

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infratekniikan ja maa- ja kalliorakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Jarmo Pyöriäinen

Emulsiolla ja patruunoilla panostaminen maan- alaisessa louhinnassa

Opinnäytetyö 2013

Tiivistelmä

Jarmo Pyöriäinen

Emulsiolla ja patruunoilla panostaminen maanalaisessa louhinnassa, 31 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infratekniikan ja maa- ja kalliorakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2013

Ohjaajat: Yliopettaja Tuomo Tahvanainen, Saimaan ammattikorkeakoulu, Rakennuspäällikkö Jouni Hyvärinen, YIT Rakennus Oy

Tämän työn aiheena oli selvittää maanalaisessa louhinnassa käytettävien panostusmenetelmien käytöstä aiheutuvia vaikutuksia aikatauluun. Mukaan otettiin emulsioräjähdysaineella panostaminen sekä patruunoidulla räjähdysaineella panostaminen. Tutkimusmateriaalina käytettiin YIT rakennus Oy:n maanalaisten louhintatyömaiden asiakirjoja. Emulsioräjähdysainetta käyttäneitä työmaita oli mukana yhteensä neljä kappaletta ja patruunoitua räjähdysainetta käyttäneitä työmaita kaksi kappaletta.

Tutkimustyössä jokaisesta työmaasta kerättiin aineistosta perustiedot, joiden avulla päästiin käsiksi aikatauluvaikutuksiin. Tutkittavia perustietoja olivat räjähdysaineiden ja nallien määrät, ominaispanostus, ominaisporaus, tunneliperän pinta-ala, katkonporaukseen kulunut aika, katkon panostamiseen kulunut aika, korjausta vaatineiden katkojen osuus, keskimääräinen katkon korjaamiseen kulunut aika sekä karkea työmaakohtainen kallion laadun määrittely. Tutkimustulokset esitettiin diagrammimuodossa tulkitsemisen helpottamiseksi.

Tutkimustulosten perusteella patruunoitu räjähdysaine osoittautui hinnaltaan edullisemmaksi kuin emulsioräjähdysaine ja patruunoitua räjähdysainetta käyttäneillä työmailla korjausräjäytysten osuus oli hieman pienempi verrattuna emulsioräjähdysainetta käyttäneisiin työmaihiin. Tutkimustulokset olivat vain suuntaa antavia mietittäessä panostusmenetelmien eroja johtuen melko pienestä, vain kuuden työmaan tutkimusotoksesta.

Asiasanat: emulsiopanostaminen, patruunoilla panostaminen, maanalainen louhintahinta

Abstract

Jarmo Pyöriäinen

The usage of emulsion and cartridge explosives in underground excavation, 31 pages

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Degree Programme of Civil and Construction Engineering

Civil Engineering

Bachelor's Thesis 2013

Instructors: Principal lecturer Tuomo Tahvanainen, Saimaa University of Applied Sciences, Head of construction Jouni Hyvärinen, YIT Construction Ltd

The main objective was to find out how different charging methods affect the timetable. In the research included two different charging methods, charging with emulsion and charging with cartridge explosives. The research material includes YIT Construction Ltd:s underground excavation working sites documents. Four working sites were using emulsion and two were using cartridge explosives.

From each document basic information was picked up, and with that information it was possible to check impacts to the working sites timetable. The basic information which was picked up contained the amount of explosives, the amount of drilling, surface area, drilling time, charging time, the amount of blasts which needed fixing, average time needed to fix failed blast and rough estimate of rock quality. Research results were presented in diagrams.

Based on research results, charging with cartridge explosives was cheaper than charging with emulsion. And the amount of blasts, which have needed fixing, was a little bit lower on working sites, which were using cartridge explosives. The research results were only directional due to the small number of research samples.

Keywords: charging with emulsion, charging with cartridge explosives, underground excavation

Sisältö

1 Johdanto.....	5
2 Maanalaisen louhinnan peruseriaatteet	5
2.1 Poraus-räjäytyskaavion suunnittelupäämäärät ja -tavat	6
3 Maanalaisessa louhinnassa tavallisesti käytettävät räjähdysaineet ja nallit.....	7
3.1 Emulsioräjähdysaineet.....	7
3.1.1 Kemiitti 810	8
3.2 Patrunoidut räjähdysaineet	8
3.2.1 Aniitti	8
3.2.2 Kemix A-putkipanokset.....	9
3.2.3 F-putkipanokset	9
3.3 Anfot.....	9
3.3.1 Anfo-800	10
3.3.2 Anfo-600	10
3.4 Sytytyspatruuna	10
3.5 Nallit.....	10
4 Panostusmenetelmät.....	11
4.1 Emulsion panostaminen.....	11
4.2 Anfon panostaminen.....	11
4.3 Patruunoiden panostaminen	11
5 Kustannusten määräytyminen louhintatöissä	12
5.1 Tunnelin poikkileikkauksen vaikutus kustannuksiin	13
5.2 Panostustapojen vertailussa huomioon otavat muuttujat.....	13
6 Esimerkkityömaat	14
7 Emulsioräjähdysainetta käyttäneet työmaat.....	15
7.1 Emulsio 1	15
7.2 Emulsio 2	15
7.3 Emulsio 3	16
7.4 Emulsio 4	16
8 Patrunoitua räjähdysainetta käyttäneet työmaat	17
8.1 Patruuna 1	17
8.2 Patruuna 2	18
9 Tutkimustulokset.....	18
9.1 Tunneliperän koko, ominaispanostus, sekä ominaisporaus	19
9.2 Poraus- ja panostusajat	21
9.3 Räjähdysaineet ja nallit.....	22
9.4 Aikatauluvaikutukset	24
10 Yhteenveto	27
Kuvat.....	30
Kuviot.....	30
Lähteet.....	31

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan maanalaisessa louhinnassa tavallisesti käytettäviä panostusmenetelmiä. Mukaan otettavat menetelmät ovat emulsiopanostaminen sekä patruunoidulla räjähdysaineella panostaminen.

On havaittu, että työmaakohteet, joissa on ollut käytössä emulsioräjähdysaine, on katkojen lähtevyys ollut vajavaista. Katkot eivät ole lähteneet koko pituudeltaan, tai osa panostetuista rei'istä on jäänyt kokonaan räjähtämättä. Tästä syystä on jouduttu suorittamaan korjausräjäytyksiä, ennen kuin varsinainen louhintatyö on voinut jatkua. Patruunoilla panostettaessa tätä ongelmaa ei ole ilmennyt niin useasti, joten menetelmä on mukana vertailukohtana.

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää katkojen vajavaisesta lähtevyydestä aiheutuvien viivästyksien vaikutuksia aikatauluun. Tutkimusmateriaalina käytetään maanalaisten louhintatyömaiden asiakirjoja, kuten työmaapäiväkirjoja, räjäytyspäiväkirjoja, nallikaavioita sekä porauskaavioita. Tutkimusmateriaalin hankinta suoritetaan itsenäisesti käynnissä olevilta työmailta. Valmiiksi saatujen työmaiden asiakirjat hankitaan YIT:n pääkonttorin arkistosta. Tässä työssä ei tulla esittämään työmaiden virallisia nimiä tai sijainteja eikä myöskään euromääräisiä hintatietoja.

2 Maanalaisen louhinnan peruseriaatteet

Tunnelilouhinnassa työtapa on yleensä jaksottainen. Työvaiheet tehdään peräjälkeen järjestyksen ollessa poraus, panostus, räjäytys, tuuletus, kuormaus sekä louheen kuljetus ja vastaanotto, ja vielä lisäksi tarvittavat rusnaus-, lujitus- ja injektointityöt (1, s.215).

Tunnelilouhintoja voidaan toteuttaa usealla eri menetelmällä. Seuraavat tekijät tulee ottaa huomioon menetelmää valittaessa:

- tunnelinmitat
- tunnelin geometria
- tunnelin pituus, louhittava kokonaistilavuus
- geologiset ja kalliomekaaniset olosuhteet

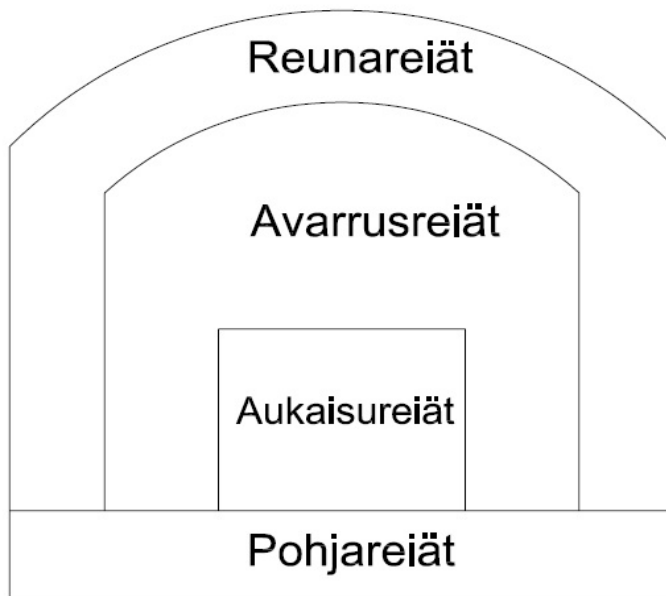
- pohjavesiolosuhteet ja sallitut vesivuodot
- ympäristön värinäolosuhteet.

