

Liite 3

Pohjavesialueen virtausmalli Karhinkangas, 9.9.2020

Pohjavesialueen virtausmalli Karhinkangas

**Arto Hyvönen
Miikka Paalijärvi**

Tekijät Arto Hyvönen Miikka Paalijärvi		Raportin laji Tilastutkimus	
		Toimeksiantaja Kokkolan Vesi	
Raportin nimi Pohjavesialueen virtausmalli Karhinkangas			
Tiivistelmä Karhinkankaan alueelle tehtiin pohjaveden virtausmalli, jossa pohjavedenottoa simuloitiin kolmella eri pumppausmäärällä (8 000 m ³ /d, 10 500 m ³ /d ja 12 000 m ³ /d) yhdeksässä virtausmalliin sijoitetussa pumppauspisteessä. Virtausmallinnussimuloinneissa saatujen tulosten mukaan Karhinkankaan alueelta on mahdollista pumpata ja hyödyntää pohjavettä talousvedeksi n. 8 000 – 10 000 m ³ /d. Muodostumasta olisi mahdollista pumpata pohjavettä jopa 12 000 m ³ /d, mutta silloin pohjavedenpinnan alenemasta johtuvat mahdolliset vaikutukset muodostuisivat selvästi suuremmiksi pumppauspisteiden vaikutusalueilla. Simuloidut pohjavedenpinnan alenemat pumppauspisteissä ja niiden lähiympäristöissä vaihtelevat noin 0.5 – 3.5 m:n välillä, pumppausmääristä ja niiden jakautumisesta riippuen. Mallinnustulosten mukaan pohjaveden otto vaikuttaisi Karhinkankaan ojiin purkautuviin pohjavesimääriin niitä alenavasti. Virtausmallin ottosimulaatioiden ja niiden tulosten mukaan ottomäärällä 8 000 m ³ /d koko Karhinkankaan alueen ojiin purkautuva pohjavesimäärä vähenisi vajaan puoleen (n. 40 %), ottomäärällä 10 500 m ³ /d vastaavasti vajaan kolmannekseen (27 – 30 %) ja ottomäärällä 12 000 m ³ /d ojiin purkautuva pohjavesimäärä olisi noin 25 %:a siitä määrästä, mitä luonnontilaan simuloidun (simulaatio, jossa Karhinkankaan alueelta ei pumpattaisi pohjavettä ollenkaan) virtausmallin mukaan Karhinkankaan alueen ojiin purkautuva pohjaveden kokonaismäärä olisi. Karhinkankaan pohjoisosiin sijoittuvaan Kylmäperänojaan purkautuviin pohjavesimääriin simulointien mukaisilla pohjavedenottomäärillä (8 000 m ³ /d, 10 500 m ³ /d, 12 000 m ³ /d) ei olisi huomattavaa vaikutusta. Pentinjärven, Nuottajärven ja Pikku Rantijärven alueiden pohjaveden ojarpurkaumiin pohjavedenotolla olisi vaikutuksia niin, että niiden alueella ojista tapahtuva pohjaveden purkautuminen vähenisi selvästi jo 8 000 m ³ /d ottomäärällä ja suuremmilla ottomäärillä simuloituna (10 500 m ³ /d ja 12 000 m ³ /d) pohjaveden purkautuminen ojiin loppuisi kokonaan. Pentinjärven, Nuottajärven ja Pikku Rantijärven alueille mahdollisesti kertyvillä pinta- ja orsivesillä voi kuitenkin olla pohjaveden ohella huomattava vaikutus ko. kosteikkojen kokonaisvesitalouteen. Mallinnustulosten mukaan Isoon Heinisuon järveen ja Sivakkojärveen voi purkautua pieniä määriä pohjavettä mallinnusalueen reunaosien (harjuliepeen) alueelta ja toisaalta niistä voi suotautua pieniä määriä pintavesiä harjun suuntaan. Mallin antamien tulosten mukaan pohjavedenoton mahdolliset vaikutukset kohdistuisivat lähinnä Isoon Heinisuon järveen, ei niinkään Sivakkojärveen. Vaikutukset Isoon Heinisuon järveen olisivat vähäisemmät, jos pohjavedenotto toteutettaisiin simuloidulla pumppausmäärällä 10 500 m ³ /d vaihtoehdon B mukaisesti. Vatunginjärveen virtausmallinnustyön tulosten mukaan Karhinkankaalla tapahtuvalla pohjavedenotolla ei olisi vaikutusta ollenkaan.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Pohjavesi, virtausmallinnus, MODFLOW, GMS			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Suomi, Kokkola, Karhinkangas			
Karttalehdet LEHTI Q5232G3, Q5234A1, Q5231H4, Q5233B2 / KKI 343308C, 343308E, 441105E			
Arkistosarjan nimi Arkistoraportti		Arkistotunnus -	
Kokonaissivumäärä 35 s. + 22 liites.	Kieli Suomi	Hinta -	Julkisuus ei julkinen
Yksikkö ja vastuualue GTK, Vesiratkaisut		Hanketunnus 50401-10484	
Allekirjoitus/nimen selvennys  Eeva Käpyaho, yksikön päällikkö		Allekirjoitus/nimen selvennys  Nina Hendriksson, ryhmäpäällikkö	

