

Oskari Jantunen

Tunnelilouhinnan räjähteiden optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

17.11.2015

Tekijä(t) Otsikko	Oskari Jantunen Opinnäytetyön otsikko
Sivumäärä Aika	29 sivua + 1 liite 17.11.2015
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaaja(t)	Tuntiopettaja, Kai Kouvo, Metropolian Ammattikorkeakoulu Työmaapäällikkö, Esa Juhantila, Destia Oy
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä tunnelilouhinnassa emulsion ja putkiräjähteiden käyttöön työmaalla, jotta osataan valita oikeantyyppinen räjähdaine. Työ toteutettiin yhdessä Destia Oy:n kanssa.</p> <p>Oikean räjähdainetyypin valinnalla pystytään tunnelilouhintaa tekemään tehokkaasti kerralla valmiiksi ilman korjausräjäytyksiä. Työssä tarkasteltiin räjähdainevalintaa kustannusteknisesti, työteknisesti ja laadullisesti. Opinnäytetyön aineisto koottiin alan kirjallisuudesta, räjähdainevalmistajien julkaisemista materiaaleista ja työpaikalla tehdyistä haastatteluista.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selville miten räjähdaineen valinta vaikuttaa panostamistyöhön, kustannuksiin, muihin työvaiheisiin sekä mihin asioihin on työn onnistumisen kannalta kiinnitettävä erityistä huomiota. Tällöin tunnelityö on mahdollista suorittaa kunnialla loppuun.</p>	
Avainsanat	Emulsio, putkipanos, panostaminen

Author(s) Title	Oskari Jantunen Optimization of Tunnel Explosives
Number of Pages Date	29 pages + 1 appendice 17 November 2015
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	Environmental Construction
Instructor(s)	Lecturer, Kai Kouvo, Metropolia University of Applied Sciences Site Manager, Esa Juhantila, Destia Oy
<p>The aim of this Bachelor's thesis is to analyze how emulsion and tube of explosives should be used at a construction site in order to choose the right form of explosive. The thesis was commissioned by Destia Ltd.</p> <p>By choosing the right type of explosives tunnel mining can be finished effectively without repair blasts. This thesis compares the choices according to their price, technical aspects and quality. The information for this thesis was gathered from literary sources, explosive manufacturers and by interviewing the construction site managers of Destia Ltd.</p> <p>This thesis shows how the type of explosive affects charging, expenses and other aspects of construction work. It also shows which other key factors should be focused on at the site to ensure a successful explosion.</p>	
Keywords	emulsion, tube of explosives, charging

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Destia Oy	1
1.2	Työn taustat	1
1.3	Työn tavoite ja tutkimusmenetelmät	1
2	Teoriaperusta	3
2.1	Poraus	3
2.2	Porauskaavio	5
2.3	Putkipanokset	8
2.3.1	Tyyppirakenne	8
2.3.2	Varastointi	9
2.3.3	Käsittelyturvallisuus	10
2.3.4	Nallit	12
2.4	Emulsioräjähteet	14
2.4.1	Tyyppirakenne	14
2.4.2	Varastointi ja kuljetus	14
2.4.3	Käsittelyturvallisuus	15
2.4.4	Nallit	16
3	Tutkimus, tulos sekä sen perustelu ja vertailu	16
3.1	Lakiin perustuva	16
3.2	Rikkoutumisvyöhykkeet	20
3.3	Ominaispanostus ja ominaisporaus	21
3.4	Räjähdeaineiden hintavertailu	23
3.5	Panostamistyö	25
4	Yhteenveto ja johtopäätökset	28
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Tunnelilouhinnan katkoraportti	

1 Johdanto

1.1 Destia Oy

Destia Oy toimi opinnäytetyön toimeksiantajana. Destia Oy on suomalainen infra- ja rakennusalan palveluyhtiö, joka rakentaa, ylläpitää ja suunnittelee liikenneväyliä ja ratoja. Yrityksen palvelut ulottuvat kattavasti maanalaisesta maanpäälliseen rakentamiseen, jonka asiakkaita ovat teollisuus- ja liikeyritykset, kunnat sekä kaupungit ja valtio. [1.]

Opinnäytetyön tekijä on työskennellyt Destia Oy:n Etelä-Suomen yksikössä kalliorakentamisessa helmikuusta 2015 lähtien, jolloin hän on aloittanut tunnelilouhinnan räjähdettäineiden kustannus- ja määrä seurannan neljän ajotunnelin osalta.

1.2 Työn taustat

Destia Oy suorittaa Länsimetron jatkeen ajotunneleiden louhintaa, jossa käytössä on sekä emulsioräjähteitä että putkiräjähteitä. Yritys on halunnut, että näitä kahta eri räjähdettäinetyyppeä verrataan toisiinsa eri tilanteissa, jotta päästään laadullisesti, kustannuksellisesti ja turvallisesti parhaaseen lopputulokseen.

1.3 Työn tavoite ja tutkimusmenetelmät

Työn tavoitteena on saada selkeät ohjeet, minkälaisissa tilanteissa olisi syytä käyttää putkiräjähteitä, emulsioräjähteitä tai mahdollisesti yhdistää näiden käyttö, jotta päästäisiin parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen.

Räjähdettäineen kustannuksia ja määriä on seurattu kaikkien neljän ajotunneleiden osalta heti näiden alusta asti. Seuranta on toteutettu kirjaamalla kaikki räjähdettäineitä koskevat rahtikirjat sekä laskut yhteen Excel-taulukkoon, jossa eri tuotteet pystytään jakamaan mm. putkiräjähteisiin, emulsioräjähteisiin, nalleihin sekä laitevuokriin. Samasta seurannasta löytyy etenemät tunneleittain eri räjähdettäinetyypeittäin.

Opinnäytetyön aineiston teoriaosuutta on kerätty alan kirjallisuutta sekä räjähdainevalmistajien tuotetietoja apuna käyttäen. Lisäksi opinnäytetyöhön on otettu haastatteluita Länsimetron jatkeen räjäytystyönjohtajalta sekä työnjohtajilta, ja lakiin perustuvaa osuutta on tehty tulkitsemalla valtioneuvoston antamaa asetusta räjäytys- ja louhintatöistä.

2 Teoriaperusta

2.1 Poraus

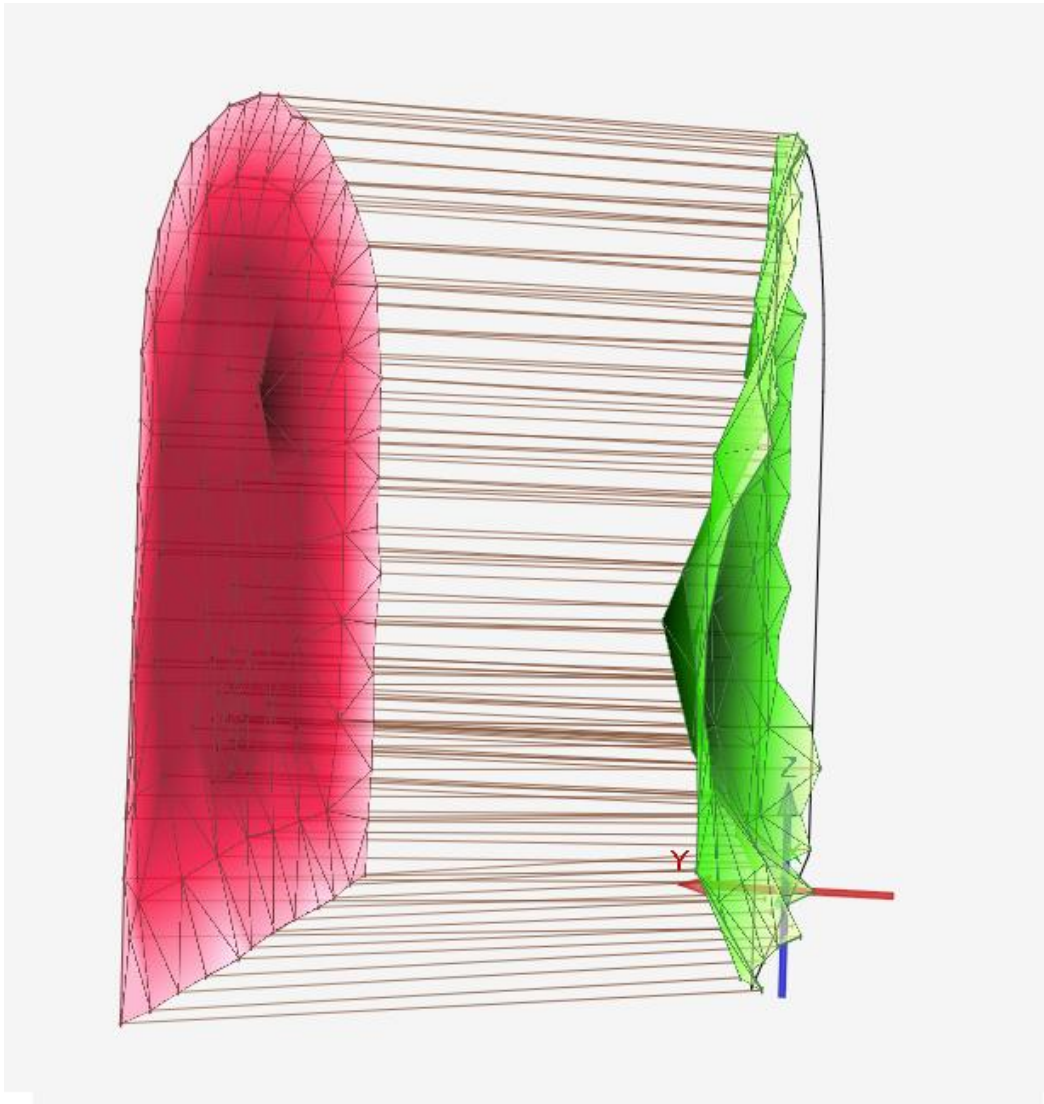
Poraus- ja räjäytystyöt muodostavat yhdessä työvaiheen, jossa kalliosta irrotetaan ja rikotaan kivi. Louhintatyön onnistuminen on siksi riippuvainen poraustyön onnistumisesta. Hyvällä poraustyön suunnittelulla sekä toteutuksella luodaan perusta louhinnan taloudelliselle ja laadulliselle onnistumiselle. [2, s. 91.]

