

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka, Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Maa- ja kalliorakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Timo Kinnunen

## **Kaupunkialueella tehtävän kuilulouhintakohteen toteutusmenetelmät ja ympäristön työnaikainen suojaaminen**

Opinnäytetyö 2013

## Tiivistelmä

Timo Kinnunen

Kaupunkialueella tehtävän kuilulouhintakohteen toteutusmenetelmät ja työnaikainen suojaaminen, 34 sivua, 6 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka, Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Maa- ja kalliorakentaminen

Opinnäytetyö 2013

Ohjaajat: Yliopettaja Tuomo Tahvanainen, Saimaan ammattikorkeakoulu,  
toimitusjohtaja Jukka Halonen, Kalliorakennus- Yhtiöt Oy

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kuilulouhintakohteen työmenetelmien valinnan jälkeen toteuttaa ja osin kehittää sekä dokumentoida työnaikaiset suojaukset, joilla estettiin louhintatöistä ympäristöön aiheutuvat haitat ja vaaratekijät.

Louhintatyöt toteutettiin käytössä olevan P-Forumin parkkihallista Kampin kauppakeskukseen vievän kävelytunnelin yhteyteen. Työmaan vaarallinen alue piti eristää yleisöltä varmallalla ja kustannustehokkaalla tavalla, joka ei kuitenkaan saisi häiritä kohtuuttomasti P-Forumin ja kauppakeskuksen asiakkaita tai liiketoimintaa.

Työmaalle asetettu tiukka aikataulu vaikutti suojausrakenteiden lisäksi myös louhintamenetelmien valintaan ja niiden kehittämiseen. Oppikirjojen louhintamenetelmät eivät suoraan tähän kohteeseen sopineet. Yhteistyö tilaajan, suunnittelijoiden ja urakoitsijan välillä johti turvalliseen ja tehokkaasti toteutettuun hissikuiluprojektiin.

Avainsanat: kuilulouhintaa, asutuskeskuslouhintaa, ruiskubetoninen liittolevyseinä, louhinnan teräsbetoninen suojalaatta, kalliotulppa

## **Abstract**

Timo Kinnunen

Shaft excavation and protection methods in urban environment, 34 Pages, 6 Appendices

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, Chief executive officer Jukka Halonen, Kalliorakennus- Yhtiöt Oy

The purpose of this final year thesis was to choose rock excavation methods and then develop and document methods how to protect urban environment in a difficult shaft excavation project.

Blasting operations were done inside an underground car park P-Forum. The hazardous area from the construction site had to be isolated from the customers' car park and Kamppi shopping center.

Tight schedule influenced which protection methods were chosen to be used and forced to develop commonly used methods how to drill and blast in this kind of environment. Good cooperation with the constructor, the designer and the main contractor was very important and made it possible to accomplish this project safely and economically.

Keywords: shaft mining, urban mining environment, blasting protection, protective shotcrete connecting sheet wall, protective reinforced concrete slab, rock plug

## Sisältö

1 Johdanto .....	5
2 Kalliorakennus-Yhtiöt oy:n esittely .....	5
3 Kohteen esittely .....	6
4 Vaihtoehtoisia kuilulouhintamenetelmiä .....	8
4.1 Nousuajo rakentamalla.....	8
4.2 Nousuajo Alimak-hissillä.....	9
4.3 Nousuajo pitkäreikämenetelmällä.....	9
4.4 Nousuajo täysprofiiliporauksella .....	10
5 Louhintamenetelmän valinta .....	11
6 Louhinnan rajoitukset.....	13
7 Työn suoritus .....	14
7.1 Urakka-alueiden haltuunotto ja rakenteiden suojaus.....	14
7.2 Kuilun yläpään louhinta ja betonirakenteet.....	15
7.3 Kuilun ja työtunnelin louhinta.....	16
7.3.1 Louhinnan työnkierto.....	18
7.3.2 Hissikuilun syvennyksen ja hissikuilun louhinta .....	20
7.3.3 Kalliotulpan sahaus.....	23
8 Suojarakenteet.....	25
8.1 Ruiskubetoninen liittolevyseinä .....	25
8.2 Kalliotulppa.....	27
8.3 Teräsbetoninen louhinnan suojalaatta.....	28
9 Pohdinta.....	30
Lähteet.....	33

### LIITTEET

- Liite 1. Ruiskubetoninen liittolevyseinä
- Liite 2. Teräsbetoninen louhinnan suojalaatta
- Liite 3. Louhinnan pohjaleikkaus
- Liite 4. Louhinnan leikkaus A-A
- Liite 5. Louhinnan leikkaus B-B
- Liite 6. Työmaan järjestelypiirros

## **1 Johdanto**

Tämä työ on tehty Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:lle. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää turvallinen tapa toteuttaa hissikuilu vaativassa ympäristössä tilaajan asettaman aikataulun ja projektin budjetin mukaisesti. Kohteena on Helsingin Kampissa rakennettavan uuden toimistotilakeskuksen alapuoliseen pysäköintiluolaan johtavan hissikuilun louhintatyömaa. Rakennuttaja haluaa lisätä uuden toimitilan arvoa ja tavoitettavuutta suoralla yhteydellä paikoitustiloihin.

Työssä käsitellään, millaisin louhintamenetelmin tämä noin 10 metriä pitkä kuilu olisi mahdollista toteuttaa ja valitaan sitten juuri tähän projektiin sopivat kuilu-louhintamenetelmät. Louhintamenetelmän valinnan jälkeen suunnitellaan ja toteutetaan riittävät sekä tarpeeksi varmat suojausrakenteet, jotta työ voitaisiin toteuttaa turvallisesti ja aikataulun mukaisesti. Suojausrakenteiden valmistuttua suoritetaan louhintatyöt ja todetaan, kuinka hyvin suunnitelmat toteutuivat käytännössä.

## **2 Kalliorakennus-Yhtiöt oy:n esittely**

Kalliorakennus-Yhtiöt Oy on vuonna 1987 perustettu vantaalainen louhinta-alan yritys, entinen Kalliorakennus T.K.Vyyryläinen Co Oy, joka tuottaa louhinta-, lujitus- ja rakennusteknisiä palveluja maanrakennusalalle. Yritys on keskittynyt maanalaiseen kalliorakentamiseen ja sen erikoisosaaminen painottuu vaativiin louhinta- ja lujitustöihin sekä betonirakentamiseen.

Yrityksen päätoiminta-alue on Pohjoismaissa. Kalliorakennus-Yhtiöt Oy muodostuu Suomessa toimivasta emoyhtiöstä, Ruotsissa urakoineesta Luja-Louhinta Oy:stä sekä yrityksen omistamista kiinteistöyhtiöistä. Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n liikevaihto oli tilikaudella 2011 – 2012 45,7 miljoonaa euroa ja se työllistää noin 40 toimihenkilöä ja 100 louhinta- ja rakennustyömiestä sekä useita aliurakoitsijoita.

Yhtiön viimeisimpiä referenssikohteita ovat: 2010 – 2012 Vantaan TYL Kehäraata, Viinikkalan ratatunnelin louhinta, 2010 – 2011 Länsimetron Espoon Karhusaaren ja 2011 – 2013 Keilaniemen ajotunnelit sekä Helsingin Lauttasaaren ratatunnelin louhintaurakka ja 2011 – Tapiolan Keskuspysäköinti ja –huolto.

### 3 Kohteen esittely

Esimerkkikohteena on Helsingin ydinkeskustaan Annankadun ja Urho Kekkosen kadun kulmaan, Kampin kauppakeskuksen viereen louhittava 10 metriä korkea Kampin huipun hissikuilu ja sen yhdystunneli. Näiden rakentaminen vaatii kohteeseen lisäksi työtunnelin louhinnan P-Forumien parkkihallin ylemmältä paikoitustasolta. Haastavaksi tämän kaupunkilouhintakohteen tekevät työalueen ahtauden lisäksi parkkihallin ja kauppakeskuksen asiakkaat, joiden on päästävä liikkumaan aivan louhintatöiden vaarallisen alueen vierestä. Tilaajan asettama aikataulu vaikuttaa myös louhintamenetelmien valintaan, sillä louhintaurakoitsijan on louhittava kuilu samalla kun rakennusurakoitsija rakentaa yläpuolelle uusia toimistotiloja. Kuilun louhintaräjähdykset eivät saa estää yläpuolella tehtäviä betonitöitä.

Kuilu ja työtunneli louhitaan S6-luokan väestönsuojan sisälle, jonka vuoksi joudutaan tekemään lisälouhintoja paineseinärakenteiden vaatimusten takia. Urakka sisältää myös maan alle tehtävät teräsbetonirakenteet, jotka ovat massiivisia ja vaativia 1-luokan betonirakenteita.

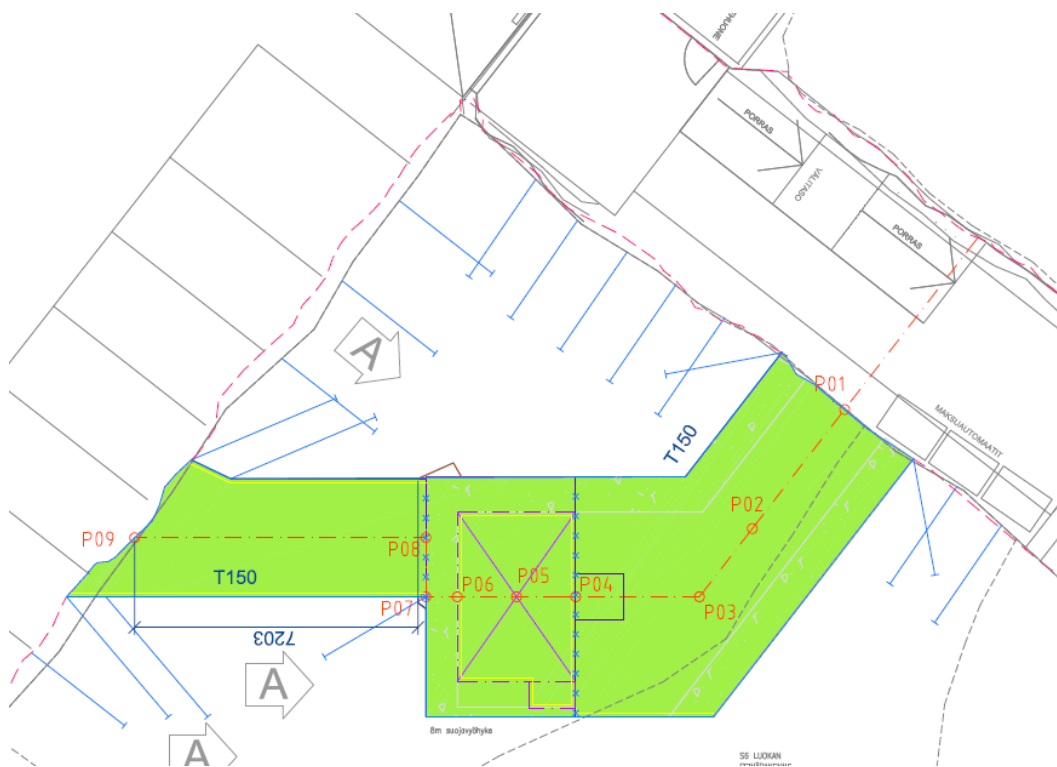
Nykyaikana väestönsuojat jaetaan luokkiin K, S1, S3 ja S6. Näistä K-luokan suoja on rakenteiltaan kevyempi, pienkerros- ja rivitalojen sekä pienten liike- ja teollisuusrakennusten väestönsuoja, ja S1-luokan suoja tavanomainen kerrostalon väestönsuoja. K-luokan suoja voidaan rakentaa joko teräksisenä (< 20 m<sup>2</sup>) tai teräsbetonisena, S1-luokan suojien on oltava teräsbetonia. S3 on joko kevyt-rakenteinen kalliosuoja tai raskas teräsbetoninen väestönsuoja. Luokan S6 väestönsuojat ovat suuria kalliosuojia, jotka kestävät 6 barin räjähdyskuormituksen.