9.9.2020

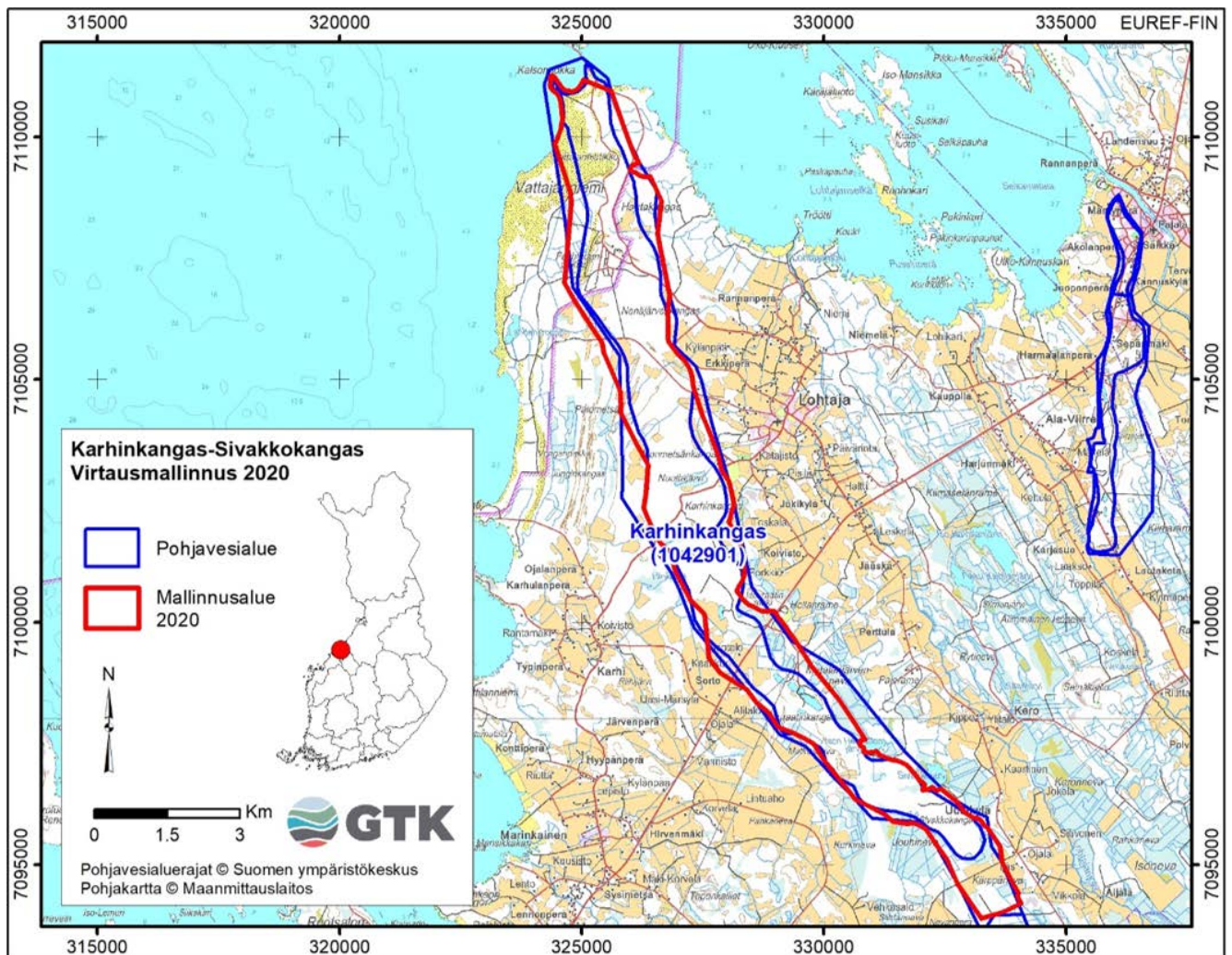
Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	2
2	POHJAVEDEN VIRTausmallinnus	3
2.1	Virtausmallinnuksen taustaa	3
2.2	Karhinkankaalla toteutetut koepumppaukset ja virtausmallinnuksen tavoitteet	3
2.3	Aineistot mallinnusta varten ja mallin laskentaverkko	4
2.3.1	Maa- ja kalliopinnan interpoloidut pintamallit	4
2.3.2	Sadanta ja imeytyminen	5
2.3.3	Maalajien vedenjohtavuus pohjavesivyöhykkeessä (K – arvo)	6
2.4	Reunaehdot	7
2.4.1	Vesistöt	7
2.4.2	Mallinnusalueen reunalla tapahtuva veden liike - “General head”	8
2.4.3	Pohjaveden purkaumakohdat tai -alueet - “Drain”	8
2.4.4	Ottamot, kaivot ja imuputket	9
2.5	Virtausmallin kalibrointi – virtausmallin lähtötilanne	10
2.5.1	Ottomäärä 690 m ³ /d	10
2.5.2	“Trial and Error” – ja PEST -kalibrointi	10
2.6	Virtausmallin laskemien ja koepumppausten aikaisten pohjavesipintojen validointi	13
3	VEDENOTTOTILANTEIDEN SIMULOINTI	15
3.1	Yleistä	15
3.2	Simulaatio 1: Ottomäärä 8 000 m ³ /d	15
3.3	Simulaatiot 2 ja 3: Ottomäärä 10 500 m ³ /d - Vaihtoehdot A ja B	18
3.4	Simulaatio 4: Ottomäärä 12 000 m ³ /d	21
3.5	Vesitasetarkastelu	24
3.5.1	Vesitasebudjetit ja vuosisadannasta pohjavedeksi imeytyvä vesimäärä	24
3.5.2	Karhinkankaan mallialueen reunojen kautta tapahtuva veden virtaus ja ojarpurkaumat	24
3.5.3	Valuma-aluekohtainen tarkastelu	26
3.5.4	Kohteellinen tarkastelu	27
4	YHTEENVETO	28
5	POHDINTA	31
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	32
7	MALLIN EPÄVARMUUKSISTA	33
	Liitteet	34
	Kirjallisuusluettelo	35