Porauksessa käytetään tunnelilouhintaan tarkoituksenmukaista poralaitetta, niin sanottua jumboa (kuva 1). Jumboissa on tyypillisesti useampi puomi, jolla poraus onnistuu samanaikaisesti, ja näin saadaan porausta nopeutettua huomattavasti verrattuna yhdellä puomilla poraukseen. Tyypillisesti porauspuomeja on kaksi tai kolme kappaletta ja näiden lisäksi yksi koripuomi. Uusimmissa jumboissa on mahdollista käyttää automaattiohjausta porapuomeissa, jolloin puomi voidaan nopeasti ja tarkasti kohdistaa porattavan reiän paikalle ja aloittaa poraus. Tarkoissa paikoissa, joissa puomi on lähellä kalliota tai toista puomia, on järkevää käyttää manuaaliohjausta kolhujen välttämiseksi. Porauksessa ongelmia aiheuttavat lustat, jotka ovat kalliossa olevia rakoja, joita kutsutaan pystylustaksi tai vaakalustaksi riippuen siitä, kuinka ne sijaitsevat. Jumbot onnistuvat nykyaikaisella lusta-automaatiikalla tunnistamaan nämä ja jopa merkitsemään nämä porauskaavioon, jolloin saadaan tärkeää tietoa kallion rakoilusta panostajalle ja pystytään välttämään se, että räjähdys katkeaa rakojen kohdalta.



Kuva 1: Nykyaikainen kaksipuominen jumbo Destian urakoimalta Länsimetron ajotunnelityömaalta.

Porauskaaviot suunnitellaan tietokoneohjelmilla, joista ne voidaan tuoda suoraan jumbolle. Jumbossa on tietokone, joka kerää kaiken poraustiedon, ja data voidaan siirtää muistitikulla tietokoneelle. Tällä tavoin saadaan arvokasta tietoa toteutuneesta porauksesta (kuva 2), jotta mahdollisia muutoksia työtapaan olisi mielekästä tehdä. Mahdollisilla muutoksilla porauskaavioon haetaan kustannustehokkuutta sitä kautta, että koko porattu katko saadaan räjäytettyä eikä ns. korjausampuja tarvita.



Kuva 2: 3D-kuva toteutuneesta porauksesta. Vihreällä pohjalla näkyy perä, josta poraus on aloitettu. Vihreän ja punaisen alueen väliä kutsutaan katkoksi, ja se osa on tarkoitus räjäyttämällä irrottaa. [3.]

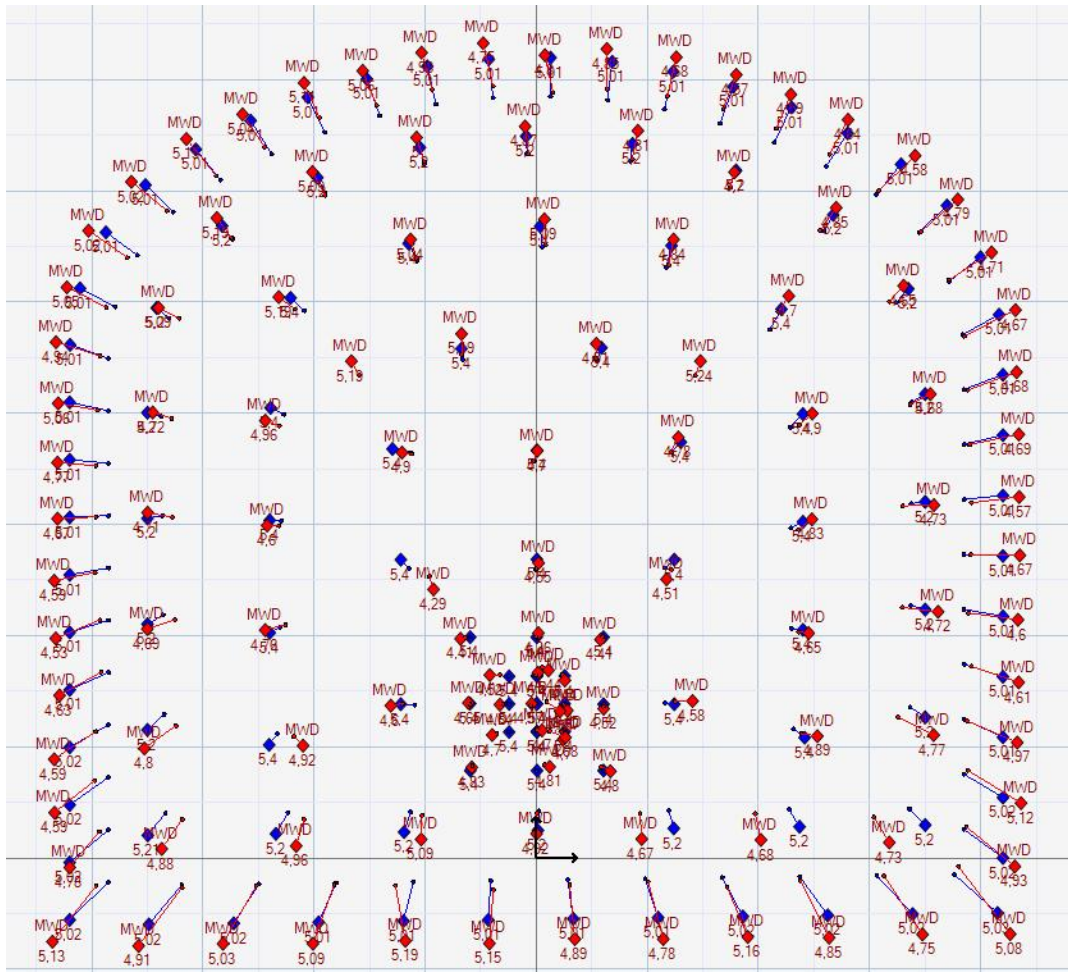
2.2 Porauskaavio

Tunneliporauksen porauskaaviot tehdään tarkoituksenmukaisella tietokoneohjelmalla, esimerkiksi iSurella, joka on yhteen soveltuva jumbon ohjelmiston kanssa (kuva 3). Jokaisesta porauksesta on mahdollisuus saada toteuma, niin sanottu MWD-data (kuva 4). Datan avulla on mahdollista tasossa katsoa, kuinka poraus on toteutunut suhteessa suunniteltuun. Reikien aloituskohdat ja reiän pohja on mahdollista nähdä MWD-datasta, josta pisteiden vieressä näkyy myös porareian pituus metreinä. Mikäli reikien väli kasvaa liian suureksi, ei reiän sisältämä räjähdainemäärä enää jaksa irrottaa kalliota. Tällöin

sen reiän jälkeen räjähtävät reiät aiheuttavat vain kovaa tärinää, jättäen kallion irtoamatta. MWD-datasta saa lopuksi yhteenvetona tähän yhteen katkoon käytetyt porausmetrit (pom).

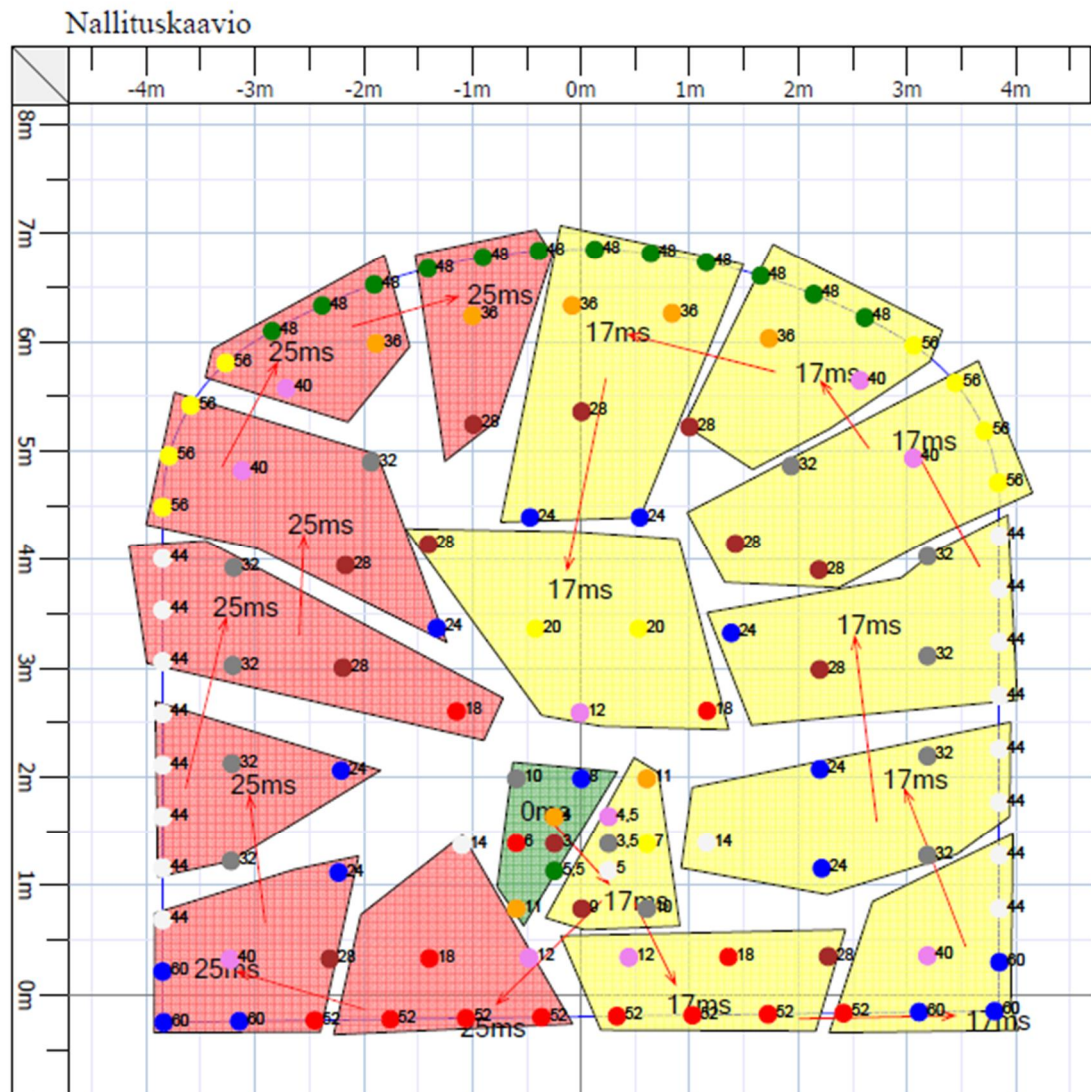


Kuva 3: Jumbon näyttö, johon on tehty iSure-ohjelmalla porauskaavio.



Kuva 4: Kuvassa sinisellä näkyy suunniteltu ja punaisella toteutunut poraus. Tässä tasokuvassa pienet ympyrät ovat kohtia, joista poraus on aloitettu ja neliöt ovat kohtia, johon poraus on päättynyt. [3.]

Samaisella tietokoneohjelmalla luodaan suunniteltuihin porausreikiin nallituskaavio (kuva 5), josta löytyy tieto siitä, minkälaisella hidasteajan omaava nalli kuhunkin porareikään laitetaan. Nallit yhdistetään lisäksi pintahidasteilla toisiinsa, jolloin pystytään ajoittamaan samalla hidasteajalla varustetut nallit räjähtämään eri ajanhetkellä.



