

Laatija Vesa-Matti Matikainen Mikko Nikkilä Samuli Korpi	Tarkastaja Kalle Hollmén	Hyväksyjä Vesa-Matti Matikainen
pvm. 30.6.2015	pvm. 30.6.2015	pvm. 30.6.2015

## **Tampereen Vesi**

### **Pirkanmaan keskuspuhdistamo**

#### **Osatehtävä 2**

#### **Siirto- ja purkulinjojen yleissuunnitelman tarkistus**

JAKELU (sähköinen): Ramboll Finland Oy / Kimmo Hell, Tampere Vesi, Pirkanmaan keskuspuhdistamohankkeen projektipankki

JAKELU (PAPERI): ark. / Saanio & Riekkola Oy, Tampereen Vesi

# **Tampereen Vesi**

## **Pirkanmaan keskuspuhdistamo**

### **Osatehtävä 2**

### **Siirto- ja purkulinjojen yleissuunnitelman tarkistus**

SAANIO & RIEKKOLA OY

Kesäkuu 2015

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	3
1.1	Lähtökohdat.....	3
1.2	Selvityksen organisaatio.....	3
2	Tunnelilinjaus ja kallioympäristö .....	4
2.1	Tunnelilinjausten tarkistus .....	4
2.2	Pystykuilujen ja kallioreikien tarkennukset .....	4
2.3	Tehdyt kalliotutkimukset yleissuunnitelman valmistumisen jälkeen .....	5
2.3.1	Porakonekairaus ja kallioalueiden vaaitus .....	5
2.3.2	Painovoimamittaukset.....	5
2.3.3	Kallionäytekairaukset .....	5
2.3.4	Kalliomekaaniset selvitykset .....	6
2.3.5	Keskeiset tulokset .....	6
2.4	Yksityiskohtainen jatkotutkimusohjelma.....	8
2.4.1	Kalliopinnan korkeusaseman varmistus porakonekairauksin.....	8
2.5	Olemassa olevat kalliotilat ja maalämpökaivot.....	8
3	Kalliorakentamisen toteutus .....	9
3.1	Louhinta .....	9
3.2	Lujitustarve.....	10
3.3	Tiivistystarve.....	10
3.4	Työmaajärjestelyt.....	11
4	Siirtotunnelin TATE-toteutus .....	12
4.1.1	Yleistä .....	12
4.1.2	Ilmanvaihto .....	12
4.1.3	Savunpoisto.....	13
4.1.4	Vuotovesijärjestelmät .....	14
4.1.5	Sähköjärjestelmä .....	14
4.1.6	Automaatiojärjestelmä .....	14
5	Louhinnan ympäristöhaitat ja niiden hallinta .....	15
5.1	Louhinnan ympäristöhaitat.....	15
5.1.1	Tärinä .....	15
5.1.2	Melu .....	15
5.1.3	Pöly .....	15
5.1.4	Arseeni .....	15
5.1.5	Pohjavesi ja maaperän painuminen.....	16
5.1.6	Kalliomekaniikka.....	16
5.2	Ympäristöhaittojen hallinta .....	16
5.2.1	Tärinä .....	16
5.2.2	Melu .....	17
5.2.3	Pöly .....	17
5.2.4	Arseeni .....	17
5.2.5	Pohjavesiseuranta.....	17
5.2.6	Painumaseuranta .....	18
5.2.7	Kalliomekaaninen seuranta.....	18
6	Louhinta- ja lujitustöiden kesto .....	19
7	Kalliotunneleiden investointikustannukset .....	20
7.1	Kustannusten laskentaperusteet.....	20
7.2	Investointikustannukset.....	20
	Liitteet.....	20

# 1 JOHDANTO

## 1.1 LÄHTÖKOHDAT

Tässä raportissa käydään läpi Pirkanmaan keskuspuhdistamon siirto- ja purkulinjojen kallio-tunneliosuuksien tarkennetut suunnitteluratkaisut yleissuunnitelman tarkistusta varten. Työ on tehty yhteistyönä Ramboll Finland Oy:n kanssa. Työn tilaajana toimii Tampereen Vesi.

Raportissa on esitetty siirto- ja purkutunneleiden kalliotunneliosuuksien alustavat kalliorakennussuunnitelmat, tunneleiden rakennusaikataulu ja kustannusarvio. Lisäksi raportissa on esitelty siirtotunnelin alustavat talotekniset suunnitelmat. Suunnitteluratkaisussa kallio puhdistamo sijaitsee Sulkavuorella ja purkupiste Pyhäjärvässä.

Tämän raportin lisäksi osatehtävän 2 yleissuunnitelman tarkistuksesta on valmistunut Ramboll Finland Oy:n laatima osaraportti ”Pirkanmaan keskuspuhdistamon yleissuunnitelma, Sulkavuoren sijoituspaikka. Osatehtävä 2. Pää- ja purkulinjojen yleissuunnitelman tarkistus” (30.6.2015). Ramboll Finland Oy:n osaraporttiin liittyy yksityiskohtainen pohjatutkimusten jatkotutkimusohjelma, joka sisältää myös tunnelilinjausten toteutussuunnittelua varten tehtävät jatkotutkimukset. Osaraportissa esitetään myös tunneleihin sijoitettavien viemäriputkien suunnitelmat.

Pirkanmaan keskuspuhdistamon siirto- ja purkutunneleista on aiemmin valmistuneet yleissuunnitelmat ”Pirkanmaan keskuspuhdistamon yleissuunnitelma, Sulkavuoren sijoituspaikka. Osatehtävä 2. Pää- ja purkulinjojen yleissuunnitelman tarkastelu” (Ramboll Finland Oy, 17.12.2010) ja ”Pirkanmaan keskuspuhdistamo, Yleissuunnitelman täydennys Sulkavuoren sijoitusvaihtoehdon osalta, Osatehtävä 2: pää- ja purkulinjojen yleissuunnitelma” (Saanio & Riekkola Oy, 28.2.2011). Siirto ja purkutunnelilinjauksia on käsitelty myös ympäristövaikutusten arviointiselostuksessa (Ramboll Finland Oy, 29.11.2012). Lisäksi siirto- ja purkutunneleista on valmistunut väliraportti ”Päälinjan Viinikanlahti-Vihilahti-Sulkavuori vaihtoehtoiset jäteveden johtamisjärjestelyt” (Ramboll Finland Oy ja Saanio & Riekkola Oy, 7.4.2015). Nämä ovat toimineet tämän työn lähtötietoina.

## 1.2 SELVITYKSEN ORGANISAATIO

Tässä raportissa esitetyn sisällön tuottamiseen ovat osallistuneet Saanio & Riekkola Oy:stä:

- Vesa-Matti Matikainen, vastaava kalliorakennussuunnittelija
- Kalle Hollmén, kalliorakennussuunnittelu
- Mikko Nikkilä, geologia ja ympäristövaikutukset
- Kari Äikäs, kalliorakennussuunnittelu, tekninen laadunvarmistus
- Annika Alatalo, suunnitelmapiiirustusten laadinta
- Matti Kokko, kustannus- ja aikataululaskenta
- Samuli Korpi, TATE-suunnittelu.
- Mira Muhonen, TATE-suunnittelu

## **2 TUNNELILINJAUS JA KALLIOYMPÄRISTÖ**

### **2.1 TUNNELILINJAUSTEN TARKISTUS**

Siirto- ja purkutunneleissa on lähtökohtana käytetty yleissuunnitelman mukaisia linjauksia. Yleissuunnitelman laatimisen jälkeen alueella on tehty tarkentavia pohjatutkimuksia, joiden perusteella tunneleiden linjauksia ja korkeusasemia on tarkennettu. Lisäksi tunneleiden pystykuilujen sekä ajo- ja työtunneleiden sijainteja on tarkennettu. Merkittävin muutos yleissuunnitelmaan verrattuna on siirtotunnelilinjauksella, missä tulopumppaamon tasoa on saatu uusilla suunnitteluratkaisuilla nostettua 19 metriä. Purkutunnelilinjauksella merkittävin muutos on Vihilahdella ajotunnelin muuttaminen pystykuiluksi. Tällä säästetään kaivantotöiden tekoa ympäristöltään herkällä Vihilahden alueella.

Siirtotunnelilinjauksista on esitetty kaksi vaihtoehtoista linjausta. Vaihtoehdossa 1 (VE1) siirtotunnelilinjaus toteutetaan kalliotunnelilla Viinikanlahden ja Sulkavuoren välillä. Viinikanlahden ja Vihiojan välisellä tunneliosuudella jätevesi johdetaan sukellusviemäriputkissa. Sukellusviemäriin periaate on esitelty Ramboll Finland Oy:n yleissuunnitelman tarkistuksessa. Vihiojan ja Sulkavuoren välinen tunneliosuus toimii viettoviemäriperiaatteella. Vaihtoehdon 1 mukainen siirtotunnelilinjaus on esitetty piirustuksessa KAT 1372-2001 ja sen korkeusasema pituusleikkauksessa KAT 1372-2201.

