



**Aalto-yliopisto
Teknillinen korkeakoulu**

**Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta
Materiaali- ja kallioteekniikan koulutusohjelma**

Laura Fomin

PÄIJÄNNE-TUNNELIN RAKENNUSGEOLOGISET OLOSUHTEET

**Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-
insinöörin tutkintoa varten**

Espoossa 2.6.2010.

Valvoja

Professori Jussi Leveinen

Ohjaaja

TkT Nuria Marcos

ALKUSANAT

Päijänne-tunneli valikoitui aiheeksi luontevasti koska edesmennyt professori Heikki Niini oli projektissa mukana koko sen suunnittelu- ja rakennusvaiheen aikana. Häneltä jäi laaja kokoelma suunnitteluvaiheen aikaisia tutkimustuloksia ja raportteja. Keskusteluissa professori Markku Peltoniemen kanssa sovittiin, että tutustuisin tähän kokoelmaan jota säilytetään Pääkaupunkiseudun Vesi Oy:ssä. Kiitänkin Pääkaupunkiseudun Vesi Oy:tä siitä, että he antoivat minulle mahdollisuuden materiaalin tutkimiseen ja dokumentointiin.

Työn valvojana toimii professori Jussi Leveinen ja työn ohjaajana TT Nuria Marcos. Kiitokset heille molemmille.

Vantaalla 1.5.2010

Laura Fomin

AALTO-YLIOPISTO TEKNILLINEN KORKEAKOULU PL 11000, 00076 Aalto		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ
Tekijä: Laura Fomin		
Työn nimi: Päijänne-tunnelin rakennusgeologiset olosuhteet		
Tiedekunta: Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta		
Laitos: Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos		
Professori: Teknillinen geologia		Koodi: Yhd-33
Työn valvoja: Professori Jussi Leveinen Työn ohjaaja(t): TkT: Nuria Marcos		
Tiivistelmä: Tässä opinnäytetyössä on tarkasteltu Päijänne-tunnelia ja sen rakennusgeologisia olosuhteita. Tarkastelussa on pyritty soveltamaan elinkaariajattelua niiltä osin, kun se on ollut mahdollista ja mielekästä. Koska Päijänne-tunnelin historiasta on olemassa runsaasti materiaalia, on opinnäytetyön tarkoituksena ollut myös kerätä yhteen professori Heikki Niinin tunnelin suunnittelun aikaista materiaalia ja arvioida niiden käyttökelpoisuutta ja tarvetta mahdollista jatkotutkimusta varten. Päijänne-tunneli valmistui vuonna 1982 ja sen valmistumisen aikaan oltiin siinä uskossa, että se olisi huoltovapaa seuraavat sata vuotta. Näin ei kuitenkaan käynyt vaan jo vuonna 1997, vain viisitoista vuotta valmistumisen jälkeen tunnelissa havaittiin sortumia. Siksi koko tunnelin lujitustarve tutkittiin uudelleen ja suoritettiin mittava huoltoremontti tarvittaviin kohtiin. Päijänne-tunnelin korjaus suoritettiin kahdessa osassa vuosina 2001 ja 2008. Korjausremonttien aikainen tarve on merkittävä siinäkin mielessä, että tunneli mitoitettiin alun perin täyttämään jopa 700 l/vrk/asukas veden ominaiskulutuksen tarvetta. Toteutunut tarve on kuitenkin vain 155 l/vrk/asukas, joten tarvittava tunnelin virtaama on vain noin kolmasosa alkuperäisestä arviosta. Verkkaisesta virtauksesta huolimatta tunneli alkoi rapautua nopeasti valmistumisen jälkeen. Nyt on tunnelia vahvistettu siten, että noin 30 – 40 % pinta-alasta on ruiskubetonoitu ja remonttien yhteydessä voitiin todeta varavesijärjestelmän käytön Vantaanjoesta toimivan moitteettomasti. Tunnelin rakentamisen aikaan ei ollut syytä estää tunnelissa kulkevan veden pääsemistä tunnelin ulkopuolelle tai päinvastoin. Paineolosuhteet täydessä vesitunnelissa aiheuttavat pääosin painetta ulospäin, mutta sopivissa virtaamisolosuhteissa on mahdollisuus, että ympäristöstä kulkeutuu tunneliin haitallisia aineita vaarantaen raakaveden laadun. Koska sekä tunnelin läheisyyteen, että sen päälle on keskittynyt paljon riskialtaista toimintaa, on jatkossakin kiinnitettävä huomiota tunnelin läheisyydessä pohjaveden käyttäytymiseen. Haitallisten aineiden kulkeutumista mallinnettaessa voidaan arvioinnin apuna käyttää geostatistisia menetelmiä. Tästä on esimerkkinä esitetty tunnelin puolivälissä sijaitsevan Oitin Hausjärven Nopon pesulan tetraklooriiteenin mallintaminen maaperässä. Toinen tarkemmin esitetty kohta sijaitsee Kehäradan ja Päijänne-tunnelin risteyksessä, jossa tunnelit on suunniteltu kulkemaan 13 metrin etäisyydellä toisistaan muros- ja vyöhykkeisellä kallioalueella (Aluehallintoviraston päätös 4/2010).		
Päivämäärä: 2.6.2010	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 68
Avainsanat: Päijänne-tunneli, rakennusgeologia, Kehärata.		

Author: Laura Fomin	
Thesis: Päijänne-tunnelin rakennusgeologiset olosuhteet	
Date: 1.5.2010	Number of pages: 68
Professorship: Engineering Geology	Code: Yhd-33
Supervisor: Professor Jussi Leveinen	
Instructor: Ph.D. Nuria Marcos	
The Greater Helsinki area is supplied with fresh drinking water through The Päijänne Water Tunnel. With a length of 120 kilometres, it is one of the longest continuous rock tunnel in the world. It was constructed between the years of 1973-1982 and needed repairs in 2001 and 2008. The main scope of this study is to examine and find out why the repairs were necessary only 15 years after the original construction was finished. For this study I was able to examine the original tunnel building documents by Professor Heikki Niini. He participated in the original tunnel construction project and his documents are stored at the office of The Pääkaupungin vesi Oy. One particularly intriguing part of the tunnel is the intersection of Päijänne Water Tunnel and the Ring Rail Line. They intersect right next to the Helsinki International airport so that they form a three level system. How they interact is worth considering thoroughly. The railway tunnel will run above the Päijänne Water Tunnel, which has already been reinforced at the intersection to withstand the additional pressure from the railway tunnel. The Päijänne Water Tunnel was originally constructed in a way that the fresh water in the tunnel was allowed to interact with the groundwater outside the tunnel. There was no reason at the time to prevent that to happen. The possibility of environmental risks has increased at the south end of the Päijänne Water Tunnel due to a numerous contaminate activities where chemicals are handled. There is now a potential risk that poisonous chemical could be released into groundwater either intentionally or by accident. If a contaminant should ever have an access to the tunnel's fresh water supply, that would soon create a major catastrophe and affect the availability of fresh drinking water for more than one million people in the metropolitan area of Helsinki, Espoo and Vantaa. Modern spatial data handling gives us some useful information and with interpolation we can try to estimate how the diffusion of the pollutant will act in the groundwater.	

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1.	JOHDANTO	6
1.1.	Tutkimuksen tausta.....	6
1.2.	Tutkimusongelma	7
1.3.	Tutkimuksen tavoitteet	8
1.4.	Tutkimuksen rajaukset.....	8
2.	PÄIJÄNNE-TUNNELI	10
2.1.	Päijänne-tunneli tiivistetysti.....	10
2.2.	Syyt tunnelin rakentamiseen	12
2.3.	Tunnelin rakentaminen	14
2.4.	Tunnelin huolto ja korjaukset	15
2.4.1.	Syyt korjauksiin.....	15
2.4.2.	Pohjois- ja eteläosan remontit	16
2.5.	Kustannuksia	17
3.	PÄIJÄNNE-TUNNELIN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	17
3.1.	Ympäristövaikutukset Päijänteeseen	17
3.2.	Ympäristövaikutukset tunnelin lähiympäristössä.....	18
3.3.	Ympäristövaikutukset elinkaariajattelun mukaan	19
4.	RISKITEKIJÄT PÄIJÄNNE-TUNNELIN VEDENSIIRROSSA	21
4.1.	Vesi maaperässä	21
4.2.	Vesi kalliossa	22
4.3.	Kalliotilan vaikutuksia pohjaveteen	23
4.4.	Kehäradan vaikutuksia Päijänne-tunneliin	25
4.5.	Pinta- ja pohjavedet Kehäradan alueella.....	27
4.6.	Kehäradan rakentamisen ja käytön aiheuttamat vaikutukset P-tunneliin.....	28
5.	TUNNELITILAN LUJITUSTARVE	34
5.1.	Tunnelitilan lujituksesta yleisesti	34
5.2.	Päijänne-tunnelin rakentamisen aikainen lujitus.....	35
5.3.	Päijänne-tunnelin korjauksen lujituksesta	38
6.	PÄIJÄNNE-TUNNELIN LINJAUS	39
7.	GEOFYSIIKAN MENETELMÄT RIKKONAIJUUDEN ILMENTÄJÄNÄ.....	45
7.1.	Yleistä	45
7.2.	Seismiset menetelmät	46
8.	PÄIJÄNNE-TUNNELIN MERKITYKSEN ARVIOINTI	49
8.1.	Yleistä	49
8.2.	Tunnelin ylirajoituksesta aiheutuneet hyödyt ja haitat	51
8.3.	Tunnelin huoltotarpeeseen vaikuttavia tekijöitä	56
8.4.	Päijänne-tunneli mediassa.....	57
9.	GEOSTATIikka /TAPAUS NOPON PESULA	58
10.	POHDINTOJA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	61

LÄHDELUETTELO	65
---------------------	----

LIITTEET	68
----------------	----

1. JOHDANTO

1.1. Tutkimuksen tausta

Päijänne-tunneli on yksi maailman pisimpiä yhtäjaksoisesti maan alla kulkevia kalliotunneleita jonka kautta johdetaan vettä Päijänteestä Etelä-Suomeen noin miljoonan ihmisen raakaveden tarpeeseen. Suunnittelu- ja rakennusprojekti oli mittava urakka ja se toteutettiin vuosina 1963-1982.

Tunnelin valmistumisen aikoihin uskottiin, että tunneli on huoltovapaa seuraavat sata vuotta ja, että se tulee toimimaan moitteettomasti tulevien vuosikymmenien ajan ilman käyttökatkoja.

Päijänne-tunnelin korjaustyöt jouduttiin aloittamaan huomattavasti aiemmin kuin alun perin oli ajateltu. Työhön sisältyy myös pienimuotoisesti pohdintoja mahdollisista riskitekijöistä, jotka saattavat vaatia huomiota ja korjaustoimenpiteitä lähitulevaisuudessa ympäristön muuttumisen takia mm. tunnelin eteläpäässä tapahtuvan voimakkaan rakentamisen johdosta. Työn tarkoituksena on myös toimia lisämateriaalina tunnelirakentamisen alalta.

Päijänne-tunnelia on aiemmin käsitelty kahdessa diplomityössä; Jannis Mikkola, Pitkien vesitunneleiden sortumat ja lujitus v. 1999 ja Sari Manninen, Vesitunneleiden vaurioitumisprosessit, v. 2001. Päijänne-tunnelista on tehty myös väitöskirja vuonna 2001; Annukka Lipponen, Päijänne-tunnelin ympäristögeologia ja -riskit. Edellä mainittujen diplomitöiden ja väitöskirjan jälkeen on Päijänne-tunnelissa kuitenkin tehty mittava huoltoremontti tunnelin eteläpäässä joten uutta tutkimustulosta ja tietoa on jälleen käytettävissä ja sitä voidaan käyttää hyväksi, kun arvioidaan maanalaiseen kalliorakentamiseen vaikuttavia tekijöitä ja myös päinvastaisesti, eli pohdintoihin siihen miten tunneli vaikuttaa ympäristöönsä.

Tässä diplomityössä käsitellään myös Kehärataa kahdestakin syystä. Kehärataa rakennetaan tämän opinnäytetyön tekemisen aikana keväällä 2010 ja saatuja tietoja tunnelilouhinnan etenemisestä, kustannuksista ja kallion laadun osalta voidaan käyttää referenssinä Päijänne-tunnelin historiaan tutustuessa. Kumpaakin suurta rakennusprojektia edelsivät pitkät ja tarkat esivalmistelut ajalleen ominaisine lakisääteisineen velvoitteineen.

Toinen rakennusgeologinen seikka, joka tekee Kehäradasta mielenkiintoisen Päijänne-tunnelia ajatellen, on näiden kahden tunnelin maantieteellinen sijainti. Tunneleiden on suunniteltu risteävän niin, että niiden väliin jää vain 13 metriä kalliota (Aluehallintovirasto 4/2010). Tämä risteyskohta saattaa perustellusti olla jonkin asteinen sortumakohta ja ansaitsee siksi erityishuomiota.

1.2. Tutkimusongelma

Tunnelissa sattui kaksi merkittävää sortumaa vuonna 1997, eli vain viisitoista vuotta valmistumisen jälkeen. Kalliotunnelin rakentaminen oli ja on edelleen kallista ja olisikin suotavaa, että mittavien rakennusinvestointien jälkeen tunnelit pysyisivät mahdollisimman kauan huoltovapaina ja käyttövarmoina. Tunnelien korjaaminen ja sortumien paikantaminen on kallista ja vaatii tunnelin tyhjentämisen ja korvaavan talousveden hankkimiseen tarkoitetun varajärjestelmän käyttöönoton Vantaanjoesta.

Koska Päijänne-tunnelin rakentamista edelsivät tarkat rakennusgeologiset tutkimukset, onkin tässä opinnäytetyössä mietitty niitä mahdollisia syitä, jotka ovat johtaneet tunnelin ennen aikaiseen remonttiin.

Päätökset tunnelin linjauksista tehtiin 60-luvulla ja sen jälkeen ovat olosuhteet etenkin tunnelin eteläosassa muuttuneet voimakkaan rakentamisen myötä. Tämä kuormitus lisää riskiä maapohjan ja pohjaveden saastumiseen ja koska kyseessä on pääosin verhoamaton paineellinen vesitunneli, on mahdollista, että haitallisia aineita pääsee kulkeutumaan Päijänne-tunneliin vaarantaen raakaveden laadun.

1.3. Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteina on ollut osittain pohtia Päijänne-tunnelin rakennusgeologisia olosuhteita, koota yhteen professori Heikki Niinin vuosien 1963-1982 aikainen materiaali ja dokumentoida Pääkaupunkiseudun Vesi Oy:ssä säilytettävä historiallinen materiaali mahdollista myöhempiä jatkotutkimusta varten.

Opinnäytetyön tarkoituksena on toimia myös lisämateriaalina kalliorakentamisen alalta, sillä edellisten Päijänne-tunnelia käsittelevien diplomityön (Mikkola 1999, Manninen 2001) ja väitöskirjan (Lipponen 2001) valmistumisesta on kulunut jo lähes vuosikymmen ja näiden tutkimusten jälkeen on saatettu loppuun Päijänne-tunnelin eteläpään remontti (12/2008). Tähän opinnäytetyöhön on kerätty yhteen korjauskuluja ja arvioitu niitä alkuperäisiin rakennuskuluihin.

Työssä pohditaan myös sitä, miten vesi 120 km:n matkalla tunnelin läpi kulkiessaan muuttuu.

Työn ensisijainen tarkoitus on kuitenkin toimia opinnäytetyönä teknillisessä korkeakoulussa suorittamistani opinnoista. Minulla oli ilo opiskella pitkään professori Heikki Niinin oppilaana ja nyt on tullut aika tehdä yhteenveto tähän asti opituista asioista.

1.4. Tutkimuksen rajaukset

Päijänne-tunneli on ollut erittäin vaativa ja aikakaudelleen poikkeuksellinen projekti sekä suunnittelultaan että toteutukseltaan, joten tässä työssä on mielestäni ollut perusteltua miettiä myös niitä yhteiskunnallisia syitä, jotka ovat johtaneet näinkin ennakkoluulottomaan ja ainutlaatuiseen lopputulokseen vesihuollon toteuttamiseksi. Näitä syitä on pyritty tarkastelemaan siinä laajuudessa kuin se on tarpeellista historiallisten olosuhteiden ymmärtämiseksi. Elinkaarimallin mukainen ajattelu tarvitsee mielestäni perusteellisen pohdinnan syistä, jotka ovat johtaneet tunneliratkaisuun. Tässä

diplomityössä on siis tarkoituksella mietitty historian osuutta hieman laajemmin kuin yleensä on tapana diplomitöissä.

Termi: ”Rakennusgeologiset olosuhteet” on aiheena erittäin laaja sisällyttäen itseensä lukuisan määrän tapoja käsitellä aihetta. Olen rajoittanut aiheen käsittelyn niihin seikkoihin, joilla on mielestäni Päijänne-tunnelin yhteydessä mainittavaa vaikutusta ihmisen toimintojen kannalta.

Vuosien kuluessa monet tekniset ratkaisut ja rakennusmenetelmät ovat kehittyneet ja sillä on ollut vaikutuksensa rakennuskustannuksiin. Näiden kustannusten vertailu on pyritty tekemään objektiivisesti rakennuskustannusindeksit huomioiden.

Vertailun vuoksi olen liittänyt mukaan pohdintoja Kehäradan tunnelin rakentamisesta ja kustannuksista. Kehärata toimii hyvänä referenssinä jo sijaintinsakin vuoksi ja valaisee omalta osaltaan samalla niitä rakennusgeologisia olosuhteita, jotka tunneleiden risteyskohdassa vallitsevat.

Ympäristöriskien arviointia käsitellään tässä työssä vain pintapuolisesti tunnelin välittömässä läheisyydessä sijainneen Hausjärven Oitin pesulan tapauksen yhteydessä ja hieman laajemmin rakenteilla olevan Kehäradan yhteydessä. Syynä tähän ovat aiheen laajuus ja jo tehdyt Suomen ympäristökeskuksen tekemät tutkimukset.

Rakennusgeologian määritelmällä tarkoitetaan tässä työssä sitä insinöörigeologian osaluuetta, joka tutkii geologisten rakenteiden, ilmiöiden ja tapahtumien vaikutusta maa-, kallio- ja vesirakentamiseen sekä vesihuoltoon sekä näitten ja maankäytön suunnitteluun kuin myös rakentamisen vaikutusta geologisiin ilmiöihin.

Rakennusgeologian tutkimuskohteena ovat rakentamiselle merkityksellisten muodostumien sijainti, koostumus ja rakenne sekä niissä tapahtuvat muutokset.

Rakennusgeologia käsittelee erityisesti maankamaran lujuuteen ja liikkeisiin vaikuttavia ilmiöitä ja ominaisuuksia, kuten kallion rakoilua ja rapautumista, maakerrosten huokoisuutta, vedenjohtavuutta ja muokkautuvuutta sekä pohjaveden muodostumista, laatua ja virtausta. Eli lyhyemmin ilmaistuna; Rakennusgeologialla tarkoitetaan rakentamisen yhteydessä huomioonotettavien kallio- ja maa-ainesten teknillisten ominaisuuksien selvittelyä.

2. PÄIJÄNNE-TUNNELI

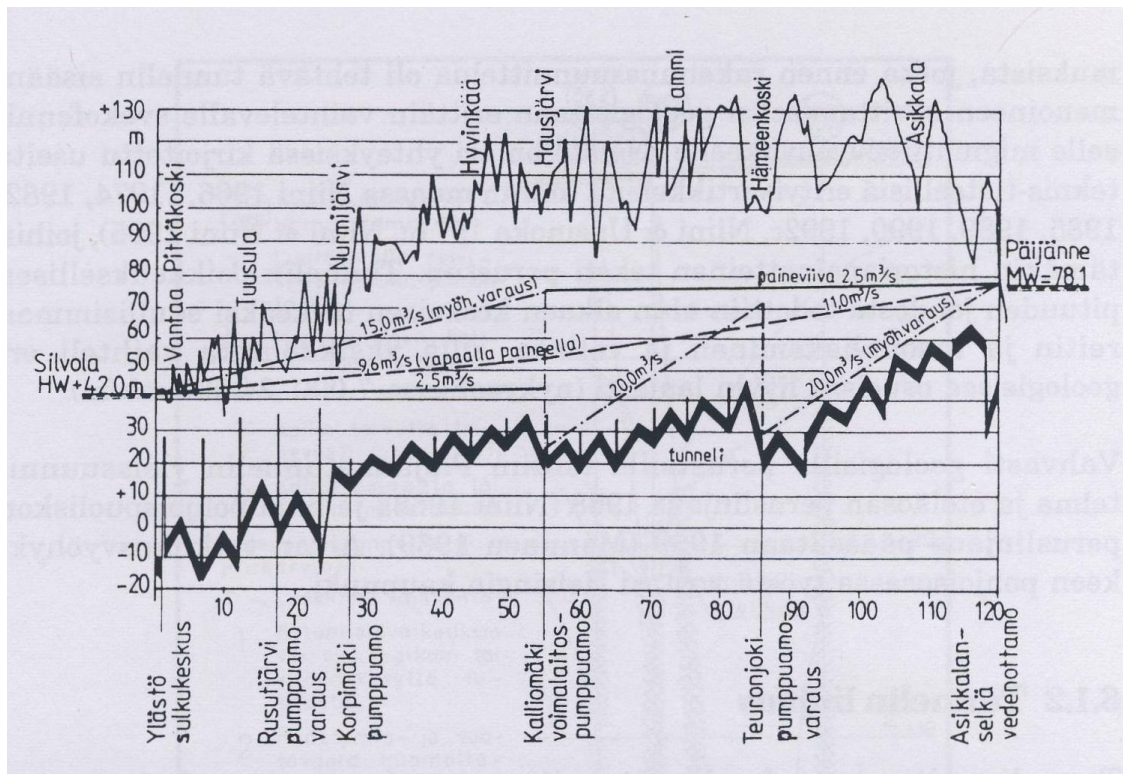
2.1. *Päijänne-tunneli tiivistetysti*

Päijänne-tunneli on yksi maailman pisimmistä yhtäjaksoisesti maan alla kulkevista paineistetuista vesitunneleista. Sen kautta siirretään raakavettä noin miljoonan käyttäjän tarpeisiin.

