

Ilona Turkia

# Huoltotunnelin kalliotilojen saneerauksen erityispiirteet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

26.4.2018

Tekijä Otsikko	Ilona Turkia Huoltotunnelin kalliotilojen saneerauksen erityispiirteet
Sivumäärä Aika	43 sivua 26.4.2018
Tutkinto	Rakennusinsinööri AMK
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	Infratekniikka
Ohjaajat	Lehtori Anu Ilander Diplomi-insinööri Satu Tammilehto-Hänninen
<p>Opinnäytetyö tehtiin YIT Rakennus Oy:lle. Työn tarkoitus oli perehtyä huoltotunneleiden saneeraukseen kalliotilojen osalta. Olemassa oleva kunnallistekniikka rajattiin työn ulkopuolelle.</p> <p>Tämän työn tarkoitus oli perehtyä kooltaan yleensä pienien tunneleiden erityispiirteisiin ja niiden vaikutuksesta työn suorittamiseen.</p> <p>Teoriaosuudessa esiteltiin kalliorakentamisen työvaiheet, joita saneerauskohteissa on. Saneerauksen erityispiirteet tuotiin esille Suomenlinnan huoltotunnelin urakkaa esimerkkinä käyttäen.</p> <p>Tuloksena saatiin työ, jossa esiteltiin saneerauksessa esille tulleet haasteet ja ratkaisut. Näiden haasteiden kautta voidaan tulevissa hankkeissa paremmin suunnitella töiden järjestystä ja vaiheita kustannustehokkaammin.</p>	
Avainsanat	huoltotunneli, kalliorakentaminen, saneeraus

Author Title Number of Pages Date	Ilona Turkia Special Features of Service Tunnel Renovation with a Focus on Bedrock Structures 43 pages 26 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Infraconstruction Engineering
Instructors	Anu Ilander, Senior Lecture Satu Tammilehto-Hänninen, Project Manager, YIT Construction Ltd
<p>This thesis was completed for YIT Construction Ltd. The purpose of this study was to analyse the special features of rehabilitation projects conducted for rock structures within small service tunnels. The scope of the study excludes the existing municipal engineering. The theory section introduces, step by step, the construction process required by rock structures. The special features of renovation are highlighted through the case study of the Suomenlinna Service Tunnel. The results of this study present challenges and solutions that emerged during the renovation project. Through examining and analyzing these challenges, it will be possible to better and more cost-effectively plan future projects and the organization of work.</p>	
Keywords	renovation, rock engineering, service tunnel

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Huoltotunneleiden ominaispiirteet	2
2.1	Tunnelin koko	2
2.2	Toiminnassa oleva kunnallistekniikka	2
2.3	Kaupunkiympäristö	2
3	Kalliorakentaminen pientunnelin saneerauskohteessa	4
3.1	Rusnaus	4
3.2	Poraus	4
3.3	Louhintatekniikat	6
3.3.1	Kiilaus	6
3.3.2	Vaijerisahaus	7
3.3.3	Etanadynamiitti	7
3.3.4	Räjähteet	8
3.4	Lujitus	10
3.4.1	Pultitus	10
3.4.2	Verkotus	12
3.4.3	Ruiskubetonointi	13
3.5	Jälki-injektointi	16
4	Saneerauksen erityispiirteet Suomenlinnan huoltotunnelissa	20
4.1	Tunnelin historia	21
4.2	Tunnelin poikkileikkaus	23
4.3	Varustelut	24
4.3.1	Olemassa oleva tekniikka	25
4.3.2	Työnaikaiset varustelut	26
4.3.3	Poistovesilinja	27
4.4	Tunnelin peruskorjauksen työvaiheet	29
4.4.1	Radon ja tuuletuksen järjestäminen	29
4.4.2	Rusnaus	29
4.4.3	Poraus	29
4.4.4	Louhinta	30
4.4.5	Jälki-injektointi	30

4.4.6	Pultitus	32
4.4.7	Kiilaus	32
4.4.8	Ruiskubetonointi ja ruiskubetonisalojat	32
4.4.9	Pohjatyöt	36
4.4.10	Työnaikaisten varusteluiden purku	38
5	Johtopäätökset	39
6	Jatkotutkimusaiheet	41
	Lähteet	42

## Lyhenteet

Allianssi	Urakkamuoto, jossa tilaaja, urakoitsija ja suunnittelija tekevät tiivistä yhteistyötä, sekä jakavat riskit ja mahdollisuudet.
ATU	Aukean tilan ulottuvuus. Käytetään muun muassa määrittämään ambulanssin vaatima tilavaraus.
Commando	Poravaunu reikien poraamiseen kallioon.
Injektointivihka	Suunnittelijan määrittelemä suunnitelma, josta ilmenee injektointia varten porattavien reikien lukumäärä, pituus ja sijainti.
Jälki-injektointi	Aikaisemmin louhittuun tunneliin porataan reiät ja tehdään esimerkiksi mikrosementti-injektointi. Jälki-injektoinnin tavoitteena on saada vesivuodot haltuun ja siirtää vesi pois työkentelyalueelta.
Kiilaus	Mekaaninen louhinta. Kallioon porataan reikiä, joihin asetetaan kiilaustyökalu. Tämä laajenee mekaanisesti reiässä irrottaen kalliota.
Komu	Irtonainen kiviaines kalliossa.
Kova	Suunniteltua louhintaprofiilia pienemmäksi jäänyt profiili. Kiven irrotus ei ole onnistunut tavoitellusti.
Kuprikka	Tunneleihin louhittuja ”levennyksiä”. Näissä voi olla poistovesipumppaus, väliaikaista varastointia tai tilavaraus mahdolliselle väistötilanteelle kapeassa tunnelissa.
Pelastautumispakkaus	Antaa lisähappea tilanteessa, jossa esimerkiksi kaukolämpöputki menisi rikki ja syrjäyttäisi tunnelissa olevan hapen.
Pulttaus	Porataan suunnittelijan määrittelemiin paikkoihin määritetyn pituiset reiät, joihin juotetaan juotosbetonilla esimerkiksi harjateräspultit.

Purgel-injektointi	Kemiallinen, polyuretaanipohjainen injektointiaine. Sama ta- voite kuin sementti-injektoinnissa. Tehdään erilaisella kalus- tolla.
Ruiskubetonisalaaja	Kalliopinnan ja ruiskubetonin väliin tehtävä salaaja, joka joh- taa vesivuodot maan tasalle tehtäviin salaojiin.
Ruiskubetonointi	Koneellisesti tehtävä kallionlujitus, jossa sananmukaisesti betonimassa ruiskutetaan kalliopintaan.
Ruiskurobo	Työkone, jolla ruiskutetaan betoni kallioon.
Rusnakanki	Esimerkiksi rautakanki, jota käytetään käsin tehtävässä rus- nauksessa.
Rusnaus	Käsin tai koneellisesti tehtävä irtonaisen kiviaineksen tiputta- minen kalliopinnasta. Tehdään turvallisuuden, sekä työn laa- dun takaamiseksi.
Turvaruiskutus	Kalliopinnan lujitus komujen tai huonon kallionlaadun takia. Jos on vaarana, että kiveä irtoaa työskentelyn aikana (esi- merkiksi porauksen), lujitetaan kalliota ruiskubetonoimalla.
Virve	Virkavallan käyttämä radiopuhelinverkko.

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehdään YIT Rakennus Oy:lle tutkimaan pientunneleiden kalliotilojen ja talotekniikan saneerauksen haasteita, sekä kehitettäviä kohtia. Mallina käytetään Suomenlinnan huoltotunnelia. Tutkimusmenetelminä käytetään haastatteluita ja omakohtaisia kokemuksia Suomenlinnan tunnelihankkeesta.

Kohteet poikkeavat uudiskohteen louhinnasta merkittävästi käytettävän kaluston koolla, sekä olemassa olevien varusteluiden ja kunnallistekniikan osalta. Tässä työssä ei perehdytä huoltotunneleissa olemassa olevien kunnallistekniikoiden kunnostukseen, vaan keskitytään itse huoltotunnelin kalliopinnan saneeraustoimenpiteeseen.

Erityisenä huomioitavana kohtana on vesivuodot ja tämän mukana tuleva radon. Radon vaikuttaa tunnelissa työskenneltävään aikaan, sekä velvoittaa tehokkaan tuuletuksen järjestämiseen.

Tarkoituksena on selvittää jatkoa ajatellen, mitä pitää ottaa huomioon tällaisten kohteiden suunnittelu- ja toteutusvaiheissa.



## 2 Huoltotunneleiden ominaispiirteet

### 2.1 Tunnelin koko

Vanhimmat huoltotunnelit ovat valmistuneet kymmeniä vuosia sitten. Tunneleiden koko on pieni, koska tarkoituksena on saada tarvittava kunnallistekniikka paikasta toiseen. Esimerkkinä meren alla kulkeva Suomenlinnan huoltotunneli, joka kuljettaa muun muassa kaukolämmön mantereelta saareen. Kokoon on vaikuttanut myös siihen aikaan käytössä ollut kalusto. [2]

Suomenlinnan huoltotunnelin poikkileikkauksen pinta-ala on 13m<sup>2</sup>. Tämä muodostuu leveydestä, joka noin neljä metriä, josta ajorata noin 2,3 metriä. Korkeutta tunnelilta löytyy noin kolme metriä. [15, s. 64-65]

Esimerkkinä yhteensä koko Helsingissä oli 200 kilometriä tunneleita vuonna 2001. [14]

### 2.2 Toiminnassa oleva kunnallistekniikka

Huoltotunnelin saneerauksessa on otettava huomioon toiminnassa oleva kunnallistekniikka. Näitä on kaukolämpöputket, sähkö- ja tiedonsiirtoverkko, sekä vesi- ja viemäriputket. Näiden vaurioituminen työn aikana loisi suuren työturvallisuusriskin, sekä pitkitäisi urakan valmistumista. Työvaiheesta riippuen, asianmukainen suojaus on pakollinen.

