. (3, s. 7.)

Räjähdytyksistä on laadittava räjähtä- ja louhintatyön turvallisuussuunnitelma, joka on määritelty työturvallisuuslaissa. Turvallisuussuunnitelma tulee olla tehtynä ennen töiden aloittamista. Räjäh-

tyssuunnitelman laatii päätoteuttaja, mutta useimmiten räjäytystöissä suunnitelman laatii louhintaurakoitsija. Turvallisuussuunnitelma on hyvä laittaa liitteeksi poliisille tehtävään ilmoitukseen. (3, s. 11.)

Kun louhittavan alueen lähellä on rakennuksia tai tärinäherkkiä laitteita, tulee ennen ja jälkeen räjäytystyön tehdä kyseisille alueille katselmukset. Alkukatselmuksissa asianosaiset käyvät läpi rakenteissa olemassa olevat vauriot ja kirjaavat ne ylös ennen louhintatöitä. Vastaavasti louhintatöiden päätyttyä tehdään loppukatselmus, jossa todetaan, onko louhintatöistä aiheutunut vaurioita ja ovatko mahdolliset olemassa olleet vauriot kasvaneet. (2, s. 317.) Tärinämittareiden asentaminen voi tulla kyseeseen, kun louhintatöitä suoritetaan rakennusten tai muutoin tärinäherkkien paikkojen läheisyydessä. Mittareista saatavien tulosten avulla voidaan arvioida tärinän vahingollisuutta ja todeta tärinöiden suuruus. (2, s. 319.)

Asutulla alueella tai paikassa, jossa ihmisiä tavallisesti oleskelee, täytyy louhittava kenttä peittää ja suojata siten, että räjähdyksestä ei pääse sinkoutumaan kiviä ympäristöön (5). Kuvassa 8 kenttä on peitetty räjäytyssuojamatoilla kivien sinkoutumisen estämiseksi. Muita toimenpiteitä, joilla voidaan vähentää kivien sinkoutumisen riskiä, on peittää kentän keula louheverhouksella tai esimerkiksi vähentämällä ominaispanostusta.



*KUVA 8. Räjätysuojamatoilla peitetty kenttä*

Ennen räjäytyshetkeä panostajan täytyy laatia kirjallinen räjäytysuunnitelma, jossa tulee ilmetä räjäytettävän kentän

- pengerkorkeus, sijainti ja koko
- poratun reiän halkaisija
- ominaispanostus
- suurin yhtä aikaa syttyvä räjähdeainemäärä
- reikäpanos
- käytettävät sytytysvälineet ja räjähdeainemäärä
- nallien kytkentä
- vaarallinen alue
- varmistustoimenpiteet ja peittäminen
- räjäytysajankohta, sekä räjäytysuunnitelman tekijä
- tärinämittaustulokset, jotka voidaan lisätä räjäytyksen jälkeen (3, s. 12).

## **Räjätysshetki**

Räjätystyön johtaja määrittelee ja osoittaa suojapaikat sekä vaarallisen alueen ja vartiohenkilöiden paikat. Vartiohenkilöt ja räjäytystyön johtaja varmistavat ennen kentän sytyttämistä, ettei vaarallisella alueella ole ihmisiä ja että ylimääräiset räjähdeaineet on toimitettu pois alueelta. Räjätystyksestä täytyy varoittaa selkeästi kuuluvalla äänimerkillä. (5.) Äänimerkinantolaitteena voi olla sähköisesti toimiva äänimerkinantolaitte, josta voi valita automaattisesti kuuluvan katkonaisen tai yhtenevän äänimerkin tai poravaunun ilmanpainejärjestelmään liitettävä pilli, jota käytetään manuaalisesti.

Räjätysten jälkeen räjäytystyön johtajan tulee selvittää ja ilmoittaa, milloin vaaralliselle alueelle voi palata. Räjätystyön johtajan on varmistettava, ettei alueella ole palamattomia räjähdeaineita. Jos alueella on palamattomia räjähteitä, tulee ne poistaa välittömästi. Mikäli räjähteiden poistaminen ei ole mahdollista, tulee työnantajan antaa tarvittavat arvio vaarasta ja torjuntatoimenpiteistä työntekijöille sekä muille henkilöille, jotka ovat vaarallisella alueella. (5.)

## **Räjätysistä syntyvät haitat**

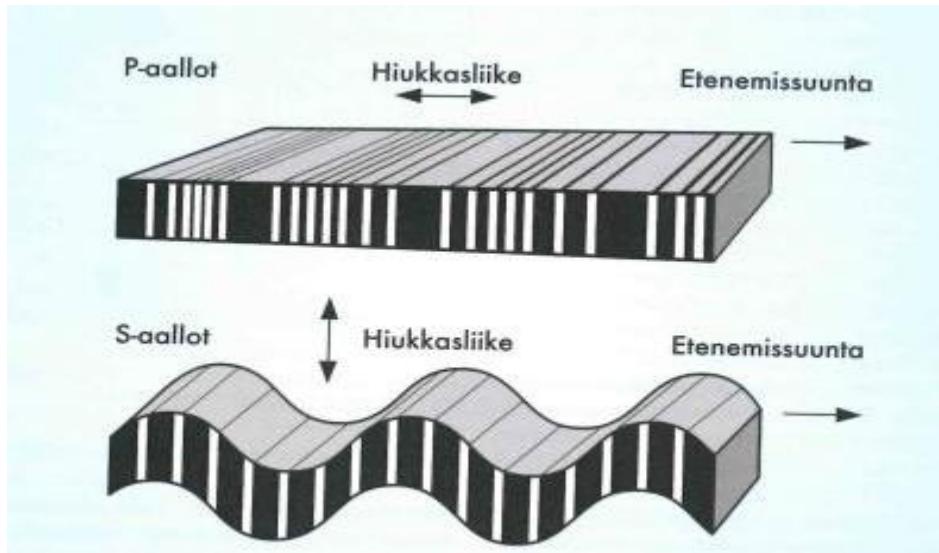
Räjätystyksestä aiheutuvia haittoja voivat olla tärinät ja ilma-aallon ylipaine, pölyäminen, räjähdyksestä syntyvä ääni ja kivien sinkoilu. Tärinöistä voi aiheutua rakenteille vaurioita, kuten venymistä, taipumista ja repeämistä (2, s. 302). Seuraavassa on kerrottu enemmän tärinöiden muodostumisesta ja etenemisistä.