Työn vaativuutta lisää se, että Kampin kauppakeskus ja parkkihalli ovat toiminnassa koko urakka-ajan eivätkä räjäytystyöt saa keskeyttää parkkihallin liikennettä kolmea minuuttia kauemmin.

Kohteen tilaajana toimii Keskinäinen vakuutusyhtiö Eläke-Fennia, jonka omistuksessa on noin 1 700 asuntoa sekä yhteensä noin 200 000 m<sup>2</sup> erityyppisiä toimisto-, liike- ja varastotiloja lähinnä pääkaupunkiseudulla, Turussa ja Tampereella.

Kohteen kalliosuunnittelijana toimi Sito Oy, joka vastasi tunnelien ja kuilun louhintasuunnitelmista. Rakennesuunnittelijana kohteessa toimi Insinööritoimisto R J Heiskanen ja arkkitehtisuunnittelusta vastasi Davidsson Tarkkela Oy.

Kohteen suunnitteluun otettiin mukaan myös urakoitsija, kohteen vaativuuden takia. Esimerkiksi alustavista suunnitelmista kokonaan puuttunut työtunneli suunniteltiin urakoitsijan kalustolle sopivaksi. Lisäksi kohteessa käytettiin useita urakoitsijan kehittämiä suojausrakenteita, jotka mahdollistivat valittujen louhintamenetelmien käytön. Kuvassa 1 esitetään louhittavan alueen pohjaleikkaus. Liitteessä 6 on yksityiskohtaisempi kuva työmaan suojausrakenteiden sijoittumisesta P-Forum in parkkihalliin.



Kuva 1. Louhittavan tunnelin ja kuilun pohjaleikkaus

Kampin huipun urakka-aika alkoi 1.7.2011 ja päättyi 9.3.2012. Työsuunnittelussa oli huomioitava myös Kampin kauppakeskuksen vuoden vilkkain kaupankäyntiaika.

Työ suoritettiin urakka-ajan puitteissa, ilman työtaturmia ja ulkopuolisille aiheutettuja vahinkoja. Kampin huipussa tunneli- ja kuilulouhintaa oli yhteensä noin 600 m<sup>3</sup>tr ja 1-lk betonirakenteiden tekoa 330 m<sup>3</sup>.

## 4 Vaihtoehtoisia kuilulouhintamenetelmiä

Vakiopoikkipinta-alaisia kalliotiloja, jotka poikkeavat niin paljon vaakasennosta, ettei niiden tekemisessä voida käyttää pyöräajoneuvoja, nimitetään kuiluiksi. Mikäli louhinta etenee ylhäältä alaspäin, ne ovat kuiluja ja mikäli eteneminen tapahtuu alhaalta ylöspäin, ne ovat nousuja. (Vuolio & Halonen 2010, 236.)

Kuilujen ja nousujen louhintaa pidetään yhtenä vaikeimmista rakennustöistä, joten niiden tekeminen turvallisesti ja taloudellisesti on ammattitaitoa vaativaa työtä.

### 4.1 Nousuajo rakentamalla

Nousuajo rakentamalla on vanhin tapa tehdä lyhyitä pysty-yhteyksiä. Ensimmäinen katko porataan usein porausjumbolla poraten ja normaalisti panos-  
tusalustan päältä panostaen. Varsinainen poraus tapahtuu noususyöttölaitteella varustetulla porakoneilla nousun yläosaan rakennetun työlavan päältä, joka puretaan ennen jokaista räjäytystä. Menetelmä on hidas ja työläs tasojen rakennustöiden ja käsin porauksen takia. Se on myös vaarallinen, koska kuiluun joudutaan nousemaan rusnaamattoman kallion alle ilman suojaa räjäytyksen jälkeen. Rusnaus tarkoittaa louhitun alueen irtokivien poistamista. Nousuajo rakentamalla ei ole nykyisin käytössä sen suurien vaaratekijöiden takia. (Kuva 2.)



Kuva 2. Nousuajo rakentamalla (Räjäytystyöt, Vuolio ja Halonen 2010, 237)

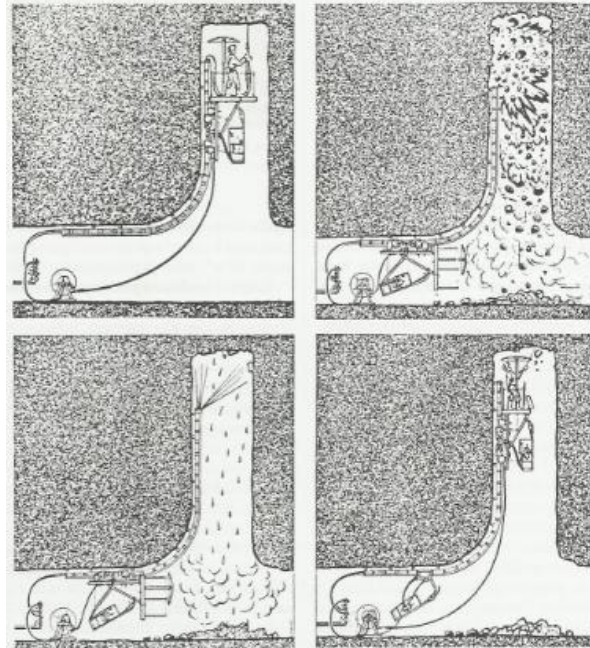


## 4.2 Nousuajo Alimak-hissillä

Alimak-menetelmä perustuu hissikiipijään, jossa hissikori kiipeää kallioon kiinnitettyä hammastankokiskoa pitkin. Työntekijät ovat turvakaton alla suojassa kuljetuksen aikana. Kiskossa on putket paineilmaa ja vettä varten. Räjähätyksen ajaksi hissi ajetaan nousun alapäässä sivuun putoavilta kiviltä. Alimak-hissillä tehdään pitkiä, jopa 400 metriä korkeita nousuja. (Kuvat 3 ja 4.)



Kuva 3. Alimak-hissi



Kuva 4. Alimak-menetelmän työvaiheet (Kaivos ja louhintateknikka, Hakapää ja Lappalainen 2009,129)

Louhintaurakoitsijalla on kalusto ja osaamista toteuttaa nousuajo Alimak-hissillä, mutta aikataulu pakottaa tutkimaan tehokkaampia keinoja louhinnan toteuttamiseen.

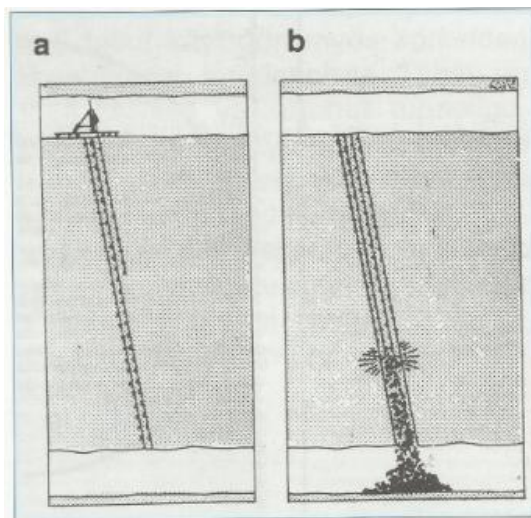
## 4.3 Nousuajo pitkäreikämenetelmällä

Pitkäreikämenetelmällä voidaan tehdä vain jyrkkiä, yli 45 asteen nousuja. Nousun ei voi olla tätä loivempi, koska silloin kivet eivät välttämättä putoa alas räjäytyksessä. Nousun maksimipituus on noin 60 metriä, riippuen lähinnä poraus-tarkkuudesta. (Vuolio & Halonen 2010, 238.)

Louhintatyö alkaa kaikkien louhintareikien porauksesta koko kuilun mittaisiksi. Reikien päiden sijainnit on kartoitettava, ja tämän jälkeen valitaan avarrettavat suurreitit ja suunnitellaan oikea räjähteiden sytytysjärjestys. Tämä tehdään siksi, että reikien porausvirheiden aiheuttamat reikien virhesuuntaukset voivat muuttaa reikien paikkaa suunnitellusta.

Räjäytykset aloitetaan alhaaltapäin. Räjähdepatruunat lasketaan ylhäältä alas reiän pohjalle tehdyn tulpan päälle. Ensimmäisessä vaiheessa räjäytetään avauksen reiät kohti niiden keskelle avarrettuja suurreikiä. Seuraavaksi tätä aukkoa avarretaan isommaksi räjäyttämällä sitä ympäröivät lähimmät reiät. Avaus etenee 3 – 4 räjäytystä ennen avarrusta. Kuilun reunareivät räjäytetään viimeiseksi.

Pitkäreiät porataan yleensä ylhäältä alaspäin, mutta on myös mahdollista porata reiät alhaalta päin käyttäen tarkoitukseen tehtyä pitkäreikäporauslaitetta. Tällöin voidaan puhua ”sokkonousun” louhinnasta, jossa ensin louhitaan alhaalta päin nousu esimerkiksi neljän metrin päähän kallion pinnasta. Kalliotulppa voidaan sitten porata ja räjäyttää ylhäältäpäin. (Kuva 5.)



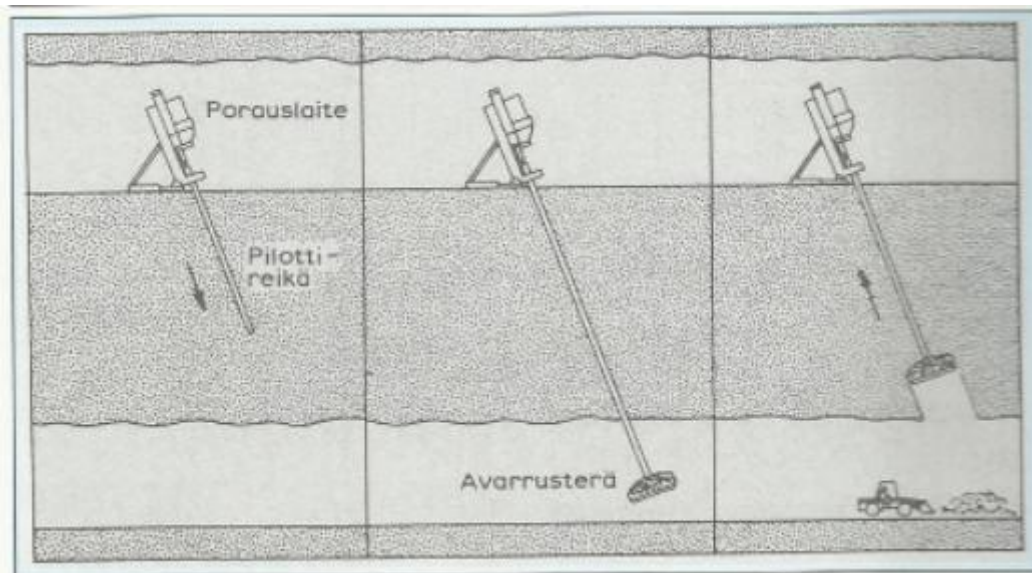
Kuva 5. Nousuajo pitkäreikämenetelmällä (Räjäytystyöt, Vuolio ja Halonen 2010, 237)

#### 4.4 Nousuajo täysprofiiliporauksella

Täysprofiiliporauksessa porataan ensin poralaitteella pilottireikä kuilun keskelle. Tämän pilottireiän kautta poralaite vetää avarrusterän ylös jyrkien kallioon pyöreän kuilun. Murskaantunut kivi tippuu reiästä alas, josta se voidaan helposti

kuljettaa pois tunnelista. Näin on maailmalla tehty jopa 1000 metriä pitkiä nousuja. Menetelmän etuja ovat turvallisuus, tarkkuus ja se, että kallio ei rikkoonnu räjäytysten voimasta. Tällä menetelmällä myös vältetään räjäytyksistä syntyvä tärinä. Kuilu tulee tarkasti siihen kohtaan, mihin pilottireikä on porattu, eikä ole tarvetta työskennellä räjäytetyn katon alla. Aivan lyhyitä kuiluja ei kannata lähteä tällä menetelmällä tekemään. Tarvittavan porauskaluston siirto työmaalle on kallista, joten lyhyissä kuiluissa muut menetelmät ovat metrihinnaltaan edullisempia. (Vuolio & Halonen 2010, 239.)