Tunneli kulkee 30–100 metrin syvyydellä maan pinnasta. Tunneli alkaa Asikkalan selältä ja se kulkee mm. Hämeenkosken, Hausjärven ja Nurmijärven kautta Vantaalla sijaitsevaan Silvolan tekojärveen, josta vesi johdetaan Pitkälän vedenottamolle käsittelyyn ja edelleen vesijohtoverkostoa pitkin kuluttajille (Kuva 2).

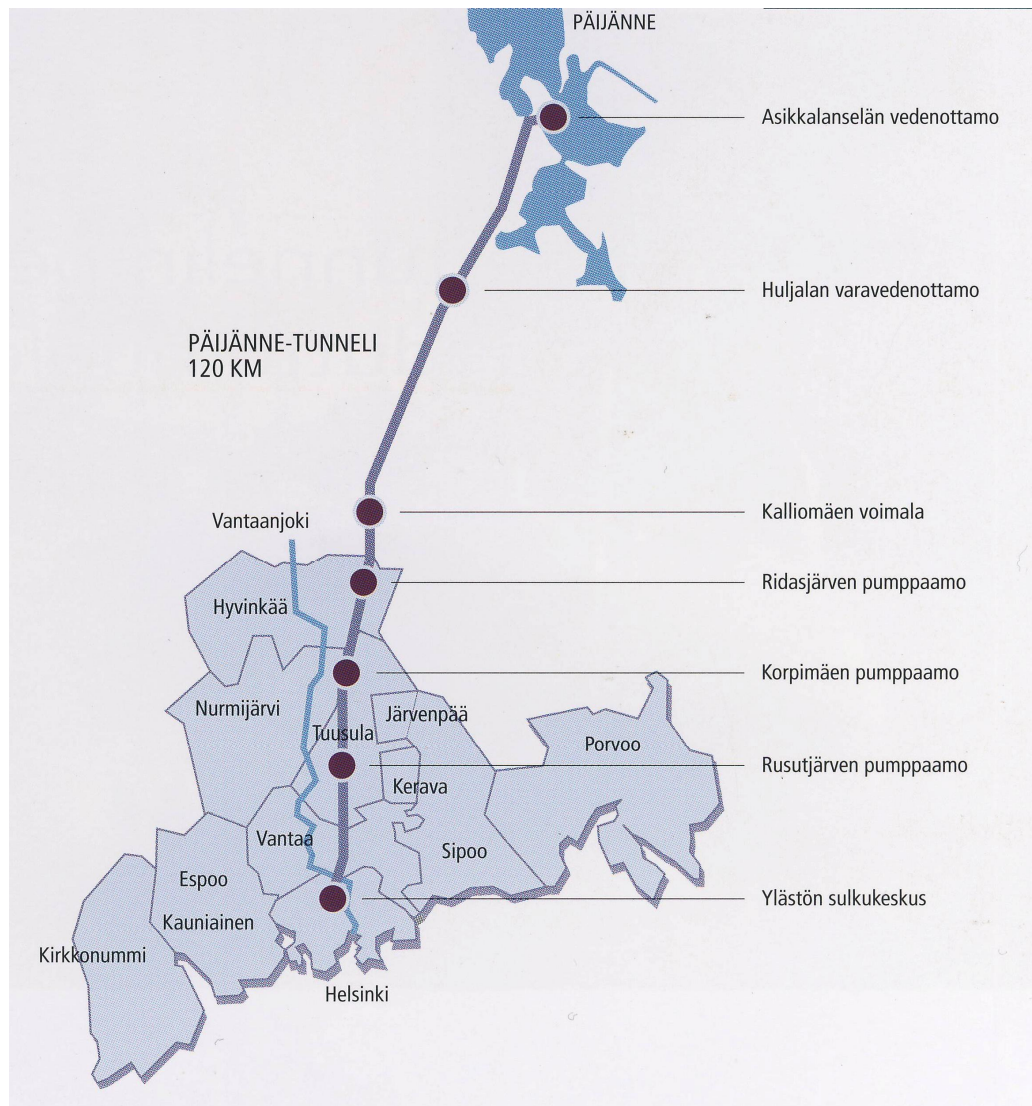
Luvuiksi tiivistettynä tunnelia on helpompi hahmottaa ja sen kustannustehokkuus ja potentiaali vesihuollon raaka-aineen kuljettamiseen on ilmeinen.

- Valmistumisvuosi: 1982
 - Pituus: 120 km
 - Poikkipinta-ala: 16 m²
 - Tilavuus: 2 * 10⁶m³
 - Vedenottosyvyys: 26 m
 - Vedenottamon siivilän silmäkoko: 0,5 mm
 - Virtaamakapasiteetti: 10 m³/s, pumppaamalla jopa 20 m³/s
 - Keskimääräinen vedenotto: 3,3 m³/s
 - Korkeusero tunnelin alku- ja loppupään välillä 36 m
 - Vuotuinen kokonaisvedenotto: n. 104,5 milj. m³
 - Voimalaitoksen teho 830 kW ja vuotuinen itse tuotettu energia: n. 6-7 GWh
 - Veden matka-aika Asikkala-Vantaa: n. 9 vrk
- (Pääkaupunkiseudun Vesi Oy/PSV 2008)



Kuva 1 Paineviiva eri virtaamilla Päijänne-tunnelissa (Päijänne-tunneli 1982).

Veden virtauksen tunnelissa saa aikaan paine, joka aiheutuu noin 36 metrin korkeuserosta alku- ja loppupisteen välillä (Kuva 1). Koska haluttiin, että vesi tunnelissa valuu omalla painollaan, eikä haluttu, että tunnelin ahtausta tai seinämien karheus aiheuttaisi liiallista painehäviötä, louhittiin tunneli poikkipinta-ala vähintään 13,5 neliömetriseksi. Tämä onnistui normaalilla poraus- ja kuljetuskalustolla, joka myös osaltaan määritteli tunnelin minimikoon (Uimonen 1982).



Kuva 2 Päijänne-tunnelin reitti (PSV).

2.2. Syyt tunnelin rakentamiseen

Vedenhankinta pääkaupunkiseudulla hoidettiin vielä pitkälle 1900-luvulle kaivojen avulla ja ulkovessat olivat yleisesti käytössä ennen vesivessojen yleistymistä. Tilanteeseen oltiin varsin tyytyväisiä, sillä kuluja niistä ei juuri koitunut. Helsinkiin oli tosin rakennettu ensimmäinen vesilaitos jo vuonna 1876, joka otti raakavetensä Vantaanjoesta. Syynä oli kaupunkilaisten huoli suurpalosta Turun palon jälkeen ja haluttiin tehostaa palontorjuntaa. Asuinmukavuuksien vaatimusten kasvaessa voidaan katsoa varsinaisen vesihuollon historian alkaneen. 1930-luvun koittaessa oli se yhteiskunnallisesti vaikeaa aikaa. Mm. työttömiä oli paljon. Kunnallinen ja yksityinen vesihuolto alkoivat kuitenkin järjestäytyä ja kunnallisia töitä tehtiin työllisyystöinä.

Rakennettiin teitä ja kaivoja, tehtiin maa- ja metsätöitä. Vuosikymmenen puolivälissä rakennettiin myös ns. palokaivoja sodanaikaisia tulipaloja varten (Juuti & Rajala, 2007).

Sotien jälkeen alkoi voimakas jälleenrakentamisen kausi ja elintason kasvamisen myötä myös vaatimukset vesihuollon parantamisesta kasvoivat. Tässä vaiheessa oli nähtävissä, että raakavedenhankintaan tarvittaisiin uusia ratkaisuja. Koska ennusteiden mukaan vesijohtoveden ominaiskulutus tulisi kasvamaan rohkeimpien ennusteiden mukaan jopa 700 litraan 2000-luvulle tultaessa Helsingin seudulla, muiden kaupunkien seuratessa perässä hieman maltillisemmilla arvioilla, alettiin suunnitella pitkän aikavälin veden hankintaa. Suunnitelman laajuudesta johtuen eivät yksityiset kunnat tai kuntien yhteenliittymät voineet sitä tehdä vaan sen hoitaminen annettiin tie- ja vesirakennushallitukselle. Yleissuunnitelma Etelä-Suomen käyttöveden hankkimiseksi tehtiin yhdessä kuntien ja teollisuuden kanssa. Päijänne-tunneli nousi 1960-luvulla esille koko pääkaupunkiseudun vedenhankinnan ratkaisuvaihtoehtoksi.

Vuonna 1968 esitti Tie- ja vesirakennushallitus, että raakaveden siirto hoidettaisiin maanalaisessa tunnelissa koko matkan Päijänteeltä Helsinkiin. Tunnelin lähtöpaikaksi oli valittu Silvolan tekoallas ja reittivaihtoehdoista lyhyin 115 km Päijänteelle jätettiin valinnoista pois. Riihimäen ja Hyvinkään kasvupaineiden ja teollisuuden vedentarpeen takia tunneliväylä linjattiin lännemmäksi kohti Hyvinkäätä, ja vasta sieltä kohti Päijännettä.

Päijännettä valittaessa tulevaksi vesivarastoksi, puoltavina syinä oli Päijänteen suuri vesitilavuus ja sen kautta virtaaman veden määrä, joka nostaa järven puhdistuskykyä. Myös veden siirtoon valittu tekninen toteutus, tunnelissa koko matka, suojaisi vettä ulkoisilta tekijöiltä. Päijänteen rannoilla oleva teollisuus joutuisi myös panostamaan vesiensuojeluun ja puhdistamaan vetensä tehokkaammin.

Mainittakoon vielä, että Päijänne-tunnelin rakentamista edeltävissä tutkimuksissa pohdittiin myös vaihtoehtoisesti veden ottamista Lohjan seudulla olevasta Hiidenvedestä sekä meriveden puhdistamista, joka todettiin liian kalliiksi. Yhtenä vaihtoehtona pidettiin myös silloista käytäntöä eli raakaveden ottamista Vantaanjoesta. Veden laatu Vantaanjoessa oli kuitenkin huono ja vedenkulutuksen ennustettiin nousevan tasolle, joka ylittäisi Vantaanjoen kapasiteetin.

2.3. Tunnelin rakentaminen

Tunneli rakennettiin kolmessa vaiheessa peruskallioon, joka on osa Etelä-Suomen prekambrista migmatiittivyöhykettä. Tunnelin alueella kallio koostuu lähinnä graniiteista ja gneisseistä. Louhinta suoritettiin poraus-räjäytys-menetelmällä.

Ensimmäinen ns. pohjoinen vaihe 35 km rakennettiin vuosina 1973-1976. Toisen vaiheen rakentaminen tapahtui vuosina 1976-1979. Toisen vaiheen osuus on noin 60km ja tunneli kulkee Nurmijärven, Tuusulan, Hyvinkään, Hausjärven, Lammin ja Hämeenkosken kuntien alueella. Kolmas vaihe toteutettiin vuosina 1979-1982.

Tunneli on mitoitettu niin, että se toimii gravitaatiolla virtaamaan $10 \text{ m}^3/\text{s}$ saakka. Virtaaman ollessa $10\text{--}15 \text{ m}^3/\text{s}$ riittää yksi paineenkorotuspumppaamo. Jos virtaama halutaan tätäkin suuremmaksi, korotuspumppaamoita tarvitaan kaksi. Koska vettä otetaan vain noin $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$, paineenkorotusta ei tarvita. Ylimääräisen paineen avulla voidaan tuottaa Kalliomäen voimalaitoksella vuodessa 6-7 GWh sähköä, jolla Pääkaupunkiseudun Vesi Oy korvaa Kymijoen voimalaitokselle vesivoiman menetyksestä aiheutuvat häviöt (PSV 2007).

Tunneli on ennakkokäsityksistä poiketen tarvinnut jo mittavia remontteja. Tunnelin valmistumisen aikaan vuonna -82 oli käsitys, että tunneli on käytännöllisesti katsoen vapaa huollosta ja että se pysyy muuttumattomana ja säilyy vuosisatoja (Erkola 1982).

Päijänne-tunnelin ensisijainen tavoite, joka oli taata riittävän ja hyvälaatuisen raakaveden saanti pitkälle tulevaisuuteen, on kuitenkin huoltokatkoja lukuun ottamatta toteutunut.

2.4. Tunnelin huolto ja korjaukset

2.4.1. Syyt korjauksiin

Päijänne-tunnelin valmistumisen aikoihin uskottiin kalliotunnelin tarvitsevan erityistä lujitusta vain kallioperän heikkousvyöhykkeissä. Käsitys tunnelin lujitustarpeesta muuttui viimeistään silloin, kun tunnelin katto sortui vuonna 1997 vain viisitoista vuotta valmistumisen jälkeen. Sortuma havaittiin lokakuussa -97 Hämeenkoskella, kun huomattiin vedenpinnan laskeneen yli metrin. Robotin avulla voitiin paikantaa sortuma noin 20 metriä pitkäksi kivikasaksi, joka tukki 60 metrin syvyydessä kulkevan tunnelin kokonaan (Mikkola 1999).

Yli miljoonan ihmisen vesisyöttötunnelin jättäminen rappeutumaan ei olisi tullut kyseeseen, joten edessä oli perusteellinen Päijänne-tunnelin korjausurakka. Kunto tutkittiin koko matkalta sukellusrobotin avulla ja etenkin tunnelin pohjoisosasta löydettiin muutamia alkavia sortumia, joten se vaati pikaisempaa korjausta.

Geologisissa tutkimuksissa havaittiin sortuman sijaitsevan siirrosvyöhykkeellä, jonka kivilajit; amfiboliitti, graniitti, ja sarvivälke/kiillegneissi vaihtelivat laadultaan heikosti rapautuneesta voimakkaasti rapautuneeseen.

Sortuma-alueella tunneli oli lujitettu 60 mm:n paksuisella ruiskubetonikerroksella. Sortumakohdalle rakennettiin 600 metriä pitkä ohitustunneli.

Vuonna 1999 robottitutkimuksella löydettiin toinen sortumakohta Pukkilasta. Tämä sortuma oli tapahtunut viistosti tunnelin läpi kulkevan noin metrin leveän kiillegneissisuonen kohdalta. Sortuma ei ollut tukkinut tunnelia kokonaan vaan vesi pääsi virtaamaan sen läpi. Tyhjennyksen jälkeen havaittiin, että sortuman pituus oli noin kahdeksan metriä. Korjauksen yhteydessä tunneli lujitettiin (Mikkola 1999).

2.4.2. Pohjois- ja eteläosan remontit

Koko tunnelin pohjoisosa peruskorjattiin syksyllä 2001 64 km:n matkalta. Eteläosan peruskorjaus, 56 km:n matkalta suoritettiin 4/08-12/08.

Tunnelin korjaaminen tapahtuu vaiheittain. Tunneliin pääsee noin viiden kilometrin välein tehdyistä ajotunneleista joita on koko tunnelin matkalla 23 kpl.

Korjaamisen ensivaiheessa vesi pumpataan pois ajotunneleiden kautta. Tunnelin seinät ja katot rusnataan, eli kaikki irtokivet poistetaan. Tämän jälkeen kalliosuunnittelijat arvioivat mihin kohtiin tarvitaan lisälujitusta pulttauksella ja ruiskubetonoinnilla. Pultteina käytettiin harjateräspultteja ja niiden avulla kiinnitetään toisiinsa epävakait kalliolohkot. Ruiskubetonointi suoritettiin käyttämällä betonia, jonka sekaan oli lisätty teräskuituja.

Vaikka suomalainen kallioperä tiedetään keskimäärin vahvaksi, ainakin keskieuropalaiseen kallioon verrattuna, mahtuu 120 km:n matkalle niin vahvaa kuin heikkoa kalliolaatua.

Lujituksen määrä korreloi korjaustarpeen kanssa. Nyt arviot seuraavan huollon ajankohdasta ovat maltillisempia ja todennäköisesti realistisempia, eli tunnelin arvioidaan kestävän noin 30 vuotta (PSV 2008).

Tunnelia rakennettaessa ajateltiin, että tunneli olisi lähes ikuinen. Nyt tiedetään, että suomalaisen kallioperän kestävyys on aikaisempaa käsitystä heikompi, etenkin veden täyttämässä rakenteissa (PSV 2007). On käynyt ilmi, että vaikka kallio on pääosin graniittia ja gneissia ja kiillettä vaikuttaa olevan vain vähän, niin kallion stabiilisuudesta huolimatta vesi haurastuttaa kalliota vaikka varsinaisia rako- ja heikkousvyöhykkeitä onkin vähän. Yleisesti ottaen suomalainen kallio on sitä ehjempää mitä syvemmälle mennään. Veden täyttämät tilat ovat kuitenkin alttiimpia ryöstölle joten lujitusta ruiskubetonoinnilla tarvitaan enemmän kuin 1970-luvulla oletettiin.

Lujitusta tehtiin tunnelin eteläpään remontin yhteydessä niin paljon kuin ehdittiin. Korjaustyön jälkeen tunnelin seinistä ja katosta on vahvistettu rakennusaikaiset betonoinnit mukaan lukien lähes puolet. Pultteja eteläosan remontissa käytettiin yli 10 000 kpl (PSV 2008).

2.5. Kustannuksia

Rakennus- ja korjauskustannuksia on seuraavassa tarkasteltu vain suuruusluokittain, sillä niiden vertailu edes kustannusindeksit huomioiden on verrattain epäluotettavaa johtuen pitkästä ajanjaksosta, valuutan vaihtumisesta, kirjaustapojen erilaisuudesta ja suhdanteiden muuttumisesta. Tunnelin rakentamisella ja korjaamisella on ollut työllistävää vaikutusta sekä julkiselle että yksityisille urakoitsijatahoille.

Tunnelin valmistumisen aikaan vuonna 1981 kustannukset olivat 530 miljoonaa markkaa, eli noin 200 miljoonaa euroa tämän hetken hintatasoon muutettuna (PSV 2008).

Huolto- ja remonttikustannukset: Päijänne-tunnelin peruskorjaus maksoi kokonaisuudessaan noin 32 miljoonaa euroa, josta eteläisen osan korjauskustannukset olivat 19 miljoonaa euroa.

Päijänne-tunnelin peruskorjaus rahoitettiin lainanotolla. Investointien, lainojen ja lyhennysten ja nettomääräisten korkojen yhteismäärä oli kaikkia osakkaita koskevien menojen osalta 24,1 miljoonaa euroa (PSV 2008).

3. PÄIJÄNNE-TUNNELIN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

3.1. Ympäristövaikutukset Päijänteeseen

Tunneli alkaa Päijänteen eteläpäästä, Asikkalan selältä. Vedenotto kohta on 360 metrin etäisyydellä rannasta ja noin 26 metrin syvyydessä. Tämä siksi, että vesi olisi

mahdollisimman tasalämpöistä läpi vuoden (2-10 °C). Vuosittain tunnelin kautta kulkee noin 90-100 miljoonaa kuutiometriä vettä, joka on noin 1 % järven luontaisesta virtaamasta. Vedenotto ei muuta luonnonolosuhteita Päijänteen rannoilla (PSV 2008).

Koska Päijänne valikoitui jo varhain vedenoton alkulähteeksi, on sillä ollut viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana järven olosuhteita parantava vaikutus. Veden laatu on parantunut merkittävästi tehtyjen vesiensuojelutoimenpiteiden ansiosta. Yläjuoksulla olevien teollisuuslaitosten jätevesien puhdistukseen on jouduttu panostamaan ja se on mahdollistanut Päijänteen nykyisen hyvälaatuisen raakaveden. Etenkin puunjalostuksessa syntyvien klooriyhdisteiden, kloorifenolien ja trihalometaanien pitoisuudet ovat nykyään selvästi alle ympäristölaboratorion määräysrajan. Vedenottokohtaan on huuhtoutunut humusta valuma-alueella, mutta siitä huolimatta vedenlaatu on hyvä (PSV 2006).

3.2. Ympäristövaikutukset tunnelin lähiympäristössä

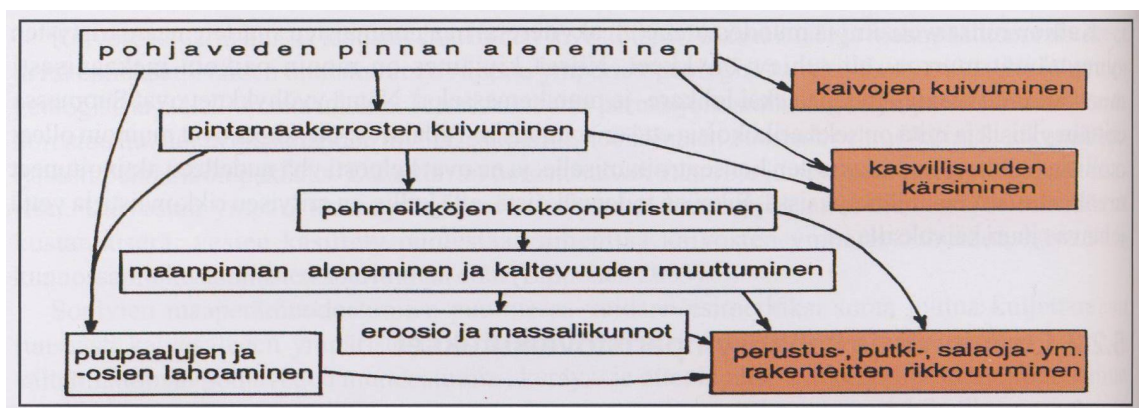
Maanalaisten tilojen yksi tärkeimmistä positiivisista ympäristövaikutuksista on se, että niitä käyttämällä säästetään luonnollista maanpintaa muuhun toimintaan. Toisaalta irrotettu ja ylös kuljetettu maa- ja kallioaines aiheuttaa ainakin hetkellisesti sijoitusongelman siitä seuraavine muutoksineen veden valunnassa.

Negatiivisia vaikutuksia aiheutuu lähinnä siitä että, maa- ja kalliomassojen siirto muuttaa otto- ja käyttöpaikan hydrogeologisia olosuhteita. Kun tunneli on tyhjä, saattaa tunnelin ympäristössä tapahtua tilapäisesti pohjaveden pinnan laskua. Päijänne-tunnelin rakentamisen ja huoltokatkosten aikana ympäristön kaivoissa tapahtui veden vähenemistä, joka korvattiin täyttämällä asukkaiden kaivoja korjauksen aikana.

