

**TAVASE OY**

**VEHONIEMEN – ISONKANKAAN - SYRJÄNHARJUN  
YLEISPIIRTEISET POHJAVEDEN VIRTausmallit**

Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

1

**Sisältö**

<b>1</b>	<b>TAUSTAA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>KÄYTETYT OHJELMAT</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>MAASTOTUTKIMUKSET</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>LÄHTÖTIEDOT, KONSEPTUAALINEN MALLI</b>	<b>3</b>
4.1	Yleistä	3
4.2	Yksiköt	4
4.3	Reunaehdot	4
4.4	Sadanta ja imeytyminen	4
4.5	Tehokas huokoisuus	5
4.6	Tuotantotilanne	5
<b>5</b>	<b>KAIVOALUE 1</b>	<b>5</b>
5.1	Mallin rajat ja reunaehdot	5
5.2	Pohjaveden virtauskuva	5
5.3	Pohjavesikerroksen pohja	6
5.4	Vedenjohtavuus	6
5.5	Kalibrointitulos	7
5.6	Tuotantotilanteen simulaatio	7
<b>6</b>	<b>KAIVOALUE 2</b>	<b>8</b>
6.1	Mallin rajat ja reunaehdot	8
6.2	Pohjaveden virtauskuva	9
6.3	Pohjavesikerroksen pohja	9
6.4	Vedenjohtavuus	9
6.5	Kalibrointitulos	10
6.6	Tuotantotilanteen simulaatio	10
<b>7</b>	<b>KAIVOALUE 3</b>	<b>11</b>
7.1	Mallin rajat ja reunaehdot	11
7.2	Pohjaveden virtauskuva	12
7.3	Pohjavesikerroksen pohja	12
7.4	Vedenjohtavuus	13
7.5	Kalibrointitulos	14
7.6	Tuotantotilanteen simulaatio	14
<b>8</b>	<b>EHDOTUKSIA JATKOTOIMISTA</b>	<b>15</b>

Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

## **Liitteet**

### **1. Aikaisemmat tutkimukset**

## **Kartat**

### **Kaivoalue I**

1. Mallin (I) rajausta, reunaehtoja ja luonnontilainen pohjavedenpinta
2. Imeytyskokeen simulaatio
3. Tuotantotilanteen simulaatio, pohjavedenpinnan muutos
4. Tuotantotilanteen simulaatio, pohjaveden virtauskuva
5. Maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliin jäävän kerroksen paksuus, luonnontila
6. Maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliin jäävän kerroksen paksuus, tuotantotilanne

### **Kaivoalue II**

7. Mallin (II) rajausta, reunaehtoja ja luonnontilainen pohjavedenpinta
- 8a. Imeytyskokeen simulaatio
- 8b. Imeytyskokeen simulaatio
- 8c. Imeytyskokeen simulaatio
9. Tuotantotilanteen simulaatio, pohjavedenpinnan muutos
10. Tuotantotilanteen simulaatio, pohjaveden virtauskuva
11. Maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliin jäävän kerroksen paksuus, luonnontila
12. Maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliin jäävän kerroksen paksuus, tuotantotilanne

### **Kaivoalue III**

13. Mallin (III) rajausta, reunaehtoja ja luonnontilainen pohjavedenpinta
14. Tuotantotilanteen simulaatio, pohjavedenpinnan muutos
15. Tuotantotilanteen simulaatio, pohjaveden virtauskuva
16. Maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliin jäävän kerroksen paksuus, luonnontila
17. Maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliin jäävän kerroksen paksuus, tuotantotilanne

**Kaikkien karttojen pohjakartta © Maanmittauslaitos lupanumero 20/KASU/02**

Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

## **1 TAUSTAA**

Pohjavesimallinnus on menetelmä, jolla voidaan simuloida pohjaveden virtaustilan ja pohjavedenpinnan tason muutoksia eri tilanteissa. Sillä ei kuitenkaan voida luotettavasti mallintaa pohjaveden laatua, aineiden kulkeutumista kylläkin. Malli on matemaattinen kuvaus pohjaveden virtausoloista. Mallin luotettavuus riippuu mm. lähtötietojen luotettavuudesta, joita ovat mm. kalliopinnan taso, sekä kairausten ja muun tutkimusaineiston geologisen tulkinnan onnistumisesta. Mallin tavoitteena on saada se vastaamaan todettuja vedenpintoja ja virtaamia niin luonnontilassa kuin koepumppaus- ja imeytystilanteissa.

Yleispiirteisiä malleja (Rapid Assessment Model) käytettiin tässä selvityksessä työkalunomaisesti, jotta varsinaisissa virtausmalleissa (SYKE) havaittuihin ongelmiin löydetäisiin ratkaisu. Rinnakkaiset mallit toimivat myös laadun varmistuksena.

## **2 KÄYTETTY OHJELMAT**

Mallit on laadittu MODFLOW -koodilla käyttäen PMWIN -käyttöliittymää (Processing Modflow for Windows 5.0). Lähtöaineiston muokkaaminen ja tulosten visualisointi tehtiin EDITOR, SURFER ja ARCVIEW GIS -ohjelmalla. MODFLOW ja PMWIN ovat yleisimpiä virtausmallinnuksessa käytettyjä työkaluja. MODFLOW-koodi on USGS:n (United States Geological Survey) laatima. PMWIN on MODFLOW:n kaupallinen käyttöliittymä.

## **3 MAASTOTUTKIMUKSET**

Vehonniemenharjulla tehty maastotutkimukset on lueteltu liitteessä 1. Virtausmallinnuksen aikana kaivoalueelle 3 asennettiin varmennukseksi viisi havaintoputkea ja suoritettiin yksi lisäkairaus.

## **4 LÄHTÖTIEDOT, KONSEPTUAALINEN MALLI**

### **4.1 Yleistä**

Mallinnuksen lähtötiedot (mm. keskimääräinen pohjaveden pinta, maaperätiedot ja kalliopinta) saatiin jo aiemmin laadituista SYKE:n virtausmalleista. Aineistoa tarkennettiin ja paikoin yleistettiin painovoimamittausten ja uusien maaperäkairausten mukaan. Lähtöaineiston tarkastelussa olivat keskeisessä asemassa maastossa tehtyjen imeytyskokeiden tulokset. Imeytyskokeet on raportoitu erikseen.

Kustakin kaivoalueesta määritettiin lähtöaineiston perusteella yleispiirteiset pohjavesiolosuhteet ja kaivoalueen vesitase (pohjaveden muodostuminen ja purkautuminen ympäristöön).

Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

#### 4.2 Yksiköt

Virtausmalleissa käytetty koordinaatisto on KKJ2, ajan yksikkö on vuorokausi ja pituuden yksikkö on metri. Näitä yksiköitä käytetään kaikkien parametrien osalta.

Pohjaveden korkeudet on ilmaistu metriä merenpinnan yläpuolella (m mpy). Korkeudet ovat N60 järjestelmässä. Koordinaatistona on KKJ2.

Mallit koostuvat 50 m \* 50 m ruuduista muodostaen suorakulmaisen hilaverkon. Mallit ovat yksikerrosmalleja, eli koko vedellä kyllästynyt vyöhyke on käsitelty yhtenä kerroksena. Luonnonolosuhteissa harjuissa on lukuisia vedenjohtavuudeltaan erilaisia maakerroksia, jotka ovat syntyneet harjun kerrostuessa. Kuitenkin on perusteltua käyttää yksikerroksista mallia, koska pohjavesimuodostumassa on vain yksi pohjaveden pinta. Pohjaveden pinta ja virtauskuva määräytyvät ko. muodostumassa pääasiassa karkean hyvin vettäjohtavan maa-aineksen mukaan. Kairaustulosten ja virtausolosuhteiden tulkinta ja yleistäminen on mallinnuksen vaativin osa. Yksikerroksisia virtausmalleja on käytetty Suomessa runsaasti kuvaamaan pohjavesiolosuhteita.

#### 4.3 Reunaehdot

Varsinainen pohjavesialue ympäröivine peltoineen on määritetty *aktiiviseksi alueeksi*, eli alueeksi jolla pohjaveden virtausta tarkastellaan. Mallin kauempana muodostumasta sijaitsevat reunaosat ovat *inaktiivista aluetta*, jolla pohjaveden virtausta ei laskennan kannalta tapahdu. Inaktiivisia ovat myös alueet, joilla kallio nousee pohjavedenpintaa korkeammalle.

Vakiovedenpinnan ruuduissa vesipinta pysyy mallin laskennoissa aina samalla annettulla tasolla riippumatta vesipinnan muutoksista ympäristössä. Vakiovedenpinnalla kuvataan tavallisesti vesistöjä, joihin pohjavesimuodostuma tai sen lieveosat rajoittuvat.

Pohjavesialuetta ympäröivät pellot on määritetty ojitetuiksi alueiksi. Ojitetuilla ruuduilla kuvataan pohjaveden purkautumista (esim. salaojitus ja suot). Ojitettuun ruutuun annetaan kaksi arvoa; purkautumistaso ja vedenjohtavuus. Mikäli pohjavedenpinnan taso nousee laskennassa annetulle purkutasolle, poistuu vesi mallista. Tarkasteltavalla harjujaksolla ja sen lievealueilla pohjavedenpinta jää alle ojitustason, poikkeuksena pienet purkaumat rantavyöhykkeellä.

#### 4.4 Sadanta ja imeytyminen

Sadantana on kaikissa malleissa käytetty 700 mm/a, tämä on korjatun sadannan pitkän ajan keskiarvo. Imeytymisen määräksi pohjavesialueella on arvioitu 60%, eli 0.001151 m/d. Ympäröivillä peltoalueilla imeytyminen on noin 6%. Kaivoalueella 3 peltoalueilla käytettiin korkeampaa imeytymismäärää (15%), koska alueelle tulee vettä inaktiiviselta osalta.

Sadannan ajallisia vaihteluja kuvastaa pohjavedenpinnan korkeuden muutokset. Pohjavedenpinta on vaihdellut harjulla ja sen lievealueilla 0,4 – 1 m.



Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

5

#### **4.5 Tehokas huokoisuus**

Tehokas huokoisuus tarkoittaa sitä tyhjää tilaa, joka on maarakeiden välissä ja jossa vesi voi liikkua. Tehokas huokoisuus on vapaapintaissa akvifereissa sama kuin varastokerroin. Huokoisuuden arvona on kaikissa malleissa käytetty arvoa 0,25.

#### **4.6 Tuotantotilanne**

Tuotantotilanteella tarkoitetaan Tavase Oy:n varausten mukaista vedenottotilannetta ( $\text{m}^3/\text{d}$ ).

### **5 KAIVOALUE 1**

#### **5.1 Mallin rajat ja reunaehdot**

Mallialue on  $2,5 * 2$  km suuruinen. Mallin rajaus, reunaehdot, havaintopisteet ja luonnontilainen pohjavedenpinta sekä suunnitellut imeytys- ja kaivoalueet on esitetty kartalla 1. Reunaehtoien periaatteet on kuvattu kappaleessa 4.3.

Imeytysalueen 1 eteläpuolella aktiivista virtauskenttää on hieman laajennettu tuotantotilanteen pohjavedenpinnan mukaan. Toisin sanoen, nykytilassa inaktiivinen alue (kallio pohjavedenpintaa korkeammalla) on määritetty kuuluvaksi aktiiviseen virtauskenttään niiltä osin, missä imeytyksessä vedenpinta nousee kallion asemaa korkeammalle.

#### **5.2 Pohjaveden virtauskuva**

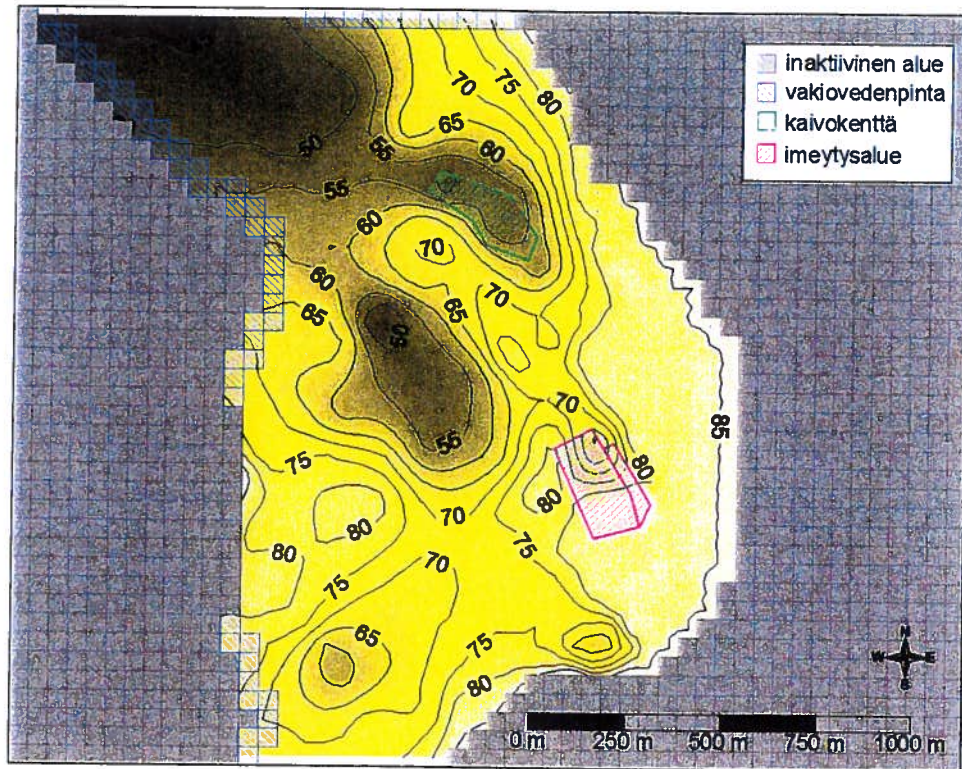
Pohjavesiesiintymä rajautuu koillisessa, idässä ja kaakossa kallioihin, eli näillä alueilla kallio on pohjavedenpintaa korkeammalla. Pohjavedenpinnan korkeus on määritetty havaintoputkista ja yksityisistä talousvesikaivoista. Pohjavesialueen ulkopuolella pinnan taso arvioitiin. Mittaustietona on käytetty keskimääristä pohjaveden korkeutta.

Pohjavedenpinta on luonnontilassa korkeimmillaan suunnitellun imeytyspaikan eteläpuolella lähes +87 metriä. Täältä pinta laskee nopeasti ja on imeytyspaikan pohjoispuolella jo +84,20. Pohjavedenpinnan vietto on loiva imeytysalueelta Roineeseen. Pieni osa virtauksesta suuntautuu lounaaseen. Roineen vedenpinnan taso on +84 m. Luonnontilassa pohjaveden taso on suunnitellulla kaivoalueella +84,3 m. Pohjavettä muodostuu alueella noin  $1700 \text{ m}^3/\text{d}$ , tämä määrä purkautuu lähes kokonaan Roineeseen.

Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

### 5.3 Pohjavesikerroksen pohja

Pohjavesikerroksen pohja voi olla kallio tai tiivis maalaji (Sa, Si, SiMr tms.), jossa pohjaveden virtausta ei käytännössä tapahdu. Akviferin pohjan tason arvioinnissa lähtökohtana olivat kairaukset ja painovoimamittaukset. Akviferin pohjataso on esitetty kuvassa 1.