Kunnallistekniikka on sijoitettu maan alle, koska siellä se on poissa tieltä, kestää kauemmin ja kunnossapito on helpompaa. Verrattuna maanpäälliseen sijoittamiseen, on huoltovälikin pidempi. Tunneleissa se on 50 vuotta, maanpäällä 30 vuotta. [2]

### 2.3 Kaupunkiympäristö

Ympäristö asettaa omat vaatimuksensa työmaille. Kalliorakennuskohteissa työmaille tuodaan työkoneita, joista lähtee suurta meluhaittaa, tärinää ja pölyä. Näitä työvaiheita ovat kallion rusnaaminen poraaminen, rammerointi sekä räjäytystyöt. Kohteen ollessa

maan alla, se mahdollistaa ympärivuorokautisen työskentelyn tunnelissa tarvittaessa, kunhan on luvat. Melurajat on otettava huomioon maan päällisessä työskentelyssä, esimerkiksi maa-aineksen kuljetuksessa, sekä poraustyössä, joka tapahtuu lähellä suuaukkoa. Jos kohteessa on paljon kallion louhintaa, aiheutuu kuormauksesta ja louheen ajosta liikennehäiriöitä, sekä pölyhaittoja. Pölyn takia on kasteltava työmaan pihaa, sekä läheistä katualuetta. Itse tunnelissa tehtävistä kalliorakennustöistä harvemmin aiheutuu merkittävää ympäristöhaittaa meluna tai tärinähaittana, ellei tunneli sijaitse lähellä maanpintaa kalliokaton ollessa ohut tai mikäli lähellä on tärinälle erityisen herkkiä laitteita. [4, 5]

### 3 Kalliorakentaminen pientunnelin saneerauskohteessa

#### 3.1 Rusnaus

Rusnaaminen tarkoittaa irtonaisen kiviaineksen tiputtamista kalliokatosta ja seinistä. Ennen rusnaamista olemassa oleva kunnallistekniikka on suojattava tippuvilta kiviltä, sekä mahdolliset vanhat räjähteet kartoitettava. Rusnaus suoritetaan louhintatyömailla ennen porausta, katkon räjäytyksen ja lastauksen jälkeen. Saneeraus kohteessa, jossa louhinta ei tapahdu, tulee rusnaus suorittaa ennen varusteluiden rakentamista, injektointiporausta ja ruiskubetonointia. [8] [16, s. 217-219]

Kalliopinnan rusnaaminen voidaan suorittaa käsin tai mekaanisesti koneella. Pääasiallisesti se pyritään tekemään mekaanisesti. Käsirusnaaminen on hitaampaa ja yleensä sitä tehdään työkohteissa, joissa kiven laatu on hyvä, sekä työ vähäinen. Käsirusnauksessa apuna käytetään vettä ja rusnakankea, joka on valmistettu joko teräksestä tai alumiinista. Kallion laadun tunnistaa irtonaisesta aineksesta äänestä. Se on korkeampi, kuin irtonaisesta lähtevä, kumisevampi ääni. [16, s. 217-219]

Pientunneleiden saneerauksessa suoritetaan rusnaus yleensä manuaalisesti, koska tunneliin ei mahdu helposti rusnaukseen soveltuvia koneita. Tunneleita on yleensä rusnattu useita kertoja aiempien saneeraustöiden yhteydessä, joten tuleva rusnaustyö on yleensä vähäisempää kuin uusissa kalliorakennuskohteissa.

#### 3.2 Poraus

Kallion poraaminen tapahtuu iskuporauksella, sekä murskaavalla, leikkaavalla tai hiertävällä kiertoporauksella. Poraustyön lopputuloksena saadaan kallioon reikiä, jotka ovat kallion irrotusta, injektointia tai kallion tutkimista varten. Ennen poraustyötä, kohde on rusnattava ja tehdään suunnitelmat porausreikien sijainneista, niiden syvyydestä ja halkaisijasta. [16, s.137]

Porakaluston valinnassa on otettava huomioon saneerattavan työkohteen koko, kallion laatu, porattavan reiän koko, sekä suoritettava työ, eli onko kyseessä lujitus, tiivistys vai louhinta. [16, s. 146-147]



Kuva 1. Commando tunnelissa. [Rinkinen, 2017, YIT]

Pieneen kohteeseen mahtuu pieni poravaunu, kuvassa 1 esitettyä commando, joita käytettiin Suomenlinnan huoltotunnelin peruskorjauksessa.

Poraustyöstä aiheutuvan niin sanotun porasoijan poistaminen reiästä on välttämätöntä, koska reiässä oleva soija vaikuttaa kallioon tunkeutumiseen, sekä porakruunun käyttöökään. Poistaminen tapahtuu joko ilma- tai vesihuhtelulla. [16, s. 140]



Kuva 2. Vasemmalla kalliotuki ja oikealla porakruunu. Porakruunun on oltava koko ajan kalli-  
ossa kiinni. [Rinkinen, 2017, YIT]

### 3.3 Louhintatekniikat

Louhintatavan valintaan vaikuttavat työkohteen ominaisuudet ja kallion laatu, eli kallion rikkonaisuus, vesivuodot, sekä olemassa olevat lujitukset ja tiivistykset. Ennen varsinaista kiven irrotustyötä joko räjähteillä tai ilman, tulee kalliopinnan olla puhdas, rusnattu ja porareiät tehty oikeisiin paikkoihin.

#### 3.3.1 Kiilaus

Kiilaus eli hydraulisessa kivenhalkaisussa kallioon porataan reikiä ja reikään asetetaan kone, joka hydraulisen paineen avulla työntää kiilaa ulospäin. Kiila levittää sylinterin alapäässä olevia kiilakenkiä, jotka leviävät erilleen. Kiilakengät aiheuttavat voimaa reiän seinämiin ja saavat näin kallion halkeamaan. Työmenetelmä on räjähteetön louhintatapa. [1, s. 414]

Tämä menetelmä ei aiheuta tärinää eikä pölyä. Kiilauksen negatiivisena puolena on se, että työhön kuluva aikaa eikä kiven irrottamisen helppoutta ole helppo ennustaa. [9]

### 3.3.2 Vaijerisahaus

Tavallisesti sahausta käytetään vuolukivilouhinnassa, sekä kohteissa joissa halutaan erittäin siistiä ja sileää kalliopintaa. Menetelmä on erittäin kallis ja sitä käytetään, kun muita keinoja louhintaan ei ole. [1, s. 378]

Vaijerisahauksen eduksi voidaan lukea, että se on suhteellisen nopea, ei aiheuta melua, pölyä eikä tärinää. [8]



Kuva 3. Vaijerisahauksen jälki nähtävissä oikealla. Kalliosta saatiin irrotettua siististi tarvittava kiviaines. [Rinkinen 2017, YIT]

### 3.3.3 Etanadynamiitti

Etanadynamiitti eli paisuva sementti on ratkaisu paikoissa, joissa räjäyttämisen ei ole mahdollista esimerkiksi turvallisuus- ja kohteen suojelusyistä. Kyseissä menetelmässä aine sekoitetaan myllyssä kylmään, puhtaaseen veteen valmistajan ohjeiden mukaisesti. Porareivät ovat halkaisijaltaan noin 30-50mm, ja sekoituksen jälkeen massa on kaadettava reikään kymmenen minuutin kuluessa. [1, s. 415-416]



Kuva 4. Etanointia. [Rinkinen 2017, YIT]

Etanan menekki on suurta, se vaatii tiheän rei'ityksen (kuva 4) ja on kalliimpaa kuin muut räjähdaineet. Se toimii vaihtoehtona, kun räjähdaineet eivät ole mahdollisia. [1, s. 415-416]

Etana reagoi ja paisuu porareissä, johon vaikuttaa muun muassa ilman lämpötila. Paisuessaan se aiheuttaa kallioon painetta ja saa kiven irtoamaan. Ympäristötekijät ja porauksen onnistuminen vaikuttavat kiven irtoamisaikaan, joka voi olla jopa päivästä kahteen viikkoon. [3]

### 3.3.4 Räjähdeet

Kallion louhinnassa käytettäviä räjähdaineita on useita. Saneerauskohteissa niiden käytön suunnittelua tulee tarkasti miettiä, koska rajoitteita on useita olemassa olevien putkien, kaapeleiden ja tulevien töiden varusteluiden johdosta. Seuraavassa luettelossa on yleisimmät räjähdaineet.

- **Kemix ja Kemix A -putkipanokset** ovat emulsioputkipanoksia, joiden käytöllä on mahdollista saada porareikään tarkka määrä räjähdettä. Nämä koostuvat ammoniumnitraatin vesiliuoksesta, öljystä ja emulgointiaineesta. Sekoittamalla mikropalloja, saadaan putkipanokset herkistettyä räjähtäviksi. Putkipanosten käyttö on helppoa. Näiden toisessa päässä on laajeneva liitos, johon toisen putken laajenematon osa asetetaan. Putket laitetaan napakasti toisiinsa kiinni ja tällä varmistetaan räjähdysvälityksen välittyminen. [17] [18]
- **Kemiitti 810** on emulsioräjähdysaine, joka on koostumukseltaan rasvamaista. Se koostuu ammoniumnitraattiliuoksesta, öljystä ja emulgointiaineesta, sekä tarvitsee kaasutusliuoksen muuttuakseen räjähtäväksi aineeksi. Kemiitti 810 käyttö on säädeltävissä eli pystytään laittaan tietty määrä räjähdettä erilaisiin reikiin, esimerkiksi pohja- ja kattoreikiin. [12] [13]
- **Dynamiitti** sisältää nitroglykolia ja ammoniumnitraattia. Näitä voidaan käyttää tarkkoihin räjäytystöihin, sekä aloitepanoksina. Forcit Oy:n tuotesarjasta löytyy Redex -dynamiitti, johon on lisätty heksogeeniä. Tällä sen räjähdysnopeus on saatu korkeaksi. Suurella räjähdysnopeudella voidaan ehkäistä kynsien jäämistä pohjaan. [23] [24] [25]
- **F-putkipanos** on yleisesti käytetty tarkkuuslouhinnassa, mutta sitä käytetään myös tunnelilouhinnassa, kun vaaditaan tarkkaa ja kevyttä panostusta. Tunnelilouhintakohteissa voidaan esimerkiksi edellisestä ammusta kovaksi jäänyt pieni kohta ampua irti tai korjata huonosti lähtenyttä reikää. [22]
- **Forprime** toimii tunnelilouhinnassa Kemix 810 aloitepanoksena. Forprimeen on tehty reikä, johon nalli asetetaan. Se on valmistettu heksogeenistä. [19]
- **Anfoa** löytyy Forcit Oy:n valikoimista neljää erilaista. On Anfo, Pito-Anfo, Ahti-Anfo ja Anfo 800. Tuotteet on valmistettu prillatusta ammoniumnitraatista ja polttoöljystä. Nämä eroavat toisistaan muun muassa hieman erilaisilla tiheyksillä ja räjähdysnopeuksilla. Anfo ei ole vedenkestävää, toisin kuin tuotesarjan Ahti-Anfo, jota voi käyttää kosteissa rei'issä. Kaikki anfort vaativat aloitepanokset, esimerkiksi Forprimen, Fordynin tai Kemix A -putkipanoksen. Alakätiset reiät pystyy täyttämään kaatamalla suoraan säkistä. Panostuslaite tarvitaan vaakareikiin ja



yläkätisiin reikiin. **ANO** on Anfon kaltainen, mutta valmistetaan työmaalla. [1, s. 61-62] [20] [21]

### 3.4 Lujitus

#### 3.4.1 Pultitus

Lujitustarpeeseen, sekä lujitustapaan vaikuttavat muun muassa kallion geomekaaniset ominaisuudet, kuten esimerkiksi rakoilu. Suunnittelun tekee kalliorakennussuunnittelija. [29, s. 19]

Ennen pultitusta lujitettava alue on rusnattava ja irtonainen kiviaines tiputettava. Kalliossa tapahtuu muodonmuutoksia, eikä näitä ole useimmiten mahdollista ehkäistä. Nämä muodonmuutokset yritetään pitää sallituissa rajoissa tukemalla kalliota eri tavoin. Muodonmuutoksessa pyritään pitämään kallioikkappaleet yhdessä. Näin ollen rakopinnoissa vaikuttavat kitka- ja koheesiovoimat säilyvät. Lujituksen tarkoituksena on vahvistaa kalliota kestäväksi rakenteena rasitukset. Pultitus on tehokas ja taloudellinen tapa. [29, s.21-22]

