

Pohjavedenvirtauksen numeerinen mallinnus Turun keskustan alueella ja Toriparkin rakentamisen vaikutusten simulointi

24.2.2012 2D-mallinnus
15.3.2012 3D-mallinnus

Tiina Vaitinen
Jorma Nummela

Pöyry Finland Oy

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Sisäinen tarkistussivu

Asiakas
Otsikko

Turun kaupunki, Ympäristö- ja kaavoitusvirasto
Pohjavedenvirtauksen numeerinen mallinnus Turun
keskustan alueella ja Toriparkin rakentamisen
vaikutusten simulointi

Projekti

Turun kauppatorin pohjavesimallin laatiminen; Turun
keskustan valuma-alueen 3D-virtausmallinnus

Vaihe

Työnumero

16WWE1971

Luokitus
Piirustus/arkistointi/sarjanro.

Tiedoston nimi
Tiedoston sijainti
Järjestelmä

Turku_raportti_24-04-2012.doc

Microsoft Word 11.0

Ulkoinen jakelu
Sisäinen jakelu

Contribution
Vastaava yksikkö

Revisio
Alkuperäinen

Dokumentin pvm
Laatija/asema/allekirj.

24.4.2012



Tiina Vaitinen


Laatija/asema/allekirj.



Jorma Nummela

Tarkistuspvm
Tarkistanut/asema/allekirj.

24.4.2012



Henry Ahokas

Hyväksymispvm
Hyväksynyt/asema/allekirj.

24.4.2012



Heikki Hinkkanen, Osastopäällikkö

Yhteystiedot

PL 50 (Jaakonkatu 3)
FI-01621 Vantaa
Finland
Kotipaikka Vantaa
Y-tunnus 0625905-6
Puh. +358 10 3311
Faksi +358 10 33 26600
www.poyry.fi

Pöyry Finland Oy

Yhteenveto

Turun keskustan alueelle on muodostettu pohjavesien virtausmalli kaavaehdotuksen mukaisen Toriparkin pohjavesivaikutusten simuloimiseksi. Muodostettu malli on aina yksinkertaistettu ja keskiarvostettu kuvaus todellisuudesta, jossa kuitenkin pyritään ottamaan huomioon kaikki pohjavesien virtauksen kannalta olennaiset tekijät ja siten saamaan paras mahdollinen käsitys pohjavesien käyttäytymisestä.

Mallinnetulla alueella orsivesi esiintyy savikerroksen päällä täytemaassa ja paineellinen pohjavesi puolestaan saven alla pohjajärvien päälle muodostuneessa löyhemmän aineksen sorakerroksessa. Orsivesi on tärkeä niiden rakennusten osalta, joiden pohjarakenteissa on käytetty puuta. Paineellinen pohjavesi puolestaan vaikuttaa savikerroksen saturoitumiseen. Pohjaveden painekorkeuden alentuminen aiheuttaa saven kuivumista ja maaperän painumista. Tässä työssä on keskitytty paineellisen pohjaveden mallinnukseen.

Turun keskustan maa- ja kallioperän topografia ja geologia ovat pohjavesien virtausmallinnuksen kannalta vaativat, koska jyrkkä gradientti yhdistettynä paikoitellen pieniin kerrospaksuuksiin on numeerisesti vaikea käsitellä. Mallissa on kuvattu geologiset kerrokset täytemaa, savi, sora, moreeni, kallionpinta ja kallio. Lisäksi savikerros on jaettu kahteen osaan Toriparkin simulointeja varten.

Vaativan geologisen ympäristön takia mallia on yksinkertaistettu siten, että nykyisen rakennuskannan kellaritiloja ja paalutuksia ei ole huomioitu mallissa.

Mallinnettava alue on pääasiassa rakennettuja kortteleita ja katuja, joiden osalta sadanta johdetaan viemäriverkostoon eikä imeytymistä maaperään juurikaan tapahdu. Tärkein pohjaveden muodostumisalue on Puolalan puisto ja lisäksi siitä joelle päin olevat päällystämättömät nurmikko- ja hiekkakaistaleet savimuodostuman reunaan saakka.

Kalibroidun mallin vesitase perustuu arvioon pohjaveden muodostumisen määrästä, suuruusluokkaisesti noin 10 l/min. Aurajoen rantaan on asetettu kaikille kerroksille vakio painearvoksi 1,0 m orsi- ja pohjavesihavaintojen perusteella.

Mallinnettavalta alueelta on ollut käytettävissä niukasti vedenjohtavuustietoja, joten maa- ja kallioperän vedenjohtavuusarvot ovat suuruusluokaltaan kyseisille maa- ja kalliokerroksille tyypillisiä.

Toriparkin simulointi toteutettiin siten, että kalibroidusta mallista poistettiin laskennasta kaavaehdotuksen mahdollistama rakennustilavuus täytemaakerroksesta ja ylemmästä savikerroksesta. Rakennettava tila paalutetaan, paalut kuvattiin mallissa laskennallisesti kuutena no-flow -hilana alemmassa savikerroksessa sekä sora- ja moreenikerroksissa. Toriparkin vaikutusta laskettiin vain virtausesteenä paineelliselle pohjavedelle, koska saven vedenjohtavuus on niin pieni, ettei pohjavesivuoto ole savessa ongelma. Orsiveden osalta mallinnus on vain viitteellinen eikä mahdollisia vaikutuksia ole käsitelty.

Toriparkin kerroksessa savessa painekorkeuden alenema on suurimmillaan noin 1,0 m aivan Toriparkin välittömässä läheisyydessä, ja sorakerroksessa, mallinnettujen paalujen kohdalla noin 0,2 m. Toriparkin koillispuolella painekorkeuden nousu on metrin luokkaa. Numeerinen malli on kuitenkin yksinkertaistettu eikä mallissa ole mukana

nykyisen rakennuskannan kellarikerroksia eikä paalutuksia. Etelä-lounassuunnassa olevat kellarit ja paalutukset muodostavat savessa esiintyvälle pohjavedelle vastaavanlaisia virtausesteitä ja puolestaan nostavat painekorkeutta Toriparkin puolella, jolloin vaikutukset tasoittuvat.

Saven pienen vedenjohtavuuden takia paineellisen pohjaveden vuotoa ei tapahdu Toriparkin tiloihin. Samasta syystä myös painekorkeuden muutokset tapahtuvat erittäin hitaasti. Pohjaveden virtausnopeus savessa on suuruusluokkaisesti senttimetri vuodessa.

Koska Toriparkin rakentaminen ei vaikuta paineellisen pohjaveden muodostumiseen eikä aiheuta pohjavesivuotoa, ja vastaavanlaisia kellarirakenteita ja paalutuksia on jo nykyisessä rakennuskannassa, numeerisen simuloinnin tulosten perusteella voidaan arvioida, että rakentaminen ei aiheuta saven kuivumista eikä rakenteiden painumista ja pitkänajan laskennalliset vaikutukset kompensoituvat ympäristön maanalaisilla rakenteilla.

Sisältö

1	JOHDANTO	2
2	ALUERAJAUS	2
3	HYDROGEOLOGISEN RAKENNEMALLIN MUODOSTAMINEN	5
3.1	Geologia	5
3.2	Hydrologia	5
4	HAVAINTOAINEISTON ANALYSOINTI	6
4.1	Orsivesi	6
4.2	Paineellinen pohjavesi	8
5	2D-MALLINNUS	12
5.1	Savikerroksen mallinnus	12
5.2	Sorakerroksen mallinnus	13
6	3D-VIRTAUSMALLIN MUODOSTAMINEN JA KALIBROINTI	15
6.1	Laskentaohjelmat	15
6.2	Laskentaverkko	15
6.3	Maa- ja kallioperän kerrosmalli	16
6.4	Reunaehdot	18
6.5	Alkuarvot	19
6.6	Vedenjohtavuus	19
6.7	Imeytyminen	20
6.8	Kalibroitu malli	20
7	TORIPARKIN SIMULOINTI	22
8	TULOSTEN ARVIOINTI	23
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	24
10	KIRJALLISUUSLUETTELO	25

1 JOHDANTO

Turun keskustaan torialueelle on tehty kaavaehdotus, joka mahdollistaa maanalaisen, savikerrokseen sijoittuvan tilan, Toriparkin, rakentamisen. Maanalainen tila muodostaisi maanpintaan saakka ulottuvan, osittain kaksikerroksisen tiiviin kaukalon. Koska Turun keskusta on pohjaveden alenemisen kannalta riskialuetta, rakentamisen vaikutuksia pohjavesiin on tarkasteltu numeerisen pohjavesien virtauksen mallinnuksen avulla. Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin 2D mallinnusta, missä vertailtiin rakentamisen vaikutuksia savi- ja sorakerrosten välillä ja toisessa vaiheessa tehtiin 3D malli savikerrokseen rakennettavan Toriparkin tarkempia virtaussimulointeja varten.

Turun keskustan alueella orsivesi esiintyy savikerroksen päällä täytymässä ja paineellinen pohjavesi puolestaan saven alla pohjamaan päälle muodostuneessa löyhemmän aineksen sorakerroksessa. Orsivesi on tärkeä niiden rakennusten osalta, joiden pohjarakenteissa on käytetty puuta. Pinnan aleneminen voi altistaa puiset pohjarakenteet lahoamiselle. Paineellinen pohjavesi puolestaan vaikuttaa savikerroksen saturoitumiseen. Pohjaveden painekorkeuden alentuminen aiheuttaa saven kuivumista ja maaperän painumista.

Orsi- ja pohjaveden käyttäytymistä keskustan alueella on seurattu vuodesta 1979 lähtien. Koska orsivesi ei havaintojen perusteella muodosta yhtenäistä allasta, orsivesimuodostuman mallinnus on vain viitteellistä. Malli on kalibroitu pohjavesi-havaintojen perusteella ja simuloinneissa esitetään pohjaveden tulokset.

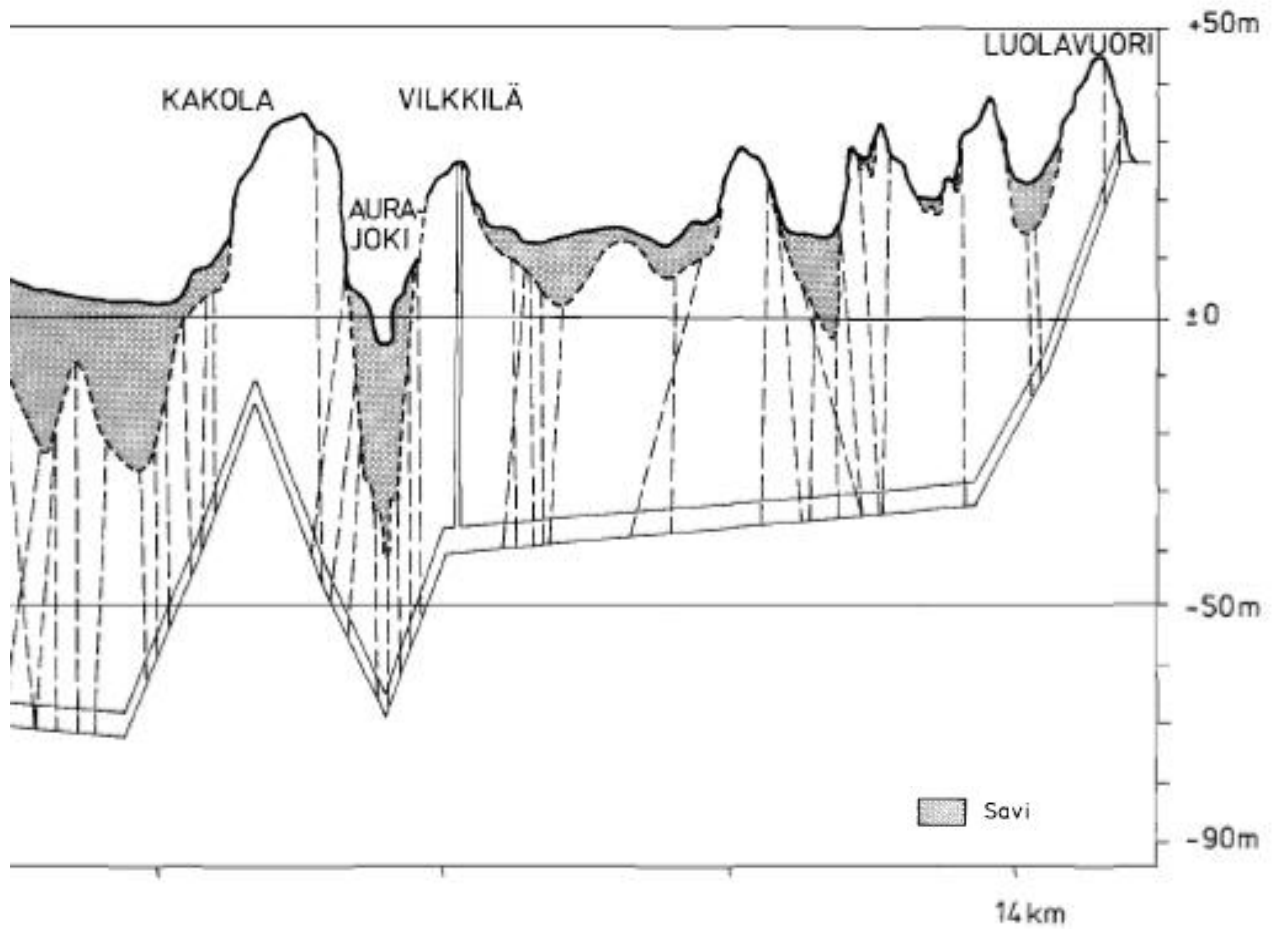
Kaikki numeeriset tarkastelut on tehty steady-state -laskentoina eli on mallinnettu tasapainotilannetta eikä simulointien tuloksena saataviin painekorkeuden muutoksiin kuluva aikaa ole mallinnettu.

