Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisuja
56/2020

KALLIOTUNNELIEN POHJAVESIVAIKUTUKSET

Taustaselvitys

Katri Juva, Erkki Paatonen, Jarmo Rantala

Kalliotunnelien pohjavesivaikutukset

Taustaselvitys

Väyläviraston julkaisuja 56/2020

Väylävirasto
Helsinki 2020

Kannen kuva: Marketta Hyvärinen

Verkkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)
ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-818-2

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. 0295 34 3000

Katri Juva, Erkki Paatonen ja Jarmo Rantala: Kalliotunnelien pohjavesivaikutukset - Taustaselvitys. Väylävirasto. Helsinki 2020. Väyläviraston julkaisuja 56/2020. 131 sivua ja 5 liitettä. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-818-2.

Avainsanat: tunnelit, liikennetunnelit, tunnelirakentaminen, pohjavesi, pohjavesivaikutusten arviointi, pohjavesitarkkailu, pintavesi, vesistövaikutukset,

Tiivistelmä

Tässä selvitystyössä on tarkasteltu kalliotunneleiden pohjavesivaikutuksia, pohjavesivaikutusten arviointia sekä vaikutustarkkailun suunnittelua koko tunnelihankkeen elinkaaren aikana. Selvityksen perustana ovat olleet Savion rautatietunnelin, Kehäratatunnelin ja Tampereen rantatunnelin suunnittelun, rakentamisen ja käyttöönoton aikana syntyneet tutkimus- ja tarkkailuaineistot.

Selvityksessä käydään läpi kalliotunnelin rakentamisen ympäristövaikutuksiin liittyvää keskeistä lainsäädäntöä ja ohjeistusta, mm. ympäristövaikutusten arviointimenettely ja vesilaki käydään läpi tunnelihankkeen näkökulmasta. Tunnelihankkeen elinkaaren eri vaiheiden pohjavesitietotarpeita ja –tavoitteita sekä eri vaiheissa tehtäviä pohjavesitutkimuksia on tarkasteltu Väyläviraston ohjeistuksen, valittujen tunnelihankkeiden aineistojen sekä henkilöhaastattelujen avulla. Keskeiset pohjavesitutkimusmenetelmät on myös selvityksessä kuvattu.

Lisäksi työssä tarkasteltiin kalliotunnelihankkeiden aiheuttamia pohjavesivaikutuksia kolmen toteutuneen tunnelihankkeen havaintoaineistojen avulla. Pohjaveden painetasojen muutoksia analysoitiin pääosin tilastollisen tarkastelun perusteella. Myös maa- ja kallioperän vaikutusta muutoksiin arvioitiin. Tunnelirakentamisen aiheuttamia pintaveden laatumuutoksia tarkasteltiin kohdekohtaisesti keskittyen pH-arvon ja kokonaistyppipitoisuuden muutoksiin ja näiden muutosten ajalliseen kestoon. Myös tunneleiden vuotovesimäärien kehittymistä tarkasteltiin kohdekohtaisesti.

Työn tuloksena tehtiin havaintoja kalliotunneleiden pohjavesivaikutusten tarkkailun ja arvioinnin kehittämiskohteista. Kalliotunnelihankkeen pohjavesitarkkailun suunnittelussa tulee huomioida aina kohdekohtaisesti geologiset olosuhteet ja arvioidut pohjavesivaikutukset. Pohjavesivaikutusten kannalta oleelliset geologiset rakenteet ja olosuhteet suositellaan kirjattavaksi pohjaveden tarkkailusuunnitelmiin, jotta niitä voidaan hyödyntää tarkkailusuunnitelmia päivitettäessä ja koko tarkkailun elinkaaren ajan. Loppupäätelmiin kirjattiin myös seikkoja, joita tarkkailtavan alueen laajuuden, tarkkailun sisällön ja tarkkailutiheyden määrittämisessä olisi hyvä huomioida.

Katri Juva, Erkki Paatonen och Jarmo Rantala: Bergtunnlars grundvattenkonsekvenser – Bakgrundsutredning. Trafikledsverket. Helsingfors 2020. Trafikledsverkets publikationer 56/2020. 131 sidor och 5 bilagor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-818-2.

Sammanfattning

Denna utredning innehåller en granskning av bergtunnlars grundvattenkonsekvenser, bedömningen av grundvattenkonsekvenser och planeringen av konsekvenskontrollen under hela livscykeln för ett tunnelprojekt. Grunden för utredningen har utgjorts av det forsknings- och kontrollmaterial som uppkommit under planeringen, byggandet och idrifttagandet av Savio järnvägstunnel, Ringbanans tunnel och Tammerfors strandtunnel.

Utredningen omfattar en genomgång av central lagstiftning och centrala anvisningar relaterade till miljökonsekvenserna av byggande av en bergtunnel, bl.a. förfarandet vid miljökonsekvensbedömning och vattenlagen gås igenom ur ett tunnelprojekts synvinkel. Behov och mål rörande grundvattenuppgifter under de olika skedena av ett tunnelprojekts livscykel och de grundvattenundersökningar som ska göras i olika skeden har granskats utifrån Trafikledsverkets anvisningar, material rörande de utvalda tunnelprojekten och personintervjuer. De centrala metoderna för att undersöka grundvatten har också beskrivits i utredningen.

Därtill granskade man i arbetet de grundvattenkonsekvenser som bergtunnelprojekt orsakat med hjälp av observationsmaterial rörande de tre genomförda tunnelprojekten. Förändringar i grundvattnets trycknivåer analyserades i huvudsak utifrån en statistisk översikt. Också jordmånens och berggrundens inverkan på förändringarna bedömdes. De kvalitetsändringar som tunnelbyggande orsakade för ytvattnet granskades enligt objekt, med fokus på pH-värdet och ändringar i totalkvävehalten och den tidsmässiga längden för dessa förändringar. Också utvecklingen för läckvattenmängderna i tunnlarna granskades enligt objekt.

Till följd av arbetet gjordes observationer om utvecklingsobjekt inom kontroll och utvärdering av bergtunnlars grundvattenkonsekvenser. I planeringen av grundvattenkontrollen i ett bergtunnelprojekt ska man alltid beakta geologiska förhållanden och de uppskattade grundvattenkonsekvenser enligt objekt. Det rekommenderas att geologiska strukturer och förhållanden som är väsentliga med tanke på grundvattenkonsekvenser antecknas i planerna för grundvattenkontroll, för att de ska kunna utnyttjas i uppdateringen av kontrollplanerna och under hela kontrollivscykeln. I slutsatserna antecknades också omständigheter som det finns skäl att beakta i definieringen av omfattningen på kontrollområdet, kontrollinnehållet och kontrollfrekvensen.

Katri Juva, Erkki Paatonen and Jarmo Rantala: Groundwater impacts of rock tunnels – Background study. Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2020. Publications the FTIA 56/2020. 131 pages and 5 appendices. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-818-2.

Abstract

In this study, we have examined the groundwater impacts of rock tunnels, the assessment of groundwater impacts and the planning of impact monitoring throughout the life cycle of the tunnel project. The basis for the study has been the research and observation data generated during the planning, construction and commissioning of the Savio railway tunnel, the Ring Rail Line tunnel, and the Tampere Rantatunneli tunnel.

The study examines key legislation and guidelines associated with the environmental impacts of the construction of a rock tunnel, such as the environmental impact assessment procedure and the Water Act from the perspective of a tunnel project. The groundwater information needs and objectives of the various phases of a tunnel project's life cycle, as well as the groundwater studies carried out at different stages, have been examined using the Guidelines of the Finnish Transport Infrastructure Agency, the materials of the selected tunnel projects, and personal interviews. The key groundwater research methods are also described in the study.

In addition, the study examined the groundwater impacts caused by rock tunnel projects using observation data from three previously completed tunnel projects. Changes in groundwater pressure levels were analysed mainly on the basis of a statistical review. The impact of soil and bedrock on the changes was also assessed. Changes in surface water quality caused by tunnel construction were examined on a site-specific basis, focusing on changes in pH values and total nitrogen content and the duration of these changes. The development of leakage water amounts in the tunnels was also examined on a site-by-site basis.

As a result of the work, observations were made on the development targets for the monitoring and evaluation of groundwater impacts of rock tunnels. Geological conditions and estimated groundwater impacts must always be taken into account site-specifically in the planning of groundwater monitoring of a rock tunnel project. It is recommended that geological structures and conditions relevant to groundwater impacts are recorded in the groundwater monitoring plans, so that they can be utilised when monitoring plans are updated as well as throughout the life cycle of monitoring. The conclusions also included elements that should be taken into account in determining the extent of the area to be monitored, the content of the monitoring, and the frequency of observation.

Esipuhe

Tämä selvitys käsittelee kolmen toteutuneen kalliotunnelihankkeen (Savion rautatietunneli, Kehäratatunneli ja Tampereen rantatunneli) elinkaaren aikana syntynyttä pohjavesiin liittyvää tutkimustietoa ja tarkkailutuloksia. Selvityksen tavoitteena on lisätä tietämystä pohjavesiolosuhteiden merkityksestä kallio-tunnelien kallioteknisessä suunnittelussa. Selvitys on tehty joulukuun 2019 ja lokakuun 2020 välisenä aikana.

Selvityksen laadintaan ovat osallistuneet Golder Associates Oy:stä asiantuntijat FM Katri Juva (pääkirjoittaja) ja FL Erkki Paatonen sekä projektipäällikkö FM Jarmo Rantala. Työtä on ohjannut ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet ympäristöasiantuntijat Marketta Hyvärinen ja Mikael Takala, geo- ja kallioteknikan asiantuntija Jaakko Heikkilä (heinäkuuhun 2020 saakka) ja apulaisjohtaja Mauri Mäkiaho Väylävirastosta sekä yliopistonlehtori FT Kirsti Korkka-Niemi Helsingin yliopiston geotieteiden ja maantieteen osastolta.

Selvityksessä on tilastollisesti tarkasteltu pohjaveden tarkkailuaineistoa tavoitteena havaita ja kuvata maaperän ja kallioperän pohjaveden vuodenaikaisvaihtelua ja rakentamisen vaikutusta pohjaveden painetasoihin. Lisäksi työn tavoitteena on tunnistaa kallioperän ja maaperän laatuun ja ominaisuuksiin liittyviä tekijöitä, joilla on vaikutusta kalliotunnelin alueen ja sen ympäristön pohjaveden painetasojen käyttäytymiseen.

Selvityksessä on kuvattu yleisesti käytössä olevia pohjaveden tutkimus- ja tarkkailumenetelmiä. Lisäksi selvityksessä on tarkasteltu kotimaisen ohjeistusten lisäksi pohjoismaista kalliotunnelien tarkkailuun liittyvää ohjeistusta ja käytäntöjä.

Selvityksen tulosten perusteella on tuotu esille pohjavesiasioiden hallinnan kehittämistarpeita. Kalliotunneleiden aiheuttamien pohjavesivaikutusten arviointiin tai tarkkailuun ei ole nykyisin käytettävissä selkeää ohjeistusta. Tämän taustaselvityksen tuloksia voidaan hyödyntää ohjeistusta laadittaessa tai esimerkiksi Väyläviraston Kalliotunnelin kallioteknisen suunnitteluohjeen (Väyläviraston ohjeita 28/2019) päivityksen yhteydessä.

Helsingissä lokakuussa 2020

Väylävirasto
Tekniikka- ja ympäristöosasto / ympäristö- ja kiinteistöyksikkö

Sisältö

1 JOHDANTO 10

2 POHJAVESIVAIKUTUSTEN ARVIOINTIIN JA TARKKAILUUN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ JA OHJEISTUS 11
2.1 Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA) 11
2.2 Vesilaki 12
2.2.1 Vesilain mukaisen luvan tarve 12
2.2.2 Vesiluvan sisältö 13
2.3 Ympäristönsuojelulaki 13
2.4 Pohjavesivaikutusten arviointiin ja tarkkailuun liittyvä ohjeistus 14
2.4.1 Pohjavesivaikutusten arviointiin ja tarkkailun suunnitteluun liittyvä Väyläviraston ohjeistus 14
2.4.2 Pohjavesivaikutusten arviontiin ja tarkkailun suunnitteluun liittyvä muu kotimainen ohjeistus 15
2.4.3 Pohjavesivaikutusten arviointiin ja tarkkailun suunnitteluun liittyvä ohjeistus Ruotsissa ja Norjassa 16

3 POHJAVESITIETOJEN TARVE JA TAVOITTEET KALLIOTUNNELIHANKKEEN ELINKAAREN ERI VAIHEISSA (NYKYTILANNE) 19
3.1 Pohjaveden hallinta tunnelihankkeessa – mitä sillä tarkoitetaan? 19
3.2 Esisuunnitelma- ja tarveselvitysvaihe 20
3.3 Yleissuunnitelmavaihe 20
3.4 Tie- tai ratasuunnitelmavaihe 22
3.5 Rakennussuunnitelmavaihe 22
3.6 Rakentamisvaihe 23
3.7 Käyttö- ja kunnossapitovaihe 23

4 KALLIOTUNNELIHANKKEISIIN LIITTYVIÄ POHJAVESI-TUTKIMUSMENETELMIÄ 24
4.1.1 Pohjaveden esiintyminen 24
4.1.2 Pohjaveden pinnantason ja painetason mittaukset 25
4.1.3 Maa- ja kallioperän vedenjohtavuusominaisuuksien määrittäminen 26
4.1.4 Vesinäytteenotto ja pohjaveden laadun tarkkailumittaukset 27
4.1.5 Vuotovesimäärien tarkkailumittaukset 31
4.1.6 Vuoto- ja kuivatusvesien laadun tarkkailumittaukset 32
4.1.7 Vuotovesien poisjohtamisojien tai -vesistöjen tutkimukset 32
4.1.8 Kaivokartoitukset (vesi- ja maalämpökaivot) 34
4.1.9 Lähdevirtaamamittaukset 35

5 POHJAVESITUTKIMUKSET TUNNELIHANKKEEN ELINKAAREN ERI VAIHEISSA 36
5.1 Esisuunnitelma- tai tarveselvitysvaihe 36
5.2 Yleissuunnitelmavaihe 37
5.3 Tie- tai ratasuunnitelmavaihe 38
5.4 Rakennussuunnitelmavaihe 39
5.5 Rakentamisvaihe 39
5.6 Käyttö- ja kunnossapitovaihe 40

6 VALITTUJEN LIIKENNETUNNELIHANKKEIDEN POHJAVESISELVITYKSET HANKKEEN ELINKAAREN AIKANA 41
6.1 Savion rautatietunneli 41
6.1.1 Yleistä 41
6.1.2 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi suunnittelu-vaiheessa 45
6.1.3 Suunnitteluvaiheen pohjavesitarkkailu 46
6.1.4 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi rakentamis-vaiheessa 48
6.1.5 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi käyttö- ja kunnossapitovaiheessa 50
6.2 Kehäradan tunneli 53
6.2.1 Yleistä 53
6.2.2 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi tarveselvitys-vaiheessa 57
6.2.3 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi yleissuunnitelmavaiheessa 58
6.2.4 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi rata- ja rakennussuunnitelmavaiheissa 60
6.2.5 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi rakentamis-vaiheessa 62
6.2.6 Havainnot pohjavesivaikutuksista rakentamisen aikana 64
6.2.7 Rakentamisen aikaiset kuivatusvedet 67
6.2.8 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi käyttö- ja kunnossapitovaiheessa 68
6.3 Tampereen rantatunneli 71
6.3.1 Yleistä 71
6.3.2 Pohjavesivaikutusten arviointi ja selvittäminen esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa 74
6.3.3 Pohjavesivaikutusten arviointi tie- ja rakennussuunnitelma-vaiheissa 77
6.3.4 Pohjavesivaikutusten selvittäminen tie- ja rakennus-suunnitelmavaiheessa 79
6.3.5 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi rakentamis-vaiheessa 81
6.3.6 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi tunnelin käyttö- ja kunnossapitovaiheessa 84

7 KALLIOTUTKIMUS- JA POHJAVESITARKKAILUAINEISTOJEN TARKASTELU JA ANALYSOINTI 87
7.1 Pohjaveden painetasojen luontainen vaihtelu esimerkkitunneleiden alueella 87
7.1.1 Vuodenaikaisvaihtelu 87
7.1.2 Vuosittainen vaihtelu 90
7.1.3 Pohjaveden painetasojen keskimääräinen vaihtelu kuukausitasolla 93
7.2 Rakentamisen aikainen pohjaveden painetasojen alenema 97
7.3 Kalliopohjaveden painetasojen palautuminen Savion rautatietunnelin ja Kehäratatunnelin ympäristössä 102
7.4 Maa- ja kallioperän laadun vaikutus pohjaveden painetasojen muutoksiin 104
7.5 Vuotovesimäärien kehittyminen ja yhteys pohjaveden painetasoihin 106
7.6 Kuivatus- ja vuotovesien sekä poisjohtamisojien vesien laatu – typpipitoisuus ja pH-arvo 108

7.6.1 Typpipitoisuuden muutokset kuivatusvesissä ja purkuojissa.....108
7.6.2 pH-arvon muutokset kuivatusvesissä ja purkuojissa..... 111

8 YHTEENVETO HAVAINNOISTA.....114
8.1 Käytössä oleva ohjeistus ja nykykäytännöt 114
8.2 Pohjaveden painetason luontainen vaihtelu ja geologisen ympäristön vaikutus 115
8.3 Kuivatusvesien laatumuutokset.....117

9 SELVITYKSESSÄ KÄYTETTYJEN MENETELMIEN SEKÄ HYÖDYNNETYN AINEISTON ARVIOINTI.....119

10 KALLIOTUNNELEIDEN POHJAVESIVAIKUTUSTEN TARKKAILUN JA ARVIOINNIN KEHITTÄMISTARPEITA 120

LIITTEET
Liite 1 Savion rautatietunneli: Havaintoputket GTK:n maa- ja kallioperä-aineistoissa esitettyinä
Liite 2 Kehäratatunneli: Havaintoputket GTK:n maa- ja kallioperä-aineistoissa esitettyinä
Liite 3 Tampereen rantatunneli: Havaintoputket GTK:n maa- ja kallioperä-aineistoissa esitettyinä
Liite 4 Savion rautatietunneli: Maa- ja kallioperän pohjaveden painetasot vierekkäisissä havaintoputkissa, esimerkkikuvaajia
Liite 5 Kehäratatunneli: Maa- ja kallioperän pohjaveden painetasot vierekkäisissä havaintoputkissa, esimerkkikuvaajia

1 Johdanto

Pohjavesiolosuhteet ja pohjaveden painetasojen käyttäytyminen ovat kalliotunnelien suunnittelussa, rakentamisessa ja kunnossapidossa huomioon otettavia merkittäviä tekijöitä. Pohjavesiselvitysten perusteella tehdään teknisiä suunnitteluratkaisuja, joiden avulla varmistetaan, ettei tunnelin rakentamisella aiheuteta haittaa ympäristöön (pohjavesi, pintavesi, painumat). Puutteelliset pohjavesitiedot voivat aiheuttaa ongelmia tunnelin rakentamisen ja käytön aikana itse rakentamiseen ja toisaalta tunnelin käyttöön ja tunnelin ympäristöön.

Selvityksen perustana ovat olleet Savion rautatietunnelin, Kehäratatunnelin ja Tampereen rantatunnelin suunnittelun, rakentamisen ja käyttöönoton jälkeen syntyneet tutkimus- ja tarkkailuaineistot. Selvityksen yhteydessä on tarkasteltu erityisesti pohjaveden painetasojen muutoksia, tunnelien vuotovesien määriä ja laatua. Käytössä olleen aineiston lisäksi työn yhteydessä on haastateltu em. hankkeissa mukana olleita henkilöitä sekä kalliorakentamishankkeisiin muuten osallistuneita henkilöitä.

Tutkimushankkeen tavoitteena on lisätä tietämystä pohjavesiolosuhteiden merkityksestä kalliotunnelien kallioteknisessä suunnittelussa. Lisäksi työn tavoitteena on tunnistaa kallioperän ja maaperän laatuun ja ominaisuuksiin liittyviä tekijöitä, joilla on vaikutusta kalliotunnelin alueen ja sen ympäristön pohjaveden painetasojen käyttäytymiseen. Selvityksen tulosten pohjalta pyritään löytämään pohjavesiasioiden tutkimuksen ja hallinnan kehittämistarpeita.

Vuonna 2019 on julkaistu Väyläviraston ohje ”Kalliotunnelin kallioteknisen suunnitteluohje” (Väyläviraston ohjeita 28/2019), jossa on kuvattu kalliotunnelihankkeisiin liittyviä pohjavesitutkimuksia ja tarkkailuja. Tämän selvityksen tuloksia voidaan hyödyntää myöhemmin siinä vaiheessa, kun em. suunnitteluohjetta päivitetään.

2 Pohjavesivaikutusten arviointiin ja tarkkailuun liittyvä lainsäädäntö ja ohjeistus

2.1 Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA)

Hankkeen ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA) perustuu lakiin ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (YVA-laki 252/2017). Lakia ja YVA-menettelyä sovelletaan sellaisiin hankkeisiin ja niiden muutoksiin, joilla todennäköisesti on merkittäviä ympäristövaikutuksia. YVA-lain liitteessä 1 on lueteltu hankkeet, joihin YVA-menettelyä sovelletaan aina. Lisäksi menettelyä sovelletaan sellaisiin hankkeisiin, joiden vaikutukset vastaavat laadultaan ja laajuudeltaan laissa lueteltujen hankkeiden vaikutuksiin rinnastettavia, merkittäviä vaikutuksia. Liikennetunnelit eivät sellaisenaan sisälly YVA-lain liitteen 1 luetteloon, vaan liikennetunneleiden YVA-tarve tulee arvioida aina tapauskohtaisesti. Toisaalta em. liitteessä on lueteltu liikennehankkeita, jotka ovat aina laajuudeltaan sellaisia, että niiden ympäristövaikutukset on arvioitava YVA-menettelyn kautta (esimerkiksi kaukoliikenteen rautateiden rakentaminen ja neli- tai useampikaistaisen, vähintään 10 km pituisen yhtäjaksoisen uuden tien rakentaminen). (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä).

Ympäristövaikutusten arviointi tehdään yleensä melko varhaisessa hankesuunnittelun vaiheessa, jolloin hankkeen toteuttamiselle on vielä aidosti olemassa useampia vaihtoehtoja. Arvioinnista vastaa toiminnanharjoittaja tai hankkeen valmistelusta tai toteuttamisesta vastaava taho. Menettelyä ohjaa yhteysviranomainen (tällä hetkellä alueellinen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus eli ELY-keskus). Arviointi tehdään kaksivaiheisena siten, että ensimmäisessä ns. ohjelmavaiheessa selvitetään, mitä ympäristövaikutuksia ja vaihtoehtoja arvioidaan. Ohjelmavaiheessa myös suunnitellaan, millä tavoin hankealueen asukkaiden ja muiden mahdollisten sidosryhmien osallistuminen järjestetään. Yhteysviranomainen laatii lausunnon arviointiohjelmasta. Lausunnossa huomioidaan myös arviointiohjelmasta annetut lausunnot ja mielipiteet. Lausunto on ohjeena ympäristövaikutusten arvioinnin toteuttamiselle. Toisessa vaiheessa (ns. YVAn selostusvaihe) hankkeesta vastaava toteuttaa ympäristövaikutusten arvioinnin yhteysviranomaisen antaman lausunnon mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2018a, Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2018).

Ympäristövaikutusten arvioinnin selostusvaiheessa hankkeen ja hankevaihtoehtojen ympäristövaikutukset arvioidaan. Arvioinnin tulokset kootaan YVA-selostukseen. Yhteysviranomainen antaa YVA-selostuksesta laatimansa perustellun päätelmän, jossa yhteysviranomainen esittää päätelmät hankkeen merkittävistä ympäristövaikutuksista. Yhteysviranomainen huomioi laatimassaan perustellussa päätelmässä myös asukkaiden ja muiden sidosryhmien YVA-selostuksesta antamat mielipiteet ja lausunnot. (Ympäristöministeriö 2018a).

Sekä hanketta koskeva YVA-selostus, että yhteysviranomaisen laatima perusteltu päätelmä huomioidaan myöhemmin hanketta koskevassa lupamenettelyssä (Ympäristöministeriö 2018a). Kalliotunnelihankkeita yleensä koskeva lupamenettely on luvussa 2.2 Vesilaki esitetty vesilupamenettely.

2.2 Vesilaki

Vesilaki (587/2011) määrittelee yleiset oikeudet ja velvollisuudet vesien käytössä, vesiluvan tarpeen kriteerit sekä vesiluvan myöntämisen edellytykset. Vesilakia sovelletaan vesitaloushankkeisiin, kuten esimerkiksi vesistörakentamiseen tai veden ottamiseen. Vesilaki on siis kaikkea veden käyttöä koskeva laki. Vesialueiden käytön lisäksi se koskee myös pohjaveden käyttöä. Vesien pilaantumiseen liittyviä asioita vesilaki ei koske, vaan nämä käsitellään ympäristönsuojelulaissa (527/2014).

2.2.1 Vesilain mukaisen luvan tarve

Vesilupa tarvitaan vesilaissa määritellyille vesistöjä ja pohjavesioloja muuttaville hankkeille (Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2019). Hankkeet, jotka tarvitsevat vesilain mukaisen luvan on määritelty vesilain luvussa 3. Aina luvanvaraisiksi vesitaloushankkeiksi on määritelty mm. toimenpiteet, joiden seurauksena pohjavesiesiintymästä poistuu muutoin kuin tilapäisesti pohjavettä vähintään 250 kuutiometriä vuorokaudessa (Vesilaki 587/2011). Pohjavesiesiintymällä tarkoitetaan tässä yhteydessä pohjaveden ottamisen kohteena olevaa tai siihen soveltuvaa yhtenäistä pohjavesimuodostumaa (Hallituksen esitys 277/2009). Näin ollen esimerkiksi kalliotunnelit, joiden pohjaveden poistumista pohjavesiesiintymästä aiheuttava vuotovesimäärä on yli 250 kuutiometriä vuorokaudessa, luokiteltaisiin luvanvaraisiksi vesitaloushankkeiksi.

Lisäksi vesilain 2 luvun 11 § nojalla on suojeltu eräitä luonnontilaisia vesiluontotyyppejä (mm. lähteet). Näiden luonnontilan vaarantaminen on kielletty. Lupaviranomainen voi myöntää kieltoon poikkeuksen tietyin, vesilaissa määritellyin perustein.

Vesilaki tunnistaa luvan vaativia vesitaloushankkeita myös ns. vaikutusperusteisesti. Tämä tarkoittaa, että mikäli vesitaloushanke aiheuttaa vesistössä, pohjavedessä tai vesiympäristössä sellaisia muutoksia, joiden vesilaissa yksilöidyt seuraukset loukkaavat yleistä tai yksityistä etua, tarvitaan vesilupa. (Ympäristöministeriö 2012).

Mahdollisesti yleistä tai yksityistä etua loukkaavia kalliotunnelihankkeen aiheuttamien pohjaveden muutosten seurauksia voivat olla esimerkiksi :

1. Kalliotunnelin rakentaminen voi aiheuttaa vedenottamon kaivojen tai yksityiskaivojen kuivumista, jolloin pohjaveden laadun tai määrän muuttuminen loukkaa yleistä tai yksityistä etua.
2. Kalliotunnelin aiheuttama pohjaveden pinnan aleneminen voi aiheuttaa painumaa ympäristön rakenteissa, joka katsotaan toisen kiinteistölle tai muulle omaisuudelle aiheutuvaksi haitaksi.
3. Tunnelin aiheuttama pohjaveden pinnan aleneminen alentaa vesistöjen vedenpintaa ja sitä kautta loukkaa vesilaissa määritellyllä tavalla yleistä etua.
4. Tunnelin suotovesien johtaminen maastoon voi muuttaa ojan vedenjuoksua. Muutos voi aiheuttaa vahinkoa toisen maalle, jolloin muutos loukkaa yleistä tai yksityistä etua.

Mikäli hankkeen toteuttajalla ei ole täyttä varmuutta vesiluvan tarpeesta, voi asian varmistaa alueelliselta ympäristöviranomaiselta (ELY-keskus) tai kunnan ympäristöviranomaiselta. (Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2019).

2.2.2 Vesiluvan sisältö

Mikäli vesitaloushanke tarvitsee vesiluvan, lupaa haetaan siltä aluehallintovirastolta (AVI), jonka toimialueella hanke toteutetaan.

Aluehallintovirasto tekee asiasta päätöksen, kun asiaa on riittävästi selvitetty. Päätöksessä on selostusosa, jossa kuvataan hakijan esittämät tiedot hankkeesta sekä asianosaisten vaatimukset, annetut lausunnot ja muistutukset. Selostusosan lisäksi päätöksessä on ratkaisuosa, jossa esitetään aluehallintoviraston ratkaisu perusteluineen. Mikäli hankkeelle on myönnetty lupa, ratkaisuosassa annetaan lupamääräykset, joiden mukaan hanke on toteutettava. Päätöksessä annetaan hanketta koskevat tarpeelliset Vesilain 3. luvun 10-14 § mukaiset määräykset sekä muut määräykset siitä, miten hanke on toteutettava. Lisäksi annettavassa päätöksessä oletetaan, että luvanhakija noudattaa hakemuksessa esittämiään toimintatapoja.

Vesiluvan määräyksiin liittyy oleellisesti vesilain 3 luvun 11 § tarkkailuvelvoite (Vesilaki 587/2011). Luvassa on määrättävä luvanhaltija tarvittaessa tarkkailemaan hankkeen toteuttamista ja sen vaikutuksia. Esimerkiksi kalliotunnelin aiheuttamia pohja- ja pintavesivaikutuksia voidaan määrätä tarkkailtavaksi. Luvassa voidaan velvoittaa luvanhakijaa *"esittämään tarkkailusuunnitelma tarkkailun tarkemmasta järjestämisestä lupaviranomaisen, tai sen määrääämään viranomaisen hyväksyttäväksi niin ajoissa, että tarkkailu voidaan aloittaa toiminnan alkaessa tai muuna toiminnan vaikutuksen kannalta tarkoituksen mukaisena ajankohtana. "* (Vesilaki 587/2011).

Jos hakemus koskee luvan myöntämistä ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annetussa laissa tarkoitetulle hankkeelle (YVA-hanke), on vesilupahakemusasiakirjoihin liitettävä mainitun lain mukainen arviointiselostus sekä yhteysviranomaisen perusteltu päätelmä. Lupapäätöksessä lupaviranomaisen on tuotava esiin, millä tavoin YVA-selostus ja perusteltu päätelmä on otettu huomioon päätöksenteossa. Annettavan lupapäätöksen sisältö on kuvattu yksityiskohtaisesti Vesilain 587/2011 11. luvun 21 §:ssä "Päätöksen sisältö". (Vesilaki 587/2011).

2.3 Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulakia (YSL 527/2014) sovelletaan toimintaan, josta aiheutuu tai saattaa aiheutua ympäristön pilaantumista. Laissa mm. velvoitetaan toiminnanharjoittaja olemaan selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista (6 § Selvilläolovelvollisuus), sekä velvoitetaan toiminnanharjoittajaa järjestämään toimintansa siten, että ympäristön pilaantuminen voidaan ennalta ehkäistä tai vähintään rajoittaa mahdollisimman vähäiseksi. Ympäristönsuojelulaissa on kielletty maaperän ja pohjaveden pilaaminen (16 § Maaperän pilaamiskielto ja 17 § Pohjaveden pilaamiskielto). (Ympäristönsuojelulaki 527/2014).

Ympäristönsuojelulaissa on myös määritelty sellaiset ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavat toiminnot, jotka vaativat ympäristöluvan. Liikennekäyttöön rakennettava kalliotunneli ei kuulu em. ympäristöluvanvaraisiin toimintoihin. Ympäristönsuojelulain velvollisuudet, periaatteet ja kiellot koskevat kuitenkin myös kalliotunnelia. Lisäksi vesilain mukaisissa lupa-asioissa sovelletaan ympäristönsuojelulain pilaantumisen torjuntaa koskevien lupamääräysten asettamista koskevia säännöksiä (Hallituksen esitys 277/2009).

Esimerkiksi, mikäli kalliotunneliin kulkeutuu vuotovesien mukana haitallisia aineita, saattavat ne aiheuttaa ympäristön pilaantumista, mikäli ne johdetaan tunnelin kuivatusvesien mukana maastoon. Tunnelin louhinnan aikana syntyvien, ympäristöön johdettavien vesien (vuotovedet ja porauksessa käytettävä vesi) laadulla saattaa olla haitallisia ympäristövaikutuksia vesien purkualueella tai -vesistöissä. Ruotsissa ja Norjassa on olemassa tapauksia, joissa on todettu joidenkin tunneleissa käytettyjen tiivistysaineiden heikentäneen pohjaveden tai vuotoveden laatua (Weideborg et al 2001, Päiviö & Wallenius 2001).

Mikäli tunnelin rakentamisen aikana työskennellään alueella, jolla on syytä epäillä maaperän olevan pilaantunut, tulee noudattaa valtioneuvoston asetuksen VNa 214/2007 (asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista) sekä jätelainsäädännön periaatteita. Huomioon tulee ottaa myös maaperän pilaantumisen mahdollisesti aiheuttama pohjaveden pilaantuminen ja sen aiheuttamat vaikutukset tunnelin vuotovesien laatuun.

2.4 Pohjavesivaikutusten arviointiin ja tarkkailuun liittyvä ohjeistus

2.4.1 Pohjavesivaikutusten arviointiin ja tarkkailun suunnitteluun liittyvä Väyläviraston ohjeistus

Väylävirasto ohjeistaa pohjavesivaikutusten huomioimisesta ja/tai pohjavesitutkimusten suorittamisesta väylärakentamisessa seuraavissa ohjeissa:

- Kalliotunnelin kalliotekninen suunnitteluohje (Väyläviraston ohjeita 28/2019)
- Maastotietojen hankinta – Toimintaohjeet (Liikenneviraston ohjeita 19/2017)
- Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 18 – Rautatietunnelit (Liikenneviraston ohjeita 19/2018)
- Radanpidon ympäristöohje (Liikenneviraston ohjeita 22/2013)
- Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 20, Ympäristö ja rautatiealueet (Liikenneviraston ohjeita 18/2012)
- Geotekniset tutkimukset ja mittaukset (Liikenneviraston ohjeita 10/2015)
- Vesilaki väylähankkeissa (Liikenneviraston ohjeita 12/2013)
- Pohjaveden hallinta alikulkupaikoilla (Liikenneviraston ohjeita 1/2013)

Yllä olevassa luettelossa mainitun Kalliotunnelin kallioteknisen suunnitteluohjeen valmisteluvaiheessa on laadittu esiselvitystyönä *Selvitys kalliotunnelin kallioteknisestä suunnittelusta* (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018). Esiselvityksessä on kuvattu ohjetta tarkemmin suunnitteluvaiheessa tehtäviä kalliotutkimustarpeita ja tutkimusmenetelmiä, joihin lukeutuvat myös pohjavesitutkimukset.

Kallioteknisen suunnitteluun keskittyvät julkaisut eivät sellaisenaan palvele kalliotunnelien aiheuttamien pohjavesivaikutusten arvioinnin ja tarkkailun kokonaisuutta. Pohjavesivaikutuksista on yksilöity pohjaveden pinnan alenemisen aiheuttama rakenteiden painuminen sekä vuotovesien määrän ja laadun huomioiminen tunnelin tiivistyssuunnittelussa. Pohjavesitutkimusten ja pohjavesitarkkailun suunnittelua on käsitelty yleisluontoisesti.

Vesilain 587/2011 soveltamisesta väylähankkeissa on ohjeistettu Väyläviraston ohjeessa 12/2013. Ohjeen keskeistä sisältöä ovat vesilain yleiset periaatteet, hankkeiden luvanvaraisuus, lupaprosessien yleinen kulku, korvausperiaatteet ja menettelyt sekä vesilain soveltaminen erityyppisissä väylähankkeissa. Vesilain soveltamiselle tie- ja ratahankkeissa on omistettu oma lukunsa. Tässä luvussa on mm. hahmoteltu vesilain mukaisen luvan hakemisen ajallista sijoittumista väylähankkeen elinkaarelle. Lupaa voidaan hakea joko tie- tai ratasuunnitelmavaiheessa, tai vasta lähempänä rakentamista, mikäli rakentamisajankohta on kauempana tulevaisuudessa. Lupaa ei kannata hakea liian aikaisin, koska lupa saattaa vanhentua ennen rakennustöiden aloitusta. Mikäli lupaa haetaan tie- tai ratasuunnitelmavaiheessa, tarvittavat lupahakemusasiakirjat voidaan teettää tie- tai ratasuunnitelmat laativalla konsultilla. (Liikenneviraston ohjeita 1/2013).

Väyläviraston rautatietunneleita koskevassa ratateknisessä ohjeessa (Liikenneviraston ohjeita 19/2018) on käsitelty tunneleiden suunnittelun ympäristönäkökohdat. Ohjeessa on lueteltu pintavesien, pohjavesien ja painumien suhteen kussakin tunnelin elinkaaren vaiheessa seurattavat ympäristövaikutukset:

- pohjavesiputkien ja kaivojen vesipinta
- pora- ja lämpökaivot
- pohjaveden laatu
- vesistöjen tila
- pumppausvesien poisjohtamisojat
- sademäärätiedot
- rakennusten ja alueiden painumat
- muut mahdolliset YVA:n edellyttämät seurantakohteet

Ratateknisessä ohjeessa (RATO 18) on myös määritetty suunnitteluvaiheessa tehtävien ympäristöselvitysten tavoitteita ja sisältöjä.

2.4.2 Pohjavesivaikutusten arviontiin ja tarkkailun suunnitteluun liittyvä muu kotimainen ohjeistus

Kalliotunnelin rakentamista koskevaa pohjavesivaikutusten arviointiin ja tarkkailun suunnitteluun liittyvää kotimaista ohjeistusta ei ole laadittu.

Pohjaveden tarkkailusuunnitelman laadinnasta ja tarkkailun järjestämistä esitetään suosituksia esimerkiksi Suomen ympäristökeskuksen vuonna 2019 julkaisemassa ohjeistuksessa vedenottamoiden velvoitetarkkailuista. Julkaisussa on esitetty mm. pohjavedenoton ympäristövaikutusten arviointia varten tehtäviä selvityksiä, luettelo tarkkailusuunnitelman laajuuteen vaikuttavista tekijöistä, sekä suosituksia tarkkailusuunnitelman sisällöstä kuten esimerkiksi pohjavesipintojen mittaustiheydestä. (Rintala 2019). Pohjavedenoton tapaan myös kalliotunnelihankkeiden pohjavesivaikutukset aiheutuvat pohjavesipintojen alenemisesta, jolloin tarkkailtavat vaikutukset ovat osin samankaltaisia.

Rakentamiseen liittyvistä pohjavesitutkimuksista on ohjeistettu yleisesti esimerkiksi eurokoodi-järjestelmässä. Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja, ja niistä on säädetty 1.9.2014. Eurokoodit eivät ota kantaa kalliotunnelien suunnitteluun, mutta Eurokoodin osassa 7 (Geotekninen suunnittelu) on käsitelty pohjavesiasioiden huomioimista geoteknisessä suunnittelussa. Standardien soveltaminen eri maissa vaatii kansalliset soveltamisohjeet. Eurokoodille 7 on Suomessa käytössä kaksi kansallista liitettä. Väyläviraston ohje 13/2017 koskee liikenne- ja viestintäministeriön kansallisen liitteen mukaista silta- ja pohjarakenteiden geoteknistä suunnittelua, ja siinä on käsitelty pohjavesiasioita näiden rakenteiden näkökulmasta. Ympäristöministeriön kansalliset liitteet SFS-EN 1197-1 ja SFS-EN-1197-2 eurokoodille SFS-EN-1997 löytyvät ympäristöministeriön julkaisusta Rakenteiden lujuus ja vakaus – Pohjarakenteiden suunnittelu. Em. julkaisussa ja liitteissä suunnittelussa huomioitavia pohjavesivaikutuksia käsitellään kuitenkin melko yleisellä tasolla. (Ympäristöministeriö 2018b).

Kaivostoiminnan yhteydessä tehtävät louhinnat vaikuttavat pohjavedenpintoihin. Kaivostoiminnan ympäristövaikutusten arvioinnin hyviä käytäntöjä käsittelevässä tutkimusraportissa käsitellään kaivostoiminnan koko elinkaaren pohjavesivaikutusten selvittämistä sekä YVA-vaiheessa tarvittavia pohjavesiselvityksiä (Kauppila et al 2015 s. 69-71).

Yleisesti pohjavesitutkimusten toteuttamisesta ja suunnittelusta on ohjeistettu Suomen vesiyhdistyksen Pohjavesitutkimusoppaassa (Suomen vesiyhdistys 2005). Oppaassa kuvataan kattavasti erilaisiin tarpeisiin tehtävien pohjavesiselvitysten tavoitteita ja tutkimusmenetelmiä. Esimerkiksi pohjavedenoton, pohjaveden suojelun ja pohjaveden pilaantuneisuusselvitysten tarpeisiin tehtäviä pohjavesiselvityksiä on kuvattu. Rakennushankkeisiin liittyvää pohjavedenpinnan alentamista on kuvattu melko yleisellä tasolla, osio keskittyy kuvaamaan pohjaveden alentamisen ympäristövaikutuksia.

Edellä mainittuja julkaisuja voidaan hyödyntää, kun määritellään kalliotunnelihankkeen elinkaaren eri vaiheissa kerättävää pohjavesitietoa, pohjaveden hallinnan suunnittelussa tarvittavia tietoja sekä esitetään suosituksia tarkkailuohjelmien suunnittelusta ja sisällöstä.

2.4.3 Pohjavesivaikutusten arviointiin ja tarkkailun suunnitteluun liittyvä ohjeistus Ruotsissa ja Norjassa

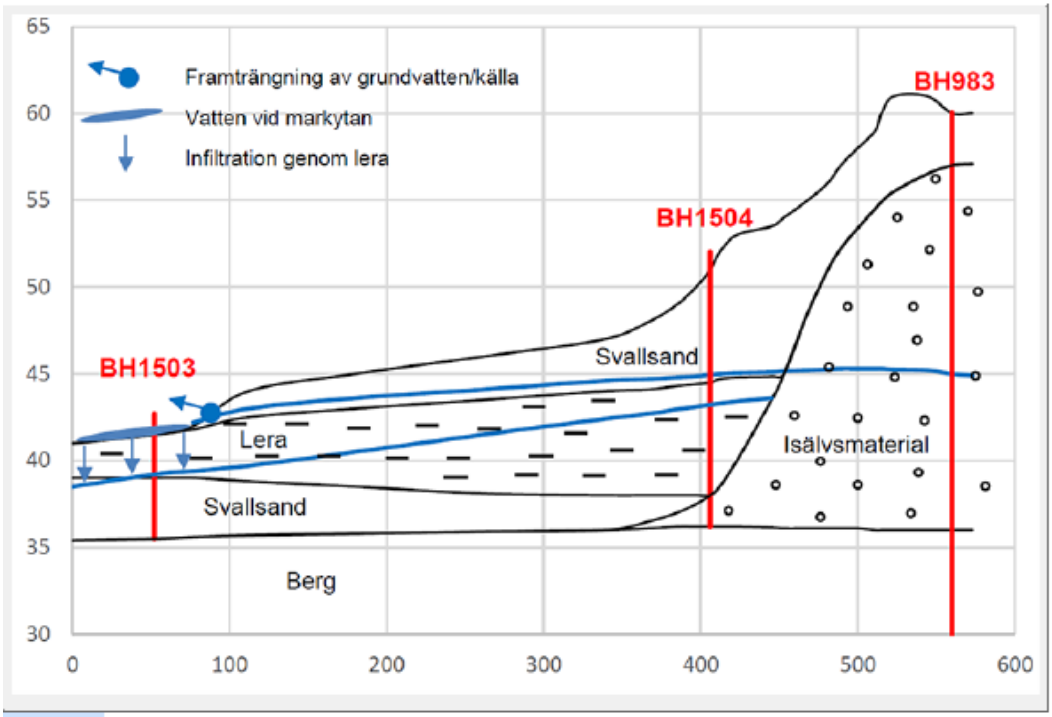
Kalliorakentamisen pohjavesivaikutusten arviointi on ollut esillä viime vuosina Ruotsissa, ja jo 2000 -luvun alussa Norjassa. Varsinaisia ohjeistuksia tai yhteenvetoja kalliotunnelirakentamiseen liittyvän pohjavesitarkkailun suunnittelusta ei ole käytettävissä. Aiheeseen liittyvissä julkaisuissa on käsitelty rakentamisen pohjavesipinnoille aiheuttamia muutoksia sekä näiden muutosten ympäristövaikutuksia toteutettujen hankkeiden aineistojen kautta.

Norjassa 1990 -luvun puolivälissä rakennetun, Oslon kaupungista Gardemoenin lentokentälle johtavan Romeriksportenin kalliotunnelihankkeen aikana todetut negatiiviset ympäristövaikutukset, kuten rakennusten painumat, kasvillisuuden muutokset sekä soiden ja pintavesiuomien kuivumiset ovat olleet taustana useille norjalaisille asiaa käsitteleville julkaisuille. Näitä tunnelin negatiivisia ympäristövaikutuksia on käsitelty norjalaisen Statens vegvesenin julkaisussa *"Tunnel investigation and groundwater control"* (Statens vegvesen 2005). Edellä

lueteltujen negatiivisten ympäristövaikutusten lisäksi kyseisen tunnelin tiivistämisessä käytetyn metyloliakryyliamidia ja akryyliamidia sisältävän tiiviste-aineen on raportoitu mahdollisesti vaikuttaneen joen ja vuononosan vesieliöstöön (Weideborg et al 2001).

Pohjavesien hallintaan liittyen on vuonna 2004 julkaistussa raportissa vertailtu vuotovesimäärien ja pohjaveden pinnan aleneman välistä yhteyttä Oslon alueen liikennetunneleissa. Raportin loppupäätelmissä todetaan, että pohjaveden alenemisen ja tunnelin vuotovesimäärän välillä ei ole aineistoissa havaittavissa selkeää yhteyttä. Ainoastaan, kun vuotovesimäärät ovat olleet yli 25 l/min/100 metriä, on havaittu korrelaatiota pohjavesipinnan merkittäviin alenemiin. Raportissa on arvioitu, että pohjavesipinnan alenema on havaittavissa vain tunneliin yhteydessä olevissa, kallioperän hyvin vettä johtaviin siirroksiin ja rakoihin sijoitetuissa kaivoissa. Raportin loppupäätelmissä todetaan, että jos halutaan saada kattava kokonaiskuva pohjaveden pinnan muutoksista tunnelin vaikutusalueella, tarvitaan erittäin paljon pohjaveden korkeuden mittauspisteitä. (Norges Geotekniske Institutt 2004).

Ruotsin geologinen tutkimuslaitos (SGU) on vuonna 2019 laatinut ohjeistuksen kuilujen, avolouhosten ja kaivantojen pohjavesivaikutusten arvioinnista. Ohjeistuksessa Ruotsin geologinen tutkimuskeskus tekee oman esityksensä siitä, millä perusteilla ja menetelmillä em. kalliorakennuskohteiden vaikutusalueita (influensområde) ja mahdollisia vaikutusalueita (påverkansområde) pohjaveden suhteen tulee arvioida. Ohjeistuksen mukaan rakennuskohteesta tulisi laatia käsitteellinen hydrogeologinen malli ennen vaikutusalueen laajuuden laskemista ja tarkkailuohjelman laatimista. Käsitteellisen mallin tulisi sisältää arvio alueen geologiasta, topografiasta, pohjaveden muodostumisesta alueella sekä vesistöistä, joihin poistovesiä johdetaan. SGU:n ohjeessa esitetty esimerkki käsitteellisestä mallista on kuvassa 1. Käsitteellisen mallin tietoja voidaan hyödyntää pohjaveden tarkkailupisteiden sijaintia suunniteltaessa. Laadittavan tarkkailuohjelman tulisi perustua käsitteellisestä mallista ja suunnitellun rakenteen vaikutusalueen laskennasta tehtyihin päätelmiin. (Sveriges Geologiska Undersökning 2019).



Konceptuell modell Den konceptuella modellen exemplifierad med en profil genom området.

Kuva 1. Esimerkki käsitteellisestä mallista (Sveriges Geologiska Undersökning 2019).

Vuonna 2012 BeFo (Stiftelsen bergteknisk forskning) julkaisi esiselvityksen kalliorakentamisen aiheuttamista vaikutuksista pohja- ja pintavesiolosuhteisiin. Esiselvityksen tavoitteina oli kerätä valittujen kalliorakennushankkeiden pohja- ja pintavesivaikutusten tarkkailuun ja arviointiin liittyvää aineistoa sekä kerätä tietoa vuotovesien poistamisen pohja- ja pintavesivaikutuksista valittujen hankkeiden osalta. Näiden työvaiheiden kautta tehtiin johtopäätöksiä seurantamittaustietojen saatavuudesta jatkotutkimuksia ajatellen. (Werner et al 2012).

Ruotsalaisen ja norjalaisen ohjeistuksen nykytilanteesta saatiin tietoja Golder Associatesin ruotsalaisten asiantuntijoiden (Jakob Eng ja Niclas Bockgård) kanssa käydyn sähköpostikeskustelun perusteella.

3 Pohjavesitietojen tarve ja tavoitteet kallio-tunnelihankkeen elinkaaren eri vaiheissa (nykytilanne)

3.1 Pohjaveden hallinta tunnelihankkeessa – mitä sillä tarkoitetaan?

Mäkiahon (2020) mukaan kalliotunnelihankkeen elinkaaren aikana kerättävän pohjavesitiedon tavoitteena on pohjaveden hallinta hankkeen aikana. Pohjaveden hallinnalla tarkoitetaan sellaisten rakentamisen ja käytön aikaisten pohjaveden pinnantasoon, painetasoon tai laatuun kohdistuvien vaikutusten ehkäisemistä, joista joko suoraan tai välillisesti saattaa aiheutua haittavaikutuksia ympäristölle, tunnelin rakentamiselle tai tunnelin käytölle.

Kalliotunnelin kallioteknistä suunnittelua koskevassa selvityksessä sekä Kalliotunnelin kallioteknisessä suunnitteluohjeessa tunnelin elinkaari on jaettu eri suunnitteluvaiheisiin, rakennusvaiheeseen sekä käyttö- ja kunnossapitovaiheeseen mukaillen tie- ja ratatunneleiden elinkaaren eri vaiheita: esisuunnitelma- ja tarveselvitysvaihe, yleissuunnitelmavaihe, tie- ja ratasuunnitelmavaihe, rakennussuunnitelmavaihe, rakentamisvaihe sekä käyttö- ja kunnossapitovaihe (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018, Väyläviraston ohjeita 28/2019).

Pohjavesipinnan alapuolelle toteutettava kalliorakentaminen alentaa kalliopohjaveden pintoja alueella, koska kallioperän rakojen ja ruhjeiden kautta kalliopohjavesiä vuotaa louhittavaan kalliotilaan. Kalliopohjaveden aleneminen aiheuttaa yleisimmin haitallisia vaikutuksia ympäristölle silloin, kun maapohjaveden pinnat laskevat kalliopohjaveden pinnan alenemisen seurauksena. Maapohjaveden pinnan aleneminen kasvattaa rakenteiden painumariskiä rakennetussa ympäristössä. Haitallisia ympäristövaikutuksia pyritään ehkäisemään erilaisilla kallion tiivistämisratkaisuilla. (Sitowise 2019b).

Pohjavesipintojen alenemisella saattaa olla myös muita haitallisia ympäristövaikutuksia. Vedenotto yksityiskaivoista tai vedenottamoilta saattaa vaikeutua kaivojen kuivumisen seurauksena. Luonnontilaisista lähteistä purkautuvan pohjaveden määrässä saattaa tapahtua muutoksia, rakentamistoimet saattavat vaikuttaa myös lähteistä purkautuvan veden laatuun. Pohjavesipintojen aleneminen saattaa joissain tapauksissa johtaa vesistöjen kuivumiseen, mikä puolestaan taas vaikuttaa alueen kasvillisuuteen. Pohjavesipintojen aleneminen kertoo yleensä vesivuodoista tunnelissa, jolloin tunneliin vuotavien pohjavesien mahdolliset haitta-ainepitoisuudet saattavat aiheuttaa haittaa ympäristölle, kun kuivatusvesiä johdetaan maastoon.

Kalliotilan vuotovedet vaikuttavat lisäksi tunnelin rakenteisiin ja käyttöön. Suuret vuotovesimäärät aiheuttavat ympäristövaikutusten lisäksi haittaa korkeiden kuivatuskustannusten kautta. Lisäksi vuotovesien laadulla on vaikutusta tunnelin rakenteiden korroosioon.

Kaikkien edellä mainittujen vaikutusten taustalla on kalliopohjavesipintojen aleneminen. Pohjavesipinnan taso vaihtelee luontaisesti vuodenaikojen mukaan, jolloin tästä luontaisesta vaihtelusta tulisi olla käsitys ennen rakentamisen aloittamista, jotta rakentamisen vaikutusta pohjavesipintoihin voidaan tunnelin elinkaaren aikana luotettavasti arvioida. Kalliotunnelin kallioteknistä suunnittelua koskevan esiselvityksen mukaan olisi ihanteellista, jos pohjaveden pinnan mittauksia olisi tehty vähintään vuosi ennen rakentamistöiden aloittamista. (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018).

Pohjavesivaikutusten tarkkailua varten laaditaan tarkkailusuunnitelmia suunnittelun, rakentamisen ja käytön ajalle. Pohjaveden tarkkailusuunnitelmia laadittaessa hyödynnetään sekä hankkeen aikana kerättyä tutkimustietoa että aiemmin kerättyä tietoa. Vaikka kalliotunnelihankkeen mahdollisesti aiheuttamat ympäristövaikutukset voidaan helposti listata, ovat paikallisesti aiheutuvat vaikutukset aina riippuvaisia kohdealueen ominaisuuksista. Ympäristövaikutusten seurantaa selkeyttää näin ollen tarkkailusuunnitelma, jossa on perusteltu, miksi ohjelmassa olevia tarkkailupisteitä ja tarkkailupisteistä mitattavia suureita on tarpeen seurata (Takala 2020).

Seuraavissa luvuissa esitetään pohjavesitietojen tarve tunnelin elinkaaren eri vaiheissa. Esitys perustuu Väyläviraston ohjeistukseen sekä tämän selvityksen yhteydessä tehtyihin haastatteluihin (Mäkiaho 2020, Takala 2020).

3.2 Esisuunnitelma- ja tarveselvitysvaihe

Esisuunnitelma- ja tarveselvitysvaiheen pohjavesiselvitysten tavoitteena on saada yleistietoa alueen pohjavesiolosuhteista, koska tunnelin linjaukselle on tässä suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa yleensä vielä useampia vaihtoehtoja. Esisuunnitteluvaiheessa tulisi vähintään tunnistaa, mitä tarvittavaa pohjavesitietoa on jo olemassa, ja mitä tietoa suunniteltavien tutkimusten avulla tulee jatkossa hankkia, jotta voidaan myöhemmässä suunnitelmavaiheessa huomioida myös pohjavesiolosuhteet, kun valitaan tunnelille sopivinta linjausvaihtoehtoa. (Mäkiaho 2020).

Esisuunnitelmavaiheessa tarkastellaan likimääräisellä maakunta- ja yleiskaavan tasolla väylähankkeiden tarvetta ja ajoitusta (Liikenneviraston ohjeita 28/2019). Tarkoituksena on kartoittaa kehittämistä vaativa väylämuodon nykytilanne, ongelmat ja tarpeet sekä hahmottaa vaihtoehtoiset ratkaisut. (Liikenneviraston ohjeita 24/2011).

Kalliotutkimuksilla on voitava esittää arvio kallioresurssin käytettävyydestä, yleispiirteinen käsitys kalliopinnan korkeustasosta, kallioperän rakennettavuudesta sekä ympäristöolosuhteista (Liikenneviraston ohjeita 28/2019).

3.3 Yleissuunnitelmavaihe

Yleissuunnitelmavaiheessa on vuotovesien hallinnan kannalta tavoitteena saada käsitys pohjaveden alueellisen pinnankorkeuden ja tunnelin korkeusaseman välisestä suhteesta, tunnistaa pohjaveden näkökulmasta riskiperusteiset rakenteet ja pohjavesikohteet sekä esittää arvio pohjavedenhallinnan ratkaisuista. Vuotovesien määrää hallitaan erilaisin kallion tiivistämisratkaisuin, jotka

suunnitellaan myöhemmissä suunnitelmavaiheissa. (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018).

Mikäli hankkeeseen sovelletaan YVA-menettelyä, toteutetaan YVA-menettely yleissuunnitelmavaiheessa (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018). YVA-menettelyssä arvioidaan myös hankkeen vaikutukset pohjavesiin. Tehtävien pohjavesiselvitysten tavoitteena on arvioida kalliotunnelihankkeen pohjavesivaikutukset, sekä esittää suunnitelma haitallisten pohjavesivaikutusten minimoinnille. Rakennustyön aikaisista pohjavesimittauksista voidaan laatia alustava suunnitelma jo yleissuunnitelmavaiheessa (Väyläviraston ohjeita 28/2019).

Yleissuunnitelmavaiheessa selvitetään väylän likimääräinen sijainti esiselvitys- / tarveselvitysvaiheessa esillä olleista vaihtoehdoista. Yleissuunnitelmalla vahvistetaan hankkeen tekninen, taloudellinen ja ympäristöllinen toteuttamiskelpoisuus. Myös ympäristöhaittojen toteuttamisen periaatteet suunnitellaan tässä vaiheessa, joten hankkeen mahdollisista ympäristöhaitoista ml. pohjavedelle aiheutuvat haitat, tulee olla selkeä käsitys. Kalliotutkimusten yhtenä tavoitteena on tehdä arvio pohjavedenhallinnan tarpeista (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018).

RATO 18 -ohjeen mukaan ympäristöselvitysten yleisenä periaatteena on, että tarveselvitys- ja alustavassa yleissuunnitteluvaiheessa orsi- ja pohjavesitutkimukset suoritetaan siten, että linjausten ja tasausten vertailu voidaan suorittaa riittävällä tarkkuudella, ja saadaan luotettava tieto pohjavesiolosuhteista tunnelin vaikutusalueella. Ohjeessa esitetään orsi- ja pohjavesitilanteen pitkäaikaisseuranta käynnistettäväksi alustavien tutkimusten perusteella. (Liikenneviraston ohjeita 19/2018).

Yleissuunnitelmavaiheessa selvitetään vesiluvan tarve hankkeessa (Väyläviraston ohjeita 28/2019). Vesilupahakemusta ryhdytään yleensä laatimaan siinä vaiheessa, kun on varmaa, että hanke on saamassa rahoituksen. Näin ollen vesilupahakemus ei ole kytketty mihinkään tiettyyn suunnitelmavaiheeseen. Rakentamista ei ole mahdollista aloittaa ennen kuin vesilupa on myönnetty ja saanut lainvoiman, mikäli hanke edellyttää sen hakemisen. (Mäkiaho 2020).