Siirtotunnelilinjauksen vaihtoehdossa 2 (VE2) tunnelilinjaus toteutetaan kalliotunnelina Vihiojan ja Sulkavuoren välillä. Tämän vaihtoehdon Viinikanlahden ja Vihiojan välisen osuuden toteutus on esitetty Ramboll Finland Oy:n yleissuunnitelman tarkistuksessa. Vihiojan ja Sulkavuoren välinen tunneliosuus toimii viettoviemäriperiaatteella. Vaihtoehdon 2 mukainen siirtotunnelilinjaus on esitetty piirustuksessa KAT 1372-2002 ja korkeusasema pituusleikkauksessa KAT 1372-2202.

Puhdistettujen jätevesien purkutunnelin linjaus on esitetty piirustuksissa KAT 1372-2001 ja KAT 1372-2002 sekä korkeusasema pituusleikkauksessa KAT 1372-2203. Purkutunnelin linjaus mukailee yleissuunnitelmassa esitettyä linjausta. Purkutunnelin työtunnelin sijaintia on muutettu ja Vihilahden pään ajotunneli on muutettu pystykuiluksi.

Vihilahden ajotunnelin suuaukon sijaintia on muutettu yleissuunnitelmassa esitettyyn verrattuna siten, että suuaukon tulvakynnys on nostettu tasolle + 78. Suuaukko sijaitsee Pyhäjärven välittömässä läheisyydessä, joten suuaukon taso on nostettu Pyhäjärven tulvatason yläpuolelle. Ajotunnelin kautta on mahdollista rakentaa myös Tampereen sähkölaitoksen lämpöpumppulaitos. VE1:n ajotunnelilinjaus on esitetty piirustuksessa KAT 1372-2003 ja korkeusasema pituusleikkauksessa KAT 1372-2204. VE2:n ajotunnelilinjaus eroaa VE1:n linjauksesta Vihiojan pystykuilun kohdalla. Korkeusasemaltaan vaihtoehtojen ajotunnelilinjaukset ovat samat.

### **2.2 PYSTYKUILUJEN JA KALLIOREIKIEN TARKENNUKSET**

Jätevesien siirtotunnelin Viinikanlahden pystykuilun sijaintia on tarkennettu siten, että sen sijainnilla pystytään minimoimaan teknisesti haastava ja kallis viettoviemäriosuus nykyiseltä siirtoviemäriinjalta pystykuilulle. Viemäriyhteyden lisäksi pystykuilu toimii siirtoviemäriin sukellusviemäriosuuden hätäpoistumistienä sekä ilmanvaihto- ja savunpoistoyhteytenä. Pystykuilun yläpään tarvitaan pieni rakennus, jossa on ilmanvaihto- ja savunpoistoritilät sekä hätäpoistumisovi.

Vihiojan pystykuilu toimii sukellusviemäri- ja viettoviemäriolosuhteiden ilmanvaihtoyhteytenä sekä sukellusviemäriolosuhteiden hätäpoistumistienä ja savunpoistoyhteytenä. Pystykuilun yläpäähän tarvitaan pieni rakennus, jossa on ilmanvaihto- ja savunpoistoritilät sekä hätäpoistumisovi. Vaihtoehtoisesti myös Vihilahden ajotunneli voi toimia sukellusviemäritunneliosuuden hätäpoistumistienä, mutta silloin ajotunneli pitää varustaa ylipaineistetulla osastoinnilla.

Puhdistettujen jätevesien purkutunnelin Vihilahden kuilun kautta ohjataan puhdistettu jätevesi purkupuutteen. Pystykuilua voidaan myös tarvittaessa käyttää huoltoyhteytenä, jos purkutunnelia tarvitsee sen käyttöänsä aikana huoltaa. Pystykuilun alapäässä on syvennys, josta purkutunneliin kertyvä kiintoaines voidaan pumpata siirrettävien pumppujen avulla.

Siirtoviemäritunneliin on suunniteltu myös kaksi maanpinnalta tehtävää kallioreikää, joiden kautta ohjataan siirtoviemäriinjat siirtotunneliin. Kallioreikillä voidaan säästää merkittävästi putkilinjojen pituuksissa. Kallioreikien tarvittava halkaisija on noin 800 mm. Reikien kokoa ja sijaintia tullaan tarkentamaan toteutussuunnitteluvaiheessa.

## **2.3 TEHDYT KALLIOTUTKIMUKSET YLEISSUUNNITELMAN VALMISTUMISEN JÄLKEEN**

### **2.3.1 Porakonekairaus ja kallioalueiden vaaitus**

Kalliopinnan aseman selvittämiseksi on alueella suoritettu porakonekairauksia. Lisäksi Sulkavuoren ja Vihiojan alueilla tehtiin avokallioalueiden vaaituksia. Porakonekairauksia tehtiin yleissuunnitelmavaiheessa käytössä olleiden tulosten tarkentamiseksi kaikkiaan 81 kappaletta, joissa neljässä suoritettiin lisäksi puristinheijarikairaus.

### **2.3.2 Painovoimamittaukset**

Suunnitelluille tunnelilinjauksille toteutettiin painovoimamittausohjelma toukokuussa 2015. Siirto- ja purkutunnelilinjaukset sijaitsevat tiheästi rakennetulla alueella, joten pohjatutkimuskairauksen teko on hankalaa rakennusten, katujen ja kunnallisteknisten linjojen rajoittamiseksi tutkimuksia. Painovoimamittausten perusteella saatiin arvio kallioalueiden korkeustasoista tunnelilinjauksilla ja niiden perusteella on täsmennetty jatkotutkimuksia niille alueille, jossa kallionpinta on lähinnä tunnelitasoja.

### **2.3.3 Kallionäytekairaukset**

Alueen kalliolaatua ja mahdollisten rikkonaisuusvyöhykkeiden sijaintia sekä ominaisuuksia on selvitetty kaikkiaan neljällä kallionäytekairauksella (SK2101...SK2104). Lisäksi tietoa on saatu myös jännitystilamittauspisteen JTM-2105 kairauksesta. Kairaukset SK2101...SK2103 ja JTM-2105 sijoittuvat keskuspuhdistamon alueelle Sulkavuoreen ja kairaus SK2104 suunniteltiin lävistämään GTK:n lineamenttitulkinnan ja kallionpinnan topografian perusteella oletettu nk. Vihiojan rikkonaisuusvyöhyke.

Kairasydännäytteistä tehtiin rakennusgeologinen raportointi ja kaikki kairareitit kuvattiin reikäkuvauslaitteistolla. Lisäksi kaikissa kairareitissä suoritettiin kallion vedenjohtavuutta selvittävät vesimenekikokeet.

Kalliopohjaveden laatua selvitetiin kairarei'istä otettujen vesinäytteiden kenttä- ja laboratoriokokeilla, tarkoituksena selvittää kalliopohjaveden vaikutus kallion mekaanisten lujitusrakteiden käyttöikään ja arvioida lähialueen entisen kaatopaikan haitta-aineiden kulkeutumista kalliopohjaveteen.

### 2.3.4 Kalliomekaaniset selvitykset

Kallioperässä olevien vaakajännitysten suuntia selvitetiin jännitystilamittausreiästä JTM-2105 hydraulisen murtamisen menetelmällä. Kairareiässä tehdyistä kymmenestä mittauksesta saatiin kahdeksasta jännitystilan paine- ja suuntakuvaaja. JTM-2105 sijaitsee Sulkavuorella, mutta sen voidaan olettaa kuvaavan myös tunnelilinjoilla vallitsevan jännityskentän suuruutta ja suuntaa.

Kiven kalliomekaanisia ominaisuuksia selvitetiin laboratoriokokeilla. Kairausten SK-2101...SK2104 kairasydännäytteistä valittiin kivilajiyksiköitä ja läpäistyjä rikkonaisuusvyöhykkeitä hyvin kuvaavia kivilajityytteitä, joissa määritettiin kivilaji, raekoko, rapautuneisuus sekä liuskeisuus ja sen kulma näytteen akseliin nähden. Laboratoriokokeissa määritettiin yksiaksiaalinen puristusmurtolujuus, kiven kimmokerroin ja Poissonin-luku, vetomurtolujuus ja tiheys.