2 ALUERAJAUS

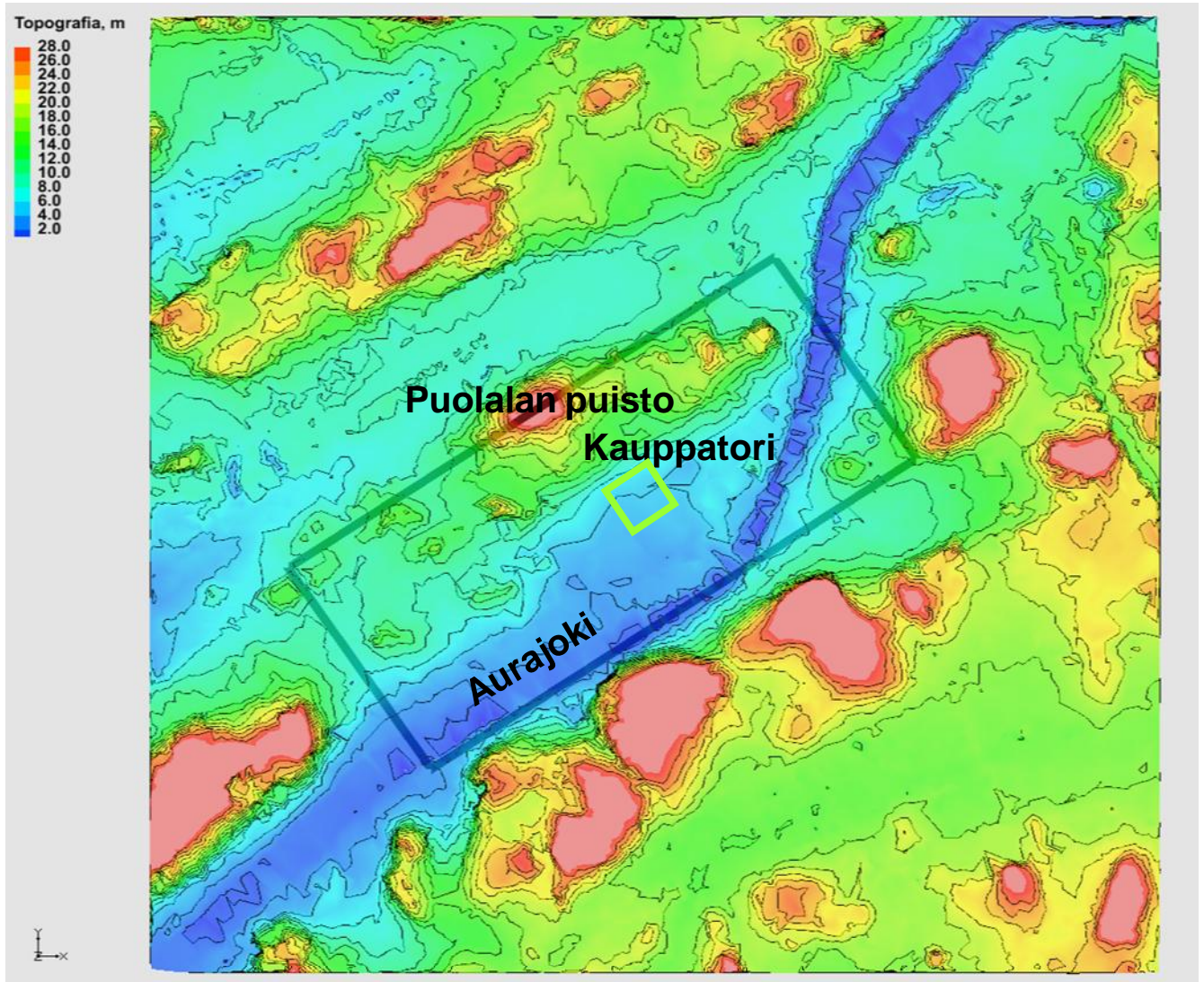
Mallinnusalue perustuu Turun keskustan sisältävän valuma-alueen, Aurajoen pohjoisen puoleiseen osaan. Mallinnettava alue on rajattu siten, että mallin reunojen läpi ei tapahdu virtausta tai virtauksen määrä tai pohjaveden painetaso voidaan arvioida.

Kuvassa 2-1 on esitetty geologinen poikkileikkaus Aurajokilaaksosta mallinnettavan alueen läheisyydestä. Jokilaakso sijoittuu jyrkkäreunaiseen, syvään kallioainanteeseen, joka on täyttynyt savella. Saven ja kallion välissä on kallion päälle muodostunut tiivis pohjamaa ja sen päälle löyhärakenteisempi sorakerros (Niemelä et al. 1987). Paineellinen pohjavesi muodostuu sorakerrokseen.

Mallinnusalueen rajauksen lähtökohta on esitetty kuvassa 2-2. Lännen puolella mallinnettava alue rajautuu vedenjakajaan, jossa kallio nousee korkeimmillaan Puolalan puiston kohdalla tasolle 35,5 m ja itäpuolella vastaavasti Aurajoen itäpuolen vedenjakajaan. Lounaassa tarkastelu rajautuu Kakolanmäen reunaan. Tarkastelun perusteella mallinnettava alue on rajattu itäpuolella Aurajokeen ja reunaehdoksi määritetty havaintoaineistoon perustuva vakiopainearvo, vaikka geologisesti pohjavesimuodostuma jatkuukin kallion muodostamalle vedenjakajalle saakka. Tästä syystä myös joen itäpuolella olevat havaintopisteet on analysoitu.



Kuva 2-1. Geologinen poikkileikkaus mallinnettavan alueen läheisyydestä. Aurajoki sijoittuu jyrkkäreunaiseen kalliopainanteeseen paksun savikerroksen päälle (Niemelä et al. 1987).



Kuva 2-2. Mallinusalueen määrittelyyn käytetyn alueen rajaus, taustatietona on maanpinnan korkeus.

3 HYDROGEOLOGISEN RAKENNEMALLIN MUODOSTAMINEN

3.1 Geologia

Kerrosmalli Turun keskustan alueella perustuu Suomen geologisen kartan Turun-Salon seudun maaperäkartojen selitykseen (Niemelä et al. 1987) sekä mallinnettavan alueen maaperäkairausten havaintoihin (Turun kaupungin aineisto). Malli on monikerrosmalli, jossa kuvataan geologiset kerrokset täytemaa, savi, sora, moreeni, kallion pintakerros ja kallio.

Mallinnusalueen kallionpinnan korkeus on hyvin voimakkaasti vaihteleva, korkeuseroa on havaintojen perusteella jopa 92 m. Kallionpinta muodostaa allasmaisen jokilaaksorakenteen. Kalliolle on määritelty 10 m paksu pintakerros kuvaamaan tyypillisesti runsaampaa rakoilua ja samalla suurempaa vedenjohtavuutta. Koska alueelle ei ole tehty paikkakohtaista kallioperän ruhevyöhykkeiden tulkintaa, ei yksittäisiä rakentamisen yhteydessä havaittuja piirteitä ole erikseen mallinnettu.

Kallionpinnan peittää moreenikerros, jonka paksuus on maaperäkairausten perusteella enimmillään 8,5 m. Kerrospaksuuksien keskiarvo on 1,1 m ja mediaani 0,4 m. Moreeni on rakennustöiden yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella hyvin tiivistä ja huonosti vettäläpäisevää.

Moreenikerroksen päällä on löyhärakenteisempi soramuodostuma, johon sijoittuu paineellisen pohjaveden esiintymä. Myös sorakerros on varsin ohut, enimmillään 8,7 m. Kerrospaksuuksien keskiarvo on 1,3 m ja mediaani 0,8 m.

Jokilaakson täyttää savikerros, jonka paksuus on enimmillään yli 50 m.

Savikerroksen päällä on muutaman metrin paksuinen kerros täytemaata.

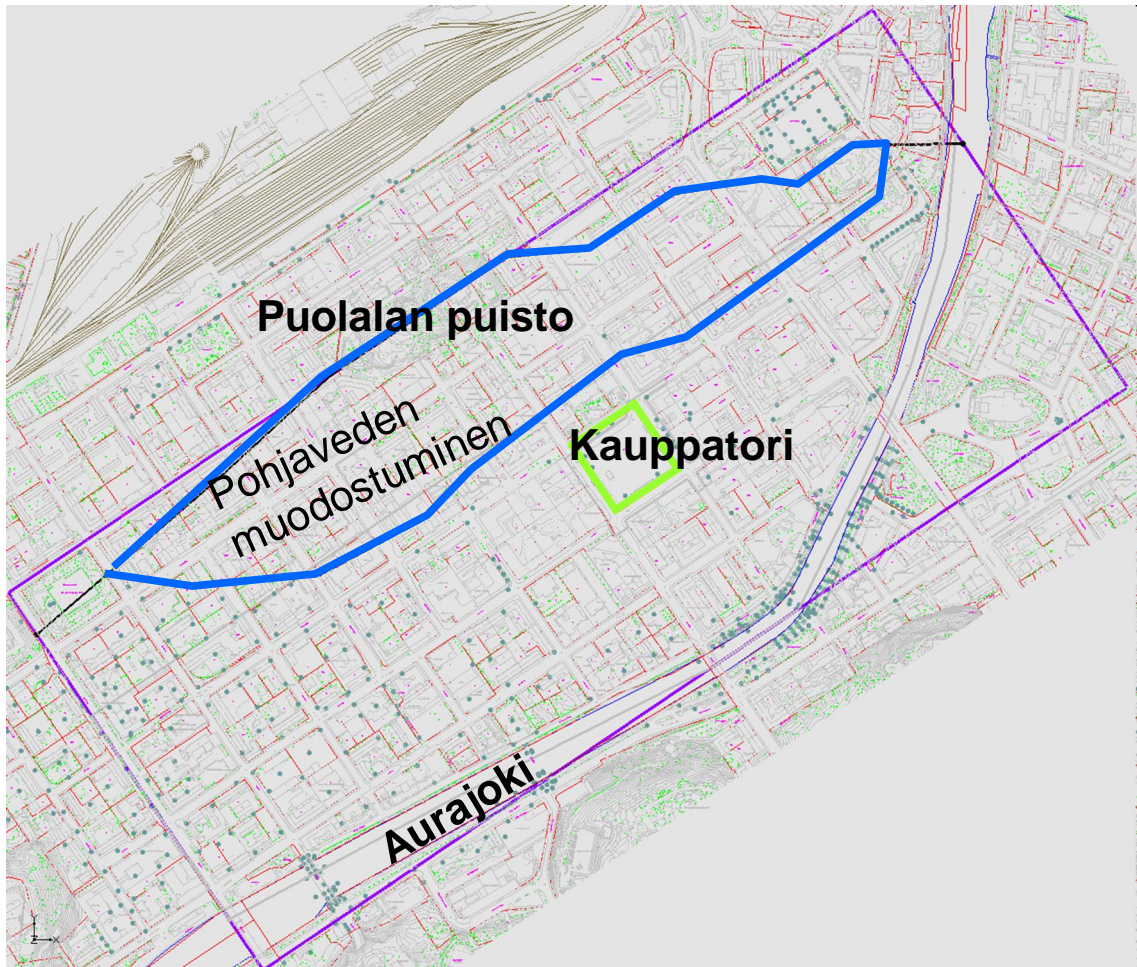
3.2 Hydrologia

Täytemaakerroksessa esiintyy orsivettä, mutta havaintojen perusteella se ei muodosta yhtenäistä allasta. Torin läheisyydessä tehdyn seurannan perusteella orsivettä on lähinnä rakennusten muodostamissa savipainanteissa. Kaiken kaikkiaan orsiveden virtauksiin vaikuttavat hyvin monet tekijät kuten salaojat ja virtausesteitä muodostavat rakenteet.

Paineellinen pohjavesi esiintyy sorakerroksessa.