2.1 Poraus-räjäytyskaavion suunnittelupäämäärät ja -tavat

Poraus-räjäytyskaavion suunnittelussa on päämääränä sijoittaa räjähdysaine kalliioon niin, että haluttu räjäytystulos saavutetaan kustannustehokkaasti. Suunnittelussa on otettava huomioon kallion porattavuus ja räjäytettävyyttä, räjähdysainelaji, syntyvien räjäytystärinöiden rajoittaminen sekä jäljelle jäävien kalliopintojen pysyvyys. (1, s.225).

Tunneli voidaan jakaa seuraaviin osa-alueisiin, joissa reiitystiheys ja panostus vaihtelevat (kuva 1):

- avausreiät
- avarrusreiät
- pohjareiät
- reunareiät eli katto ja seinäreiät.



Kuva 1 Reikäjako tunneliprofilissa

Tunneliräjäytys eroaa pengerrräjäytyksestä siinä, että tunnelilouhinnassa on vain yksi vapaa purkautumissuunta räjähdysten alkaessa. Tämä rajoittaa kerralla irrotettavan kalliomassan eli katkon pituutta ja irtoavaa kuutiolavuutta. Yksin-

kertaistettuna tämä merkitsee, että ominaispanostus ja -porausta suurenevät, kun tunnelin pinta-ala pienenee. Kun suunnitellaan tunnelin porauskaaviota, on päämääränä optimireikämäärän sijoittaminen oikeisiin paikkoihin. Poraustyössä on huolehdittava siitä, että reiät aloitetaan oikeista paikoista ja suunnataan tarkasti. On muistettava, että väärin suunniteltua ja/tai huolimattomasti suunnattua porausta ei voida räjähdysaineilla parantaa. Tunnelin etenemä on tavanomaisissa olosuhteissa noin 85 – 95 % poratusta teoreettisesta katkon pituudesta. (1, s.226.)

Yleinen reikäläpimitta tunneleiden perälouhinnoissa on 48 mm, 51 mm tai 54 mm. Ainoastaan aukaisujen tyhjät reiät ovat suurempia kuin 64 mm. Ominaisporausta (m/m^3) ja ominaispanostus (kg/m^3) ovat tunnelinperälouhinnoissa suurempia kuin pengerlouhinnoissa. Ominaispanostus on jopa 3 – 10 kertaa suurempi. (1, s.226.)

3 Maanalaisessa louhinnassa tavallisesti käytettävät räjähdysaineet ja nallit

Tässä luvussa käydään läpi yleisellä tasolla maanalaisessa louhinnassa yleensä käytettäviä räjähdysaineita.

3.1 Emulsioräjähdysaineet

Emulsiot ovat geelimäisiä räjähdysaineita, jotka herkistetään panostuslaitteiston avulla varsinaiseksi räjähdysaineeksi vasta reiän panostusvaiheessa. Emulsiot koostuvat matriisista sekä kaasutusliuoksesta, jotka yhdessä muodostavat räjähdysaineen. Emulsiomatriisia sekä kaasutusliuosta ei erillään ollessaan määritellä räjähdysaineeksi. Emulsioiden hyvinä puolina on valmistus- ja käyttöturvallisuus, säädeltävyys, tarvittaessa suhteellisen suuri tiheys, suhteellisen suuri kaasutilavuus sekä hyvä vedenkesto. Huonona puolena mainittakoon heikko räjähdysten välityskyky, joka aiheutuu emulsiorannun helposta katkeamisesta. Irrotustehon kannalta on tärkeää se, että emulsiot räjähtävät niin, että kaikki energiaa synnyttävät ainesosat palavat lähes täydellisesti. Täydellisen palamisen ansiosta emulsioiden räjähdyksissä syntyvien myrkyllisten kaasujen määrä on huomattavasti vähäisempi kuin muilla räjähdysaineilla. Emulsioiden lou-

hintatehon kannalta tärkeänä pidettävä räjähdyslämpö on alhainen. Täydellinen palaminen kompensoi irrotuksessa alhaista räjähdyslämpöä. (1, s.25.)

Emulsiota pidetään nykypäivän ja tulevaisuuden räjähdysaineena. Ennen kaikkea ympäristöystävällisyys sekä jatkuva mahdollisuus kyseisten aineiden kehittämiseen takaavat niiden käytön kasvun (1, s.25).

3.1.1 Kemiitti 810

Kemiitti 810 on maanalaiseen louhintaan kehitetty pumpattava emulsioräjähdysaine, joka koostuu suurimmaksi osaksi ammoniumnitraatista. Kemiitti 810 valmistetaan panostuslaitteessa vasta käyttökohteessa. Se kestää täydellisesti vettä ja soveltuu käytettäväksi vaakareikien lisäksi ylä- ja alakätisissä porareii'issä. Kemiitti 810 sopii käytettäväksi avaus-, pohja-, avarrus- sekä reuna-reii'issä sen säännösteltävyyden ansiosta. Kemiitti 810 ei ole nalliherkkä räjähdysaine, joten se vaatii syttyäkseen aloitepanoksen. Tiheydeltään kemiitti 810 on 1 kg/dm^3 . (1, s.63; 2.)

3.2 Patrunoidut räjähdysaineet

Patruunan muodossa olevilla räjähdysaineilla tarkoitetaan räjähdysaineita, joissa räjähdysaine on suojassa joko muovisen tai paperisen kuoren sisällä. Patruunoiden halkaisija sekä pituus riippuvat täysin käyttökohteesta ja halutusta panostusasteesta. Patruunamuodossa olevien räjähdysaineiden panostaminen tapahtuu käsin.

3.2.1 Aniitti

Aniitti koostuu ammoniumnitraatista, TNT:stä, alumiinista sekä erilaisista kovettumisen ja kosteuden estoaineista. Aniitin pakkaustapa riippuu tuotteen käyttötarkoituksesta. Vahattuun paperiin patruunoitua aniittia käytetään pienissä porareii'issä varsinkin peränajossa. Muoviin pakattua aniittia käytetään varsipanoksena suurehkoissa reii'issä sekä raivausräjäytyksissä.

Veden koskettaessa aniittipatruunan pintaa vedenestoaine paisuu ja muodostaa geelimäisen suojakalvon. Tuotteen räjähdysvarmuus on erittäin määrisä olosuhteissa rajoitettu, ja siksi suositellaankin, että nallipalana käytetään dynamiittia tai

patrunoitua emulsioräjähdyssainetta. Muovikuorinen panos on varsin vedenkestävä, mikäli sen pinta ei rikkoonnu. (1, s.61.)

3.2.2 Kemix A-putkipanokset

Kemix A-putkipanokset ovat emulsioputkipanoksia. Ne on tarkoitettu kaikenlaiseen kallionlouhintaan, jossa porareikään halutaan annostella tarkka räjähdysainemäärä. Ne soveltuvat erinomaisesti silo- ja tarkkuuslouhintaan niin avolouhinnassa kuin peränajossakin. Kemix A-putkipanokset ovat veden- ja pakaskenkestäviä. Niiden räjähdyskaasut ovat puhtaat, mikä lyhentää tuuletusaikaa maanalaisessa louhinnassa. Kemix A-putkipanoksia tehdään kuutta eri kokoa eri käyttötarkoituksiin, ja niitä on saatavilla myös alumiinittomina versioina. Putket on helppo ja nopea liittää toisiinsa laajennetun putken pään ansiosta. Kun putket liitetään tiukasti toisiinsa, on räjähdysvälityminen varmaa. Sytyttämiseen voidaan käyttää räjäytysnallia tai vähintään 10 grammaa/metri räjähdysainetta sisältävää räjähtävää tulilankaa. (1, s.64.)

3.2.3 F-putkipanokset

F-putkipanokset sisältävät räjähdysöljyä sekä piimaata. Muovisissa, kooltaan 17*460 mm (sisältää räjähdysainetta noin 100 g) olevissa putkissa on jatkoskappaleet, joilla putket voidaan liittää halutun pituisiksi sauvoiksi. Jatkoskappaleen tehtävänä on toimia myös jarruna, estäen putkien sinkoutumisen ulos reiästä sekä keskittää putki porareian keskelle. F-putket sopivat maanalaisessa louhinnassa tunneliprofiilin reunareikiin, ja sen sytytykseen käytetään yleensä räjähtävää tulilankaa. (1, s.60.)

3.3 Anfot

Anfot valmistetaan yleensä prillatusta (= rakeisesta, huokoisesta) ammoniunnitraatista. Anfoja käytetään varsipanoksena suurreikäräjäytyksissä ja peränajossa. Ylöspäin suunnattuihin reikiin on syytä käyttää pito-anfoa. Huomattavaa on, ettei mikään anfo ole vedenkestävää, joten niitä ei voida käyttää niin sanotuissa vesirei'issä. Ahti-anfo kestää jossain määrin kosteutta, mutta vaatii toimiakseen panostajalta kokemusta ja huolellisuutta. Anfo on pakattuna irrallisena joko 25

tai 20 kilogramman käsin kannettavaan muovisäkkiin tai 200–1000 kilogramman suursäkkeihin. (1, s.61.)