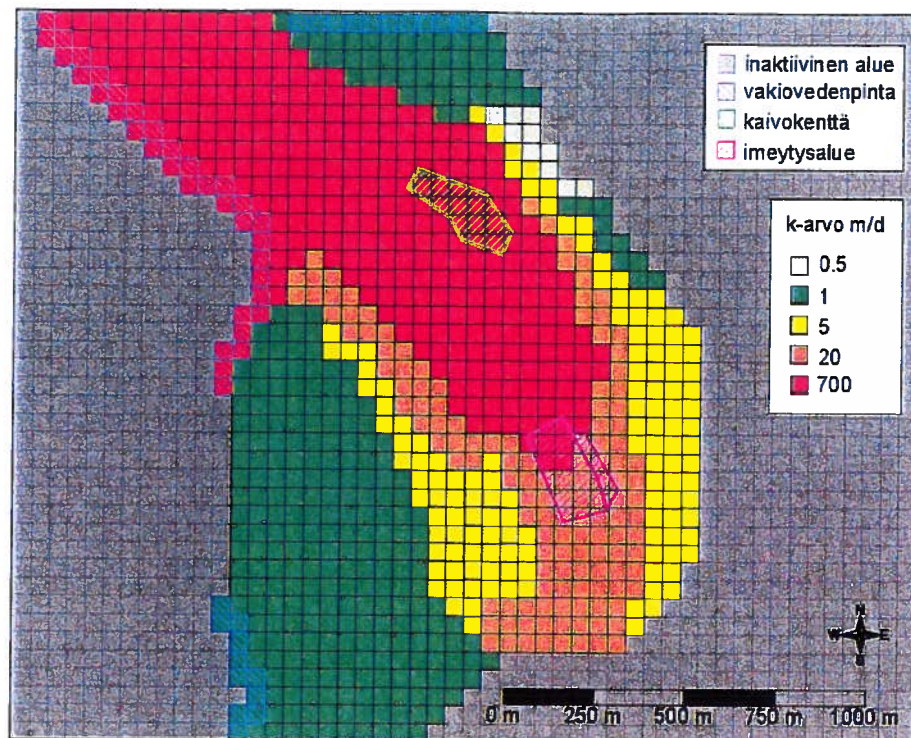
Kuva 1. Akviferin pohjan taso

### 5.4 Vedenjohtavuus

Vedenjohtavuusarvot (k) vaihtelevat 1 – 700 m/d. Tehtyjen maastotutkimusten ja virtauskuvan perusteella imeytyspaikalta kaivoalueelle (ja kaivoilta edelleen luoteeseen) sijaitsee erittäin hyvin vettä johtava kerros. Keskeisen vyöhykkeen ympärillä on heikommin vettä johtavaa maaperää. Mallissa käytetyt vedenjohtavuusarvot (k m/d) on esitetty kuvassa 2.



Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko



Kuva 2. Vedenjohtavuusarvot ( $k$  m/d)

## 5.5 Kalibrointitulos

Malli kalibroitui luonnontilassa keskimääräiseen pohjavedenpinnan tasoon ja arvioituihin purkumääriin (kartta 1). Kalibrointitulosta voi pitää hyvänä, mittausten ja lasketun pinnan ero on suurimmillaan muutaman kymmenen cm:n luokkaa. Kalibrointitarkkuutta arvioitaessa on syytä muistaa alueen pohjavesikerroksen paksuus (keskimäärin 10 – 20 m, suurimmillaan 35 m) ja pohjaveden luonnolliset, vuodenaikoihin liittyvät, pinnan-korkeusmuutokset (0,4 – 1 m).

Kalibrointia tarkennettiin ajamalla simuloitu imeytyskoe tasapainotilassa (kartta 2). Imeytyskokeessa imeytysalue oli jaettu kolmeen osa-alueeseen, joista ensimmäinen oli alueen pohjoisosassa, toinen keskiosassa ja kolmas etelässä. Imeytyskokeet on raportoitu erikseen (TAVASE Eteläinen työryhmä. Kangasalan Vehoniemenharjun pohjavesi- ja tekopohjavesitutkimus.991268IS, 3.10.2000, Maa ja Vesi Oy). Simulointi ajettiin tasapainotilassa keskialueella ja tuloksia verrattiin kokeen ylenemiin. Simulointi on karkea yleistys maastokokeesta, mutta tulosten suuruusluokka on sama, erot ylenemissä ovat suurimmillaan muutaman kymmenen cm:n luokkaa.

## 5.6 Tuotantotilanteen simulaatio

Kalibroidulla mallilla tarkasteltiin suunniteltu tuotantotilanne (imeytys ja otto 20 000 m<sup>3</sup>/d). Periaatteena on, että alueelta ei hyödynnetä luontaisesti muodostuvaa pohjavettä (n. 1700 m<sup>3</sup>/d).

Ennusteen mukaan ylenemä imeytyspaikalla tulee olemaan suurimmillaan 3 – 4 metrin luokkaa (kartta 3.) Taiteviiva (0-ylenemä/alenema) sijaitsee melko lähellä suunniteltua

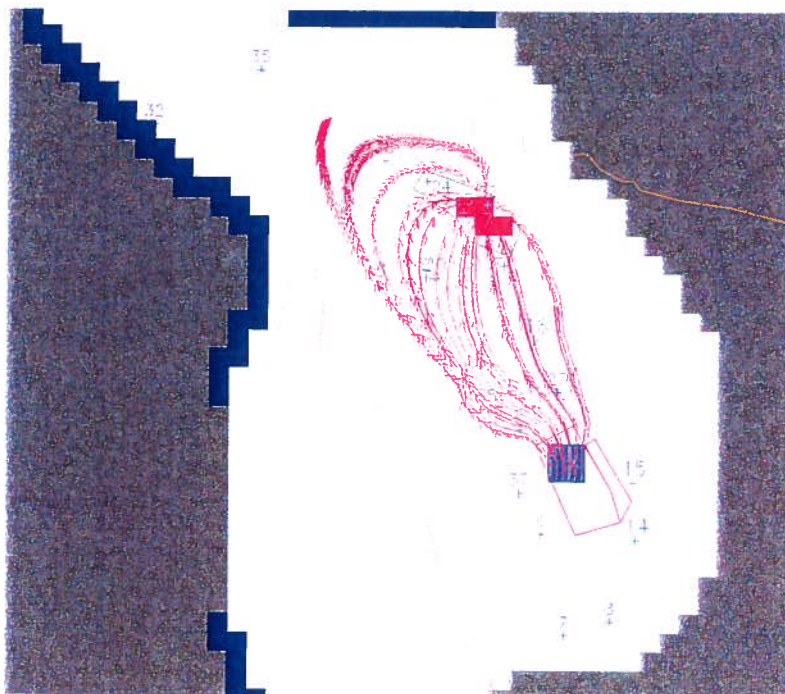


Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

kaivoaluetta. Vedenottokaivojen ympäristössä ei tulisi ilmetä merkittävää alenemaa, vaan se kompensoituu imeytettävällä vedellä, eivätkä virtaussuunnat muutu merkittävästi luonnontilaisesta. Tuotantotilanteen virtauskuva on esitetty kartalla 4.

Vesitaseessa ei simulaation mukaan tapahdu juuri muutoksia. Purkautuva vesimäärä Roineeseen luoteessa ja lounaassa pysyy luonnontilaa vastaavana. Muodostuma ei juuri pura pohjavettä salaojitetuilla peltoalueilla. Kartalla 5 on esitetty maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliin jäävän maakerroksen paksuus luonnontilassa ja kartalla 6 tuotantotilanteessa. Kerrospaksuus on huomattava.

Veden minimiviipymä on 40 vrk:n luokkaa. Minimiviipymällä tarkoitetaan aikaa, kun ensimmäiset vesipartikkelit kulkeutuvat imeytysalueelta vedenottokaivoille. Esimerkki viipymätarkastelusta on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Pohjaveden viipymä imeytysalueelta vedenottokaivoille. Nuolien väli 10 vrk:ta

## 6 KAIVOALUE 2

### 6.1 Mallin rajat ja reunaehdot

Mallialue on 2,5 \* 1,5 km suuruinen. Mallin rajaus, reunaehdot, havaintopisteet ja luonnontilainen pohjavedenpinta sekä suunnitellut imeytys- ja kaivoalueet on esitetty kartalla 7. Reunaehto periaatteet on kuvattu aiemmin kappaleessa 4.3.

Imeytysalueen 3 itäpuolella aktiivista virtauskenttää on hieman laajennettu tuotantotilanteen pohjavedenpinnan mukaan. Toisin sanoen, nykytilassa inaktiivinen alue (kallio pohjavedenpintaa korkeammalla) on määritetty kuuluvaksi aktiiviseen virtauskenttään niiltä osin, missä imeytyksessä vedenpinta nousee kallion asemaa korkeammalle.

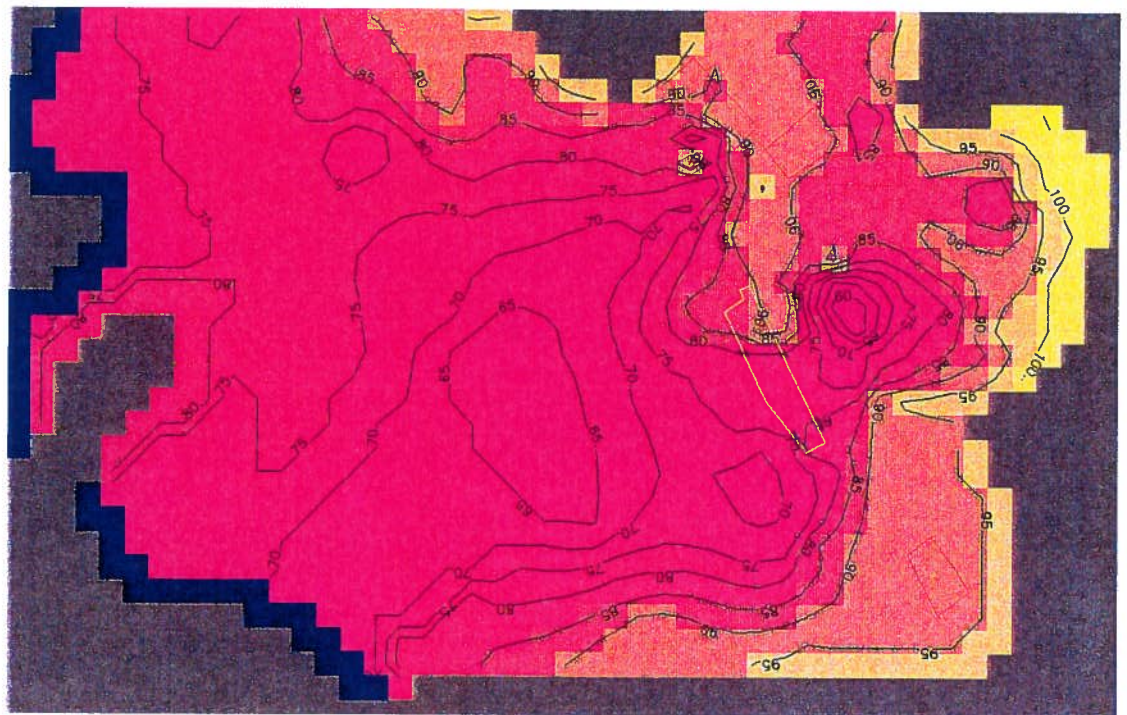
Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

## 6.2 Pohjaveden virtauskuva

Pohjavesiesiintymä rajoittuu kallioihin idässä, koillisessa ja osin myös pohjoisessa. Vedenpinta on korkeimmillaan koillisessa, suunniteltujen imeytysalueiden kohdalla hie-  
man vajaa 99 metriä. Kaivoalueen eteläpuolella pinta on +98 m, mistä se laskee Mallas-  
veden tasolle +84 m. Pohjavettä muodostuu varsinaisella pohjavesialueella n. 1100 m<sup>3</sup>/d.  
Inaktiiviseksi luokitellulta osalta (kallio pohjavedenpintaa korkeammalla) arvioitiin alu-  
eelle tulevan vettä noin 1500 m<sup>3</sup>/d. Peltoalueilla ja muilla ojitetuilla alueilla muodostuu  
yhteensä noin 300 m<sup>3</sup>/d. Pohjavesi purkautuu pääasiassa lounaassa peltojen eteläpuoli-  
sella ojitetulla alueella (n. 2800 m<sup>3</sup>/d) ja loput purkautuu suoraan Mallasveteen.

## 6.3 Pohjavesikerroksen pohja

Pohjavesikerroksen pohja voi olla kallio tai tiivis maalaji (Sa, Si, SiMr tms), jossa poh-  
javeden virtausta ei käytännössä tapahdu. Akviferin pohjan tason arvioinnissa lähtökoh-  
tana olivat kairaukset ja painovoimamittaukset. Akviferin pohjataso on esitetty kuvassa  
4.

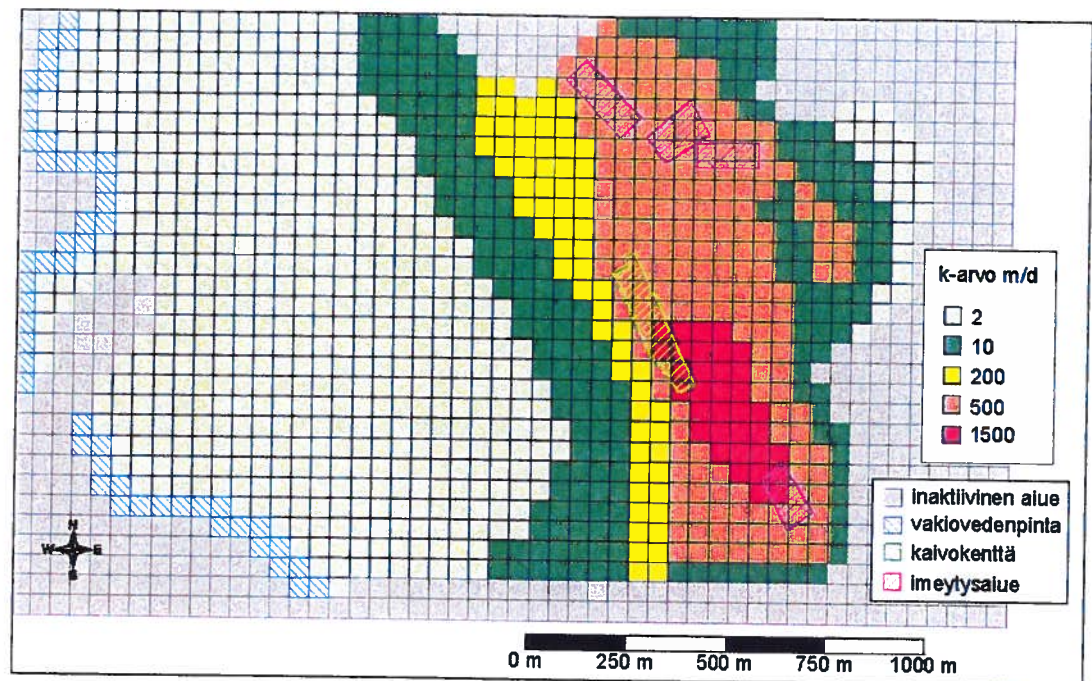


Kuva 4. Akviferin pohjan taso

## 6.4 Vedenjohtavuus

Maastotutkimusten ja pohjaveden virtauskuvan mukaan parhaiten vettäjohtavat kerrok-  
set sijaitsevat harjun länsireunalla. Vedenjohtavuus (k) vaihtelee keskeisellä osalla 500  
– 1500 m/d. Länsiosalla vedenjohtavuus on huomattavasti pienempi (kuva 5).





Kuva 5. Vedenjohtavuusarvot ( $k$  m/d)

## 6.5 Kalibrointitulokset

Malli kalibroitettiin luonnontilassa keskimääräiseen pohjavedenpinnan tasoon ja arvioitiin purkumääriin (kartta 7). Kalibrointitulosta voi pitää hyvänä, mittausten ja lasketun pinnan ero on suurimmillaan muutaman kymmenen cm:n luokkaa. Kalibrointitarkkuutta arvioitaessa on syytä muistaa alueen pohjavesikerroksen paksuus (keskimäärin 10 – 20 m, suurimmillaan 35 m) ja pohjaveden luonnolliset, vuodenaikoihin liittyvät, pinnan-korkeusmuutokset (0,4 – 1 m).