9.9.2020

1 JOHDANTO

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on tehnyt Kokkolan Veden toimeksiannosta pohjaveden virtausmallinnusta vedenhankintaa varten tärkeällä Karhinkankaan (1042901) pohjavesialueella (kuva 1). Työssä laadittiin selvitysalueen numeerinen pohjaveden virtausmalli vuosien 2010–2014 tutkimustietojen (Paalijärvi & Valjus 2014, Paalijärvi & Okkonen 2014) sekä vuoden 2011 ja vuoden 2019 koepumppaus-tulosten (Envineer Oy 2019) pohjalta. Virtausmallinnustyössä on huomioitu alueella aiemmin tehtyjen em. pohjavesitutkimusten tulokset ja myös hyödynnety niiden aineistoja. Mallinnustyöhön ei sisälty-nyt uusia maastotutkimuksia.



Kuva 1: Karhinkankaan virtausmallinnusalue (pinta-ala 2 600 ha).

Työn tavoitteena oli arvioida erilaisten vedenottomäärien vaikutuksia mallinnusalueen pohjavedenpin- nan tasoon, purkautumiseen ja suunniteltujen vedenottopaikkojen sieppausalueisiin. GTK:ssa virtaus- mallinnustyön organisoinnista on vastannut ryhmäpäällikkö Nina Hendriksson. Pohjaveden virtausmal- lin laadinnasta, simuloinneista ja raportoinnista on vastannut geologi Arto Hyvönen. Aineistokäsitte- lyyn ja virtausmallin laadintaan ovat osallistuneet myös erikoistutkija Samrit Luoma ja erikoisasantun- tija Miikka Paalijärvi.

9.9.2020

2 POHJAVEDEN VIRTAUSMALLINNUS

2.1 Virtausmallinnuksen taustaa

Karhinkankaan harjualueelle rajattiin mallinnusalue, johon tehtiin pohjaveden virtausmalli Groundwater Modeling System (GMS) – virtausmallinnusohjelmistolla. Malli on ns. MODFLOW – virtausmalli (Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model) ja se toteutettiin ns. ”steady state” 1 – kerros – mallina, jossa pohjaveden virtaus pyritään saamaan mahdollisimman hyvin tasapainoon malliin tulevan ja siitä poistuvan veden määrän suhteen.

Pohjaveden virtausmallinnusalue (kuva 1, sivu 2) on rajattu siten, että siihen kuuluva harjualue rajoittuu mahdollisimman hyvin pohjaveden virtauksen kannalta mielekkäisiin maastoalueisiin, kuten vesistöihin tai pohjavettä johtamattomiin tai heikosti johtaviin tiiviimpiin maakerrostumiin, kalliomäkiin tai alueisiin, jonne pohjavesiä purkautuu tai josta vesiä voi imeytyä harjuun päin. Mallinnusalueella on lisäksi pyritty siihen, että sen alueella lajittuneen maakerroksen paksuus pohjavesivyöhykkeessä on vähintään kahden metrin luokkaa, koska ohuiden maakerrosten tai maakerrospaksuuden vaihdellessa jyrkästi MODFLOW – laskennassa voi syntyä ongelmia (virtausmallin laskentasolut voivat kuivua tai tulla).

Virtausmallinnusohjelma (GMS) laskee virtausmalliin syötettyjen numeeristen lähtöarvojen (maalajien vedenjohtavuus, pohjavedeksi imeytynyt sadantamäärä, pohjaveden ottomäärätiedot, maa- ja kalliopinnan korkeusasema) ja niihin liittyvien mahdollisten parametrien pohjalta pohjavedenpinnan aseman sekä liikesuunnat ja virtausvoimakkuudet mallinnusalueella. Ohjelmaan liittyvän partikkelimallinnusohjelman (MODPATH) avulla saadaan laskettua ennuste siitä, kuinka laajalle alueelle pohjavedenottamoiden siiviläkaivojen imuvaikutus ulottuu pohjavesivyöhykkeessä (ns. pohjavedenottamoiden kaappausalue). Samalla ohjelma laskee pohjaveden virtausreitit ottamoille kaappausalueilla.

2.2 Karhinkankaalla toteutetut koepumppaukset ja virtausmallinnuksen tavoitteet

Karhinkankaan alueella on tehty vuosina 2011 ja 2019 koepumppauksia, joiden pohjalta on tehty tarkempia arvioita niin alueelta saatavissa olevista pohjavesimääristä kuin vedenoton vaikutuksista pohjavedenpinnan asemaan. Käytännön koepumppausjärjestelyistä johtuen vuoden 2011 pumppaukset tehtiin kahdessa vaiheessa (Paalijärvi & Okkonen 2014): Ensin pumppauksia tehtiin eteläosan neljässä pisteessä (kesä-lokakuussa 2011) ja myöhemmin pohjoisosan kolmessa pisteessä (marraskuu 2011 – tammikuu 2012). Vuonna 2019 koepumppauksia tehtiin ainoastaan Karhinkankaan pohjoisosissa (Envineer Oy, 2020).