3.3.1 Anfo-800

Anfo-800 poikkeaa normaali-anfosta siinä, että sen ominaispaino on pienempi ja räjähdysnopeus suurempi kuin anfollla, tehon ollessa kuitenkin lähes sama. Anfo-800:n ominaisuuksia voidaan hyödyntää esimerkiksi tunnelinlouhinnassa sekä avolouhinnassa pyrittäessä pieneen hienoainesmäärään. Etuna saadaan ylipanostuksen pieneminen sekä räjähdysainekustannusten säästö. Anfo-800:aa käytetään erikoistapauksissa myös avolouhinnassa lohkarokoon säätelyyn varsipanoksen osuudella. (1, s.62.)

3.3.2 Anfo-600

Anfo-600 on tuote, joka on tarkoitettu tunnelinlouhintaan ja kalkkikiven louhintaan avolouhoksilla. Sen ominaispaino on vain 0,6 kg/l, ja siksi sillä saadaan aikaan kevyt panostus ja säästöä räjähdysainekustannuksissa. Lisäksi louhe sisältää vähemmän hienoainesta kuin muilla anfo-laaduilla räjäytettäessä. (1, s.62.)

3.4 Sytytyspatruuna

Sytytyspatruunan tulee olla nalliherkkää räjähdysainetta, jolla sytytetään toinen nalliherkkä, tai ei-nalliherkkä räjähdysaine. Sytytyspatruunana voidaan käyttää esimerkiksi suuriläpimittaista dynamiittia ($\varnothing \geq 35$ mm) tai kemix A:ta. Maanalaisessa louhinnassa on myös käytössä forprime-sytytyspatruunat, joilla voidaan tehokkaasti sytyttää ei-nalliherkkiä räjähdysaineita kuten kemiittä ja anfoa. (1, s.175.)

3.5 Nallit

Maanalaisessa louhinnassa käytetään pääsääntöisesti nelin-tyyppisiä nalleja, joissa jokaisessa on oma syttymisjärjestyksen mukainen hidaste. Tunnelinlouhinnalle on ominaista riittävän pitkät hidasteajat, jotta kallio ehtii rikkoutua ja puhaltua ulos ennen kuin seuraavat reiät räjähtävät. Hidasteiden paloajat vaihtelevat 25–6000 millisekunnin välillä. (1, s.89.)

4 Panostusmenetelmät

Panostuksessa on pyrkimyksenä yksinkertaisella tavalla, nopeasti ja turvallisesti sijoittaa porausreikään sellainen määrä räjähdysainetta, että reiästä saadaan mahdollisimman suuri hyöty. Panostusmenetelmät voidaan jakaa karkeasti pääperiaatteiltaan kahteen eri luokkaan, keppipanostamiseen (patruunat) sekä panostamiseen panostuslaitteella (emulsio ja anfo). (1, s.69.)

4.1 Emulsion panostaminen

Emulsioiden panostaminen tapahtuu niille tarkoitetuille panostuslaitteilla. Emulsio panostetaan letkulla pumpaamalla suoraan reikään, jossa emulsiomatriisi sekä kaasutusliuos herkistyvät kemiallisen reaktion kautta räjähdysaineeksi. Panostusletkun ulosvetonopeutta säätelemällä porareikään saadaan haluttu määrä räjähdysainetta (kg/m). Emulsioiden panostaminen on nopeampaa sekä helpompaa kuin räjähdysainepatruunoiden panostaminen. Panostajan kannalta ajateltuna emulsiolla panostaminen on ergonomisempaa sekä fyysisesti kevyempää verrattuna patruunoilla panostamiseen.

4.2 Anfon panostaminen

Anfon panostaminen tapahtuu panostuslaitteella (peränajossa) tai käsin reikään kaatamalla (avolouhint). Anfoa panostetaan reikään letkun kautta, paineilman avulla. Panostusaste riippuu täysin käytetystä reikäkoosta, koska anfoa ei pysyvästi annostelemaan reikään emulsioiden tapaan.

4.3 Patruunoiden panostaminen

Patruunoiden panostaminen tapahtuu patruuna kerrallaan panostuskepin avulla. Jotta päästään hyvään panostusasteeseen, on tiivistyksen tapahduttava jokaisen reikään sijoitetun patruunan jälkeen. Panostimen on oltava puuta tai sähköä johtavaa muovia. Panostimen läpimitan tulee olla noin 10 mm pienempi kuin panostettavan reiän läpimitta, jotta nallin johtimet, nonel-letkut tai räjähtävätulilanka mahtuvat reikään. (1, s.176.)

5 Kustannusten määräytyminen louhintatöissä

Louhintatöissä kustannukset jaotellaan yleisimmin välittömiin työkustannuksiin ja yhteiskustannuksiin.

Välittömät kustannukset ovat kokonaan työn tekemisestä aiheutuvia kyseiseen työvaiheeseen kohdistuvia kustannuksia. Näiden osuus kokonaiskustannuksista on tunnelirakennuskohteissa yleensä 50 – 80 %.

Yhteiskustannukset ovat yhteisiä useille samanaikaisesti käynnissä oleville työvaiheille, joten niitä ei voi tarkasti kohdistaa mihinkään tiettyyn työvaiheeseen.

Työmaan yhteiskustannuksia ovat muun muassa:

- työnjohto
- toimistokustannukset
- työmaarakennukset
- työntekijöiden huolto
- koneet ja kalusteet
- työturvallisuus ja riskien hallinta
- kuljetukset osittain
- mittaukset ja laadunvalvonta
- työmaan loppusiivoukset
- asiantuntijat
- katselmukset
- muut yhteiskustannukset
- vakuutukset
- neuvottelut
- vartiointi
- aluevuokrat
- vahingonkorvaukset
- vakuudet.

Kohteen louhinnan kokonaishinta saadaan lisäämällä työkustannuksiin ja yhteiskustannuksiin kate, yleinen kustannustason nousu, riski ja rahoituskustannukset. (1, s. 177–178.)

5.1 Tunnelin poikkileikkauksen vaikutus kustannuksiin

Tunnelin poikkileikkauksen koon ja muodon valintaan vaikuttavat monet tekijät muun muassa tunnelin käyttötarkoitus ja käytön vaatima vapaatila.

Kuutiometrihinta alenee tunnelin koon kasvaessa muun muassa seuraavista syistä:

- vaikka tunnelin koko kasvaa, pysyy työntekijöiden ja koneiden määrä vakiona
- koska katkon pituus pysyy tunnelin koon kasvaessa lähes vakiona, kasvaa yhdellä räjäytyskerralla irtoava kuutiomäärä tunnelin koon kasvaessa
- kuutiometriteho on porauksessa, kuljetuksessa ja kuormauksessa suuressa tunnelissa suurempi kuin pienissä, koska suuressa voidaan käyttää suurempia koneita
- investointikustannukset kuutiometriä kohden ovat pienessä tunnelissa suuremmat kuin suuressa
- suurikokoisissa tunneleissa voidaan louhia kattoperä ja muuttaa alaosan louhinta pengerlouhinnaksi, jolloin tunnelin koon kasvaessa alaosan louhinnan kuutiometrihinta lähestyy pengerlouhinnan hintaa
- yhteiskustannukset kuutiometriä kohden alenevat tunnelin koon kasvaessa
- ominaisporaus ja ominaispanostus pienenevät tunnelin koon kasvaessa.

Pientunnelit tehdään kuitenkin usein niin pieniksi kuin taloudellisesti on kannattavaa louhia. Ratkaisevaksi tekijäksi tulevat tällöin työtekniikka ja käytettävät työkoneet. Nykyisin lähes kaikki tunnelit tehdään kumipyöräkalustoa käyttäen, ja tunneleiden poikkileikkaus on siten pienimmillään luokkaa 20m². (1, s.246–247.)

5.2 Panostustapojen vertailussa huomioitavat muuttujat

Tässä työssä vertailussa otetaan huomioon seuraavat muuttujat:

- katkon poraukseen kuluva aika

- panostamiseen kuluva aika
- räjähdysaineiden hinnat
- nallien hinnat
- katkon vajavaisesta lähtevyydestä aiheutuvat vaikutukset.

Tarkoituksena ei siis ole tehdä työmaakohtaista kustannuslaskentaa, vaan selvittää miten eri panostusmenetelmät vaikuttavat aikatauluun.

6 Esimerkkityömaat

Esimerkkityömaina ovat 6 YIT Rakennus Oy:n maanalaista louhintakohdetta, joissa osassa on ollut käytössä emulsioräjähdysaine, ja osassa patruonoitu räjähdysaine. Tarkoituksena on löytää työmaista yhtenäisiä louhintaprofiileja, jolloin niiden tasapuolinen vertaileminen olisi mahdollista.

Samankaltaisista tunneliprofiileista lasketaan sen panostamiseen tarvittut räjähdysainemäärät sekä nallien määrät, peränporaukseen sekä panostukseen kulunut keskimääräinen aika. Lopuksi tutkitaan epäonnistuneiden katkojen määrää ja niistä aiheutuneita viivästyksiä. Tutkimusotos on 100 katkoa, lukuun ottamatta patruonoitua räjähdysainetta käyttänyttä työmaata 1, josta tutkimusmateriaalia ei ole kuin 50 katkon otokseen. Katkokohtainen viivästys lasketaan siten, että yhteenlaskussa otetaan huomioon kaikki seikat jotka viivästyttävät seuraavan katkon porauksen aloittamista (esimerkiksi uusintaporaus, uusintapanostus, kuormaus sekä rusnaus).