Kalibrointia tarkennettiin ajamalla simuloitu imeytyskoe tasapainotilassa (kartta 8a, 8b ja 8c). Imeytyskoe tehtiin useissa eri vaiheissa eri osa-alueilla, tutkimukset on raportoitu erikseen (TAVASE Eteläinen työryhmä. Kangasalan Vehoniemenharjun pohjavesi- ja tekopohjavesitutkimus.991268IS, 3.10.2000, Maa ja Vesi Oy). Simuloitu koeimeytys ajettiin tasapainotilassa neljällä imeytysalueella tulosten suuruusluokan vertaamiseksi. Imeytyskokeen perusteella arvioitiin ylenemä ja alenemia tasapainotilassa ja niitä verrattiin mallisimulointeihin. Tulosten suuruusluokka vastaa toisiaan, erot pohjavedenpinnan käyttäytymisessä ovat suurimmillaan muutaman kymmenen cm:n luokkaa.

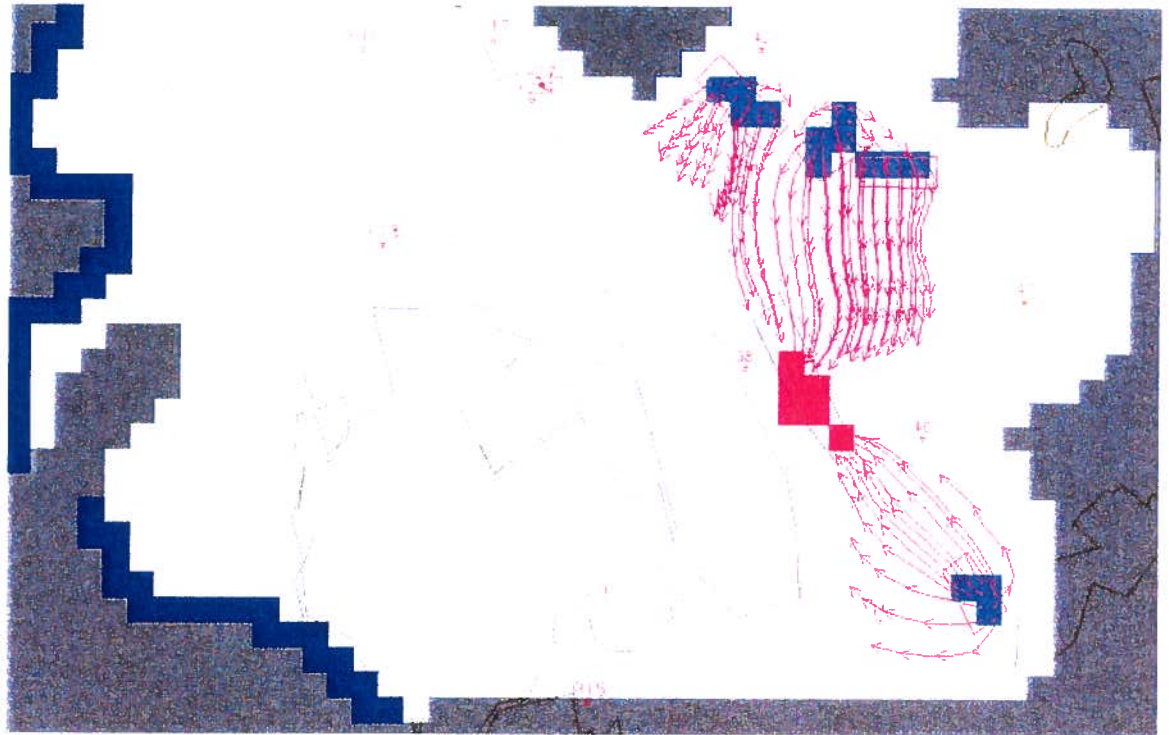
## 6.6 Tuotantotilanteen simulaatio

Laitoksen tuotantotilanteessa (otto 25 000, imeytys 3\*6000 alueella 2 ja 7000 alueella 3) pohjavedenpinta nousee imeytysalueella 2 noin 1,5 metriä. Imeytysalueella 3 ylenemä on 1 metrin luokkaa. Taiteviiva (0-ylenemä/alenema) sijoittuu kaivoalueen ja imeytysalueen 2 puoliväliin ja etelässä imeytysalue 3 tuntumaan. Kaivoalueen ympäristössä alenema on 1 metrin luokkaa (kartta 9). Pohjaveden virtaus kääntyy paikallisesti kaivoaluetta kohti, muutos luonnontilaiseen virtauskuvaan on pieni. Kartalla 10 on esitetty tuotantotilanteen pohjaveden virtauskuva.

Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

Vesitase pysyy imeytyksessä luonnontilan kaltaisena, purkautuvat vesimäärät ovat lähes samat. Kartalla 11 on esitetty maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliin jäävän maakerroksen paksuus luonnontilassa ja kartalla 12 tuotantotilanteessa. Kerrospaksuus on huomattava.

Veden minimiviipymä eri imeytysalueilta on 30 - 40 vrk:n luokkaa. Minimiviipymällä tarkoitetaan aikaa, kun ensimmäiset vesipartikkelit kulkeutuvat imeytysalueelta vedenotto-kaivoille. Esimerkki viipymätarkastelusta on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Pohjaveden viipymä imeytysalueelta vedenotto-kaivoille. Nuolien väli 10 vrk:ta.

## 7 KAIVOALUE 3

### 7.1 Mallin rajat ja reunaehdot

Mallialue on 2,5 \* 2,5 km suuruinen. Mallin raja, reunaehdot, havaintopisteet ja luonnontilainen pohjavedenpinta sekä suunnitellut imeytys ja kaivoalueet on esitetty kartalla 13. Reunaehto- ja periaatteet on kuvattu aiemmin kappaleessa 4.3.

Imeytysalueen 4 kohdalla aktiivista aluetta on hieman laajennettu tuotantotilanteen virtauskuvan mukaan. Toisin sanoen nykytilassa inaktiivinen alue (kallio pohjavedenpintaa korkeammalla) on määritetty kuuluvaksi aktiiviseen virtauskenttään, koska imeytyksessä vedenpinta nousee kallion asemaa korkeammalle.



Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

## **7.2 Pohjaveden virtauskuva**

Pohjavesi virtaa muodostumassa pääasiassa luoteesta kaakkoon, eli suunnitellulta imeytyspaikalta kaivoalueelle. Imeytysalueella 4 ei todettu pohjavedenpintaa, eli imeytys tehtiin suoraan kallioselälle. Alueen eteläpuolella pohjavedenpinta on +95,5 metrin tasolla, mistä se laskee varsin tasaisesti kaakkoon havaintoputken 102 tienoille. Tämän jälkeen pinta putoaa lyhyellä matkalla +92,6 tasolta 89,4 metriin. Käsityksemme mukaan jyrkkä muutos gradientissa ei johdu maaperän vedenjohtavuusominaisuuksista, vaan pohjaveden virtausta rajoittaa mitä todennäköisimmin kalliokynnys. Kynnystä ei ole kuitenkaan tässä vaiheessa vielä todennettu kairauksilla.

Muodostuman länsi- ja itäpuolella pohjaveden pinta on korkeimmillaan 100 – 105 metrin tasolla, eli virtaus suuntautuu lähiympäristöstä osin pohjavesialueelle.

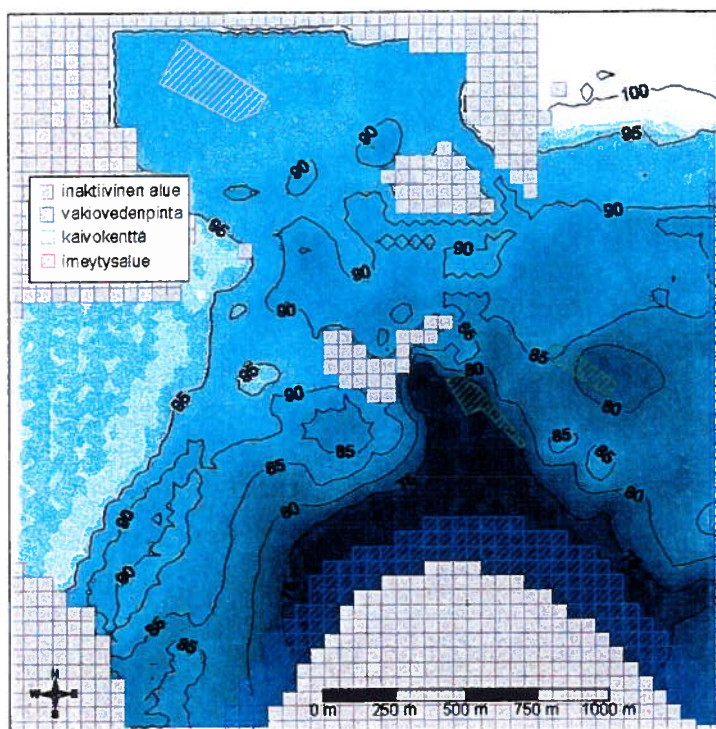
Virtausmallinnuksen aikana kaivoalueelle 3 asennettiin varmennukseksi viisi havaintoputkea (281, 282, 284, 287 ja 289) ja suoritettiin yksi lisäkairaus. Pisteiden 281 ja 284 tietojen perusteella muodostuma ei pura pohjavettä pohjoisessa itään. Sen sijaan havaintopisteen 287 kautta on olemassa virtausyhteys etelään. Pisteessä 289 putken asennus epäonnistui lohkaraisen maaperän vuoksi. Tarkennuskairauksessa kaivoalueiden välisessä supassa kallion asema on 44 metrin syvyydellä maanpinnasta eikä rajoita virtausyhteyttä.

Tarkasteltavalla alueella muodostuu pohjavettä noin 2200 m<sup>3</sup>/d, kallioalueilta alueelle tulee vettä noin 650 m<sup>3</sup>/d. Muodostuma purkaa pohjavettä lähinnä Mallasveteen, pieni osa virtauksesta jatkaa kulkua kaakkoon harjun suuntaisesti

## **7.3 Pohjavesikerroksen pohja**

Pohjavesikerroksen pohja voi olla kallio tai tiivis maalaji (Sa, Si, SiMr tms.), jossa pohjaveden virtausta ei käytännössä tapahdu. Akviferin pohjan tason arvioinnissa lähtökoh-tana olivat kairaukset ja painovoimamittaukset. Akviferin pohjataso on esitetty kuvassa 7.

Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

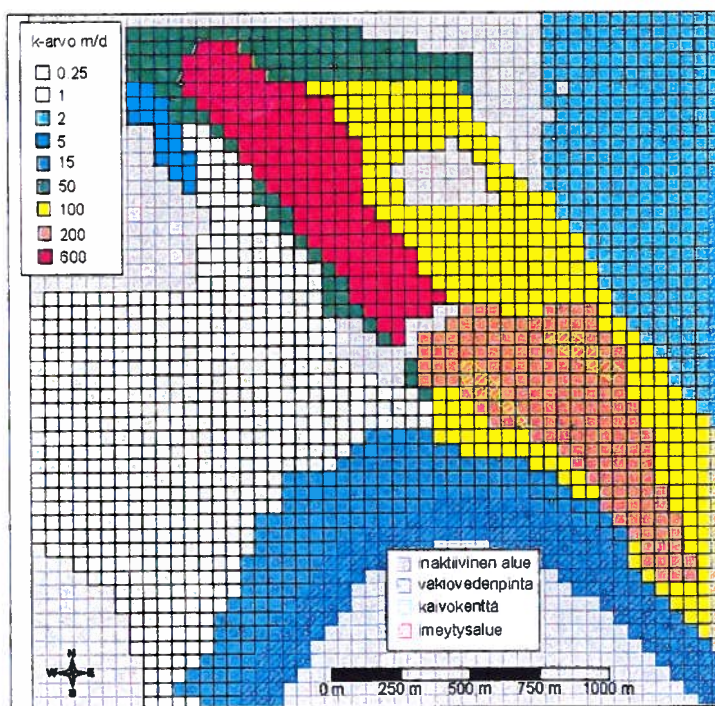


Kuva 7. Akviferin pohjan taso

## 7.4

### Vedenjohtavuus

Vedenjohtavuus vaihtelee muodostuman pääosalla 200 – 600 m/d. Reunoilla johtavuus on 1 – 15 m/d luokkaa (kuva 8).



Kuva 8. Vedenjohtavuusarvot (k m/d)

## 7.5 Kalibrointitulos

Malli kalibroitiin luonnontilassa keskimääräiseen pohjavedenpinnan tasoon ja arvioituihin purkumääriin (kartta 13). Kalibrointitulosta voi pitää tyydyttävänä, mittausten ja lasketun pinnan ero on keskeisellä alueella 0,5 m:n luokkaa. Lounaassa, jyrkkägradienttisella alueella kaivojen vedenpinnat ovat pääsääntöisesti 1 – 2 metrin tarkkuudella. Kalibrointitarkkuutta arvioitaessa on syytä muistaa alueen pohjavesikerroksen paksuus (keskimäärin 3 – 8 m, suurimmillaan 17 m) ja pohjaveden luonnolliset, vuodenaikoihin liittyvät, pinnankorkeusmuutokset (0,4 – 1 m).

Tarkasteltavan akviferin pohjavesikerros on ohut verrattuna muihin mallialueisiin. Havaintoputken 102 kaakkoispuolella sijaitsevaa oletettua kalliokynnystä ja Kankaanmaan aluetta simuloitiin MODFLOW:n Wetting Capability -ominaisuudella. Tällöin pohjavedenpinnan noustessa annetun kynnystason yli vesi voi virrata myös mallissa inaktiivisen kallioalueen poikki.

Kalibrointitulosta pyrittiin tarkentamaan simuloidulla imeytyskokeella. Tässä vaiheessa todettiin kuitenkin konvergointiongelmia (malliajo ei mene läpi, vaan päättyy laskennan virheilmoitukseen), mitkä liittyvät MODFLOW:n Wetting Capability -ominaisuuden käyttöön. Kun kalliokynnyksen päällä on ohut vesikerros, se tuottaa laskennassa ongelmia. Mallin ratkaistaessa iteratiivisesti virtausyhtälöä nämä ruudut ovat välillä aktiivista virtauskenttää ja välillä kuivia eli inaktiivisia. Wetting Capability:n laskennalliset ongelmat on tunnettu ja monin osin dokumentoitu. Tuotantotilanteessa, suuremmilla vesimäärillä, konvergointiongelmia ei ilmennyt.

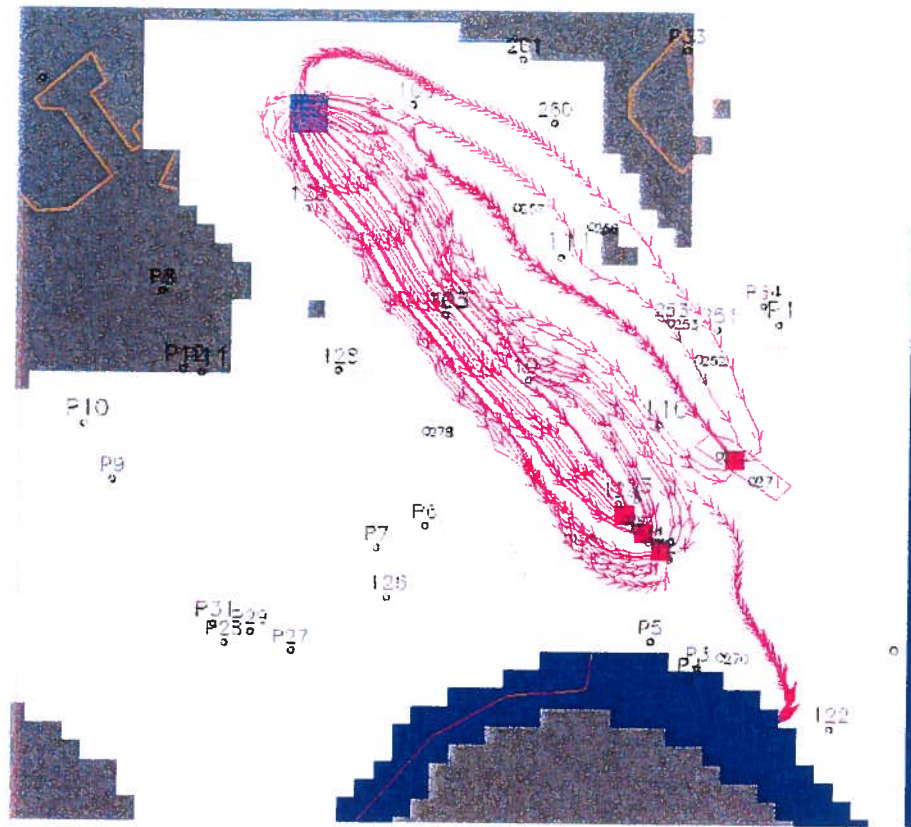
## 7.6 Tuotantotilanteen simulaatio

Laitoksen tuotantotilanteessa (otto 20 000, imeytys 20 000) pohjavedenpinta nousee imeytysalueella noin 11 metriä ja alenema on kaivojen lähipiirissä 0,5 – 1 metrin luokkaa. (kartta 14). Malli yliarvioi ylenemää imeytysalueella ja vastaavasti aliarvioi aleneman suuruutta kaivoalueilla. Käsityksemme mukaan ylenemän tulisi olla 8 metrin luokkaa ja aleneman 2 metrin luokkaa. Imeytysalueen kaakkoispuolella virtauskuvassa tapahtuu muutos. Ylenemän seurauksena tilanne tasapainottuu, eikä virtausta harjun suuntaan enää tapahdu. Tuotantotilanteen pohjaveden virtauskuva on esitetty kartalla 15.