Pohjavedet muodostuvat sadannan imeytymisestä maa- ja kallioperään. Mallinnettava alue on pääasiassa rakennettuja kortteleita ja katuja, joiden osalta sadanta johdetaan viemäriverkostoon eikä imeytymistä maaperään juurikaan tapahdu. Tärkein pohjaveden muodostumisalue Aurajoen länsipuolella on Puolalan puisto ja lisäksi siitä joelle päin ovat päällystämättömät nurmikko- ja hiekkakaistaleet savimuodostuman reunaan saakka (Kuva 3-1).

Sorakerros jatkuu saven alla Aurajoen itäpuolelle ja nousee siellä vastaavalla tavalla maanpintaan, joten pohjaveden muodostumista tapahtuu myös siellä. Mallinnuksen tavoitteena on simuloida rakentamisen vaikutuksia, jolloin tulos saadaan vertailemalla nykytilannetta ja rakennettua tilannetta. Tästä syystä malli on kalibroitu torin lähialueen tiedoilla ja mallia on yksinkertaistettu rajaamalla se Aurajokeen.



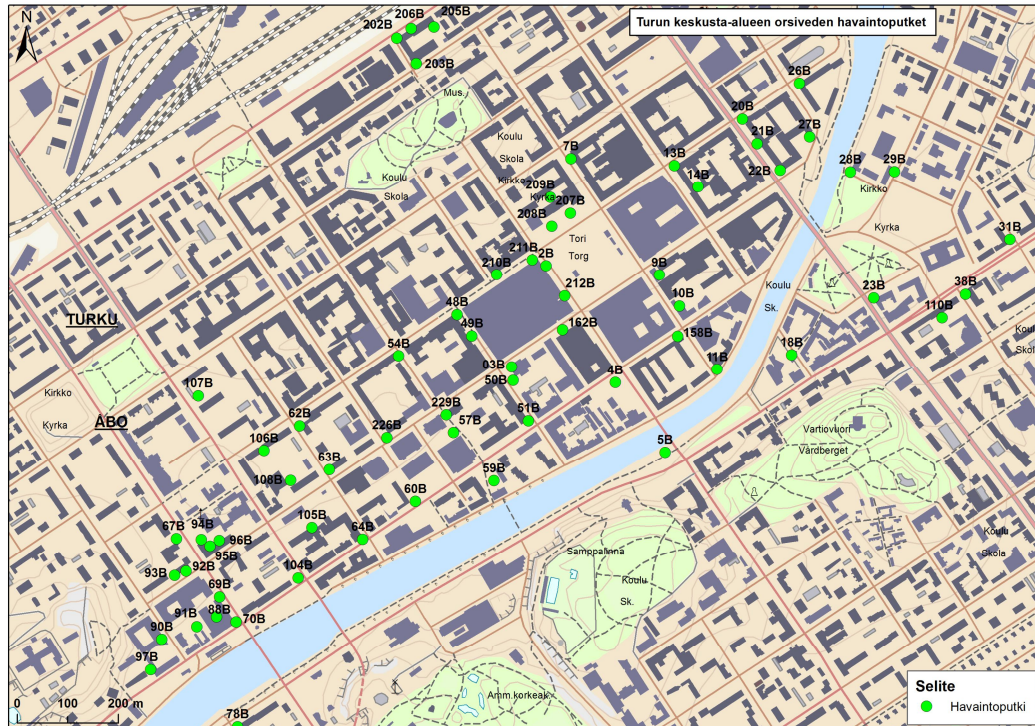
Kuva 3-1. Pohjaveden muodostumisen alue.

4 HAVAINTOAINEISTON ANALYSOINTI

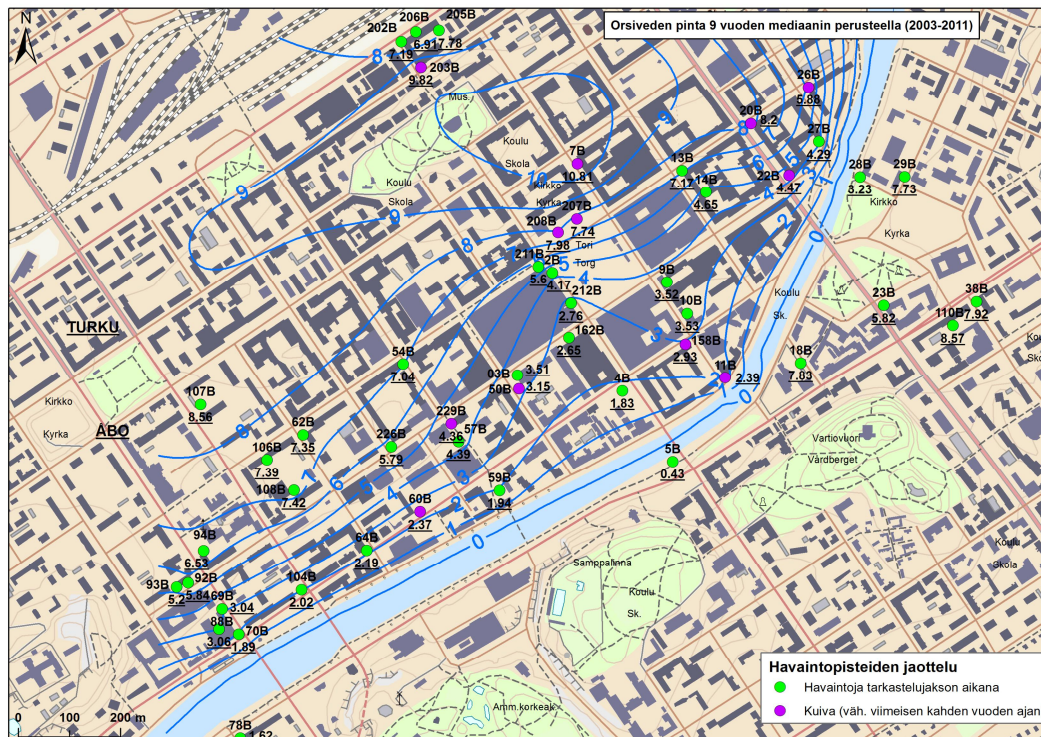
Orsi- ja pohjavesihavainnot on analysoitu hieman mallinnettua aluetta laajemmin, jotta havainnoista saadaan mahdollisimman kattava käsitys. Havaintoja on ollut käytettävissä vuodesta 1979 lähtien.

4.1 Orsivesi

Koko tarkasteltavan alueen orsivesihavaintojen analyysi tukee torin lähialueen mittauspisteisiin perustuvaa käsitystä, että orsivesi ei muodosta yhtenäistä allasta. Alueelta analysoitiin kaiken kaikkiaan 65 havaintopistettä (Kuva 4-1), joista 51 pisteessä on havaintoja vuosilta 2003 – 2011. Näiden havaintojen mediaanien perusteella on muodostettu tasa-arvokäyrät orsiveden pinnankorkeudelle (Kuva 4-2). Havaintopisteistä 11 on ollut kuivana vähintään kahden vuoden ajan.



Kuva 4-1. Analysoitujen orsivesipisteiden sijainnit.



Kuva 4-2. Orsiveden pinta vuosien 2003-2011 mediaaniarvojen perusteella. Kuivat havaintopisteet osoittavat, että orsivettä esiintyy paikallisesti eikä se muodosta yhtenäistä allasta.

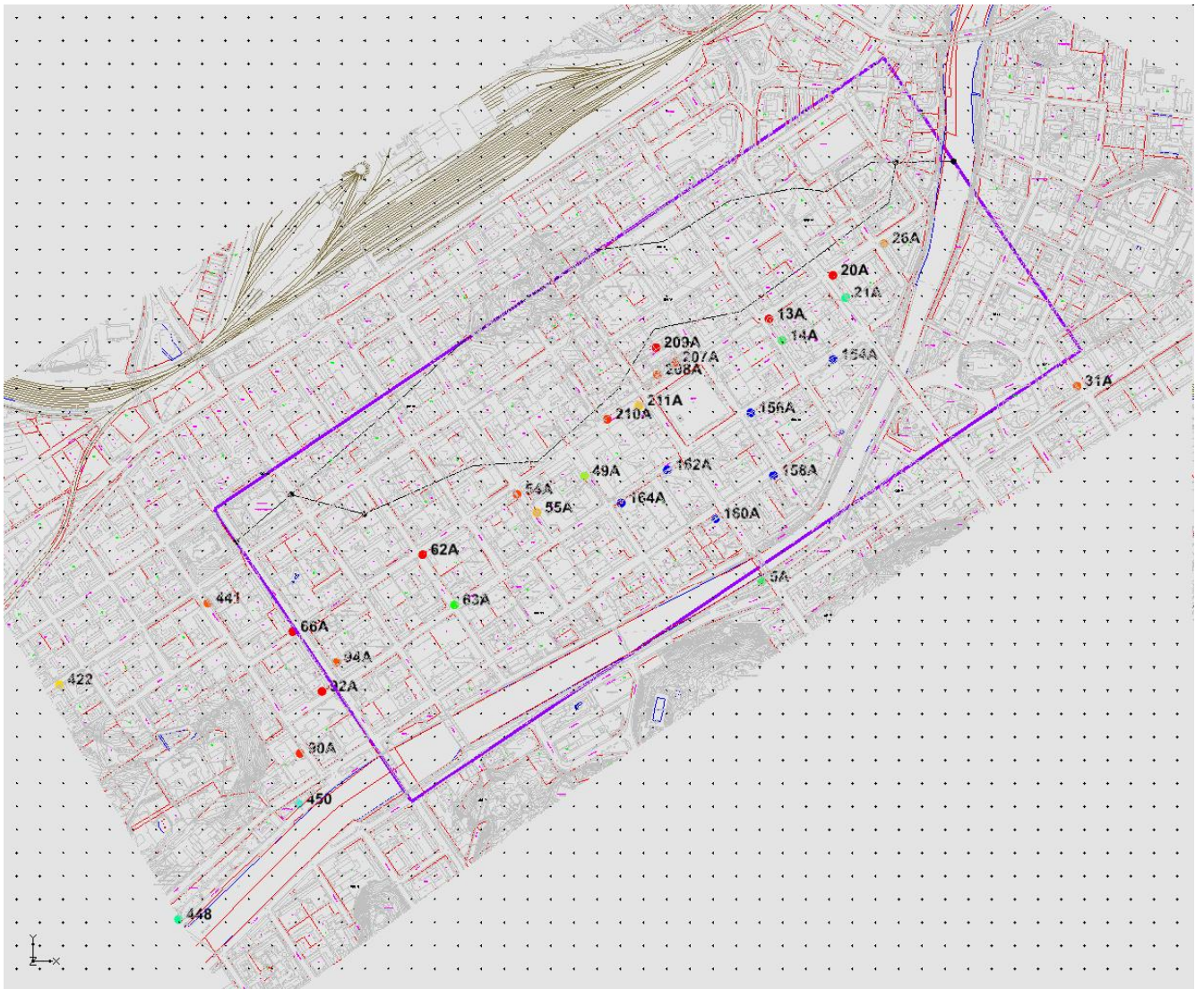
4.2 Paineellinen pohjavesi

Vuosien 1979 – 1992 havainnot antavat hyvän käsityksen sorakerroksessa esiintyvän paineellisen pohjaveden käyttäytymisestä. Kyseiseltä ajalta olevien 19 pohjavesipisteen havaintojen mediaanit vaihtelevat välillä 0,9 – 6,1 m ja keskihajonnat välillä 0,2-1,5 m (Taulukko 4-1). Keskihajonta kuvaa pohjavesipinnan keskimääräistä vuodenaikoihin ja vuosiin liittyvää vaihtelua. Alueen arvot ovat pohjavesille tyypillistä suuruusluokkaa. Näistä havaintopisteistä putket VP5A, VP13A, VP20A ja VP63A ovat olleet satunnaisesti kuivana. Kaikki nämä pisteet ovat suhteellisen lähellä saven reunaa.