Kallion laatu esitetään arvo asteikolla 1–4, jossa 1=erittäin huono ja 4=erittäin hyvä. Numeroarvo on suuntaa antava arviointi kallion laadusta. Kallion laadun arviointi perustuu kyseisillä työmailla toimineilta henkilöiltä saatuun informaatioon.

Tutkimustulokset esitetään pääasiassa diagrammien avulla. Räjähdysaineiden ja nallien hinnat puolestaan esitetään vertailulukuina. Vertailuluvut perustuvat emulsio työmaahan numero 1, jonka vertailuluku on arvoltaan 1. Muiden työmaiden hintatietoja verrataan tähän lukuun.

7 Emulsioräjähdysainetta käyttäneet työmaat

Ensimmäisenä käydään läpi työmaat, joissa on ollut käytössä emulsioräjähdysaine. Ennakkotietona on, että emulsioräjähdysaine ei ole ollut yhtä toimintavarmaa kuin patruunoitu räjähdysaine, ja korjausräjäytyksiä on jouduttu suorittamaan enemmän emulsioräjähdysainetta käyttäneillä työmailla.

7.1 Emulsio 1

Emulsiotyömaalta 1 otettiin vertailuun mukaan pinta-alaltaan 36,2 m² oleva tunneliprofiili, josta tarkastellaan 5 metrin mittaista katkoa.

Katkoa koskevat tiedot:

- emulsioräjähdysainetta yhteensä 449,6 kg (ominaispanostus 2,5 kg/m³) (5)
- sytytyspatruunoita 105 kpl (5)
- nalleja 105 kpl
- porametrejä 525 m (ominaisporaus 2,9 m/m³) (5)
- keskimääräinen katkon poraukseen käytetty aika 3,0 h (5)
- keskimääräinen katkon panostukseen käytetty aika 2,4 h (5)
- korjausta vaatineiden katkojen osuus 13 % (100 katkon otoksesta) (5)
- katkon korjaamiseen kulunut keskimääräinen aika 3,2 h (5)
- räjähdysaineiden ja nallien vertailuluku 1,00/katko (3)
- kallion laatu 3.

7.2 Emulsio 2

Emulsiotyömaalta 2 otettiin vertailuun mukaan pinta-alaltaan 36,2 m² oleva tunneliprofiili, josta tarkastellaan 5 metrin mittaista katkoa.

Katkoa koskevat tiedot:

- räjähdysainetta yhteensä 523,0 kg (ominaispanostus 2,9 kg/m³) (6)
- emulsioräjähdysainetta yhteensä 476,8 kg (6)
- kemix A- putkipanos 39*1000 yhteensä 52,2 kg (6)
- sytytyspatruunoita 98 kpl (6)

- nalleja 108 kpl (6)
- porametrejä 540 m (ominaisporaus 3,0 m/m³) (6)
- keskimääräinen katkon poraukseen käytetty aika 2,7 h (6)
- keskimääräinen katkon panostukseen käytetty aika 2,5 h (6)
- korjausta vaatineiden katkojen osuus 5 % (100 katkon otoksesta) (6)
- katkon korjaamiseen kulunut keskimääräinen aika 4 h (6)
- räjähdysaineiden ja nallien vertailuluku 1,18/katko (3)
- kallion laatu 3.

7.3 Emulsio 3

Emulsiotyömaalta 3 otettiin vertailuun mukaan pinta-alaltaan 58,8 m² oleva tunneliprofiili, josta tarkastellaan 6 metrin mittaista katkoa.

Katkoa koskevat tiedot:

- räjähdysaineita yhteensä 543,4 kg (ominaispanostus 2,5 kg/m³) (7)
- emulsioräjähdysainetta yhteensä 494,5 kg (7)
- kemix A- putkipanos 39*1000 yhteensä 12,9 kg (7)
- kemix A- putkipanos 32*1000 yhteensä 36,0 kg (7)
- sytytyspatruunoita 118 kpl (7)
- nalleja 128 kpl (7)
- porametrejä 768 m (ominaisporaus 2,2 m/m³) (7)
- keskimääräinen katkon poraukseen käytetty aika 3,5 h (7)
- keskimääräinen katkon panostukseen käytetty aika 3,2 h (7)
- korjausta vaatineiden katkojen osuus 24 % (100 katkon otoksesta) (7)
- katkon korjaamiseen kulunut keskimääräinen aika 3,1 h (7)
- räjähdysaineiden ja nallien vertailuluku 1,73/katko (3)
- kallion laatu 3.

7.4 Emulsio 4

Emulsiotyömaalta 4 otettiin vertailuun mukaan pinta-alaltaan 56,0 m² oleva tunnelin pilottiprofiili, koska kyseisen kohteen koko tunnelin profiili olisi liian iso otettavaksi mukaan vertailuun. Kyseisestä kohteesta tarkastellaan 6 metrin mittaista katkoa.

Katkoa koskevat tiedot:

- emulsioräjähdyksainetta yhteensä 1000,0 kg (ominaispanostus 3,0 kg/m³) (8)
- sytytyspatruunoita 117 kpl (8)
- nalleja 117 kpl (8)
- porametrejä 702 m (ominaisporaus 2,1 m/m³) (8)
- keskimääräinen katkon poraukseen käytetty aika 3,3 h (8)
- keskimääräinen katkon panostukseen käytetty aika 3,2 h (8)
- korjausta vaatineiden katkojen osuus 8 % (100 katkon otoksesta) (8)
- katkon korjaamiseen kulunut keskimääräinen aika 2,9 h (8)
- räjähdysaineiden ja nallien vertailuluku 1,72/katko (3)
- kallion laatu 4.

8 Patruonoitua räjähdysainetta käyttäneet työmaat

Ennakkotietojen perusteella työmailla, joissa on ollut käytössä patruonoitu räjähdysaine, on katkojen räjäytysten onnistuminen ollut parempaa verrattuna emulsioräjähdyksainetta käyttäneisiin työmaihin.

8.1 Patruuna 1

Patruonoitua räjähdysainetta käyttäneeltä työmaalta 1 otettiin vertailuun mukaan pinta-alaltaan 41,1 m² oleva tunneliprofiili, josta tarkastellaan 5 metrin mittaista katkoa.

Katkoa koskevat tiedot:

- räjähdysaineita yhteensä 347,1 kg (ominaispanostus 1,7 kg/m³) (9)
- aniitti 36*400 yhteensä 116,4 kg (9)
- aniitti 32*400 yhteensä 65,1 kg (9)
- aniitti 28*400 yhteensä 10,7 kg (9)
- kemix A- putkipanos 32*1000 yhteensä 40,5 kg (9)
- kemix A- putkipanos 25*1000 yhteensä 71,5 kg (9)
- f-putkipanos 17*460 yhteensä 42,9 kg (9)
- nalleja 113 kpl (9)

- porametrejä 565 m (ominaisporaus 2,8 m/m³) (9)
- keskimääräinen katkon poraukseen käytetty aika 2,1 h (9)
- keskimääräinen katkon panostukseen käytetty aika 2,6 h (9)
- korjausta vaatineiden katkojen osuus 2 % (50 katkon otoksesta) (9)
- katkon korjaamiseen kulunut keskimääräinen aika 4 h (9)
- räjähdysaineiden ja nallien vertailuluku 1,63/katko (3;4)
- kallion laatu 3.

8.2 Patruuna 2

Patrunoitua räjähdysainetta käyttäneeltä työmaalta 2 otettiin vertailuun mukaan pinta-alaltaan 42,1 m² oleva tunneliprofiili, josta tarkastellaan 5 metrin mittaista katkoa.

Katkoa koskevat tiedot:

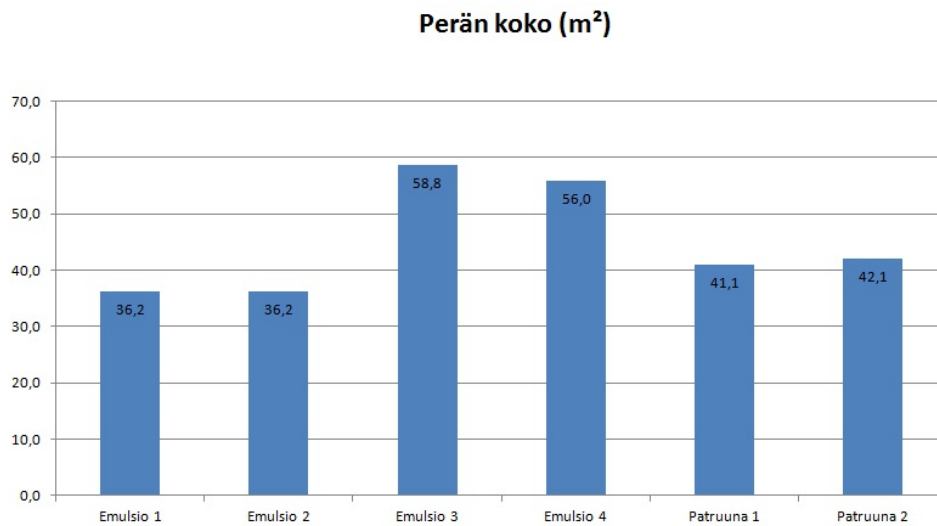
- räjähdysaineita yhteensä 395,2 kg (ominaispanostus 1,9 kg/m³) (10)
- aniitti 40*400 yhteensä 165,1 kg (10)
- aniitti 36*400 yhteensä 96,6 kg (10)
- kemix A- putkipanos 32*1000 yhteensä 64,8 kg (10)
- kemix A- putkipanos 25*1000 yhteensä 35,8 kg (10)
- f-putkipanos 17*460 yhteensä 32,0 kg (10)
- nalleja 100 kpl (10)
- porametrejä 500 m (ominaisporaus 2,4 m/m³) (10)
- keskimääräinen katkon poraukseen käytetty aika 3,6 h (10)
- keskimääräinen katkon panostukseen käytetty aika 2,7 h (10)
- korjausta vaatineiden katkojen osuus 11 % (100 katkon otoksesta) (10)
- katkon korjaamiseen kulunut keskimääräinen aika 3,2 h (10)
- räjähdysaineiden ja nallien vertailuluku 1,91/katko (3;4)
- kallion laatu 3.