Kuva 5: Ympyrät ovat nalleja, joissa viereinen luku kertoo, kuinka monta 100 ms nallin hidastaika on. Värilliset kuviot kertovat näiden alueiden pintahidasteet. [3.]

2.3 Putkipanokset

2.3.1 Tyypirakenne

Jokaiselle erilaiselle putkipanokselle on yhteistä se, että niiden räjähdysaine pakataan muoviputkeen ja ne on nimenomaan tarkoitettu tarkkaa panostusta vaativiin louhintatöihin. [2, s. 148.]

F-putkipanos 17 x 500 (halkaisija 17 mm ja pituus 500 mm) on erinomainen vaihtoehto, kun tunnelitöissä kallionpinnalta vaaditaan erityistä tarkkuutta ja sileää pintaa. F-putkipanoksista 17 mm halkaisijan putket ovat varustettuja niin sanotuilla jarrujatkokappaleilla. Jatko-osa tarkoittaa, että putket voidaan helposti liittää yhteen ja jarru (kutsutaan myös jarrusiivekkeeksi) pitää puolestaan huolen, että panos pysyy keskellä porareikää. F-putkipanoksia voidaan käyttää erityisesti tunneleiden katoissa, seinissä tai muuta tarkkaa ja kevyttä panostusta vaativissa louhintatöissä. [4; 2, s. 149.]

Kemix A -putkipanoksia on tuotteina kahta eri pituutta 530 mm ja 1000 mm, joista 1000 mm on peränajossa (peränajolla tarkoitetaan tunnelin louhintaa) käytetty räjähddeaine. 530 mm on avolouhinnassa käytetty räjähddeaine. Toinen kriteeri, jolla putkia pystytään jaottelemaan, on näiden halkaisija. Putkia on kuutta eri kokoa ja näiden halkaisijat vaihtelevat välillä 17 mm ja 39 mm. [5, s. 65.] Esimerkiksi Kemix A –putki 17x1000 tarkoittaa sitä, että putken halkaisija on 17 mm ja pituus on 1000 mm.

Kemix A -putkipanokset ovat patruunoituja emulsioputkipanoksia, joihin on lisätty alumiinia, joka puolestaan nostaa Kemixin räjähdyslämpöä. Kemix A -putkipanokset soveltuvat sekä pohja- että varsipanoksiksi niiden korkean räjähdysnopeuden ansiosta. Putkipanokset liitetään toisiinsa kiinni niiden laajennutun pään ansiosta helposti, jolloin saadaan tehtyä yhtenäisen koko reiän pituinen panos. Kemix A -putkipanokset kestävät hyvin vettä, mikä on varsinkin tunnelilouhinnassa olennainen kriteeri. [5, s. 64.]

2.3.2 Varastointi

Kemix-putkipanokset luokitellaan räjähdysainetyypiksi luokitustunnuksella 1.1D, saman tunnuksen on myös Kemiitillä [5, s. 55]. Huomioitavaa on, että matriisista muodostuu Kemittiä vasta panostettavassa reiässä, kun se on herkistetty kaasutusliuoksella [6].

Vaarallisuusluokka 1.1 tarkoittaa massaräjähdysvaarallisia aineita eli sellaisia aineita, jossa räjähdys tapahtuu lähes samanaikaisesti koko ainemäärässä. Vaarallisuusluokkia on kaiken kaikkiaan kuusi kappaletta 1.1–1.6, joista 1.1 on vaativin. Kirjain vaarallisuusluokan perässä kuvaa räjähteiden yhteensopivuusryhmää. [7.]

Valtioneuvosto on antanut asetuksen liittyen räjähteiden valmistukseen, käsittelyyn ja varastointiin. Vaarallisuusluokan 1.1 suojaetäisyys I voidaan laskea käyttämällä seuraavaa kaavaa.

$$l = km^{(1/3)}$$

jossa l on suojaetäisyys mitattuna metreinä

m on räjähteiden yhteenlaskettu massa kilogrammoina

k on kerroin, joka riippuu suojeltavasta kohteesta. [8.]

Päivän aikana käytettäväksi tarkoitetut räjähteet tulee säilyttää räjäytystyömaalla tai räjähteen käyttöpaikalla asianmukaisesti merkittynä ja vartioituna tai asianmukaisessa lukitusvarastossa [8]. Kemix A -putket säilyvät asianmukaisesti varastoituna yhden vuoden ja lisäksi sitä voi säilyttää pakkasessa [5, s. 64 - 65].

2.3.3 Käsittelyturvallisuus

Kemix-putkipanoksien on kyettävä täyttämään vähintään seuraavat vaatimukset käsittelyturvallisuuden osalta (kuva 6) [9].

Testi	Vaatus
Iskuherkkyys (BAM)	$\geq 2 \text{ J}$
Hankausherhkyys (Julius Peters)	$\geq 80 \text{ N}$
Lämpöstabiilitetti	75 °C, 48 h (ei reaktiota)

Kuva 6: Putkipanoksien käsittelyturvallisuutta koskevat vaatimukset [9].

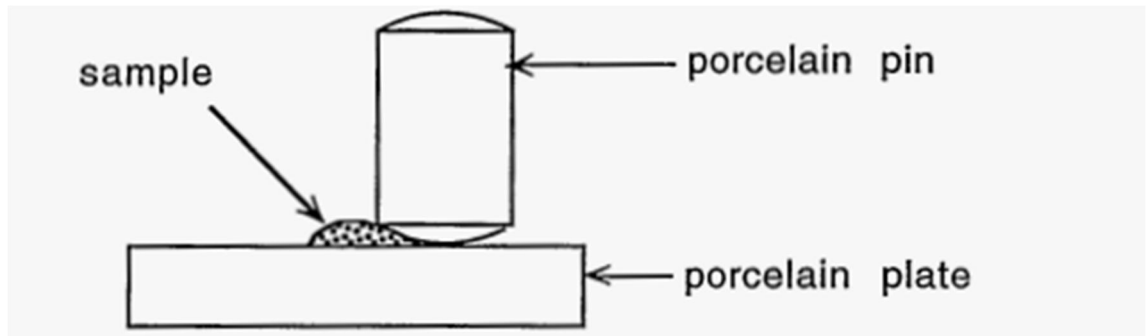
Räjähdeaineen iskuherkkyys on tärkein ominaisuus, jolla räjähdeaineen käsittelyturvallisuutta voidaan kuvata. Voimakkaiden kiinteiden räjähdysaineiden, ponneaineiden ja pyroteknisten räjähdysaineiden iskunkestävyyttä mitataan BAM-pudotusvasaratestillä (kuva 7), joka mittaa iskuenergiaa, kun eri painoisia vasaroita pudotetaan tutkittavan räjähdeaineen päälle. Testissä iskuenergia vaihtelee välillä 0,5 J ja 100 J, ja siinä käytetään viiden sarjan vasaroita, joiden painot ovat 500 grammasta 10 kilogrammaan asti.

Suurimmaksi pudotuskorkeudeksi tälle testille on asetettu 1,0 m. Ideana BAM-pudotusvasaratestissä saadaan iskuenergiat, joilla räjähdeaine joko välähtää, leimahtaa tai räjähtää. [10.]



Kuva 7: BAM-pudotusvasarakoelaitte, jolla mitataan käsittelyturvallisuutta [10].

Räjähteen hankautuminen kovaa pintaa vastaan on yksi yleisimmistä syistä vahingossa räjähtämiseen [11]. Hankautumiskestoja on mahdollista tutkia koelaitteella (kuva 8). On varsin yleistä, että louhinnassa jää räjähtämättömiä räjähteitä louheeseen. Tällainen tilanne syntyy, kun räjähdys katkeaa esimerkiksi lustan takia tai putkipanokset eivät ole kiinni toisissaan. Lusta tarkoittaa halkeamaa kalliossa, jolloin paine pääsee porareistä sivuun ja voi katkaista viereisten reikien putkiräjähteet. Räjähdys ei siirry toiseen putkiräjähteeseen, jos etäisyys näiden välillä kasvaa liian suureksi. Usein esimerkiksi kaari-reiät jäävät osaltaan ehjiksi ja räjähteet voi nähdä niistä, mutta on mahdollista, että viereiset reiät pystyvät räjäyttämään tämänkin reiän, jolloin putkiräjähteet joutuvat louheen sekaan. Kun louhetta kuormataan, niin räjähde voi hankautua pyöräkuormaajan kauhan ja kallion väliin, jolloin räjähteen pintaan syntyy voimakasta hankausta ja mahdollinen räjähdys.



Kuva 8: Hankausherkkyttä voidaan tutkia kuvan mukaisella laitteella [12].

Kemix-putkipanokset sisältävät mahdollisimman vähän haitallisia kemikaaleja, mutta ponnostettaessa on jatkuvaa ihokosketusta vältettävä käyttämällä suojakäsineitä. Iholle joutuessa räjähdysaine pestään pois vedellä ja saippualla, ja silmiin joutuessa huuhdellaan runsaalla vedellä. Työvaatteisiin kuivunut räjähdysaine voi syttyä ja palaa. [10.]

2.3.4 Nallit

Varsinainen räjähdysaine voidaan räjäyttää Suomessa mm. seuraavilla välineillä:

- aikatulilanka ja aikatulilankanalli
- räjähtävä tulilanka
- sähköräjäytysnalli
- NONEL-nalli (kuva 9)
- elektroninen räjäytysnalli [13, s. 30].

Kaikki putkipanokset syttyvät edellä mainituilla välineillä [5, s. 68].

Tunnelilouhinnassa nallien hidasteaika vaihtelee lyhyestä pitkään välillä 25–6 000 ms (vertaa avolouhinnassa käytettyihin L-sarjan nalleihin, joissa hidasteaika vaihtelee 25–500 ms). Tunnelilouhinnassa on tärkeää, että hidasteaika eri nallien välillä on riittävän suuri, jotta tunneliperästä irtoava kivi ehtii rikkoutua puhaltua ulos ennen kuin seuraava reikä räjähtää. NONEL LP on tunnelilouhintaan kehitelty nallisarja, joka koostuu lyhyt- ja pitkähidastenneille (L-nallit) ja pitkähidastenneille (P-nallit). NONEL on täysin tunteeton sähköisille vaaratekijöille, mikäli ei huomioida suoraa salamankua nalliin. Tätä nallisarjaa voidaan siis käyttää kohteissa, joissa on riski sähkönallien tahattomaan syttymiseen. NONEL-nallisarjalla ei ole rajoitettu kerralla rajoitettujen nallien lukumäärää. [13, s. 34, 42, 49, 50.]



Kuva 9: NONEL LP -sarjan nalleja, jossa hidasteaika näkyy tarrassa [14].

