



Heikki Hakkarainen

Pohjavesitutkimus Länsimetron vaikutusalueella Tapiolassa vuosina 2009–2011

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
6.10.2012

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Heikki Hakkarainen Pohjavesitutkimus Länsimetron vaikutusalueella vuosina 2009—2011 36 sivua 6.10.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	yliopettaja Vesa Rope pohjavesivastaava Juuso Hyrkäs kehityspäällikkö Ville Mäntysalo
<p>Pohjaveden seuranta on tärkeä osa suuremmissa rakennushankkeissa. Länsimetron rakentamisen aikana vaaditaan tarkkoja seurantaohjelmia monella osa-alueella. Seurantaohjelmilla valvotaan pohjaveden laatua, pinnanvaihteluja, -virtaussuuntia ja kulkureittiä. Uusien pohjavesiputkien asennus jatkuu läpi Länsimetron rakennuksen ajan, näin saadaan pidettyä seuranta-ohjelmat ajan tasalla louhimisen edetessä.</p> <p>Vuosien 2009—2010 aikana ei havaittu haittaa ympäristölle pohjaveden pinnan alenemisen seurauksena. Pohjaveden laadullista heikkenemistä ei ole vuoden 2009 aikana pystytty havaitsemaan, koska louhinnat eivät ole ulottuneet näytteenottopisteiden läheisyyteen.</p> <p>Vuosina 2010—2011 seurattiin vielä samoja pohjavesiputkia kuin vuonna 2009. Pohjavesiputkia asennettiin myös lisää sitä mukaa, kun louhinnat etenivät projektin aikana. Pohjaveden pinta on laskenut useita metrejä 2011 loppuun mennessä ja alenemista on kompensoitu veden uudelleen imeyttämällä. Ympäristöön ja kasvillisuuteen pohjaveden aleneminen ei ole kuitenkaan vaikuttanut haitallisesti. Pitempi seuranta kertoo tulevaisuudessa, miten pohjaveden aleneminen on vaikuttanut esimerkiksi suurten puiden hyvinvointiin, joiden juuret ulottuvat syvälle maanpinnan alapuolelle.</p>	
Avainsanat	pohjavesi, Länsimetro, Tapiola

Author(s) Title Number of Pages Date	Heikki Hakkarainen Groundwater Research at Länsimetro's Target Area in 2009— 2011 36 pages 6 October 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Vesa Rope, Principal Lecturer Juuso Hyrkäs, Groundwater Specialist Ville Mäntysalo, Development Director
<p>The monitoring of ground water is an important part in larger building projects. During the building of the Western Metro Extension, detailed monitoring programmes are required in many sectors. The quality of the groundwater, variations of the water level, flow directions and flow routes are controlled by the monitoring programmes. The installation of new groundwater pipes continues throughout the building of the Western Metro Extension and thus the monitoring programmes shall be kept up to date as the quarrying proceeds.</p> <p>The extension is currently expected to open for service at the end of 2015 In 2009-2010 no harm to the environment was detected as a consequence of the declining of the level of the ground water. The qualitative weakening of the groundwater has not detectable during the year 2009 because the excavation has not reached the vicinity of the sampling points.</p> <p>In 2010-2011 the same groundwater pipes, as during the year 2009, were still followed. More groundwater pipes were also installed as the excavation proceeded during the project. The level of the groundwater has dropped several meters by the end 2011 and the drop has been compensated by recharging of the groundwater. However, the drop in the groundwater level has not harmfully affected the environment or vegetation. Longer follow up will tell in the future how the declining of the groundwater level has affected for example the welfare of big trees the roots of which reach deep below the earth's surface.</p>	
Keywords	Groundwater, The western metro extensions, Tapiola

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Tietoa pohjavedestä	2
2.1	Määritelmät	2
2.2	Pohjaveden virtaussuunta	4
2.3	Alueellinen ja vuodenaikojen vaikutus pohjaveden tasoon	6
3	Pohjaveden laatu	7
3.1	Laatuun vaikuttavat tekijät	7
3.2	Laatuominaisuudet	7
4	Pohjavesiputkien mittaus- ja asennusvaihe	7
4.1	Suunnitteluvaihe	8
4.2	Paikalleenmittausvaihe	8
4.3	Asennusvaihe	9
5	Tapiolan pohjavesiseuranta vuosina 2009—2010	9
5.1	Seuranta-ohjelmat	9
5.2	Pohjaveden seuranta-ohjelmat	10
6	Seurantatulokset: Tapiola (LU4AI, LU4AE)	11
6.1	Pohjavesiseuranta	12
6.2	Tapiolan itäinen ajotunneli	13
6.3	Tapiolan eteläinen ajotunneli	16
6.4	Rakentamisen vaikutukset pohjaveden pintaan	19
7	Yhteenveto vuosilta 2009—2010	19
8	Tapiolan pohjavesiseuranta vuosina 2010—2011	20
8.1	Rakentamisen aikaiset muutokset	20
8.2	Rakennushankkeita, joilla on mahdollisia pohja- ja pintavesivaikutuksia	22
9	Pohja- ja hulevedet Tapiolan keskustan valuma-alueella	23

9.1	Maaston muodot sekä maa- ja kallioperä	23
9.2	Pohja- ja hulevesien muodostuminen	26
9.3	Tapiolan keskusallas	27
10	Viimeaikainen vesien ja painumien seuranta Tapiolan alueella	29
10.1	Pohjavedet	29
10.2	Pinta- ja hulevedet	33
11	Uudet havaintoputket	34
12	Yhteenveto ja johtopäätökset	34
	Lähteet	36

1 Johdanto

Pohjavesi on ihmiskunnan tärkein luonnonvara, jota tutkitaan ja suojellaan eri menetelmin. Pohjavedestä ja pohjavesigeologiasta käytetään yleistä nimitystä hydrogeologia. Hydrogeologia sisältää pohjaveden laadun sekä pohjavesitutkimuksissa käytettäviä tutkimusmenetelmiä. Insinööriyössä käydään läpi, miten pohjavesi muodostuu, erilaiset tutkimusmenetelmät, pohjavesiputkien asennus ja seuranta. Työssäni kerrotaan myös, miten erilaiset ympäristötekijät vaikuttavat pohjaveteen, ja käydään läpi esimerkkikohdetta, jossa tutkitaan, miten pohjavesi käyttäytyy, kun Espoon kaupunginosassa Tapiolassa louhitaan Länsimetroa. Louhinnat on aloitettu vuonna 2009, ja seurantajakso ulottuu vuoteen 2011 saakka.

Turvallinen kalliorakentaminen pohjavesien osalta toteutuu, kun rakentamisesta ei aiheudu pohjaveden likaantumista tai pilaantumista. On myös tärkeää, ettei maaperän vesiolosuhteet muutu niin, että siitä aiheutuisi vaurioita rakennuksille ja rakenteille. Tämän varmistamiseksi rakennuskohteessa suoritetaan pohjaveden pinnankorkeuden ja laadun seuranta. Painumariskialueilla pohjaveden alenemisen aiheuttamaa maakerrosten painumista seurataan rakenteilla olevien rakennusten haittojen ehkäisemiseksi. Länsimetron rakennushankkeessa seurataan pohjavesi- ja painumaseurannan lisäksi pintavesien laatua ja kalliotiloihin valuvien vuotovesien määrää sekä poistovesien laatua.

2 Tietoa pohjavedestä

Pohjaveden yleinen määritelmä kuuluu seuraavasti: Pohjavesikerroksen raja on siinä kohdassa, josta alaspäin maaperä on vedellä kyllästettyä. Kaikki maanpinnan alainen vesi ei siis ole pohjavettä. Maapallon tiedot vesivaroista ja niiden ryhmiin jakautumisesta poikkeavat paljon, koska eri tutkimuslähteet saattavat erota toisistaan jopa kymmenkertaisesti. Hydrologiseen kiertoon kuuluvat pohjavesivarat luetaan mukaan litosfäärin pintaosista olevista alueista. Nämä vastaavat vain noin 0,5 %:a maapallon vesien kokonaismäärästä. Maapallon kokonaisvesivaranannon arvioidaan olevan noin 1 430 miljoonaa kuutiokilometriä. Sateella on merkittävin rooli pohjavesivarantojen täydentäjänä. Sade pitää pohjaveden jatkuvassa liikkeessä. Runsas vesisade ei tarkoita sitä, että pohjavesivarannot kasvaisivat nopeammin, tällöin jää haihtumiselle altista vettä enemmän ja imeytyvä vesimäärä jää pieneksi. Toisaalta niukka sade taas haihtuu maaperästä lähes kokonaan pois, ja loput vie maaperän kasvillisuus. Maaperän imentäkapasiteetti, eli vedenvastaanottokyky vaikuttavat valunnan määrään vesistöihin. Osa jäännösveden valunnasta ja haihtumisesta jää pohjavedeksi. (5, s. 20–23.)

2.1 Määritelmät

Koska vesi on luonnossa yleensä enemmän tai vähemmän jatkuvassa kierrossa, on tarkasteluissa huomioitava veden eri esiintymistavat. Luonnossa vesiä ei aina ole tarpeen eritellä tiukasti eri kategorioihin, koska rajat näiden välillä ovat usein häilyviä. Alla esitetään määritelmät termeille, joita tässä työssä käytetään. Lähteinä on käytetty määritelmässä (1) ja Lounais-Suomen ympäristökeskuksen raportti (11).

Hulevesillä tarkoitetaan rakennetuilla alueilla muodostuvaa, sade-, sulamis- ja huuhteluvesien aiheuttamaa pintavaluntaa. Hulevesiä ovat myös esimerkiksi tulipalojen sammutusvedet. Hulevesissä korostuu ihmistoiminnan vaikutus, sillä niihin liukenee kaupunkirakenteesta epäpuhtauksia ja hienoaainesta. Hulevesiä luonnollisesti myös imeytyy maahan, haihtuu ja kuluu kasvien käyttöön. Hulevesien tarkastelu liittyy läheisesti kuivatukseen.

Maankamara tarkoittaa sekä maa- että kallioperää. Termi kattaa maa- ja kallioperän lisäksi täytemaan ja muokatun maan.

Maavesi (vadoosi vesi) tarkoittaa pääasiassa maassa olevaa vajovettä, kapillaarivettä ja mineraalirakeiden pinnoille adsorboitunutta vettä vedellä kyllästyneen pohjavesivyöhykkeen yläpuolella. Vajovesi liikkuu alaspäin kohti pohjavettä, ja kapillaarivesi nousee kapillaarivoimien ansiosta vastaavasti ylöspäin. Karkearakeisessa maaperässä vesi liikkuu enemmän alaspäin kuin ylöspäin, kun sen sijaan hienorakeisissa maalajeissa ylöspäin nouseva kapillaarivesi on vallitsevana. Maahan imeytynyt sade- ja hulevesi ovat maavettä, mikä voi vähitellen vajota orsi- tai pohjavesikerrokseen.

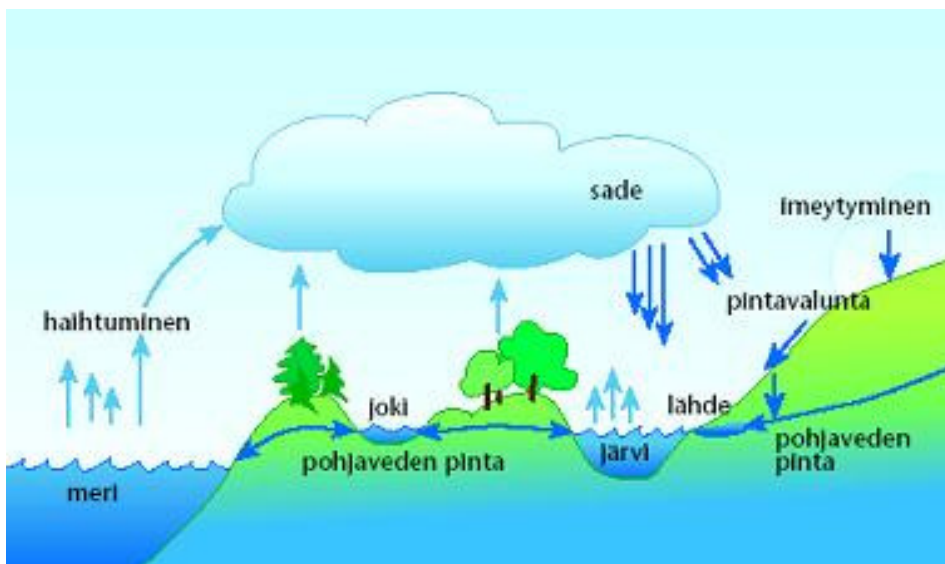
Orsivesi on vedellä kyllästynyt maa-aines, joka on varsinaisen pohjavedenpinnan yläpuolella. Orsivettä esiintyy yleensä vettä pidättävän maakerroksen päällä ohuehkona kerroksena. Vettä pidättävän kerroksen alla on vedellä kyllästymätöntä maa-ainesta, kunnes syvemmällä sijaitsee pohjaveden pinta.

Paineellinen pohjavesi eli salpavesi rajoittuu ylhäältä päin vettä pidättävään kerrokseen. Jos vettä pidättävä kerros puhkaistaan, vesi nousee sille tasolle, jossa paine vedenpinnassa on sama kuin ympäröivä ilmanpaine (ns. pietsometrinen taso). Painanteissa saven alla oleva vesi saattaa nousta maanpinnan yläpuolelle jos savikerros puhkaistaan. Maanpinnan yläpuolelle nousevaa paineellista vettä kutsutaan arteesiseksi vedeksi.

Pintavesistöillä tarkoitetaan luonnonvesistöjä: puroja, jokia, lampia, järviä ja merta. Tapiolassa ainoita luonnon pintavesistöjä ovat Otsolahti ja siihen laskeva Otsolahdenoja.

Pohjavesi (freaattinen vesi) täyttää maankamaran huokokset kokonaan. Pohjavesikerroksessa ei tapahdu vastaavanlaista vertikaalista veden liikkumista kuin maavedessä. Sadevedestä imeytyy pohjavedeksi muutamista prosenteista kymmeneen prosentteihin riippuen maanpinnan laadusta (luonnontilainen, muokattu, päällystetty, viemäroity yms.), maa- ja kallioperän laadusta, kasvillisuudesta, maaston muodosta ja kaltevuudesta sekä maan kosteustilasta. Savimaalla imeytymistä ei tapahdu, tai se on vain muutamia prosenteja. Kallioalueella pohjaveden muodostuminen on kasvillisuuden ja topografian ohella enimmäkseen riippuvainen kalliorakojen runsaudesta sekä rakojen laadusta ja mittasuhteista.