Tunnelin rakentamisesta on vuosina 1973-1980 aiheutunut noin 250 kaivon kuivuminen. Niiden tilalle rakennuttaja korjasi asian joko kaivauttamalla uuden kaivon tai järjestämällä kiinteistön vesihuollon muulla tavoin. Näiden velvollisuuksien hoitaminen maksoi noin kaksi miljoonaa markkaa (Harjula 1982).

Vaikka pohjavesihaitat olivat pääosin tilapäisiä ja rakennusajalle kohdistuvia, niin pysyviä muutoksia tapahtui Kalliomäen voimalaitoksen ja Korpimäen pumppaamon välisellä 30 kilometrin pituisella tunneliosuudella johtuen siitä, että voimalaitoksen takia vedenpaine tunnelissa laski tällä välillä 30–40 metriä. Tämän vaikutuksen korjaamiseksi rakennettiin kolme pienvesihuoltojärjestelmää joihin liitettiin 45 taloutta (Harjula 1982).

Tunneliin tulevien vuotovesien kuivatuspumppaus eteläosan remontin aikana oli noin 300 m³/h. Pohjaveden pinnan alenemisen vaikutuksia ympäristöön on esitetty kuvassa 3 (Niini & Niini 1995).



Kuva 3 Vuotoveden poispumppuamisen aiheuttamat pohjaveden alenemisen ympäristövaikutukset (Niini & Niini 1995).

3.3. Ympäristövaikutukset elinkaariajattelun mukaan

Elinkaariajattelu ei ole sidoksissa mihinkään tiettyyn hankintatapaan vaan tarkoittaa energian ja materiaalien tehokasta käyttöä, jossa pyritään välttämään ympäristön tarpeetonta rasittamista. Elinkaariajattelussa kerätään ja sovelletaan tietoa eri materiaalien kestosta sekä huollon ja uusimisen aikatauluista. Sopimusajat ovat totuttua pidempiä joten elinkaaritietoa voidaan käyttää siinä laajasti hyväksi.

Geologisten tekijöiden huomioonottaminen rakennussuunnittelussa on sitä tärkeämpää mitä laajemmasta rakennusprojektista on kyse. Yli kuntarajojen toteutettavilla maanalaisilla konstruktioilla kuten Päijänne-tunnelilla sen merkitys korostuu entisestään projektin ainutlaatuisuuden vuoksi. Geologiset tekijät ovat vaikuttaneet rakennushankkeitten sijoitukseen, suuntaukseen ja työmenetelmien valintaan mitä suurimmassa määrin. Taloudellisesti merkittävin ja olennaisin on kohteen sijoittaminen

mahdollisimman sopivaan geologiseen ympäristöön. Sen taloudellinen vaikutus hankkeitten toteutumiskustannuksiin voi olla satoja prosentteja (Niini, Uusinoka & Niinimäki 2007). Tämä edellyttää, että on riittävä tuntemus geologisista materiaaleista, rakenteista ja muodostumista, sekä riittävä tieto näiden tekijöiden vaikutuksista erilaisissa oloissa ja tapauksissa. Ja tämän tiedon huomioonottaminen suunnittelun ja toteutuksen kaikissa vaiheissa, erityisesti suuria investointipäätöksiä tehtäessä, jotka yleensä tehdään hankkeitten alkuvaiheissa (Niini, Uusinoka & Niinimäki 2007).

Elinkaarimalli muistuttaa läheisesti elinkaariajattelua ja elinkaarimallinmukaisesti on toteutettu viime vuosina suuria tierakennuskohteita menestyksekkäästi. Projektit ovat valmistuneet nopeasti ja yksityisen rahoituksen turvin. On kuitenkin vielä varhaista arvioida miten huoltotyöt onnistuvat. Moottoritien odotettavissa oleva käyttöikä saattaa olla pidempi kuin yrityksen ikä ja vastuukysymykset saattavat joutua uudelleen määritettäväksi esimerkiksi muuttuvien olosuhteiden tai konkurssien myötä. Yksityisen yrityksen ensisijainen intressi on tuottaa voittoa joten mahdollisten vastoinkäymisten jälkeen voi olla vaikeaa löytää vastuunkantajaa. Pääperiaate Suomessa tapahtuvien ympäristövahinkojen korvaamisessa on, että vahingon aiheuttaa joutuu korvausvastuuseen. Jos aiheuttaja ei siihen pysty, joutuu yhteiskunta maksajan rooliin.

Päijänne-tunnelin kaltaista projektia ajatellessa elinkaarimallin mukaan voisi kaaren alkukohtana pitää esimerkiksi suunnittelua, kaaren lakipisteenä ehkä hankkeen valmistumista ja käyttöönottoa jota seuraisi ylläpito ja määräaikainen hoito, jonka jälkeen hanke siirtyisi kunnalle tai valtiolle. Jokaisella projektilla on varmasti ajallaan loppu, mutta sen ennustaminen on ymmärrettävästi vaikeaa.

Teoriassa projektin päättyminen voisi olla tunnelin poistaminen käytöstä tai sen uusiokäyttö. Jätettä ei jää, vain tyhjä tila.

Päijänne-tunnelin rakentamisen yhteydessä on toimittu yhteistyössä kuntien ja maanomistajien kanssa. On pyritty minimoimaan tunnelin rakentamisen aiheuttamat haitat niin ympäristölle kuin ihmisille. Tältä osin elinkaariajattelua on toteutettu niin suunnittelu- kuin rakennusvaiheessakin ja vaikka nimitys on uusi, on menetelmää sovellettu onnistuneesti ainakin tältä osin. Raaka-aineiden optimaalisen käytön arviointi on taas vaikeampaa, sillä nopeasti remonttia kaipaavat sortumat ja niihin johtaneet syyt

ovat vaikeammin arvioitavissa. Oltiinko liian optimistisia kalliolaadun suhteen vai oliko budjetissa pysyminen ja aikataulussa pitäytyminen ensisijainen prioriteetti? Niinin materiaalien perusteella väittäisin, että nämä kaikki kolme syytä johtivat siihen, että kompromissien tuloksena lujitukset tehtiin niihin paikkoihin, jotka arvioitiin kriittisimmiksi. Remonttien yhteydessä kävi ilmi, että ryöstöt olivat alkaneet heti ruiskubetonoitujen kohtien vierestä (Kallio 2010), joten on ilmeistä, että näitä kohtia on osattu epäillä mahdollisiksi riskikohdiksi jo rakennusvaiheessa. Kirjallisesta materiaalista ei sen sijaan selviä millä perusteella lujitetut kohteet on valittu juuri siinä laajuudessa kun on tehty.

Suuret projektit joiden suunnittelu, rakentaminen, rahoituksen hankkiminen ja huoltojen toteuttaminen on yleensä ollut yhteiskunnan julkisen sektorin toimintaa, elävät nyt murrosvaihetta. Päijänne-tunneli on ollut usean kunnan yhteistyöprojekti, ja sen ylläpidosta ja vedenjakelusta vastaa nykyään Pääkaupunkiseudun Vesi Oy.

4. RISKITEKIJÄT PÄIJÄNNE-TUNNELIN VEDENSIIRROSSA

4.1. Vesi maaperässä

Suomen maaperä on muodostunut jääkaudella ja sen jälkeen ja sen keskimääräinen paksuus on noin 8,7 metriä (Mälkki 1999). Pinta-alaltaan laajimpien kivennäismaalajien, moreenien keskipaksuus on kuitenkin edellistä pienempi. Siten näissä maalajeissa mahdollinen pohjavesitilavuus on kokonaisuutena pieni. Muihin EU-maihin verrattuna maaperä on karua ja ohutta. Voimakkaan rakentamisen johdosta Päijänne-tunnelin eteläosan olosuhteet ovat muuttuneet tunnelin suunnitteluvaiheen jälkeen ja kalliota suojaavan maanpeitteen pinta on edelleen ohentunut vaikuttaen siten haitallisten aineiden kulkeutumiseen alueella.

Yksinkertaistaen pohjavesi muodostaa geologisena muodostumana yhden kokonaisuuden, vaakatasossa kumpuilevan kerroksen maan sisällä. Maassa olevat huokokset, onkalot ja raot täyttyvät vedellä, josta se pyrkii maanvetovoimasta johtuen

virtaamaan alaspäin. Huokoisuus, stratigrafia ja kallion topografia määrittävät minkä muotoisina altaina pohjavesi esiintyy. Ne myös määrittävät veden määrän, sen virtausnopeuden sekä -suunnan (Niini & Niini 1995).

Ihmisen lisäksi myös itse luonto vaikuttaa pohjaveteen liuottamalla siihen esimerkiksi fluoria, radonia, arseenia tai elohopeaa ja muita metalleja.

4.2. Vesi kalliossa

Suomen kallioperä on vanhaa, noin 1,8 miljardia vuotta. Se ei ole ominaisuuksiltaan yhtenäistä vaan siinä esiintyy kirjavuutta. Kallioperän rikkoutuminen on aiheuttanut rakennettavuuteen vaikuttavia rakoja, siirroksia ja ruhjevyöhykkeitä, josta johtuen niissä on avoimia tiloja, jotka täyttyvät vedellä. Pohjavesi joka painovoiman vaikutuksesta liikkuu, pyrkii täyttämään tyhjät tilat. Vapaana vesi esiintyy pääasiassa huokosissa, raoissa ja onkaloissa. Suomen kivilajien huokokset ovat pääosin vesitiiviitä, sillä huokokset ovat eristettyjä. Näissä esiintyvä veden määrä on muutamia prosentteja. Sedimenttikiven huokosverkostoihin voi sitoutua enemmän vettä. Kalliossa esiintyvä vesi sijaitsee pääasiassa raoissa ja ruhjeissa (Niini & Ärmänen 2000).

Rakoilu kalliossa jakautuu usein eri suuntiin ja se voi olla tiheää tai harvaa. Geologisessa tulkinnassa korostuvat usein tilastolliset seikat. Esimerkiksi yksittäisen raon merkitystä epäjatkuvuuskohtana voi olla vaikea havaita, jos timanttikaira osuu rakoon nähden tulkintaa vaikeuttavassa asennossa. Tällainen yksittäinen rako voi kuitenkin nousta louhinnassa huomattavaksi tekijäksi ja myöhemmin ryöstön aiheuttajaksi, jos olosuhteet ovat sille suotuisat. Täytteisessä raossa itsessään on normaalisti vain pieni vetojännitys, mutta joutuessaan veden kanssa kosketuksiin, savimineraalit paisuvat, ja aiheuttavat vetojännitystä lohkareseen (Ärmänen 2010).

Ja päinvastainen tulkintavirhe voi taas aiheutua tilanteessa, jossa timanttikaira sattumalta lävistää samassa suunnassa olevia rakosuuntia, joka louhinnassa paljastuukin monessa suunnassa esiintyväksi rakotihentymäksi, ja siten helpommin lujitettavaksi kohteeksi kuin kairasydännäytettä tulkittaessa on näyttänyt (Ärmänen 2010).

Kalliossa voi esiintyä myös ns. vesitaskuja. Vaakarakoilu yhdistää pystyjä ja kaltevia rakosysteemejä ja mahdollistaa siten laajat yhtenäiset rakoverkostot, joita pitkin vesi pääsee liikkumaan. Rakojen määrän uskotaan pienenevän nopeasti syvyyden funktiona ja kiinteään kallioperän avoimet raot yltävät tavallisesti 50-100 metrin syvyyteen (Mälkki 1999). Päijänne-tunneli on louhittu 30-100 metrin syvyyteen maanpinnasta, ja se kulkee pääosin migmaattisissa graniiteissa ja gneisseissä. Tunneliin louhitut ajoluiskat toimivat myös veden valumaväylinä niiden ollessa pääosin avoimina.

Kallion ruhjealueilla esiintyy runsaasti rakoilua, josta on usein yhteys maaperän pohjavesivarantoon. Rakoilu tällaisella alueella saattaa ulottua jopa 500 metrin syvyyteen (RIL 1987).

Pohjavettä suotautuu kallioperään sadevesistä. Imeytyminen tapahtuu kalliopaljastumien kohdalla sekä maanpeitteen välityksellä. Tehokkaimmin tämä tapahtuu rakoilleilla, muodoltaan tasaisilla paljastuma-alueilla. Maan jyrkkyydestä riippuu miten voimakkaana pintavalunta esiintyy.

Veden kierto kallioperässä perustuu gradienttiin, joka aiheuttaa veden liikkeen ja sitä kautta kallioperän vesi osallistuu hydrogeologiseen kiertoon (Niini & Niini 1995).

4.3. Kalliotilan vaikutuksia pohjaveteen

Rikkonaisuudestaan huolimatta Suomen kallioperä on yleisesti ottaen verrattuna eurooppalaiseen kallioon varsin tiivistä. Rakentamisen aikaisen tiivistykseen joudutaan useimmiten turvautumaan kalliotilan käyttötarkoituksesta johtuvasta syystä tai siksi, että suhteellisen pienikin vuoto, esimerkiksi alle 10 l/min/100 tunnelimetriä saattaa aiheuttaa ympäristöhaittoja. Pohjaveden pinnan alapuolelle rakennettuun kalliotilaan vuotava vesi voi aiheuttaa pohjaveden pinnan alenemista yläpuolisissa pohjavesialtaissa. Pohjaveden pinnan aleneminen aiheuttaa haittoja asutuilla alueilla mm. alentamalla kaivojen pintoja. Lisäksi maaperään voi tulla painumia ja kasvillisuus kärsii (Niini, Uusinoka & Niinimäki, 2007).

Rakentamisen alettua kalliossa olevat raot ja halkeamat toimivat veden johteina ja vaikka kallioon itseensä on sitoutunut vain vähän vettä, välittävät raot ja halkeamat vettä rakentamisen yläpuolella olevista maaperäkerroksista. Tämä aiheuttaa vedenpinnan laskua rakennuskohteen yläpuolella samoin kuin voimakas pumppaaminen kaivosta aiheuttaisi. Rakennuttaja on vastuussa aiheuttamastaan vahingosta ja on siten velvollinen toimittamaan tarvittaville vettä. Jos kalliotilat tulevat kuivaan käyttöön, on vesivuodot tukittava tiivistystöillä. Koska Päijänne-tunnelin vaikutus tyhjänä on väliaikaista tunnelin ollessa pääsääntöisesti täynnä vettä, on taloudellisesti edullisempaa kaivauttaa korvauskaivoja tai täyttää väliaikaisesti veden puutteesta kärsivät tunnelin vaikutusalueella olevat kaivot kuin ryhtyä kallisiin tiivistystöihin. Näin ainakin haja-asutusalueilla, missä muut teollisuuden tai liikenteen aiheuttamat riskikohdat ovat pienet tai puuttuvat kokonaan (Harjula 1982).

Päijänne-tunneli on yhteydessä ympäröivän alueen pohjaveden kierto. Virtausyhteys kallion rakojen kautta voi toimia myös väylänä pohjaveden mukana mahdollisesti kulkeutuville haitta-aineille (Lipponen 2001). Päijänne-tunnelin rakentamisen pohjavesivaikutuksia seurasi työryhmä ja selvityksen tuloksena havaittiin pohjaveden pinnan alenemaa, joka merkitsee sitä, että tunnelilla on vaikutusta maaperän pohjaveteen. Tunnelin tyhjentämisen yhteydessä tapahtuvan tilapäisen pohjaveden pinnan alenemisen voimakkuus ja tunnelin vaikutusalueen laajuus riippuu virtausyhteyden laadusta. Hienorakeisilla maalajeilla (hiesu ja savi) pidätyskyky on parempi kuin karkearakeisilla maa-aineksilla, joten näillä pohjaveden pinnan lasku on yleisesti välittömämpää suuremmasta virtaustiheydestä johtuen. Poikkeuksena suuret harjusysteemit joilla on suuri kapasiteetti sitoa pohjavettä (Lipponen 2001).

Kallioperän läpäisevyys, kallion rakoilu ja ruhjeisuus, ovat vaikeasti arvioitavissa edes suuruusluokaltaan ilman tarkkoja tutkimuksia. Normaalisti ehjässä kallioperässä voidaan arvioida olevan vähintään yhden päärakoilusuunnan ja siinä keskimäärin kolme rakoa metrin matkalla. Yleensä kallioperä vuotaa, joskin vuotokohdat keskittyvät ruhjeisiin. Kun nämä ruhjealueet on selvitetty, voidaan vuotamista vähentää injektoimalla (Niini 1992).

Huolellinen suunnittelu etukäteen voi säästää kustannuksia ja pienentää haittoja merkittävästi. Koska kallio ei ole aina homogeenista ja isotrooppista vaan alueen

geologia ja vedenläpäisevyys voivat vaihdella huomattavastikin, on pohjaveden pinta vaikea määrittää. Luotettavin keino selvittää pohjaveden korkeus on suorittaa jatkuvaa pohjaveden pinnan korkeuden seuranta porareijistä tai pohjavesiputkista. Näin toimitaan mm. Kehäradan rakentamisen yhteydessä (www.keharata.fi). Ongelmana on näiden tutkimusten kalleus ja se, että putket saattavat tukkeutua ja vaativat huoltoa tai uusimista aika ajoin (Ärmänen 2010).

4.4. Kehäradan vaikutuksia Päijänne-tunneliin

Edellisissä kappaleissa esitetyt havainnot merkitsevät sitä, että etenkin tunnelin eteläosassa missä on voimakkaasta infrastruktuurista johtuvaa rakentamista ja alueen kuormittumista, olisi otettava erityisen tarkasti pohdintaan eri tasoissa rakennettujen tunneleiden vaikutukset toisiinsa ja veden virtaamissuuntiin. Näin esimerkiksi Kehäradan ja Päijänne-tunnelin risteyskohdassa, jonka sijoittuminen Helsinki-Vantaa lentoaseman alle lisää entisestään riskiä haitallisten aineiden kulkeutumisesta ennalta arvaamattomasti.

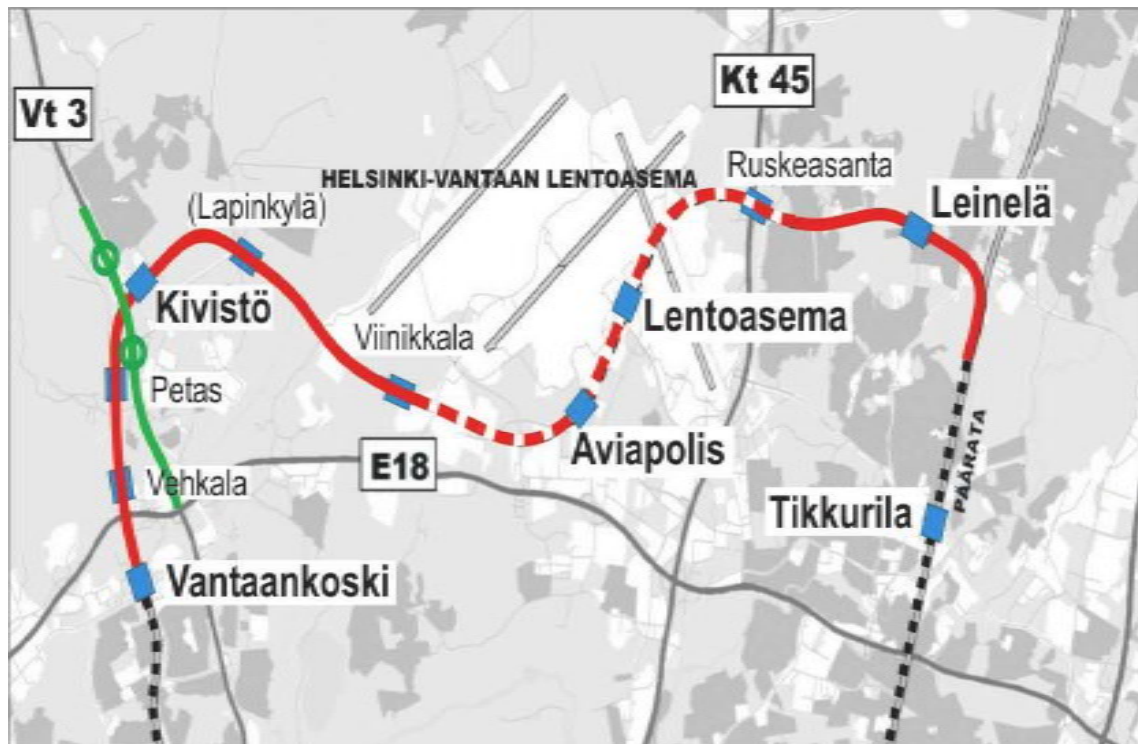
Kehärata on rakenteilla tätä opinnäytettä tehtäessä. Kyseessä on 18 kilometriä pitkä, poikittainen raideyhteys, joka yhdistää Vantaankosken radan lentoaseman kautta päärautaan Vantaan Hiekkaharjussa (Kuva 7). Kehärata kulkee tunnelissa 7,9 kilometrin matkan alittaen lentoaseman alueen. Lännestä tunneli alkaa lentoaseman I kiitotien eteläpuolelta ja maanpinnalle se nousee Ilolassa Laaksotien itäpuolelle ja Koivukylänväylän eteläpuolelle jäävällä alueella (Kuva 5).

Louhintoja suoritettiin syksyllä 2009 (Kuva 4) ja talvella 2010 miltei Helsinki-Vantaan lentoaseman alla, johon on louhittu monta sataa metriä pitkä ajotunneli.

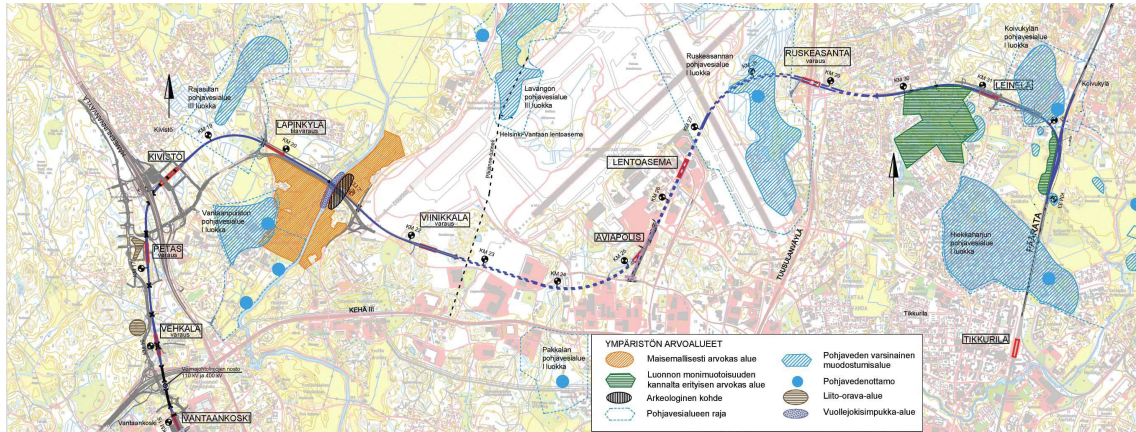
Kehäradan louhintatyöt ja etenkin sen tunneliosuuden länsipää ovat Päijänne-tunnelin kannalta merkitykselliset sillä tällä kohtaa Päijänne-tunnelin ja Kehäradan reitit risteävät siten, että tunneleiden väliin jää vain noin 13 metriä kalliota (Aluehallintovirasto 4/2010).