Suomessa on ollut maanalaisessa louhinnassa käytössä elektronisia nalleja (kuva 10) urakointipuolella vuodesta 2006 alkaen. Tämä ranskalainen järjestelmä koostuu räjäytysnalleista, ohjelmointi- ja laukaisuyksiköstä sekä tietokoneohjelmasta. Nallien hidasteaika on säädeltävissä 1 ms:n aikavälein ohjelmointiyksikön avulla, ja nallien tarkan sytymistarkkuuden ansiosta tärinöiden hallinta on helpompaa. Tämän elektronisen nallin käyttöä Suomessa hankaloittaa sen verrattain korkea hinta sekä käyttöoikeuksien rajallisuus. [13, s. 52–54.] Hidasteaika voi vaihdetta 0:n ja 14 000 ms:n välillä. [15].



Kuva 10: Elektroninen Daveytronic II -nalli [16].

2.4 Emulsioräjähdeet

2.4.1 Tyypirakenne

Bulkemulsioräjähdysaineita ovat Kemiitti 510, Kemiitti 800, Kemiitti 810 ja Merikemiitti, joista Kemiitti 810 on maanalaisessa louhinnassa käytetty räjähdysaine. Kemiitit ovat vaseliinimaisia, suoraan porausreikään toimitettavia emulsioräjähdysaineita. Räjähdysaineeksi edellä mainitut aineet muodostuvat vasta, kun kaasutusliuos herkistää matriisin porausreiässä. Panostusaste kertoo kuinka monta kilogrammaa räjähdeainetta on yhdelle porausreikämetrille (kg/m). Kemiitti 810:tä voidaan käyttää yleisräjähdysaineena peränajossa sen säätömahdollisuuksien ansiosta. [5, s. 63.]

2.4.2 Varastointi ja kuljetus

Kemiitti 810 luokitellaan hapettavaksi aineeksi (ADR 5.1) sekä varastoinnissa, että kuljetuksessa. Räjähdyksineeksi Kemiitti 810 muuttuu vasta, kun emulsiomatriisi herkistetään kaasutusliuoksella paikan päällä. Myös kaasutusliuos luokitellaan hapettavaksi aineeksi, ennen sekoittamista matriisin kanssa. [6.]

Kuljetus asiakkaalle tapahtuu ADR-luvallisella kuorma-autolla, joka toimittaa emulsioräjähddeaineen (matriisin ja kaasutusliuoksen) kuljetussäiliössä tai 1 000 litran IBC-muovikonteissa. Matriisi varastoidaan työmaalla siloihin, säiliöihin tai IBC-muovikontteihin. [6.]

Matriisin jäykkyys, eli viskositeetti, kasvaa jonkin verran lämpötilan laskiessa. Mikäli tuotteen lämpötila laskee alle +10 °C, saattaa matriisissa esiintyä valuvuus- tai pumppausongelmia. Matriisia suositellaan säilytettäväksi suljetussa säiliössä, jossa lämpötila pystyy +10 ... +25 °C:n välissä. [6.] Työmaalla matriisi varastoidaan asianmukaisesti lämmitettyyn ja lukolliseen varastoon ja panostuslaitetta voidaan säilyttää lämmitettävässä hallissa.

Valtioneuvoston asetuksen mukaan emulsioräjähteiden varastointi työmaalla on tehtävä niin, että ammoniumnitraattiliuokselle ja muille raaka-aineille on oltava riittävät allastukset vuotojen varalta. Varaston tulee sijaita vähintään 5 metrin etäisyydellä työmaan ulkopuolisista kohteista ja työmaan sosiaalituloista. Varaston läheisyydestä tulee maastosta poistaa palava aines vähintään 5 metrin etäisyydeltä pois kokonaan. [8.] Työmaalla tämä onnistuu helpoiten asianmukaisella kontilla, joka sijoitetaan louhekerroksen päälle.

2.4.3 Käsittelyturvallisuus

Tunnelilouhinnassa käytetty Kemiitti 810 -bulkemulsio koostuu kaasutusliuoksesta K810 ja Kemiitti 810 -matriisista, joista kaasutusliuos luokitellaan hapettavaksi ja tulipaloa edistävaksi, ja matriisi luokitellaan ainoastaan hapettavaksi aineeksi. Räjähteenä Kemiitti 810 voi aiheuttaa räjähdysvaaran tulipalon sattuessa. Käsiteltäessä Kemiitti 810:tä ja tämän aineosia matriisia ja kaasutusliuosta on käytettävä silmäsuojasta ja sopivaa vaateetusta, joka suojaa ihon. Kemiitillä vaarallisten reaktioiden mahdollisuutta ei ole, mikäli aineita käsitellään normaaleissa käyttöolosuhteissa, lisäksi aine on kemiallisesti stabiili normaaleissa lämpötiloissa. Kemitti 810:lle kriittisiä lämpötiloja ovat leimahduspiste, joka on yli 200 °C, sekä hajoamislämpötila, joka on yli 100 °C ja vältettäviä olosuhteita ovat iskut, hankaus sekä avotuli. [6.]

2.4.4 Nallit

Bulkemulsiot vaativat nallin lisäksi aloitepanoksen räjähtämiseen, joita ovat esimerkiksi Redex tai Nobel Prime [5, s. 68]. Tunnelilouhintaan tarkoitettu aloitepanos Nobel prime on nyttemmin korvattu Forprimellä, jossa on parempi käsittelyturvallisuus edeltäjäänsä [17]. Yksi patruuna sisältää noin 25 g räjähdettä, joka pakattu polypropeeniputkiin [18].

3 Tutkimus, tulos sekä sen perustelu ja vertailu

3.1 Lakiin perustuva

Valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta 644/2011 5 luku ”Räjäytystyön toteuttaminen” 14 § Panostaminen kertoo, että ”Panostamiseen on käytettävä tarkoituksenmukainen määrä ja panostamiseen sopivia räjähteitä”, joka ei suoraan määrää valintaa patruunoidun räjähteen tai bulkemulsioräjähteen välillä. 15 § ”Peittäminen” kertoo, että räjäytyksestä aiheutuva vaara ja peittämisen tarve on asianmukaisesti selvitettävä ja arvioitava räjäytyssuunnitelmassa. Peittäminen on toteutettava suunnitelman mukaan. Lisäksi räjäytettävä kohta on peitettävä tarkoitukseen sopivalla peitteillä tai muulla luotettavalla tavalla. Asutun alueen ulkopuolella maanalaisessa louhinnassa tulee räjäytettävä kohta peittää, jos sinkoilusta voi aiheutua vaaraa. [19.]

Jotta tunnelin suuaukkoa päästään aloittamaan, on sen tieltä usein louhittava kalliota pois avolouhinnalla, joko tasaamalla seinämä tai tekemällä kanaalia tasaiselta kalliolta. Avolouhinta rikkoo kallion seinää, ja tulevan tunnelin suuaukon kivi on tästä johtuen rikkonaista. Bulkemulsiot ovat vaseliinimaisia räjähteitä, jotka täyttävät reiän lisäksi myös kallioon muodostuneet raot, jolloin ominaispanostuksesta (kg räjähdeainetta irrotettavaa m³ kalliota kohden) muodostuu liian suuri ja tällöin riski karkukiville kasvaa liian suureksi. Patruunoidulla räjähdeaineella voidaan olla täysin varmoja todellisesta panostusasteesta. [20.]

Tunnelin avauksessa on ominaispanostus purkautumisahtauden vuoksi erittäin suuri ja se on jopa 7–13 kg/m³, jota voi verrata avarrusreikien ominaispanostukseen 0,6–0,8 kg/m³ [5, s. 235]. Tai sitä voi verrata pengerialouhintaan, jossa tyypillisesti ominaispanostus on noin 0,4 kg/m³. Tunnelin avauksessa käytetty räjähdeainemäärä yhtä kuutiometriä kohden on siis valtava, mikä asettaa tunnelin alkupäässä suuria vaatimuksia suuaukon

peittämisessä. Tunnelin peittäminen tapahtuu niin, että tunnelin otsan seutuville porataan reiät, joihin upotetaan pultit, joiden päät jätetään näkyviin, ja näistä pulteista voidaan roikottaa täkkäysmattoja, hirsimattoja tai teräsverkkomattoja suojaksi. Pulttien lisäksi voi otsaan asentaa esimerkiksi pontin, johon on hitsattu koukkuja, joihin kaivinkoneella suojamatot voi nostaa (kuva 11).



Kuva 10: Tunnelin avauksen peittämien tökkäysmatoilla.

Ensimmäiset katkot panostetaan usein normaalia lyhyempänä ja useammassa osassa (kuva 12), koska näin saadaan momentaaninen räjähdysainemäärä pienemmäksi. Kerralla räjäytettävä räjähdysainemäärä on niin pieni normaaliin katkoon verrattuna, että emulsioräjähteiden tai patruunoidun räjähteen panostamisen nopeus ei nouse merkittävästi työn suorituksessa.



Kuva 11: Tunnelin avauksen ampuminen osissa ja lyhennetyllä katkolla. Kuvassa näkyy niin sanottu uuni.

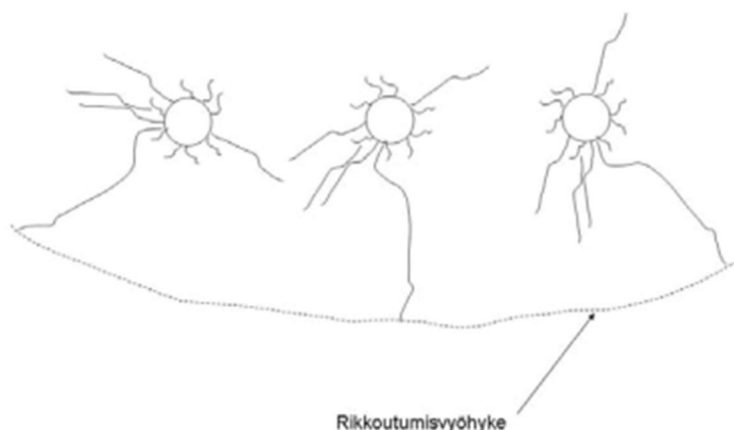
Mikäli ominaispanostus kasvaa tarpeettoman suureksi emulsiolla, juuri rakoihin täyttyneen räjähdysaineen vaikutuksesta, eivät täkkäysmatot pysty pidättelemään kiviä ja

paine-aaltoa. Paineaalto ja karkukivet vaurioittaa ikkunoita, esineitä ja pahimmassa tapauksessa aiheuttavat ihmisvahinkoja. Emulsion käyttö voidaan aloittaa melko nopeasti tunnelin edetessä, eli jopa noin 10 metrin jälkeen tunnelin suuaukolta.