Vesilupahakemuksen perusteella lupaviranomainen tekee intressivertailun hankkeen hyödyistä ja haitoista. Luvanhakijan tulee liittää vesilupahakemukseen tarpeelliset tiedot intressivertailua varten. Lisäksi lupahakemuksessa tulee esittää ratkaisut hankkeen haitallisten vaikutusten minimoimiseksi. Kalliotunnelin suunnittelun tulee näin ollen olla melko pitkällä vesilupahakemuksen jättövaiheessa.

Vesiluvan lupamääräyksillä voi olla vaikutusta teknisiin suunnitteluratkaisuihin. Esimerkiksi Kehäradan vesiluvassa on määrätty tunnelille tietyillä osuuksilla sallittavat vuotovesien enimmäismäärät, jolloin määräys on saattanut vaikuttaa tunnelin tiivistämiseen liittyviin suunnitelmaratkaisuihin (Päätös nro 22/1010/4, DNro ESAVI/102/04.09/2010, 4.3.2010).

3.4 Tie- tai ratasuunnitelmavaihe

Tie- tai ratasuunnitelmavaiheessa laadittava suunnitelma vastaa asemakaavan tarkkuutta. Tässä vaiheessa mm. ratkaistaan maanomistajiin ja muihin asianosaisiin vaikuttavat tekijät, sekä määritetään liikenneväylän tarkka sijainti. Suunnitelmavaiheen tavoitteena on saada tarvittavat maa-alueet väylänpitäjän haltuun väylän rakentamista varten.

Yksityiskohtaiset kalliotekniset suunnitelmat laaditaan tie-/ratasuunnitelmavaiheessa. Suunnitelmia varten kohteen kalliopinnan sijaintitieto tarkistetaan ja tarkennetaan porakonekairauksin. Kalliolaatua selvitetään kallionäytekairauksin keskittyen erityisesti arvioituihin heikkousvyöhykkeisiin.

Pohjavesien hallinnan kannalta tavoitteena on selvittää tunnelin rakentamisen vaikutukset alueen pohjaveden pinnan korkeuteen. Sekä muutoksen suuruus että vaikutusalue selvitetään, kuten myös rakentamisen mahdolliset vaikutukset pohjaveden virtaussuuntaan. Vaikutusta pohjavesipintoihin voidaan kuvata laatimalla pohjaveden virtausmalli nykytilanteesta sekä rakentamisen ja käytön aikaisista ennustetuista tilanteista. (Väyläviraston ohjeita 28/2019).

Tie- ja ratasuunnitelmavaiheessa arvioidaan ympäristövaikutukset kallioteknisestä näkökulmasta, ja luodaan tunnelin tiivistysstrategia, jolla on mahdollista saavuttaa asetetut tiivistystavoitteet. Myös pohjaveden seurantaohjelman laatiminen sekä maalämpö- ja talousvesikaivoselvitykset on kytketty tämän suunnitelmavaiheen pohjavesiselvitysten tekemiseen. (Väyläviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018).

Kalliotunnelin kallioteknisen suunnitteluohjeen (Väyläviraston ohjeita 28/2019, s. 17) tie-/ratasuunnitelmavaiheen tuloksena laaditaan tarvittaessa vesilain mukainen lupahakemus.

3.5 Rakennussuunnitelmavaihe

Pohjavesien hallinnan suhteen tavoitteena on määritellä yksityiskohtainen tiivistystarve sekä tiivistysluokat, ja laatia yksityiskohtaiset tiivistyssuunnitelmat. Näistä tiedoista koottava pohjavesien hallintasuunnitelma ohjelmoidaan rakennussuunnitteluvaiheen lopuksi. Pohjaveden hallintasuunnitelmassa on myös varauduttava pohjaveden imeytystoimenpiteisiin tilanteissa, joissa rakentamisesta johtuvan pohjaveden pinnan laskun arvioidaan aiheuttavan haitallisia ympäristövaikutuksia. (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018).

Mikäli hankkeelle on haettu vesilain mukaista lupaa, tulee vesilupapäätös saada viimeistään rakennussuunnitelmavaiheessa, ennen rakentamisvaiheeseen siirtymistä, koska vesiluvan lupamääräyksillä voi olla vaikutusta mm. tiivistyssuunnitelmiin sekä rakentamisen aikaisen pohjavesitarkkailun sisältöön. Pohjaveden tarkkailusuunnitelma rakentamisen ajalle päivitetään tarvittaessa vesilupapäätöksen lupamääräysten mukaiseksi ennen rakentamisvaiheeseen siirtymistä. (Mäkiaho 2020).

Rakennussuunnitelman laatimisesta vastaa usein urakoitsija. Vaihe kattaa rakentamisessa tarvittavien asiakirjojen laatimisen. Rakennussuunnitelmavaiheessa laaditaan rakennuskohteen mitoitetut kalliorakennussuunnitelmat.

3.6 Rakentamisvaihe

Kalliotunnelin kallioteknisen suunnittelun esiselvityksen mukaan seurantamittausten pääasiallinen tarkoitus on ympäristön muutosten havainnointi ja haitallisten vaikutusten estäminen. Pohjavesipinnan mittauksilla myös ohjataan tiivistystyötä ja tarkennetaan tiivistystavoitteita. Lisäksi rakennustyön pohjavesivaikutukset osoitetaan viranomaisille pohjavesiriskialueilla. Vaikka selvityksessä mainitaan, että ihanteellista olisi, jos pohjaveden pinnan mittauksia olisi tehty vähintään vuosi ennen rakennustöiden aloittamista, vähimmäisvaatimuksena esitetään, että mittaukset aloitettaisiin vähintään useita kuukausia ennen rakennustyötä. (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018).

3.7 Käyttö- ja kunnossapitovaihe

Käyttö- ja kunnossapitovaiheen pohjavesitutkimusten tarkoitus on seurata rakentamisen mahdollisia pitkäaikaisvaikutuksia. Väyläviraston ohjeistuksen mukaan tunnelin käytön aikana jatketaan pohjavesiseurantaa ja kalliomekaanisia seurantamittauksia. Käytön aikaiset seurantamittausohjelmat laaditaan kohdekohtaisesti, ja seurantaohjelmissa otetaan huomioon alueen erityispiirteet. (Väyläviraston ohjeita 28/2019).

Selvityksen aikana haastateltujen henkilöiden kokemusten perusteella on toisinaan havaittavissa, että kalliotunnelin käyttövaiheessa jatketaan rakentamisen aikaista laajaa vaikutusten seurantaa melko pitkään. Jo suunnitteluvaiheessa määritellyt kriteerit ympäristövaikutusten tarkkailun muuttamiselle ja jopa lopettamiselle johtaisivat todennäköisesti tarkoituksenmukaisempaan seurantaan. Tarkkailun elinkaaren määritteleminen ennakkoon em. tavalla nähtiin mahdollisena kalliotunneleiden ympäristötarkkailujen kehittämiskohteena. (Mäkiaho 2020, Takala 2020).

4 Kalliotunnelihankkeisiin liittyviä pohjavesitutkimusmenetelmiä

4.1.1 Pohjaveden esiintyminen

Kalliotunnelin mahdollisesti aiheuttamien haitallisten ympäristövaikutusten taustalla on yleensä kalliopohjaveden pinnan aleneminen. Kallioperän pohjavesiolosuhteita tutkimalla ja niiden tuloksiin perustuvilla suunnitteluratkaisuilla pyritään ennakoimaan ja minimoimaan tai kokonaan ehkäisemään haitalliset ympäristövaikutukset. Kallioperän pohjavesiolosuhteiden lisäksi selvitetään maaperän pohjavesiolosuhteita sekä pintavesiolosuhteita, sekä arvioidaan näiden välisiä hydraulisia yhteyksiä. Tässä luvussa kuvataan yleisimmät tutkimusmenetelmät, joiden avulla hankitaan kalliotunnelihankkeen elinkaaren aikana tarvittavaa tietoa kallioperän sekä maaperän pohjavesiolosuhteista sekä pintavesiolosuhteista.

Kallioperän pohjavesiolosuhteita ja hydraulisia yhteyksiä arvioitaessa tulee huomioida, että suomalainen kiteinen kallioperä ei ole pääosin huokoista. Näin ollen kallioperään varastoitunut pohjavesi esiintyy ja liikkuu pääsääntöisesti vain kallioperän rakoja ja halkeamia pitkin. Rakoilua esiintyy kaikissa kivilajeissa, mutta eri kivilajeilla rakojen tiheys ja luonne ovat erilaisia. Kallioperän yhdensuuntaisen rakoilun tihentymiä eli suoraviivaisia kallioperän rikkoutumavyöhykkeitä nimitetään ruhjeiksi. Ruhjeiden pituus vaihtelee muutamasta kymmenestä metristä satoihin kilometreihin. Ruhjeet varastoivat runsaimmin kalliopohjavettä, ja muodostavat varsinaiset, pitkänomaiset, kalliopohjaveden altaat. Kallioperän raot ovat avonaisia pääosin 100 metrin syvyyteen maanpinnasta, ruhjevyöhykkeissä avoimia rakoja esiintyy syvemmälläkin. (Vesiyhdistys ry 1986).

Kallioperään varastoitunut pohjavesi voi olla yhteydessä yläpuolisiin maakerroksiin varastoituneeseen pohjaveteen kalliopinnalle ulottuvien kalliorakojen välityksellä. Kallioperän pohjavesien yhteys maaperän pohjaveteen on näin ollen riippuvainen sekä kallion rakoilutiheydestä että kallion pintaan rajoittuvan maakerroksen vedenjohtavuudesta alueella. (Vesiyhdistys ry 1986).

Maaperässä pohjavesi esiintyy ja virtaa maaperän huokosissa. Karkearakeisissa maalajeissa (esim. harjumuodostumat) pohjaveden pinnalla tarkoitetaan yleensä tasoa, jonka alapuolella maaperän huokoset ovat täysin veden kyllästämiä. Karkearakeisissa maalajeissa vedenläpäisevyys on yleensä hyvä. Savikoilla pohjaveden pinnantaso voidaan yleensä nähdä kuivakuorisaven ja plastisen saven rajapintana. Hienorakeisten maiden pienestä raekoosta ja huokoskoosta aiheutuvasta heikosta vedenjohtavuudesta johtuen veden virtaus on hidasta ja veden läpäisevyys on heikkoa. Savikerroksen alapuolisissa paremmin vettä johtavissa karkearakeisissa maakerroksissa pohjavesi on usein paineellista ja esim. pohjaveden pinnan mittauksissa mitataan tällöin pohjaveden painetasoa.

Pohjavesiolosuhteiden ja eri vesivarastojen hydraulisten yhteyksien lisäksi olisi tunnelin suunnitteluvaiheessa hyvä selvittää niiden vesistöjen, ojien sekä lähteiden tila (tapauskohtaisesti ekologinen tila, ojien virtaama, lähdevirtaama), joihin tunnelirakentaminen mahdollisesti vaikuttaa. Näiden vesialueiden tilaa on tarve seurata tunnelin rakentamisen ja usein vielä käytönkin aikana. Tässä luvussa on kuvattu myös tunnelin poisjohtamisojista, vesistöistä sekä lähteistä tehtäviä tutkimuksia.

4.1.2 Pohjaveden pinnantason ja painetason mittaukset

Pohjaveden pinnantasojen sekä painetasojen mittaaminen ja tarkkailu ovat oleellinen osa kalliotunnelihankeen ympäristövaikutusten seurantaa. Suunnitteluvaiheessa aloitettavalla pohjaveden painetasojen seurannalla pyritään saamaan käsitys suunnitellun tunnelialueen pohjavesipintojen luontaisesta vuodenaikaisvaihtelusta, sekä pohjavesipinnantasosta verrattuna suunnitellun tunnelin korkeustasoon. Mittaustietoja hyödynnetään pohjaveden hallintatoimenpiteiden suunnittelussa. Rakentamisen aikana tehtävät pohjaveden painetasojen mittaukset antavat tietoa tunnelin rakentamisen todellisesta vaikutuksesta pohjavesipintoihin, sekä auttavat tiivistystöiden ohjaamisessa ja sekä mahdollisen pohjaveden imeytystarpeen arvioinnissa.

Pohjaveden pinnan-/painetasot mitataan yleensä pohjaveden havaintoputkista ja kaivoista pohjavesipinnan mittarin avulla. Pohjavesipinnan mittari on mittanauhan päässä oleva sähköinen anturi, joka antaa äänimerkin vesipintaan osuessaan. Mittanauhasta luetaan vesipinnan syvyys havaintoputken päästä tai kaivon kannesta mitattuna. Havaintoputken pään ja/tai kaivon kannen korkotaso on yleensä määritetty hankkeen alueella käytettävään korkeusjärjestelmään.

Pohjaveden pinnan-/painetason vaihteluiden seuranta voidaan toteuttaa myös automaattimittareita eli ns. loggereita käyttämällä. Automaattimittarit mittaavat pohjaveden painetason vaihtelua havaintoputkessa tai kaivossa halutulla mittaustiheydellä. Mittaustiedot siirtyvät tarkkailua tekevälle taholle joko automaattisena tiedonsiirtona, tai vaihtoehtoisesti tieto puretaan manuaalisesti logger-muistista.

Maaperään asennettavissa pohjaveden havaintoputkesta mitattava pohjaveden painetaso edustaa pohjaveden painetasoa siinä maakerroksessa, johon siiviläosa on asennettu. Mikäli maaperä on kerroksellista, ja siinä on useita erillisiä pohjavesikerroksia, joiden kaikkien painetasot halutaan mitata, voidaan havaintoputkia asentaa maaperän eri kerroksiin, eri syvyyksille.

Kallioperän pohjaveden painetasoja mitataan kallioon asennetuista havaintoputkista, jotka ovat käytännössä kallioporakaivoja. Mikäli kalliopohjaveden havaintoputki asennetaan paikkaan, jossa kalliopinnan yläpuolella on maakerroksia, on maakerrosten osuudelle asennettava nousuputki tiivistettävä huolellisesti kallion pintaan. Tiivistämisellä estetään maaperän pohjavesien pääsy havaintoputkeen. Kallioporakaivo porataan haluttuun syvyyteen. Porakaivosta mitattava painetaso edustaa pohjaveden painetasoa niissä raoissa ja ruhjeissa, jotka porakaivo läpäisee. Jos kalliopohjaveden havaintoputken tiivistäminen kalliopintaan eli ole onnistunut, ja kallioreikään vuotaa maaperän pohjavesiä, ei havaintoputken vesi edusta kallion rakojen ja ruhjeiden pohjavettä (Takala 2020).

Pohjaveden pinnan-/painetasojen mittaustulosten tulkinnassa tulee ottaa huomioon pohjavesimuodostuman ominaisuudet (maaperän ja kallioperän rakenne) sekä mittaukseen käytettävän putken tai kaivon rakenne, pituus jne. Havaintoputkien asentamisen suunnittelun pohjana on alueen maaperä- ja pohjavesitietojen perusteella laadittava käsitteellinen malli.

4.1.3 Maa- ja kallioperän vedenjohtavuusominaisuuksien määrittäminen

Suunnitteluvaiheen kallioperän vedenjohtavuusselvitysten avulla voidaan tehdä arvioita rakennettavaan tunneliin suotautuvan veden määrästä sekä suunnitella tarvittavat tiivistysratkaisut. Tietoja maa- ja kallioperän vedenjohtavuudesta tarvitaan, kun tehdään pohjaveden virtausmalleja nykytilanteesta, sekä rakentamisen aikaisesta ja jälkeisestä tilanteesta, ja arvioidaan rakentamisen mahdollisesti aiheuttamia pohjavesipintojen alenemia.

Kalliotunnelin suunnitteluvaiheessa kallioperän *in situ* -vedenjohtavuutta voidaan mitata kairarei'istä tehtävillä vesimenekkikokeilla. Kalliotunnelin kallioteknistä suunnittelua koskevassa esiselvityksessä kerrotaan, että yleensä vesimenekkiä mitataan kairarei'issä noin 6 metrin pituisilta osuuksilta. Mittaus tehdään mittausvälillä, joka on tulpan tai tulppien rajoittamassa kairausreiän osassa. Tulpatulle mittausvälille syötetään vettä tunnetulla paineella, ja määrätyssä ajassa kairareikään syötettyä vesimäärää mitataan. Vesimäärästä ja paineesta lasketaan ns. Lugeon-arvo, josta on arvioitavissa kalliomassan vedenjohtavuus (k-arvo). Laskentakaavat, sekä yksityiskohtainen kuvaus vesimenekkikokeen suorittamisesta on esitetty esimerkiksi kalliotunnelin kallioteknistä suunnittelua koskevassa esiselvityksessä (Liikenneviraston ohjeita 47/2018, s. 46 ja s. 101). Vesimenekkikokeita tehdään myös rakentamisen aikana tunnelista käsin injektointiprosessiin liittyen. (Liikenneviraston ohjeita 47/2018, Hung et al 2009).

Maaperän vedenjohtavuutta voidaan selvittää suorittamalla ns. slug-testi maaperän pohjaveden havaintoputkessa. Testaaminen tapahtuu yleensä muuttamalla pohjaveden pintaa laittamalla havaintoputkeen kappale, joka syrjäyttää tietyn määrän vettä, ja nostaa vesipintaa. Vesipinnan nostamisen jälkeen mitataan vesipinnan palautumisnopeutta. Testi voidaan tehdä myös toiseen suuntaan, jolloin vesipinnan tasaantumisen jälkeen havaintoputkeen lisätty kappale poistetaan putkesta, ja mitataan alentuneen pohjavesipinnan palautumista. Slug-testin avulla saadaan luotettavimmat tulokset sellaisissa maakerroksissa, joiden vedenläpäisevyys on melko hyvä (k-arvo luokkaa 10^{-5} – 10^{-6} m/s. (Korkka-Niemi 2020, Hung et al 2009).

Koepumppauksia käytetään pohjavesiputkien ja kaivojen antoisuuden sekä kaivoja ympäröivän maa-aineksen vedenjohtavuuden selvittämiseen, kun maa-aineksen vedenjohtavuus on hyvä. Koepumppausten tulosten perusteella voidaan arvioida pohjaveden pinnan aleneman laajuutta ja vaikutusaluetta. Koepumppauksen aikana pumppauspisteestä (esim. kaivo, putki jne.) poistetaan vettä tunnetulla virtausnopeudella, ja pumppauksen vaikutusta pohjaveden pinnan tasoon mitataan viereisissä kaivoissa tai havaintoputkissa. Koepumppausten avulla saadaan tietoa vedenjohtavuudesta laajemmalta alueelta kuin yhdestä kairarei'istä tai havaintoputkesta tehtävin vesimenekkikokein tai slug-testein. Koepumppausten toteuttamisen kustannukset ovat yksittäisissä kairarei'issä tehtyjä testauksia suurempia. Lisäksi koepumppaus voi olla luonteeltaan pitkäkestoinen. (Loehr et al 2017, Hung et al 2009). Esimerkki pumppauskokeen tuloksesta on esitetty kuvassa 2.

Yleisimmin vedenjohtavuuden laskentaan käytetään kaavoja, joissa oletetaan, että pohjavesimuodostuma on homogeeninen ja suuntautumaton. Näin ei kiteisessä kallioperässä yleensä ole. Suomen oloissa kallioakviferin riittävä ho-

mogeenisuus ja isotrooppisuus toteutuu pääsääntöisesti kahdessa tapauksessa: säännöllisesti ja voimakkaasti rakoilleissa massiivisissa kivilajimuodostumissa (graniitti, granodioriitti ja tonaliitti) sekä kallioperän laajoissa ruhjevyöhykkeissä, joiden voidaan katsoa edustavan homogeenista akviferin osaa. (Tiainen 1985).

Maaperän vedenjohtavuusominaisuuksia voidaan em. testien lisäksi arvioida ja laskea k-arvoja esim. alueen maaperän raekokojakauman perusteella. Kallioperän vedenjohtavuutta voidaan alustavasti arvioida kalliolaadun perusteella. (Suomen ympäristökeskus 2019b).

Pumppauskokeiden suorittaminen ja kaavat vedenjohtavuuden laskemiselle homogeenisessa muodostumassa on yksityiskohtaisesti esitetty esimerkiksi U.S. Department of Transportation:n julkaisussa Geotechnical Site Characterization – Geotechinical Engeneering Circular no. 5 (Loehr et al 2016).

Figure 4.6. Drawdown cone after five days continual pumping in a crystalline bedrock aquifer. The pumping well is 100 m deep, and was pumped at 20 L s^{-1}. Pumping induced drawdown in wells 700 m to the northeast, but had no effect on water levels in a well 150 m to the north. The cone is strongly anisotropic in the northeast-southwest direction. (After Caswell, 1992).

Kuva 2. Esimerkki kalliokaivon pumppauskokeen tulosten perusteella piirretystä kalliopohjaveden alenemasta pumppauskaivon ympäristössä. Pumppauskartio on vahvasti suuntautunut. (Cook 2003).

Mikäli kallioperän rakoilusta tutkimusalueella on käytettävissä tarkkaa tietoa, voidaan epähomogeenisessa kallioperässä tehdyn pumppauskokeen tuloksista laskea kallioperän vedenjohtavuutta rakotilassa. Laskentakaavoja on esitetty mm. GTK:n tutkimusraportissa Conceptual and analytical modeling of fracture zone aquifers in hard rock — Implications of pumping tests in the Pohjukansalo well field, east-central Finland (Leveinen 2001). Myös Posivan julkaisemissa ydinjätteen loppusijoittamiseen liittyvissä tutkimusraporteissa on mallinnettu kiteisen kallioperän rakojen hydraulisia ominaisuuksia (Pentti et al 2019).

4.1.4 Vesinäytteenotto ja pohjaveden laadun tarkkailumittaukset

Kalliotunneliin suotautuvan veden laatu riippuu kalliotunnelia ympäröivän kalliopohjaveden laadusta (Hung et al 2009). Kalliotunneliin suotautuvan veden laatu vaikuttaa kalliotunnelin betonirakenteiden säilyvyyteen (Liikenneviraston ohjeita 47/2018). Tietyt pohjaveteen liuenneet aineet rasittavat kemiallisesti betonirakenteita, ja tätä pohjaveden ominaisuutta kuvataan termillä pohjaveden

aggressiivisuus. Kalliomassassa liikkuvan pohjaveden aggressiivisuudesta tuleekin olla tieto tunnelin suunnitteluvaiheessa. Pohjaveden aggressiivisuuden perusteella määritetään kallion lujitusrakenteiden käyttöikämäärittelyn edellyttämät ympäristön rasitusluokat (Väyläviraston ohjeita 28/2019). Pohja- ja maaveden korroosiotutkimusohjelma ja aggressiivisen ympäristön raja-arvot on esitetty Liikenneviraston julkaisemassa geoteknistä suunnittelua koskevassa eurokoodin soveltamisohjeessa (Liikenneviraston ohjeita 13/2017).

Pohjaveden laadun tarkkailutarve liittyy myös kalliotunnelin rakentamisen aiheuttamiin haitallisiin ympäristövaikutuksiin (esim. Hung et al). Esimerkiksi kalliotunnelin tiivistämisessä käytettävät injektointiaineet saattavat heikentää vedenottoon käytettävän kalliopohjaveden laatua. Pohjavedessä mahdollisesti olevat haitta-aineet saattavat kulkeutua tunneliin tai levitä ympäristöön tunnelista pois johdettavien kuivatusvesien mukana. Vesiluvan vaativien hankkeiden vesilupamääräyksissä edellytetäänkin tunnelin rakentamisen haitallisten ympäristövaikutusten tarkkailua erillisen, valvontaviranomaisen hyväksymän tarkkailuohjelman mukaisesti. Mikäli suunnittelualueen pohjavesien pilaantumista epäillään, valitaan analysoitavat haitta-aineet pilaantumista aiheuttaneen toiminnan mukaisesti (ks. taulukko 1).

Suunnitteluvaiheessa tehtävän kaivokartoituksen yhteydessä tutkitaan tunnelin vaikutusalueella olevien kaivojen vedenlaatua ottamalla vesinäytteet kartoituksen perusteella valituista kaivoista. Kaivokartoituksen toteuttaminen kuvataan tarkemmin luvussa 4.1.7. Liikenneviraston ohjeessa 10/2015 esitetään, että kaivovesien mikrobiologinen ja fysikaalis-kemiallinen laatu tutkitaan talousvesitutkimusten laajan analyysivalikoiman mukaisesti. Kyseinen laaja analyysivalikoima on esitetty Suomen vesiyhdistyksen Pohjavesitutkimusoppaan taulukossa 6.6 (laajan analyysipaketin mukaiset parametrit). (Liikennevirasto 2015, Suomen vesiyhdistys 2005).

Taulukko 1. Pohjaveden laadun tutkiminen kalliotunnelin suunnitteluvaiheessa. Tutkimuksen syy ja analysoitavat laatuparametrit määrittävä ohjeistus.

Kalliotunnelin elinkaaren vaihe	**Laatututkimuksen tavoite / tarkoitus**	**Ohjeistus, josta analysoitavat parametrit ovat löydettävissä**
Suunnitteluvaihe	Pohjaveden aggressiivisuuden selvittäminen	Eurokoodin soveltamisohje – Geotekninen suunnittelu – NCCI 7 (Liikenneviraston ohjeita 13/2017) Liite 5
	Ympäristön toiminnoista johtuvat haitta-ainepitoisuudet pohjavedessä	Valitaan pilaantumista mahdollisesti aiheuttaneen toiminnan mukaan
	Kaivokartoitus	Geotekniset tutkimukset ja mittaukset (Liikenneviraston ohjeita 10/2015) Pohjavesitutkimusopas (Suomen vesiyhdistys 2005) Taulukko 6.6

Pohjaveden laadullisia tutkimuksia varten otettavat vesinäytteet otetaan joko pohjaveden havaintoputkista, pohjavesikaivoista, lähteistä tai pohjavesilammikoista (Suomen ympäristökeskus 2008).

Pohjaveden laadun luotettava tutkiminen edellyttää hyvälaatuisen ja edustavan näytteen ottamista pohjavedestä. Tietyt pohjaveden laatua kuvaavat parametrit on suositeltavaa selvittää kenttämittauksin. Yleisimpiä kentällä mitattavia parametrejä ovat pH-arvo, sähkönjohtavuus, veteen liuenneen hapen pitoisuus ja hapetus-pelkistyspotentiaali.

Pohjavesinäytteet otetaan ensisijaisesti tarkoitukseen soveltuvalla näytteenottopumpulla. Ennen näytteiden ottamista hyväantoisesta havaintoputkesta poistetaan vettä näytteenottopumpulla. Vettä tulisi pumpata riittävän kauan ennen näytteenottoa, kunnes otettava näyte edustaa tarkasteltavan pohjavesivyöhykkeen vedenlaatua. Käytännössä esipumppaus kestää yleensä noin 20 minuuttia, ja pumppausta pyritään jatkamaan kunnes vesi kirkastuu. Pumppauksen teho vaihtelee välillä 2-8 l/min. Huonoantoisista putkista vedenpoisto ja näytteenotto voidaan tehdä tarkoitukseen soveltuvalla noutimella. (Suomen ympäristökeskus 2008).

Paineellisen pohjaveden alueella havaintoputkessa tai -kaivossa voi arteesinen pohjavesi valua omalla paineellaan putken/kaivon reunan yli maastoon, jolloin esipumppausta ei tarvitse tehdä. Lähteestä otettava vesinäyte voidaan ottaa suoraan näytepulloon. Mikäli lähdealueella on useampia pohjaveden purkautumiskohtia, näyte tulisi ottaa suurimmasta purkaumasta. Pohjavesilammikoista vesinäyte otetaan pääsääntöisesti noutimella. (Suomen ympäristökeskus 2008).

Talous- ja/tai kasteluvesikäytössä olevasta kaivosta vesinäytteet otetaan mieluimmin näytteenottopumpulla tai noutimella suoraan kaivosta, mutta näyte voidaan ottaa myös pumpun jälkeisestä lähimmästä hanasta. Kallioporakaivojen kohdalla näyte otetaan erillisestä näytteenottohanasta, joka on sijoitettu putkistoon ennen käsittelylaitteistoja ja painesäiliötä. Mikäli tarkoitus ei ole tutkia mikrobiologisia muuttujia, hanan suutinosaa ei tarvitse poistaa tai hanaa kuumentaa. Mikäli näyte otetaan myös mikrobiologisia määrityksiä varten, hanan suutinosa poistetaan ja hanan pää desinfioidaan tulella. Vettä juoksutetaan kylmällä puolella kunnes veden lämpötila on vakiintunut. Rengaskaivosta vesinäytteen voi ottaa myös pumpulla suoraan kaivosta. Kallioporakaivot ovat usein niin ahtaita, että näytteenottovälineistöä ei kannata laittaa kaivoon. (Suomen ympäristökeskus 2008).

Pohjavesinäytteiden edustavuutta voidaan lisätä ottamalla havaintoputkista näytteitä ns. hidasvirtausmenetelmällä. Hidasvirtausnäytteenotossa esipumppauksen nopeus säädetään niin alhaiseksi (tyypillisesti 0,1-0,5 l/min), että pohjavettä johtavaan kerrokseen ei aiheuteta hydraulista painetta eikä siten häiritä näytteenottoputken ympäristön maaperää. Hidasvirtausnäytteenotossa pohjavesipinta alenee näytteenoton aikana mahdollisimman vähän. Näytteenoton aikana mitataan kenttämittarilla pumpattavan veden laatua (mm. pH-arvo, lämpötila, sähkönjohtavuus). Vesinäyte otetaan, kun mitattavien laatuparametrien arvot ovat tasaantuneet. (U.S. Environmental protection agency 2010). Näytteenotto tällä menetelmällä kestää tyypillisesti 2 – 4 tuntia havaintoputkea kohden.

Hydraulisen paineen aiheuttamista voidaan välttää myös ottamalla näytteitä ns. passiivikeräimillä. Passiivikeräimiä käytetään yleisimmin, kun halutaan tutkia pohjavedessä pieninä pitoisuuksina esiintyviä haitta-aineita. Passiivikeräinten käytöstä pohjavesinäytteenotossa löytyy kattavasti tietoa ranskalaisen Ineriksen (Ineris - French National Institute for Industrial Environment and Risks) CityChlor -hankkeen raportissa INERIS (2013) Groundwater quality measurement with passive samplers - Code of best practices (INERIS 2013).

Vesinäytteiden ottaminen, säilytys, kuljetus ja kestävöinti on ohjeistettu yksityiskohtaisesti Suomen ympäristökeskuksen oppaassa Pohjavesinäytteenotto – nykytila ja kehitystarpeet (Suomen ympäristökeskus 2008), johon myös edellisissä kappaleissa on viitattu.

Lisäksi vesinäytteiden säilytykselle, kuljetukselle, esikäsittelylle sekä analysoinnille on esitetty suosituksia mm. Suomen ympäristökeskuksen raportissa Laatusuositukset ympäristöhallinnon vedenlaaturekistereihin vietävälle tiedolle (Suomen ympäristökeskus 2016).

Vesinäytteet tulee säilyttää viileässä ja pimeässä kentällä sekä näytteiden kuljetuksen aikana. Vesinäytteiden säilytykselle, kuljetukselle ja esikäsittelylle voidaan antaa ohjeita kohteen näytteenottosuunnitelmassa. Lisäksi on suositeltavaa kysyä ohjeita myös näytteet analysoivasta laboratoriosta.

Näytteenottotapa, kenttäanalyysit sekä laboratorioanalyysit määritetään tutkimusohjelmassa, huomioiden mm. hankkeen ja tutkimuksen tavoitteet, tietotarpeet sekä resurssit.

4.1.5 Vuotovesimäärien tarkkailumittaukset

Kalliotunnelin suunnitteluvaiheessa kalliotunnelille asetetaan tiiviystavoite, joka määrittelee sallitun vuotovesimäärän tunnelissa tai tietyllä tunneliosuudella (l/min/100-tunneli-m). Tiiviysluokkina käytetään Infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa (InfraRYL) esitettyjä tiiviysluokkia. Tiiviystavoitteen tulee perustua sekä ympäristöolosuhteista että käyttötarpeista johtuviin vaatimuksiin. (Väylävirasto 2019).

Tunnelitilan rakentaminen täysin kuivaksi vaatisi kustannuksiltaan mittavaa tiivistämistä, joten kalliotunnelia ei useimmissa tapauksissa suunnitella täysin kuivaksi. Kalliotunneliin suunnitellaan ja rakennetaan kuivatusjärjestelmät, joiden avulla kalliotilaan muodostuvat vuotovedet ohjataan ulos kalliotunnelista. (Väylävirasto 2019).

Tunneleissa tehtävillä vuotovesimittauksilla seurataan asetettujen tiiviystavoitteiden toteutumista (Väylävirasto 47/2018). Vuotovesimäärien seurantaa edellytetään usein myös tunnelihankkeiden vesiluvissa. Tiiviystavoitteita suuremmat vuotovesimäärät voivat johtaa esimerkiksi sallittua suurempiin pohjavesipintojen alenemiin ja/tai ongelmiin tunnelin kunnossapidossa.

Kalliotunnelin kallioteknisessä suunnitteluohjeessa mainitaan, että vuotovesimäärien mittauksia tehdään rakentamisen aikana esi-injektoinnin onnistumisen tarkistamiseksi. Vesivuotojen määrää mitataan esi-injektoidun tunneliosuuden louhinnan jälkeen visuaalisella tarkastelulla sekä kaivomittauksilla, mittapadoilla tai mittaamalla vesivuotoja suoraan vuodosta. (Väylävirasto 2019). Väyläviraston raportissa 47/2018 on mainittu, että louhintavaiheessa rakennettavat mittapadot ovat kalliita, mutta tarkkoja, ja niiden hyödyntämismahdollisuuksia rakennusvaiheen jälkeen tulisi tutkia.

Louhinnan aikana tunnelista johdetaan pois sekä tunnelin vuotovesiä että louhinnassa käytettävää huuhteluvettä (Takala 2020). Pois johdettavan kuivatusveden kokonaismäärän mittaaminen louhintojen aikana saattaa olla tarpeen ympäristövaikutusten tai viemäriin johdettavan vesimäärän tarkkailuvelvoitteiden vuoksi. Louhintojen aikana kuivatusvesien määrää voidaan seurata esimerkiksi kuivatusveden virtaamaa mittaamalla.

Tunnelin käytön aikainen vuotovesimäärien mittaaminen liittyy yleensä vesiluvan mukaiseen käytön aikaiseen ympäristövaikutusten tarkkailuun. Kalliotunnelin vesiluvassa on saatettu esimerkiksi edellyttää tunnelin kuivatuspumppaamoiden varovesialtaiden mitoittamista tiettyä ajanjaksoa vastaavan vuotovesimäärän suuruiseksi. Tunnelin käytön aikana vuotovesimäärien mittaukset voidaan tehdä esimerkiksi tunnelien kuivatuspumppaamoiden altaista, joiden kautta kuivatusvedet johdetaan ulos tunnelista. Käytännössä mittaus toteutetaan pysäyttämällä kuivatuspumppaamon pumput määräajaksi, ja mittaamalla pumppaamon altaaseen kertyvän veden määrää. Mittaustietojen perusteella saadaan laskettua vuotovesimäärä tunneliosuudelta, jolta vedet kyseiseen altaaseen kerätään.

Vuotovesimäärien mittausmenetelmistä tunnelin elinkaaren eri vaiheissa ei tätä työtä kirjoitettaessa löytynyt yhteenvetoa tai ohjeistusta.

4.1.6 Vuoto- ja kuivatusvesien laadun tarkkailumittaukset

Kalliotunnelin louhintatyön aikana kalliotilaan kertyvät, ja kalliotilasta poistettavat vedet muodostuvat sekä porauksen huuhteluvesistä että louhittavan kallioperän rakosysteemeistä ja ruhjeista vuotavasta pohjavedestä. Porauksessa käytetään yleensä vesijohtovettä.

Sementtipohjaisten injektointiaineiden ja ruiskubetonin sementti nostaa usein kuivatusvesien pH:ta. Lisäksi kuivatusvedet sisältävät räjähdeaineista peräisin olevia typpiyhdisteitä sekä natriumia. (Vesilupahakemus Kehärata). Kuivatusvedet voivat sisältää myös haitallisia pitoisuuksia arseenia, mikäli alueen kalliopohjavesissä arseenin pitoisuudet ovat koholla. Mikäli alueen kalliopohjavesiin on ihmistoiminnan seurauksena päässyt haitallisia aineita, saattavat tunneliin vuotavat pohjavedet sisältää näitä haitallisia aineita.

Tampereen rantatunnelin, Kehäradan tunnelin ja Savion sekä Labbackan tunneleiden työn aikaiset kuivatusvedet on pumpattu laskeutus-/selkeytysaltaisiin, ja edelleen öljynerotusaltaiden kautta ojiin, muuhun vesistöön tai jätevesiviemäriin. Laskeutus-/selkeytysaltailla pyritään poistamaan kuivatusvedestä kivipölystä muodostunutta kiintoainesta. Öljynerotus tehdään pääasiassa porauskalustossa käytettävän öljyn erottamiseksi. Myös pH:n säätöön on varauduttu. (Valittujen tunneleiden vesilupahakemusten tietoja).

Rakentamisen aikaisen kuivatusvesien laadun tarkkailun tavoitteena on hallita maastoon johdettavien kuivatusvesien edellisessä kappaleessa kuvattuja, haitallisia ympäristövaikutuksia. Kuivatusvesien laadun tarkkailu voi olla tarpeen myös, mikäli vedet johdetaan jätevedenpuhdistamolle, ja jätevedenpuhdistamon pitoisuusehtojen täyttyminen tulee varmistaa. Yksinomaan kalliotilaan vuotavan pohjaveden laatua on louhinnan aikana tarpeen tutkia lähinnä, mikäli vedessä havaitaan aistinvaraisesti jotain ennakkotiedoista poikkeavaa.

Tunnelin käytön ja kunnossapidon aikana kalliotunneliin vuotavat puhtaat pohjavedet pumpataan kuivatuspumppaamoiden kautta ojiin tai vesistöihin. Vesiluvan mukaisiin tunnelin käytön aikaisiin tarkkailuohjelmiin sisältyy yleensä näiden ympäristöön pumpattavien vuotovesien laadun säännöllinen tarkkailu. Tarkkailun avulla voidaan havaita mahdolliset muutokset vuotovesien laadussa. Tarkoituksena on varmistaa, ettei purkuojiin tai -vesistöihin johdeta sellaisia vesiä, joista voi aiheutua ympäristö- tai terveyshaittaa.

Vuotovesinäytteitä voidaan ottaa kuivatuspumppaamoilta esimerkiksikuivatusvesien keräysaltaista. Myös kenttämittaukset, kuten pH ja sähkönjohtavuus, voidaan tehdä näistä altaista.

4.1.7 Vuotovesien poisjohtamisojien tai -vesistöjen tutkimukset

Johdettaessa rakentamisen aikaisia kuivatusvesiä tai tunnelin käytön ja kunnossapidon aikaisia vuotovesiä vesistöihin tai ojiin, tulee vesistöjen ja ojien tilaa seurata vesilakiin tai ympäristönsuojelulakiin perustuvan tarkkailuvelvoitteen nojalla.

Vesilain 3. luvun 2 §:ssä on säädetty luonnontilaisen puron uoman muuttamisen sekä noron tai ojan, tai näiden vedenjuoksun muuttamisen luvanvaraisuudesta. Vesilain 5. luvussa on lisäksi säädetty ojituksesta, ojan käyttämisestä sekä ojan kunnossapidosta. Ympäristönsuojelulain 527/2014 27 §:ssä säädetään niiden

toimintojen luvanvaraisuudesta, joista saattaa aiheutua vesistön pilaantumista, tai joiden jätevesien johtaminen saattaa aiheuttaa ojan, noron tai lähteen pilaantumista.

Ojien, -uomien ja -vesistöjen, joihin tunnelin vesiä johdetaan, tila ja tilanne kartoitetaan tunnelin suunnitteluvaiheessa. Tässä hankkeessa tarkasteltujen tunneliaineistojen perusteella nämä selvitykset ovat sisältäneet pääosin purkuojien ja vesistöjen vedenlaatututkimuksia ja ennen rakentamista aloitettua vedenlaadun seurantaa.

Korkka-Niemen (2020) mukaan nykymenetelmin olisi myös mahdollista tutkia pohjaveden ja pintavesistöjen välisiä hydraulisia yhteyksiä yksinkertaisinkin keinoin tunnelin suunnitteluvaiheessa esimerkiksi isotooppitutkimusten avulla. Tutkimusmenetelmiä on viime vuosikymmeninä kehitetty sekä Suomessa että kansainvälisesti. Soveltuvia tutkimusmenetelmiä on kuvattu esimerkiksi julkaisussa "Vantaanjoen ja sen sivujokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin ja vaikutukset veden laatuun" (Kivimäki A-L et al 2013).

Tarkasteltujen tunnelihankkeiden tarkkailuaineistojen perusteella pintavesien tarkkailumittauksilla on pyritty havainnoimaan tunnelin kuivatusvesien mahdollisesti aiheuttamat haitalliset muutokset niissä ojissa ja vesistöissä, joihin vesiä johdetaan. Veden laadun lisäksi ojista on seurattu ojien virtaamaa. Yhdistämällä pitoisuus- ja virtaamatiedot voidaan arvioida tunnelin kuivatusvesien aiheuttamaa kuormitusta vastaanottavaan vesistöön. Tampereen rantatunnelin rakentamisen yhteydessä Näsijärvessä seurattiin muutoksia sedimentaationopeudessa ja sedimentin laadussa sekä kuivatusvesien aiheuttamia kuormitusvaikutuksia purkupaikkojen läheisyydessä.

Taulukossa 2 on eritelty kuivatus- ja vuotovesien laatuun vaikuttavia työvaiheita ja muita tekijöitä, sekä näiden toimintojen vaikutusten arviointia varten analysoitavia parametrejä. (Lähde: Kehäradan ja Rantatunnelin vesiluvat ja tarkkailuohjelmat).

Taulukko 2. Tunnelin kuivatusvesien laatuun vaikuttavat työvaiheet ja muut tekijät, ja vaikutusten arviointia varten määritettävät parametrit.

Kuivatusveden laatuun vaikuttava tekijä	**Toiminnan vaikutusten arviointia varten määritettäviä parametreja**
Poraus- ja räjäytystyöt	• Kokonaistyppi, nitraattityppi, nitriittityppi ja ammoniumtyppi • Kokonaisfosfori • Kiintoaines • Sameus • Natrium • Kemiallinen hapenkulutus (COD_{Mn}) • Liuenneen hapen pitoisuus • Sähkönjohtavuus • Öljyhiilivetyjakeet C_{10}-C_{40}

Kuivatusveden laatuun vaikuttava tekijä	Toiminnan vaikutusten arviointia varten määritettäviä parametreja
Injektointi- ja tiivistäminen	• pH-arvo • Sulfaatti (jos kuivatusvesien pH -säätöön käytetty rikkihappoa) • Kalsium • Natrium • Kalium • Sähkönjohtavuus
Kallioperän pohjaveden ominaisuudet	• Tapauskohtaisesti esim. arseeni, kloridi, radon (uraani), sähkönjohtavuus
Muut	• Tapauskohtaisesti mahdolliset kuivatusveden sisältämät muut haitta-aineet (pohjavedessä todetut haitta-aineet tai räjäytys/tiivistystöissä käytettävien aineiden sisältämän haitta-aineet)

4.1.8 Kaivokartoitukset (vesi- ja maalämpökaivot)

Väylähankkeiden yhteydessä tehtävät kaivokartoitukset on kuvattu yksityiskohtaisesti Väyläviraston ohjeessa 10/2015 Geotekniset tutkimukset ja mittaukset. Yksityiskaivot on kartoitettava, koska kalliotunnelin rakentamisen aiheuttamilla pohjavesipinnan tai pohjaveden laadun muutoksilla saattaa olla yksittäiselle maanomistajalle merkittävä vaikutus. Kalliotunnelin arvioidulla vaikutusalueella olevien kiinteistöjen kaivot kartoitetaan. Kartoitettavien kiinteistöjen etäisyys kalliotunnelista määritetään hydrogeologisen arvion ja käsitteellisen mallin perusteella. (Liikennevirasto 2015).

Kartoituksen yhteydessä laadittavaan kaivokorttiin kirjataan kaivon sijainnin lisäksi mm. omistajatiedot, kaivon halkaisija, pohjaveden pinta, kaivon pohjan taso, tiedot kaivon käyttötarkoituksesta, tiedot kaivon rakenteesta, kaivon iästä, kunnosta sekä vedenlaadusta. Kaivokortissa esitettävät tiedot löytyvät mm. Suomen vesiyhdistyksen julkaiseman Pohjavesitutkimusoppaan liitteestä 4. (Liikennevirasto 2015, Suomen vesiyhdistys 2005).

Kaivokartoitus tehdään ennen tunnelin rakentamisen aloittamista, jotta rakentamisen aikaiset muutokset kaivoveden laadussa tai määrässä voidaan todentaa (Liikennevirasto 10/2015).

Kaivokartoituksessa olisi hyvä huomioida myös mahdolliset tunnelin vaikutusalueella olevat maalämpökaivot. Maalämpökaivojen poraaminen edellyttää nykyään toimenpidelupaa sijaintikunnalta (VNa 283/2011). Näin ollen maalämpökaivojen sijainnista voi saada tietoa esim. sijaintikunnan rakennusvalvonnasta. Maalämpökaivojen sijainnin selvittäminen on edellytetty Kalliotunnelin kallioteknisessä suunnitteluohjeessa tehtäväksi tie- ja ratasuunnitteluvaiheessa (Väylävirasto 2019).

4.1.9 Lähdevirtaamamittaukset

Kalliotunnelin rakentamisen aiheuttama pohjavesipintojen aleneminen saattaa pienentää virtaamia niissä vesistöissä ja lähteissä, jotka ovat hydraulisessa yhteydessä kalliotunneliin. Luonnontilaisen lähteen luonnontilan vaarantaminen on vesilaissa (11 §) kielletty. Lupaviranomainen voi myöntää hakemuksesta poikkeuksen edellä mainittuun kieltoon, mikäli lähteen suojelutavoitteet eivät vaarannu. Rakentamisen aiheuttamat muutokset lähdevirtaamissa saattavat muuttaa lähteen luontotyypin biologista monimuotoisuutta tai biologisen monimuotoisuuden kannalta olennaisia ominaispiirteitä, joita pidetään lähteen luonnontilan mittareina (Suomen ympäristökeskus 2019a).

Kalliotunnelin suunnitteluvaiheessa on edellä mainituista syistä tärkeää kartoittaa tunnelilinjauksen ympäristössä sijaitsevat lähteet ja mitata lähdevirtaamat. Rakentamisen mahdollisesti aiheuttamaa lähdevirtaamien pienentymistä voidaan suunnitteluvaiheessa tehtävän pohjaveden virtausmallin avulla arvioida. Arviot rakentamisen vaikutuksesta lähdevirtaamiin ja mahdolliset haitallisia vaikutuksia ehkäisevät suunnitteluratkaisut esitetään vesilupahakemuksessa.

Lähdevirtaamien mittaaminen lähteiköistä, jotka purkavat vetensä esimerkiksi soille lukuisia uomia pitkin on lähes mahdotonta (Vesitalous 4/2014, Suomen lähteet). Purolähteistä ja lähteiköistä, joilla purku-uomia on vähemmän, voidaan virtaamat mitata mittapatojen avulla. Yleisimmin käytetään kolmioaukkopatoa (Thomson), joka voi olla pysyvä tai helposti siirreltävä rakennelma. Mikäli virtaama on suuri, voidaan virtaaman mittaus tehdä siivikolla tai muulla virtaamamittarilla. (Suomen vesiyhdistys 2005).

Pohja- ja pintavesien yhteydet ovat usein heikosti tunnettuja. Tutkimusmenetelmiä on olemassa, ja niitä on kehitetty esimerkiksi Vantaanjoen ja Säkylän Pyhäjärven ympäristössä tehdyissä tutkimuksissa. Yhtenä esimerkkinä tutkimusmenetelmistä voisi mainita isotooppitutkimukset. Isotooppitutkimusten avulla selvitetään hapen ja vedyn eri isotooppien osuuksia pinta- ja pohjavedessä, ja voidaan tehdä johtopäätöksiä pohjaveden purkautumisesta tutkittavaan vesistöön, ja toisaalta pintaveden suotautumisesta pohjaveteen. Myös vesistöön purkautuvan pohjaveden määrää voidaan mitata esimerkiksi suotovirtaus- eli seepagemittarilla (Kivimäki, A-L et al 2013, Rautio et al. 2015)

5 Pohjavesitutkimukset tunnelihankkeen elinkaaren eri vaiheissa

Pohjavesitutkimuksia tehdään koko kalliotunnelin elinkaaren ajan. Jotta rakentamisen aiheuttamia ympäristövaikutuksia voidaan arvioida, tulee tuntea ennen rakentamista vallinnut tilanne. Seurantamittausten aloittaminen jo varhaisessa suunnittelun vaiheessa on tästä syystä perusteltua. Ennen rakentamista tehtävistä pohjavesitutkimuksista saadaan myös tärkeää tietoa pohjavesimalleihin, joilla pyritään ennustamaan tulevan tunnelirakentamisen ja tunnelin käytön aikaisia ympäristövaikutuksia. Suunnittelun aikaisiin pohjavesimalleihin ja tutkimustuloksiin perustuen voidaan suunnitella ratkaisut, joiden avulla ehkäistään tai minimoidaan ennustettuja haitallisia ympäristövaikutuksia.

Rakentamisen aikana tehtävillä seurantamittauksilla pyritään todentamaan, että haitalliset ympäristövaikutukset on saatu suunnitellulla tavalla minimoitua tai estettyä. Seurantamittauksilla voidaan myös havaita, mikäli näin ei ole, ja mittaustulosten perusteella päättää korjaavista toimenpiteistä. Osa rakentamisen aiheuttamista vaikutuksista on pysyviä ja osa rajoittuu rakentamisen ajalle. Käytön ja kunnossapidon aikaisella ympäristövaikutusten seurannalla todennetaan kalliotunnelin rakentamisen pitkäaikaisvaikutuksia.

Tampereen rantatunnelin rakentamisen aikaisessa ympäristövaikutusten seurantaohjelmassa (Sito, 6.5.2011) onkin osuvasti todettu ympäristövaikutusten seurantatarpeesta seuraavaa: *"Ympäristövaikutusten arvioinnin luonteeseen kuuluu epävarmuus. Seurantaa tarvitaan erityisesti niiden vaikutusalueiden osalta, joiden kohdalla on epävarmuustekijöitä vaikutusten suuruudessa ja kohdentumisessa. Seuranta on työkalu haitallisten vaikutusten ehkäisyyn ja lieventämistoimenpiteiden suunnitteluun. Seurannan tuloksien avulla toimenpiteitä voidaan tarkentaa oikeaan suuntaan."*

Tässä luvussa kuvataan yleisimmät pohjavesitutkimukset tunnelin elinkaaren ajalle vaiheistettuna.

5.1 Esisuunnitelma- tai tarveselvitysvaihe

Esisuunnitelmavaihe tukeutuu normaalisti hyvin pitkälti olemassa oleviin aineistoihin sekä maastokäynneillä tehtyihin havaintoihin (Liikenneviraston ohjeita 28/2019).

Geotietojen osalta esisuunnitelmavaiheessa hyödynnettäviä aineistoja ovat Väyläviraston Maastotietojen hankintaohjeen mukaan maaperä- ja kallioperäkartat, peruskartat, kuntien kantakartat (1:2000), ilmakuvat sekä saatavilla olevat geologiset rakenneselvitykset. Myös luokiteltujen pohjavesialueiden sijainnit pyritään selvittämään. (Liikenneviraston ohjeita 19/2017). Erilaisia kartta- ja ilmakuva-aineistoja on tällä hetkellä saatavana useiden erilaisten karttapalveluiden kautta (mm. Maanmittauslaitoksen Paikkatietoikkuna -palvelu, Geologian tutkimuskeskuksen Maankamara- ja Hakku-palvelut sekä Lähde-tietokanta). Esimerkiksi tunnetut lähteet ja pohjavesilammikot on merkitty maastokartoille.

Julkisesti saatavilla olevaa pohjavesitietoa on koottu Suomen ympäristökeskuksen avoimen tiedon palveluihin. SYKEn Karpalo-karttapalvelusta löytyy tietoa mm. luokitelluista pohjavesialueista, pohjavesialueilla olevista pohjaveden havaintopisteistä, pohjavesipinnantasoista, pohjaveden laadusta sekä pilaantuneista maa-alueista. SYKEn avointa tietoa tarjoavien palveluiden kautta on haettavissa myös esimerkiksi havaintotietoja lähteistä ja pohjavesilammikoista. SYKEn aineistoista löytyy myös monipuolisesti muuta ympäristöhallinnon järjestelmiin tallennettua ympäristön seurantatietoa. Julkisesti saatavilla olevaa pohjavesitietoa ovat myös useille pohjavesialueille laaditut pohjavesialueen suojelusuunnitelmat.

Olemassa olevien aineistojen hankinnan ja tarkastelun lisäksi esisuunnitelmavaiheen keskeiseksi tutkimusmenetelmäksi on tunnistettu kalliopaljastumien kartoitus. (Liikenneviraston raportteja ja selvityksiä 47/2018).

5.2 Yleissuunnitelmavaihe

Yleissuunnitelmavaiheessa kartoitetaan esisuunnitteluvaihetta yksityiskohtaisemmin suunnittelualueella aiemmin tehdyt maastotutkimukset sekä selvitetään tiedot rakennusten perustamistavasta (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018).

Mikäli kalliotunnelihanke on YVA-hanke, toteutetaan ympäristövaikutusten arviointi yleissuunnitteluvaiheessa. YVA-selostuksessa arvioidaan pohjavesivaikutuksia vielä melko yleisellä tasolla. Todennäköisesti olemassa olevat aineistot ovat riittäviä arvioinnin ja YVA-selostuksen laatimiseen.

Yleissuunnitelmavaiheen kalliotutkimuksilla halutaan saada tietoa tunnelin suunnittelua varten alueen geologiasta, kallioperän topografiasta, kallion laadusta, maakerrosten paksuuksista ja pohjavesiolosuhteista, tarkentaen alueen kallioperän heikkousvyöhykkeitä, rakosuuntia, rakojen ja ehjän kiven mekaanisia ominaisuuksia, jännitystilaa, vedenjohtavuutta sekä ympäristön rakenteita ja laitteita (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018).

Keskeisimpiä yleissuunnitelmavaiheen maastotutkimuksia on lueteltu kalliotunnelin kallioteknistä suunnittelua koskevassa esiselvityksessä (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018). Näistä menetelmistä pohjavesitietojen kannalta oleellisimpia ovat:

- Kalliopaljastumakartoitus
- Maatutkaluotaus
- Seisminen refraktioluotaus
- Porakonekairaus
- Kallionäytekairaus
- Pohjavesitutkimukset

Kalliotunnelin kallioteknisessä suunnitteluohjeessa käsitettä "pohjavesitutkimukset" ei ole tarkemmin eritelty. Tehdyissä haastatteluissa (Mäkiaho 2020 ja Takala 2020) on suunnittelun aikana tehtäviksi oleellisiksi pohjavesitutkimusmenetelmiksi mainittu:

- Pohjaveden pinnan ja painetason mittaukset
- Kaivokartoitukset
- Lähdevirtaamien mittaukset
- Pohjaveden laadun tutkiminen
- Maa- ja kallioperän vedenjohtavuuden määritysmenetelmät

Mäkiahon (2020) mukaan kaivokartoituksia ei yleensä toteuteta suunnittelun ensimmäisissä vaiheissa, jotta kaivokartoituksen yhteydessä kerättävä tieto ei vanhene ennen rakentamisen aloitusta.

Kaikilla mainituilla tutkimusmenetelmillä saadaan tietoa suunnittelualueen pohjavesiolosuhteista. Tiedot toimivat lähtötietoina seuraavan suunnitteluvaiheen tutkimusten suunnittelussa.

5.3 Tie- tai ratasuunnitelmavaihe

Tie- tai ratasuunnitelmavaiheessa tehtävät lisätutkimukset määritellään kallio-tunnelin mitoituslaskelmien perusteella (Liikenneviraston ohjeita 19/2017). Suurelta osin tutkimusmenetelmät, joilla saadaan tietoa pohjavesiolosuhteista, ovat samoja kuin yleissuunnitteluvaiheessa. Lisäksi käytetään tutkimusmenetelmiä, joilla saadaan aiempiin suunnitteluvaiheisiin verrattuna yksityiskohtaisempaa tietoa suunnittelukohteesta. Pohjaveden kannalta tällaista lisätietoa voidaan saada mm. Maastotietojen hankinta -ohjeessa tie-/ratasuunnitelmavaiheen tutkimusmenetelmiin kuuluvalla kairareikien kuvantamisella (optinen tai akustinen kuvantaminen).

Tie- tai ratasuunnitelmavaiheessa varmistetaan koko tunnelilinjan osuudelta kalliopinnan korkeusasema. Rakennusgeologinen kartoitus laajennetaan kattamaan kaikki suunnitellun tunnelin alueen kalliopaljastumat. Em. selvitykset palvelevat pohjavesitutkimusten suunnittelua. Kaikkien tunnettujen tunnelia lävistävien merkittävien heikkousvyöhykkeiden kalliolaatu ja vedenjohtavuus tulee selvittää vyöhykettä lävistävin kairauksin ja kairarei'istä tehtävin tutkimuksin. Tässä vaiheessa suunnitellaan pohjaveden laadulliset tutkimukset, joiden tavoitteena on selvittää pohjaveden vaikutukset mm. mekaanisten lujitusrakenteiden käyttöikään. (Väyläviraston ohjeita 28/2019).

Pohjaveden työnaikaisen seurantaohjelman laatiminen sekä maalämpö- ja kaivoselvitykset tehdään yleensä tie- tai ratasuunnitelmavaiheessa. Tässä vaiheessa voidaan toteuttaa myös seurantajärjestelmän luominen rakentamisen aikaista tarkkailua varten. (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018).

Tie- tai ratasuunnitelmavaiheessa tehtävien pohjavesitutkimusten määrään vaikuttaa vuotovesien hallinnan suunnittelua varten tarvittavien tietojen määrä. Tie- tai ratasuunnitelmavaiheen tavoitteena on luoda tunnelin tiivistysstrategia. Tunnelin tiivistysstrategiaan vaikuttaa mm. kalliotunnelin rakentamisen arvioidut pohjavesivaikutukset suunnittelualueella, joten viimeistään tässä vaiheessa on tehtävä pohjavesitutkimukset sillä tasolla, että tunnelin rakentamisen pohjavesivaikutukset voidaan arvioida. (Liikenneviraston raportteja ja selvityksiä 47/2017).

Oleellisia pohjavesitutkimusmenetelmiä ovat:

- Havaintoputkien asennukset
- Pohjaveden pinnan/painetasojen mittaukset
- Vesimenekkikokeet, pumppauskokeet ja/tai slug-testit
- Kaivokartoitukset
- Lähdevirtaamien ja pohjavesiriippuvaisten vesistöjen virtaamien mittaukset
- Pohjaveden laadun tutkiminen

- Suunniteltujen tunnelin vuotovesien poisjohtamisojien ja vesistöjen veden laadun tutkimukset.