9 Tutkimustulokset

Tässä osuudessa esitellään asiakirjoista saadut tutkimustulokset. Tulokset esitetään diagrammimuodossa tulkitsemisen helpottamiseksi.

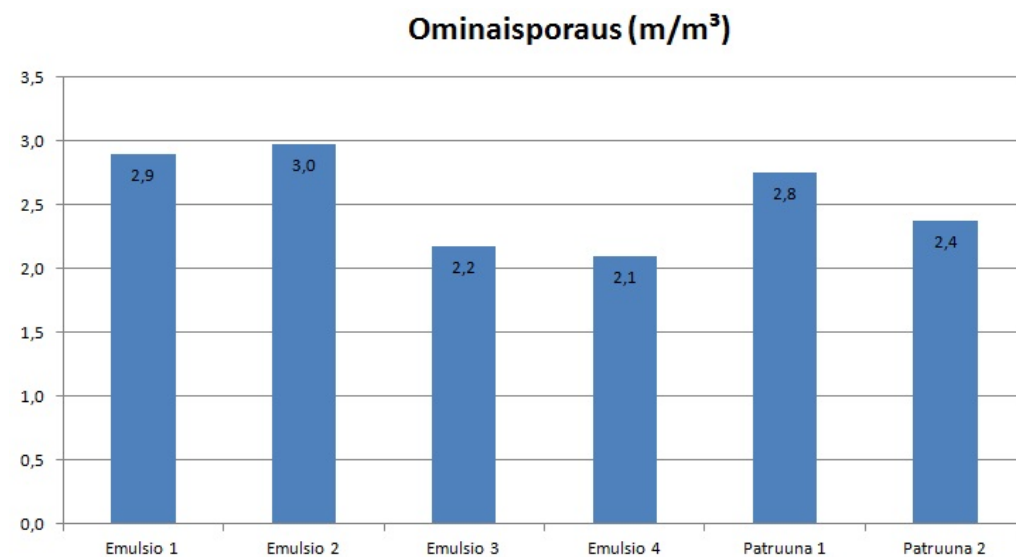
9.1 Tunneliperän koko, ominaispanostus, sekä ominaisporaus

Vertailuun valittujen tunneliperien koot pyrittiin valitsemaan siten, että ne olisivat mahdollisimman samankokoisia. Perien koot vaihtelevat 36,2 neliömetristä aina 58,8 neliömetriin työmaittain (kuvio 1). Optimaalisinta olisi ollut, jos työmaista olisi löytynyt täsmälleen samankokoisia periä.



Kuvio 1 Perän koko

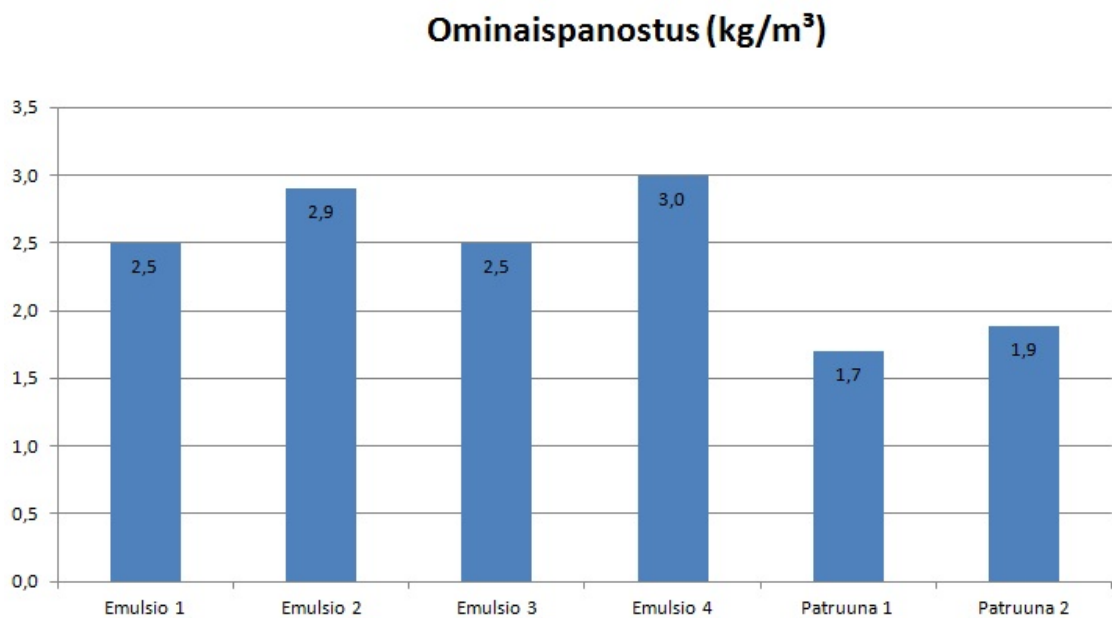
Ominaisporaus kertoo porattavasta katkosta sen, kuinka monta porimetriä tarvitaan yhden kuutiometrin irrottamiseen kalliosta (kuvio 2).



Kuvio 2 Ominaisporaus

Tutkimustulosten perusteella ominaisporaus näyttää käyttäytyvän suhteellisen loogisesti perän koon mukaan. Ainoana poikkeuksena löytyy patruunoitua räjähdysainetta käyttänyt työmaa 2, jossa ominaisporauksen arvo on lähes sama kuin emulsiotyömailla 3 ja 4. Kyseisillä emulsiotyömailla tunneliperän pinta-alat ovat kuitenkin 16,7 ja 13,9 neliometriä suuremmat. Pienempi pinta-ala ja kuutiomäärä tarvitsevat irrotukseen enemmän porametrejä kuutiota kohden kuin pinta-alaltaan ja kuutiomäärältään suurempi. Tästä syystä pienemmässä tunneliperässä ominaisporauksen tulisi olla suurempi (kuvio 2).

Ominaispanostus kertoo, kuinka paljon räjähdysainetta (kiloina) käytetään yhden kuutiometrin irrottamiseen kalliosta (kuvio 3).



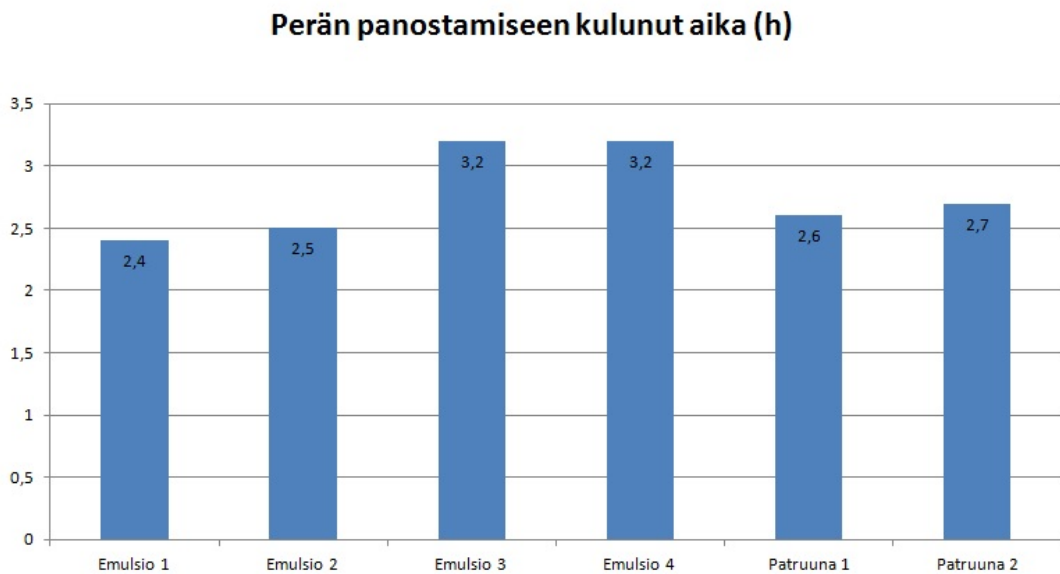
Kuvio 3 Ominaispanostus

Ominaispanostuksen tulisi käyttäytyä samalla tavoin kuin ominaisporauksen. Pinta-alaltaan ja kuutiomäärältään pienempi perä tarvitsisi isomman ominaispanostuksen kuin suurempi perä. Tutkimustulosten perusteella suurta eroa ei synny tunneliperien pinta-alojen mukaan, vaan panostusmenetelmien mukaan. Patruunoitua räjähdysainetta käyttäneillä työmailla ominaispanostuksen arvo on huomattavasti pienempi verrattuna emulsioräjähdysainetta käyttäneisiin työmaihin. Emulsioräjähdysainetta käyttäneillä työmailla ominaispanostuksen arvo ei käyttäydy loogisesti tunneliperän koon mukaan. Esimerkkinä mainittakoon

emulsiotyömaat 1 ja 3, joissa ominaispanostuksen arvo on sama, mutta tunneliperien pinta-aloissa on eroa 22,6 neliometriä (kuvio 3).