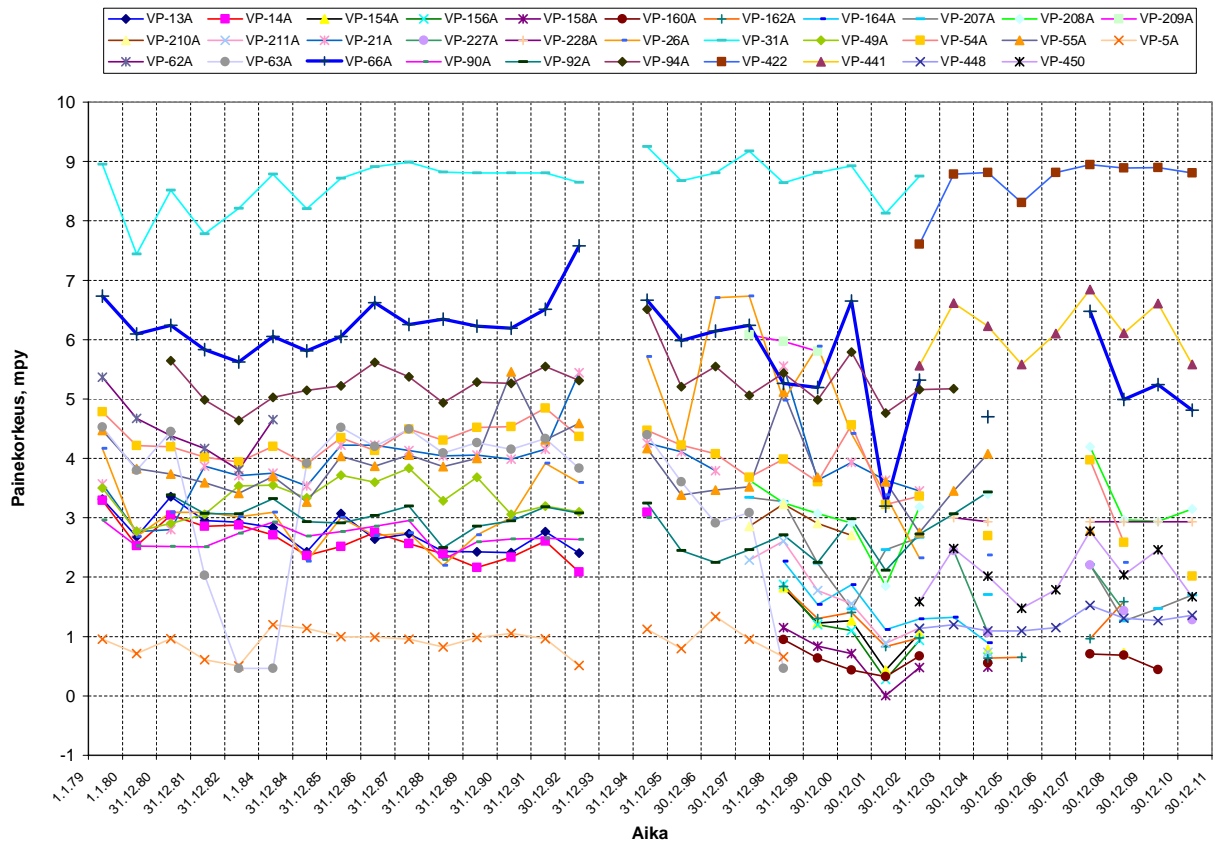
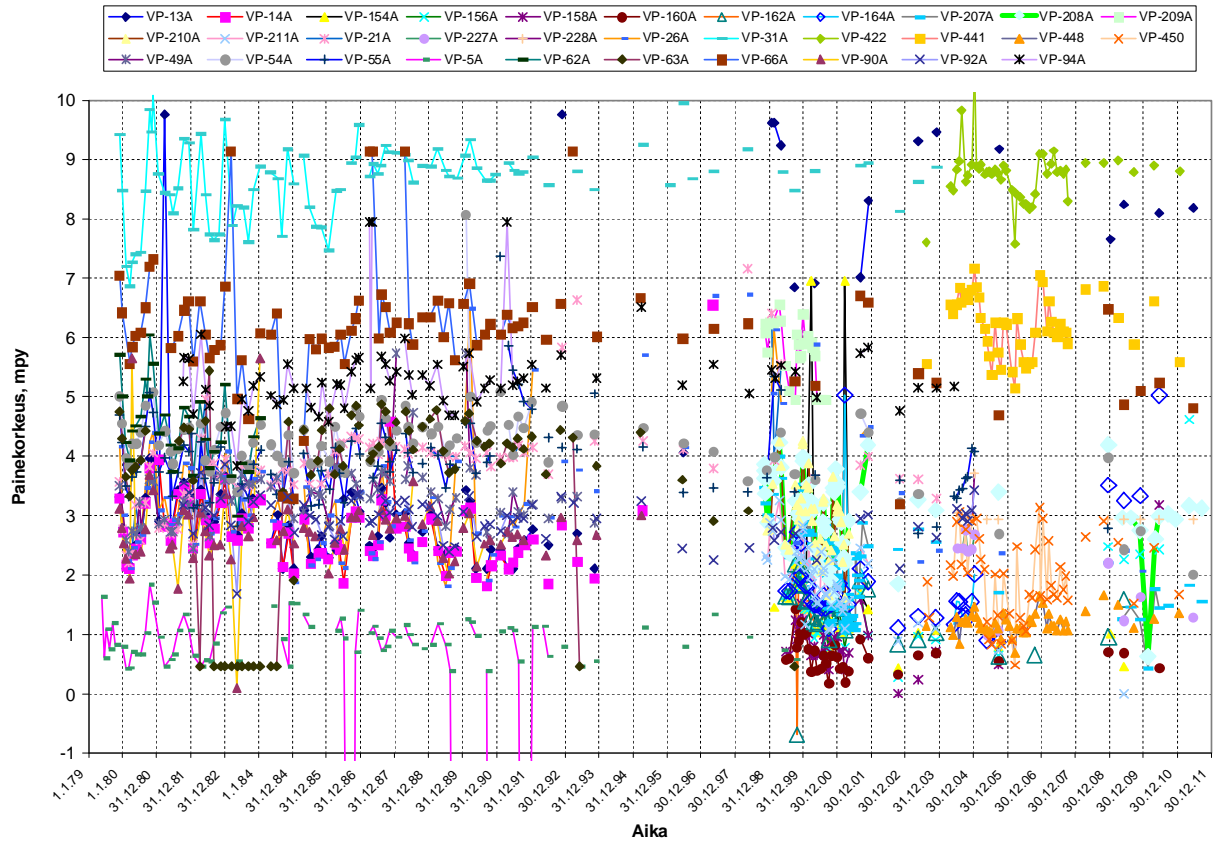
Keskustan alueella vuosien 1979 – 2011 aikana mittauksessa olleiden pohjavesipisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 4-3 ja niihin liittyvät havainnot sekä vuosikohtaiset mediaaniarvot kuvassa 4-4. Mediaaniarvoista on muodostettu tasa-arvopinnat vuosilta 1987 sekä 2008 – 2011 (Kuva 4-5). Kahden ajankohdan tulosteiden avulla saadaan alueellisesti laajempi käsitys sorakerroksen painekorkeudesta.

Taulukko 4-1. Vuosien 1979-1992 havaintojen mediaanit ja keskihajonnat.

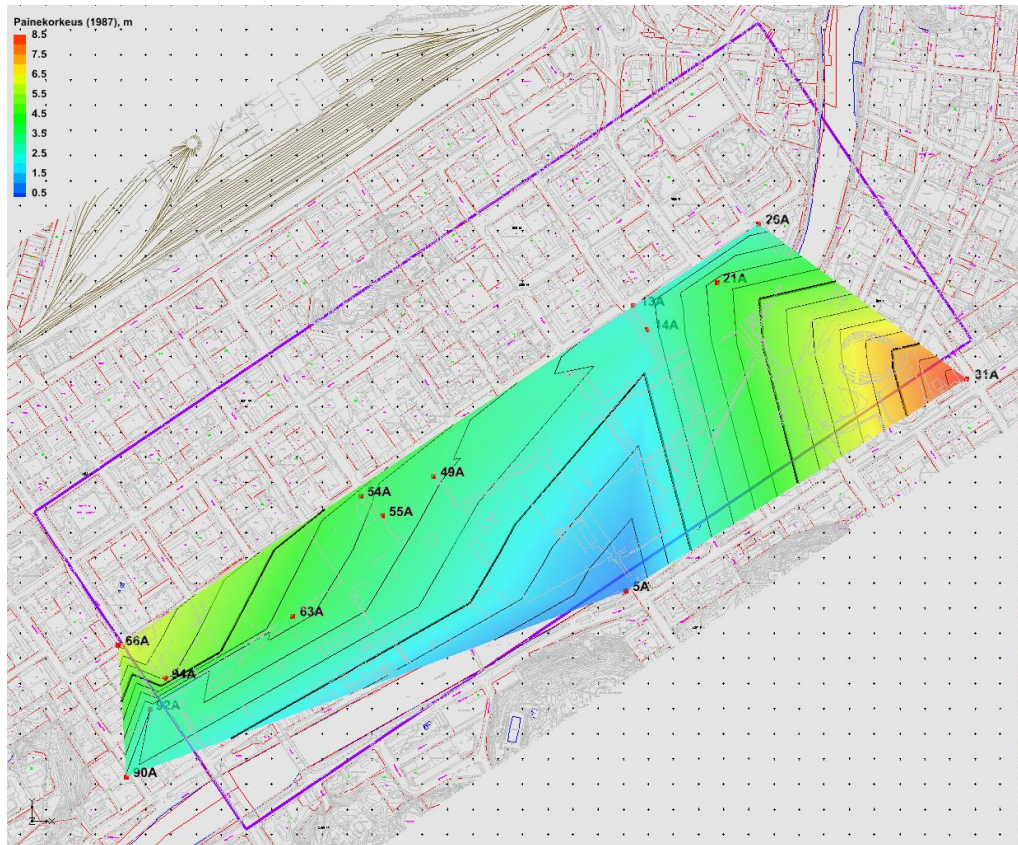
Pohjavesiputki	Keskiarvo, m	Mediaani, m	Keskihajonta, m
VP-132A	5.1	5.2	0.8
VP-13A	3.0	2.7	1.2
VP-14A	2.7	2.6	0.5
VP-20A	4.1	4.1	1.3
VP-21A	3.8	3.9	0.6
VP-26A	3.1	3.0	0.8
VP-49A	3.3	3.3	0.6
VP-4A	2.5	3.5	1.3
VP-51A	1.3	1.3	0.2
VP-54A	4.4	4.2	0.6
VP-55A	4.0	3.9	0.7
VP-5A	0.9	0.9	0.3
VP-60A	2.6	2.6	0.2
VP-62A	4.5	4.4	0.7
VP-63A	3.6	4.2	1.5
VP-66A	6.2	6.1	1.1
VP-90A	2.8	2.7	0.7
VP-92A	3.0	3.0	0.4
VP-94A	5.3	5.2	0.7



Kuva 4-3. Analysoitujen pohjavesipisteiden sijainnit.



Kuva 4-4. Pohjavesipisteiden havainnot (yllä) sekä vuosikohtaiset mediaaniarvot (alla) vuosina 1979-2011.

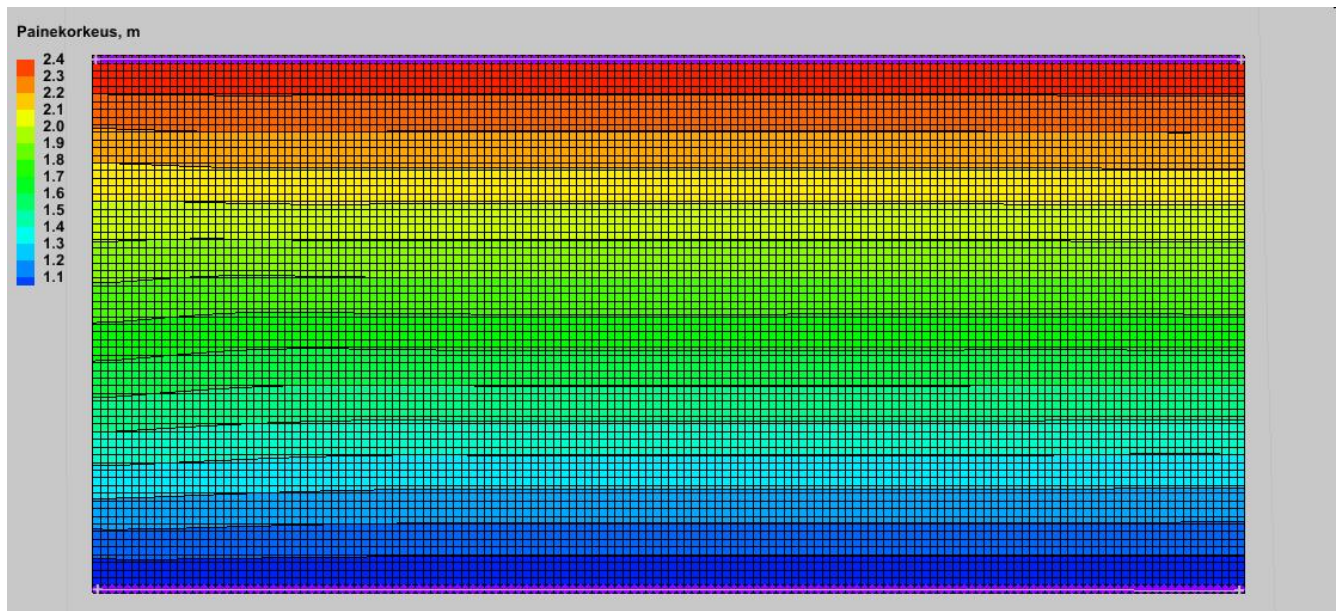


Kuva 4-5. Paineellisen pohjaveden painekorkeus 1987 (yllä) ja 2008-11 (alla). Havainnot ovat kyseisten ajanjaksojen mediaaniarvot.