5.4 Rakennussuunnitelmavaihe

Pohjavesivaikutusten ja olosuhteiden arvioinnin kannalta keskeisiä rakennussuunnitelmavaiheen tutkimusmenetelmiä ovat:

- Pohjaveden pinnan/painetasojen tarkkailu
- Pohjaveden laadun tarkkailu
- Havaintoputkien asennukset
- Tarkkailuohjelman mukainen suunniteltujen vuotovesien poisjohtamisojien ja vastaanottavien vesistöjen tarkkailu
- Porakonekairaukset
- Kallionäytekairaukset
- Rakennusten ja rakenteiden korkeustason mittaukset.

Rakennussuunnitelmavaiheessa pohjaveden seurantapisteiden verkostoa tulee täydentää kattamaan tunnistetut pohjavesiriskialueet. Porakonekairauksia jatketaan siten, että pistevälin riittävyys on varmistettu myös tunnelilinjan erikoiskohdissa ja tunnelin sivuilla. Tunnelin tiivistystarve määritellään yksityiskohtaisesti. Tarvittaessa tehdään lisää kallionäytekairauksia. Rakennussuunnitteluvaiheessa toteutetaan edellisessä suunnitteluvaiheessa suunniteltua pohjavesitarkkailua sekä määritellään alueella olevien maalämpökaivojen varoalueet. (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018).

Rakennussuunnitelmavaiheen aikana hankittavia pohjavesitietoja hyödynnetään kalliotunnelin toteutusta palvelevan mitoitusraportin (tiivistyssuunnitelmista laadittu mitoitusraportti) laadinnassa. Tietojen avulla seurantamittaussuunnitelmia voidaan vielä päivittää. Mikäli kyseessä on vesilain mukainen hanke, annetaan vesilupapäätös viimeistään tässä suunnitelmavaiheessa ennen rakentamisvaiheeseen siirtymistä.

5.5 Rakentamisvaihe

Rakentamisvaiheessa tehdään seurantamittauksia aiemmissa suunnitelmavaiheissa laaditun tarkkailusuunnitelman mukaisesti. Louhintavaiheessa mittauksia tehdään yleensä tiheästi. Erityistä huomioita tarkkailussa kiinnitetään tunnelin vaikutusalueella oleviin savi- ja silttialueisiin mahdollisten painumien havaitsemiseksi. (Väyläviraston ohjeita 28/2019).

Rakentamisvaiheessa olisi hyvä tehdä pohjavesivaikutusten seurantaan liittyviä seuraavia mittauksia:

- Pohjaveden pinnan ja painetasojen mittaukset (sis. mittaukset yksityiskaivoista)
- Lähdevirtaamien mittaukset ja mahdolliset virtaamamittaukset pohjavesivaikutteisista vesistöistä
- Pohjaveden laadun tarkkailumittaukset (sis. mittaukset yksityiskaivoista)
- Kuivatusvesien määrän tarkkailumittaukset
- Kuivatusvesien laadun tarkkailumittaukset
- Kuivatusvesien poisjohtamisojien ja vastaanottavien vesistöjen tarkkailumittaukset (veden laatu ja ojiin johdettavan veden määrä)

- Tarkkailumittaukset lähdealueilta (veden laadun ja määrän seurantamittaukset)
- Rakennusten ja alueiden painumamittaukset

5.6 Käyttö- ja kunnossapitovaihe

Kalliotunnelin rakentamisen haitallisten ympäristövaikutusten korjaamiseen on varauduttava hankkeen jokaisessa vaiheessa, joten myös käyttö- ja kunnossapitovaiheessa tehtävillä pohjavesitutkimuksilla saattaa olla toimenpiteisiin johtava vaikutus. Käyttö- ja kunnossapitovaiheen pohjavesitutkimuksia tehdään pääsääntöisesti tunnelin käyttövaihetta varten laaditun ympäristövaikutusten tarkkailuohjelman mukaisesti. Tarkkailuohjelmaa päivitetään tunnelin käytön aikana tarvittaessa. Tavoitteena on seurata tunnelin rakentamisen pitkäaikaisvaikutuksia, joten ajan mittaan tilanteen vakiintuessa seurannan supistaminen saattaa olla perusteltua.

Käyttö- ja kunnossapitovaiheessa olisi hyvä tehdä seuraavia pohjavesivaikutusten seurantaan liittyviä mittauksia:

- Pohjaveden pinnan ja painetasojen mittaukset (sis. mittaukset yksityiskaivoista)
- Pohjaveden laadun seuranta (sis. mittaukset yksityiskaivoista)
- Lähdevirtaamien mittaukset ja mahdolliset pohjavesivaikutteisten vesistöjen virtaamamittaukset
- Tunnelin vuotovesien määrän mittaukset
- Tunnelin vuotovesien laadun mittaukset
- Vuotovesien poisjohtamisojien ja vastaanottavien vesistöjen mittaukset (veden laatu ja vuotovesien määrät)
- Tarkkailumittaukset lähdealueilta tarvittaessa (veden laadun ja määrän seurantamittaukset)
- Rakennusten ja alueiden painumamittaukset

6 Valittujen liikennetunnelihankkeiden pohjavesiselvitykset hankkeen elinkaaren aikana

6.1 Savion rautatietunneli

6.1.1 Yleistä

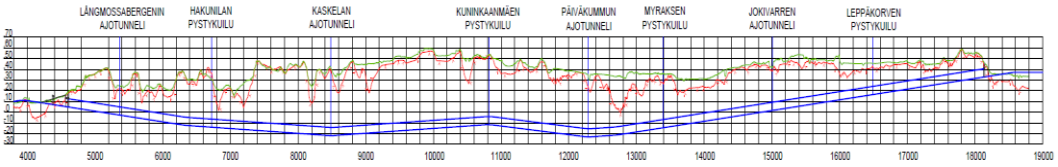
Savion rautatietunneli rakennettiin vuosien 2004–2008 aikana osana Vuosaaren sataman maaliikenneyhteyksiä. Pääosa louhinnoista on tehty vuosina 2005–2006. Tunneli kulkee Keravan Saviolta Vantaan Länsimäkeen, Porvoonväylän eteläpuolelle. Rautatietunnelin pituus on 13,5 km. Tunneli kulkee pääosin noin 30–70 metriä maanpinnan alapuolella ja sijoittuu alueen pohjavesipinnan tason alapuolelle. Tunnelin sijainti on esitetty kartalla kuvassa 4.

Tunnelilinjalla vuorottelevat maanpinnassa avokalliot ja niitä reunustavat moreenialueet sekä näiden väliset savikot ja silttialueet (kuva 5). Vallitsevat kivilajit ovat graniitti ja gneissi (kuva 6). Kalliopinta on alimmillaan painanteiden ja ruhjeiden kohdalla tasolla -3…+12,5. Tunnelin pienimmät kalliokattopaksuudet ovat Ojangossa (n. 7-8 m), Myraksen ruhjeen alueella (n. 7 metriä) ja Leppäkorven alueella (4-5 metriä). (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2004).

Merkittävät kallioperän ruhjeet ja painaumat sijaitsevat Savion rautatietunnelin rakentamista koskevassa vesilupapäätöksessä (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2004) esitetyn mukaan seuraavilla alueilla:

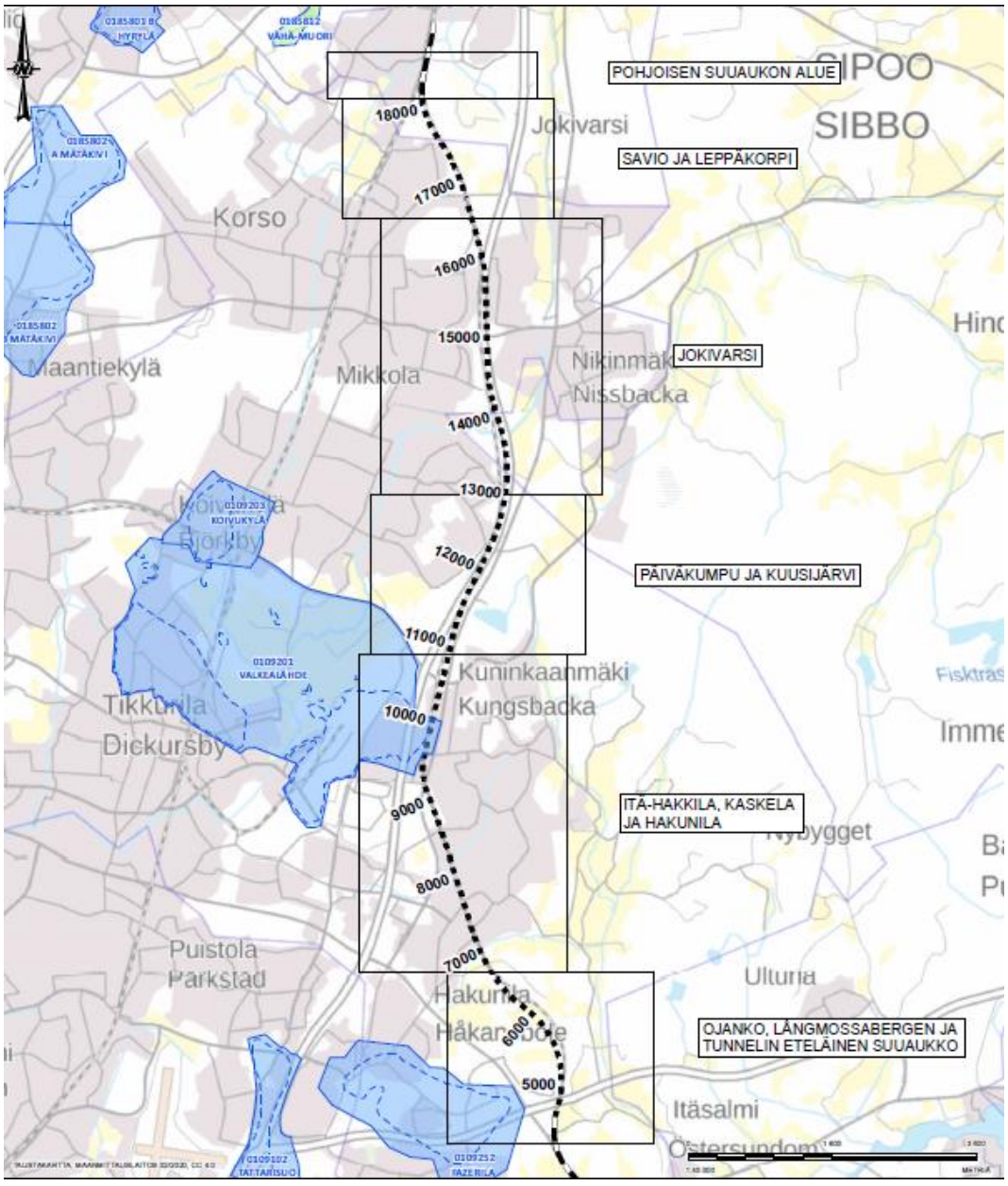
- Långmossabergenin alue (kallioperän ruhje)
- Ojanko (kallioperän ruhje)
- Hakunilan kartano ja Hevoshaantie (kalliopainanteet)
- Kaskela (kalliopainanne)
- Kuusijärven ja Päiväkummun alueet (kallioperän siirrosruhjealue, mm. Myraksen ruhje)

Tunneli on tyypiltään sukeltava eli sen molemmat suuaukot ovat tunnelin alinta osaa ylempänä. Tunnelin pohjoinen suuaukko on noin tasolla +35 ja eteläinen suuaukko noin tasolla +10. Syvimmillään tunneli laskee Kuninkaanmäen ajotunnelin kohdalla noin tasolle -23. Myös Kaskelan ajotunnelin kohdalla tunneli on likimain samalla tasolla. Näiden kahden ajotunnelin välissä tunneli nousee hieman ylemmäs, noin tasolle -10 Kuninkaanmäen pystykuilun kohdalla. Tunnelin korkeusasema on esitetty tunnelin pituusleikkauksessa kuvassa 3.

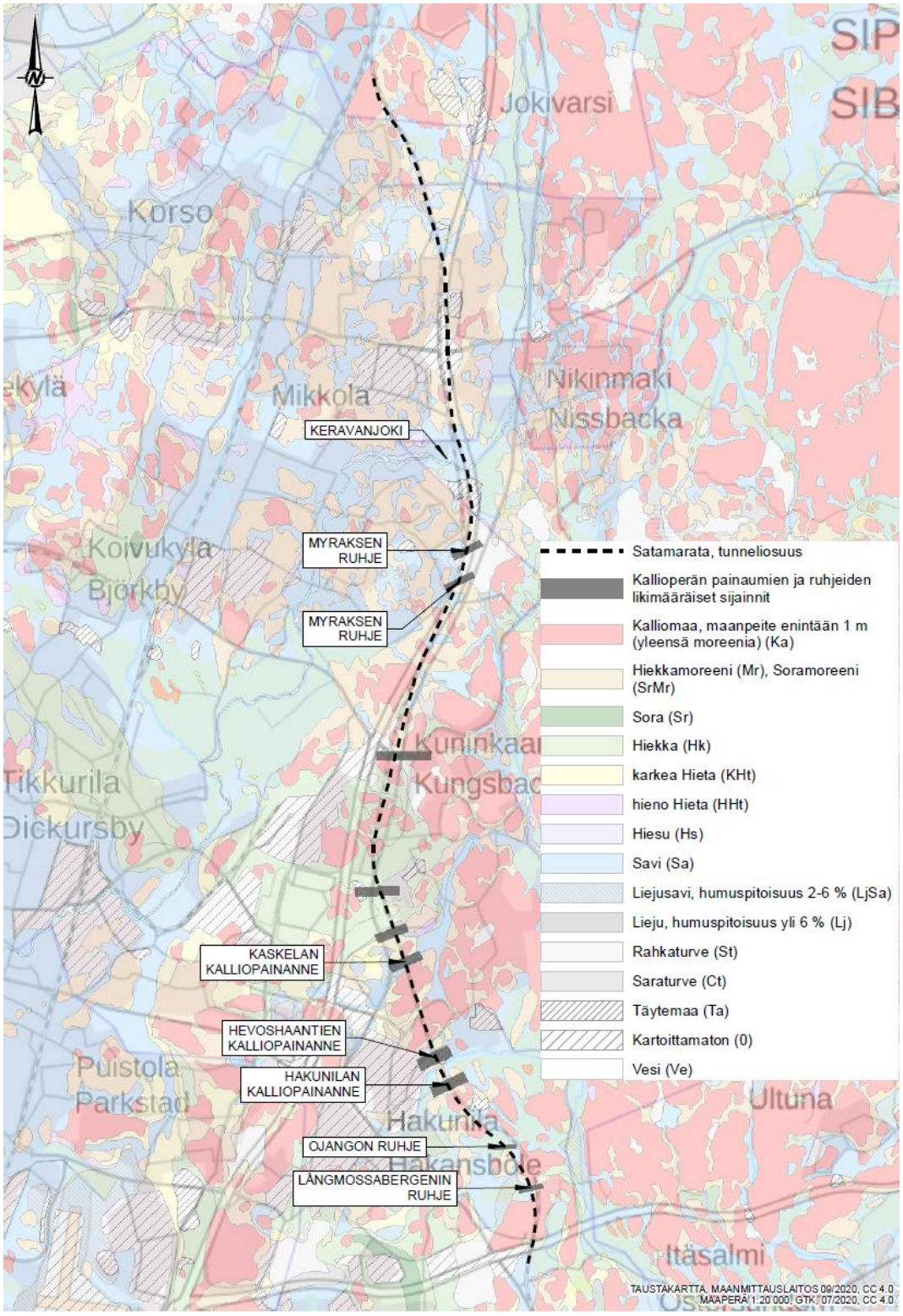


Kuva 3. Savion rautatietunnelin pituusleikkaus (Golder Associates Oy 2018).

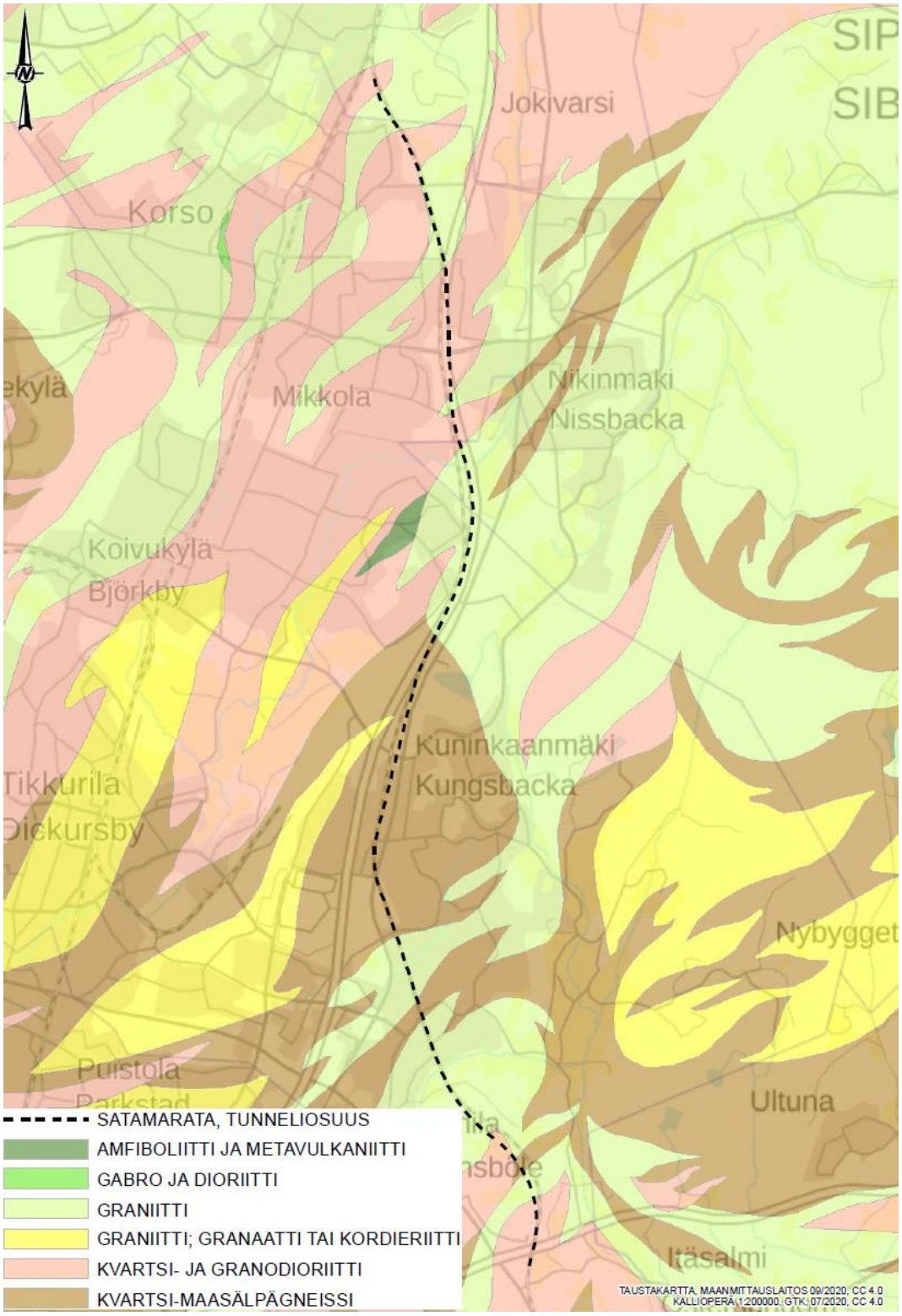
Kalliopohjavesipinta ennen rakentamista oli alueen pohjoisosassa noin tasolla +50 (N60) ja eteläosassa noin tasolla +18…+20 (N60). Kalliopohjaveden painetaso laskee melko systemaattisesti tunnelilinjalla pohjoisesta etelään. Maaperän pohjaveden painetasot vaihtelevat ennen rakentamista alueella noin välillä +10…+50 (N60).



Kuva 4. Kuvassa on esitetty Savion rautatietunnelin sijainti, sekä käytön aikaista (2019 lähtien) ympäristövaikutusten tarkkailua tehty aluejaottelu. Kartalle on merkitty myös luokitellut pohjavesialueet (sinisellä). Kuusijärvi sijoittuu tunnelilinjan itäpuolelle paaluvälille 11 000–12 000. (Golder Associates Oy 2018).



Kuva 5. *Maaperäkartta (1:20 000, ei mittakaavassa) Savion rautatietunnelin ympäristöstä. Suunnitteluvaiheessa tiedossa olleet kallioperän ruhjeet ja painaumat sijaitsevat Hakunilan ympäristössä olevilla savikoilla sekä Kuninkaanmäen ja Mikkolan välissä olevilla savikoilla (siniset alueet). Karttakuvassa näkyy selkeästi tunnelin ylittävä, savikolla kulkeva Keravanjoki Mikkolan eteläpuolella.*



Kuva 6. *Kallioperäkartta (1:200 000, ei mittakaavassa) Savion ratatunnelin ympäristöstä. Tunnelilinjalla vallitsevat kivilajit ovat graniitti (vaalean vihreä) ja gneissi (keltaisella). Myraksen suon länsipuolella on kartoitettu amfiboliitti (tumman vihreä), ja Keravanjoen pohjoispuolella granodioriittia (keltainen pisterasteri).*

6.1.2 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi suunnitteluvaiheessa

Savion rautatietunnelin suunnittelua on tehty osana Vuosaaren satamahankkeen suunnittelua. Näin ollen vuosina 1994-1996 toteutettu koko Vuosaaren satamahankkeen ympäristövaikutusten arviointi kattaa myös sataman maaliikenneyhteyksien (ml. tunnelit) ympäristövaikutusten arvioinnin. Savion rautatietunnelin YVAn vaiheistus kytkeytyy koko Vuosaaren satamahankkeen kaavaprosesseihin, eikä kalliotunnelin suunnitteluvaiheisiin. Maaliikenneyhteyksien suunnittelu toteutettiin omana kokonaisuutenaan myöhemmin. Satamahankkeen ympäristövaikutusten arviointiohjelmaa oli valmisteltu pitkälle jo ennen vuotta 1994, jolloin laki ympäristövaikutusten arvioinnista astui voimaan (1.1.1994). Vuosaaren satamahanke on siis ollut ensimmäisiä YVA-hankkeita Suomessa. Hankkeen YVA-selostus valmistui vuonna 1995. Pohjavesivaikutusten osalta selostuksessa on arvioitu mm., että hankkeen pohjavesivaikutukset voivat pienentää hyödynnettävissä olevan pohjaveden määrää, alentaa paikallisesti pohjaveden korkeustasoa tai muuttaa laatua. (Heikkonen, toim. 2008).

YVA-vaiheessa Porvoonväylältä pääradalle suuntautuvalle ratalinjaukselle oli olemassa neljä vaihtoehtoa. Maaliikenneyhteyksien suunnittelu aloitettiin YVA-menettelyn jälkeen. YVA-menettelyn jälkeen määriteltiin hankkeelle yhdenmukaiset maankäyttö- ja ympäristötavoitteet. Pohjavesivaikutusten osalta tavoitteeksi asetettiin, että rakentaminen ei saa vaikuttaa haitallisesti pohja- ja pintavesiin tai niiden laatuun. (Heikkonen, toim. 2008).

Ratalinjauksen alustava yleissuunnittelu käynnistettiin vuonna 1996. Satamaradan yleissuunnitelman laatiminen käynnistettiin toukokuussa 2000. Tunnelin rakentamisesta aiheutuvat pohjavesivaikutukset suunniteltiin huomioitavaksi siten, että vesioikeudellisen lupamenettelyn ja lunastustoimituksen yhteydessä arvioidaan mahdolliset haitat ja korvaukset tunnelin vaikutusalueella tehdyn kaivokartoituksen, koepumppaustietojen ja pohjavesimallinnuksen perusteella. (Heikkonen, toim. 2008, s.67).

Keravan alueella tunnelilinjauksen toteuttamiseen vaikuttivat merkittävästi hankkeen arvioidut ympäristövaikutukset. Muut linjausvaihtoehdot olisivat olleet kustannuksiltaan pienempiä, mutta Savion linjausta pidettiin ympäristön ja maankäytön kannalta vähiten haittaa aiheuttavana vaihtoehtona. (Heikkonen, toim. 2008).

Yleissuunnitelma valmistui huhtikuussa 2001. Yleissuunnitelmaa tarkistettiin suunnitelman valmistumisen jälkeen Kuusijärven ja Keravanjoen välisen tunneliosuuden linjauksen osalta. Linjausta siirrettiin noin 100 metriä kauemmas Päiväkummun pientaloalueelta. Tässä yhteydessä tehtiin vielä täydentäviä maa- ja kallioperätutkimuksia. Yleissuunnitelman valmistumisen jälkeen tunnelilinjausta siirrettiin myös Leppäkorvessa asuinalueen itäpuolelle. (Heikkonen, toim. 2008, s.67).

Yleissuunnitelmavaiheessa suunniteltiin ratkaisuja haitallisten ympäristövaikutusten ehkäisemiseksi. Haitallisten pohjavesivaikutusten osalta keinona oli mm. Savion rautatietunnelin linjauksen täsmentäminen siten, että pohjaveden aleneminen voidaan mahdollisimman luotettavasti estää, vaikutusalue jää mahdollisimman suppeaksi ja rakentamisen aikaiset haitat mahdollisimman lyhytaikaisiksi. Kuusijärven ja Keravanjoen välillä kalliotunneli päätettiin tiivistää esi-in-

jektoinnilla, ja kallion ruhjealueilla tunneli päätettiin rakentaa tarvittaessa vesitiiviinä tunnelina. Pohjaveden alenemisen vaikutusalueet pyrittiin rajaamaan injektointitoimenpiteillä enimmillään 100-150 metriin tunnelin molemmin puolin. (Heikkonen, toim. 2008, s.70-71).

Rautatietunnelin vesilain mukainen lupa laitettiin vireille vuonna 2002. Vesilain mukainen lupa ja lupa töiden aloittamiselle saatiin 20.1.2004. Savion rautatietunnelin ympäristövaikutusten tarkkailu perustuu kyseiseen vesilain mukaiseen lupapäätökseen LSY-2002-Y-99 (20.1.2004). Luvassa annettu töiden aloittamislupa koski koko Labbackan tunnelia sekä Savion rautatietunnelin suuaukkoja. Vesilupapäätös tuli lainvoimaiseksi vuonna 2005. (Heikkonen, toim. 2008, s.165).

Jo Savion rautatietunnelin esisuunnitteluvaiheen selvityksissä oli Keravanjoen eteläpuolella tunnelilinjalla todettu merkittävä kallioperän siirrosvyöhyke, ns. Myraksen ruhje. Leveässä ruhjeessa oli saveksi jauhautunutta kiviainesta, ja ruhjeen päällä oli 50 metriä paksu savikko, jonka varaan oli rakennettu mm. Lahdenväylä. Ruhje oli niin laaja, että sitä ei ollut mahdollista kiertää. Ruhje oli rakennuskohteena haastava. Tunneliosuuden lopullisena lujitusrakenteena rakennettiin massiivinen teräsbetonitunneli kalliotunnelin sisälle. (Heikkonen, toim. 2008, s. 72-73)

Kalliotunnelin suunnittelun aikana Kuusijärven ja tunnelin väliselle alueelle asennettiin useita pohjaveden havaintoputkia. Myös Keravan entisen kaatopaikan vesien riskit tunnelin vuotovesien laadulle tunnistettiin jo tunnelin suunnitteluvaiheessa. (Heikkonen toim. 2008, s.75).

6.1.3 Suunnitteluvaiheen pohjavesitarkkailu

Teoksessa Vuosaaren satama ja ympäristö (Heikkonen 2008) Pirkko Pulkkinen kirjoittaa Vuosaaren sataman maaliikenneyhteyksien ympäristöseurannoista (s.118-135). YVA-vaiheessa (v. 1994-1996) seurantaohjelmaa ei vielä esitetty, vaan YVA-selostuksessa todettiin yleisluontoisesti, että ympäristövaikutuksia on syytä tutkia. Lisäksi nimettiin seurantaohjelmasta vastaavat tahot, sekä kirjattiin, että asianomaiset ympäristöviranomaiset hyväksyvät seurantaohjelmat. Vuosaaren satamahankkeen luontovaikutusten seurantaohjelman luonnos valmistui vuonna 2000. (Heikkonen toim. 2008, s.118).

Pohja- ja pintavesien seurannan tiheys on hankkeen seurantaohjelmissa määritelty hankkeen vaiheiden mukaan (Heikkonen toim. 2008, s.127):

1. Seuranta ennen rakentamista
2. Seuranta kalliorakennusurakan aikana (louhinta, lujitus, tiivistys)
3. Seuranta tunneleiden sisärakenteiden ja varusteiden asennusurakan aikana
4. Seuranta tunnelin käytön aikana.

Vuonna 2000 valmistuneessa seurantaohjelman luonnoksessa esitettiin pohjaveden painetasojen seurannan lisäksi linnuston ja kasvillisuuden seuranta. Savion rautatietunnelin alueella toteutettiin pohjavesiseurannan lisäksi kasvillisuuden seurantaa. Savion rautatietunnelin alueen kaivot kartoitettiin ennen seurannan aloittamista. Pohjaveden tihennetty seuranta aloitettiin Savion rautatietunnelin vaikutusalueella syksyllä 2000 (Heikkonen toim. 2008, s. 126-129).

Pohjaveden seurantaohjelma laadittiin vuonna 2001 vuoden 2000 ohjelmaluonnoksen pohjalta. Pohjaveden pinnan/painetason seuraamiseksi asennettiin alueelle noin 200 pohjaveden tarkkailuputkea. Seuranta aloitettiin vuonna 2001, eli samana vuonna yleissuunnitelman valmistumisen kanssa. (Heikkonen toim. 2008, s. 74).

Vuonna 2001 laaditun pohjavesien seurantaohjelman mukainen alustava pohjavesien seuranta-aikataulu on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Vuosaaren satamahankkeen pohjavesien seurantaohjelman mukainen pohjavesien seuranta-aikataulu (Vuomaali 2001).

Toimenpide	Rakentamista edeltävät vuodet			Rakentamis-vuodet	Rakenta-mista seuraavat 3 vuotta
Vuodet rakentamiseen nähden	-3	-2	-1	1-5	+1 - +3
Pohjaveden pinnan mittaus	6 x vuodessa	6 x vuodessa	12 x vuodessa	12 x vuodessa	6 x vuodessa
Vesinäytteiden otto	2 x vuodessa	2 x vuodessa	2 x vuodessa	2 x vuodessa	2 x vuodessa
Kuusijärven vesitaseen mittaus	6 x vuodessa	6 x vuodessa	12 x vuodessa	12 x vuodessa	6 x vuodessa
Painuma-seuranta	6 x vuodessa	6 x vuodessa	6 x vuodessa	6 x vuodessa	6 x vuodessa
Tunnelien vuotovesien seuranta				Jatkuvaa	Jatkuvaa

Rakennusten ja rakenteiden painumien seuranta painumaherkillä alueilla aloitettiin vuonna 2001. Painumien tilanne ennen rakentamista on raportoitu VUOLI-hankkeen raportissa Pohjaveden ja painumien nykytila (22.2.2005).

Pintavesistä tehtiin vuosina 2001-2004 lähtötilanneselvityksiä sekä Kuusijärven että suunniteltujen kuivatusvesien purkuojien vedenlaadun osalta (Kuusijärven pintavesitarkastelu 2001-2004, VUOLI-hanke 2.11.2004 ja Savion rautatietunneli – purkuojien vedenlaatu, lähtötilanne, VUOLI-hanke 3.11.2004). Purkuojien osalta oli selvitetty vedenlaatua nykyisten vuotovesien purkuojien (Jokivarsi, Kuninkaanmäki ja Kaskela) lisäksi pohjoisen suuaukon tuntumassa olevasta ojasta (Savio pohjoinen), Långmossabergenin pystykuilun läheisyydessä sijaitsevasta ojasta (Långmossabergen), sekä eteläisen suuaukon läheisyydessä olevista ojista (Savio Etelä 1 ja Savio Etelä 2).

Pohjaveden laatumittauksia tehtiin havaintoputkista elokuussa 2004 niillä alueilla, joilla kiinteistöjen vedenhankinta on oman kaivon varassa (Pohjaveden laatu eräissä pohjavesiputkissa Savion rautatietunnelin ympäristössä, VUOLI-hanke 16.11.2004).

Suunnittelun aikainen pohjavesiseuranta (2000-2004) antoi merkittävää tausta-aineistoa luonnollisista pohjavesipinnan vaihteluista alueella. Kesä 2002 oli kuiva, ja sääolosuhteiden vaikutus näkyi selvästi pohjavesipinnoissa. Kesän 2004 runsaiden sateiden vaikutuksesta pohjavesipinnat palautuivat monin paikoin normaalille tasolle. Seurannassa oli mukana noin 100-200 metrin etäisyydellä tunnelista sijaitsevia porakaivoja, sekä ilman kunnallistekniikkaa olevilla alueilla ja painumaherkillä alueilla maakaivoja. (Heikkonen toim. 2008, s. 127-128). Yksityiskaivojen vedenlaatua on tutkittu vuosina 2002-2004 (Kaivojen veden laatu Savion rautatietunnelin ympäristössä, VUOLI-hanke 2.12.2004).

Vuonna 2004 valmistui seurantaohjelmaa täydentävä Vuosaaren maaliikenneyhteyksien pintavesien, pohjavesien ja painumien seurantaohjelma. Tässä ohjelmassa esitettiin myös rautatietunneleiden rakentamisen aikainen vuoto-, huuhtelu-, pesu- ja kasteluvesien hallintaohjelma, ja otettiin huomioon rakentamista koskevien lupien velvoitteet. Kasvillisuuden ja linnuston seurantaa jatkettiin edelleen vuonna 2001 laaditun seurantaohjelman mukaisesti. Savion rautatietunnelin louhinnat aloitettiin joulukuussa 2004. (Heikkonen toim. 2008)

Vuonna 2004 valmistuneeseen tarkkailuohjelmaan sisällytettiin lisäksi Kuusijärven tulo- ja lähtövirtaamien mittaus, Kuusijärven pinnankorkeuden mittaus sekä tunneleiden vuotovesien poisjohtamisojien virtaaman ja vedenlaadun mittaukset. Kuusijärven vedenlaatua seurattiin Kuusijärven uimaveden laatua koskevien Vantaan kaupungin analyysitulosten avulla. (Heikkonen toim. 2008).

Tietoja tunnelin vuotovesien hallinnan suunnitteluun tai kallioteknisen suunnitteluun liittyvistä pohjavesitutkimuksista ei ollut tätä selvitystä tehtäessä käytettävissä.

6.1.4 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi rakentamisvaiheessa

Savion rautatietunnelin louhinnat aloitettiin joulukuussa 2004. Rakentamisen aikaista pohjavesivaikutusten seurantaa tehtiin vuonna 2004 valmistuneen Vuosaaren maaliikenneyhteyksien pintavesien, pohjavesien ja painumien seurantaohjelman (JP-Suoraplan Oy, Maa ja Vesi Oy, 3.11.2004) mukaisesti. Seurannan aikana ohjelmaan tehtiin tarvittaessa muutoksia. Muutoksista sovittiin ympäristöviranomaisen kanssa.

Tunnelin rakennustyön aikana Vuosaaren satamahankkeelle otettiin käyttöön reaaliaikainen ympäristötietopalvelu (YTP). Ympäristöseurantojen tulokset sekä mm. tiedot louhinnan etenemisestä tallennettiin em. palveluun. Palvelu rakennettiin rakentajien, valvojien, viranomaisten ja asukkaiden käyttöön. Vuosaaren satamahankkeen jälkeen vastaavat reaaliaikaiset digipalvelut ovat kehittyneet ja yleistyneet merkittävästi, Vuosaaren satamahankkeen aikana tämänkaltainen palvelu oli kuitenkin edistyksellinen.

Savion rautatietunneli kulkee pitkiä matkoja painumaherkillä alueilla. Teiden, kunnallisteknisten linjojen ja rakennusten painumariskin lisäksi riskinä oli vedenoton vaikeutuminen alueen talousvesikaivoista tai Fazerilan pohjavesialueen vedenottamoilta. Fazerilan pohjavedenottamoista lähinnä tunnelia sijaitsee Valion vedenottamo (noin 0,8 km tunnelilinjalta). Pohjavesipintojen alenemaan varauduttiin painumaherkillä alueilla rakentamalla imeytyskaivoja, joihin imeytettiin tunnelin rakentamisen aikana tarpeen mukaan vettä pohja-

veden pinnan tason turvaamiseksi. Tunneli tiivistettiin injektoimalla, minkä jälkeen pohjaveden imeytystarve loppui.

Louhinnan edetessä tunnelissa mitattiin jatkuvasti tunneliin vuotavan pohjaveden määrää. Vuotavissa tunneliosuuksissa porattiin työn aikana pitkiä tunnustelureikiä (20 m). Tunnustelureikien avulla selvitettiin vuotoja vielä louhimattomalla tunneliosuudella. Tarvittaessa kallioita esi-injektoitiin vuotojen tukkimiseksi. (Heikkonen toim. 2008, s.73-75).

Louhintojen aikana (2005-2006) tehtyjen pohjaveden pinnan ja painetasojen mittaustulosten perusteella havaittiin kalliopohjavesipintojen alentuneen, ja kalliopohjaveden virtauksen kääntyneen monin paikoin kohti tunnelia. Vuoden 2006 kesä ja alkusyksy olivat kuivia, ja pohjaveden pinnat olivat yleisesti normaalia alemmalla tasolla. Kalliopohjavesipintojen aleneminen Kuusijärven ja tunnelilinjauksen välillä aiheutti tehtyjen painetasomittausten perusteella pohjavesivirtauksen kääntymisen Kuusijärven alueelta länteen kohti tunnelia. Vuoden 2007 aikana pohjavedenjakaja Kuusijärven ja tunnelin välille kuitenkin palautui. Vuonna 2006 kalliopohjavesipinnat alenivat myös muualla tunnelilinjalla, paikoin arvioitua enemmän. Kalliopohjaveden pintojen alenemisesta ei ole aiheutunut merkittäviä haitallisia vaikutuksia. (Heikkonen toim. 2008).

Rakentamisen aikana tehtiin tunnelin vuoto-, huuhtelu-, pesu- ja kasteluvesien laadun seurantaa seurantaohjelman mukaisesti. Tunnelin louhinnan ja rakentamisen aikana kuivatusvesissä todettiin kohonneita typpiyhdisteiden pitoisuuksia sekä kohonneita pH-arvoja. Kokonaistypen pitoisuudet olivat vuonna 2005 korkealla Jokivarren ojan näytepisteessä Jokivarsi01 (tunnelin suotovesien purkupaikan alapuolella).

Tunnelin rakentamisen aikana kuivatusvedet johdettiin suurimmaksi osaksi viemäriin. Neljästä urakka-alueesta vain yhden urakan vedet johdettiin maastoon. Maastoon johdettavia kuivatusvesiä puhdistettiin kemikalisoinnilla, otsonoinnilla ja saostuksella ennen niiden johtamista ojiin. Veden laatua tarkkailtiin ottamalla vesinäytteitä puhdistetusta vedestä. (Heikkonen toim. 2008, s. 73).

Rakentamisen aikana, maaliskuun 2005 ja joulukuun 2006 välisenä aikana, toteutettiin tunnelissa sekä rakennegeologinen kartoitus että rakennusgeologinen kartoitus. Rakennegeologisen kartoituksen suoritti Geologian tutkimuskeskus, ja rakennusgeologisen kartoituksen tunnelin suunnitteluorganisaatio Pöyry Infra Oy. Rakennegeologisen kartoituksen tulokset on raportoitu vuonna 2007. (Elminen et al 2007).

Rakennegeologisen sekä rakennusgeologisen kartoituksen tuloksiin ja työn aikaisiin rakennusgeologisiin mittauksiin perustuen Geologian tutkimuskeskus on myöhemmin tehnyt analyysin, jossa on verrattu kartoituksen tuloksia pääkaupunkiseudulle laadittuun kallioperän rakennettavuusmalliin (1:50 000), sekä suunnitteluvaiheessa tehtyihin arvioihin kallioperän heikkousvyöhykkeistä. (Elminen et al 2013).

6.1.5 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi käyttö- ja kunnossapitovaiheessa

Savion rautatietunneli otettiin käyttöön marraskuussa 2008. Tunnelin ympäristövaikutusten tarkkailuohjelmaa on käytön aikana päivitetty useaan kertaan:

- Savion tunnelin tarkkailuohjelma (13.1.2009 Pöyry Environment Oy)
- Savion tunnelin ympäristöseurannat - Pintaveden, pohjaveden ja painumisen tarkkailusuunnitelma 2009-2011 (Golder Associates Oy 28.10.2009)
- Savion rautatietunnelin ympäristöseurannat – Tarkkailusuunnitelma 2012–2014 (Golder Associates Oy, 17.2.2012)
- Savion tunnelin ympäristöseurannat - Tarkkailusuunnitelma (Golder Associates Oy, 1.9.2014)
- Savion rautatietunnelin ympäristöseurannat – Tarkkailusuunnitelma (Golder Associates Oy, 14.8.2018, päivitetty Uudenmaan ELY-keskuksen päätöksen mukaiseksi 14.2.2019).

Tunnelin valmistumisen jälkeen, vuonna 2009 pohjaveden pintaa ja painetasoja tarkkailtiin yhteensä 194 tarkkailupisteestä (164 havaintoputkea ja 30 kaivoa). Mittauksia tehtiin kahden kuukauden välein (Golder Associates Oy 2010). Mittausväliä harvennettiin vuonna 2012. Vuosina 2012-2018 pohjaveden painetasojen mittaukset tehtiin kolme kertaa vuodessa. Vuodesta 2019 eteenpäin pohjaveden painetasot on mitattu kahdesti vuodessa. (Golder Associates Oy 2012, 2014 ja 2018).

Tarkkailupisteverkkoa on supistettu vuonna 2019. Vuodesta 2019 lähtien pohjaveden pintojen/painetasojen mittauksia on tehty yhteensä 53 tarkkailupisteestä (47 havaintoputkesta ja 6 kaivosta). Kuusijärven vedenpinnantason mittaukset ovat jatkuneet myös tunnelin käyttövaiheessa, ja jatkuvat edelleen. Savion jätehuoltoalueen ja ratatunnelin välisellä alueella pohjaveden haitta-ainepitoisuuksien tarkkailu on myös jatkunut koko tunnelin käyttövaiheen ajan. (Golder Associates Oy 2018).

Tunnelin käyttövaiheessa, vuodesta 2009 alkaen, tunnelin vuotovesien laatua ja määrää on tarkkailtu tunnelin kuivatuspumppaamoilta tehdyin mittauksin ja näytteenotoin. Vuotovesien laadun ja määrän seurantaa jatketaan edelleen kolme kertaa vuodessa.

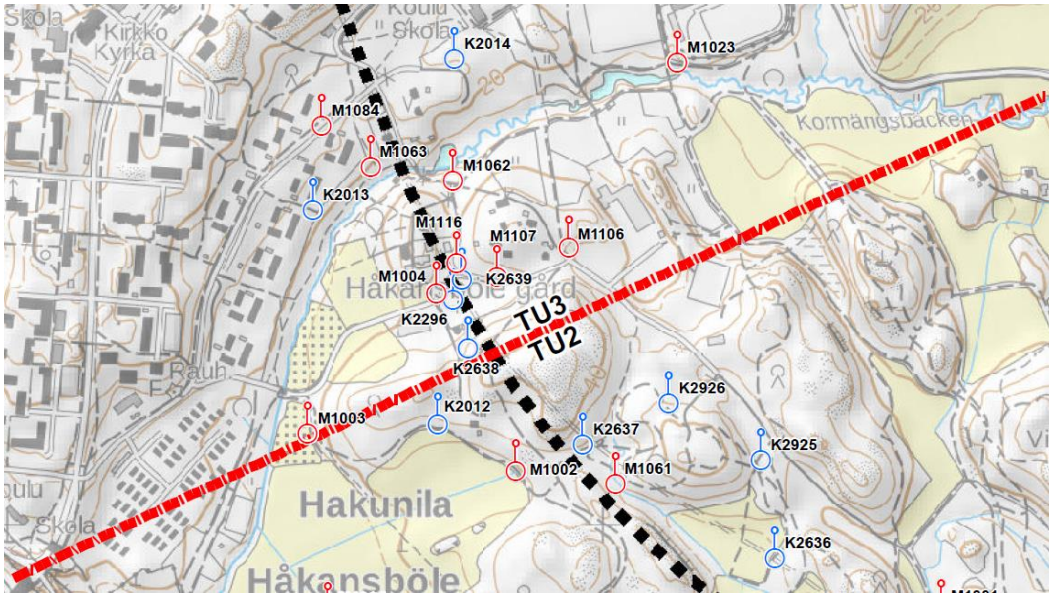
Kuivatusvesien poisjohtamisojien sekä rakennusten ja rakenteiden painumien säännölliselle tarkkailulle ei vuonna 2019 voimaan astuneessa tarkkailuohjelmassa nähty enää tarvetta, eikä niiden tarkkailua ole sisällytetty vuonna 2019 voimaan astuneeseen tarkkailuohjelmaan. Vuosina 2009-2018 sekä rakennusten ja rakenteiden korkeustasojen mittauksia että poisjohtamisojien tarkkailumittauksia tehtiin kolme kertaa vuodessa. (Golder Associates Oy 2010, 2012, 2014 ja 2018).

Seurannan aikana tehtyjä havaintoja tallennettiin vuosina 2009-2015 Vuosaaren satamahankkeelle luotuun YTP-palveluun. Vuodesta 2016 lähtien havainnot on tallennettu WRM-Systems Oy:n GWP-järjestelmään (selainpohjainen ympäristötietojärjestelmä). (Golder Associates Oy 2018).

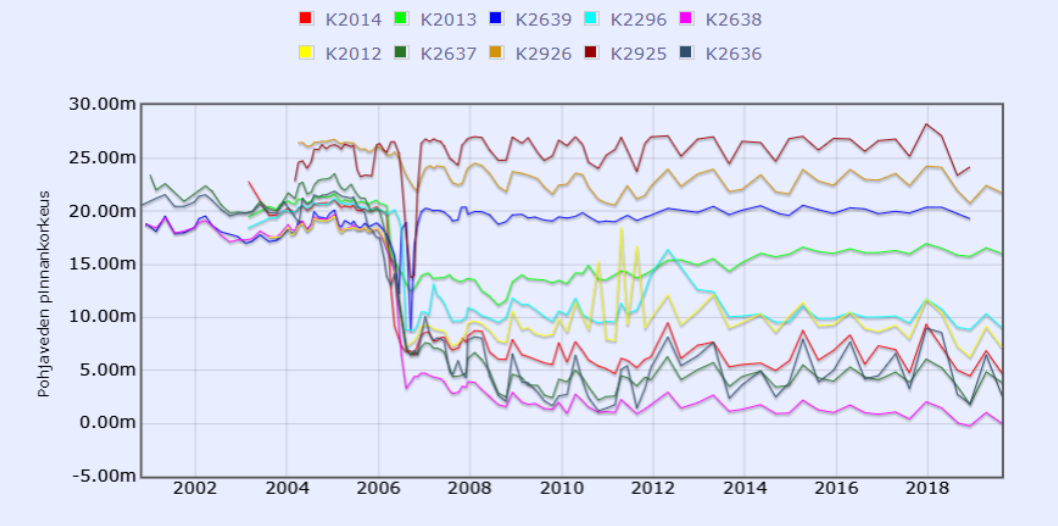
6.1.5.1 *Tunnelin aiheuttamien pohjavesivaikutusten arviointi tunnelin käyttö- ja kunnossapitovaiheessa*

Vuonna 2019 laaditussa tarkkailuohjelmassa on tarkasteltu Savion rautatietunnelin rakentamisen ja käytön aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Kalliopohjaveden painetasojen tarkkailutulosten perusteella todettiin, että rakentamisen aikana (2005-2006) havaittiin paikoin kalliopohjaveden alenemaa tunnelilinjalla ja sen ympäristössä. Tarkkailutulosten perusteella kalliopohjaveden pinta on alentunut joillakin alueilla enemmän kuin suunnitteluvaiheessa arvioitiin. Tunnelin käytön aikana kalliopohjaveden lisäalenemaa ei ole muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta todettu. Kalliopohjavesipinnat ovat joko jääneet pysyvästi louhinnan jälkeiselle, aiempaa alemmalle tasolle, tai palautuneet louhintojen tai tunnelin käytön aikana louhintoja edeltävälle tasolle. Paikoin palautumista tapahtuu edelleen. (Golder Associates Oy 2018).

Kuvien 7 ja 8 avulla kuvataan esimerkinomaisesti pohjaveden painetasojen muutoksia tunnelin rakentamisen ja käytön aikana Hakunilan alueella Vantaalla. Kuvassa 7 on esitetty Hakunilan alueella olevat tarkkailuputket ja kuvassa 8 esitetään painetasojen muutokset alueella olevissa kalliopohjaveden havaintoputkissa. Kuvaajasta on nähtävissä, että merkittävin pohjaveden painetason lasku on tapahtunut rakentamisen aikana vuosina 2005-2006. Kalliopohjavesiputkia K2925, K2926 ja K2639 lukuun ottamatta pohjavesipinnat eivät ole palautuneet rakentamista edeltäneelle tasolle. Havaintoputken etäisyys tunnelista ei täysin korreloi painetason aleneman kanssa: esimerkiksi havaintoputki K2639, jossa todettu alenema on varsin lyhytaikainen, sijaitsee lähes tunnelilinjalla, ja havaintoputket K2013 ja K2014, joissa alenema on jäänyt pysyväksi, sijaitsevat noin 150 metrin päässä tunnelista.



Kuva 7. Kartalla näkyvät Hakunilan alueen pohjaveden havaintopisteet. Kalliopohjavesiputkien tunnus on sininen, ja maaperän pohjavesiputkien punainen. Kartta ei ole mittakaavassa.



Kuva 8. Kuvaaja Hakunilan alueen kalliopohjaveden painetasojen muutoksista ennen tunnelin rakentamista, tunnelin rakentamisen aikana ja käytön aikana. Merkittävin painetason lasku on tapahtunut vuosina 2005-2006. Havaintoputki K2639 sijaitsee lähes tunnelilinjalla, ja esim. havaintoputket K2013 ja K2014 sijaitsevat noin 150 metrin päässä tunnelista. Tunnelin pohja on Hakunilan alueella noin tasolla -10…-15.

Rautatietunnelin rakentaminen ei ole pysyvästi alentanut Kuusijärven vesipintaa, vaan Kuusijärven vedenpinnantason vaihteluun vaikuttavat pääasiallisesti vuosittaiset sääolosuhteet (sadanta ja lämpötila). Kuusijärven pinnantason mittauksia kuitenkin jatketaan edelleen. (Golder Associates Oy 2018).

Painumaherkiksi luokitelluilla alueilla tehtyjen rakennusten ja rakenteiden painumista tarkkailtiin vuoteen 2018 saakka. Tarkkailumittausten perusteella tarkkailtavien rakennusten ja rakenteiden (katupisteet, päärata, Lahden väylä) korkeustasossa todettiin tarkkailun aikana nousua ja laskua. Korkeustasojen muutoksilla ja pohjaveden pinnan/painetasojen muutoksilla ei ole havaittu olevan yhteyttä. (Golder Associates Oy, 2018).

Rautatietunnelin tarkkailussa ja pohjavesivaikutusten arvioinnissa on hyödynnetty Ilmatieteen laitokselta saatavia Kaisaniemen ja Helsinki-Vantaan havaintoasemien sademäärä- ja lämpötilatietoja. Tunnelin käytön aikaisista pohjavesipintojen tarkkailutuloksista todettiin, että pohjavesipintojen vaihtelu alueella heijastelee pohjavesipintojen hydrologisen vuosikierron mukaista vaihtelua: normaalisti tarkkailuvuoden alimmat pohjavesipinnat mitataan elokuussa ja ylimmät pohjavesipinnat huhtikuussa. Tarkkailujakson sademäärien ja lämpötilojen todettiin vaikuttaneen pohjavesipintoihin. Keskimääräistä runsassateisemmat jaksot nostavat pohjavesipinnat pitkäaikaiskeskiarvoa korkeammalle, ja vähäsateisten jaksojen seurauksena pohjavesipinnat ovat normaalia alempana. (Golder Associates Oy 2018).

Savion jätehuoltoalueen (tunnelin pohjoispää) mahdollisesti pohjavedelle aiheuttaman kaatopaikkakuormituksen takia pohjaveden laatua on tarkkailtu jätehuoltoalueen ympäristössä sijaitsevista kalliopohjaveden havaintoputkista. Pohjaveden laadun tarkkailulla pyritään havaitsemaan kaatopaikkakuormituk-

sesta mahdollisesti rautatietunnelin vuotovesien laadulle aiheutuvat riskit. Rautatietunnelin vuotovesien laadussa ei ole havaittu merkkejä jätehuoltoalueen pohjavesien kulkeutumisesta rautatietunneliin. (Golder Associates Oy 2018).

Rautatietunneliin suotautuvat vedet johdetaan salaojitusten ja viemäröintien kautta kolmelle kuivatuspumppaamolle (Jokivarren pumppaamo, Päiväkummun pumppaamo Kuninkaanmäessä ja Kaskelan pumppaamo), joiden kautta normaalitilanteessa puhtaat vuotovedet pumpataan maanpinnalle ojiin.

Tunneliin kertyvien vuotovesien laatua ja määrää sekä vuotovesien poisjohtamisojien veden laatua ja ojien virtaamaa on tarkkailtu tunnelin käytön aikana. Tunnelin käytön aikana vuotovesien pH- ja typpipitoisuudet ovat palautuneet normaalille tasolle, eivätkä enää nosta purkuojien vesien typpipitoisuuksia tai pH-arvoja. Pumppaamoilla tarkkailun aikana tehtyjen mittausten mukaan varovesialtaiden tilavuudet ovat olleet riittäviä tunneliin kertyvien vuotovesien määrälle, lukuun ottamatta Kaskelan pumppaamon eteläistä allasta. Kaskelan pumppaamolla tehtiin vuonna 2015 muutoksia vuotovesien keruujärjestelmään, jonka jälkeen vuorokautinen vuotovesimäärä mahtuu tarvittaessa varovesialtaisiin. Vuotovesimäärät ovat rautatietunnelin käytön aikana vakiintuneet, eikä niissä ole todettu merkittäviä muutoksia.

6.2 Kehäradan tunneli

6.2.1 Yleistä

Vuosina 2009-2015 rakennettu Kehärata yhdistää Vantaan Martinlaakson radan päärataan Helsinki-Vantaan lentoaseman kautta. Lentokentän kohdalla rata kulkee 8,1 km pitkässä kaksoistunnelissa. Tunnelin sijainti on esitetty kartalla kuvassa 9. Tunneliosuudella on kaksi asemaa (Aviapolis ja Lentoasema). Näiden lisäksi kahdelle asemalle on rakennettu varaus (Viinikkala ja Ruskeasanta). Asemien ja asemavarausten kohdalle on rakennettu ajotunnelit. Pystykuiluja on kaksi: Pakkalantien länsipuolella Kytökallion kuilu ja Lentoaseman itäpuolella Vesikujan kuilu. Tunneli on louhittu pohjavesipinnan alapuolelle, noin 20-50 metriä maanpinnan alle. Tunnelin likimääräinen korkeusasema on esitetty kuvassa 10. (Kehärata-projekti 2011).

Vesilupien ESAVI/102/04.09/2010 ja LSY-2007-Y-175 hakemusosassa esitettyjen tietojen mukaan tunneli on alimmillaan Pakkalantien länsipuolella ja lentokentän (2. kiitotien) itäpuolella (järjestyksessä tasot noin -11,0 ja -7,5). Molemmat tunnelin suuaukot ovat tunnelin alimpia kohtia ylempänä: läntinen suuaukko noin tasolla +30, ja itäinen suuaukko noin tasolla +20. Molemmat suuaukot ovat kallioon louhitussa kuilussa. Tunnelin keskiosassa Aviapoliksen kohdalla tunneli nousee noin tasolle +10. (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2010 ja Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2008).

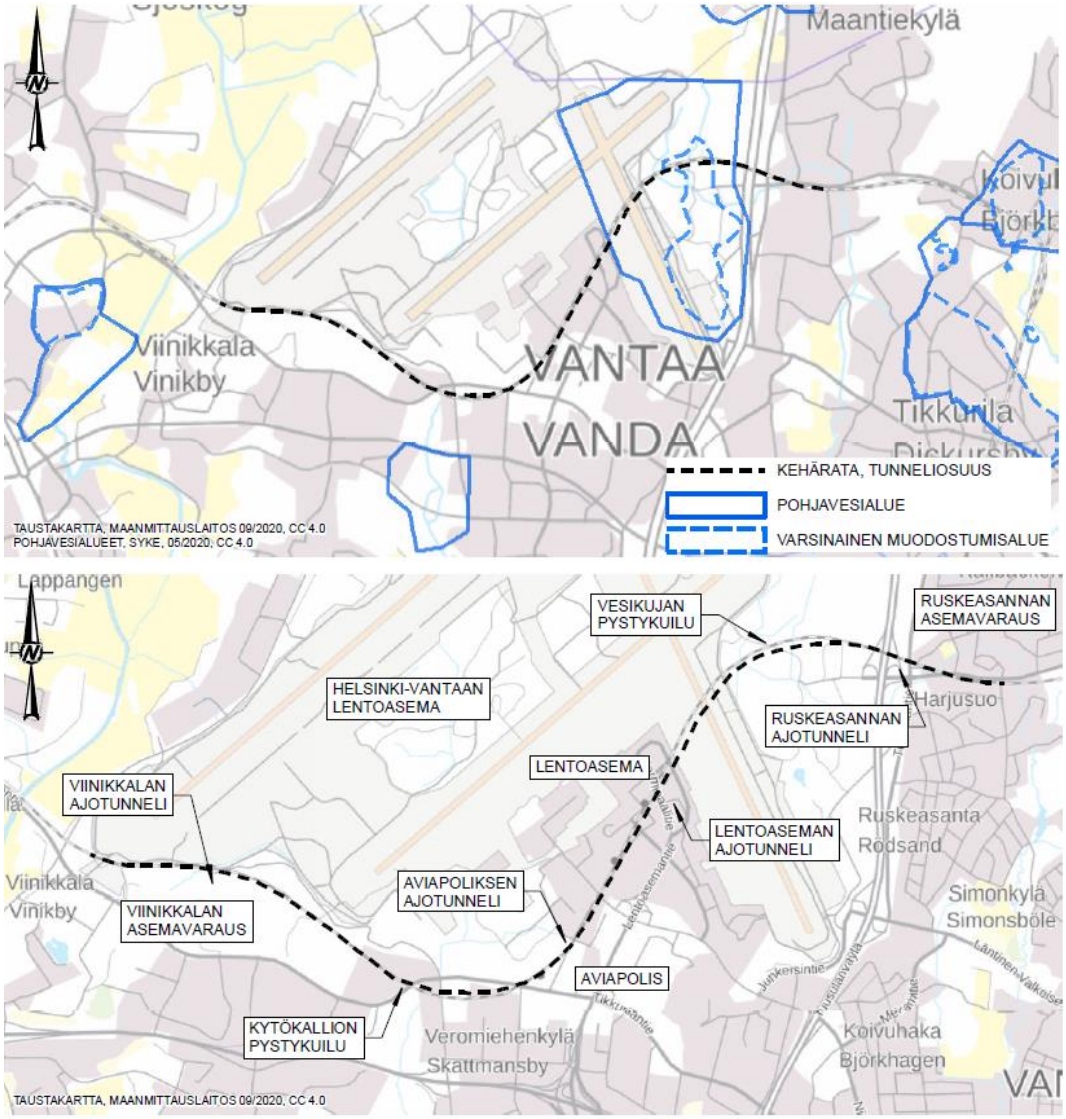
Pohjaveden painetaso tunnelilinjalla on ennen rakentamista ollut noin välillä +29,5…+47. Alimmat pohjaveden painetasot on mitattu Veromiehenkylän alueella Pakkalassa, Lentoaseman pohjavesialueella sekä itäisen suuaukon alueella. Korkeimmat vesipinnat on mitattu Lentoaseman juna-aseman alueella ja Viinikkalassa. (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2010 ja Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2008).