Vesitase pysyy imeytyksessä luonnontilan kaltaisena, muutokset purkausmäärissä ovat pieniä. Muodostuma ei juuri pura pohjavettä peltoalueilla. Purku tapahtuu suurelta osin rantavyöhykkeellä. Osa pohjavedestä purkautuu suoraan Mallasveteen. Kartalla 16 on esitetty maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliin jäävän maakerroksen paksuus luonnontilassa ja kartalla 17 tuotantotilanteessa. Kerrospaksuus on huomattava.

Veden minimiviipymä imeytysalueelta kaivoille on 60 - 70 vrk:ta. Minimiviipymällä tarkoitetaan aikaa, kun ensimmäiset vesipartikkelit kulkeutuvat imeytysalueelta vedenotto-kaivoille. Kuvassa 9 on esimerkki viipymätarkastelusta.





Kuva 9. Pohjaveden viipymä imeytysalueelta vedenotto-kaivoille. Nuolien väli 10 vrk:tta.

## 8 EHDOTUKSIA JATKOTOIMISTA

### Kaivoalue 1

Mikäli imeytysalueen 1 eteläosaa tullaan hyödyntämään täysimääräisesti toimintaan sisältäytty riski, että osa imeytetystä vedestä tulee virtaamaan lounaaseen. Imeytys on toteutettava alueen pohjoisosalla. Imeytyspaikan länsipuolella tiiviit kerrostumat havaintopisteiden 37 ja 6 tienoilla salpaavat pohjaveden virtausta länteen.

Imeytysalueen laajentamiseksi on tehtävä maastotutkimuksia nykyisen rajauksen itä- ja koillispuolella. Alueella tulee tehdä kairauksia ja asentaa kolme havaintoputkea. Tarkkailua varten havaintoputkiverkostoa on syytä täydentää, lisäputkia 4 kpl, tulee asentaa Vehoniementien tuntumaan. Umpiperän osalta tarkentava kairaus on paikallaan.

### Kaivoalue 2

Allasimeytysvaihtoehtoa on kaavailtu imeytysalueen 2 pohjoispuoleiselle sora-alueelle. Virtausmallin perusteella pohjaveden viipymä lisääntyy ko. ratkaisulla noin 10 vrk:tta. Havaintopisteverkostoa tulee täydentää asentamalla yhteensä yhdeksän havaintoputkea.



Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

## Kaivoalue 3

Syy pohjavedenpinnan vieton jyrkkään muutokseen pisteen 102 kaakkoispuolella on selvitettävä kairauksin. Selän varmennukseksi imeytysalueen 4 länsipuolelle on asennettava kaksi pohjavesiputkea ja etelään Taustin alueelle yksi havaintoputki.

Vantaalla 22. syyskuuta 2003



Esa Hintikainen

Fjalar Engberg

hydrogeologi

hydrogeologi



Jaana Mäki-Torkko

hydrogeologi

**Liitteet**

Esa Hintikainen, Fjalar Engberg, Jaana Mäki-Torkko

LIITE I

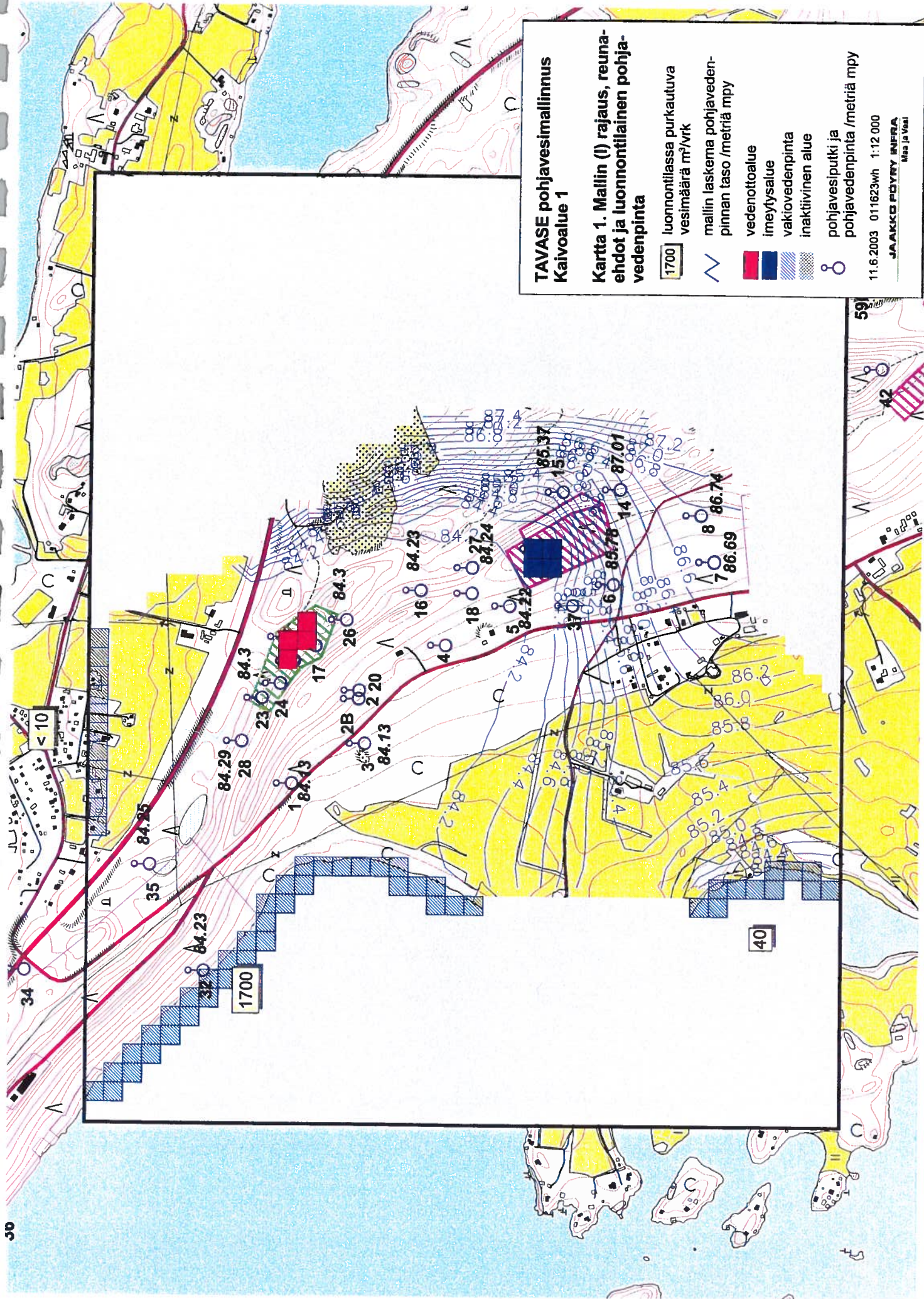
Vehoniemen-Isokankaan harjualueen hydrogeologisia olosuhteita koskevat tutkimukset ja selvitykset sekä tekopohjavesilaitossuunnitelmat

- Pälkäneen Isokankaan ja Kangasalan Vehoniemenharjun aerogeofysikaalinen ruhjetulkinta. 1994. Geologian tutkimuskeskus. 15.12.1994.
- Kaivokartoitus ja lähteiden virtaamamittaukset Pälkäneen Isokankaalla ja Syrjänharjulla sekä Kangasalan Vehoniemenharjulla. 1995. Maa ja Vesi Oy. 13.9.1995.
- Seismiset luotaukset Kangasalan Vehoniemenharjulla. 1995. Geologian tutkimuskeskus. 18.12.1995.
- Pälkäneen Isokankaan ja Kangasalan Vehoniemenharjun gravimetriset tutkimukset. 1995. Geologian tutkimuskeskus, loppuraportti 14.2.1995.
- Kangasalan Vehoniemen geofysikaaliset tutkimukset 1994-1996. 1996. Geologian tutkimuskeskus. 4.10.1996.
- Kangasalan kunnan pohjavesialueiden suojelusuunnitelma 1997. Hämeen ympäristökeskus Tampere. Ympäristölautakunta 11.3.1997. Tekninen lautakunta 4.3.1997. Kunnanhallitus 17.3.1997.
- Vehoniemenharjun pohjavesi- ja tekopohjavesitutkimus Alue 1, TAVASE Eteläinen työryhmä. 1998. Maa ja Vesi Oy Jaakko Pöyry Group. 10.3.1998.
- Tuominen, S. M. ja Sarkkila J. 1998. Vehoniemenharjun tekopohjavesimallinnus Kaivo 1, TAVASE Eteläinen työryhmä. Suomen Ympäristökeskus. 15.9.1998.
- Täydentävät painovoimamittaukset Kangasalan Vehoniemenharjulla 1998. 1998. Geologian tutkimuskeskus. 30.11.1998.
- Pohjaveden tarkkailuohjelma Haaviston maa-ainesten ottoalueella. 1998. Maa ja Vesi Oy, 14.5.1998.
- Vesiasetuksen 69 §:n mukainen selvitys Kangasalan kunnan Vehoniemen pohjavedenottamon lupahakemukseen. 1999. Maa ja Vesi Oy. Vantaa, 28.6.1999.
- Vehoniemenharjun pohjavesi- ja tekopohjavesitutkimus Alue 2. 1999. Maa ja Vesi Jaakko Pöyry Group. Vantaa, 10.2.1999.
- Vehoniemenharjun tekopohjavesilaitoksen kustannusarvio, TAVASE Eteläinen työryhmä. 1999. Maa ja Vesi Oy Jaakko Pöyry Group. Helmikuu 1999.
- Tuominen S. M. 1999. Vehoniemenharjun tekopohjavesimallinnus Kaivo 2, TAVASE Eteläinen työryhmä. Suomen ympäristökeskus. 20.10.1999.
- Kangasalan Vehoniemenharjun pohjavesi- ja tekopohjavesitutkimus, TAVASE Eteläinen työryhmä. 2000. Jaakko Pöyry Infra Maa ja Vesi. Vantaa 3.10.2000.
- Vehoniemenharjun tekopohjavesilaitos, kustannusarvion päivitys. 2001. Jaakko Pöyry Infra Maa ja Vesi Oy. Loppuraportti 17.4.2001.
- Pälkäneen Isokankaan pohjavesi- ja tekopohjavesitutkimus, TAVASE Eteläinen työryhmä. 2001. Jaakko Pöyry Infra Maa ja Vesi. Loppuraportti 20.4.2001.
- Tuominen S. M. 2001. Vehoniemenharjun tekopohjavesimallinnus Kaivo 3, Pälkäne, Isokangas, TAVASE Eteläinen työryhmä. Suomen ympäristökeskus. 7.2.2001.
- Pälkäneen Isokankaan pohjavesi- ja tekopohjavesitutkimus, TAVASE Eteläinen työryhmä. 2001. Maa ja Vesi Oy, 7.2.2001.
- Vehoniemen-Isokankaan harjualueen pohjavesitutkimukset 2002 – 2003. Maa ja Vesi Oy, 6.5.2003.
- Vehoniemen-Isokankaan harjualueen tekopohjavesilaitoksen yleissuunnitelma. Maa ja Vesi Oy, 15.4.2003.
- Vehoniemen-Isokankaan harjualueen tekopohjavesilaitos. Ympäristövaikutusten arviointi. Tavase Oy. 17.4.2003 Suunnittelukeskus Oy.
- Yhteysviranomaisen lausunto ympäristövaikutusten arviointiselostuksesta. [www.ymparisto.fi/poltavo/yva/arkisto/ksu/6/index.htm](http://www.ymparisto.fi/poltavo/yva/arkisto/ksu/6/index.htm)