5 2D-MALLINNUS

Toriparkin pohjavesianalyysin ensimmäisessä vaiheessa tehtiin 2D-virtausmallinnus, jossa tarkasteltiin rakentamisen vaikutuksia paineelliseen pohjaveteen, mikäli rakentaminen tapahtuisi savikerroksessa tai se ulottuisi myös sorakerrokseen. 2D-mallinnukset ovat hyvin voimakkaasti yksinkertaistettuja, mutta antavat suuruusluokkaisen käsityksen vaikutuksista ja soveltuvat vertailevaan tarkasteluun. Tarkastelut on tehty steady-state -mallinnuksina, joten mallinnuksella ei saada arviota vaikutusten muodostumiseen kuluva ajasta. Lähtökohtaisesti kuitenkin pätee, että mitä pienempi vedenjohtavuus sitä hitaammin muutokset tapahtuvat.

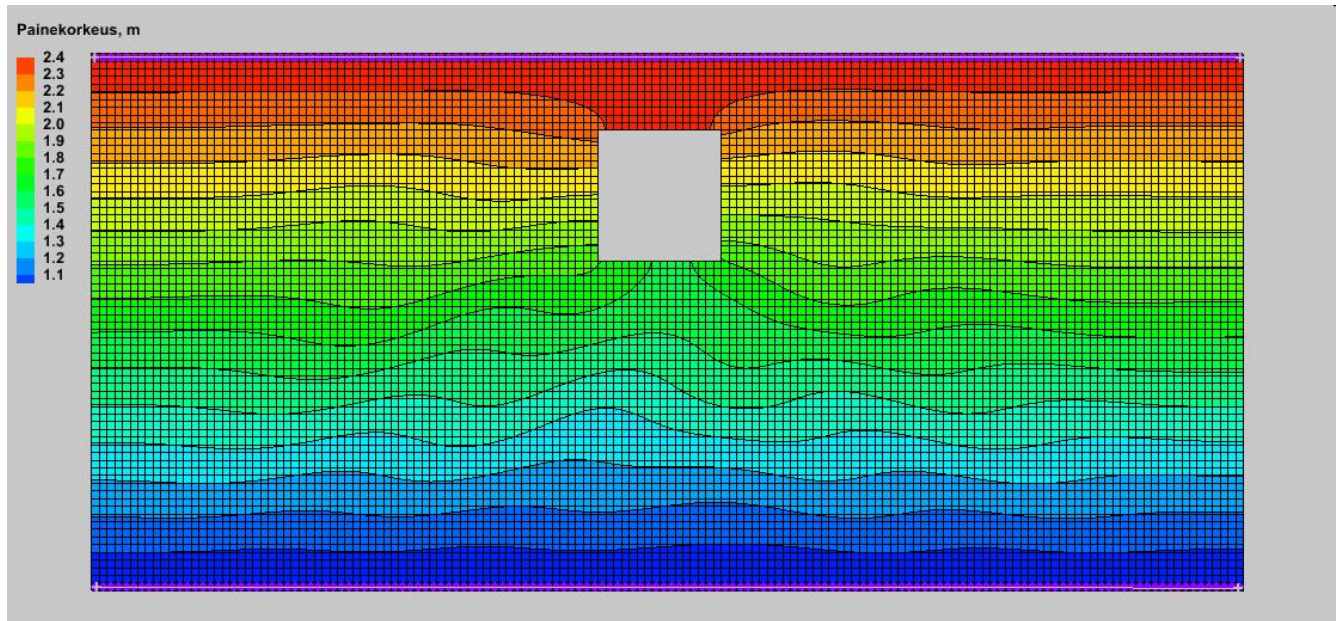
2D mallissa simuloidaan vain yhtä kerrosta kerrallaan. Kerros on kuvattu 1 500 m x 700 m levynä. Laskennassa käytetty hilaverkko on tasavälisesti 10 m x 10 m. Savikerroksen paksuutena on käytetty 20 m ja sorakerroksen 1 m. Levyn pohjois- ja eteläreunalle on asetettu vakiopainearvot 2,5 m ja 1,0 m, joilla kuvataan torialueen pohjavedenpinnan gradienttia. Perustilanteessa painekorkeus ei ole riippuvainen levyn vedenjohtavuudesta vaan painekorkeuden jakauma on vakio (Kuva 5-1).



Kuva 5-1. Painekorkeus, kun käytetään vakiopainereunahtoja 2,5 m pohjoisreunalle ja 1,0 m eteläreunalle.

5.1 Savikerroksen mallinnus

Torialueella esiintyvän saven vedenjohtavuudesta on arvioitu, että tyypillisesti vastaavanlaisen saven vedenjohtavuus on luokkaa $1 \cdot 10^{-9}$ m/s ja enintään $1 \cdot 10^{-8}$ m/s (Länsivaara 2010). Kun saven vedenjohtavuudeksi on asetettu $1 \cdot 10^{-8}$ m/s, saadaan pohjaveden virtaamaksi 40 ml/min. Toriparkki on kuvattu mallissa 160 m x 160 m suuruisena virtausesteenä. Kun lasketaan tasapainotilanne, niin pohjaveden painekorkeus nousee pohjoispuolella 0,15 m ja laskee eteläpuolella 0,25 m (Kuva 5-2). Koska savikerroksessa esiintyvä pohjavesi muodostuu alapuolella olevassa sorakerroksessa ja mahdolliset pohjavesivuodot ovat todennäköisesti hyvin pieniä, ei savikerrokseen rakennettava tila vaikuta pohjaveden määrään.



Kuva 5-2. Savikerroksen painekorkeus, kun mallissa on Toriparkin muodostama virtauseste. Pohjoisreunalla on vakiopaine 2,5 m ja eteläreunalla vakiopaine 1,0 m.

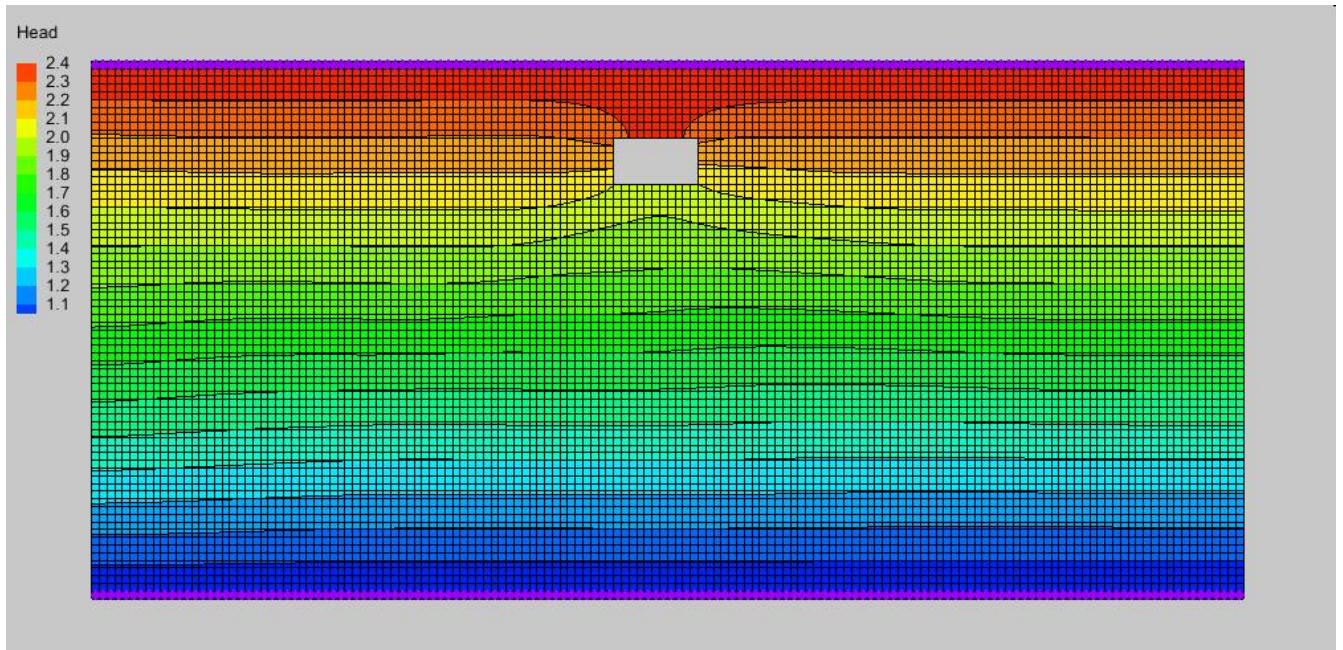
5.2 Sorakerroksen mallinnus

Paineellinen pohjavesi muodostuu sorakerroksessa. Sorakerroksen vedenjohtavuutta on arvioitu virtaaman kautta. Vedenjohtavuuksilla $5 \cdot 10^{-6}$ m/s, $5 \cdot 10^{-5}$ m/s ja $5 \cdot 10^{-4}$ m/s virtaamat olisivat noin 1 l/min, 10 l/min ja 100 l/min. Pohjaveden muodostumisen määrän suuruusluokaksi on arvioitu 10 l/min (ks. kappaleet 3.2 ja 6.7), joten tässä tarkastelussa käytetään soralle vedenjohtavuutta $5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

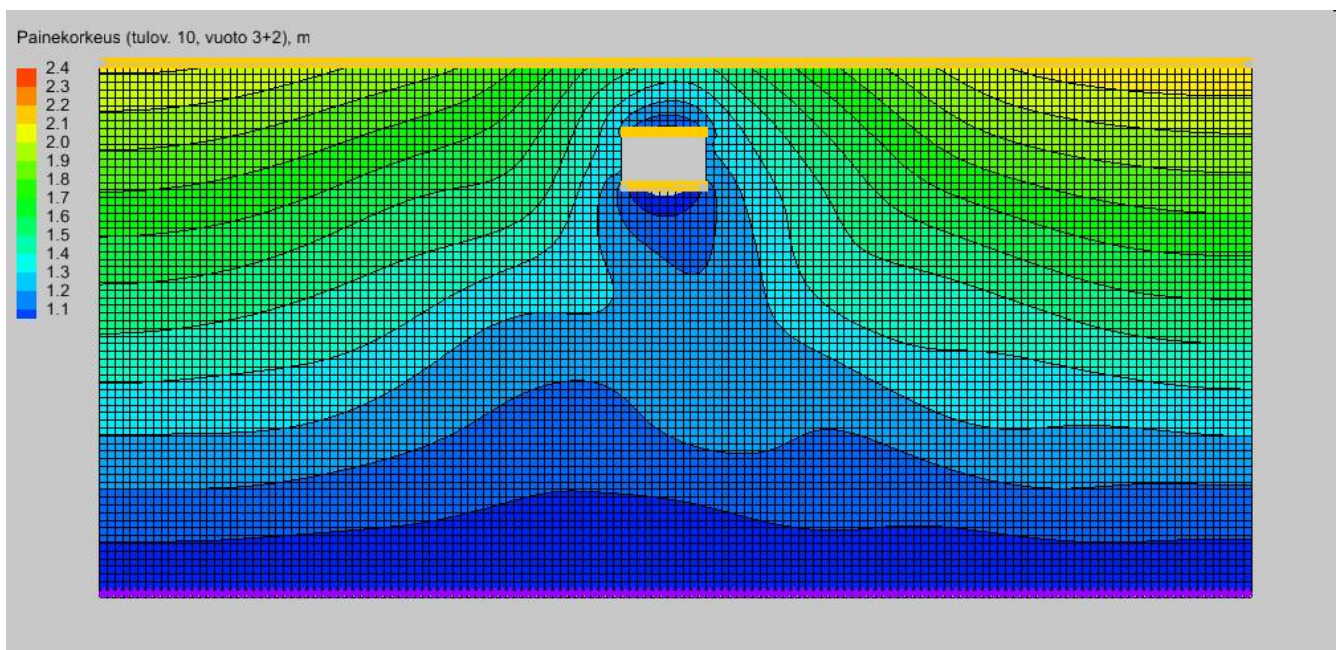
Tässä tapauksessa tarkastellaan kallioon saakka ulottuvan kuusikerroksisen Toriparkin vaikutuksia sorakerroksen pohjaveteen. Kun Toriparkki on kuvattu mallissa 120 m x 60 m suuruisena virtausesteenä, niin steady-state -tilanteessa pohjaveden painekorkeus nousee pohjoispuolella 0,1 m ja laskee eteläpuolella 0,15 m (Kuva 5-3).

Sorakerroksessa myös pohjavesivuodot ovat mahdollisia, joten niiden vaikutuksia on myös tarkasteltu. Vuototilanteessa vakiopainereunaehto realistisempi tapa on käyttää tulovirtaamaa kuvaamaan sadannan imeytymistä. Tulovirtaamaksi on asetettu 10 l/min. Kun simuloidaan tilanne, jossa rakennettavaan tilaan tapahtuu pohjavesivuotoa 3 l/min pohjoispuolella ja 2 l/min eteläpuolella, niin painekorkeus laskee pohjoispuolella 1,3 m ja eteläpuolella 1,25 m (Kuva 5-3).