Kallion lujittamiseen tarkoitettuja pultteja on kolmea erilaista tyyppiä. Nämä ovat passiiviset pultit, aktiiviset pultit ja kitkapultit. Pulttityyppi ja esimerkiksi pituus määräytyy tunnelin käyttötarkoituksen, suunnitellun eliniän ja jännevälin mukaan. [9] [16, s. 222-226]

Louhinnan aikana tehtävässä turvapultituksessa käytetään aktiivisia pultteja. Tällöin ne tukevat välittömästi kalliota. Näitä ovat hartsilla tai mekaanisesti ankkuroidut pultit, sekä esijännitetyt pultit. Kitkapultit lukeutuvat myös aktiivisiin pultteihin. Ankkurointi tapahtuu siten, että pultti ankkuroituu reiän pohjaan ja reiän ulkopuolelle jäävä aluslevy kiristetään mutterilla kalliota vasten. Näin ollen pultin jännitys jakautuu. Mekaanisesti ankkuroidut pultit luetaan lopulliseksi lujitukseksi siinä tapauksessa, että ne juotetaan betonilla. [16, s. 222-226]

CT-pultit ovat kalliita, mutta toimivat muun muassa merenalaisissa tunneleissa hyvin korrosionkestävyytensä ansiosta. CT-pultit voidaan juottaa betonilla asennuksen jälkeen.



kulki tunnelin läpi ja merkkasi kohdat, joihin pultit tuli asentaa. Erikseen ei pulttauskaaviota tehty.

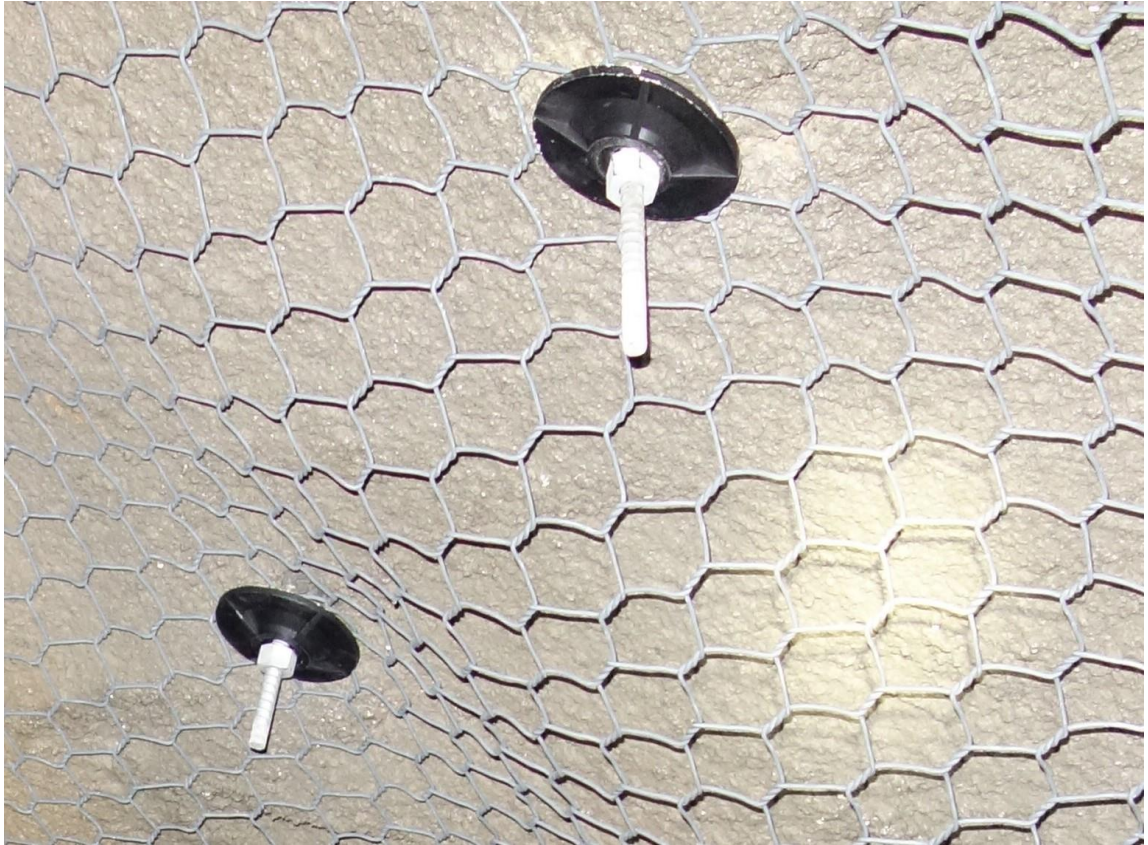


Kuva 6. Harjateräspultin juotto sementillä. Laadunvalvontana tehty vetokoe. [Turkia, YIT, 2017]

Pultituksen laadunvalvontaa suoritetaan vetokokeilla (kuva 6) ja juotosmassan betoni-näytteillä.

### 3.4.2 Verkotus

Verkotusta käytetään yleensä ruiskubetonoinnin kanssa ja sen toimintatapa perustuu siihen, että se toimii kuin rauditus. Verkko kiinnitetään suoraan kalliopintaa vasten ja ruiskubetoni ruiskutetaan päälle. Rakenne kestää paremmin suuria muodonmuutoksia kalli-ossa, kuin kuidullinen ruiskubetoni. Verkotusta käytetään, jos kallioperä on huonoa. Jos verkotus asennetaan ruiskubetonin päälle, on tarkoituksena estää kiven tai ruiskubetonin tippuminen, esimerkiksi tekniikan päälle (kuva 7). Pelkkä verkko voidaan myös asentaa ilman ruiskubetonia ehkäisemään kivien tippumisen. [16, s. 221-222, 230]



Kuva 7. Esimerkkikuva verkotuksesta ruiskubetonin päällä. [Turkia, YIT, 2017]

### 3.4.3 Ruiskubetonointi

Ruiskubetonoinnin tehtävänä on lujittaa kalliota. Ruiskubetonointi jaotellaan kahteen eri menetelmään, kuivaruiskutukseen ja märkäruiskutukseen. [16, s. 228]

Ruiskubetonimassa koostuu sementistä, vedestä, runkoaineesta, sekä mahdollisista perusseoksen lisäaineista ja seosaineista. [28, s. 13]

- **Sementin** tulee täyttää SFS-EN 197-1+A1 vaatimukset. Kun valitaan sementtiä, tulee ottaa huomioon rakenteen rasitusluokka, lujuuden ja lujuudenkehityksen, sekä sitoutumisajan asettamat vaatimukset. [28, s. 13-14]
- **Runkoaineena** voidaan käyttää esimerkiksi luonnonkiviainesta. Maksimirake koko on yleensä 8 mm. Jos ruiskutettavalle pinnalle on asetettu esteettisiä vaatimuksia, pintakerros suositellaan ruiskutettavaksi pienemmällä rakeisuudella. Rae-

koon suurentaminen vaikuttaa hukkaroiskeen määrään sitä kasvattaen, erityisesti kun ruiskutettavana kohteena on pystysuunnassa olevat rakenteet tai vaakapintoja ruiskutettaessa alhaalta ylöspäin. Pääasiassa hukkaroiske koostuu runkoaineseoksen karkeista osista. [28, s. 8, 13-15]

- **Veden** on oltava puhdasta. Se ei saa sisältää esimerkiksi rasvaa, öljyä, klorideja tai mitään suoloja, joten merivesi ei käy. Standardista SFS-EN 1008 löytyy vedelle asetetut vaatimukset. [28, s. 15]
- **Perusseoksen lisäaineita** ovat notkistin, notkeutta kontrolloivat lisäaineet, tiivistysaineet, sekä esimerkiksi kutistumista kompensoivat aineet. Kuivaruiskutusmenetelmässä näiden käyttö on rajoitettua menetelmästä johtuen. Näitä aineita lisästäään betoniasemalla ja näitä voi olla korkeintaan 5 % betonin sisältämän sementin massasta. [28, s. 15-19]
- **Ruiskutusvaiheessa lisäaineena** käytetään kiihdytintä, jolla nopeutetaan lujudenkehitystä, sekä mahdollistetaan paksumman, kerralla ruiskutettavan kerroksen rappaamista. Tämä vaikuttaa myös ruiskutustyön aikatauluun, jota voidaan lyhentää. [16, s. 229-230] [28, s. 17]
- **Vahvistusta** voidaan tehdä verkotuksella tai kuiduilla. Kuituja löytyy teräs- sekä muovikuituina, jotka lisäävät betonin sitkeysominaisuuksia sen jälkeen, kun halkeamia on muodostunut. Kuiduilla tuodaan rakenteelle kestävyyttä leikkaukselle, toistuvalla vedolla ja puristuksella, iskuille, taivutusvedolle ja sysäyksille. Kuitujen parantaessa vetolujuutta, ne ei eivät kuitenkaan merkittävästi vaikuta betonin puristumurtolujuuteen. Teräskuiduille löytyy vaatimukset standartista SFS-EN 14889-1 ja polymeerikuiduille SFS-EN 14889-2. [16, s. 229-230] [28, s. 21-22]

Ennen työn aloitusta, on kallionpinta rusnattava ja pestävä. Vesivuodot voidaan ohjata rakenteeseen sijoitettaviin ruiskubetonisalojiin ja suuremmat vuodot voidaan estää jälki-injektoinnilla. Kalliopultit on oltava asennettuina ennen ruiskubetonointia. Työseloituksessa täytyy kertoa seuraavat asiat:

- vastuhenkilö
- työympäristö

- riskit ja niiden hallinta
- työhön osallistuvat henkilöt ja kelpoisuus
- kalusto
- ruiskubetonisuhteutukset eli aineiden osuudet
- työjärjestys
- laatuvaatimukset ja toimenpiteet epätyytyttävän laadun johdosta

Työjohdon, sekä työntekijöiden pätevyudet riippuvat työkohteesta ja tarkastusluokasta [28, s. 42-43]

Ympäristön lämpötila on otettava huomioon. Liian kylmässä, alle 0 °C, työskennellessä tai jälkihoitoa suoritettaessa, tulee ryhtyä toimenpiteisiin betonin jääytymisestä johtuvia vaurioita vastaan. Liian korkea lämpötila voi myös aiheuttaa vaurioita, sekä massanlaatu kärsii, jos se joutuu odottamaan betoniautossa pitkiä aikoja ennen ruiskutusta. [28, s.42]