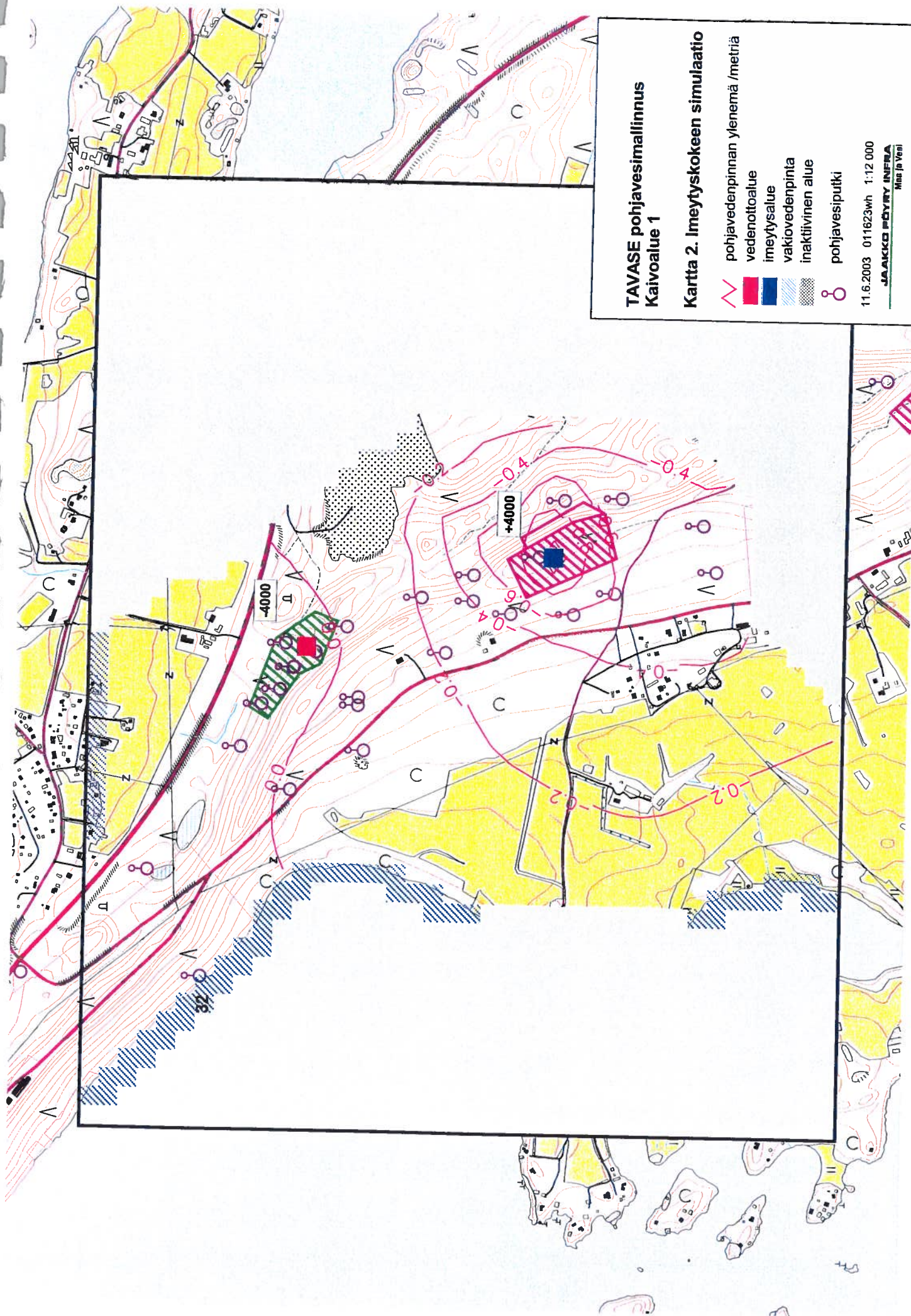


**Kartat**















# TAVASE pohjavesimalinnus Kaivoalue 1

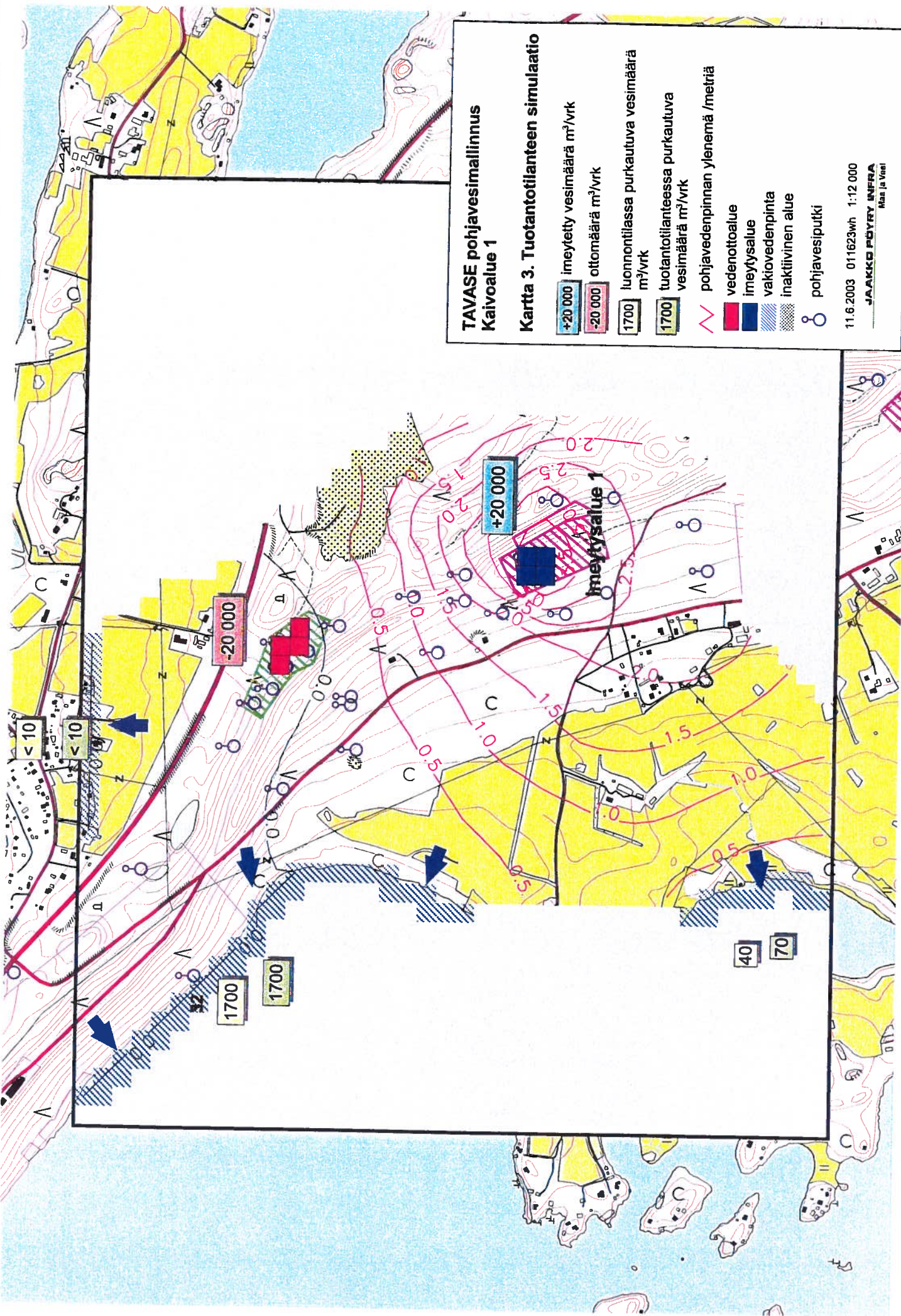
## Kartta 2. Ineytyskokeen simulaatio

-  pohjavedenpinnan ylenemä /metriä
-  vedenottoalue
-  imeytysalue
-  vakiovedenpinta
-  inaktiivinen alue
-  pohjavesiputki

11.6.2003 011623wh 1:12 000

JAAKKO POYRY INFRA  
Maa ja Vesi







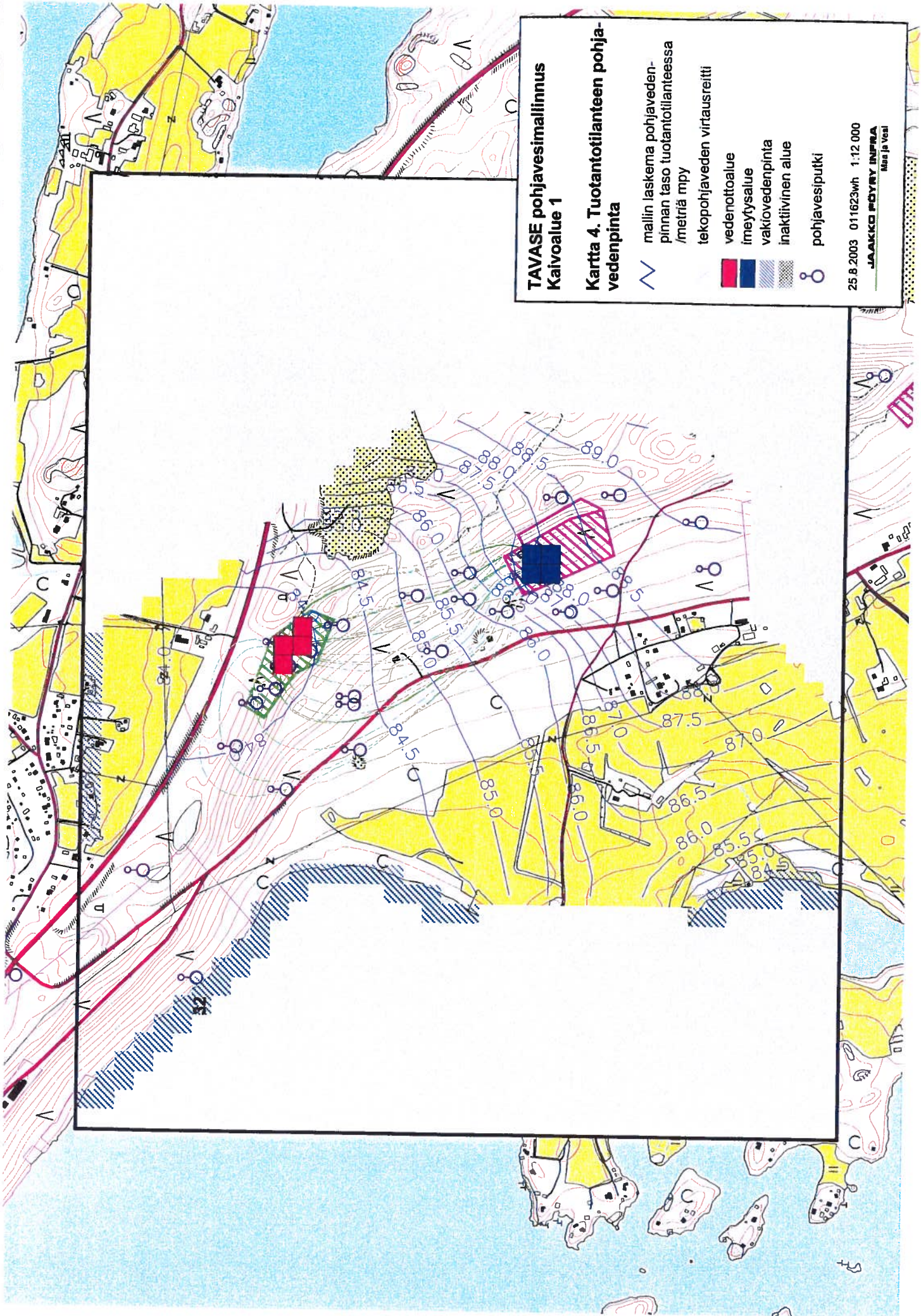
**TAVASE pohjavesimallinnus**  
**Kaivoalue 1**

**Kartta 4. Tuotantotilanteen pohja-**  
**vedenpinta**

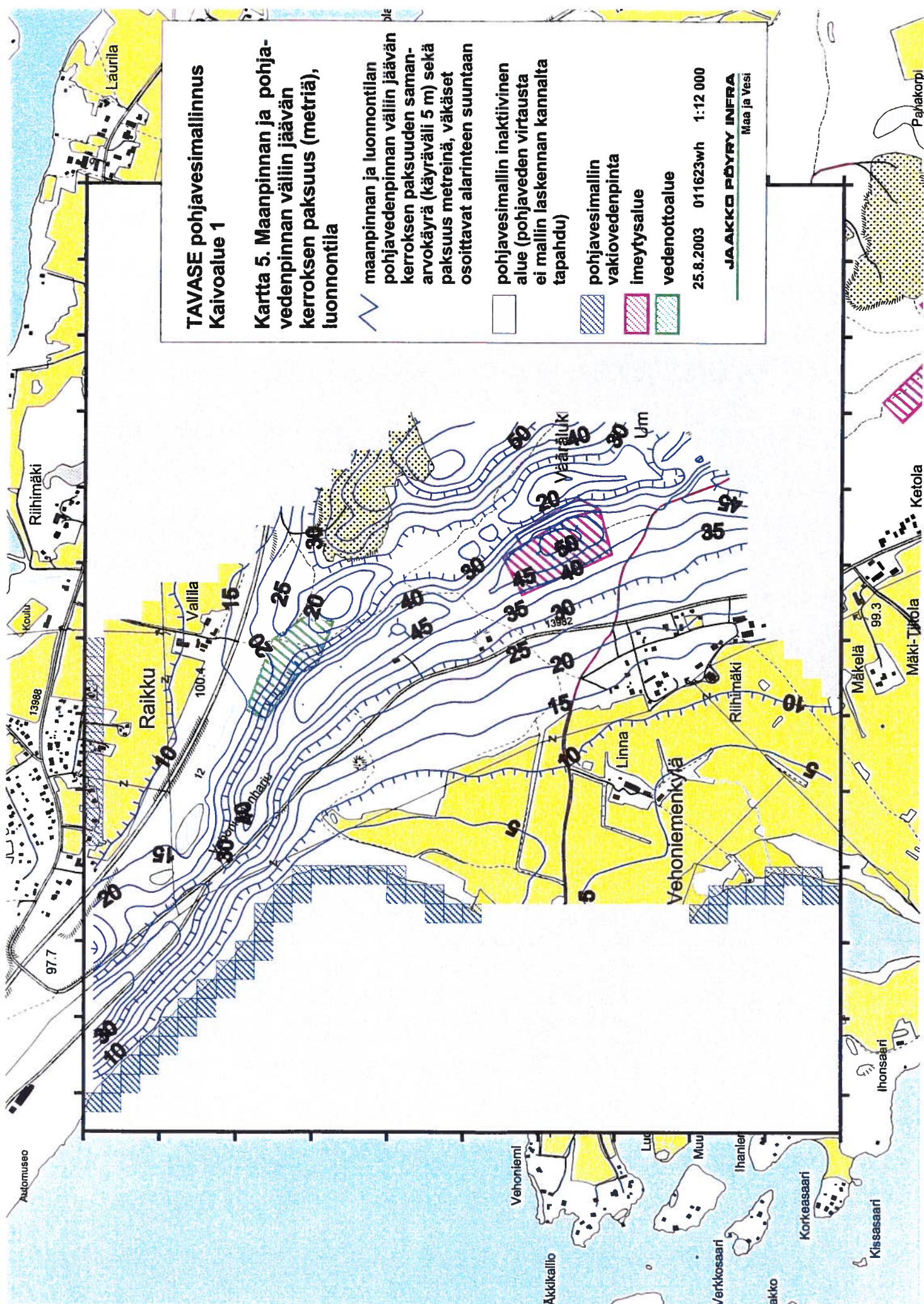
- malin laskema pohjaveden-  
pinnan taso tuotantotilanteessa  
/metriä mpy
- tekopohjaveden virtausreitit
- vedenottoalue  
imeytysalue  
vakiovedenpinta  
inaktiivinen alue
- pohjavesiputki

25.8.2003 011623wh 1:12 000

**JAAKKO PÖYRY INFRA**  
Ma ja Vesi







## TAVASE pohjavesimallinnus Kaivoalue 1

### Kartta 5. Maanpinnan ja pohja- vedenpinnan välin jäävän kerroksen paksuus (metriä), luonnontila

maanpinnan ja luonnontilan  
pohjavedenpinnan välin jäävän  
kerroksen paksuuden saman-  
arvokäyrä (käyräväli 5 m) sekä  
paksuus metreinä, väkäset  
osoittavat alarinteen suuntaan

pohjavesimallin inaktiivinen  
alue (pohjaveden virtausta  
ei mallin laskennan kannalta  
tapahdu)

pohjavesimallin  
vakiovedenpinta  
imeytysalue  
vedenottoalue

25.8.2003 011623wh 1:12 000

**JAAKKO PÖYRY INFRA**  
Maa ja Vesi

Automuseo

Vehoniemä

Akkikallio

Verkkosaari

rakko

Korkeasaari

Kissasaari

Ihonsaari

Mäkelä

Mäki-Tuola

Ketola

Riihimäki

Raikku

Vallila

Linna

Vehoniemä

Riihimäki

Laurila

Pahakorpi



# **TAVASE pohjavesimallinnus** **Kaivoalue 1**

**Kartta 6. Maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliin jäävän kerroksen paksuus (metriä), tuotantotilanne**