### 2.3.5 Keskeiset tulokset

Sulkavuoren avokallioalueelta kalliopinta laskee nopeasti kohti pohjoista n. tasolle + 90, mutta sen jälkeen kalliopinta tasaantuu ja se laskee loivasti pohjoiseen päin mentäessä ja ainoa selvä painauma kalliopinnassa on Vihiojan kohdalla, jossa syvimmat kohdat ovat tasolla +40–45. Alueella on vähän kalliopaljastumia ja kaupunkiympäristössä jää kalliopinnan selvityksiin paikoin aukkokohtia mm. rakennusten, teiden ja junaraiteiden kohdilta.

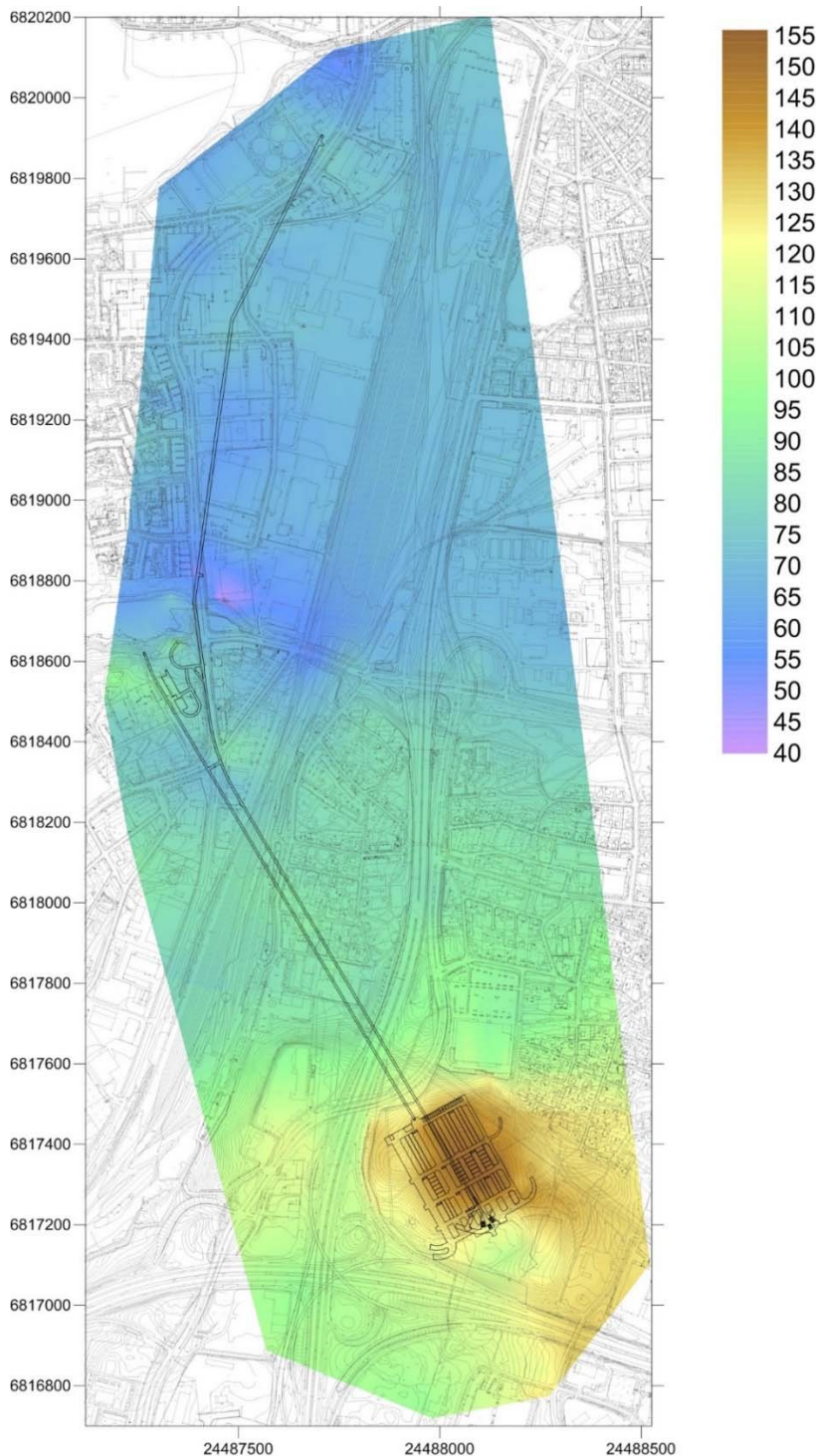
Vihiojan poikki tehdyllä kallionäytekairauksella SK-2104 läpäistiin lähes yhtenäinen murosrakenteinen (RiIII) rikkonaisuusvyöhyke kairausvälillä 60–66,55 m. Rikkonaisuusvyöhykkeen kohdalla kivi on paikoin hyvin rikkonaista ja kallio on laadultaan huonoa. Kairareiän perusteella rikkonaisuusvyöhykkeen lävistäminen normaalein kalliorakennusmenetelmän onnistuu. Yleisesti siirto- ja purkutunnelien alueella kallioperä koostuu liuskeisesta sarvivälkekiillegneisseistä, seoksisista migmatiiteistä sekä muita kivilajeja leikkaavista graniittijuonista. Sulkavuorta lähestyttäessä pääkivilajiksi muuttuu massiivinen granodioriitti. Kalliolaatu on alueella pääasiassa hyvä. Vesimenekikokeiden pohjalta vedenjohtavuus on kohtalaista ainoastaan rikkonaisuusvyöhykkeiden kohdilla ja muuten vedenjohtavuus on vähäistä. Granodioriitissa on pintarikkonaisuutta ja paikoin kallion pintaosissa on korkeita vesimenekkiarvoja, joita ei kuitenkaan tavata enää syvemmällä kalliossa. Rakotäytteitä esiintyy paikoin. Tyypillisimpiä rakotäytteitä ovat karbonaatit, sulfidit, savimineraalit ja kloriitti. Joissain raoissa esiintyy kloriitin muodostamia haarniskapintoja.

Jännitystilamittausten mukaan pääjännityksen suunta alueella on pyöristäen itä-länsi-suuntainen (90...110/270...290). Pääjännityksen suuruus vaihtelee suuresti mittaustuloksissa ja mittareissä suurin vaakajännitys keskittyy kairauksessa lävistettyyn ehyen kiven jaksoon (syvyysvälillä 20–30 m), missä mitattu pääjännityksen suuruus vaihtelee n. 10 – 15,5 MPa:n välillä. Mittareissä rakoilun määrä lisääntyy 30 m jälkeen vastaamaan alueen tyypillistä rakoilun määrää ja näiltä osin syvimältä tehty mittaus (31,3 m) voidaan olettaa vastaavan parhaiten tunnelin tasolla vallitsevia jännitystiloja. Syvimältä tehdyssä mittauksessa suurimman vaakajännityksen arvoksi saatiin 5,34 MPa ja suunnaksi 80...120/260...300. Nämä itä-länsi- tai itäkoillinen-länsiluode- suuntaiset tulokset vastaavat pitkälti P-Hämpin ja Rantatunnelin jännitystilamittaustuloksia vaakajännitysten suuntien ja suuruusluokkien suhteen.

Laboratorioanalyysien tulosten perusteella alueen kivien kalliomekaaniset ominaisuudet vastaavat kivilajien tyypillisiä arvoja Suomessa ja soveltuvat hyvin tunnelirakentamiseen.

Kairarei'istä tehtyjen kalliopohjaveden kemian analyysien perusteella ei ole tarvetta poikkeuksellisille materiaalivalinnoille suunnittelukäyttöön saavuttamiseksi kallion mekaanisissa lujitusrakenteissa.

Porakonekairausten, painovoimamittausten ja kalliopaljastumien vaaitusten perusteella arvioitu kalliopinnan korkeusasema siirto- ja purkutunnelilinjauksilla on esitetty kuvassa 1.



**Kuva 1.** Kalliopinnan korkeusasema siirto- ja purkulinjojen alueella.



## **2.4 YKSITYISKOHTAINEN JATKOTUTKIMUSOHJELMA**

Ennen toteutussuunnittelun alkamista tulee alueella tehdä täydentäviä kalliotutkimuksia, joilla varmistetaan tunneleiden ja pystykuilujen lopullinen sijainti.

### **2.4.1 Kalliopinnan korkeusaseman varmistus porakonekairauksin**

Alueelle laaditaan Ramboll Finland Oy:n toimesta lisätutkimusohjelma, joka täydentää olemassa olevaa tutkimustietoa. Tutkimusohjelma sisältää tunnelilinjauksiin liittyvät lisätutkimukset.

Jatkotutkimusohjelma suositetaan toteutettavan kahdessa vaiheessa alkusyksyn 2015 aikana siten, että ensimmäisessä vaiheessa selvitetään pohjatutkimuksin optimaalinen sijainti pystykuiluille ja Vihilahden ajotunnelille sekä toisessa vaiheessa täydennetään tutkimuspisteverkkoa tunnelilinjausten ja pystykuilujen kohdalla.