Märkäruiskutuksessa (kuva 8) valmis betonimassa voidaan ruiskuttaa työtä varten tehdystä ruiskubetonirobosta. Tämä koneen perässä on kuoppa, johon betoniasemalla valmistettu valmis betonimassa valutetaan. Massa sisältää myös veden, jota ei tarvitse työmaaoloissa lisätä. Massa kulkeutuu koneen linjastossa kohti puomin päässä olevaa suutinta. Puomin avulla pystytään ruiskuttamaan korkeitakin paikkoja. Puomeja pystytään ohjaamaan joko maan tasolta tai puomissa olevassa häkissä istuen. Märkäruiskumenetelmä on hyvä suuriin kohteisiin, esimerkiksi isoihin, maanalaisiin pysäköintilaitoksiin. [16, s. 229 s. 231-232]

Kuivaruiskumenetelmää käytetään nykyään harvemmin. Massa sisältää vain sideaineen ja sementin seoksen. Vesi lisätään vasta myöhemmin suuttimen luota ja ruiskuttaja säätelee toimenpidettä. Se soveltuu pienen kapasiteettinsa ansiosta ahtaisiin tiloihin, kuten kuiluihin. Massan kuljetus paineilmaletkussa jopa satojen metrien matkan, on edullista. Huonoina puolina se pölyää huomattavasti enemmän, kuin märkäruiskutusmenetelmä, sekä hukkamassaprosentti on korkeampi. [16, s. 228-229] [29, s. 32]

Se, kumpaan ruiskutustapaan päädytään, riippuu aina työkohteesta ja työn luonteesta. [16, s. 228]



Kuva 8. Ruiskubetonointia Suomenlinnan huoltotunnelissa. Seinällä kaksi kaukolämpöputkea ja alhaalla vesi- ja viemäputket, sekä jännitteetön 10kV kaapeli omassa suojakourussa. [Rinkinen, 2017, YIT]

Kuvassa 8 on esitetty esimerkki, kuinka olemassa olevaa kunnallistekniikkaa voidaan suojata ruiskubetonoinnilta.

### 3.5 Jälki-injektointi

Jälki-injektoinnilla tarkoitetaan injektointia, joka tapahtuu jo louhitussa ja mahdollisesti kertaalleen injektoidussa kohteessa, sekä sen tavoitteena on tiivistää kallio haitallisilta vesivuodoilta. Ensin kartoitetaan tunnelissa olevat tilat, jossa ilmenee vesivuotoja. Kalliin porataan reikiä, joihin pumpataan paineella esimerkiksi betonimassaa. Massa leviää

reiästä kalliossa oleviin rakoihin tiivistäen ne. Huonoina puolina tulee esille se, että vesivuodot todennäköisesti vain siirtyvät toiseen paikkaan. [15, s. 162] [16, s. 232-233] [26, s. 16-17] [30, s. 10]

Kalliotilojen injektointitarpeeseen vaikuttavat tilan käyttö, työnaikaiset vesivuodot ja ympäristö. Injektointitarpeen mukaan työ jaetaan neljään eri vesitiiveysluokkaan. [30, s. 6]

- **Tiiveysluokka AA** on erittäin vaativat kohteet, esimerkiksi puupaaluperustusalueet ja ydinpolttoaineen loppusijoitus. Pohjaveden sallittu virtaus tunneliin on noin 1-2 l/min/100 m.
- **Tiiveysluokka A** on normaalia kalliorakentamista, jossa sallittu pohjaveden virtaus tunneliin on noin 5 l/min/100 m.
- **Tiiveysluokka B** on kalliorakentamista alueilla, joissa ei aiheudu merkittäviä ongelmia pienistä vesivuodoista. Sallittu pohjavedenvirtaus on suunnilleen 10 l/min/100 m.
- **Tiiveysluokka C:ssä** pyritään vähentämään voimakkaat vesivuodot, esimerkiksi kaivoksissa. Pohjaveden sallittu virtaus on noin 40-50 l/min/ 100 m.

Eri tiiveysluokat antamat vaatimuksia, esimerkiksi työmaan henkilöstön pätevyyksille, tunnustelurei'ille ja laadunvalvontaa. [30, s. 8]

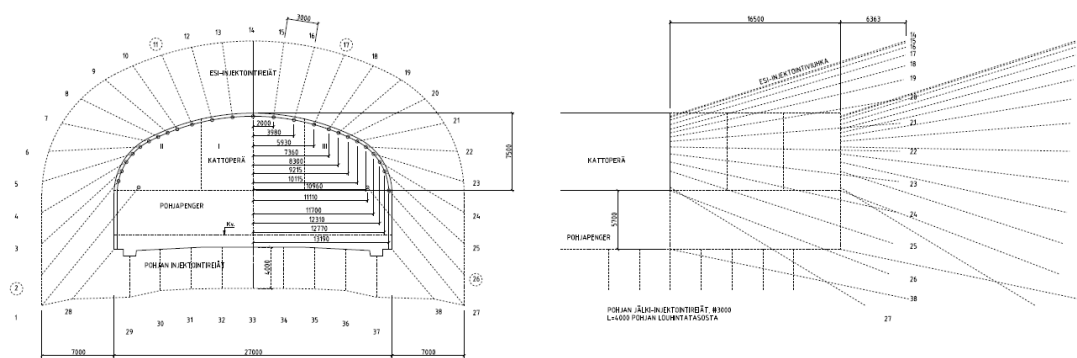
Injektointiaineen valintaan vaikuttaa rakojen avauma. Riippuen avauman koosta, valitaan sementtipohjaisen injektointiaineen ja kemiallisen injektointiaineen väliltä. Suomessa laastia käytetään harvoin, kohteina tutkimus- ja injektointireikien täyttäminen, avonaisten ruhjevyyöhykkeiden injektointi, sekä onkaloiden täyttäminen. [30, s. 10-14]

Sementtien tulee täyttää SFS-EN 197-1 ja SFS-EN 197-2 sementtistandardien vaatimukset. Lisäaineiden käyttöön tärkeimmät syyt ovat vedenerottumisen vähentäminen, sitoutumisajan lyhentäminen ja tunkeutuvuuden lisääminen. Vesi-sementtisuhte vaikuttaa olennaisesti vedenerottumiseen. Esimerkiksi, jotta saavutetaan tiiveysluokassa A vaadittu 2 % vaatimus, tulee vesi-sementtisuhteen olla suuruusluokkaa 0,6-1,0 riippuen sementtityypistä. Sitoutumisaikaa voidaan lyhentää käyttämällä kiihdyttämiä tai pien-



tämällä vesi-sementtisuhdetta. On muistettava ottaa huomioon suunnittelussa, että kumpikin tapa vähentää injektointimassan tunkeutuvuutta. Notkistimet sitä vastoin parantavat tunkeutuvuutta erottaen sementtipartikkeleita toisistaan. [30, s. 10-13]

Kemiallisia injektointiaineita ovat muun muassa silikaatit ja polyuretaanipohjaiset aineet. Näillä on erittäin hyvä tunkeutuvuus ja myös sitoutumisaika voidaan saada hyvin lyhyeksi, jonka ansiosta ne toimivat esimerkiksi vaikeissa jälki-injektointikohteissa. [30, s. 13-14]



Kuva 9. Malli injektointiviuhkan rakenteesta. [Kehärata/Pöyry, 2009]

Kuvassa 9 on esitettyä vasemmalla injektointiviuhkan porauskaavioperiaate, sekä oikealla kuinka injektointiviuhkat limittyvät. Seuraava injektointiviuhka aloitetaan aina poramaan siten, että edellinen viuhka verhoaa uutta viuhkaa. Näin pyritään varmistamaan, että kalliota on tiivistetty kattavasti. Kuvat ovat Kehäradan työmaalta havainnollistamaan injektointiperiaatetta. Suomenlinnan työmaan suunnitelmat eivät ole julkisia, joten niitä ei pystynyt tässä työssä tuomaan esille malleiksi.

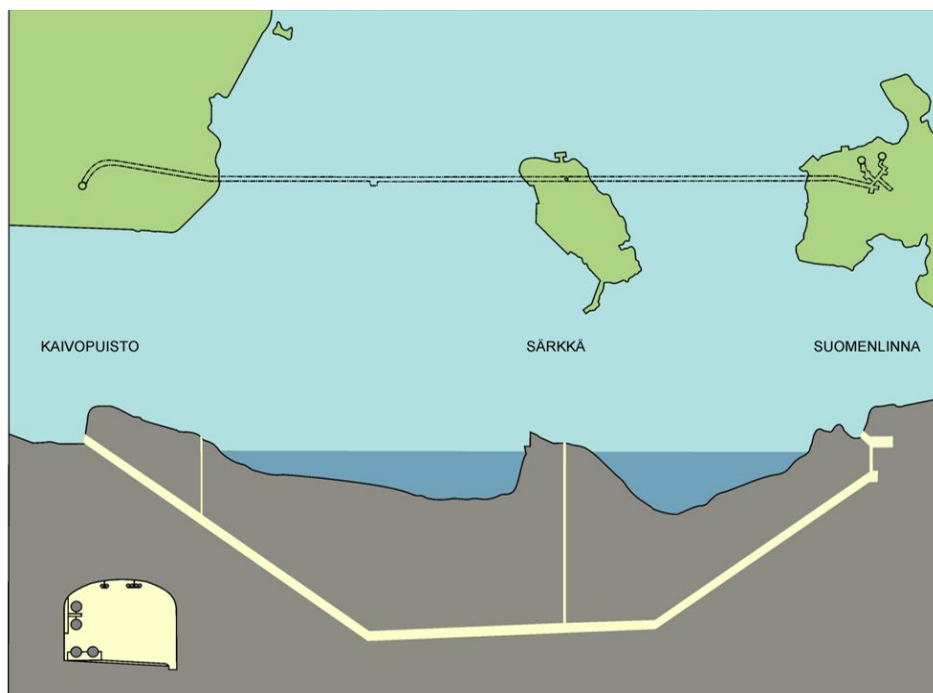


Kuva 10. Jälki-injektointia varten poratut injektointireiät. [Rinkinen, 2017, YIT]

#### 4 Saneerauksen erityispiirteet Suomenlinnan huoltotunnelissa

Kaivopuistosta Suomenlinnaan Itämeren alla kulkeva 1 300 metriä pitkä kallioon louhittu tunneli valmistui 1981. Suomenlinnan päässä tehtiin lisälouhintana viimeiset 200 metriä vuonna 1992. Tätä ennen tunnelin läpi ei ollut mahdollista ajaa ja näin saatiin mahdollistettua esimerkiksi pelastuslaitoksen esteettömän pääsyn hätätapauksissa maanpinnalle asti saarella. Tunneli on myös muun muassa rajavartiolaitoksen, tullin, puolustusvoimien, vankeinhoitolaitoksen ja Suomenlinnan hoitokunnan käytössä. Tunneli ei ole siviilikäytössä. Talotekniikka, esimerkiksi kaapelihyllyt, ilmastointiputket ja viemäriputket, olivat vuosien saatossa kärsinyt vuotovesistä ja vesien mukana tullut radon on rajoittanut huoltohenkilökunnan toimimisen tunnelissa, jonka takia tunneli tuli peruskorjata. [7]

Suomenlinnan huoltotunnelin peruskorjaus toteutettiin allianssihankeena Suomenlinnan hoitokunnan ja Pöyryn kanssa. Hankkeen talotekniikan toteutti Are. Kohteessa suoritettiin muun muassa kalliotilojen lujitus, salaojitus, vanhan talotekniikan purku ja uudelleen asennus. Merkittävä rajoittava tekijä oli tunnelin käyttäjien ajoneuvokaluston vaatima avoimen tilan ulottuvuus. Hankkeen suunnittelu allianssina aloitettiin syksyllä 2016 ja toteutus alkoi keväällä 2017.