9.2 Poraus- ja panostusajat

Perän panostamiseen kulunut aika näyttää käyttäytyvän loogisesti tunneliperän koon mukaan, mitä isompi pinta-ala, sen pitempi aika panostamiseen kuluu (kuvio 4).

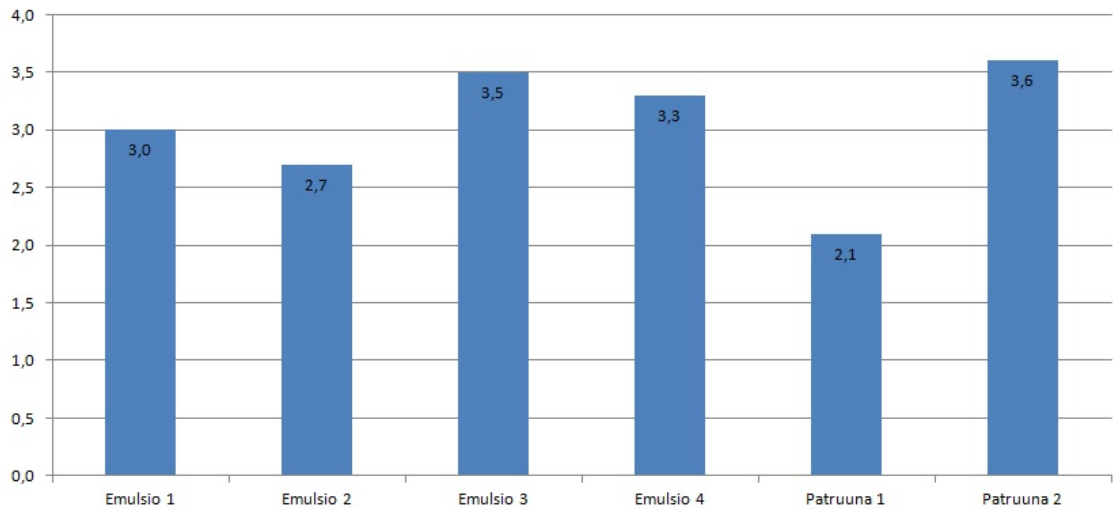


Kuvio 4 Perän panostamiseen kulunut aika

Eriyistä huomiota herättää tutkimustuloksissa lähes samankokoisten, mutta eri panostusmenetelmällä panostettujen perien panostusajat. Emulsiopanostamisen tulisi menetelmänä olla nopeampaa kuin patruunoilla panostaminen, mutta tutkimustulosten perusteella panostusajat ovat lähes samat (vertaa emulsio 1, emulsio 2, patruuna 1, patruuna 2) (kuvio 4).

Perän poraukseen kulunut aika on suoraan verrattavissa tunneliperän pinta-alaan, katkon pituuteen, käytettävissä olevaan porakalustoon sekä kallion laatuun (kuvio 5).

Perän poraukseen kulunut aika (h)



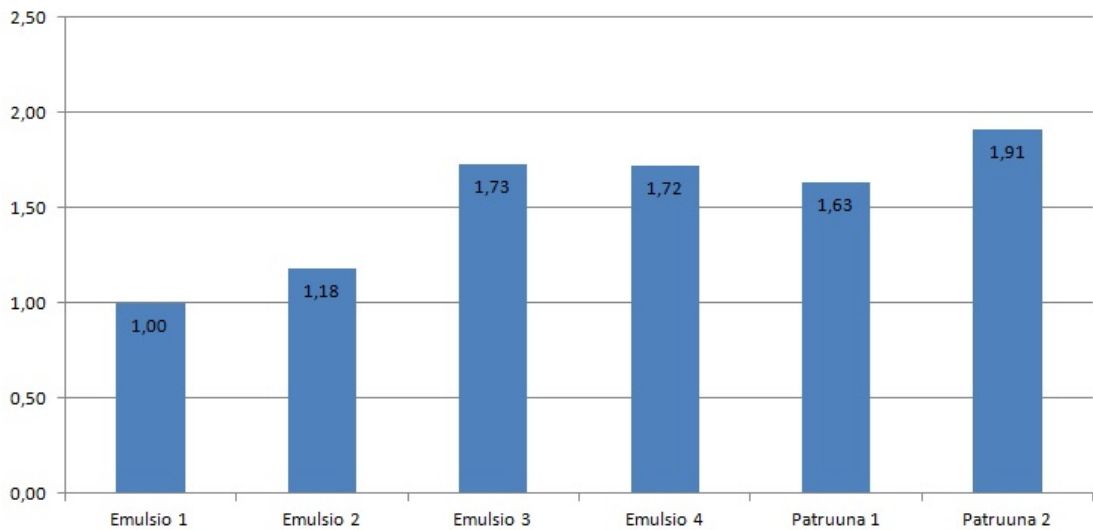
Kuvio 5 Perän poraukseen kulunut aika

Edellä mainituista merkityksellisin on kallion laatu, erityisesti kallion sitkeys ja kovuus pidentävät merkittävästi katkonporaukseen kuluva aika. Myös porauskaluston kuluminen on tällöin nopeampaa. Panostusmenetelmän valinnalla ei ole vaikutusta perän poraamiseen kuluvaan aikaan (kuvio 5).

9.3 Räjähdyksaineet ja nallit

Emulsioräjähdyksainetta käyttäneillä työmailla räjähdysaine ja nalli kustannukset käyttäytyvät loogisesti perän pinta-alan mukaan. Suurempi pinta-ala tarkoittaa suurempaa irrotettavaa kalliotilavuutta, joka vaatii enemmän räjähdysaineita. Nallien määrä on sama kuin perään porattavien reikien lukumäärä (lukuun ottamatta avaukseen porattavia suureikiä, joita ei panosteta) (kuvio 6).

Räjähdyksaineiden ja nallien hinnat vertailulukuina

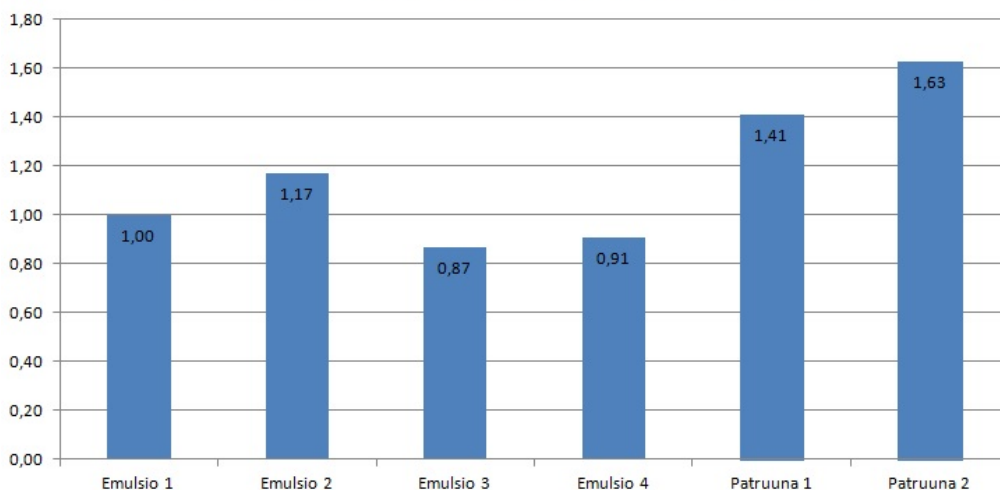


Kuvio 6 Räjähdyksaineiden ja nallien hinnat vertailulukuina

On selkeästi havaittavissa, että samankokoisia peria panostettaessa patruunoidun räjähdysaineen käyttö on kalliimpaa kuin emulsioräjähdysaineen käyttö (vertaa emulsio 1, emulsio 2, patruuna 1, patruuna 2) (kuvio 6).

Kuvio 7 esittää räjähdysaineiden ja nallien hintojen vertailuluvut kiintoteoreettista kuutiota kohtaan yhden katkon osalta, ja siinä on havaittavissa eroa emulsioräjähdysaineen ja patruunoidun räjähdysaineen kesken.