Sadevesi on suoraan maahan satavaa vettä, ja sen määrä on riippuvainen puhtaasti sääolosuhteista. Helsingin Kaisaniemen säähavaintoasemalla sademäärä on ollut vuosina 1971–2000 keskimäärin 643 mm/v. Näistä neljän talvikuukauden aikana (joulu–maaliskuu), jolloin sade tulee usein lumena, sademäärä oli 103 mm eli 16 % koko vuoden sateesta. Kesäkuukausina (kesä-, heinä-, elokuu) sadetta tuli mainittuna ajanjaksona 189 mm eli noin 30 % vuoden sateesta. Suurin osa sateesta saadaan tavallisesti loppukesällä ja syksyllä. Sademäärä ja sen kuukausittainen jakautuminen vaihtelevat kuitenkin vuosittain, joskin pitkän aikavälin tarkasteluissa ääri-ilmiöt tasaantuvat keskiarvoihin. Yleisesti laskelmissa sateen vuosikeskiarvona käytetään 670 mm. Kuvio 1 selviää hydrologisen kierron periaate.

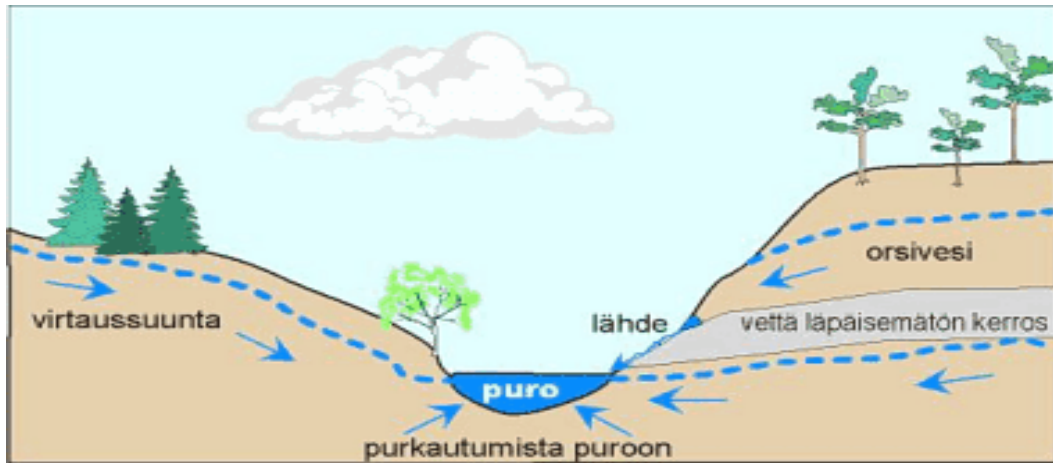


Kuvio 1. Hydrologinen kierto (11)

2.2 Pohjaveden virtaussuunta

Kuviossa 2 on esitetty pohjaveden virtaamissuunnat eri kerroksista puroon. Jos muodostuman yläpuolella on vettä läpäisemätön kerros tai se esiintyy varsinaisen pohjavesivyöhykkeen yläpuolella niin sanottuna orsivetenä vettä läpäisemättömien kerrosten päällä, pohjavesi ilmenee paineellisenä eli arteesisenä virtaussuunta kulkee maanpinnan mukaisesti kohti valuma-aluetta. Pohjavesi matkaa vettä johtavissa kerroksissa painovoiman vaikutuksesta ja on siksi kokoajan liikkeessä. Muun muassa maaperän

raekoko vaikuttaa pohjaveden virtausnopeuteen. Virtausnopeus on kovin pieni, jos kyseessä on hieno lajite, kuten savi tai savimoreeni. Vuorokaudessa virtausnopeus esimerkiksi moreenissa on noin 0,1–0,5 metriä. Hiekassa taas saman ajan lukemat ovat 0,5–5,0 metriä. Kerrostumien epäjatkuvuuksien ja aineksen heterogeenisuuden takia samassakin muodostumassa tavallisesti esiintyy suuria vaihteluita virtausnopeuksissa. (5, s. 30–33.)



Kuvio 2. Pohjaveden virtaus. (11, Pohjaveden määrä ja laatu.)

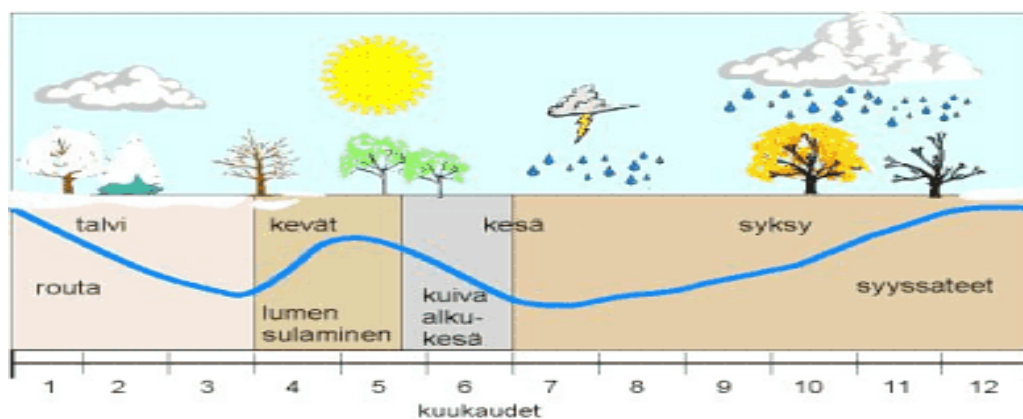
Suurimmaksi osaksi pohjaveden pinta mallintaa maanpinnan korkeus vaihteluja. Läheteissä, soilla ja vesistöissä se yhdistyy maanpintaan. Pohjaveden pinta on tavallisesti 2–4 metrin syvyydellä, poikkeuksena ympäristöstään kohoavat harjualueet, joissa pohjaveden pinta voi olla jopa 30–50 metrin syvyydessä.

Pohjaveden pinnan korkeuteen vaikuttavia tekijöitä on paljon, ja yksi niistä on vuodenaikat. Syksyllä ja keväällä pohjavedet on korkeimmillaan lumen sulamisen ja vesisateiden johdosta. Alimmillaan se on talvella, kun sade tulee lumena ja routa estää veden imeytymisen. Toinen korkeuteen vaikuttava tekijä on pohjaveden pinnan etäisyys maanpinnasta. Jos pohjaveden pinta on kovin syvällä, vaihtelu on vähäisempää ja hitaampaa. Pohjaveden pinnan etäisyys maanpinnasta on keskimäärin 2,7 metriä valtakunnallisilla pohjavesiasemilla. Syvyys vaihtelee alueen maaperän rakeisuuden mukaan. Sora- ja hiekka-alueilla pohjavesi on syvemmillä (keskimäärin 4,6 metrin syvyydessä) kuin moreenialueilla (keskimäärin 1,3 metrin syvyydessä).

Pohjaveden luonnollista korkeutta tarkkaillaan monessa organisaatiossa esimerkiksi ympäristöhallinto mittaa korkeusvaihtelua ylläpitämillään pohjavesiasemilla. Lisäksi vedenottajat tarkkailevat pohjaveden korkeutta vedenottamoiden vaikutusalueella. (11)

2.3 Alueellinen ja vuodenaikojen vaikutus pohjaveden tasoon

Tässä kappaleessa tarkastellaan tarkemmin vaikutuksia pohjaveden pinnankorkeuden vaihteluun. Kuviosta 3 voidaan todeta, että vuodenaajat ovat suuressa osassa ja ne noudattavat toistuvaa kaavaa vuodesta toiseen. Loppupalvesta pohjaveden pinta on alimmillaan, kunnes keväällä lumen sulamisvedet täydentävät pohjavesivarastoja. Alkukesästä pohjaveden pinta laskee vähäsateisuuden seurauksena ja pinta alkaa nousta heinäkuun sateiden myötä. Lopulta syysateet täydentävät pohjavesivarastot uudelleen. Satamisen lisäksi pohjaveden pinnankorkeuden muutoksiin pohjavesimuodostumassa vaikuttavat muodostuman koko ja maaperän laatu. Ajallisiin ja alueellisiin vaihteluihin vaikuttavat sadannan määrä sekä pohjaveden muodostumisen ja pohjaveden purkautumisen väliset vuorovaikutukset. Lyhyen jakson vaihtelut aiheutuvat voimakkaista rankkasateista tai äkillisistä painovoiman, ilmanpaineen tai merenpinnan korkeuden muutoksista. Muita pohjaveden pinnankorkeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa lumen määrä ja vesiarvo, roudan syvyys ja sulaminen, ilman lämpötila sekä tuulisuus. Suomessa vuotuinen veden kierto pitää pohjaveden suunnilleen samalla tasolla ja vaihtelut ovat 0,1–1,0 metrin välillä vuodessa. (11)



Kuvio 3. Pohjaveden korkeuden käyttäytyminen eri vuodenaikoina (11)

3 Pohjaveden laatu

3.1 Laatuun vaikuttavat tekijät

Ilmastolliset, geologiset ja merelliset sekä ihmisen aiheuttamat ympäristötekijät vaikuttavat pohjaveden laatuun. Varsinais-Suomen hiekka- ja sora-alueilta saatava vesi on käyttökelpoisuudeltaan yleensä moitteetonta. Savi-, siltti- tai turvepeitteisillä alueilla, eli rannikkoalueilla, pohjaveteen liuenneiden alkuaineiden määrä on suurempi kuin sisämaassa. Nitraatteja voi päästä viljelyalueella pohjaveteen. (11)

3.2 Laatuominaisuudet

Tärkeä osa yksittäisiä selvityksiä ja laajempia seurantoja ovat pohjaveden laadun fysiikaalis-kemialliset analyysit. Yleisimpiä pohjavesistä tutkittavia laatuominaisuuksia ovat sähkönjohtavuus, pH eli happamuus, väri, sameus, alkaliteetti, kemiallinen hapen kuluutus, kokonaisfosfori, kokonaistyyppi, nitraatti- ja nitriittityppi, ammoniumtyppi, happipitoisuus, rauta, mangaani, sulfaatti, kloridi, koliformiset bakteerit ja *Escherichia coli*, haitta-aineet kuten raskasmetallit, öljyhiilivedyt, haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja torjunta-aineet. (11)

4 Pohjavesiputkien mittaus- ja asennusvaihe

Jotta suunniteltavan rakenteen kuivatustarve voidaan määritellä, on pohjaveden korkeutta mitattava. Pohjaveden korkeusasema täytyisi selvittää paikkansapitävästi ennen rakennuskaivannon tai imeytyskenttien suunnittelun aloittamista. Pohjaveden korkeusasema mitataan talousvesikaivoista tai tutkimuskohteeseen asennetuista pohjavesiputkista, joiden avulla saadaan havaittua pohjaveden korkeusaseman vuosittainen vaihteluväli tai rakentamisesta aiheutunut pohjaveden pinnan poikkeuksellinen alentuminen. (8)



Kuva 1. Lukittu pohjavesiputki vandaali-osalla (ruostumaton teräs 150 x 1500 mm) (9).

4.1 Suunnitteluvaihe

Pohjavesiputkien asentamispaikat suunnitellaan rakennushankkeen mukaan. Omakotitalojen rakentamisessa, johon kuuluu kellari, asennetaan usein myös pohjavesiputki. Yleensä omakotitalojen yhteyteen asennetaan 32—50 mm:n teräsputki ilman vandaali-osaa, koska se on huomaamattomin ja vandalismin määrä on olematon, joten lukkoa ei tarvita. Isommissa rakennushankkeissa sijoitetaan pohjavesiputkia tietyin välimatkoin, ja niissä käytetään usein muoviputkea, jossa maanpinnalla näkyvä osuus on lukittu metallisella vandaaliputkella (kuva 1). (9)

4.2 Paikalleenmittausvaihe

Pohjavesiputkien paikalleenmittaus suoritetaan suunnitelman mukaisesti, jolloin saadaan sijainti- ja korkeustiedot pohjavesiputkelle. Mittaus suoritetaan joko takymetrillä tai GPS-laitteella.

4.3 Asennusvaihe

Kairauksilla haetaan pohjaveden muodostumisalueen pohjaa ja pintaa. Suositeltavimpia ovat porakonekairaukset, joiden yhteydessä voidaan rekisteröidä kairausvastus ja saada näin myös selville maakerrosten rajat. Kairaukset tulisi aina tehdä läpäisemättömään pohjaan saakka, joka useimmiten on kallion pinta. Tavallisesti pohjavesiputket asennetaan porakonekalustolla maakerrosten läpäistävyydestä riippuen. Yleensä maahan upotetaan ensin työputki, joka huuhdellaan tyhjäksi ja jonka sisään asennetaan varsinainen havaintoputki, minkä jälkeen työputki nostetaan ylös. Teräsputkia voidaan helpoissa olosuhteissa asentaa suoraan ilman työputkea. Pohjavesiputkien käyttö edellyttää, että putkista tehdään riittävän pitkäaikaisia havaintoja, jotta pohjavedenpinnan vaihtelusta saadaan käsitys. Täytyy ottaa huomioon, että pohjavesiputkista saatavat ensimmäiset havainnot voivat olla harhaanjohtavia ja tasoittua ajan myötä lähemmäs todellista korkeutta. (5, s. 132—140.)

