

9.4.2013

## **Pälkäneen Syrjänharjun monikerroksinen pohjaveden virtausmalli – Mallinnusraporttia täydentävät tiedot ja simulaatiot Vehoniemen-Isokankaan harjualueen Natura-arvioinnin täydennystä varten**

### **1 TAUSTA JA TAVOITTEET**

Tavase Oy on tehnyt tekopohjavesilaitoksen valmistumiseen tähtääviä tutkimuksia Kangasalan ja Pälkäneen kuntien alueella sijaitseville tutkimusalueilla. Pälkäneeltä, tutkimusalueelta 3 on laadittu pohjaveden virtausmallit aikaisemmin vuosina 1998 – 2001 sekä 2002-2003.

- Vehoniemenharjun tekopohjavesimallinnus, kaivo 3, Pälkäne, Isokangas. TAVASE Eteläinen työryhmä. Suomen ympäristökeskus, Sirkku M. Tuominen 7.2.2001.
- Vehoniemen Isokankaan yleispiirteiset pohjaveden virtausmallit Tampereen Vesi. Jaakko Pöyry Infra, Maa ja Vesi 67025149WR 12.6.2003.

Vehoniemen-Isokankaan tekopohjavesihankkeen ympäristövaikutusten arviointimenettely päättyi vuonna 2003. Yhteysviranomaisen (Keski-Suomen ympäristökeskus) arviointiselostuksesta 9.7.2003 antamassa lausunnossa esitettiin Pälkäneen alueella tehtäväksi tutkimuksia ja selvityksiä, jotka tarkentaisivat pohjaveden virtauskuvaa, veden laadun muutoksia ja ympäristövaikutuksia. Virtausmallin edelleen kehittäminen nähtiin ratkaisevan tärkeäksi.

Lisäksi yhteysviranomainen edellytti lausunnossaan, että hankkeesta vastaavan tulee jatkaa selvityksiä Keiniänrannan alueelle purkautuvan luonnontilaisen pohjaveden määrän ja laadun lyhyt- ja pitkäkestoisen vaihtelun selvittämiseksi. Yhteysviranomaisen näkemyksen mukaan vaikutusten hallinnan tavoitteena tuli olla se, että Keiniänrannan luontotyyppien ominaispiirteiden säilyminen voidaan turvata paitsi lyhyellä myös pitkällä aikavälillä. Jatkosuunnittelun tuli pohjata Keiniänrannan lähteiden virtaamien, pohjaveden pinnankorkeuden ja sen laadun nykytilan ja vaihtelun riittävän tasoiseen seurantaan. Yhteysviranomaisen käsityksen mukaan ympäristövaikutusten tarkempaa arviointia varten keskeistä oli luotettavasti todennetun tekopohjaveden virtausmallin kehittäminen.

Kyseiselle alueelle tehtiin uusi monikerroksinen pohjaveden virtausmalli vuonna 2011 (Artimo, Saraperä ja Puurunen 2011). Virtausmallin valmistamisessa käytettiin lähtötietoina Tavase Oy:n vuonna 2010 päättyneen imeytys- ja merkkiainekokeen tuloksia, sekä kaikkea muuta mallinnuksen ajankohtaan mennessä alueelta saatavilla ollutta tutkimusaineistoa. Aineisto evaluoitiin ja osittain myös tulkittiin uudelleen.

Vuoden 2003 jälkeen tehdyt tutkimukset ja selvitykset on esitetty tämän selvityksen toisessa luvussa.

Mallinnustyön tavoitteena oli luoda virtausmalli, joka toistaa yksikerroksisia virtausmalleja paremmin sekä alueen pohjaveden pinnan luonnontilan että imeytyskokeiden yhteydessä havaitut pohjaveden pinnat. Lisäksi virtausmallinnuksen tavoitteena oli simuloida erilaisia tuotantotilanteita, optimoida tuotantoa sekä minimoida mallitarkasteluiden avulla mahdollisia ympäristövaikutuksia. Mallilla tehtiin lisäksi simulointeja koko alueen toimivuudesta tuotantovesimäärällä 20 000 m<sup>3</sup>/vrk.

Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintovirasto (AVI) on 4.3.2013 pyytänyt Tavase Oy:tä täydentämään Natura-arviointia Kangasalan ja Pälkäneen kuntiin sijoittuvan Vehoniemen - Isokankaan harjualueen osalta. AVI toteaa, että Natura-arviointia on täydennettävä Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen lausunnossa mainittujen puutteiden osalta. Tavase Oy on osallistunut ELY-keskuksessa järjestettyyn neuvotteluun, jossa ELY-keskus on tarkentanut lausunnossaan esitettyjä täydennysvaatimuksia. Tässä selvityksessä vastataan AVI:n ja ELY-keskuksen esille nostamiin asiakohtiin.

## **2 VIRTausmallinnukseen liittyvät tutkimukset YVA-MENETTELYN (2003) JÄLKEEN**

Ympäristövaikutusten arviointi-menettelyn (2003) jälkeen tutkimuksia on täydennetty merkittävästi. Virtausmallinnuksen lähtötietoina hyödynnetyt selvitykset, niiden ajankohta ja raportti on kerrottu ohessa. Tarkemmat tutkimustiedot löytyvät tutkimusraporteista.

### **Painovoimamittaukset**

Painovoimamittaus on geofysikaalinen menetelmä, jolla saadaan selville arvio kallionpinnan korkeusasemasta. Painovoimamittauksia tehtiin tutkimusalueella 3 (Pälkäne) vuosina 1994 – 1995:

- Pälkäneen Isokankaan ja Kangasalan Vehoniemenharjun gravimetriset tutkimukset, loppuraportti 14.2.1995. Geologian tutkimuskeskus.
- Pälkäneen pohjavesialueen vuosien 1994 - 1999 painovoimaprofiilien uudelleentulkinta. 22.2.2008. Geologian tutkimuskeskus.

### **Maatutkaluotaukset**

Geo-Work Oy teki maatutkaluotauksia alueella vuosina 2009 ja 2010.

- Geo-Work Oy (2009). Maatutkaluotaus Pälkäneellä. Tavase Oy:n tutkimusalue 3 Pälkäne (TA3). LKK17/16.4.2009.
- Geo-Work Oy (2010). Maatutkaluotaus Pälkäneellä. Tavase Oy:n tutkimusalue 3 Pälkäne (TA3), Taustialantien kynnyks. LKK17/2.6.2010.

- Geo-Work Oy (2010). Maatutkaluotaus Pälkäneellä 26.5.2010. Tavase Oy:n tutkimusalue 3 Pälkäne (TA3), Taustialantien kynnys. LKK17/4.10.2010.
- Geo-Work Oy (2010). Maatutkaluotaus Pälkäneellä. Tavase Oy:n tutkimusalueet 1 Kangasala (TA1), 2 Kangasala (TA2) ja 3 Pälkäne (TA3). LKK45/27.12.2010.

Maatutkaluotauksilla saadaan tietoa maaperän rakenteesta sekä kalliopinnan korkeusasemasta. Alueen sedimentologisessa tulkinnassa on käytetty apuna em. maatutkaluotausaineistoa. Esimerkiksi Keiniänrannan alueella maatutkaluotusta tehtiin noin 2,2 km matkalla

### **Kairaukset ja havaintoputkien asennus**

Yva-menettelyn jälkeen tutkimusalueelle TA3 on asennettu 44 pohjavesiputkea. Kaikkiaan alueella on 75 havaintoputkea. Kairauksista on saatu runsaasti tietoa maaperäolosuhteista. Suurin osa pisteistä on kalliovarmistaisia ja näin on saatu myös tarkkaa tietoa kallioperän korkeusasemasta.

### **Kaivokartoitukset**

Yksityiskaivojen kartoitusta on täydennetty YVA-menettelyn jälkeen kahteen otteeseen.

- Pöyry Environment Oy. Pälkäneen kaivokartoitus vuonna 2009. 26.11.2009. 67025149.ER2.SLU
- Pöyry Environment Oy. Keiniänrannan mittapatojen asennus ja kaivokartoitus. 8.12.2006. 67025149.ER2.

### **Pohjavesipinnan korkeuden seuranta**

Pohjavesipinnan korkeutta on seurattu tutkimusalueen havaintoputkista ja yksityiskaivoista säännöllisesti kerran kuukaudessa vuosina 2007 -2011. Tarkkailupisteinä on havaintoputkia n. 60 kpl ja yksityisiä talousvesikaivoja n. 20 kpl. Imeytys- ja merkkiainekokeen aikana (9 kk) tarkkailun intensiteettiä lisättiin huomattavasti.

### **Vedenjohtavuusmittaukset**

Kerroksittaisia vedenjohtavuusmittauksia tehtiin alueen pohjavesiputkista:

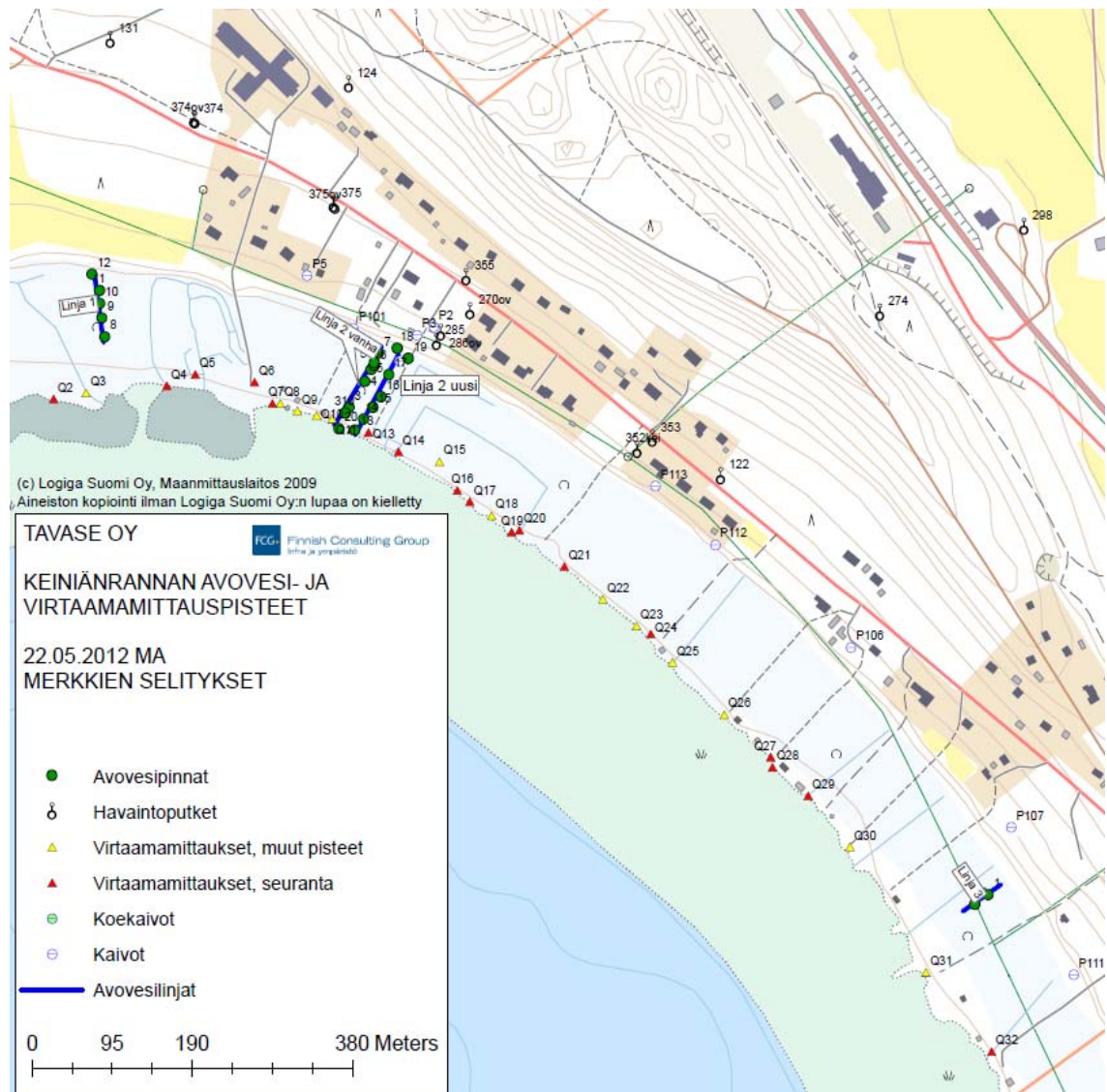
- Tavase Oy, Packer-mittaukset ja videokuvaukset 21.10. – 21.11.2009, Pöyry Environment Oy.
- Tavase Oy, Packer-mittaukset 9.2.-12.2.2009, Pöyry Environment Oy.
- Tavase Oy, vedenjohtavuusmittaukset kaivonpaikan määrittämiseksi, Pöyry Environment 2007 Oy.