3.2 Rikkoutumisvyöhykkeet

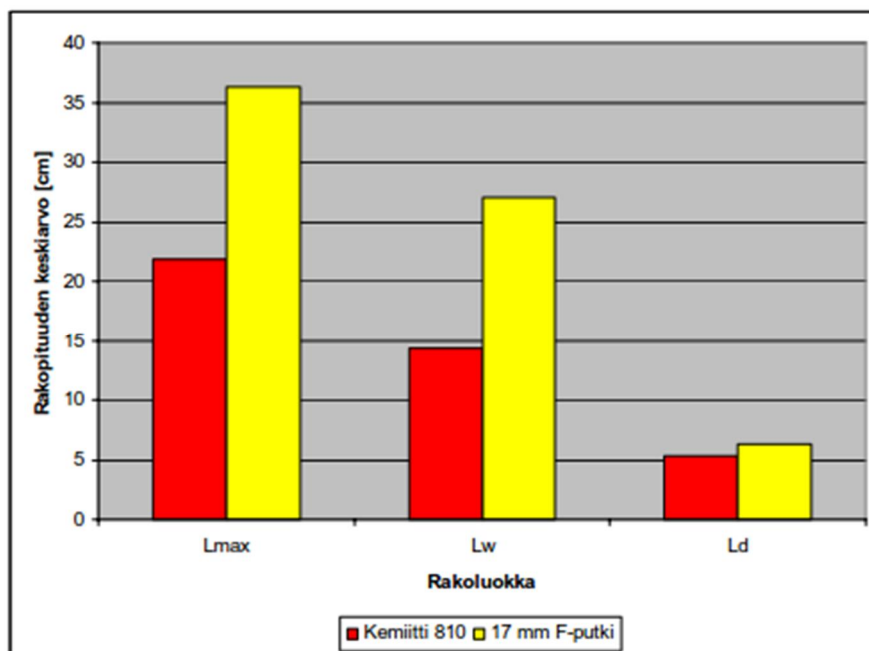
Rakoiluvyöhykkeet voidaan tunnelien seinä- ja kattopinnoissa jakaa luokkiin 1–4. Näistä 1 luokka on vaativin, sen ollessa 200 mm, 2 luokka on 400 mm, 3 luokka 400 mm ja 4 luokka yli 800 mm. Mikään panostetun reiän rikkomisvaikutus ei saa ylettyä kauemmaksi kuin reunareikien rikkomisvaikutus. Rikkoutumisvyöhykkeet luokat määrätään suunnitelma-asiakirjoissa. [21.]

Porareistä räjäytyksen jälkeen lähtevä rakoilu voidaan jakaa kolmeen eri pituusluokkaan (kuva 13). Eri pituusluokat ovat lyhyet, tiheään levinneet L_d (<10 cm), laajalle levinneet L_w (>10 cm) ja pisimmälle levinnyt rako L_{max} [22].



Kuva 12: Rikkoutumisvyöhykkeen syvyyden määrittäminen [22].

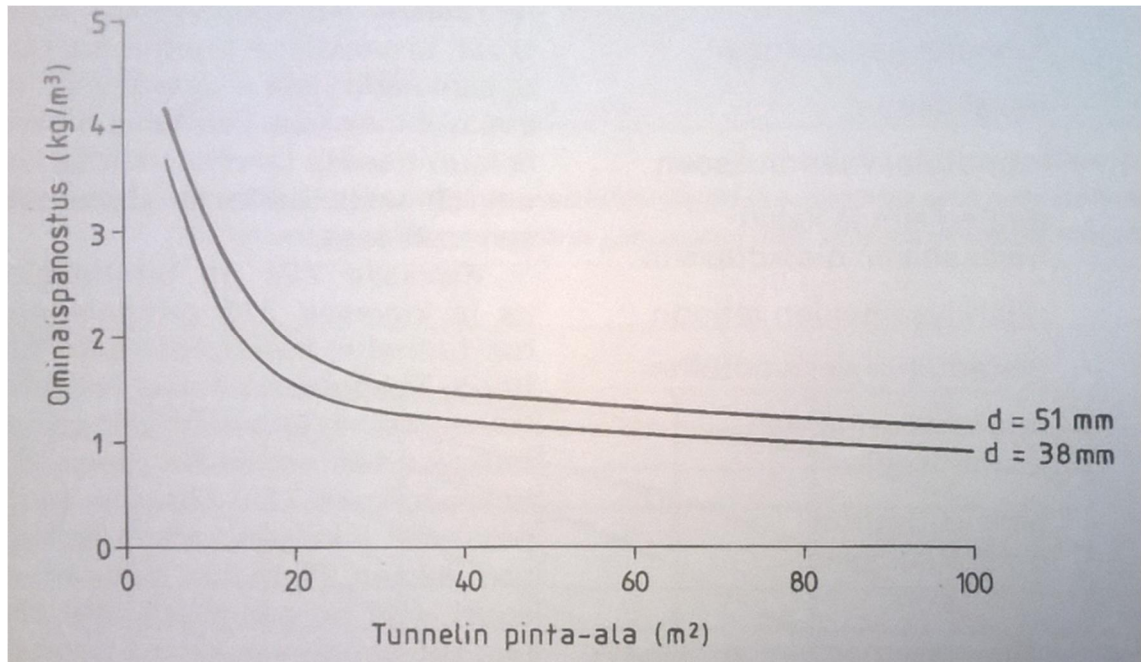
Panostettaessa reunareikiä Kemiitti 810 -räjähdysainetta käytetään niin sanottuna rantupanoksena, jolloin räjähdysainetta pumpataan 350 grammaa yhtä metriä kohden. Putkipanoksena reunareikiissä voidaan käyttää 17 mm:n F-putkea. Tutkimustulokset osoittavat Kemiitti 810 aiheuttavan lyhyemmät raot kuin 17 mm:n F-putki jokaisessa pituusluokassa (kuva 14). [22.]



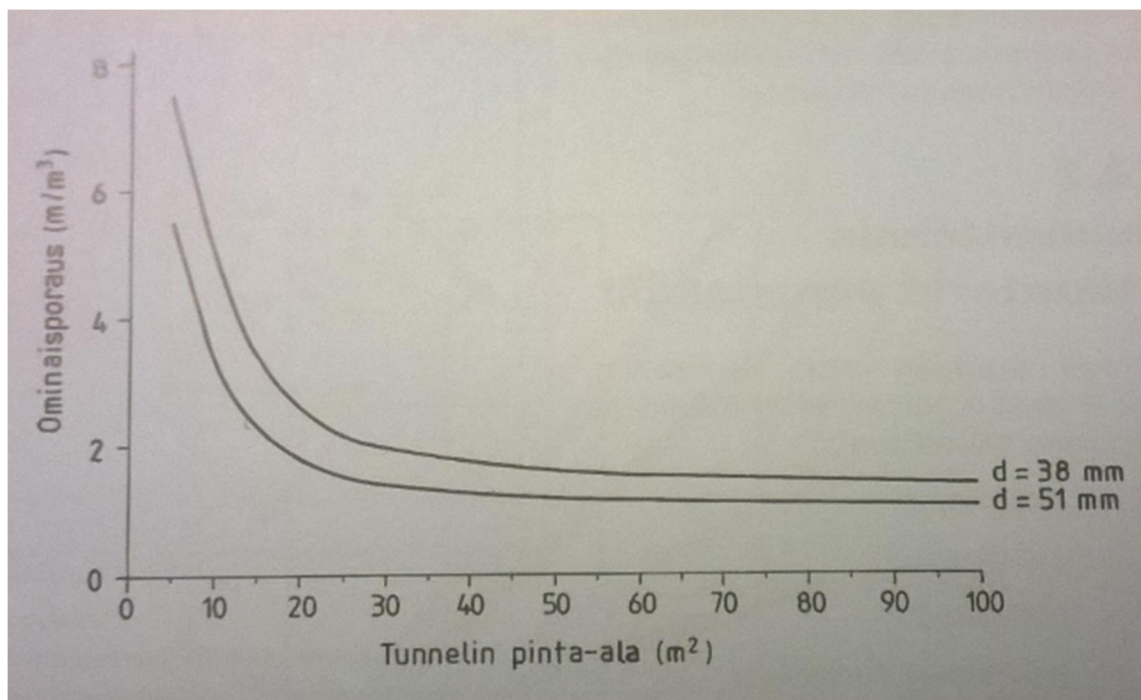
Kuva 13: Kemitti 810 aiheuttaa lyhemmät raot kuin F-putki [22].

3.3 Ominaispanostus ja ominaisporausta

Tunneliräjäytyksessä on irrotettavalla kalliolla vain yksi purkautumissuunta, jonka takia ominaispanostus (kg/m^3) on merkittävästi suurempi kuin muilla louhintatavoin. Lisäksi on huomionarvoista, että ominaispanostus muuttuu tunnelin poikkipinta-alan mukaan (kuva 15) niin, että mitä pienempi tunneli on, sitä suurempaa ominaispanostusta on käytettävä. Huomioitavaa on, että poikkipinta-alan ollessa suurempi kuin 20 m^2 ei ominaispanostus enää merkittävästi pienene. Panostettavan reiän koolla on merkitystä ominaispanostukseen niin, että suurempi reiän koko lisää ominaispanostusasetta, pienempi reikä koko kuitenkin lisää ominaisporausta (kuva 16) ja tällä tavoin lisää poraukseen käytettyä työmäärää. Yleisesti käytettyjä reikäläpimittoja tunneleiden päätylouhinnoissa ovat 48 mm, 51 mm ja 54 mm. [5, s. 225 – 226.]



Kuva 14: Ominaispanostuksen riippuvuus tunnelin pinta-alasta sekä porausreiän halkaisijasta [5, s. 225].



Kuva 15 Ominaisporauksen riippuvuus tunnelin pinta-alasta sekä porausreiän halkaisijasta [5, s. 225].

Tutkimuskohteena olevissa ajotunnelissa poikkipinta-ala on ollut 45–50 m² ja reikäkoko on ollut käytössä 54 mm aukaisun tyhjiä reikiä lukuun ottamatta. Reiän kokoa on mietittävä putkipanoksien koon mukaan, joka määrittelee tietyt ehdot reikäkoolle.

3.4 Räjähdeaineiden hintavertailu

Ominaispanostuksen kuvaajasta (kuva 15) voidaan nähdä, että reikäkoolla 54 mm ominaispanostus on lähellä $2,0 \text{ kg/m}^3$, jota on käytetty emulsioräjähteen ja putkiräjähteen kustannusvertailussa. Tutkimuksessa on oletettu yhden katkon pituudeksi 4 metriä, joka on hyvin tavallinen keskimääräinen pituus peränajossa noin 50 m^2 kokoisessa tunnelissa. Vertailussa on laskettu sekä emulsiolla että putkilla panostetun neljän metrin katkon kustannukset ja jaettu kustannukset katkon pituudella saaden hinnan €/m. Oletuksena on ollut, että tunnelia pystytään louhimaan noin 20 metriä viikossa lisäksi olettaen jokaisen katkon lähtevän täydellisesti.