Kuva 11. Tunnelin reitti Kaivopuistosta Suomenlinnaan, sekä pituus- ja poikkileikkaus. Kuva ei ole mittakaavassa. [Suomenlinnan hoitokunta/Pekka Nevalainen, 2013]

Tunnelin poikkileikkaus (kuva 11) on kuvattuna Kaivopuistosta Suomenlinnaan päin. Vasemmalla seinustalla on kaukolämpöputket, alhaalla HSY:n vesi- ja viemäriputket, sekä katossa talotekniikan sijainti ennen remonttia. Talotekniikka sisälsi tiedonsiirtoverkostot, Särkän saaren viemäri putken tunnelin saaren päässä, sekä Kaivopuiston päässä pumpaan poistovesilinjan ja ilmastointiputken. Remontin yhteydessä talotekniikka siirrettiin kulkemaan kaukolämpöputkien yläpuolelle.

Suomenlinnassa suoritettiin louhintaa, kun suurennettiin tunnelin suuaukkoa, jotta ajoneuvot pääsevät jatkossa kulkemaan helpommin saaren pään aikaisemmin ahtaasta ovi- aukosta. Muualla tunnelissa kiveä irrotettiin reunaojasta, jotta salaojaputki mahtui paremmin, sekä tunnelin kainaloista, jolla annettiin enemmän tilaa ajoneuvoille. Kohteessa irtilouhinta suoritettiin kiilaamalla, vajerisahaamalla ja Ter-Mitellä, joka on kemiallisesti paisuvaa ainetta. Lähellä suuaukkoa ja maanpäällä työskentelyn oli tapahduttava kaupungin asettaman melurajan puitteissa, Suomenlinnan kohteessa arkisin kello 07.00-18.00.

#### 4.1 Tunnelin historia



Kuva 12. Tunneli ennen peruskorjaamista. Oikealla näkyy, kuinka tunneli vuoti vettä ja sen mukana tulevia mineraaleja. [Suomenlinnan hoitokunnan kuva-arkisto/Arttu Kokkonen, 2015]

Jo louhitun tunnelin saneerauksessa on otettava huomioon aikaisemmat työvaiheet ja iän tuomat piirteet. Tunnelin historia on tunnettava ja kallion laatuun tutustuttava vanhojen suunnitelmien ja tutkimusten avulla. Vesivuodot saavat kallion heikkenemään, joten rusnaaminen on tärkeää. Ennen rusnaamista tai minkäänlaista poraustyötä, on kartoitettava mahdolliset vanhat räjähteet. Niiden löytyessä, ne on poistettava ammattitaitoisten panostajien toimesta turvallisesti. Jos poistaminen ei ole mahdollista, räjähde jätetään pakoilleen ja merkataan. Kyseiseen kohtaan ei missään nimessä saa kohdistaa iskua, kuten poraamista.

Koska tunneli on louhittu pienellä kalustolla kunnallistekniikan kuljettamiseksi, on löydettävä sopiva kalusto. Se pitää ottaa huomioon jokaisessa työvaiheessa erikseen, kun kalustoa ja aikataulutusta suunnitellaan.



Kuva 13. Avo-oja selvästi esillä. Pohjatöiden yhteydessä ojaan asennettiin salaojaputki ja täytettiin salaojasepelillä. Näin massiiviset vuotovedet saatiin piiloon, mikä vaikuttaa radonarvoihin laskevasti. [Rinkinen, 2017, YIT]

Suomenlinnan huoltotunnelissa oli suuri radonpitoisuus ennen hankkeen toteutusta. Hankkeen tavoitteena oli saada radonpitoisuus pienemmäksi. Lisäksi peruskorjauksen työskentelyolosuhteet piti saada turvallisiksi. Työskentelyaikana radonarvoja saatiin las-kettua tehostamalla merkittävästi tuuletusta. Lopputilanteessa tunnelissa virtaavaa vettä oli saatu piiloon muun muassa tiivistämällä tunnelia sekä salaojituksen avulla. Näin ra-donpitoisuus saatiin murto-osaan alkuperäisestä. Työn aikana radonpitoisuutta seuratiin säännöllisesti. Tunneliin asennettiin myös automatiikkaan kytkettyjä radonmittausan-tureita, joilla arvoja voidaan mitata helposti myös käytön aikana.

Vesivuotojen mukana tullut radon rajoittaa työskentelyaikaa. Radon aiheuttaa keuhko-syöpää, joten raja-arvoja on seurattava ja tarvittaessa STUKES tekee mittauksia ja antaa toimintaohjeet. [6]

#### 4.2 Tunnelin poikkileikkaus

Tunnelin poikkileikkauksen pieni koko asettaa raamit käytettävälle kalustolle ja itse työ-suorituksille. Myös uudiskohteeseen verrattuna olivat työnaikaisten varusteluiden raken-taminen haasteellisemmat.

Uudiskohteessa varusteluita rakennetaan ja siirretään louhintojen edetessä. Nyt koh-teena oli 1 300 metriä valmista tunnelia, johon asennettiin työmaasähköt, painevesi, sekä poistovesi. Työnajaksi myös Suomenlinnan huoltotunnelin pumppaamo otettiin pois käytöstä. Tämän tilalle rakennettiin työnaikainen pumppausjärjestelmä, johon sisältyi tunnelissa oleva saostusallas, pumput ja 500 metriä poistovesilinjaa. Rinnalle rakennet-tiin myös varalinja mahdollisia häiriötilanteita varten. Niin ikään kaluston kokoa oli tark-kailtava. Tunnelin korkeuden mukaan pystyttiin ottamaan 2500mm korkeita koneita. Ruiskurobon kohdalla oli otettava huomioon myös pituus, että se mahtui kääntymään tiukemmista mutkista, sillä toisella puolella ajoväylää oli vastassa kallioseinä ja toisella kunnallistekniikka.

Tunneliin löydettiin työkalujen ja työntekijöiden kulkemiseen gatorit eli hytilliset mönkijät, sekä muun muassa kuormalavojen ja poraussuojien siirtoon avant -kone, sekä kapeat Kramer -pyöräkuormaajat. Sopivan kokoinen ruiskurobo löytyi YIT:ltä ja muita tarvittavia

koneita tilattiin mittojen mukaan eri toimittajilta. Tunneliin sopiva saksilava löytyi, jolla onnistui tehdä kaapelihyllyjen tartunnat korkeimmissa kohdissa. Koneen täytyi kuitenkin olla riittävän iso, jotta sen tehot riittivät tunnelin jyrkkiin mäkiin.

Kuva 14 kuvastaa hyvin tunnelin pientä kokoa ja kuinka kalustoa valittaessa oli oltava tarkkana.

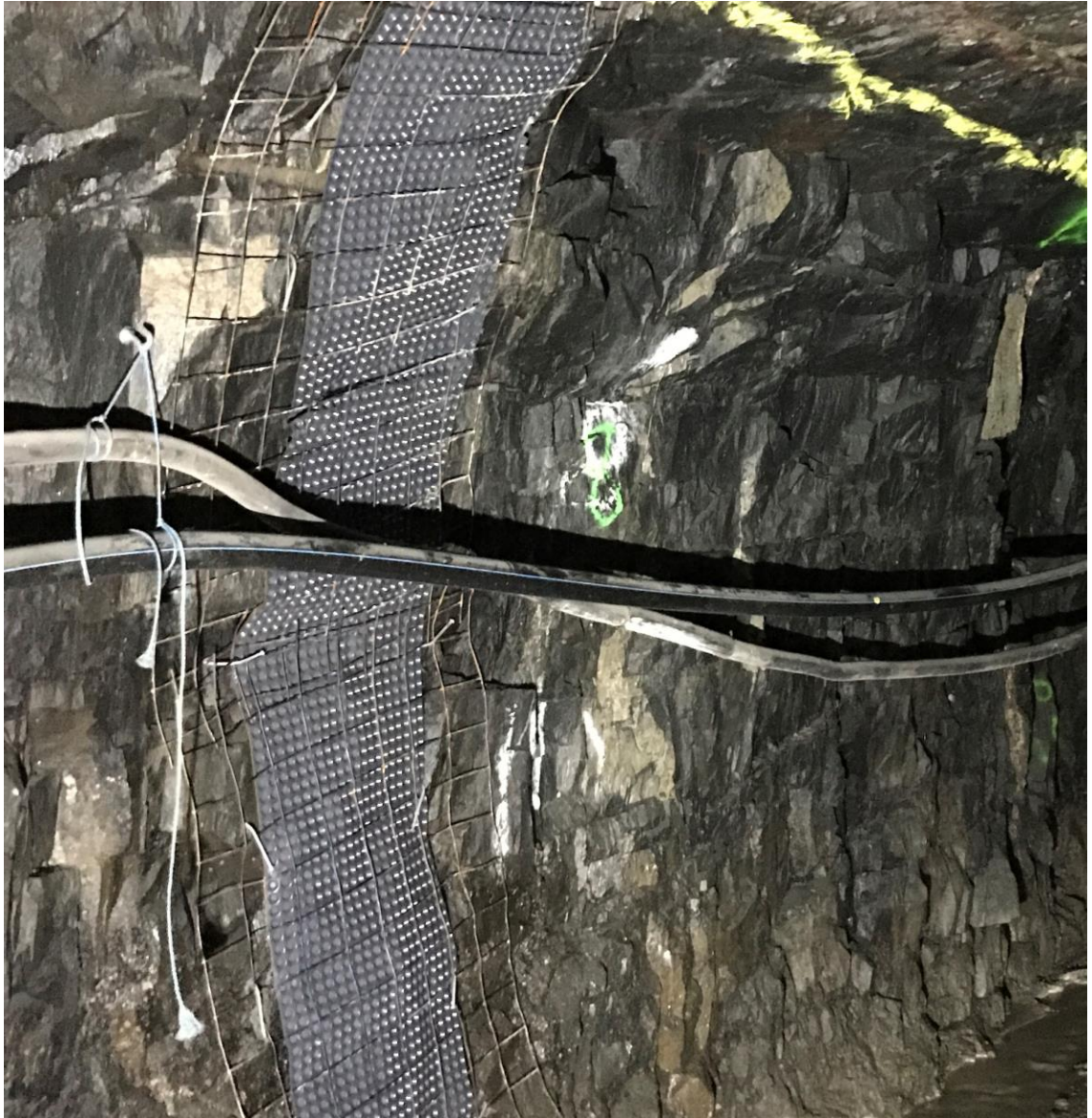


Kuva 14. Työmaalla betonin kuljetukseen käytetty säiliö. [Rinkinen, 2017, YIT]

#### 4.3 Varustelut

Tunnelin ollessa pieni, on kiinnitettävä huomiota varusteluiden sijoitteluun. Niiden on oltava helposti käytettävissä, kuten sähkön ulossyöttö, sekä painevesi. Myös mahdollisen ongelmatilanteen tullessa vastaan, on niihin päästävä helposti käsiksi. Kun työnaikaisia varusteluita lähdetään työmaan loppuun purkamaan, vaikuttaa siihen, kuinka varustelut on asetettu. Kun linjat on asennettu suoraan, eikä ristiin sekä roikkuvat omissa naruissaan (kuva 15), nopeuttaa se niiden purkamista. Tämä mahdollistaa myös vain yhden

yksittäisen linjan purun. Jos varustelut ovatkin samoissa naruissa ja solmussa, on irrottava useampi linja ja tämän jälkeen taas asetettava käyttöön jäävät linjat takaisin seinälle.