Virtausmallinnussimuloinneissa tavoitteena oli saada yleinen ja yhtenäinen käsitys Karhinkankaan mallinnusalueen pohjavedenpinnan tasoista sekä pohjaveden virtaus- ja purkautumissuunnista erilaisissa pohjavedenoton simulointitilanteissa. Eli verrattuna koepumppauksiin, virtausmallinnuksessa pystyttiin ohjelmallisesti simuloimaan eri ottotilanteita halutuilla ottomäärillä niin, että mallissa pumppauksen piirissä olivat kaikki mallinnusalueelle suunnitellut pumppauspisteet (pohjaveden ottokaivot tai vain tietyt kaivot) niille määritellyillä ottomäärillä.

9.9.2020

Mallinnuksen tavoitteena oli saada virtausmallin antamien tulosten perusteella arvioita myös siitä, miten pohjavedenotto mahdollisesti vaikuttaisi pohjaveden purkautumis- tai imeytymismääriin koko Karhinkankaan mallinnusalueella, sekä yksityiskohtaisemman tarkastelun kohteiksi valituilla muutamilla oja-alueilla. Lisäksi mallinnuksessa arvioitiin mahdollisia vedenoton vaikutuksia mallinnusalueen reuna-alueelle sijoittuvien järvien osalta.

2.3 Aineistot mallinnusta varten ja mallin laskentaverkko

Karhinkankaan pohjavesialueen rakennetutkimustiedon (Paalijärvi & Valjus 2014) pohjalta arvioitiin, että rakennetiedon määrä ja tarkkuus riittävät ns. steady state – yksikerrosmallin laadintaan. Steady state – mallissa ei mallinneta eri vuodenaikoihin liittyviä jaksottaisia hydrologisia muutoksia, vaan malli laskee mallinnusalueen pohjavedenpinnan aseman lopputilanteeseen saakka (tasapainotilaan) annetuilla ottomäärillä ja reunaehdoilla. Mallinnuksen lopputilanteessa malli on mahdollisimman hyvin tasapainossa siihen reunaehto- ja sadannan kautta määritellyn tulevan veden (inflow) ja mallista poistuvan veden määrän (outflow) suhteen niin, että malli samalla toteuttaa mahdollisimman hyvin mallinnusalueen pohjaveden havaintoputkista mitatut pohjavedenpinnan tasot.

Karhinkankaan yksikerrosmallissa virtausmallinnusalueen kattaa yhtenäinen maanpinnasta kalliopintaan saakka ulottuva MODFLOW -laskentahilaverkko (finite difference grid), jossa yksittäisen hilan ruutukoko on 10 x 10 metriä. Malliin määriteltyjen pohjaveden pumppauspisteiden alueella on käytetty 5 metriin saakka tihennettyä hilaverkkoa. Mallinnusohjelma laskee pohjavedenpinnan korkeusaseman (painetaso, m mpy) kuhunkin hilaverkon yksittäiseen hilaan.

2.3.1 Maa- ja kalliopinnan interpoloidut pintamallit

Virtausmallinnuksessa käytetyn laskentahilaverkon pinnan tasoksi määritettiin interpoloitu maanpinnan taso (m mpy, N2000), jonka lähtöaineisto on saatu Maamittauslaitoksen laserkeilauspistepilvaineistosta. GTK:n käytössä olevassa laserkeilausaineistossa maanpinnan asema on esitetty laserpistepilvestä interpoloituna rasteripintana, jossa yksittäisen rasterin koko on 2 x 2 m.

Laskentaverkon pohjan tasona käytettiin alueelle interpoloimalla (ArcMap – ohjelma, Topo to Raster) laadittua kalliopinnan korkeusmallia (liite 1). Kalliopinnan interpoloitu korkeusmalli perustuu aikaisempiin harjurakennetutkimusten yhteydessä saatuihin tietoihin, kuten alueelle eri aikoina tehtyihin kairauksiin, pohjavesiputkiasennuksiin, painovoimamittauksiin ja maatulkuotauksiin (Hendriksson et.al. 2018, Paalijärvi & Okkonen 2014).

Kalliopintamallin korkeustason (m mpy) tarkkuus vaihtelee ja se on tarkimmillaan niissä pisteissä, joissa maakerrokset on läpäisty porakonekairauksella tai muulla raskaalla kairausmenetelmällä ja kairauspisteessä on tehty kalliovarmistus. Niillä alueilla, missä kalliopinnan asema perustuu geofysiikan menetelmiin, riippuu kalliopinnan mallin tarkkuus kunkin geofysiikan menetelmän (esim. painovoimamittaukset, maatulkuotaus) mukaisesta matemaattisesta tulkintatarkkuudesta. Alueilla, joilla ei ole tutkimustietoa kalliopinnan asemasta, kalliopinnan taso perustuu ohjelmallisesti interpoloituihin korkeusarvoihin.