5 Tapiolan pohjavesiseuranta vuosina 2009—2010

5.1 Seuranta-ohjelmat

Pohjaveden ja painumien seurantaohjelmat laadittiin kesäkuussa 2009 ja seurantapistteet asennettiin pääosin helmikuuhun 2010 mennessä. Seurantaohjelmat päivitettiin helmikuussa 2010 toteutuneilla seurantapistteillä. Seurantaverkostoon on tullut pieniä muutoksia putkien ja pulttien tuhoutumisen sekä lisäpisteiden asentamisen seurauksena. Kalliorakentamisen pääsuunnittelutehtäviin sisältyy seurantatulosten analysointi ja raportointi noin 1–2 kuukauden välein pidettävissä ympäristöryhmän ja rakennusvalvonnan kokouksissa. Seurantatulokset viedään mittaaajien toimesta Länsimetron ympäristötietopalveluun (YTP). (1)

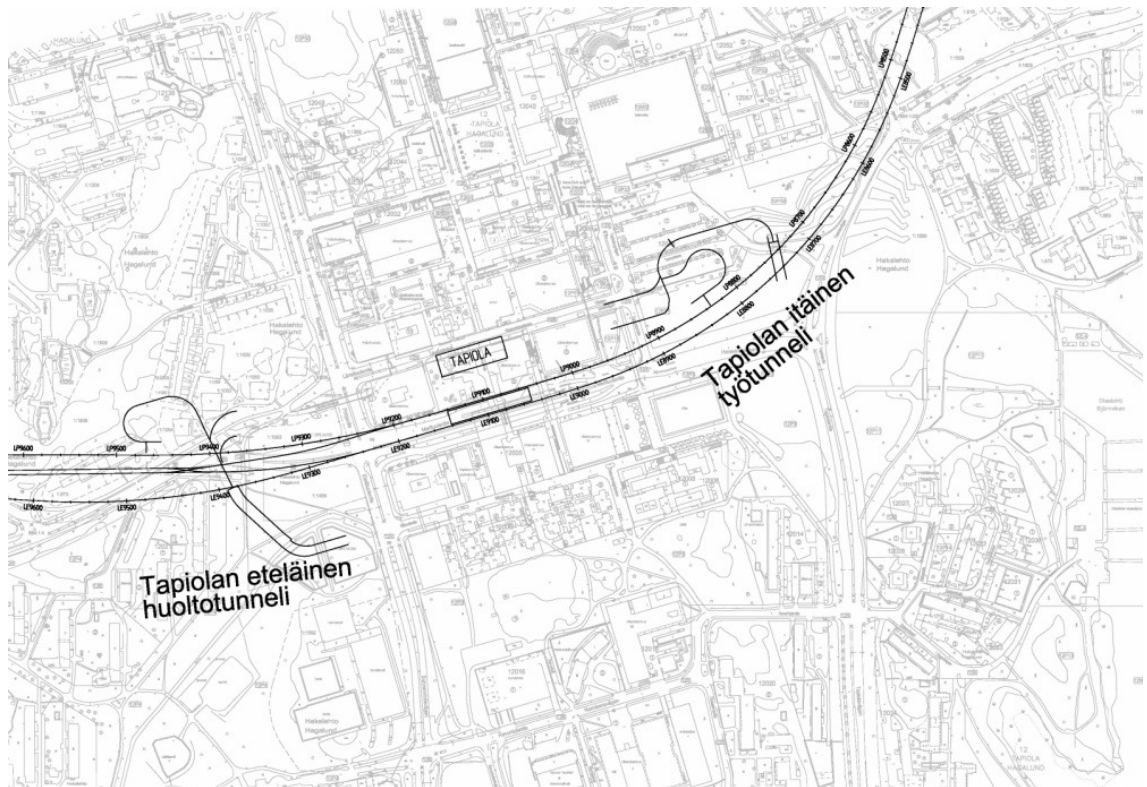
5.2 Pohjaveden seuranta-ohjelmat

Pohjaveden seurantaohjelma koostuu pohjaveden korkeuden, kalliotilojen vuotovesien sekä pohjaveden laadun seurannoista. Pohjaveden korkeuden seurantaverkosto muodostuu 160 havaintoputkesta, joista 126 sijaitsee Espoossa ja 34 Helsingissä. Orsi-vesiputkia on yhteensä 8 ja kalliopohjavesiputkia 12. Kalliopohjavesiputket sijoittuvat Espooseen merkittävien heikkousvyöhykkeiden alueille. Pohjaveden korkeutta mitataan kuukausittain. Louhintojen vaikutusalueella, eli louhintaperän ollessa noin 100 metrin säteellä havaintoputkesta, mittaus suoritetaan 1–2 viikon välein. Mikäli pohjaveden pinta alkaa laskea, mittausväliä tihennetään. Pohjaveden korkeutta Helsingissä mittaa Stara (Helsingin kaupungin rakentamispalvelu) ja Espoossa GeoUnion Oy. Vuotovesiseurantaa toteutetaan urakoitsijan ilmoittamien tulo- ja poistovesimäärien perusteella. Poistoveden määrää mitataan louhintojen aikana noin kerran viikossa. Laskettu vuotovesimäärä ei ole absoluuttisesti oikea, sillä osa vedestä haihtuu lämpötilan ja ilmanvaihdon vaikutuksesta ja lisäksi veden viipymä kallioiloissa voi vaihdella. Pitkäaikainen seuranta antaa kuitenkin hyvän käsityksen kalliotilan vuotovesimäärän kehityksestä. (1)

Pohjaveden laatua seurataan ainoastaan Espoossa, ja seurantaverkosto koostuu 35 havaintoputkesta. Pohjavesinäytteistä analysoidaan laboratorio-olosuhteissa pH, sähkönjohtavuus, happi, väri, hajua, sameus, kiintoaine, kemiallinen hapenkulutus (CODMn), ammonium, nitriitti, kloridi, nitraatti, sulfaatti, arseeni, kadmium, kupari, kromi, lyijy, nikkeli, sinkki, elohopea, mineraaliöljyt (kokonaishiilivety määräytys C₆–C₃₅), orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC), haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ja polyaromaattiset hiilivedyt (PAH). VOC-yhdisteistä analysoidaan 15 yhdistettä: 1,2-dikloorietaani, BTEX (bentseeni, tolueeni, etyylibentseeni, ksyleenit), bromidikloorietaani, bromoformi, dibromidikloorimetaani, metyyli-terttutyylieetteri (MTBE), tert-amyylimetyylieetteri (TAME), tetrakloorieteeni (PCE), tetrakloorimetaani, trikloorieteeni ja trikloorimetaani (kloroformi). PAH yhdisteistä analysoidaan 16 yhdistettä: antraseeni, senafteeni, asenaftyleeni, bentso(a), antraseeni, bentso(a), pyreeni, bentso(b), fluoranteeni, bentso(g,h,i), peryleeni, bentso(k), fluoranteeni, dibentso(a,h), antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno(1,2,3-cd), pyreeni, kryseeni, naftaleeni ja pyreeni. Pohjaveden laatua seurataan kaksi kertaa vuodessa. Näytteenottokuukaudet ovat maaliskuu- ja marraskuu. Näytteenoton ja analysoinnin suorittaa Labtium Oy. (1; 2.)

6 Seurantatulokset: Tapiola (LU4AI, LU4AE)

Tapiolan alue jakautuu tiheästi rakennettuun keskukseen, jota ympäröivät puistoalueet idässä ja lounaassa. Puistoalueet ovat savikkoa, joka vaihtuu siltti- ja/tai hiekkapitoisen saven kautta kitkamaaksi. Itäisen ajotunnelin kohdalla maaperä on ohuen humuskerroksen alapuolelta pääosin hiekkaa ja osittain silttistä hiekkaa. Hiekan rakeisuuksien perusteella vedenläpäisevyys on vähintään kohtalaista. Alueella on pohjavedenotto-kaivo, jota on käytetty Tapiolan Keskusaltaan ja Vesiputousaltaan täyttöön. Eteläisen ajotunnelin kohdalla ylin maakerros on noin metrin paksuudelta rakennettu hiekkakerros, joka on osittain sekoittunut luonnollisen perusmaan saviseen silttiin. Tämän alapuolella alkaa pehmeä savi. Savikerroksen alapuolella on hiekkainen, osittain savinen silttikerros, jonka alapuolella on hiekkaa tai löyhää soraa ja moreenia ennen kalliopintaa. Alimmat kitkamaakerrokset läpäisevät melko hyvin vettä, ja mm. alueelta tehdyn pohjavesiselvityksen mukaan pohjaveden alentaminen kallion pintaan ilman ponttiseiniä vaikuttaisi ympäristössä noin 100 metrin etäisyydelle. Eteläisen ajotunnelin alueella on sadevesiä keräävä avo-oja, Otsolahdenoja. Kuvassa 2 esitetään ajotunneleiden sijainnit. (1)



Kuva 2. Sijaintikuva Tapiolan eteläisestä huoltotunnelista ja itäisestä työtunnelista (6).

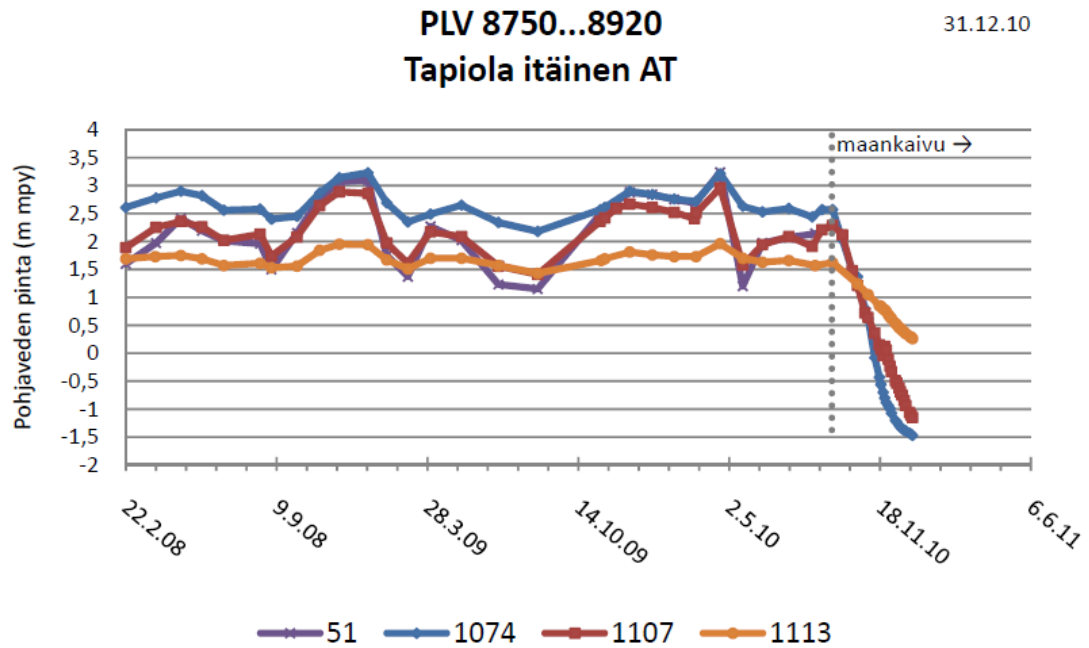
Rakennustöiden ajaksi avo-oja on täytetty ja korvattu hulevesiviemärillä, joka sijoittuu ajotunnelin eteläpuolelle. Hulevesiviemäri jatkuu Itätuulentien alla, ja siinä kulkeva vesi purkautuu lopulta Otsolahteen. Maanpinnan taso vaihtelee noin +3...+7 metriin ja maakerrospaksuudet ovat tunnelilinjauksella noin 2...26 metrin välillä. Pohjaveden virtaussuunta on kaakkoon/etelään. Eteläisen ajotunnelin jälkeen maanpinta tunnelilinjauksen kohdalla kohoaa ja muuttuu kallioiseksi moreenimaaksi. Tapiolassa aloitettiin eteläisen ajotunnelin maanrakennustyöt elokuussa 2010 ja itäisen ajotunnelin maanrakennustyöt syyskuussa 2010. Molempien urakoiden osalta maanrakennustyöt ovat edelleen käynnissä, ja louhinnat pääsivät alkamaan eteläisen ajotunnelin osalta toukokuussa 2011. (1)

6.1 Pohjavesiseuranta

Pohjavesiseurantaa on kaivutöiden alettua toteutettu aluksi kahden viikon välein ja syys-lokakuusta lähtien viikon välein. Seurantaa tihennettiin kolmeen kertaan viikossa marraskuun puolivälistä lähtien. (1)

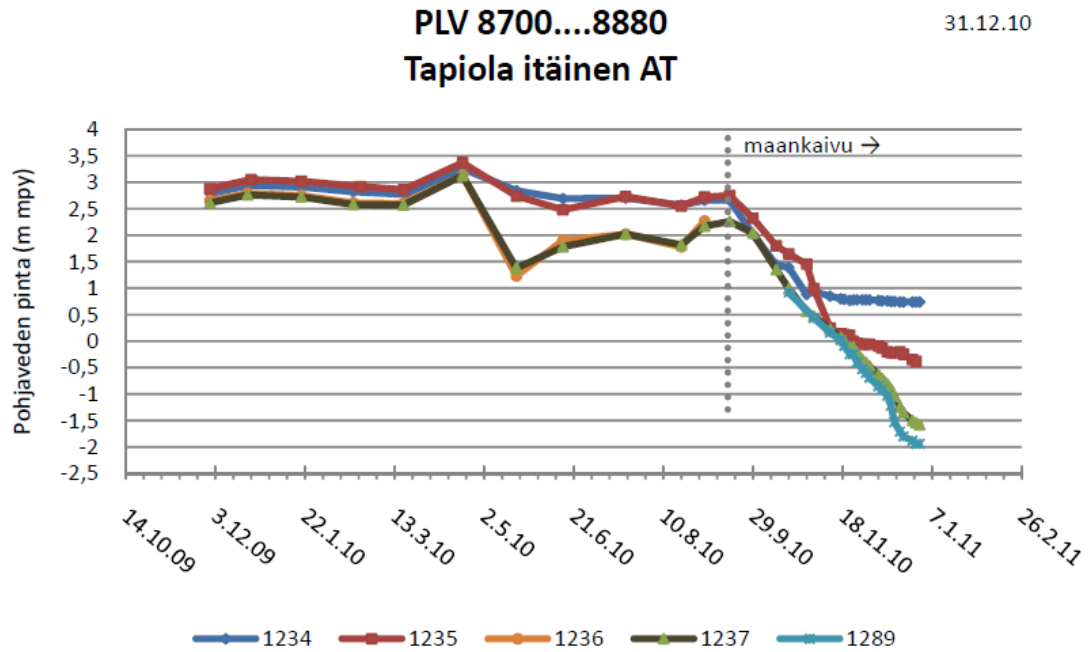
6.2 Tapiolan itäinen ajotunneli

Itäisen ajotunnelin alueella pohjaveden pinta oli 2010 vuoden loppuun mennessä laskenut sekä maapohjavesi että kalliopohjavesiputkissa arviolta noin 3 metriä (kuviot 4–10) maankaivutöiden vaikutuksesta. Pohjaveden alenemisen vaikutusalue on kohtalaisen laaja, sillä vaikutukset ovat nähtävissä yli 150 metrin etäisyydellä kaivannosta koilliseen olevassa seurantapisteessä (kuvio 9, putki 1250). Kaivun edettyä noin tason +2 alapuolelle, pohjaveden pumppaus kaivannosta kaivantoluiskien hydraulisen murtumisen estämiseksi aloitettiin. Lokakuussa todettiin, että ankkuriporareistä purkautuu injektoinnista huolimatta vettä ja hienoa hiekkaa. Marraskuussa injektointiin suurimmat ongelmakohdat, joissa pontti oli jäänyt kalliopintaa ylemmäksi. Vuotokohtien tiivistämiseen on käytetty muun muassa kemiallista injektointimassaa. Pohjaveden pinta jatkoi edelleen laskua, joten pohjaveden imeyttäminen takaisin maaperään aloitettiin kolmen imeytyskaivon kautta 11.11.2010. Yksi kaivoista päätyi paikkaan, jossa pohjaveden takaisinimeytyminen oli erityisen heikkoa ja kaivon sijaintia muutettiin. Kaivoa ei vielä joulukuun loppuun mennessä ollut saatu toimintaan. Pohjaveden imeytys oli joulun aikaan kovien pakkasten ja joululomien vuoksi noin viikon keskeytyksessä. Imeytystä jatkettiin 28.12.2010. (1)