## **2.5 OLEMASSA OLEVAT KALLIOTILAT JA MAALÄMPÖKAIVOT**

Tampereen kaupungin tietokannoista selvitettiin yleissuunnitteluvaiheessa vuonna 2010 ja ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä vuonna 2013 tunnelilinjausten läheisyydessä olevat aiemmin rakennetut kalliotilat sekä maalämpö- ja porakaivot. Lisäksi helmikuussa 2015 Tampereen kaupungilta selvitettiin vielä ne kaivot ja kalliotilat, joihin on myönnetty lupa vuoden 2013 jälkeen. Niiden sijainnit on esitetty piirustuksessa KAT 1372-2811. Koska maalämpö- ja porakaivojen rakentaminen ei ole ennen vuotta 2011 ollut Tampereella toimenpideluvan alaista rakentamista, ei Tampereen kaupungin tietokannoista välttämättä löydy kaikkia alueelle rakennettuja maalämpökaivoja, jotka toteutusvaiheen alkaessa on syytä selvittää tarkemmin esim. asukaskyselyn avulla.

Tunnelilinjauksesta tulee informoida Tampereen kaupungin rakennusvalvontavirastoa, jotta linjaus voidaan huomioida mahdollisia uusia maalämpö- ja porakaivojen toimenpidelupia myönnettäessä.

### 3 KALLIORAKENTAMISEN TOTEUTUS

#### 3.1 LOUHINTA

Tunnelit ja kuilut louhitaan poraus-räjätys -menetelmää käyttäen, joka on skandinaavisessa kovassa kivessä kustannustehokkain kiven irrotusmenetelmä. Pystykuilut, joita tässä suunnittelutoimeksiannossa on suunniteltu yhteensä kolme kappaletta, louhitaan räjäyttämällä alhaalta ylöspäin, mutta poraus tapahtuu kalliopinnalta pitkäreikäporauksena ylhäältä alaspäin. Kallioreiät porataan maanpinnalta tunneliin päin.

Jäteveden siirto- ja purkutunnelin louhinta toteutetaan Vihilahden ajotunnelin kautta, jolloin louhinta voidaan suorittaa kustannustehokkaimmin moniperälouhintana. Myös siirtotunnelin Sulkavuoren päähän jäteveden tulopumppaamon alatasolle louhitaan ajotunneli, jota kautta louhintatöitä voidaan tehdä. Vaihtoehtoisesti tunnelit voidaan louhia myös pelkästään Sulkavuoren päästä, mutta se aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia ja kasvattaa tunneleiden kokonaisrakentamisaikaa. Louhe kuljetetaan ajotunnelien kautta läjityspaikoille.

Ajotunnelinsuuaukolla rakentaminen edellyttää pienimuotoista avolouhintaa. Tunnelilouhinnassa katkopituus on noin 4...5 metriä. On mahdollista, että rakennussuunnitteluvaiheessa tehtävässä katselmuksessa käy ilmi sellaisia yläpuolisia rakennuksia tai rakenteita, jotka voivat alueellisesti edellyttää käytettävän lyhyempää katkopituutta momentaanisen räjähdysainemäärän ( $Q_{mom}$ ) pienentämiseksi.

Ajotunnelissa muita louhittavia tunneleita suuremman louhintaprofiilin pinta-alan selittää sekä siirtotunnelin että purkutunnelin työnaikaisen ilmanvaihtoputkien tilantarve. Ajotunneliin tullaan mahdollisesti sijoittamaan Koivistonkylän suunnasta tuleva siirtoviemärilinja. Ajotunnelin suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon Tampereen sähkölaitoksen lämpöpumppulaitosvaraus. Lämpöpumppulaitoksen vaatiman varauksen louhiminen ajotunneliin kannattaa tehdä jo ajotunnelin louhinnan yhteydessä. Tunneleiden louhintaprofiilit on esitetty suunnitelmapiirustuksessa KAT 1372-2205.

**Taulukko 1.** Louhittavien tilojen dimensiot ja louhintatilavuudet.

Tila	Pituus <sup>(*)</sup> (m)	Louhintaprofiilin pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Louhintatilavuus (m <sup>3</sup> ktr)
Ajotunneli	128	37,3	4774
Jäteveden siirtotunneli, VE1 sukellusviemäri-osuus (**)	1387	35,3	48961
viertoviemäriosuus	1529	26,1	39907
Jäteveden siirtotunneli VE2	1531	26,1	39959
Purkutunneli	1344	24,9	33466
Työtunneli siirto- ja purkutunnelin välillä	32	37,3	1194
Viinikanlahden kuilu	19,7	24	473
Vihiojan kuilu	12,5	16	200
Tunneli Vihiojan kuilulle	43	26,1	1122
Vihilahden kuilu	14,8	24	355

Tunneleiden kokonaislouhintatilavuus siirtotunnelilinjausvaihtoehdolla 1: 130 452 m<sup>3</sup> ktr  
Tunneleiden kokonaislouhintatilavuus siirtotunnelilinjausvaihtoehdolla 2: 81 070 m<sup>3</sup> ktr

(\* esitetty kuilun pituus tarkoittaa sen kallio-osuuden pituutta

(\*\* pituuksissa ja tilavuuksissa ei ole otettu huomioon tulopumppaamon tiloja. Tulopumppaamo on esitetty osatehtävissä 1 ja 3.

Kokonaislouhintatilavuus vastaa siirtotunnelivaihtoehdolla VE1 noin 21700 kuljetuskertaa ja siirtotunnelivaihtoehdolla VE2 noin 13500 kuljetuskertaa louheenkuljetusajoneuvolla.

Tunnelilinjauksilla alitettava rata-alue ei aiheuta tunneleiden louhinnalle esteitä, mutta rakennussuunnittelussa ja toteutuksessa tulee huomioida liikenneviraston rautatieosaston ohjeet louhintatöistä rautatien läheisyydessä (Louhintatyöt rautatien läheisyydessä, Liikenneviraston ohjeita 23/2013)

### 3.2 LUJITUSTARVE

Tunneleiden holvi- ja seinäpinnat lujitetaan kallioon juotettavilla teräspulteilla. Lisäksi kalliopinta betonoidaan ruiskubetonilla pulttien välisten lohkojen sitomiseksi sekä estämään kalliopinnan rapautumista ja hienomman kiviaineksen putoamista. Ruiskubetoni vahvistetaan kuiduilla (teräs- tai polymeerikuidut). Alustavat tunneliprofiileiden lujitussuunnitelmat on esitetty suunnitelmapiirustuksessa KAT 1372-2501. Ruiskubetonin rasisluokat, kuitutyypit (polymeeri/teräs) ja teräspulttien pinnoitteet määritellään toteutussuunnitteluvaiheessa vastaamaan ympäristö- ja käyttöolosuhteita.

Kuilut lujitetaan teräspulteilla ja alustavasti noin 60 mm paksuisella ruiskubetonikerroksella, johon asennetaan keskitetysti teräsverkko.

### 3.3 TIIVISTYSTARVE

Siirto- ja purkutunneleita ympäröivä kalliomassa tiivistetään kalliotunneleista käsin esi-injektoimalla sementtipohjaisilla injektointimassoilla niillä alueilla, joissa tunnusteluporauksen yhteydessä tehdyissä vesimenekikokeissa havaitaan merkittäviä vesimenekkejä. Esi-injektionin aloituskriteeri määritetään rakennussuunnitteluvaiheessa rakennuttajan määrittelemän tiiveysluokan perusteella. Kuilut esi-injektoidaan systemaattisesti kuilujen lujitustöiden onnistumisen takaamiseksi sekä kalliotiloista että tunnelitiloista käsin. Purkutunnelin tiivistämisessä tulee ottaa huomioon lämpöpumppulaitoksen varaus Vihilahdella. Lämpöpumppulaitos tulee sijaitsemaan purkutunnelitason alapuolella ja selvästi purkutunnelissa vallitsevan vedenpainetason alapuolella, joten purkutunnelista veden virtaaminen lämpöpumppulaitokselle kalliorakojen pitkin tulee estää huolellisella esi-injektioinnilla.