### **Tärinän muodostuminen**

Räjätysissä kallioon syntyy jännitysaalto, joka aiheuttaa kiven irtoamista ja hiukkasien siirtymistä väliaineessa, eli tärinää. Räjähdyksineen räjähtäessä porausreiässä syntyy paineaalto, joka aiheuttaa vastareaktioita. Vastareaktiot aiheuttavat aineen tiivistymistä ja murskautumista pieneltä alueelta. Paineaallon loppuosa jatkaa etenemistä shokkiaaltona, joka on nopein räjähdysten aiheuttamista aaltoliikkeistä. Shokkiaalto tiivistää ja hajottaa kalliota, johon aallon aiheuttama energia häviää ja etenemisnopeus pienenee.

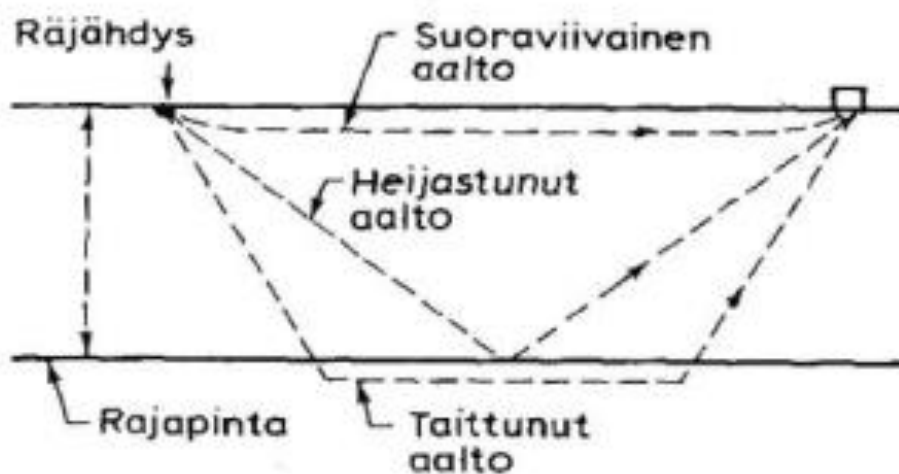
Energian ja etenemisnopeuden pienentyessä shokkiaalto muuttuu plastiseksi aalloksi, mikä voi aiheuttaa vain plastisia muutoksia kalliossa. Kun aallon voimakkuus on vaimentunut siten, että väliaineessa ei tapahdu pysyviä muutoksia, on aalto muuttunut kimmoaalloksi. Kimmoaallot voidaan

jaotella kahteen eri pääluokkaan, runko- ja pinta-aaltoihin. Runkoaalloista tunnetuimmat ovat P-aalto sekä S-aalto ja pinta-aalloista tunnetuin on R-aalto. Kuvassa 9 on havainnollistettu P- ja S-aaltojen aaltoliikkeet etenemissuuntaan nähden. (2, s. 299.)



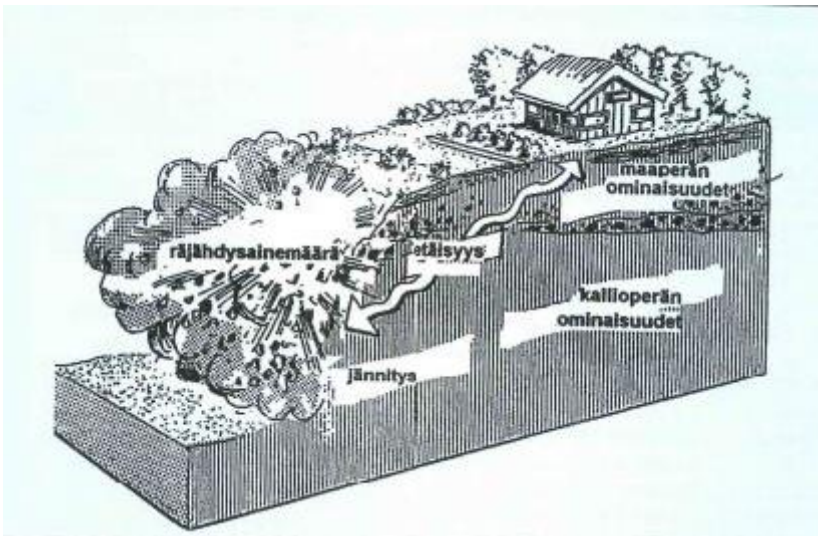
KUVA 9. Runkoaaltojen aaltoliikkeet (2, s. 299)

Seismisissä tutkimuksissa tarkkaillaan useimmiten P-, S- ja R-aaltoja. P-aaltojen etenemisnopeus on niistä suurin. Toiseksi suurin etenemisnopeus on S-aalloilla ja hitain R-aalloilla. Näistä aaltoliikkeistä jokainen pystyy etenemään kolmella eri tavalla. (2, s. 300.) Kuvassa 10 on esitetty, mitä kautta aaltoliikkeet voivat edetä.