Kuva 4 Kehäradan ajotunnelin louhintaa syyskuussa 2009, kuvaaja Matti Kolho



Kuva 5 Kartassa Kehäradan tunneliosuus punaisella katkoviivalla, maanpinnalla kulkeva rataosa ehjä punainen viiva (www.keharata.fi).



Kuva 6 Päijänne-tunnelin (mustalla katkoviivalla) ja Kehäradan (sinisellä katkoviivalla) risteyskohta (www.keharata.fi).

Tunneliosuuden länsipäätä luonnehtivat melko pienpiirteiset ja paikoin jyrkkäreunaiset kalliopaljastumat. Kalliomäkien välissä on alavampia soistuneita alueita, jotka viittaavat rikkonaisuusvyöhykkeisiin (Kuva 6). Tunnelien läntisen suuaukon ja lentoaseman välillä havaittiin useita merkittäviä rikkonaisuusvyöhykkeitä. Myös lentoaseman alueella esiintyy rikkonaisuusvyöhykkeitä. Kiitoteiden itäpuolella on kaksi laajaa merkittävää rikkonaisuusvyöhykettä, joista toisen kohdalla ratatunnelin kalliokatto on tutkimusten perusteella vain viisi metriä (www.keharata.fi; Kehäradan, ratasuunnitelma 2008). Tämä alue jää Päijänne-tunnelista sivuun, mutta kuvaa hyvin alueen herkkyyttä, suojausvyöhykkeet ovat ohuita ja riskitekijöitä on alueella useita.

Maaperä kehäradan tunneliosuudella vaihtelee. Päijänne-tunnelia ajatellen merkittävä alue on Vantaanjoen itäpuoleinen alue jatkuen Kehäradan tunnelin suuaukolle ja sitä seuraava tunnelin läntinen osa. Tältä kohdilta rata-alue on ohuen moreenikerroksen peittämää kallioaluetta. Syvämpi maapeitteinen ruhje sijaitsee kiitotie 3 jatkeen kohdalla (Kuva 6).

4.5. Pinta- ja pohjavedet Kehäradan alueella

Ratalinjan varrella pintavesistä merkittävimmät ovat Vantaanjoki sekä Keravanjokeen laskevat Kylmäoja ja Rekolanoja. Vantaanjoki on 99 km pitkä ja sen valuma-alueen pinta-ala on 1680 km². Vantaanjoelle on tyypillistä nopeat muutokset joen virtaamassa ja veden laadussa. Sadejaksoilla maa-ainesta huuhtoutuu runsaasti jokeen. Vantaanjoen merkitys on tärkeä, koska sitä käytetään Päijänne-tunnelin sijaan raakaveden lähteenä tunnelin ollessa poissa käytöstä.

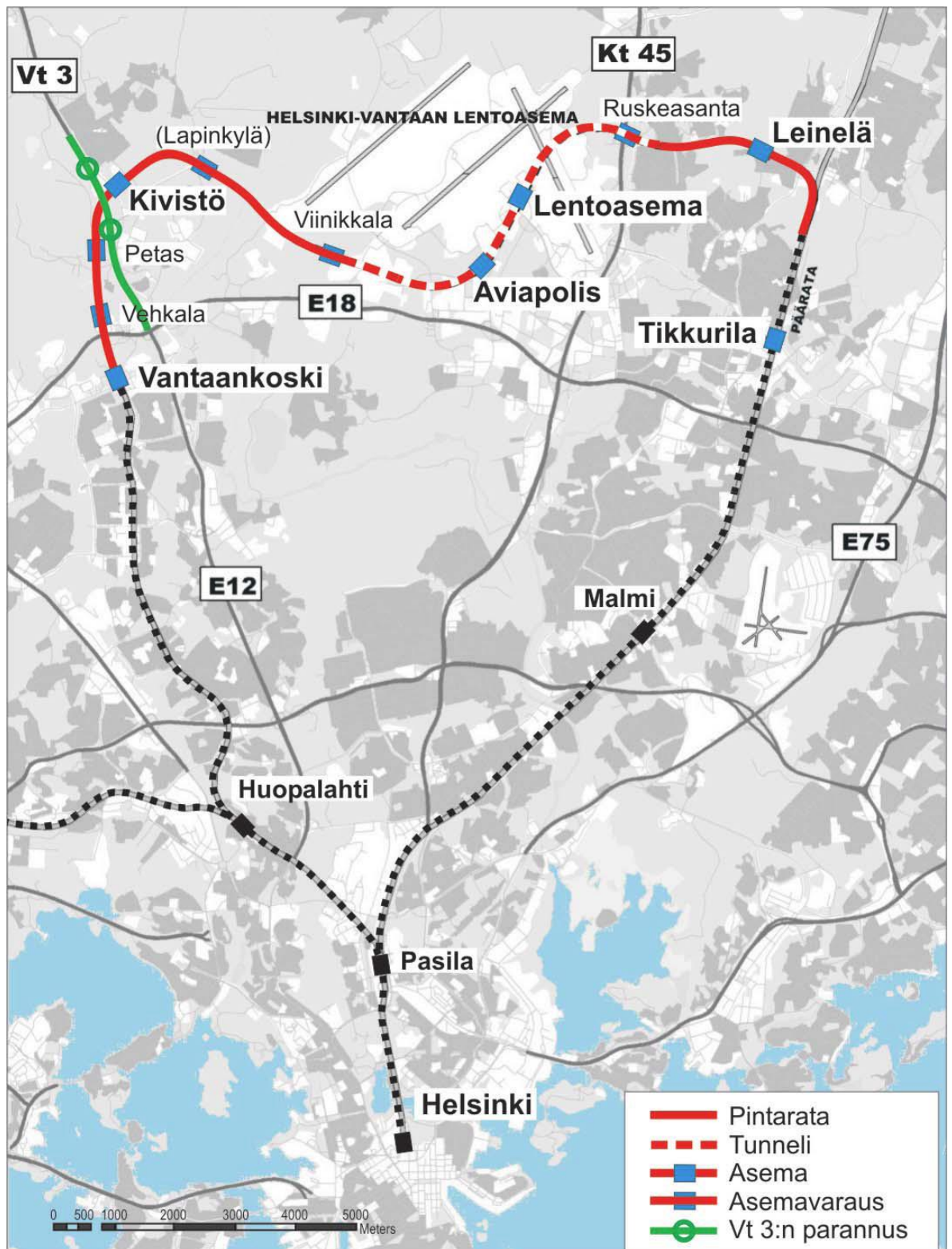
Keravanjoelle on myös tyypillistä suuret virtaama- ja vedenlaatuvaihtelut. Päijänne-tunnelista johdetaan lisävettä joen virtaamaa lisäämään ja siten parannetaan muutoin laatuluokitukseltaan vain välttäväksi arvioitua Rekolanojan vedenlaatua. Päijänteestä saatava lisävesi vähentää kuivina ja normaalisateisina kesinä Keravanjoen rehevyyttä ja sameutta koska fosforipitoisuus laimenee virtausnopeuden myötä.

Pohjavesialueita Kehäradan linjalla on kolme ja ne kaikki luokitellaan 1-luokkaan eli vedenoton kannalta tärkeiksi pohjavesialueiksi (Kuva 6). Kehärata kulkee lentoaseman pohjavesialueen kohdalla tunnelissa ja Koivukylän ja Valkealähteen pohjavesialueilla avoratana. Ratalinjauksen alueella sijaitsee myös useita yksityisiä talousvesikaivoja (Kehärata ratasuunnitelma).

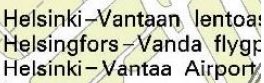
4.6. Kehäradan rakentamisen ja käytön aiheuttamat vaikutukset P-tunneliin

Kehäradan ympäristövaikutusten arviointiraportissa 4/2001 käsitellään Päijänne-tunnelia vain niukasti. Raportissa mainitaan, että suunnitteilla oleva rautatietunneli, joka muodostuu kahdesta erillisestä tunnelista, tulee kulkemaan Viinikkalan itäpuolelta Päijänne-tunnelin yläpuolella siten, että tunneleiden väliin jää 18 metriä kalliota.

Raportissa todetaan lisäksi, että ratatunneleiden louhinnassa on pieni riski, että louhinta sortaisi Päijänne-tunnelia. Koska kallion laatu on risteyskohdassa hyvä, ei sortumisvaaraa pitäisi olla. Riskien pienentämiseksi Päijänne-tunnelin ylityksen kohdalla tullaan käyttämään tarkkuuslouhintamenetelmiä ja esi-injektointia niin, että ratatunneli on risteyskohdalla tiivis.



Kuva 7 Asemien sijainti Kehäradalla (www.keharata.fi).



30

Louhintatyöt räjäytyksineen voivat aiheuttaa sortumavaaraa Päijänne-tunnelille ja myöhemmin junaliikenne aiheuttaa tärinää, joka saattaa kulkeutua kalliota pitkin Päijänne-tunneliin aiheuttaen kalliooperässä räsytystä, joka taas puolestaan voi lisätä sortumariskiä.

Mielenkiintoiseksi asian tekee se, että alkuperäiset lujuuslaskelmat ja reittivalinnat on tehty sillä odotusarvolla, että kallion laatu on hyvä (YVA 2001). Kehäradan ratasuunnitelmasta vuodelta 2008 käy kuitenkin ilmi, että alueella ruuhjavyöhykkeet vaihtelevat voimakkaasti ja se vaikeuttaa alueen kalliolaadun luokittelua. Alueella vuorottelevat ehjän kallion kanssa rikkonaisuusvyöhykkeet, joiden leveys vaihtelee 1-5 metrin välillä (Kallio 2010).

Yleispiirteisesti kalliolaadun luokittelu on subjektiivista ja tulos riippuu pienpiirteisesti kyseessä olevan kallion kohdasta ja luokittelumenetelmästä, joten näennäisesti ristiriitaiset tulokset alueen kalliolaadusta ovat selitettävissä ainakin osittain juuri näihin edellä mainittuihin seikkoihin vedoten (Ärmänen 2010).

Koska lentokenttäalueen toiminnot tulevat laajentumaan kiitoteiden 1 ja 3 välialueelle (Kuva 8), hakee Liikennevirasto lupaa Kehäradan rautatietunnelin vaihtoehdon Ve3 rakentamiseen, jossa nykyistä tunnelivaihtoehtoa linjataan noin 450 metriä pohjoisemmaksi kuin voimassa olevan luvan mukaisessa linjauksessa Ve0 (Aluehallintovirasto 4/2010).

Kehäradan rautatietunnelin suunnittelualueen kivilaatu vaihtelee massamaisesta graniitista liuskeiseen kiillegneissiin. Monin paikoin kivilaatu on rakennusgeologisen kalliolaatuluokituksen mukaan seoksista. Rapautumisasteeltaan kivilaadut ovat pääasiassa rapautumattomia tai vähän rapautuneita. Rakotäytteenä havaittiin erityisesti rikkonaisuusvyöhykkeessä kloriittia, karbonaattia ja kalliosavea. Vaihtoehdossa Ve3 kallion rakenne on Päijänne-tunnelin risteysalueella hieman parempaa kuin voimassaolevan luvan Ve0 mukaisessa vaihtoehdossa. Päijänne-tunnelin risteämisalueella kalliossa esiintyy rakoilua, joka on vettä johtavaa sekä Päijänne-tunnelin että ratatunnelin tasossa (Aluehallintovirasto 2010).

Päijänne-tunneli on Kehäradan alapuolella paalun 23+800 kohdalla. Rautatietunnelin ja Päijänne-tunnelin väliin jää 13 metriä kalliota. Päijänne-tunnelin normaalissa käyttötilanteessa pohjaveden painetaso on lähellä luontaista maanpintaa. Tästä johtuen vesi ympäröivästä kalliomassasta pyrkii purkautumaan Kehäradan tunneleiden suuntaan. Suunnittelualueella on tehty yleissuunnitteluvaiheessa rakennusgeologinen kartoitus, porakonekairauksia, kallionäytekairauksia sekä seismisiä luotauksia kallion laadun ja kalliopinnan korkeusaseman selvittämiseksi. Paaluvälillä 23+710-23+730 havaittiin näytteen suunnassa noin kahdenkymmenen metrin matkalla murros/ruhjerakenteista kalliolaatua. Rakoilu vaihtelee vesimenekkimittausten mukaan tiivistä avoimeen. Paaluvälillä 24+080-24+120 molempia ratatunneleita leikkaa noin koillis-lounaissuuntainen usean kymmenen metrin levyinen alueellinen heikkousvyöhyke. Vesimenekkimittausten mukaan rakoilu on suhteellisen avointa tai avointa. Kallion laatu on pääosin murros/ruhjerakenteista, mutta myös savirakenteista kalliota esiintyy (Aluehallintovirasto 2010)

YVA:n alkuperäiseen arvioon verrattuna kallion oletettua huonompi laatu ja rikkonaisuus tulevat vaikuttamaan ainakin näiltä kohdin rakennuskustannuksia kohottavasti, sillä lujitustöitä ja tiivistämistä joudutaan luultavasti tekemään enemmän kuin alkuperäisiin kustannusarvioihin on laskettu.

YVA:n alkuperäinen arvio, että tunneleiden väliin jää 18 metriä kalliota, pienenee viidellä metrillä. Ratatunnelin kohdalla kallion katon paksuus on tutkimuspisteistä saadun tiedon perusteella pienimmillään noin 5 metriä ja enimmillään hieman yli 40 metriä.

YVA-menettelyn aikana 9/2000 Kehäradan rakennuskustannukset on arvioitu 1,5-1,7 miljardia markkaa linjausvaihtoehdosta riippuen. Kehäradan tähän mennessä ratkaistujen kolmen louhintaurakan hinta on yhteensä 60,5 miljoonaa euroa. Neljännen ja viimeisen osan kustannusarvio tulee olemaan kalliimpi johtuen suuremmasta työmäärästä. Tunnelitöiden osuus on noin kolmasosa Kehäradan kokonaiskustannuksista, jotka ovat arvion mukaan 605 miljoonaa euroa. Tästä voidaan laskea karkeasti, että 7,9 km tunnelia maksaa noin 202 miljoonaa euroa. Kilometrihinnaksi tälle tunnelille saadaan siis 25,5 miljoonaa euroa, mutta on otettava huomioon, että tunneleita kulkee kaksi rinnakkain.

Kehäradan rakentamisen yhteydessä suoritettut pohjatutkimukset on tehty siten, että radan toteutettavuus ja kustannukset on voitu luotettavasti arvioida alustavan yleissuunnitteluvaiheen edellyttämällä tarkkuudella. Tunneliosuuksilla on tutkimukset kohdistettu pääosaltaan kallion korkokuvan tarkentamiseen. Kallion laatu tiedot pohjautuvat aerofysikaalisiin tulkintoihin, kartta- ja ilmakuvatarkastelun pohjalta luotuun yleiskuvaan, maastossa suoritettuun rakennusgeologiseen kartoitukseen sekä nykyisistä kalliotiloista hankittuihin tietoihin. Kalliotilaa on tutkittu myös seismisten rakenneluotausten avulla (Kehärata (marjarata [www 29.10.2009](http://www.29.10.2009))).

Kehäradan tunneliosuus louhitaan siten, että rinnakkain tulee kulkemaan kaksi rautatietunnelia joiden kummankin leveys on 7,5 metriä ja korkeus 8-9 metriä. Kehärata aiheuttaa sekä rakentamisen aikaista värinä-vaikutusta räjäyttämisestä johtuen että käytöstä johtuvaa värinää. Kehärata on henkilöliikennerrata, jolla tulee kulkemaan vain kevyitä henkilöliikennejunia, mutta välittömästi kalliotunneleiden ympäristössä se voi aiheuttaa vähäistä kallion kautta välittyvää värinää alapuolella sijaitsevaan Päijänne-tunneliin nähden.

Päijänne-tunnelia on vahvistettu molempien risteysvaihtoehtojen, Ve0 ja Ve3, kohdalta 150 m:n matkalta 150 mm:n paksuisella ruiskubetonilla. YVA-selostuksessa huomautetaan, että pohjavesien ja maaperän osalta olisi tarkasteltava erityisesti rakentamisen aikaisia vaikutuksia maaperä- (kallioperä) ja pohjavesiolosuhteisiin. Kehäradan (ent. Marja-rata) vaikutusalueella tiedetään jo olevan likaantunutta maaperää ja likaantunutta pohjavettä. Likaantumisen todetaan arviointiselityksessä johtuvan mm. kiitoteiden (urea, asetaatti, formaatti) ja lentokoneiden siipien (glykoli) talvihoidosta. Lisäksi pohjavedessä on ollut kloorattuja liuottimia, joiden alkuperää ei ole voitu paikantaa, sillä vettä tiheämpinä niiden liikkumista rakosysteemeissä on vaikea ennustaa. Tunneliosuuksilla pitäisi myös pohtia likaantuneen pohjaveden ja maaperän käyttäytymistä. Likaantuneiden pohjavesien virtaus saattaa voimistua erityisesti rakentamisen aikana mm. lentoaseman pohjavesialueen ympäristössä kallioperän heikkousvyöhykkeiden takia. Heikkousvyöhykkeiden yhteyttä Päijänne-tunneliin tulee myös selvittää.

5. TUNNELITILAN LUJITUSTARVE

5.1. Tunnelitilan lujituksesta yleisesti

Tunnelia louhittaessa yksi merkittävimmistä lujusrakenteeseen liittyvistä tekijöistä on kallion jännitystila. Sen merkitys louhinnan suotuisaan etenemiseen riippuu sekä kalliossa vallitsevasta pääjännityksestä että muista kallio- ja louhostekijöistä. Laajan alueen pääjännitykseen ei ihminen voi vaikuttaa, mutta ottamalla huomioon louhoksen koon, muodon, suunnan, sijainnin, asennon ja louhintatavan voidaan kalliomekaniikan avulla selvittää ne tekijät, jotka todennäköisesti kohdistuvat louhoksen kattoon, seinämiin ja tukirakenteisiin, ainakin teoriassa. Kalliomekaniikka muodostaa teoreettisen pohjan kalliorakentamiselle. Kallioperän työstäminen teknisesti vaatii geologisten seikkojen johdosta tapahtuneiden jännitystilojen huomioimista ja ymmärtämistä. Siltikään avoimen tilan saaminen kallioon ei aina tapahdu hallitusti rakentajan haluamalla tavalla (Niini & Parkkinen 1995).

Geodynaamisten prosessien vaikutusten määrittäminen on monimutkaista, sillä niiden aiheuttamat vaikutukset ovat monimuotoisia. Atlantin keskiselänteeltä alkava merenpohjan laajeneminen ja Suomessa jääkauden jälkeinen maannousu vaikuttavat primaarijännityskenttään. Fennoskandian kilven primaarijännityskentälle on tyypillistä huomattavan suuri vaakasuuntainen puristus. Käytännön seikoista johtuen, kallion oletetaan käyttäytyvän yleistetyn Hooken lain mukaisesti. Kimmokertoimena käytetään Youngin modulia E ja Poissonin lukua ν (Eloranta 2007).

Kalliomekaniikan perusongelmana on jännitys- ja muodonmuutoskenttien määrittäminen, koska rakentaminen aiheuttaa muutoksen kalliossa vallitsevaan primaarijännitystilaan. Varmuuskertoimina käytetään siksikin suurempia kertoimia kuin maanpäällisessä rakentamisessa, jossa materiaalien tiedetään käyttäytyvän totutulla tietyillä standardien avulla ilmaistavilla tavoilla.

Kalliomateriaalin laatuun liittyy aina epävarmuutta. Kallion jännitystila on lähellä pintaa yleensä voimakkaasti anisotrooppista eli suuntautunutta. Tämän anisotropian suhde muihin geologisiin anisotropioihin kuten erityisesti rakoilun vedenjohtavuuden

vaihteluun, on myös huomionarvoinen asia, jota voitaisiin hyödyntää louhinnan suunnittelussa ja toteutuksessa (Niini & Parkkinen 1995).

Kalliomateriaalien ominaisuuksia voidaan nykyään tutkia hyvin monella tavalla sekä laboratorioissa että kenttätutkimuksin. Otettujen näytteiden ominaisuuksia voidaan mitata ehjinä, murtuman hetkellä tai rikkoutumisen jälkeen. Materiaalina kalliolle on tyypillistä ominaisuuksien suuri hajonta. Aluetta voidaan kutsua homogeeniseksi, jos lujuus- ja kimmo-ominaisuuksien hajonta on alle 15 % (Särkkä 1998).

5.2. Päijänne-tunnelin rakentamisen aikainen lujitus

Lujitusta tehdään tyypillisesti käyttämällä pultteja ja/tai ruiskubetonointia. Päijänne-tunnelin rakentamisen yhteydessä onkin käytetty molempia menetelmiä. Pulttauksella on pyritty ehkäisemään isojen kalliolohkareiden irtoaminen ympäristöstään. Betonointi taas ehkäisee seinämistä ja katosta mahdollisesti irtoavien pienemmiksi rikkoutuneiden kivien myötä alkavan ryöstön. Näitä menetelmiä käyttäen pyritään ehkäisemään tunnelissa tapahtuva sortuminen, joka tukkisi käytävän ja estäisi siten veden kulun.

Sen mihin lujitusta tarvitaan päättää kalliosuunnittelija louhinnan jälkeen. Rakennuttaja pyrkii sijoittamaan tunnelin mahdollisimman edullisesti, olosuhteet huomioiden (Kuva 9).