Siirtotunnelin viettoviemäriolosuuden ja purkutunnelin toiminnallinen tiiveystarve ei edellytä by53/2006 mukaisen tiiveysluokituksen tiiveysluokkaa B tiukempaa tiiveysvaatimusta, sillä tunneleihin tapahtuva vähäinen pohjaveden virtaus ei häiritse puhdistusprosessia. Sen sijaan siirtotunnelin sukellusviemäriolosuus tulee tunneliin sijoitetuista putkista ja kaapeleista johtuen olla tiiveysluokkaa A. Lisäksi ympäristövaatimukset, kuten pohjaveden pinnan aleneman riski sekä mahdollisen arseenin kulkeutumisen riski (ks. 5.1.4 ja 5.2.4), asettavat tunnelitilojen tiiveystarpeelle hieman toiminnallisten tarpeiden vaatimuksia tiukemmat vaatimukset. Tästä johtuen ajo-, siirto- ja purkutunneleihin sekä kuiluihin suositeltava

by53/2006:n mukainen tiiveysluokka on A, jossa sallittu pohjaveden virtaus yksittäiseen tunneliin on noin 5 litraa minuutissa jokaista 100:a tunnelimetriä kohden.

Edellä esitettyjen periaatteiden mukaisesti tunneliprofiilin esi-injektointiviuhkassa on alustavasti noin 10 esi-injektointireikää, joiden pituus on 15...24 metriä ja ne limitetään noin 5 metriä, jolloin kalliomassaa on tarvittaessa tiivistetty aina vähintään yksi katko louhintaperää pidemmälle. Tiivistystöiden lopullinen laajuus tarkentuu täydentävien kalliotutkimusten perusteella ja tunnustelurei'istä saatavien tietojen perusteella.

Purkutunneliin mahdollisesti tihkuva pohjavesi kulkeutuu puhdistetun jäteveden mukana Pyhäjärveen ja siirtotunneliin mahdollisesti tihkuva pohjavesi kulkeutuu jäteveden mukana puhdistusprosessiin. Siirtotunnelivaihtoehdon 1 sukellusviemäriosuudella tunneliin valuva pohjavesi pumpataan tunnelin syvimmästä pisteestä maanpinnalle hulevesiviemäriin Vihiojan pystykuilun kautta. Tunnelin syvimpään pisteeseen rakennetaan vuotovesipumppaamo, jonka koossa varaudutaan siihen, että tunneli ei tulvi, vaikka pumppaamolta ei pumppattaisi vuotovettä pois kahteen vuorokauteen.

### **3.4 TYÖMAAJÄRJESTELYT**

Ajotunnelin suuaukon läheisyyteen tulee varata tila louhintatyömaan tukialuetta varten, jonka tilantarve on noin 1500 m<sup>2</sup>. Tukialueille sijoitetaan mm. työmaan väliaikainen toimistorakennus, sosiaalitilat, varasto- ja korjaamotiloja sekä pysäköinti. Tukialueen sijoituspaikka selvitetään toteutussuunnitteluvaiheessa.

Tunneleiden rakennusaikaiset työ- ja vuotovedet pumpataan maanpinnalle ajotunneleiden kautta, josta ne johdetaan kiintoaines ja öljy erikseen eroteltuina kaupungin viemäriverkostoon.

## 4 SIIRTOTUNNELIN TATE-TOTEUTUS

### 4.1.1 Yleistä

Siirtotunnelin talotekniikka-asennukset tehdään siten, että tunnelin laitteet ja rakenteet saavuttavat niille asetetut käyttöikävaatimukset.

Töissä noudatetaan soveltuvilta osin talotekniikan rakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia (Talotekniikka RYL 2002), rakentamismääräyskokoelmaa D1/2007 (Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot) ja D2/2012 (Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto).

Nimikkeistö:

- sukellusviemäriosuus => tunneli, jossa jätevesiviemärit kulkevat kalliotunnelissa
- viettoviemäriosuus => tunneli, jossa jätevedet kulkevat kalliotunnelissa

Sukellusviemäri- ja viettoviemäritunneli erotetaan muista liittyvistä tunneleista (mm. ajotunneli, lämpöpumppulaitos) paineseinärakenteilla mahdollisen putkirikon tai rakennevuodon varalta. Paineseinien ovet liitetään kulunvalvontajärjestelmään (hälytystiedot).

Tunnelin rakenteet ja kuivatukset pyritään tekemään niin, että tunneli on kauttaaltaan mahdollisimman kuiva (mm. ei seisovaa vettä, ei valuvia vesipintoja).

### 4.1.2 Ilmanvaihto

Tunnelit varustetaan koneellisilla tulo- ja poistoilmanvaihtolaitteistoilla. Ilmanvaihdossa ei käytetä lämmöntalteenottoa eikä suodatusta (ks. kuva 1).

Sukellusviemäritunnelin ilmanvaihto toteutetaan tarpeenmukaisena ilmanvaihtona, jossa ohjaavana parametrina käytetään tunnelin radonpitoisuutta. Radonpitoisuus ei saa ylittää arvoa  $400 \text{ Bq/m}^3$  työskentelypisteessä huoltotoiminnan aikana. Muuna aikana sukellusviemäri- osuuden tunnelissa käytetään minimi-ilmanvaihtoa (tulo- ja poistoilma  $\pm 400 \text{ dm}^3/\text{s}$ ). Tunnelin radonpitoisuutta, lämpötilaa ja kosteutta seurataan automaatiojärjestelmän avulla.

Ilmaa johdetaan sukellusviemäri- osuuden tunneliin Viinikanlahden kuilusta ja poistetaan Vihiojan kuilun kautta maanpinnalle.

Viettoviemäritunnelin ilmanvaihto toteutetaan tarpeenmukaisena ilmanvaihtona, jossa ohjaavina parametreina käytetään ilmavirran suuntaa, tunnelin painesuhteita sekä tunnelin sisäilman laadun olosuhteita (mm. rikkivetykaasu).

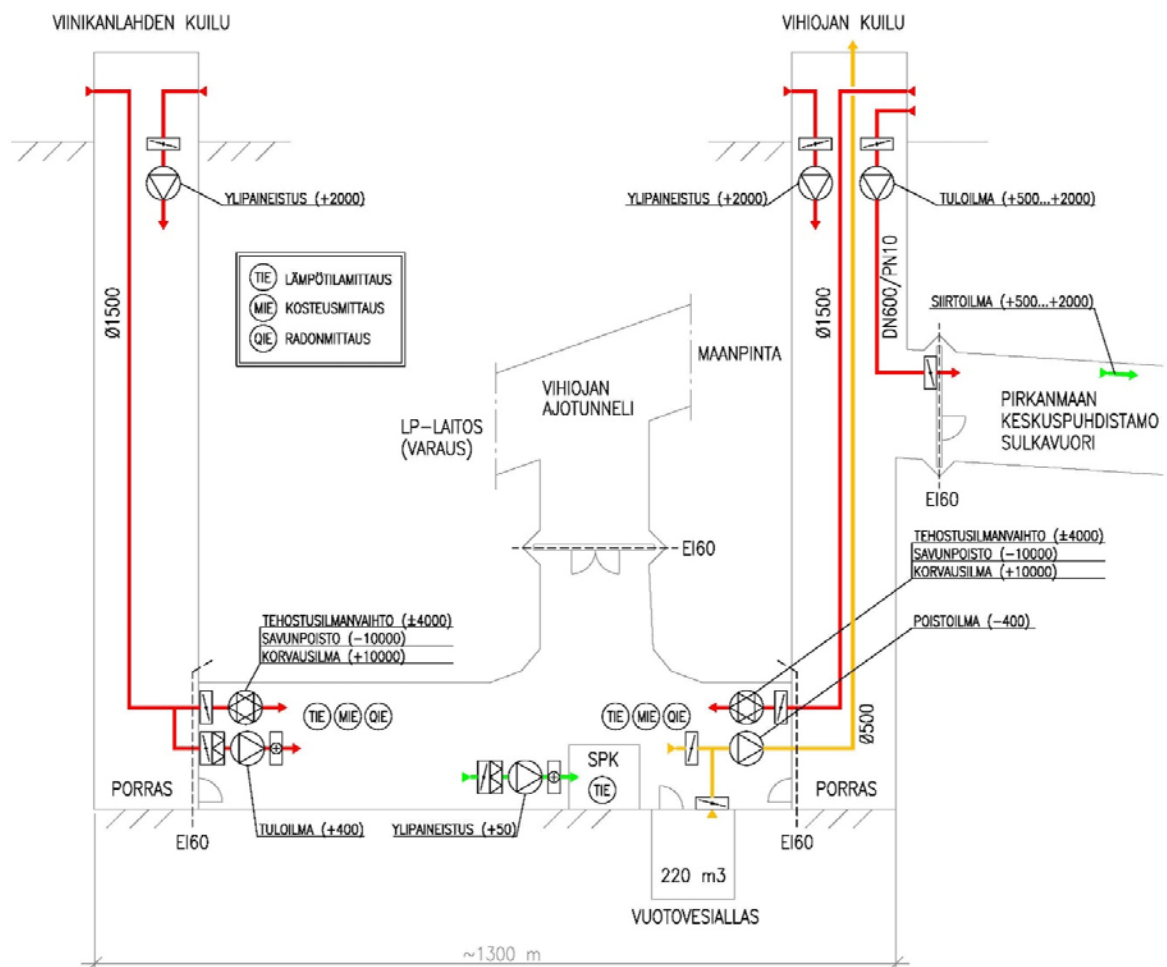
Ilmaa johdetaan viettoviemäri- osuuden tunneliin Vihiojan kuilun kautta maanpinnalta. Tunnelin jäteilma johdetaan Pirkanmaan keskuspuhdistamon poistoilmanvaihtojärjestelmään. Viettoviemäri- osuuden ilmamäärä huomioidaan laitoksen ilmanvaihtolaitteiden mitoituksessa ja mahdollisessa ympäristön päästöjen mallintamisessa.