Pyöreää kuilua voidaan tarvittaessa laajentaa räjäyttämällä käyttäen pitkäreikäporausta. Ensin porattua kuilua käytetään silloin avausreikänä ja kuilua avarretaan räjäyttämällä sitä kohti. (Kuva 6.)



Kuva 6. Täysprofiilikuilun poraus (Räjäytystyöt, Vuolio ja Halonen, 2010, 243)

## 5 Louhintamenetelmän valinta

Edellä esitellyt menetelmät eivät suoraan sovi Kampin huipun kohteeseen tiukan aikataulun ja kohteen sijainnin takia. Olemassa olevia menetelmiä täytyy siis soveltaa. Yläpuolisen porauksen estää aikataulun päällekkäisyyden lisäksi sisäpihan tilan ahtaus. Tarvittavan kokoinen poralaite ei mahtuisi työalueelle.

Käytettävät louhintamenetelmät vaikuttavat myös tarvittavien suojausrakenteiden mitoittamiseen. Jos tilaaja olisi päättänyt rakennuttaa kuilun ilman räjäytys-

menetelmien käyttöä, olisi työalueet voinut erottaa yleisöstä vain kevyin vaneriseinin. Rakentamisen kokonaiskustannukset verrattuna louhintamenetelmien ja raskaampien suojarakenteiden käyttöön olisivat näin kuitenkin moninkertaiset.

Kuilu päätettiin porata alhaaltapäin käyttäen pitkäreikäporaukseen erityisesti tehtyä Atlas Copcon valmistamaa Simba-porauslaitetta. Vaikka Simban kuljettaminen työmaalle oli haasteellista, kannatti se Alimak-menetelmään verrattuna paremman poraustehon ja työturvallisuuden takia. Simballa voi porata kerralla kuilun pituiset reiät. Simban poraustehoja voitiin käyttää myös hissikuilun syvennyksen louhintareikien poraukseen sekä lujituspulttien ja betonirakenteiden ankkurointipulttien reikien poraukseen.

Porausmenetelmän valinnan jälkeen piti ratkaista, miten nousu voidaan panostaa turvallisesti. Normaalisti reiät voidaan panostaa ylhäältä laskemalla räjähteet reiän pohjalle. Räjätettävä kenttä suojataan kuorma-auton renkaista valmistetuilla painopeitteillä kivien sinkoilun estämiseksi. Tässä kohteessa ei näin voitu toimia, koska aikataulun mukaisesti rakennusurakoitsija työskenteli kuilun betonikauluksen yläpuolella jatkaen teräsbetonirakenteista hissikuilua ylöspäin.

Reiät päätettiin panostaa alhaaltapäin käyttäen välitäytteillä jaettua reikäpanosta. Näin koko reiän pituus voitiin panostaa ja räjäyttää yhdellä räjäytyskerralla. Hissikuilun betonikaulukseen tehtiin 15 cm paksu betoninen suojalaatta estämään kivien sinkoilu ja pölyn sekä räjäytyskaasujen leviäminen ympäristöön. Suojalaatta toimi myös toiseen suuntaan suojaten alhaalla tunnelissa työskenteleviä betonointityömaalta alas kuiluun mahdollisesti tippuvilta esineiltä.

Betonikantta ei varsinaisesti mitoitettu kestämään mitään tiettyä räjähdyspainetta, siitä vain tehtiin ”riittävän” vahva. Kansi valettiin noin metrin korkeuteen kalliopinnan yläpuolelle ja ensimmäiset kuilun räjäytykset suoritettiin erittäin varovasti.

## 6 Louhinnan rajoitukset

Louhintatöitä suoritettaessa ei ympäristölle voi aiheuttaa kohtuutonta häiriötä tai suoranaista haittaa, joten työ ja sen toteuttaminen on suunniteltava tarkasti etukäteen. Kaupunkikohteissa on huomioitava ympäristössä liikkuvat ihmiset ja heidän omaisuutensa sekä rakennukset ja niiden mahdollisesti värinälle herkätkohteet. Nämä räjäytys- ja louhintatöistä mahdollisesti vahingoittuvat kohteet kartoitetaan tilaajan toimesta, ja tämän riskianalyysin tekee yleensä aina ulkopuolinen asiantuntijakonsultti.

Kampin huipun lähiympäristön kohteista riskianalyysin suoritti Kalliotekniikka Consulting Engineers Oy. Louhinnan värinävaikutuksia seurattiin kahdeksasta kohteesta. Värinämittareista seurattiin rakenteen heilahdusnopeutta, kiihtyvyyttä, taajuutta sekä rakenteen siirtymiä.

Louhinnan läheisyydessä sijaitsee neljä erityistä huomiota vaativaa kohdetta: mikrohedelmöityshoitoja suorittava Felicitas-klinikka, Talentum, jolla on suuri määrä tietokoneita ja palvelimia, Mäntymäen osittain ruiskubetonoitu viemäritunneli, jonne lähin etäisyys louhinnasta on noin 15 m, sekä maanvaraisessa betonikourussa kulkeva lyijyvaippainen, öljypaperieristeinen sähkökaapeli (119 kV).

Riskianalyysin perusteella konsultti suorittaa läheisten kiinteistöjen alkukatselmuksset ennen louhintatöiden aloittamista ja loppukatselmuksset louhintatöiden päätyttyä. Katselmuksen aikana värinäherkät koneet sekä laitteet pyritään suojaamaan värinän vaikutuksilta. Esimerkiksi tietokoneiden alle voidaan asentaa erityiset kumityynyt vaimentamaan louhintavärinöitä. Herkille kohteille laaditaan louhintavärinän raja-arvot, joita louhintatöissä ei saa konsultin näkemyksen perusteella ylittää.

Louhintatyötä tekevän työnantajan on räjäytys- ja louhintatyötä varten tehtävä työturvallisuuslain (738/3003) 10 §:n 1 momentissa tarkoitetun työn ja ympäristön vaarojen selvittämisen ja arvioinnin perusteella työpaikka- ja työvaihekohtaisesti tarkentuva kirjallinen turvallisuussuunnitelma.

Turvallisuussuunnitelma pohjautuu yleensä työtä koskeviin yleisiin suunnitelmiin, turvallisuusasiakirjaan ja työn toteuttajan työsuunnitelmaan. Asiakirjan sisältö muodostuu täydentämällä suunnitteluvaiheen asiakirjaa yksityiskohtaisilla suunnitteluratkaisuilla. (1, s 34 – 36.)

Louhintatöiden suoritusta kaupunkialueella rajoittavat ympäristöä suojelevat ympäristökeskuksen myöntämän ympäristöluvan mukaiset melurajat. Meluavaa työtä sai kyseisessä kohteessa tehdä arkisin klo 7 – 22 välisenä aikana. Asiantuntijakonsultti suoritti kohteessa ennakkoon taustamelumittauksia ja vertasi niitä tunnelin poraustöiden aikaiseen meluun. Selvityksen perusteella poraustyön äänet peittyivät päivällä normaalin taustamelun alle.

## **7 Työn suoritus**

Hissikuilun rakennustyömaan tilauksen tultua aloitettiin työsuunnitelmien ja tarvittavien selvitysten tekeminen. Kohteen toteuttava työryhmä koottiin Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n toiminnassa olevilta työmailta ja rakennusprojektin vastuu annettiin läheisimmän tunnelityömaan projektin johdolle. Lyhyt valmistelu-aika ennen urakka-ajan alkamista käytettiin kohteeseen tutustumiseen ja menetelmien pohdintaan.

### **7.1 Urakka-alueiden haltuunotto ja rakenteiden suojaus**

Työt aloitettiin urakka-alueen haltuunotolla P-Forum parkkiluolassa. Työalueita rajattiin ensin lippusiimoin, jonka jälkeen työalueet aidattiin teräsverkkoaidoilla sekä vanerisilla suojaseinillä. Työmaa-alueiden haltuunoton jälkeen aloitettiin toimenpiteet parkkihallin rakenteiden suojaamiseksi. Ensin rakennettiin louhinta-alueelle 17 mm ponttilaudasta lattia, joka päällystettiin 18 mm havuvanerilla. Tämän puulattian oli tarkoitus suojata parkkihallin imubetonilattiaa louhintatöiden rasituksilta, kuten työkoneilta ja räjäytyksissä tapahtuvilta kiven sinkoamisilta.

Seuraavaksi P-Forumissa LVIS-tekniikka purettiin louhinta-alueelta ja suoritettiin louhinnan ennakkopultitukset, joiden tarkoituksena on vähentää louhittavan tunnelin kulmien ryöstämistä, sekä lujitettiin vanhoja kalliotiloja uusien louhinto-

jen vaikutuksilta kallion stabiliteettiin. Ryöstäminen louhintaterminä tarkoittaa tarkoituksetonta ylilouhintaa, joka ylittää sallitut louhinnan tarkkuusvaatimukset. Tyhjän tilan louhiminen kallion sisällä aiheuttaa aina ympäröivään kallioon uusia jännityksiä ja muodonmuutoksia, jotka rakennetussa ympäristössä voivat olla vahingollisia.

Louhintatyömaan ennakkolujitusten aikana louhinta-alueelle rakennettiin suoja-seinä liittolevyrakenteisena ruiskubetoniseinänä (Liite 1). Seinä on kattoon ankuroitu, noin 10 senttiä paksu raudoitettu betonirakenne, jonka tarkoituksena on estää louhintaräjähdyksien paineaaltojen ja kivien sinkoilut työalueen ympäristöön. Tämän suojan sisällä voitiin tehdä louhintaräjähdykset turvallisesti ja ympäristöä vaarantamatta. Suojan sisällä ollut tuuletuspuhallin puhalsi räjäytysten savukaasut siirtoputkea pitkin ulos maanpinnalle.

## **7.2 Kuilun yläpään louhinta ja betonirakenteet**

Kuilun yläpää sijaitsee Annankatu 34 kiinteistön sisäpihalla, josta purettiin kaksi kerrosta paikoitustilaa. Purkutöiden jälkeen talon anturoita tuettiin lisää poraamalla niiden alle viistoon 3 metrisiä kalliopultteja yhteensä noin 150 kappaletta. Poraustyöhön käytettiin Sandvik Commando 120 -poravaunua, joka ajettiin kiinteistön sisälle parkkihallin ajoluiskaa pitkin.

Louhittavan kuilun kohta lujitettiin ennakkopulteilla ja kuilun vesitiiveyttä parantava esi-injektointi suoritettiin hienorakeisella mikrosementillä. Injektoinnin tarkoituksena on täyttää louhittavan kallion rakotilat sementillä ja näin estää pohjaveden liikkuminen kalliorakoja pitkin louhittuun tilaan. Näiden vaiheiden jälkeen louhittiin kuilun yläpään betonikaulusta varten tarvittava syvennys. Syvennyksen pohjalle porattiin kuilun ulkoreunaa pitkin hieman ulospäin kallistettu, noin kolme metriä syvä rakolinja, jonka reiät sijaitsivat 10 cm välein.

Rakolinjaa ei tarkoituksella panostettu, vaan se oli helpottamassa kallion lohkeamista halutulla linjalla louhintavaiheessa. Rakolinjan reiät peitettiin peltilevyillä, jotta ne eivät täytyisi betonilla kuilun kaulusta valettaessa (Kuva 7).

Kuilun kaulusrakenteen pohjalle porattiin metrin välein kuilun betonikauluksen tartunnat, joihin juotettiin 4 metriä pitkät sinkityt harjateräspultit, joilla betonira-



kenne ankkuroitiin varmasti ehjään kallioperään. Kuilun betonikauluksella yritetään välttää kuilun yläpään kallion yllilouhintaa kuilun räjäytyksen yhteydessä.