KUVA 10. Aaltoliikkeiden etenemistavat (2, s. 300)

Tärinäaaltojen eteneminen ja vaimentuminen voivat vaihdella riippuen siitä, mikä toimii väliaineena maan sisällä. Kallion ominaisuuksilla ja kivilajeilla on oleellisesti merkitystä tärinän suuruuteen. Kalliossa tärinä vaimentuu enemmän silloin, kun tärinä etenee kohtisuoraan kalliossa esiintyvää rakoilua tai liuskeisuutta vastaan verrattuna siihen, että tärinä etenisi rakoilun tai liuskeisuuden suuntaisesti. Väliaineen vaihtumisella kallioista soraan tai muuhun on yleensä tärinää vaimentava vaikutus. Tärinänjohtavuuden lisäksi väliaineella on vaikutuksensa tärinäaallon taajuuteen ja etenemisnopeuteen. (2, s. 325.) Kuvassa 11 on esitetty tärinän suuruuteen vaikuttavia tekijöitä.



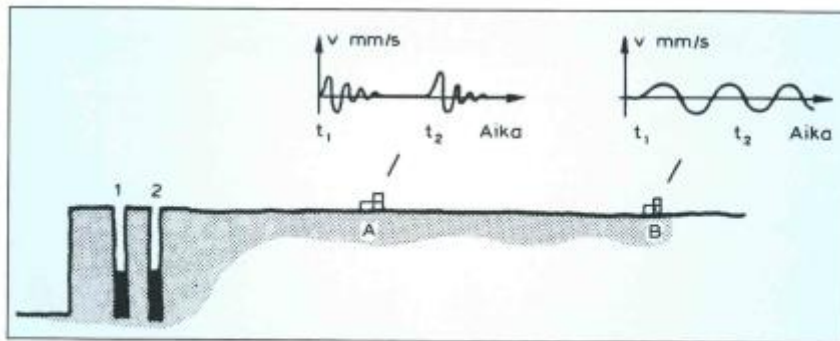
KUVA 11. Tärinän suuruuteen vaikuttavat tekijät (2, s. 326)

Räjäytyksistä aiheutuvan tärinän suuruuteen vaikuttavat seuraavat tekijät

- kallioperän kivilaji ja rakenne tai muun väliaineen ominaisuudet
- räjäytyksen ja mitattavan kohteen välinen etäisyys sekä sijainti
- reikäpanoksen suuruus
- samanaikaisesti syttyvä räjähdemäärä
- räjäytettävän kentän ja mitattavan pisteen välisen kallion pinnan vaihtelut
- heilahdusnopeuden kasvu roudan vaikutuksesta jopa 1,2–1,5 kertaiseksi (2, s. 326).

Räjäytettävissä kentissä on usein monta peräkkäistä panostettua reikää. Tämän tyyppisissä tapauksissa voi useammalla peräkkäisellä panoksella olla yhteisvaikutus tärinän luonteeseen. Koska räjäytyksestä syntyy eri nopeudella ja taajuudella eteneviä aaltoja, jotka etenevät eri teitse, voi

tällöin eri aikaan räjähtävät panokset aiheuttaa yhteisvaikutusta mittauspisteeseen värinöiden suhteen. (2, s. 332.)



Kahden panoksen yhteisvaikutus eri etäisyyksillä:  
- Lyhyehkö etäisyys A, ei yhteisvaikutusta  
- Pitkä etäisyys B, yhteisvaikutus.

KUVA 12. Yhteisvaikutus eri mittauspisteiden suhteen (2, s. 332)

Kuvassa 12 on havainnollistettu panoksien mahdollinen yhteisvaikutus heilahdusnopeuteen. Se että kaksi peräkkäistä panosta aiheuttaisi yhteisvaikutusta, riippuu seuraavista tekijöistä:

- panosten syttymisaikaväli, sekä suuntaus ja panosten väliset etäisyydet
- väliaineen laatu
- värinän kesto
- mittauspisteen ja panoksen välinen etäisyys
- räjähdysnopeus (2, s. 332).

### Tärinäistä mitattavat suureet

Nykyään käytetään lähes aina värinämittauksia, kun louhintatöitä suoritetaan asutun alueen tai teollisuuslaitosten lähellä. Mittaukset toimivat apukeinona räjäytyksistä syntyvän värinän toteamisessa sekä värinän vaurioittamisvaaran arvioinnissa. Värinämittauksilla pystytään myös valvomaan sitä, että räjäytyksistä syntyvä värinä pysyy määriteltyjen ohjearvojen sisällä. (2, s. 319.)