Kuva 15. Työnaikaiset varustelut siististi omissa naruissa. [Rinkinen, 2017, YIT]

#### 4.3.1 Olemassa oleva tekniikka

Suomenlinnan tunnelissa on kaksi kaukolämpöputkea, vesi – ja viemäri linja. Tunnelin 10kv kaapeli asetettiin työn ajaksi jännitteettömäksi. Sille rakennettiin suojakouru, mutta sitä kohdeltiin työn aikana kuin jännitteellistä. Tunnelista poistettiin vanha, ruostunut ilmastointiputki, sekä vanhat kaapelihyllyt kaapeleineen. Särkän saaren alla sijaitsevasta



kuprikasta, eli tunneliin louhitusta levennyksestä, lähtee vesi- ja viemäriin kyseiseen saareen, josta jälkimmäinen uusittiin tate-saneerauksen yhteydessä.

Työntekijöiden täytyi noudattaa suurta varovaisuutta kaukolämpöputkista johtuen. Linjan mennessä rikki, on kyse vakavasta onnettomuudesta. Kuuma vesi syö hapen muutamassa minuutissa pienestä tunnelista ja vesihöyry on polttavaa. Tällaiseen tilanteeseen varauduttiin pitämällä mukana pelastautumispakkausta, josta olisi tarvittaessa saanut ylimääräistä happea noin 15 minuutin ajaksi.

Tunnelin koon ollessa pieni, se asettaa koneiden koolle rajat niin korkeudessa kuin leveydessä. Toisella puolella kulkevat vesiputket on tuettu betonisilla putkituilla. Näitä oli varottava särkemästä, sekä niiden terävät reunat saattoivat niihin osuttaessa hajottaa kulkuneuvojen renkaita. Kunnallistekniikan sijaitessa toisella puolella, päätettiin työn aikaiset varustelut sijoittaa vastakkaiselle puolelle sen sijaan, että ne olisi aseteltu HSY:n vesiputkien päälle ja suojattu siinä samalla.

#### 4.3.2 Työn aikaiset varustelut



Kuva 16. Työn aikaiset varustelut Kaivopuiston päässä. Ylhäältä alas lueteltuna: painevesilinja, poistovesilinja, työmaa-sähkökaapeli, työn aikaisen pumppauksen sähkökaapeli, sekä työn aikaisen pumppauksen varapoistolinja. [Rinkinen 2017, YIT]

Tunnelin läpi vedettiin sähkökaapelit, sekä paine- ja poistovesilinja (kuva 16). Noin sadan metrin välein asennettiin 400V sähkökeskukset, joista saatiin alajakokeskuksilla otettua virtaa. Painevesilinja palveli kalliopinnan pesussa, sekä ruiskubetonoinnin vaati- missa työtehtävissä. Näitä oli työkoneen pesu työvuoron päätteeksi, sekä ruiskubetonin jälkihoito.

Työmaalle tuli sofi-suodatinjärjestelmä (kuva 17) suodattamaan poistoveden muun muassa sementistä ja muusta ylimääräisestä tavarasta ennen veden juoksutusta takaisin mereen.



Kuva 17. Poistovesilinjan maanpäällinen osa. [Rinkinen 2017, YIT]

#### 4.3.3 Poistovesilinja

Suuri projekti oli tunnelin vuotoveden pumppauksen siirtäminen Suomenlinnan järjestelmästä YIT:n tekemään työnaikaiseen järjestelmään. Kaivopuiston päästä työmaan pääsähkökeskuksesta syötettiin yksi kaapeli varta vasten alhaalla olevaan saostusaltaan pumppuun. Tunnelin pumppaamoon laskettiin toinen, pienempi pumppu, jonka avulla vesi johdettiin viereisessä kuprikassa olevaan 2,5m<sup>3</sup> saostusaltaaseen. Täältä isompi pumppu jatkoi veden pumppaamista kohti maan pintaa yhden välipumpun

kautta. Tämä pumppu sai virran eri kaapelista kuin (kuva 18) alhaalla olevassa saostusaltaassa ollut pumppu. Maan pinnalla sijaitsi kaksi saostusallasta (kuva 17) ja ennen veden juoksutusta viemäriin, se meni vielä suodattimen läpi.



Kuva 18. Työnaikainen pumppaus. [Rinkinen 2017, YIT]

#### 4.4 Tunnelin peruskorjauksen työvaiheet

##### 4.4.1 Radon ja tuuletuksen järjestäminen

Radonarvot olivat tunnelissa hälyttävän korkeat peruskorjauksen alkaessa. Ensin oli saatava tehokas puhallus tunnelin läpi. Ongelmaksi tuli se, että radonarvojen luultiin olevan korkeimmat varsinaisessa tunnelissa. Kun otettiin mittaus Länsi-Mustan suuaukolta, josta ilma puhalsi ulos, selvisi että osuudessa arvot olivat myös siellä korkeat. Radonia sisältävä ilma ei päässyt kulkeutumaan täysin ulos asti. Tämä ratkaistiin tuomalla toinen puhallin saaren päähän tehostamaan entisestään tuuletusta.

##### 4.4.2 Rusnaus

Rusnausta varten rakennettiin avantkoneen piikeillä liikuteltava kuormalavasuoja. Työ itse suoritettiin käsinrusnauksena kurottajan häkistä tai maasta. 1-2 työntekijää tiputtelivat irtokiviä ja yksi työntekijä kuljetti avantia asettaen suojan paikoilleen. Tämän suojauksen tarkoituksena oli ohjata putoavat kivet vierimään ajoväylälle, samaan tapaan kuin poraukseen valmistetut suojat. Vuoron päätteeksi kivet kerättiin ajoradalta ja läjitettiin ulos.

##### 4.4.3 Poraus

Kohteessa porattiin louhintaa, jälki-injektointia, sekä kalliopulttausta varten ja koneena käytettiin commandoa. Porauksesta aiheutuva pöly suuntasi aina kohti Suomenlinnaa tuuletuksen suunnasta johtuen. Tämä oli otettava huomioon muiden työvaiheiden kanssa, ettei joutunut suotta altistumaan porapölylle, mutta aina se ei ollut mahdollista. Työntekijät käyttivät hengityssuojaimia ehkäistäkseen porapölyn joutumista keuhkoihin. Kuten on tullut esille, tunnelin kulkuväylä on kapea, joten commandon ollessa poraamassa, ei ohitse ollut mahdollista päästä. Väistöpaikat olivat harvassa, sekä koneen liikuminen ahtaassa tunnelissa ei ollut nopeaa.

Pulttimäärä oli arvioitu alkuperäisissä suunnitelmissa hankintaa varten pienemmäksi kuin lopullinen toteuma oli. Vaikka pultteja tilattiin suurempi määrä alkuperäiseen suunnitelmaan verrattuna, sekään ei aivan riittänyt. Pultteja määritettäessä tunneliin määrä

lisääntyi huomattavasti. Näin olleen pientä osaa hajapulttipaikkoja ei saatu pultattua heti pulttireiän poraamisen jälkeen, mikä aiheutti hieman sekaannusta työn suorittamisessa.

Yleensä lujitustyö tehdään ennen jälki-injektointia. Tällä varmistettaisiin lujitetulla alueella työskentely, sekä vältettäisiin pultinreiän poraamisella injektointiverhon rikkomista. Jos Suomenlinnan työmaalla olisi päädytty tekemään injektointityö kokonaan ennen pultinreikien poraamista, olisi mahdollisesti vuotavat pultinreiät injektoitu ja porattu uusi reikä injektoidun reiän viereen.

#### 4.4.4 Louhinta

Suomenlinnan kohteessa räjähteiden käyttö ei ollut taloudellisesti järkevää. Tunnelissa räjähteitä olisi ollut mahdollista käyttää ja vaihtoehtoa tutkittiinkin. Tämä kuitenkin suljettiin pois ennen kaikkea vaadittujen turvallisuusjärjestelyiden kustannusten takia. Kaukolämpöputket olivat käytössä koko urakan ajan ja jos ne olisi otettu pois käytöstä, olisivat kustannukset kasvaneet entisestään varavoimalaitoksen käytön seurauksena. Vesi- ja viemäriputket olivat osittain lattiaperusteisia ja niitä ei haluttu altistaa tärinälle ja värähtelyille. Louhinta olisi myös saattanut avata rakoyhteyksiä, mikä olisi vaikuttanut kallion tiiveyteen. [9] [10]

Länsi-Mustasaarella räjähteiden käyttöä rajoitti muun muassa sisääntuloaukon ohut kalliokatto sekä lähellä sijaitsevat kaukolämpöputket. Louhinnoissa päädyttiin käyttämään etanadynamiittia, kun ajoväylää laajennettiin sisääntuloaukon tuntumassa. [9] [10]

#### 4.4.5 Jälki-injektointi

Suomenlinnan huoltotunnelissa on tehty viimeksi peruskorjaus 1990-luvulla. Silloin jälki-injektointireikien pituus oli lyhyt, noin 2 metriä. Nyt päädyttiin poraamaan 6 metriä pitkät reiät, jotta ylitettiin edellisen kerran injektointireikien pituudet. Jos reikäpituus olisi ollut enemmän, olisi kustannukset olleet suuremmat ja tiukka aikataulu ei olisi onnistunut. Poraussuuntana oli Suomenlinna. Tämä johtui siitä, että Kaivopuiston mäessä oli enemmän injektoitavaa kuin Suomenlinnan mäessä, joten tällä poraussuunnalla saatiin injektoitua enemmän kalliota tunnelin kaltevuuteen nähden. [9]

Commando ei pystynyt poraamaan kaukolämpöputkien taakse lähinnä turvallisuussyistä. Putkien päälle porattiin kaksi reikää joka viuhkalla ja porauksen ajaksi asetettiin työmaalla vanerista tehty poraussuoja. Tämä suoja erosi rusnaussuojasta olemalla käsin liikuteltava ja paikoilleen aseteltava. Tämä esti mahdollisten putoavien kivien suoran osuman putkiin, sekä ohjasi ne tippumaan ajoväylälle. Suunnitelmissa oli myös annettu porauskulmat, mutta niitäkin joutui soveltamaan, koska commando ei kyennyt kaikkiin asentoihin.