Betonikaulukseen tehtiin myös tartunnat betonikuilun jatkoa varten. Kauluksen valmistuttua työmaalle saapui toinen urakoitsija jatkamaan betonirakenteita ja näin kuilun yläpää luovutettiin heidän käyttöönsä.



Kuva 7. Kuilun yläpään betonirakenteen tartunnat ja rakolinjan peitelevyt (Timo Kinnunen)

### 7.3 Kuilun ja työtunnelin louhinta

Normaalisti kuilu porataan ja panostetaan alapuolelta siten, että kuilusta jätettäisiin panostamatta noin 2 metrin kalliokansi, ja sen päälle olisi asetettu painopeitteet (esim. rengasmatot) estämään kivien sinkoilua ympäristöön. Kansi räjäytettäisiin yläpuolelta alas viimeiseksi paksun painopeitekerroksen peittämänä. Kyseisessä kohteessa ei näin voitu toimia, koska yläpuolelle jatkuvan betonirakenteen urakoitsijan oli päästävä oman aikataulunsa mukaisesti jatkamaan kuilun paikallavalu töitä ylöspäin.

Painomattojen liikuttelu toisen urakoitsijan työmaalla oli siis mahdotonta. Ainoa toimintatavaksi jäi tehdä kuilu kokonaan alhaalta päin. Kuilun betonikaulukseen valettiin noin metrin korkeuteen kalliopinnasta 15 cm paksu betonilaatta,



jonka tarkoituksena oli estää räjäytyksissä kivien sinkoilu ylöspäin kuilusta. Liitteessä 2 on kuvattuna rakenteen leikkauskuva.

Annankadun maanpäällisten töiden aikana P-Forumissa louhittiin kuilun alapuolelle työtunneli ja yhteystunnelia kohti Kampin kauppakeskuksen kävelytunnelia. Liitteissä 3, 4 ja 5 on työmaan Sito Oy:n laatimat louhintakuvat, joiden mukaisesti louhinnat toteutettiin. Kävelytunneliin puhkeavasta uudesta yhdystunnelista jätettiin tässä vaiheessa louhimatta noin 1,5 metriä, koska kalliotulppa voitiin poistaa vasta kaikkien louhintojen valmistuttua. Kalliotulppa suojasi käytössä olevaa Kampin kävelytunnelia ja sitä käyttävää parkkihallin asiakaskuntaa. Kalliotulppa esti räjäytyksistä syntyvän paineaallon, pölyn sekä räjähdyskaasujen kulkeutumisen kävelytunneliin ja vähensi poraustöistä kantautuvaa ääntä mahdollistaen louhintojen suorittamisen parkkihallin toiminta-aikana. Kävelytunneli on ainoa suora yhteys P-Forumista Kampin keskukseen, eikä yleisön kulkua voinut rajoittaa louhintatyömaasta huolimatta.

Tunneli porattiin Bobcat E16 -kaivinkoneeseen kiinnitetyllä paineilmalla toimivalla porauslaitteella (Kuva 8). Porauslaitteen pieni koko rajoitti kerralla louhittavan katkon pituudeksi noin 1,8 metriä, joka oli kohteeseen myös louhintateknisesti sopiva etenemä. Katko tarkoittaa louhintatöissä suunnitellun kaavion mukaisesti porattuja reikiä, jotka räjäytyksessä sytytetään tarkasti määritellyssä järjestyksessä.

Työtunnelin teoreettinen pinta-ala oli  $16 \text{ m}^2$ , ja tällä hieman alle kahden metrin etenemällä lastattavaa louhetta syntyi yhdessä työvuorossa noin  $30 \text{ m}^3$ . Yövuoron tehtävänä oli siirtää louhe pois työmaalta ennen aamuvuoron louhintatöiden aloittamista. Tunnelin etenemää seurattiin mittaamalla sitä töiden aikana takymetrimittausten avulla. Takymetri on yleisesti maanmittauksessa kulmien ja etäisyyksien mittaukseen käytetty laite, jonka tietotekniikan avulla saadaan suoritettua monipuolisia mittauksia. Louhittava tunneli mallinnetaan mittalaitteeseen, ja työnjohdon suorittamien mittausten avulla voidaan verrata toteutuneen louhinnan tarkkuutta suunniteltuun.

Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n suorittamien louhintatöiden valmistuttua tehtiin uudessa kalliotilassa vielä laserkeilaukset. Laserkeilauksessa mittalaitteen lähet-

tämien lasersäteiden heijastumisen perusteella muodostetaan tilasta kolmiulotteinen malli, jota verrataan rakennuspiirustusten mittoihin. Näin varmistetaan louhintaurakoitsijan toteuttaneen tilaajan haluamat louhinnat oikealla tavalla.



Kuva 8. Porauspuomilla varustettu kaivinkone (Reijo Piispanen)

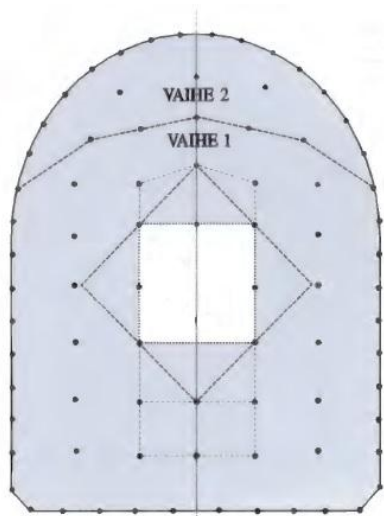
### 7.3.1 Louhinnan työnkierto

Normaalina tunnelin louhintapäivänä työnkierron vaiheet järjestettiin siten, että mittaustyöt tehtiin ennen porauksen aloittamista. Poraustyöt suoritettiin klo 7 – 16. Porauksen jälkeen panostettiin räjähdysaineilla aukaisu ja katkon alaosa sekä suoritettiin ensimmäinen räjäytys noin klo 19 (Kuva 9).

Räjäytyksen ajaksi työmaan vaara-alue tyhjennettiin työkoneista ja ihmisistä. Räjäytyksen turvallisuutta varmistamassa ja parkkihallin liikennettä oli ohjaamassa kuusi vartiomiestä. P-Forumissa sallima liikenteen pysäyttämisen aika oli 3 minuuttia, jonka jälkeen liikenne parkkihallissa piti olla taas käynnissä normaalisti.

Räjäytyksen jälkeen käynnistettiin suojaseinän sisältä tuuletuspuhaltimet, joiden avulla työtilasta saatiin poistettua räjäytyksessä muodostuneet savukaasut. Tuuletuksen jälkeen panostettiin katkon yläosa edellisen räjäytyksen kivikasan päältä ja se räjäytettiin klo 21. Illan jälkimmäisen räjäytyksen jälkeen työalue

tuuletettiin ja uuden tunneliosuuden kalliopinnat puhdistettiin irtonaisista kivistä eli rusnattiin käsin.



Kuva 9. Louhinnan periaatekuva (Rakennusvaiheen louhinta-, lujitus- ja tiivistystyöt, Posiva Oy, Tolppanen ja Kokko. 2000,14)

Louheen lastausryhmä aloitti työt klo 22 jälkeen. Louhe kannettiin työmaalta Bobcat 300 -pyöräkoneen kauhalla 150 metrin päähän parkkihallin ajoluiskassa odottaville vaihtolavoille, joita kuorma-auto kävi tyhjentämässä 20 kilometrin päähän Tuupakan kivenläjitysalueelle. Louheen siirto työmaalta suoritettiin yöllä (Kuva 10), jolloin parkkihallin liikenne oli hiljaisiin. Louhinnan työnkierto suunniteltiin siten, että parkkihallin liikennettä häiritsevät työvaiheet suoritettiin parkkihallin ruuhka-aikojen ulkopuolella.



Kuva 10. Louheen lastausta (Reijo Piispanen)

### 7.3.2 Hissikuilun syvennyksen ja hissikuilun louhinta

Tunnelilouhintojen edettyä noin 1,5 metrin päähän Kampin kävelytunnelista vaihdettiin kevyt paineilmaporauskalusto raskaampaan hydrauliseen poralaitteeseen eli työmaalle tuotiin kalliorakennuksen Simba H1257. Simba on Atlas Copcon valmistama pitkäreikäporaukseen tarkoitettu poralaite (Kuva 11). Parkkihallin lattian maksimijoneuvopainoksi oli mitoitettu 4,5 tonnia ja Simba painaa noin 10 tonnia.

Parkkihallin alatasen pohjalaatta on perustettu maanvaraisesti, ja se olisi kestänyt louhintakaluston painon helposti. Uusi hissiyhteys oli kuitenkin toteutettava ylemmälle parkkitasolle, joten Simban siirtämiseksi työalueelle oli parkkihallin lattiatasoa tuettava alhaalta päin 1,5 metrin välein 125x125 mm puisilla tolvilla. Ilman tuentoja olisi riskinä lattiatason vaurioituminen, joten tolppatuenta oli suoritettava aina raskasta kalustoa siirreltäessä. Tämä ratkaisu mahdollisti Simban käytön kohteessa.



Kuva 11. Simba H1257, Atlas Copco (Timo Kinnunen)

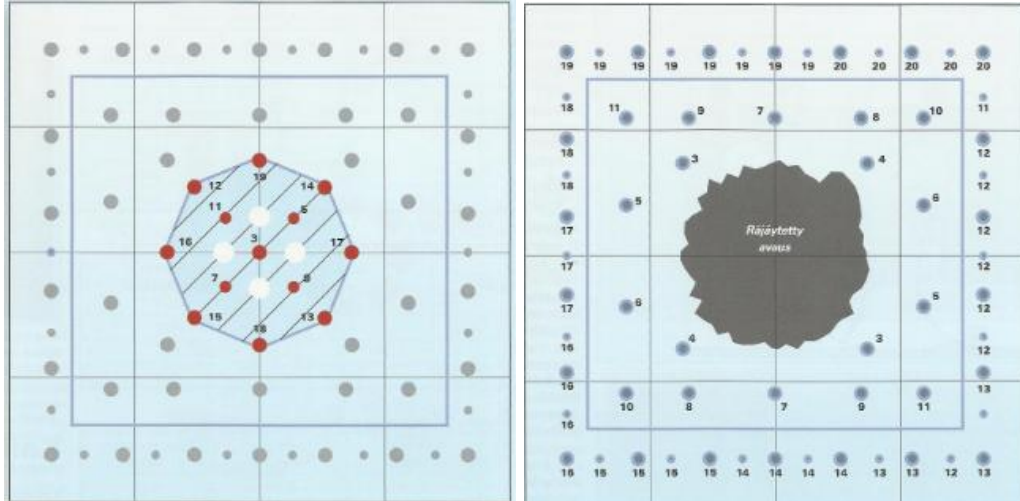
Ensimmäiseksi Simballa porattiin hissikuilun syvennyksen pohjan louhintareivät. Kuilun pohjalle louhittiin kolme metriä syvä kalliokaivanto kuilun pohjalaattaa ja hissien teknistä tilaa varten.

Ennen pystykuilun poraamista suoritettiin kallion ennakkolujituspulttaukset ja kuilun kohdan esi-injektointi myös alhaalta päin. Kullekin kuilun neljästä seinästä porattiin kaksi injektointireikää, ja kuilun keskelle porattiin muutamia tunnustelureikiä, joiden avulla kartoitettiin louhittavan kuilun tarkka pituus ja myös todettiin, että kuilu osuu tarkasti oikeaan paikkaan. Tunnustelureikiä käytettiin myös injektointiletkun reittinä alas injektointityömaalle. Painavan injektointivauunun tuominen alas parkkihalliin olisi ollut jälleen yöllä tehtävää työtä, jota yritettiin välttää mahdollisimman paljon.