Räjähdyksaineiden ja nallien vertailuluvut/m³ktr



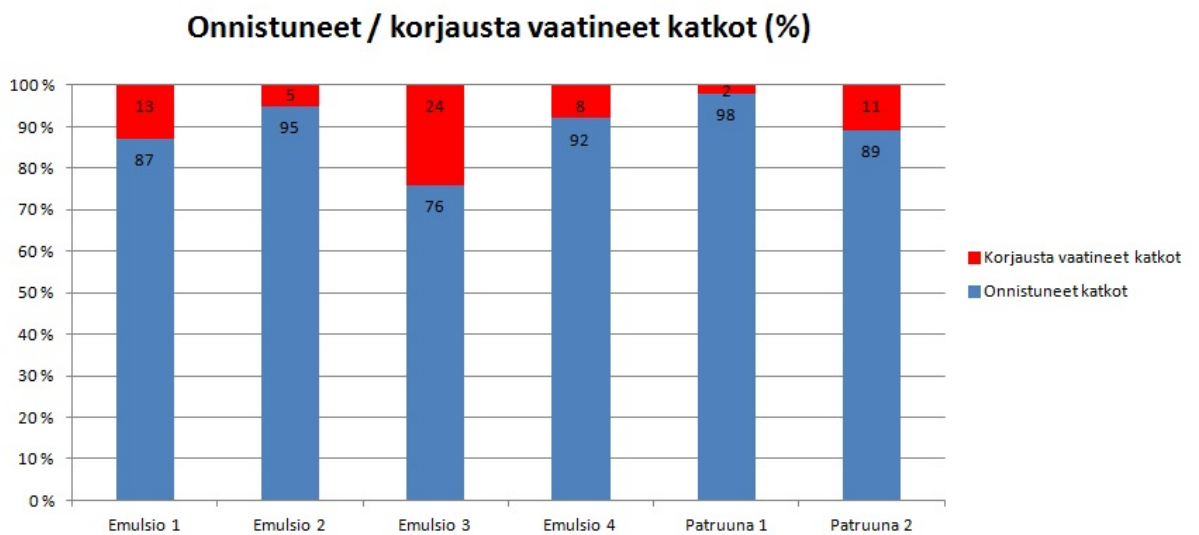
Kuvio 7 Räjähdyksaineiden ja nallien vertailuluvut kiintoteoreettista kuutiometriä kohti

Patrunoidun räjähdysaineen hinta kiintoteoreettista kuutiometriä kohti on suurempi, kuin lähes vastaavan kokoisissa tunneliperissä emulsioräjähdysainetta käyttäneillä työmailla (vertaa emulsio 1, emulsio 2, patruuna 1 ja patruuna 2). Kuutiometrikohdaisen hinnan tulisi alentua sitä mukaa, mitä tunneliperän koko kasvaa (kuvio 7).

9.4 Aikatauluvaikutukset

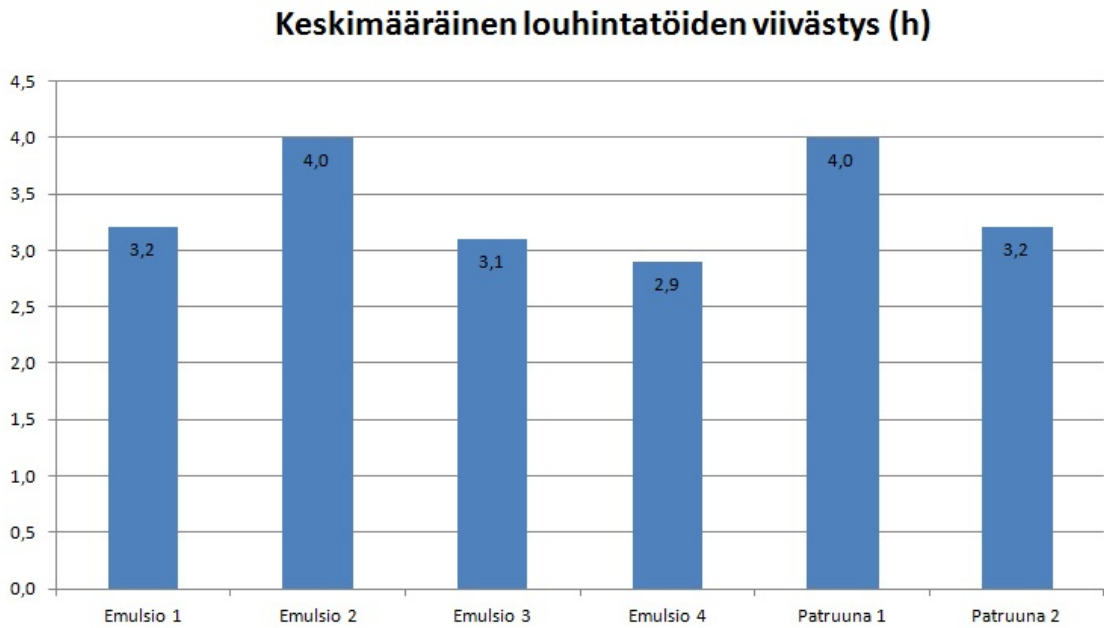
Kuviossa 8 on esitettyä katkojen räjäytysten onnistumiset/epäonnistumiset prosenttilukuina. Punainen osuus esittää sitä, kuinka suuri osuus katkoista on vaatinut korjaustoimenpiteitä jälkikäteen. Sininen osuus puolestaan esittää onnistuneiden katkojen määrää.

Epäonnistuneiden katkojen määrä tutkimuksessa käytetystä otoksesta on emulsioräjähdysainetta käyttäneillä työmailla suurempi. Erityisesti emulsiotyömaa 3 erottuu suuresta korjausta vaatineiden katkojen määrästä (kuvio 8).



Kuvio 8 Onnistuneet / korjausta vaatineet katkot

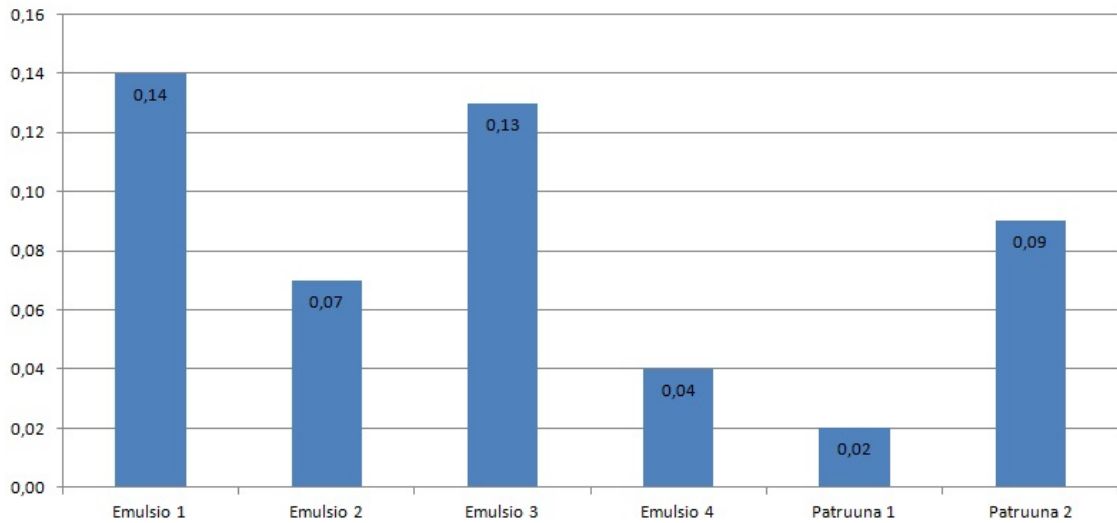
Kuvio 9 esittää yhden katkon korjaustoimenpiteistä aiheutuneita keskimääräisiä viivästyksiä tunteina yhtä katkoa kohden. Viivästyksset ovat hyvin samankaltaisia jokaisessa esimerkkityömaassa. Viivästyksen laskemisessa on otettu huomioon mahdollinen uusintaporaus, uusintapanostaminen, kuormaaminen sekä rusnaus.



Kuvio 9 Keskimääräinen louhintatöiden viivästys

Kuviossa 10 on nähtävissä epäonnistuneen katkon korjaustoimenpiteistä aiheutunut viivästys yhtä kiintoteoreettista kuutiometriä kohtaan minuutteina koko tutkimusotoksen osalta. Saadut tutkimustulokset ovat hyvin vaihtelevia. Joukosta erottuvat suurella arvollaan emulsiotyömaat 1 ja 3. Tulosten vertailu ei kuitenkaan ole tasapuolista johtuen erikokoisista tunneliperistä.