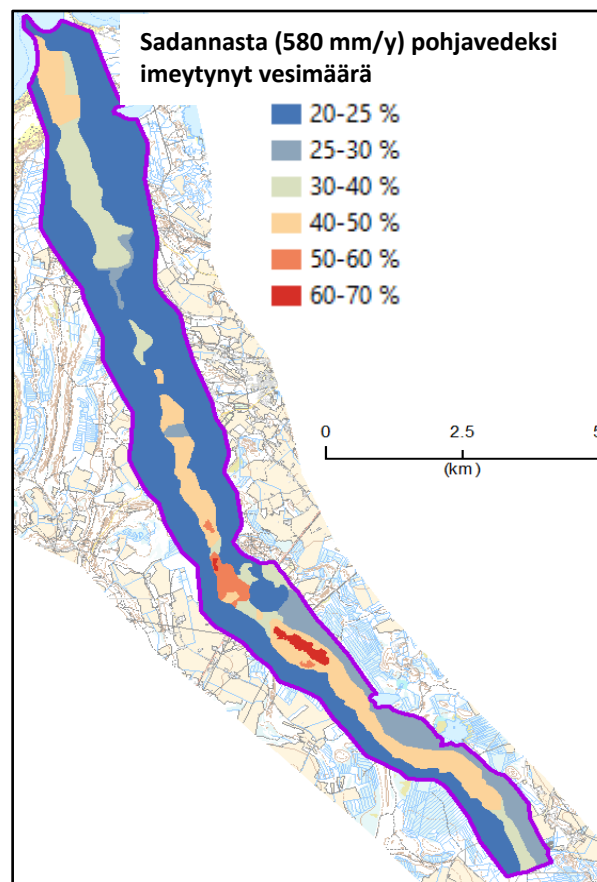
9.9.2020

2.3.2 Sadanta ja imeytyminen

Virtausmallinnuksen kohteena olevalla harjualueella pääasiallisin pohjavettä täydentävä tekijä on sadanta. Sadevedestä maaperään ja siitä edelleen pohjavedeksi suotautuvan veden määrään vaikuttaa alueen geologisen syntyhistorian ohella maalajin ja maanpinnan topografia, kasvillisuuden laatu ja ihmistoiminta (esim. asfaltoidut alueet, hiekan ja soranotto, maanviljely, metsänhoito, metsäojitus). Yleisesti luonnontilaisilla harju- ja kangasalueilla sadannasta muuttuu pohjavedeksi Airaksisen (1978) mukaan 30–60 % ja Zaitsoffin (1982) sekä Lemmelän (1990) mukaan 50 – 60 %. Soramonttialueilla sadeveden imeytyminen voi olla jopa em. maksimiprosenttiarvoa suurempi. Vajovesitutkimuksen perusteella soranottoalueella, jolta kasvillisuus ja maannos on poistettu, muodostuvan pohjaveden määrä on noin 60–70 % sadannasta (Sandborg 1993).

Karhinkankaan alueella arvioitu vuotuisen sadannan kokonaismäärä on keskimäärin 550 – 580 mm/y (Paalijärvi & Valjus 2014). Mallinnusta varten harjualue jaettiin imeytymisen mukaisiin osa-alueisiin (polygoneihin). Kunkin rajatun polygonialueen (yhteensä 28 kpl) osalle arvioitiin mallinnuksen lähtöarvoksi sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrä kokonaissadannasta (20–70 %), joita arvoja mallinnuksen edetessä kalibroitiin (vrt. luku 2.5, sivu 10).

GMS – ohjelman kalibroitilaskennan (PEST) tuloksena saadut sadeveden imeytymismäärät pohjavedeksi on esitetty kuvassa 2. Ohjelman laskeman vesitasebudjetin mukaan keskimääräinen Karhinkankaalla (alueen pinta-ala 2 600 ha) pohjavedeksi imeytyvä sadevesimäärä on 13 200 m³/d. Eli keskimäärin n. 32 % mallinnusalueen kokonaisvuosisadantamäärästä (580 mm/y) imeytyy pohjavedeksi.



Kuva 2. Sadannasta pohjavedeksi imeytyvä vesimäärä

9.9.2020

2.3.3 Maalajien vedenjohtavuus pohjavesivyöhykkeessä (K – arvo)

Mallinnuksen kannalta keskeisin asia on jakaa mallinnettava harjualue vedenjohtavuusvyöhykkeisiin sen mukaan, miten raekooltaan erilaiset lajittuneet maalajit ovat sijoittuneet pohjavesivyöhykkeeseen eri puolilla harjua (K – arvoalueet/ -polygonit). Karhinkankaalle rajattiin alueen rakennetutkimustietoihin perustuen yhteensä 21 kpl erillistä K – arvoaluetta (vrt. kuva 3, sivu 7).

Jokaiselle mallinnusalueen rajatulle vedenjohtavuusvyöhykealueelle (K – arvoalue) arvioitiin erikseen vedenjohtavuuskertoimen lähtöarvo eli ns. K – arvo, joka perustuu kirjallisuuteen (taulukko 1). Tätä em. lähtöarvoa kalibroitiin mallinnuksen edetessä manuaalisesti (eli ns. ”trial – error” – kalibrointi) sekä ohjelmallisesti (ns. PEST – kalibrointi, vrt. luku 2.5). Kalibrointien tuloksena saadut K – arvot on esitetty kuvassa 3 (sivu 7).