Vedenjohtavuusmittausten tuloksia käytettiin virtausmallin vedenjohtavuusarvojen määrittelyssä.

### Keiniänrannan pohjavesipurkaumien seuranta

Mallasveteen Keiniänrannassa purkautuvan pohjaveden määrää on mitattu mittapadoin ja astiamittauksin 15 – 18 pisteessä säännöllisesti vuosina 2007 – 2012 (kuvat 1 ja 2).

- Pöyry Environment Oy. Keiniänrannan mittapatojen asennus ja kaivokartoitus. 8.12.2006. 67025149.ER2.



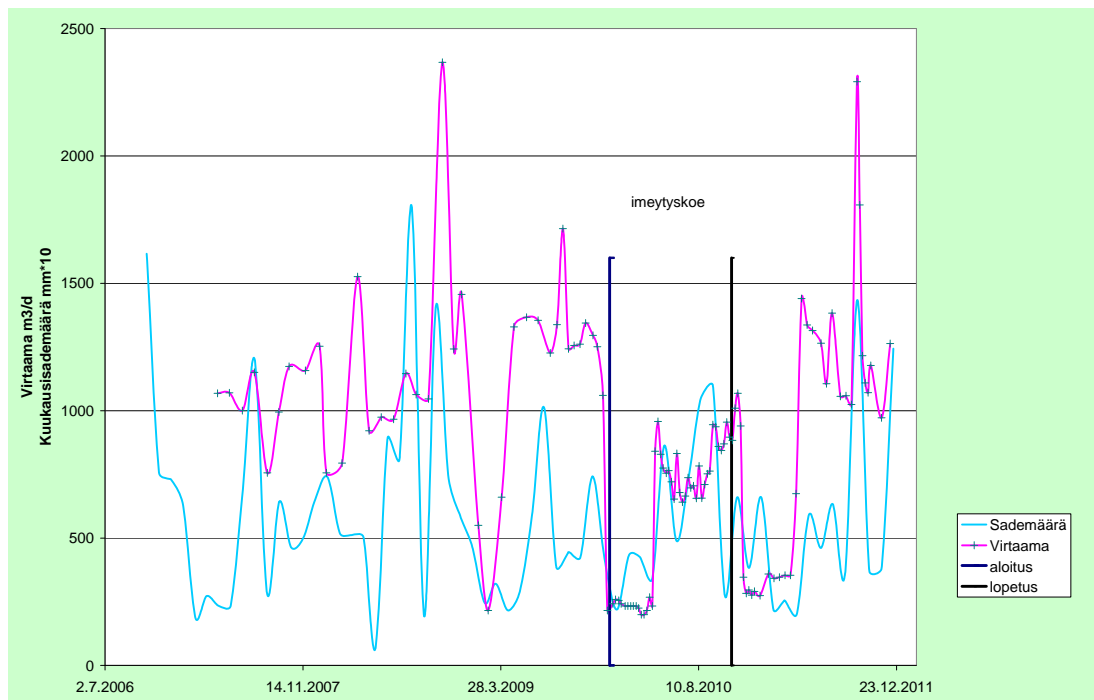
Kuva 1. Keiniänrannan virtaamamittauspisteet, avovesipintojen seurantapisteet (linja 1, 2 ja 3) sekä pohjavesiputket ja yksityiskaivot.

### Keiniänrannan avovesipintojen seuranta

Avovesipintojen (lähde- ja rimpipinnat) mittaukset on suoritettu kolmelta linjalta (kuva 1). Mittaukset on tehty vuosina 2006 – 2011 2 - 3 kertaa vuodessa.

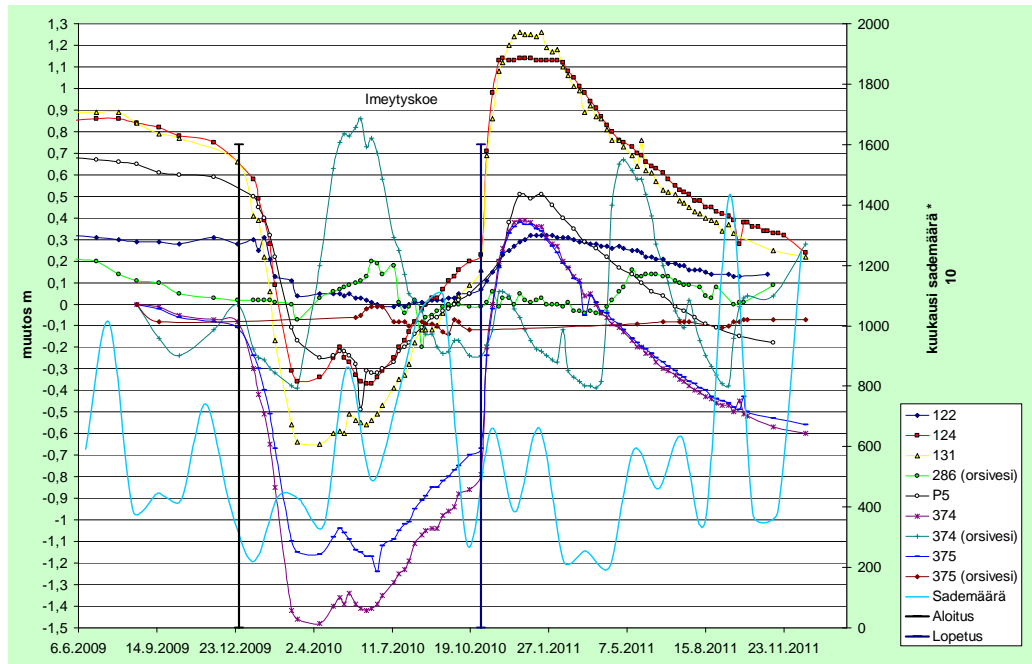
- FCG Planeko Oy (2008). Keiniänrannan Natura-alue. Veden pinnan mittaukset, väliraportti. 4516D1276. 12.5.2008.
- FCG Planeko Oy (2008). Keiniänrannan Natura-alue. Veden pinnan mittaukset, väliraportti. 4516D1276, 1.10.2008.
- FCG, Finnish Consulting Group Oy (2010). Keiniänrannan Natura-alue. Avovesipinnan mittaukset, vuoden 2009 mittaustulokset. 4516D1276, 21.06.2010.
- FCG Finnish Consulting Group Oy (2011). Keiniänrannan Natura-alue. Avovesipinnan mittaukset ja vedenlaatu. Vuoden 2010 tulokset. 4516D1276, 19.1.2011.

Seurantaraporteissa on koottu alueen virtaamatiedot (kuva 2), vedenpinnan tiedot (kuva 3) havaintoputkista ja kaivoista sekä avovesipintojen vaaitustiedot. Tätä aineistoa on täydennetty sademäärätiedoilla ja Mallasveden pinnankorkeuslukemilla. Veden laatutiedot on myös sisällytetty vuosiraporttiin.



Kuva 2. Sademäärä ja Keiniänrannan mitattujen virtaamien kokonaismäärä.

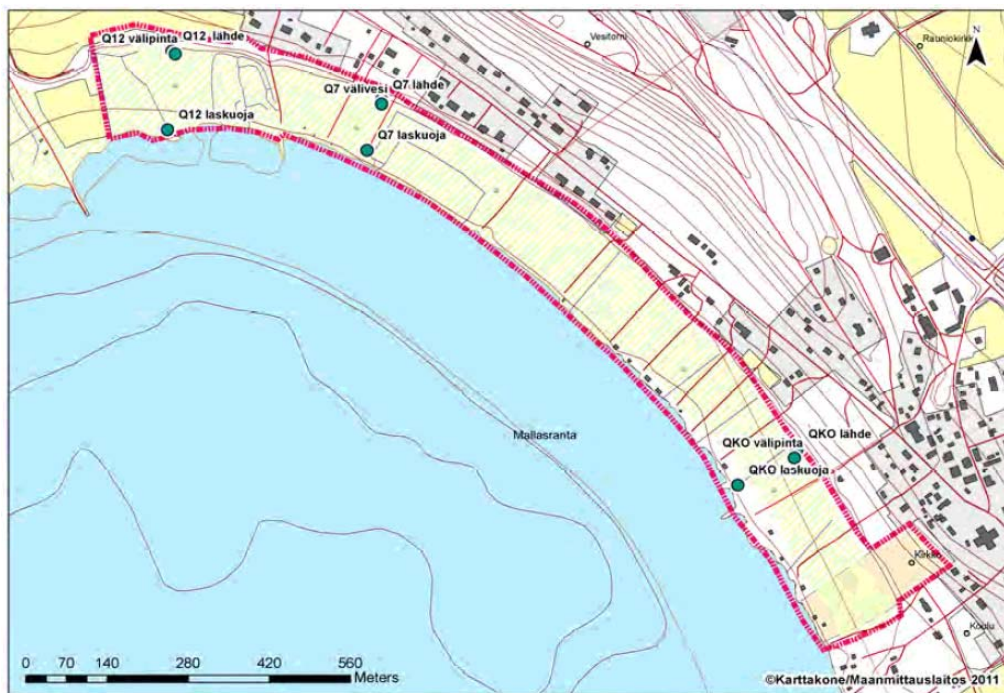
Keiniänrannan lähteiden virtaamien keskiarvo oli ennen imeytys- ja merkkiainekoetta (vuosina 2008 ja 2009) n. 1100 m<sup>3</sup>/vrk ja kokeen aikana vuonna 2010 n. 590 m<sup>3</sup>/vrk.



Kuva 3. Sademäärä ja pohjaveden ja orsivesipinnan muutosten suuruus Keiniänrannassa.

### Keiniänrannan veden laadun seuranta

Veden laatua on seurattu kuudesta seurantapistestä (kuva 4). Pisteet ovat lähteitä, avovesipintoja ja laskuojia. Näytteitä on otettu 22.10 – 15.11.2010 välisenä aikana sekä 13.9–15.11.2011.



Kuva 4. Keiniänrannan vesinäytteiden ottopaikat.

### Imeytys- ja merkkiainekoe

28.12.2009 – 1.11.2010 tehtiin tutkimusalueella imeytys- ja merkkiainekoe. Koekaivoista K3 ja K4 pumpattiin kokeen aikana vettä yhteensä maksimissaan 7000 m<sup>3</sup>/vrk. Vesi imeytettiin maaperään imeytysharavien sekä imeytyskaivojen IK1, IK2 ja IK3 kautta.

Merkkiainekokeessa pohjavesikerrokseen syötettiin kahden imeytyskaivon kautta merkkiainetta, natriumjodidia, jonka kulkua seurattiin tiiviillä vesinäytteenotolla. Merkkiainekokeella saatiin tietoa maaperän vedenjohtavuudesta, viipymistä sekä virtauskuvasta.

Kokeen kulku ja tulokset on raportoitu:

- Tavase Oy, Imeytys- ja merkkiainekoe Pälkäneellä, loppuraportti. Pöyry Finland Oy, 67090596.BGW. 30.3.2011

Imeytyskokeen yhteydessä tehty merkkiainekoe on raportoitu:

- Tracer investigations in the Isokangas esker, Tavase project, Geosigma AB, February 2011.