Tunnelin ympäristössä kivilajit vaihtelevat massamaisesta graniitista seoksiseen migmatiittiin ja liuskeiseen kiillegneissiin. Kallioperäkartta on esitetty kuvassa 12.

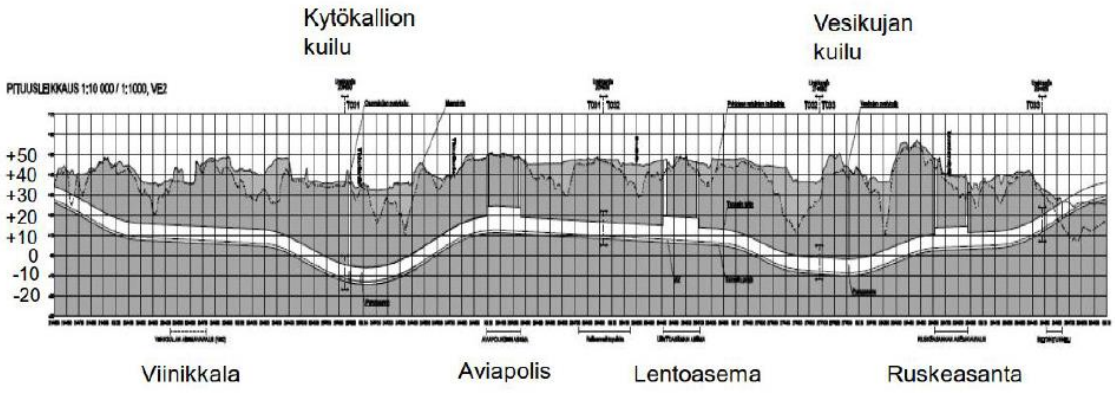
Kehäradan vesilupien hakemusosien mukaan Kehäratatunnelin alueen ja ympäristön maaperä on pääosin hiekkaa ja moreenia sekä savea ja silttiä (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2010 ja Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2008). Maaperäkartan (1:20 000) mukaan savi-, siltti- ja turvealueita esiintyy koko tunnelilinjalla laajempialaisten moreenin reunustamien kallioalueiden välissä. Savi- ja silttialueilla maakerrosten paksuudeksi on arvioitu enimmillään 30 metriä. Kehäradan tunnelilinjaus leikkaa vedenhankinnan kannalta tärkeäksi luokiteltua Lentokentän pohjavesialuetta (tunnus 0109204). Pohjavesialueella tunnelilinjalle osuu myös pieniä hiekkamuodostumia. Maaperäkartta on esitetty kuvassa 11.

Ratatunneli kulkee Lentoaseman pohjavesialueella olevan vedenottamon pohjoispuolelta noin 200 metrin etäisyydellä ottamosta. Vedenotto ottamolta on lopetettu syksyllä 2009 (Kehärata-projekti 2012).

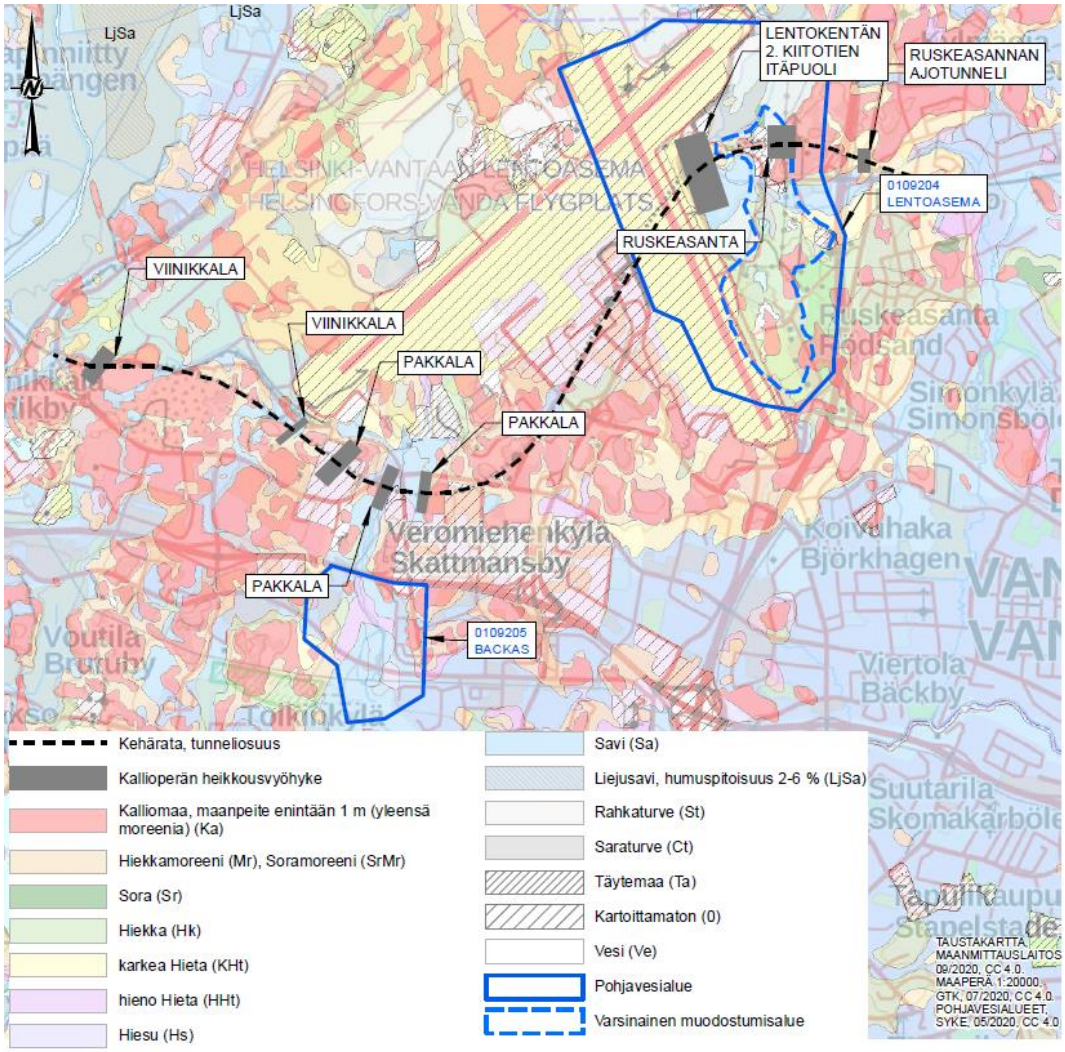
Pääkaupunkiseudun vesihuollon turvaava Päijänne-tunneli risteää Kehäradan kanssa Viinikkalan ajotunnelin itäpuolella. Kehäradan tunnelit ylittävät Päijänne-tunnelin. Kalliokannas ratatunneleiden ja Päijänne-tunnelin välissä on noin 10 metriä paksu (Keskitalo 2013).



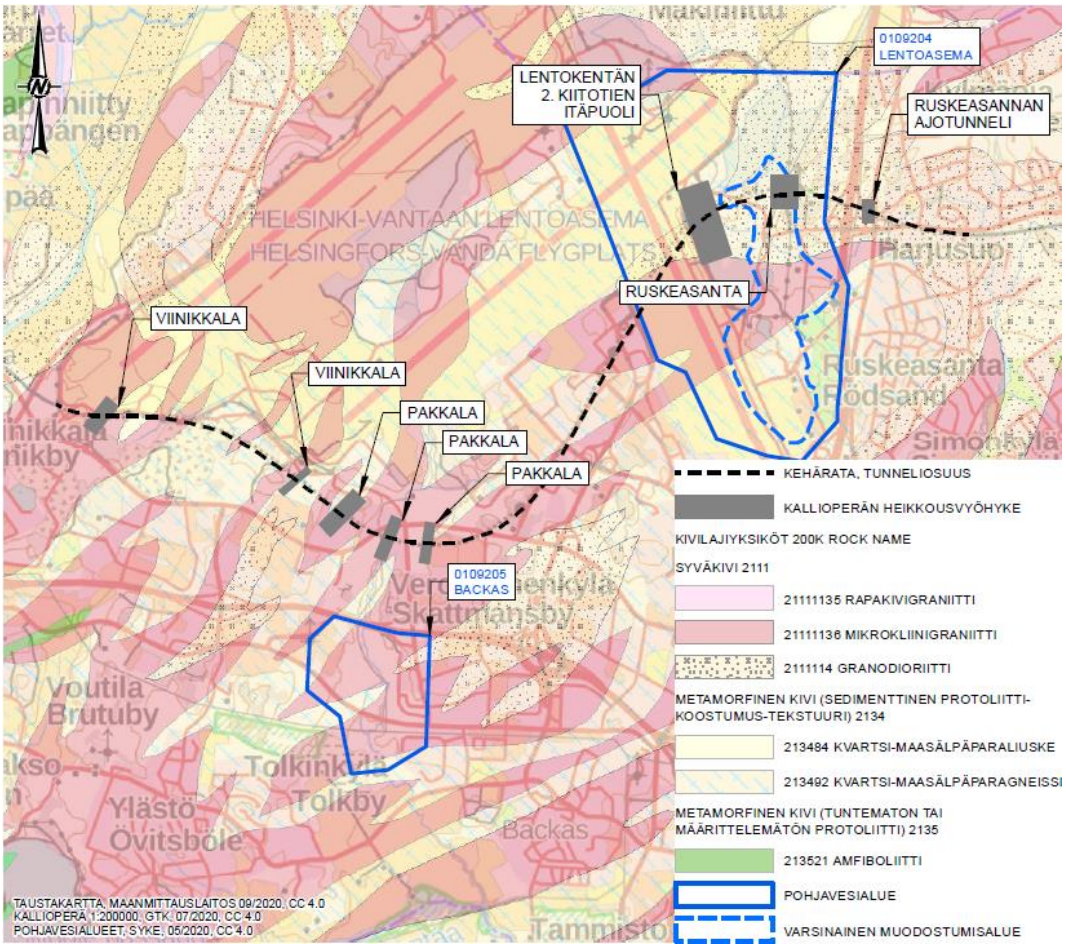
Kuva 9. *Ylemmässä kartassa on esitetty Kehäradan ratatunneli sekä alueelle osuvien luokiteltujen pohjavesialueiden sijainnit. Alemmalla kartalla ovat näkyvissä lisäksi Kehäratatunnelin asemat, asemavaraukset, ajotunnelit sekä pystykuilut. Kartat eivät ole mittakaavassa.*



Kuva 10. *Kehäradan tunnelin korkeusasema (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).*



Kuva 11. Maaperäkartta (1:20 000, ei mittakaavassa) Kehäradan ratatunnelin ympäristöstä. Kalliopainaumien ja heikkousvyöhykkeiden kohdalla on siltti-/savialueita (siniset alueet).



Kuva 12. Kallioperäkartta (1:200 000, ei mittakaavassa) Kehäradan ratatunnelin ympäristöstä. Tunnelilinjalla vallitsevat kivilajit ovat graniitti (punaisella) ja gneissi (keltaisella). Lentoaseman pohjavesialueella on granodioriittia (keltainen pisterasteri).

6.2.2 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi tarveselvitysvaiheessa

Kehäradan ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA) on toteutettu hankkeen alustavan yleissuunnitelman yhteydessä. Hankkeen alustavaa yleissuunnittelua on tehty samanaikaisesti tarveselvityksen/esisuunnittelun kanssa. YVA-selostus on valmistunut vuonna 2001. Tuolloin hanke kulki nimellä Marjarata. YVA-selostuksen ovat teettäneet Ratahallintokeskus (nykyinen Väylävirasto) ja Vantaan kaupunki. YVA-arviointiohjelma valmistui vuonna 2000, ja siitä vastasi Vantaan kaupunki. YVA-selostuksessa Kehäradan linjausvaihtoehtoja oli useita. (Marja-rata - Ympäristövaikutusten arviointi 2001).

Lentoaseman pohjavesialueen osalta ratatunnelivaihtoehto on YVA-selostuksessa arvioitu maanpinnalle nousevaa rataa riskittömämmäksi vaihtoehdoksi. Maanpinnalle nouseva rata leikkaisi maakerrosten pohjavesimuodostumaa, ja aiheuttaisi näin riskejä pohjaveden laadulle ja määrälle. (Marja-rata - Ympäristövaikutusten arviointi 2001).

Yhteysviranomainen on YVA-ohjelmasta antamassaan lausunnossa esittänyt täsmennyksiä ja painotuksia mm. rakentamisen vaikutuksiin Päijänne-tunneliin ja pohjavesiin. YVA-selostuksessa on esitetty, että Päijänne-tunnelin ja ratatunnelin väliin jäisi 18 m kalliokannas. (Marja-rata - Ympäristövaikutusten arviointi 2001).

YVA-selostuksen mukaan jo alustavassa yleissuunnitteluvaiheessa on tehty pohjatutkimuksia siinä määrin, että radan toteutettavuutta ja kustannuksia on voitu arvioida alustavan yleissuunnitteluvaiheen edellyttämällä tarkkuudella. Tunneliosuuksilla tutkimukset ovat painottuneet kallion korkokuvan tarkentamiseen. Kallion laatutietoja on hankittu seuraavin tutkimusmenetelmin (Marja-rata - Ympäristövaikutusten arviointi 2001):

- aerogeofysikaaliset tulkinnat
- kartta- ja ilmakuvatarkastelu
- maastossa suoritettu rakennusgeologinen kartoitus
- olemassa olevista kalliotiloista hankitut tiedot
- seisminen rakenneluotaus

YVA-selostuksessa todetaan ympäristövaikutusten seurannasta, että seurannan tarkoituksena on saada tietoa sellaisista tärkeistä asioista, joita ei ole ennakkoon pystytty luotettavasti selvittämään. Pohjavesivaikutusten sekä ratatunnelin vuotovesimäärän seuraamista pidetään tarpeellisena sekä rakentamisen aikana että sen jälkeen. Selostuksessa on huomioitu, että Vantaan kaupunki tarkkailee jatkuvasti pohjavesien laatua ja pinnantasoja ratalinjauksen ympäristön luokitelluilla pohjavesialueilla. Lentoaseman pohjavesialueen (silloinen Ruskeasannan pohjavesialue) tarkkailun riittävyys edellytettiin kuitenkin varmistettavaksi, kun linjausvaihtoehdosta on päätetty. (Marja-rata - Ympäristövaikutusten arviointi 2001).

6.2.3 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi yleissuunnitelmavaiheessa

Kehäradan yleissuunnitelma valmistui joulukuussa 2003. Yleissuunnitelmassa on esitetty myös edellisessä suunnitelmavaiheessa tehdyn rakennusgeologisen kartoituksen tulokset yleisluontoisesti. Yleissuunnitelmavaiheessa on tehty seuraavia lisätutkimuksia rautatietunnelin kallio- ja pohjavesiolosuhteisiin liittyen (Marja-rata – Yleissuunnitelma 2003):

- Porakonekairaukset 344 kpl
- Syvät porakonekairaukset 22 kpl
- Kallionäytekairaukset 19 kpl
- Vesimenekkikokeet syvissä porakonekairarei'issä sekä kallionäytekairarei'issä
- Videokuvaus syvissä porakonekairarei'issä sekä kallionäytekairarei'issä
- Seisminen luotaus 14 tutkimuslinjalla (linjojen yhteispituus 4 175 metriä)

Vuonna 2003 laadittiin pohjaveden pintojen ja laadun seurantaohjelma rautatietunnelin rakentamista edeltävälle ajalle (Maa ja Vesi Oy, 9.10.2003). Seurantaohjelmassa huomioitiin pohjaveden tilan olemassa olevat seurannat: Päijännetunneli, Helsinki-Vantaan lentoasema ja Pakkalan alue. (Pöyry Finland Oy 2009).

Yleissuunnitelman valmistumiseen mennessä Kehäradan (pääosin tunneliosuuden) seurantaa varten oli asennettu 30 kalliopohjavesiputkea ja 40 maapohjavesiputkea. Kaikki kallioreiät videokuvattiin, ja niissä tehtiin vesimenekkikokeet.

Kaivokartoitusta tehtiin sekä pintaradan että tunnelin ympäristössä. Yhteensä 218 yksityiskaivon tiedot kerättiin tässä yhteydessä. (Marja-rata – Yleissuunnitelma 2003)

Pohjavesivaikutuksia käsittelevässä yleissuunnitelman osassa on käsitelty Kehäradan arvioidut vaikutukset lähialueen pohjavesialueisiin. Tunnelilinjan alueella merkittävimmäksi pohjavesialueeksi on nostettu Lentoaseman pohjavesialue (silloinen Ruskeasannan pohjavesialue). Pohjavesialueella esitettiin tehtäväksi lisätutkimuksia virtausyhteyksiin ja pohjavesialueen rajaukseen liittyen. Lentoaseman vedenottamolla esitettiin tehtäväksi pumppauskokeita, joiden tulosten avulla voitaisiin arvioida tunnelin aiheuttamaa pohjavesipinnan alenemaa. Kehäradan tunnelin yleissuunnitelmassa arvioitiin, että tunnelin rakentaminen pienentäisi pohjavesimuodostuman kokonaisantoisuutta 100-150 m^3/d. (Marja-rata – Yleissuunnitelma 2003).

Yleissuunnitelmavaiheen kalliotutkimuksilla tarkennettiin kallion korkokuvaa tunnelilinjalla. Suunnitellun tunnelin pienimmät kalliokattopaksuudet tulisivat tehtyjen tutkimusten mukaan olemaan seuraavilla alueilla (Marja-rata – Yleissuunnitelma 2003) :

- Viinikkalassa km 21+980, noin 300 metrin päässä tunnelin läntisestä suuaukosta (kalliokatto 4,4 metriä)
- Pakkalan huoltotien alittavalla rataosalla km 23+050, noin 1,3 km tunnelin läntiseltä suuaukolta (kalliokatto 17,3 m)
- Pakkalan kalliopainuman kohdalla km 24+070, noin 2,3 km tunnelin läntiseltä suuaukolta (9,9 m)
- Pakkalan kalliopainuman itäpuolella km 24+330, noin 2,5 km tunnelin läntiseltä suuaukolta (kalliokatto 14,7 m)
- Teknikontien kohdalla km 25+650, noin 4,9 km tunnelin läntiseltä suuaukolta (kalliokatto 16,0 m)
- Lentokenttäalueella Ilmailutien alla km 26+240, noin 5,5 km tunnelin läntiseltä suuaukolta (kalliokatto 12,4 m, ratatunneleiden välisellä Lentoaseman ajotunnelilla vain noin 5 m)
- 2. kiitotien itäpuolella km 27+300-27+750 (kalliokatto 11,4 m)
- Lentoaseman pohjavesialueella Kylmäojan läntisen haaran läheisyydessä km 28+100-28+300 (kalliokatto 5,4 m)
- Ruskeasannan aseman itäpuolella km 28+800-29+000 (kalliokatto 11,8 m)
- Tuusulanväylän kohdalla km 29+250 (kalliokatto 11,3 m)

Yleissuunnitelmavaiheessa tunnistettuja ohuempia kalliokattoja on nähtävissä kuvan 9 tunnelin pituusleikkauksessa.

Viinikkala-Lentoasema-rataosalla merkittävin havaittu heikkousvyöhyke on Pakkalan kalliopainauman kohdalla (km 24+045-24+070) sijaitseva noin 25 metriä leveä pohjois-eteläsuuntainen vyöhyke. Kallion laatu arvioitiin seismisten luotausten perusteella erittäin huonoksi. Kallionäytekairausten (3 kpl) sekä syvän porakonekairauksen perusteella kallio arvioitiin melko rikkonaiseksi. Kallionäytekairauksissa todettiin vesivuotoja noin suunnitellun tunnelin tasolla. Kuitenkin kairarei'istä tehtyjen vesimenekkikokeiden perusteella kallio oli pääosin tiivistä. (Marja-rata – Yleissuunnitelma 2003).

Lentoaseman ja itäisen suuaukon välillä voimakas heikkousvyöhyke todettiin Lentoaseman pohjavesialueella km 28+220-28+250. Heikkousvyöhykkeen leveydeksi arvioitiin noin 30 metriä. Kalliolaatua arvioitiin seismisen luotauksen, porakone- ja kallionäytekairausten sekä vesimenekkikokeiden avulla. Kallionäytekairausten (4 kpl) perusteella arvioitiin kalliolaadun olevan melko hyvä. Kairareiän videoinnin perusteella kallion rikkonaisuus sijoittuu kallion pintakerroksiin. Vesimenekkikokeen mukaan kallio tutkimusreiän kohdalla on melko tiivistä. Tutkittu ruhje liittyy Lentoaseman pohjavesialueen laajaan pohjois-eteläsuuntaiseen painannealueeseen. Pohjavesialueella sijaitsevan vedenottamon alueella varauduttiin systemaattiseen esi-injektointiin. (Marja-rata – Yleissuunnitelma 2003).

Yleissuunnitelman mukaan Päijänne-tunnelin ja Kehäradan tunnelin väliin jäävän kalliokaton paksuus on noin 14 metriä. Yleissuunnitelman laatimisen aikaan Päijänne-tunneli on ollut risteyskohdalta lujittamaton. Risteämisalueelle tehtiin 6 porakonekairausta, jotka videokuvattiin, ja rei'issä tehtiin vesimenekkikokeet. Lisäksi videokuvattiin Päijänne-tunnelista 50 metriä itään tehty tutkimusreikä. Näiden perusteella arvioitiin, että kalliossa esiintyy rakoilua ja vettä johtavia kerroksia sekä Päijänne-tunnelin että Kehäradan tasoilla. Näiden tutkimusten lisäksi Päijänne-tunnelissa tehtiin syksyllä 2003 sukellusrobottitutkimuksia, joissa havaittiin Päijänne-tunnelin katosta pudonneita kappaleita. (Marja-rata – Yleissuunnitelma 2003).

6.2.4 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi rata- ja rakennussuunnitelmavaiheissa

Kehäradan YVA-selostuksessa rakentamissuunnitelman laatimiseen arvioitiin kuluvan 2-3 vuotta, jos radan suunnittelu tehdään yhdellä kertaa. Rakentamissuunnitelmalla todennäköisesti tarkoitettiin sekä rata- että rakennussuunnitelmavaiheita. Varsinainen Kehäradan ratasuunnitelma on laadittu vuonna 2008 ja rakennussuunnitelma vuosina 2009-2010.

Yleissuunnitelman valmistumisen jälkeen, rakentamista edeltäneellä ajalla vuosina 2004-2008 pohjavesitarkkailua tehtiin 9.10.2003 päivätyn tarkkailuohjelman mukaisesti (Maa ja Vesi Oy). Tarkkailuohjelma käsitti pohjaveden pinnan ja laadun tarkkailun havaintoputkista ja kaivoista ennen rakentamisen aloittamista. Pohjaveden pintoja mitattiin esitarkkailun aikana 5-6 kertaa vuodessa. (Kehärata-projekti 2010).

Vuoden 2009 alussa siirryttiin osittain noudattamaan rakentamisen aikaista tarkkailuohjelmaa, joka valmistui 20.3.2009 (tarkkailuohjelman laatinut Kehärata-projekti). Kyseistä tarkkailuohjelmaa päivitettiin sen valmistumisen jälkeen Uudenmaan ympäristökeskuksen päätöksen sekä Länsi-Suomen ympäristölupaviraston ratkaisun mukaisesti, ja vielä myöhemmin muuttuneen ratalinjauksen osalta. Viimeinen versio rakentamisen aikaisesta tarkkailuohjelmasta valmistui 15.4.2010. (Kehärata-projekti 2010).

Rakentamisen ja käytön aikainen tarkkailuohjelma sisälsi pohjaveden pinnan ja laadun tarkkailun lisäksi pintavesitarkkailun (kuivatusvesien laadun, kuivatusvesien purkuojien veden laadun ja purkuojien virtaaman tarkkailu) sekä painumatarkkailun.

Pohjatutkimuksia, pohjavesiseurantaa sekä havaintoputkiasennuksia jatkettiin rata- ja rakennussuunnitelmavaiheissa yleissuunnitelmassa esitetyllä tavalla. Vesilain mukainen lupa laitettiin vireille 21.6.2007. Vesilain mukainen lupapäätös annettiin 23.12.2008 (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2008).

Vesilain mukaisen luvan myöntämisen jälkeen tunnelilinjausta Viinikkalan alueella, paaluvälillä 21+425-25+000, muutettiin vaihtoehdon Ve3 mukaiseksi. Viinikkalan asemaa siirrettiin noin 450 metriä pohjoiseen. Tälle muuttuneelle tunneliosuudelle haettiin uusi vesilain mukainen lupa: Dnro ESAVI/102/04.09/ 2010, 4.3.2010 (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2010).

Sekä vuonna 2007 laaditussa lupahakemuksessa, että vaihtoehtoa Ve3 -koskevassa lupahakemuksessa haettiin lupaa rautatietunnelin rakentamiselle, pohjaveden muuttamiskiellosta poikkeamiselle (pohjaveden muuttamiskielto tuolloin voimassa olleessa vesilaissa) sekä töiden aloittamiselle ennen päätöksen lainvoimaiseksi tulemista. Lupa töiden aloittamiselle myönnettiin molemmissa päätöksissä.

Rata- ja rakennussuunnitelmavaiheissa tarkentavia tutkimuksia on tehty useilla eri menetelmillä ja määrällisesti enemmän kuin yleissuunnitelmavaiheessa. Tarkkoja tutkimusmääriä ei ole mainittu käytettävänä olleissa lähteissä. Kehärata-projektin pohjatutkimusten vuosina 2008-2009 pidettyjen seurantakokousten kokouspöytäkirjojen nro 1–16 sekä Pohjaveden tarkkailuraportin 2008 (Pöyry Finland Oy) mukaan vuosina 2008-2009 on tehty ainakin seuraavia pohjavesivaikutusten arviointiin ja työnaikaisen pohjavedenhallinnan suunnitteluun liittyviä maastotutkimuksia:

- Kallionäytekairaukset
- Vesimenekkikokeet
- Maanäytteenotto (häiriintymättömiä ja häiriintyneitä näytteitä)
- Havaintoputkiasennukset
- Porakonekairaukset ja syväporakonekairaukset
- Seismiset luotaukset
- Painumamittauspulttien asennus ja mittausten aloitus vuonna 2008
- Pohjaveden aggressiivisuuden selvittäminen
- Vesinäyteanalyysit lentoaseman Shellin pohjavesiputkista
- Näytteenotto poisjohtamisojien vesistä

Suunnitteluvaiheen maastotutkimusten jälkeen arvioitiin, että merkittävät kallion heikkousvyöhykkeet toteutuneelle tunnelilinjauksella ovat lännestä itään lukien (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2008 ja Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2010):

- Viinikkalassa lentokentän eteläpuolella (22+250-22+300 ja 23+300)
- Veromiehenkylässä / Pakkalassa (23+710-23+730 ja 24+080-24+120 ja 24+340-24+380)
- Laaja painannealue lentokentän 2. kiitotien itäpuolella (27+300-27+750)
- Lentokentän itäpuolella Ruskeasannassa (28+220-28+250)

6.2.5 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi rakentamisvaiheessa

Kehäradan rautatietunnelin rakentaminen aloitettiin toukokuussa 2009 Aviapoliksen, Lentoaseman ja Ruskeasannan ajotunneleista. Ajotunneleiden louhinnat aloitettiin heinäkuussa 2009.

Rakentamisen aikana pohjavesivaikutuksia tarkkailtiin rakentamisen ja käytön ajalle laaditun seurantaohjelman mukaisesti. (Kehärata-projekti 2010).

Rakentamisen ajalle laaditussa seurantaohjelmassa tarkkailun sisältö oli riippuvainen louhinnan etenemisestä. Tarkkailua tihennettiin, kun tunnelin perä oli tarkkailuputken kohdalla. Alueilla, joille louhinta ei vielä ulottunut, tehtiin tarkkailua taulukon 4 mukaisesti. Taulukossa esitetty tarkkailu esitettiin aloitettavaksi vähintään 4 kk ennen kuin tunnelin perä on tarkkailuputken kohdalla. (Kehärata-projekti 2010).

Taulukko 4. Tarkkailumittaukset alueilla, joille louhinta ei ole vielä ulottunut.

Toimenpide	Seurantatiheys
Pohjavesiputkien ja valittujen kaivojen vesipinnan mittaus	1 krt / kk
Pohjavesinäytteiden otto ja analysointi	2 krt / vuosi
Pumppausvesien poisjohtamisojien virtaamamittaus, vesinäytteiden otto ja analysointi	2 mittauskertaa
Sademäärätietojen kerääminen	1 krt /kk
Rakennusten painumaseuranta	3 mittauskertaa

Tunneliperien louhinnan ulottuessa tarkkailuputken kohdalle, alueen tarkkailua tihennettiin. Pohjaveden painetasomittausten tiheyden oli suunniteltu määräytyvän lopullisesti todettavien ympäristövaikutusten ja vuotovesimäärien perusteella. Raporttitekstissä arvioitiin mittaustiheyden olevan tuossa vaiheessa 1-2 kertaa viikossa. Taulukossa 5 on esitetty seurantaohjelman suunniteltu sisältö alueilla, joille louhinta ulottuu. (Kehärata-projekti 2010).

Taulukko 5. Tarkkailumittaukset alueilla, joille louhinta ulottuu. (Kehärata-projekti 2010).

Toimenpide	Seurantatiheys
Pohjavesiputkien ja valittujen kaivojen vesipinnan mittaus	1 krt/vrk…1 krt/kk (*
Pohjavesinäytteiden otto ja analysointi	6 krt vuosi (**
Pumppausvesien poisjohtamisojien virtaaman ja laadun mittaus	12 krt/vuosi vähintään
Kuivatusvesien laadun seuranta (selkeytysaltaat)	12 krt/vuosi
Vuotovesien määrän mittaus	2–4 krt/kk
Sademäärätietojen kerääminen	1 krt/kk
Rakennusten painumaseuranta	3 krt/vuosi

(* vaihtelee urakkakohtaisesti
(** tarvittaessa useammin

Louhinta- ja tiivistystöiden päätyttyä siirrytään sisustus- ja asennusurakoiden aikaiseen seurantaan. Tämän vaiheen seurantaohjelman sisältö on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Tarkkailumittaukset sisustus- ja asennusurakoiden aikana. (Kehärata-projekti 2010).

Toimenpide	Seurantatiheys
Pohjavesiputkien ja valittujen kaivojen vesipinnan mittaus	6 – 12 krt / vuosi
Pohjavesinäytteiden otto ja analysointi	2 krt/vuosi (*
Pumppausvesien poisjohtamisojien virtaaman ja laadun mittaus	6 krt/vuosi
Kuivatusvesien laadun seuranta (selkeytysaltaat)	12 krt/vuosi
Vuotovesien määrän mittaus	2–4 krt/kk
Sademäärätietojen kerääminen	1 krt/kk
Rakennusten painumaseuranta	3 krt/vuosi

Seurantaohjelman (Kehärata-projekti 2010) mukaan tarkkailuun otettiin mukaan 22 havaintoputkea, jotka kuuluvat Päijänne-tunnelin, lentoaseman sekä entisen tynnyripesulan tarkkailuihin. Kehäradan tarkkailua varten asennetut pohjavesiputket on pyritty asentamaan alle 200 metrin etäisyydelle tunnelista. Tämä on arvioitu tunnelin vaikutusalueen laajuudeksi. Suunnitteluvaiheessa todettujen kallioperän painauma- ja ruhjevyöhykkeiden alueille on asennettu useampia havaintoputkia myös etäämmälle tunnelista. Päijänne-tunnelin risteysalueelle asennettiin havaintoputkia kahden tunnelilinjausvaihtoehdon ympäristöön. Suurin osa kalliopohjavesiputkista yltää tunnelin pohjan tasolle tai sen alapuolelle. (Kehärata-projekti 2010).

Automaattisia pohjavesipinnanmittareita asennettiin yhteensä kuuteen havaintoputkeen (3 kalliopohjavesiputkea ja 3 maapohjavesiputkea). Yhteensä tarkkailuohjelmassa (15.4.2010) oli mukana 189 havaintoputkea ja 22 kaivoa. (Kehärata-projekti 2010).

Pohjaveden rakentamisen aikaiseen laatuseurantaan oli otettu mukaan 26 havaintoputkea sekä 10 kaivoa (Tarkkailusuunnitelma 15.4.2010). Vesinäytteistä analysoitiin seuraavat parametrit:

- pH -arvo ja liuenneen hapen pitoisuus
- Sähkönjohtavuus, väri, sameus
- Rauta ja mangaani
- Nitraatti, nitriitti, ammonium
- Kloridi ja sulfaatti
- Kokonaisfosfori
- Kalium, kalsium, natrium
- Kemiallinen hapenkulutus COD_{Mn}
- Öljymääritys, mikäli aistinvaraisesti viitteitä öljystä (määritysraja 0,05 mg/l)
- VOC-yhdisteet louhintavaiheen aikana
- Alkaliteetti louhintavaiheen aikana
- Metallien liukoiset pitoisuudet louhintavaiheen aikana
- PAH-yhdisteet 2 kertaa vuodessa

Kuivatusvesien purkuojista (4 kpl) tuli rakentamisen aikana mitata virtaamaa ja lämpötilaa, sekä ottaa vesinäytteitä. Purkuojissa oli useampia näytteenottopisteitä. Pintavesinäytteistä analysoitiin seuraavat parametrit:

- pH -arvo ja liuenneen hapen pitoisuus
- väri, sameus, kiintoaine, sähkönjohtavuus
- kemiallinen hapenkulutus COD_{Mn} ja COD_{Cr}
- Kokonaistyppi, nitraattityppi, nitriittityppi, ammoniumtyppi
- Kalium, kalsium, natrium
- Sulfaatti
- Kokonaisfosfori
- Öljypitoisuus

Jokaisessa purkuojassa oli vähintään kaksi näytepistettä. Jokaisen selkeytysaltaan purkupaikan alapuolella oli vähintään yksi näytepiste, josta seurattiin selkeytysaltaista ojiin johdetun veden laatua. Purkuojien vedenlaadun lisäksi myös ojien purkuvesistön, eli Vantaanjoen vedenlaatua tarkkailtiin kahdesta pisteestä. Selkeytysaltaiden ollessa toiminnassa kuivatusveden happamuutta esitettiin seurattavaksi jatkuvatoimisesti. (Kehärata-projekti 2010).

Rakentamisen aikainen seuranta oli reaaliaikaista. Ennakoimattomissa tilanteissa johtopäätöksiä tuli tehdä nopeasti, ja seurantaohjelmaan tuli tehdä täydennyksiä ja muutoksia tarvittaessa. Tunnistettuja rakentamisen aikaisia mahdollisia ennakoimattomia poikkeustilanteita olivat esimerkiksi yllättävä pohjavesivuoto tunneliin, tiiveystavoitteen saavuttamattomuus, pitkäaikainen ja laaja pohjavesipinnan lasku tai Kehäradan rakentamisesta johtuva rakennusten tai rakenteiden painuminen. (Kehärata-projekti 2010).

Seurantaohjelman mukaan seurantatulokset tuli raportoida kuukausittain laadittavissa lyhyissä raporteissa. Kehäradan seurantamittaustuloksia suunnittelun ja rakentamisen aikana tallennettiin Kehärata-ympäristötietopalveluun. Keskeiset tulokset, johtopäätökset sekä muutokset seurantaohjelmaan koottiin kalenterivuosittain laadittuihin vuosiraportteihin. (Kehärata-projekti 2010).

6.2.6 Havainnot pohjavesivaikutuksista rakentamisen aikana

Tunnelirakentamisen aikana toteutetun seurannan avulla todennettiin ennakoituja pohjavesivaikutuksia, sekä havaittiin joitakin ennakoimattomia pohjavesivaikutuksia. Rakentamisen aikana merkittävimmät muutokset alkuperäisiin suunnitelmiin aiheutuivat kuitenkin havainnoista, joita tehtiin tarkkailusuunnitelman mukaisen pohjavesivaikutusten seurannan ulkopuolella. Lentoaseman urakkaosuudella kalliotilaan vuotaneesta glykolia ja glykolin hajoamistuotteita sisältäneestä pohjavedestä tehtiin ensimmäiset havainnot aistinvaraisesti. Glykoli aiheutti huomattavia haasteita rakentamiselle, ja pohjavesiselvityksiä tehtiin rakentamisvaiheessa tämän takia huomattavasti suunniteltua enemmän (Kansonen 2020).

Tunnelin rakentaminen laski kalliopohjaveden pintoja tunneliosuudella yleisesti ottaen noin 1-2,5 metriä. Joissain yksittäisissä havaintoputkissa todettiin suurempi (6-17 m) painetason lasku. Maapohjaveden alenemaa todettiin tunnelin suuaukkoalueilla. Itäisellä suuaukolla imeytettiin pohjavettä rakentamisen aikana. Läntisen suuaukon alueella pohjavesipintojen palautuminen alkoi vuonna 2012. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Tarkkailuohjelman mukaisten painumaseurantamittausten lisäksi painumamittauksia tehtiin rakentamisen aikana 16 painumalevystä ja 21 painumaseurantapultista. Painumaseurantamittausten perusteella ratatunnelin aiheuttamaa rakennusten ja rakenteiden painumaa todettiin itäisellä suuaukolla maanvaraisissa rakennuksissa ja painumalevyissä. Muista painumamittauspisteistä ratatunnelin rakentamisen aikana mitatut alenemat johtuivat vuosiraporteissa tehtyjen arvioiden mukaan normaalista routanoususta, pohjavedenpinnan luonnollisista vaihteluista, rakennusten lämpötilavaihtelusta aiheutuvasta lämpölaajenemisesta tai -kutistumisesta tai vioittuneista mittauspulteista. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Tunnelin rakentamisen aikaisen seurannan yhteenvetoraportissa todetaan, että ratatunnelin rakentaminen ei vaikuttanut haitallisesti pohjaveden laatuun. Sekä ennen rakentamista että rakentamisen aikana tehdyssä laatuseurannassa alueen pohjavesissä todettiin haitallisia aineita, joiden alkuperä on teollinen toiminta alueella. Tunnelilinjalla havaintoputkissa todettiin VOC-pitoisuuksia (bentseeni, tolueeni, ksyleenit, MTBE, TAME) ja PAH-pitoisuuksia. Lentoaseman pohjavesialueen pohjavedessä todettiin kloorattuja yhdisteitä (di-, tri- ja tetrakloorieteeneitä ja di- ja trikloorietaania). (Kehärata-projekti 2011, Kehärata-projekti 2012, Pöyry Finland Oy 2013, Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Nämä haitta-aineet eivät Kansosen (2020) mukaan aiheuttaneet merkittäviä ongelmia tunnelin vuotovesissä.

Syyskuussa 2012 Lentoaseman urakka-alueen vuotovesissä todettiin styreeniä. Styreenin alkuperäksi arvioitiin pulttien juottamisessa käytetty hartsi. Kyseisen aineen käyttö juotoksissa keskeytettiin. (Pöyry Finland Oy 2013).

Läntisellä tunneliosuudella Viinikkalassa merkittäviä vesiongelmia ei rakentamisen aikana ollut, työt sujuivat pitkälti suunnitelmien mukaan (Kansonen 2020). Läntisen suuaukon sortumista johtuen tunnelin suuaukkoa siirrettiin jonkin verran (Kansonen 2020). Läntisellä suuaukolla alennettiin pohjavesipintaa rakentamisen aikana vuonna 2011 pumppaamalla. Alueella mitattiin rakentamisen aikana luokkaa 2 -7 metriä olevia kallio- ja maaperän pohjaveden pinnan alenemia. Pohjavesipinnat alueella alkoivat palautua vuoden 2012 aikana. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Viinikkalan alueella vuotovesissä esiintyi jonkin verran rautaoksidia. Rakentamisen aikana oli keskusteltu siitä, tukkiiko rautaoksidi vuotovesien keruujärjestelmiä. Tällaista ongelmaa ei kuitenkaan rakentamisen aikana syntynyt. (Kansonen 2020).

Päijänne-tunnelin risteyskohdassa mitattiin vuotovesimääriä tunnelin valmistumisen aikaan vuonna 2014. Mittaukset toteutettiin rakennetuilla mittapadoilla. Vuotovesimääriksi saatiin ensimmäisessä mittauksessa 1,4…1,7 l/min/100 m ja toisessa mittauksessa eteläiselle tunnelille 3,05 l/min/100m ja pohjoiselle tunnelille 3,1 l/min/100 m. Vesilain mukaisen luvan lupaehdon mukaan tällä tunneliosuudella vuotovesimäärä sai olla maksimissaan 1 l/min/100 m. Lupaehtoon haettiin muutosta. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Aviapoliksen urakkaosuudella injektointia tehtiin suunniteltua vähemmän. Muutamilla vuotamaan jääneillä osuuksilla, kuten esimerkiksi Kytökallion kuilun kohdalla, suoritettiin jälki-injektointeja. (Pöyry Finland Oy 2015 ja WSP Finland Oy).

Lentoaseman urakka-alueen kallioperä oli kohtalaisen ruhjeinen ja rakoillut. Raoissa oli injektointia vaikeuttaneita savitäytteitä. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Lentoaseman urakkaosuudella todettiin vuonna 2010 glykolia ja sen hajoamistuotteita. Glykoli ja sen hajoamistuotteet aiheuttivat hajuhaittaa sekä vuotovesien happamuutta kalliotunnelissa (vuotovesien pH paikoin jopa 4,8). Hapan vuotovesi aiheuttaa sidos- ja täyteaineiden syöpymistä. Metaania muodostavien sekä sulfaattia pelkistävien bakteerien esiintyminen suurina määrinä kuvastaa rakenteille haitallisia ja korroosiota aiheuttavia olosuhteita. Hajuhaitan sekä happamuuden takia Liikennevirasto käynnisti suunnittelukilpailun glykoliongelman ratkaisemiseksi syksyllä 2010. Valitussa ratkaisussa tunnelin sisään rakennettiin kaasutiivis betonitunneli. Tämän rakenteen vaatimat laajennuslouhinnat tehtiin Lentoaseman urakka-alueella vuonna 2012. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Vuotovesissä todetuista glykolin ja sen hajoamistuotteiden pitoisuuksista johtuen aloitettiin kesäkuussa 2012 Lentoaseman selkeytysaltaaseen tulevien purkuvesien johtaminen Helsingin seudun veden (HSY) jätevesiviemäriin. (Pöyry Finland Oy 2013).

Glykoliin liittyviä lisäselvityksiä tehtiin vuosina 2010-2014. Sekä pohja- että vuotovesistä tehtiin lisäanalyyseja (mm. etyleeni- ja propyleeniglykolit sekä hajoamistuotteina syntyvät hapot, pH-arvo ja hapen kulutusta kuvaavia parametreja). Vuonna 2012 asennettiin haitta-aineselvitystä varten noin 40 kpl uusia havaintoputkia. Vuosina 2013-2014 glykoliselvityksiä tehtiin tuolloin jo tunnetun Lentoaseman urakka-alueen ulkopuolella. (Kehärata-projekti 2011, Kehärata-projekti 2012, Pöyry Finland Oy 2013, Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Suurimmat glykolin hajoamistuotteiden pitoisuudet todettiin v.2011 Lentoaseman juna-aseman TES-kuilusta ja juna-asemalta sekä lentoaseman juna-aseman itäpuolella. Rakentamisen aikana glykoliin viittavia havaintoja tehtiin myös Aviapoliksen alueelta, Viinikkalasta sekä läntiseltä suuaukolta. Suojarakenne rakennettiin ainoastaan lentoaseman urakka-alueelle. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Ruskeasannan urakkaosuudella (tunnelin itäpää) asemavarauksen ja ajotunnelien alue osuu usean rikkonaisuus- ja ruhjevyöhykkeen risteyskohtaan. Eteläisessä asemahallissa oli rakentamisen aikana runsaasti vesivuotoa. Risteysalue esi- ja jälki-injektoitiin. Asemahallit tiivistysinjektoitiin systemaattisesti. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015, Kansonen 2020).

Ruskeasannan ajotunnelia tiivistettiin louhinnan edetessä tarpeen mukaan. Kalliolaatu vaihteli ehjästä rapautuneeseen, ja ajotunnelin loppupäässä esiintyi korppukiveä ja rakotäytteinä savea. Vesivuodot olivat paikoin kohtalaisia ja runsaita. Myös jälki-injektointeja tarvittiin. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Kansonen (2020) pitää tunneliosuutta ongelmallisena, sillä runsaasti rakoilleen kallion injektoidut raot voivat avautua uudestaan, jos lähialueella tehdään louhintoja. Tunnelin päällä olevassa kalliopainaumassa on paljon vettä, jolloin vuotoja on odotettavissa jollain aikavälillä. (Kansonen 2020).

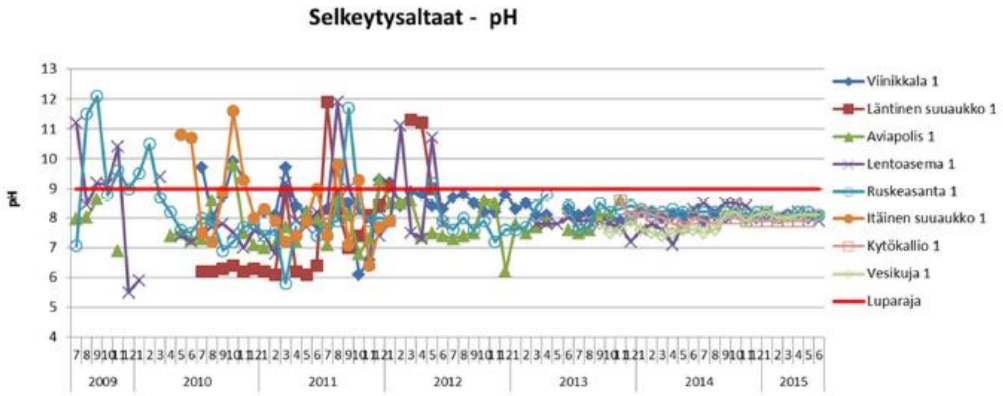
Ruskeasannan urakkaosuudella Lentoaseman vedenottamon painannealueen (km 28+180 – 28+240) kohdalle tunneliin asennettiin mittapatoja vuonna 2011. Urakkaosuuden valmistuttua mitattiin vuotovesimääräksi pohjoisessa tunnelissa 0,33 l/min/100 m ja eteläisessä tunnelissa 7,17 l/min/100 m. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

6.2.7 Rakentamisen aikaiset kuivatusvedet

Suurimpien louhintojen aikana, vuosina 2010-2011 kuivatusvesien selkeytysaltaista lähtevässä vedessä havaittiin paikoin sementin ja räjähteiden hajua, mahdollisesti glykolin hajoamistuotteiden hajua sekä sameutta. Kiintoainespitoisuudet olivat korkeita. Ajoittain laboratorioanalyyseissa todettiin korkeita kokonaisfosforin ja kokonaistypen pitoisuuksia sekä sähkönjohtavuuden arvoja. Paikoin myös sulfaattipitoisuus oli korkea johtuen todennäköisesti vesien pH-säätöön osassa selkeytysaltaita käytetystä rikkihaposta. (Kehärata-projekti 2011, Kehärata-projekti 2012).

Veden pH-arvolle annettu luparaja 9 ylittyi ajoittain lähes kaikkien selkeytysaltaiden lähtevissä vesissä pH -säädöstä huolimatta. Öljypitoisuuden luparaja 5,0 mg/l ylittyi ajoittain. Kuivatusvesissä todetut öljyhiilivedyt olivat raskaita jakeita C_{22}-C_{40}. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Kuvan 13 kuvaajassa on nähtävissä ojiin johdettavien kuivatusvesien aiheuttama pH-arvon nousu louhintatöiden aikana, ja toisaalta myös pH-arvojen lasku normaalille tasolle louhintojen jälkeen. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).



Kuva 13. pH-arvot Kehäradan selkeytysaltailta ojaan johdettavissa kuivatusvesissä (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Rakentamisen aikaisten pohjavesivaikutusten seurannan yhteenvetoraportissa (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015) todetaan, että kuivatusvesien ojiin johtamisesta aiheutuneet merkittävimmät kuormitustekijät olivat:

- Hienojakoinen kiintoaine, jota ei saatu kokonaan laskeutettua selkeytysaltaissa
- Räjähteissä käytettävät typpiyhdisteet
- Sementin aiheuttama pH:n nousu

Näiden lisäksi sähkönjohtavuus ja sulfaattipitoisuus olivat koholla. Kemiallinen hapenkulutus (COD_{Cr}) oli koholla useissa ojapisteissä. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015).

Purkuojien purkuvesistössä Vantaanjoessa kuivatusvesien vaikutuksia ei rakentamisen aikana ollut nähtävissä. Kylmäojan alajuoksulla kuivatusvesien vaikutukset näkyivät. Kylmäojan vesimäärään sekä vedenlaatuun vaikutti kuivatusvesien lisäksi Lentoaseman vedenottamolta Kylmäojaan pumpattava vesi. Käytöstä poistetulta vedenottamolta tapahtuvan pumppauksen tarkoituksena oli estää pohjaveden painetason nousu alueella olevien rakennusten kellaritilojen. (Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy 2015, Kansonen 2020).

6.2.8 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi käyttö- ja kunnossapitovaiheessa

Kehärata otettiin käyttöön heinäkuussa 2015. Ratatunnelin käytön ajalle laaditun seurantaohjelman mukaiseen seurantaan siirryttiin heti heinäkuussa 2015. Noudatettu käytön aikainen seurantaohjelma oli laadittu ajalle heinäkuusta 2015 vuoden 2017 loppuun. Rakentamisen aikana noudatettu seurantaohjelma käsitti myös Kehäradan avorataosuuksien seurannat. Käytön aikainen seurantaohjelma laadittiin ainoastaan Kehäradan tunneliosuudelle. (Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki 2016).

Käytön aikaiseen seurantaan valittiin mukaan seurantapisteet, joissa oli havaittu mahdollisia tunnelin rakentamisen vaikutuksia (Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki 2016). Seurantaohjelmassa 2015-2017 pohjaveden pinnankorkeuden seurannassa oli yhteensä 72 havaintoputkea, joista 39 kpl oli maaperään asennettuja pohjavesiputkia ja 33 kpl kalliopohjavesiputkia. Lisäksi pohjavesipintoja seurattiin 12 kaivosta. Suurin osa seurantaan valituista kaivoista sijaitsi itäisen suuaukon alueella. Seurantapisteiden valinnassa huomioitiin jo suunnitteluvaiheessa tunnistetut kallioperän painauma- ja ruhjevyöhykkeet, Päijänne-tunneli sekä Lentoaseman vedenottamon alue. Myös rakentamisen aikana tehdyt glykolihavainnot sekä havainnot pohjavesipintojen muutoksista ovat vaikuttaneet seurantapisteiden valintaan. (Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki 2016).

Vuodesta 2018 alkaen ratatunnelin ympäristövaikutusten seurannassa on noudatettu vuosille 2018-2021 laadittua seurantaohjelmaa. Vuosille 2018-2021 tehdyssä tarkkailuohjelman päivityksessä pohjavesipintojen seurantaan valittiin 66 havaintoputkea ja kahdeksan kaivoa. (Ramboll Finland Oy 2018).

Taulukko 7. Tarkkailumittaukset ja tarkkailutiheys ratatunnelin käytön aikana 2015-2017 (Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki 2016).

Toimenpide	Seurantatiheys
Pohjavesiputkien ja valittujen kaivojen vesipinnan mittaus	4 krt/vuosi
Pohjavesinäytteiden otto ja analysointi	2 krt/vuosi
Pumppausvesien poisjohtamisojien virtaaman ja laadun mittaus	4 krt/vuosi
Vuotovesien määrän mittaus	4 krt/vuosi
Rakennusten painumaseuranta	4 krt/vuosi

Taulukko 8. Tarkkailumittaukset ja tarkkailutiheys ratatunnelin käytön aikana 2018-2021 (Ramboll Finland Oy 2018).

Toimenpide	**Seurantatiheys**
Pohjaveden pinnankorkeuden mittaus	3 krt/vuosi
Pohjaveden laatu	2 krt/vuosi
Poisjohtamisojien vedenlaatu	3 krt/vuosi
Vuotovesien määrän mittaus	3 krt/vuosi
Painumaseuranta	1 krt/vuosi

Pohjavesien laatuseurantaa varten on molemmissa käytön ajalle laadituissa seurantaohjelmissa esitetty erilliset näytteenotto-ohjelmat ns. perusseurannalle, sekä glykolihavaintojen vuoksi tehtävälle haitta-aineseurannalle. (Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki 2016, Ramboll Finland Oy 2018).

Perusseurantaan valittiin vuosille 2015-2017 11 pohjaveden havaintoputkea ja viisi kaivoa, ja vuosille 2018-2021 10 pohjaveden havaintoputkea ja neljä kaivoa. Seurantaohjelmien mukaiset pohjavesianalyysit olivat:

- pH -arvo ja sähkönjohtavuus
- Liuenneen hapen pitoisuus
- Alkaliniteetti
- Väri ja sameus
- Rauta ja mangaani
- Nitraatti, nitriitti ja ammonium (v. 2018 eteenpäin nitraattityppi, nitriittityppi ja ammoniumtyppi)
- Kloridi ja sulfaatti
- Kemiallinen hapenkulutus COD_{Mn}
- Kokonaisfosfori (vain huhtikuussa)
- VOC-yhdisteet (vain huhtikuussa)
- Metallit Al, As, Cd, K, Ca, Co, Cr, Cu, Hg, Mg, Na, Ni, Pb, Zn, U, V (vain huhtikuussa)
- PAH-yhdisteet (vain huhtikuussa)
- COD_{Cr} (vain huhtikuussa)
- Öljyhiilivetyjen aistinvarainen havainnointi, analyysi tehdään, mikäli viitteitä öljystä

Näytteenoton yhteydessä tulee mitata pohjaveden lämpötila, ja tehdä aistinvaraiset havainnot (haju, väri). (Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki 2016, Ramboll Finland Oy 2018).

Pohjaveden haitta-aineseurannassa on molemmissa seurantaohjelmissa (2015-2017 ja 2018-2021) ollut mukana 11 havaintoputkea sekä yksi viemärikaivo. Havaintopisteistä otettavista vesinäytteistä analysoidaan keväisin glykolit ja niiden hajoamistuotteet sekä glykolin esiintymistä indikoivat parametrit. Syksyn näytteistä analysoidaan ainoastaan glykolin esiintymistä indikoivat parametrit. Lisäksi kenttämäärityksinä mitataan pohjaveden lämpötila, ja tehdään aistinvaraiset havainnot (haju, väri). (Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki 2016, Ramboll Finland Oy 2018).

Maastoon johdettavien kuivatusvesien laatua tarkkaillaan ajotunneleiden pumppaamoiden altaista ja pystykuilujen pumppaamojen maanpinnalla sijaitsevista kaivoista tai purkuputken päästä. Näytteenottotiheydet on esitetty taulukoissa 6 ja 7. Ratatunnelissa on yhteensä viisi pumppaamoa (Viinikkalan ajotunneli, Kytökallion pystykuilu, Lentoaseman ajotunneli, Vesikujan pystykuilu ja Ruskeasannan ajotunneli).

Kuivatusvesien vaikutusta purkuojien vedenlaatuun tarkkaillaan avo-ojista, kuivatusvesien purkupaikkojen alapuolella sijaitsevista näytepisteistä otettavin vesinäyttein. Purkupaikan yläpuolinen näytepiste on ainoastaan Vesikujan pystykuilun pumppaamon purkuojassa. (Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki 2016).

Seurantaohjelman mukaan kuivatusvesistä sekä purkuojista otettavista näytteistä tehdään seuraavat analyysit (Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki 2016, Ramboll Finland Oy 2018):

- pH-arvo ja sähkönjohtavuus
- Liuenneen hapen pitoisuus (v. 2018 eteenpäin myös hapen kyllästysaste)
- Väri ja sameus
- Kiintoaine
- COD_{Mn} ja COD_{Cr}
- Kokonaistyppi, nitraattityppi, nitriittityppi ja ammoniumtyppi
- Kalium, kalsium ja natrium
- Sulfaatti
- Kokonaisfosfori
- Öljypitoisuus

Lisäksi näytteenoton yhteydessä mitataan pumppaamoaltaiden virtaama, joka kuvaa kyseisen tunneliosuuden vuotovesien määrää. Avo-ojien virtaamaa arvioidaan silmämääräisesti. Kenttämäärityksinä mitataan veden lämpötila, ja tehdään aistinvaraiset havainnot (haju, väri). (Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki 2016).

Seurantaohjelmassa 2015-2017 painumaseurantaa esitetään jatkettavaksi 91 painumahavaintopisteestä. Seurantaohjelmassa 2018-2021 painumaseurantaan valittiin mukaan enää 61 havaintopistettä. Seurantaan valittiin sekä rakennuksia että katupisteitä tai painumalevyjä. Tunnelin rakentamisesta johtuvaa painumaa oli todettu lähinnä tunnelin itäisen suuaukon alueella (Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki 2016, Ramboll Finland Oy 2018).

Käytön aikaisessa ympäristövaikutusten tarkkailussa merkittävä painotus on ollut selkeytysaltaiden sekä purkuojien vedenlaadun seurannassa. Koska ratatunnelin kuivatusvesien johtaminen avo-ojiin jatkuu vielä ratatunnelin käytön aikana, näillä kuivatusvesillä on edelleen selkeä vaikutus purkuojien vedenlaatuun. (Ramboll Finland Oy 2019).

Pohjaveden laatuseurannassa on kiinnitetty huomiota glykolin, glykolin hajoamistuotteiden sekä glykolin esiintymistä indikoivien parametrien esiintymiseen pohjavedessä. Viitteitä glykolista (mm. kohonnut kemiallinen hapenkulutus) on todettu useimmissa haitta-aineseurannassa mukana olevissa havaintoputkissa. Glykoleita tai glykolien hajoamistuotteita on todettu muutamissa seurannassa mukana olevissa havaintoputkissa. Laatuseurannan osalta muilta osin on todettu alueen pohjaveden olleen heikkolaatuista jo ennen rakentamista, eikä rakentamisen ole katsottu vaikuttaneen vedenlaatuun. Pohjaveden pinnankorkeuksista todetaan vuosiraportissa 2018, että osassa havaintopisteitä pohja-

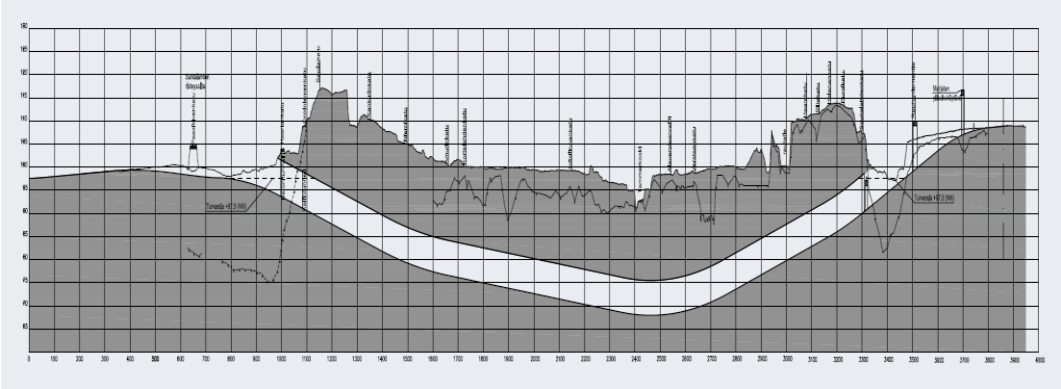
veden pinnantaso on selvästi alempana kuin ennen rakentamista, mutta taso on hitaasti palautumassa. (Ramboll Finland Oy 2019).