Mahdollisia pohjaveden vuotoja sorakerroksesta voidaan kompensoida imeytyskaivojen avulla. Koska sorakerros on varsin ohut, imeyttäminen ei välttämättä toimi yksittäisestä pisteestä. Tästä syystä sorakerroksen läpäisevän Toriparkin suunnitelmaan kuuluu imeytysjärjestelmä, jossa pysäköintilaitoksen ympärille rakennetaan orsi- ja pohjaveden tasausjärjestelmä. Järjestelmä koostuu noin 5 m:n välein sijoitettavista sepelitäytteisistä imeytyskaivoista. Tällaisella järjestelmällä huomioidaan pohjavesimuodostuman ohuus sekä todennäköinen epähomogeenisuus.



Kuva 5-3. Sorakerroksen painekorkeus, kun mallissa on Toriparkin muodostama virtauseste. Pohjoisreunalla on vakiopaine 2,5 m ja eteläreunalla vakiopaine 1,0 m.



Kuva 5-4. Sorakerroksen painekorkeus, kun mallissa on Toriparkin muodostama virtauseste sekä pohjavesivuodot 3 l/min ja 2 l/min. Pohjoisreunalla on tulovirtaama 10 l/min ja eteläreunalla vakiopaine 1,0 m.

6 3D-VIRTAUSMALLIN MUODOSTAMINEN JA KALIBROINTI

Mallinnus perustuu olemassa olevan tilanteen yksinkertaistamiseen ja keskiarvostamiseen. Tärkeää kuitenkin on, että pohjavesien virtauksille ominaiset paikkakohtaiset tekijät otetaan huomioon. Laskennan tavoitteena on kalibroida tutkimusalueen pohjaveden virtausmalli sovittamalla maakerrosten vedenjohtavuusarvot sekä mallin alku- ja reunaehdot siten, että virtausmallilla lasketut pohjaveden painekorkeudet vastaavat pohjavesiputkista tehtyjä havaintoja. Kalibroinnissa virtausmallille pyritään hakemaan tasapainotilanne, jossa mallinnettavan alueen tulovirtaama on yhtä suuri kuin poistovirtaama. Myös mallilla tehdyt simuloinnit on toteutettu tasapainotilanteissa eikä virtausten ajallista vaihtelua tai muutokseen kuluva aikaa ole otettu huomioon.

Tutkimusalueella esiintyy täytekerrokseen sijoittuva orsivesi ja sorakerrokseen sijoittuva paineellinen pohjavesi. Näiden pohjavesialtaiden välillä on tiivis savikerros, joka eristää altaat toisistaan. Orsi- ja pohjavesi ovat paikoitellen yhteydessä toisiinsa jokilaakson reuna-alueilla, missä savikerrosta ei enää esiinny. Mallinnettavan alueen pohjavesialtaat täydentyvät savettomilla ja päällystämättömillä nurmikko- ja hiekka-alueilla. Poistovirtaama tapahtuu osittain kaivoihin ja maanalaisiin tiloihin, joista vedet pumpataan pois, ja osittain sora muodostumaa pitkin kohti merta.

6.1 Laskentaohjelmat

Virtausmallin laskenta on toteutettu Modflow ohjelmalla (McDonald & Harbaugh 1988), joka on kansainvälisesti laajassa käytössä. Modflow-ohjelmalle on tehty useita kaupallisia graafisia käyttöliittymiä, tässä työssä on käytetty Groundwater Modelling System (GMS) -liittymää. Modflow on finite-difference -laskentaan perustuva huokoisen väliaineen virtausmallintaja, jossa virtaus voidaan mallintaa 3-ulotteisena ja maakerrosten vedenjohtavuus määrittää anisotrooppisena. Mallinnettava alue diskretoidaan hilaverkoksi ja laskenta tapahtuu kunkin hilan keskipisteessä.

Modflow käyttää laskennassa iteratiivista menetelmää, jossa jokaisella iterointikierröksellä lasketaan hilojen painekorkeudet. Iteroinnin lopetuskriteeriksi määritetään haluttu tarkkuus. Iterointi päättyy, kun peräkkäisten iteraatioiden painekorkeuksien muutos on kaikissa hiloissa lopetuskriteeriä pienempi.

6.2 Laskentaverkko

Mallinnettavan alueen laskentaverkko on muodostettu siten, että kukin maalajikerros ja kallion kaksi kerrosta muodostavat laskentatason vertikaalisuunnassa. Lisäksi savi on Toriparkin simulointeja varten jaettu kahdeksi kerrokseksi eli verkossa on seitsemän kerrosta. Horisontaalisuunnassa hilojen tulee olla suorakaiteen muotoisia. Alue on ensin jaettu 4 m x 4 m hiloihin, minkä jälkeen verkkoa on reuna-alueilta harvennettu siten, että hilakoko on 20 m x 20 m. Laskentaverkkoa on käännetty 34° länteen vastaamaan pohjaveden päävirtaussuuntaa ja samalla Toriparkin suuntausta. Finite difference -mallissa laskentaverkko on aina suorakulmainen. Varsinainen mallinnusalue rajataan määrittämällä halutut hilat aktiivisiksi.

Maanpinnankorkeus laskee Puolalan mäeltä Aurajoen suuntaan hyvin jyrkästi ja myös maakerrokset ovat ohuita. Tästä syystä jyrkimmällä osuudella maakerrokset eivät ole

saturoituneet eikä tasapainotilanteessa ole pohjavettä, joten mallin reuna on tuotu alemmaksi rinteeseen.

Alustava malli on muodostettu mahdollisimman laajalle alueelle. Koska alue on geometrisesti hyvin vaativa, varsinainen kalibrointi on tehty pienemmälle mallille kattamaan torin ja sen lähiympäristön (Kuva 6-1).



Kuva 6-1. Laskentaverkko alustavalle mallille sekä kalibroidulle mallille.

6.3 Maa- ja kallioperän kerrosmalli

Mallinnusalueen maaperää on tutkittu vuosikymmenien ajan erilaisten rakennuskohteiden yhteydessä, joten maaperästä on poikkeuksellisen paljon havaintoja. Toisaalta runsas havaintomäärä sisältää myös ristiriitaisuuksia, joten aineistosta on jouduttu poistamaan pisteitä. Myös kalliopinnasta käytävissä olevien pisteiden epätasainen sijoittuminen on vaikeuttanut kerrosmallin muodostamista.

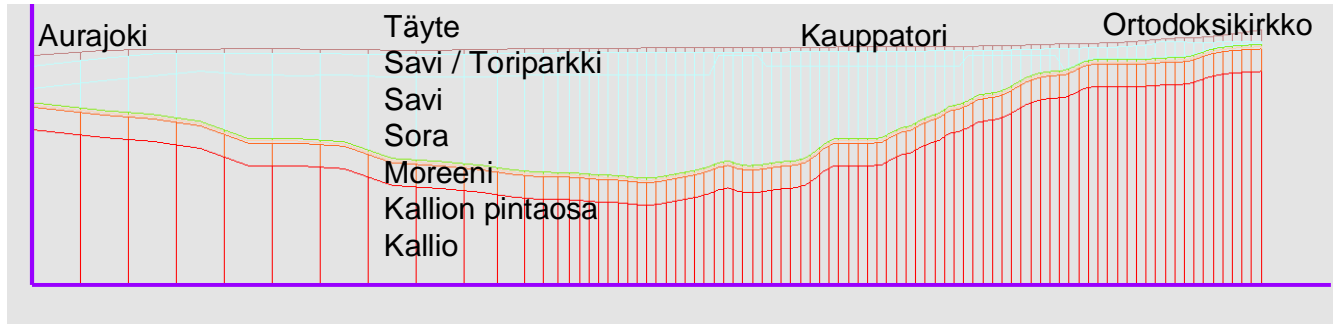
Lähtökohtina kerrosmallin muodostamiselle ovat olleet alueen topografia, savikerroksen tiedot sekä kalliopinnan tiedot. Näistä topografian ja saven alapinnan arvot muodostavat tiheimmät pisteistöt ja siksi näiden avulla on laskennallisesti täydennetty muiden kerrosten havaintoja. Sora- ja moreenikerrosten yhteydessä on hyödynnetty käytävissä olleita paksuustietoja. Pisteistöjä on täydennetty sekä laskennallisesti että editoimalla mallin ulkopuolelle vakio-arvoja, jotta koko laskentaverkolle saadaan arvot. Varsinaisia havaintoarvoja on painotettu siten, että havainnon ympäriltä on poistettu muut arvot 5 – 15 m:n säteellä.

Saven yläpinta on haettu lähtöaineistosta Sa ja Si -nimikkeillä. Tämän lisäksi on laskettu lisäpisteitä vähentämällä topografian pisteistä 2 m, eli annettu täytemaakerrokselle 2 m:n oletuspaksuus. Savikerroksen alapinta on myös haettu Sa ja Si -nimikkeillä ja näiden lisäksi on otettu mukaan Ramboll Finland Oy:n tulkitsema saven alapinnan tasa-arvokäyrästä. Savikerros on jaettu kahteen laskennalliseen osaan, jotta Toriparkki voidaan kuvata mallissa. Toriparkin yksikerroksisen osuuden pohjaksi on asetettu +2 m ja kaksikerroksisen pohjaksi -3 m.

Sora- ja moreenikerroksille on havaintojen perusteella annettu oletuspaksuudeksi 1 m. Tämän perusteella kalliopinnan pisteistöä on täydennetty vähentämällä saven

alapinnan pisteistä 2 m. Tämän jälkeen kallionpinnan pisteistä on laskettu moreenikerros joko havainnon perusteella tai oletusarvolla 1 m ja sorakerros vastaavasti moreenin päälle. Saven, soran ja moreenin mallinnetut kerrospaksuudet on esitetty kuvassa 6-3. Soran osalta nähdään, että kerrospaksuus on pääasiassa laskennallinen 1 m.

Kalliokerros on jaettu kahteen osaan siten, että kallionpinta on noin 10 m paksu. Mallin pohja on tasolla -100 m. Poikkileikkaus laskentaverkosta on esitetty kuvassa 6-2.



Kuva 6-2. Poikkileikkaus laskentaverkosta Kauppatorin alueelta.



Kuva 6-3. Saven (asteikko 0-60 m), soran ja moreenin (asteikot 0-3 m) kerrospaksuudet.

6.4 Reunaehdot

Mallin ulkoreunat on pyritty asettamaan niin, että malli muodostaisi mahdollisimman suljetun tilan. Koska Turun keskusta sisältyy laajaan valuma-alueeseen, mallia on yksinkertaistettu rajaamalla se orsi- ja pohjavesihavaintojen perusteella Aurajokeen. Länsipuolella rajausta perustuu kallioperän muodostamaan vedenjakajaan, joka on ns. no-flow -reuna eli reunan läpi ei tapahdu virtausta. Myös lounaassa on no-flow -reuna,

koska siellä virtauksen oletetaan tapahtuvan reunan suuntaisesti kohti jokea. Laajemman mallin perusteella voidaan todeta, että virtaussuunnat ovat topografian mukaisesti pääasiassa kohti jokea ja siten pienennetyssä mallissa voidaan näiltä osin käyttää no-flow -reunaehto.

Aurajoki muodostaa vakiopainereunan. Orsi- ja pohjavesihavaintojen perusteella painearvoksi on asetettu 1 m. Aurajoen pinnankorkeus on noin 0,2 m, mutta jokipenkassa on tiiviimpi kerrostuma eikä orsivedenpinta muodosta yhtenäistä tasoa joen kanssa. Tässä työssä on arvioitu, että paineellinen pohjavesi ei ole mallinnettavalla alueella suorassa yhteydessä Aurajokeen vaan purkautuu vasta alajuoksulla.

Mallinnettu alue on kokonaisuudessaan rakennettu, joten etenkin orsiveden virtaukselle rakennukset muodostavat virtausesteitä. Yliopistokadun pohjoispuolella joidenkin rakennusten perustukset ulottuvat kallioon saakka ja nämä rakennukset estävät myös paineellisen pohjaveden virtausta. Jo mallin geologinen geometria on numeerisen mallinnuksen kannalta hyvin hankala käsitellä ja tästä syystä mallia on yksinkertaistettu eikä rakennusten muodostamia virtausesteitä ole huomioitu kalibroidussa mallissa. Tästä syystä simulointitulokset kuvaavat Toriparkin yksittäistä vaikutusta kyseisessä geologisessa ympäristössä.

6.5 Alkuarvot

Laskennan käynnistyessä kullekin kerrokselle annetaan alkuarvoksi pohjavedenpinnan korkeus. Alkuarvot on lähtökohtaisesti määriteltä käyttäen lähtökohtana savien yläpinnan arvoja. Tämän jälkeen muiden kuin täyterakroksen alkuarvoja on pudotettu hieman alaspäin vastaamaan paremmin alemman pohjaveden pinnankorkeutta. Kaiken kaikkiaan on määriteltä neljä alkuarvopintaa: kerrokselle 1 sekä kerroksille 2-3, 4-5 ja 6-7.