Mittauslaitteisto voidaan jakaa kahteen eri pääryhmään: huippuarvomittarit ja analyysimittarit. Huippuarvomittarit mittaavat valitun värinäsuureen huippuarvoa. Huippuarvomittareita käytetään pääsääntöisesti ohjearvojen noudattamisen valvontaan. Analyysimittareista saadaan tarkempi tieto syntyneestä värinästä, kuten värinän kesto ja vaihtelu, sekä taajuudet. (2, s. 324.) Analyysimittarit



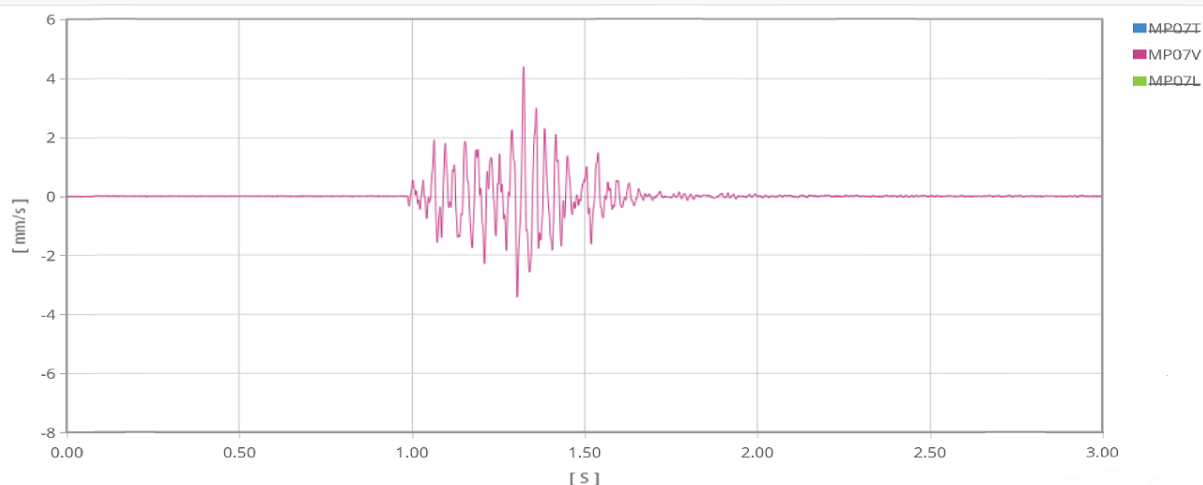
mittaavat ja tallentavat koko tapahtuman, kun tärinöitä on syntynyt. Tuloksista saadaan mitattavien suureiden huippuarvot jokaiseen suuntaan, joita ovat tärinän pystykomponentti sekä tärinän vaakakomponentti pituussuunnassa ja poikkisuunnassa.

Mittauksista saadaan seuraavat suureet:

- $v$  = heilahdusnopeus (mm/s).
- $f$  = taajuus (hz).
- $A$  = siirtymä (mm tai  $\mu\text{m}$ ).
- $a$  = kiihtyvyys ( $\text{m/s}^2$  tai  $g = 9,8\text{m/s}^2$ ).

Riippuen laitteiden ominaisuuksista, tuloksista on mahdollista nähdä tärinän kesto, taajuus, kiihtyvyys, siirtymä sekä pysty-, ja vaakakomponenttien vektorisumma (2, s. 321). Kuvassa 13 on näkyvissä mittaustuloksia ja heilahdusnopeuden käyrä. Kuvan heilahdusnopeuskäyrässä on näkyvissä vain tärinän pystykomponentti, jotta kuvaaja näyttäisi selkeämmältä.

NIMI	AIKA	TULOS	M/S2	SIIRTYMÄ	HZ
MP07V	2020-02-18 11:02:58	4,38 mm/s	1,2 $\text{m/s}^2$	18,0 $\mu\text{m}$	38 hz
MP07L	2020-02-18 11:02:58	3,84 mm/s	0,6 $\text{m/s}^2$	27,0 $\mu\text{m}$	24 hz
MP07T	2020-02-18 11:02:58	5,43 mm/s	1,0 $\text{m/s}^2$	29,0 $\mu\text{m}$	31 hz



KUVA 13. Mittaustuloksia

Vaurioitumisen ehkäisemiseksi tarkoitetut tärinän ohjearvot annetaan yleensä heilahdusnopeuden huippuarvoina, joiden alapuolelle tärinöiden tulisi jäädä. Heilahdusnopeus antaa parhaan kuvan



tärinän vaarallisuudesta. Yleensä ohjearvot annetaan heilahdusnopeudelle (mm/s), mutta on tilanteita, joissa määrävänä ohjearvona on suurin sallittu kiihtyvyys ( $m/s^2$ ). Näin toimitaan esimerkiksi silloin, kun räjäytystöiden lähellä on sairaala- ja laboratoriolaitteita. (2, s. 321.)