6.3 Tampereen rantatunneli

6.3.1 Yleistä

Tampereen keskustan pohjoispuolitse kulkeva valtatie 12 kulkee Santalahden ja Naistenlahden välisen tieosuuden Tampereen rantatunneliksi nimetyssä kallio-tunnelissa. Tampereen rantatunneli on tarkasteluun valituista liikennetunneleista uusin. Tunneli rakennettiin vuosina 2013-2016, ja avattiin liikenteelle marraskuussa 2016. Tampereen rantatunneli on myöskin valituista hankkeista ainoa tieliikenteelle rakennettu tunneli. Tällä hetkellä se on Suomen pisin maantietunneli. Tunnelin yhteispituus on noin 2,3 kilometriä, ja kalliotunnelia tästä on 2,2 kilometriä.

Tunneli on rakennettu 30-40 metriä maanpinnan alapuolelle (noin tasolle +70…+90), ja on alimmillaan Tammerkosken kohdalla, noin tasolla +68 (NN). Vesilain mukaisen luvan hakemusosan mukaan kalliopinta kohoaa tunnelin molemmissa päissä ympäristöään korkeammalle, noin korkeustason +110 yläpuolelle. Kalliokohoumien välisellä alueella kalliopinnan korkeus vaihtelee korkeustason +95 molemmin puolin. Tunnelin pituusleikkaus on esitetty kuvassa 14. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).



Kuva 14. Tampereen rantatunnelin pituusleikkaus YVA-selostuksen vaihtoehdon 2 mukaan. (Tampereen Rantaväylä (valtatie 12) välillä Santalahti-Naistenlahti, Ympäristövaikutusten arviointimenettely – Ympäristövaikutusten arviointiselostus 2010.).

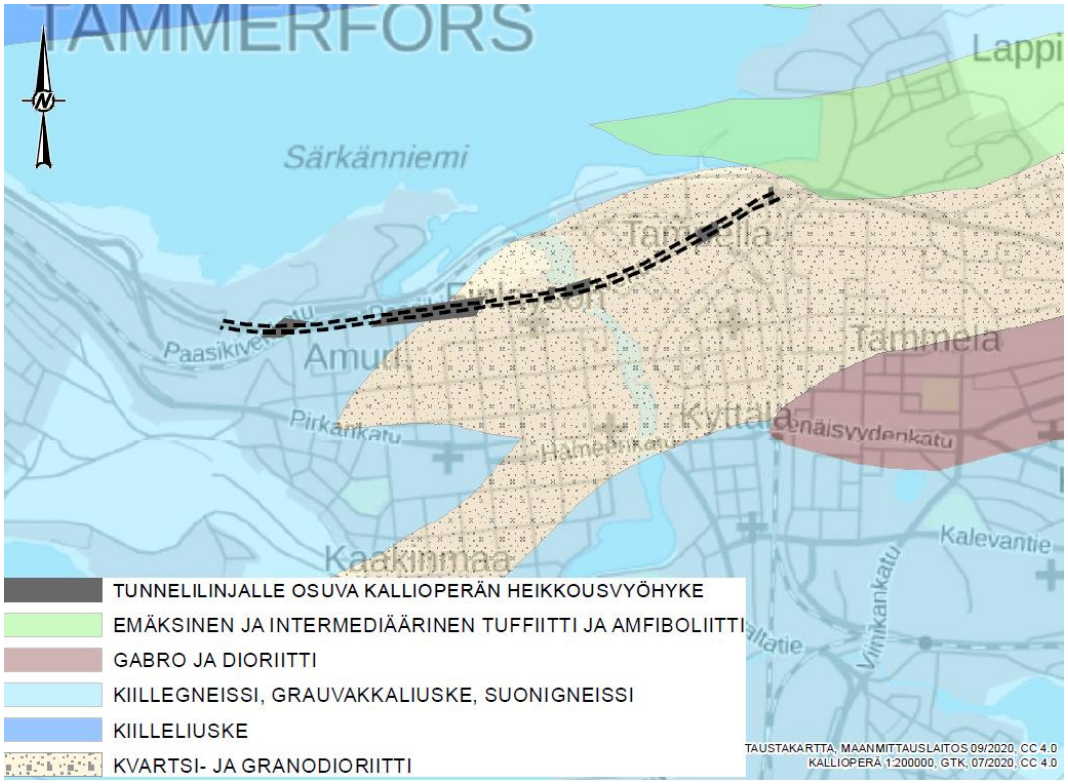
Maanpinnantaso tunnelilinjalla on maastokartan mukaan noin tasolla +100…+115. Pohjavesipinta tunnelilinjalla on noin tasolla +89…+112. Pohjavesipinta myötäilee maanpinnantasoja, ja on alimmillaan Tammerkosken kohdalla. Tunneli on kokonaan pohjavesipinnan alapuolella. (Tampereen Rantaväylä (valtatie 12) välillä Santalahti-Naistenlahti, Ympäristövaikutusten arviointimenettely – Ympäristövaikutusten arviointiselostus 2010).

Tunneli sijoittuu rakennetulle kaupunkialueelle. Epilänharjun-Villilän I-luokan pohjavesialueen nykyinen itäraja on tunnelin läntisen suuaukon kohdalla. Pohjaveden ei vesilain mukaisen luvan hakemusosassa ole arvioitu virtaavan hankealueelta pohjavesialueen suuntaan (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Pohjaveden virtaussuunta tunnelilinjan länsiosassa on pohjoisesta etelään kohti Pyhäjärveä. Kalliokohoumien välissä pienillä alueilla pohjavesi saattaa virrata myös pohjoiseen kohti Näsijärveä. Tammerkosken läheisyydessä virtaussuunta kääntyy kohti Tammerkoskea. Alueen itäosien isojen kallioalueiden pohjoispuolella pohjaveden virtaus suuntautuu pohjoiseen kohti Näsijärveä, ja eteläpuolella etelään ja länteen. (Vt12 Rantatunneli, Rakennussuunnitelma – Kalliotunneli, rakennettavuusselvitys 2013).

Kallioperältään Tampereen rantatunnelin alue kuuluu kokonaisuudessaan Tampereen liuskevyöhykkeeseen. Alueen kallioperä koostuu tehtyjen tutkimusten perusteella pääosin metasedimenteistä, kuten kiillegneissistä ja kvartsimaasälpägneissistä. Näiden metasedimenttiosueiden välissä esiintyy juonina tai massiivisina osueina syväkiviä. Kallio on suurelta osin seoksista, eli gneissit ovat muodostaneet granitoidien kanssa seoksisia kiviä, ns. migmatiitteja. (Vt12 Rantatunneli, Rakennussuunnitelma – Kalliotunneli, rakennettavuusselvitys 2013).

Kallioperäkartta (Geologian tutkimuskeskuksen 1:200 000 aineisto, kartta ei mittakaavassa) on esitetty kuvassa 15.



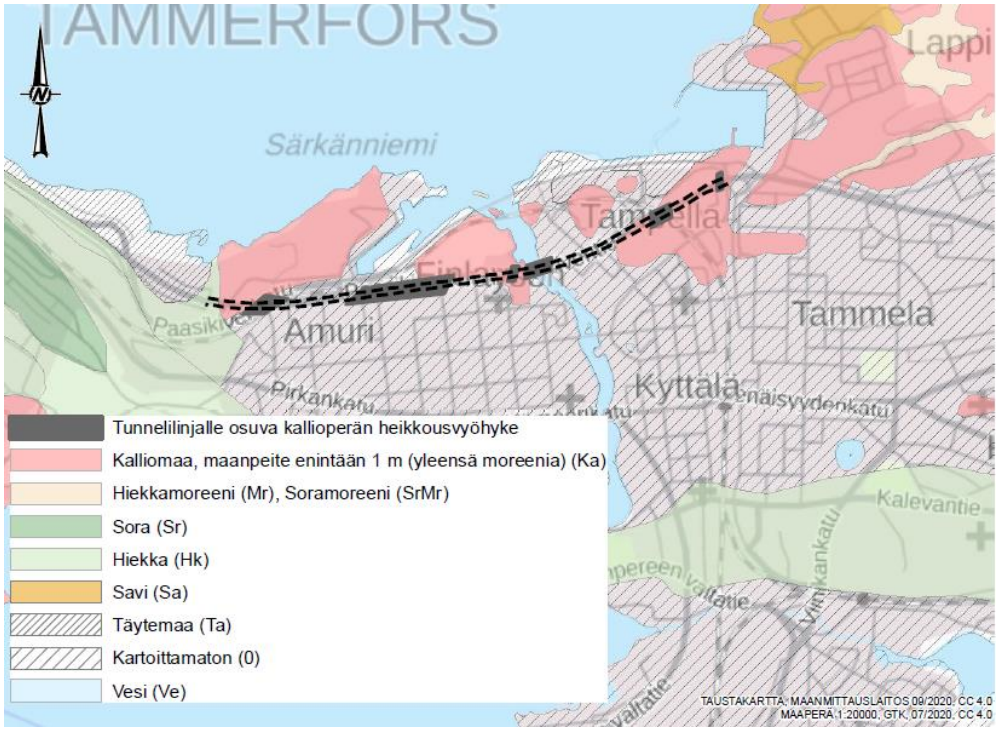
Kuva 15. Kallioperäkartta (1:200 000, ei mittakaavassa) Tampereen rantatunnelin ympäristöstä. Tunnelilinjan kohdalle on merkitty kiillegneissi (metasedimentti, vaaleansininen alue tunnelilinjan länsiosassa) ja granodioriitti (syväkivi, keltainen pisterasteri tunnelilinjan itäosassa).

Pirkanmaan kallioperässä esiintyy paikoin arseenikiisua, jonka vuoksi alueen maa- ja kallioperässä sekä pohjavedessä todetaan kohonneita arseenipitoisuuksia. Rantatunnelin kallionäytekairauksissa ei löytynyt arseenia merkittävästi sisältäviä kivilajeja. (Tampereen kaupunki 2015). Kallioperän, pohjaveden ja pintaveden arseenipitoisuuksia kuitenkin esitettiin seurattavaksi kalliotunnelin rakentamistyön aikana (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Hankealueella tehtyjen ennakkotutkimusten perusteella kalliopinnan päällä olevan maakerroksen paksuudeksi arvioitiin suunnitteluvaiheessa keskimäärin 2-5 metriä. Paikoin todettiin 5-10 metriä paksuja maakerroksia. Paksuimmat maakerrokset (yli 20 metriä) todettiin tunnelin länsiosassa, Onkiniemen länsipuolella. Myös Sepänkadun ja Näsijärvenkadun liittymien välisellä alueella on yli 10 metriä paksuja maakerroksia. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Vesiluvassa esitettyjen tietojen mukaan maakerrokset koostuvat pohjalla olevasta moreenikerroksesta, sekä sen päällä olevasta vaihtelevan paksuisesta savi- tai silttikerroksesta. Pispalanharjun kupeessa hankealueen länsiosassa maaperä on vesiluvan hakemusosan mukaan soraa. Kallioisilla alueilla kalliota peittää paikoin muutamista senteistä noin kahteen metriin paksu moreeni/hiekkakerros. Monin paikoin maanpinnassa on täytemaita (hiekka. sora, kivimurske jne.). (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013 ja Vt12 Rantatunneli, Rakennussuunnitelma – Kalliotunneli, rakennettavuusselvitys 2013).

Maaperäkartan mukaan (1:20 000) hankealue on pääosin kartoittamatonta aluetta tai kalliomaata. Länsiosassa on hiekkaa (Pispalanharju). Maaperäkartta on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Maaperäkartta (1:20 000, ei mittakaavassa) Tampereen rantatunnelin ympäristöstä. Kallioisten alueiden (punainen väri) maaperä on pääosin kartoittamatonta (vinoviivarasteri). Hankealueen länsiosassa maaperä on Pyynikinharjun liepeillä hiekkamaata (vaaleanvihreät alueet).

Suunnittelun aikana tehtyjen tutkimusten perusteella tunnelilinjaus leikkaa kallion ruhjevyöhykkeen kolmessa kohdassa: Sepänkadun ja Paasikiventien risteyksessä, Kortelahden eteläpuolella Amurissa ja Tammerkosken alla. Näillä kohdin kallionpinta on ympäröivää aluetta alempana, jolloin myös tunnelin korkeusasema on sen mukainen. (Tampereen kaupunki 2015).

Sokopro-projektipankissa olleiden kalliotutkimuskarttojen mukaan myös Tammerkosken itäpuolella tunneli leikkaa kahta kallioperän rikkonaisuusvyöhykettä.

Tutkimusten perusteella heikkousvyöhykkeet eivät kallionlaadun puolesta aiheuta merkittäviä erityistoimenpiteitä tunnelin rakentamiselle. Heikkousvyöhykkeet lävistetään normaalein kallion tiivistys-, ennakkolujitus- ja varovaisen louhinnan menetelmin. (Tampereen kaupunki 2015).

Tunnelihankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin kannalta merkittävänä erityispiirteenä mainittakoon Tammerkoski ja siinä olevat padot, jotka tuli rakentamisen aikana huomioida patoturvallisuuslain (494/2009) edellyttämällä tavalla. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Tampereen rantatunnelin pohjavesivaikutusten arvioinnista tunnelin elinkaaren aikana voidaan yleisesti todeta, että tunnelin sijainti rakennetulla kaupunkialueella on vaikuttanut painotuksiin: rakennusten ja rakenteiden painumisen arviointi, seuranta ja ehkäiseminen on ollut pohjaveden hallinnan ensisijainen tavoite.

Myös kuivatusvesien vaikutusta Näsijärven vedenlaatuun on kattavasti tarkkailtu ja pyritty ehkäisemään haitalliset vaikutukset. Näsijärven vedenlaadun tarkkailutarpeeseen on vaikuttanut myös tunnelilouheen hyödyntäminen Näsijärven ranta-alueiden vesistötäytöissä. Vesistötäyttöjä tehtiin erillisen vesilain mukaisen luvan nojalla. Tarkkailuohjelma oli laadittu siten, että se sisälsi sekä vesistötäytön että tunnelin kuivatusvesien vaikutustarkkailun Näsijärven vedenlaatuun.

Kaupunkiympäristössä on usein käynnissä samalla alueella useita rakennushankkeita, jolloin todetut vaikutukset voivat olla usean tekijän summa. Yksittäisen hankkeen vaikutuksia on vaikeaa arvioida. Siksi esim. rantatunnelin rakentamisen osuutta seurannassa todettuihin muutoksiin (esimerkiksi muutokset pohjaveden painetasoissa tai mitatut painumat) voi olla vaikeaa arvioida. (Mäkiaho 2020).

6.3.2 Pohjavesivaikutusten arviointi ja selvittäminen esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa

Tampereen Rantaväylän suunnitteluprosessi ei edennyt suoraviivaisesti esisuunnitteluvaiheesta yleissuunnitteluvaiheen kautta tiesuunnitteluun, vaan yleissuunnitelmavaihetta edelsi poikkeuksellisen monivaiheinen suunnittelu- ja päätöksentekoprosessi (Valtatie 12 (Tampereen Rantaväylä) välillä Santalahti-Naistenlahti, Yleissuunnitelma 2010).

Tampereen Rantaväylän kehittämisen tarpeita alettiin selvittää 1980-luvun lopulla. Vuonna 1990 Tampereen kaupunki jatkoi suunnittelua tunnelivaihtoehdon pohjalta. Tuolloin esitetty tunneliosuus oli toteutunutta tunnelia lyhyempi. Itäisestä tunneliosuudesta esitettiin ensimmäiset ehdotukset 2000-luvun alkupuo-

lella. Toteutuneesta pitkästä tunnelivaihtoehdosta tehtiin erillinen esisuunnitelma vuonna 2004. Esisuunnitelmassa varmistettiin tunnelin tekninen toteuttamiskelpoisuus. Vuonna 2006 Tampereen keskusta-alueen voimaan tulleen osayleiskaavan hyväksymisen yhteydessä tehtiin päätös, että Tampereen Rantaväylän liikenneratkaisu perustuu pitkään tunnelivaihtoehtoon.

Pirkanmaan ympäristökeskus teki vuonna 2007 päätöksen (23.8.2007), jonka mukaan ennen tiesuunnitelmaa ja asemakaavoitusta hankkeesta on tehtävä YVA -lain mukainen ympäristövaikutusten arviointi sekä sen myötä myös yleissuunnitelma. Hankkeesta vastaavana toiminut Tampereen kaupunki valitti päätöksestä Hämeenlinnan hallinto-oikeuteen syyskuussa 2007. Tiesuunnitelman laatiminen aloitettiin vuonna 2008. Vuonna 2009 Hämeenlinnan hallinto-oikeus hylkäsi Tampereen kaupungin valituksen. Tiesuunnittelu keskeytettiin, ja ympäristövaikutusten arviointimenettely käynnistettiin vuonna 2009. Myös yleissuunnittelu käynnistettiin tässä vaiheessa, ja yleissuunnitelmaa laadittiin osin ympäristövaikutusten arvioinnin kanssa samanaikaisesti. Tiesuunnittelua jatkettiin näiden vaiheiden jälkeen. Tämä tiesuunnitelmavaihe oli melko lyhyt, koska tiesuunnittelua oli tehty pitkälle jo aiemmin. Rakennussuunnitelmat valmistuivat vuoden 2013 aikana. Suunnittelun vaiheet vuoteen 2011 saakka on esitetty kuvassa 17. (Valtatie 12 (Tampereen Rantaväylä) välillä Santalahti-Naistenlahti, Yleissuunnitelma 2010).

Kuva 17. Tampereen rantatunnelin suunnittelun vaiheita vuosina 1980-2011. (Lähde: Valtatie 12 (Tampereen Rantaväylä) välillä Santalahti-Naistenlahti, Yleissuunnitelma 2010).

Vuosina 2009-2010 toteutetussa ympäristövaikutusten arvioinnissa arvioitiin alustavan tiesuunnitelman mukaisen vaihtoehdon Ve2 (pitkä tunnelivaihtoehto) lisäksi kolme muuta vaihtoehtoa. Tampereen kaupunki toteutti YVA-menettelyn tiiviissä yhteistyössä Pirkanmaan ELY-keskuksen liikenne ja infrastruktuuri -vastuualueen kanssa. (Tampereen Rantaväylä (valtatie 12) välillä Santalahti-Naistenlahti, Ympäristövaikutusten arviointimenettely – Ympäristövaikutusten arviointiselostus 2010).

YVA-menettelyssä Rantatunnelin rakentamisen mahdollisiksi haitallisiksi pohjavesivaikutuksiksi tunnistettiin YVA-prosessin aikana seuraavat vaikutukset:

- Louhinta- ja räjäytystöiden aikaisten kuivatusvesien aiheuttama kiintoaines- ja typpikuormitus
- Haitalliset vaikutukset rakennuksiin ja rakenteisiin
- Vuotovesien arseenipitoisuus

- PIMA-kohteet ja mahdollisesti haitallisia aineita sisältävän pohjaveden kulkeutuminen tunneliin vuotovesien välityksellä

Kalliopohjaveden pinnan alenemaksi arvioitiin YVA-selostuksessa keskimäärin 2-5 metriä 100-150 metrin etäisyydellä tunnelin molemmin puolin. Tunneli suunniteltiin tiivistettäväksi siten, että haitallinen pohjavesipintojen alenema estetään, ja tunnelin kuivana pito turvataan. (Tampereen Rantaväylä (valtatie 12) välillä Santalahti-Naistenlahti, Ympäristövaikutusten arviointimenettely – Ympäristövaikutusten arviointiselostus 2010).

YVA-selostuksessa esitettiin alustava ehdotus ympäristön seurantaohjelmaksi. Selostuksen mukaan lopullinen seurantaohjelma rakentamisen ja käytön ajalle laaditaan myöhemmin haettavan vesilain mukaisen luvan lupaehtojen perusteella. Mikäli pitkä tunnelivaihtoehto valitaan, tultaisiin harkitsemaan tarvetta tehostettuun työn aikaiseen seurantaan. Alustavan ohjelmaehdotuksen mukaan seurattavia kohteita voivat olla:

- Pohjavesi
- Pintavesi
- Painumat
- Arseenipitoisuus
- Ilmanlaatu
- Ihmiseen kohdistuvat vaikutukset

Ympäristövaikutusten arviointiselostus valmistui kesällä 2010. Arvioitujen pohjavesivaikutusten osalta selostuksessa todetaan, että kaikki esitetyt vaihtoehdot toteuttavat tavoitteen välttää haitallisia vaikutuksia pohjaveteen. Haitallisten pohjavesivaikutusten lieventämistoimenpiteinä esitettiin mm. pohjaveden hallinta sekä pohjavesien sisältämän arseenin hallinta. (Tampereen Rantaväylä (valtatie 12) välillä Santalahti-Naistenlahti, Ympäristövaikutusten arviointimenettely – Ympäristövaikutusten arviointiselostus 2010).

Hankkeen yleissuunnitelma valmistui marraskuussa 2010. Yleissuunnitelmaa laadittaessa käytettävissä on ollut jo aloitetun tiesuunnittelun aikana hankittu tieto. Yleissuunnitelmassa esitettiin jatkosuunnitteluun valittavaksi vaihtoehdoksi YVA-selostuksen vaihtoehdoista Ve2, eli keskeytetyn tiesuunnitelman mukainen pitkä tunnelivaihtoehto. (Valtatie 12 (Tampereen Rantaväylä) välillä Santalahti-Naistenlahti, Yleissuunnitelma 2010).

6.3.3 Pohjavesivaikutusten arviointi tie- ja rakennussuunnitelmavaiheissa

Tiesuunnittelua jatkettiin yleissuunnitelman valmistumisen jälkeen pitkän tunnelivaihtoehdon pohjalta. Vesilain mukainen lupahakemus laitettiin vireille 18.11.2011. Vesilain mukainen lupapäätös Dnro LSSAVI/100/04.0972011 myönnettiin 29.10.2013.

Vesilain mukaisen luvan hakemusosassa on arvioitu, että kalliorakentamisen aikana pohjaveden aleneminen kohdistuu ensisijaisesti tunnelin lähialueen kalliopohjaveteen. Kalliopohjaveden pinnan on arvioitu mahdollisesti alenevan louhinnan aikana tunnelin tasolle. Tunnelin pohja on noin tasolla +70…+90. Hakemusosassa mainitaan, että tehtävillä tiivistystoimilla pohjaveden pinta kuitenkin usein saadaan palautettua lähtötasolle. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Maaperän pohjaveteen rakentaminen voi hakemusosan mukaan vaikuttaa alueilla, joilla pohjavesivarastot ovat pieniä, ja vettä johtavat maakerrokset ovat yhteydessä suoraan kallioon. Arvion mukaan rakentaminen alentaa maaperän pohjavesipintoja yleensä enimmillään muutamia metrejä tunnelin läheisyydessä. Suuaukkoalueilla vaikutukset voivat olla suurempia, enimmillään 5-7 metriä. Maapohjaveden pinnan pysyvän alenemisen arvioitiin mahdollisesti aiheuttavan vähäisiä painumia maaperässä. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Rantatunnelin itäisellä suuaukolla pohjavesipintaa suunniteltiin alennettavaksi rakentamisen aikana pysyvästi suuaukkoalueen kuivanapidon takia. Läntiselle suuaukolle rakennettiin 90 metriä pitkä betonitunneli, jolloin rakentamisen aikana alennetun pohjavesipinnan arvioitiin työn valmistuttua palautuvan ennalleen. Suuaukkoalueille suunnitellun pohjaveden pinnan alenemisen ei arvioitu tehtyihin ennakkoselvityksiin perustuen aiheuttavan painumaa lähialueen rakenteille tai rakennuksille. Vesilain mukaisen lupapäätöksen määräyksessä nro 4 edellytettiin vedentiiveys tunnelin suuaukoilta alkaen kuitenkin varmistettavaksi vähintään tasolle +96,40 (N2000) injektoimalla, ulottamalla tukimuurit kallioon asti, käyttämällä betonikaukaloa ja kaukalon jatkeena kalvorakennetta. Kalvorakenteen oli ulotuttava niin pitkälle, että tasaus on tason +97,40 (N2000) yläpuolella. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Vesiluvan hakemusosan mukaan tunnelin läheisyydessä ei ole vedenhankintaan käytettäviä kaivoja, joihin pohjaveden aleneminen vaikuttaisi. Rakentamisen aiheuttaman pohjaveden pinnan alenemisen ei arvioitu vaikuttavan Epilänharjun-Villilän pohjavesialueen virtauskuvaan eikä pohjavesialueella sijaitsevan Hyhkyn vedenottamon toimintaan. Pohjaveden pilaantuneisuus esitettiin selvitettäväksi pilaantuneiden maa-alueiden ympäristössä, jos tunnelin rakentamisen arvioidaan muuttavan pohjaveden virtausta merkittävästi kohti tunnelia. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Lupahakemuksen mukana on toimitettu kaivantojen ja tunnelin vuotovesien hallintaa koskeva selvitys. Vesilain mukaisen luvan lupamääräyksissä edellytetään lujitus ja tiivistys tehtäväksi noudattaen em. suunnitelman periaatteita. Hakemusosassa hakija on esittänyt ohjeelliseksi vuotovesimääräksi 2-10 l/min/100 m. Injektoinnissa käytettävien injektointisementtien ja niiden sisältämien lisäaineiden on edellytetty olevan ympäristöviranomaisten hyväksymiä. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Vesilain mukaisen luvan hakemusosan mukaan tunnelin louhinnassa käytetään arviolta 60-70 tonnia räjähteitä. Räjähdysaineet sisältävät pääosin ammoniumnitraattia ja jonkin verran nitroglyseriiniä ja natriumia. Räjäytyksessä keskimäärin noin 99,5 % aineista räjähtää, jolloin typpi hapettuu typen oksideiksi. Räjähtämätön osuus aiheuttaa typpikuormitusta. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Tampereen kaupungin ympäristönsuojeluviranomainen esitti vesilain mukaisesta lupahakemuksesta antamassaan lausunnossaan huolensa räjähdeaineiden aiheuttamasta typpikuormituksesta. Lausunnossa todetaan, että hakijan tulisi selvittää niukkaliukoisilla räjähdetyypeillä (mm. emulsiot ja geelit) saavutettavat hyödyt vesistökuormituksen vähentämisessä. Hakija on hakemuksessaan esittänyt selvityksen käytettävistä räjähdeainetyypeistä (patruunoihin pakattu pääosin emulsiopohjainen räjähde, sekä liukoinen Anfo). Vesilain mukaisen luvan lupamääräyksessä nro 6 edellytetään käytettäväksi niukkatyppisiä räjähteitä. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Louhinta Tammerkosken alituksen alueella edellytettiin lupamääräyksissä tehtäväksi siten, että lähimpien patorakenteiden etäisyys louhintakohteesta on aina yli 15 metriä. Tammerkosken padot ovat patoturvallisuuslain (494/2009) tarkoittamia 1-luokan patoja, jotka onnettomuuden sattuessa aiheuttavat vaaran ihmishengelle tai terveydelle taikka huomattavan vaaran ympäristölle tai omaisuudelle. Tammerkosken alitukseen liittyen tuli näin ollen laatia patoturvallisuuslain mukainen työnaikainen turvallisuussuunnitelma sekä patoturvallisuuden tehostetun tarkkailun ohjelma. Tammerkosken patorakenteiden kohdalla oli suunnittelun aikana todettu kosken suuntainen kallion heikkousvyöhyke. Heikkousvyöhykkeen kalliolaatu on luokiteltu luokkiin RiIII (murrosrakenteinen, tiheärakoinen kallio, jossa rakojen täytteisyys vähäistä) tai RiIV (ruhjerakenteinen, runsas- tai tiheärakoinen kallio, jossa raoissa on savitäytettä). (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Vesilain mukaisen luvan hakemusosassa on listattu myös muut tunnelilinjaukselle osuvat kapeat kalliopainanteet, joiden alueella esiintyy rikkonaista kalliota:

- Särkänniemen kohdalla paaluilla 1550, 1950 ja 2100
- Finlaysonin kohdalla paaluilla 2200 ja 2450
- Lähellä Tammerkoskea paalulla 2650
- Tampellassa junaradan kohdalla paalulla 3300

6.3.4 Pohjavesivaikutusten selvittäminen tie- ja rakennussuunnitelmavaiheessa

Tiesuunnitelmavaiheessa (ennen tiesuunnittelun keskeytystä), keväällä 2009 alueelle asennettiin 19 pohjaveden havaintoputkea täydentämään havaintopisteverkkoa. Tunnelin suuaukkoalueilla oli havaintopisteverkko olemassa jo tätä ennen. Yksityiskäytössä olevia kaivoja ei ollut tiedossa. Keväällä 2009 asennetuista havaintoputkista 4 kpl oli kalliopohjaveden havaintoputkia, ja nämä putket asennettiin tunnelin tasoon saakka. Näistä kalliopohjavesiputkista tehtiin vesimenekkikokeet, joiden tulokset vaihtelivat suuresti. (Tampereen Rantaväylä (valtatie 12) välillä Santalahti-Naistenlahti, Ympäristövaikutusten arviointimenettely – Ympäristövaikutusten arviointiselostus 2010).

Pohjavesipintojen säännöllinen seuranta aloitettiin vuonna 2009. Pohjaveden tarkkailuohjelma rakentamista edeltävälle ajalle on laadittu 26.2.2009. Tarkkailuohjelman mukaan pohjavesipinnat mitataan alueella olevista tarkkailuputkista (28 kpl) neljä kertaa vuodessa. (Sito Oy ja Pöyry Finland Oy 2011).

Vesilain mukaisen luvan hakemusosan mukaan pohjavesipintoja olisi kuitenkin suunnittelun aikana vuodesta 2009 lähtien mitattu osasta havaintoputkia kerran kuukaudessa (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Vesilain mukaisen luvan hakemusosassa esitetty suunnitteluvaiheen seurantatiheys on esitetty taulukossa 9 (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Taulukko 9. Tarkkailumittaukset ja tarkkailutiheys ennen tunnelin rakentamista. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Toimenpide	Tarkkailutiheys/tarkkailukertojen määrä
Pohjavesiputkien vedenpinnan mittaus	1 krt/kuukausi
Pohjavesinäytteet	2 krt/vuosi
Vesinäytteet selkeytysaltaiden sade-vesiviemäreiden purkuputkien päistä	Yhteensä 2 kertaa
Vesinäytteet vesistöstä	Yhteensä 2 kertaa
Painumaseuranta	Yhteensä 2 kertaa

Pohjaveden laatu esitettiin 26.2.2009 päivätyssä seurantaohjelmassa tutkittavaksi suunnittelualueelle asennettavista havaintoputkista seuraavien laatuparametrien osalta (Sito Oy ja Pöyry Finland Oy 2011):

- pH-arvo ja sähkönjohtavuus
- Sameus ja väri
- Kemiallinen hapenkulutus COD_{Mn}
- Nitraatti, nitriitti ja ammonium
- Kloridi ja sulfaatti
- Rauta, mangaani ja arseeni
- VOC-yhdisteet (ensimmäisenä vuonna)
- PAH-yhdisteet (ensimmäisenä vuonna)
- Metallit (ensimmäisenä vuonna)
- Mineraaliöljyt (ensimmäisenä vuonna)

Pohjaveden laadun tarkkailu aloitettiin loppuvuonna 2012. Ennen rakentamista näytteet otettiin kaksi kertaa. Pohjaveden laatu alueella todettiin yleisesti heikoksi, eikä kaikista tarkkailuohjelmassa mukana olleista putkista saatu otettua vesinäytteitä. Vuonna 2013 asennettiin lisää pohjaveden havaintoputkia kriittisille alueille, joilla ei ollut riittävästi näytteenottokriteerit täyttäviä putkia. Esitarkkailun aikana pohjavesinäytteitä saatiin otettua yhteensä 24 pohjavesiputkesta. Suuressa osassa havaintoputkista otettuja vesinäytteitä todettiin kohonneita analysoitujen haitta-aineiden pitoisuuksia (PAH-yhdisteet, VOC-yhdisteet, arseeni ja muutamat muut metallit, mineraaliöljy). Rakentamisen aikaiseen pohjaveden laadun tarkkailuun valittiin esitarkkailussa mukana olleista putkista 23 edustavinta havaintoputkea. (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry 2014).

Rakennusten perustamistavat on selvitetty ennen YVA-selostuksen laatimista, ilmeisesti vuonna 2009 keskeytetyssä tiesuunnitelmavaiheessa. YVA-selostuksen mukaan painumaseurantaan tulevat rakennukset valitaan seuraavassa suunnittelun vaiheessa, ja rakennetuille ja kaavoitetuille alueille määritetään etukäteen pohjaveden pinnan sallitut alentamisrajat. Tarvittaessa varaudutaan pohjaveden haitalliseen alenemiseen rakentamalla imeytyskaivoja. Uusille kaavoitettaville alueille määritellään sallitut perustamistavat. (Tampereen Rantaväylä (valtatie 12) välillä Santalahti-Naistenlahti, Ympäristövaikutusten arviointimenettely – Ympäristövaikutusten arviointiselostus 2010).

Rakentamisen ja käytön ajalle vuonna 2011 laaditussa ympäristön muutoksen seurantaohjelmassa on todettu, että rakennusten perustamistapaselvitystä tullaan vielä täydentämään ennen rakentamista. Seurantaohjelmassa on alustavasti arvioitu, että painumaseurantaan mukaan otettavia rakennuksia olisi noin 50 kpl, ja tämän lisäksi tarkkailuun otettaisiin savikoilla sijaitsevia katuja, kaivoja tai muita rakenteita. Painumaseuranta on esitetty aloitettavaksi noin 6 kuukautta ennen rakennustyön aloitusta. (Ympäristön muutoksen seurantaohjelma, Valtatie 12 (Tampereen Rantaväylä) välillä Santalahti-Naistenlahti 2011 ja Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Rakennussuunnitelmavaiheessa, vuonna 2013 on laadittu osana rakennussuunnitelma-asiakirjoja kallioperän rakennettavuusselvitys. Rakennettavuusselvityksen mukaan kalliotutkimusten pääpainotus on ollut kalliopinnan korkeusaseman ja kalliolaadun selvittämisessä, sekä rikkonaisuusvyöhykkeiden paikantamisessa. Suunnitteluvaiheen kalliotutkimuksia ovat olleet mm. (Vt12 Rantatunneli, Rakennussuunnitelma – Kalliotunneli, rakennettavuusselvitys 2013):

- Porakonekairaukset (kalliopinnan korkeusasema)
- Kalliopaljastumien vaaitus (kalliopinnan korkeusasema)
- Geologinen kartoitus (kalliolaatu ja rikkonaisuusvyöhykkeet)
- Kallionäytekairaukset 43 kpl (kalliolaatu ja rikkonaisuusvyöhykkeet)
- Vesimenekkikokeet

Rakennettavuusselvityksen mukaan kalliolaadun todetaan alueella vaihtelevan yleisesti hyvän ja kohtalaisen välillä. Rikkonaisuusvyöhykkeissä kalliolaatu on heikkoa tai varsin heikkoa. Tutkimusten perusteella pääosa alueen rikkonaisuuksista on pystyasentoisia ja vallitsevan liuskeisuuden suuntaisia. Alueen vallitseva liuskeisuus on karkeasti itä-länsisuuntaista ja melko pystyasentoista. Liuskeisuuden suuntaisen pystyrakoilun lisäksi alueella tavataan jonkin verran myös vaakarakoilua. Päärakoilutyyppi vaihtelee kivilajikohtaisesti. Alueella tehtyjen vesimenekkikokeiden ja rakennusten ja rakenteiden perustamistavan perusteella on arvioitu, että paaluvälillä 1700…2800 (Särkänniemen alueelta Tammerkosken itäpuolelle) kallio on tarve tiivistää systemaattisella injektoinnilla. Muilla alueilla on arvioitu injektoinnin olevan tarpeen vain, jos tunneli leikkaa vettäjohtavia rikkonaisuus- tai rakoiluvyöhykkeitä. (Vt12 Rantatunneli, Rakennussuunnitelma – Kalliotunneli, rakennettavuusselvitys 2013).

6.3.5 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi rakentamisvaiheessa

Rakentamisen ja käytön ajalle on laadittu ympäristön muutoksen seurantaohjelma (päivätty 6.5.2011), joka käsittää myös pohjavesiseurannan. Seurantaohjelma on rakentamisen ja käytön aikaisen pohja- ja pintavesien seurannan osalta yleisluontoinen, koska seurannan sisällön on arvioitu tarkentuvan vesilain mukaisen lupapäätöksen myötä. (Ympäristön muutoksen seurantaohjelma, Valtatie 12 (Tampereen Rantaväylä) välillä Santalahti-Naistenlahti 2011).

Vesilain mukaisen lupapäätöksen Dnro LSSAVI/100/04.0972011 (29.10.2013) mukaan hakemusasiakirjojen mukana on toimitettu 11.11.2011 päivätty tarkkailusuunnitelma. Tarkkailusuunnitelman sisältö on pääpiirteittäin esitetty vesilain mukaisen luvan hakemusosassa. Päätöksen lupaehdoissa on määrätty tarkennuksia veden laadun tarkkailutiheyteen, vesinäyteanalyyseihin sekä raportointiin. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Esitetyn tarkkailuohjelman, sekä vesilain mukaisen lupapäätöksen lupaehdon mukainen tarkkailutiheys kalliorakentamisen (louhintojen) aikana on esitetty taulukossa 10. Sisustusurakan ajalle seurantaohjelman ja lupapäätöksen mukainen tarkkailutiheys on esitetty taulukossa 11. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Taulukko 10. Tarkkailumittaukset ja tarkkailutiheys tunnelin louhintojen aikana. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Toimenpide	Tarkkailutiheys
Pohjavesiputkien vedenpinnan mittaus	1 krt/kk…1-2 krt/viikko
Pohjavesinäytteet	1 krt/kuukausi
Vuotovesien määrä	2-4 krt/kuukausi
Vesinäytteet selkeytysaltaiden ja sadevesiviemäreiden purkuputkien päästä	Näytteenotto 2 viikon välein
Vesinäytteet vesistöstä	1 krt/kuukausi
Painumaseuranta	6 krt/vuosi

Taulukko 11. Tarkkailumittaukset ja tarkkailutiheys sisustusurakan aikana. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Toimenpide	Tarkkailutiheys
Pohjavesiputkien vedenpinnan mittaus	6-12 krt / vuosi
Pohjavesinäytteet	1 krt / kuukausi
Vuotovesien määrä	2-4 krt / kuukausi
Vesinäytteet selkeytysaltaiden ja sadevesiviemäreiden purkuputkien päästä	Näytteenotto 2 viikon välein
Vesinäytteet vesistöstä	1 krt / kuukausi
Painumaseuranta	6 krt /vuosi

Rakentamisen aikana otettavista pohjavesinäytteistä esitettiin analysoitavaksi seuraavat laatuparametrit (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013):

- pH-arvo ja sähkönjohtavuus
- Veteen liuenneen hapen pitoisuus
- Kemiallinen hapenkulutus COD_{Mn}
- Väri ja sameus
- Rauta ja mangaani
- Natrium ja arseeni
- Nitraatti, nitriitti ja ammonium
- Kloridi ja sulfaatti
- Kokonaisfosfori
- Öljyhiilivedyt, jos aistinvaraisesti havaitaan viitteitä öljystä
- VOC-yhdisteet tarvittaessa
- PAH-yhdisteet tarvittaessa
- Pestisidit tarvittaessa
- Raskasmetallit tarvittaessa
- Pilaantuneilla alueilla haitta-aineet, joiden pitoisuudet maaperässä ovat koholla

Vesilain mukaisen luvan hakemusosan ja lupamääräysten mukaista seurantaohjelmaa muutettiin pohjaveden laatuseurannan osalta vuoden 2013 esitarkkailutulosten perusteella. Esitarkkailutulosten perusteella todettiin, että tarkkailualueen pohjavesi on jo ennestään huonolaatuista ja likaantunutta, eikä rakentamisen aikaiselle pohjaveden laadun tarkkailulle ole tarvetta. Näin ollen rakentamisen aikaisen pohjavesien laadun tarkkailun sijaan pohjavesien laatu päätettiin tutkia vain kertaalleen tunnelilouhinnan päätyttyä. Pirkanmaan ELY-keskus hyväksyi esityksen. Pohjaveden laatua ei tutkittu rakentamisen aikana, vaan pohjavesinäytteet otettiin rakentamisen päätyttyä syyskuussa 2016 yhteensä 12 pohjaveden havaintoputkesta. (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry 2016b).

Vesilain mukaisen luvan hakemusosan mukaan pohjavesipintojen tarkkailua varten suunniteltiin ennen rakentamista asennettavaksi lisää pohjaveden havaintoputkia siten, että työn aikana pohjavesipintoja tarkkaillaan 35-45 havaintoputkesta. Rakentamisen edetessä kulloisellakin työalueella suunniteltiin tehtäväksi pohjavesipintojen ja vuotovesimäärien mittauksia erillisen työohjelman mukaisesti. Tuloksia tultaisiin hyödyntämään tunnelin tiivistämistoimenpiteiden ohjauksessa. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Raportteja työnaikaisesta pohjavesipintojen tarkkailusta ei ollut tätä työtä tehtäessä saatavilla.

Tunnelin louhinnassa syntyvät vuoto- ja kuivatusvedet johdetaan vesiluvan hakemusosan mukaan pääosin Tampereen kaupungin jätevesiviemäriin. Vedet johdetaan viemäriin selkeytysaltaan ja öljynerotuksen kautta. Jätevesiviemäriin johdettavan veden laatua määrättiin vesilain mukaisessa luvassa tarkkailtavaksi Tampereen Veden hyväksymän tarkkailusuunnitelman mukaisesti. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Näsijärveen suunniteltiin johdettavaksi työn aikaisia kuivatusvesiä lähinnä tunnelin suuaukoilta ja louheen läjitysalueilta. Myös nämä vesistöihin menevät kuivatusvedet edellytettiin johdettavaksi selkeytysaltaiden sekä öljynerotuksen kautta Näsijärvessä sijaitseviin purkupaikkoihin. Vesistöihin johdettavan veden pH-arvon ylärajaksi asetettiin 9,0, ja öljyhiilivetypitoisuuden ylärajaksi 5 mg/l. Ennakkotutkimusten perusteella kuivatusvesien arseenipitoisuuksien ei arvioitu nostavan vesistön arseenipitoisuutta. Kalliosta louhittavan kiven arseenipitoisuutta esitettiin kuitenkin tarkkailtavaksi louhinnan edetessä, samoin pinta- ja pohjavesien arseenipitoisuutta. Pintavesinäytteitä esitettiin työn aikana otettavaksi selkeytysaltailta lähtevästä vedestä, purkuputkien päästä sekä Näsijärvestä havaintopisteistä, jotka sijaitsevat noin 150 metrin päässä purkupaikoista. Vesinäytteistä tuli määrittää seuraavat laatuparametrit (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013):

- pH-arvo ja sähkönjohtavuus
- Liuenneen hapen pitoisuus
- Kiintoaine
- Kemiallinen hapenkulutus COD_{Mn}
- Väri ja sameus
- Natrium ja arseeni
- Kokonaistyppi, nitraattityppi, nitriittityppi ja ammoniumtyppi
- Kalsium ja kalium
- Sulfaatti ja kokonaisfosfori
- Öljyhiilivetypitoisuus
- Vesistönäytteistä päällysveden a-klorofyllipitoisuus

Vesistöön johdettavien kuivatusvesien määrää esitettiin seurattavaksi jatkuvatoimisilla virtaamamittareilla. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Tampereen rantatunnelin vesistötarkkailuraporteissa (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys 2015 ja 2016a) on raportoitu kuivatusvesiä koskevat tarkkailutulokset sadevesiviemäreiden purkupaikkojen läheisyydessä Näsijärvessä sijaitsevien havaintopisteiden (Santalahden purkupiste ja Naistenlahden purkupiste) sekä kauempana Näsijärvellä sijaitsevien havaintopisteiden osalta. Kauempana Näsijärvellä sijaitsevien pisteiden vedenlaatuun ovat vaikuttaneet myös Santalahden ja Ranta-Tampellan tunnelin louheella tehdyt vesistötäytöt, joiden vaikutusta on myös saman seurantaohjelman puitteissa tarkkailtu. (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys 2015 ja 2016).

Vuoden 2014 tarkkailussa Santalahteen purkavan sadevesiviemärin näytepisteessä todettiin rakennustöiden kuormitusvaikutuksia. Sameus, kiintoainepitoisuus, kokonaistypen ja kokonaisfosforin pitoisuudet olivat koholla. Alueelle asennettiin suojaverho heinäkuussa 2014. Suojaverhon asennuksen jälkeen pintavesinäytteet otettiin suojaverhon ulkopuolelta, ja veden laadun havaittiin tasoittuvan nopeasti Näsiselän päällysveden normaalitasolle. Naistenlahdessa purkupaikan edustalla ei havaittu tunnelirakentamisen kuivatusvesien vaikuttaneen haitallisesti vedenlaatuun. (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys 2015).

Selkeytysaltailta lähtevästä vedestä otettujen vesinäytteiden tuloksia ei ollut tätä työtä tehtäessä käytettävissä.

Rakentamisen aikaisesta painumaseurannasta on vesilain mukaisen luvan hakemusosassa todettu, että mikäli seurantaohjelman mukaisissa mittauksissa havaitaan painumaa, tai jos pohjaveden aleneminen lisää painumariskiä, tihennetään seurantaa tällä alueella. Seurannassa olevien painumariskikohteiden kohdalla varauduttiin pohjaveden imeytykseen. Painumaseurantaa koskevia rakentamistyön aikaisia raportteja ei ollut tätä työtä tehtäessä saatavilla. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Tampereen Rantatunnelin Sokopro-projektipankissa olevien aineistojen mukaan tunnelissa on rakentamisen aikana tehty rakennusgeologinen kartoitus.

6.3.6 Pohjavesivaikutusten selvittäminen ja arviointi tunnelin käyttö- ja kunnossapitovaiheessa

Hakija on vesilupahakemuksessa esittänyt, että pohjavesitarkkailua jatketaan rakentamisen jälkeen tunnelin käytön aikana. Tarkkailun intensiteetin todettiin määräytyvän rakentamisen aikana havaittujen vaikutusten perusteella. Alustavasti suunniteltu käytön aikainen tarkkailutiheys on esitetty vesilain mukaisen luvan hakemusosan mukaisesti taulukossa 12. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Taulukko 12. Alustavan suunnitelman mukaiset tarkkailumittaukset ja tarkkailutiheys tunnelin käytön aikana vuosina 2016-2020. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Toimenpide	Tarkkailutiheys
Pohjavesiputkien vedenpinnan mittaus	6 krt/vuosi
Pohjavesinäytteet	2 krt/vuosi
Vesinäytteet sadevesiviemärien purkuputkien päästä ja virtaamamittaus	4 krt/vuosi
Vuotovesien määrä	4 krt/vuosi
Muut pohjavesitiedot (esim. sääolosuhteet)	1 krt/kuukausi

Käytön aikaista painumatarkkailua suunniteltiin jatkettavaksi niissä painumapisteissä, joissa rakentamisen aikana todetaan painumaa. Tarkkailua jatketaan neljän kuukauden välein, kunnes painuminen on päättynyt. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Lopullista tunnelin käytön ajalle mahdollisesti laadittua ympäristövaikutusten tarkkailuohjelmaa ei ollut tätä työtä tehtäessä käytettävissä. Rantatunnelin ympäristöseurantojen vuosiraportissa 2018 on esitetty tunnelin käytön aikaisia tarkkailutuloksia pohjavesipintojen, vuotovesien määrän ja laadun sekä painumien osalta. Lisäksi Rantatunnelin ympäristöseurannoissa hyödynnetyn Louhi-palvelun kautta löytyy tuloksia tehdyistä pohjaveden painetason mittauksista. (Sitowise 2019a ja Louhi-palvelu www.louhi.rantatunneli.fi).

Vuosiraportin 2018 ja Louhi-palvelun tietojen mukaan pohjavesipinnan mittauksia on vuonna 2017 tehty kuusi kertaa vuodessa, vuonna 2018 viisi kertaa vuodessa ja vuonna 2019 neljä kertaa vuodessa. Pohjavesipinnat on mitattu 16-20 havaintoputkesta. Kalliopohjavesiputkia on ollut mukana kuusi kappaletta, ja maaperän pohjavesiputkia 10-14 kappaletta. Kolmessa kalliopohjaveden tarkkailuputkessa pohjavesipintojen tarkkailu on aloitettu tunnelin rakentamisen aikana elokuussa 2015. Kahdessa tarkkailussa mukana olevassa kalliopohjavesiputkessa (870 ja 868), joiden tarkkailu on aloitettu alkuvuonna 2014, on raportin kuvaajien perusteella havaittavissa muutoksia tunnelin rakentamisen aikana. (Sitowise 2019a ja Louhi-palvelu www.louhi.rantatunneli.fi).

Tunnelin rakentamisen aikaista maaperän pohjaveden alenemaa on vuoden 2018 raportissa esitettyjen kuvaajien perusteella havaittavissa useissa havaintoputkissa. (Sitowise 2019a ja Louhi-palvelu www.louhi.rantatunneli.fi).

Vuosiraportissa 2018 on tarkasteltu myös Näsijärven pinnankorkeuksia, ja todettu loppuvuoden 2018 keskiarvoa matalamman Näsijärven pinnantason johtuvan todennäköisesti edeltävän kesän ja syksyn vähäisistä sateista. Myös vuoden 2018 sademäärät on esitetty raportissa. (Sitowise 2019a).

Pohjaveden laatua ei seurattu rakentamisen aikana, vaan pohjavesinäytteet otettiin rakentamisen päätyttyä syyskuussa 2016 yhteensä 12 pohjaveden havaintoputkesta. Tuolloin otetuista pohjavesinäytteistä tehtiin seuraavat analyysit:

- pH-arvo ja sähkönjohtavuus
- Veteen liuenneen hapen pitoisuus
- Kemiallinen hapenkulutus COD_{Mn}
- Väri ja sameus

- Rauta ja mangaani
- Natrium ja arseeni
- Nitraatti, nitriitti ja ammonium
- Kloridi ja sulfaatti
- Kokonaisfosfori
- Öljyhiilivedyt pisteistä, joissa todettu kohonneita pitoisuuksia esitarkkailussa, tai mikäli aistinvaraisesti havaittiin merkkejä öljystä
- VOC-yhdisteet pisteistä, joissa todettu kohonneita pitoisuuksia esitarkkailussa
- PAH-yhdisteet pisteistä, joissa todettu kohonneita pitoisuuksia esitarkkailussa

Pohjaveden laadun tarkkailuraportissa 2016 todetaan pohjaveden edelleen olleen heikkolaatuista ja sisältäneen paikoin haitta-aineita. Alueellista pohjaveden pilaantumista ei kuitenkaan tulosten perusteella ollut havaittavissa. Pohjaveden imeytyksellä ei havaittu olleen vaikutusta pohjaveden laatuun. (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry 2016b).

Tunnelin käytön aikana suuaukoilta valuvat sadevedet ja tunneliin suotautuvat vuotovedet johdetaan vesilain mukaisen luvan hakemusosan mukaan tunnelin alimmassa pisteessä sijaitsevaan pumppaamoon. Pumppaamolta vedet pumpataan selkeytyksen ja öljynerotuksen jälkeen Rantaväylän avo-osuuden kuivatusvesijärjestelmän kautta sadevesiviemäriin ja edelleen Näsijärveen. Kuivatusvesipumppaamolle on rakennettu ns. perusvesiallas, joka on mitoitettu yhden vuorokauden aikaiselle suotovesimäärälle käyttäen vesimäärän arviona 10 l/min/100 m. Käytön aikaiset kuivatusvedet ovat etupäässä tunneleihin suotautuvaa pohjavettä. Injektointiaineiden ja ruiskubetoniaineiden sementin arvioitiin nostavan kuivatusvesien pH-arvoa jonkin verran vielä käytön alkuvaiheessa, joten hakija varautui kuivatusvesien pH-arvon säätöön välille 6,0–9,5 myös käytön aikana. (Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto 2013).

Ympäristöseurannan vuosiraportin 2018 mukaan tunnelin vuotovesimäärien mittauksen seurantaväliksi on seurantaohjelmassa asetettu vähintään 4 kertaa / vuosi. Vuonna 2018 vuotovesimäärän mittauksia tehtiin 25 kpl, eli huomattavasti ohjelmoitua enemmän. Vuotovesien raja-arvoksi on vuosiraportin mukaan määritetty 10 l / min / 100 m. Raja-arvon todettiin ylittyneen vuoden 2018 aikana yksittäisissä mittauksissa, mutta vuosikeskiarvoksi laskettuna raja-arvo ei ylity. (Sitowise 2019a).

Tunnelin vuotovesien laatua on vuonna 2018 tarkkailtu pumppaamon altaasta. Vesinäytteet on otettu vuoden 2018 aikana viisi kertaa. Vesinäytteistä on analysoitu pH-arvo sekä öljyhiilivetyjen pitoisuus. Vuonna 2018 otettujen hulevesinäytteissä todetut pitoisuudet alittivat vesilain mukaisessa luvassa asetetut rajat (pH-arvo < 9,0 ja öljyhiilivetypitoisuus < 5 mg/l). (Sitowise 2019a).

Rantatunnelin käytön aikana sadevesiviemärin purkuputken päästä Näsijärvestä mahdollisesti otetuista vesinäytteistä ei ollut tätä työtä tehtäessä tuloksia käytettävissä.

7 Kalliotutkimus- ja pohjavesitarkkailu-aineistojen tarkastelu ja analysointi

Savion rautatietunnelin, Kehäratatunnelin sekä Tampereen Rantatunnelin ympäristötarkkailuaineistoista pyrittiin tilastollisen tarkastelun avulla löytämään yleisiä säännönmukaisuuksia pohjaveden painetasojen käyttäytymisestä tarkasteltavien tunnelilinjojen ympäristössä.

Pohjaveden painetasoihin liittyvään tilastolliseen tarkasteluun on otettu mukaan ainoastaan tarkkailussa mukana olleet pohjaveden havaintoputket. Yksityiskaivot on jätetty tilastollisesta tarkastelusta pois, koska niiden kohdalla painetasoihin on saattanut vaikuttaa kaivoveden käyttö mittaushetkellä.

Savion rautatietunnelin havaintoaineistoissa oli mukana tarkkailutuloksia 241 pohjaveden havaintoputkesta. Kehäratatunnelin osalta tilastolliseen tarkasteluun otettiin mukaan yhteensä 231 tarkkailussa mukana ollutta pohjaveden havaintoputkea. Tampereen Rantatunnelin tarkkailuaineisto oli pienempi ja pohjaveden painetasohavaintoja oli tehty yhteensä 48 pohjaveden havaintoputkesta. Tilastolliseen tarkasteluun käytettiin näistä havaintoputkista tehtyjä pohjaveden painetasohavaintoja.

Havaintoaineistojen tilastolliseen analysointiin käytettiin MS Excel -ohjelman PowerPivot-toimintoa. PowerPivot-toiminnolla aineistot vietiin tietomalliin. Tietomalli mahdollisti havaintoaineistojen monipuolisemman tilastollisen tarkastelun. Tässä työssä esitetyt kuvaajat on tehty osittain MS Excelillä ja osittain Excelin PowerPivot-toiminnolla.

Lisäksi selvityksessä tarkasteltiin Kehäratatunnelin sekä Savion rautatietunnelin havaintoaineistojen perusteella tunnelirakentamisen vaikutuksia vuoto- ja kuivatusvesien laatuun, sekä näiden vuoto- ja kuivatusvesien vaikutusta poisjohtamisojien vedenlaatuun.

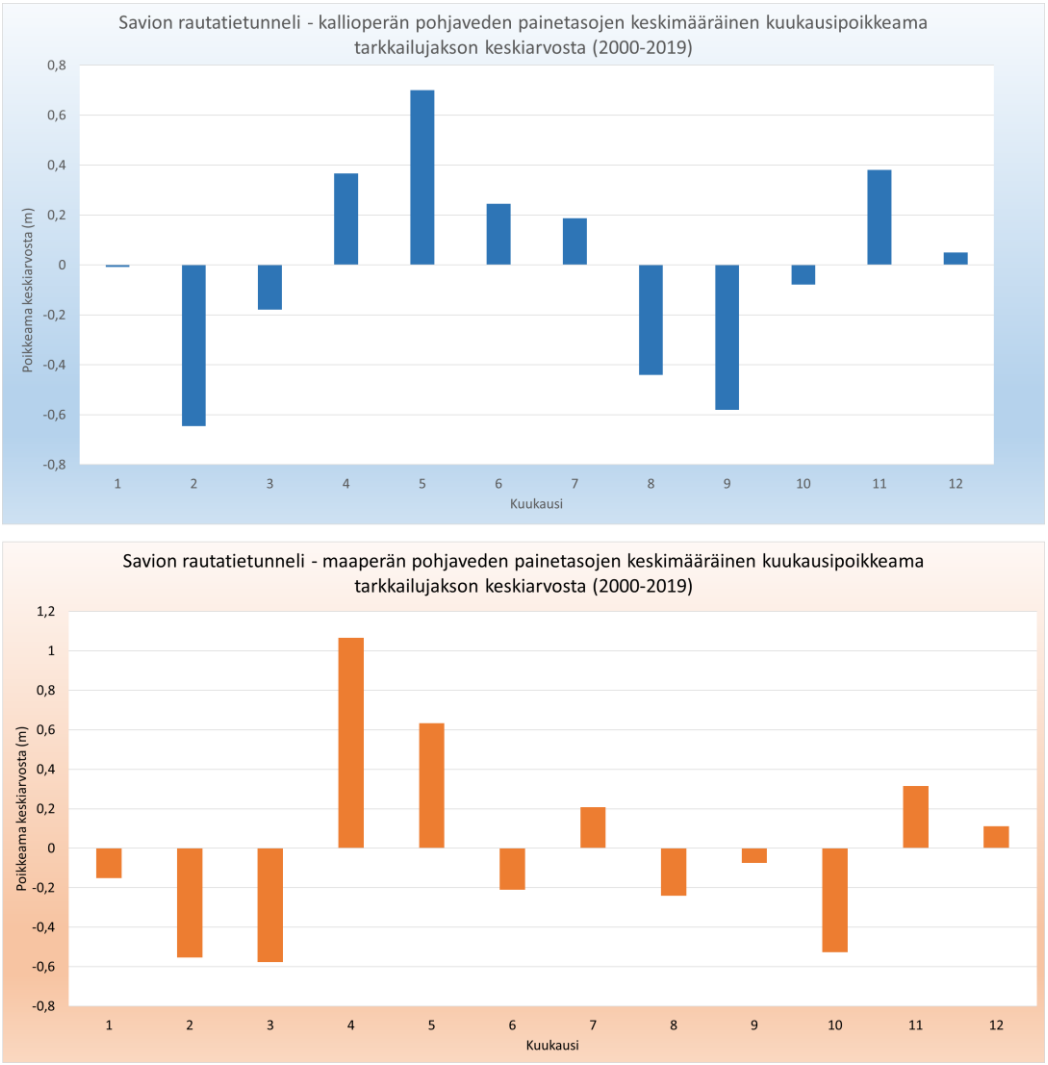
Tarkasteltavia parametrejä olivat kokonaistyppipitoisuus sekä pH-arvo. Lisäksi on laskennallisesti tarkasteltu tunnelin rakentamisen aiheuttamaa typpikuormitusta pumppaamojen purkuojiin. Molempien tarkasteltujen tunneleiden koko tarkkailun aikaiset vedenlaatuhavainnot on tallennettu selainpohjaiseen ympäristötietojärjestelmään (WRM Systemsin GWP -järjestelmä). Tässä työssä pitoisuus- ja pH-muutoksia tarkasteltiin ympäristötietojärjestelmän toiminnoilla laadittujen kuvaajien avulla.