Kustannuksia arvioitaessa on otettu huomioon, että työn alla on samanaikaisesti kaksi tunnelia (kuva 17) sekä vaihtoehtoisesti samanaikaisesti ainoastaan yksi tunneli (kuva 18). Putkipanoksia käytettäessä joudutaan poraamaan noin 10 reikää enemmän kuin emulsiolla, jonka takia ylimääräinen porauskustannus on lisätty räjähdelainekustannukseen. Ylimääräinen poraus, joka on kallion lähtevyyden (kiven irtoaminen kalliosta) kannalta välttämätöntä, lisää pelkkiä räjähdelainekuluja jopa 23 %. Tämän lisäksi poraustyö kestää noin 10 minuuttia pidempään jokaisella katkolla. Panostaminen kestää putkipanoksilla tunnin verran pidempään, mikä lisää pelkkiä räjähdelainekuluja 12 %. Putkipanoksien kustannukset ovat hyvin vähän riippuvaisia tunnelin etenemästä johtuen pienistä kuukausittaisista maksuista.

Materiaali	Emulsio €/m	Putket €/m	Emulsiolle kommentit	Putkille kommentit
Räjähdeaine	78,40 €	245,00 €	2,00 kg/m ³ , perä 49 m ² ; 0,80€/kg emulsio	2,00 kg/m ³ , perä 49 m ² ; 2,50€/kg putket
Nallit	60,00 €	65,00 €	120 kpl nalleja, 2 €/kpl	130 kpl nalleja, 2 €/kpl
Aloitepanos	30,00 €		120 kpl aloitepanoksia, 1 €/kpl	
Panostuslaite	25,00 €		4000€/kk; 80 m per tunneli; 2 tunnelia käynnissä	Panostus samalla laitteella kuin emulsio, ilman erillistä panostuslaitetta
Varastokontti räjähdelaineele	3,13 €	0,63 €	500€/kk; 80 m per tunneli; 2 tunnelia käynnissä	100€/kk; 80 m per tunneli; 2 tunnelia käynnissä
Ylimääräinen poraus		70,00 €		7 €/m, 10 reikää enemmän kuin emulsiolla
Panostustyö		37,50 €	keskimäärin 2,5h	Keskimäärin 3,5h; 2 panostajaa, sekä nostokori, 150 €/h
Yhteensä	196,53 €	418,13 €		

Kuva 16: Käynnissä on samanaikaisesti kaksi tunnelia 80 metrin kuukausivauhdilla.

Materiaali	Emulsio €/m	Putket €/m	Emulsiolle kommentit	Putkille kommentit
Räjähdeaine	78,40 €	245,00 €	2,00 kg/m ³ , perä 49 m ² ; 0,80€/kg emulsio	2,00 kg/m ³ , perä 49 m ² ; 2,50€/kg putket
Nallit	60,00 €	65,00 €	120 kpl nalleja, 2 €/kpl	130 kpl nalleja, 2 €/kpl
Aloitepanos	30,00 €		120 kpl aloitepanoksia, 1 €/kpl	
Panostuslaite	50,00 €		4000€/kk; 80 m per tunneli; 1 tunnelia käynnissä	Panostus samalla laitteella kuin emulsio, ilman erillistä panostuslaitetta
Varastokontti räjähdaineelle	6,25 €	1,25 €	500€/kk; 80 m per tunneli; 1 tunneli käynnissä	100€/kk; 80 m per tunneli; 1 tunnelia käynnissä
Ylimääräinen poraus		70,00 €		7 €/m, 10 reikää enemmän kuin emulsiolla
Panostustyö		37,50 €	keskimäärin 2,5h	Keskimäärin 3,5h; 2 panostajaa, sekä nostokori, 150 €/h
Yhteensä	224,65 €	418,75 €		

Kuva 17: Käynnissä on samanaikaisesti yksi tunneli 80 metrin kuukausivauhdilla.

Emulsiolla panostamisessa on huomattavan paljon enemmän kuukausittaisia kiinteitä maksuja kuin putkilla panostettaessa, kuvan 17 tapauksessa noin 14 %. Kuvan 18 tapauksessa tunneleiden etenemät ovat vain puolet kuvan 17 tilanteesta, jolloin kuukausittaiset kiinteät maksut nousevat 25 %:iin.

Emulsion kustannukset €/m ovat vain noin puolet putkilla panostettaessa. Tunnelin etenemällä on pieni vaikutus emulsion ja putkien väliseen hintaeroon €/m. Mikäli etenemä ei laske radikaalisti alaspäin, on emulsio aina taloudellisesti sekä ajallisesti kannattavampi vaihtoehto.

Räjäytys voi erinäisistä syistä katketa eli kallioon jää kovia kohtia, jotka on poistettava jälkeensä. Näiden poistaminen on huomattavasti kalliimpaa kuin kustannukset yhteen katkoon käytetyistä räjähdaineista, sillä poraus joudutaan usein suorittamaan uudelleen ja louheen kuljetus tulee kohtuuttoman kalliiksi, jos sitä ajetaan useammassa erissä. Näiden lisäksi syntyy lisää yhteiskustannuksia ja mahdollisesti viivästyssakkoja, mikäli pumpeja syntyy paljon. Katkon lähtevyyteen on tästä johtuen kiinnitettävä erityistä huomiota.

3.5 Panostamistyö

Emulsion panostus hoidetaan nostokorista letkulla pumppaamalla vaseliinimaista ainetta porareikään nostokorista. Koneena voidaan käyttää nostokorilla varustettuja tunneliajoneuvoja (kuva 19) tai kuorma-autoa, jotka varustetaan räjähdelainetehdaspaketilla, jossa emulsio räjähdelainet valmistuu matriisista ja kaasutusliuoksesta. Panostusajoneuvo on mahdollista varustaa kahdella panostusletkulla, jolloin työtä voidaan tehdä samanaikaisesti kahdessa kohdassa.

Emulsiolaitteeseen on ohjelmoitu erilaisia reseptejä, jolloin on mahdollista pumpata samalla aineella koko tunnelin perä käyttäen ainoastaan erilaisia reseptejä. Laitte pumpppaa tietyn määrän räjähdelainetta metriä kohden ja vetää letkua automaattisesti ulos niin, että oikea määrä räjähdelainetta tulee reikään. Panostettaessa reunareikiä, jolloin räjähdelainemäärä on pieni, on hyvin todennäköistä rakoisessa kalliiossa, että räjähdelaineteeseen tulee pieni väli, johon räjähdys katkeaa emulsion huonon välityskyvyn takia. [23.]

Emulsiolla panostamisen onnistuminen on hyvin riippuvainen laitteen toimintakunnosta. Emulsiopanostuslaitte vaatii pesua, säännöllistä kalibrointia, kuluneiden osien vaihtoa ja tarkastusta toimiakseen kunnolla. Tunnelin suuri kosteus asettaa varsinkin sähkölaitteet vaativaan ympäristöön, jossa toimintakuntoisuus helposti heikkenee. [23.]



Kuva 18: Emulsion panostukseen tarkoitusmukainen laite, jossa edessä räjähdainetehdas.

Putkella panostettaessa voidaan panostaminen hoitaa nostokorista (kuva 20) samaisella ajoneuvolla kuin emulsio ilman räjähdainetehdasta. Tunnelin aukaisua voidaan siirtää alaspäin ja panostaminen voidaan tehdä tällöin maasta käsin. Tunnelin aukaisu sisältää paljon räjähdainetta ja tällainen toimenpide helpottaa koko tunnelin perän panostustyötä varsinkin silloin, kun käytössä on ainoastaan yksi nostokori.

Putkipanostaminen vaatii useaa erilaista putkipanosta, tyypillisesti viittä erilaista, jotka on pakattu 25 kg:n paketteihin (kuva 21). Putkipanostaminen vaatii rutkasti esivalmisteluita sillä laatikot on tuotava erikseen autolla panostuskohteeseen. Panostustyö on putkilla 250 m³:n kokoisessa katkossa noin tunnin hitaampaa ilman esivalmisteluita. Esivalmistelut ovat putkipanostamisessa myös hitaampia kuin emulsiopanostuksessa. Fyysisesti putkipanostaminen on raskaampaa kuin emulsiopanostus. [23.]



Kuva 19: Putkilla panostusta nostokorista.



Kuva 20: Kemix A -putkipanoksia tunnelissa.

4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Valtioneuvoston antaman asetuksen mukaan räjähdetäitevalinnan tekee räjäytystyönjohtaja, joka valitsee louhintaan asianmukaisen räjähdetäiteen tilanteen mukaan. Asetus antaa mahdollisuuden käyttää molempia räjähdetäitetyyppejä.

Rikkoutumisvyöhykevertailussa emulsiona käytetty Kemiitti 810 oli parempi verrattuna 17 mm:n F-putkipanokseen. Suunnitelma-asiakirjat kuitenkin määrittelevät vaaditun luokan, jolloin useassa tilanteessa molemmat räjähteet ovat yhtä mahdollisia.

Kustannusvertailussa emulsioräjähteen tuoma kustannus on ainoastaan noin puolet putkipanoksien kustannuksista metriä kohden. Emulsiota käytettäessä muodostuu huomattava määrä kuukausittaisia maksuja. Sen kustannukset eivät kuitenkaan nouse suuriksi, vaikka tehtäisiin ainoastaan yhtä tunnelia kerrallaan. Pummit räjäytyksissä ja kovien kohtien jäämien tunneliin muodostuvat kalliiksi, ja rikkonaisessa kalliossa putkipanoksilla on parempi lähtevyys.

Emulsioräjähdeaine herkistetään vasta porausreiässä ja tähän tarvittavat ainesosat luetellaan hapettaviksi, jolloin 1.1-räjähdeaineen varastointitarve pienenee merkittävästi verrattuna putkipanoksiin, jolloin on kustannuksissa otettava huomioon lisääntynyt rahti. Käsittelyturvallisuus on molemmilla menetelmillä turvallista, kun näitä käsitellään valmistajien antamien ohjeiden mukaan.

Työmaan etenemisen kannalta porausajat ovat hiukan hitaammat putkilla panostettaessa, johtuen lisääntyneestä porausreikien määrästä. Lisääntyneet porareivät aiheuttavat kuitenkin vain pienen lisääjän poraustyöhön. Koko katkon panostus kestää noin tunnin pidempään putkipanoksilla, mikä ei aivan täysin vaikuta työn etenemiseen, koska työ voidaan tarvittaessa ajoittaa meluaikojen ulkopuolelle. Putkipanokset ovat kuitenkin nopeampi ja kustannustehokkaampi vaihtoehto, mikäli lähtevyys saadaan huomattavasti paremmaksi tällä menetelmällä.

Panostustyönä putkipanostaminen on fyysisesti raskaampaa ja vaatii enemmän esivalmisteluita kuin emulsiopanostaminen. Emulsiopanostamisessa koneiden toimintakunto nousee tärkeään osaan panostustyön onnistumisessa, sillä tunneliympäristö antaa vaativat olosuhteet laitteille ja laitteen kuluneisuus aiheuttaa hankaluuksia räjähddeaineen panostuksessa. Emulsio räjähddeaineena on riippuvainen lämpötilasta, mikä on otettava huomioon varastoinnissa ja panostuksessa toisin kuin putkipanoksilla. Rakoilevassa kalliossa varsinkin pienellä räjähddeainemäärällä on suuri riski, että räjähddeaine katkeaa emulsiolla ja sen huonon räjähddevälityskyvyn vuoksi koko räjähdys katkeaa.