Tunneleiden mahdollisesti aiheuttama hajuhaitta ympäristöön minimoidaan käyttämällä erillistä poistopiippua tai vaihtoehtoisesti hajujen suodatusta. Lähtökohtaisesti sukellusviemäri- osuuden tunnelissa ei ole hajuhaittoja ja viettoviemäri- osuuden tunnelin haiseva ilma ohjataan jätevedenpuhdistamolle (ilman mahdollinen käsittely ja johtaminen ulkoilmaan hoidetaan laitoksella). Ilmanvaihtolaitteet eivät saa normaalikäytössä ylittää ympäristön meluarvoja. Maksimi äänenvoimakkuus 10 m:n päässä on 50 dB(A).

Viettoviemäritunnelin kallioreikien kautta johdettavien jätevesien vaikutus tunnelin ilmanvaihtoon (painesuhteisiin) tarkastellaan putkistosuunnittelijan toimesta erikseen. Pystyputki pyritään asentamaan siten, että se ei tuo tunneliin ilmaa eikä vaurioita purkupisteen läheisyydessä olevia rakenteita.

Alustavat ilmanvaihdon ilmamäärät:

- sukellusviemäriolosuus  $\pm 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$  (minimi ilmanvaihto)
- sukellusviemäriolosuus  $\pm 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$  (tehostusilmanvaihto)
- viettoviemäriolosuus  $\pm 0,5 \dots +2,0 \text{ m}^3/\text{s}$  (poistoilma laitokselle)



Kuva 2. Ilmanvaihdon ja savunpoiston yleiskaavio

#### 4.1.3 Savunpoisto

Sukellusviemäriolosuuden tunneli varustetaan koneellisella savunpoistolaitteistolla. Tunnelin savunpoistopuhaltimet sijaitsevat tunnelin päissä ja toimivat myös tarvittaessa savunpoiston korvausilmapuhaltimina (kaksisuuntainen käyttö).

Siirtotunnelin pystykuilun hätäpoistumisporras varustetaan ylipaine puhaltimella, jolla porras ylipaineistetaan savunpoistotilanteessa. Portaan ylipaineistus toimii automaattisesti paloilmaitokeskuksen ohjaamana. Korvausilma siirtotunneliin tuodaan palokunnan toimesta Vihilahden ajotunnelin tai maanpinnalle ulottuvien kuilujen kautta.

Savunpoisto toimii palokunnan ohjaamana erillisestä savunpoiston ohjauskeskuksesta, joka sijoitetaan pelastuslaitoksen hyökkäysreitinvarteen (alustavasti Vihiojan kuiluun).

Alustavat savunpoiston ja ylipaineistuksen ilmamäärät:

- savunpoisto / korvausilma Viinikanlahden kuilu  $\pm 10 \text{ m}^3/\text{s}$
- savunpoisto / korvausilma Vihiojan kuilu  $\pm 10 \text{ m}^3/\text{s}$
- hätäpoistumisportaan ylipaineistus  $+ 2 \text{ m}^3/\text{s}$

Savunpoistopuhaltimet varustetaan taajuusmuuttajakäyttöillä ja niitä käytetään myös tarvittaessa tehostusilmanvaihdon puhaltimina.

#### 4.1.4 Vuotovesijärjestelmät

Tunneleiden alapohjarakenteeseen asennetaan salaojakerros ja kuivatusputkistot tarkistus-kaivoineen, joilla tunneleiden kuivatusvedet johdetaan tunnelin Vihiojan kuilun läheisyyteen sijoitettavaan vuotovesialtaaseen. Vuotovesiallas mitoitetaan 48 tunnin varoajalle (esim. sähkökatkos, pumppaamon tai paineviemärin rikkoutuminen) ja se on tilavuudeltaan n.  $220 \text{ m}^3$ .

Kuivatusvesi pumpataan maanpinnalle kunnalliseen sadevesiviemäriin Vihiojan kuilun kautta. Kuivatusvesipumput mitoitetaan vuorottelukäytölle ja pumppujen ohjauskeskus liitetään automaatiojärjestelmään (hälytykset, vika, huolto). Vuotovesiallas erotetaan muusta tunnelista ilmatiiviillä seinällä ja allastila alipaineistetaan ilmanvaihdon avulla (vesipinnasta haihtuvan radonin poisto).

Alustava vuotovesipumppujen virtaama:

- kokonaisvirtaama  $1,26 \text{ dm}^3/\text{s}$  (tunnelin vuoto:  $5 \text{ dm}^3/\text{min}/100 \text{ m}$ , 1515 m)

#### 4.1.5 Sähköjärjestelmä

Tunneliin asennetaan tarvittavat sähköjärjestelmät mm. valaistusta, ilmanvaihtoa, pumppaamoita, kulunvalvontaa, ilmanlaadunvalvontaa ja käyttö sähköä varten. Tarvittavat paloilmoinjärjestelmät valitaan kohteeseen soveltuvina ratkaisuina. Sähkönsyöttö savunpoistolaitteistolle pyritään tekemään kahdesta eri muuntopiiristä. Jos se ei ole teknisesti mahdollista, tehdään sähkönsyötönvarmennus käyttämällä palokunnan syöttöpistoketta, joka sijoitetaan savunpoiston ohjauslaitteen läheisyyteen. Sähkö- ja automaatiolaitteet sijoitetaan erilliseen lämmitettyyn ja ylipaineistettuun sähkötilaan (n.  $6 \text{ m}^2$ ), joka sijaitsee vuotovesipumppaamon läheisyydessä.

#### 4.1.6 Automaatiojärjestelmä

Tunneliin asennetaan automaatiojärjestelmä, josta saadaan tunnelin LVIS-järjestelmien hälytystiedot kaukohälytyslaitteen välityksellä tunnelin huollosta vastaavalle taholle. Automaatiojärjestelmään liitetään mm. vuotovesipumppaus, kuluvalvonta ja paloilmoinjärjestelmä. Automaatiojärjestelmä varustetaan varasähkölaitteella (akku) niin, että hälytykset toimivat 2 tuntia kestävän sähkökatkoksen ajan. Automaatiojärjestelmät sijoitetaan sähkötilaan.

## 5 LOUHINNAN YMPÄRISTÖHAITAT JA NIIDEN HALLINTA

Kalliotilojen rakentaminen aiheuttaa ympäristöön sekä rakentamisen aikaisia että käytön aikaisia vaikutuksia. Ihmisten kannalta helpoimmin havaittavia vaikutuksia ovat itse louhinta- ja räjäytystöihin liittyvät vaikutukset melu, värinä, ilmanpainevaihtelut, räjähdyskaasut sekä louheen lastauksesta ja kuljetuksesta syntyvä melu- ja pölyhaitta sekä pakokaasut. Mittauksin havaittavia vaikutuksia ovat kalliomekaaniset muutokset, maaperän mahdollinen painuminen ja pohjaveden pinnan vaihtelun lisääntyminen.

### 5.1 LOUHINNAN YMPÄRISTÖHAITAT

#### 5.1.1 Värinä

Ympäristölle värinäriskejä aiheuttava työvaihe on erityisesti louhintaräjäytykset. Liian suuri värinä saattaa vaurioittaa ympäröiviä rakennuksia, rakenteita ja herkkiä laitteita. Mahdolliset vauriot voivat aiheutua joko suoraan värinästä tai epäsuorasti värinän aiheuttamien perustusten painumien kautta. Räjäytysten aiheuttama värinävaikutus (heilahdusnopeus ja taajuus) kuitenkin vaimenee hyvin maakerroksissa ja etäisyyden kasvaessa räjäytyskohteeseen.