Kuilun louhintareikien poraus kesti viikon ja kerralla porattiin koko kuilun louhintaan tarvittavat reiät (Kuva 12). Kuilun louhinta tehtiin päätylouhintana yhdensuuntaisavausta käyttäen. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki kuilun reiät porattiin kuilun mittaisiksi ja suuntaisiksi. Osa aukaisun reistä avarrettiin isommiksi, ja aukaisun räjähdys suunnattiin niitä kohti. Avauksen räjäytyksen jälkeen panostettiin kuilun seuraavat reiät ja ne nallitettiin siten, että räjähdys suuntautui kohti avauksessa syntyneitä tyhjää tilaa kohden. Koska kuilu jouduttiin panostamaan kokonaan alapuolelta saksilavanostimen päältä, louhintatyön turvallisuuden



kannalta valikoitui avauksen paikaksi kuilun tekniikka syvennyksen puoleinen nurkka. Näin panostusryhmä ei joutunut toimimaan suoraan ammutun kuilun alla, jolloin riskinä olisi kuilusta mahdollisesti panostustyön aikana irtoavat ja työntekijöiden päälle tulevat kivenlohkareet.



Kuva 12. Kuilun panostussuunnitelman periaate (Räjätystyöt, Vuolio ja Halonen 2010, 241)

Kuilun louhinnan valmistuttua kuilun seinien irtokivet poistettiin käsin rusnaten ja vesihuuhtelun avulla saksilavanostimen päältä. Seuraavaksi kuilun kantena toimineen teräsbetoni-laatan alta purettiin muottirakenteet ja kuilun yläpäähän tuotiin kaivinkone purkamaan betonilaattaa. Laatta pudotettiin alas pienellä kaivinkoneeseen kiinnitettyä hydraulisella iskuvasaralla. Tämän jälkeen kuilu luji-tettiin poraamalla polvisyöttökoneella käsin pultin reiät ja näihin reikiin juotettiin sinkityt harjateräksiset kalliopultit (Kuva 13).



Kuva 13. Polvisyöttökone, porari ja apumies (Timo Kinnunen)

### 7.3.3 Kalliotulpan sahaus

Väestönsuojan betoniseinien tartuntapultteja varten porattiin Simballa tunnelin seiniin reiät ja tämän jälkeen porattiin kävelytunnelin kalliotulppaan reiät tulpan irtisahausta varten.

Kalliotulppa toimi siis louhintatöiden aikana suojarakenteena estäen räjähdyspaineen, pölyn ja kivien pääsyn Kampin kävelytunneliin. Louhintojen päätyttyä kalliotulppa piti poistaa räjäyttämättömillä menetelmillä, ja tässä tapauksessa päätettiin kokeilla kallion sahaamista timanttivaijerisahalla.

Poistettavaan kalliotulppaan porattiin ensin noin 0,8 metrin ruutuun reiät siten, että reunareivät olivat tarkasti tunnelin reunalinjalla ja oikean suuntaiset. Kahden reiän väliin asennettiin vaijerisahan vetopyörät. Reiästä toiseen pujotettiin sahausvaijeri, jonka päiden liittämisen jälkeen vetopyörästä kiristi vaijerilenkin vasten kalliota. Sahausuraan järjestettiin pieni vesihuuhtelu jäähdyttämään vaijeria ja poistamaan sahauksessa syntyvä kivisoija (Kuva 14).



Kuva 14. Vaijerisahaus (cuttingedgeservices.com)

Vaijerisaha leikkasi irrotettavan kivikappaleen irti sivu kerrallaan. Sahattu kappale vedettiin aukosta tunnelin työalueelle ja rikottiin kaivinkoneen hydraulivasaralla helpommin lastattavaan kokoon. Sahaustyöhön meni aikaa noin kaksi viikkoa, koska kalliolaadussa oli yllättäviä ongelmia. Kalliossa oli paljon kvartsikiteitä, jotka kuluttivat nopeasti sahausvaijeria ja hidastivat sahauksen edistymistä. Kovat kvartsikiteet olivat havaittavissa jo louhintavaiheen aikana, mutta ne eivät vaikuttaneet haittaavasti normaaliin kallion poraukseen. Vaijerisahauksen havaittiin olevan herkempi kivilaadun vaihteluille.

Sahaamalla tehdyn suorakaiteen muotoisen aukon katto muotoiltiin haluttuun kaarevaan muotoon toisella räjäyttämättömällä irrotusmenetelmällä. Kattokaari pudotettiin alas käyttäen porareiässä voimakkaasti laajenevaa murtolaastia. Murtolaastin toiminta perustuu laastijauheen ja veden väliseen kemialliseen reaktioon, joka aiheuttaa voimakkaan paisuntailmiön ja paineen porareikään. Tunnelin kattoon porattiin tarkasti tunneliinjän suuntaisia reikiä ja ne täytettiin murtolaastilla laastiruuvien avulla. Lähekkäisissä rei'issä paisuvan laastin paine rikkoi kallion haluttua linjaa pitkin.

Työ kävi nopeasti: kattokaaren reiät porattiin aamupäivällä, ne täytettiin murtolaastilla lounastauon jälkeen ja työmaa jätettiin odottamaan seuraavaa päivää. Murtolaastin kemiallinen reaktio tapahtui odotetulla tavalla ja katto oli pudonnut kaaren porauslinjaa pitkin halutulla tavalla.



Kalliotulpan kohdalle rakennettiin väestönsuojarakenteisiin liittyvä teräsbetoninen kaasuseinä ja sitä varten kallioon tehtiin seinän ylä- ja alapuolelle noin 30 cm syvät paineurat. Urat tehtiin kiilaamalla ne hydraulisella kiilauslaitteella. Urat mitattiin takymetrin avulla tarkasti paikoilleen ja niiden reunoihin porattiin Simballa kiilausreikiä. Hydraulikiilalla murrettiin ura oikeaan muotoon ja uran viimeistely tehtiin kaivinkoneen hydraulivasaralla.

## **8 Suojarakenteet**

Kampin huipun työmaalla ympäristön suojaamiseen käytettiin kolmea erilaista rakennetta: ruiskubetoninen liittolevyseinä, kalliotulppa ja teräsbetoninen suojakansi. Parkkihallin rakenteita suojattiin lisätuennoilla sekä rakentamalla suojalattiat.

Rakennustyömaa sijaitsi keskellä P-Forummin parkkihallia ja sen Kampin keskukseen vievän yhteystunnelin varrella. Siksi työmaa-alueen suojauksia suunniteltaessa täytyi ohikulkevien ihmisten turvallisuuteen kiinnittää erityistä huomiota.

Työmaa-alueen viereinen varastoalue rajattiin yleisön käytöstä verkkoelementtiäidalla ja se peitettiin pressuilla näkösuojan saavuttamiseksi.

Parkkihallin työmaa-alue täytyi osastoida rakennustöiden ajaksi siten, ettei yleisöllä tai parkkihalliin pysäköidyillä autoilla olisi työmaan vuoksi minkäänlaista vahingoittumisen riskiä. Työmaan ympäristöä oli myös suojeltava louhintatyön aiheuttamalta porausmelulta ja räjäytysten paineaalloilta. Louhintatöistä syntyvää pölyä ei myöskään voinut päästää kulkeutumaan sisätiloissa ympäristöön. Työmaa-alueella syntyvät savukaasut johdettiin pois parkkihallin savunpoistokuilun kautta. Tätä varten rakennettiin noin 150 metriä tuuletuslinjaa työmaalta kuilun yläpäähän ja suojaseinän sisälle asennettiin tuuletuspuhallin.

### **8.1 Ruiskubetoninen liittolevyseinä**

Työmaan osastointiin käytettiin Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n louhintatöissä hyväksi havaitsemaa ruiskubetonista liittolevyseinää (Liite 1). Ruiskubetonipaksuuden ollessa noin 10 cm suojaseinä painoi noin 250 kg/m<sup>2</sup>. Saumaton ja massiivinen seinärakenne vaimentaa tehokkaasti melua. Seinä tehdään ruisku-

betonoimalla, koska normaali betoniseinän valaminen vaatisi kaksipuolisen muotin ja seinän yläosan saaminen aivan tiiviiksi olisi hyvin haastavaa.

Liittolevyseinän rakentaminen aloitetaan poraamalla seinälinjan keskelle puolen metrin välein reiät 1,5 metriä pitkille harjaterästartunnoille. Tartuntaterästen kiinnijuottamisen jälkeen seinän ulkopintaan rakennetaan puurunko, johon teräksiset liittolevyt naulataan kiinni. Raudoitteena toimii liittolevyn lisäksi T6 A500HW teräsverkko, joka limitetään vähintään kahden silmävälin verran päällekkäin. Teräsverkko erotetaan liittolevystä 40 mm rauditusvälikkein, jolloin raudoite saatiin ruiskubetonirakenteen keskelle. Liittolevyseinän nurkat vahvistetaan L1500x1500 mm kulmaraudoitein. Kulmaraudat sitovat suojarakenteen kaksi seinämää kiinni toisiinsa ja tekevät siten rakenteesta tukevamman. Raudoituksen valmistuttua suoja seinä ruiskubetonointiin kuivaseosmenetelmällä.

Kuivaseosmenetelmässä sementin ja runkoaineiden seos syötetään paineilmalta ruiskutussuuttimeen, jossa siihen lisätään vesi. Betonimassa puhalletaan letkuissa hyvin kuivana, ja siirtoetäisyys tässä kohteessa oli 120 metriä. Betonin tartunnan varmistamiseksi suuttimen suukappaleessa lisätään tarvittava vesimäärä. Ruiskuttaja säätää vesimäärää silmämääräisesti työskentelyn aikana (Kuva 15).



Kuva 15. Suojaseinän kuivaruiskubetonointi (Timo Kinnunen)

Kuivaseosmenetelmässä betoni iskeytyy ruiskutus-alustaa vasten suurella nopeudella (80 – 170 m/s), jolloin isommat rakeet kimpoavat pois ja pintaan jäänyt sementtitaasti muodostaa hyvän tartuntakerroksen alustan ja kiviainesrakeiden välille. Betonirakenteesta tulee kauttaaltaan tiivis, koska rakeet iskeytyvät suurella nopeudella aiemmin ruiskutettuun pintaan. Lisäksi vedentarve sementtimäärään nähden on alhainen. (Silko.)

Kuivaruiskumenetelmän yhtenä haittapuolena varsinkin sisätiloissa toimittaessa on voimakas ruiskutus-pöly, joka syntyy ruiskutuksen aikana. Lisäksi ruiskutus-alustasta irti kimmonnut hukkaroiske piiskaa ikävästi ruiskuttajaa ahtaissa tiloissa työskennellessä. Työnjohtajan on huolehdittava, että työntekijät käyttävät riittäviä suojavälineitä kaikissa työvaiheissa.

Suojaseinän kuivaruiskubetonointi suoritettiin kahdessa eri vaiheessa. Ruiskubetonointi aloitetaan seinän alareunasta täyttäen ensin huolellisesti liittolevyn ja teräsverkon välinen tilan. Ensimmäisen ruiskubetonikerroksen annetaan kovetua vuorokauden ennen seuraavan kerroksen ruiskutusta. Vaikka rakenne oli väliaikainen suoja, huolehdittiin riittävästä jälkihoidosta kastelemalla betonia viikko ruiskutusten jälkeen. Jälkihoito vähentää pintarakenteen liian nopeasta kuivumisesta johtuvaa halkeilua. Ruiskubetonin jälkihoito on erityisen tärkeää sen sisältämän suuren sementtimäärän takia. Sementin sitoutumisesta johtuva lämmöntuotto on runsasta ja johtaa helposti pinnan liian nopeaan kuivumiseen.

Seinän puurunko jätettiin paikoilleen työmaan ajaksi helpottamaan työmaan lopussa suoritettavaa purkuvaihetta. Urakan rakennustöiden valmistuttua parkkihallin rakenteet ennallistettiin. Liittolevyseinä purettiin pienellä kaivinkoneella ja kaivinpuomiin kiinnitetyllä hydraulisella iskuvasaralla. Betoni rikottiin varovasti siten, että liittolevyt jäivät kiinni puurunkoon ja estivät samalla betonisirpaleiden lentelyn ympäristöön. Purkupölyä sidottiin kevyellä vesisumutuksella. Levyseinä ja puurunko purettiin yöaikaan parkkihallin ollessa suljettuna yleisöltä.