### **3 O-PITBLAST**

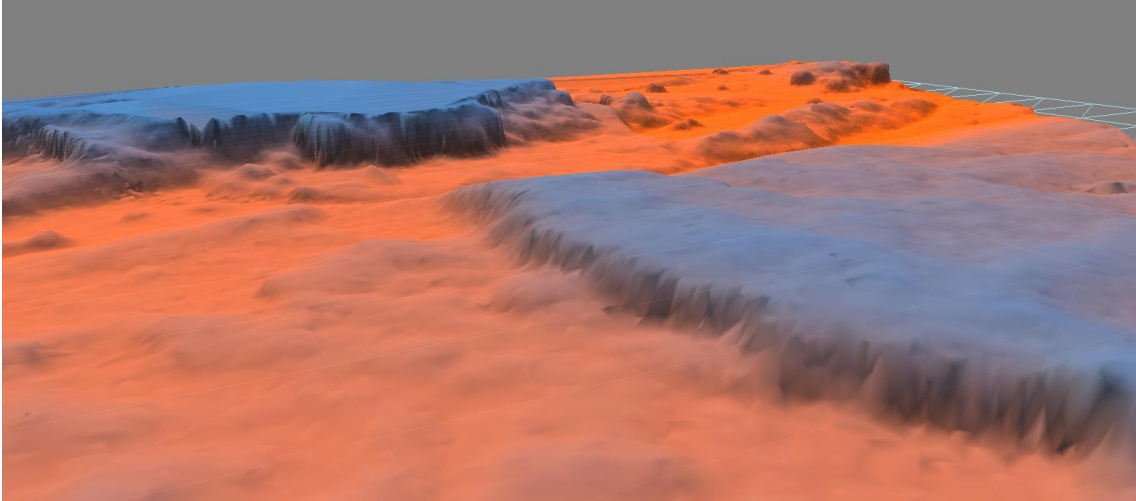
Alkujaan O-Pitblast-ohjelmisto on vuonna 2016 perustetun portugalilaisen O-Pitblast Ldan ohjelmistoyrityksen tuote. Vuoden 2021 alkukesästä Forcit Oy osti O-Pitblast Ldan. Ohjelmisto on tarkoitettu kallioräjäyttämisen suunnitteluun, hallitsemiseen sekä kontrollointiin. O-Pitblastin merkittävimmät vahvuudet ovat sen tarjoamat analyysityökalut, joilla voi mallintaa syntyviä tärinöitä ja räjäytyksen raekokojakaumaa, sekä momentaanisen räjähdeainemäärän tarkastelu. (6.)

Ohjelmaan voi syöttää erilaisia tietokantoja, kuten kivilajeja ja niiden ominaisuuksia, räjähdeaineita ja tarvikkeita sekä niiden ominaisuuksia ja hintoja, käytettävien porareikä kokojen halkaisijat ja metrihinnat. Ohjelmalla voi luoda ennusteen, joka kertoo tärinän heilahdusnopeuden halutulla etäisyydellä. Liitteessä 3 on ohje, miten ohjelmalla luodaan tärinän ennustamiseen käytettävä malli.

#### **3.1 Ohjelmiston ominaisuuksia**

##### **Maastomallin luominen**

Ohjelmaan voidaan tuoda kolmiulotteinen maastomalli, joka on tehty GNSS-mittasauvalla tai dronella laserkeilaamalla. Maastomalli on mahdollista toteuttaa myös 3D-laitteilla varustetun poravauunun toteumatiedoilla. Liitetiedostossa 2 on esitetty, miten maastomalli luodaan toteumatiedoilla. Maastomalliin voidaan suunnitella porattavat reiät ja suunnitelman voi tarvittaessa siirtää poravauunuun, joka on varustettu 3D-laitteilla. Kuvassa 14 on havainnollistettu dronella tuotettu maastomalli O-Pitblastissa. (7.)



KUVA 14. Drone-kuvauksella tuotettu malli

Räjätettävä kenttä pystytään suunnittelemaan etukäteen ja kenttä voidaan myöhemmässä vaiheessa siirtää oikeaan sijaintiin ohjelman karttatyökalua käyttäen. Suunniteltavaan kenttään voidaan porattavien reikien lisäksi suunnitella käytettävät räjähdaineet ja räjäytyksen ajoittamisen. (7.)

### **Räjäytyksen suunnittelu**

Kun irrotettavasta kalliosta on luotu maastomalli, on ohjelmalla helppo lähteä suunnittelemaan siihen räjäytettäviä kenttiä. Ohjelmalla voi suunnitella maastomalliin irrotettavat kentät ja lisätä niihin käytettävät räjähdaineet ja -tarvikkeet. Kun O-Pitblastin tietokantoihin on lisätty parametrien, räjähdaineiden ja -tarvikkeiden kustannukset, ohjelma laskee ne suunnittelun perusteella. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää kustannuslaskennassa, kun pystytään suunnittelemaan valmiiksi irrotettavat kentät isolle alueelle. (7.)