#### 5.1.2 Melu

Ympäristömelua aiheuttavia työvaiheita kohteessa ovat erityisesti louhintaporaus, louhintaräjäytykset, iskuvasaran käyttö, puhallinmelu ja maansiirtokoneiden aiheuttama melu. Meluhäiriö kohdistuu eniten ajotunnelin ja kuilujen suuaukkojen lähiympäristössä sijaitseviin kiinteistöihin, mutta porauksen ja räjäytysten aiheuttama runkoäänimelu voi kuulua voimakkaana myös poraus- ja räjäytyskohteen yläpuolella sijaitseviin kiinteistöihin, erityisesti, jos rakennus on perustettu kallionvaraisesti. Varsinaisen tunnelilouhinnan aikaiset räjäytysäänit kuuluaan matalampitaajuisena äänenä.

#### 5.1.3 Pöly

Työmaan ajoneuvojen ja työkoneiden käytöstä aiheutuu pakokaasu- ja hiukkaspäästöjä. Kallion poraamisesta ja räjäyttämistä sekä louheen käsittelystä syntyy räjähdyskaasuja ja kivi-pölyä. Räjähdysten jälkeen louhittavaa tunneliperää tuuletetaan puhaltamalla tunneliperään raitista ulkoilmaa. Räjähdyskaasut laimenevat ja kulkeutuvat tunnelin suuaukon ja kuilujen kautta ympäröivään ulkoilmaan ja leviävät edelleen ympäristöön. Näillä päästöillä voi olla haittavaikutuksia ajotunnelin suuaukon ja kuilujen ympäristössä asuville, liikkuville ja työtä tekeville ihmisille sekä jossain määrin myös rakennetulle ympäristölle.

#### 5.1.4 Arseni

Arsenipitoisten maa-ainesten kaivamiseen ja kuljettamiseen sekä varastointiin louhintatyömailla liittyy riski mahdollisesti arsenipitoisen kivipölyn kulkeutuminen ympäristöön ja ihmisten altistuminen pölylle. Arseni on peräisin lähinnä kallioperän helposti rapautuvista kii-sumineraaleista. Hankkeen yleissuunnitteluvaiheessa laaditut arsenitutkimukset on esitetty raportissa: Saanio & Riekkola Oy:n raporttisarja, muistiotunnus PROJEKTI-1007-2/2010. Yleissuunnitteluvaiheessa tehtyjen 23 porasojanäytteen As-pitoisuus ylitti kahdessa näytteessä maaperälle määritetyn kynnsarvon < 5 mg/kg korkeimman As-pitoisuuden arvon ollessa 7,7 mg/kg.

Ympäristövaikutusten arviointiselostuksen mukaan suunnittelualan kallioperän arsenipitoisuus on alhainen eikä aiheuta lisätoimenpiteitä arsenin suhteen. Hankealueen kalliosta



otettujen näytteiden perusteella louhinta ei aiheuta merkittävää arseenin kulkeutumista pintavesiin.

### 5.1.5 Pohjavesi ja maaperän painuminen

Siirto- ja purkutunneli leikkaa kallion vettä johtavia rakoiluvyöhykkeitä, jolloin injektoinnista huolimatta voi muodostua hydraulisia yhteyksiä ympäröivän pohjaveden ja louhittavan tunnelin välille. Louhinnat tehdään pohjavesipinnan alapuolella, jolloin pohjaveden vuoto on tunneleihin päin.

Pohjavedenpinnan aleneminen voi aiheuttaa painumariskejä ensisijaisesti puupaaluperusteissa rakennuksissa tai savikoilla sijaitsevilla maanvaraisissa rakennuksissa ja muissa maanvaraisissa rakenteissa.

### 5.1.6 Kalliomekaniikka

Tunnelien kalliorakennustyöt voivat mahdollisesti aiheuttaa vähäisiä kalliomekaanisia muutoksia tunneleiden lähiympäristössä lähinnä kalliossa tapahtuvien siirtymien kautta. Poikkeuksellisissa kallio-olosuhteissa mahdollisia kalliomekaanisia riskejä ovat louhinnasta ja/tai injektoinnista johtuvien kallion siirtymien aiheuttamat vauriot yläpuolisille rakennuksille ja rakenteille. Ääritapauksessa riskinä voi olla jopa kalliotilojen paikallinen sortuminen ja siitä mahdollisesti aiheutuvat vauriot yläpuolisille rakennuksille ja rakenteille tai lähellä sijaitseville kalliotiloille. Siirto- ja purkutunneleiden pienestä poikkileikkauksesta sekä verrattain suuresta vertikaalisesta etäisyydestä yläpuolisiin tiloihin nähden riski tähän on hyvin vähäinen.

## 5.2 YMPÄRISTÖHAITTOJEN HALLINTA

### 5.2.1 Tärinä

Tärinäriskien hallitsemiseksi tulee selvittää toteutussuunnitteluvaiheessa louhintakohteen ympäristön rakennusten ja rakenteiden perustamistavat ja kunto sekä niissä sijaitsevat herkit laitteet ja arvioidaan näiden tärinänkesto urakkalaskentavaiheen räjäytyssuunnittelua varten (alustava louhinnan ympäristöselvitys). Toteutusvaiheessa ennen louhintatöiden alkamista teetetään louhintakohteen ympäristön kiinteistöjen, kalliotilojen ja rakenteiden katselmukset puolueettomalla tärinäasiantuntijalla vallitsevien olosuhteiden toteamiseksi, jotta mahdolliset olemassa olevat vauriot ja todelliset louhinta-ajankohtana vallitsevat olosuhteet tulevat huomioiduksi lopullisessa räjäytyssuunnittelussa ja tärinäherkit laitteet vaimennettua. Kalliorakennushankkeissa katselmukset tehdään tyypillisesti vasta toteutussuunnitteluvaiheessa, sillä vain siten saadaan selville ajantasaisin tieto ympäröivästä rakenne- ja laitekannasta.

Katselmualueen laajuus riippuu suurimmasta sallitusta momentaanisen räjähdysaineen määrästä ja ympäristön rakennus- ja laitekannan tärinänkestosta. Käytännössä katselmualueen rajana voidaan pitää 150 metriä louhittavasta kohteesta.

Tärkein keino, jolla louhintatyössä louhintaurakoitsija voi vaikuttaa tärinän määrään, on keralla räjäytettävän panoskoon ( $Q_{mom}$ ) säätäminen louhintakatkon pituutta muuttamalla sekä herkkien laitteiden tärinävaimennukset. Käytännössä siis urakoitsijalla on tiedossaan eri rakenteiden ja laitteiden tärinänkestävyydet ja se suunnittelee räjäytystyönsä siten, että tärinärajoja ei ylitetä.

Louhintakohteen läheisyydessä tulee tehdä urakoitsijan tai rakennuttajan toimesta säännöllistä ja jatkuvatoimista tärinävalvontaa tärinää aiheuttavien työkohteiden ympäristössä niin kauan kuin tärinää aiheuttavat työvaiheet ovat käynnissä. Tärinämittareita tulee asettaa myös junaradan sähkölaitteisiin radan alituskohdissa.

### **5.2.2 Melu**

Rakennustöiden ja koneiden ympäristölle aiheuttamaa meluhaittaa voidaan rajoittaa käyttämällä vähämeluisia konetyyppejä ja/tai vaimentamalla melulähteitä. Hankkeen toteutukselle haetaan ympäristölupa, jossa määritellään erikseen melua aiheuttavien toimenpiteiden rajoitukset (esim. päivittäiset räjäytysajat). Toteutusvaiheessa urakoitsijalta tulee vaatia ympäristömelun suhteen voimassa olevien määräysten ja ympäristöviranomaisen antamien ohjeiden ja aikarajojen ehdotonta noudattamista.

Rakennuskohteen aiheuttamaa melua seurataan tarvittaessa melumittauksien avulla.

### **5.2.3 Pöly**

Ympäristön pölyhaittoja ja kaasumaisten päästöjen haittoja voidaan vähentää käyttämällä avolouhintavaunuissa pölynkeräyslaitteita ja kastelemalla louhe ennen lastausta. Louhintaurakoitsijalta tulee edellyttää pölyn ja kaasumaisten päästöjen suhteen voimassa olevia määräysten ja ympäristöviranomaisen antamien ohjeiden ehdotonta noudattamista.

Rakennuskohteen aiheuttamia pöly- ja kaasuhaittoja seurataan ympäristöviranomaisen antamien ohjeiden mukaisesti ja ympäristön antaman palautteen perusteella.

### **5.2.4 Arseeni**

Tämän hetkisen käytännön mukaan Pirkanmaalla louhintaluovissa ei yleensä edellytetä arseenin luontaisen pitoisuuden mittaamista ja kalliomurskeen välivarastoinnissa ei yleensä käytetä suojausta valumavesien varalta. Arseenipitoisen maa-aineksen läjittämistä koskevat samat riskitekijät kuin kalliomursketta ja ne ovat teknisesti torjuttavissa.