6.6 Vedenjohtavuus

Modflow pystyy käsittelemään laskennassa anisotrooppista vedenjohtavuutta. Koska alueen vedenjohtavuusarvoista ei ole juurikaan tietoa, horisontaalista anisotropiaa ei ole määriteltä millekään kerrokselle. Vertikaalisuunnassa on savikerroksen eristävää vaikutusta vahvistettu määrittämällä sekä täyte- että savikerrokselle $K_{xy} = 10.0 \cdot K_z$ eli vertikaalinen vedenjohtavuus on dekadin pienempi kuin horisontaalinen vedenjohtavuus. Muille kerroksille on käytetty oletuskerrointa 3.0.

Modflow lukee lähtötietona vedenjohtavuusarvot (K-arvot), mutta laskentaan käytetään vedenjohtokyky-termiä, joka on K-arvon ja kerrospaksuuden tulo. Tästä syystä kerroksissa, joissa on vakio K-arvo, veden virtausmäärä kussakin hilassa riippuu kerrospaksuudesta.

Mallinnettavalta alueelta on ollut käytettävissä niukasti vedenjohtavuustietoja, joten arvot ovat suuruusluokaltaan kyseisille maa- ja kalliokerroksille tyypillisiä. Neljässä pohjavesiputkessa 114P, 116P-118P on tehty imeytyskokeet v. 1999. Havainnoista on laskettu vedenjohtavuudet sekä Slug-kokeen että Thiemin laskukaavalla. Lasketut arvot vaihtelivat välillä $1 \cdot 10^{-6}$ - $5 \cdot 10^{-6}$ m/s. Mittauspisteet sijoittuvat varsin suppealle alueelle.

6.7 Imeytyminen

Pohjavesi muodostuu sadannasta, joka Ilmatieteenlaitoksen käyttämän ilmastollisen vertailukauden 1981 – 2010 perusteella on Turun alueella 650 – 700 mm/v (Ilmatieteenlaitos 2012). Keskimääräinen haihdunta Etelä-Suomessa on noin 60 % (Mustonen et al. 1986). Haihdunnan määrään vaikuttaa mm. kasvillisuuden määrä. Mikäli imeytymisalueilla on vähän muuta kasvillisuutta kuin ruohoa tai pinta on täysin paljas, jolloin pinnalle muodostuu nopeasti kuiva kerros, haihdunta on vähäisempää.

Mallinnettavalla alueella on kaksi puistoaluetta, Puolalan puisto (vedenjakaja oletettu puiston keskelle) ja Puutorin maapintainen osa. Kun näille on laskettu pinta-alat 16 200 m² ja 1 900 m² ja käytetty haihdunnan arvona 60 % saadaan imeytyvän veden määräksi 9,3 l/min. Näiden lisäksi pohjavettä muodostuu myös muilta pienemmiltä nurmikko- tai sorapinta-alueilta. Suuruusluokkaisesti laskettuna 1 000 m² alueelta vettä imeytyy vajaat 0,5 l/min, kun haihdunta on 60 %..

Lähtökohtaisesti imeytyvän veden määrä on jaettu puoliksi orsi- ja pohjavedelle. Mallin vaikean geometrian takia orsiveden tulovirtaama on määritetty sadantana koko mallin alueelle. Tavoitteena oli pitää mahdollisimman suuri osa täytemaakerroksesta laskennan piirissä, jotta hilojen kuivuminen ei tuottaisi ongelmaa paineellisen pohjaveden mallinnukselle. Paineellisen pohjaveden osalta imeytyvä vesi on määritelty realistisesti tulovirtaamana mallin luoteisreunalta.

Kalibroinnin tavoitteena on pitää imeytyvän veden määrä noin 10 l/min suuruusluokassa.

6.8 Kalibroitu malli

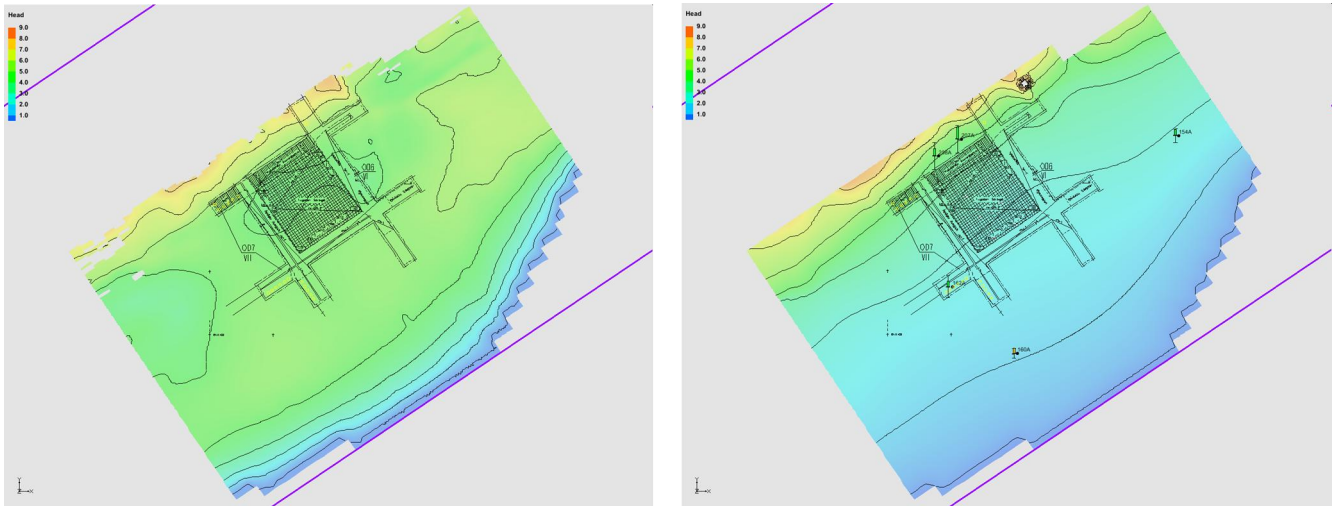
Mallin kalibrointi perustuu vuosien 1979 – 2011 sorakerroksesta mitattujen pohjaveden painehavaintojen mediaaniin ja vaihteluväliin havaintopisteissä VP154A, VP160A, VP162A, VP207A ja VP208A.

Kerrostien vedenjohtavuudet muodostuivat seuraaviksi: täytemaa $8 \cdot 10^{-8}$ m/s, savi (Toriparkki) $4 \cdot 10^{-8}$ m/s, savi $2 \cdot 10^{-8}$ m/s, sora $6,5 \cdot 10^{-6}$ m/s, moreeni $3 \cdot 10^{-7}$ m/s, kalliopinta $6 \cdot 10^{-8}$ m/s ja kallio $9 \cdot 10^{-9}$ m/s.

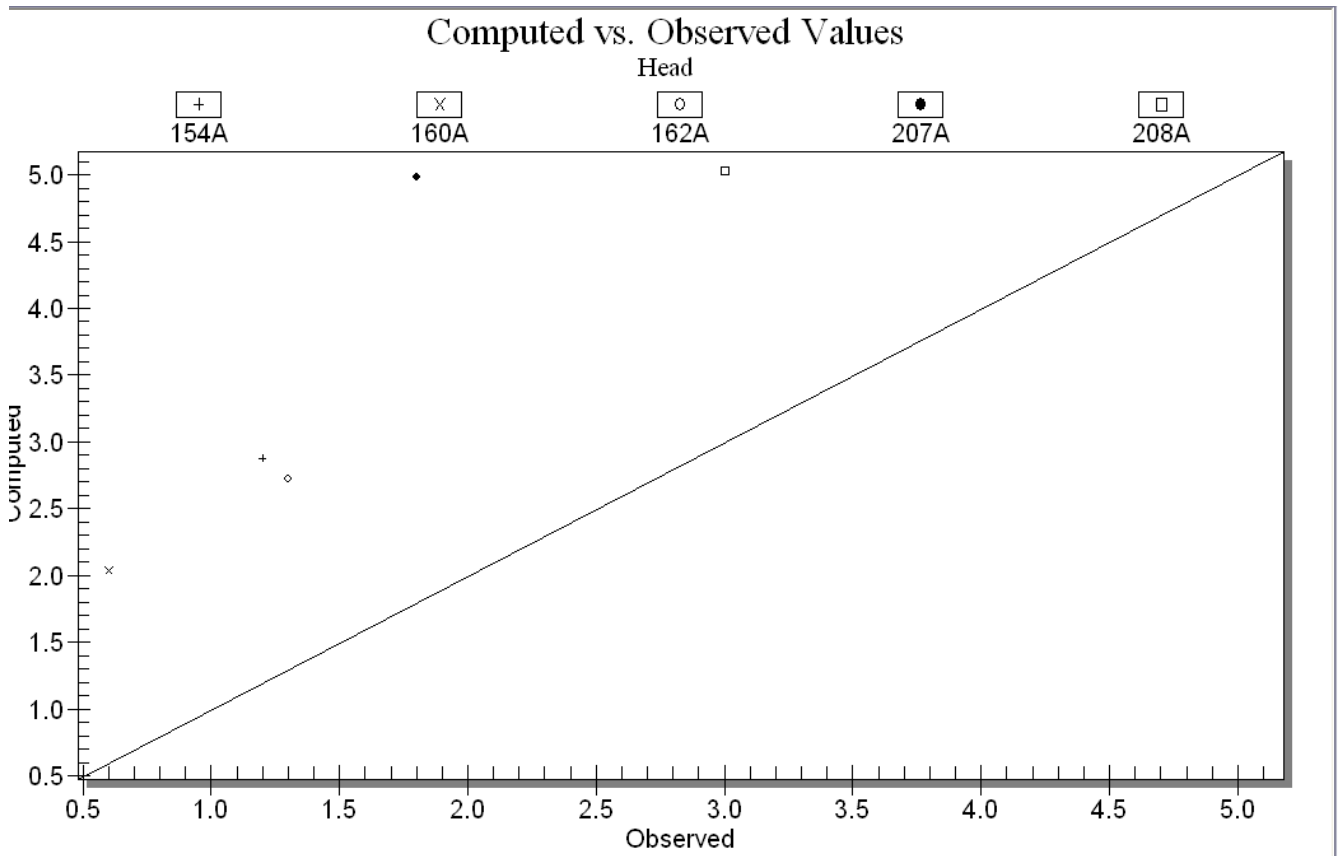
Sadantana määritelty orsiveden tulovirtaama on 9,1 l/min ja paineellisen pohjaveden tulovirtaama on 2,6 l/min eli yhteensä 11,6 l/min.

Aurajoen rantaan määriteltyjen vakiopainehilojen kautta poistovirtaama on 10,9 l/min.

Paineellisen pohjaveden mallinnettu pinta ylemmässä savikerroksessa sekä sorakerroksessa on esitetty kuvassa 6-4 ja pohjavesiputkien havaintojen ja mallinnettujen arvojen välinen ero kuvassa 6-5.



Kuva 6-4. Kalibroidun mallin pohjaveden painekorkeus ylemmässä savikerroksessa (vasen) sekä sorakerroksessa (oikea).



Kuva 6-5. Mallinnetun pohjavesipinnan vastaavuus havaintoihin verrattuna kun vertailuarvona on kaikkien pistekohtaiset mediaanit. Ero havaintoihin vaihtelee välillä -1,42 m (162A) ja -3,2 m (207A).