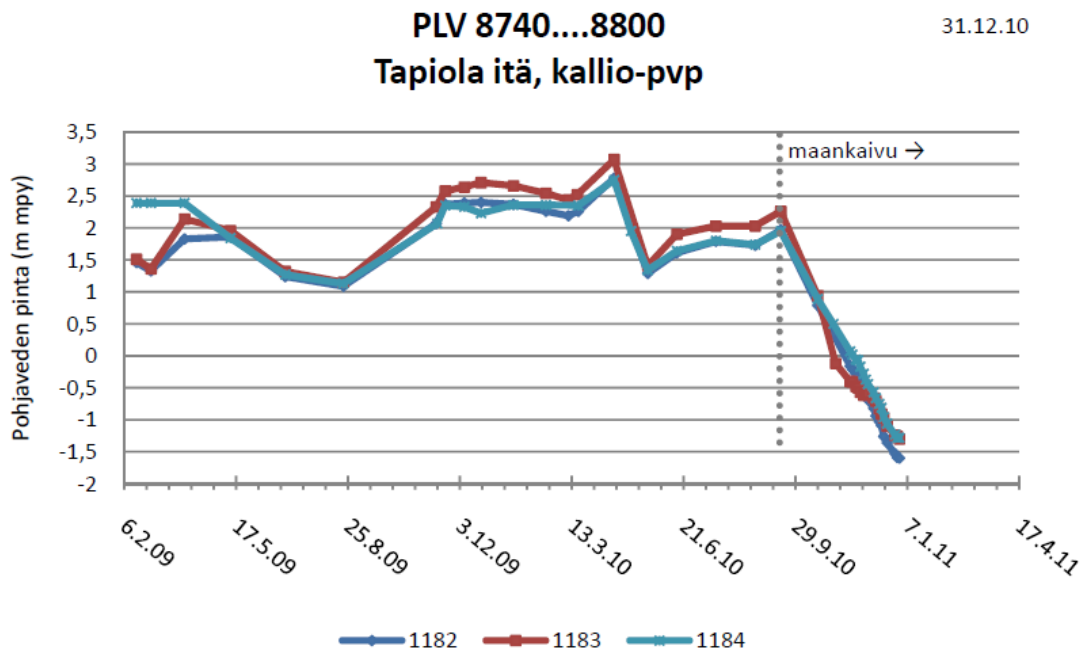


Kuvio 4. Pohjaveden pinnan vaihtelut Tapiolan itäisen ajotunnelin läheisyydessä (6).

Tapiolan itäisen ajotunnelin läheisyydessä sijaitsevien pohjavesiputkien pinnankorkeuksissa havaitaan keväisin tapahtuva jopa 1,5 metrin aleneminen. Tämä liittyy Tapiolan keskusaltaan täyttämiseen ajotunnelin pohjoispuolella sijainneen pohjavedenotto-kaivon avulla. Tämä kaivo jouduttiin korvaamaan uudella, sillä vanha kaivo jäi ajotunneli-kaivannon alueelle. Samoin seurannassa olleet pohjavesiputket 51 ja 1236 tuhoutuivat.



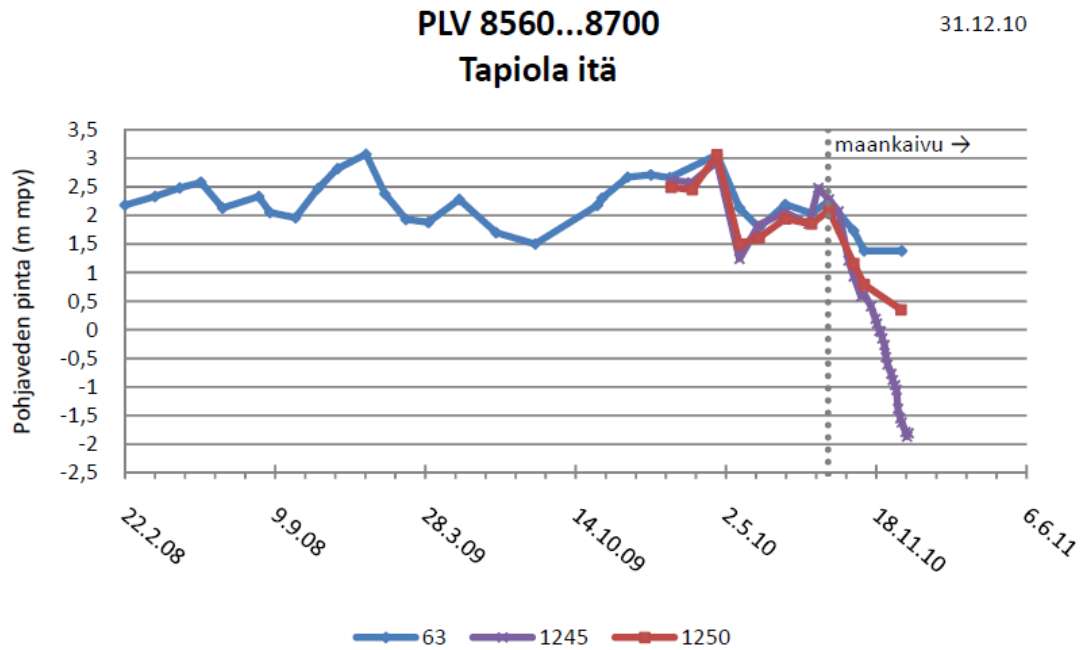
Kuvio 5. Pohjaveden pinnanvaihtelut Tapiolan itäisen ajotunnelin läheisyydessä (6).



Kuvio 6. Kalliopohjaveden pinnan vaihtelut Tapiolan itäisen ajotunnelin läheisyydessä (6).

31.12.2010 työmaalla oli käynnissä juuripalkkien asennus, jonka yhteydessä kaivetaan kallion pintaan saakka, joka aiheutti pohjaveden virtausta ponttien alitse kaivantoon. Merkittävä syy pohjaveden pinnan tason näinkin suureen alenemiseen itäisen ajotunne-

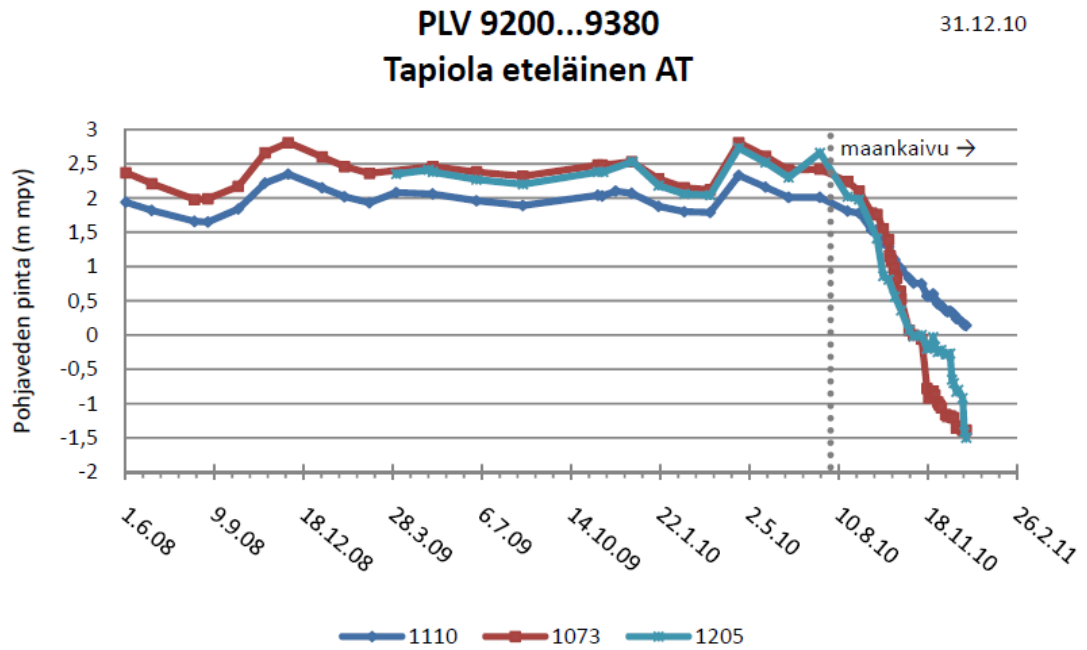
likaivannon alueella on se, että suunnitelmien mukaista suihkuinjektointiseinäjä ponttiseinien ja kalliopinnan väliselle alueelle ennen kaivua ei toteutettu. Injektointi olisi varmistanut kaivannon ainakin osittaisen vesitiiveyden, eikä näin suurta pohjaveden pinnan alenemista todennäköisesti olisi päässyt tapahtumaan. (1)



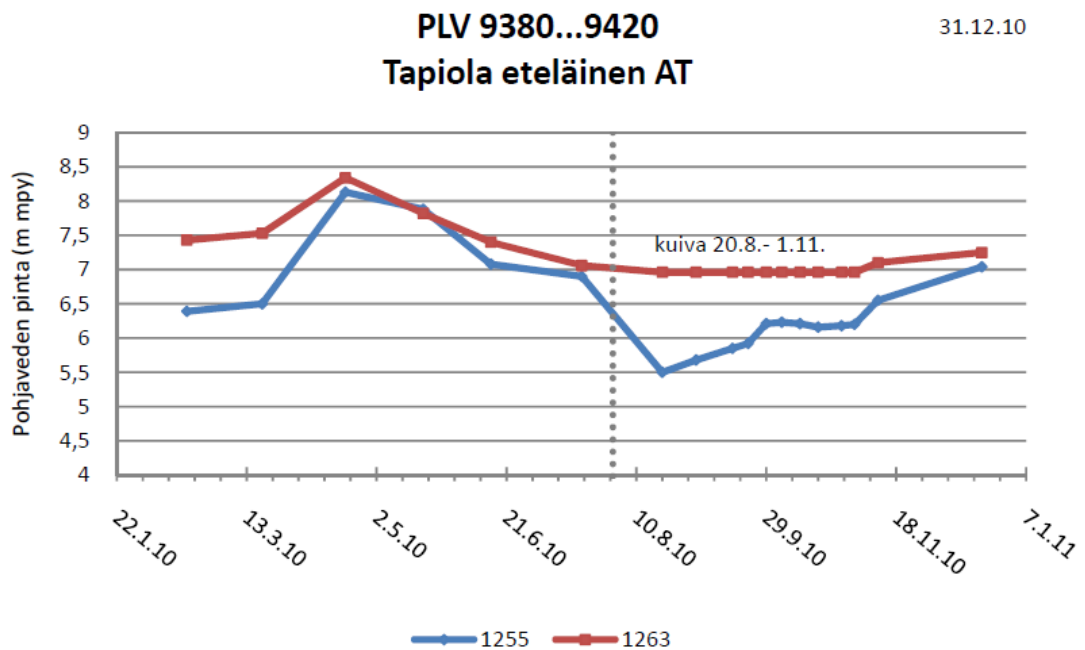
Kuvio 7. Pohjaveden pinnan vaihtelut Tapiolan itäisen ajotunnelin läheisyydessä (6).

6.3 Tapiolan eteläinen ajotunneli

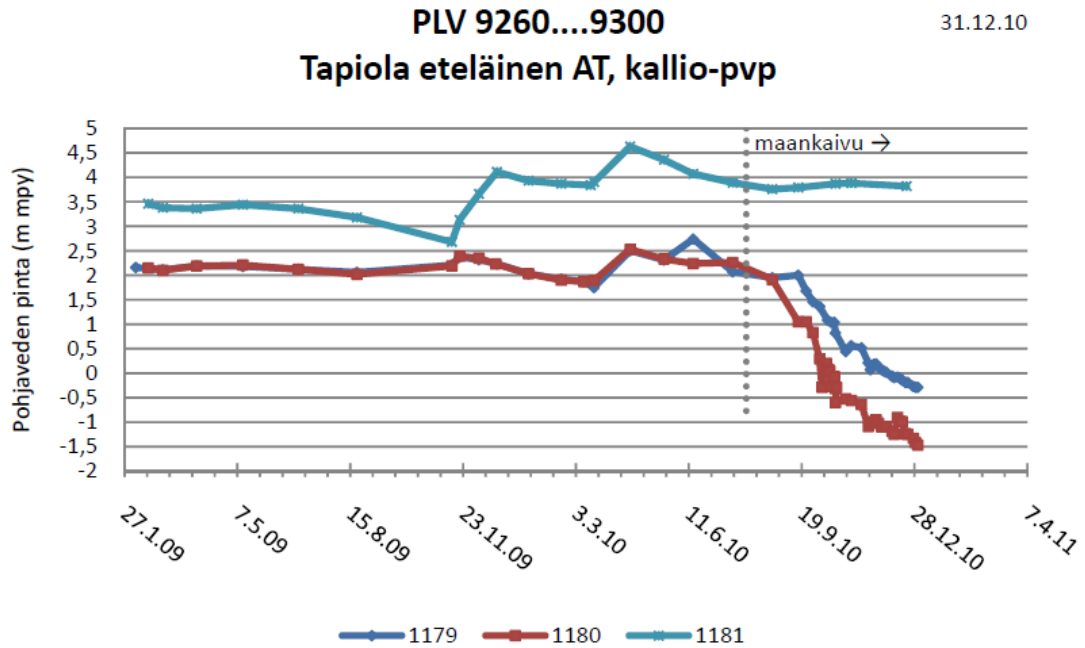
Eteläisen ajotunnelin alueella pohjaveden pinta on vuoden loppuun mennessä laskenut sekä maapohjavesi että kalliopohjavesiputkissa arviolta noin 3 metriä normaalitilanteeseen verrattuna. Kuvion 9 pohjavesiputkissa 1255 ja 1263 kaivannon vaikutus ei näy, sillä putket sijaitsevat moreenirinteessä kaivannon pohjoispuolella. Niissä tapahtunut pohjavesipinnan aleneminen kesä-elokuussa johtuu kuivan kesän vaikutuksesta. Seurantaputkien määrä on pysynyt vakiona, ainoastaan putken 1205 osalta havaittiin heinäkuussa, että putki on jonkin verran taittunut. Tällä ei kuitenkaan ole havaittu olevan merkitystä tulosten luotettavuuteen.