Lähteet

- 1 Yritysesittely. Verkkodokumentti. <<http://www.destia.fi/fi/yritys.html>>. Luettu 20.9.2015.
- 2 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 1987. RIL 154-2 Tunneli ja kalliorakennus II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- 3 Hämäläinen, Juho. 2015. Työmaainsinööri ja iSure-ohjelman käyttäjä, Destia Oy, Espoo. Haastattelu 8.10.2015.
- 4 F-putkipanoksien tuotetiedot. Verkkodokumentti. <<http://www.forcit.fi/archives/tuote/f-putkipanokset>>. Luettu 9.10.2015. Forcit Oy Ab.
- 5 Halonen, Tommi & Vuolio, Raimo. 2010. Räjätystyöt. Helsinki: Suomen rakennusmedia Oy.
- 6 Kemiitti 810 tuotetiedot. Verkkodokumentti. <<http://www.forcit.fi/archives/tuote/kemiitti-810>>. Luettu 27.9.2015. Forcit Oy Ab.
- 7 Liite A. Vaaralliset aineet ja esineet sekä niiden pakkaaminen ja merkitseminen. Osa 2. Verkkodokumentti. <<https://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/2118.pdf>>. Luettu 1.11.2015.
- 8 Valtioneuvoston asetus räjähteiden valmistuksen, käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista. 11/2015. Verkkodokumentti <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151101>>. Julkaistu 16.6.2011. Helsinki. Luettu 30.9.2015.
- 9 Kemix A -putkipanoksien tuotetiedot. Verkkodokumentti. <<http://www.forcit.fi/archives/tuote/kemix-a-putkipanokset>>. Luettu 28.9.2015. Forcit Oy Ab.
- 10 OZM Research. BAM Fall Hammer impact sensitivity test. Laite-esittely. Verkkodokumentti. <<http://www.ozm.cz/en/sensitivity-tests/bfh-10-bam-fall-hammer-impact-sensitivity-test/>>. Luettu 15.10.2015.
- 11 UTECCORP. BAM Friction Test Device. Laite-esittely. Verkkodokumentti. <<http://www.utec-corp.com/index.php/energetic-materials/bam-friction-device/>>. Luettu 16.10.2015.
- 12 LLNL Small-Scale Friction sensitivity (BAM Test). Laite-esittely. Verkkodokumentti. <<http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/273797/>>. Luettu 20.10.2015. SciTech Connect.
- 13 Vuolio, Raimo. 2008. Räjätysopas 2008. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 14 Nonel LP-nallien tuotetiedot. Verkkodokumentti. <http://www.oricaminingservices.com/tz/en/product/products_and_services/initiating_systems/page_initiating_systems/nexa_lp/1305>. Luettu 11.10.2015. Orica.
- 15 Daveytronic OP. Elektronisten nallien tuotetiedot. Verkkodokumentti. <http://www.daveybickford.com/sites/default/files/brochures-all-uk-daveytronic_op_det.pdf>. Luettu 12.10.2015.

- 16 Daveytronic OP. Elektronisten nallien. Tuotetiedot. Verkkodokumentti. <<http://www.daveybickford.com/en/la/daveytronic-op>>. Luettu 14.10.2015.
- 17 Forcit Oy Ab. Joulukuun asiakastiedote. Verkkodokumentti. <www.forcit.fi/archives/julkaisu/ruutiset-4-2009>. Julkaistu 4/2009. Luettu 5.10.2015.
- 18 Forcit Oy Ab. Forprimen tuotetiedot. Verkkodokumentti. <<http://www.forcit.fi/archives/tuote/forprime>>. Luettu 1.11.2015.
- 19 Valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta. 644/2011. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110644#Pidp3374976>>. Julkaistu 16.6.2011. Helsinki. Luettu 18.9.2015.
- 20 Hyväkkä, Juha. 2015. Räjätystyön johtaja, Destia Oy, Espoo. Haastattelu 6.10.2015.
- 21 Rakennustieto. 2012. InfraRYL 2012/1. Maanalaiset kalliotilat 17610. Verkkodokumentti. <[www.forcit.fi/archives/julkaisu/ruutiset-3-2006](https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.metropolia.fi/infraryl/extra/tekni-setvaatimukset.html.stx?URL=c3Vic2Vzc2lrbj0xJm5hdml1cmk9aHR0cCUz-QSUyRiUyRmxvY2FsaG9zdCUzQTgwODAIMkZpbmR-veCUyRmluZG94c2VydmxldCUzRnhtbCUzRE-luZnJhUllMjTJGMjAxMl8xJTJGdG-wlMkZ0eW9sYWppdC54bWwIMjZkb2N1bWVudHJvbGUIM0RpbmZyYXJ5bC10b2MIMjZ0OV9wYXJhbSUzRHN0cmlyZyUz-QXBvaXN0ZXR0YXZhdF9rYXl0dG9rb2h0ZWV0JTNBbm9uZSZvcGVubm9kZT0wOjE6MzoxMjg3OjE0MDk6MTQxMTQ=>. Julkaistu 1.10.2012. Luettu 30.10.2015.22 Forcit Oy Ab. Asiakastiedote. Verkkodokumentti. <. Julkaistu 3/2006. Luettu 20.9.2015.
- 23 Tuovinen, Rami. 2015. Työnjohtaja, Destia Oy, Espoo. Haastattelu 6.11.2015.

Tunnelilouhinnan katkoraportti

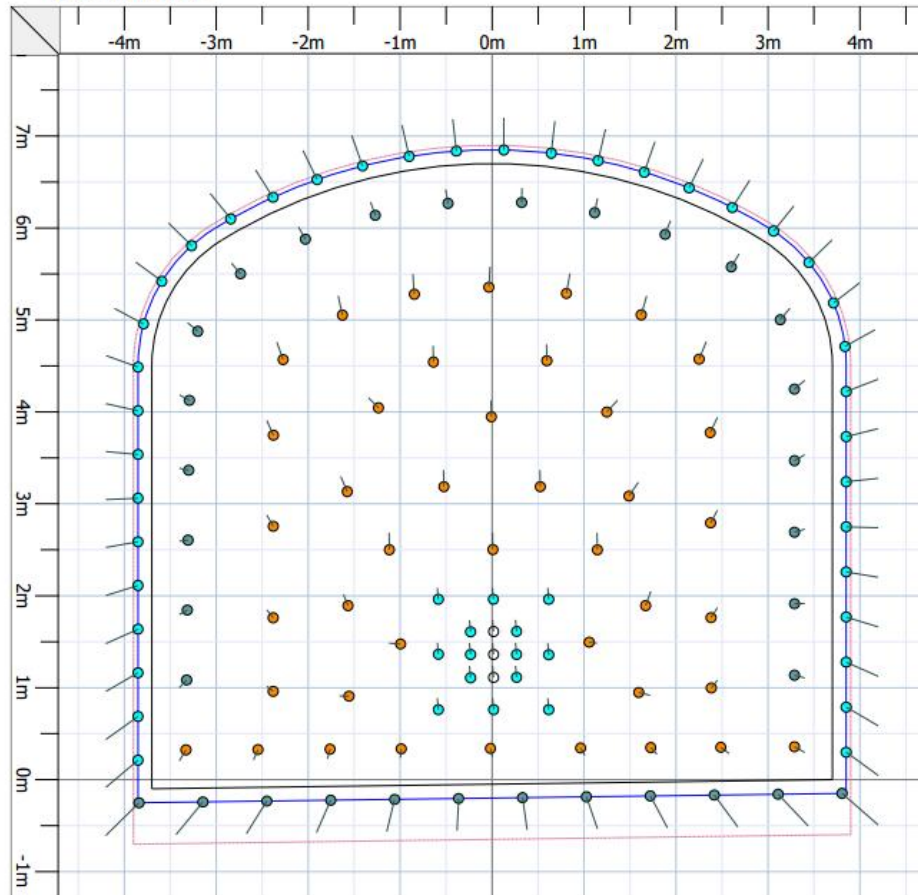
Porauskaavion tiedot

Porauskaavion nimi: AT2a_5m_20102015
Tekijä: Juho Hämäläinen
Tiedostopolku: Y:\ERK\Kallio\Syren\Työmaat\Länsimetro LU22A ja LU23A Kaitaa ja Soukka\Porauskaaviot_SIIHRETTY DOORIKSEEN_ÄLÄ KÄYTTÄÄ\Kaitaan ajotunneli\LU2\LU2A_uusi\Drill Plans\AT2a_5m_20102015.drp
Tallennettu viimeksi: 21.10.2015 18:40:36
Työmaa: Kaitaa
Kommentti: KAI_AT2a_5m
Editointikommentit: 20.10.2015 14:57:47 Luotu tiedostosta: AT2a_5m(sekvenssi1-).drp

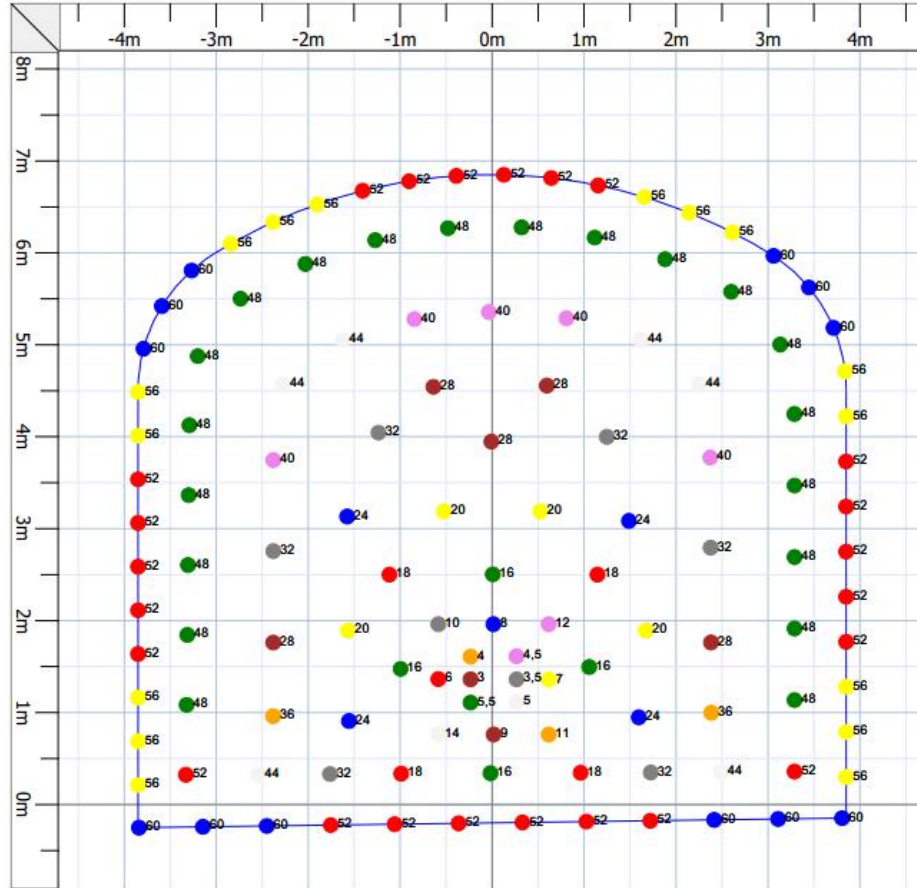
Perustiedot

Teoreettisen profiilin pinta-ala	46,49m ²
Lähtöprofiilin pinta-ala	50,46m ²
Pistoprofiilin pinta-ala	60,36m ²
Reikien lukumäärä	129
Contour	38
Bottom	12
Easer	62
Cut	17
Waypoint	37
Reaming	3
Laitteen nimi	922i
Nallitaulukon nimi	Nonel LP