Päijänne-tunnelin valmistuttua todettiin, että tunneli kulkee pääosiltaan kovassa, ehyessä kalliossa ja että tunnelin lävistämästä kallioperästä vain noin 15 % oli todettu niin heikkolaatuiseksi, että tunnelin seinä- ja kattopintojen tukemiseksi oli arvioitu tarvittavan ruiskubetonointia ja/tai kalliopultteja (Pokki 1982).

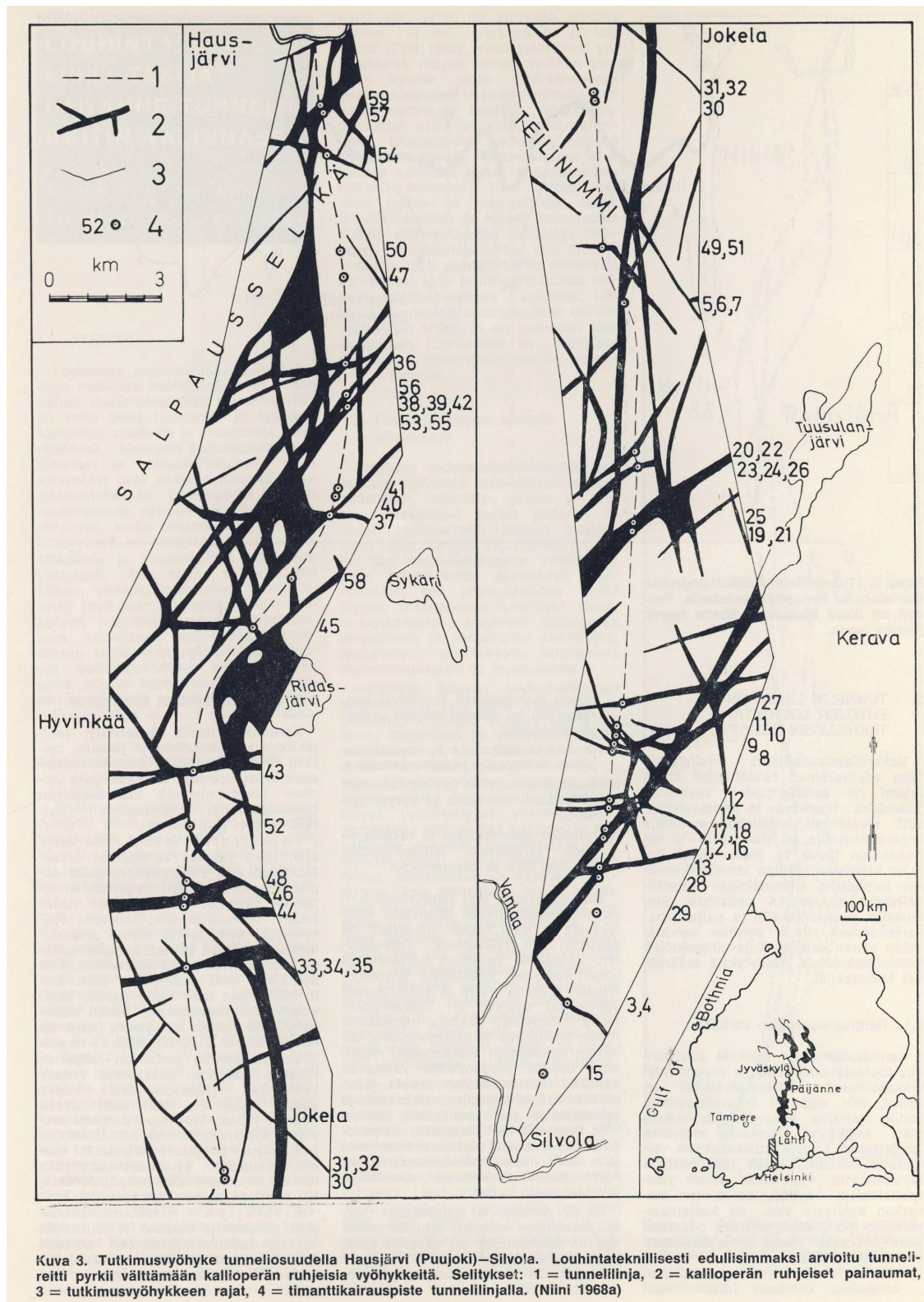
Rikkonaisuusvyöhykkeiden rakenteen oli todettu vaihtelevan suuresti. Tyypillistä niille oli, että rikkonaisuusvyöhykkeen kallio oli voimakkaasti rakoillutta, kemiallisesti rapautunutta ja löyhärakenteista sisältäen irtonaista ainesta. Rapautuneessa irtonaisessa aineessa todettiin olevan kvartsikiteitä, savimineraaleja ja karbonaatteja, sekä hydrotermisesti syntyneitä mineraaleja kuten epidootia ja talkkia. Näiden

rikkonaisuusvyöhykkeiden löyhästä rakenteesta johtuen ei tunnelia voitu rakentaa niiltä kohdin oikeassa muodossaan vaan teoreettinen poikkipinta-ala oli jouduttu ylittämään.

Rikkonaisuusvyöhykkeiden vahvuuden todettiin vaihtelevan muutamasta kymmenestä senttimetristä muutamaan sataan metriin (Pokki 1982).

Kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeet otettiin huomioon rakennusvaiheessa välttämällä tunnelin suuntaisia rikkonaisia kalliopainanteita ja viemällä tunneli mahdollisimman kohtisuoraan muiden rikkonaisuusalueiden läpi.

Tunneli kulkee keskimäärin 60–70 metrin syvyydessä maanpinnasta ja kalliokaton paksuus maksimikohdassa on 130 metriä ja minimikohdissa kalliopainanteissa 10 metriä (Pokki 1982).



Kuva 9 Valittu linjavaihtoehto pyrkii suurelta osin välttämään ruhjevyöhykkeitä.

5.3. Päijänne-tunnelin korjauksen lujituksesta

Robottitutkimusten avulla havaittiin vuonna 1998 että tunneli tarvitsee perusteellista korjausta ja että tunnelin pohjoisosa oli huonommassa kunnossa kuin eteläinen osa. Siksi päätettiin aloittaa remontti tunnelin pohjoisosasta.

Sortumien syyksi tutkimuksissa selvisi että tunnelin katon rikkoutuminen oli aiheutunut osaksi savimineraalien paisumisesta ja työntymisestä veteen jolloin pinnan lujuus on laskenut ja siten mahdollistanut ryöstymisen.

Kalliosysteemi oli todettava dynaamisemmaksi kuin rakentamisen aikana oletettiin.

Paineellisten vesitunneleiden sortumat ovat jaettavissa kolmeen ryhmään; paisuvan saven aiheuttamat sortumat, veden virtauksesta johtuvan eroosion aiheuttamat sortumat ja kemiallisen rapautumisen aiheuttamat sortumat. Näiden lisäksi voi esiintyä edellä mainittujen sortumatyyppien yhdistelmistä johtuvia sortumia joita ei voida puhtaasti kategorisoida kolmeen ensiksi mainittuun (Mikkola 1999).

Tunnelin molempien osien korjauksissa vahvistustyöt tehtiin samalla kaavalla tunnelissa systemaattisesti edeten. Seinät ja katot tutkittiin ensin koneellisesti rusnauspiikillä. Näin selvitettiin johtuiko kallion hilseily mahdollisesti katon heikosta kohdasta. Tämän jälkeen sama toistettiin käsin jotta kaikki irtokivet saatiin irrotettua seinistä ja katosta.

Rusnauksen jälkeen kalliosuunnittelijat varmistivat kohdat joihin tarvitaan pultteja ja/tai ruiskubetonointia. Remontteihin varattuna aikana ehdittiin betonoida tunnelin heikoimmat kohdat.

Korjaustöiden jälkeen noin 30 % tunnelin seinistä ja katosta on vahvistettu. Näiden vahvistustöiden jälkeen tunnelin pitäisi kestää 30 vuotta. Lujituksen määrä korreloi kuntoon jatkossakin (PSV 2008).

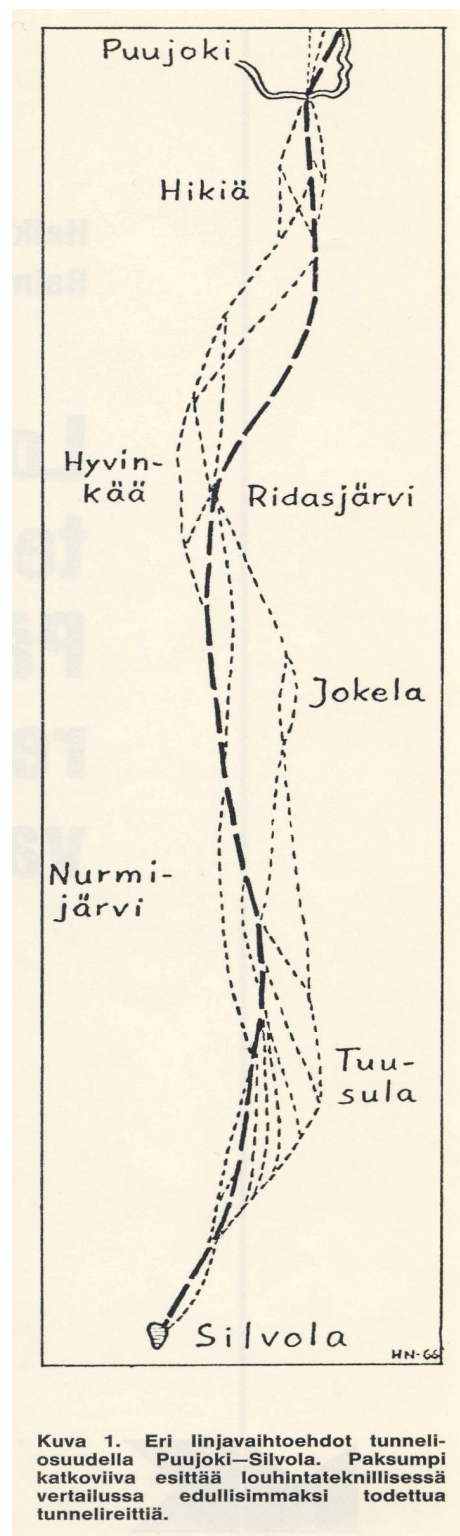
6. PÄIJÄNNE-TUNNELIN LINJAUS

Tunnelin pituudesta johtuen kallioperän ennakkotutkimukset tehtiin poikkeuksellisen laajoissa puitteissa. Niiden avulla oli tarkoitus selvittää geologiset rakenteet tunnelin yleissuunnittelua varten ja optimoida tunnelin sijainti (Kuva 10).

Tunnelin poikkeuksellinen pituus vaikutti myös siten, että jo suunnitteluvaiheen alussa pyrittiin löytämään edullisin reitti, sillä kustannusarviot vaihtelivat laajasti riippuen geologisista tekijöistä.

Tulokset geologisista kenttätutkimuksista analysoitiin louhinnan kannalta jotta eri linjavaihtoehtoja voitiin vertailla kokonaiskustannuksiltaan.

Tutkimusmenetelmiin vaikutti etenkin alueen yksityiskohtainen maaperän alainen kalliotopografia ja geologinen rakenne kivilajeineen ja tektonisine ilmentymineen (Niini & Ärmänen 2000).



Kuva 10 Mahdollisia linjavaihtoehtoja (Niini 1968).

Perusselvitysten jälkeen valittiin joukko rinnakkaisia linjavaihtoehtoja ilmakuva- ja karttaselvityksillä.

Kenttätutkimuksissa keskityttiin seismisiin luotauksiin joita Pääkaupunkiseudun vesi Oy:ssä säilyneistä materiaaleista on valtaosa. Lisäksi suoritettiin paljastumakartoituksia ja maaporausta. Näiden tietojen avulla valikoitiin vielä ne linjat, joille tehtiin kallista kallionäytekairaus. Tässä vaiheessa yleensä oli jo kyseessä sopivin linjavaihtoehto.

Kenttätutkimuksissa pyrittiin selvittämään kalliotopografia syvyystason määrääjän ja kalliorakenteen ilmentäjänä, kivilajit suuntauksineen, ruhjevyöhykkeet ja pohjavesi. Näitä tutkimuksia täydennettiin ilma- ja karttakuva-analyysillä.

Kallioperän rakenteeseen liittyvistä ongelmista keskeisessä asemassa ovat kallioperän ruhjevyöhykkeet. Ne määrittelevät lujitustarpeen

Kallioruhjeiden minimointi oli tärkein tekijä eri linjavaihtoehtoja arvioitaessa ja lopullisen reitin valinnassa. Parhaalle linjalle arvioitiin lujitusta tarvittavan 17,8 % (Niini 1968), louhinnassa toteutunut lujitustarve oli 15 % (Pokki 1982).

Ruhjeisuuden aiheuttaman lujitustarpeen arvio perustui seismisiin kallionopeuksiin.

Professori Heikki Niinin materiaaleista löytyy kaksi esimerkkiä joista selviää miten vertailu eri linjavaihtoehtojen välillä on tapahtunut

Tarkastelussa on käytetty hyväksi Päijänne-tunnelin osalta myös tie- ja vesirakennushallituksen omia tutkimuksia, Heinolan ja Jaalan tunnelien osalta vain 1:60 000 ilmakuvia, 1:100 000 topografiakarttoja sekä valmiina olevia 1:100 000 maaperä- ja kallioperäkarttoja. Kallioperän ruhjeisuutta on arvioitu ennen kaikkea ilmakuvista fotogeologisen stereotulkinnan avulla.

Selvityksessä todetaan, että kaikilla linjavaihtoehtoilla vaihtelevat kivilajit runsaasti ja todennäköisesti myös louhintakustannukset vaihtelisivat kivilajialueittain. Epäedullisten

kivilajialueiden kiertäminen puolestaan lisää tunnelin karttapituutta vähintään noin 1,5 km.

Ilman erillistä linjojen kallioperän rakennusgeologista kartoitusta on mahdotonta arvioida tarkasti louhintakustannuseroja johtuen linjojen kivilajien vaihtelusta.

Kallion ruhjeisuudesta johtuvien louhintateknisten toimenpiteiden numeerinen vertailu eri linjojen välillä on tarkastelussa todettu liian epämääräiseksi ilman perusteellisia maastotutkimuksia.

Vaikka keskityttäisiin vain mahdollisten reittivaihtoehtojen pahimpien heikkouskohtien tutkimiseen seismisellä luotauksella ja timanttikairauksin, muodostuisivat ne aikaa vieviksi, etenkin Lahden- ja Heinolan tiheästi asutuilla alueilla. Tämän jälkeen kuluisi vielä muutamia vuosia louhintasuunnitelmien edellyttämiin koko valitun linjan käsittäviin yksityiskohtaisiin maastotutkimuksiin.

Jos taas nopeutettaisiin rakennusgeologisia tutkimuksia, työmäärä kasvaisi huomattavasti koska tutkimusvaiheiden parhaasta kronologisesta järjestyksestä saatava hyöty jäisi käyttämättä.

Selvityksen toinen vaihtoehto, tutkimusten jääminen kiireen vuoksi liian vähäiseksi aiheuttaisi tunnelin louhinta- ja lujituskustannusten suhteettoman nousun sekä myös rakennusajan arvaamattoman venymisen.

Myös tunnelivaihtoehtojen yksityiskohtaiset louhintasuunnitelmien kustannukset on todettu liian vaikeasti arvioitavaksi, ainoastaan suuruusluokka on arvioitu miljoonina markkoina linjaa kohti.

Heikki Niinin lausunnossa (Niini 1966) vedensiirtotunnelin rakentamismahdollisuuksista Koskelle H1 todetaan, että kallion rakennettavuuteen vaikuttavia tärkeimpiä tekijöitä ovat kallion pinnan luoteisosan mataluus, harvahko rakoilu, ruhjevyöhykkeiden läheisyys, sulkeumien liuskeisuussuunta ja mahdolliset pegmatiittijuonet. Kallion pääkivilaji graniitti on louhittavana hyvää. Graniitin sisällä olevien gneissisulkeumien liuskeisuussuuntaan nähden, kyseeseen tulevat

tunnelisuunnat eivät ole parhaat mahdolliset, mutta tämän tähden tunnelisuuntia ei tarvinne muuttaa.

Raportissa (Niini 1966) todetaan, että mahdollisuudet hyvään louhintajälkeen josta riippuu olennaisesti mm. tunnelin katon kestävyys, lujittamistarve sekä samalla työn vaatimat kokonaiskustannukset, ovat kallion geologisten edellytysten puolesta kohtalaisen hyvät. Tämän on todettu kuitenkin vaativan sen, että louhintatapaa voidaan muuttaa joustavasti kallion geologisten ominaisuuksien vaihtelun mukaan.

Raportista (Niini 1966) käy myös ilmi, että Niini muistuttaa tässä vaiheessa työn suorittajaa valvonnan tärkeydestä ja ehdottaa, että suoritettaessa työ ulkopuolisella urakoitsijalla, on tie- ja vesirakennushallituksen varattava itselleen oikeus antaa urakoitsijalle louhintaan liittyviä ohjeita työn edetessä.

Raportissa suositellaan myös, että katon kestävyyttä heikentävä räjäytysaineiden liiallinen kertakäyttö on kiellettävä. Uloimmassa reikärivissä ja varsinkin katossa reikävälin tulee olla kallion laadun mukaan korkeintaan noin 0,5 metriä. Avoimet suoraviivaiset rakopinnat voivat silti aiheuttaa louhittaessa pieniä ryöstöjä, varsinkin milloin avoin vaakarako on lähellä tunnelin kattoa.

Yllä mainituista seikoista käy ilmi, että jo vuonna 1966 on geologi Heikki Niini tuonut esille seikkoja, jotka saavat erityisen tärkeän merkityksen mietittäessä syitä, jotka johtivat tunnelin huomattavasti aikaistuneeseen korjaustarpeeseen.

Asiakirjoista ei käy selville onko rakentamisen aikainen valvonta ollut riittävää ja onko suositeltua reikäväliä noudatettu.

Kallionlaadun arvioinut geologi on kirjannut yksityiskohtaiset suosituksensa raporttiin (Niini 1966) ja niistä selviää, että jo silloisen tiedon valossa on osattu ennustaa tunnelin katon sortumista, jos louhintaa ei suoriteta erityistä huolellisuutta noudattaen.

Varsinainen lujitustarve on selvinnyt vasta louhinnan jälkeen. Geologi Niini on arvellut, että jos louhinta suoritetaan tunnelissa huolellisesti, tulee lujitustarve jäämään pieneksi.

Pulttaukseen on kuitenkin varauduttava ja työnaikainen lujitus ruiskubetonoimalla saattaa paikoin olla myös tarpeen.

Näistä asiakirjoista (Niini 1966) käy selville se työmäärä, joka on tarvittu ennen rakennusprojektin alkua. On jouduttu miettimään ja vertailemaan keskenään eri reittivaihtoehtoja ja niiden riskitekijöitä ja hahmottamaan kustannuslaskelmia eri vaihtoehtojen aika niukalla tiedolla ja suurilla epävarmuustekijöillä.

Myös aika on ollut määräävä tekijä tutkimuksia tehtäessä.

Helsingin kaupungin vesilaitoksen muistiosta (Niini 1968) selviää, että tunnelisuunnittelun perusteet painottavat taloudellisesti ja vesiteknisesti edullisimman tunnelivaihtoehdon valintaa.

Tämän varmistamiseksi on noudatettu seuraavia ohjeita:

- Tunneli on pyrittävä kallioperän antamien mahdollisuuksien puitteissa sijoittamaan eheään kallioon. Erikoisesti vaikeiden ruhjevyöhykkeiden lävistämistä on vältettävä tai suoritettava se mahdollisimman kohtisuoraan kapeimmalla kohdalla. Taloudellisesti edullisimmassa ratkaisussa tulee tunnelin louhintakustannuksella ja vahvistus- sekä tiivistyskustannuksilla olla minimiarvo.
- Tunnelilinjan sijoitus on pyrittävä tekemään siten, että sopivin välein olevista, mieluummin tieyhteyksien läheisyyteen sijoitetuista työtunneleista voidaan louhinta suorittaa sekä nostaa louhitut kivet ylös.
- Tunnelilinjan sijoituksella on pyrittävä luomaan edellytykset hydraulisesti edullisen tunnelipoikkileikkauksen louhinnalle. Tällöin on ohje poikkileikkauksen yli menevän ryöstön oltava mahdollisimman vähäistä. Tähän päästään parhaiten sijoittamalla tunneli mahdollisimman kohtisuoraan päärakoilusuuntaa vastaan sekä sijoittamalla tunneli eheään kallioon.

Näihin tavoitteisiin pääsemiseksi on tutkittava kysymykseen tulevan alueen geologinen yleisrakenne, johon kuuluu ruhjevyöhykkeen määrittäminen, kiven kulkusuunnan ja kaateen kaltevuuden määrittäminen, rakoilusuuntien ja niiden voimakkuuden määrittäminen sekä kallion kivilajien ja kalliopinnan korkeuden määrittäminen.

Tutkimusmenetelmät lopullisen tunnelilinjan sijoituksen määrittämiseksi jakautuivat kolmeen vaiheeseen:

1. Geologinen selvitys
2. Seisminen luotaus kairauksin täydennettynä
3. Syväkairaus

Alueen geologinen selvitys on suoritettu topografiakarttojen, ilmakuvien sekä geologisten peruskarttojen perusteella (Kuva 11). Näin on pystytty riittävällä tarkkuudella määrittämään eri kivilajien esiintyminen, kallion pääkulkusuunnat ja ruhjevyöhykkeet.

Näitä edellä mainittuja tutkimusmenetelmiä käyttäen valittiin tunnelille edullisin yleissuunta ja jolle myöhemmin suoritettiin tarkempia tutkimuksia.

Nämä edellä mainitut tutkimusmenetelmät ovat edelleen käytössä joten tässä suhteessa voisi perustellusti olettaa, että näitä menetelmiä käyttäen voitaisiin ehkä nykyään päätyä samankaltaisiin tuloksiin, huomattavasti suuremmalla tarkkuudella tosin, johtuen laitteiston teknisestä kehittämisestä ja tulosten tulkinnan parantumisesta.