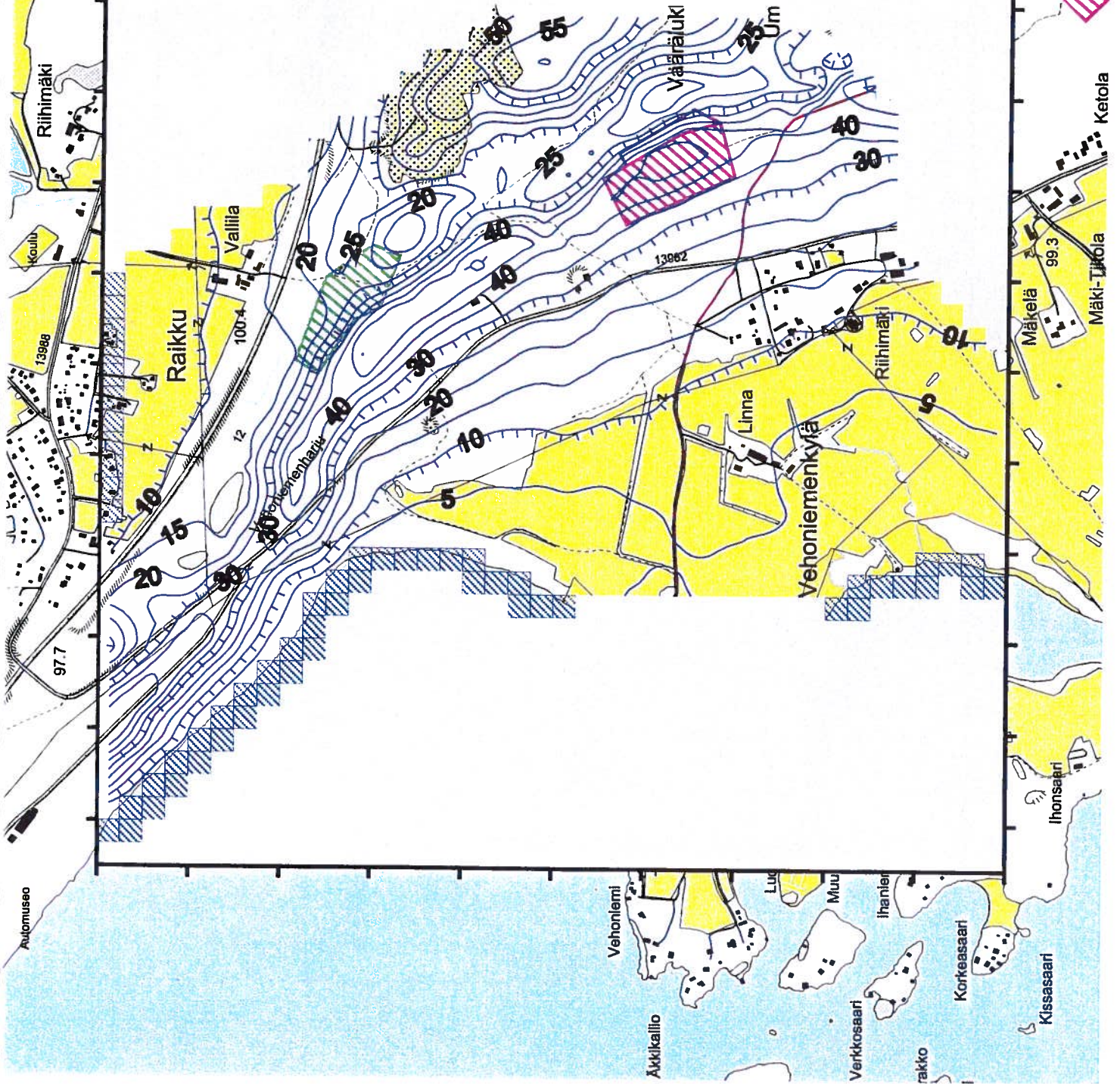
maanpinnan ja tuotantotilanteen pohjavedenpinnan väliin jäävän kerroksen paksuuden samanarvokäyrä (käyräväli 5 m) sekä paksuus metreinä, väkäset osoittavat alarinteen suuntaan

pohjavesimallin inaktiivinen alue (pohjaveden virtausta ei mallin laskennan kannalta tapahdu)

pohjavesimallin vakiovedenpinta  
imeytysalue  
vedenottoalue

25.8.2003 011623wh 1:12 000

**JAAKKO PÖYRY INFRA**  
Maa ja Vesi



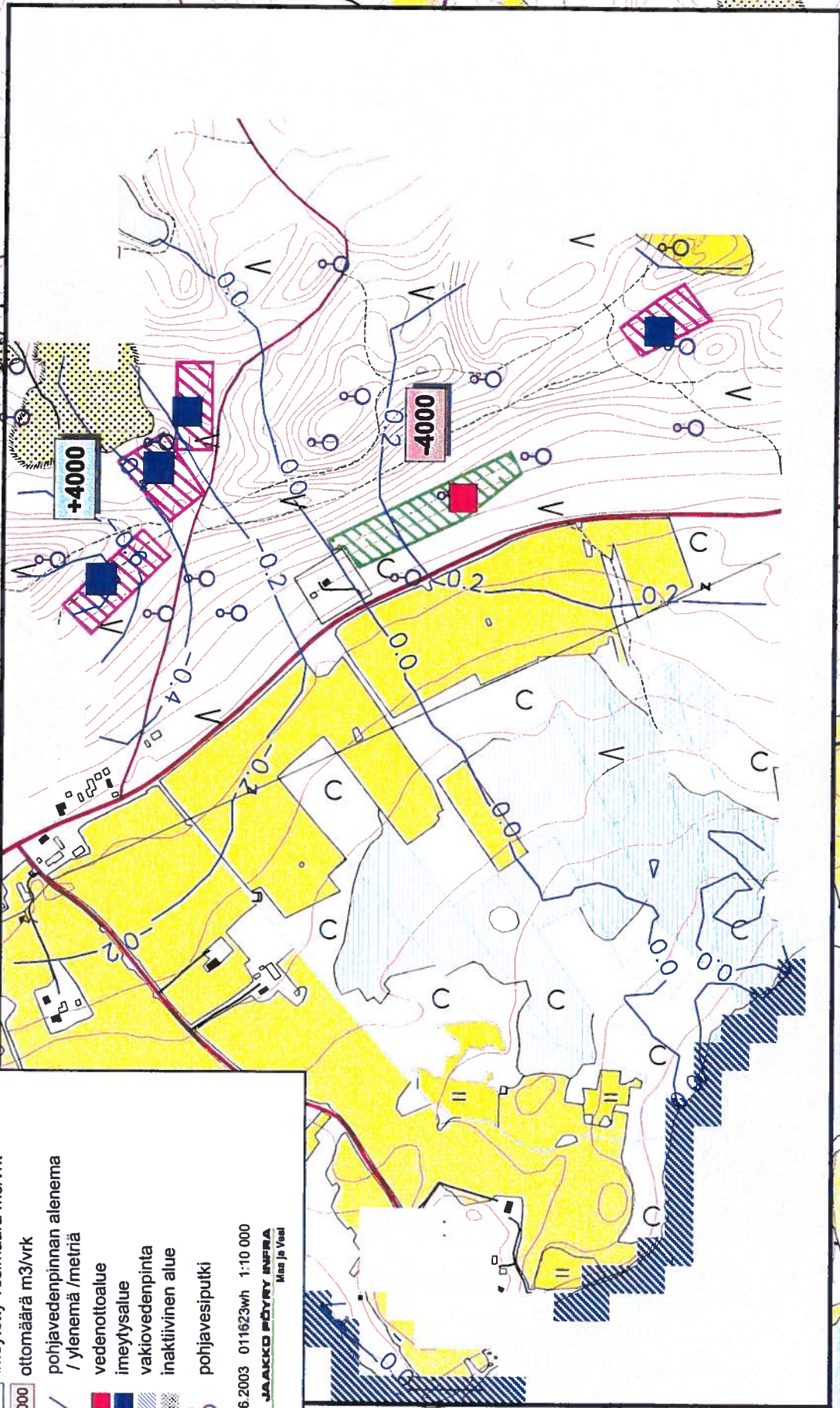


# **TAVASE pohjavesimallinnus** **Kaivoalue 2**

## **Kartta 8a. Imeytyskokeen simulaatio**

- +4000 imeytetty vesimäärä m<sup>3</sup>/vrk
- 4000 ottomäärä m<sup>3</sup>/vrk
- pohjavedenpinnan alenema / ylenmä /metriä
- vedenottoalue
- imeytysalue
- vakiovedenpinta
- inaktiivinen alue
- pohjavesiputki

11.6.2003 011823wh 1:10 000  
JAAKKO PÖYRY INPRA  
Maa ja Vesi





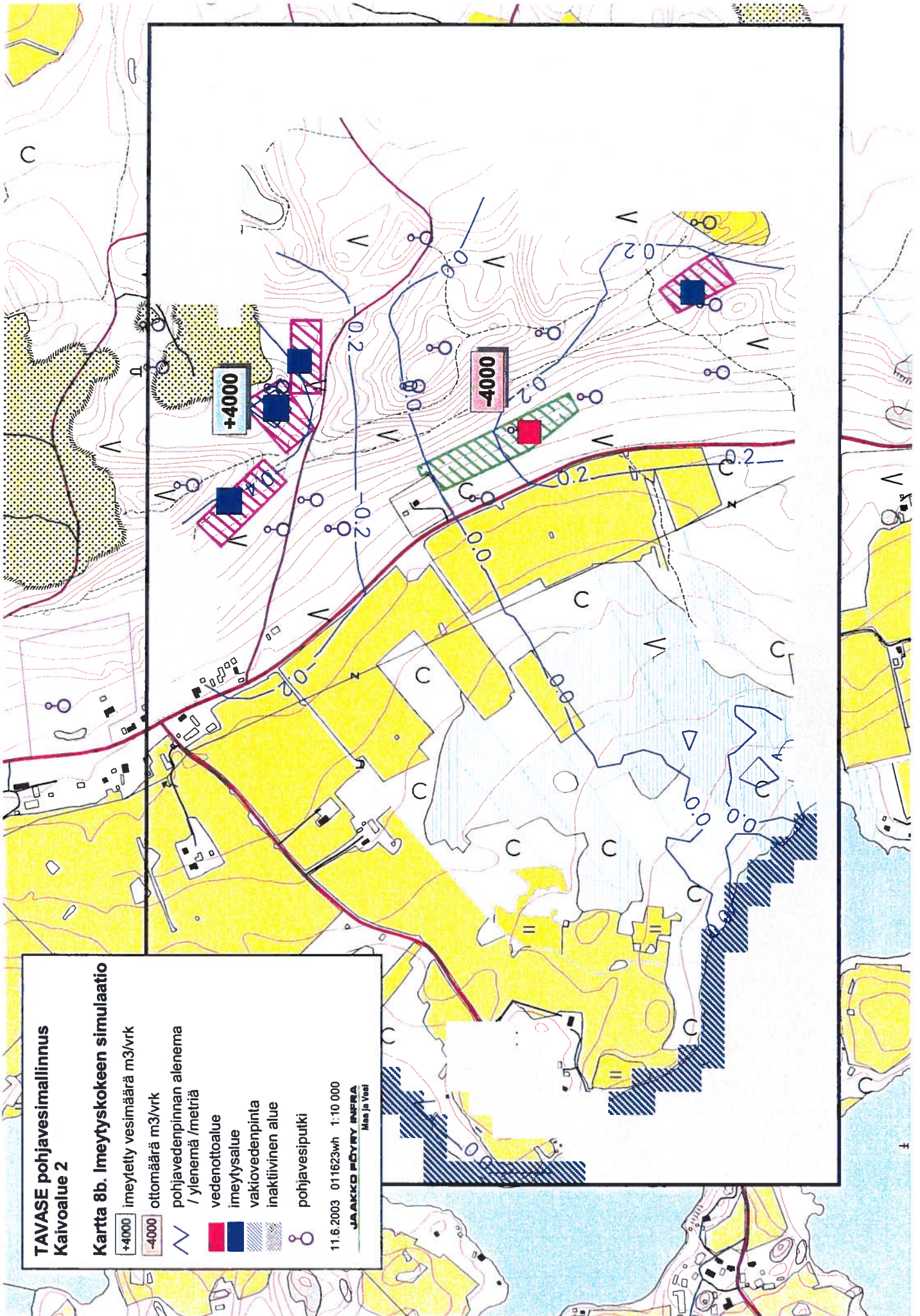
# **TAVASE pohjavesimalinnus** **Kaivoalue 2**

## **Kartta 8b. Imeytyskokeen simulaatio**

- imeytetty vesimäärä m<sup>3</sup>/vrk
- ottomäärä m<sup>3</sup>/vrk
- pohjavedenpinnan alenema / ylenemä /metriä
- vedenottoalue
- imeytysalue
- vakiovedenpinta
- inaktiivinen alue
- pohjavesiputki

11.6.2003 011623wh 1:10 000

**JAAKKO PÖYRY INFRA**  
Maa ja Vesi





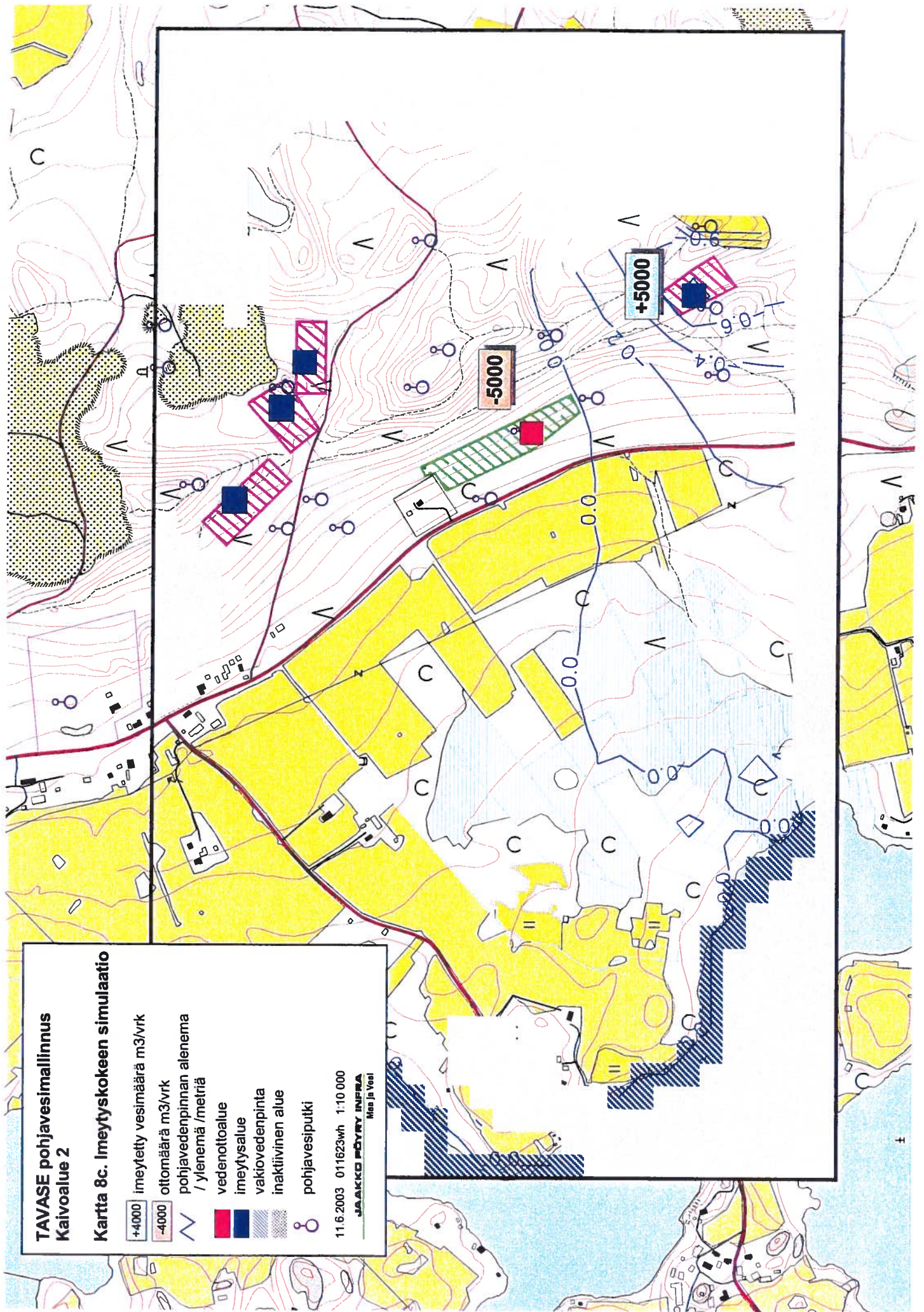
**TAVASE pohjavesimallinnus**  
**Kaivoalue 2**

**Kartta 8c. Imeytyskokeen simulaatio**

- |   |   |
|---|---|
|  | imeytetty vesimäärä m <sup>3</sup> /vrk     |
|  | ottomäärä m <sup>3</sup> /vrk               |
|  | pohjavedenpinnan alenema / ylenemä / metriä |
|  | vedenottoalue                               |
|  | imeytysalue                                 |
|  | vakiovedenpinta                             |
|  | inaktiivinen alue                           |
|  | pohjavesiputki                              |