## 3

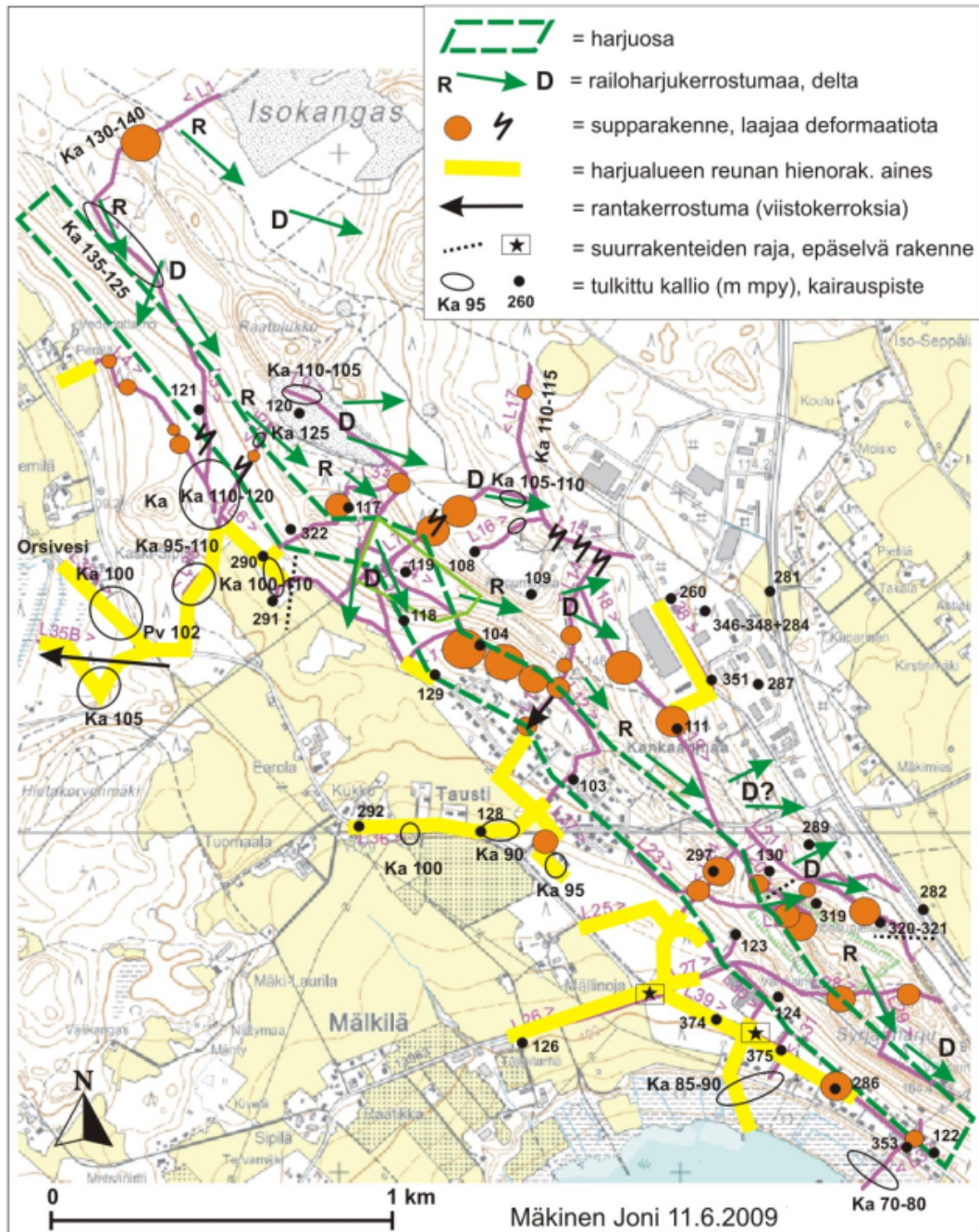
### SEDIMENTOLOGINEN RAKENNETULKINTA

Koko kattavan muun tutkimusaineiston, maastokäyntien ja maatulkuotusten pohjalta tehtiin sedimentologiset rakennetulkinnat Turun yliopistossa.

- Mäkinen, J. (2009). Pälkäneen Isokankaan-Syrjänharjun maatulkuotuksen (Geo-Work 16.4.2009) sedimentologinen rakennetulkinta. Raportti 11.6.2009.
- Mäkinen, J. (2010). Tavase Oy:n tutkimusalue 3 Pälkäne (TA3), Taustialantien kynnysen maatulkuotuksen (Geo-Work Oy 26.5.2010) rakennetulkinta. Raportti 6.9.2010.
- Mäkinen, J. (2011 a). Tavase Oy:n tutkimusalue 3 Pälkäneen (TA3), maatulkuotuksen (Geo-Work Oy 27.12.2010) rakennetulkinta. Raportti 14.2.2011.
- Mäkinen, J. (2011 b). Yhteenvedo Tavase Oy:n tutkimusalue 3 Pälkäne (TA3) maatulkuotusten (Geo-Work Oy 2009-2010) rakennetulkinnista. 9.3.2011.

Sedimentologisten selvitysten avulla hahmotettiin harjumuodostuman syntyyn vaikuttaneet kerrostumisvaiheet, näihin liittyvät kerrostumisyksiköt, muodostuman suurrakenteet ja niiden jatkuvuus sekä aineksen pääpiirteet. Sedimentologisen tutkimuksen tavoitteena on systemaattista maaperäkerrosten kuvausta ja luokittelua käyttäen tulkita muodostuman syntyyn vaikuttaneet prosessit ja erilaiset kerrostumisympäristöt sekä laatia muodostuman syntyä ja rakennetta kuvaava kerrostumismalli. Esimerkki rakennetulkintaesityksestä on kuvassa 5.





Kuva 5. Maatutkalinjoja tutkimusalueella TA3 ja aineiston tulkintaa.

#### 4

#### POHJAVEDEN VIRTAAUSMALLIN LAADINNASTA JA TULOKSISTA

Vuoden 2011 pohjaveden virtausmallin rakenne kuvattiin aiemmista yksikerroksisista virtausmalleista poikkeavalla tavalla. Aiemmissä malleissa ongelmat pohjavesiesiintymän luonnontilan tai merkkiainekokeen aikaisen tilanteen kuvauksissa johtuivat erityisesti ns. Taustialantien kynnyksen kuvaamistavasta mallinnusta varten. Kyseisellä alueella pohjaveden pinnan taso muuttuu nopeasti kallionkynnyksen takia. Aiemmissä malleissa kynnyksen kohdalla esiintyvän ohuen pohjavesikerroksen kuvaamiseen käytettyjä mallin lähtöparametreja jouduttiin



yleistämään, mikä johti mallin laskemien pohjaveden pintojen heikkoon vastaavuuteen mitattuihin pohjaveden pintoihin verrattuna. Ongelma ratkaistiin siten, että uuden pohjaveden virtausmallin kerrokset ja niiden tasot kynnyksen alueella kuvattiin täsmälleen kynnyksen alueella tehdyissä maaperäkairauksissa havaittujen maalajien rajapintojen mukaisesti. Kairaustiedoista saatiin myös mainittuihin mallin kerroksiin syötettyjen maaperän ominaisuuksia kuvaavien parametrien arvot.

Natura-arvioinnin täydennyspyynnössä on nostettu esille pohjavesimallinnusraportissa mainittu pohjaveden virtausmallin kuvauksen epävarmuus reuna-alueilla, joilta ei ollut saatavilla kattavaa tutkimustietoa. Edellä esitetyn perusteella on selvää, ettei mallin reuna-alueilla päästy samaan tarkkuuteen kuin Taustialantien kynnyksen alueella, jossa maaperäkerrosten kuvaus pystyttiin toteuttamaan parhaimmillaan kymmenen senttimetrin tarkkuudella. Koska uuden mallin luomiseen oli kuitenkin käytettävissä merkittävästi enemmän lähtötietoja kuin vuoden 2003 YVA-yhteysviranomaisen antaman lausunnon aikana, uusi malli saatiin merkittävästi aiempaa paremmin vastaamaan mitattua lähtötilannetta ja merkkiainekokeen aikaista tilannetta koko mallinnetulla alueella. Tulokset on nähtävissä liitteenä olevassa pohjaveden virtausmallinnusraportissa sekä mallin tarkkuustason että luotettavuuden osalta.

## 5 MONIKERROKSISEN POHJAVEDEN VIRTausmallin KÄYTTÖ TUOTANTOTILANTEEN SUUNNITTELUSSA

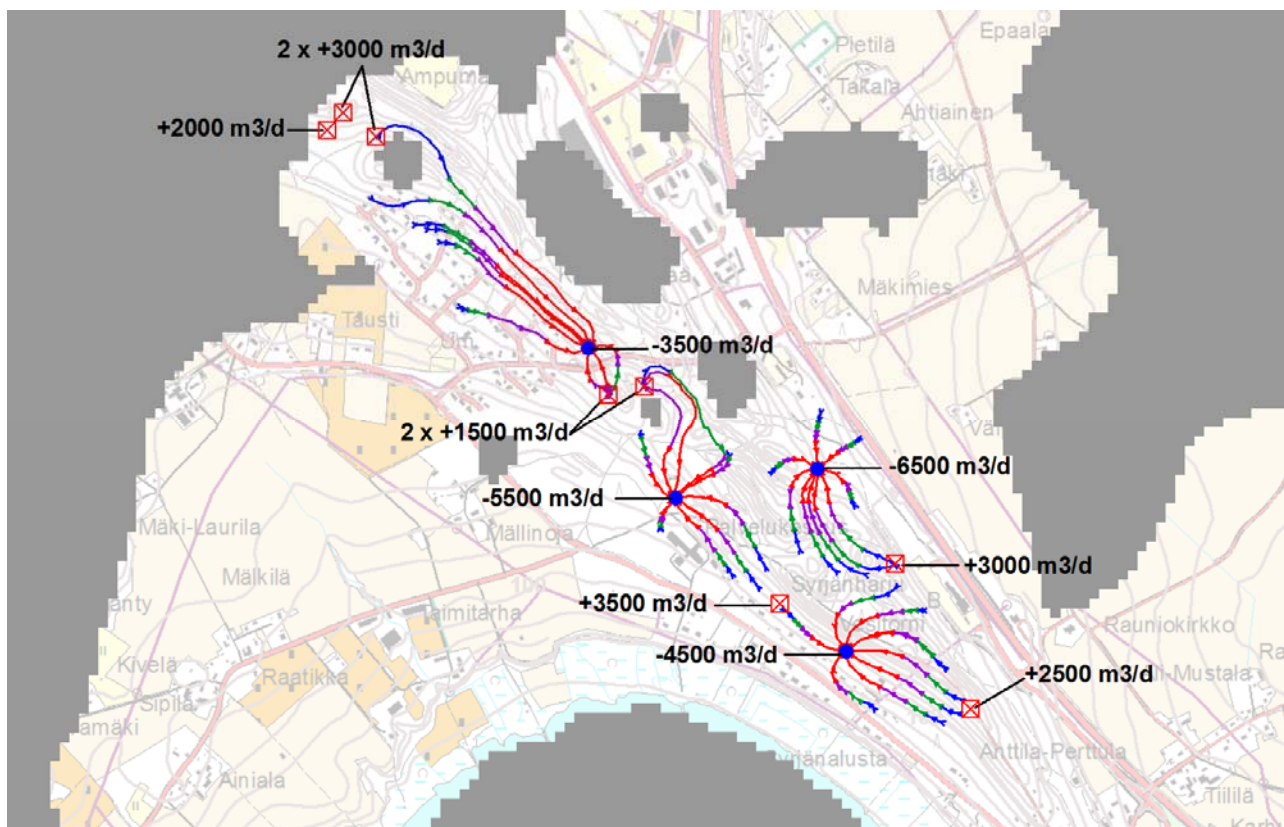
Luotettavasti toimivan pohjaveden virtausmallin valmistumisen jälkeen voitiin arvioida suunnitellun tekopohjaveden tuotannon vaikutuksia. Jo merkkiainekokeen yhteydessä oli käynyt selväksi, ettei  $20\,000\text{ m}^3/\text{vrk}$  tekopohjaveden tuotannon toteuttaminen aiemmin suunnitellulla tavalla ollut ympäristövaikutuksiltaan optimaalinen. Mikäli tuotannon mitoitus varten suunnitellut imeytysalueet olisivat sijainneet edellä mainitun kynnyksen luoteispuolella ja vedenottoalueet kynnyksen kaakkoispuolella, olisi väistämättä jouduttu tilanteeseen, jossa vedenoton vaikutus Keiniänrannan alueen vesitaseeseen olisi ollut merkkiainekokeessa havaittua ( $1100\text{ m}^3/\text{vrk} \Rightarrow 590\text{ m}^3/\text{vrk}$ ) suurempi.

Tästä johtuen pohjaveden virtausmallin avulla tehtiin tekopohjaveden tuotantomäärillä simulaatioita, joiden avulla toiminnan vaikutuksia etenkin Keiniänrannan suuntaan oli mahdollista pienentää siten, että tekopohjaveden viipymät pysyisivät kuitenkin tarpeeksi pitkinä.

Simulaatioiden pohjalta luotiin virtausmallinnusraportissa esitetty tuotannon toteuttamissuunnitelma, jossa imeytys- ja kaivoalueet on sijoitettu tasaisesti koko toiminta-alueelle. Näin voitiin pienentää imeytyksestä ja vedenotosta aiheutuvia pohjaveden pinnan muutoksia, ja siten myös toiminnan vaikutuksia toiminta-alueen ympäristöön.

Esitetyllä suunnitelmalla, joka sisälsi 8 imeytysaluetta ja 4 vedenottoaluetta (Kuva 6), pystyttiin myös vaikuttamaan edellä mainittuihin tekopohjaveden viipymiin luomalla

ns. käänteisen gradientin alueita, joilla imeytetty vesi virtaa tuotantokaivoille luontaista pohjaveden virtausta vastaan. Näillä alueilla pohjaveden gradientti on hyvin tasainen ja viipymä on siten tarpeeksi pitkä lyhyistä virtausmatkoista huolimatta. Kuvassa 6 on esitetty myös virtausmallin laskemat virtausreitit vedenottoalueille tekopohjaveden tuotantotilannetta kuvaavassa simulaatiossa.



Kuva 6. Pohjaveden virtausmallin laskemat tekopohjaveden virtausreitit suunnitelluille vedenottoalueille 20 000 m<sup>3</sup>/vrk tuotantomäärällä. Imeytysalueet on merkitty kuvaan punaisilla rastitetuilla laatikoilla ja kaivoalueet sinisillä ympyröillä. Imeytysmäärät on merkitty plus-merkkisillä luvuilla ja vedenottomäärät miinus-merkkisillä luvuilla.