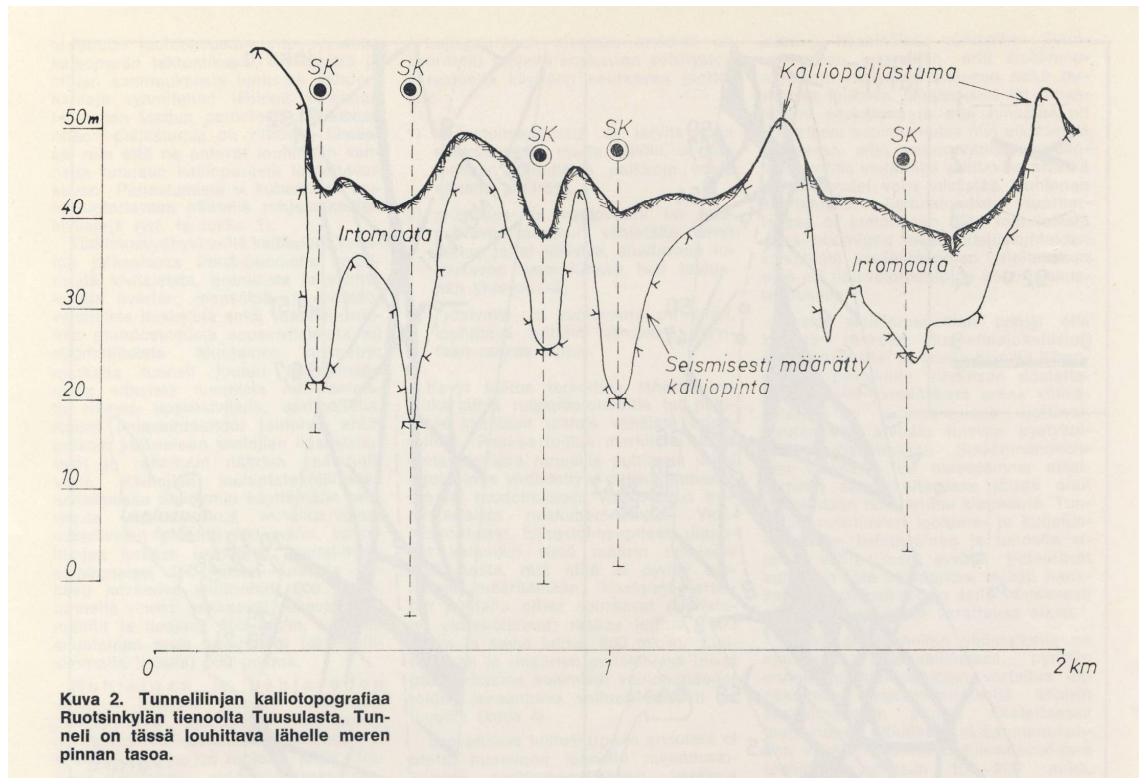
Seismissä luotauksessa selvitetään kalliopinnan korkeus halutulla alueella.

Timanttikairoilla suoritettiin syväkairauksia yleensä linjalla esiintyvien vaikeimpien ja epävarmimpien ruhjeiden kohdalla, jos seisminen luotaus ei ole antanut riittävän luotettavaa tulosta.

Syväkairaus suoritettiin joko vinoin tai pystyreijän ajatellun tunnelin kohdalle vähintään suunnitellun tunnelin korkeuteen asti. Tällä saatiin selville kallion tarkka korkeusasema reiän kohdalla, kivilaji, kallion rikkonaisuusaste ja siinä erityisesti rakoilun suunta,

tiheys ja voimakkuus. Rikkonaisuusasteen perusteella on arvioitu alustava tunnelinvahvistustarve.

Kallion vesitiiviyttä ja tiivistystarvetta arvioitiin suorittamalla syväkairausrei'issä vesipainekokeita.



Kuva 11 Esimerkki kalliotopografian vaikutuksesta louhintasyvyyteen.

7. GEOFYSIIKAN MENETELMÄT RIKKONAISUUDEN ILMENTÄJÄNÄ

7.1. Yleistä

Geofysiikkaa käytetään erilaisten kenttien havainnointiin, mittaamiseen ja tulkitsemiseen. Kentällä tarkoitetaan jonkin tietyn fysikaalisen suureen jakautumista paikan ja ajan funktiona jossakin alueessa. Kenttä voi olla skalaari, vektori tai tensori. Skalaarina, esimerkiksi lämpötila, vektorina esimerkiksi, painovoima, tensorina esimerkiksi jännitys ja muodonmuutos kiinteässä aineessa (Eloranta 2007).

Geofysiikka sanan laajimmassa merkityksessä tarkoittaa maapallon fysikaalisten ominaisuuksien ja ilmiöiden tutkimista maapallon keksipisteestä aina ilmakehän ylimpiin osiin asti.

Geofysiikkaa sovelletaan malmin etsinnässä, pohjavesitutkimuksessa, maapohjan rakennustekniseen kartoitukseen, uusien energiamuotojen tutkimiseen ja ympäristöongelmien mittaus- ja seurantatehtäviin.

Suomen kallioperästä on paljastuneena vain muutamia prosentteja pinta-alasta (Niini & Ärmänen 2000). Kaivauksia ja syväkairausta tarvitaan, mutta ne ovat kalliita ja hitaita.

7.2. Seismiset menetelmät

Suomessa käytetään yleisesti seismisiä menetelmiä haluttaessa määrittää irtomaalajien paksuuksia.

Seisminen menetelmä perustuu synnytettyjen (yleensä räjäytettyjen) seismisten aaltojen taittumiseen ja heijastumiseen erilaisten kulkunopeuden omaavien kerrosten rajapinnoilta. Mittauslaitteistoon kuuluvat geofonit, joilla maankamaran mekaaninen liike muutetaan sähköisiksi pulsseiksi, ja rekisteröintilaitteet, joilla sähköiset pulssit vahvistetaan, suodatetaan ja rekisteröidään.

Mittauksissa on käytössä kaksi päämenetelmää, reflektioluotaus ja refraktioluotaus. Näistä tunnelilouhinnan suunnittelussa on käytössä jälkimmäinen. Refraktioluotaus perustuu seismisten aaltojen taittumiseen ja kriittiseen rajakulmaan.

Päijänne-tunnelin suunnittelu- ja rakennusvaiheessa tehtiin maastotutkimuksia ja käytettiin aikaa ja varoja geologiseen pohjakartoitukseen. Eri reittivalintoja vertailtiin keskenään ja vaihtoehtoja punnittiin tarkoin. Tunnelin paikaksi valittiin reitti jonka uskottiin olevan pääosin erittäin ehjää ja kestävää kivilaatua. Korjaustarpeet ilmenivät kuitenkin vuosikymmeniä aiemmin kuin tunnelin valmistumisvaiheessa arvioitiin.

Mitkä syyt vaikuttivat tähän? Kirjallisen aineiston perusteella näyttäisi siltä, että tutkimuksissa on painotettu voimakkaasti seismiseen kallionopeuteen kallion rikkonaisuuden ilmentäjänä. Rikkonaisuuskohtien tuntemisella on ratkaiseva merkitys kaikessa kallionrakentamisessa ja koska kairauksilla tehtävä tutkimus on kallista ja aikaa vievää on mietittävä miten paljon voidaan luottaa seismiseen kallionopeuteen rikkonaisuuden ilmentäjänä ja miten otetaan sen aiheuttama epävarmuustekijä huomioon korvaavilla tutkimusmenetelmillä.

Seisminen refraktioluotaus ei todellisuudessa anna aina oikeaa kuvaa kallionlaadusta, sillä aallot pyrkivät kulkemaan ehjintä ja nopeinta reittiä kallion pinnalla ja saattavat antaa nopeuksia tulkittaessa liian optimistisen kuvan kallion laadusta, joka sitten selviää louhittaessa mahdollisesti rikkonaisemmaksi kuin suunnitteluvaiheessa ennakoitiin (Ärmänen 2010). Tämä saattaa aiheuttaa luonnollisesti ongelmia ja kustannusten nousemista rakennusvaiheessa.

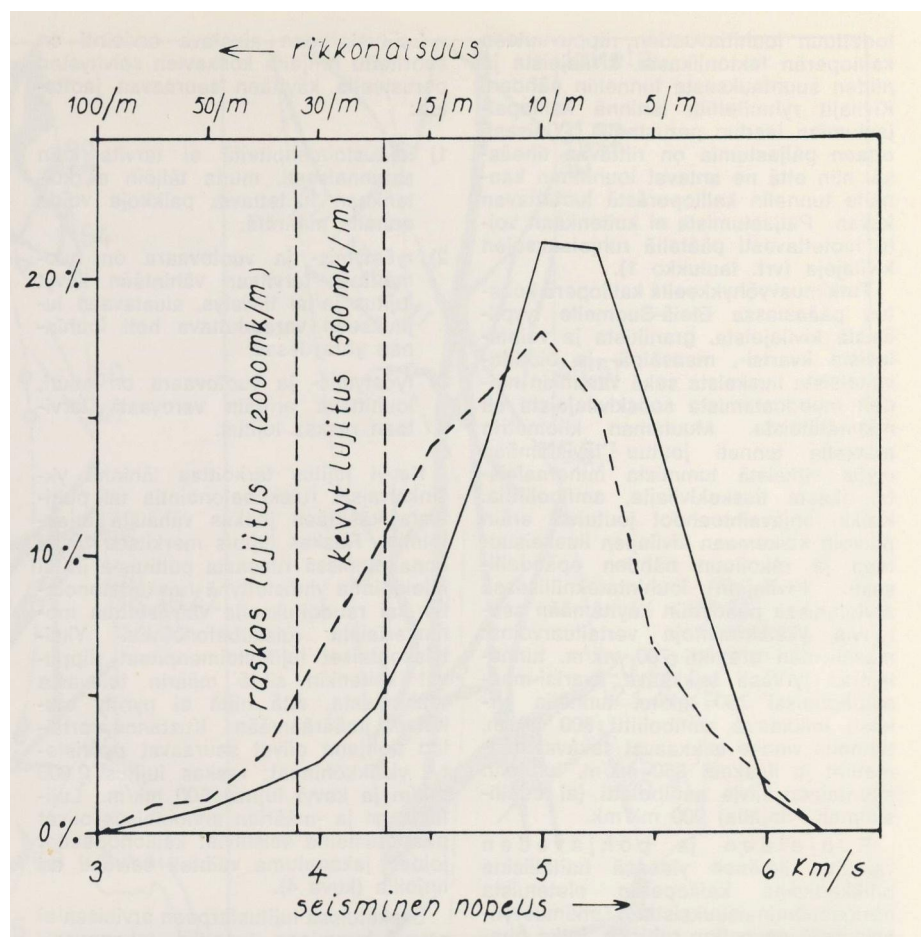
Refraktioseismissä kallionpintaluotauksessa saadaan maapeitteen paksuuden lisäksi mitattua täryaallon etenemisnopeus kalliossa eli seisminen kallionopeus. Seismissä kallionopeudessa on usein samalla kivilajialueella muutaman sadan metrin pituisilla linjoilla todettavissa vaihteluita, jotka on tulkittava pääasiassa kallion rikkonaisuudesta johtuviksi.

Seisminen luotaus perustuu räjäytyspanoksella synnytetyn täryaallon etenemiseen kussakin geologisessa kerrostumassa tälle kerrostumalle ominaisella nopeudella, joka riippuu kerrostuman elastisista ominaisuuksista ja tiheydestä. Nopeus vaihtelee irtomaalajeissa 200-2500 m/s ja kalliossa 2500-7000 m/s (Korkka-Niemi & Salonen 1996).

Laboratorio-olosuhteissa on todettu eri kivilajien kimmokertoimien vaihtelevan huomattavasti ja myös tietyillä kivilajeilla on kimmokertoimissa vaihtelua, johtuen osittain mm. kemiallisesta rapautumisesta. Seismiseen kallionopeuteen vaikuttaa lisäksi kallioerän rikkonaisuus. Myös rikkonaisuuden ja kemiallisen rapautumisen välillä on selvä riippuvuussuhde, sillä rapautunut kivi särkyä helposti. Näin tulee kemiallinen rapautuminen huomioiduksi laskettaessa rakotihyettä kairausnäytteistä (Pokki 1969).

Syväkivilajeissa kuten graniiteissa ja granodioriitissa on nopeus kaikkiin suuntiin sama, mutta liuskeisissa kivilajeissa on kallionopeudeksi mitattu noin 400 m/s liuskeisuuden suunnassa kuin kohtisuoraan liuskeisuutta vastaan. Raot kalliossa ovat täyttyneet vedellä ja rapautumisaineksella kuten savella ja hiekalla. Erittäin ruhjoutuneessa ja rapautuneissa vyöhykkeissä voi kiven tilavuudesta olla yli puolet savea joissa on jäljellä ”kovaa kiveä” vain pieninä palasina (Pokki 1969).

Vuonna 1969 Rakennusgeologinen yhdistys teetti Eero Pokilla tutkimuksen, jossa selvitettiin seismistä kallionopeutta kallion rikkonaisuuden ilmentäjänä (Kuva 12). Tutkimuksen aineisto kerättiin Päijänne-Helsinki vedensiirtotunnelin tutkimuksissa kertyneestä materiaalista väliltä Silvola-Oitti-Palomaa (Koski Hl). Tälle välille kairattiin 106 syväkairausreikää joista tutkimukseen kelpuutettiin 55 reikää.



Kuva 12 Esimerkki kallion rikkonaisuuden määrän vaihtelusta arvioituna seismisistä kallionopeuksista kahdella n. 15 km:n tunnelinjavaihtoehdolla. Pystyviivat osoittavat seismisen nopeuden perusteella karkeasti ennakoitua lujitusarvot (Niini 1968).

Potentiaaliteoriaa tarvitaan painovoiman ja staattisten sähkö- ja magneettikenttien käsittelyssä. Sähkömagnetismia tarvitaan geofysiikan sähkömagneettisissa

menetelmissä. Kontinuumimekaniikan sovellusalue on laaja. Se selvittää virtausmekaniikan, esimerkiksi pohjaveden virtauksen, lämmönsiirtymisen, aineiden kulkeutumisen sekä jännitys- ja muodonmuutoskenttien teorit. Seismisten menetelmien kannalta keskeinen kimmoaaltojen teoria pohjautuu jännitys- ja muodonmuutoskenttien teoriaan. Näillä on tärkeä merkitys myös kalliomekaniikassa (Eloranta 2007).

8. PÄIJÄNNE-TUNNELIN MERKITYKSEN ARVIOINTI

8.1. Yleistä

Yhteiskunnan velvollisuus järjestää toimiva ja varma vesihuolto on vaativa tehtävä. On tunnettava historia ja yritettävä ennustaa tulevaisuutta. Kun arvioidaan miten tunneli on toiminut ajan kuluessa, on mielestäni selvää, että päätös Päijänne-tunnelin rakentamisesta oli oikea. Tehdyt tutkimukset antoivat varsin realistisen käsityksen kallion lujitustarpeesta. Ruhjevyöhykkeet paikallistettiin ja niitä yritettiin kiertää niiltä osin, kun budjetti ja aika sen mahdollistivat. Koska projekti oli ainutlaatuinen, ei kaikkia epävarmuustekijöitä voitu edes nimetä.

Jo vuonna -65 on tullut ilmi seikkoja, jotka ovat vaikeuttaneet tulosten arviointia kuten käy ilmi Helsingin kaupungin vesilaitoksen muistiosta (Niini 1968), jossa todetaan, että maatutkimustoimisto on tutkinut mahdollisuuksiaan ja todennut kairauksille asetettujen vaatimusten valossa, että kyseisten tutkimusten suorittaminen on paksun irtomaapeitteen johdosta erittäin vaativaa. Syväkairausmenetelmää käytettäessä on syytä kiinnittää erityistä huomiota kairauskaluston soveltuvuuteen sekä huomioimaan maan laatu, pehmeän koheesiomaan (esim. savi) ja muiden kitkamaalajien välillä, moreenit mukaan luettuna.

Kirjallisuudessa painotetaan, että tunnelissa kulkeutuva vesi on hyvin suojattu ulkoisilta tekijöiltä. Silvolan tekoallas toimii varavesisäiliönä ja sen suojaaminen täysin riskittömäksi on kuitenkin vaikeaa. Päijänne-tunnelin tilavuus on noin 2 miljoonaa kuutiometriä ja Silvolan tekoaltaan vesimäärä on noin 5 miljoonaa kuutiometriä. Järven pinta-ala on 47,3 hehtaaria. Pituutta tekoaltaalla on noin 1 km ja leveyttä 0,5 km, suurimman syvyyden ollessa 17m. Silvolan tekojärvi sijaitsee Vantaanjoen itäpuolella ja se toimii varavesialtaana ja paineen tasaajana Päijänne-tunnelista otettavalle vedelle.

Lähes miljoona ihmistä on Silvolan altaan vedenjakelukanavan varassa. Teoriassa tunnelissa kulkeva vesi voisi kiertää Silvolan altaan kautta, mutta käytännössä allas toimii paineentasaajana (Kallio 2010). Tarvittaessa sen vesi puhdistetaan ja pumpataan jakeluun Pitkäkosken ja Vanhankaupungin vedenpuhdistuslaitoksilla. Vaikka järven alue on yleisöltä suljettu altaan ympäri kulkevalla verkkoaidalla, on maaston topografiasta johtuen mahdollista päästä tekoaltaalle helpostikin joten sabotaasin mahdollisuus ei ole täysin poissuljettu. Alueella on videovalvonta ja vartiointi. Liikkuminen alueella on kielletty. Vesihuollon kannalta on tärkeää, ettei vesi altaassa pääse pilaantumaan, mutta nykyisillä järjestelyillä sitä ei voida täysin estää.

Se miten pääkaupunkiseudun vesihuolto on nykyisin järjestetty, pohjautuu vuosikymmeniä sitten tehtyihin päätöksiin. Ja ne päätökset ja toimenpiteet joita nykyään tehdään toimivat perusteina tuleville vuosikymmenille.

Päijänne-tunnelin korjausta vaatineet toimenpiteet olisivat varmasti osittain olleet välttämättömiä mittaus- suunnittelu- ja toteuttamistavoista huolimatta. Nykyisillä tiedoilla ja kehittyneen tekniikan avulla saadaan tietoa jonka varmuus on luotettavampaa ja niiden avulla tehdään teknisesti perustellumpia päätöksiä.

Taloussuhdanteet vaihtelevat kuitenkin ajan kuluessa ja niiden aikana joudutaan tekemään päätöksiä joissa otetaan huomioon kulloinkin vaikuttava taloustilanne. Esimerkiksi Päijänne-tunnelin rakentamisen päätöksenteon aikaan uskottiin talouden ja sitä myöten rakentamisen voimakkaaseen kasvuun ja mitoitus tehtiin sen mukaan, että tunnelin avulla voidaan tyydyttää sekä asukasmäärän kasvun että teollisuuden kasvun tarvitsema veden tarve.

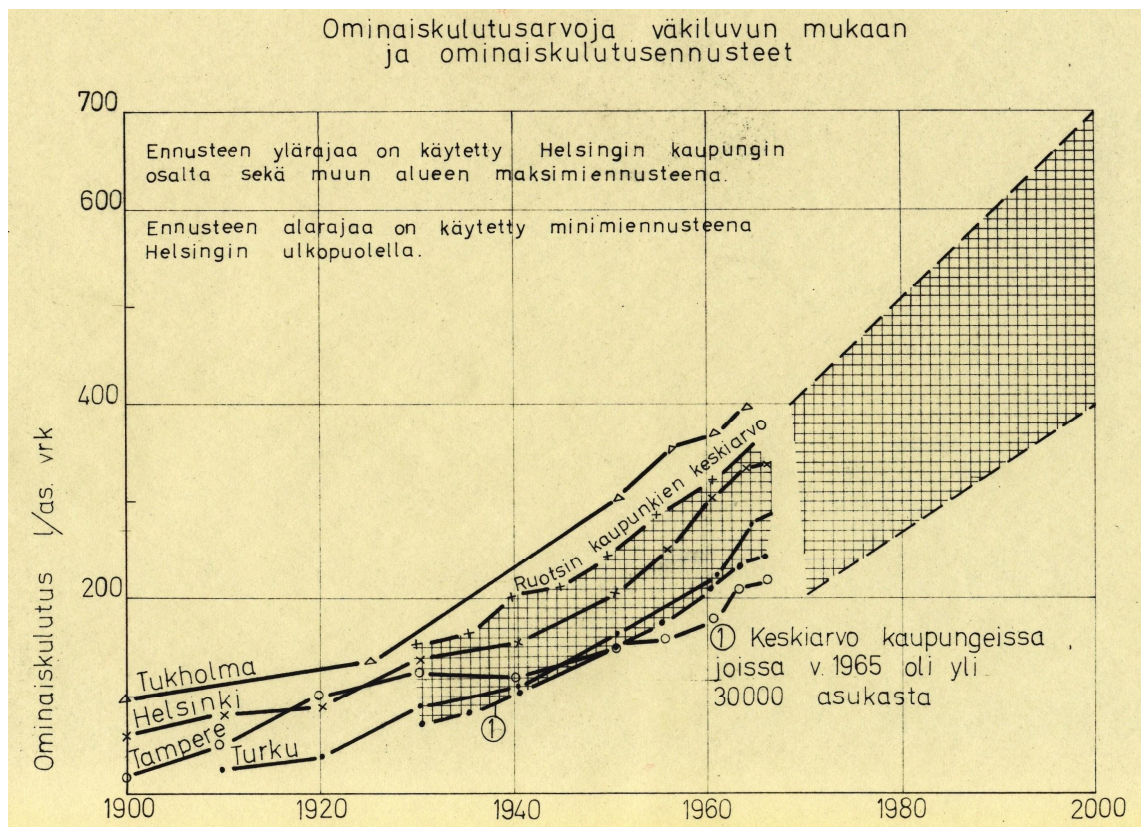
Materiaalina on ollut tätä työtä tehtäessä käytettävissä professori Heikki Niinin Pääkaupunkiseudun vesi Oy:n toimistoon arkistoitu materiaali vuosilta 1965-1972 (liite 1). Mukana on mittava kokoelma sen aikaisia tutkimustuloksia, muistiinpanoja, raportteja ja selvityksiä. Vaikka paperit ovat kellastuneita ajan saatossa, on huomioitava se pieteettisyys joilla tutkimustulokset on papereihin tarkasti kirjattu. Tulokset on huolellisesti analysoitu ja eri vaihtoehtoja punnittu. Taloudelliset intressit ovat olleet jo tuohonkin aikaan painava tekijä päätöksiä tehtäessä joten monissa muistiinpanoissa ja kustannusarvioissa on myös mainittu markkamääräiset summat eri työmenetelmiä tai

linjauksia valittaessa. Tarjouspyyntöjä on arvioitu ja todettu niiden olevan vaikeasti keskenään vertailtavissa eri laskentaperusteita käyttävien yritysten välillä. Tältä osin eivät siis kriteerit ole ajan kuluessa muuttuneet.