Kuvio 8. Pohjaveden pinnan vaihtelut Tapiolan eteläisen ajotunnelin läheisyydessä (6).



Kuvio 9. Pohjaveden pinnan vaihtelut Tapiolan eteläisen ajotunnelin pohjoispuolella (6).



Kuvio 10. Kalliopohjaveden pinnan vaihtelut Tapiolan eteläisen ajotunnelin läheisyydessä (6).

Pohjavesipaineen alentaminen, joka aloitettiin 29.9.2010, tehtiin ponttien sisäpuolisella imukärkikalustolla. Pohjaveden imeyttäminen takaisin maaperään toteutettiin kahden imeytyskaivon avulla. Lokakuun alussa havaittiin, että porapaaluista nousee runsaasti vettä kaivantoon. Veden tulo väheni merkittävästi, kun paalut saatiin valettua. Pohjaveden taso jatkoi edelleen alenemista, johon oli osittain synnä se, että imeytyskaivot rakennettiin eri paikkaan kuin suunnitelmassa oli määritelty. Pääosin maaperän tiiveyden sekä vedenpaineen riittämättömyyden vuoksi vettä ei saatu imeytymään tarpeeksi. Veden imeyttäminen siirrettiin kaivannon eteläreunalla sijaitsevaan putkijohtokaivantoon. Ponttiseinien alapäiden systemaattinen injektointi käynnistettiin uudelleen niiden ponttien osalta, joita ei tiivistetä juuripalkilla. Myös kallion vuotokohdat injektointiin.

Pohjavesipinnan aleneman suuruus vaihtelee käytännössä sen mukaan, kuinka etäällä havaintoputki sijaitsee paikasta, jossa aktiivista pohjaveden alentamista suoritetaan. Näin ollen esimerkiksi putkessa 1110 (kuvio 8) alenema on selvästi lähempänä sijaitsevia putkia pienempi. Juuripalkki on tehty kaivannon länsipäätyyn noin 30 metrin matkalle, maainjektointi kaivannon syvimmälle maaosuudelle on alkamassa ja pohjaveden alentaminen korvataan kaivantopumppauksella. Imeytystä tehostetaan rakentamalla siiviläputkikaivoja kaivannon pohjoispuolelle. Myös eteläisen ajotunnelikaivannon osalta jätettiin suunnitelmien mukainen suihkuinjektointiseinä toteuttamatta, mikä osaltaan

vaikutti huomattavaan pohjavesipintojen alenemiseen alueella. (3, LU4A–E Tapiolan eteläisen ajotunnelin maanrakennusosuus. Pohjaveden hallintaa koskeva palaveri.)

6.4 Rakentamisen vaikutukset pohjaveden pintaan

Tapiolan itäisen ajotunnelin lähiympäristössä pohjaveden taso on maanrakennustöiden vaikutuksesta laskenut arviolta noin 3 metriä. Kaivantoon on suotautunut vettä pääosin ponttien alapäiden ja kalliopinnan välistä sekä ankkuroinnin yhteydessä pontteihin tehtyjen reikien läpi. Tällöin kaivantoon tuli veden mukana myös maa-ainesta, jolloin kaivannon pohjoispuolelle syntyi sortumia. Tapiolan eteläisen ajotunnelikaivannon lähiympäristössä pohjaveden taso on maanrakennustöiden vaikutuksesta laskenut enimmillään arviolta noin 3 metriä. Pohjavesipinnan aleneminen johtuu osittain siitä, että osa porapaaluista toimi veden lähteinä. Vesi virtasi kaivantoon porareian rakojen lisäksi reian alapuolelta, rikkonaisesta kalliosta. Lisäksi pohjaveden imeytystä ei saatu toimimaan toivotulla tavalla. Pohjaveden alenemisesta seuranneita ympäristövaurioita, kuten painumia tai sortumia, ei eteläisen ajotunnelin ympäristössä ole havaittu. (4)

7 Yhteenveto vuosilta 2009–2010

Länsimetron pohjavesi- ja painumaseuranta on toteutettu laadittujen seurantaohjelmien mukaisesti. Koko linjauksen kattava pinta- ja poistoveden seurantaohjelma laadittiin heti, kun suunnitelmat ratatunneleiden poistovesien johtamisesta Karhusaaressa, Keilaniemessä ja Tapiolassa olivat selvinneet. Rakentamisesta aiheutuvaa pohjaveden pinnan alenemista tai painumista ei Tapiolan ajotunnelikaivantojen ympäristöä lukuun ottamatta ole havaittu. Tapiolan itäisen ja eteläisen ajotunnelin maanrakennustyöt ovat vaikuttaneet laskevasti lähiympäristön pohjavesipintaan. Enimmillään maankaivu on laskenut pohjavesipintaa arviolta noin 3 metriä. Itäisen ajotunnelikaivannon ponttiseinien ankkuroinnin yhteydessä pontteihin tehtyjen reikien läpi valui veden mukana maa-ainesta, mikä aiheutti sortumia kaivannon pohjoispuolelle.

Tapiolan eteläisen ajotunnelin ympäristössä pohjaveden alenemisesta seuranneita ympäristövaurioita, kuten painumia tai sortumia ei ole havaittu. Painumaseurantapulteissa, varsinkin katualueen seurantapisteissä, on kuitenkin havaittu alenevaa suuntausta. Mahdolliset pohjaveden laatumuutokset eivät vielä ole nähtävissä, sillä louhinta ei käytännössä ole edennyt vielä näytteenottopisteiden läheisyyteen. Myös pintavesien osalta rakentamisen vaikutusten arviointi on vielä hieman aikaista, sillä seuranta aloitettiin vasta loppuvuodesta 2010.

8 Tapiolan pohjavesiseuranta vuosina 2010–2011

8.1 Rakentamisen aikaiset muutokset

Tapiolan keskustassa meneillään olevat ja lähivuosina alkavat rakennustyöt vaikuttavat alueen pohjaveden pintoihin, virtausolosuhteisiin ja vedenlaatuun. Rakentaminen voi vaikuttaa pohjaveden laatuun ja määrään useilla eri tavoilla. Yleisiä rakentamisen mahdollisia vaikutuksia voivat olla maankaivutyöt ja niissä käytettävät ponttiseinät, jotka voivat padota tai katkaista pohjavedenvirtausreitit. Vuotovedet maakaivantoihin ja kalliotiloihin maa- ja kalliorakentamisessa voivat laskea pohjaveden pintoja. Vettä läpäisemättömien pintojen lisääntyminen estää sade- ja huleveden maahan imeytymisen vähentäen samalla pohjaveden muodostumista ja alentaen pohjaveden pintoja. Myös valmiit rakennukset voivat padottaa pohjavesiä ja estää luonnolliset virtausreitit. Pohjaveden pinnan alapuolelle rakentaminen saattaa edellyttää veden pumppausta, mikä muuttaa lähialueen pohjavesiolosuhteita. Painumaherkillä alueilla pohjaveden pinnan aleneminen voi aiheuttaa painumavaurioita rakennuksissa ja infrarakenteissa. Pohjaveden pinnan aleneminen voi vaikuttaa paikoin myös kasvillisuuteen. Rakentamisen yhteydessä maannoksen poisto ja kaivutyöt voivat vähäisesti muuttaa pohjaveden muodostumisolosuhteita ja laatua. Rakentamisen aikana koneista ja niiden tankkauksista voi valua poltto- tai voiteluaineita maahan ja vesiin. Myös alueen käytön aikana voi tapahtua vahinkoja (esim. polttoaine- ja viemärivuodot, vuodot maalämpökaivoista ja -putkista), joissa haitallisia aineita voi päätyä maaperään ja pohjaveteen.

Tapiolassa rakentamisen suurimpana uhkana pidetään pohjaveden pintojen alenemista.

Paikallisesti pohjaveden pinta voi alentua esimerkiksi vuotojen, virtausreittien katkeamisen (esteen alapuolella) ja imeytymisen estymisen seurauksena. Pohjaveden pinnannousua voi puolestaan aiheutua padottavien rakenteiden yläpuolelle, kun vedenvirtaus alempiin maastokohtiin estyy. Periaatteessa on myös mahdollista, että pohjaveden pinta nousee aikaisemmin vettä läpäisemättömän pinnan muuttuessa rakentamisessa vettä läpäiseväksi, jolloin pohjaveden muodostuminen lisääntyy. Tarkasteltavalta Tapiolan keskustan alueelta ei oteta vettä talousvesikäyttöön, joten pohjavesiolosuhteissa tapahtuvat muutokset eivät ole vesihuollon kannalta kriittisiä. Pohjaveden pinnan voimakkaat vaihtelut ja varsinkin pitkäaikainen, pitkän ajan keskiarvosta poikkeava korkeampi tai alempi pohjaveden pinta saattavat kuitenkin aiheuttaa vaurioita rakennetussa ympäristössä ja olla haitaksi myös kasvillisuudelle. Rakentamisen ohella luonnollisesti myös poikkeukselliset sääolosuhteet aiheuttavat keskiarvoista poikkeavia muutoksia pohjavesiolosuhteissa. Seurannalla ja erilaisin toimenpitein toteutettavalla pohja- ja hulevesien hallinnalla on mahdollista ehkäistä pohjaveden haitallista alenemista (tai kohoamista) rakennushankkeiden yhteydessä. Olemassa olevaan tietoon perustuen tässä selvityksessä kuvaillaan aluksi Tapiolan hydrologiset ja hydrogeologiset olosuhteet ja pohjavesien nykytila. Tieto perustuu paljolti Länsimetron seurantatietoihin. Pohjaveden muodostumisen määrä koko valuma-alueella arvioidaan. Pohjaveden muodostumisen arvioinnissa huomioidaan myös päällystetyt pinnat, joista sadevedet ohjautuvat alueen ulkopuolelle.

Nykytila-analyysissä todetaan pohjaveden laadun tai pinnantason muuttumisen kannalta herkäät alueet, lähinnä kasvillisuus ja rakennettu ympäristö. Tässä yhteydessä tarkastellaan myös alueen rakennusten perustustapoja. Nykytila-analyysin pohjalta kohdennetaan alueet, joilla tarvitaan pohjaveden pinnantason ja/tai laadun lisäseurantaa. Koska hulevedet vaikuttavat olennaisesti pohjaveden muodostumiseen, ne kuuluvat mukaan tarkasteluun. Pohjavesien ohella seurantaohjelmaan sisältyy myös hulevesien seurantaa. Hulevesien hallinnasta laaditaan kuitenkin myös erillinen raportti.

Laadittavassa seurantaohjelmassa hyödynnetään enimmäkseen olemassa olevia havaintopisteitä. Suunnittelun aikana on kuitenkin tullut tarvetta asentaa muutamia uusia pohjavesiputkia. Myös joitakin rakennustöissä tuhoutuneita putkia on korvattu uusilla. Seurantaohjelma laaditaan olemassa olevia ja uusia havaintopisteitä hyödyntäen. Seuranta sovitetaan yhteen Länsimetron seurannan kanssa. Seurantaohjelmassa osoite-

taan seurattavat kohteet, seurannan tiheys ja seurattavat asiat. Työn yhteydessä on laadittu myös erilliset seurantaohjelmat itäisen työtunnelin ja Tapionaukion pysäköintilaitoksen työmaiden poistovesille. (4)

8.2 Rakennushankkeita, joilla on mahdollisia pohja- ja pintavesivaikutuksia

Kuluvalle 2010-luvulla Tapiolassa toteutetaan useita rakennushankkeita, jotka voivat vaikuttaa alueen pohja- ja pintavesiolosuhteisiin. Osassa rakennushankkeista vaikutus rajoittuu pelkästään rakentamisvaiheeseen, mutta varsinkin kalliotilojen vaikutus ulottuu myös rakentamisen jälkeiseen aikaan vuotovesien vuoksi. Merkittäviä Tapiolan alueen vesitasapainoon mahdollisesti vaikuttavia hankkeita (4) ovat

Tapiolan keskuspysäköinti

- Kalliopysäköintilaitokseen on tulossa 1500 autopaikkaa.
- Luolaston louhintatyöt alkavat suunnitelmien mukaan huhtikuussa 2012.
- Louhintamäärä on n. 299 000 m³ (ei sisällä ajotunneleita).

Tapiolan Keskuspysäköinnin itäinen ajotunneli

- Itäinen ajotunneli toimii myös metron työtunnelina.
- Ajotunnelin avolouhinnat on saatu jo päätökseen, tunnelilouhinta alkoi joulukuussa 2011.
- Louhintamäärä on n. 28 000 m³.

Tapiolan Keskuspysäköinnin eteläinen ajotunneli

- Eteläinen ajotunneli toimii myös metron työtunnelina.
- Tunnelin avolouhinta on tehty, tunnelilouhinta alkoi marraskuussa 2011.
- Louhintamäärä on n. 39 000 m³.

Tapionaukion pysäköintilaitos

- Tapionaukion pysäköintilaitoksen kaivutyöt alkoivat elokuussa 2011.
- Pysäköintilaitokseen on tulossa 330 autopaikkaa.
- Louhintamäärä on n. 12 000 m³.
- Metron ratatunnelien louhinta alkaa, kun itäisen ja eteläisen työtunnelin louhinnat

on saatu valmiiksi.