7.1 Pohjaveden painetasojen luontainen vaihtelu esimerkkitunneleiden alueella

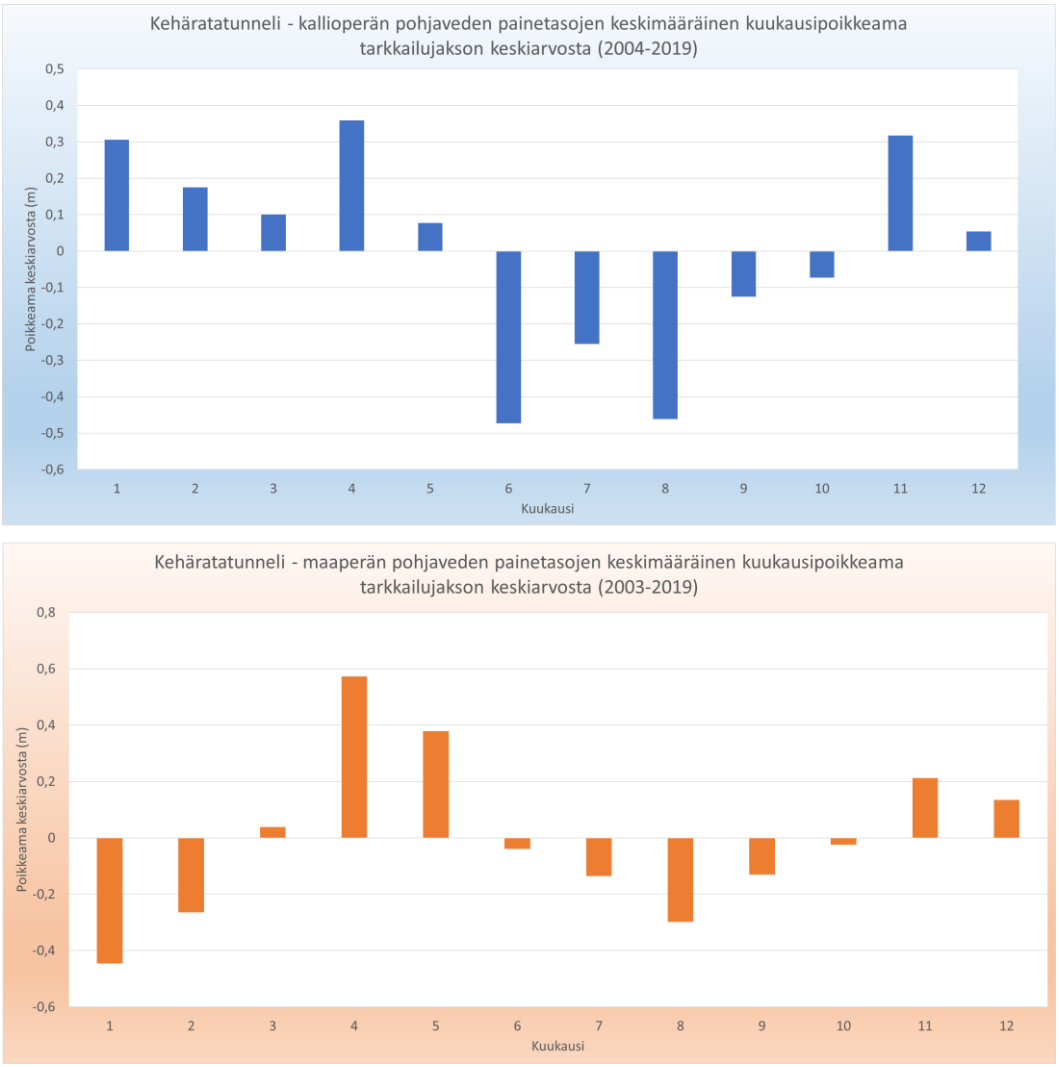
7.1.1 Vuodenaikaisvaihtelu

Kolmen esimerkkitunnelin pohjaveden pinnanmittausaineistojen avulla tarkasteltiin pohjaveden painetasojen luontaista vuodenaikaisvaihtelua. Tarkastelu tehtiin vertaamalla tunnelikohtaisesti pohjaveden painetasojen kuukausikeskiarvoja (maa- ja kallioperän pohjavedelle keskiarvot erikseen) koko tarkkailujakson aikaiseen pohjaveden painetasojen keskiarvoon (maa- ja kallioperän

pohjavedelle keskiarvot erikseen). Tarkastelusta poistettiin ne putket, joissa oli todettu merkittävää ja pysyvää pohjaveden painetason laskua tarkkailun aikana. Kuvassa 18 on sinisellä kuvaajalla esitetty Savion rautatietunnelille lasketut kallio-pohjaveden ja oranssilla maaperän pohjaveden painetason kuukausikeskiarvojen erot koko tarkkailun aikaiseen keskiarvoon (kuvaajilla koko tarkkailun aikainen keskiarvo on y-akselin nollataso). Kuvassa 19 on esitetty Kehäratatunnelin vastaavat kuvaajat. Kaikissa näissä kuvaajissa pohjavesipintojen vuodenaikaisvaihtelu näkyy melko hyvin. Sekä maaperän että kallioperän pohjaveden painetasot ovat alimmillaan loppukesällä ja korkeimmillaan keväällä. Luontainen vuodenaikaisvaihtelu ja sen suuruus tulee ottaa huomioon, kun tarkkaillaan kalliotunneleiden rakentamisen vaikutusta pohjaveden painetasoihin.

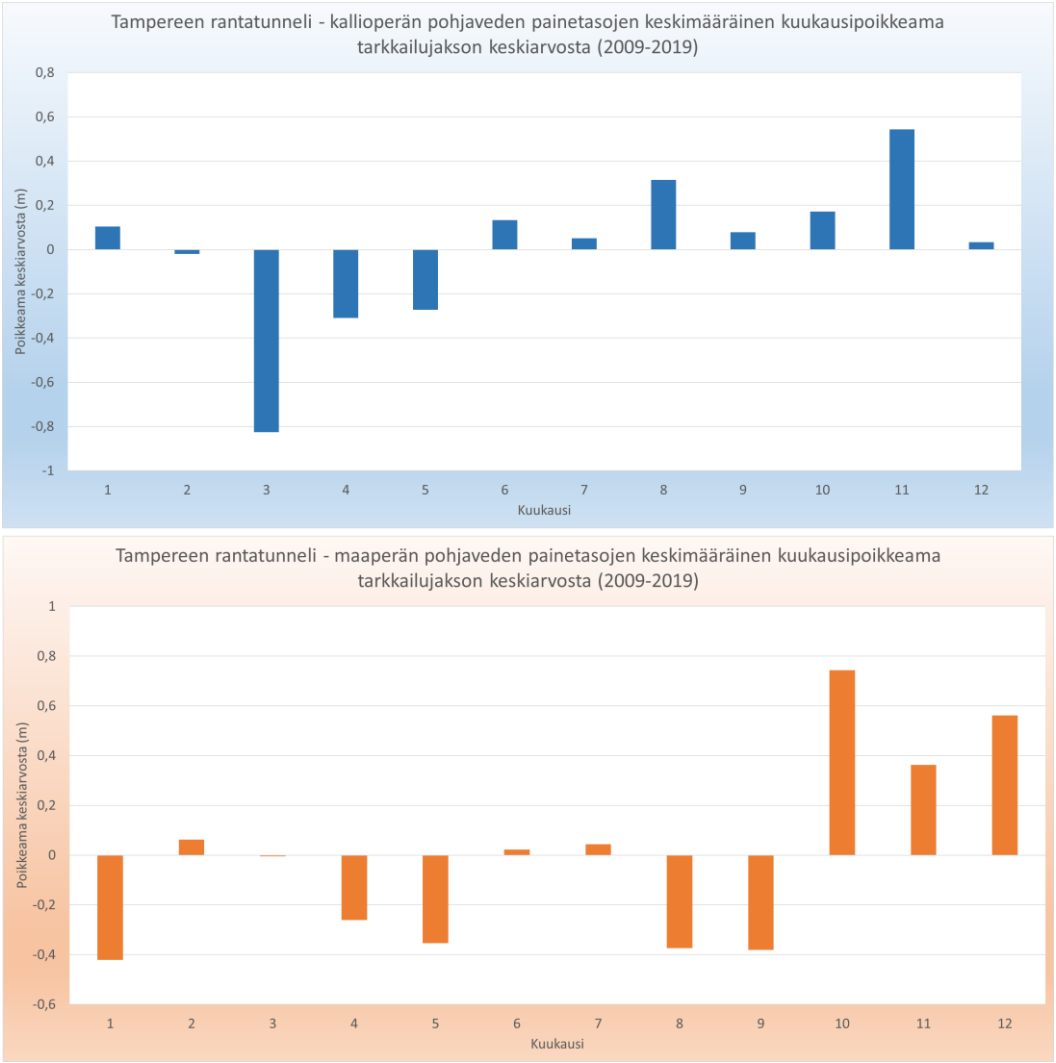


Kuva 18. Savion rautatietunnelin pohjaveden havaintoputkista mitattujen painetasojen keskimääräiset kuukausipoikkeamat koko tarkkailujakson keskiarvosta. Koko tarkkailujakson keskiarvo on merkitty kuvaajalle y-akselin nollatasoksi. Sinisellä kuvaajalla on esitetty kallioperän pohjaveden keskiarvot ja oranssilla kuvaajalla maaperän pohjaveden keskiarvot.



Kuva 19. *Kehäratatunnelin pohjaveden havaintoputkista mitattujen painetasojen keskimääräiset kuukausipoikkeamat koko tarkkailujakson keskiarvosta. Koko tarkkailujakson keskiarvo on merkitty kuvaajalle y-akselin nollatasoksi. Sinisellä kuvaajalla on esitetty kallioperän pohjaveden keskiarvot ja oranssilla kuvaajalla maaperän pohjaveden keskiarvot.*

Tampereen Rantatunnelin havaintoaineistoista laaditut vastaavat diagrammit on esitetty kuvassa 20. Pohjaveden painetasojen luontaista vuodenaikaisvaihtelua ei tästä aineistosta havaita etenkään kalliopohjaveden osalta. Syitä saattavat olla ainakin pienempi havaintoaineisto sekä mittausten mahdollisesti suurempi painottuminen louhintojen ajalle.



Kuva 20. Tampereen Rantatunnelin pohjaveden havaintoputkista mitattujen painetasojen keskimääräiset kuukausipoikkeamat koko tarkkailujakson keskiarvosta. Koko tarkkailujakson keskiarvo on merkitty kuvaajalle y-akselin nollatasoksi. Sinisellä kuvaajalla on esitetty kallioperän pohjaveden keskiarvot ja oranssilla kuvaajalla maaperän pohjaveden keskiarvot.

7.1.2 Vuosittainen vaihtelu

Kehäratatunnelin ja Savion rautatietunnelin keskimääräistä pohjaveden painetason vuodenaikaisvaihtelua (kuvat 23 ja 24) esittävien kuvaajien mukaan pohjaveden painetason keskimääräinen vuodenaikaisvaihtelu on luokkaa 1,5 metriä. Keskimääräisen vuodenaikaisvaihtelun tarkastelun lisäksi haluttiin tarkastella vaihtelun suuruutta eri tarkkailuvuosina ja tunnelirakentamisen mahdollista vaikutusta keskimääräisen pohjaveden painetason vaihtelun suuruuteen.

Tarkastelu tehtiin laskemalla esimerkkitunneleiden pohjaveden havaintoputkista mitattujen pohjaveden painetasojen vaihtelu jokaisena tarkkailuvuonna. Tunnelikohtaisesti laskettiin näistä vaihteluista keskiarvot kalliopohjavedelle ja maaperän pohjavedelle erikseen.

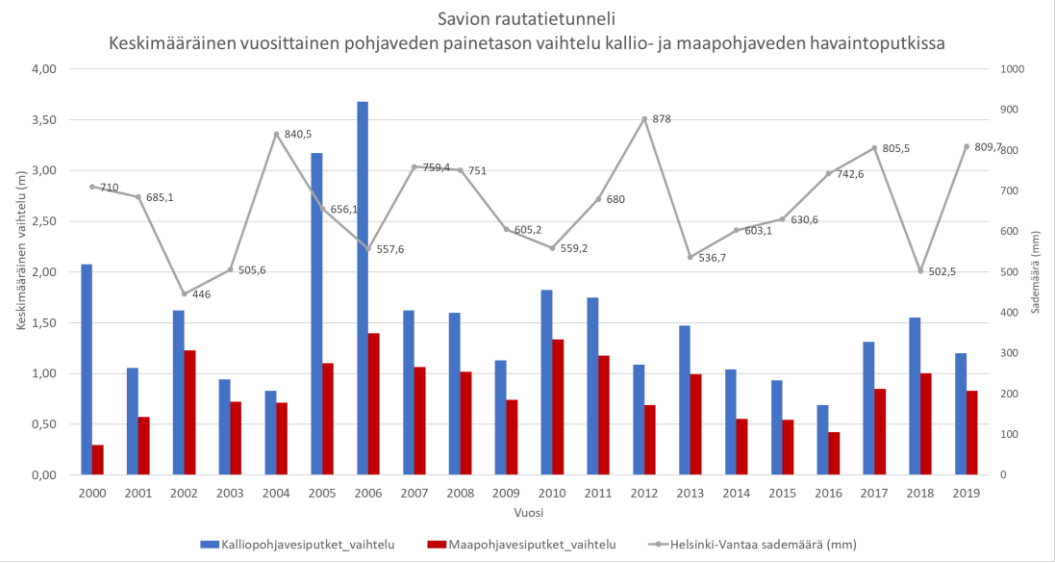
Vuosittaisen vaihtelun suuruus kuvastaa tunnelirakentamisen mahdollisen vaikutuksen lisäksi myös sääolosuhteiden (sademäärä ja lämpötila) vaihtelua. Mikäli sääolosuhteista johtuen pohjaveden muodostumisen määrissä on tapahtunut suuria muutoksia, pitäisi sen näkyä keskimääräistä suurempana pohjavesipinnan vaihteluna kyseisenä vuonna.

Lasketut kallio- ja maapohjaveden painetasojen keskimääräiset vaihtelut kuukausittain esitetään tunnelikohtaisesti pylväskuvaajina kuvissa 26, 27 ja 28. Tunnelia lähimmällä säähavaintoasemalla mitatut vuosisademäärät näkyvät kuvissa viivakuvaajina.

Vuosisademäärän ja pohjavesipintojen painetasojen keskimääräisen vaihtelun välillä ei ole kuvien 26-28 perusteella havaittavissa yksiselitteistä korrelaatiota. Sademäärän lisäksi pohjaveden muodostumiseen vaikuttavat sateisten ja kuivien jaksojen ajoittumisen lisäksi myös muut sääolosuhteet (lämpötila, haihtuminen, pakkaskauden pituus, lumipeite jne).

7.1.2.1 Savion rautatietunneli

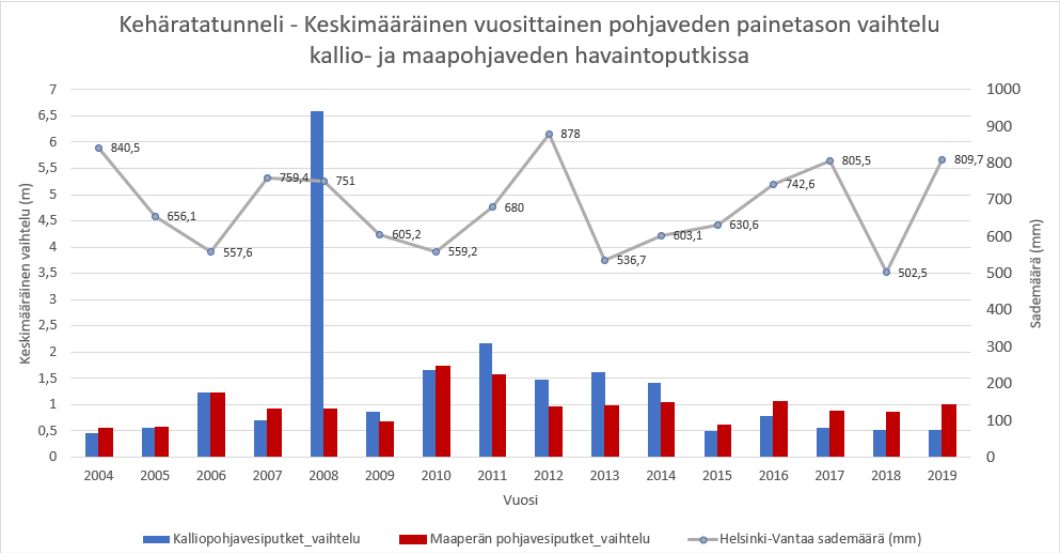
Savion rautatietunnelin rakentaminen aloitettiin loppuvuonna 2004, ja suurimmat louhinnat tehtiin vuosina 2005-2006. Kuvasta 21 nähdään, että kalliopohjaveden painetasojen vuodenaikaisvaihtelu on ollut maaperän pohjaveden painetasojen vuodenaikaisvaihtelua suurempaa. Vuosina 2005 ja 2006 kalliopohjaveden painetasojen vaihtelu on ollut poikkeuksellisen suurta. Pohjaveden painetason vaihtelu on samaa luokkaa tunnelin suunnitteluvaiheessa, sekä tunnelin valmistumisen jälkeen käyttövaiheessa: kalliopohjaveden osalta välillä 0,6–2 metriä ja maaperän pohjaveden osalta 0,5–1,4 metriä.



Kuva 21. Keskimääräinen pohjaveden painetasojen vuosittainen vaihtelu metreissä (keskimääräinen vuosimaksimin ja minimin erotus) Savion rautatietunnelin pohjaveden havaintoputkissa tarkkailujaksolla 2000-2019 sekä vuosisademäärät Helsinki-Vantaan havaintoasemalla. Tunnelin rakentaminen ajoittui vuosille 2004-2008. Suurimmat louhinnat tehtiin vuosina 2005-2006.

7.1.2.2 *Kehäratatunneli*

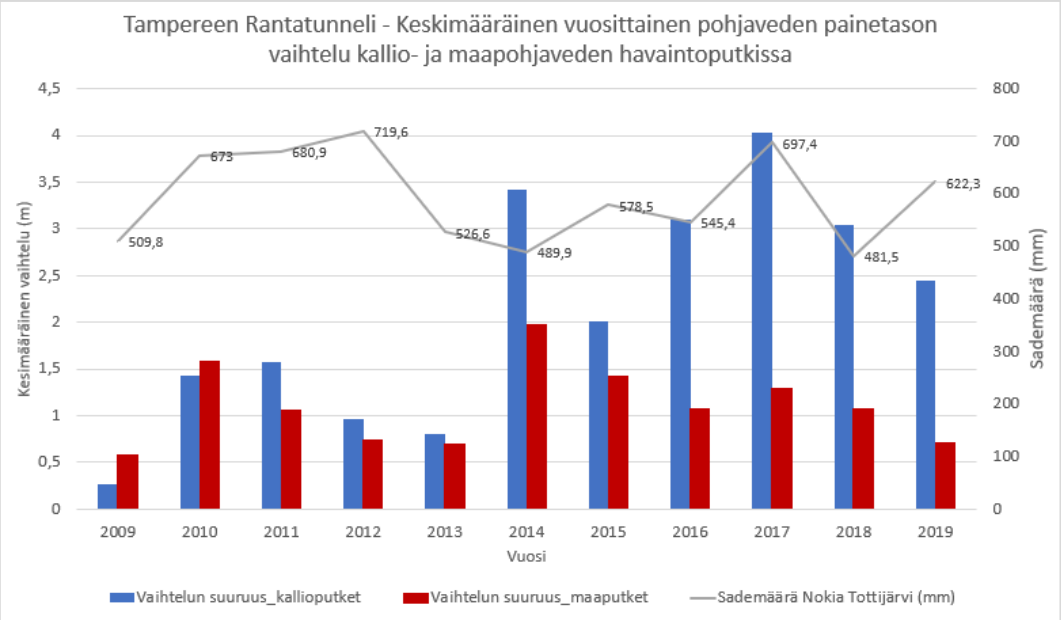
Myöskään Kehäratatunnelin kohdalla (kuva 22) pohjaveden painetason keskimääräisessä vaihtelussa ei ole suurta eroa tunnelin suunnitteluvaiheen ja käyttövaiheen välillä (vaihteluvälin suuruus noin 0,5–1 m). Poikkeuksellisen suuri kalliopohjaveden painetason keskimääräinen vaihtelu (6,5 m) havaittiin vuonna 2008, jolloin Päijänne-tunneli tyhjennettiin Päijänne-tunnelin peruskorjauksen takia. Kehäratatunnelin käytön aikana maaperän pohjaveden painetasojen vaihtelu on ollut kallioperän pohjaveden painetasojen vaihtelua suurempaa. Kehäratatunnelin rakentamisen aikana (2010-2014) kalliopohjaveden painetasojen keskimääräinen vuosittainen vaihtelu on ollut noin 1,5–2 metriä. Rakentamisen aikana kalliopohjaveden keskimääräinen vuosittainen vaihtelu on ollut selkeästi maaperän pohjaveden painetasojen vaihtelua suurempaa ja myös suurempaa kuin tunnelin suunnittelu- ja käyttövaiheissa.



Kuva 22. Keskimääräinen pohjaveden painetasojen vuosittainen vaihtelu Kehäratatunnelin pohjaveden havaintoputkissa tarkkailujaksolla 2004-2019 sekä vuosisademäärät Helsinki-Vantaan havaintoasemalla. Tunnelin rakentaminen ajoittui vuosille 2009-2015.

7.1.2.3 *Tampereen rantatunneli*

ampereen Rantatunneli rakennettiin vuosina 2013-2016. Rakentamista edeltävinä vuosina 2009-2013 kalliopohjaveden sekä maaperän pohjaveden painetason vaihtelu on ollut samaa luokkaa, noin 0,5–1,5 metriä (kuva 23). Vuodesta 2014 alkaen vuosittainen vaihtelu on ollut kallioperän pohjavedessä suurempaa, luokkaa 2–4 metriä. Maaperän pohjaveden painetason keskimääräisessä vaihteluvälissä havaitaan piikki vuonna 2014, muina tarkkailuvuosina maaperän pohjaveden painetason vaihteluväli on pysytellyt rakentamista edeltävällä tasolla.



Kuva 23. Keskimääräinen pohjaveden painetasojen vuosittainen vaihtelu Tampereen Rantatunnelin pohjaveden havaintoputkissa tarkkailujaksolla 2009-2019 sekä vuosisademäärät Nokian Tottijärven havaintoasemalla. Tunnelin rakentaminen ajoittui vuosille 2013-2016.

7.1.3 Pohjaveden painetasojen keskimääräinen vaihtelu kuukausitasolla

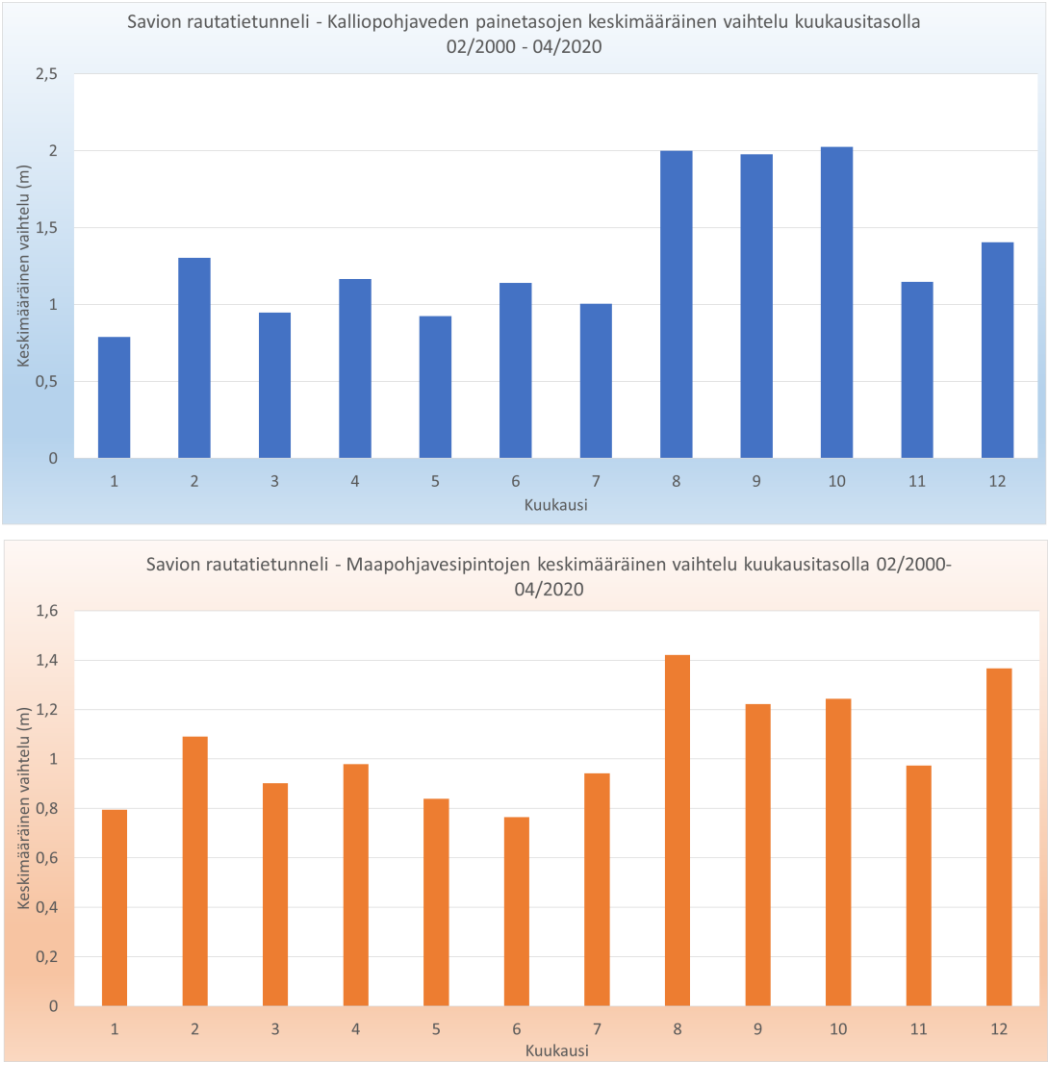
Pohjaveden painetasot vaihtelevat luontaisesti sääolosuhteiden vaikutuksesta. Sääolosuhteista riippuvan vaihtelun suuruutta tarkasteltiin jokaisen esimerkkitunnelin kallioperän ja maaperän pohjaveden painetasojen havaintoaineistoista kuukausitasolla.

Pohjaveden painetasohavainnoista laskettiin kuukausitasolla pohjaveden painetasojen havaintojen vaihtelun suuruus koko tarkkailujaksolta havaintoputkikohtaisesti. Tämän jälkeen laskettiin tunnelikohtaisesti putkikohtaisten vaihteluiden keskiarvot erikseen maaperän pohjavedelle ja kallioperän pohjavedelle. Lasketut keskiarvot on esitetty kuvissa 29-31. Laskennasta jätettiin pois sellaiset havaintoputket, joissa pohjaveden painetasot laskivat selvästi ja pysyvästi rakentamisen aikana.

7.1.3.1 Savion rautatietunneli

Kalliopohjaveden osalta keskimääräinen pohjaveden painetasojen vaihtelu eri vuosien samojen mittausajankohtien välillä on Savion rautatietunnelin kuvaajan (kuva 24) perusteella keskimäärin 0,8 - 2 metriä. Yksittäisissä putkista tehdyn tarkastelun perusteella keskiarvo kuvaa vaihtelua melko hyvin.

Maaperän pohjaveden painetasojen osalta vastaava vaihtelu on hieman pienempää, keskimäärin 0,8-1,5 metriä. Yksittäisissä havaintoputkissa havaitaan myös suurempia, luokkaa 2-3 metriä olevia vaihteluita, mutta myös nämä johtunevat tunnelirakentamisen vaikutuksesta.

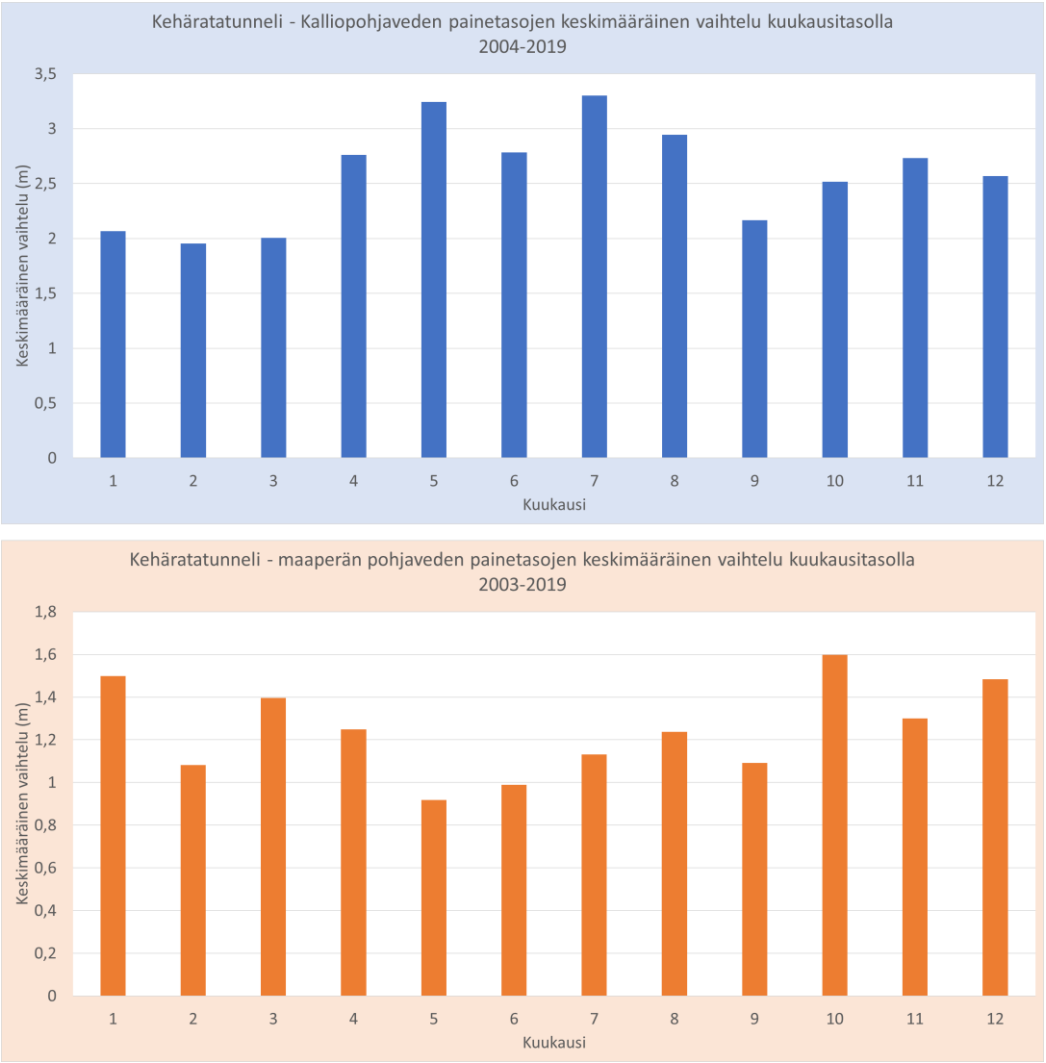


Kuva 24. Savion rautatietunnelin havaintoaineistoista (02/2000-04/2020) lasketut pohjaveden painetasojen vaihtelut kuukausitasolla tarkkailun elinkaaren aikana. Kalliopohjaveden vaihtelut on esitetty sinisillä kuvaajilla, ja maaperän pohjaveden vaihtelut oransseilla kuvaajilla.

7.1.3.2 Kehäratatunneli

Kehäratatunnelin osalta rakentamisen vaikutus näkyy kalliopohjaveden vaihtelun lasketuissa kuukausikeskiarvoissa, vaikka osa havaintoputkista on jätetty pois tarkastelusta, koska lähes kaikissa Kehäratatunnelin tarkkailussa mukana olleissa kalliopohjaveden havaintoputkissa rakentaminen on näkynyt painetasoissa ainakin hetkellisesti. Kuvassa 25 esitetyn kuvaajan perusteella kalliopohjaveden vaihteluväli on luokkaa 2-3 metriä, mutta todennäköisesti tämä keskiarvo ei kuvaa kalliopohjaveden luontaista vaihteluväliä johtuen kalliotunnelirakentamisen jonkinasteisesta vaikutuksesta kalliopohjaveden painetasoihin lähes koko tunnelilinjalla.

Maaperän pohjaveden painetason vaihtelu kuukausitasolla on ollut keskimäärin 0,8-1,6 metriä (kuva 25). Yksittäisistä havaintoputkista tehdyn tarkastelun perusteella rakentamisen vaikutus maaperän pohjaveden painetason vaihteluun on lasketuissa kuukausittaisissa keskiarvoissa voimakkaammin nähtävissä kuin Savion rautatietunnelin kohdalla.



Kuva 25. Kehäratatunnelin havaintoaineistoista (2003-2019) lasketut pohjaveden painetasojen vaihtelut kuukausitasolla tarkkailun elinkaaren aikana. Kalliopohjaveden vaihtelut on esitetty sinisillä kuvaajilla ja maaperän pohjaveden vaihtelut oransseilla kuvaajilla.

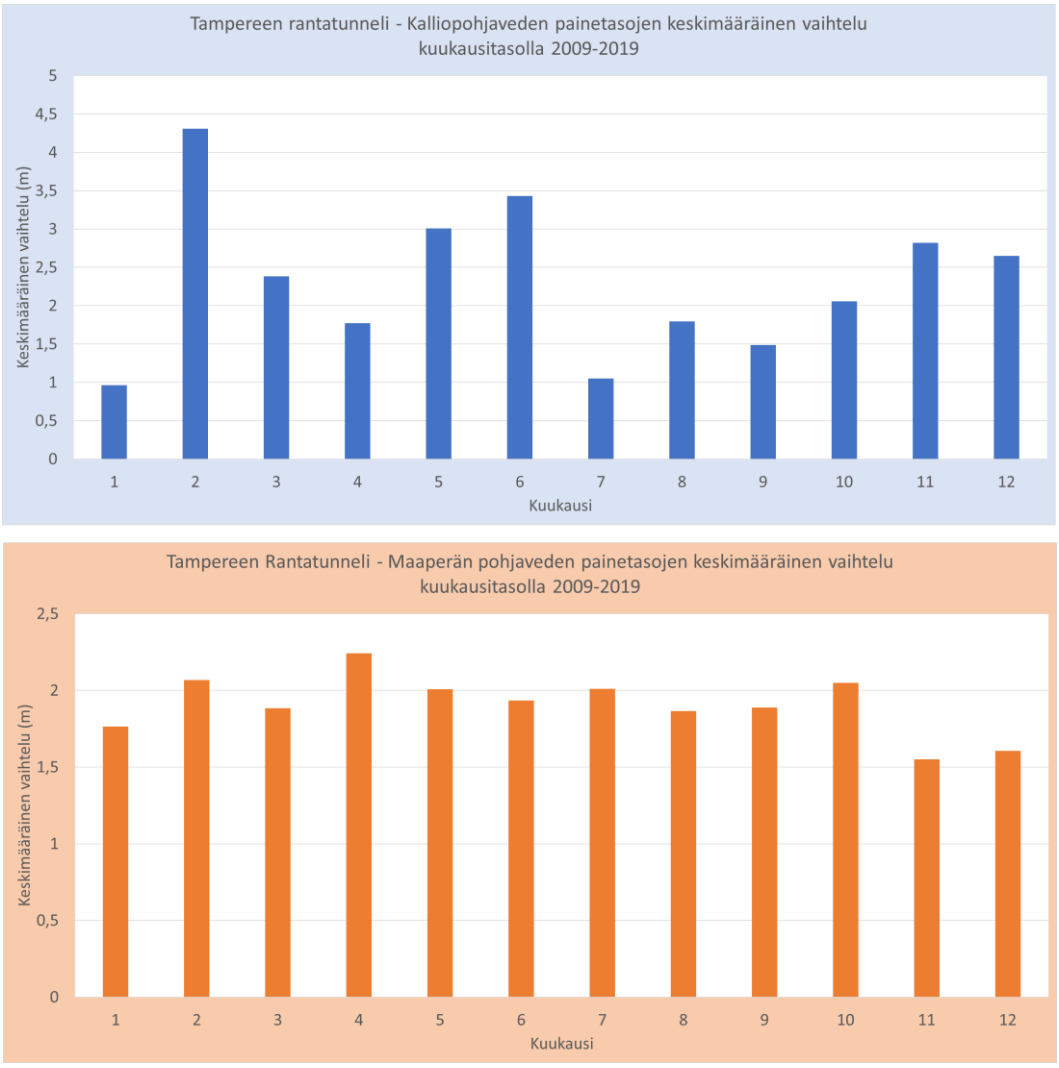
7.1.3.3 Tampereen Rantatunneli

Tampereen Rantatunnelin ympäristössä kalliopohjaveden painetason keskimääräinen vaihtelu kuukausitasolla (kuva 26) on suurempaa kuin Savion rautatietunnelin tai Kehäratatunnelin alueella. Kuukausitasolla keskimääräinen vaihtelu on 1-4 metriä kuukaudesta riippuen. Yksittäisten havaintoputkien osalta voidaan todeta, että kalliopohjaveden painetason vaihtelu kuukausitasolla tarkasteltuna on ollut paikoin useita metrejä jo ennen rakentamista. Rakentamisen aikana sekä rakentamisen jälkeen kalliopohjaveden painetason vaihtelu kuukausitasolla on ollut muutamissa havaintoputkissa suurempaa kuin ennen rakentamista.

Maaperän pohjaveden painetasoista laskettujen kuukausittaisten vaihteluiden keskiarvo on kahta muuta esimerkkitunnelia suurempi, noin 2 metriä. Yksittäisistä havaintoputkista tehdyn tarkastelun perusteella näissäkin keskiarvoissa on nähtävissä tunnelirakentamisen vaikutus. Pääosin kuukausitasoinen vaihtelu

suunnittelun aikana vaikuttaa olevan luokkaa 1 metri. Yksittäisessä havaintoputkessa on todettu tunnelin suunnittelun aikainen 2 metrin kuukausitasoinen vaihtelu.

Kuvaajien perusteella ei voida tehdä johtopäätöstä, että kalliopohjaveden pinnat vaihtelisivat voimakkaammin sääolojen vaikutuksesta. Kuvaajien perusteella voidaan arvioida, että luontainen pohjaveden painetason keskimääräinen vaihtelu esimerkkitunneleiden alueella on kuukausitasolla suurimmillaan 1-2 metriä eri vuosien samoina kalenterikuukausina pohjaveden muodostumiseen vaikuttavista sääolosuhteista riippuen.



Kuva 26. Tampereen Rantatunnelin havaintoaineistoista (2009-2019) lasketut pohjaveden painetasojen vaihtelut kuukausitasolla tarkkailun elinkaaren aikana. Kalliopohjaveden vaihtelut on esitetty sinisillä kuvaajilla ja maaperän pohjaveden vaihtelut oransseilla kuvaajilla.

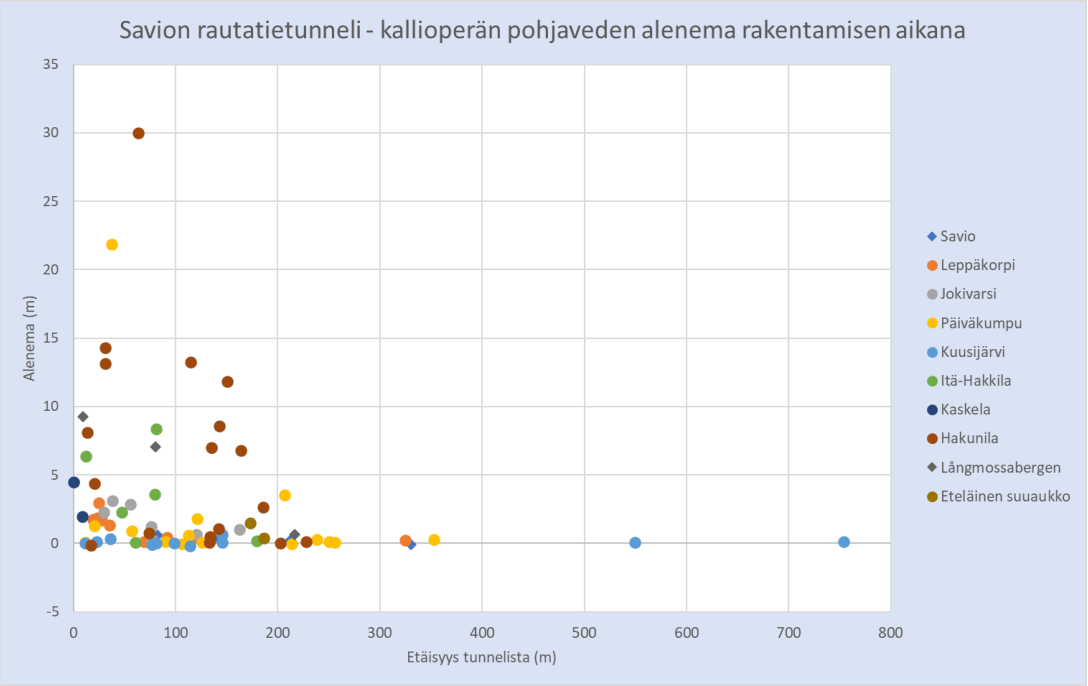
7.2 Rakentamisen aikainen pohjaveden painetasojen alenema

Kalliotunneleiden elinkaaren aikaiset pohjaveden painetasohavainnot keskiarvoistettiin havaintoputkikohtaisesti siten, että jokaiselle havaintoputkelle laskettiin pohjaveden painetason keskiarvo tunnelin suunnitteluvaiheessa sekä keskiarvo tunnelin rakentamisen aikana. Havaintoputkikohtainen rakentamisen aikana todettu pohjaveden painetason alenema laskettiin suunnittelun ja rakentamisen aikaisten keskiarvojen erotuksena. Alenemat laskettiin ainoastaan havaintoputkista, joista oli tehty pohjaveden painetasohavaintoja sekä tunnelin suunnittelu- että rakentamisvaiheissa.

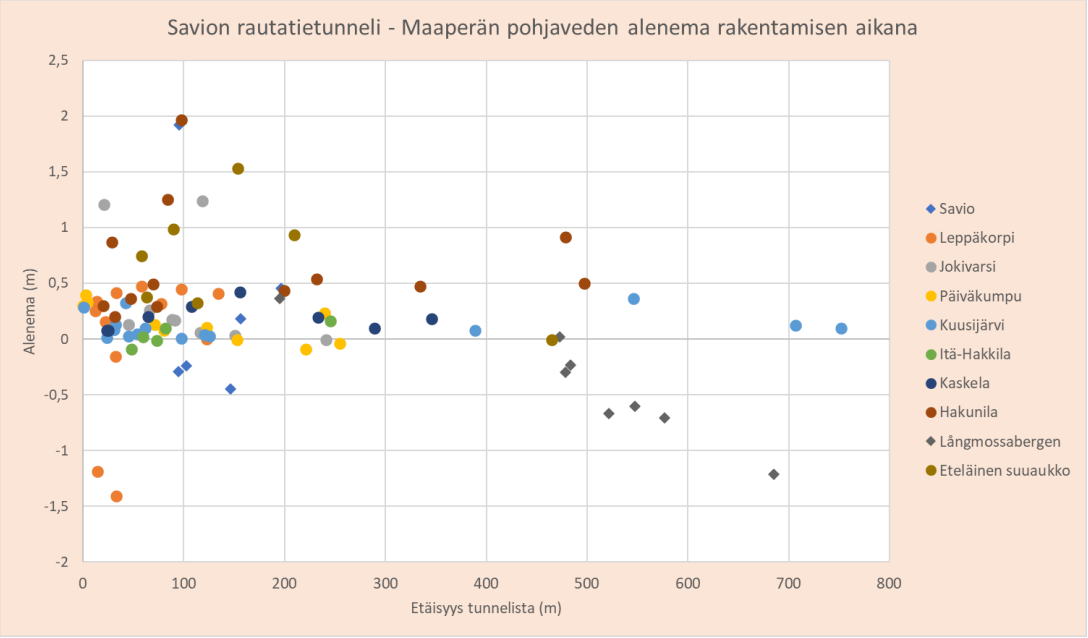
Edellä kuvatulla menetelmällä lasketut, tunnelirakentamisen aikaiset pohjavesipinnan alenemat on esitetty kuvaajilla etäisyyden funktiona (kuvat 27-32). Kuvaajissa pystyakselilla esitetään aleneman suuruus ja vaaka-akselilla havaintopisteen etäisyys tunnelilinjasta.

Savion rautatietunnelin alueella suurimmat kalliopohjaveden painetasojen alenemat on todettu Hakunilan ympäristössä, Kaskelan pumppaamolta Hakunilan eteläpuolelle ulottuvalla tunneliosuudella. Kuusijärven alueen havaintoputkissa kalliopohjaveden alenemaa ei vaikuttaisi tapahtuneen juuri ollenkaan. Kuvaajan perusteella rautatietunnelin rakentamisen vaikutus kalliopohjaveden painetasoihin on ulottunut maksimissaan noin 200 metrin etäisyydelle tunnelilinjasta.

Kuvista 27 ja 28 havaitaan, että maaperän pohjaveden painetasojen alenemat ovat Savion rautatietunnelin havaintoputkissa olleet huomattavasti pienempiä kuin kalliopohjaveden painetasojen alenemat. Yli metrin alenemaa maaperän pohjavedessä on todettu kuudessa havaintoputkessa, joiden etäisyys tunnelilinjasta on maksimissaan 150 metriä. Alueellisesti nämä kuusi putkea sijoittuvat tunnelin pohjoiselle suuaukolle (Savion alue), eteläiselle suuaukolle sekä Hakunilaan ja Leppäkorven pystykuilun eteläpuolelle Jokivarteen.



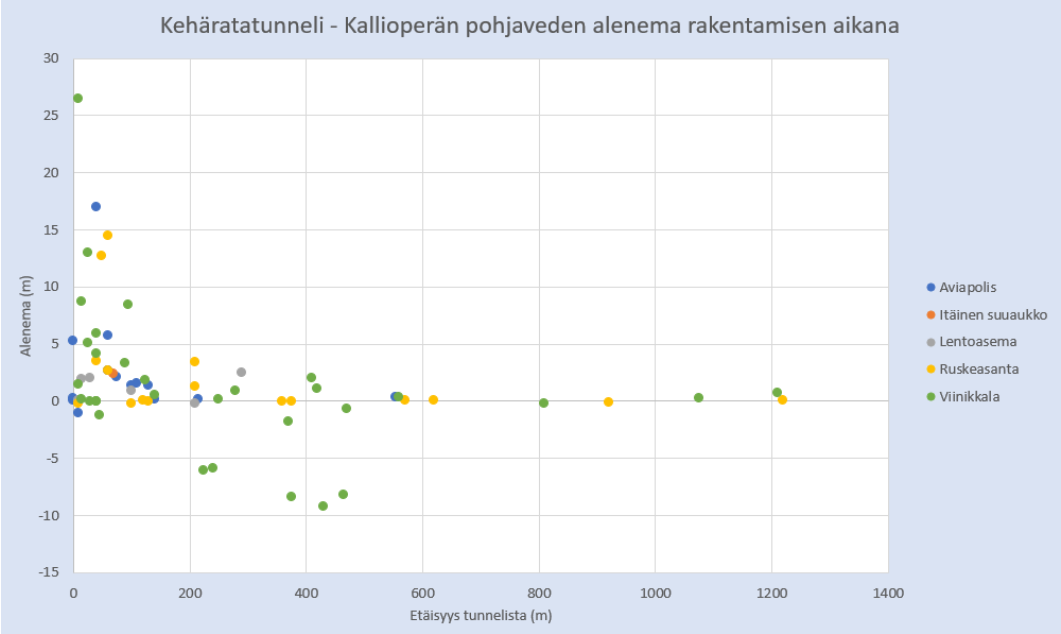
Kuva 27. *Savion rautatietunnelin rakentamisen aikaiset kallioperän pohjavesipintojen alenemat pohjavesitarkkailussa mukana olleissa havaintoputkissa (m) sekä havaintoputkien etäisyydet tunnelilinjasta.*



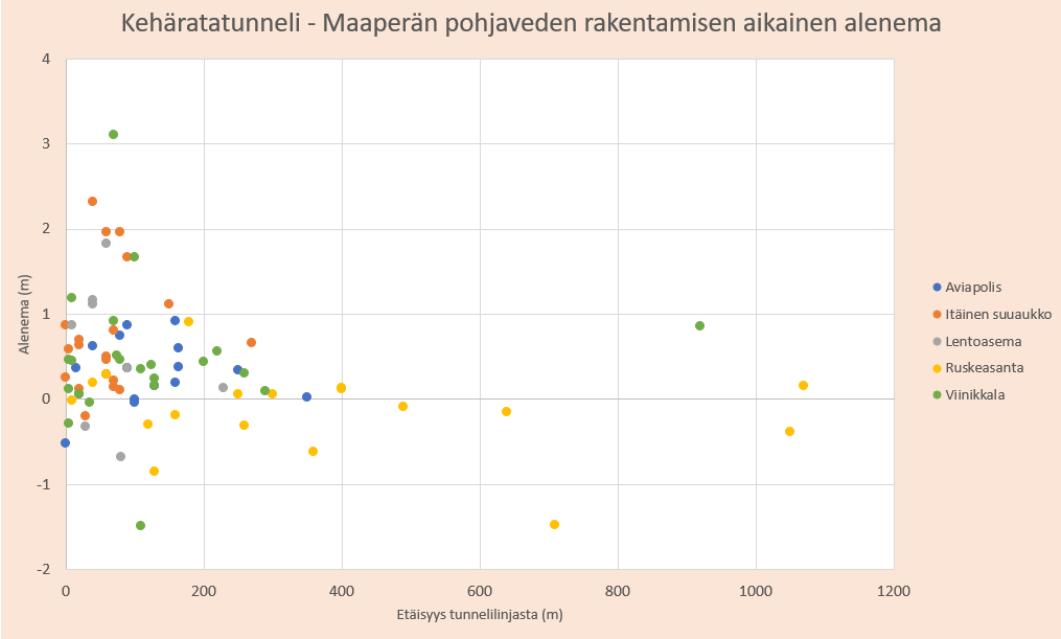
Kuva 28. *Savion rautatietunnelin rakentamisen aikaiset maaperän pohjaveden painetasojen muutokset pohjavesitarkkailussa mukana olleissa havaintoputkissa (m) sekä havaintoputkien etäisyydet tunnelilinjasta.*

Kehäratatunnelin kohdalla kalliopohjaveden painetason alenema ulottuu noin 200 metrin etäisyydelle tunnelista (kuva 29). Muutamissa pisteissä Lentoaseman ja Viinikkalan alueilla on todettu yli metrin suuruinen alenema myös kauempana tunnelilinjasta. Lentoaseman ja Viinikkalan alueilla on tunnelirakentamisen aikana tehty myös muuta kalliorakentamista, jonka vaikutusta kalliopohjaveden painetasoihin ei käytettävissä olevan aineiston perusteella voida arvioida. Kalliopohjaveden painetasojen keskimääräisten alenemien suuruus on samaa luokkaa kuin Savion rautatietunnelin kohdalla. Pienimmät kalliopohjaveden alenemat on todettu Lentoaseman alueella ja suurimmat Viinikkalassa.

Myös Kehäratatunnelin alueen maaperän pohjavedessä todetut alenemat ovat huomattavasti pienempiä kuin kalliopohjavedessä todetut alenemat. Yli metrin alenemaa on kuvassa 30 esitetyn kuvaajan mukaan 11:ssä maaperän pohjaveden havaintoputkessa maksimissaan 150 metrin päässä tunnelilinjasta. Suurimmat maaperän pohjaveden alenemat on todettu Viinikkalassa tunnelin länsipäässä, tunnelin itäisellä suuaukolla sekä yksittäisessä Lentoaseman havaintoputkessa.



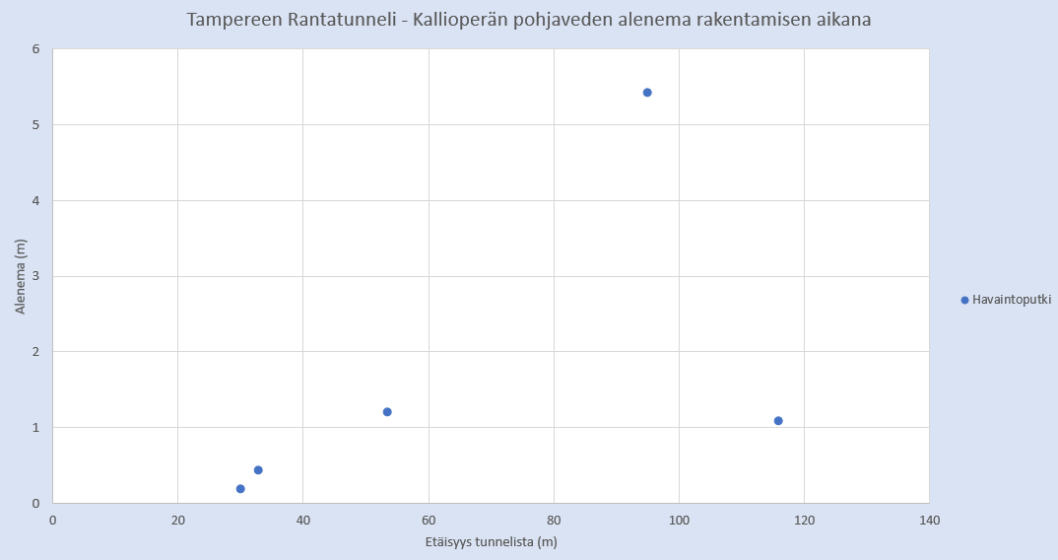
Kuva 29. Kehäratatunnelin rakentamisen aikaiset kallioperän pohjavesipintojen alenemat pohjavesitarkkailussa mukana olleissa havaintoputkissa (m) sekä havaintoputkien etäisyydet tunnelilinjasta.



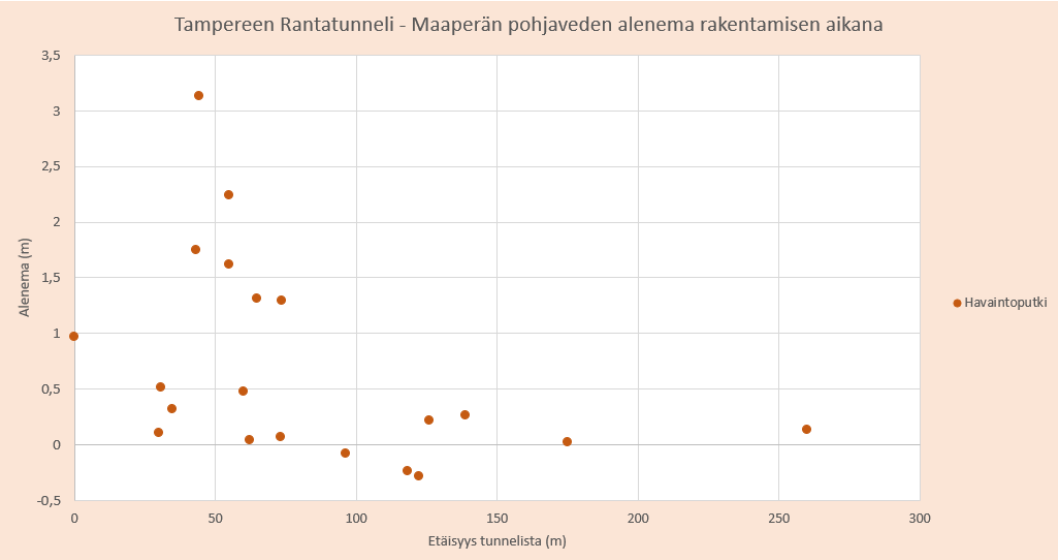
Kuva 30. Kehäratatunnelin rakentamisen aikaiset maaperän pohjavesipintojen alenemat pohjavesitarkkailussa mukana olleissa havaintoputkissa (m) sekä havaintoputkien etäisyydet tunnelilinjasta.

Tampereen Rantatunnelin aineistosta tehdyt vastaavat kuvaajat on esitetty kuvissa 31 ja 32. Pienen havaintoaineiston takia on vain rajalliset mahdollisuudet tehdä yleistäviä johtopäätöksiä pohjaveden painetasojen alenemien maksimietäisyyksistä tunnelilinjasta ja alenemien suuruusluokasta. Keskimääräiset alenemat voitiin laskea ainoastaan havaintoputkista, joista oli havaintoja sekä ennen rakentamista että rakentamisen aikana.

Maaperän pohjaveden painetasojen alenemat ovat Tampereen Rantatunnelin osalta samaa suuruusluokkaa kuin Kehäratatunnelin ja Savion rautatietunnelin kohdalla. Yli metrin alenemia on todettu kuudessa havaintoputkessa alle 100 metrin etäisyydellä tunnelilinjasta. Havaintoputket, joissa on todettu yli metrin suuruinen alenema, sijaitsevat tunnelin eteläpuolella ja Tammerkosken länsipuolella.



Kuva 31. Tampereen Rantatunnelin rakentamisen aikaiset kallioperän pohjavesipintojen alenemat pohjavesitarkkailussa mukana olleissa havaintoputkissa (m) sekä havaintoputkien etäisyydet tunnelilinjasta.