Muutokset Keiniänrannan vesitaseeseen pysyivät edellä esitettyssä simulaatiossa samalla tasolla merkkiainekokeen simulaatioon verrattuna, vaikka esitettyssä tuotantosimulaatiossa imeytetyt ja pumpatut vesimäärät ovat lähes kolme kertaa merkkiainekokeessa käytettyjä imeytys- ja pumppausmääriä suuremmat.

## 6

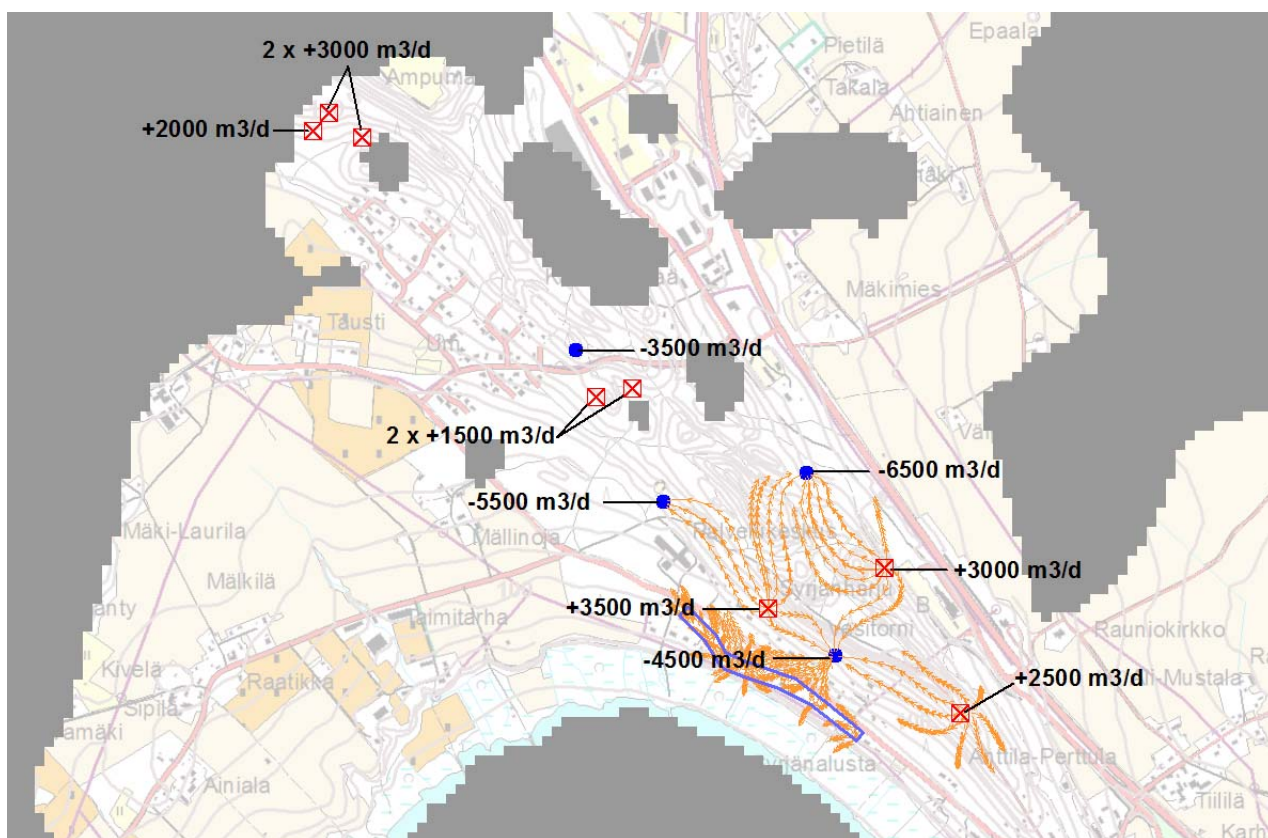
### POHJAVEDEN VIRTausmallilla TEHDYT SIMULAATIOT NATURA-ARVIOINNIN LIEVENTÄMISTOIMISTA

Keiniänrannan Natura-alueen takia tehtiin virtausmalliraportin valmistumisen jälkeen lisäsimulaatioita, joiden tarkoituksena oli arvioida alueen vesitaseeseen positiivisesti vaikuttavia lieventämiskeinoja. Tekopohjaveden tuotannon vaikutuksia toiminta-

alueen ulkopuolelle voidaan pienentää tai rajata imeytys- ja pumppausmääriä muuttamalla. Toisaalta tekopohjaveden tuotannon ohjauksessa keskeisin tekijä on imeytetyn veden viipymä, jonka tulee olla mahdollisimman pitkä kaikkien imeytys- ja vedenottoalueiden välillä.

Toiminnan vaikutuksia rajataan ja pienennetään optimoimalla imeytys- ja vedenottoalueiden kapasiteetteja sekä niiden sijoituspaikkoja. Lisäksi vaikutuksia voidaan rajata ja pienentää suojaimeytyksillä. Mahdollisia imeytysmenetelmiä ovat esimerkiksi kaivo- tai salaojaimeytys.

Kuvassa 7 on arvioitu suojaimeytyksen vaikutusta Keiniänrannan alueen virtaamiin ja vesitaseeseen. Mallisimulaatiossa on syötetty  $200 \text{ m}^3/\text{vrk}$  vesimäärä kymmeneen mallin soluun tekopohjavesilaitoksen toiminta-alueen ja Keiniänrannan väliselle vyöhykkeelle (yhteensä  $2\,000 \text{ m}^3/\text{vrk}$ ).



Kuva 7. Tekopohjaveden virtausreitit kolmelta eteläisimmältä imeytysalueelta ja suojaimeytysvyöhykkeeltä (13 viikon aikana tapahtuva virtaus). Simulaatiossa on esitetty kuvan 6 tuotantomäärä  $20\,000 \text{ m}^3/\text{vrk}$ , johon on lisätty  $2\,000 \text{ m}^3/\text{vrk}$  yli-imeytys Keiniänrannan koillispuoliselta suojaimeytysvyöhykkeeltä (sininen raja). Muilta imeytysalueilta lähteviä virtausreittejä ei ole esitetty kuvassa, koska suojaimeytyksellä ei ole vaikutusta kyseisten alueiden virtauskuvaan.

Edellä esitetyn esimerkkisimulaation osalta Keiniänrannasta purkautuvan veden määrä lisääntyi tasosta 700 m<sup>3</sup>/vrk tasolle 1 100 m<sup>3</sup>/vrk eli vuosina 2008 ja 2009 mitattuun luonnontilaan. Esimerkissä kuvattu muutos on Keiniänrannan virtaamien osalta merkittävä. Lisäksi osa suojaimeytetystä vedestä virtaa takaisin toiminta-alueen kaivoihin muodostaen samalla vedenjakajan Keiniänrannan ja toiminta-alueen välille.

Simulaation tarkoituksena on osoittaa, että vedenoton vaikutuksia Keiniänrannan vesitaseeseen voidaan lieventää ilman tekopohjaveden tuotantomäärien pienentämistä. YVA-yhteysviranomaisen lausunnon aikaisen pohjaveden virtausmalliin verrattuna tämän selvityksen luvussa 5 esitetty tuotannon toteuttamisen ratkaisumalli on jo osaltaan merkittävästi lieventänyt toiminnan vaikutuksia Keiniänrannan Natura-alueen suuntaan.

## 7

### YHTEENVETO

Laajojen tutkimusten tulosten pohjalta luotu monikerroksinen pohjaveden virtausmalli toimi luotettavasti sekä alueen pohjaveden luonnontilan pinnankorkeuden että imeytyskokeiden yhteydessä havaitun pohjaveden pinnankorkeuden kuvaamisessa. Virtausmallilla tehtyjä simulointeja hyödynnettiin tekopohjaveden tuotannon toteuttamissuunnitelmassa, jossa imeytys- ja kaivoalueet on sijoitettu tasaisesti koko toiminta-alueelle. Näin voitiin pienentää imeytyksestä ja vedenotosta aiheutuvia pohjaveden pinnan muutoksia ja siten myös toiminnan vaikutuksia toiminta-alueen ympäristöön.

Muutokset Keiniänrannan vesitaseeseen pysyivät suunnitellussa tuotantotilanteen simulaatiossa samalla tasolla imeytyskokeissa todettuun verrattuna, vaikka imeytetyt ja pumpatut vesimäärät olivat lähes kolminkertaisia verrattuna imeytyskokeessa käytettyyn. Tuotannon ohjauksella (yli-imeytys ja/tai aluekohtaisen imeytyksen ja kaivokohtaisen vedenoton säätely) vaikutusta voidaan edelleen vähentää. Näitä toteutukseen vaikuttavia säätelytekijöitä arvioidaan myöhemmissä suunnitteluvaiheissa mm. maastotarkastelujen perusteella.

Mikäli edellä mainituilla toimenpiteillä ei riittävästi saada minimoitua vaikutuksia Keiniänrannan vesitaseeseen, voidaan tuotantoalueen ja Keiniänrannan väliin tehdä suojaimeytys. Suojaimeytyksessä imeytettyä vettä ei ole tarkoitus käyttää tekopohjaveden valmistamiseen, vaan luontaisen vesitaseen ylläpitämiseen. Virtausmallilla tehtyjen simulointien perusteella jo 2000 m<sup>3</sup>/vrk suojaimeytyksellä saatiin Keiniänrannan virtaama palautettua luonnontilaiseksi. Myös suojaimeytyksen osalta sekä imeytettävä vesimäärä että imeytyksen yksityiskohtainen toteutus tarkastellaan myöhemmissä suunnitteluvaiheissa erikseen.



Aki Artimo  
Hydrogeologi, FT



Jukka Ikäheimo  
Johtava asiantuntija, FM  
Pöyry Finland Oy



Esa Kallio  
Suunnittelupäällikkö, FM  
FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy

LIITE

Aki Artimo, Sami Saraperä ja Osmo Puurunen. Pälkäneen Syrjänharjun monikerroksinen pohjaveden virtausmalli – Raportti. 18.3.2011.



## **Liite**

Aki Artimo, Sami Saraperä ja Osmo Puurunen. Pälkäneen Syrjänharjun monikerroksinen pohjaveden virtausmalli – Raportti. 18.3.2011.

# **Pälkäneen Syrjänharjun monikerroksinen pohjaveden virtausmalli – Raportti**



Aki Artimo, Sami Saraperä ja Osmo Puurunen

18.3.2011

# Pälkäneen Syrjänharjun monikerroksinen pohjaveden virtausmalli – Raportti

## 1. Johdanto

Tavase Oy on teettänyt tekopohjavesilaitoksen suunnitteluun ja toteuttamiseen liittyviä maaperä- ja pohjavesitutkimuksia Pälkäneen Syrjänharjun alueella. Hankkeesta on tehty ympäristövaikutusten arviointi vuonna 2003. YVA-yhteysviranomaisen on todennut hankkeesta seuraavaa: ”Suuri osa hankkeen aiheuttamista kielteisistä ympäristövaikutuksista näyttää olevan seurausta siitä, että osa hankkeesta sijoittuu asuttuun ympäristöön, teollisuusalueen lähelle, käytössä olevan pohjavedenottamon läheisyyteen ja vesitasapainoltaan herkän Natura- alueen lähelle. Käytettävä tekopohjaveden virtausmallinnus on hankkeen avainkysymys.” Lisäksi pohjaveden virtausmallinnukseen liittyen on todettu seuraavaa: ”Näin ollen osa hankkeen ympäristövaikutuksista, erityisesti se osa, mikä aiheutuu veden lisääntymisestä ja tekopohjaveden pinnankorkeuden vaihteluista harjussa jää odottamaan virtausmallin tarkastamista.”

Tavase Oy:n Pälkäneen alueen tutkimuksiin liittynyt pohjaveden imeytys- ja pumppauskoe lopetettiin 1.11.2010. Kokeesta saadut tiedot pohjaveden virtauksista olivat osa tässä raportissa kuvatun pohjaveden virtausmallin lähtöaineistoa. Työn tekemisessä hyödynnettiin lisäksi kaikkea muuta alueelta saatavilla ollutta tutkimusaineistoa. Aineisto evaluoitiin ja osittain myös tulkittiin uudelleen. Virtausmallin rakenteen luomisessa käytettiin hyväksi erikseen räätälöityjä tietokonepohjaisia sovelluksia. Pohjaveden virtausmallin kerrosten lopullinen lukumäärä päätettiin lähtöaineistojen käsittelyn jälkeen. Monikerroksisella virtausmallilla alueen geologinen rakenne pystytään kuvaamaan merkittävästi yksikerroksista mallia paremmin.