- Ratatunneleita päästiin louhimaan eteläisestä työtunnelista päin suunnitelmien mukaan tammikuussa 2012 ja itäisestä työtunnelista huhtikuussa 2012.
- Louhintamäärä kaikkiaan (sis. asema, yhdystunnelit, kuilut) on n. 163 000 m³.

Tapiolan metroasema

- Metroasemaa alettiin louhia maaliskuussa 2012.
- Metroaseman louhinnat pitäisi saada päätökseen toukokuussa 2013.
- Metroasemalla tehdään lopullisia lujituksia elokuuhun 2013 asti.
- Itse aseman rakennusurakka pääsee alkamaan elokuussa 2013.

Merituulentien alentaminen

- Merituulentien alle on tulossa bussiterminaali ja odotustiloja.
- Merituulentien alentaminen alkoi elokuussa 2012 ja päättyy joulukuussa 2015.

Kaupunkikeskus Tapiola

- Tapiolaan rakennetaan kahdessa vaiheessa liiketiloja ja asuntoja.
- Rakennustyöt kestävät joulukuuhun 2017 asti.

Sokoksen kiinteistö

- Sokoksen kiinteistössä syvennetään kellaria.
- Työt alkoivat tammikuussa 2012 ja päättyvät elokuussa 2013.

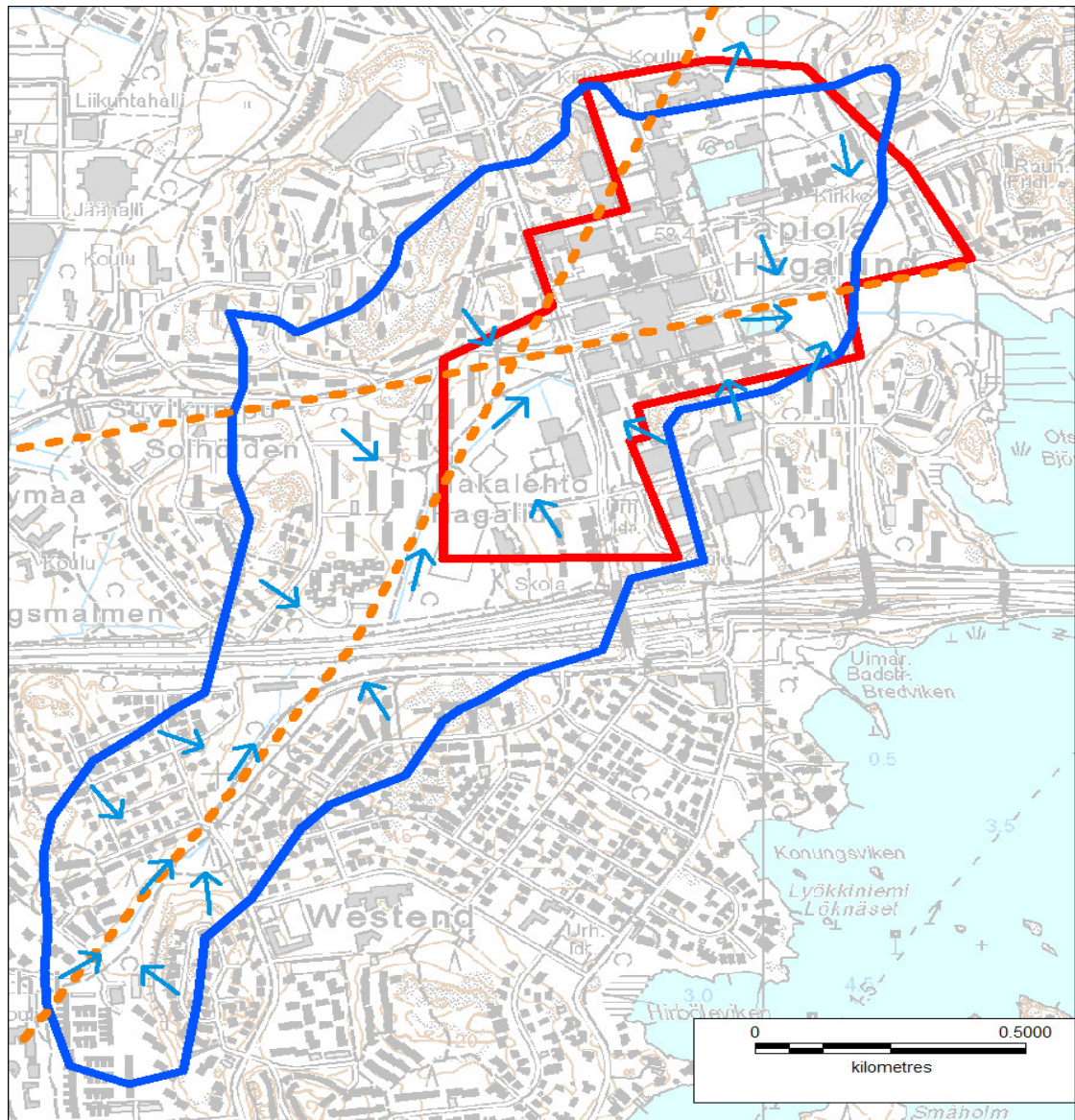
9 Pohja- ja hulevedet Tapiolan keskustan valuma-alueella

9.1 Maaston muodot sekä maa- ja kallioperä

Meri- ja Itätuulentien kohdalla oleva maastopainanne seurailee paikallista kallioperän heikkousvyöhykettä. Kallioperän heikkousvyöhykkeet muodostuvat, kun kalliolohkot hiertävät toisiaan vasten, jolloin syntyy kallion rakoilua ja halkeilua. Alueen länsiosassa Hakalehdon–Tuuliniityn alueella painanteen kohdalla maanpinta on +3—4 metrin tasolla, ja itäosassa maasto laskee merenpinnan tasoon. Tämän itä-länsisuuntaisen painanteen ympärillä maanpinta on enimmäkseen noin +8—10 m:ssä. Korkeimmat kallioidet

kohoumat nousevat +18–34 metriin tarkastelualueen länsi-, pohjois- ja koillispuolella sekä +18 metriin tarkastelualueen eteläpuolella.

Toinen kartalla ja maastossa yllä mainittua heikommin erottuva paikallinen heikkousvyöhyke sijaitsee tarkastelualueen länsiosassa suuntautuen Hakalehdon–Tuuliniityn alueelta suoraan koilliseen kohti Laajalahden Maarinlahtea. Kaksi heikkousvyöhykettä risteää suunnilleen kohdalla, jossa Tapiolan eteläinen huoltotunneli alittaa Merituulentien. Muita merkittävämpiä heikkousvyöhykkeitä alueella ei ole tulkittu olevan. Tapiolan alueen kallioperä on pääasiassa graniittia, joka on paikoin migmatiittista eli seoksista (havainnekuvat A ja B). Graniitin kanssa toisena kivilajina esiintyy yleisesti kiillegneissisiä ja sarvivälkegneissisiä, paikoin myös happamia gneissejä. Kyseiset kivilajit ovat pääkaupunkiseudulla yleisiä. Maaperäkartan ja maastohavaintojen mukaan hallitsevin pintamaalaji on hiekka (kuvio 11). Myös hiekkamoreeni on yleinen pintamaalaji. Moreenia on tyypillisesti kallio paljastumien reunoilla ja kallion painanteissa ohuina kerroksina. Kairaustietojen mukaan moreenin paksuus kasvaa kauempana kalliopaljastumista muutamisiin metreihin ollen paksuimmillaan 5–8 m alueen keskellä olevassa laaksossa saven alla. Hiekkaa esiintyy kohouma-alueilla osittain moreenin verhoamien kalliokumpareiden väleissä. Osa pinnassa olevasta hiekasta on todennäköisesti peräisin muinaisten rantavoimien huuhtomasta moreenista. Hiekkaa esiintyy kuitenkin myös saven alla, mikä viittaa muinaisen jäätikön sulamisen aiheuttamaan maa-aineksen lajittumiseen tällä alueella. Tällaisia pienialaisia saven alle peittyneitä jäätikköjokikerrostumia esiintyy muuallakin Espoon alueella. (4)



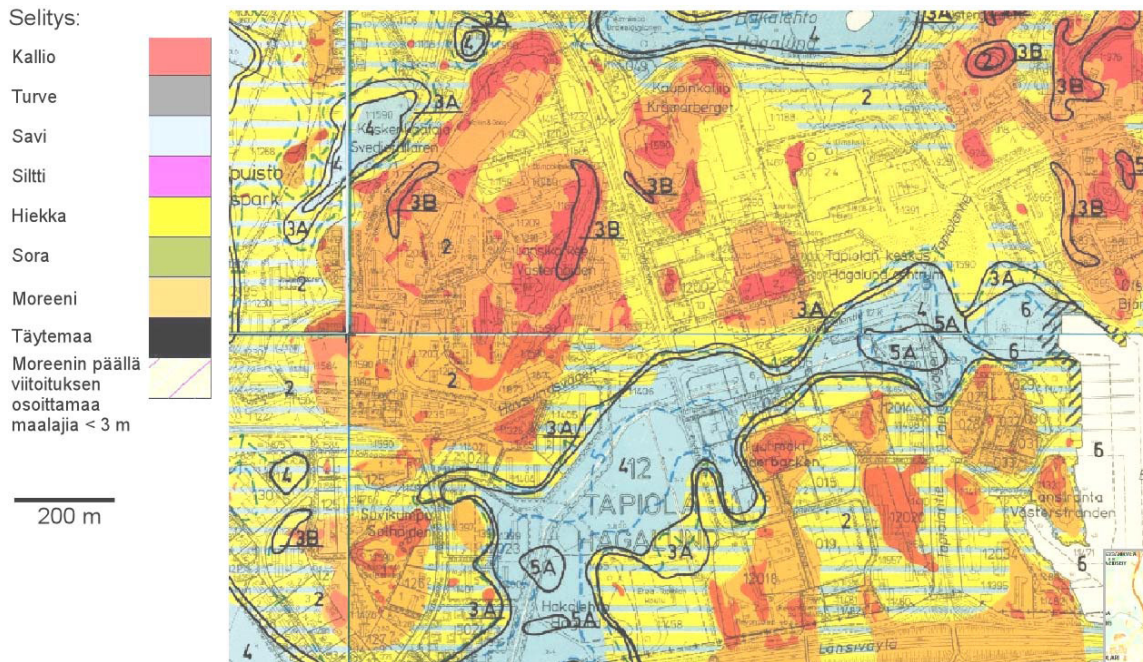
Kuvio 11. Tarkastelualueen (punainen) ja Tapiolan keskustan pohja- ja pintavesien koko valuma-alueen (sininen) rajausta, vesien virtaussuunnat (nuolet) sekä tulkitut kallioperän heikkousvyöhykkeet (oranssi katkoviiva) (4).



Havainnekuva A. Punertavaa graniittia



Havainnekuva B. Migmatiittia



Kuvio 12. Tapiolan maaperäkartta (10, ote Espoon karttapalvelusta.)

9.2 Pohja- ja hulevesien muodostuminen

Kalliopaljastumista, hienoainesta sisältävästä moreenista ja savesta johtuen pohjaveden muodostuminen on luonnostaan suhteellisen vähäistä. Pohjaveden muodostumista vähentää lisäksi oleellisesti rakennetut alueet, joilta vesi ohjautuu sadevesiviemäreiden kautta valuma-alueen ulkopuolelle eikä maahan imeytymistä näillä kohdilla pääse tapahtumaan. Sade- ja hulevettä imeytyy maaperään kuitenkin hiekkaisissa kohdissa kohtuullisen hyvin, parhaimmillaan arviolta puolet sadannasta.

Rajatun tarkastelualueen pinta-ala on 0,55 km² (55 ha). Tälle alueella sataa vuodessa vettä lähes 370 000 m³ (sademäärä 670 mm/v), teoreettisena vuorokausikeskiarvona on noin 1 000 m³/vrk. Laskelmissa on huomioitava kuitenkin tarkasteltavan alueen koko valuma-alue, jonka pinta-ala on 1,36 km² (136 ha). Koko valuma-alueella satavan veden kokonaismäärä vuodessa on suunnilleen 910 000 m³, vuorokausikeskiarvoksi laskettuna 2 500 m³/vrk. Tämä vesimäärä jakautuu hule- ja pohjavesiin laskennallisesti arvioiden.

Hule- ja pohjavesien lisäksi vettä luonnollisesti kuluu kasvien käyttöön ja haihtuu suoraan ilmaan, mutta näiden osuuksia ei tässä yhteydessä eritellä tarkemmin. Näissä

keskimääräisissä luvuissa ei huomioida myöskään sateen määrässä vuoden mittaan tapahtuvaa epätasaista jakautumista. Tapiolan valuma-alue, joka ulottuu etelässä noin kilometrin verran Länsiväylän eteläpuolelle. Valuma-alue on kalliomäkien rajaama pitkulainen, noin 2,6 km pitkä ja 300–900 metriä leveä, suuntautuu Haukilahden ja Westendin välimaastosta Tapiolan keskiosaan. Valuma-alueen keskellä on Otsolahdenoja, jolla on pituutta noin 2,3 km ja joka on tarkastelualueen ainoa merkittävä laskuoja. Otsolahdenojasta 0,6 km sijaitsee putkessa Itätuulentien alla. Otsolahdenoja laskee Otsolahteen.

Laskennallisen arvion perusteella koko valuma-alueella muodostuu pohjavettä maksimissaan 400 m³/vrk. Vettä saattaa tulla alueelle myös kauempaa kallioperän heikkousvyöhykkeitä ja laajalle ulottuvia rakoja pitkin, mutta sen osuus oletetaan kuitenkin olevan merkityksettömän vähäinen. Kalliopohjaveden määrät ovat todennäköisimmin suurimmat edellä mainittujen paikallisten heikkousvyöhykkeiden kohdalla ja varsinkin niiden risteyksessä Tapiolan keskustan länsiosassa. Rajatulla 55 hehtaarin tarkastelualueella pohjavettä arvioidaan muodostuvan noin 145 m³/vrk.