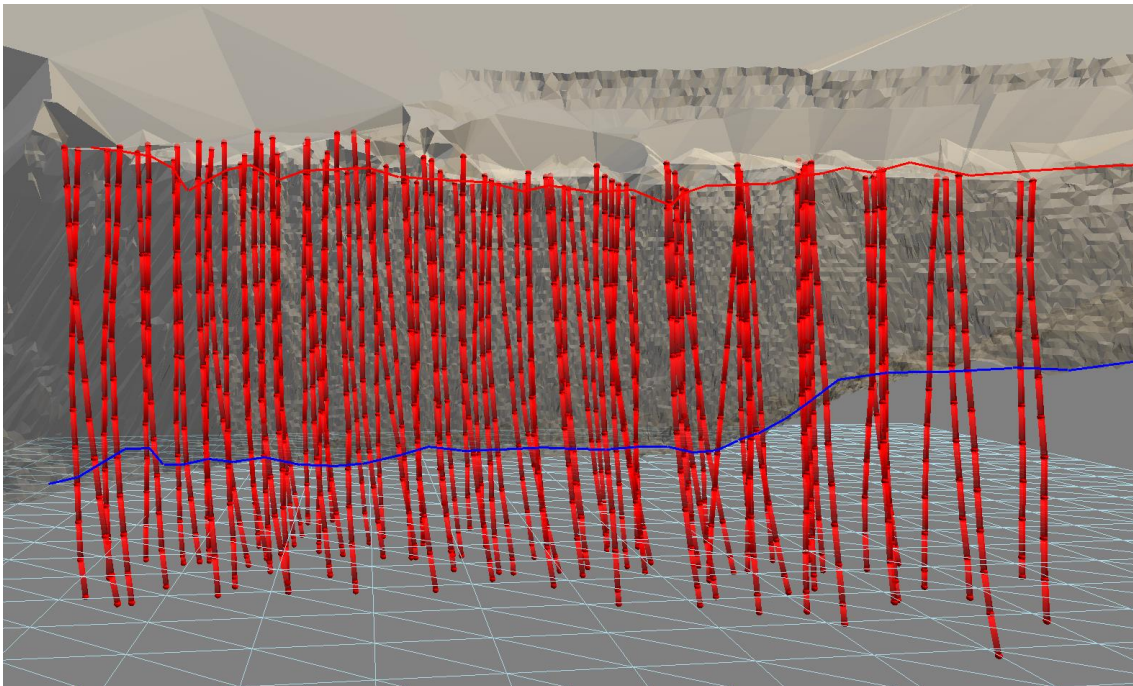
O-Pitblastilla pystyy tallentamaan räjäytyssuunnitelmat ja toteumat sähköisessä muodossa ohjelmiston tarjoamaan pilvipalveluun, josta niitä pystyy jakamaan muille O-pitblast-käyttäjille. Valmiit räjäytyssuunnitelmat pystytään tulostamaan myös paperiversioiksi. Muita mahdollisia kenttäkohtaisia tulosteita ovat

- räjäytyssuunnitelma yksityiskohtineen
- tiedot räjähdaineiden ja tarvikkeiden määristä
- yksityiskohtaiset tiedot kustakin porareikästä, kuten syvyys, halkaisija, etutäytteen paksuus ja käytetyt räjähdainemäärät. (7.)

Tietokoneohjelmiston lisäksi on myös olemassa mobiilisovellus, jonka kautta voidaan tarkastella räjäytys suunnitelmia ja tehdä muutoksia reikäkohtaisiin panostuksiin kentällä.

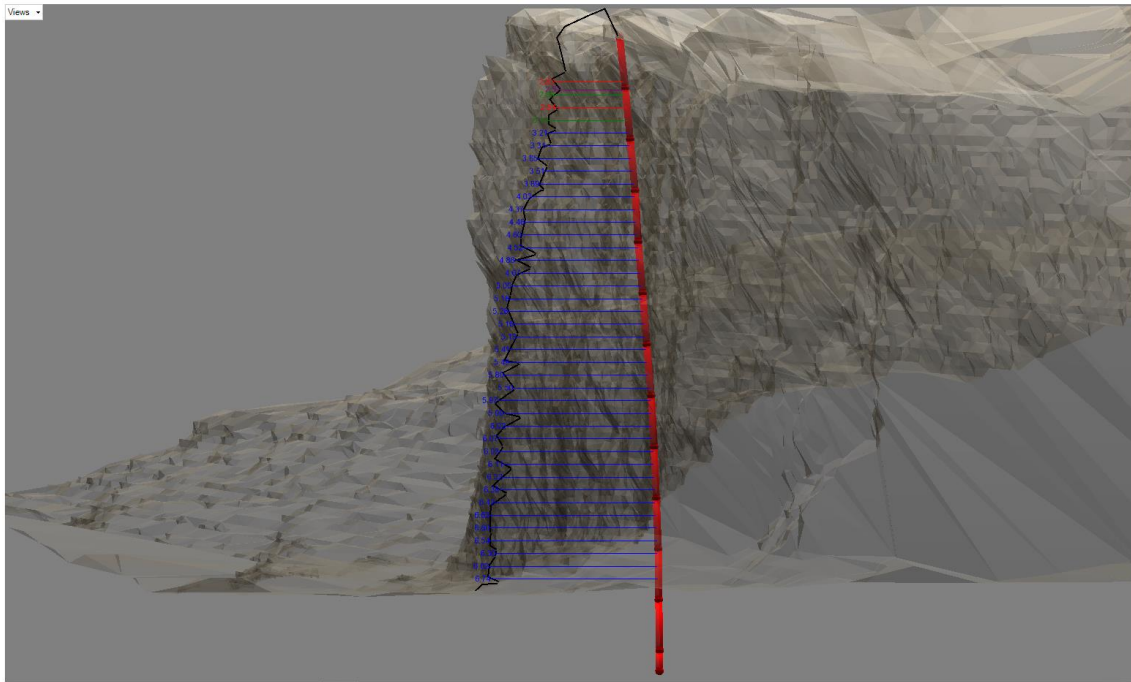
### Laserkeilattu rinta

Maastomalliin voi lisätä laserkeilaamalla skannattu kallion rinta ja reikäsuoruuksittauksella saadut tiedot. Jokaista porattua reikää voidaan tarkastella yksityiskohtaisesti. Tästä on hyötynä se, että jos suunnitteluvaiheessa huomataan ongelmakohtia, kuten liian ohut keula, reikien yhdistymisen tai reikien liiallinen taipuminen, pystytään niihin reagoimaan panostusvaiheessa. Kuvassa 15 on laserkeilattu malli kallion rintaudesta, johon on liitetty reikäsuoruuksittauksesta saatu data. Kolmiulotteista mallia voi ohjelmalla tarkastella joka suunnasta ja näkymästä saatava tieto on hyödyllistä panostajalle, kun suunnitellaan kentän panostamista. (7.)