## **8.2 Kalliotulppa**

Hissikuilun kävelytunnelia louhittaessa louhinta pysäytettiin sen edettyä 1,5 metrin päähän Kampin kävelytunnelin seinästä. Vanhan käytössä olevan kävelytunnelin kunto tarkastettiin aina tunneliräjätysten jälkeen silmämääräisesti

ennen kuin kävelyliikenne päästettiin jälleen kulkemaan. Kalliotulppa suojasi kävelytunnelia kuilulouhinnan ajan räjäytystyön paineiskuilta, räjähdyskaasuilta ja kivipölyltä. Kalliotulppa myös vaimensi hyvin tehokkaasti kävelytunneliin kantautuvan melun määrää.

Kampin kauppakeskukseen menevästä vanhasta kävelytunnelista ei löytynyt lujituspultteja uuden kävely-yhteyden kohdalta. Neljä metriä leveään ja kolme metriä korkeaan uuteen yhdystunnelin kohtaan olisi pitänyt osua edes muutama vanha pultti. Vanhan kalliotunnelin heikosti tuetun rakenteen kannalta oli hyvä ratkaisu, että viimeiset metrit uutta tunnelia edettiin räjäyttämättömillä menetelmillä. Lisäksi kävelytunnelin seinä pultattiin ennakkoon kahden metrin ruutuun ennen louhintatöiden aloittamista. Nämä toimenpiteet vähensivät vanhan kävelytunnelin hallitsemattomien muodonmuutosten riskiä.

### **8.3 Teräsbetoninen louhinnan suojalaatta**

Kuilun louhinnan mahdollistanut teräsbetoninen suojalaatta (Liite 2) oli tämän työmaan erikoisuus. Hissikuilun yläpään betonikaulukseen noin metrin kallio-pinnan yläpuolelle valettu 15 cm paksu suojakansi oli uusi innovaatio, jonka toimivuudesta ei voinut olla täysin varma.

Tilaaajan asettaman aikataulun mukaan hissikuilu tuli louhia kallioon samaan aikaan kuin kuilua tehtiin teräsbetonisena ylöspäin. Toisen urakoitsijan betoni-rakennustyömaa ja kuilun louhinta oli siis eristettävä turvallisesti toisistaan. Valmista suojausmenetelmää ei ollut, joten suojarakenne ja sen toteutusmenetelmä oli kehitettävä erikseen tähän kohteeseen. Kampin huipun louhintaurakassa työskennelleiden rakennusammattimiesten kehittämän ajatuksen pohjalta laadittiin suojalaatan suunnitelmat, ja rakenne toteutettiin tässä kohteessa ensimmäistä kertaa.

Jotta louhinta tämän suojarakenteen alla olisi mahdollista, täytyisi kuilun louhinnan muiden työvaiheiden onnistua täysin suunnitellulla tavalla. Louhinnan etenemistä sekä onnistumista ei voinut tässä tapauksessa tarkistaa ylhäältä päin.

Kuilun porauksen tarkkuus varmistettiin tunnustelureikien avulla. Niiden perusteella saatiin tietoa siitä, kuinka poraus osui kohdalleen kuilun kummassakin

päässä. Porattaessa reiät saattavat taipua kallion sisällä eikä reikä tällöin osu haluttuun kohtaan. Poraamalla muutamia reikiä kallion läpi selvitettiin, kuinka juuri tässä kohdassa reikien oli tapana kääntyä. Tämän perusteella ohjattiin porausta haluttuun suuntaan.

Tunnustelureiät tulpattiin juotosbetonilla noin metrin syvyydeltä pinnasta, jotta räjäytysten voima ei suuntautuisi avoimen reiän kautta suoraan ylöspäin. Reikien tulppauksen jälkeen kuilun betonikaulukseen rakennettiin kansivalua varten puutavarasta kansi ja kaulukseen porattiin puolen metrin välein harjaterästarunnat sitomaan betonikantta kuilun kaulukseen. Betonikansi raudoitettiin 10 mm teräsverkolla ja kansi valettiin C25/30 betonilla.

Kuilun porauksen jälkeen avauksen suureiät avarrettiin ja ensimmäinen katko panostettiin välitäytteellä osiin jaetulla panoksella. Räjähättömällä välitäytteellä jaettu reikäpanos on tapa rajoittaa kerralla räjähtävän räjähdysaineen määrää ja louhinnasta syntyvää tärinää. Jokaisessa räjähdysainekerroksessa on oman viiveajan omaava räjäytysnalli, jonka avulla reiän räjähteet sytytetään halutussa järjestyksessä.

Jakamalla reikäpanos kolmeen osaan saatiin kerralla räjähtävän räjähdysaineen eli momentaanisen räjähdysaineen määräksi alle 1,3 kg, mikä oli kohteeseen laskettu maksimimäärä. Määrä riippuu louhintakohteen etäisyydestä tärinälle herkkiin kohteisiin. Nallitus tapahtui siten, että ensimmäisenä räjähti katkon alin kerros, tämän jälkeen keskiosa ja lopuksi aivan pinta.

Yläpuolella urakoivat betonirakentajat poistuivat työmaa-alueelta kuilun räjäytyksen ajaksi. Vaarallisen alueen tyhjentyä oli aina varmistamassa yksi variomies sekä varoitusäänimerkin soittaja. Suljetussa kuilussa tapahtuva louhinta ei olisi välttämättä vaatinut äänimerkin soittamista kuilun yläpuolella, mutta lähiympäristön ihmiset pitivät räjäytystä ennakoivaa äänimerkkien soittamista turvallisuuden tunnetta lisäävänä asiana. Varoitusäänien jälkeen tuntuva räjäytyksen tärinä koettiin paljon pienempänä kuin ilman varoitusta tehtyä räjäytystä.

Kuilun louhinta aloitettiin aukaisun räjäytyksellä. Kuilun seuraava katko panostettiin ja nallitettiin siten, että räjähdys suuntautui kohti ensimmäisessä räjäytyksessä tehtyä aukkoa. Näin kuilun reikää saatiin pikkuhiljaa kasvatettua. Kuilun

aukon kasvaessa havaittiin, että kuilu ei ensimmäisillä räjäytyksillä ollut puhjennut ylös asti. Seuraavaan räjäytykseen valittuja reikiä jatkettiin poraamalla Simballa niitä pidemmiksi. Pidentetyt reiät toimivat halutulla tavalla ja seuraavilla räjäytyksillä kuilun yläpään suojakannen rakenteet tulivat näkyviin.

Jaetun reikäpanoksen ongelmana on räjäytysnallien lukumäärän kasvu ja toimimattoman nallin riski. Jos jokin nalleista ei räjähdä juuri halutulla hetkellä, haittaa räjähtämätön louhintareian osa seuraavan räjähdyskiven irtoamista. Räjäytyksen tapahtuessa epätäydellisesti voivat louhintatärinät kasvaa voimakkaasti. Nykyisin nallivalmistajien laadunvarmistamisen kehityttyä toimimattomista nalleista johtuvat häiriöt ovat hyvin harvinaisia, joten räjähtämättömät panokset johtuvat usein panostustyön aikana tapahtuneista työvirheistä. Näitä estetään käyttämällä oikeita ja huolellisia työmenetelmiä, joissa jokainen työvaihe tarkistetaan ennen seuraavaan siirtymistä.

Kuilun louhinta eteni suunnitelman mukaisesti ja suojakansi kesti louhinnan rasitukset ilman näkyviä vaurioita. Kuilun louhinta ei aiheuttanut yläpuoliselle rakennusurakoitsijalle minkäänlaisia odottamattomia häiriöitä heidän töiden aikatauluun. Kuilun yläpuolinen betonikaulus ja sen päälle rakennetut betonirakenteet säilyivät ehjinä hyvin onnistuneen ja varovaisesti toteutetun kuilulouhinnan ansiosta.

## **9 Pohdinta**

Toimin työkohteessa työnjohtajana ja tehtävänäni oli varmistaa työmaan turvallinen toteuttaminen aikataulussa pysyen ja suunnitelmien mukaisesti. Töiden toteuttamissuunnitelmat toteutettiin yhdessä tilaajan, suunnittelijoiden ja Kalliorakennus-Yhtiöt Oy:n kokeneimpien toimihenkilöiden ja alan parhaimpien louhintatyömiesten kanssa.

Työn tilaajan lisäksi yhteistyötä piti tehdä myös P-Forumin parkkihalliyhtiön operaattorin kanssa, jonka tiloissa Kampin huipun louhintatöitä toteutettiin. Parkkihalliyhtiön piti vakuuttua siitä, että rakennustöistä ei aiheudu asiakaskatoa tai vahinkoja hallin rakenteille. Urakka-ajalle osunut joulumyynnin mahdollinen häiriö huolestutti parkkihallin operaattoria. Saimme kuitenkin luotua hyvät ja luot-

tamukselliset suhteet parkkihallin edustajien kanssa, mikä osaltaan auttoi rakennushankkeen onnistumisessa.

Projektin haastavuutena oli toteuttaa louhinta ja rakennustyöt Helsingin ydinkeskustassa käytössä olevassa vilkkaassa liikekeskuksen ja keskusta-aluetta palvelevassa parkkihallissa. Vastaavia kohteita, joissa puhkaistaan uusia kallio-tiloja jo käytössä olevien sisälle, tulee varmasti tulevaisuudessa yhä lisää. Ydinkeskustaa ei valmisteta lisää, mutta sen sisälle voidaan rakentaa uutta. Haastavien kohteiden rakentaminen edellyttää useiden erilaisten rakennusmenetelmien hallintaa ja myös kykyä kehittää uusia ratkaisuja.

Louhintatyöstä aiheutuvat ympäristöä haittaavat tekijät oli minimoitava ja ympäristölle aiheutuvat onnettomuusriskit ehkäistävä kokonaan. Louhintatyön toteuttaja vastaa aina aiheuttamistaan vahingoista. Riskit kartoitetaan ennen työn aloittamista, ja niiden perusteella valitaan mahdollisimman sopivat työtekniikat ja suojausmenetelmät.

Tilaaajan asettama aikataulu vaikutti hyvin ratkaisevasti työmenetelmien valintaan ja erityisesti kuilulouhintojen työtekniikkaan. Kuilun lyhyys ja pieni poikkipinta-ala mahdollistivat nyt valitut menetelmät, mutta kuilun pituuden kasvaessa työ olisi ollut paljon hankalampi toteuttaa. Pidemmässä rei'issä useampaan osaan jaetun reikäpanoksen käyttäminen olisi haastavampaa ja riskit räjäytyksen epäonnistumiseen kasvaisivat nopeasti. Epäonnistuneen kuilun räjäytyksen korjaus alhaaltapäin on erittäin vaarallista työtä.

Rakennuttajien pyrkimys aikataulujen kiristämiseen ja eri työvaiheiden päällekkäisyyksien lisääminen on ymmärrettävää pyrittäessä koko rakennusprojektin nopeaan ja edulliseen valmistumiseen. Työturvallisuudesta ei kuitenkaan voida tinkiä kustannussäästöjen perusteella. Juuri tässä kohteessa päällekkäiset työt saatiin toteutettua ilman vahinkoja, mutta yksikin louhintatöiden aiheuttama tapaturma olisi johtanut työmenetelmien valinnan uuteen kriittisempään tarkasteluun. Päätelmänä olisi todennäköisesti ollut kokonaishankkeen kustannussäästöjen hakemisen aiheuttaneen liian suurien riskien hyväksymisen.

Tällä työmaalla käytettyjä louhinnan suojarakenteita tullaan varmasti käyttämään myös tulevaisuudessa seuraavilla louhintatyömailla. Rakenteiden perus-

ajatukset säilyvät, mutta yksityiskohtien toteutusta täytyy aina harkita kohteen erityispiirteiden mukaan.