Työn tavoitteena oli luoda uusi virtausmalli, joka toistaa yksikerroksisia virtausmalleja paremmin sekä alueen pohjaveden pinnan luonnontilan että imeytyskokeiden yhteydessä havaitut pohjaveden pinnat. Mallilla on tehty simulointeja koko alueen toimivuudesta tuotantovesimäärillä (20 000 m<sup>3</sup>/d). Tarkkoja arvioita esimerkiksi yksittäisten tuotantokaivojen toiminnasta tai toimivuudesta ei valmistetulla mallilla kuitenkaan ole mahdollista tehdä.

Työn tekivät FT Aki Artimo, FM Sami Saraperä ja FM Osmo Puurunen Tavase Oy:n hankkimien lähtöaineistojen pohjalta. Aineistot saatiin Pöyry Finland Oy:stä. Virtausmalli tehtiin seitsemänkerroksiseksi. Varsinaiseen pohjaveden virtauksen kuvaamiseen mallissa käytetään kuutta ylintä kerrosta.

Seuraavassa esitetään malliin syötettyjä tietoja ja mallinnuksen pohjalta saatuja tuloksia.

## 2. Mallin rakenne

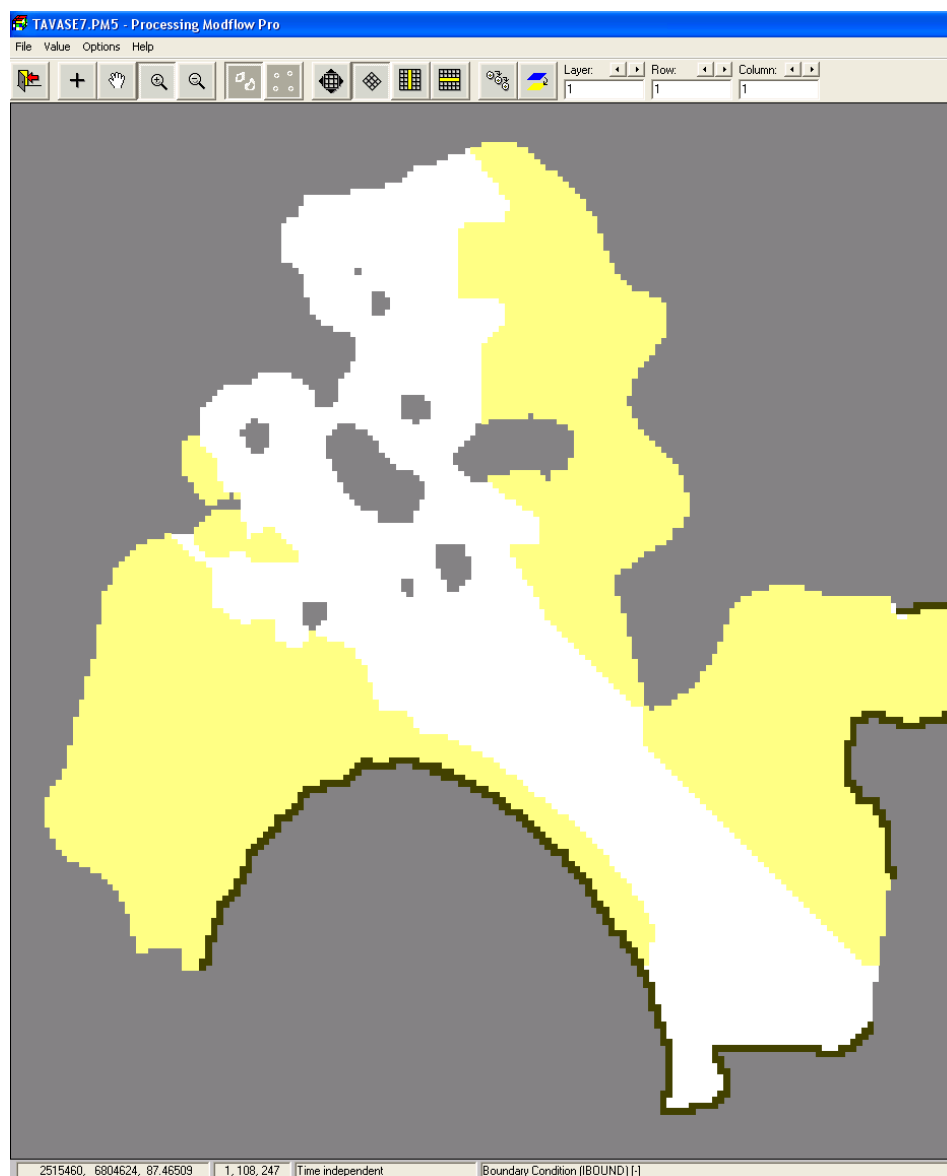
### 2.1. Mallialueen rajat sekä mallin aktiiviset ja inaktiiviset alueet (IBOUND)

Malli rajattiin aiemmin alueelta tehtyjen virtausmallien rajausten mukaan, vaikka aktiivisen mallialueen pinta-alaa pienennettiin Isokankaan alueen osalta. Rajauksen perusteena käytettiin kallionpinnan ja pohjaveden pinnan tietoja, jotka osoittavat, ettei Isokankaan alueen ja aktiivisen mallialueen välillä ole mallin tuloksiin vaikuttavaa virtausyhteyttä.

Mallin rajat ovat: x min 2509 300, x max 2515 500

y min 6802 400, y max 6807 300

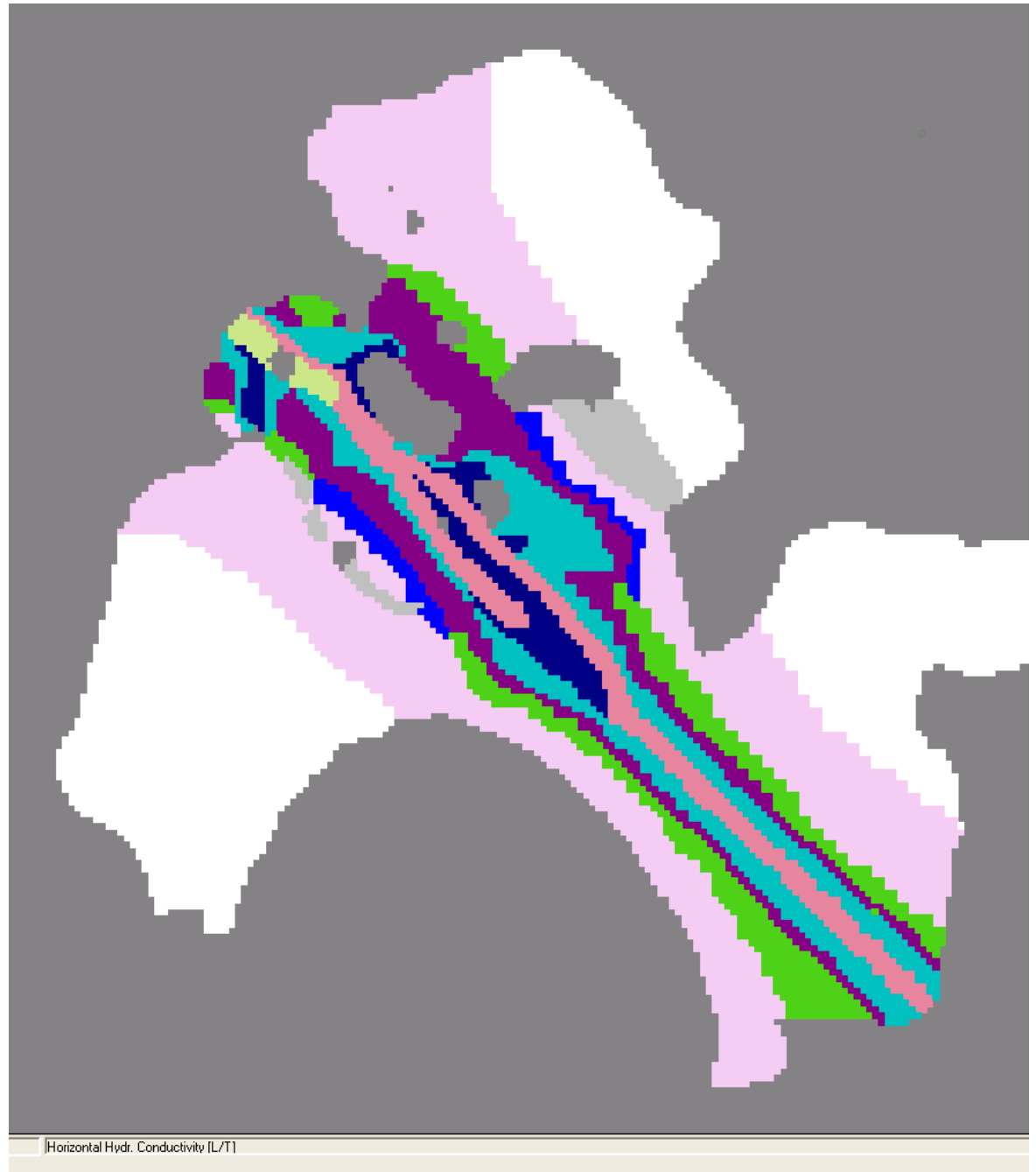
Kuvassa 1 on esitetty mallin laskentaan osallistuvien aktiivisten sekä laskentaan osallistumattomien inaktiivisten solujen jakauma.



**Kuva 1.** Mallissa käytetyt inaktiiviset solut (harmaat), ojitetut alueet (drain-solut, keltaiset) ja general head boundary -reunaehtosolut (ruskeat). Aktiivisia mallisoluja ovat kaikki muut paitsi harmaat solut.

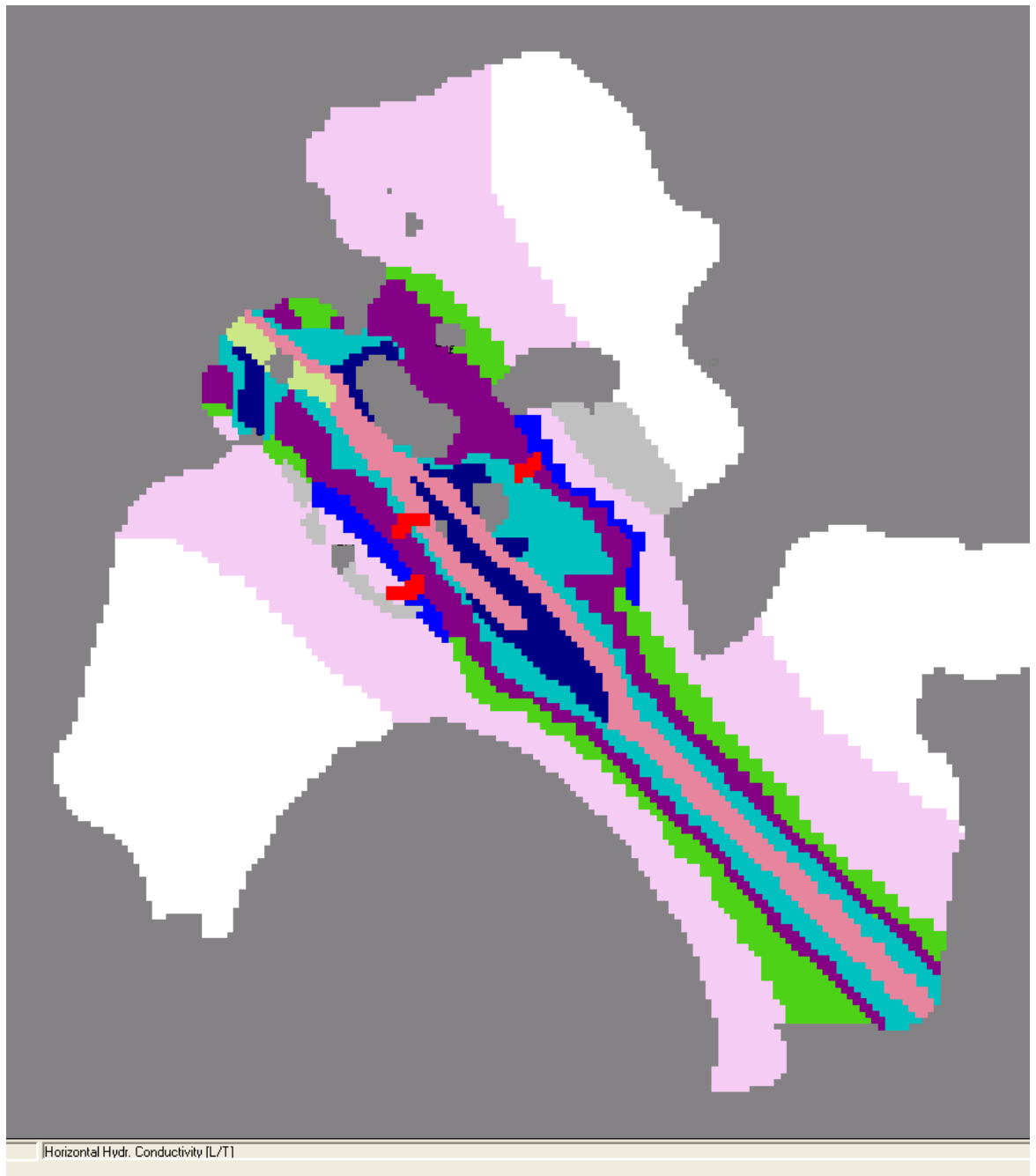
## 2.2. Mallin vedenjohtavuusarvot (K-arvot)

Mallin vedenjohtavuusarvojen jakauma (kuva 2) perustui FT Joni Mäkisen alueelta tekemiin sedimentologisiin selvityksiin (Mäkinen 2009, 2010 ja 2011). Vedenjohtavuusvyöhykkeisiin tehtiin tarkennuksia mallinnuksen yhteydessä. Tärkeimpänä tarkennuksena voidaan pitää Taustialantien kynnyksen kohdalla kairauksissa havaittujen moreenikerrosten paksuuden täsmällinen kuvaus mallin eri kerroksiin syötettyjen K-arvojen avulla (kuva 3).