Maaston muodoista johtuen pohjaveden päävirtaussuunta on laaksoaluetta reunustavilta kohouma-alueilta kohti keskiosan maastopainannetta. Painanteen kohdalla pohjaveden liike suuntautuu pääosin itään, kohti Otsolahtea. Pohjavesi virtaa parhaiten hiekassa. Moreenissa pohjaveden liike on hidasta ja savessa lähes olematonta. Lähteitä tai muita selkeitä pohjaveden purkautumispaikkoja ei ole havaittavissa. (4)

9.3 Tapiolan keskusallas

Tapiolan keskusallas on merkittävä maisemallinen elementti ja keskeinen osa Tapiolan imagon kannalta. Keskusaltaalla on mahdollisesti merkitystä lähialueen pohjavesiolosuhteisiin, ja se on siksi huomioitava pohjavesitarkasteluissa ja seurannoissa.

Tapiolan keskusallas on rakennettu 1960-luvulla vanhan hiekkakuopan kohdalle. Altaan pinta-ala on noin 1,2 ha ja syvyys keskimäärin noin 1,5 metriä, joten koko vesitilavuus on suunnilleen 18 000 m³ (eri lähteissä vesitilavuudeksi on arvioitu 15 000–20 000 m³). Allas on tyhjennetty viimeksi vuoden 2007 loppukesällä Tapiola Garden-hotellin laajennuksen yhteydessä ja sitä ennen vuoden 1986 lopulla. Allas on moreenipohjai-

nen, eikä pohjan alun perin ole ollut tarkoitus olla täysin vedenpitävä. Vettä kierrättämällä vesi on saatu pysymään kirkkaana eikä levätyistä ole tapahtunut. Veden samentumista on estetty myös kuparisulfaatin avulla. Altaan ylin vedenpinta on ylivuotoputkien avulla rajoitettu noin tasoon +6,9 m. Ylivuotoputket johtavat sadevesiviemäriin. Pohjaveden pinta altaan ympäristössä on noin +3—4 metrin tasolla eli 3—4 metriä alempana kuin altaan pinta.

Vedenpintaa on pidetty yllä johtamalla altaaseen vettä sitä varten rakennetusta vedenottamosta, joka on sijainnut Kirkkopuistikossa Tapiola Garden-hotellin eteläpuolella. Alkuperäinen ottamo on vuonna 1987 korvattu uudella ottamalla. Vedenottamon tuotoksi arvioitiin 400 m³/vrk, mikä ottamon valuma-alueeseen nähden vaikuttaa suurelta. Käytännössä ottomäärät ovat olleet huomattavasti pienempiä. On todennäköistä, että ottamo ei olisi voinut toimia pitkiä aikoja arvioidulla maksimituotolla. Ottamon valuma-alue on alle 10 % koko Tapiolan valuma-alueesta.

Ottamon tuotosta oli tarkoitus johtaa noin neljäsosa Tuulipuiston altaan vedenpinnan ylläpitämiseksi. Ottamon valuma-alueeseen nähden suuri antoisuus on ollut mahdollista vain siten, että altaan pohjan kautta suotautunut vesi on virrannut kohti ottamoa, josta se on jälleen kierrätetty takaisin altaaseen. Veden kiertäminen altaan ja ottamon välillä on ollut todennäköistä. Nykyisin altaan pohjan vedenläpäisevyys on todennäköisesti pienentynyt sinne kertyneen orgaanispitoisen lietteen ansiosta. Keskusallasta varten rakennettu ottamo on poistunut käytöstä Tapiolan itäisen työtunnelityömaan takia. Vedenotto on päättynyt kesällä 2010. Altaan pinnantasoa pääsi laskemaan kymmenillä senttimetreillä kesäkuuhun 2011 mennessä, kunnes sinne johdettiin vesijohtovettä vedenpinnan nostamiseksi. Uusi ottamo on rakennettu kesällä 2011, mutta se voidaan ottaa käyttöön vasta sitten, kun pohjavesi itäisen työtunnelityömaan ympäristössä on kohonnut riittävästi.

Tapiolan vedenottamolta 26.5.1997 otetussa vesinäytteessä olivat kohonneet sameus- ja väriarvot sekä rauta- ja mangaanipitoisuudet. Vedessä oli lievä rikkivedyn haju. Lisäksi kloridi (38 mg/l) oli korkeahko, joskaan ei ylittänyt ohjearvoja. Muutoin vesi täytti talousvedelle asetetut laatuvaatimukset. Nämä ominaisuudet ovat ennemminkin teknisestä haitta kuin terveydellinen riski. Vettä ei ole kuitenkaan käytetty talousvedeksi, eikä se sellaisenaan ilman käsittelyä talousvedeksi soveltuisikaan. (4)

10 Viimeaikainen vesien ja painumien seuranta Tapiolan alueella

10.1 Pohjavedet

Länsimetron seurantaan tehdään Tapiolan keskustan alueella noin 30 pohjavesiputkesta, joista yhdeksästä putkesta tehdään pinnantason seurannan lisäksi laatuseurantaa. Näistä kuusi on kalliopohjavesiputkia ja loput maapohjavesiputkia. Seuranta käsittää keskeisen osan Tapiolan keskustasta.

Pinnantason seurantaan tehdään normaalisti kerran kuukaudessa. Länsimetron linjalla rakennuskohteiden läheisyydessä, louhintaperän ollessa noin 100 metrin etäisyydellä seurantakohteesta, vedenpinnan mittaus tehdään 1–2 viikon välein. Kohteissa, joissa tapahtuu pohjaveden pinnan poikkeuksellista muutosta, mittausta tihennetään edelleen. Tihennettyä 1–3 päivän välein tapahtuvaa mittausta on Tapiolassa tehty eteläisen huoltotunnelin ja itäisen työtunnelin ympäristöissä, joissa pohjaveden pinta on voimakkaasti laskenut (paikoin noin 5 metriä) rakennustöiden aloittamisen jälkeen. Veden imeyttäminen Kirkkopuistikossa on kuitenkin pysäyttänyt pohjaveden pinnan alenemisen tai kääntänyt sen nousuun. Veden imeyttäminen Kirkkopuistikossa lopetettiin marraskuussa 2011, kun itäisen työtunnelin kaivanto täytettiin ja vuotovedet kaivantoon käytännössä loppuivat. Vedenpinta alkoi jälleen laskea marraskuussa, jolloin louhinnat alkoivat. Vedenpinnan laskuun vaikutti todennäköisesti enimmäkseen runsas vuoto kallioraoista itäisen työtunnelityömaan perällä, n. 25–30 m:n syvyydellä maanpinnasta.

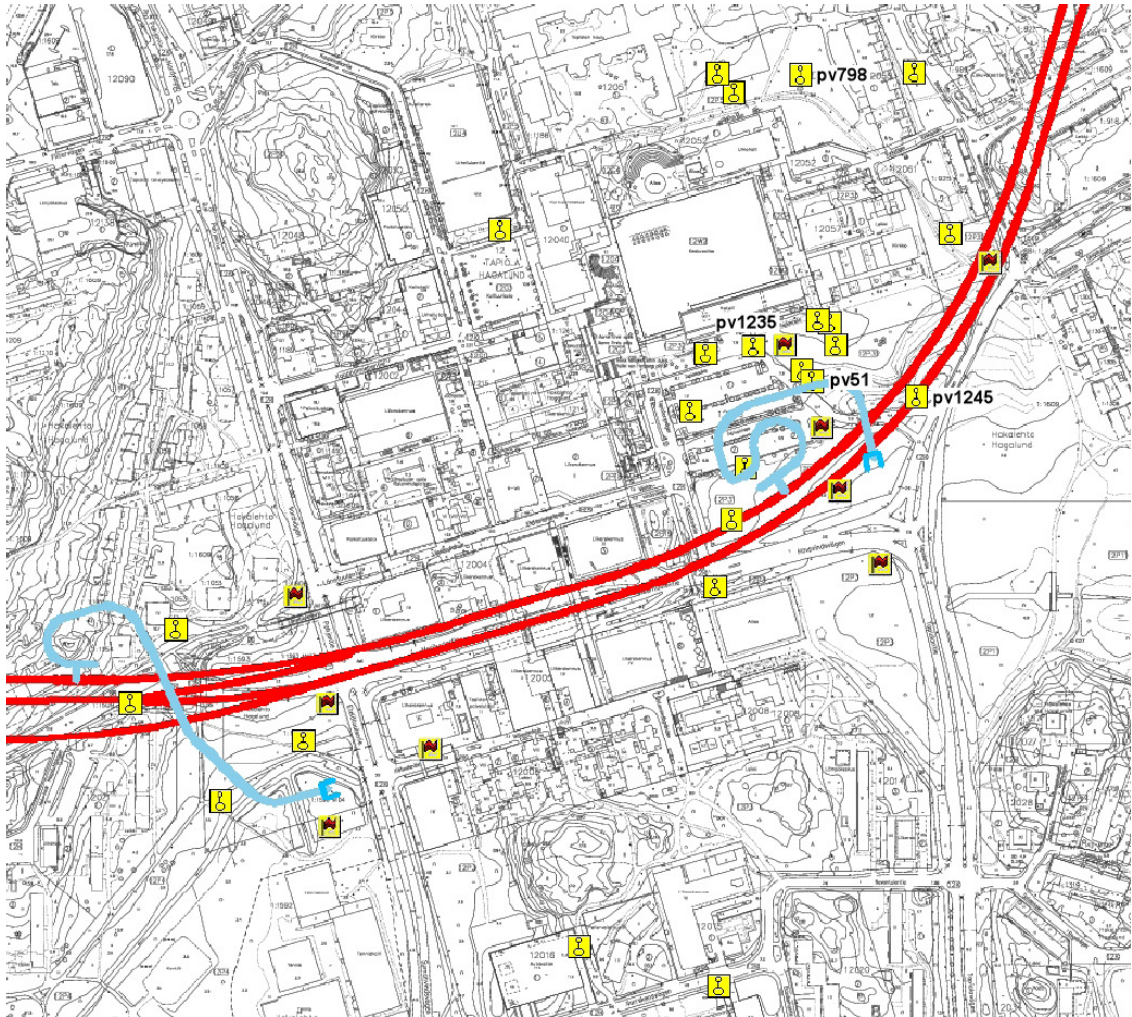
Vuotovesi pumpattiin sadevesiviemäriin, jolloin korvaavaa vettä pohjaveden ylläpitämiseksi ei ollut ja siksi vedenpinnat laskivat. Pohjaveden pinnan lasku työ- ja huoltotunnelien kohdilla on paikallinen. Uimahallin koillispuolella Menninkäisenmetsässä olevassa putkessa nro 798 näkyy pääasiassa normaali vuodenaikaisvaihtelu (kuvio 16). Noin metrin lasku vuoden 2010 alun jälkeen johtuu ainakin osittain vuosien 2010 ja 2011 pitkistä kylmistä talvista ja kesien kuivuuskausista, mutta myös rakentamisella voi olla vaikutusta.

Kesään 2011 mennessä voimakkaimmat muutokset pohjaveden pinnoissa Länsimetron rakennustyömaiden alueilla tapahtui nimenomaan Tapiolassa. Pohjaveden pinnanlaskua on tapahtunut myös rakennustöistä riippumattomasti pitkien sateettomien kausien

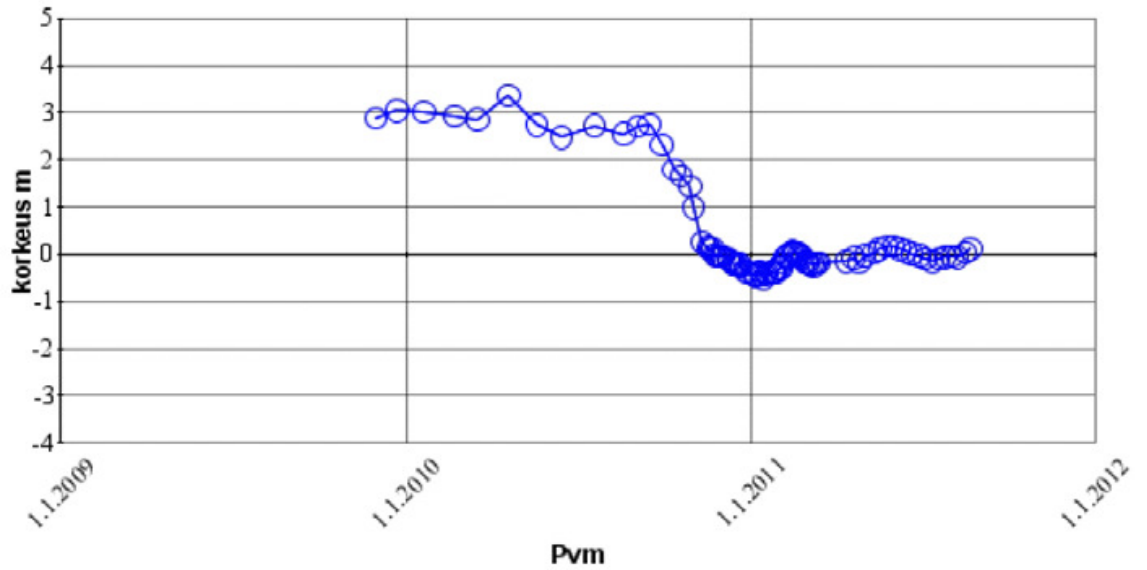
vuoksi. Tapiolan keskusaltaan läheisyydessä pohjavedenpinnoissa on lisäksi ollut voimakasta vaihtelua vedenottamon toiminnan vuoksi. Vedenottamon toiminta on ollut ajoittaista, ja siitä johtuen vedenpinnoissa on ollut jopa 2,5 metrin ajoittaista vaihtelua.

Länsimetron seurannassa pohjaveden laatua tarkkaillaan pääsääntöisesti kaksi kertaa vuodessa. Laatuseurantaan on sisällytetty seuraavien ominaisuuksien määrittäminen: sameus, väriluku, kiintoainepitoisuus, haju, pH, sähkönjohtavuus, kemiallinen hapenkulutus (CODMn), happi, kloridi, sulfaatti, nitraatti, nitriitti, ammonium, raskasmetallit (As, Hg, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn), kokonaishiili (TOC), polyaromaattiset hiilivedyt (PAH), haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ja kokonaishiilivetyypitoisuus (THC).