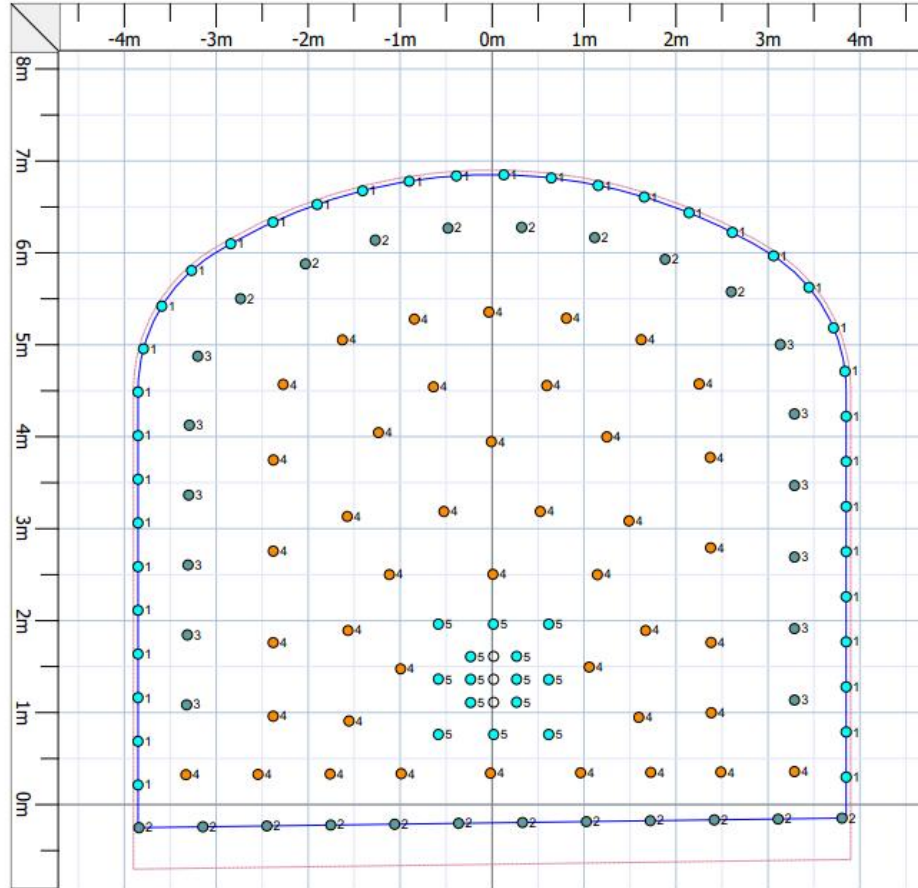
Porauskaavio



Nallituskaavio



Panostuskaavio



Numero	ID	Etutäyte [m]	Varsipanos [m]	Pohja [m]
1	Kemix A 17	0,00	Kemix A 17x1000 4,70	Kemix A 17x1000 0,50
2	Kemix A 22	0,00	Kemix A 22x1000 4,70	Kemix A 39x1000 0,50
3	Kemix A 25	0,00	Kemix A 25x1000 4,70	Kemix A 39x1000 0,50
4	Kemix A 32	0,00	Kemix A 32x1000 4,70	Kemix A 39x1000 0,50
5	Kemix A 39	0,00	Kemix A 39x1000	Kemix A 39x1000

Numero	ID	Etutäyte [m]	Varsipanos [m]	Pohja [m]
			4,70	0,50

Reikien panostaulukko

ID	keskim. panostusaste [kgREF/m]	Rakoilu [m]	Etutäyte [m]	Varsipanos [m] * [kg/m]	Pohja [m] * [kg/m]	Yhteensä
Kemix A 17	0,180	0,400	0,00	Kemix A 17x1000 4,70 * 0,22	Kemix A 17x1000 0,50 * 0,22	5,20m 1,144kg
Kemix A 22	0,440	0,800	0,00	Kemix A 22x1000 4,70 * 0,42	Kemix A 39x1000 0,50 * 1,29	5,20m 2,619kg
Kemix A 25	0,560	1,000	0,00	Kemix A 25x1000 4,70 * 0,55	Kemix A 39x1000 0,50 * 1,29	5,20m 3,230kg
Kemix A 32	0,920	1,500	0,00	Kemix A 32x1000 4,70 * 0,90	Kemix A 39x1000 0,50 * 1,29	5,20m 4,875kg
Kemix A 39	1,320	1,800	0,00	Kemix A 39x1000 4,70 * 1,29	Kemix A 39x1000 0,50 * 1,29	5,20m 6,708kg

Räjähdysaineen kulutus

Räjähdysaine	Panosten Pituus yhteensä [m]	Räjähdysainetta yhteensä [kg]
Kemix A 17x1000	197,60	43,472
Kemix A 39x1000	109,80	141,642
Kemix A 22x1000	94,00	39,480
Kemix A 25x1000	56,40	31,020
Kemix A 32x1000	197,40	177,660
Yhteensä:	655,20	433,274

Käytetyt nallit

Nallitus	Ajoitus	Lukumäärä
3	300	1
3,5	350	1
4	400	1
4,5	450	1
5	500	1
5,5	550	1
6	600	1
7	700	1
8	800	1
9	900	1
10	1000	1
11	1100	1
12	1200	1
14	1400	1
16	1600	4

Nallitus	Ajoitus	Lukumäärä
18	1800	4
20	2000	4
24	2400	4
28	2800	5
32	3200	6
36	3600	2
40	4000	5
44	4400	6
48	4800	20
52	5200	24
56	5600	16
60	6000	12

Käytetyt pintahidasteet

Pintahidaste [ms]	Lukumäärä
0	1
17	16
25	14

Momentaaninen yhteenvedo

Ajoitus	Pintahidaste [ms]	Nallitus	Reikien lukumäärä	Koko paino [kg]
300	0	3	1	6,708
350	0	3,5	1	6,708
400	0	4	1	6,708
450	0	4,5	1	6,708
500	0	5	1	6,708
550	0	5,5	1	6,708
600	0	6	1	6,708
700	0	7	1	6,708
800	0	8	1	6,708
900	0	9	1	6,708
1000	0	10	1	6,708
1100	0	11	1	6,708
1200	0	12	1	6,708
1400	0	14	1	6,708
1617	17	16	1	4,875
1650	50	16	1	4,875
1719	119	16	1	4,875
1736	136	16	1	4,875
1817	17	18	1	4,875
1825	25	18	1	4,875
1919	119	18	1	4,875
1975	175	18	1	4,875
2119	119	20	1	4,875
2136	136	20	1	4,875
2175	175	20	1	4,875
2225	225	20	1	4,875
2434	34	24	1	4,875

Ajoitus	Pintahidaste [ms]	Nallitus	Reikien lukumäärä	Koko paino [kg]
2450	50	24	1	4,875
2519	119	24	1	4,875
2575	175	24	1	4,875
2902	102	28	1	4,875
2936	136	28	1	4,875
2950	150	28	1	4,875
3004	204	28	1	4,875
3050	250	28	1	4,875
3234	34	32	1	4,875
3250	50	32	1	4,875
3353	153	32	1	4,875
3370	170	32	1	4,875
3375	175	32	1	4,875
3425	225	32	1	4,875
3651	51	36	1	4,875
3675	75	36	1	4,875
4170	170	40	1	4,875
4221	221	40	1	4,875
4225	225	40	1	4,875
4272	272	40	1	4,875
4300	300	40	1	4,875
4400	0	44	1	4,875
4451	51	44	1	4,875
4475	75	44	1	4,875
4587	187	44	1	4,875
4604	204	44	1	4,875
4650	250	44	1	4,875
4868	68	48	1	3,23
4900	100	48	1	3,23
4902	102	48	1	3,23
4950	150	48	1	3,23
4953	153	48	1	3,23
4970	170	48	1	3,23
4987	187	48	1	3,23
5000	200	48	2	6,46
5004	204	48	1	3,23
5021	221	48	1	2,619
5038	238	48	1	2,619
5050	250	48	1	3,23
5055	255	48	1	2,619
5072	272	48	1	2,619
5075	275	48	1	3,23
5100	300	48	1	2,619
5125	325	48	1	2,619
5150	350	48	2	5,238
5217	17	52	2	5,238
5225	25	52	2	5,238
5234	34	52	1	2,619
5250	50	52	1	2,619
5268	68	52	1	4,875

Ajoitus	Pintahidaste [ms]	Nallitus	Reikien lukumäärä	Koko paino [kg]
5300	100	52	1	4,875
5302	102	52	2	2,288
5350	150	52	2	2,288
5353	153	52	2	2,288
5370	170	52	1	1,144
5400	200	52	2	2,288
5425	225	52	1	1,144
5455	255	52	2	2,288
5472	272	52	2	2,288
5550	350	52	2	2,288
5685	85	56	3	3,432
5725	125	56	3	3,432
5787	187	56	2	2,288
5838	238	56	3	3,432
5850	250	56	1	1,144
5875	275	56	1	1,144
5925	325	56	3	3,432
6051	51	60	1	2,619
6068	68	60	1	2,619
6075	75	60	1	2,619
6085	85	60	1	2,619
6100	100	60	1	2,619
6125	125	60	1	2,619
6204	204	60	1	1,144
6221	221	60	2	2,288
6275	275	60	1	1,144
6300	300	60	2	2,288

Reikiä ilman panosta: 3

Reikiä ilman nallia: 3

Lähtöprofiilin pinta-ala = 50,46 m²

Pistoprofiilin pinta-ala = 60,36 m²

Porametrit, pom = 647,25 m

Porauskaavion tilavuus, V = 287,74 m³

Käytetty räjähdysainemäärä, m = 433,27 kg

m / V = 1,51 kg/m³

poram / V = 2,25 m/m³