Tässä kohteessa parkkihallin betonilattiaa suojattiin laudoituksen päälle rakennetulla vanerilattialla. Pölyn sidonta vesisumutuksella kasteli puulattiaa ja aiheutti vanerin turpoamisen ja osittain irtoamisen alapinnastaan. Käyttämällä vedenkestäviä, pinnoitettuja vanerilaatuja, olisi tämä ongelma voitu välttää. Toisaalta parkkihallin betonilattia kesti nyt käytetyn suojan alla louhintatöiden rasitukset, joten tällä kertaa edullisemmin toteutettua suojausta voidaan pitää onnistuneena. Mikäli seuraavassa betonilattian suojauskohteessa työn kesto on pitempi ja lattiaan kohdistuva rasitus on suurempi, kannattaa harkita kalliimman suojauksen rakentamista. Suojausten kulutuskestävyyttä voidaan lisätä myös käyttämällä ohutta teräslevyä pinnan suojakerroksena.

Nopeasti rakennettavia liittolevyrakenteista ruiskubetoniseinää käytetään varmasti nyt ja tulevaisuudessa louhintatyömailla eri alueiden suojaamiseen. Niiden rakentamiseen tarvitaan vain muutaman ammattimiehen rakennustyökunta ja rakenteen kestävyyttä voidaan helposti lisätä kasvattamalla ruiskubetonikerrosten määrää. Kuivaruiskubetonointi mahdollistaa suojien toteuttamisen myös ahtaisiin sisätiloihin, jos vain betonoinnin aikaisen pölyämisen ongelmat voidaan ratkaista. Tässä kohteessa ruiskutuspölyn kulkeutuminen työalueen ulkopuolelle estettiin tehokkaan poistopuhalluksen avulla.

Kalliotulpan käyttö louhinnan suojarakenteena on normaali käytäntö useissa tunnelilouhintakohteissa. Tässä kohteessa poikkeavaa oli sen poisto ilman räjäytyksiä. Timanttivaijerisahausta käytetään paljon tarvekilouhinnassa ja teräsbetonirakenteiden purkutöissä, mutta hyvin harvoin louhintatyömailla. Menetelmän kokeilu tällä työmaalla oli riski aikataulun ja kustannusten kannalta, mutta uusien menetelmien kehittäminen on välttämätöntä tulevaisuuden kilpailukyvyn varmistamiseksi. Kokeilu toi lisää käytännön tietoa menetelmän mahdollisuuksista sekä haasteista ja sen käyttöä kannattaa harkita vastaavissa kohteissa.

Työnjohtajana toimiminen kohteessa oli insinööriopiskelijalle todella hyödyllistä ja opettavaista. Todellisen työelämän haasteet ja työmaan arjen kohtaaminen



projektin alusta aivan loppuun asti antoi hyvin realistisen kuvan tulevista työtehtävistä. Uuden kehittäminen ja työsuunnitelmien käytännön toteuttaminen osoitautui todella mielenkiintoiseksi.

## Lähteet

Niskanen T., Posio A. & Hietavirta J. 2011. Räjätys- ja louhintatöiden turvallisuusmääräykset selityksineen 2011-2012. Kustannusosakeyhtiö Moreeni, Vantaa

Vuolio R. & Halonen T. 2010. Räjätystyöt. Suomen Rakennusmedia Oy, Helsinki

Louhinnan riskianalyysi, Kalliotekniikka Consulting Engineers Oy

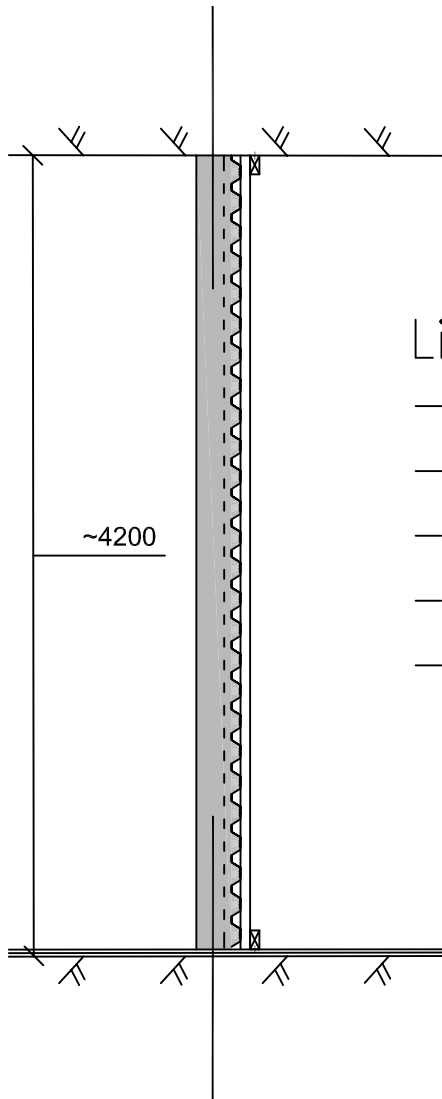
Silko; Betonirakenteet, betonointi ruiskuttamalla, yleiset laatuvaatimukset 2009, Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: [http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1232\\_10.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1232_10.pdf) Hakupäivä 4.5.2013

<http://www.cuttingedgeservices.com/concrete.html> Hakupäivä 4.5.2013

Posiva Oy: Rakennusvaiheen louhinta-, lujitus- ja tiivistystyöt, Posiva Oy, Tolppanen ja Kokko: Saatavissa: [http://www.posiva.fi/files/2490/POSIVA-98-47\\_Tyoraportti\\_web.pdf](http://www.posiva.fi/files/2490/POSIVA-98-47_Tyoraportti_web.pdf) Hakupäivä 18.8.2013

Liitteet 3, 4 ja 5: Urakan toteutussuunnitelmia, Sito Oy

# Liite 1

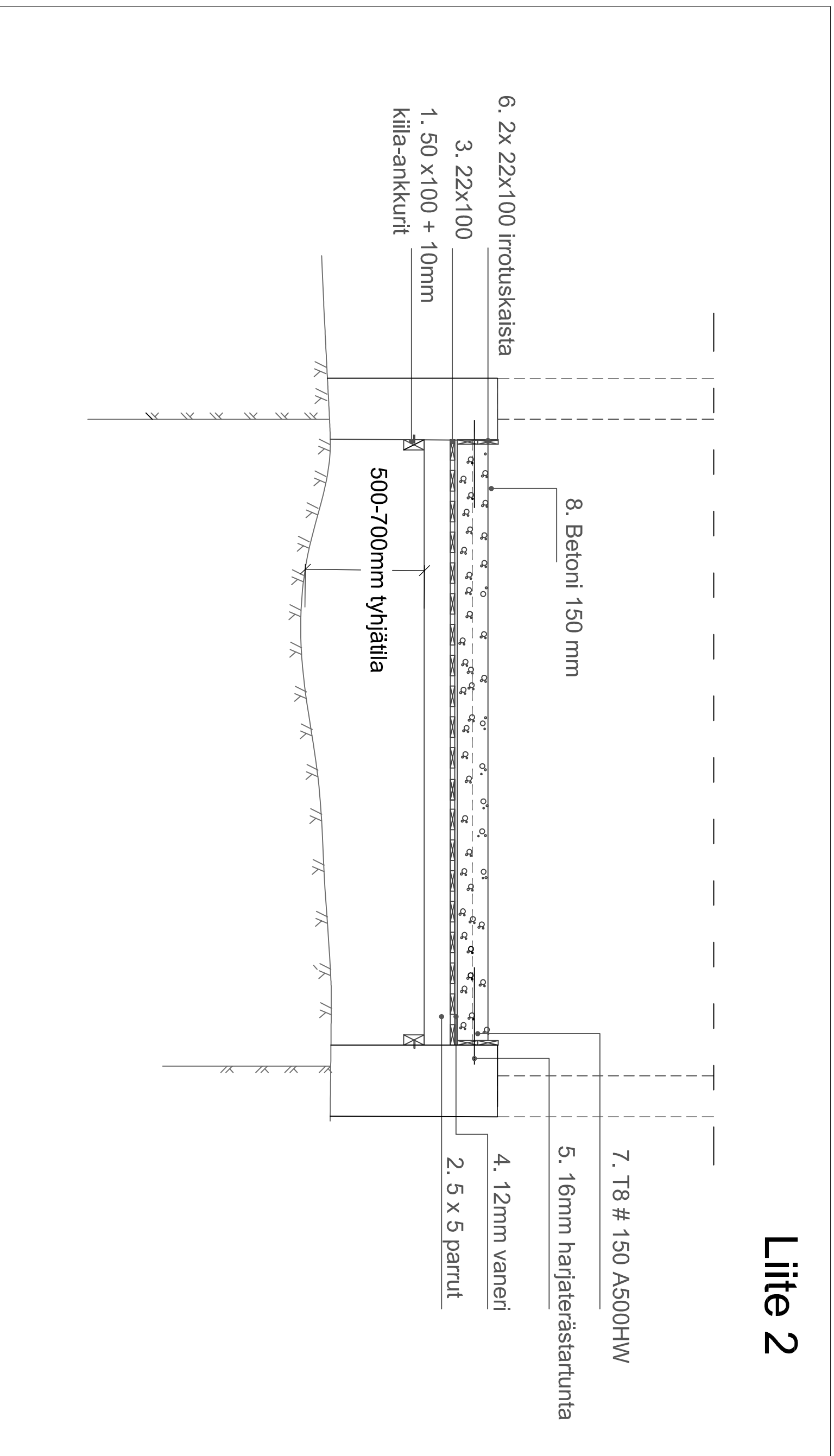


## Liittolevyseinä

- koolaus 50x100 k500
- HC-45 liittolevy 0,9 mm
- A500HW #150 T8 teräsverkko
- rb 100k
- tartunnat pohjaan, kattoon ja seiniin T25 L1500 k500

K.OSA	KORTTELI/TILA	TONTTI/RNo	RAKENNUSLUVAN TUNNUS			
RAKENNUSOIMENPIDE UUDISRAKENNUS			PIIRUSTUSLAJI PÄÄPIIRUSTUS		JUOKS.No 1	
RAKENNUSKOHTEEEN NIMI JA OSOITE Kampin huippu Annankatu 32/ Urho Kekkosenkatu 2 00100 HELSINKI			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ LEIKKAUSPIIRUSTUS		MITTAKAAVAT 1:40	
piirtäjä: RI-opiskelija Timo Kinnunen 0505792654			SUUN.ALA RAK	TYÖ No	PIIR.No 1	
			PÄIVÄYS 25.08.2011	YHT.HENK.	MUUTOS	

# Lite 2



K.O.S.A	KORTTELI/TILA	TONITTI/RN0	RAKENNUSLUVAN TUNNUS	SUUN.ALA	TYÖ No	PIIR.No	MUUTOS
RAKENNUSTOIMENPIDE UUDISRAKENNUS				PIIRUSTUSLAIJI PÄÄPIIRUSTUS			JUOKS.No 1
RAKENNUSKOHTIEN NIMI JA OSOITE Kampin huippu Annankatu 32/ Urho Kekkosenkatu 2 00100 HELSINKI				PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ LEIKKAUSPIIRUSTUS			MITTAKAAVAT 1:20
piirtäjä: RI-opiskelijä Timo Kinnunen 0505792654				SUUN.ALA RAK		2	MUUTOS
				PÄIVÄYS 25.08.2011	YHT.HEKK.		