11.6.2003 011623wh 1:10 000

**JAAKKO MÖYRY INFRA**  
Ma ja Ves



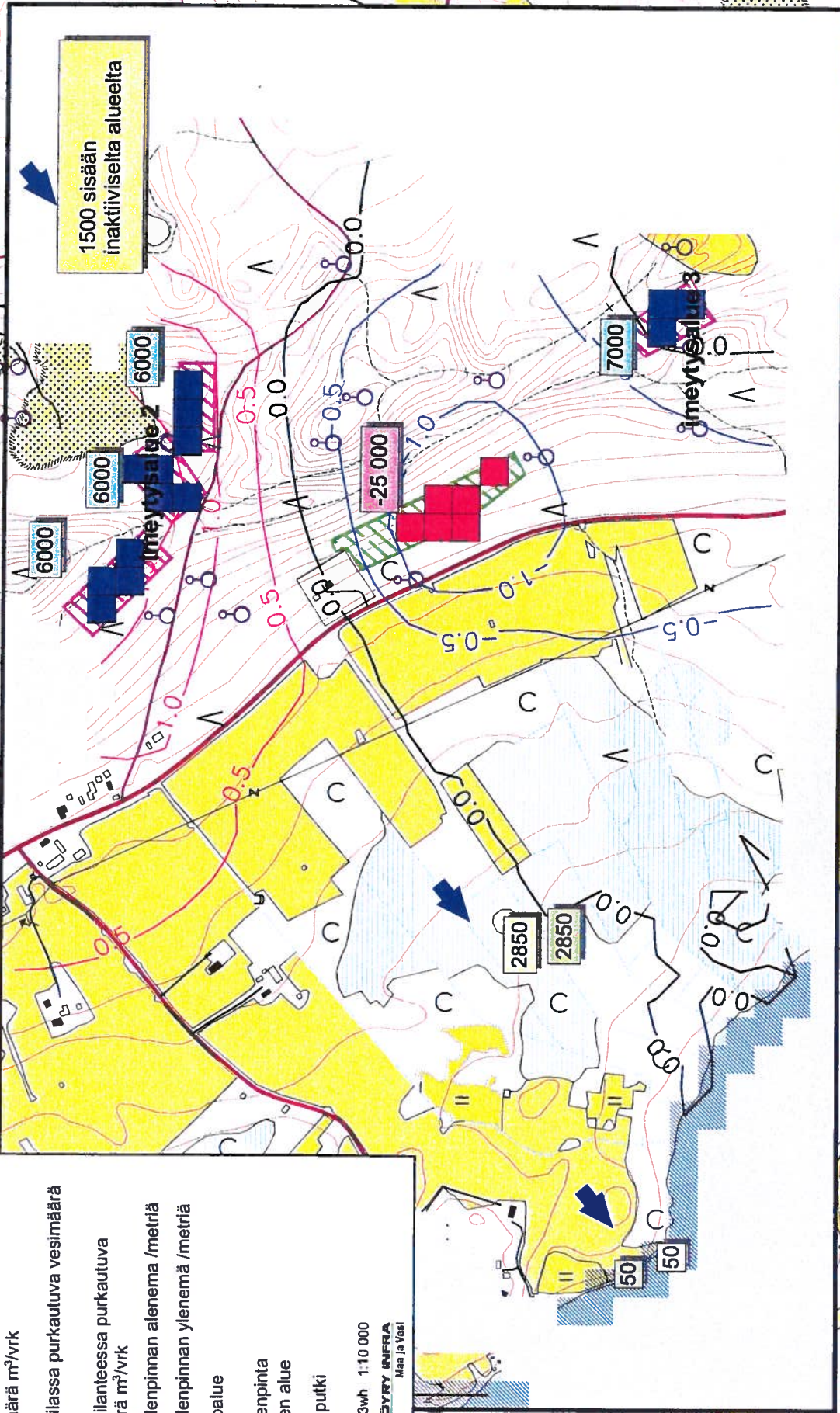


# TAVASE pohjavesimallinnus Kaivoalue 2

## Kartta 9. Tuotantotilanteen simulaatio

- +20 000 imeytetty vesimäärä m³/vrk
- 20 000 ottomäärä m³/vrk
- 1700 luonnontilassa purkautuva vesimäärä m³/vrk
- 1700 tuotantotilanteessa purkautuva vesimäärä m³/vrk
- pohjavedenpinnan alenema /metriä
- pohjavedenpinnan ylenemä /metriä
- vedenottoalue
- imeytys
- vakiovedenpinta
- inaktiivinen alue
- pohjavesiputki