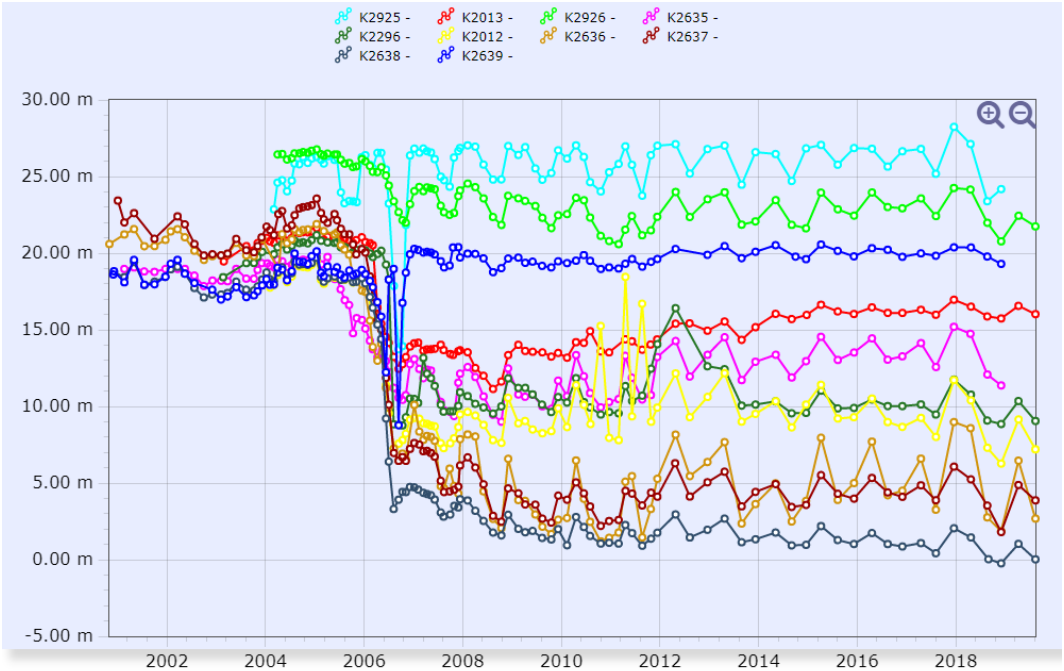
Kuva 32. Tampereen rantatunnelin rakentamisen aikaiset maaperän pohjavesipintojen alenemat pohjavesitarkkailussa mukana olleissa havaintoputkissa (m) sekä havaintoputkien etäisyydet tunnelilinjasta.

7.3 Kalliopohjaveden painetasojen palautuminen Savion rautatietunnelin ja Kehäratatunnelin ympäristössä

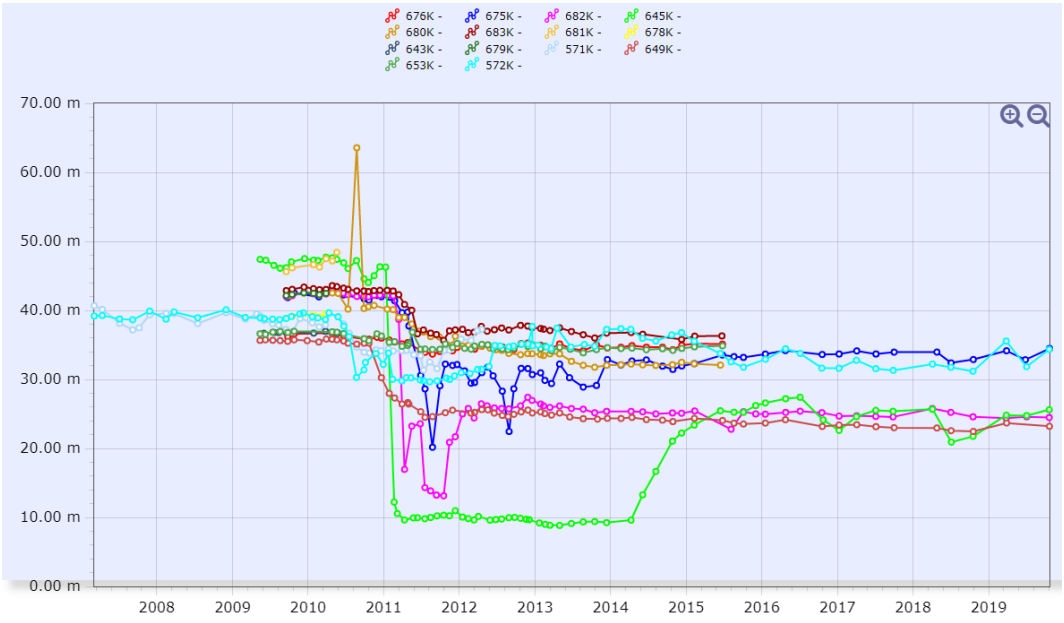
Kalliopohjaveden painetasojen muutosten määrä ja nopeus riippuvat useasta eri tekijästä. Nyt käytössä olleen aineiston perusteella on havaittavissa, että kalliopohjaveden painetason alenemat eivät ole kaikilta osin pysyviä, vaan pohjaveden painetasot voivat myös palautua rakentamisen aikana tai rakentamisen jälkeen joko osittain tai kokonaan. Keskeisenä tekijänä kalliopohjaveden painetason alenemaan ja toisaalta palautumiseen on tunnelissa tehtävien tiivistystoimien aikataulutus ja onnistuminen sekä louhinnan ja tiivistystöiden ajallinen kesto alueella. Nyt tehdyn tarkastelun perusteella ei kuitenkaan voida esittää palautumisen määrään ja nopeuteen vaikuttavia tekijöitä. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että kalliopohjavesimuodostuma pyrkii hakeutumaan tunnelin valmistumisen jälkeen uuteen tasapainotilaan (huomioiden vuotovesimäärät), joka sitten määrittelee palautumisen lopullisen määrän ja alueellisen laajuuden.

Esimerkinomaiset kuvaajat pohjavesipintojen käyttäytymisestä Savion rautatietunnelin ympäristössä Hakunilassa (kuva 33) sekä Kehäratatunnelin ympäristössä Viinikkalassa (kuva 34) on esitetty alla. Osassa kalliopohjaveden havaintoputkia pohjaveden painetaso on palautunut muutamassa kuukaudessa, ja osassa palautumista on tapahtunut useamman vuoden ajan tai palautuminen jatkuu edelleen. Kaikissa havaintoputkissa pohjaveden painetaso ei ole palautunut ollenkaan, ja muutamassa putkessa painetaso näyttää edelleen olevan laskusuunnassa.

Käytettävissä olevan aineiston perusteella ei voitu selvittää, tuleeko tunneliin enemmän vuotovesiä niiltä kohdin, joissa pohjaveden painetaso ei ole palautunut tai on edelleen laskusuunnassa. Vuotovesimääriä on mitattu pumppaamoilta, joihin tulee vuotovesiä pitkältä tunneliosuudelta.



Kuva 33. Kalliopohjavesiputkien painetasomuutokset Savion rautatietunnelin ympäristössä Hakunilassa.



Kuva 34. Kalliopohjavesiputkien painetasomuutokset Kehäratatunnelin ympäristössä Viinikkalassa.

7.4 Maa- ja kallioperän laadun vaikutus pohjaveden painetasojen muutoksiin

Karttatarkasteluiden avulla pyrittiin löytämään maa- tai kallioperän ominaisuuksista yhdistäviä tekijöitä alueille, joilla todettiin suurimmat pohjaveden painetasojen alenemat, ja toisaalta niille alueille, joilla selvää alenemaa ei todettu.

Karttatarkastelua varten kaikkien kolmen tarkasteltavan tunnelin tarkkailussa mukana olleet pohjaveden havaintoputket sijoitettiin sekä kallio- että maaperäaineistoon (Geologian tutkimuskeskuksen aineistot: kallioperäaineisto 1:200 000 ja maaperäaineisto 1:20 000). Laaditut kartat löytyvät liitteistä 1 (Savion rautatietunneli), 2 (Kehäratatunneli) ja 3 (Tampereen Rantatunneli). Tarkastelussa keskityttiin kallio- ja maaperän alueellisiin yleispiirteisiin, koska kartoilla esitetty kivi- tai maalaji ei välttämättä vastaa kivi- tai maalajia syvemmissä kerroksissa.

Savion rautatietunneli ja Kehäratatunneli sijaitsevat maantieteellisesti lähekkäin. Geologisesti niiden kallioperä kuuluu samaan svekofenniseen liuskealueeseen, jonka pääkivilajeja ovat muinaisten mannerlaattojen törmäyksessä silloisista sedimenteistä muodostuneet metamorfiset gneissit ja liuskeet, mannerlaattojen törmäysvaiheessa intrudoituneet granodioriitit (magmakivi) sekä nuoremmat graniitit. Graniitit leikkaavat gneissejä, tai muodostavat niiden kanssa seoskiviä (migmatiitteja). Helsingin kaupungin www-sivujen mukaan Helsingin kallioperää halkovat useat kallioperän ruhje- eli murrosvyöhykkeet, joista merkittävimmät suuntautuvat pohjois-koilliseen ja jatkuvat myös naapurikuntien puolelle (Helsingin kaupunki 2019).

Kehäratatunnelin Sokopro-projektipankkiin tallennetuille suunnitelmakartoille merkittyjen, tunnelilinjalle osuvien kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeiden pääsuunnat ovat lähes pohjois-etelä sekä luode-kaakko.

Kallioperäaineiston mukaan Savion tunnelilinjalla alueet, joilla ratatunnelin pituusleikkauskuvan (kuva 3) perusteella on suurin osa kalliopainaumista, sijaitsevat graniittivaltaisilla alueilla. Maaperäkartan mukaan tunnelilinjalla olevat laajemmat savikot ja turpeen peittämät alueet ovat näiden tunnelin pituusleikkauksessa näkyvien kalliopainaumien kohdalla. Suurimmat kalliopohjaveden painetasojen alenemat on todettu Kaskela-Hakunilan savikkovaltaisilla alueilla. Rautatietunnelin pituusleikkauksen mukaan tunnelin etelä- ja pohjoisosissa kallioperässä ei ole laajoja painaumia, eikä näillä alueilla ole todettu yli 5 metrin alenemia kallioperän pohjaveden painetasoissa. Tunnelilinjan pohjois- ja eteläosissa vallitseva kivilaji on granodioriitti. Savion rautatietunnelin seurannassa mukana olleissa kalliopohjaveden tarkkailuputkissa havaitut kalliopohjaveden painetason alenemat eivät näy maaperän pohjaveden havaintoputkissa. Esimerkkejä vierekkäisistä maa- ja kallioperän pohjavesiputkista tehdyistä pohjaveden painetasohavainnoista on esitetty liitteessä 4.

Kehäratatunnelin ympäristössä keskimäärin yli viiden metrin kalliopohjaveden painetason alenemaa on todettu Viinikkalan ajotunnelin, Kytökallion kuilun ja Aviapoliksen aseman ympäristössä, sekä tunnelin itäosassa Ruskeasannan ajotunnelin itäpuolella ja Lentoaseman pohjavesialuetta leikkaavan kallioperän ruhjevyöhykkeen tuntumassa.

Kehäratatunnelin linjalla kivilajeina vuorottelevat GTK:n kallioperäaineiston mukaan kvartsi-maasälpäparagneissi (kiillegneissi) ja mikrokliinigraniitti. Ruskeasannassa, tunnelin itäosissa kivilajiksi on merkitty granodioriitti. Vesilupapäätöksen hakemusosan tietojen mukaan tunnelilinjalla vallitseva kivilaji on seoksista. Kehäradan tunnelilinjan länsiosassa maaperä on pääosin moreenia ja kalliomaata, paikoin linjalle osuu kapeita savikkoja. Lentoaseman alue on kartoittamatonta. Ruskeasannan keskiosissa on maaperäkartan mukaan kalliomaata ja pieniä hiekkamuodostumia, jota ympäröivät pehmeiköt (savi- hieta- ja turvealueet). Kehäratatunnelin alueella todetut kalliopohjaveden painetason alenemat eivät korreloi GTK:n kallioperäaineiston (1:200 000) tai maaperäaineiston (1:20 000) kanssa.

Kehäradalla kalliopohjaveden painetason ja maaperän pohjaveden painetason lasku vierekkäisissä havaintopisteissä ovat monin paikoin tapahtuneet samanaikaisesti. Paikoin taas kallioperän pohjaveden painetason lasku ei ole vaikuttanut maaperän pohjaveden painetasoon viereisessä havaintoputkessa. Selkeää korrelaatiota maa- ja kallioperän pohjaveden hydraulisen yhteyden ja GTK:n maa- tai kallioperäaineiston välillä ei Kehäradan aineistossa ole havaittavissa. Esimerkkejä vierekkäisistä maa- ja kallioperän pohjavesiputkista tehdyistä pohjaveden painetasohavainnoista on esitetty liitteessä 5.

Tampereen rantatunnelin kallioperä kuuluu ns. Tampereen liuskevyöhykkeeseen, joka on myöskin osa svekofennistä liuskealuetta. Tampereen Rantatunnelin länsiosan kallioperä koostuu kallioperäkartan mukaan mannerlaattojen törmäyksen aikana metamorfoituneista hiekka- ja savikivistä (kiilleliuskeet), ja itäosa samassa yhteydessä kiteytyneestä granodioriitista. Rantatunnelin rakennettavuusselvityksen mukaan kallio on suurelta osin seoksista, jolloin kiillegneissit ovat muodostaneet granitoidien kanssa seoksisia kiviä eli ns. migmatiitteja. Rakennettavuusselvityksen mukaan pääosa alueen kallioperän rikkonaisuuksista on pystyasentoisia ja vallitsevan liuskeisuuden suuntaisia (kaateen suunta 150 astetta, lähes itä-länsi-suuntaisia). Myös rakoilu on pääosin vallitsevan liuskeisuuden suuntaista. Muita yleisesti toistuvia rakosuuntia ovat pohjois-eteläsuuntainen rakoilu sekä lähes vaaka-asentoinen rakoilu. Tammerkosken länsipuolelle on suunnittelun aikaisissa tunnelin pituusleikkauksissa merkitty useita kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeitä. Tammerkosken itäpuolelle on suunnitelmapiirustuksissa merkitty yksi liuskeisuuden suuntainen rikkonaisuusvyöhyke, joka ulottuu tunnelin ja maanpäällisen junaradan risteyskohdasta lähes tunnelin itäiselle suuaukolle. Tällä alueella, noin 95 metriä tunnelilinjalta pohjoiseen sijaitsevassa kalliopohjaveden havaintoputkessa 870 on todettu rakentamisen aikaista pohjaveden painetason alenemaa yli 5 metriä. Läheisessä maaperän pohjaveden havaintoputkessa 847 pohjaveden painetasossa ei ole havaittu alenemaa.

Maaperäkartan (1:20 000) mukaan Tampereen rantatunnelin maaperä on tunnelilinjalla suurelta osin kartoittamatonta. Tunnelin läntinen suuaukko Onkiniemessä sijaitsee Pyynikinharjun liepeillä, hiekkavaltaisella alueella. Kallionpinta läntisellä suuaukolla on tunnelin pituusleikkauksen mukaan lähes 20 metriä tunnelin suuaukon alapuolella (noin tasolla +80). Heti Onkiniemen jälkeen kallionpinta nousee lähes maanpinnan tasolle (noin taso + 110), ja maaperäkartan mukaan maaperä on kalliomaata. Tampereen Rantatunnelin rakennettavuusselvityksen mukaan paksuhkoja maapeitteitä (yli 10 metriä) löytyy myös Sepänkadun länsipuolelta Särkänniemen kohdalta. Muutoin maapeitteet kallion päällä ovat ohuita (2-5 metriä). Maapeitteet koostuvat usein kivisestä pohjamoree-

nista, jonka päällä on vaihtelevasti savi- ja silttikerroksia. Kalliomaata on maaperäkartan mukaan tunnelilinjalla laajalti Tammerkosken länsirannalla sekä Tampellassa tunnelin itäosissa.

Yli metrin alenemia maaperän pohjaveden painetasoissa todettiin Tammerkosken länsipuolisella tunneliosuudella tunnelilinjan eteläpuolella kuudessa havaintoputkessa. Alueelta ei ollut riittävästi aineistoa kallioperän pohjaveden aleneman suuruuden laskentaan, joten yhteyttä maa- ja kallioperän pohjaveden välillä tällä alueella ei aineiston perusteella voida arvioida. Tampellan alueella maaperän pohjaveden alenemat olivat alle metrin luokkaa.

7.5 Vuotovesimäärien kehittyminen ja yhteys pohjaveden painetasoihin

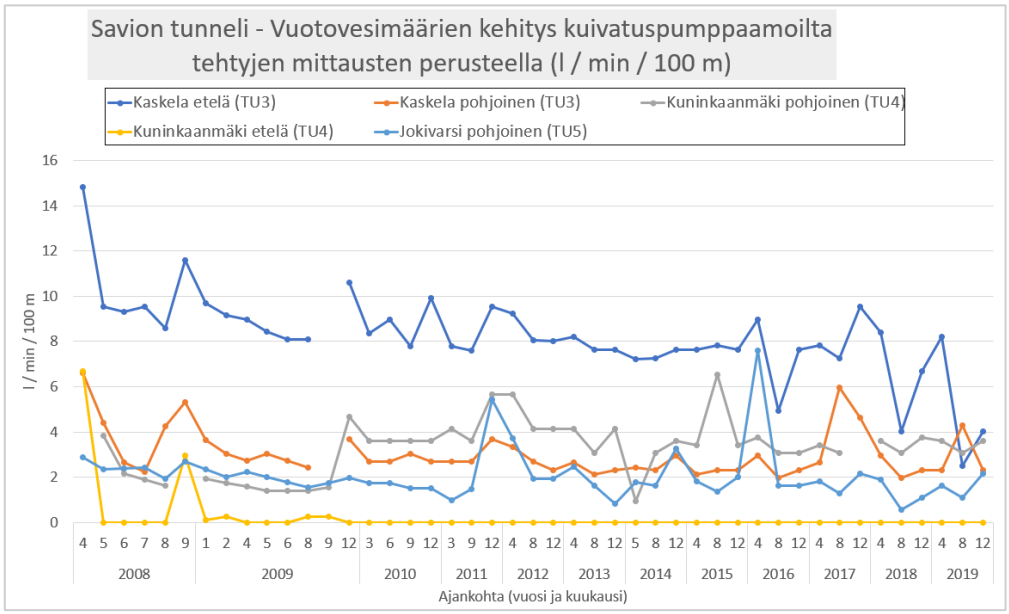
Kaikkien kolmen esimerkkitunnelin vuotovesimääriä on seurattu tunnelin valmistumisen jälkeen kuivatuspumppaamoilta tehdyin mittauksin. Savion rautatietunnelin ja Kehäratatunnelin osalta mitatut määrät on raportoitu tunneleiden vuosittaisissa ympäristövaikutusten tarkkailuraporteissa. Vuotovesimäärät on raportoitu muodossa l/min/kuivatuspumppaamon allas. Tätä työtä varten vuotovesimäärät muutettiin muotoon litraa minuutissa 100 tunnelimetriä kohden (l/min/100 m). Pumppaamoaltaiden keräysvälien pituudet laskettiin tarkkailukartoille merkittyjen tunnelin paalulukemien perusteella. Vuotovesimäärät on esitetty kuvissa 35 ja 36.

Savion rautatietunnelin käytön aikana suurimmat vuotovesimäärät on mitattu pumppaamolta Kaskela Etelä, joka kerää vuotovesiä Kaskelan eteläpuoliselta tunneliosuudelta (kuva 35). Tällä tunneliosuudella on myös todettu rakentamisen aikaiset suurimmat kalliopohjaveden painetason alenemat. Viime vuosien mittaustulosten perusteella Kaskela Etelän vuotovesialtaaseen kertyvän vesimäärä vaikuttaisi olevan edelleen laskusuunnassa, vaikkakin mitatuissa määrissä on melko suurta vaihtelua. Muihin pumppaamoaltaisiin kertyvä vuotovesien määrä näyttää pysytelleen likimain samalla tasolla tunnelin valmistumisesta eli vuodesta 2009 lähtien.

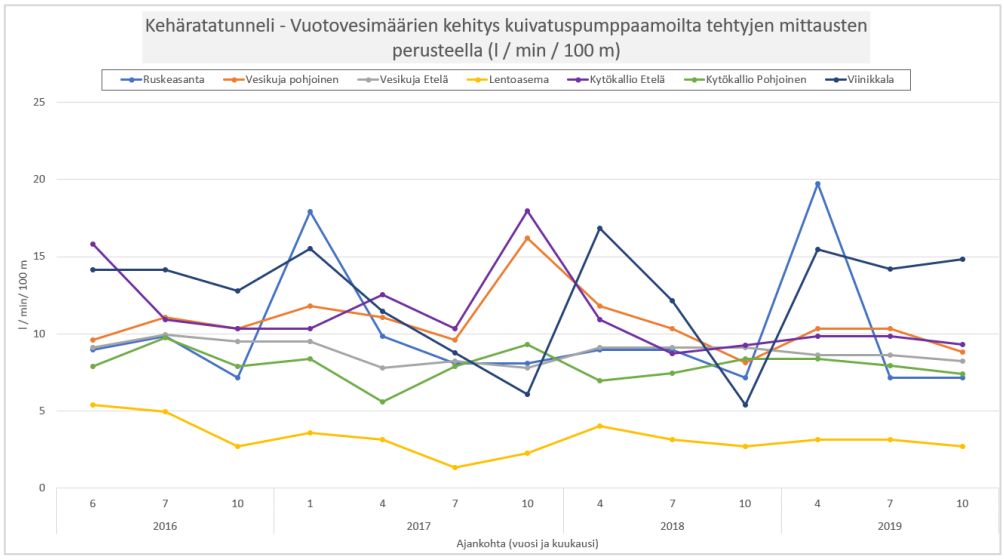
Kehäratatunnelin käytön aikana vuosina 2016-2019 useammalla pumppaamolla on mitattu vuotovesimääriä, jotka ylittävät 10 l/min/100 m (kuva 36). Eniten vuotovesiä on kertynyt Viinikkalan, Kytökallio Etelän, Vesikuja Pohjoisen ja Ruskeasannan altaisiin vettä keräävältä tunneliosuuksilta. Näiltä tunneliosuuksilta tulevissa vuotovesimäärissä on vielä melko suurta vaihtelua. Pienimmät vuotovesimäärät on mitattu Lentoaseman ajotunnelin pumppaamon altaaseen vettä keräävältä tunneliosuudelta. Myös pienimmät rakentamisen aikaiset kalliopohjaveden painetason alenemat on mitattu Lentoaseman alueelta. Viinikkalan, Ruskeasannan ja Kytökallio Etelän pumppaamoiden keräysväleillä todettiin muutamissa havaintoputkissa yli viiden metrin suuruinen, rakentamisen aikainen kalliopohjaveden painetason alenema.

Savion rautatietunnelin ja Kehäratatunnelin tavoitteellisista vuotovesimääristä ei ollut käytössä olleissa aineistoissa tietoa, joten vertailua vuotovesimäärätavoitteisiin ei voitu tehdä.

Tampereen Rantatunnelin osalta tietoa mitatuista vuotovesimääristä saatiin ainoastaan vuodelta 2018, joten kuvaajaa vuotovesimäärien vuosittaisesta kehityksestä ei laadittu. Vuonna 2018 mitatut vuotovesimäärät kuitenkin pääosin alittivat kyseisen tunnelin tavoitteeksi asetetun vuotovesimäärän 10 l/min/100 m. (Sitowise 2019a).



Kuva 35. Savion rautatietunnelin kuivatuspumppaamoiden vuotovesialtaisiin kertyvien vuotovesien määrän (l/min/100 m) kehitys vuosina 2008-2019.



Kuva 36. Kehäratatunnelin kuivatuspumppaamoiden vuotovesialtaisiin kertyvien vuotovesien määrän (l/min/100 m) kehitys vuosina 2016-2019.

7.6 Kuivatus- ja vuotovesien sekä poisjohtamisojien vesien laatu – typpipitoisuus ja pH-arvo

Kalliotunneleiden rakentamisen aikaisten kuivatus- ja vuotovesien, sekä tunneleiden käytön aikaisten vuotovesien vaikutusta poisjohtamisojien veden laatuun tarkasteltiin Kehäratatunnelin sekä Savion rautatietunnelin havaintoaineistoihin perustuen. Tarkasteltaviksi parametreiksi valittiin kokonaistypen pitoisuus ja pH-arvo. Molempien tunneleiden poisjohtamisojissa on tunnelin rakentamisen aikana todettu kohonneita kokonaistypen pitoisuuksia ja pH-arvoja. Lisäksi näiden kahden parametrin valintaa voidaan perustella myös sillä, että sekä typpiyhdisteillä että pH-muutoksilla saattaa olla vesistöissä ekologisia vaikutuksia.

7.6.1 Typpipitoisuuden muutokset kuivatusvesissä ja purkuojissa

Kokonaistypen pitoisuuden muutokset Savion rautatietunnelin kuivatus- ja vuotovesissä on esitetty kuvan 37 ylemmässä kuvaajassa. Tunnelin rakentaminen aloitettiin loppuvuonna 2004, ja tunneli valmistui vuoden 2008 lopulla. Suurimmat louhinnat tehtiin vuosina 2005-2006. Rakentamisen aikaisista kuivatusvesistä on analysoitu kokonaistypen pitoisuuksia vuonna 2005, jolloin louhintojen vaikutus näkyy korkeina kokonaistypen pitoisuuksina (pitoisuudet korkeimmillaan yli 200 mg/l). Vuoden 2008 havainnoissa louhintojen vaikutusta ei ole enää selkeästi todettujen pitoisuuksien perusteella nähtävissä. Vuodesta 2017 alkaen vuotovesien kokonaistypen pitoisuudet ovat olleet korkeimmillaan tasolla 1 mg/l. Savion rautatietunnelin rakentamisen aikana vain osa kuivatusvesistä johdettiin ojiin (Heikkonen toim. 2008, s. 73). Poisjohtamisojista (näytepisteet Kaskela03, Kuninkaanmäki02 ja Jokivarsi01) tehtyjen kokonaistypen analyysien perusteella rakentamisen aikainen kuivatusvesien vaikutus lienee nähtävissä TU5_poistoveden poisjohtamisojassa Jokivarsi01 sekä TU4_poistoveden poisjohtamisojassa Kuninkaanmäki02 vuoteen 2009 saakka. Vuosina 2006-2007 kokonaistypen pitoisuuksia ei ole analysoitu.

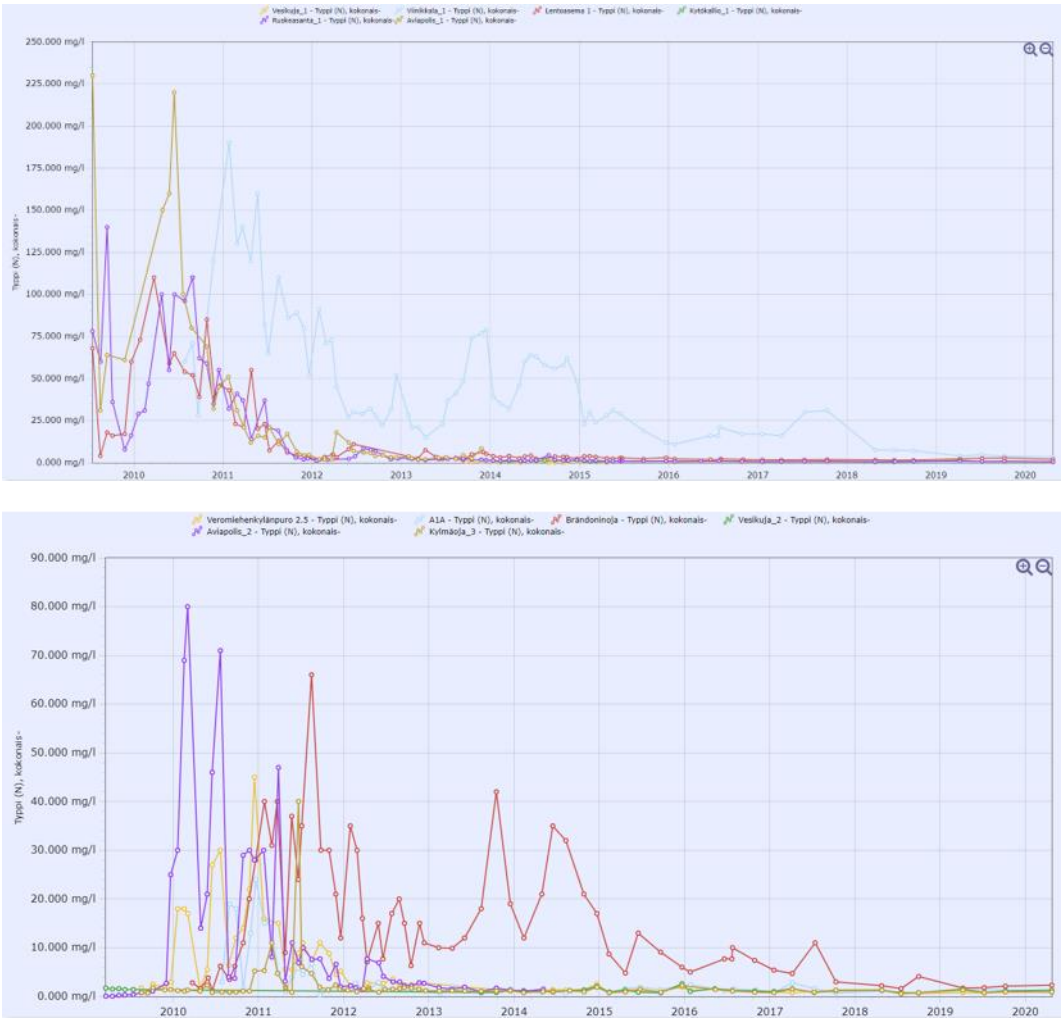
Kehäratatunnelia rakennettiin vuosina 2009-2015. Kehäratatunnelin rakentamisen aikaisissa kuivatusvesissä kokonaistypen maksimipitoisuudet ovat tasolla 200 mg/l (kuva 38, ylempi kuvaaja) eli noin samaa luokkaa kuin Savion rautatietunnelin rakentamisen aikaisissa kuivatusvesissä.

Kokonaistypen pitoisuuksia Kehäratatunnelin poisjohtamisojista on rakentamisen aikana analysoitu useammin kuin Savion rautatietunnelin poisjohtamisojista. Kokonaistypen maksimipitoisuudet Kehäratatunnelin poisjohtamisojissa ovat tasolla 80 mg/l ja Savion rautatietunnelin poisjohtamisojissa tasolla 35 mg/l (kuvat 37 ja 38, alemmat kuvaajat).

Kehäratatunnelin rakentamisen vaikutusta tunnelin kuivatus- ja vuotovesien kohonneina kokonaistyppipitoisuuksina havaitaan Viinikkalan selkeytysaltaassa vielä vuonna 2018 (kuva 38, ylempi kuvaaja). Muissa selkeytysaltaissa kokonaistypen pitoisuudet ovat laskeneet nykyiselle tasolleen (noin 0,5-2 mg/l) nopeasti vuoden 2015 jälkeen. Poisjohtamisojissa rakentamisen vaikutus näkyy samoin vielä vuonna 2018 Viinikkalan poisjohtamisojassa "Brändoninoja" (kuva 38, alempi kuvaaja). Muiden poisjohtamisojien kohdalla kokonaistyppipitoisuudet ovat laskeneet noin nykyiselle tasolleen vuonna 2016.

Typen aiheuttama kuormitus on myös Savion rautatietunnelin kohdalla ollut lyhytaikaista. Savion rautatietunnelin vuotovesissä kokonaistypen pitoisuudet laskivat jo ensimmäisenä käyttövuonna (2009) tasolle 1-3 mg/l, ja ovat viime vuosina (2016-2020) olleet tasolla 0,5-1,5 mg/l. Vuodesta 2016 alkaen kokonaistypen pitoisuudet ovat olleet paikoin korkeampia vuotovesien purkupaikan yläpuolella sijaitsevissa ojanäytepisteissä kuin purkupaikan alapuolella sijaitsevissa näytepisteissä. Näin ollen vuotovesillä vaikuttaa tällä hetkellä olevan osittain typpipitoisuuksia laimentava vaikutus ojavesissä.

Kuva 37. Kuvaparissa esitetään Savion rautatietunnelin vuotovesistä (ylempi kuva) sekä vuotovesien poisjohtamisojista (alempi kuva) vesinäytteissä todetut kokonaistypen pitoisuudet tarkkailun aikana. Kuvaajien värit vastaavat toisiaan siten, että näytepiste "TU3_poistovesi" on Kaskelan ojiin purkava pumppaamo, "TU4_poistovesi" Kuninkaanmäen ojiin purkava pumppaamo ja "TU5_poistovesi" Jokivarren ojiin purkava pumppaamo.



Kuva 38. Kuvaparissa esitetään Kehäradan tunnelin vuotovesistä (ylempi kuva) sekä vuotovesien poisjohtamisojista (alempi kuva) vesinäytteissä todetut kokonaistypen pitoisuudet tarkkailun aikana. Näytepiste "Vesikuja_1" on Vesikuja_2 -ojaan purkava pumppaamo, "Lentoasema 1" avo-ojaan A1A purkava pumppaamo, "Viinikkala_1" Brändoninojaan purkava pumppaamo, Kytökallio_1 Veromiehenkylänpuroon purkava pumppaamo, "Ruskeasanta_1" ojaan Kylmäoja_3 purkava pumppaamo. Rakentamisen aikaisia kuivatusvesiä johdettiin lisäksi selkeytysaltaasta Aviapolis_1 ojaan, jossa sijaitsi näytepiste" Aviapolis_2".

7.6.1.1 Kuivatusvesien aiheuttama typpikuormitus Savion rautatietunnelin purkuojissa

Purkuojiin rakentamisen aikana kohdistuneen typpikuormituksen laskennassa käytettiin hyödyksi sekä rakentamisen aikana ojavesistä mitattuja kokonaistypen maksimipitoisuuksia että vuonna 2008 Savion rautatietunneleiden pumppaamoilta mitattuja vuotovesimääriä. Rakentamisen aikaisten kuivatusvesien määrätietoja ei ollut tätä selvitystä tehtäessä käytettävissä, joten todellista ojiin johdetun kuivatusveden määrää ei ole tiedossa. Näin ollen laskennan tulosta tulee pitää hyvin karkeana suuruusluokka-arviona. Yleisesti ottaen rakentamisen aikana kuivatusvesiä muodostuu suurempia määriä kuin tunnelin käytön aikana.

Jokivarren pumppaamolle tuli vuonna 2008 vuotovesiä keskimäärin 110 m^3 / vrk (mittaukset 04/2008 – 09/2008). Jokivarren pumppaamon (TU5) purkuojasta Jokivarsi 01 mitattu kokonaistypen maksimipitoisuus rakentamisen aikana oli 35 mg/l. Näillä luvuilla laskettuna typpikuormituksen suuruusluokaksi saadaan hieman alle 4 kg/vrk, eli noin 1400 kg/vuosi. Kuninkaanmäen pumppaamon vastaavilla lukemilla laskettuna saadaan Kuninkaanmäen pumppaamon purkuojan Kuninkaanmäki02 typpikuormitukseksi hieman alle 1 kg/vrk eli 310 kg/vuosi.

Kaskelan pumppaamon purkuojassa ei ole todettu rakentamisen aikana selkeästi koholla olevia kokonaistypen pitoisuuksia, joten typpikuormitusta ei Kaskelan pumppaamon osalta laskettu.

7.6.1.2 Kuivatusvesien aiheuttama typpikuormitus Kehäratatunnelin purkuojissa

Purkuojiin rakentamisen aikana kohdistuneen typpikuormituksen laskennassa käytettiin hyödyksi sekä rakentamisen aikana ojavesistä mitattuja kokonaistypen maksimipitoisuuksia sekä Kehäratatunnelin valmistumista seuraavana vuonna 2016 Kehäradan rautatietunneleiden pumppaamoilta mitattuja vuotovesimääriä. Rakentamisen aikaisten kuivatusvesien määrätietoja ei ollut tätä selvitystä tehtäessä käytettävissä, joten todellista ojiin johdetun kuivatusveden määrää ei ole tiedossa. Yleisesti ottaen rakentamisen aikana kuivatusvesiä muodostuu suurempia määriä kuin tunnelin käytön aikana. Näin ollen laskennan tulosta tulee pitää hyvin karkeana suuruusluokka-arviona. Typpikuormitus laskettiin esimerkinomaisesti Viinikkalan pumppaamon purkuojalle Brändoninoja.

Viinikkalan pumppaamolle tuli vuonna 2016 vuotovesiä keskimäärin noin 180 m^3/vrk (mittaukset 06/2016, 07/2016 ja 10/2016). Viinikkalan selkeytysaltaan purkuojasta Brändoninoja mitattu kokonaistypen maksimipitoisuus rakentamisen aikana oli 66 mg/l. Näillä luvuilla laskettuna typpikuormituksen suuruusluokaksi saadaan noin 12 kg/vrk, eli hieman yli 4 000 kg/vuosi.

7.6.2 pH-arvon muutokset kuivatusvesissä ja purkuojissa

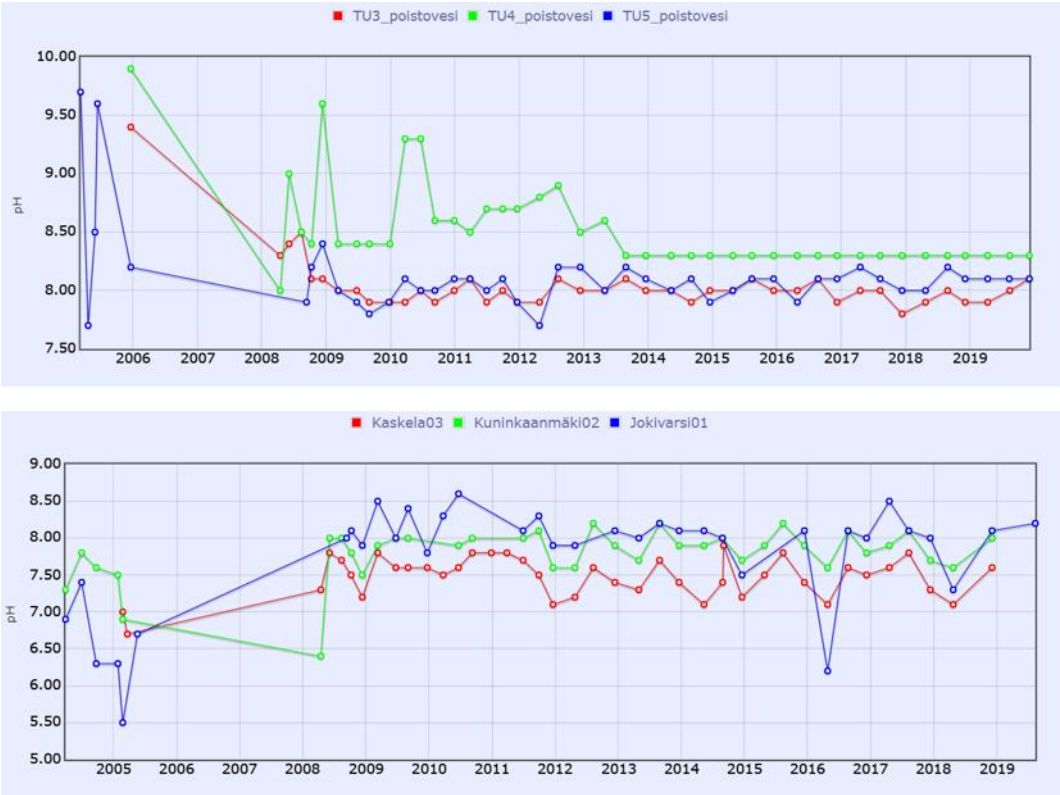
Tunneleiden rakentamisen aikaisten kuivatusvesien pH-arvot ovat olleet koholla sekä Savion rautatietunnelin että Kehäratatunnelin kohdalla (kuvat 39 ja 40, ylemmät kuvaajat).

Savion rautatietunnelin kuivatusvesien pH-arvot ovat olleet korkeimmillaan vuonna 2005, maksimissaan tasolla 9,5–10 (kuva 39, ylempi kuvaaja). Tunneliosuuden TU4_poistovesi kuivatusvesien pH-arvo on ollut koholla vuoteen 2012 saakka (noin tasolla 8,5–9). Muiden tunneliosuuksien (TU3_poistovesi ja TU5_poistovesi) pH-arvot ovat laskeneet nykyiselle tasolleen (noin 8) vuonna 2009. Tunneli otettiin käyttöön vuonna 2008.

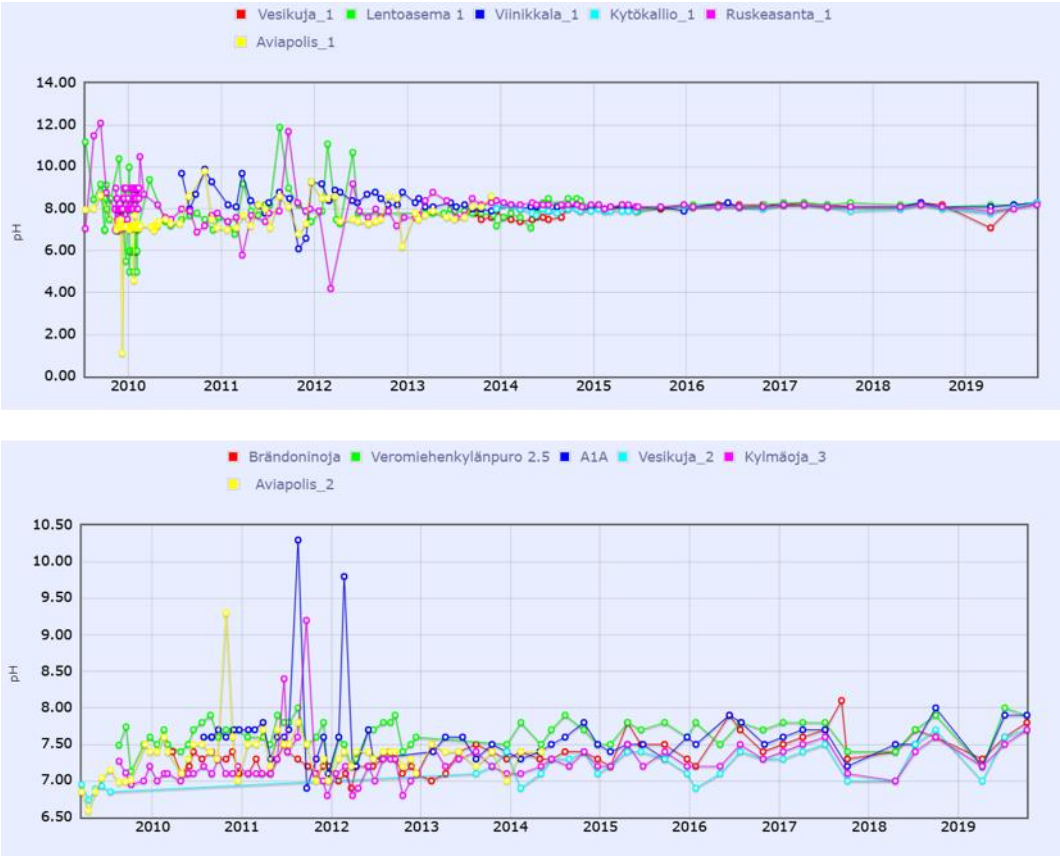
Tunnelin suunnittelun aikana ja rakentamisen alkuvaiheessa vuosina 2004-2005 vuotovesien poisjohtamisojissa pH-arvot ovat olleet hieman alhaisempia, tasolla 5,5-7,5, kuin tunnelin käyttöönottovuonna 2008 ja tämän jälkeen (kuva 39, alempi kuvaaja). Savion rautatietunnelin käytön aikana (2009->) poisjohtamisojien pH-arvot ovat olleet tasolla 7–8. Vuosina 2006-2007 poisjohtamisojista ei ole havaintoaineiston perusteella mitattu pH-arvoja.

Kehäratatunnelin kuivatusvesien pH-arvot selkeytysaltaissa ovat olleet rakentamisen aikana tasolla koholla verrattuna luonnonvesien pH-arvoihin. Maksimissaan pH-arvot ovat olleet luokkaa 10–12, pääsääntöisesti pH-arvot vaihtelevat kuitenkin 7 ja 9 välillä (kuva 40, ylempi kuvaaja). Muutamilla kerroilla pH-arvo on ollut selkeästi happaman puolella. Todetut alhaiset pH-arvot voivat liittyä ongelmiin tai häiriöihin selkeytysaltaiden pH-säädössä. Tunnelin valmistumisen jälkeen, vuodesta 2015 alkaen vuotovesien pH-arvo on ollut nykyisellä tasollaan noin 8.

Kehäratatunnelin vuotovesien poisjohtamisojissa Vesikuja_2, Kylmäoja 3 ja Veromiehenkylänpuro 2.5 pH-arvot ovat ennen rakentamista alkuvuonna 2009 olleet hieman alhaisemmalla tasolla (noin 6,5–7) kuin tunnelin käytön aikana (noin 7–8). Rakentamisen vaikutus poisjohtamisojien pH-arvoon on selkeästi näkyvissä vuosina 2010-2012 (kuva 40, alempi kuvaaja).



Kuva 39. Kuvaparissa esitetään Savion rautatietunnelin vuotovesistä (ylempi kuva) sekä vuotovesien poisjohtamisojista (alempi kuva) mitatut pH-arvot tarkkailun aikana. Kuvaajien värit vastaavat toisiaan siten, että näytepiste "TU3_poistovesi" on Kaskelan ojiin purkava pumppaamo, "TU4_poistovesi" Kuninkaanmäen ojiin purkava pumppaamo ja "TU5_poistovesi" Jokivarren ojiin purkava pumppaamo.



Kuva 40. *Kuvaparissa esitetään Kehäradan tunnelin vuotovesien (ylempi kuva) sekä poisjohtamisojien (alempi kuva) pH-arvot tarkkailun aikana. Näytepiste "Vesikuja_1" on Vesikuja_2 -ojaan purkava pumppaamo, "Lentoasema 1" avo-ojaan A1A purkava pumppaamo, "Viinikkala_1" Brändoninojaan purkava pumppaamo, Kytökallio_1 Veromiehenkylänpuroon purkava pumppaamo ja "Ruskeasanta_1" ojaan Kylmäoja_3 purkava pumppaamo. Rakentamisen aikaisia kuivatusvesiä johdettiin lisäksi selkeytysaltaasta Aviapolis_1 ojaan, jossa sijaitsi näytepiste" Aviapolis_2".*

8 Yhteenveto havainnoista

8.1 Käytössä oleva ohjeistus ja nykykäytännöt

Työn aikana havaittiin, että kalliotunneleiden rakentamisen pohjavesivaikutusten arvioinnin ja tarkkailun suunnittelun käytäntöjä ei ole ohjeistuksen tai vastaavan muodossa Suomessa saatavilla. Kansainvälisistä tunnelirakentamista koskevista teoksista löytyy tietoa melko yleisellä tasolla, mutta kohdekohtainen kalliotunneleiden pohjavesivaikutusten arviointi ja pohjaveden hallintatoimenpiteiden suunnittelu vaikuttaa kuitenkin käytännössä perustuvan pääosin kokeneiden suunnittelijoiden käytännön kokemuksiin.

Väyläviraston laatima ohje "Kalliotunnelin kalliotekninen suunnitteluohje" kytkeytyy vahvasti tunnelin elinkaaren eri vaiheisiin (suunnittelun vaiheet, rakentamisvaihe ja käyttö- ja kunnossapitovaihe). Kalliotunnelin pohjavesivaikutusten arviointia ja pohjaveden hallintaa on ohjeessa kuvattu hyvin yleisellä tasolla ja viitattu kohdekohtaiseen tarkasteluun.

Työn aikana läpikäytyjen kolmen esimerkkitunnelin pohjavesiaineistojen perusteella arvioidaan, että kalliotunneleiden pohjavesivaikutusten arvioinnin ja tarkkailun suunnittelun ohjeistusta on mahdollista kehittää esimerkiksi ohjeellisen aikataulun, keskeisten tutkimusmenetelmien, tarkkailupisteverkon suunnittelun ja geologisen ympäristön huomioimisen suhteen.

Kaikkien kolmen tarkastellun kalliotunnelihankkeen (Savion rautatietunneli, Kehäratatunneli, Tampereen Rantatunneli) suunnitteluvaiheiden aikataulut ovat poikenneet toisistaan, ja pohjavesivaikutusten arviointiin liittyvät tutkimukset ovat tarkentuneet suunnitteluprosessin edetessä pitkälti tunnelikohtaisten tarpeiden mukaan, jotka eivät kuitenkaan ole selkeästi kohdistettavissa tiettyyn vaiheeseen. Kaikissa kolmessa tarkastellussa tunnelihankkeessa oli kuitenkin muutamia pohjavesivaikutuksia koskevia selvityksiä tai suunnitelma-asiakirjoja, jotka ajoittuivat tiettyyn suunnitelmavaiheeseen:

- Pohjavesiseurannan aloittaminen yleissuunnitelmavaiheessa (4-6 vuotta ennen rakentamisen aloittamista)
- Pohjaveden tarkkailuohjelman laatiminen kalliotunnelin suunnittelun ajalle yleissuunnitelmavaiheessa
- Vesilain mukaisen luvan hakeminen tie- / ratasuunnitelmavaiheessa
- Rakentamisen aikaisen pohjaveden tarkkailuohjelman laatiminen tie-/ratasuunnitelmavaiheessa
    - Rakentamisen ajalle laadittu tarkkailuohjelma on liitetty vesilupahakemukseen
    - Tarkkailuohjelma on päivitetty päätöksen lupaehtojen mukaisesti lupapäätöksen antamisen jälkeen

Pohjaveden tarkkailuohjelmat kalliotunnelin käytön ajalle oli Savion rautatietunnelin sekä Kehäratatunnelin osalta laadittu erillisinä dokumentteina tunnelin käyttöönottovaiheessa. Tampereen rantatunnelin osalta aineistoista ei löytynyt tunnelin käyttö- ja kunnossapitovaiheelle laadittua erillistä pohjavesivaikutusten tarkkailuohjelmaa. Ennen rakentamista laaditussa Tampereen Rantatunnelin ympäristön muutoksen seurantaohjelman liitteessä 1 on esitetty seurantaohjelman päivitystä sekä vuonna 2016 (tunnelin käyttöönottovuonna), että tar-

vittaessa vuonna 2020 (päivitys pitkäaikaisseurantaa varten) (Ympäristön muutoksen seurantaohjelma, Valtatie 12 (Tampereen Rantaväylä) välillä Santalahti-Naistenlahti 2011).

Kaikkien tarkasteltujen tunneleiden suunnitteluvaiheessa laadituissa tarkkailuohjelmissa on esitetty tarkkailutiheydet pohjaveden painetason mittauksille, pohjaveden laatuseurannalle, tunnelin kuivatus- ja vuotovesien seurannalle sekä painumamittauksille kaikissa tunnelin elinkaaren vaiheissa. Tarkkailuohjelmissa on esitetty tarkkailuohjelmat päivitettäviksi vielä ennen rakentamista ja rakentamisen jälkeen.

Suunnitelma-asiakirjoja, jotka olisivat sisältäneet pohjaveden hallintaan liittyvät tiedot tunnelilinjaukselle osuvista pohjaveden alenemiselle herkistä kohteista ja haittavaikutuksia ehkäisevistä toimenpiteistä, rikkonaisista kallio-osuuksista, tavoitteellisista vuotovesimääristä tai vuoto- ja kuivatusvesien määrän mittaamisesta ja käsittelystä työn aikana ei tarkasteltujen tunneleiden osalta ollut tätä työtä tehtäessä käytettävissä. Väyläviraston vuonna 2019 julkaistun Kalliotunnelin kallioteknisen suunnitteluohjeen mukaisesti pohjaveden hallinnan yleissuunnitelma laaditaan yleissuunnitelmavaiheessa (Väylävirasto 2019). Helsingin kaupungin Risto Niinimäen (2020) kokemuksen mukaan kallio-rakentamista koskevat pohjaveden hallintasuunnitelmat laaditaan toisinaan osaksi urakkaohjelmia. Tämä voi olla syynä siihen, että näitä hallintasuunnitelmia ei arkistoista löytynyt.

8.2 Pohjaveden painetason luontainen vaihtelu ja geologisen ympäristön vaikutus

Pohjaveden painetason vuodenaikaisvaihtelu ennen tunnelin rakentamista eli suunnitteluvaiheessa on esimerkkitunneleiden havaintojen perusteella ollut keskimäärin luokkaa 0,5-2 metriä. Erot kallio- ja maaperän pohjaveden painetasojen vaihteluissa näyttivät olevan tunnelikohtaisia, eikä voida sanoa, että kallioperän pohjaveden painetasot vaihtelisivat maaperän pohjaveden painetasoja enemmän tai toisin päin. Tunneleiden rakennusaika näkyy selvästi aiempaa suurempana kalliopohjaveden painetason vaihteluna. Tämä kuvaajilla näkyvä suurempi vaihtelu johtuu rakentamisen aikaisesta kalliopohjaveden alenemasta. Kalliopohjaveden painetason vaihtelu on Kehäratatunnelin sekä Savion rautatietunnelin kohdalla palannut tunneleiden käytön aikana rakentamista edeltävälle tasolle, mutta Tampereen rantatunnelin kohdalla kalliopohjaveden painetasojen vuosittainen vaihtelu on vielä vuonna 2019 ollut suurempaa kuin rakentamista edeltävänä ajanjaksona.

Tunnelirakentaminen ei ole vaikuttanut maaperän pohjaveden painetasoon kaikissa tarkastelluissa tunnelihankkeissa. Tunnelirakentaminen on vaikuttanut maaperän pohjaveden painetasoihin enimmäkseen tunnelien suuaukkoalueilla. Myös ajotunneleiden tai pystykuilujen rakentaminen on saattanut alentaa maaperän pohjaveden painetasoja. Niillä alueilla, joilla ei ole tehty rakentamisen aikana merkittäviä kaivantoja, ja joilla maaperän pohjaveden alenemaa on kuitenkin todettu, maa- ja kallioperän pohjavesillä on todennäköisesti hydraulinen yhteys. Maaperän pohjaveden painetasojen alenemisen haitallinen vaikutus on yleensä suurin rakennetuilla alueilla, joilla on maavaraisille perustuksille tai puupaaluille perustettuja rakennuksia tai rakenteita.

Savion rautatietunnelin ja Kehäratatunnelin alueella todettiin pohjaveden painetasoissa selkeää vuodenaikaisvaihtelua. Tampereen Rantatunnelin osalta ei vastaavaa vuodenaikaisrytmiä ole nähtävissä. Pohjaveden painetasojen vuodenaikaisvaihteluiden tunnistaminen on tärkeää pohjaveden painetasojen tarkkailun suunnittelussa koko tunnelin elinkaaren aikana. Esimerkiksi jos rakentamisen aikana mitataan aiempaa alhaisempia pohjaveden painetasoja loppukesällä, kysymys saattaa olla vähäsateisen kesän jälkeen luontaisesti alhaisemmista pohjavesipinnoista. Esimerkkitunneleiden pohjavesihavaintoaineistoista lasketun keskimääräisen kuukausitasoisen pohjaveden painetasojen vaihtelun perusteella arvioidaan, että eri vuosina samana näytteenottoajankohtana ero mitatuissa pohjaveden painetasoissa voi olla 1,5-2 metrin luokkaa, mikä johtuu edeltävän ajanjakson sääolosuhteista (sadanta, lämpötila, lumipeitteen paksuus, pakkaskauden pituus). Kalliopohjavesiaineistoista lasketut keskimääräiset kuukausitasoiset vaihteluvälit olivat suurempia, mutta todennäköisesti tulokseen on vaikuttanut tunnelirakentamisen aiheuttama väliaikainen kalliopohjaveden painetason alenema suurella osalla tunnelilinjaa.

Pohjaveden painetasojen käyttäytymisen ja sääolosuhteiden vaikutuksen tunteminen on oleellista esimerkiksi pohjaveden painetasojen mittausajankohtien määrittämisen kannalta. Tapauskohtaisesti voidaan räätälöidä tarkkailuohjelma (tarkkailtavat havaintoputket ja tarkkailutiheys) vastaamaan paremmin kohdetta siten, että tehtävien havaintojen perusteella on mahdollista erottaa sääolosuhteiden vaikutus rakentamisen vaikutuksesta. Pohjaveden painetasojen muutokset ovat alueellisia ja nyt tehtyjen tarkastelujen havaintoja ei voida suoraan soveltaa koko Suomessa.

Savion rautatietunnelin osalta on nähtävissä kalliopohjaveden painetasoissa muutosta (alenemaa) noin 200 metrin etäisyydelle tunnelilinjasta. Vastaavasti Kehäratatunnelin osalta vaikutuksia oli nähtävissä alle 200 metrin etäisyydellä tunnelinjasta. Maaperän pohjaveden painetasoissa sen sijaan selvää vaikutusaluetta ei tehtyjen havaintojen perusteella ole nähtävissä. Koska tutkitussa aineistossa tunnelirakentamisen vaikutus maaperän pohjaveden painetasoihin on ollut vähäisempää, ei tilastollisen tarkastelun perusteella voida luotettavasti erottaa tunnelirakentamisen ja luontaisen hydrogeologisen vuosikierron vaikutuksia toisistaan.

Maaperän pohjaveden painetasojen muutokseen vaikuttaa pohjavesimuodostuman tyyppi (avoin vai suljettu akviferi). Paineellisessa pohjavesimuodostumassa, jota rajaa yläpuolella huonosti vettä läpäisevä tai vettä läpäisemätön maakerros (esim. savikerros), pohjaveden painetasojen sääolosuhteista riippuva vuodenaikaisvaihtelu on yleensä suurempaa kuin avoimen systeemin pohjaveden painetasojen vaihtelu. Kuitenkaan savialueiden alapuolisissa suljetuissa pohjavesimuodostumissa havaittavat pohjaveden painetason vaihtelut tai muutokset eivät välittömästi vaikuta savikerroksen vesipitoisuuteen, eikä alenemalla siinä tapauksessa ole välitöntä haittavaikutusta maanpinnan rakenteille.

Selvityksessä oli käytössä vuotovesimäärätietoja tunnelien rakentamisen jälkeiseltä ajalta. Laskennalliset vuotovesimäärät ovat vaihdelleet välillä 0-20 l/min/100 m. Savion rautatietunnelin vuotovesien osalta voidaan todeta, että suurimmat vaikutukset kalliopohjaveden painetasoihin ovat nähtävissä tunneliosuudella, josta on myös mitattu suurimmat vuotovesimäärät. Myös Kehäratatunnelin osalta suurimmat vuotovesimäärät näyttävät kertyvän tunneli-

osuuksilta, joilla kalliopohjaveden painetasoissa on todettu arvioitua suurempaa alenemaa kalliopohjaveden painetasoissa. Kallioperän rikkonaisuudella on luonnollisesti ratkaiseva vaikutus vuotovesimääriin. Lisäksi käytön aikaisiin vuotovesimääriin vaikuttavat todennäköisesti kalliotunnelin tiiveystavoitteet, tiivistämismenetelmät sekä tiivistämisen onnistuminen.

Maaperän pohjaveden painetasomuutosten ja vuotovesimäärien välillä ei ole nähtävissä selvää yhteyttä. Tampereen rantatunnelin osalta vuotovesiä kerätään yhteen pumppaamoaltaaseen, joten alueellista analyysia ei voitu tehdä.