KUVA 15. Näkymä reikäsuoruuksittauksesta

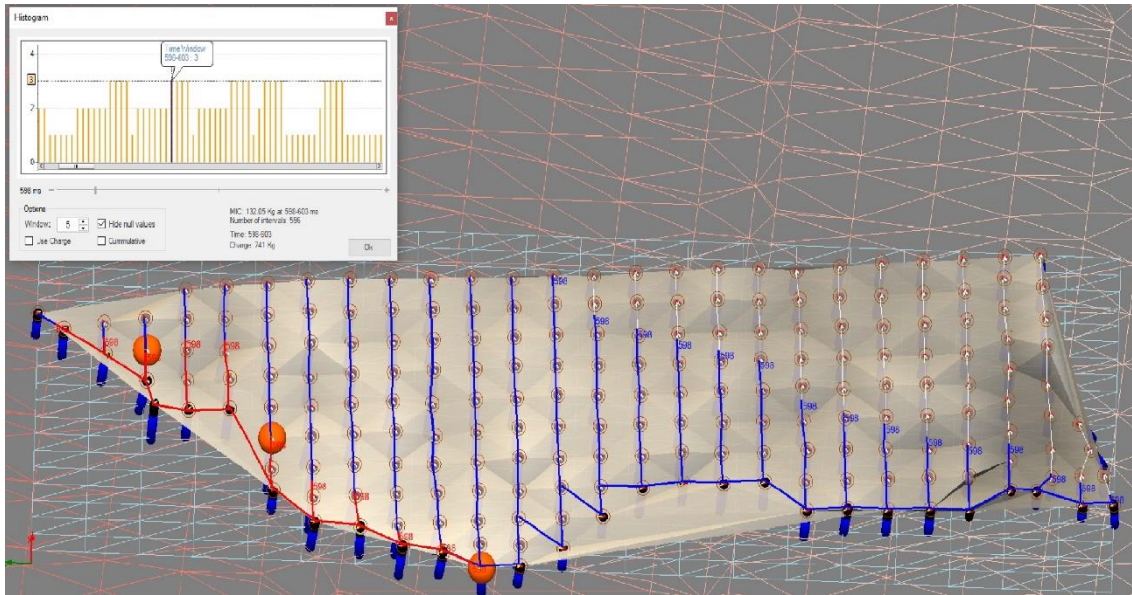
Kuvassa 16 on nähtävissä kolmiulotteinen mallinnus, johon on yhdistetty reikäsuoruuksittaus ja laserkeilattu kallioringaus. Ohjelma näyttää etäisyydet porareistä vapaaseen kalliopintaan määritetyn välein. Ohjelmaan voidaan syöttää suunniteltu etu, jolloin se näyttää etäisyydet eri värein. Kuvassa olevassa mallinnuksessa sinisellä olevat etäisyydet ovat suurempia kuin määritetty etu, punaisella olevat etäisyydet ovat pienempiä kuin määritetty etu. Vihreällä olevat ovat määritetyn toleranssin sisällä ja violetti väri kertoo ohuimman kohdan reiästä vapaaseen pintaan. (7.)



KUVA 16. Etäisyydet vapaaseen kallion pintaan

### Palamisajan tarkastelu

Ohjelmalla pystytään suunnittelemaan räjäytettävään kenttään reikien syttymisjärjestys ja visuaalisesti simuloida räjähtävien reikien palamisjärjestys. Lisäksi sillä pystytään tarkastelemaan valitun aikaikkunan sisällä räjähtävät reiät. Tästä on hyötynä se, että voidaan nähdä samanaikaisesti räjähtävät reiät ja täten tehdä muutoksia syttymisjärjestykseen, jos on tarpeen, sillä yhtä aikaa räjähtävällä räjähdemäärällä on merkittävä vaikutus syntyviin tärinäihin. Kuvassa 17 on näkymä ohjelman simulaatiosta, jossa kenttä on suunniteltu impulssiletkujärjestelmällä.



KUVA 17. Yhtä aikaa räjähtävät porareivät

Kuvan 17 vasemmassa yläreunassa olevassa laatikossa näkyy se hetki, jolloin syttyy suurin yhtä aikaa räjähtävä räjähdemäärä. Kolme oranssia palloa puolestaan näyttävät ne kyseiset reiät, jotka räjähtävät yhdenaikaisesti. (7.)



## 4 TÄRINÄTULOSTEN VERTAILU

Opinnäytetyössä vertailtiin useasta kentästä saatuja todellisia värinämittaustuloksia O-Pitblast-ohjelmalla tehtyihin värinäennusteisiin. Jokaisesta kentästä tehtiin kenttäkohtainen värinäennuste, jota verrattiin kyseisen kentän todellisiin tuloksiin. Lisäksi yksi värinäennustamiseen käytetty malli tehtiin siten, että malliin otettiin monesta eri räjäytyksestä saadut tulokset ja ennustetta verrattiin kenttäkohtaisesti eri kenttien tuloksiin.