8.2. Tunnelin ylimitoituksesta aiheutuneet hyödyt ja haitat

Historian tuntemuksella on tärkeä merkitys organisaation identiteetille. Ymmärrys miten asiat olivat ennen ja miten tähän on tultu. Pääkaupunkiseudun Vesi Oy vastaa nykyisin noin miljoonan asukkaan vesihuollon tarpeesta. Sen toteuttaminen turvallisesti ja tehokkaasti on vaativa tehtävä. Vesihuoltotoiminnan kasvu on ollut erityisen voimakasta viimeisten 50 vuoden aikana. Vesihuollon rakentamisesta ja ylläpidosta vastaava organisaatio on muuttunut kuluneiden vuosikymmenten aikana. Ja muuttuu edelleen.

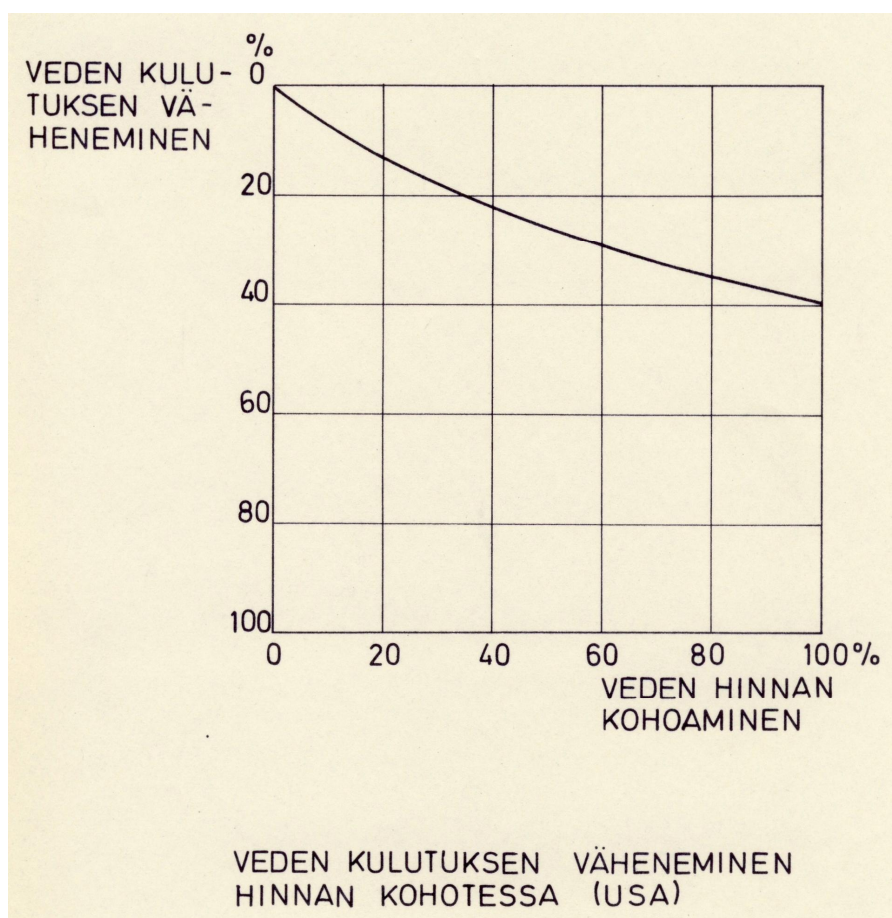
Voidaan perustellusti sanoa, että veden ominaiskulutuksen kasvun ennusteet Päijänne-tunnelin suunnittelun ja rakentamisen ajoilta ovat epäonnistuneet.



Kuva 13 Ominaiskulutuseennuste vuoteen 2000 asti.

Kuvasta 13 veden ominaiskulutusennuste kasvaa kaupungeissa joissa oli vuonna -65 yli 30 000 asukasta. Vuosisadan alussa määrät; Tukholma 100 l/as/vrk, Helsinki 65 l/as/vrk, Tampere n. 25 l/as/vrk. Vuonna -60; Helsinki 300 l/as/vrk, arvio vuodelle -80; 270-500 l/as/vrk, ennuste vuodelle 2000; 400-700 l/vrk/asukas. Todellinen kulutus vuonna 2010 kuitenkin vain 155 l/vrk/asukas.

Vähän paremmin on toteutunut ennustus, että veden hinnan nousu rajoittaa veden käyttöä.

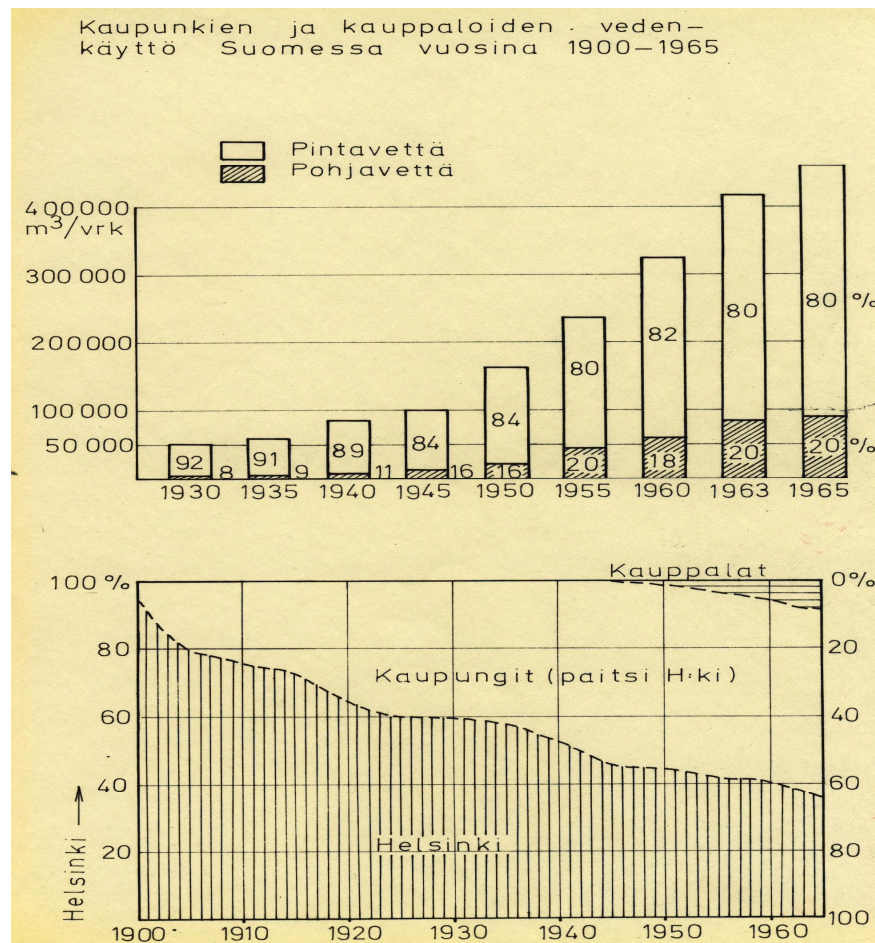


Kuva 14 Arvio hinnan vaikutuksesta veden kulutukseen

Kuvasta 14 voidaan nähdä, että jos veden hinta kohoaa 100 %, kulutus vähenee 40 %. Jos veden hinta kohoaa 20 %, vähenee veden kulutus 14 %.

Toisaalta veden kulutuksen pienenemiseen vaikuttavat muutkin seikat kuin hinta. Arviot ominaiskulutuksen kasvusta on saatu vertailemalla tietoja muiden maiden vastaaviin ennustuksiin.

Koska pohjaveden määrä on rajallinen, on kaupunkien ja kauppaloitten vedenkäytöstä ollut vuosina 1930-1965 noin 80-92 prosenttia pintavettä (Kuva 15).



Kuva 15 Pohja ja pintavesien osuudet vuosina 1930-1965.

Veden ominaiskulutuksen kasvu ei ole toteutunut kuten luultiin. Syinä voidaan perustellusti olettaa olevan mm. vesipihit kodinkoneet, veden säästäminen, veden hinnan nousu ja jätevesimaksut. Ominaiskulutus on nykyään noin 160 litraa. Sähkön kulutus kasvaa ennusteita voimakkaammin eikä sähkön hinnannousu ole vähentänyt sähkönkulutusta samassa suhteessa kuin vedenkulutusta. Kuitenkin energiapihejä laitteita kehitetään ja 70-luvun energiakriisin jälkeen voisi olettaa ihmisten käyttävän sähköä yhtä säästeliäästi kuin vettäkin. Näin ei kuitenkaan ole vaan sähkönkulutuksen ennustetaan kasvavan tulevaisuudessakin. Osaltaan tähän on vaikuttanut uuden teknologian voimakas kehittyminen ja uusia sähköllä käytettäviä laitteita on tarjolla kuluttajille runsaasti. Vettä taas käytetään hyvin perinteisesti samoin kuin aiemminkin.

Näiden kasvuennustusten mukaan tehtiin päätökset tulevaisuuden vedentarpeesta ja niiden seurausta on mm. se, että Päijänne-tunneli mitoitettiin vastaamaan silloisten arvioiden mukaista tarvetta. Osa vedestä juoksutetaankin nyt ohivirtaamana suoraan Tuusulan järveen ja Keravanjokeen vedenlaatua parantamaan.

Koska veden tarve osoittautuikin huomattavasti pienemmäksi kuin tunnelin suunnitteluvaiheessa ajateltiin, tunnelin läpi virtaavan veden nopeus on hitaampi kuin alun perin suunniteltiin.

Haittapuolena voidaan pitää rakennuskustannuksia, jotka olisivat olleet alhaisemmat pienemmällä mitoituksella. Toisaalta koneiden vaatimat minimimitoitukset olisivat määritelleet tunnelin koon kuitenkin suuremmaksi vaikka todellinen veden tarve olisikin ollut tiedossa.

Suurimmat ongelmat ylimitoituksesta aiheutuvat pääosin vesihuoltotekniikan puolelle. Samojen vedenkulutus- ja väestönkasvuennusteiden mukaan mitoitettu nykyinen vesijohto- ja viemäriverkosto vesihuoltotekniikan puolella kärsivät ylimitoituksesta johtuvista veden viipymän aiheuttamista korroosio-ongelmista, paine-eroista ja sen myötä nopeutuneesta korjaustarpeesta.

Päijänne-tunnelin kohdalla tilanne on päinvastainen. Veden virtauksen hitaudesta johtuen paisuvahilaiset savimineraalit irtoavat veteen hitaammin ja aiheuttavat siten vähemmän haittaa kuin tilanteessa, jossa veden virtaama olisi voimakkaampi. Korjausta vaatineet sortumat olisivat voineet tapahtua tällaisessa tapauksessa jopa nykyistäkin aiemmin, sillä kova virtaus ja sen mukanaan tuomat paineen vaihtelut olisivat voineet rapauttaa kalliota nopeammin.

Tunnelin nykyiset mitat mahdollistivat myös huoltokatkojen aikana tehokkaan koneiden käytön korjaustöissä, joka ei olisi ollut mahdollista pienemmän tunnelin tapauksessa.

Virtausnopeudella on vaikutusta myös veden viipymään tunnelissa. Nykyinen aika, yhdeksän vuorokautta, aiheuttaa sen, että vesi on kosketuksissa tunnelin seinämien kanssa tämän ajan ja altistuu siten tunnelin seinämistä irtoaville kemiallisille partikkeleille. Alkuperäinen rakentamisen aikainen ruiskubetonointiaine sisältää samoja

kemikaaleja kuin vesilaitoksellakin käytetään (Kallio 2010). Korjausremonttien yhteydessä todettiin betonin säilyneen yllättävän hyvin rakennusajankohdasta korjaukseen asti. Rakentamisen aikana käytettiin noin 40 millimetristä betonointia ja korjaukset tehtiin keskimäärin 50-60 millimetrisiksi. Vaikka veden viipymäaika tunnelissa vaihtelisikin, tällä tuskin olisi merkittävää vaikutusta vedenlaatuun, sillä vettä ei altisteta ihmistä haittaaville kemikaaleille.

Painetilanne tunnelin ollessa veden täyttämä on ympäristössä mahdollisesti olevien haitta-aineiden kulkeutumisen kannalta suotuisa, eli virtaussuunta on pääosin tunnelista pois päin. Päinvastainen tilanne on tunnelin ollessa tyhjänä, tällöin kallion rakojen ja halkeamien kautta tunneliin kulkeutuu vettä ympäristöstä ja silloin luonnollisesti myös mahdollisten haitta-aineiden kulkeutuminen tunneliin mahdollistuu.

Merkillepantavaa on se, että paikallisesti sopivien paineolosuhteiden vallitessa on mahdollista, että haitallisia aineita kulkeutuu myös tunneliin myös sen ollessa täynnä vettä. Näitä riskikohtia on tarkasteltu väitöskirjassa (Lipponen 2001) ja SYKE-raportissa (Haavisto 1998).

Korjausta vaatineet sortumakohdat olivat tiedetty jo rakennusvaiheessa riskikohdiksi ja siten ruiskubetonoitu silloisen tietämyksen mukaan riittävästi. Korjausten yhteydessä voitiinkin todeta, että tunneli oli kestänyt ehjänä ruiskubetonoinnin kohdilta, mutta heti betonoidun alueen loputtua alkanut ryöstäminen aiheutti lopulta korjauksia vaatineet sortumat (Kallio 2010).

Hitaamman virtauksen vuoksi veden viipymä tunnelissa on pidempi kuin alkuperäisen suunnittelun tarkoittama viipymä. Tämä vaikuttaa veden lämpötilaan suotuisasti viilentäen sitä kesällä. Myös tunnelissa vallitseva pimeys on eduksi vedenlaadulle, sillä se vähentää mikrobien toimintaa.

Ylimitoituksesta johtuva veden runsas määrä mahdollistaa myös ohijuoksutukset vesistön parantamiseen tavalla, joka ei olisi mahdollista jos vettä olisi niukasti.

Tunnelin ylimitoituksen hyötyjä ja haittoja vertailtaessa keskenään vaikuttaisi siis siltä, että hyödyt ovat haittoja suuremmat.

Teoriassa voi miettiä mahdollisuutta, jossa alkuperäiset riskikohdat olisi vahvistettu hieman pitemmältä matkalta jolloin sortumia ei ehkä olisi tapahtunut. Korjaamisen tarve olisi siirtynyt ehkä jopa vuosikymmenillä eteenpäin ja 32 miljoonan euron kustannuskohdennus olisi siirtynyt tulevaisuuteen.

Toisaalta voi myös miettiä kuinka realistista on ollut olettaa, että mitään tunnelia voidaan käyttää sadan vuoden ajan ilman huoltotoimenpiteitä. Jos hyväksytään vaatimus, että tunneli vaatii huoltoa siinä missä kaikki muutkin ihmisen rakennelmat olosuhteiden muuttuessa ajan kuluessa, ollaan tilanteessa joka nyt vallitsee. Realistisempi lähtökohta lienee ajatus että tunneli tarvitsee huoltoa kerran sukupolvessa, eli kerran noin kolmessa kymmenessä vuodessa.

Nyt tunneli on olemassa, se on rakennettu, korjattu ja käytössä jälleen tarjoten erittäin hyvälaatuista vettä noin miljoonalle ihmiselle. Mahdollisten katkosten varalta on käytettävissä varavesijärjestelmä jonka avulla Vantaanjoesta voidaan ottaa tarvittava raakavesi. Varajärjestelmä oli käytössä molempien korjausremonttien aikana ja se toimi moitteetta niin laadullisesti kuin määrällisestikin. Jää nähtäväksi kuinka pitkään nykyisillä korjauksilla pärjätään. Arvio on, että tunneli on paremmassa kunnossa nyt kuin valmistuessaan -82 (PSV 2008).

8.3. Tunnelin huoltotarpeeseen vaikuttavia tekijöitä

Ennusteet väestönkasvusta, vedenkulutuksesta, ja infrastruktuurin lisääntymisestä tunnelin välittömässä läheisyydessä muodostavat monimutkaisen yhtälön. Tilannetta on vaikea ennustaa hyväksyttävällä varmuudella.

Lujituksen määrä korreloi negatiivisesti tunnelin huoltotarpeen kanssa. Taloussuhdanteet vaikuttavat huoltotoimenpiteiden toteutumiseen.

Geologisesti tarkastellen vaikuttava tekijä on aika ja ilmastonmuutos, joka aiheuttaa globaalisesti muutoksia makean veden esiintymiseen. Tämän seurauksena voi esiintyä poliittista levottomuutta ja vesikriisin aiheuttamaa vesipakolaisten tulvaa tai vaatimusta

makean veden siirtämisestä kuivuville alueille. Tällaiset kriisit aiheuttavat tarpeita siirtää juomavettä Suomen kaltaisista rikkaista maista vesipulasta kärsiville alueille ja heijastua siten Päijänne-tunnelin käytön kasvuna.

Toisaalta taas tekniikan kehittyminen saattaa ratkaista koko vesipulan. Nanoteknologian kehittyminen saattaa tulevaisuudessa mahdollistaa kustannustehokkaan menetelmän suolan poistamiseksi merivedestä.

8.4. Päijänne-tunneli mediassa

Päijänne-tunnelin medianäkyvyys valtakunnan päivälehdissä näyttäisi olevan suorassa suhteessa ongelmiin ja korjaustarpeeseen. Sanonta “No news is good news.” pitää paikkansa tässäkin asiassa. Päijänne-tunnelista kertovissa uutisotsikoissa on kantavana teemana korjaustyöt, niiden tarpeellisuus ja aikataulut. Molempien suurten huoltoremonttien aikana -01 ja -08 nousi esiin myös vastaväitteitä ja kritiikkiä korjaustoimenpiteiden tarpeellisuudesta. Keskustelua aiheutti myös korjaustöiden kalleus. Pohjoisosan remontin aikaan -01 Suomi eli vielä voimakasta nousukautta, mutta tunnelin eteläosan remontin aikaan, loppuvuodesta -07 oli jo merkkejä alkavasta taantumasta, joten kritiikkiä remontin kustannusarvion suuruudesta (15 milj euroa) esitettiin. Oli myös epäilyjä, että remonttia olisi voinut lykätä ilman suurempaa välitöntä vaikutusta ja näin lykätä kustannuksia myöhäisempään aikaan.

Jos veden siirto Päijänne-tunnelissa syystä tai toisesta estyisi, tai sen kuljettamaa vettä ei voisi käyttää, aiheuttaisi se kaaoksen, jonka vaikutuksia voi vain aavistella. Tiedotusvälineillä on suuri merkitys riskikommunikaatiossa ja se on viimeisiä vaiheita riskinhallintaan liittyvässä toimenpideketjussa.

Riskitekijöiden tunnistaminen ja varautuminen poikkeustilanteisiin, on osa vesihuoltoa. Raakaveden laatu ja määrä on turvattava myös poikkeustilanteissa. Vaikeuksia aiheuttaa mm. se, että julkisuudessa esiintyvien eri asiantuntijoiden arviot saattavat poiketa huomattavastikin toisistaan, kuten on käynyt ilmi esimerkiksi kiistassa ydinjätteen loppusijoituspaikan sopivuudesta. Media käyttää näitä asiantuntijoiden välisiä oppiriitoja hyväkseen taitavasti ja lisää näin näkyvyyttään ja samalla ihmisten

epävarmuutta. Geologiset prosessit tapahtuvat ihmisen aikaperspektiivissä, joko huomattavan hitaasti ja rauhallisesti (jääkausi) tai ennalta aavistamatta ja räjähdyskennomaisesti (esim. Islannin tulivuorenpurkaus 2010 Eyjafjallajökullin jäätikön alla), jolloin niihin ei voi varautua vaan on yritettävä selviytyä niissä olosuhteissa, jotka luonto asettaa.

9. GEOSTATIikka /TAPaus NOPON PESULA

Likaantumisriskiä aiheuttavia toimintoja Päijänne-tunnelin läheisyydessä on useita. Haitta-aineet voivat kulkeutua tunneliin kallion ruhjeiden kautta. Suomen ympäristökeskus on julkaissut aiheesta monisteen (Haavisto 1998), jossa ympäristöriskejä aiheuttavat toiminnot Päijänne-tunnelin läheisyydessä on luetteloitu kunnittain. Listalla on yhteensä 107 riskitoiminnaksi luokiteltua kohdetta. Listalla on: sahoja, kyllästämöitä, huoltoasemia, asfaltti, öljysora- ja murskausasemia, romuttamoita, kaatopaikkoja, jätevesin purkupaikkoja, teollisuutta, taimitarhoja, lentokenttä, ampumaratoja sekä tieliikenteen riskitoimintoja.

Saastuneen maaperän puhdistaminen on vaikeaa ja kallista. Suhteellisen uutena apuneuvona selvitetessä haitta-aineen leviämistä ympäristössä, on ryhdytty käyttämään geostatiikan tarjoamia menetelmiä. Siinä käsitellään ominaisuutta, josta on olemassa mittaustuloksia tilastotieteen keinoin. Ongelmana saastuneen maa-aineen mallinnuksessa on usein havaintojen rajallinen määrä. Tällöin on vaikeuksia määrittellä havaintojen välinen tila eri mittapisteiden välissä. Ominaisuuksien vaihtelua tilassa suunnan ja matkan funktiona voidaan tutkia statististen periaatteiden avulla (Laine 1998).

Tunnusluvut, joitten vaihtelua tilassa voidaan kuvata sama-arvokäyrin, ovat: Vaikutusmatka ja sen vaihtelu eri suunnissa, interpolointiarvon luotettavuus ja todennäköisyys asetetun raja-arvon ylitykselle tai alitukselle.