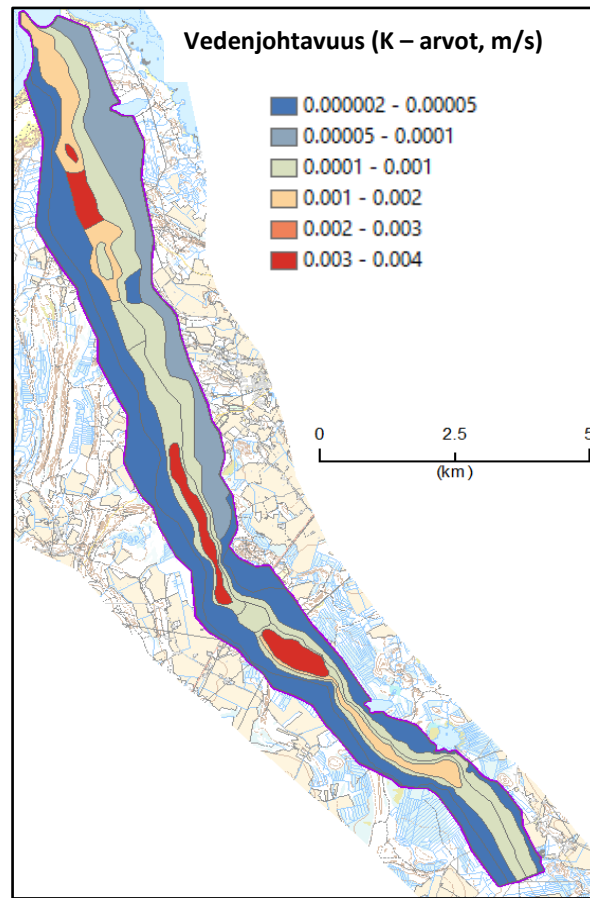
K – arvoalueen vedenjohtavuuskertoimenarvo kuvaa 1 – kerrosmallissa kunkin harjulle rajatun vedenjohtavuusalueen pohjavesivyöhykkeessä olevien eri maalajien yhteistä keskimääräistä vedenjohtavuutta. Taulukossa 1 on kuvattu eri maalajien vedenjohtavuuksia.

Taulukko 1. Vedenjohtavuuskertoimen arvoja Airaksisen (1978) ja Fetterin (2001) mukaan.

Maa-aines	K–arvo, m/s (Airaksinen 1978)	Maa-aines	K–arvo, m/s (Fetter 2001)
Sora	$10^{-1} - 10^{-3}$	Hyvin lajittunut sora	$10^{-2} - 10^{-4}$
Hiekka	$10^{-3} - 10^{-5}$	Hyvin lajittunut hiekka	$10^{-3} - 10^{-5}$
Hieno hiekka (karkea hieta)	$10^{-5} - 10^{-7}$	Hieno hiekka	$10^{-5} - 10^{-7}$
Moreeni	$10^{-6} - 10^{-8}$	Moreeni	$10^{-6} - 10^{-8}$

Kuvassa 3 (sivu 7) on esitetty Karhinkankaan vedenjohtavuusvyöhykkeet PEST – kalibroinnin jälkeen. Punaisilla ja oransseilla väreillä erottuvat vettä parhaiten johtavat alueet (soravaltainen aines), vihreäsävyisinä vettä hyvin johtavat (hiekkainen sora, hiekka) tai kohtalaisesti johtavat hiekkavaltaiset (osin hienohiekka) alueet ja sinisävyisenä erottuvat vedenjohtavuudeltaan heikommät alueet, joissa materiaalin rakeisuus vaihtelee hienosta hiekasta (karkeasta hiedasta) silttiin.

9.9.2020



Kuva 3. Vedenjohtavuus (K – arvot)

2.4 Reunaehdot

2.4.1 Vesistöt

Harjualueella tai sen reunamilla olevat vesistöt voivat olla kokonaan tai osittain yhteydessä pohjaveden ja toimia siten harjun pohjaveden purkupaikkoina tai pintaveden imeytymispaikkoina. Karhinkankaan alueella mallinnusalue rajautuu pohjoisosistaan mereen, muutoin mallinnusalue on rajattu ympäristöönsä nähden yleensä heikommin pohjavettä johtaviin maakerroksiin. Karhinkankaan alueen järvet, jotka sijoittuvat mallinnusalueen reunoille, ovat pienialaisia. Mallinnusalueen pohjoisosiin sijoittuu Vatunginjärvi ja alueen eteläosiin puolestaan Ison Heinisuon järvi ja Sivakkojärvi.

Niissä kohdin, missä harju rajoittuu vesistöihin, ranta-alueet on määritelty virtausmalliin vakiovedenpintana (ns. general head – reunaehto) vesistön vedenpinnan tason mukaisesti (m mpy). Edellä mainittu reunaehto mahdollistaa virtausmallinnuksessa harjun pohjavesien purkautumisen vesistöön tai vesistöveden suotautumisen harjun suuntaan pohjavedeksi ranta-alueen maalajien vedenjohtavuuksien sekä ranta-alueen general head -reunaehdolle määritellyn ns. konduktanssiarvon määräämänä. Konduktanssiarvon avulla voidaan määritellä virtausmalliin tulevan tai siitä poistuvan veden määrää, eli ottaa huomioon vesistön rannan ja pohjan heikommin vettä johtavia sedimentti- ja mineraalimaakerroksia (liejut, savet).

9.9.2020

Kun mallinnustuloksia tarkastellaan vesistöistä suotautuvien vesimäärien osalta, on huomioitava, että mallinnusalueeseen kuuluvien tai siihen rajoittuvien vesistöjen pohjien materiaalien laadusta tai kerrospaksuuksista ei ole ollut käytettävissä tarkempaa tietoa. Siten vesistöjen rantavyöhykkeiden mahdollisten heikommin vettä johtavien pohjamaalajien ja -sedimenttien vedenjohtavuuksien ja niihin liittyvien konduktanssiarvojen arviointi mallinnuksen lähtötilanteessa on tehty geologisin sekä laskennallisin perustein ja arvoja on mallinnuksen edetessä kalibroitu ohjelmallisesti.