+14.12

# Leikkaus A-A

# Lite 4

Louhintaurakkaan kuuluu  
lattian purkua

Irtiporaus 2,7 m tasauslouhinnan pohjalta

+10.62

1500

1200

Kauluksen piirustukset,  
kts. rakennesuunnitelmat  
Tasauslouhinta tasolle +8,6 ennen kuilun louhintaa

Kuilun esi-injektointi maanpinnalta:  
reikien pituus 8 m (10 kpl) ja  
17 m (10 kpl), k/k1500,  
max. inj. paine 0,75 MPa,  
massamenekki/reikä max. 20 kg/m

Ennakkopultitus kulmiin:  
2 riviä  
T25 k/k 500 L=4000

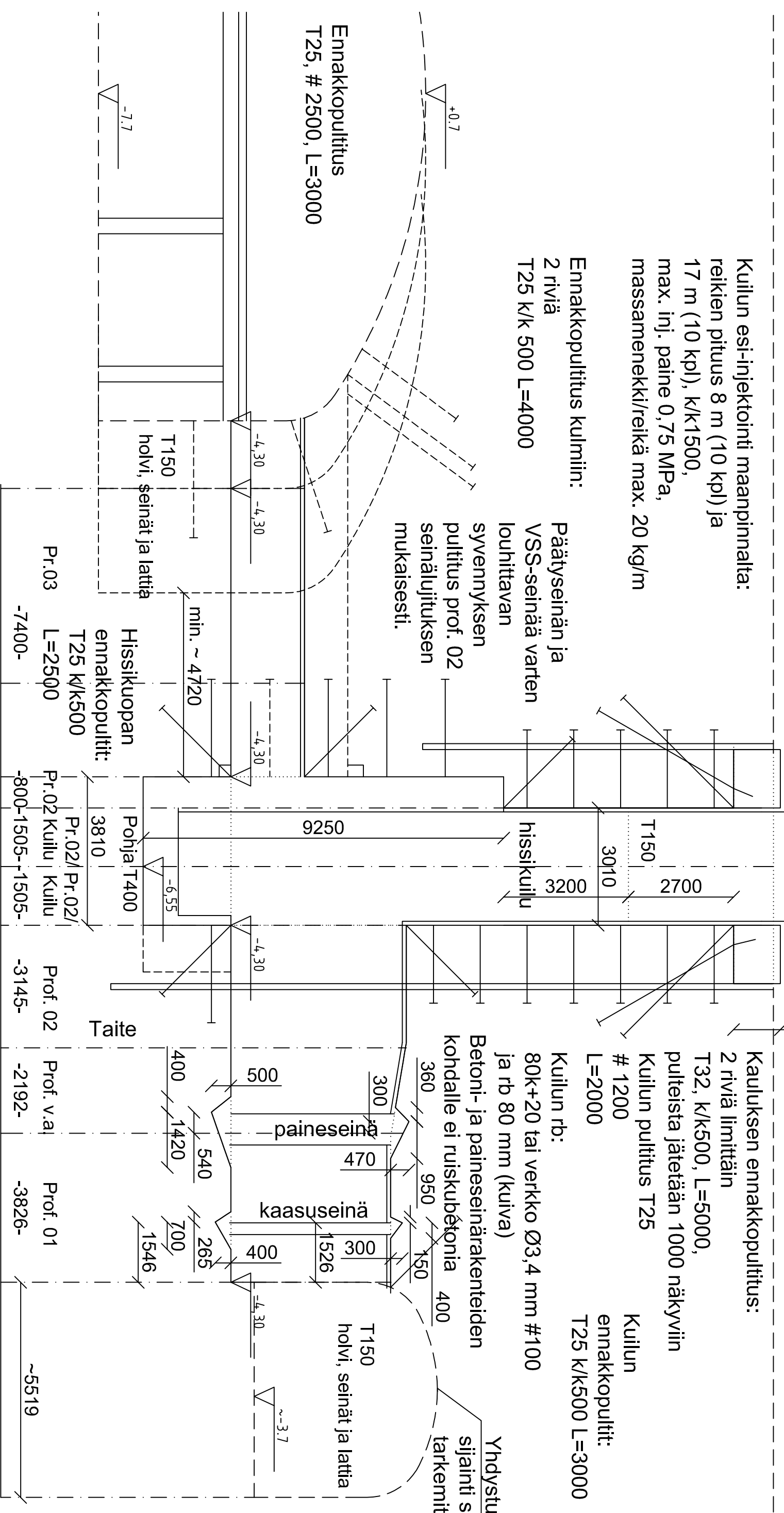
Päätyseinän ja  
VSS-seinää varten  
louhittavan  
syvennyksen  
pultitus prof. 02  
seinälujituksen  
mukaisesti.

Ennakkopultitus  
T25, # 2500, L=3000

Kauluksen ennakkopultitus:  
2 riviä limittäin  
T32, k/k500, L=5000,  
puteista jätetään 1000 näkyviin  
Kuilun pultitus T25  
# 1200  
L=2000  
Kuilun rb:  
80k+20 tai verkko Ø3,4 mm #100  
ja rb 80 mm (kuiva)  
Betoni- ja paineseinärakenteiden  
kohdalle ei ruiskubetonia

Kuilun  
ennakkopultit:  
T25 k/k500 L=3000

Yhdystunneli,  
sijainti selvää  
tarkemmittausluoksis



T150  
holvi, seinät ja lattia

Hissikuopan  
ennakkopultit:  
T25 k/k500  
L=2500

Pr.02/ Pr.02/  
Pr.02 Kuilu Kuilu  
-800-1505-1505-

Prof. 02  
-3145-

Prof. v.ai  
-2192-

Prof. 01  
-3826-

~5519

P09

P07P06  
P08

P05 P04

P03

P02

P01

# Leikkaus B-B

# Lite 5

Louhintaurakkaan kuuluu  
lattian purkua

+14.12  
+10.62

Tasaslouhinta tasolle +8,6 ennen kuilun louhinta  
Irtiporaus 2,7 m tasaslouhinnan pohjalta,

1500  
1200

Kauluksen ennakkopultitus:

2 riviä limittäin

T32, k/k500, L=5000,

pulteista jätetään 1000 näkyviin

Kuilun pultitus T25

# 1200

L=2000

Kuilun rb:

80k+20 tai verkko Ø3,4 mm #100

ja rb 80 mm (kuiva)

Kuilun

ennakkopultit:

T25 k/k500 L=3000

hissi-  
kuilu

T150

4300

2700

3200

Esi-injektointi:  
reikien pituus 8 m (10 kpl)  
ja  
17 m (10 kpl), k/k1500,  
max. inj. paine 0,75 MPa,  
massamenekki/reikä max.  
20 kg/m

Syvennys  
tekniiikka-  
kuilua  
varten,  
ei rb:a

9250

Prof 03

-4,30

-6,55

Pohja T400

6100

VSS-betoniseinä rakenne ja vesitiiviis  
betonikaukalo hissikuilussa,  
kts. rakennesuunnitelmat

Betoni- ja paineseinä rakenteiden  
kohdalle ei ruiskubetonia

Hissikuopan  
pultitus:  
prof. 02  
seinäpultituksen  
mukaisesti

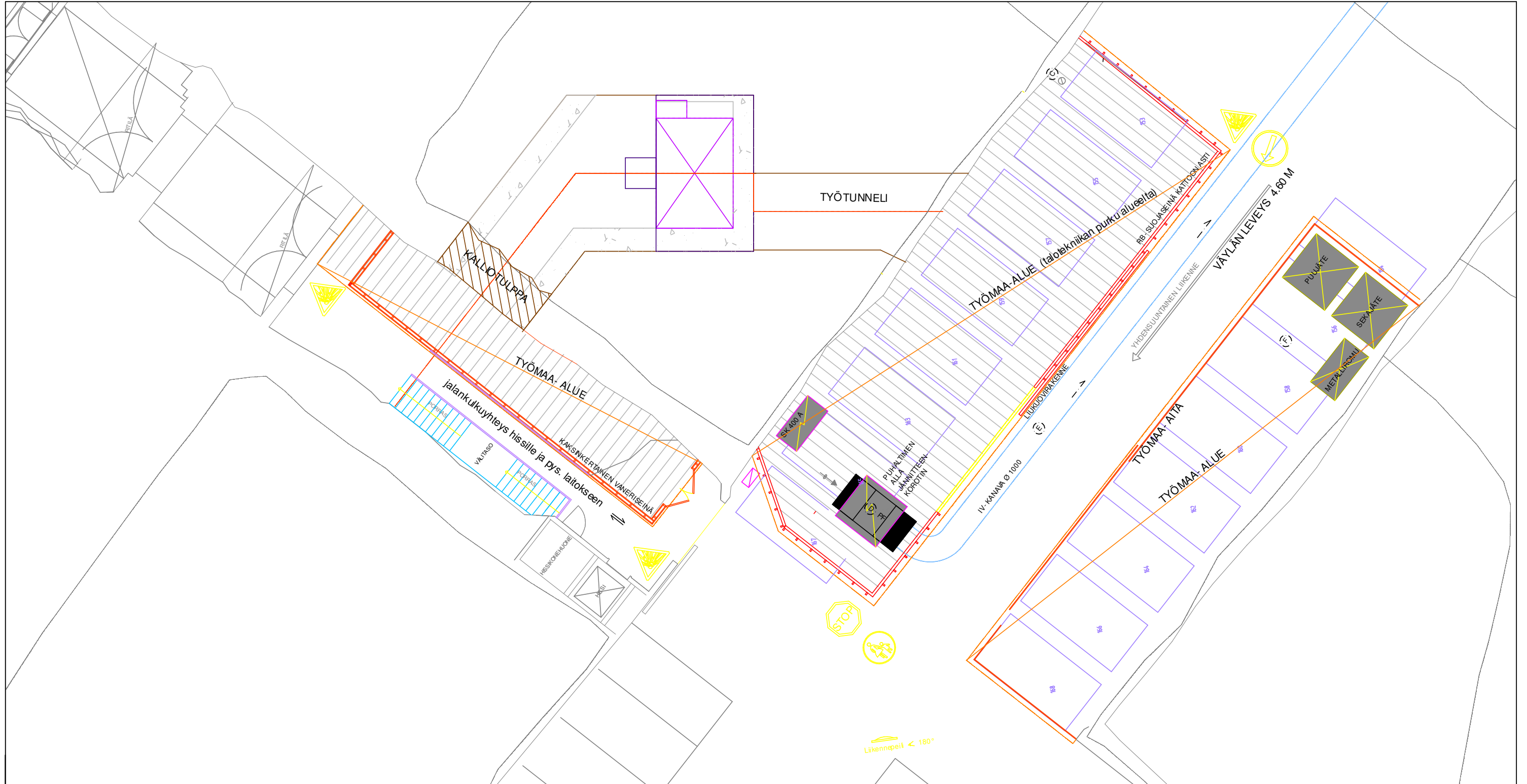
900

-2150-

-2150-

900

P05



Rakennustoimenpide <b>UUDISRAKENNUS</b>	Piirustuslaji <b>TYÖMAAJÄRJESTELYSUUNNITELMA_1</b>	Kaup.osa/Kylä <b>4</b>	Kortteli/Tila <b>162</b>	Tontti/Rno <b>2</b>	Rak.numero	Viranomaisen merkintöjä
Rakennuskohteen nimi ja osoite <b>KAMPIN HUIPPU ANNANKATU 32/ U.KEKKOSEN KATU 2 00100 HELSINKI</b>	Piirustuksen sisältö <b>POHJAPIIRUSTUS, TUNNELI TASO P2 ALUSTAVA TYÖMAA-ALUE SIVU1/2</b>	Mittakaavat <b>1:150</b>	Huomautukset			
	Urakoitsijan yhteystiedot <b>Petikontie 1, 01720 Vantaa Vaihe (09) 849 44 20 Faksi (09) 853 44 00 kim.lindholm@kalliorakennus.com www.kalliorakennus.com</b>	Lattiapiirinnän työaikainen suojaus puulankutuksella ja havuvanerilla  Kuitulouhinnan ajaksi säilytettävä kalliotulppa. Irroitetaan louhintatöiden ilman räjäytyksiä.	<p>A.) Sähkösyöttö johdetaan Forumin pysäköintilaitoksen pääkeskuksesta</p> <p>B.) Vesiliittymä haaroitetaan Forumin pysäköintilaitoksen vesimittarilta</p> <p>C.) Poistovedet johdetaan alatasen erotuslaitaiden kautta viemärijärjestelmään</p> <p>D.) Ilmanvaihto suoritetaan koneellisesti (PF= poistoilmahuollin)</p> <p>E.) IV-kanava (Ø 1000) jatketaan teknisten tilojen kautta maan pintaan</p> <p>F.) Jätteet lajitellaan työmaalla</p>			
	Suunnittelija <b>TIMO KINNUNEN</b>	Päiväys <b>26.07.2011</b>				