Suunnittelijat olivat laatineet injektointiviuhkat ja -ohjeet sementti-injektointinille. Injektointin ennakoitiin olevan hitaampaa kuin poraaminen. Toteutusvaiheessa huomattiinkin, että poraaminen oli huomattavasti hitaampaa kuin injektointi. Tästä johtuen commandojen määrää lisättiin, mutta toista injektointiyksikköä ei tarvittu. Injektointimassojen menekit eivät olleet suuria, mutta niillä saatiin pahimmat vesivuodot haltuun ja siirrettyä pois tekniikan päältä. Myöhemmässä vaiheessa suoritettiin vielä kemiallista injektointia polyuretaanipohjaisella Purgel-aineella.



Kuva 19. Paikka paikoin jälki-injektointireikiä poratessa vesi suihkusi rei'istä valtavalla paineella. [Rinkinen 2017, YIT]

#### 4.4.6 Pultitus

Kohteessa pultin reikien poraus suoritettiin ennen jälki-injektointia, mutta pultteja ei asennettu. Tämä ei osoittautunut järkeväksi ratkaisuksi osan pultinreikien sijaitessa injektointiviuhojen välittömässä läheisyydessä.

Tunnelissa suoritettiin hajapultitus systemaattisen pultituksen sijaan. Tämä perustui siihen, että tunneli on pieni, sekä käyttötarkoitukseltaan vähäisessä käytössä. Näin ollen määriteltiin paikkakohtaisesti sellaiset määrät pultteja, jotka pystyttiin asentamaan aika-  
taulullisesti. Tätä kutsutaan hajapultitukseksi. Systeemipultituksessa on pultit määritelty systemaattisesti esimerkiksi 2 metrin ruudukkoon asennettavaksi. Harjateräspultin pituudeksi määriteltiin 2,4 metriä ja halkaisijaltaan nämä olivat 25 millimetriä. Ottaen huomioon tunnelin jännevälin, olisi 2 metriä ollut sopiva pituus. Ylimääräisellä pituudella tuotiin lisävarmuutta. Tunnelin osaan, joka sijaitsi meren alla, asennettiin epoksinnoitettiset pultit, jotka kestävät paremmin meriveden aiheuttamat rasitukset. [9]

#### 4.4.7 Kiilaus

Ennen ruiskubetonointia tunnelin ATU, eli aukean tilan ulottuvuus kartoitettiin. Jotta saatiin edelleen tila pysymään tarpeeksi suurena pelastuslaitosta varten, kartoitettiin ahtaimmat kohdat ja kalliota irrotettiin niiltä kohdin kiilaamalla. Kiilaus ja ruiskubetonointi limitettiin tapahtumaan samaan aikaan. Ruiskubetonointi tapahtui Suomenlinnasta Kaivopuistoon päin päivävuorossa ja yövuorossa kiilattiin.

#### 4.4.8 Ruiskubetonointi ja ruiskubetonisaloajat

Ruiskubetonointi pidentää kalliotilan huoltoväliä, sekä lujittaa kalliota tehden siitä turvallisemman, sekä miellyttävämmän käyttäen. Suomenlinnan työmaalla oli alkuun tarkoitus käyttää muovikuituja tuomaan lisää kestävyyttä, mutta ympäristösyistä siitä luovuttiin. Muovikuituja olisi ruiskutustilanteessa levinnyt laajalti ympäristöön ja pelko niiden joutumisesta Itämereen oli aiheellinen. Teräskuituja ei myöskään käytetty, sillä teräskuidullisen ruiskubetonikerroksen jälkeen olisi täytynyt ruiskuttaa yksi kuiduton kerros. Teräskuitujen jäädessä esille, ne ruostuvat ja kyseisen huoltotunnelin ollessa muutenkin hyvin märkä, ei tämä työtapo tullut kyseeseen. Kaksi ruiskubetonikerrosta olisi myös pienentänyt huomattavasti ambulanssin vaatimaa tilavarausta. Päädyttiin ruiskuttamaan vain kuiduton betonikerros, jonka vahvuudeksi määriteltiin 40 mm. [9]

Ruiskubetonin ja kallion väliin asennettiin eniten vuotaviin kohtiin ruiskubetonisaloja (kuva 20). Ennen salaojan asennusta oli oltava varma, että salaoja mahdutaan asentamaan, eikä se pienennä liikaa tunnelin poikkipinta-alaa. Tällaisessa tilanteessa kohtaa kiilattiin ennen asennusta. Salaojitettavia olivat kohdat, joissa vesivuotoa tihkusi edelleen kalliosta jälki-injektoinnista huolimatta. Ne voidaan asentaa myös kohtiin, joissa tulevaisuudessa saattaa olla vesivuoto. Tällaisia ovat esimerkiksi selvät rakovyöhykkeet. Salaojituksella ehkäistään vesivuotoja, jotka tulisivat kovettumattoman ruiskubetonin läpi ja heikentäisivät sitä. [26, s. 18-20]

Asennus aloitettiin ennen ruiskubetonointia Suomenlinnasta Kaivopuistoa kohti. Asennusta tehtiin myös yövuorossa kiilauksen kanssa, samaan aikaan kun ruiskubetonointia jo tehtiin päivävuorossa. Asennuksen oli edelleen tapahduttava joutuisasti, niin että seuraavana päivänä ruiskutettavaksi suunniteltu kalliopinta oli salaojitettu.



Kuva 20. Esimerkki ruiskubetonisalojasta, jonka tarkoituksena on ohjata vuotovesi tunnelin tien tasolle asennettavaan salaojaan. [Rinkinen 2017, YIT]



Ruiskubetonoitavan pinnan oli oltava rusnattu, pesty, salaojitettu, sekä mahdollisesti kiihlytetty. Varustelut oli pudotettu rapattavalta pinnalta alas ja suojattu. Kunnallistekniikan suojauksessa testailtiin useita erilaisia vaihtoehtoja. Kaukolämpöputkien yksinkertainen muovitus niiden ympäri oli toimiva. Maantasolla olevia vesiputkia yritettiin suojata monella eri tavalla. Aurinkokatteita hyväksikäyttäen yritettiin saada ruiskubetonoinnin hukkamassa valumaan tielle, eikä putkien taakse, josta sitä oli vaikeampi kerätä pois. Tämä ei osoittautunut suotuisaksi, eikä myöskään putkien alle asetettuja suoja saatu helposti pois. Asia saatiin korjattua vasta, kun hukkamassa piikattiin pois vesiputkien takaa. Turhaa työtä saatiin myös kulumaan, kun ruiskutus suojausta aloitettiin tekemään jo hyvissä ajoin ennen poraus työtä. Suojaukset eivät meinanneet millään pysyä paikoillaan, vaan niitä korjailtiin ja aseteltiin uudestaan.

Tunnelin pienen koon vuoksi, sinne mahtui vain yksi yrityksen ruiskurobo. Käsinruiskutus olisi myös ollut mahdollista, mutta huomattavasti raskaampaa ja hitaampaa. Ruiskutus tapahtui Suomenlinnasta Kaivopuistoon, koska raitisilmahuuhallin puhalsi Kaivopuistosta Suomenlinnaa kohti. Ruiskutusta varten tunneliin vedettiin oma sähköistys, ja vykkiä siirrettiin ruiskutuksen edetessä kohti Kaivopuistoa. Suojauksien siirtäminen, pudotettujen varusteluiden nostaminen, sekä tekniikan suojaus oli yövuoron tehtäviä (kuva 21).



Kuva 21. Suojaukset ruiskubetonointia varten. [Rinkinen, 2017, YIT]

Kaukolämpöputkien takana oleva kalliopinta ruiskutettiin vain suunnittelijoiden kartoittamista paikoista joko kalliolaadun tai asennetun salaojan johdosta. Tämä ruiskutus tapahtui käsin tehtävänä kuivaruiskutuksena. Jos koko matkalta olisi putkien takaa ruiskutettu, olisi se venyttänyt aikataulua. Kuivaruiskutuksella myös suoritettiin korjausruiskutuksia märkäruiskutusalueilla, joissa esimerkiksi betoni oli tipahtanut tai salaojaverkkoa kuului läpi.



Kuva 22. Normetin betonin kuljetusauto. [Rinkinen, 2017, YIT]

Normetin betonin kuljetusautolla (kuva 22) kuljetettiin betonimassa tunnelissa odottavan ruiskurobo luokse. Ajoneuvo oli käytännöllisempi, kuin betonijassikka, koska ajoneuvon kanssa ei tapahtunut massan ylläikkymistä.

#### 4.4.9 Pohjatyöt

Ruiskubetonoinnin jälkeen pohjatyöt alkoivat hukkamassan poistolla vanhan asfaltin pinnalta. Avo-ojasta poistettiin hukkamassat ja muu kulkeutunut maa-aines. Tarkoituksena oli saada vesi kulkemaan piilossa, joten ojaa rammeroititiin ja kiilattiin tarpeen mukaan, jotta salaojaputki saatiin mahdutettua kulkemaan salaojasepeli kerroksen alle. Vuotokohdissa, sekä kohdissa joissa oli ruiskubetonisalaoja asennettu kaukolämpöputken taakse, asennettiin tien ali kulkemaan poikkisalaoja. Asfalttia sahattiin ja maa-ainesta poistettiin, jotta salaojan asentaminen oli mahdollista. Haasteena oli saada kapeassa tunnelissa samanaikaiset työvaiheet sujumaan mutkattomasti, koska tunnelissa oli aloitettu talotekniikan uusiminen. Salaojitus työn pääpaino oli yövuoroissa, jolloin ajoradan avaaminen ja salaojasepelin kuljetus pystyttiin hoitamaan sujuvasti, eikä eri työvaiheet olleet toistensa tiellä.

Pohjatöiden valmistuttua rouhittiin tunnelin vanhaa asfalttikerrosta noin 5 cm. Vanhaa asfalttia jätettiin osittain pohjalle. Rouhinta jaettiin tapahtuvaksi kahtena eri päivänä, jolloin rouhitun asfaltin määrä saatiin pysymään hallinnassa ja varmemmin kuljetettua pois. Ensimmäinen rouhinta, joka kattoi 900 metriä, tapahtui torstai-iltana, jonka jälkeen alkoi ympärivuorokauden kestänyt rouheen kuljetus pois tunnelista. Rouheet lastattiin pienellä kaivinkoneella kramerin kauhoihin ja ne oli ajettu sunnuntaihin mennessä. Seuraavan viikon torstaina rouhittiin loput 400 metriä. Koko tunnelin pituutta ei haluttu riskienhallinnallisista syistä rouhia samalla kertaa. Tämä jälkeen vedettiin uusi asfaltti tunneliin. Haasteena oli löytää sopiva kalusto, joka mahtui kulkemaan tunnelissa. Asfalttimassa kuljetettiin niin ikään jälleen kramerin kauhoilla levittemelle.