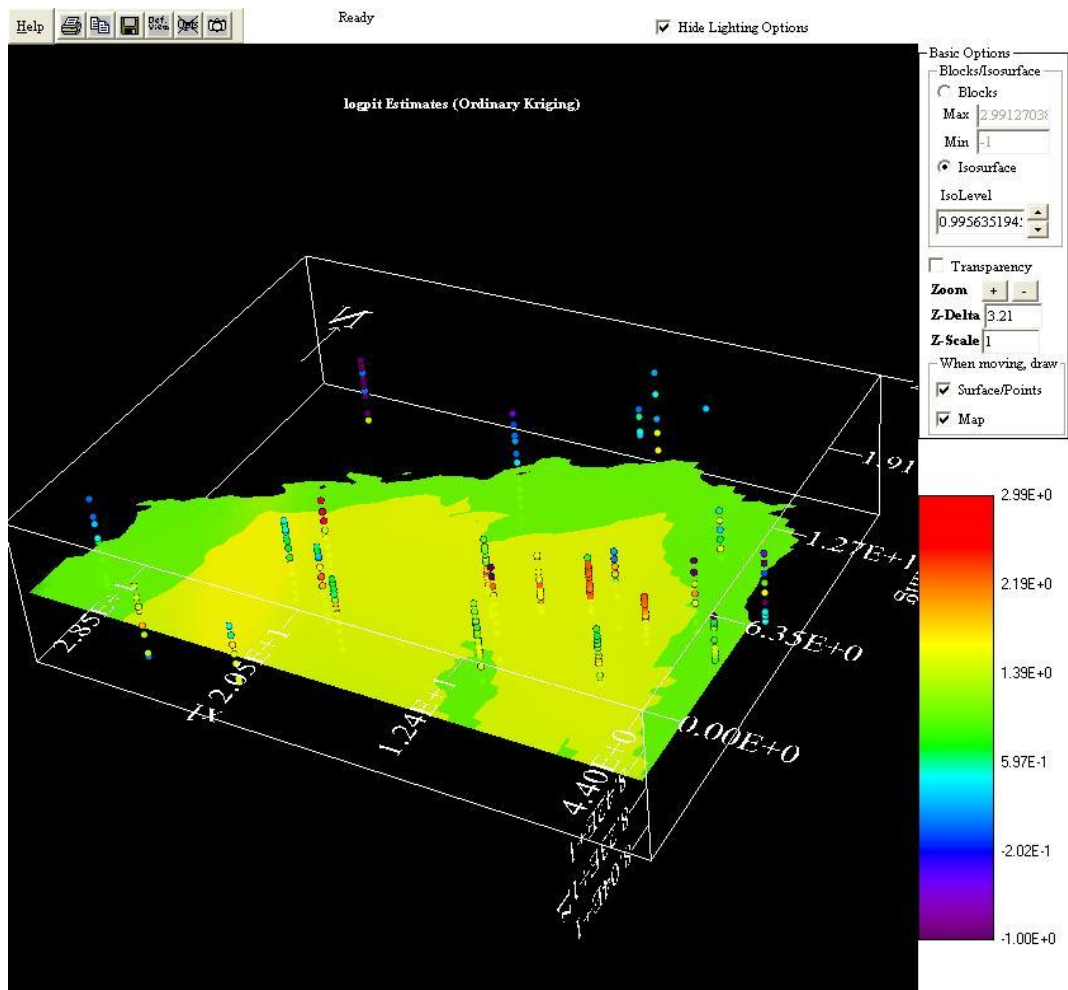
Päijänne-tunnelin puolivälin kohdalla, Hausjärvellä, sijaitsee pohjavesialue, josta Hyvinkään kaupungin tekemässä puhdistuskokeilussa ilmeni, että Nopon pesulasta (1958-1968) lähtöisin olevaa tetrakloorieteeniä liukenee edelleen pohjaveteen.

Geomatematiikan opintokansiota varten sain käsiteltäväksi vuonna 2005 aineistoa, josta päätin, että mallinnusohjelma sopi ainakin tämän aineiston käsittelyyn kohtuullisen hyvin.

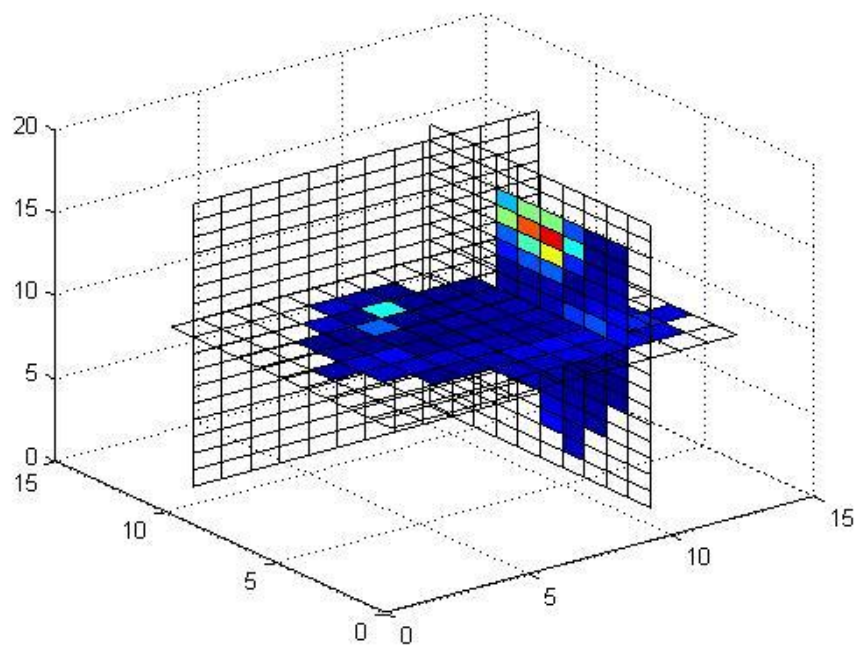
3D mallinnus tekee asiasta kompleksisemmän ja vaikeammin käsiteltävän ja siitä johtuen virhemahdollisuudet tulosten tulkinnessa kasvavat. Saastepitoisuudet olivat liian pistemäisesti sijoittuneet ollakseen normaalijakautuneita. Tilanne on usein näin saastuneiden maa-aineiden kohdalla. Jakauma oli kuitenkin riittävän symmetrinen jotta sitä voitiin käsitellä kuten normaalijakautunutta materiaalia, logaritminen muunnos paransi tilannetta selvästi (Kuva 16).

Variogrammit ja kriging tehtiin SADA 4:lla. Kuvat 16 ja 17 ovat selkeitä ja 2D viipalekuvat erisuuntaisista projektioista havainnollisia.

Mainittakoon, että alue on edelleen ympäristökeskuksen seurannassa, eikä Päijänne-tunnelin huollon yhteydessä havaittu merkkejä tetrakloorieteenistä (Hirsto 2008).



Kuva 16 Esimerkki kriging estimoinnista.



Kuva 17 Esimerkki projektiokuvasta.

10. POHDINTOJA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Ekologisesti ajatellen Päijänne-tunneli kuljettaa vettä, niin kestävänsä kehityksen kuin elinkaariajattelun mukaan, hyvin järkevässä muodossa.

Päijänne-tunnelin 120 km:n mittainen reitti on ollut tiedossa 60-luvulta asti. Tunnelin suunnittelun aikaan Helsinki-Vantaan lentoaseman ja Kehä III:n etelänpuoleinen seutu on ollut lähes asumaton. Alkuperäinen tarkoitus oli kuljettaa vesi koskemattomien korpjen läpi Silvolan tekoaltaalle, jotta vesi pysyisi mahdollisimman puhtaana. Olosuhteet ovat kuitenkin vuosikymmenten kuluessa muuttuneet ja etenkin tunnelin eteläpäässä on infrastruktuurin voimakkaasta kasvamisesta johtuen riskialtista toimintaa. Esimerkiksi lentoasemalta pääsee maaperään erilaisia myrkyllisiä aineita, mm. herkkäliikkeistä etylyglykolia ja ohentamalla Päijänne-tunnelin päällä olevaa suojaavaa kalliokerrosta Kehäradan rakentamisella altistetaan Päijänne-tunnelin vesi likaantumislle. Alueella on suoritettu pohjavesimittauksia vuodesta 2003 lähtien.

Tämä oikeastaan vastaakin alussa esitettyyn kysymykseen siitä miten Päijänne-tunneli vaikuttaa ympäristöönsä. Koska nykytietämyksen mukaan tiedostetaan haitallisten aineiden kulkeutumisen mahdollisuus tunneliin, aiheuttaa se tiettyjä rajoituksia maanpäälliseen rakentamiseen. On vältettävä riskitoimintojen sijoittamista siten, että niistä pääsisi haitallisia aineita tunnelissa kulkevaan veteen ja sitä kautta ihmisten elimistöön.

Vanhoja vakavia ympäristöongelmia kuten Hausjärven Oitin pesulan maaperän saasteita aivan tunnelin läheisyydessä, on syytä seurata jatkossakin.

Alkuperäinen ajatus, että vesi on turvassa tunnelissa, ei pidä enää täysin paikkaansa. Usko suomalaisen kallion lujuteen on kärsinyt pienen kolauksen. Nyt tiedetään, että haitalliset aineet saattavat päästä sopivissa virtausolosuhteissa kulkeutumaan kalliossa esiintyvien rakojen välityksellä tunneliin pystyen siten vaarantamaan raakaveden laadun. Tiedetään myös, että vesi rapauttaa tunneleita alkuperäiseen arvioon verrattuna nopeammin ja että vesitunnelit vaativat säännöllistä huoltoa pysyäkseen käyttökunnossa. Myös ruiskubetonoinnin tehokkuuden kasvaminen ja sitä myötä hinnan

suhteellinen halpeneminen mahdollistavat nykyään entistä suurempien pinta-alojen käsittelyn tunneleita huollettaessa ja uusia kalliotiloja rakennettaessa.

Ehkäpä Päijänne-tunnelikin käsitellään tulevaisuudessa remonttien yhteydessä koko pinta-alaltaan joko ruiskubetonoimalla tai tekniikan kehittyessä ehkä jollakin muulla pinnoitteella, joka turvaisi vedenlaadun koko matkalla ympäristön riskitekijöistä huolimatta.

Riskit veden tunnelissa kuljettamiseen ovat nyt erilaisia kuin alun perin tunnelin suunnitteluvaiheessa osattiin ajatella. Toisaalta vaihtoehtoiseen tapaan, veden kuljettamiseen avouomassa, liittyisi myös riskitekijöitä. Jonkin asteiseen epävarmuuteen on varauduttava, olipa veden siirtotapa mitä muotoa tahansa.

Tulevaisuuden ennustaminen on vaikeaa. Ennusteet veden ominaiskulutuksen kasvamisesta eivät toteutuneet. Toisaalta väestön keskittyminen pääkaupunkiseudulle jatkuu edelleen ja sen myötä puhtaan veden kokonaismäärän tarve kasvanee tulevaisuudessakin.

Pienentämällä Päijänne-tunnelia suojaavaa maa- ja kalliokerrosta ja keskittämällä riskitoimintoja Päijänne-tunnelin välittömään läheisyyteen, lisätään mahdollisuutta ympäristökatastrofiin, joka yllätyksellisyydessään voi vaikuttaa miljoonan ihmisen elämän hetkessä.

Toimiva varavesijärjestelmä on minimihenkivakuutus sellaisen ympäristökatastrofin yhteydessä. Varavesijärjestelmän käyttöönottoa kriisitilanteissa on syytä suunnitella niin, että tarvittaessa sen käyttöönotto tapahtuu riittävän nopeasti. Silvolan tekoaltaan vesimäärä, edellyttäen, että sitä käytetään vain paineen tasaamiseen eikä vettä kierrätetä rutiininomaisesti sitä kautta, takaa vesihuoltoon alkuun riittävän raakavesimäärän.

Viimeaikaiset uutiset ympäri Suomea ovat osoittaneet kuinka haavoittuvainen vesihuoltojärjestelmämme on siinä tapauksessa, että raakavesi pääsee syystä tai toisesta kontaminoitumaan.

Useat vedenlaatuun liittyvät vaaralliset tekijät ovat luonteeltaan sellaisia, että kuluttaja ei niitä välttämättä huomaa heti. Tähän on varauduttu vesilaitoksella niin, että aistinvaraisesti tutkittaessa piiloon jäävät haittatekijät saadaan laboratoriomittauksin selville. Siten saadaan varmistettua, että vesi, joka kuluttajille lähtee, on moitteetonta joka suhteessa. Tärkeintä on, että se ei ole terveydelle haitallista.

Veden esteettiset ominaisuudet voi sen sijaan arvioida aistinvaraisesti. Veden tulee olla väritöntä, kirkasta ja hajutonta ja mautonta. Veden lämpötila ei saisi olla liian alhainen eikä liian korkea. Tähän Päijänne-tunneli tarjoaa ihanteellisen ratkaisun. Vesi on sopivan viileää myös kesällä, sillä veden matkalla viipymä aika viilentää veden lähelle kallion omaa lämpötilaa, joka muutaman kymmenen metrin syvyydellä on noin 5°C.

On mahdollista, että Päijänne-tunnelin kautta kulkeva vesi muuttuu käytön kannalta epäsuotuisalla tavalla edellä mainittujen seikkojen tähden. Maaperästä tai kalliosta voi kulkeutua aineita, jotka vaikuttavat vedenlaatuun. Jotta näin ei kävisi, tulee maa- ja kallioperää sekä pohjavettä suojella. Viranomaisen yhteistyö yli kuntarajojen ja tiedon kulkeminen nopeasti ja luotettavasti vaatii systemaattisen ja aukottoman tiedonsiirtojärjestelmän. Alueellisilla ympäristökeskuksilla on tässä tärkeä rooli.

Kun arvioidaan miten Päijänne-tunneli on toiminut alkuperäisen tarkoituksen mukaan, joka oli toimittaa raakavettä riittävästi, edullisesti ja turvallisesti pääkaupunkiseudulle, voitaneen antaa kiitettävä arvosana. Projekti toteutettiin siinä uskossa, että veden johtaminen pääosin verhoamattomassa raakavesitunnelissa on riittävän turvallista. Ei pidetty tärkeänä estää tunnelissa kulkevan veden pääsyä ulos tunnelista, eikä liioin osattu varoa tunnelin ulkopuolelta pääsevien mahdollisesti haitallisten aineiden pääsemistä tunneliin. Ei yksinkertaisesti ollut syytä miksi tunnelia olisi vahvistettu yhtään sen enempää kuin kallion lujuus vaati (Uimonen 2010).

Tilanne on pysynyt samana myös molempien huoltoremonttien yhteydessä. Päijänne-tunnelia vahvistettiin vain niiltä osin joilta arvioitiin tunnelin tarvitsevan lujitusta ehjänä pysyäksensä. Poikkeuksena Kehäradan ja Päijänne-tunnelin risteyskohta johon tehtiin huoltoremontin yhteydessä 2008 ylimääräistä ruiskubetonointia ja injektointia 150 metrin matkalta tarkoituksena estää veden liikkeitä tunneleiden välillä. Lähtökohtaisesti Päijänne-tunnelista on painevirtausta kohti Kehärataa, joka henkilöliikenneväylien ei saa

kastua. Koska ruiskubetonointi suoritettiin 150 millimetrin paksuudelta, se toiminee myös osittain eristeenä mahdollisia haitta-aineita vastaan suojaten tältä osin Päijänne-tunnelia (Kallio 2010).

Kustannusten mielekästä vertailua on vaikea tehdä koska Päijänne-tunneli ja Kehäradan tunneliosuus ovat lähtökohtaisesti käyttötarkoituksiltaan erilaisia. Molemmat ovat kyllä vaakatasoon rakennettuja samanmuotoisia tunneleita, mutta Päijänne-tunnelin alkuperäinen tarkoitus oli kuljettaa vettä pinnoittamattomassa tunnelissa, jonne ei tarvitse olla yhtä tiheästi rakennettuja kulkuväyliä kuin ihmisten kulkuväyläksi rakennetussa Kehäradan tunneliosuudella.

Päijänne-tunnelin rakennusprojekti toteutettiin aikana, jolloin tekniset ratkaisut olivat tehottomampia kuin nykyään. Tietotekniikkaa, esimerkiksi havainnollista kolmiulotteista mallinnusta ja laskentaohjelmia on voitu käyttää Kehäradan suunnitteluvaiheessa työkaluna. Toisaalta sama ympäristö, johon Päijänne-tunneli aikoinaan rakennettiin, on muuttunut huomattavasti monimutkaisemmaksi kokonaisuudeksi johon rakentaminen vaatiiikin paremmat työkalut.

Erityisen tärkeäksi nämä kysymykset muodostuvat olosuhteiden muuttuessa Päijänne-tunnelin ympäristössä. Muuttoliikkeen jatkuessa Pääkaupunkiseudulle, rasitus Päijänne-tunnelin eteläpäätä kohtaan lisääntyy.

Vaikka Päijänne-tunnelin korjaustarpeet tulivatkin esille geologisesti ajatellen yllättävän nopeasti valmistumisen jälkeen, niin kaksikymmentä vuotta on pitkä aika yksityisen yrityksen historiassa ja vahingon korjaajaa voi olla vaikea nimetä. Koska yksityisen yrityksen liikeideaan kuuluu luontaisesti voiton maksimointi, saattaa olla suuri kiusaus keskittyä nopeaan rakentamisaikatauluun suunnitteluvaiheen kustannuksella.

Kuitenkin juuri näillä tarkoilla ennakkosuunnitelmilla ja tutkimuksilla voitaisiin mahdollisesti välttää myöhemmin yllättävät vastoinikäymiset rakentamis- ja ylläpitovaiheessa.

Lähdeluettelo

Aluehallintovirasto/Etelä-Suomi. 2010. Päätös Nro 22/2010/4 Dnro ESAVI/102/04.09/2010. Annettu 4.3.2010.

Eloranta, E. 2007. Geofysiikan kenttäteoria. STUK-A198. s 330-346.

Erkola, P. (toim.) 1982. Päijänne-tunneli. Helsinki, Pääkaupunkiseudun vesi Oy. 142 s.

Haavisto, T. 1998. Likaantumisriskiä aiheuttavat toiminnot Päijänne-tunnelin läheisyydessä. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen moniste 138. 58 s. ISBN 952-11-0392-2

Harjula, H, 1982. Ympäristökysymykset Päijänne-tunnelin rakentamisessa. Julk.:Erkola, P (toim.) Päijänne-tunneli. Helsinki, Pääkaupunkiseudun Vesi Oy.s. 81-85.

Hirsto, Ilkka. 2008. Pääkaupunkiseudun Vesi Oy:n toimitusjohtaja. Suullinen tiedonanto.

Juuti, P. & Rajala, R. 2007. Veden Vuosisata. Vantaa. ISBN 978-951-857-501-9

Kallio, Arto. 2010. Pääkaupunkiseudun Vesi Oy:n toimitusjohtaja. Suullinen tiedonanto.

Korkka-Niemi, K & Salonen, V. 1996. Maanalaiset vedet, pohjavesigeologian perusteet. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen julkaisu A:50.Vammala.ISBN 951-29-0825-5, ISSN 0788-7906. s 110-112.

Laine, E. 1998. Geostatistical, geological and geophysical modelling of subsurface structures of Precambrian bedrock in Finland. Espoo, Teknillinen korkeakoulu. Materiaali- ja kalliotekniikan osasto. Tutkimusraportti TKK-IGE-A-23. 102 s.+2 liitettä. ISBN 951-22-4308-3

Lipponen, A. 2001. Päijänne-tunnelin ympäristögeologia ja –riskit. Helsinki, Suomen ympäristökeskus & Pääkaupunkiseudun Vesi Oy. Suomen ympäristö 525. 137s. ISBN 952-11-1033-3. ISSN 1238-8602.

Manninen, S. 4.12.2001. Vesitunneleiden vaurioitumisprosessit. Diplomityö TKK. Materiaali- ja kalliotekniikan osasto.

Mikkola, J. 30.11.1999. Pitkien vesitunneleiden sortumat ja lujitus. Diplomityö TKK. Materiaali- ja kalliotekniikan osasto.

Mikkola, J. & Viitala, R. 1999. Pitkien vesitunneleiden sortumat ja lujitus. Helsinki, Helsingin kaupungin kiinteistövirastokiinteistö. Geoteknisen osaston tiedote 80. 103 s + 5 liitettä. ISBN 951-718-402-6 ISSN 0788 6209.

Mälkki, E. 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Helsinki, Tammi. s 60

Niini, H., 1966. Päijänne-Helsinki vedensiirtotunnelin suunnitteluun liittyvistä geologisista tutkimuksista. Geologi 18; 6.

Niini, H. 1968. Päijänne-Helsinki tunnelitutkimukset. Helsingin alueen vedenhankinnan yleissuunnitelma. RGY 2:20.

Niini, H. & Niini, S. 1995. Vesigeologia. Opetusjulkaisu TKK-IGE-C-17. Espoo

Niini, H. & Parkkinen, J. 1995. Tuotantogeologia. Jatkokoulutusjulkaisu TKK-IGE B20, Espoo. s. 65-67

Niini, H., Uusinoka, R. & Niinimäki, R. (toimittajat), 2007. Geologia ympäristötoiminnassa. Rakennusgeologinen yhdistys. Helsinki. ISBN 978-951-95436-11.

Niini, H. & Ärmänen, E. 2000. Kalliorakennusgeologia. TKK IGE-C-21.

Pokki, E. 1982. Geologiset tutkimukset. Teoksessa: Erkola, Pentti (toim.). Päijännetunneli, Helsinki, Pääkaupunkiseudun Vesi Oy. s. 75-80

Pokki, E. 1969. Seisminen kallionopeus kallion rikkonaisuuden ilmentäjänä. Rakennusgeologisen yhdistyksen julkaisu 4, kirjoitus 35.

PSV 2007. Pääkaupunkiseudun Vesi Oy, Toimintakertomus 2007

PSV 2008. Pääkaupunkiseudun Vesi Oy, Toimintakertomus 2008

Särkkä, P. 1998. Kalliorakentamisen monet kasvot. Polysteekki 1-98, Espoo

Uimonen Martti. 1982. Rakentaminen. Teoksessa: Erkola, Pentti (toim.). Päijännetunneli. Helsinki, Pääkaupunkiseudun Vesi Oy. s. 50-63.

Uimonen Martti. 2010. DI. Suullinen tiedonanto

Ärmänen Esa. 2010. TkL. Osastopäällikkö, Geotek Oy. Suullinen tiedonanto

LIITTEET

Liite 1. Professori Heikki Niinin 26.10.2007 PSV:lle luovuttama Päijännetunnelin vanha aineisto