Kuutiometrikohtainen viivästys (min/m³ktr)

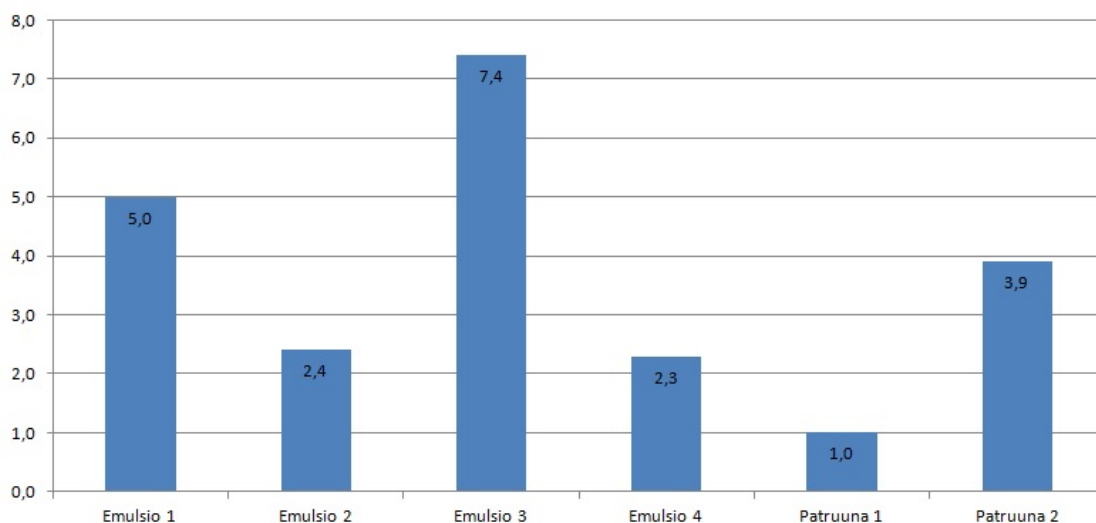


Kuvio 10 Viivästys kiintoteoreettista kuutiometriä kohtaan

Esimerkkinä voidaan tarkastella emulsioräjähdyksainetta käyttäneitä työmaita 1 ja 3. Emulsiotyömaalla 1 tunneliperän pinta-ala on 22,6 neliometriä pienempi, sekä tarkasteltava katkon pituus on yhden metrin lyhyempi. Teoreettinen kuutiomäärä on siis huomattavasti pienempi emulsiotyömaalla 1. Sen lisäksi katkojen onnistumisten määrä on 11 % suurempi emulsiotyömaalla 1. Silti viivästys teoreettista kuutiometriä kohtaan on suurempi kuin emulsiotyömaalla 3. Tämä johtuu täysin emulsiotyömaan 3 suuremmasta irrotettavasta kuutiomäärästä. Tästä syystä kiintoteoreettista kuutiometriä kohtaan tehtävä viivästysten vertailu eri työmaiden kesken ei ole aukotonta (kuvio 10).

Kuviossa 11 on nähtävissä korjaustoimenpiteistä aiheutunut viivästys minuutteina tunnelimetriä kohtaan. Erityisesti emulsiotyömaat 1 ja 3 erottuvat joukosta suurella arvollaan.

Tunnelimetrikohtainen viivästys (min/m)



Kuvio 11 Tunnelimetrikohtainen viivästys

10 Yhteenveto

Tutkimustulosten perusteella suurimmat erot emulsioräjähdysaineella ja patruunoidulla räjähdysaineella ovat räjähdysaineiden hinnassa sekä katkojen räjäytysten onnistumisissa.

Patruunoitua räjähdysainetta käyttäneillä työmailla yhteen katkoon käytettyjen räjähdysaineiden määrä on ollut pienempi, johtuen alhaisemmasta ominaispanostuksesta. Mutta silti räjähdysaineet sekä nallit olivat tulleet maksamaan enemmän kuin vastaavan kokoisissa tunneliperissä, joissa oli ollut käytössä emulsioräjähdysaine.

Katkojen onnistuneissa räjäytyksissä on havaittavissa etua patruunoidun räjähdysaineen suuntaan. Epäonnistuneen katkon korjaamiseen kuluva aika oli vaihdellut työmaittain 2,9 tunnista aina 4,0 tuntiin. Erot eivät korjaustoimenpiteiden ajoissa olleet suuria, mutta eroa alkoi syntyä, kun tarkasteltiin, kuinka useasti näitä korjaustoimenpiteitä jouduttiin suorittamaan. Joukosta erottui erityisesti emulsiotyömaa 3, jossa 24 % katkoista oli vaatinut korjausta, kun taas patruunoitua räjähdysainetta käyttänyt työmaa pääsi epäonnistumisissa parhaimmillaan 2 %:n lukemaan.

Korjausta vaatineiden räjäytysten todellinen määrä vastasi kohtalaisesti odotuksi ja ennakkotietojani. Odotettavissa oli etenkin emulsiotyömaan 3 osalta suuria korjausräjäytysten määriä, joka osoittautui tutkimusten mukaan todeksi. Emulsiotyömaa 2 puolestaan yllätti alhaisella määrällään korjausräjäytyksiä. Emulsiotyömaalta 4 oli ennakkotietojen mukaan odotettavissa erinomaista räjäytysten onnistumista, joka tutkimustulosten perusteella oli paikkaansa pitävää tietoa. Patrunoitua räjähdysainetta käyttäneistä työmaista ei ollut juuri muuta ennakkotietoa, kuin se, että yleisellä tasolla patruunoitu räjähdysaine on todettu toimintavarmemmaksi kuin emulsioräjähdysaine. Tutkimustulosten perusteella patruunoitua räjähdysainetta käyttänyt työmaa 1 osoittautui alhaisten korjausräjäytysten määrän perusteella koko tutkimuksen parhaimmiston.

Tämä opinnäytetyö käsittelee lähinnä korjaustoimenpiteistä aiheutuneita viivästyksiä, eikä pureudu niitä aiheuttaviin tekijöihin. Tästä syystä onkin herännyt kysymyksiä, joille olisi varmasti aihetta jatkotutkimuksiin:

- Katkojen todellinen lähtevyys, eli kuinka monta metriä todellinen tunnelin etenemä on esimerkiksi viiden metrin mittaisella katkolla.
- Syyt, joista katkojen epäonnistuneet räjäytykset johtuvat. Käyttämiini työmaiden asiakirjoihin ei noita syitä ole kirjattu, joten se vaatisi kirjausta jo työmaan aikaisessa kirjanpidossa.

Tutkimusmateriaalina käytettyjä työmaiden asiakirjoja pidän täysin luotettavana tietolähteenä. Jokainen räjäytys joka työmaalla suoritetaan, kirjataan ylös räjäytyspäiväkirjaan. Siinä mainitaan räjäytyksen järjestysluku, suoritus aika, paikka, paalulukema sekä riippuen työmaasta, myös räjähdysainemäärät sekä räjäytyksestä aiheutuneet tärinät. Käyttämiini räjäytyspäiväkirjoihin oli asiallisesti merkitty, oliko kyseessä normaali katkon räjäytys, vai epäonnistuneesta räjäytyksestä aiheutunut korjausräjäytys, joten epäselvyyksiä ei siinä asiassa päässyt syntyään.

Tutkimuksen tulokset ovat vain suuntaa antavia mietittäessä emulsioräjähdysaineen ja patruunoidun räjähdysaineen todellisia eroja, johtuen suhteellisen pienestä, vain kuuden työmaan vertailuotoksesta. Esimerkkinä mainittakoon emulsiotyömaa 2, jossa tutkimusotokseen sattui poikkeuksellisen hyvä osuus tunne-

lia onnistuneiden räjäytysten osalta. Mielestäni tutkimusotoksen tulisi olla lähempänä kymmentä työmaata panostusmenetelmää kohti. Näin ollen räikeimmät eroavaisuudet saataisiin karsittua pois ja tulosten vertailu olisi lähellä totuutta. Optimaalista vertailua ajatellen keskenään verrattavien tunneliprofiilien tulisi olla samankokoisia ja katkojen samanmittaisia, jolloin irrotettavien kuutiometrien määrä olisi sama. Jos haluttaisiin perehtyä etenkin katkojen epäonnistuneisiin räjäytyksiin johtaviin syihin, tulisi jo työmaan aikaisessa kirjanpidossa kiinnittää huomiota niiden ylösmerkitsemiseen. Näin jälkikäteen on täysin mahdollonta saada selville ongelmien syitä pelkästään työmaan asiakirjojen avulla. Työmaahenkilöstöä jälkeempäin haastateltaessa tulisi ilmi vain muistinvaraisia tietoja aiheesta.

Kuvat

Kuva 1 Reikäjako tunneliprofilissa, s.6

Kuviot

Kuvio 1 Perän koko, s.19

Kuvio 2 Ominaisporaus, s.19

Kuvio 3 Ominaispanostus, s.20

Kuvio 4 Perän panostamiseen kulunut aika, s.21

Kuvio 5 Perän poraukseen kulunut aika, s.22

Kuvio 6 Räjähdyksaineiden ja nallien hinnat vertailulukuina, s.23

Kuvio 7 Räjähdyksaineiden ja nallien vertailuluvut kiintoteoreettista kuutiometriä kohti, s.23

Kuvio 8 Onnistuneet / korjausta vaatineet katkot, s.24

Kuvio 9 Keskimääräinen louhintatöiden viivästys, s.25

Kuvio 10 Viivästys kiintoteoreettista kuutiometriä kohtaan, s.26

Kuvio 11 Tunnelimetrikohtainen viivästys, s.27

Lähteet

1. Vuolio, Raimo & Halonen, Tommi. 2010. Räjätystyöt. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
2. Oy Forcit Ab:n kotisivut. <http://www.forcit.fi>
3. Forcit räjähdhinnasto 2013
4. Forcit räjähdhinnasto 1/2011
5. Emulsioräjähdysainetta käyttänyt työmaa 1. Työmaan asiakirjat. Luettu 6.4.2013.
6. Emulsioräjähdysainetta käyttänyt työmaa 2. Työmaan asiakirjat. Luettu 12.6.2013.
7. Emulsioräjähdysainetta käyttänyt työmaa 3. Työmaan asiakirjat. Luettu 15.4.2013.
8. Emulsioräjähdysainetta käyttänyt työmaa 4. Työmaan asiakirjat. Luettu 3.10.2013.
9. Patrunoituaräjähdysainetta käyttänyt työmaa 1. Työmaan asiakirjat. Luettu 15.4.2013.
10. Patrunoituaräjähdysainetta käyttänyt työmaa 2. Työmaan asiakirjat. Luettu 15.4.2013.