Geologian tutkimuskeskuksen kallioperäaineistossa esitetyn kivilajin ja kalliopohjaveden painetasojen käyttäytymisen välillä ei havaittu esimerkkitunneleiden kohdalla yhteyttä. Tunnelirakentamisen aiheuttamiin muutoksiin kalliopohjaveden painetasoissa vaikuttavat pääosin kallion rikkonaisuus, rakoilutyyppi, rakojen avoimuus, pohjavesipinnan taso rakosysteemiin nähden ja rakojen väliset yhteydet.

Kallioperän rakoilun syntytapoja on useita, ja kallioperän heikkousvyöhykkeiden sijainti ei siksi ole kivilajista riippuvaista. Pitkälle edenneet kallioperän ruhje- ja murrosvyöhykkeet ovat ympäröivää kallioperää heikompina kuluneet matalammiksi jäätikön ja eroosion vaikutuksesta. Ne ovatkin yleensä maapeitteiden peittämiä, ja mahdollisesti näkyvät maastossa notkoina. (Väyläviraston ohjeita 41/2015).

Kalliopainaumien alueilla tunnelirakentamisesta johtuvat muutokset kalliopohjaveden painetasoissa sekä tunnelin vesivuodot ovat todennäköisempiä. Hyvin vettä johtavalla maa-aineksella peittyneissä kalliopainaumissa (esim. harjuytimet) kallio- ja maaperän pohjaveden välinen hydraulinen yhteys on yleensä hyvä, jolloin kalliopohjaveden painetason alenema voi myös vaikuttaa selkeämmin maaperän pohjaveden painetasoon.

Vaikka suoraa korrelaatiota kivilajin ja pohjaveden painetason aleneman välillä ei aineiston perusteella havaittu, vaikuttaa kivilaji vallitsevaan rakoilutyyppiin ja siten mm. rakoverkoston yhtenäisyyteen. Suuntautuneissa liuskeissa rakoilu on usein ns. laattarakoilua, ja päärakoilusuunta seuraa kivilajin liuskeisuutta, jolloin havaintoputkista saatava informaatio riippuu todennäköisesti siitä, miten havaintoputket sijoittuvat liuskeisuuteen nähden. Suuntautumattomissa graniittisissa kivilajeissa yleinen rakoilutyyppi on kuutiorakoilu, jolloin kalliopohjaveden painetasojen muutokset voivat yhtenäisen rakoiluverkoston vuoksi näkyä laajemmin. Gneisseissä esiintyy kiilarakoilua. Kiilarakoilleessa kalliossa on vähintään kaksi muita selkeämpää rakosuuntaa, jotka leikkaavat toisiaan muodostaen kiilamaisia lohkoja, ja rakoiluverkosto on yhtenäinen. (Väylävirasto 2015).

8.3 Kuivatusvesien laatumuutokset

Selvityksen yhteydessä tarkasteltiin louhintojen vaikutusta vuotovesien laatuun ja edelleen vuotovesien poisjohtamisojien vedenlaatuun. Savion rautatietunnelin ja Kehäratatunnelin vuotovesisissä todettiin enimmillään luokkaa 200 mg/l olevia kokonaistyppipitoisuuksia. Vuotovesien kokonaistyppipitoisuudet laskevat kohtalaisen nopeasti louhintojen jälkeen. Sekä Savion rautatietunnelin että Kehäratatunnelin vuotovesien kokonaistyppipitoisuudet laskivat poisjohtamisojien typpipitoisuuden tasolle (noin 2 mg/l) tunnelin käyttöönottovuoden aikana.

Tunneleiden rakentamistöiden aikana purkuojista mitattujen kokonaistypen maksimipitoisuuksien perusteella laskettiin karkeasti purkuojiin kohdistunutta typpikuormitusta. Työn aikana purkuojiin johdetuista vesimääristä ei ollut tietoa, joten vesimääränä käytettiin tunneleiden käytön aikana kyseiseen purkuojaan purkavilta pumppaamoilta mitattuja keskimääräisiä vuotovesimääriä, jotka saattavat erota merkittävästi työn aikana ojiin johdetuista vesimääristä. Yleisesti ottaen rakentamisen aikana kuivatusvesiä muodostuu suurempia määriä kuin tunnelin käytön aikana. Kokonaistyppikuormitus vaihteli näin laskettuna välillä 1-12 kg/vrk. Vertailun vuoksi todettakoon, että Suomen ympäristökeskuksen tilastojen mukaan Vantaanjoen kokonaistyppikuormitus on vuosina 2000-2016 vaihdellut välillä 555-1972 t/v, eli 1 540-5 480 kg/vrk (Suomen ympäristökeskus 2017).

Tunnelirakentaminen (tiivistystyöt) nostivat tarkasteltujen Kehäratatunnelin sekä Savion rautatietunnelin vuotovesien pH-arvoja. Savion rautatietunnelin alueella mitattiin kuivatusvesistä maksimissaan tasolla 9,5-10 olevia pH-arvoja ja Kehäratatunnelin alueella tasolla 10-12 olevia pH-arvoja. Poisjohtamisojista mitatut pH-arvot olivat hieman matalampia: Savion rautatietunnelin kohdalla maksimissaan luokkaa 8,5, ja Kehäratatunnelin kohdalla luokkaa 10. Tällä hetkellä molempien tunneleiden vuotovesien pH-arvot ovat luokkaa 8-8,5. Vuotovesillä vaikuttaa olevan poisjohtamisojan vesien pH-arvoa nostava vaikutus purkupaikkojen alapuolisissa ojanäytepisteissä. pH:n nousulla voi olla vaikutusta mm. arseenin ja joidenkin metallien liukoisuuteen. Tämän selvityksen yhteydessä ei tarkasteltu tunnelien poistovesien mahdollista vaikutusta esimerkiksi metallien liukoisuuteen purkuojien alueella.

9 Selvityksessä käytettyjen menetelmien sekä hyödynnetyn aineiston arviointi

Liikenteelle rakennettavien kalliotunnelien pohjavesivaikutuksia käsittelevän selvityksen tekeminen koettiin tarpeelliseksi, koska maanalainen rakentaminen todennäköisesti lisääntyy tulevaisuudessa ja kalliotunnelien pohjavesivaikutusten arviointiin tai tarkkailuun liittyen ei ole laadittu ohjeistusta tai taustaselvityksiä. Sekä aihekokonaisuus että käytössä olleet aineistot olivat laajoja ja selvityksessä tarkemmin tarkastellut asiat täsmentyivät työn edetessä.

Alkuperäisenä ajatuksena oli koota tarkasteltavista tunneleista ainakin pohjavesiselvityksiin liittyvät aineistot, eli vesilupahakemukset, pohjaveden tarkkailusuunnitelmat, ympäristötarkkailuraportit, sekä pohjaveden hallintasuunnitelmat (tai vastaava dokumentti), ja kalliotutkimustulokset. Kaikkia aineistoja ei saatu käyttöön, ja lopullisessa selvityksessä käytettiin pääosin pohjaveden tarkkailusuunnitelmien, ympäristötarkkailuraporttien sekä vesilupapäätösten tietoja. Pohjavesitarkkailun havaintoaineistot saatiin sähköisessä muodossa käyttöön kaikista kolmesta tarkastellusta tunnelista, ja tämä antoi selvitykselle hyvän pohjan. Kallioperän heikkousvyöhykkeiden sijainnit saatiin selville Kehäratatunnelin ja Tampereen Rantatunnelin osalta suunnitteluaineistoista, Savion rautatietunnelin osalta käytettiin GTK:n tunnelikartoituksesta laatimia raportteja.

Aineistojen osalta voidaan vielä todeta, että niiden perusteella ei saatu kaikilta osin selville pohjavesivaikutusten arviointiin liittyvien selvitysten tarkkaa sisältöä. Esimerkiksi Savion rautatietunnelin osalta mainittiin, että Kuusijärven hydrogeologia tutkittiin tarkoin, mutta käytössä olleista aineistoista ei selvinnyt, minkälaisia tutkimuksia oli tehty.

Pohjaveden painetasoihin liittyvät tarkastelut perustuvat esimerkkitunneleiden havaintoaineistoista tehtyihin tilastollisiin tarkasteluihin. Etenkin Kehäratatunnelin ja Savion rautatietunnelin aineistot pohjaveden painetasojen osalta olivat todella laajat, joten tilastollisen tarkastelun arvioidaan antaneen pääosin oikeansuuntaisia tuloksia. Esimerkiksi pohjaveden painetasojen vuodenaikaisvaihtelu saatiin hyvin näkyville. Pohjaveden keskimääräistä kuukausittaista vaihtelua tarkasteltaessa on huomioitava, että havaintoputket sijoittuvat pääosin lähelle tunnelilinjaa. Näin ollen etenkin tunnelirakentamisen vaikutus näkyy kalliopohjaveden painetasoissa suuressa osassa havaintoputkia. Rakentamisen vaikutusta kuukausittaisiin vaihteluihin pyrittiin minimoimaan jättämällä laskennoista pois ne kalliopohjavesiputket, joihin tunnelirakentaminen on selvästi ja pysyvästi vaikuttanut. Kuitenkin, koska tunnelirakentaminen oli vaikuttanut lyhytaikaisesti lähes kaikkiin lähellä tunnelilinjaa sijaitseviin kalliopohjavesiputkiin, rakentamisen vaikutus näkyy tuloksissa todennäköisesti todellista suurempana kalliopohjaveden kuukausittaisena vaihteluvälinä.

Tilastollisen tarkastelun heikkoutena voidaan pitää myös sitä, että tunnelirakentamisen vaikutusta ei pysty erottamaan alueella mahdollisesti samanaikaisesti tapahtuneen muun rakentamisen vaikutuksista. Tilastollisen tarkastelun avulla saatiin tästä huolimatta muodostettua hyvä yleiskuva aiheesta, koska havaintoaineistot olivat suuria ja havaintoja oli pitkältä aikaväliltä.

10 Kalliotunneleiden pohjavesivaikutusten tarkkailun ja arvioinnin kehittämistarpeita

Työn tuloksena tunnistettiin asioita, joita tulisi huomioida kalliotunneleiden pohjavesivaikutusten arviointia ja tarkkailua koskevassa tulevaisuudessa laadittavassa ohjeistuksessa.

Kalliotunnelin suunnitteluvaiheessa, kun määritetään pohjavesivaikutusten tarkkailun sisältöä, tunnelirakentamisen kohteessa mahdollisesti aiheuttamat pohjavesivaikutukset tulisi kuvata mahdollisimman kattavasti esimerkiksi käsitteellisen mallin avulla. Käsitteellisen mallin laatimista varten tulee määrittää alue, jonka ympäristöön kalliotunnelin rakentamisella arvioidaan olevan vaikutusta (mahdollinen vaikutusalue). Mahdollisen vaikutusalueen määrittämisen lähtökohtana voidaan pitää suunnittelukohteen valuma-alueiden hahmottamista. Kun valuma-alueet on määritetty, voidaan laskennallisesti määrittää niille vesitaseet. Julkisesti saatavilla olevaa avointa dataa (esim. sademäärät ja pohjavesiasemien tiedot) voidaan käyttää vesitaselaskennan lähtötietoina. Vesitaseen avulla on helpompi arvioida esimerkiksi tunnelin vuotovesien vaikutusta poisjohtamisojien virtaamiin tai lähdevirtaamiin. Tietoa vesitaseesta tarvitaan myös pohjaveden virtausmallinnuksessa.

Mahdollisella vaikutusalueella tulisi tarkastella ainakin rakennusten ja rakenteiden painumariskiä, kaivojen kuivumista (porakaivot tai maalämpökaivot), pohjaveden laadun heikkenemistä, lähdealueita tai herkkiä vesistöjä. Näin voidaan arvioida kalliotunnelin todelliset vaikutukset ja rajata alueet, joilla tunnelin aiheuttamat vaikutukset aiheuttavat jonkinlaista haittaa. Käsitteellistä mallia täydennetään hankkeen edetessä.

Käsitteellisessä mallissa rajatut haitallisen vaikutuksen alueet ovat hyvä lähtökohta tarkkailupisteverkon ja tarkkailun sisällön suunnittelulle. Suunnittelun alkuvaiheessa, kun tutkimustietoa on vasta vähän, ja tunnelin lopullinen linjaus saattaa olla avoin, voi kuitenkin olla perusteltua rakentaa käsitteellisessä mallissa arvioituihin vaikutusalueisiin ja vaikutuksiin nähden laaja tarkkailupisteverkko. Myöhemmissä suunnittelun vaiheissa, kun tarkkailu- ja tutkimustietoa on enemmän, tarkkailua voidaan tarpeen mukaan supistaa tai tarkentaa. Ympäristötarkkailu on osa kalliotunnelihankkeen riskienhallintaa. Riskinhallintatoimenpiteiden tarve ja laatu muuttuvat hankkeen edetessä.

Tässä työssä tilastollisesti tarkasteltujen havaintoaineistojen perusteella tunnelirakentamisen aiheuttamaa selvää kalliopohjaveden alenemaa on todettu maksimissaan 200 metrin etäisyydellä tunnelilinjasta. Maaperän pohjaveden alenemaa on todettu enimmäkseen tunnelin suuaukkoalueilla, ja paikoin pystykuilujen ja ajotunneleiden läheisyydessä. Lisäksi alueilla, joilla maa- ja kallioperän pohjavesimuodostumien välillä on hyvä hydraulinen yhteys, on todennäköistä, että kalliopohjaveden painetason laskiessa myös maaperän pohjaveden painetaso laskee.

Maaperän pohjavesimuodostuman tyypillä (paineellinen vai vapaa akviferi) arvioidaan olevan vaikutusta maaperän pohjaveden painetason aleneman aiheuttamaan rakennusten ja rakenteiden painumariskiin. Paineellisen pohjaveden painetason muutokset ja aleneminen eivät välittömästi johda savikerroksen kuivumiseen. Savikoilla tapahtuvien painumien syynä voivat olla orsiveden pinnan

muutokset ja tai esimerkiksi saven pintaosaa kuivattavat kaivannot tai rakenteet. Tästä syystä tulisi arvioida, saadaanko savikerroksen alapuolisesta maaperästä tehdyllä painetasomittauksilla riittävää tietoa arvioitaessa esimerkiksi rakenteiden painumisriskiä.

Tunnelirakentamisen haitallisia vaikutuksia arvioitaessa on tärkeää tunnistaa tunnelin vaikutusalueella olevien pintavesistöjen ja kalliopohjaveden väliset hydrauliset yhteydet. Pohja- ja pintavesinäytteistä tehtävät vedyn ja hapen isotooppianalyysit ovat melko yksinkertainen tapa selvittää asiaa. Isotooppitutkimukset nähdäänkin hyvänä lisänä suunnitteluvaiheen pohjavesiselvityksiin, mikäli tunnelin vaikutusalueella on pintavesistöjä, joiden vesitaseeseen tunnelirakentamisella saattaa olla vaikutusta.

Tunnelilinjauksen geologisen ympäristön hahmottaminen kokonaisuudessaan on tärkeää tarkoituksenmukaisen pohjavesivaikutusten tarkkailun suunnittelun näkökulmasta katsottuna. Pohjavesipinnan alapuolelle rakennettavat kalliotunnelit alentavat kalliopohjaveden painetasoa tunnelilinjan kohdalla yleensä joko väliaikaisesti tai pysyvästi. Tähän aleneman ajalliseen kestoon sekä alueelliseen laajuuteen vaikuttaa tämän selvityksen perusteella tunnelin tiiveystavoitteiden ja tiivistyksen onnistumisen ohella kallioperän rikkonaisuus alueella.

Eri kivilajeilla on omanlaisensa rakoilutaipumus, ja siten kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeessä kallion vedenjohtavuuteen vaikuttaa se, miten hyvin raot ovat yhteydessä toisiinsa sekä rakojen avoimuus. Lisäksi rakoilu on yleensä voimakkaampaa kallion pintaosissa, jolloin myös tunnelin taso kalliopinnan tasoon nähden vaikuttanee alenemaan. Esimerkiksi näistä näkökulmista on mahdollista arvioida, millä alueilla tunnelirakentaminen saattaa vaikuttaa laajemmin kalliopohjaveden painetasoihin ja käyttö- ja kunnossapitovaiheissa tunneliin tuleviin vuotovesimääriin.

Kalliotunnelin käyttö- ja kunnossapitovaiheessa kalliotunnelitilaan tulevien vuotovesien määrään vaikuttavat ensisijaisesti kallioperän rikkonaisuus, tunnelin tiiveystavoitteet ja tiivistämisen onnistuminen. Toisaalta tietyillä kallioperän ominaisuuksilla voi olla vaikutusta vuotovesimäärien ennakoinnin onnistumisen kautta tiivistyssuunnittelun onnistumiseen tai itse tiivistämistyön onnistumiseen. Kalliotunneliin tulevat vuotovedet lisäävät kunnossapitokustannuksia kalliotunnelin käytön aikana, mutta toisaalta tunnelin tiivistäminen vesitiiviiksi on kallista, jolloin koko tunnelia ei yleensä suunnitella vesitiiviiksi. Tavoitteellisiin vuotovesimääriin pääseminen onkin osa tunnelin elinkaaren aikaisten kustannusten hallintaa. Tiivistämisen tai tiivistämisen suunnittelun kannalta haastavien geologisten rakenteiden tunnistaminen kalliotunnelin suunnitteluvaiheessa nähdään yhtenä kalliotunneleiden pohjavesivaikutusten hallinnan kehittämiskohteena.

Jokaisessa kalliotunnelin elinkaaren vaiheessa pohjavesitarkkailun suunnittelussa käytetään apuna edeltävissä vaiheissa laadittuja pohjavesivaikutusten tarkkailutuloksia sekä tarkkailusuunnitelmia. Parhaaseen tulokseen tarkoituksenmukaisen pohjavesitarkkailun suhteen päästään, kun käytössä olevissa suunnitelmissa on esitetty tarkkailun perusteet kattavasti ja alueellisesti, ja raportteihin kirjattu johtopäätökset yllättävistä tai poikkeavista havainnoista. Mikäli tiedot alueen geologiasta (kallioperän heikkousvyöhykkeet, maaperätiedot) on esitetty erillisissä dokumenteissa (esim. pohjaveden hallintasuunnitelma) tulisi nämäkin dokumentit saada käyttöön tarkkailuraportteja ja tarkkailusuunnitelmia laadittaessa.

Mahdollisten pohjaveden painetasomuutosten syitä arvioitaessa tulisi pyrkiä erottamaan tunnelirakentamisen vaikutukset sääolosuhteiden vaikutuksista. Tämän vuoksi tarkkailupisteitä olisi hyvä asentaa myös selvästi arvioidun tunnelin vaikutusalueen ulkopuolelle. Näistä ns. taustapisteistä tulisi tehdä pohjaveden painetasomittauksia samanaikaisesti tunnelilinjan läheisyydessä tehtävien mittausten kanssa, jotta tuloksia on tarvittaessa mahdollista verrata keskenään. Tarkkailuraporteissa näiden taustapisteiden tarkoitus tulisi tuoda selkeästi esiin.

Kalliotunnelin kallioteknisessä suunnitteluohjeessa (Väyläviraston ohjeita 28/2019) esitetään, että pohjaveden painetason mittaukset tulisi aloittaa vähintään vuosi ennen rakennustöiden aloittamista. Huomioiden vuosittaisten sääolosuhteiden aiheuttamat erot pohjaveden vuodenaikaisvaihteluun, olisi suositeltavaa aloittaa painetasomittaukset useampaa vuotta ennen hanketta erityisesti suurempien tunnelihankkeiden kohdalla. Tarkasteltujen tunneleiden osalta pohjaveden painetasojen seuranta oli aloitettu 4-6 vuotta ennen rakentamista. Tätä suuruusluokkaa olevaan ajanjaksoon sisältyy todennäköisemmin myös sellainen vuosi, jolloin pohjaveden painetasot ovat lähellä normaalia pitkäaikaiskeskiarvoa. Lisäksi taustapisteistä voidaan seurata mahdollista sääolosuhteiden vaikutusta pohjavesipintoihin, kuten edellisessä kappaleessa kuvattiin.

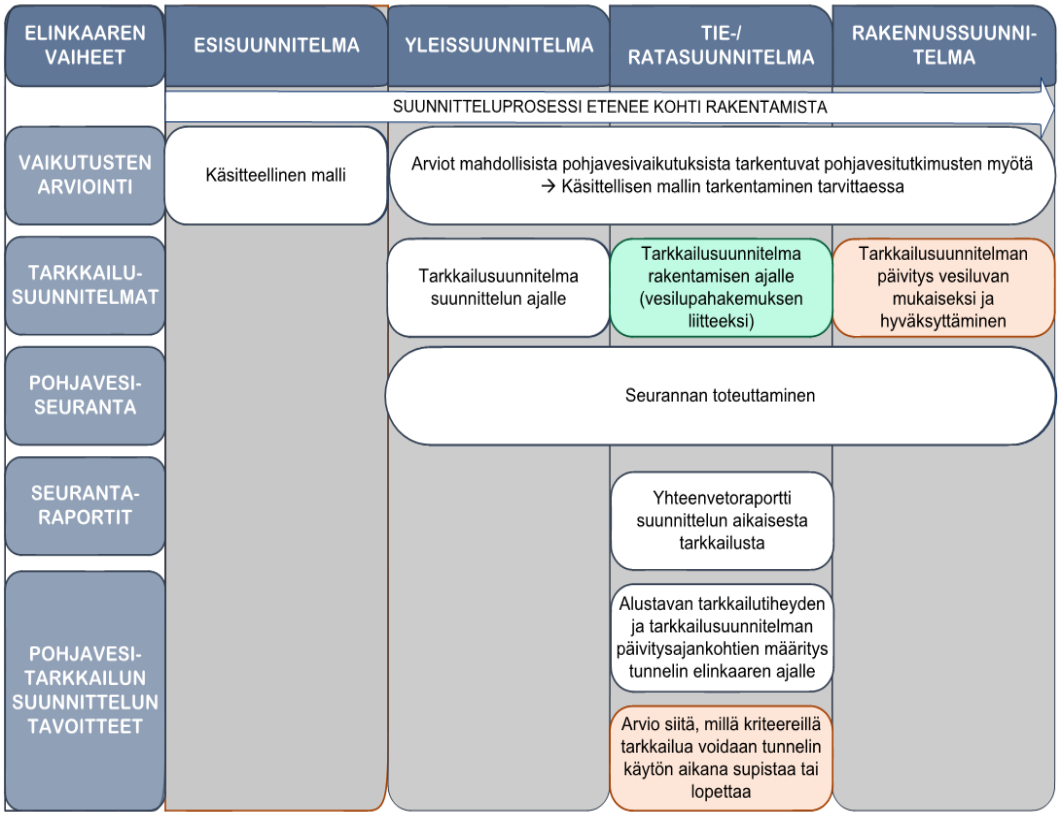
Suunnitteluvaiheessa pohjaveden painetasomittaukset tulisi tehdä useamman kerran vuodessa, ja mittausajankohdat olisi hyvä suunnitella siten, että vuosittaiset pohjaveden painetason minimit ja maksimit saadaan mitattua. Kalliotunnelin rakentamisvaiheessa kalliopohjaveden painetasojen muutokset ovat olleet suhteellisen nopeita esimerkiksi Savion rautatietunnelin osalta. Pääosa todetuista alenemista on tapahtunut rakentamisen aikana. Edellä mainitun perusteella pohjaveden painetasojen tarkkailua on tarve tehdä tiheästi rakentamisen yhteydessä, jotta voidaan arvioida rakentamisen aiheuttamaa kokonaisvaikutusta. Tarkkailutiheys tulee mitoittaa sen mukaan, mitkä ovat aleneman vaikutusalueen riskikohteet. Automaattisten pinnanmittauslaitteiden käyttöä olisi järkevää harkita etenkin vaiheessa, jossa mittauksia on tarpeen tehdä tiheästi. Pohjaveden painetasot ja vuotovesimäärät saavuttavat jossain vaiheessa tasapainotilan, jolloin tarkkailutiheyttä on mahdollista harventaa.

Kun pohjaveden painetasot ja vuotovesimäärät ovat saavuttaneet tasapainotilan (yleensä käyttövaiheessa) voidaan päästä tilanteeseen, jossa kalliotunnelin käytön ei enää arvioida aiheuttavan pohjavesi- tai muita ympäristöriskejä. Tällöin pohjavesivaikutusten tarkkailulle ei nähdä enää tarvetta tai tarkkailua halutaan merkittävästi supistaa. Mikäli kalliotunneli on ns. vesilupahanke, ja hankkeen vesiluvassa on määrätty pohjavesitarkkailusta, tulee tarkkailun päättämiselle saada viranomaishyväksyntä. Tunnelin suunnitteluvaiheessa suositellaan pohdittavaksi, voidaanko jo ennakkoon määritellä kriteerit, joiden täyttyessä pohjavesivaikutusten tarkkailua tunnelin käyttövaiheessa voidaan supistaa tai kokonaan lopettaa. Näistä kriteereistä olisi hyvä käydä keskustelua valvovan viranomaisen kanssa jo suunnitteluvaiheessa.

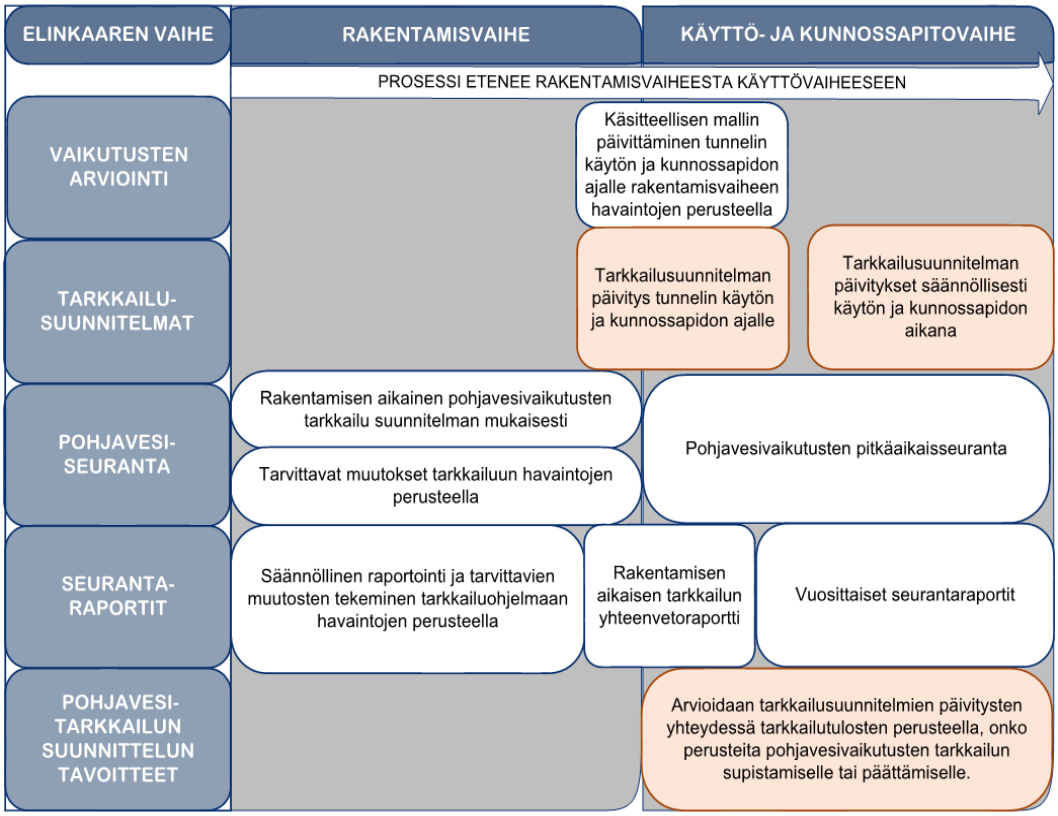
Kalliotunnelin elinkaaren aikajanalle voidaan tehdyn selvityksen perusteella suosituksenomaisesti sijoittaa joitakin pohjavesivaikutusten tarkkailuun liittyviä arvioita, suunnitelmia, raportteja, toimenpiteitä sekä tavoitteita. Nämä ns. virstanpylväät on esitetty kalliotunnelin eri elinkaareen vaiheisiin sijoitettuna kuvissa 41 ja 42. Jonkinlaisena läpileikkaavana teemana pohjavesivaikutusten

tarkkailun suunnittelussa ja raportoinnissa voidaan käytettävänä olevan pohjavesitiedon lisäksi pitää kalliotutkimustietojen hyödyntämistä sekä tunnelin rakentamisaikana myös vuotovesihavaintojen hyödyntämistä.

Savion rautatietunnelin, Kehäratatunnelin ja Tampereen Rantatunnelin ympäristötarkkailutietojen viemistä selainpohjaiseen ympäristötietojärjestelmään pidetään hyvänä ratkaisuna. Järjestelmä on mahdollistanut sen, että poikkeaviin tarkkailutuloksiin on voitu reagoida nopeasti.



Kuva 41. Kaaviokuva suositeltavasta pohjavesitarkkailun suunnittelun ja toteutuksen vaiheistuksesta kalliotunnelihankkeen suunnittelun eri vaiheissa. Mikäli kyseessä on vesilain mukaisen luvan vaativa tunnelihanke, on tarkkailuun liittyvä päätösvalta lupa- tai valvontaviranomaisella. Vaihe on korostettu kuvassa vihreällä taustavärillä, kun päätösvalta on lupaviranomaisella eli AVI:lla. Vaihe on korostettu kuvassa oranssilla taustavärillä, kun päätösvalta joko lupaviranomaisella eli AVI:lla tai valvontaviranomaisella eli ELYllä.



Kuva 42. Kaaviokuva suositeltavasta pohjavesitarkkailun suunnittelun ja toteutuksen vaiheistuksesta kalliotunnelihankkeen rakentamis- ja käyttövaiheessa. Mikäli kyseessä on vesilain mukaisen luvan vaativa tunnelihanke, on päätösvalta tarkkailuohjelman muuttamiseen liittyvissä asioissa joko lupaviranomaisella eli AVI:lla tai valvontaviranomaisella eli ELYllä (nämä vaiheet korostettu oranssilla taustavärillä).

Tämän työn aikana nousi esille ajatuksia mahdollisista jatkotutkimusaiheista. Tunnelirakentamisen yhteydessä on todettu ajoittain kuivatusvesissä korkeita pH-arvoja. Kuivatusvesien pH:n mahdollista vaikutusta esimerkiksi purkuvesistöjen liukoisten metallien pitoisuuksiin olisi hyvä selvittää.

Kuivatusvesien purkuvesistöihin aiheuttamaa typpikuormitusta olisi hyvä tarkastella tarkemmin ja arvioida sen vesistövaikutusta. Tässä selvityksessä arvioitiin ainoastaan maksimaalisen typpikuormituksen suuruusluokkaa hyvin karkeasti. Sulfaatin kuormitusvaikutusta purkuvesistöissä ei ole tarkastelluissa tunnelihankkeissa tai tässä selvityksessä arvioitu. Sulfaatin aiheuttamaa vesistökuormitusta ei ole Suomen ympäristökeskuksen mukaan yleisestikään huomioitu riittävästi vesiensuojelussa. Sulfaatin aiheuttamasta vesistökuormituksesta on syyskuussa 2020 valmistunut Suomen ympäristökeskuksen ja Aaltoyliopiston yhteistyönä selvitys, jossa esitetään sulfaattipäästöjen seurannan tehostamista erityisesti toimialoilla, joilla raaka-aineet tai prosessikemikaalit lisäävät sulfaattipäästöjä. Selvityksestä löytyy tietoa SYKEn verkkosivuilta (Suomen ympäristökeskus 2020). Kehäratatunnelin tarkkailuaineistojen perusteella kuivatusvesien neutralisointiin selkeytysaltaissa on käytetty rikkihappoa.

Räjähdeaineiden ympäristövaikutuksia on tarkastelluissa kalliotunnelihankkeissa käsitelty lähinnä typpiyhdisteiden osalta. Puolustushallinto on tahollaan selvittänyt sotilasräjähteiden sisältämien haitta-aineiden esiintymistä pohjavesissä (mm. TNT, RDX, HMX). Kari Koposen (2020) mukaan sotilasräjähteet ja siviilipuolella käytettävät räjähteet ovat pääosin eri valmisteita. Tässä työssä ei keskitytty louhinnoissa käytettyihin räjähdeaineisiin, aineiden määriin, niiden mahdollisesti sisältämiin ympäristölle haitallisiin aineisiin tai aiheuttamiin pohjavesiriskeihin. Aihepiiriä voisi mahdollisesti käsitellä erillisessä työssä.

Mikäli kalliotunnelia suunnitellaan pilaantuneeksi tiedetyn alueen läheisyyteen, on tärkeää arvioida, onko alueen pohjavesi haitta-ainepitoista tai voiko esimerkiksi tunnelin rakentaminen aiheuttaa pohjaveden painetasojen ja virtaussuunnan muutoksia pilaantuneeksi todetulla alueella. Tärkeää on arvioida, aiheuttavatko pohjavedessä olevat haitta-aineet riskiä esim. tunneliin tulevien vuotovesien laadulle. Risto Niinimäen (2020) mukaan Helsingin kaupungin alueella on joitakin kalliorakennuskohteita, joissa tätä riskiä on tarkemmin tarkasteltu. Niinimäen (2020) kokemusten mukaan riskit liittyvät sellaisiin alueisiin, joiden pohjavesissä on todettu korkeita haitta-ainepitoisuuksia melko laajalla alueella. Kaupunkialueella vuotovesien johtaminen jätevesiviemäriin on yleensä yksi mahdollinen ratkaisu.

Lähteet

Cook, P. G. A guide to regional groundwater flow in fractured rock aquifers. CSIRO Land and Water, Glenn Osmond, SA, Australia. Adelaide. 108 s. Viitattu 1.4.2020.

Elminen, T, Vaarma, M, Wennerström, M, Pajunen, M, Wasenius, P. 2007. Savion rautatietunnelin rakennegeologinen kartoitus. Geologian tutkimuskeskuksen raportti. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. Viitattu 28.4.2020.

Elminen, T, Vaarma, M, Wennerström, M. 2013. Savion rautatietunnelin geologisia ja rakennusgeologisia piirteitä; vertailu tunneli – maanpinta. Geologian tutkimuskeskuksen raportti. Geologian tutkimuskeskus. 2013. Viitattu 28.4.2020.

Etelä-Suomen aluehallintovirasto. 2010. Päätös: Kehäradan rakentaminen ja pohjaveden muuttamiskiellosta poikkeaminen sekä töiden aloittaminen ennen päätöksen lainvoimaiseksi tulemista, Vantaa. Lupapäätös nro 22/2010/4, dnro ESAVI/102/04.09/2010, annettu 4.3.2010. Viitattu 5.5.2020.

Golder Associates Oy. 2010. Liikennevirasto - Savion tunnelin ympäristöseurannat – Pintaveden, pohjaveden ja painumisen tarkkailu, seurantaraportti 2009, 29.1.2010.

Golder Associates Oy. 2012. Liikennevirasto - Savion tunnelin ympäristöseurannat – Tarkkailusuunnitelma 2012-2014, 17.2.2012.

Golder Associates Oy. 2014. Liikennevirasto - Savion rautatietunnelin ympäristöseurannat – Tarkkailusuunnitelma, 1.9.2014.

Golder Associates Oy. 2018. Liikennevirasto - Savion rautatietunnelin ympäristöseurannat – Tarkkailusuunnitelma, 14.8.2018.

Hallituksen esitys 277/2009. Hallituksen esitys Eduskunnalle vesilainsäädännön uudistamiseksi. Viitattu 19.3.2020.

Heikkonen, M. 2008 (toim). Vuosaaren satama ja ympäristö – Suunnittelusta rakentamiseen. Vuosaaren satamahanke. Viitattu 23.4.2020.

Helsingin kaupunki. 2019. Kallioperä. Julkaistu 6.12.2019. Viitattu 19.8.2020.

Hung, J.C, Monsees, J, Munfah, N, Wisniewski, J. 2009. Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements. Report no FHWA-NHI-10-034. National Highway Institute, U.S. Department of Transportation. Washington. 555 s. Viitattu 1.4.2020.

INERIS, 2013. Groundwater quality measurement with passive samplers - Code of best practices. INERIS viite: DRC-13-102468-03494A. Viitattu 9.9.2020.

Kauppila, T, Kauppila, P. M., Räisänen, M. L., Makkonen, H., Jantunen, J., Komulainen, H., Törmä, H., Kauppinen, T., Leppänen, M. T., Tornivaara, A., Pasanen, A., Kemppainen, E., Liukko, U.-M., Raunio, A., Marttunen, M., Mustajoki, J., Huttula, T., Kauppi, S., Ekholm, P., Tran-Nguyen, E., Vormisto, J., Karjalainen, N., Tuomela, P.

& Hietala, J. 2015. Hyviä käytäntöjä kaivoshankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnissa. Tutkimusraportti 222. Geologian tutkimuskeskus. Espoo.

Kansonen, J. 2020. Liikenneviraston Kehärata -projektin projektipäällikkö. Haastattelu 7.4.2020.

Kehärata-projekti. 2010. Rautatietunnelin rakentamisen ja käytön aikainen pohjaveden, pintaveden ja painumien seurantaohjelma, päivitetty 15.4.2010. Liikennevirasto, Vantaan kaupunki ja Kehärata. Viitattu 19.5.2020.

Kehärata-projekti. 2011. Kehäradan rakentamisen aikainen tarkkailu – Vuosiraportti 2010, 25.8.2011. Vantaa. Viitattu 19.5.2020.

Kehärata-projekti. 2012. Kehäradan rakentamisen aikainen tarkkailu – Vuosiraportti 2011, 24.4.2011. Vantaa.

Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 2015. Rantatunnelin allianssi – Vuosiyhteenveto Tampereen rantatunnelin vesistötarkkailusta vuodelta 2014, 8.9.2015

Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 2016a. Rantatunnelin allianssi – Vuosiyhteenveto Tampereen rantatunnelin vesistötarkkailuista vuodelta 2015, 26.2.2016.

Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 2016b. Rantatunnelin allianssi – Yhteenveto Tampereen rantatunnelityömaan pohjavesitarkkailun tuloksista, 21.11.2016.

Keskitalo, K. 2013. Pohjavesi haasteena Kehäradan rakentamisessa Vantaalla, PowerPoint -esitys 10.4.2013, Ahma- Ympäristö Oy. Viitattu 19.5.2020.

Kivimäki A-L, Rautio, A, Korkka-Niemi, K, Brander, M, Nygård, M, Vahtera, H, Karhu, J, Salonen V-P, Kiirikki, M ja Lahti, K. 2013. Vantaanjoen ja sen sivujokien hydrauliset yhteydet pohjavesimuodostumiin ja vaikutukset veden laatuun. Julkaisu 69/2013. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry.

Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 2014. Tampereen rantaväylätunnelin rakentaminen – pohjavesien esitarkkailutulokset, 4.3.2014.

Koponen, K. 2020. Johtava asiantuntija. Puolustushallinnon rakennuslaitos, Keskusyksikkö. Sähköpostitiedonanto 6.5.2020.

Korkka-Niemi, K. 2020. Yliopistonlehtori. Helsingin yliopisto, matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, geotieteiden ja maantieteen osasto, Helsinki. Gustav Hällströmin katu 2, 00014 Helsingin yliopisto. Suullinen tiedonanto 26.6.2020.

Leveinen, J. 2001. Conceptual and analytical modeling of fracture zone aquifers in hard rock – Implications of pumping tests in the Pohjukansalo well field, east-central Finland. Ydinjätteen sijoitustutkimukset. Report YST-105. Geologian tutkimuskeskus. Espoo. 72 s. Viitattu 1.4.2020.

Liikennevirasto 2012. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 20. Ympäristö ja rautatiealueet. Liikenneviraston ohjeita 18/2012. Helsinki.

Liikennevirasto 2013a. Radanpidon ympäristöohje. Liikenneviraston ohjeita 22/2013. Helsinki.

Liikennevirasto 2013b. Pohjaveden hallinta alikulkupaikoilla. Geotekniikan käsikirja. Liikenneviraston oppaita 1/2013. Helsinki.

Liikennevirasto 2015.Geotekniset tutkimukset ja mittaukset. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Liikenneviraston ohjeita 10/2015. Helsinki.

Liikennevirasto. 2015. Kallioleikkausten tarkastustoiminnan kehittäminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2015. Helsinki.

Liikennevirasto 2017. Maastotietojen hankinta – Toimintaohjeet. Liikenneviraston ohjeita 19/2017. Helsinki.

Liikennevirasto 2018a. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 18. Rautatietunnelit. Liikenneviraston ohjeita 19/2018. Helsinki.

Liikennevirasto 2018b. Selvitys kalliotunnelin kallioteknisestä suunnittelusta. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 47/2018. Helsinki.

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017. Viitattu 2.3.2020.

Loehr, J.E, Lutenegger, L, Rosenblad, B, Boeckmann, A. 2016. Geotechnical Site Characterization – Geotechnical Engineering Circular no.5. Report no FHWA NHI-16-072. National Highway Institute, U.S. Department of Transportation. Washington. 626 s. Viitattu 1.4.2020.

Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto. 2013. Päätös: Santalahti-Naistenlahti tietunnelin rakentaminen ja töiden aloittamislupa, Tampere. Lupapäätös nro 83/2013/2, dnro LSSAVI/100/04.09/2011, annettu 29.10.2013. Viitattu 28.5.2020.

Länsi-Suomen ympäristölupavirasto. 2004. Lupapäätös: Vuosaaren sataman maaliikenneyhteyksiin liittyvien Labbackan ja Savion ratatunneleiden rakentaminen sekä lupa aloittaa työt ennen päätöksen lainvoimaiseksi tulemista, Vantaa, Kerava ja Sipoo. Lupapäätös nro 3/2004/1, dnro LSY-2002-Y-99, annettu 20.1.2004. Viitattu 23.4.2020.

Länsi-Suomen ympäristölupavirasto. 2007. Lupapäätös: Kehäradan rautatietunnelin rakentaminen ja pohjaveden muuttamiskiellosta poikkeaminen sekä Kylmäojan johtaminen putkessa radan ali sekä töiden aloittaminen ennen päätöksen lainvoimaiseksi tulemista, Vantaa. Lupapäätös nro 127/2008/3, dnro LSY-2007-Y-175, annettu 23.12.2008. Viitattu 6.5.2020.

Marja-rata – Yleissuunnitelma. 2003. Ratahallintokeskus ja Vantaan kaupunki. 54 s. Viitattu 6.5.2020.

Marja-rata – Ympäristövaikutusten arviointiselostus. 2001. Vantaan kaupunki ja Ratahallintokeskus. 47 s. Viitattu 5.5.2020.

Mäkiaho, M. 2020. Apulaisjohtaja, Väylävirasto, Projektien toteutus, Tampere. Yliopistonkatu 38, 33100 Tampere. Haastattelu 25.2.2020.

Niinimäki, R. 2020. Projektipäällikkö, rakennusgeologi. Helsingin kaupunki, Kaupunkiympäristö, Maa- ja kallioperä. Suullinen tiedonanto 11.8.2020.

Norges Geotekniske Institutt. 2004. Miljo- og samfunnstenlige tunneler – Sammenhet mellom grunnvannssenkning og tunnellekkasjer. Intern rapport nr. 2354. Statens vegvesen. Oslo. 17 s.

Pentti, E, Vaittinen, T, Pekkanen, J, Karvonen, T. 2019. Pumping tests in drillholes OL -KR49, -KR50 and -KR56 at Olkiluoto in 2012-2014. Working report 2018-32. Posiva Oy. Eurajoki. 213 s. Viitattu 1.4.2020.

Päiviö, J., Wallentinus, H-G. 2001. The Hallandsås railway tunnel project. Teoksessa Hilding-Rydevik, Tuija (toim.), EIA, large development projects and decision-making in the Nordic countries, Nordregio raportti 2001:6.

Pöyry Finland Oy. 2009. Kehärata – Pohjaveden, pintaveden ja painumien tarkkailu ennen rakentamista vuonna 2009, 27.7.2009. Ratahallintokeskus ja Vantaan kaupunki.

Pöyry Finland Oy. 2013. Kehäradan rakentamisen aikainen tarkkailu – Vuosiraportti 2012, 17.9.2014. Vantaa. Viitattu 19.5.2020.

Pöyry Finland Oy ja WSP Finland Oy. 2015. Kehäradan rakentamisen aikainen tarkkailu vuosina 2009-2015 – Yhteenvetoraportti 23.10.2015. Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki.

Ramboll Finland Oy. 2018. Kehäradan ympäristötarkkailu, tarkkailuohjelma 23.2.2018. Liikennevirasto ja Vantaan kaupunki.

Ramboll Finland Oy. 2019. Kehäradan ympäristötarkkailu vuonna 2018. Väylävirasto ja Vantaan kaupunki.

Rintala, J. 2019. Pohjavedenoton velvoitetarkkailu. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 42/2019. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 79 s.

Sito Oy ja Pöyry Finland Oy. 2011. Vt 12, Tampereen rantaväylä, pohjavesitarkkailu 11/2008 – 03/2011. 2011, 6.5.2011.

Sitowise. 2019a. Rantatunnelin ympäristöseurannat 2018, 15.2.2019. Tampereen kaupunki.

Sitowise 2019b. Helsinki Garden. Alustava selvitys: pohjaveden hallinta ja pohjaveden huomioon ottaminen suunnitelmaratkaisuissa. Päivätty 31.10.2019.

Statens vegvesen. 2005. Tunnel investigation and groundwater control. Publication no. 107. Norwegian public roads administration. Oslo, Trondheim. 34 s.

Suomen vesiyhdistys. 2005. Pohjavesitutkimusopas – Käytännön ohjeita. Suomen vesiyhdistys ry. 194 s.

Suomen ympäristökeskus. 2020. Sulfaattikuormitus voi vaarantaa vesistöjen tilan. Julkaistu 3.9.2020.

Suomen ympäristökeskus. 2019a. Pienvesiopas – Pintavesien tunnistaminen ja lainsäädäntö. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 36/2019. Viitattu 14.4.2020.

Suomen ympäristökeskus. 2019b. Pohjaveden virtausmallinnuksessa tarvittavia parametreja. Viitattu 30.4.2020.

Suomen ympäristökeskus. 2017. Jokien ainevirtaamat. Viitattu 1.9.2020.

Suomen ympäristökeskus. 2016. Laatusuositukset ympäristöhallinnon vedenlaaturekistereihin vietävälle tiedolle – Vesistä tehtävien analyyttien määritysrajat, mittausepävarmuudet sekä säilytysajat ja -tavat. 2. uudistettu painos. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 22/2016. Viitattu 6.4.2020.

Suomen ympäristökeskus. 2009. Pohjavesinäytteenotto – nykytila ja kehitystarpeet. Suomen ympäristö 48/2008. Helsinki. 65s.

Sveriges Geologiska Undersökning. 2019. Handledning Översikt Bedömning av influensområde avseende grundvatten. Julkaistu 10.4.2019. Viitattu 3.3.2020.

Takala, M. 2020. Ympäristöasiantuntija, Väylävirasto, Tekniikka ja ympäristö, Helsinki. Opastinsilta 12 A, 00520 Helsinki. Haastattelu 28.2.2020.

Tampereen kaupunki. 2015. Rantatunneli – Usein kysyttyä. 2015. Päivitetty 23.10.2015. Viitattu 28.5.2020.

Tampereen Rantaväylä (valtatie 12) välillä Santalahti-Naistenlahti, Ympäristövaikutusten arviointimenettely – Ympäristövaikutusten arviointiselostus. 2010. Tampereen kaupunki ja Pirkanmaan ELY-keskus.

Tiainen, L. Pumppauskokeet kallioperän akviferi-akvitardi -ominaisuuksien selvittämisessä. Ydinjätteiden sijoitustutkimukset. Työraportti Y30 / 85 / 1. Geologian tutkimuskeskus. 28 s. Viitattu 1.4.2020.

U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Low stress (low flow) purging and sampling procedure for the collection of groundwater samples from monitoring wells. EQASOP-GW 001. Region 1 Low-Stress (low flow) SOP. Revision no 3. U.S. Environmental protection agency. North Chelmsford, MA. 30 s.

Valtatie 12 (Tampereen Rantaväylä) välillä Santalahti-Naistenlahti, Yleissuunnitelma. 2010. Tampereen kaupunki ja Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

VNa 283/2011. Valtioneuvoston asetus maankäyttö- ja rakennusasetuksen 62 ja 63 §:n muuttamisesta.

Vesilaki 587/2011. Viitattu 13.2.2020.

Vt12 Rantatunneli, Rakennussuunnitelma – Kalliotunneli, rakennettavuusselvitys. 2013. Rantaväylän allianssi.

Vuomaali. 2001. Vuosaaren satamahankkeen luontovaikutusten seurantaohjelmat – Osa III Pohjavesien seurantaohjelma. Maa ja Vesi Oy. 21 s.

Väylävirasto. 2019. Kalliotunnelin kalliotekninen suunnitteluohje. Väyläviraston ohjeita 28/2019. Helsinki

Weideborg, M., Källqvist, T., Odegård, K.E., Svedrup, L.E., Vik, E.A. 2001. Environmental risk assessment of acrylamide and methylolacrylamide from a grouting agent used in the tunnel construction of Romeriksporten, Norway. Water Research vol 35 issue 11. s 2645-2652. Elsevier Science Ltd.

Werner, K., Onkenhout, J., Löv, Å. 2012. Effekter på grund- och vattenförhållanden vid grndvattenbortledning från berganläggningar. Steg I Förstudie. BeFo Rapport 117. Stiftelsen bergteknisk forskning, Tukholma. 153 s.

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2018. Ympäristövaikutusten arviointi. Julkaistu 5.9.2016, päivitetty 23.10.2018. Viitattu 2.3.2020.

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2019. Tarvitaanko vesilupa? Julkaistu 29.7.2013, päivitetty 17.10.2019. Viitattu 13.2.2020.

Ympäristöministeriö 2012. Uudistunut vesilaki 2011. Ympäristöministeriön raportteja 1/2012. Viitattu 13.2.2020.

Ympäristöministeriö 2018a. Mikä on ympäristövaikutusten arviointi YVA? Verkkovideo. Lataaja Ympäristöministeriö 23.10.2018. Viitattu 2.3.2020.

Ympäristöministeriö 2018b. Rakenteiden lujuus ja vakaus – Pohjarakenteiden suunnittelu. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Viitattu 14.2.2020.

Ympäristön muutoksen seurantaohjelma, Valtatie 12 (Tampereen Rantaväylä) välillä Santalahti-Naistenlahti. 2011. Sito Oy ja Pöyry Finland Oy, 6.5.2011.

Ympäristönsuojelulaki 527/2014. Viitattu 13.2.2020.

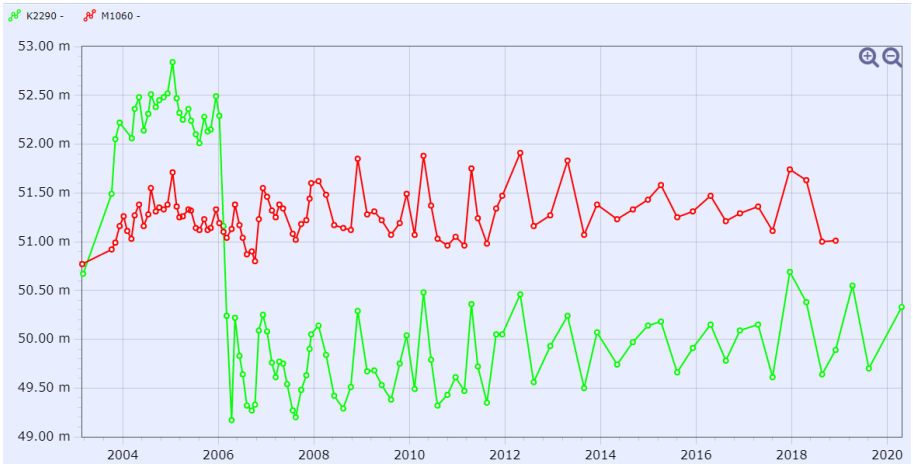
Liitteet aukeavat linkistä:

Liite 1: Savion rautatietunneli: Havaintoputket GTK:n maa- ja kallioperäaineistoissa esitettynä

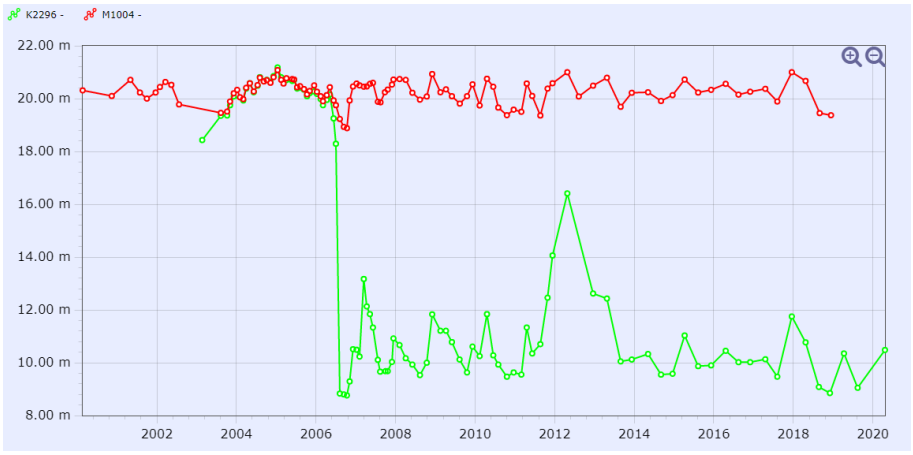
Liite 2: Kehäratatunneli: Havaintoputket GTK:n maa- ja kallioperäaineistoissa esitettynä

Liite 3: Tampereen Rantatunneli: Havaintoputket GTK:n maa- ja kallioperäaineistoissa esitettynä

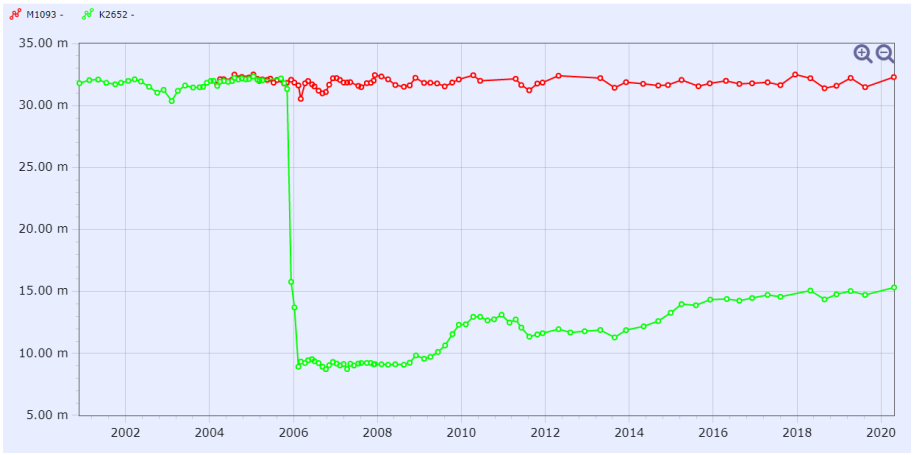
Savion rautatietunneli: Maa- ja kallioperän pohjaveden painetasot vierekkäisissä havaintoputkissa, esimerkkikuvaajia



Pohjaveden painetaso kallioperän pohjaveden havaintoputkessa K2290 ja maaperän pohjaveden havaintoputkessa M1060. Putket sijaitsevat vierekkäin Itä-Hakkilassa.

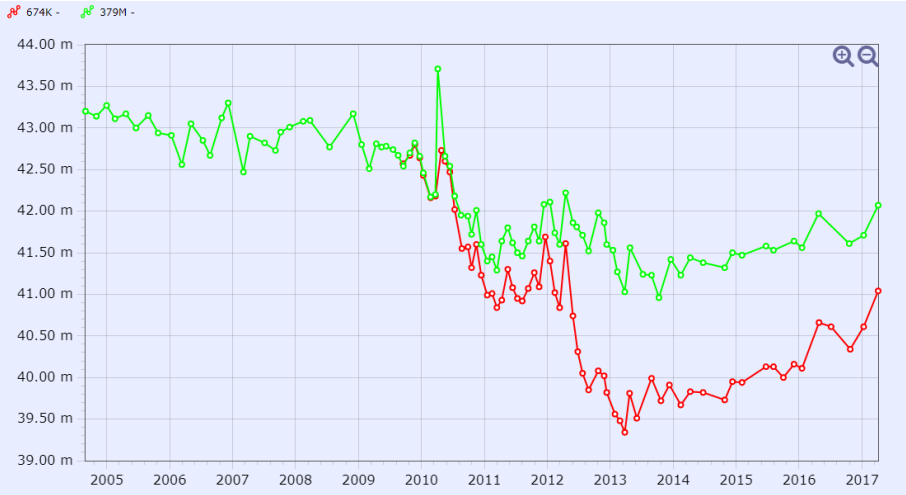


Pohjaveden painetaso kallioperän pohjaveden havaintoputkessa K2296 ja maaperän pohjaveden havaintoputkessa M1004. Putket sijaitsevat vierekkäin Hakunilassa

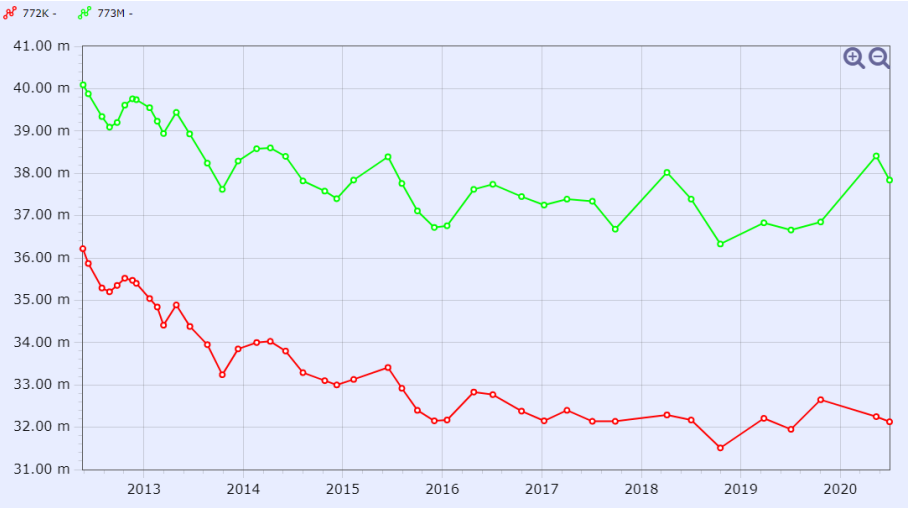


Pohjaveden painetaso kallioperän pohjaveden havaintoputkessa K2652 ja maaperän pohjaveden havaintoputkessa M1093. Putket sijaitsevat vierekkäin Hakunilassa

Kehäratatunneli: Maa- ja kallioperän pohjaveden painetasot vierekkäisissä havaintoputkissa, esimerkkikuvaajia



Pohjaveden painetaso kallioperän pohjaveden havaintoputkessa 674K ja maaperän pohjaveden havaintoputkessa 379M. Putket sijaitsevat vierekkäin Lentoaseman ajotunnelin lähellä.



Pohjaveden painetaso kallioperän pohjaveden havaintoputkessa 772K ja maaperän pohjaveden havaintoputkessa 773M. Putket sijaitsevat vierekkäin Viinikkalassa.

Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-818-2
www.vayla.fi