Mikäli purkutunnelissa havaitaan voimakkaita vuotokohtia, voidaan ne injektoida, jolloin myös arseenin ja muiden haitta-aineiden kulkeutuminen maa- ja kallioperästä puhdistettuun veteen voidaan minimoida.

### **5.2.5 Pohjavesiseuranta**

Pohjaveden pinnan tasoa tulee seurata ennen louhintaa lähtötilanteen selvittämiseksi, louhinnan aikana ja louhinnan jälkeen riittävän pitkään. Pohjaveden pinnan tasoa seurataan alueelle toteutussuunnitteluvaiheen alussa määriteltävästä seurantaverkostosta ja siihen kuuluvista havaintoputkista. Pohjavesiputkia tulee sijoittaa erityisesti puupaaluperusteisten rakennusten läheisyyteen, mutta myös tunnelilinjauksilla alitettava rata-alue tulee huomioida pohjaveden seurantasuunnitelmassa.

Louhintaa edeltävällä ja sen jälkeisellä tiivistämisellä (esi- ja jälki-injektointi) tunnelit saadaan niin tiiviiksi, ettei vuodoilla pitäisi olla haitallisia ympäristövaikutuksia alueen pohjaveden tasoon.

Pohjavedenpinnan vaihteluiden seurantaväli on noin kuukausi, mutta rakentamisen aikana mittauksen väliä tulee pienentää työvaiheesta riippuen 1-2 viikkoon ja tarvittaessa tätäkin ti-

heämmäksi. Erityisesti, jos pohjavedenpinnan havaitaan tietyn alueen putkissa laskevan, mittaussväliä tihennetään. Louhintojen yhteydessä tulee urakoitsijaa edellyttää mittaamaan jokaisen tunneliperän vuotovesimäärät säännöllisesti kerran viikossa. Rakentamisen jälkeisen seurannan pituudesta sovitaan myöhemmin, kun tiedetään paremmin louhintojen vaikutus alueelliseen pohjavedenpintaan.

### **5.2.6 Painumaseuranta**

Mahdollisia maanpinnan painumia mitataan asentamalla maa- ja paaluvaraisiin rakennuksiin painumaseurantapultteja ja mittaamalla niiden sijaintia tasaisin väliajoin. Kiertymien mittauksiksi samaan rakennukseen tulee asentaa useampia painumaseurantapultteja. Rautatien alittavissa kohdissa rata-alueelle suunnitellaan kiskoihin painumaseurantaohjelma.

Seuranta tulee aloittaa jo ennen louhintatöiden aloittamista referenssitietojen saamiseksi siten, että jokaisesta painumaseurantapultista saadaan vähintään kolmen erillisen mittauskierroksen tulokset ennen louhintojen alkamista tietyllä alueella. Koska purku- ja siirtotunneleiden dimensiot ovat pienet, on rakentamisen aikainen painumaseurantapulttien korkeusase- man ja tarvittaessa myös sivusiirtymän mittaamisen sopiva mittaväli noin 3-4 kuukautta. Louhintojen vaikutusalueella (n. 100 metrin etäisyys) seurantaväliä tihennetään (1 kerta / kk), mutta mikäli merkittäviä painumia tai pohjaveden pinnan laskua havaitaan, tihennetään mittaussväliä tarpeen mukaan ja asennetaan tarvittaessa lisäpultteja.

### **5.2.7 Kalliomekaaninen seuranta**

Kokemusperäisen arvion perusteella odotettavissa olevat siirtymät tunneleiden pienistä dimensioista johtuen ovat niin vähäisiä, että niillä ei arvioida olevan pysyviä haitallisia vaikutuksia ympäristöön eikä siten erillistä kalliomekaanista seurantaohjelmaa siirto- ja purkutunneleiden osalta ole tarpeen laatia. Sulkavuoren päässä mahdolliset kalliomekaaniset seurannat johtuvat puhdistamosta suurempien dimensioidensa vuoksi.

## **6 LOUHINTA- JA LUJITUSTÖIDEN KESTO**

Ajotunnelin ja sen suuaukon avolouhintatöiden työnkesto on noin 5 kk. Siirtotunnelilinjausvaihtoehdolla 1 siirto- ja purkutunneleiden louhintatöiden työnkesto moniperälouhintana toteutettuna on noin 19 kk ja lopullisten lujitustöiden ja kuilupuhkaisujen työnkesto on noin 4 kk. Vastaavasti siirtotunnelilinjausvaihtoehdolla 2 louhintatöiden työnkesto on noin 14 kk ja lopullisten lujitustöiden ja kuilupuhkaisujen työnkesto on noin 3 kk. Siirtotunnelin viettöviemäriosoituksen pohjan betonitöiden työnkesto on noin 2,5 kk.

Kun louhinta-, lujitus ja pohjan betonirakennetöiden kesto lasketaan yhteen, siirtotunnelilinjausvaihtoehdolla 1 ajo-, siirto- ja purkutunneleiden sekä kuilujen rakentaminen kestää noin 30–31 kk ja siirtotunnelilinjausvaihtoehdolla 2 noin 24–25 kk.

## 7 KALLIOTUNNELEIDEN INVESTOINTIKUSTANNUKSET

### 7.1 KUSTANNUSTEN LASKENTAPERUSTEET

Kustannusten laskentaperusteena on käytetty kokonaislouhintatilavuutta 130 500 m<sup>3</sup> (siirtotunneli VE1) tai 81 000 (siirtotunneli VE2). Louhinnan on oletettu tapahtuvan kaksivuorotyönä. Keskimääräisenä katkopituutena on käytetty 4,5 metriä. Laskennassa ruiskubetonin menekkinä siirtotunnelivaihtoehdolla 1 on käytetty 4300 m<sup>3</sup> rtr ja kallion lujituspulttien kappalemääränä 12 000 kpl. Vastaavasti siirtotunnelivaihtoehdolla 2 ruiskubetonin menekkinä on käytetty 3100 m<sup>3</sup> rtr ja lujituspulttien kappalemääränä 8000 kpl. Kokonaistunnelipituudesta on oletettu 80 % esi-injektoitavaksi. Louhe on oletettu kuljetettavan viiden kilometrin päähän. Yksikköhintaperusteisen kustannuslaskennan tarkkuus on noin ± 15 %.

Siirtotunnelilinjauksen vaihtoehdossa 1 sukellusviemäritunneliosuuden korkeustasoa voidaan muuttaa toteutussuunnitteluvaiheessa tarkentuvien kallioperäolosuhdetietojen perusteella, joten kustannusarviossa ei ole laskettu mitään erityistä kustannus- tai aikataulullisää mahdollisen Vihiojan rikkonaisuusvyöhykkeen johdosta. Sen sijaan Vihilahden ajotunnelin investointikustannuksissa ja rakentamisen aikataulussa on otettu huomioon se, että ajotunnelista ensimmäinen n. 80 metriä joudutaan todennäköisesti rakentamaan hyvin lähelle kallionpintaa.

Tunneleiden kustannusarvion laskentaan on otettu huomioon myös siirtotunnelin ilmanvaihdon ja sukellusviemäriosuuden vuotovesien poistojärjestelmän investointikustannukset.

Jäteveden siirtotunnelin teräsbetonisen pohjalaatan paksuutena on käytetty 200 mm.

### 7.2 INVESTOINTIKUSTANNUKSET

Ajo-, siirto- ja purkutunneleiden sekä kuilujen kalliorakennustöiden yhteenlaskettu kustannusarvio on siirtotunnelilinjausvaihtoehdolla 1 noin 18 600 000 € ja siirtotunnelilinjausvaihtoehdolla 2 noin 12 100 000 €. Kustannusarviossa on huomioitu ajotunnelin suuaukon avolouhinnan kustannukset. Tämän lisäksi siirtotunnelin pohjan betonointitöiden kustannusarvio on molemmilla linjausvaihtoehdoilla noin 500 000 €. TATE-investointikustannukset ovat siirtotunnelivaihtoehdolla 1 noin 1 000 000 € ja siirtotunnelilinjausvaihtoehdolla 2 noin 500 000 €. Kun nämä kustannukset lasketaan yhteen, ajo-, siirto- ja purkutunneleiden sekä kuilujen rakennustöiden yhteenlaskettu kustannusarvio on siirtotunnelivaihtoehdolla 1 noin 20 100 000 € ja siirtotunnelilinjausvaihtoehdolla 2 noin 13 100 000 €.

Tunneleiden käyttökustannukset on esitetty Ramboll Finland Oy:n osaraportissa.

## LIITTEET

KAT-suunnitelmapiirustusten piirustusluettelo sekä suunnitelmapiirustukset