Mittauspisteitä oli seitsemän, joista kuusi mittasi heilahdusnopeutta (mm/s) ja yksi mittasi kiihtyvyyttä ( $m/s^2$ ). O-Pitblast voidaan synkronoida Vipnordic-palveluun, jolloin sieltä saadaan värinämittausdata värinäennustetta varten. Ohjelmasta saatava värinäennuste antaa tulokset heilahdusnopeutena (mm/s).

Mittauspisteiltä saatavien mitattavien suureiden huippuarvot saatiin kolmeen eri suuntaan. Näitä ovat poikkisuuntainen värinän vaakakomponentti, värinän pystykomponentti ja pituussuuntainen värinän vaakakomponentti. Mittauksista saatavat suureet olivat siirtymä ( $\mu m$ ), kiihtyvyys ( $m/s^2$ ), taajuus (Hz) ja nopeus (mm/s). Näistä tuloksista ohjelma käytti heilahdusnopeuden tuloksia tehdesään ennustetta. Tällä hetkellä ohjelmalla ainut ennustettava suure on värinän heilahdusnopeus. O-Pitblastin värinäennuste ilmoittaa tuloksen heilahdusnopeuden huippuarvona (PPV = Peak particle velocity), eikä ohjelma ennusta sitä, minkä suuntainen värinänkomponentti on kyseessä.

Liitteessä 1 on esitetty värinämittareilta saatuja tulosten ja O-Pitblastilla tehtyjen ennusteiden erot.

Vertailuun käytetyistä räjäytyksestä oli vain yksi sellainen, jossa kaikilta värinämittarilta saatiin tulokset. Osassa räjäytyksistä puuttuivat yhdeltä tai useammalta mittauspisteeltä tulokset. Tulosten puute osassa räjäytyksistä voi johtua siitä, että värinät ovat voineet olla niin pieniä, että mittarit eivät ole rekisteröineet niitä.

O-Pitblastin laatimassa värinän heilahdusnopeuden ennusteessa olivat arvot myös mittareille, joilta puuttuivat räjäytysten todelliset mittaustulokset. O-Pitblastin niille mittareille ennustamia arvoja ei otettu huomioon ennusteen keskiarvoa laskettaessa, joilta vastaavasti puuttuivat todelliset mittaustulokset.

## 5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli laatia käyttöopas O-Pitblast-ohjelmiston analyysityökaluun, jolla pystytään ennustamaan louhinnasta syntyviä tärinöitä. Opinnäytetyössä tehtiin useampi tärinäennuste, joita verrattiin todellisiin mittaustuloksiin.

Työ aloitettiin mallintamalla O-Pitblastilla räjäytetyt kentät, joihin saatiin maastomalli ja poratoteuma 3D-laitteilla varustetun poravaunun tekemästä laaturaportista. Seuraavaksi mallinnettuihin kenttiin lisättiin tiedot käytetyistä räjähdeseineistä ja tarvikkeista sekä lisättiin vastaavanlainen syttymisjärjestys kuin kentässä oli ollut. Kentän mallintaminen on havainnollistettu liitteessä 2.

Mallinnetut räjäytykset siirrettiin ohjelmalla todellisiin sijainteihin ja luotiin useampi tärinäennuste, joita verrattiin tärinämittareilta saatuihin tuloksiin. Tulosten vertailu on esitetty liitteessä 1.

Opinnäytetyön haasteena oli teoriaosuuden rajaaminen työn kannalta olennaisimpaan tietoon, sillä louhintatöihin liittyy monia huomioon otettavia aiheita, joista jokaisesta voisi tehdä erillisen opinnäytetyön. Haasteena oli myös perehtyä uuteen ohjelmistoon, jonka tarjoamat työkalut ja ominaisuudet ovat varsin laajat.

Jatkossa voidaan O-Pitblastilla luotua ennustetta käyttää kenttäkokojen optimointiin. Tällöin kohteissa, joissa on määritetty raja-arvot tärinän heilahdusnopeudelle, voitaisiin maksimoida räjäytettävien kenttien koko ja momentaaninen räjähdeseinämäärä sallittujen raja-arvojen puitteissa. Tärinäennusteen luominen on esitetty liitteessä 3.



## LÄHTEET

1. Paalumäki, Tauno, Lappalainen, Pekka & Hakapää, Antero 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. Helsinki: Opetushallitus.
2. Vuolio, Raimo, Halonen, Tommi 2012. Räjätystyöt. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
3. Työturvallisuuskeskus TTK, Rakennus- ja putkijohtoalan työalatoimikunta 2016. Räjätys- ja louhintatyön turvallisuusohje. Joensuu: PunaMusta.
4. Jääskeläinen, Raimo 2010. Maarakennuksen ja louhinnan perusteet. Tampere: Tammer-tekniikka / AMK-Kustannus Oy.
5. Valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta 644/2011. Finlex. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110644#Pidp446131008>. Hakupäivä 13.2.2020.
6. Oy Forcit Ab. <https://forcitexplosives.fi/o-pitblast/>. Hakupäivä 16.12.2021.
7. Oy Forcit Ab. <https://forcitexplosives.fi/app/uploads/sites/7/2020/10/O-Pitblast-Kayttoohje-Fl-v1.pdf>. Hakupäivä 16.12.2021