11.6.2003 011623wh 1:10 000  
JAAKKO PÖYRY INFRA  
Maa ja Vesi





**TAVASE pohjavesimallinnus**  
**Kaivoalue 2**

**Kartta 10. Tuotantotilanteen**  
**pohjavedenpinta**

malin laskema tuotanto-  
tilanteen pohjavedenpinnan  
taso /metriä mpy

tekopohjaveden virtausreitti

vedenottoalue

imeytys

vakiovedenpinta

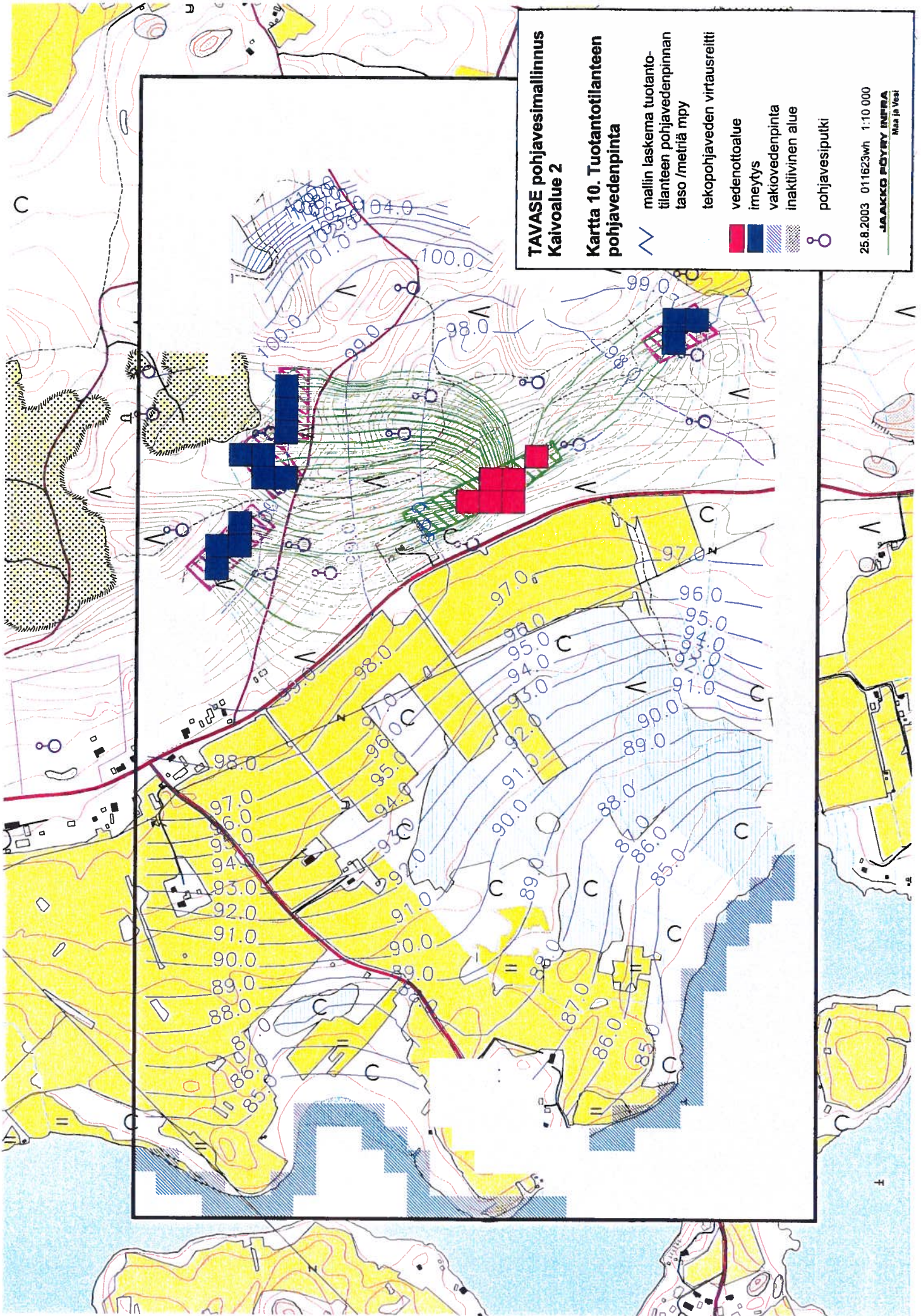
inaktiivinen alue

pohjavesiputki

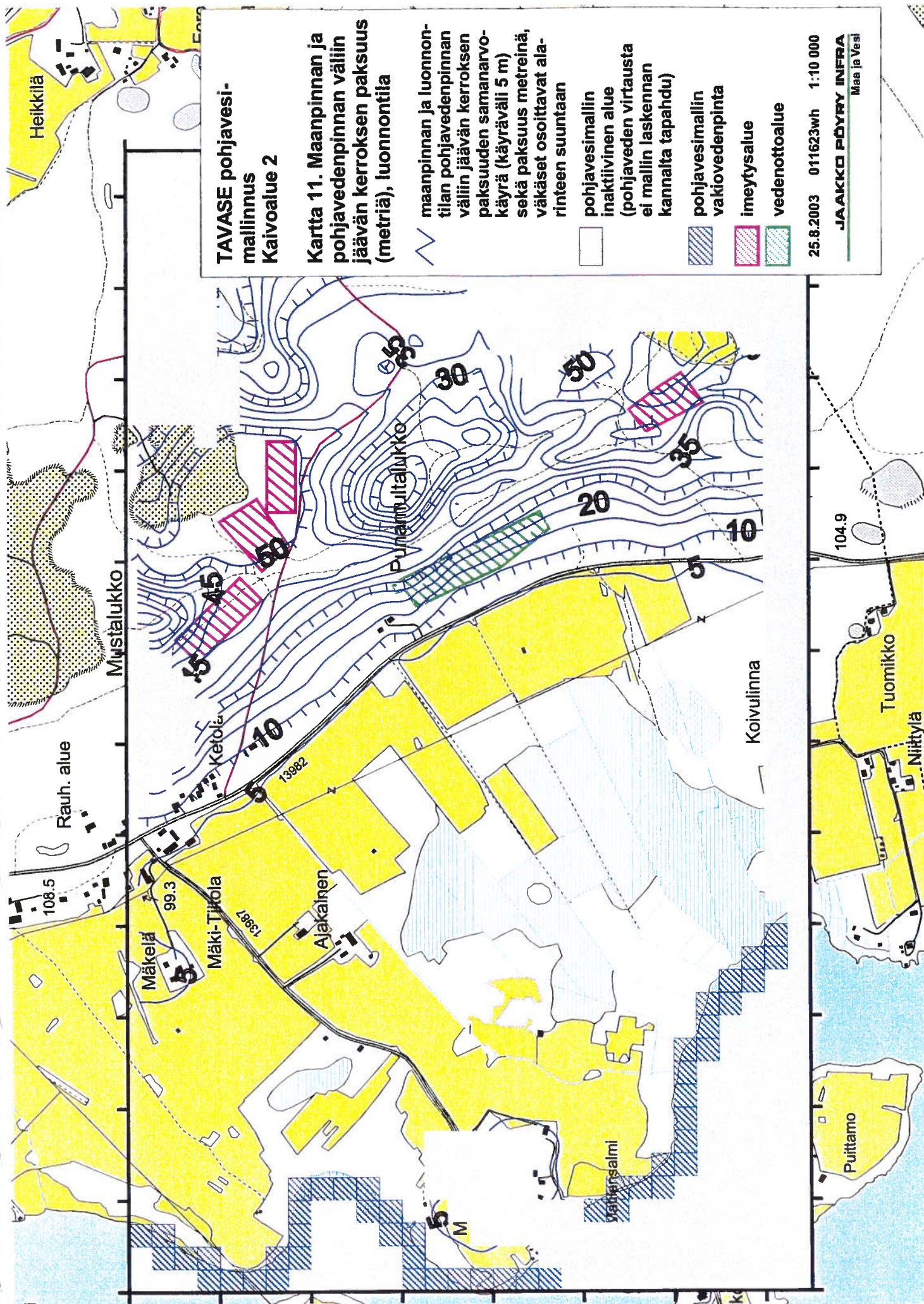


25.8.2003 011623wh 1:10 000

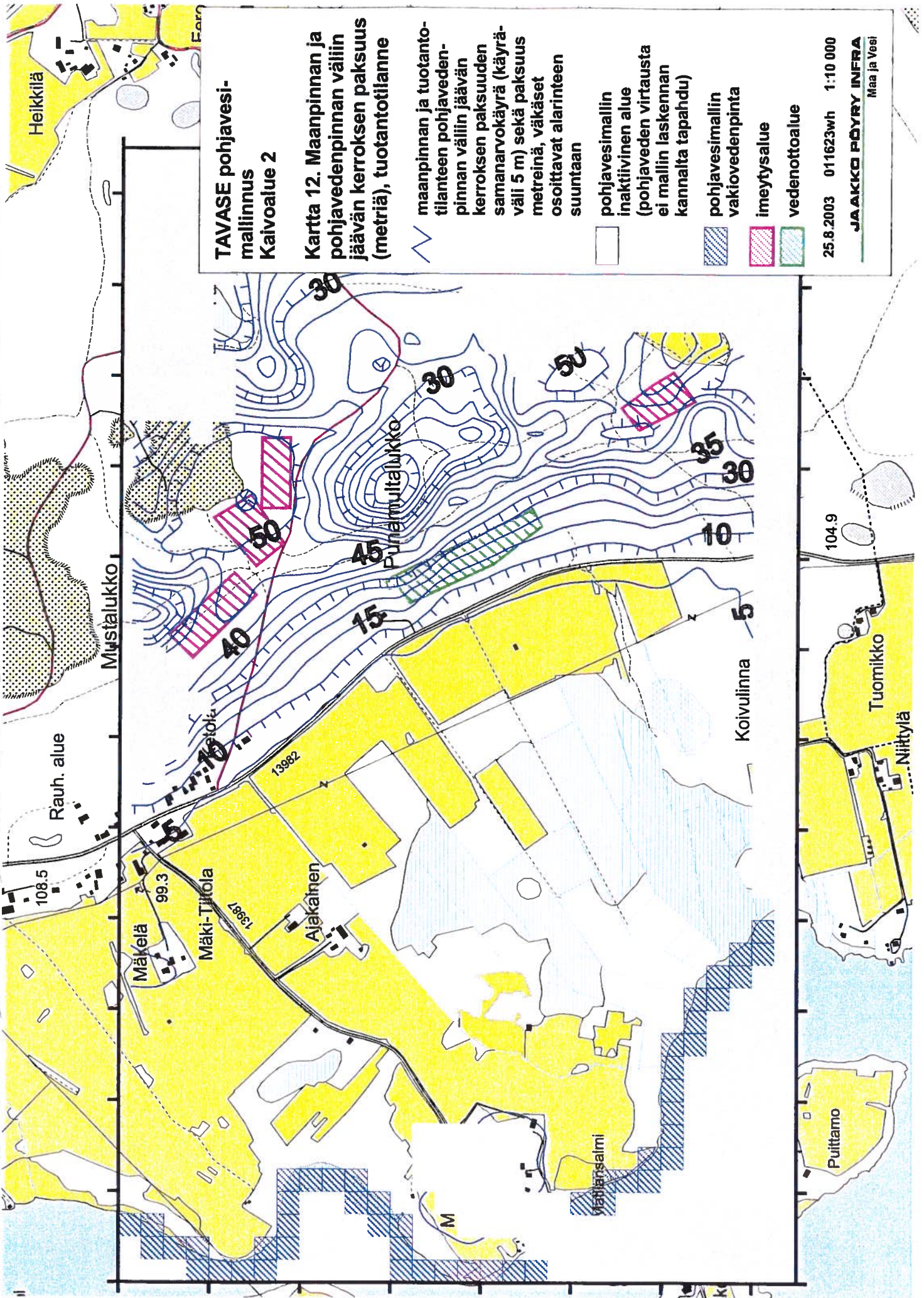
**JAAKKO PÖYRY INFRA**  
Maa ja Vesi













# **TAVASE pohjavesimalinnus** Kaivoalue 3

**Kartta 13. Mallin (III) rajausta, reunaehtot ja luonnontilainen pohjavedenpinta**

1700 luonnontilassa purkautuva vesimäärä m³/vrk

mallin laskema pohjavedenpinnan taso /metriä mpy

vedenottoalue

imeytys

vakiovedenpinta

inaktiivinen alue

pohjavesipuiki ja

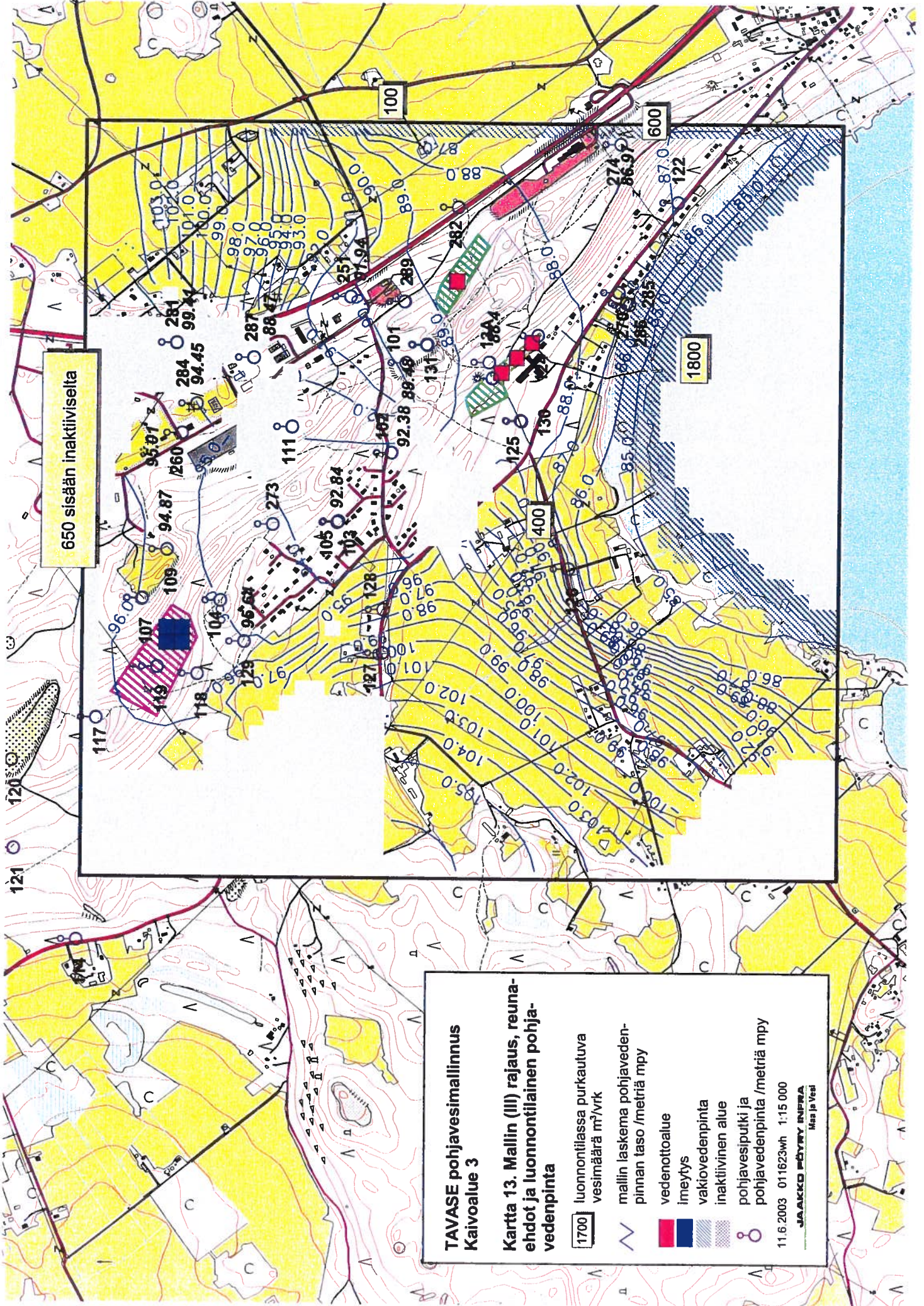
pohjavedenpinta /metriä mpy

11.6.2003 011623wh 1:15 000

JAAKKO PÖYRY INFRA

Maa ja Vesi

650 sisään inaktiiviselta





# **TAVASE pohjavesimalinnus** **Kaivoalue 3**

## **Kartta 14. Tuotantotilanteen simulatio**

+20 000 imeytetty vesimäärä m³/vrk

-20 000 ottomäärä m³/vrk

1700 luonnontilassa purkautuva vesimäärä m³/vrk

1700 tuotantotilanteessa purkautuva vesimäärä m³/vrk

pohjavedenpinnan ylenemä /metriä

vedenottoalue

imeytysalue

vakiovedenpinta

inaktiivinen alue

pohjavesiputki

11.6.2003 011623wh 1:15 000

**JAAKKO PÖYRY INFRA**  
Maa ja Vesi

650 sisään inaktiiviselta

20 000

20 000

1800

1800

100

100

600

500

400

600



**TAVASE pohjavesimalinnus  
Kaivoalue 3**

**Kartta 15. Tuotantotilanteen pohja-  
vedenpinta**

mallin laskema tuotantotilanteen  
pohjavedenpinnan taso  
/metriä mpy

tekopohjaveden virtausreitti

vedenottoalue

limesitys

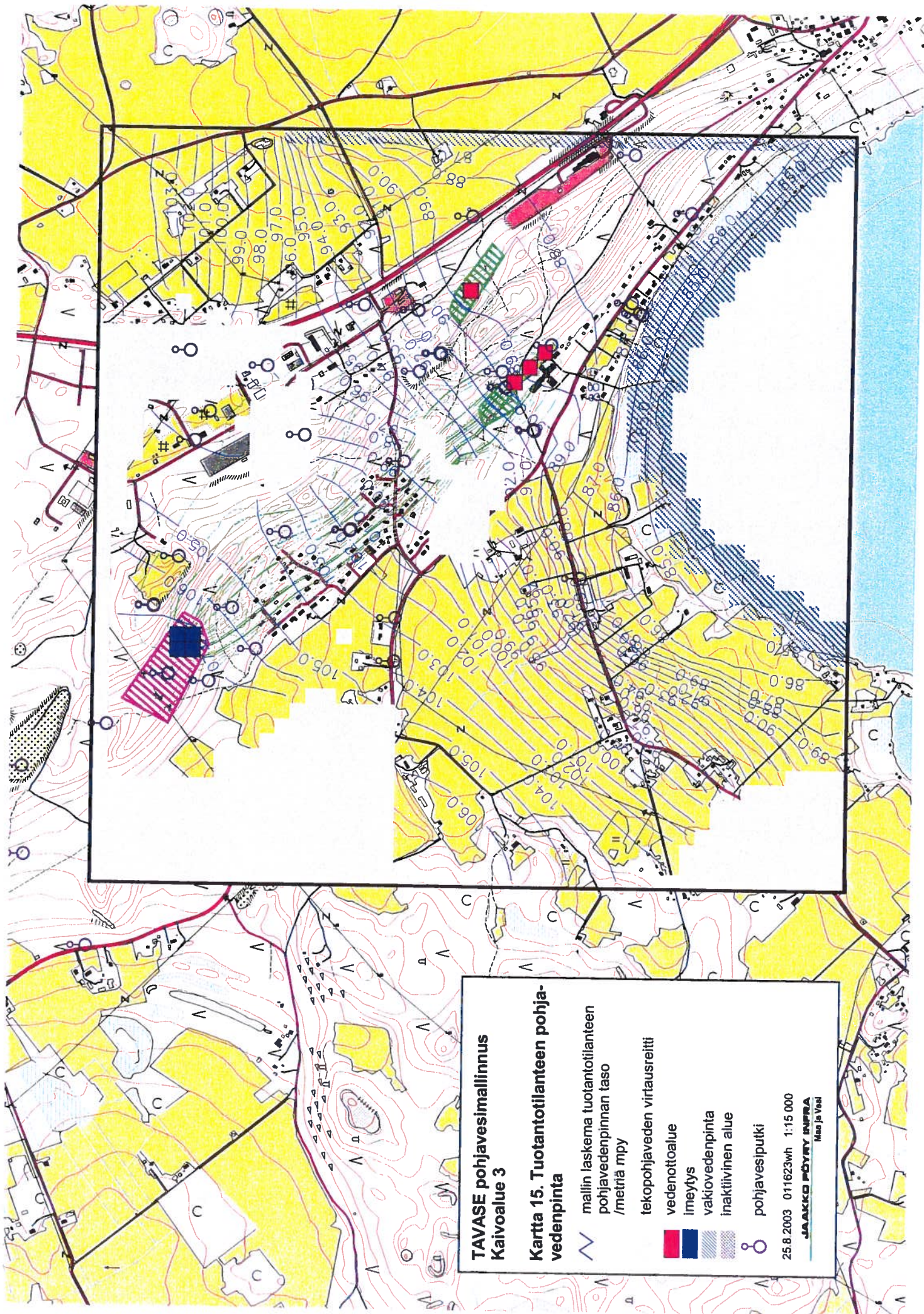
vakiovedenpinta

inaktiivinen alue

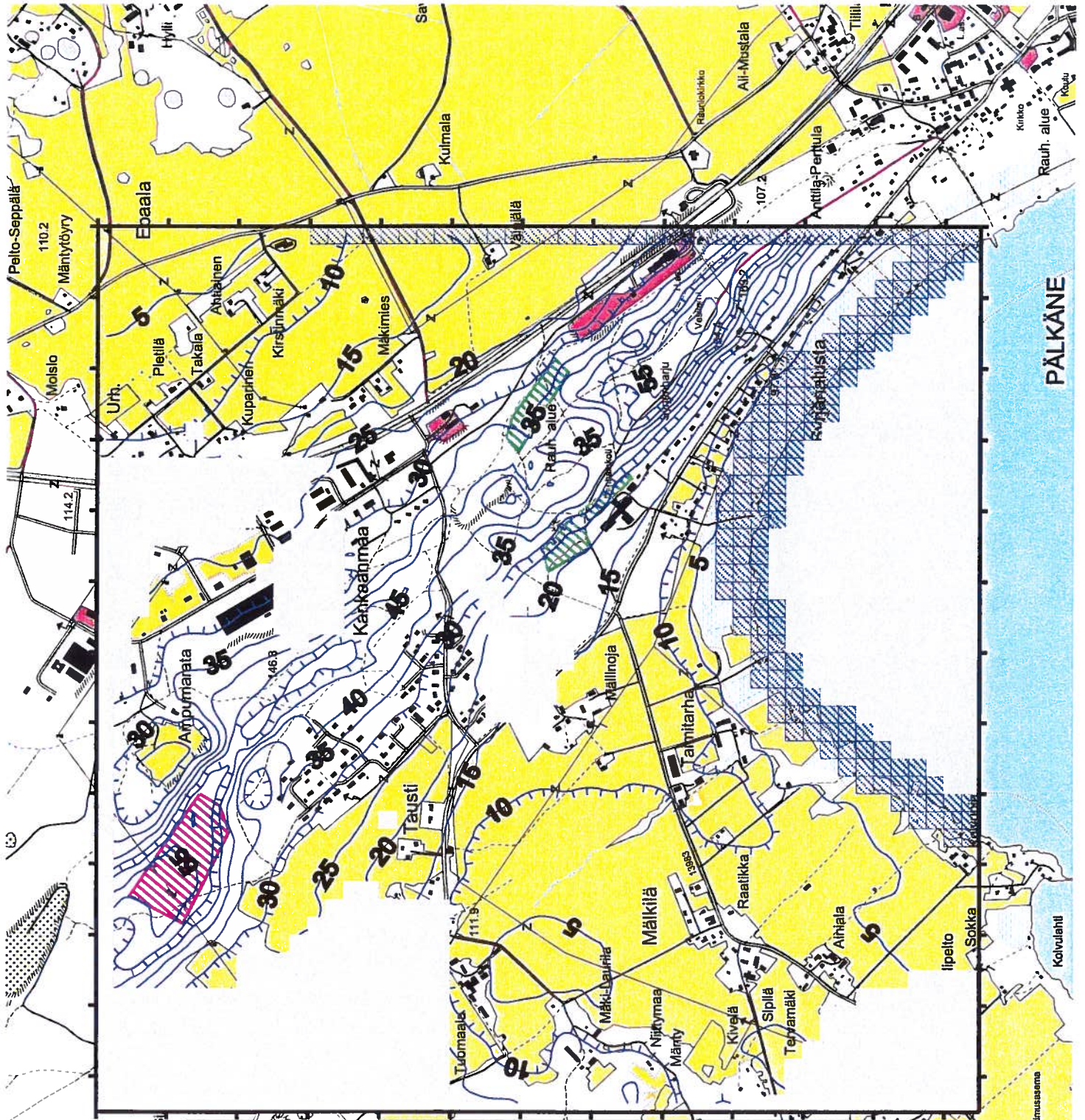
pohjavesiputki

25.8.2003 011623wh 1:15 000

**JAAKKO PÖYRY SUORA**  
Ma ja Ves







## TAVASE pohjavesimallinnus Kaivoalue 3

Kartta 16. Maanpinnan ja pohjavedenpinnan väliin jäävän kerroksen paksuus (metriä), luonnontila

maanpinnan ja luonnontilan pohjavedenpinnan väliin jäävän kerroksen paksuuden samanarvokäyrä (käyräväli 5 m) sekä paksuus metreinä, väkäset osoittavat alarinteen suuntaan

pohjavesimallin inaktiivinen alue (pohjaveden virtausta ei mallin laskennan kannalta tapahdu)

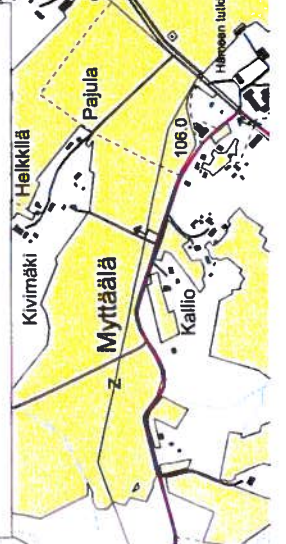
pohjavesimallin vakiovedenpinta

imeytysalue

vedenottoalue

25.8.2003 011623wh 1:15 000

**JAAKKO PÖYRY INFRA**  
Maa ja Vesi





# **TAVASE pohjavesimalinnus** **Kaivoalue 3**

**Kartta 17. Maanpinnan ja pohja-  
vedenpinnan välin jäävän  
kerroksen paksuus (metriä),  
tuotantotilanne**

maanpinnan ja tuotantotilanteen  
pohjavedenpinnan välin jäävän  
kerroksen paksuuden saman-  
arvokäyrä (käyräväli 5 m) sekä  
paksuus metreinä, väkäset  
osoittavat alarinteen suuntaan

pohjavesimallin inaktiivinen  
alue (pohjaveden virtausta  
ei mallin laskennan kannalta  
tapahdu)

pohjavesimallin  
vakiovedenpinta  
imeytysalue  
vedenottoalue

25.8.2003 011623wh 1:15 000

**JAAKKO PÖYRY INFRA**  
Maa ja Vesi