**Kuva 2.** Mallin vedenjohtavuusarvojen jakauma (K-arvot) mallin kerroksessa 1. K-arvot vaihtelevat välillä 0,5 – 800 m/d.

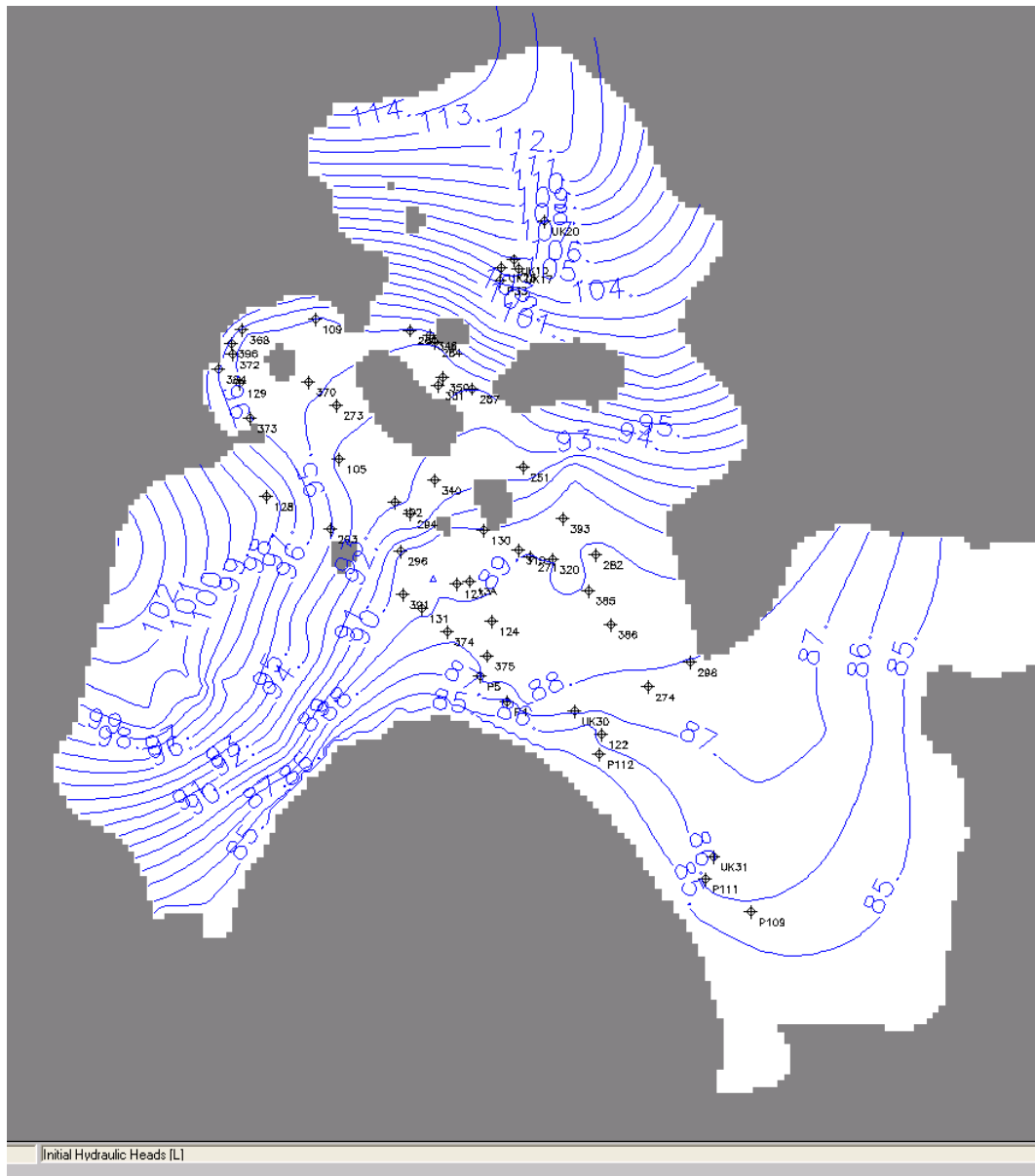




**Kuva 3.** Vaikka malli toteutettiin seitsemänkerroksisena, on samoja K-arvoja käytetty kaikissa kerroksissa lukuun ottamatta Taustialantien kynnyksen aluetta. Lähtöaineistojen analysoinnin ja tulkinnan pohjalta tarkennettiin mallin kerroksien K-arvoja vastaamaan moreenikerrosten kairauksissa havaittuja sijainteja ja paksuuksia kyseisellä alueella. Moreenisolut erottuvat kuvassa kirkkaan punaisina (esimerkkinä mallin kerros 6).

### 2.3. Pohjaveden pinta

Malliin syötettiin pohjaveden pintaa kuvaava matriisi, joka oli tehty 149 havaintopisteestä mitattujen pintojen avulla (kuva 4). Kaikista havainnoista valittiin marraskuussa 2009 (tai mahdollisimman lähellä ko. ajankohtaa) mitattujen pintojen tiedot. Nämä pinnat edustavat pohjavesiesiintymän luonnontilaa ennen merkkiainekokeeseen liittyviä imeytyksiä ja pumppauksia. Aineistosta karsittiin pois virheelliset mittaukset ja orsiveden pinnan mittaukset.



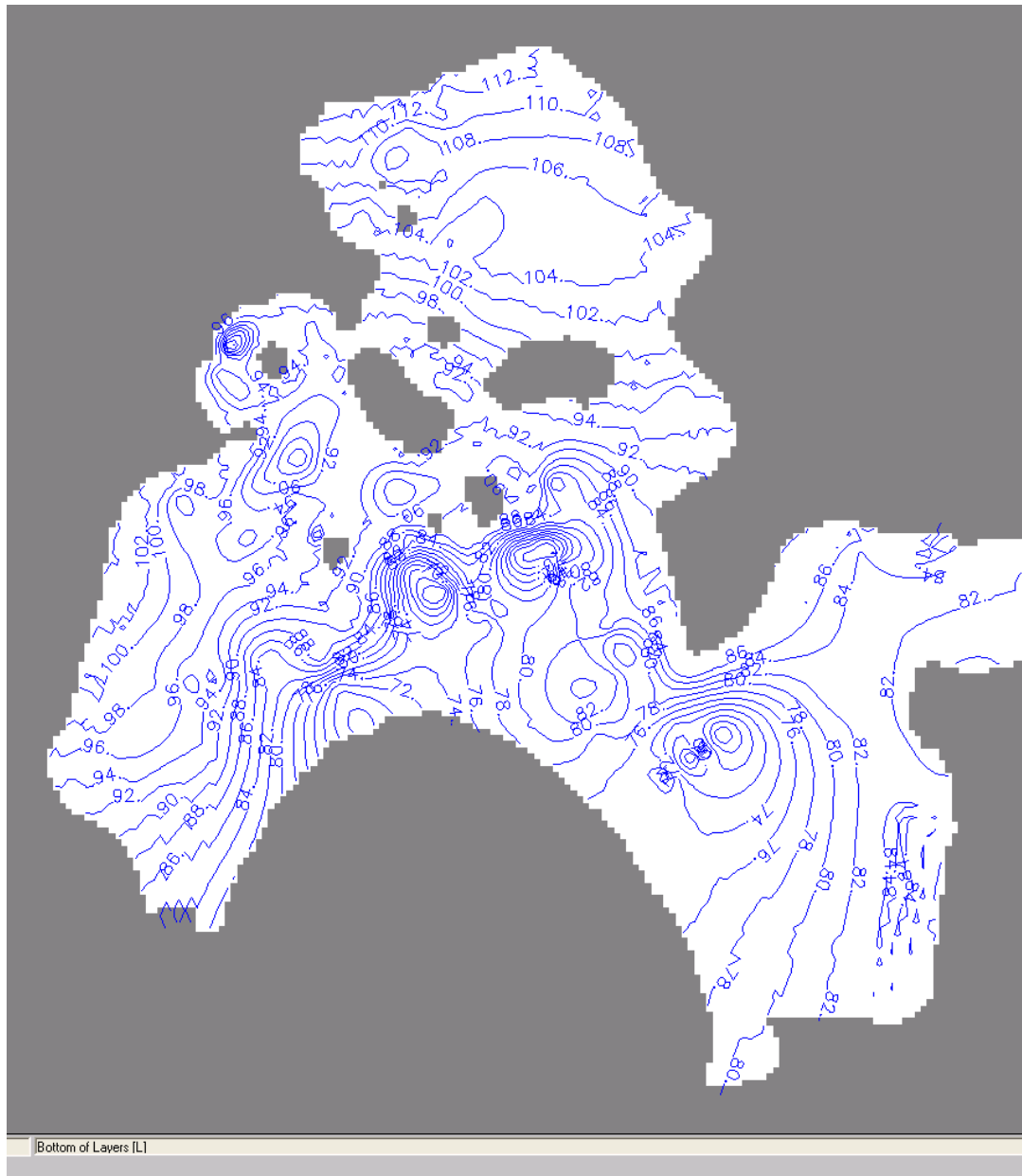
**Kuva 4.** Mallin lähtövedenpinta (Initial head). Kuvassa on lisäksi esitetty virtausmallin residuaalien laskemiseen käytetyt havaintopisteet. Mallasveden pinta on määritetty malliin tasolle 83.92 m mpy (marraskuu 2009).

## 2.4. Kallion pinta

Kallion pinnan laskemisessa käytettiin hyväksi kaikkea saatavilla olevaa aineistoa. Aineisto koostui 88 varmasta kairauhavainnosta, 134 avokalliohavainnosta, 12 kairauksiin perustuvasta arvioidusta kallionpinnan havainnosta ja 16 maatutkaluotauksiin perustuvasta kallionpinnan havainnosta. Näiden lisäksi käytettävissä oli yli 340 geofysikaalisiin mittauksiin perustuvaa kallionpinnan tason tulkintaa. Työn kuluessa poistettiin lukuisia geofysikaalisiin mittauksiin liittyviä kallionpinnan tulkintoja, jotka olivat ristiriidassa varmojen havaintojen kanssa.

Kallionpinnan interpolointi tehtiin kaksivaiheisena, koska kallionpinnan taso vaihtelee pienipiirteisesti tutkimusalueella. Ensimmäisessä vaiheessa kallionpintamatriisi laskettiin kaikkien kalliohavaintojen perusteella, seuraavaksi verrattiin varmoja kalliotietoja ensimmäisen vaiheen tulokseen, ja niiden erotuksen perusteella laskettiin korjausmatriisi,

joka lisättiin alkuperäiseen kallionpintamatriisiin. Näin varmistuttiin siitä, että varmat kallionpintahavainnot toteutuvat lopullisessa kallionpinnan matriisissa mahdollisimman hyvin (kuva 5).



**Kuva 5.** Kallionpinnan taso virtausmallissa

## 2.5. Muut malliin syötetyt parametrit

-Tehokkaan huokoisuuden arvoina mallissa käytettiin arvoja 0,15 ja 0,3. Pienempiä arvoja käytettiin huonommin lajittuneiden maa-ainesten esiintymisalueilla ja suurempia arvoja käytettiin hyvin lajittuneiden maa-ainesten esiintymisalueella (harjuydin).

-Ojitettujen alueiden pinnan taso määritettiin 0,5 metriä maanpinnan tason alapuolelle. Johtavuutena käytettiin arvoja  $5 \text{ m}^2/\text{d}$  ja  $25 \text{ m}^2/\text{d}$ . Jälkimmäistä arvoa oli käytetty jo aiemmin tehdyissä pohjaveden virtausmalleissa. Pienempää johtavuuden arvoa käytettiin osalla Keiniänrannan aluetta, koska suuremmalla johtavuudella mallista ulos purkautuvan veden määrät olisivat poikenneet seurantojen yhteydessä havaituista määristä.