Kuva 23. Rouheen lastaus. [Rinkinen, 2017, YIT]

#### 4.4.10 Työnaikaisten varusteluiden purku

Erilaisista ruiskubetonointisuojausista huolimatta, oli hukkamassaa jonkin verran päätyntynyt maan tasolla olevien vesiputkien taakse. Kohdissa, joissa oli tarpeeksi tilaa työkennellä, tätä poistettiin piikkaamalla. Jatkoa ajatellen, olisi hyvä kehitellä toimivat suojaukset, jotta jälkikäteen hankalilta piikkauksilta vältyttäisiin. Työasennot eivät olleet ergonomisia, eikä kaikista paikoista massaa saatu poistettua. Massakasat ohjailevat vuotovesiä väärille urille, samaten paikka paikoin estävät veden löytämästä reittiä poikkisalaajalle.

Työnaikaisia varusteluita lähdettiin purkamaan asteittain. Työtä hankaloitti itse varusteluiden asennustapa. Kaapeleita ja vesilinjoja oli asennettua samoihin naruihin sekavasti, sekä linjat menivät solmuun. Tämä vaikeutti yksittäisen linjan purkua. Saadakseen yhden linjan alas, oli pudotettava useampi tai kaikki. Tämän jälkeen käyttöön jäävät linjat olivat asetettava takaisin varustelukoukkuihin. Huolellinen etukäteen suunnittelu helpottaa urakan päättämistä.

Ruiskubetonirobon kaapelit oli kelattu pois jo itse työvaiheen päättymisen jälkeen. Työmaasähköjen kaapelit käytiin läpi ja rikkonaiset tai jo paikatut kaapelit laitettiin romukeräykseen.

## 5 Johtopäätökset

Erytyspiirteiksi huoltotunnelin saneerauksessa nousivat esille tunnelin koko ja olemassa oleva kunnallistekniikka. Lisäksi havaittiin valmiin tunnelin varustelun suunnittelun ja toteutuksen vaativan erityistä huomiota, mutta tätä ei ole käsitelty tässä opinnäytetyössä, vaan sitä esitetään jatkotutkimusaiheeksi.

Tunnelin pieni koko määrittä käyttävän kaluston koon ja vaikutti aikatauluun. Pienessä tunnelissa täytyy ottaa huomioon tunnelin mahdollisesti yksisuuntainen liikenne ja tilan rajallisuus. Kaikkein tehokkaimmat ja samalla suuret koneet eivät mahdu tunneliin.

Koko ajan toiminnassa olevan kunnallistekniikan keskellä työskenneltäessä oli työturvallisuuteen kiinnitettävä erityisesti huomiota. Pienelläkin virheellä olisi voinut olla merkittäviä seurauksia. Mikäli kaukolämpöputket olisi otettu pois käytöstä, olisivat hankkeen kustannukset olleet merkittävästi suuremmat.

Työnaikaiset varustelut rakennettiin ennen rusnaamista, jolloin ne piti myös suojata sitä varten. Rusnaus suoritettiin purkutöiden jälkeen, jolloin mahdollisimman suuri osa kallioista oli työstettävissä. Jatkossa voitaisiin tarkemmin selvittää, voitaisiinko purkutyöt tehdä ilman varusteluja, jolloin varusteluiden suojaamista ei tarvittaisi. Näin ollen työvaihejärjestys olisi: purkutyöt, rusnaus, varustelu.

Pulttien määrän arviointiin olisi jatkossa kiinnitettävä huomiota hankintaa tehtäessä suunnitelmien perusteella. Pulttien toimitusajat ovat suhteellisen pitkiä, mikäli pultit täytyy käsitellä, joten alakanttiin tehty arvio saattaa vaikuttaa aikatauluun huomattavasti.

Työvaiheiden käytännön suunnittelu vaatii ennakkointia ja etukäteissuunnittelua. Tämän takia olisi tärkeää, että työnjohto saataisiin hankkeelle niin paljon etukäteen, että työjärjestykset ja eri tilanteissa sovellettavat vaihtoehtoratkaisut saataisiin suunniteltua huolellisesti. Jälkikäteen ajateltuna kovien kiilaaminen olisi ollut kätevää tehdä samaan aikaan pultin reikien poraamisen kanssa. Tutkittavassa hankkeessa se ei kuitenkaan ollut mahdollista, sillä kovia kohtia ei pystytty määrittämään alkuperäisen skannauksen pohjalta, vaan talotekniikan purun jälkeen skannaus jouduttiin toistamaan tarkemman mittaustuloksen saamiseksi. Myös salaojituksen aloitus mahdollisimman pian injektoinnin jälkeen valmiille lohkolle kannattaa pitää mielessä.

Tämän työn tuloksena syntyi selvitys, mitä työvaiheita kalliorakentamisen saneerauskoh-  
teessa tulee vastaan sekä mihin haasteisiin on hyvä varautua seuraavassa kohteessa.

## 6 Jatkotutkimusaiheet

Opinnäytetyön pohjalta esitän seuraavia jatkotutkimusaiheita. Tässä työssä keskityttiin vain Suomenlinnan huoltotunneliin ja saneeraustyössä esille tuleviin työvaiheisiin, joten työtehojen ja kustannusten vertailu, sekä ideat työtehojen maksimoimiseksi pienessä tunnelissa olisi seuraava vaihe. YIT on urakoinut myös Ilmalan huoltotunnelin saneerauksen, joten tässä kohteessa esille tulleitten haasteitten ja ratkaisujen vertailu Suomenlinnan huoltotunnelin peruskorjaukseen auttaisi pääsemään vieläkin parempiin tuloksiin.

Yhtenä haasteena esille noussut valmiin tunnelin varustelutyöt luovat jatkotutkimusaiheen valmistaa ohjeet, kuinka rakentaa hyvin ja tehokkaasti työnaikaiset varustelut.

Muuna jatkotutkimusaiheena olisi hyvä perehtyä radonin muodostumiseen ja sen vaikutuksista huoltotunneleissa työskentelyyn, sekä löytää teknisiä ratkaisuja radonpitoisuuksien vähentämiseksi.



## Lähteet

- 1 Räjätystyöt, Raimo Vuolio, Tommi Halonen, Tammerprint Oy, 2012, 2. painos
- 2 Haastattelu, Veli-Pekka Vanhanen, YIT Rakennus Oy, 6.3.2018
- 3 Ter-Mite tuotetiedot, verkkodokumentti, [http://www.ter-mite.fi/download/i/mark\\_dl/u/4006134322/4575373027/Ter-mite\\_k%C3%A4ytt%C3%B6ohje\\_SF\\_SV\\_16.pdf](http://www.ter-mite.fi/download/i/mark_dl/u/4006134322/4575373027/Ter-mite_k%C3%A4ytt%C3%B6ohje_SF_SV_16.pdf), luettu 11.3.2018
- 4 Finlex, lainsäädäntö, Ympäristönsuojelulaki, verkkodokumentti, <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527#Pidp452506256>, luettu 16.3.2018
- 5 Helsingin kaupunki, Meluilmoitukset, verkkodokumentti, <https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/ymparistonsuojelu/luvat-ja-ohjeet/melu/meluilmoitukset>, luettu 16.3.2018
- 6 Säteilyturvakeskus, Radon aiheuttaa keuhkosityöpää, verkkodokumentti, <http://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-aiheuttaa-keuhkosityopaa>, luettu 11.3.2018
- 7 Suomenlinnan kotisivut, Tunnelin peruskorjaus, verkkodokumentti, <https://www.suomenlinna.fi/suomenlinnanhoitokunta/hankkeet/tunnelin-peruskorjaus/>, luettu 19.3.2018
- 8 Haastattelu, Esa Koskinen, YIT Rakennus Oy, 20.3.2018
- 9 Haastattelut, Piri Harju ja Klaus Einsalo Pöyry Finland Oy, 22.3.2018
- 10 Suomenlinna tunnelin laajennus räjäyttämällä -tutkimus
- 11 Forcit Oy, verkkodokumentti, <http://forcit.fi/assets/sidebar-downloads/Forcit-tuoteluettelo.pdf>, luettu 3.4.2018
- 12 Forcit Oy, verkkodokumentti, <http://forcit.fi/assets/product-brochures/KEMIITTI-810-INFO-FI.pdf>, luettu 4.4.2018
- 13 Forcit Oy, verkkodokumentti, <http://forcit.fi/fi/explosives/tuotteet/show/12/kemiitti-810-emulsioraejaehdysaine>, luettu 4.4.2018
- 14 Esa Mäkinen, Jani Saxell, Maanalainen kaupunki, verkkodokumentti, <https://www.city.fi/ilmiot/maanalainen+kaupunki/318>, luettu 4.4.2018
- 15 Kalliorakentaminen Suomessa, Maanalaisten tilojen rakentamisyhdistys ry, Gummerus Oy, 1986

- 16 Kaivos- ja louhintatekniikka, Opetushallitus ja tekijät, Vammalan Kirjapaino Oy, 2011, 2. tarkistettu painos
- 17 Forcit Oy, verkkodokumentti, <http://forcit.fi/fi/explosives/tuotteet/show/6/kemix-and-kemix-a-putkipanokset>, luettu 5.4.2018
- 18 Forcit Oy, verkkodokumentti, <http://forcit.fi/assets/product-brochures/KEMIX-A-INFO-FI.pdf>, luettu 5.4.2018
- 19 Forcit Oy, verkkodokumentti, <http://forcit.fi/assets/product-brochures/FORPRIME-INFO-FI.pdf>, luettu 5.4.2018
- 20 Forcit Oy, verkkodokumentti, <http://forcit.fi/fi/explosives/tuotteet/show/9/anfo-ahti-anfo-pito-anfo-and-anfo-800>, luettu 5.4.2018
- 21 Forcit Oy, verkkodokumentti, <http://forcit.fi/assets/product-brochures/ANFO-INFO-FI2.pdf>, luettu 5.4.2018
- 22 Forcit Oy, verkkodokumentti, <https://www.forcit.fi/fi/explosives/tuotteet/show/1/f-putkipanokset>, luettu 5.4.2018
- 23 Forcit Oy, verkkodokumentti, <http://forcit.fi/assets/product-brochures/FORDYN-REDEX-INFO-FI2.pdf>, luettu 7.4.2018
- 24 Forcit Oy, verkkodokumentti, <http://forcit.fi/fi/explosives/tuotteet/show/8/redex-dynamiitti>, luettu 7.4.2018
- 25 Forcit Oy, verkkodokumentti, <http://forcit.fi/fi/explosives/tuotteet/show/3/fordyn-dynamiitti>, luettu 7.4.2018
- 26 Jouko Ritola, Jaakko Vuopio, Kalliotilojen vesitiiveyden hallinta, verkkodokumentti, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2147.pdf>, luettu 7.4.2018
- 27 Mapei Purgel tuotetieto, verkkodokumentti, [https://www.rttuotetieto.fi/pub/media/resources/44559\\_purgel-fi.pdf](https://www.rttuotetieto.fi/pub/media/resources/44559_purgel-fi.pdf), luettu 7.4.2018
- 28 BY 63 Ruiskubetoniohjeet 2015, Tammerprint Oy, 2015
- 29 RIL 154-2 Tunneli- ja kalliorakennus II, Otapaino, Espoo 1987
- 30 BY 53 Kalliotilojen injektointi 2006, Nykypaino Oy, Helsinki 2006