2.4.2 Mallinnusalueen reunalla tapahtuva veden liike - "General head"

Virtausmalliin voi virrata vettä mallin ulkopuolisilta alueilta tai mallista voi purkautua pohjavettä mallinnusalueen ulkopuolelle. Karhinkankaan virtausmalliin pohjavedeksi sen ulkopuolelta maakerrosten kautta suotautuvat vedet (orsi- ja pintavedet, vrt. seuraava kappale) huomioitiin yleisimmin järven rannoilla käytetyn general – head -reunaehdon avulla. Sillä voidaan käytännössä huomioida virtausmallinnusalueelle sen ympäristöstä suotautuvia tai virtausmallista sen ympäristöön suotautuvia vesimääriä.

Karhinkankaan harjualue on geologisen historiansa kuluessa ollut eri meri- ja järvivaiheiden (ja niiden transgressio -vaiheiden) vaikutuspiirissä. Tällöin etenkin harjun liepeille on kerrostunut heikommin vettä johtavia savi- ja silttikerroksia varsinaisen primääriharjuaineen päälle. Ne luovat luontaiset olosuhteet erillisen orsivesikerroksen esiintymiselle, koska silttien ja savien päälle on yleensä myöhempien geologisten prosessien (aallokko, tuuli) seurauksena kerrostunut vettä johtavaa lajittunutta materiaalia (hiekkahienohiekkavaltainen rantakerrostuma, dyynihiekka), jota voi olla levinneenä varsinaista virtausmallinnusaluetta huomattavasti laajemmalle alueelle. Toisaalta ulommaksi harjun liepeitä kohdin paksunevat siltti- ja savikerrokset voivat vähentää harjun pohjaveden ja harjun liepeelle sijoittuvien orsi- sekä pintavesistöjen välistä keskinäistä suoraa vuorovaikutusta. Heikommin vettä johtavat siltti- ja savikerrokset vähentävät myös sadannasta suoraan pohjavedeksi muodostuvan veden määrää harjun liepeillä.

2.4.3 Pohjaveden purkaumakohdat tai -alueet - "Drain"

Mallinnusalueelta purkautuvia ja sieltä poiskulkeutuvia pohjavesimääriä huomioidaan ns. drain – reunaehdon avulla. Ojat ja ojitetut alueet sekä mm. lähteet määritellään virtausmalleissa usein juuri drain – reunaehdon avulla.

Pohjavesi ulottuu Karhinkankaan alueella monin paikoin lähelle maanpintaa, joten alueen tiheä suo- ja metsäojitus on otettava huomioon mallinnuksessa. Kun drain – reunaehdot käytetään, niin sille määritetään pohjaveden purkutaso, joka Karhinkankaan mallinnuksessa tarkoittaa käytännössä ojien pohjien tasoja. Ojien pohjien tasoista tai edes ojien tarkoista sijainnista ei ole tarkempaa mittaus- tai kartoitustietoa, eikä sen hankkiminen olisikaan mielekäästä maastomittauksin ja – kartoituksin (esim. VRS-GPS – mittaus, drone -mittaus), koska mallinnusalue on laaja (n. 26 km²). Tässä työssä ojien pohjien tason määrittämisessä käytettiin apuna maanmittauslaitoksen laserkeilauspilvestä interpoloitua korkeusmallia (rasteri), jonka resoluutio on 2 x 2 m.

GTK:n tietokannoissa olevan laserkeilausperustuvan korkeusmallin käyttö ojien pohjien tasojen määrittämisessä ei ole kuitenkaan täysin ongelmaton: Ojien paikat on digitoitu peruskartoille, mutta käytännössä ne eivät sijoitu välttämättä juuri samaan kohtaan, jossa ne näyttäisivät olevan korkeusmallin perusteella, joten kartalta poimitulle ojaviivoille (niiden viivapisteille) korkeusrasterilta haetut korkeusarvot (m mpy, N2000) vaihtelivat melkoisesti yhdenkin ojan matkalla edustaen toisinaan

9.9.2020

maanpintaa ja toisinaan mahdollista ojaveden pintaa tai ojan pohjaa. Tästä johtuen jouduttiin käytännössä tarkistamaan laserkeilauspistepilvestä interpoloidulta rasterilta poimittujen korkeuslukemien tasoarvot kunkin digitoidun ojan (n. 900 kpl) osalta erikseen ja arvioimaan, miten hyvin ne näyttivät edustavan ojan pohjan tai ojavedenpinnan tasoa. Kun manuaalisesti tarkistettu ja korjattu pisteaineisto saatiin valmiiksi, se interpoloitiin oja-alueiden kattavaksi rasteriksi ja rasterin korkeusarvoista vähennettiin vielä 0.5 m, joka arvo syötettiin drain – reunaehdon kautta ojien pohjien tasoiksi. Eli eri epävarmuustekijät huomioiden voidaan malliin sisältyvien kaikkien ojien osalta todeta, että niiden keskimääräinen syvyys on mallissa maanpinnasta laskien noin yhden metrin luokkaa.

Drain – reunaehto lakkaa toimimasta siinä vaiheessa mallinnusta, kun pohjavedenpinta laskee drainin alueella (eli ojassa) sille määritellyn pohjataso alapuolelle. Drain – reunaehto mahdollistaa ojaan purkautuvien pohjavesimäärien ja niiden muutoksen seurannan eri ottotilanteissa niin kauan, kun pohjavedenpinnan asema pysyy virtausmallinnustilanteissa ojan pohjalle määritellyn tason yläpuolella.