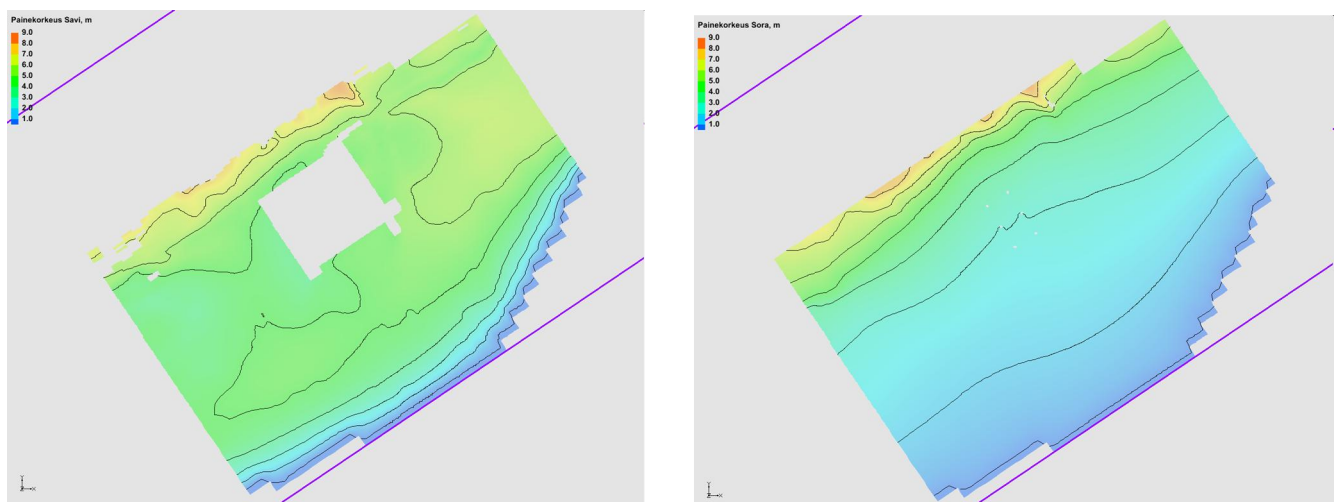
7 TORIPARKIN SIMULOINTI

Toriparkin simulointi on toteutettu siten, että kalibroidusta mallista on poistettu laskennasta kaavaehdotuksen mahdollistama tilavuus täytemaakerroksesta ja ylemmästä savikerroksesta. Savikerroksen pohja on asetettu 1-kerroksisen tilan osalta tasolle +2.0 m ja 2-kerroksisen tilan osalta tasolle -3.0 m. Rakennettava tila paalutetaan alustavan suunnitelman mukaan 4 m x 4 m ruutuun halkaisijaltaan 300 mm paaluilla. Paalutus on kuvattu mallissa siten, että paaluille on laskettu ensin kokonaispinta-ala, minkä jälkeen pinta-ala on suhteutettu mallin hilakokoon. Näin laskettuna paalut on kuvattu mallissa kuutena no-flow -hilana alemmassa savikerroksessa sekä sora- ja moreenikerroksissa (Kuva 7-1). Nykyisen rakennuskannan kellaritilat ja paalutukset eivät ole mallissa mukana.

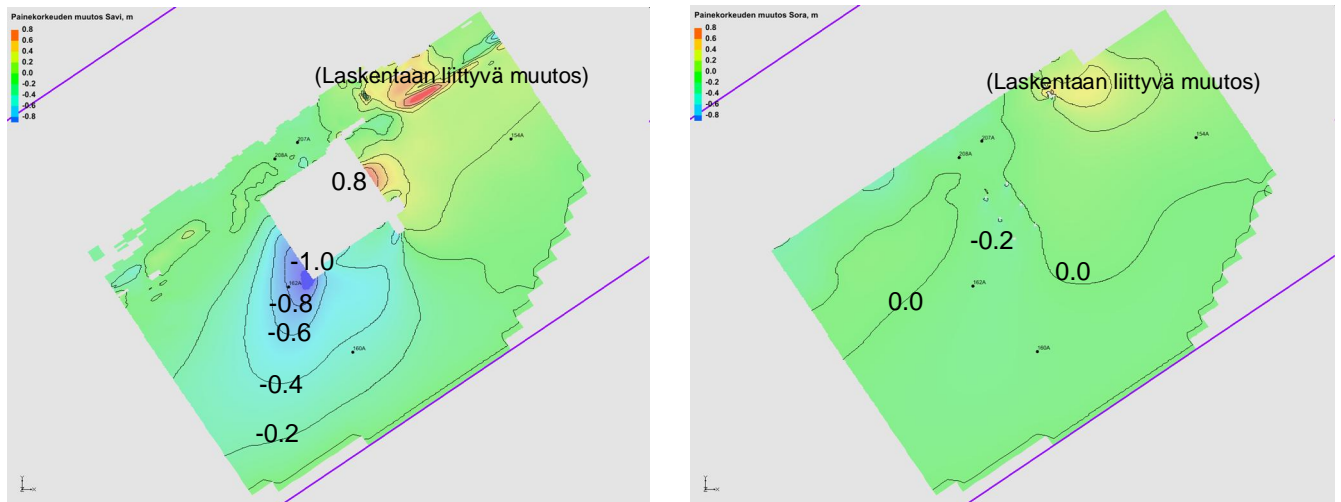
Kun Toriparkin alue muutettiin no-flow -alueeksi, orsiveden tulovirtaama eli sadannan määrä pieneni noin 10 %. Jotta simulointilaskenta tuottaisi saman ratkaisun kuin kalibroitu malli, soran vedenjohtavuutta on jouduttu pienentämään arvosta $6,5 \cdot 10^{-6}$ m/s arvoon $6,0 \cdot 10^{-6}$ m/s. Vedenjohtavuuden pienentäminen vähensi poistovirtaamaa Aurajoen rannan vakiopainereunan kautta ja tasoitti näin vesitasetta.

Toriparkin vaikutusta on laskettu vain virtausesteenä, koska saven vedenjohtavuus on niin pieni, ettei pohjavesivuoto ole ongelma. Vaikutus on laskettu erotuspintoina kalibroidun mallin ja simuloidun tuloksen välillä (Kuva 7-2). Toriparkin kerroksessa savessa painekorkeuden alenema on suurimmillaan noin 1,0 m Toriparkin välittömässä läheisyydessä, ja sorakerroksessa, mallinnettujen paalujen kohdalla noin 0,2 m. Toriparkin koillispuolella painekorkeuden nousu on myös metrin luokkaa.

Pohjaveden virtaussuunta mallinnettavalla alueella on kohti Aurajokea, joten virtausesteen vaikutus näkyy Puolalan puiston puolella painekorkeuden nousuna ja Aurajoen puolella laskuna. Koska mallissa ei ole mukana nykyisen rakennuskannan kellaritiloja tai paalutuksia, niin Toriparkin etelä-lounassuunnalla olevien rakenteiden vastaavanlainen virtausestevaikutus puuttuu tuloksesta. Tästä syystä simulointitulosta voidaan pitää ns. pahimman tapauksen tuloksena.



Kuva 7-1. Pohjaveden painekorkeus ylemmässä savikerroksessa (vasen) sekä sorakerroksessa (oikea).



Kuva 7-2. Pohjaveden painekorkeuden muutos ylemmässä savikerroksessa (vasen) sekä sorakerroksessa (oikea). Kuviin on merkitty numeeriseen laskentaan liittyvä muutoskohta, joka ei kuvaa todellista vaikutusta.

8 TULOSTEN ARVIOINTI

Turun keskustan maa- ja kallioperän topografia ja geologia on pohjavesien virtausmallinnuksen kannalta vaativa, koska jyrkkä gradientti yhdistettynä paikoitellen pieniin kerrospaksuuksiin on numeerisesti vaikea. Siksi, vaikka alustava malli on muodostettu laajalle alueelle, varsinainen kalibrointi on tehty pienemmälle mallille kattamaan torin ja sen lähiympäristön.

Mallia muodostettaessa tavoitteena on ollut pitää se mahdollisimman yksinkertaisena, jotta lähtöoletukset ja -arvot olisivat tulosten arvioinnin kannalta selkeät. Koska vedenjohtavuuden mittaustuloksia ei ollut käytettävissä alueellisen vaihtelun tueksi, malli on toteutettu käyttämällä vakioarvoja kerroksittain.

Topografian jyrkän gradientin takia täytemaakerroksen mallinnuksessa tuli ongelmaksi kerroksen kuivuminen. Jotta se ei aiheuttaisi häiriötä varsinaiselle tavoitteelle eli paineellisen pohjaveden mallinnukselle, on orsiveden tulovirtaus (sadanta) jouduttu nostamaan suhteellisen suureksi. Tästä syystä orsiveden pinnankorkeus on laajalti liian korkealla ja tämä vaikuttaa osittain myös siihen, että paineellisen pohjaveden mallinnettu pinnankorkeus on havaintoja korkeampi.

Kalibroidun mallin vesitase vastaa suuruusluokaltaan arvioitua 10 l/min, mutta tulovirtaama on hieman poistovirtaamaa suurempi. Mallin vastaavuutta pohjavesihavaintoihin sekä vesitasetta olisi voinut parantaa käyttämällä automaattista kalibrointiä sorakerroksen vedenjohtavuudelle, jolloin kerroksen vedenjohtavuus olisi alueellisesti vaihdellut tuottaen sopivamman poistovirtaaman ja painekorkeuden. Tämä ei kuitenkaan olisi olennaisesti parantanut mallin käytettävyyttä Toriparkin simulointiin, koska mallinnuksen päätavoitteena oli arvioida muutoksen suuruutta eikä absoluuttista pinnankorkeutta.

Simuloidut pohjaveden painekorkeuden paikalliset alenemat ovat sorakerroksessa luokkaa 0,2 m ja savikerroksessa enimmillään luokkaa 1,0 m aivan Toriparkin välittömässä läheisyydessä. Toriparkin koillispuolella painekorkeuden nousu on myös metrin luokkaa. Koska Toriparkki sijoittuu savikerrokseen, vaikutukset painekorkeuteen

johtuvat tilan muodostamasta virtausesteestä eikä pohjavesivuodosta. Laskennallista tulosta arvioitaessa on kuitenkin otettava huomioon, että vastaavanlaisia kellaritiloja on nykyisessä rakennuskannassa mutta ne eivät ole mukana numeerisessa mallissa. Tästä syystä Toriparkin etelä-lounassuunnassa sijaitsevat kellaritilat ja rakennusten paalutukset toimivat vastaavalla tavalla padottavina rakenteina ja nostavat painekorkeutta Toriparkin puolella tasoittaen Toriparkin vaikutuksia. Simulointitulosta voidaan pitää ns. pahimman tapauksen tarkasteluna.

Lisäksi Toriparkin simuloinnissa saatujen alenema-arvojen arvioinnissa tulee ottaa huomioon, että simuloinnit on tehty steady-state -laskentana, jolloin ajallista muutosnopeutta ei lasketa. Koska saven vedenjohtavuus on pieni, niin myös pohjaveden virtausnopeus savessa on hyvin alhainen. 2D-mallin arvoilla laskettuna virtausnopeus on vain 0,014 m/vuosi. Tästä syystä rakentamisen aikaiset vaikutukset savessa esiintyvään pohjaveteen rajoittuvat Toriparkin aivan välittömään läheisyyteen ja mahdolliset muutokset muodostuvat erittäin hitaasti.

Saven pienestä vedenjohtavuudesta johtuen, paineellisen pohjaveden vuoto ei ole ongelma.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Savikerrokseen rakennettavan Toriparkin simuloidut vaikutukset paineelliseen pohjaveteen liittyvät maanalaisen tilan muodostaman virtausesteen aiheuttamaan painekorkeuden alenemaan savikerroksessa. Laskennallinen alenema on enimmillään paikallisesti metrin luokkaa Toriparkin lounaisella puolella. Numeerinen malli on kuitenkin yksinkertaistettu eikä mallissa ole mukana nykyisen rakennuskannan kellarikerroksia eikä paalutuksia. Etelä-lounassuunnassa olevat kellarit ja paalutukset muodostavat savessa esiintyvälle pohjavedelle vastaavanlaisia virtausesteitä ja puolestaan nostavat painekorkeutta Toriparkin puolella, jolloin vaikutukset tasoittuvat.

Saven pienen vedenjohtavuuden takia paineellisen pohjaveden vuotoa ei tapahdu Toriparkin tiloihin. Samasta syystä myös painekorkeuden muutokset tapahtuvat erittäin hitaasti. Pohjaveden virtausnopeus savessa on suuruusluokkaisesti senttimetri vuodessa.

Koska Toriparkin rakentaminen ei vaikuta paineellisen pohjaveden muodostumiseen eikä aiheuta pohjavesivuotoa, ja vastaavanlaisia kellarirakenteita ja paalutuksia on jo nykyisessä rakennuskannassa, numeerisen simuloinnin tulosten perusteella voidaan arvioida, että rakentaminen ei aiheuta saven kuivumista eikä rakenteiden painumista ja pitkänajan laskennalliset vaikutukset kompensoituvat ympäristön maanalaisilla rakenteilla.

10 KIRJALLISUUSLUETTELO

Ilmatieteenlaitos. 2012. www.ilmatieteenlaitos.fi

McDonald, M.G. & Harbaugh, A.W. 1988. A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model. Washington: Scientific software group. Techniques of Water-Resources Investigations of the USGS.

Länsivaara, T. 2010. Kauppatorin asemakaava, ns. Toriparkki. Pohjarakentamisen ympäristövaikutukset, geoteknisten selvitysten riittävyys. KHO Asiantuntijalausunto 13851-2003.

Mustonen, S. (toim.), Kuusisto, E., Leskelä, H. & Vakkilainen, P. 1986. Sovellettu hydrologia. Helsinki: Vesiyhdistys r.y. 503 s.

Niemelä, J. (toim.), Stén, C.-G., Taka, M. & Winterhalter, B. 1987. Turun-Salon seudun maaperä. Espoo: Geologian tutkimuskeskus. Suomen geologinen kartta 1:100 000, Maaperäkarttojen selitykset, lehdet 1043 ja 2021. 88 s.