-Sadannasta peräisin olevan imeytymisen arvot vaihtelivat välillä 0.0002 m/d – 0.004 m/d. Korkeimpia imeytymisen arvoja käytettiin harjun alueella pohjavesiesiintymän reuna-alueilla, jotka saavat merkittävän osan vedestään niiden alueiden sadannasta jossa ei ole varsinaista (mallissa kuvattavaa) pohjavesikerrosta.

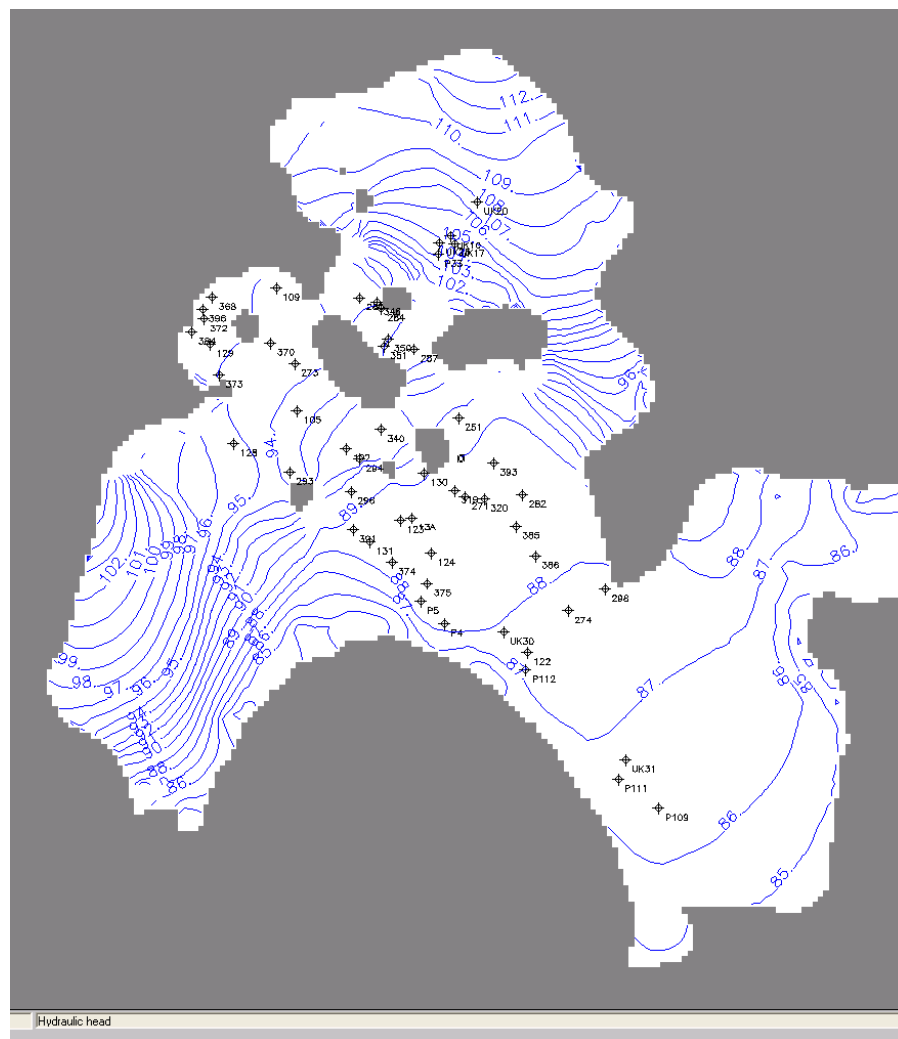
-Mallin Mallasveden vesistöön rajoittuvat alueet on kuvattu General Head Boundary – soluilla, (Kuva 1) joihin on määritetty muuttumaton vedenpinnan taso (83,92 m mpy) sekä solun vedenjohtokyky (K-arvo x solun paksuus).

-Kaivosolut (Wells) kuvaavat kaivojen toimintaa mallissa. On huomioitava, että kaivosolun koko vastaa virtausmallin solukokoa (25 m x 25 m x solun paksuus).

### 3. Virtausmallinnuksen tulokset

#### 3.1. Pohjavesiesiintymän luonnontila

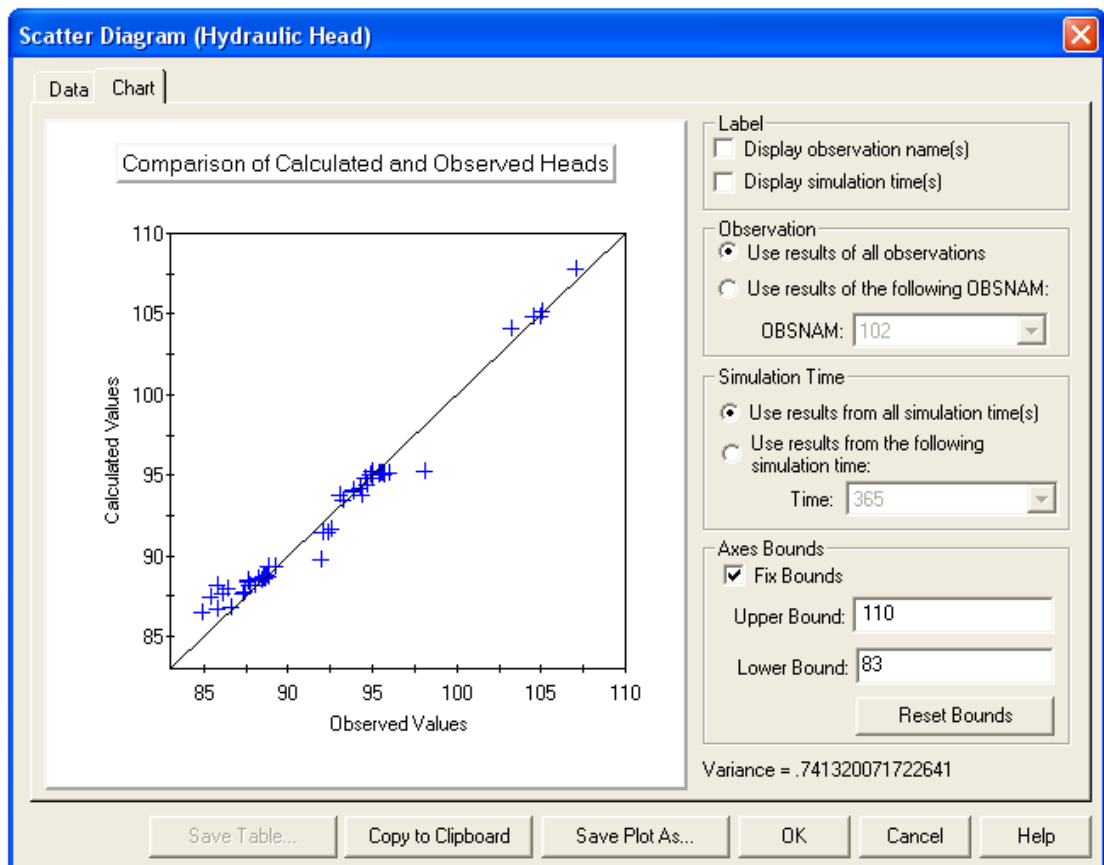
Kuvassa 6 on esitetty pohjaveden virtausmallin laskema luonnontilainen pohjaveden pinta mallinnetulla alueella. Luonnontilaisella pinnalla tarkoitetaan tässä yhteydessä pohjavesiesiintymän tilannetta ennen koepumppauksia ja -imeytyksiä.



**Kuva 6.** Pohjaveden virtausmallin laskema pohjaveden pinta.

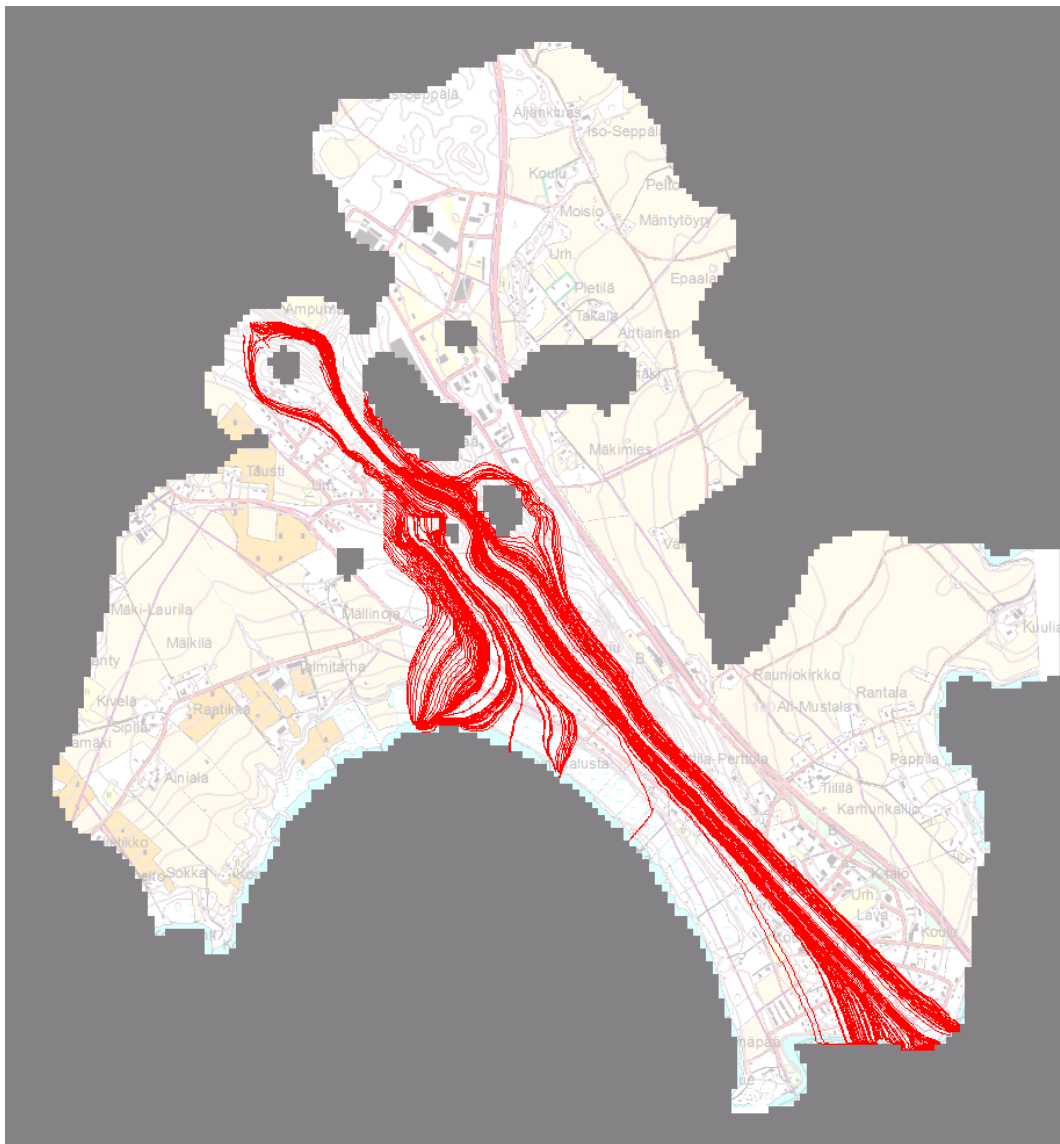
9





**Kuva 8.** Residuaalidiagrammi, joka kuvaa luonnossa mitattujen ja mallin laskemien pohjavedenpintojen eroja.

Kuvassa 9 on esitetty imeytysalueelta ja muutamasta harjun ydinvyöhykkeessä sijaitsevasta solusta lähtevät virtausreitit. Mallin mukaan imeytysalueelta lähtevät virtausreitit ovat keskittyneet harjun kapeaan ydinvyöhykkeeseen, kunnes Taustialantien kynnyks alkua rajoittaa virtausyhteyttä ja virtaus jakaantuu useaan osaan. Kynnyksen jälkeen osa vedestä purkautuu Keiniänrannassa ja osa vedestä virtaa edelleen harjun ydinvyöhykkeessä Pälkäneen keskustan suuntaan.