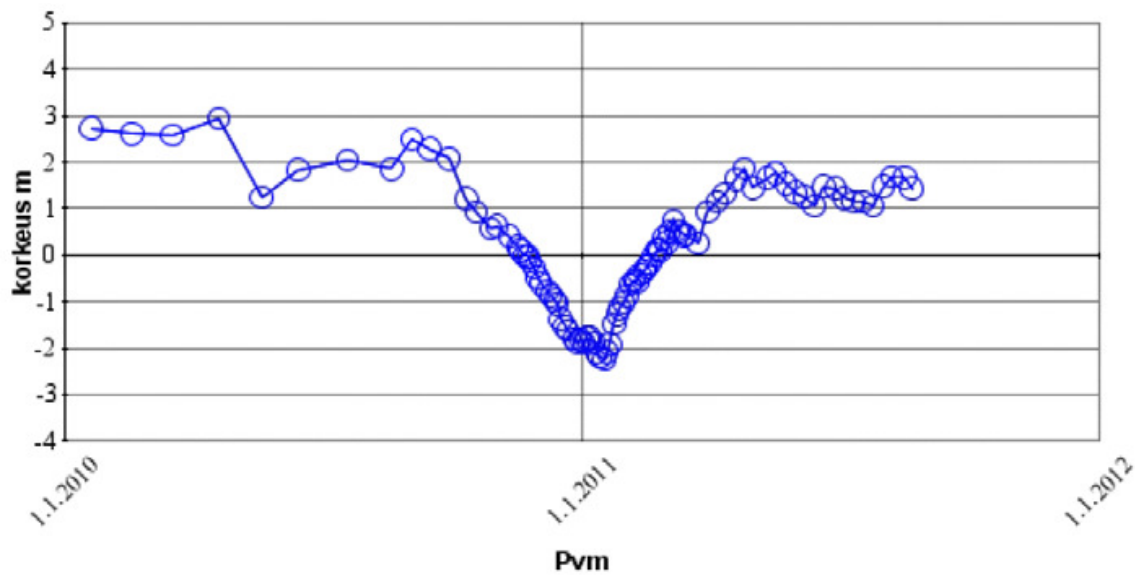
Syksyyn 2011 mennessä näytteitä on ehditty ottaa parhaimmillaan kolme kertaa. Kaikissa näytteissä talousveden laatusuosituksien (sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista isoille vesilaitoksille 461/2000, sekä pienille vesilaitoksille ja yksityisille kaivoille 401/2001) ylittivät sameuden ja väriarvon osalta sekä suuressa osassa myös kloridin osalta. Sameuden ja värin arvot olivat paikoin monikymmenkertaisia suosituksiin nähden. Kiintoainepitoisuus on yleensä korkeahko ja happipitoisuus alhainen. Muutamassa näytteessä haihtuvien orgaanisten hiilivetyjen (VOC) ja kokonaishiilivetyypitoisuudet (THC) olivat hieman koholla. Muilta osin vesi täytti talousveden laatuvaatimukset. (2; 4.)



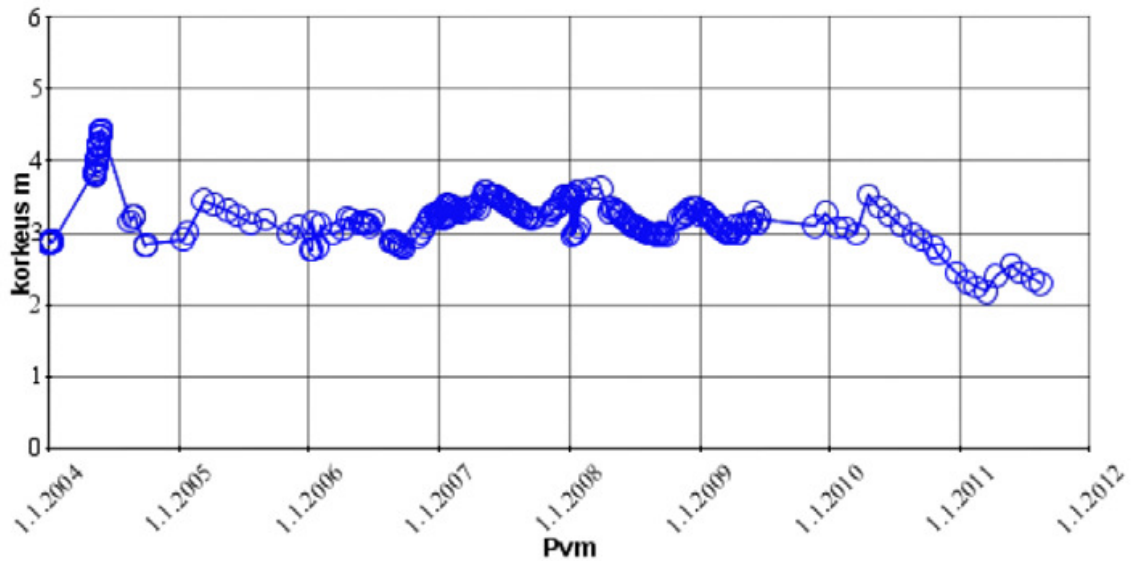
Kuvio 13. Länsimetron seurantaan kuuluvat pohjavesiputket Tapiolan alueella elokuun 2011 tilanteen mukaisesti. Lipuilla merkityistä putkista tehdään pinnantason seurannan lisäksi laatuseurantaa. Kuvan putkista on muutama tuhoutunut, ja ne on pääsääntöisesti korvattu uusilla. Seuraavaksi esitettävien kuvioiden 14–16 paikat on merkitty kuvaan (pv1235, pv1245 ja pv798). Kuvassa metrolinjat on merkitty punaisella ja ajotunnelit sinisellä (6).



Kuvio 14. Tapiolan itäisen työtunnelityömaan aiheuttama pohjavedenpinnan lasku putkessa nro 1235. Pinnan lasku on pysähtynyt (6).



Kuvio 15. Pohjaveden imeyttäminen Kirkkopuistikossa on kohottanut hyvin pohjaveden pinta Tapiolantien varrella olevassa putkessa nro 1245 (6).



Kuvio 16. Uimahallin koillispuolisessa putkessa nro 798 näkyy normaali n. 0,5 m:n vuodenaikavaihtelu. Alkuvuonna 2010 alkanut pinnan lasku johtuu ainakin osittain vuosien 2010 ja 2011 pitkistä kylmistä talvista ja kesien pitkistä kuivista jaksoista, mutta myös Tapiolan itäisen työtunnelin työmaalla voi olla vaikutusta (6).

10.2 Pinta- ja hulevedet

Länsimetro seuraa Otsolahdenojan veden laatua tällä hetkellä kahdesta paikasta: Tapiolan eteläisen huoltotunnelin länsipuolella ja Tapiolantien itäpuolella. Vedenlaatua tullaan seuraamaan myös Otsolahdesta. Lisäksi Länsimetro seuraa eteläisen huoltotunnelin ja itäisen työtunnelin työmaiden poistovesien laatua ennen Otsolahdenojaan johtamista. Kunkin työmaan tulee hoitaa työmaavesiensä käsittely ja johtaminen siten, että haittaa ympäristölle ei synny. Eri työmaiden poistovesien käsittelyyn ja johtamiseen on laadittu erilliset seurantaohjelmat. Esimerkkinä ovat kuvat 14–16.

Länsimetron tekemässä pintaveden lauseurannassa on tarkkailtu seuraavia ominaisuuksia: kiintoainepitoisuus, sameus, pH, sähkönjohtavuus, kemiallinen hapenkulutus sekä ammonium-, nitraatti- ja nitriittitypen, kokonaistypen, kokonaisfosforin sekä mineraaliöljyjen pitoisuudet. Seurannoissa on todettu pintavesille tyypillisesti kohonneita kiintoaineen ja sameuden arvoja. Ajoittain arvot ovat kuitenkin monikymmenkertaisia normaaleihin pintavesiarvoihin verrattuna, mikä johtuu rakentamisesta tapahtuvasta kaivamisesta ja maan muokkauksesta. Arvot ovat korkeimmillaan nimenomaan työmaiden poistovesissä. Kemiallinen hapenkulutus on myös ollut ajoittain suurta. Muut

mitatut arvot ovat olleet suhteellisen alhaisia ja täyttäneet mm. talousveden laatuvaatimukset ja suositukset. (2; 4.)

11 Uudet havaintoputket

Tapiolan eteläisen huoltotunnelin läheisyyteen Hakalahdon alueelle ohjelmoitiin kuusi uutta pohjavesiputkea kesällä 2011. Putket asennettiin syksyllä 2011. Tällä alueella on ennestään vähän pohjavesiputkia ja alueella on myös mahdollisesti painumille herkkiä kohteita. Lisäksi Tapiola Garden -hotellin eteen on joulukuussa 2011 asennettu uusi putki, koska aikaisemmin asennettu putki oli pysynyt kuivana. Hautausmaan lounaisosaan keskusaltaan itäpuolelle ohjelmoitua putkea ei saatu asennettua, koska kalliopinta on lähellä maanpintaa. Myös itäisen työtunnelin alueella tuhoutuneita pohjavesiputkia korvattiin uusilla.

Olemassa oleva seuranta ohjelmoiduin uusien täydennyksin riittää lähtökohtaisesti kattamaan pohjavesiseurannan tarpeen myös tiedossa olevia tulevia rakennushankkeita varten. Rakennushankkeissa mahdollisesti tuhoutuvien putkien tilalle asennetaan uudet putket tapauskohtaisen harkinnan mukaan. Tapiolan pintavesien seurantaohjelmaan lisätään muutamia hulevesien seurantapistettä. Tämä ei edellytä erillisiä havaintopisteiden asennuksia, vaan seuranta voidaan tehdä olemassa olevilta kohteilta. (4)

12 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tapiolassa alkaneet ja lähiaikoina alkavat isot rakennushankkeet ovat jo vaikuttaneet ja tulevat edelleen vaikuttamaan alueen pohjavesiin sekä hulevesien kulkureitteihin ja maaperään imeytymiseen. Vuoden 2011 loppuun mennessä selkeimpiä vaikutuksia on ilmennyt Länsimetron ja Tapiolan keskuspysäköintilaitoksen rakentamiseen liittyvissä Tapiolan eteläisen huoltotunnelin ja itäisen työtunnelin kaivantojen ympäristön pohjavesissä, jotka ovat alentuneet jopa useita metrejä työmaiden aloitusajankohdasta (syksy 2011).

Veden uudelleen imeyttäminen on osittain kompensoinut pohjaveden pinnan

laskua. Itäisen työtunnelin alueella alkoi kesällä 2011 alkanut myös Tapionaukion pysäköintilaitoksen rakentaminen. Tapionaukion pysäköintilaitoksen työmaalle vuotavien vesien määrään on vähentävästi vaikuttanut se, että pohjaveden pinta oli jo valmiiksi työtä aloitettaessa laskenut työmaan ympäristössä. Tapiolassa ei ole talousvesikaivoja, eikä vettä ole suunnitelmissa hyödyntää talousveden ottoon. Pohjaveden pintojen alenemisella ei siten ole ollut haitallista vaikutusta vesihuollon kannalta. Tapiolan keskustaan vedenpinnan ylläpitämistä varten rakennettu vedenottamo Kirkkopuistikossa otetaan käyttöön vasta, kun vedenpinnat alueella nousevat riittävästi (tasolle $+1 \pm 2$).

Kasvillisuuden ei ole toistaiseksi havaittu kärsineen pohjavedenpintojen alenemisesta. Varsinkin isot puut reagoivat kuitenkin hitaasti vedenpuutteeseen, joten mahdollisia haitallisia vaikutuksia ei voida tietää vuoden 2011 havainnoinnin perusteella. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että pohjaveden pintojen paikallisesti voimakkaasta alenemisestä huolimatta merkittäviä haitallisia vaikutuksia ei havaittu vuoden 2011 loppuun mennessä. Pohjaveden, painumien ja kasvillisuuden seuranta tulee kuitenkin jatkaa kaikkien rakennushankkeiden ajan. Seurantaohjelmaan tulee tehdä tarvittavia päivityksiä muuttuvissa tilanteissa. Puhtaiden hulevesien hyödyntämistä pohjaveden muodostumisessa tulee tehostaa ja vettä läpäisemättömien pintojen rakentamista välttää. Hyvin suunniteltu hulevesien hallinta ehkäisee myös tulvimista ja vastaanottavien vesistöjen kuormittumista.

Lähteet

- 1 Kajava, Paula. Länsimetron pohjavesi-, poistovesi- ja painumaseurannan vuosiraportti 2009–2010. Rockplan, Finnmap Infra .Pohjavesimääritelmät.
- 2 Nikkarinen, M., Vesterbacka, P., Väisänen, U. & Suomela, P. 2002. Tuhat kaivoa - Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 155. 92.
- 3 LU4A–E Tapiolan eteläisen ajotunnelin maanrakennusosuus. Pohjaveden hallintaa koskeva palaveri.
- 4 Kajava, Paula. 2011. Länsimetron pohjavesi-, poistovesi- ja painumaseurannan vuosiraportti 2009–2011. Rockplan, Finnmap Infra.
- 5 Mälkki , Esko. 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Tampere: Tammerpaino oy.
- 6 Ympäristötietopalvelu(YTP). Spatial-web-sovellus. <ytp.lansimetro.fi>. 17.9.2012. Luettu 18.9.2012.
- 7 Aarnisto, Matti. Eronen, Matti. Salonen, Veli-Pekka. 2009. Käytännön maaperägeologia. Turku: Yliopiston kirjakauppa.
- 8 Pohjavesitutkimus. LUVYn pohjavesitutkimus ja pohjavesitarkkailut. Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. Verkkodokumentti. <<http://www.luvy.fi/index.php?mid=63>>. Luettu 15.9.2012.
- 9 Pohjavesiputket & suojuukset. 2005. Verkkodokumentti. <<http://www.gwmengineering.fi/suojaputket.html>>. 10.7.2012. Luettu 15.9.2012.
- 10 Espoon kaupunki. Espoon karttapalvelu. Maaperäkartta. Verkkodokumentti. <kartat.espoo.fi>. 10.3.2008. Luettu 15.9.2012.
- 11 Pohjaveden määrä ja laatu 2008. Verkkodokumentti. Lounais-Suomen ympäristökeskus. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6688&lan=fi>>. 29.12.2008. Luettu 18.9.2012.
- 12 Yleistietoa vesistömallijärjestelmästä 2009. Verkkodokumentti. Suomen ympäristökeskus. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=11404&lan=fi>>. 30.12.2009. Luettu 18.8.2012.