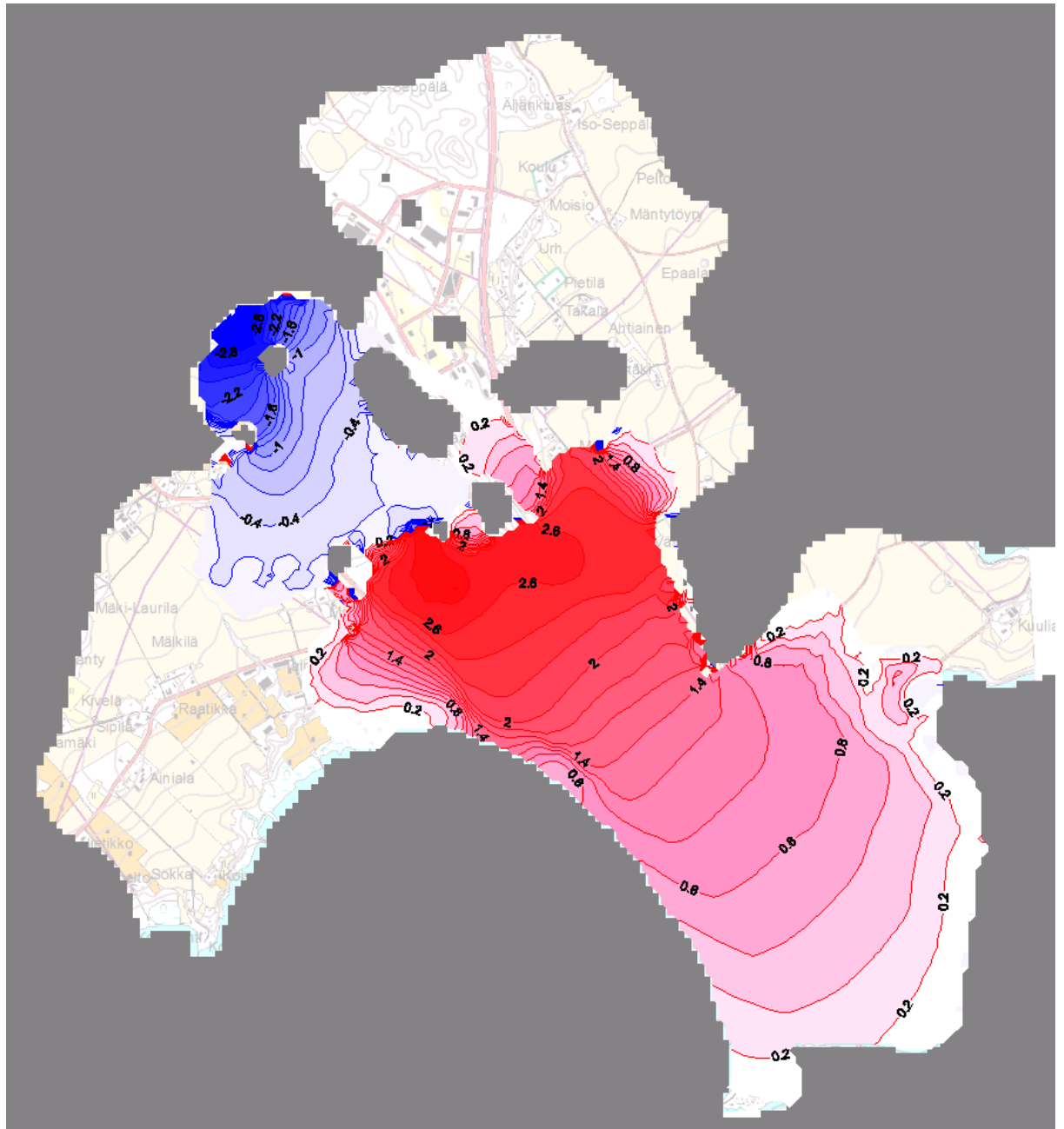
**Kuva 9.** Pohjaveden virtausmallin laskemat virtausreitit luonnontilassa.

### **3.2. Merkkiainekokeen aikaisten imeytys- ja pumppausmäärien simulointi**

Tutkimusalueella toteutettiin merkkiainekoe sekä siihen liittyvät pumppaukset ja imeytykset 28.12.2009 – 1.11.2010 välisenä aikana, jolloin kaivoista K3 ja K4 pumpattiin maksimissaan 7000 m<sup>3</sup>/d vettä, joka imeytettiin imeytyskaivoihin IK1, IK2 ja IK3 sekä kahdelle sadetusimeytysalueelle. Koetoiminnan kestosta huolimatta pohjavesiesiintymä ei saavuttanut tasapainotilaa kokeen aikana.

Virtausmallilla simuloitiin imeytyksen ja pumppauksen vaikutukset pohjaveden pinnan, virtausreittien ja vesitaseen osalta. Malli tehtiin ns. Steady State -mallina, joka kuvaa ulkoisten muutosten vaikutukset pohjavesiesiintymään tasapainotilassa.

Kuvassa 10 on esitetty virtausmallin laskema merkkiainekokeen aiheuttama pohjavedenpinnan muutos luonnontilaan verrattuna. Kuvasta huomataan, että pohjaveden pintojen nousu imeytysalueella on lähes 3 metriä ja pintojen alenema kaivoalueilla noin 2,6 metriä. Tulokset vastaavat melko hyvin imeytys- ja pumppauskokeen yhteydessä havaittuja muutoksia.



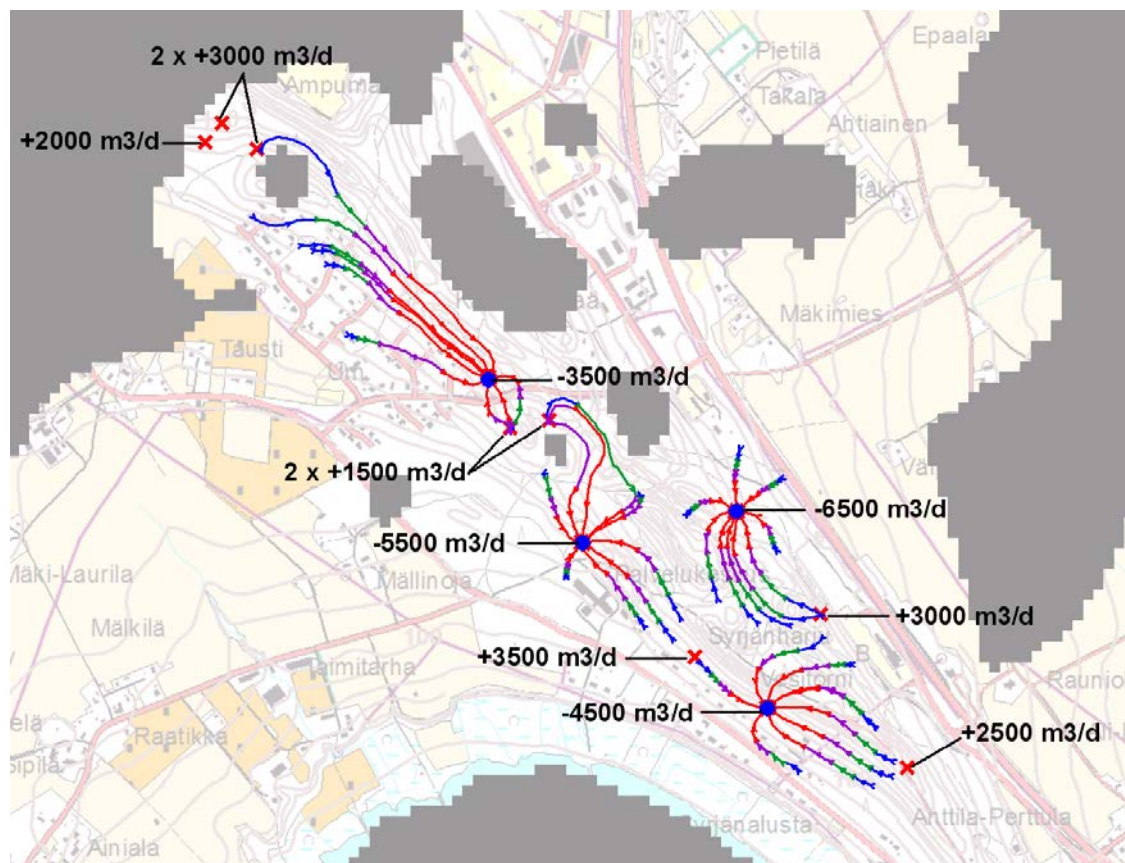
**Kuva 10.** Virtausmallin laskema merkkiainekokeen aiheuttama pohjavedenpinnan muutos luonnontilaan verrattuna. Sinisellä alueella pinta nousee ja punaisella laskee. Luvut metreinä.

### 3.3. Merkkiainekokeen vaikutukset pohjaveden virtausmääriin

Mallilla tarkasteltiin pohjaveden purkautumisessa tapahtuvia muutoksia Keiniänrannan alueella. Luonnontilassa mallin laskema purkautumisen määrä oli noin  $1600 \text{ m}^3/\text{d}$ . Merkkiainekokeen vaikutuksesta mallin laskemat virtaamat putosivat tasolle  $700 \text{ m}^3/\text{d}$ . Tulos on samansuuntainen mittapadoista tehtyjen virtaamamittausten tulosten kanssa, joissa oli havaittavissa virtaaman pienenemistä merkkiainekokeen aikana. Kyseessä oli kuitenkin lyhyt seurantajakso, jonka aikaisia muutoksia muissa virtaamiin vaikuttavissa tekijöissä ei ollut saatavilla. Mallin antamiin tuloksiin vaikuttavat malliin syötetyt reunaehdot, joiden laatu ja kattavuus ratkaisevat tulosten oikeellisuuden. Lähteiden purkautumistasot on kuvattu mallissa maanpinnan tason matriisin avulla.

### 3.4 Tuotantotilanteen imeytys- ja pumppausmäärien kuvaus virtausmallilla

Kuvassa 11 on esitetty virtausmallin laskemat virtausreitit tuotantokaivoille tekopohjaveden tuotantotilannetta kuvaavassa simulaatiossa. Kyseisessä simulaatiossa Keiniänrannasta purkautuvan veden määrä pysyi samalla tasolla merkkiainekoetta kuvaavan simulaation kanssa. Imeytys- ja vedenottoalueiden sijoittuminen ja suhteet toisiinsa nähden sekä käytettävät vesimäärät vaikuttavat Keiniänrannasta purkautuvan veden määrään.



**Kuva 11.** Virtausmallin laskemat virtausreitit tuotantokaivoille tekopohjaveden tuotantotilannetta kuvaavassa simulaatiossa (Imeytys 20 000 m<sup>3</sup>/d, vedenotto 20 000 m<sup>3</sup>/d). Plus-merkkiset luvut kuvaavat imeytystä ja miinus-merkkiset luvut vedenottoa. Virtausreitit kuvaavat yhteensä 8 viikon aikana tapahtuvaa virtausta tuotantokaivoille.

Pohjaveden virtausmallilla tehtiin useita simulaatioita tekopohjaveden tuotannon toteuttamisesta. Edellä esitetty tuotantotilanteen simulaatio edustaa tuotantoteknisesti optimaalista tilannetta. Eri simulaatioiden yhteydessä tehtyjen vesitasetarkastelujen perusteella voidaan puolestaan todeta, että erilaisin imeytysteknisin ratkaisuin (mm. ylimeytyksellä) voidaan tekopohjavesilaitoksen vaikutuksia Keiniänrannan vesitasapainoon merkittävästi lieventää tai poistaa kokonaan.

#### 4. Yhteenveto

Malli toteuttaa tutkimusalueella mitatut luonnontilaiset pohjaveden pinnat, virtausreitit ja viipymät hyvin. Mallin kuvaus jää epävarmaksi reuna-alueilla, joilta ei ole ollut saatavilla kattavaa tutkimustietoa. Tämä näkyy esimerkiksi paikoin ohuina aktiivisina mallikerroksina, jotka aiheuttavat epävakautta mallin laskentaan. Tästä johtuen mallin luotettavuus kärsii simulaatioissa, jotka poikkeavat paljon luonnontilasta. Virtausmalli kuitenkin toteuttaa melko

tarkasti merkkiainekokeen yhteydessä havaitut pohjaveden pinnan ylenemät imeytysalueilla ja alenemat ottokaivojen ympäristössä.

Mallin kuvausta on aina mahdollista tarkentaa. Monikerroksisella virtausmallilla päästään kuitenkin ratkaisevasti yksikerroksista virtausmallia parempaan ja luotettavampaan pohjavesiesiintymän kuvaukseen. Tämä korostuu erityisesti Syrjänharjun alueella, jossa kallionpinta vaihtelee jyrkästi aiheuttaen virtausesteitä, jotka katkovat ohutta pohjavesikerrosta. Tunnetut pohjaveden virtausyhteydet toteutuvat tässä raportissa kuvatussa mallissa.

Turussa 18.3.2011

Aki Artimo, Sami Saraperä ja Osmo Puurunen

#### Viittaukset:

Mäkinen, J. (2009). Pälkäneen Isokankaan-Syrjänharjun maatutkaluotauksen (Geo-Work 16.4.2009) sedimentologinen rakennetulkinta. Raportti 11.6.2009.

Mäkinen, J. (2010). Tavase Oy:n tutkimusalue 3 Pälkäne (TA3), Taustialantien kynnyksen maatutkaluotauksen (Geo-Work 26.5.2010) rakennetulkinta. Raportti 6.9.2010.

Mäkinen, J. (2011). Tavase Oy:n tutkimusalue 3 Pälkäne (TA3), maatutkaluotauksen (Geo-Work 27.12.2010) rakennetulkinta. Raportti 14.2.2011.