2.4.4 Ottamot, kaivot ja imuputket

Karhinkankaan mallinnusalueella on pumpattu pohjavettä aikoinaan (ennen vuoden 2011 koepumppeuksia) kolmesta paikasta. Puolustusvoimilla on ollut aiemmin pohjavedenottamo Vattajan leirialueen itäosassa. Ottamon veden määrä- ja laatuongelmien vuoksi leiri-alue on liitetty kunnalliseen vesijohtoverkostoon vuonna 2003, minkä jälkeen suljettu vedenottamo on toiminut paineenkorotusasemanä. Karhinkankaan keskiosissa on nykyisin Kannuksen vesiosuuskunnan hallinnoima Nutturakankaan vedenottamo, jonka luvanmukainen ottomäärä on 1 000 m³/d vuosikeskiarvona laskettuna. Ottamoalueella sijaitsevasta kolmesta kaivosta on otettu pohjavettä keskimäärin noin 650–700 m³/d. Nutturakankaan vedenottamo on ollut suljettuna vuodesta 2017 lähtien Kannus-Lohtaja siirtovesijohdon valmistumisen jälkeen. Mallinnusalueen eteläosissa (Sivakkokankaan keskiossa) sijaitsee Uudenkylän Vesiosuuskunnan vedenottamo, jonka nykyinen ottomäärä on noin 50–60 m³/d (vrt. ottamoiden sijainnit, esim. liite 1).

Vuonna 2011 Karhinkankaan-Sivakkokankaan alueella suoritettiin koepumppauksia kaikkiaan 7 pisteessä, joista neljään (SIIVILÄ1-SIIVILÄ4) asennettiin halkaisijaltaan 225 mm siiviläputkikaivo. Kolmen pisteen (IMU1-IMU3) koepumppaukset suoritettiin puolestaan imuputkikalustolla. Vuoden 2011 koepumppaukset toteutettiin kahdessa vaiheessa: 6-10/2011 aikana pumpattiin mallinnusalueen eteläpuoliskon neljää pistettä (SIIVILÄ1-SIIVILÄ3 ja IMU1) noin 3 900 m³/d yhteenlasketulla tuotolla. 11/2011-1/2012 aikana pumpattiin puolestaan mallinnusalueen pohjoispuoliskon kolmessa pisteessä (SIIVILÄ4, IMU2 ja IMU3) keskimäärin noin 3 000 m³/d yhteenlasketulla tuotolla. Vuoden 2019 koepumppauksia varten pisteeseen IMU3 on rakennettu 400 mm siiviläputkikaivo. Nutturakankaan vedenottamolle rakennettiin vuonna 2013 uusi 325 mm siiviläputkikaivo (Nuttura-VO1), joka toimi vedenottamon pääasiallisena raakavesilähteenä vuoteen 2017 saakka. Kaikki edellä mainitut vuoden 2011 koepumppauspisteet, sekä Nutturakankaan ja Uudenkylän vedenottamoiden kaivot (yhteensä 10 kpl) on sisällytetty paikkatietoina virtausmalliin. Vuoden 2011 pohjoisimpaan koepumppauspisteeseen (IMU2) ei kuitenkaan ole suunnitteilla vedenottamo, minkä vuoksi se on jätetty myös mallinnussimulointien ulkopuolelle (ottomäärä 0 m³/d).

9.9.2020

2.5 Virtausmallin kalibrointi – virtausmallin lähtötilanne

2.5.1 Ottomäärä 690 m³/d

Virtausmallinnuksen kalibroinnin kannalta luotettavimmat Karhinkankaan alueen havaintoputkien pohjavedenpinnan tasojen tarkkailuaineistot on koottu tilanteissa, joissa alueelta on pumpattu pohjavettä 690 m³/d. Tästä syystä Karhinkankaan virtausmalli ja sen kalibrointi toteutettiin siten, että mallin lähtöarvot (K – arvot, pohjavedeksi imeytynyt sadantamäärä, vrt. kappale 2.3.2 ja 2.3.3) sekä parametriarvot (general head- ja drain – reunaehtoien konduktanssiarvot, vrt. kappale 2.4.2 ja 2.4.3) kalibroitiin tilanteeseen, jossa Karhinkankaalla simuloitiin pohjaveden pumppausta kahdessa pisteessä niin, että niiden yhteenlaskettu pohjaveden pumppausmäärä oli 690 m³/d (Uusikylä 65 m³/d ja Nuttura VO2 625 m³/d, vrt. pumppauspisteiden sijainti: liite 1).

Mallia kalibroitaessa vedenottomäärätietojen ohella ohjelmaan syötettiin pohjavesiputkien sijaintitiedot (liitteet 2.1 – 2.4), joista on eri aikoina mitattua tietoa pohjavedenpinnan tasoista (yhteensä 111 havaintopistettä, vrt. taulukko 2, sivu 12). Pohjavesipinnan tasoaineiston voidaan katsoa edustavan tilannetta, jolloin Karhinkankaalta on pumpattu 690 m³/d. Em. aineistoon on koottu Karhinkankaan alueen pohjavedenpinnan tasoja useista eri lähteistä (mm. eri aikoina havaintoputkista tehdyt pohjavedenpinnan tasomittaukset, POVET), mutta aineistoon ei ole sisällytetty alueella 2011 ja 2019 toteutettujen koepumppausten aikaisia pohjavedenpinnan tasoja.

Mallia kalibroitaessa PEST -kalibrointiohjelma (vrt. luku 2.5.2) laski uusia numeerisia arvoja lähtöarvoille, sekä niiden muuttujille siten, että kalibrointiohjelma laskennassaan lopulta päätyi simuloituun pohjavedenpinnan tasoon, joka edustaa mahdollisimman hyvin ohjelmaan vertailuaineistoksi annettuja pohjavedenpinnan tasoja (111 havaintopistettä: taulukko 2, kuvat 2.1 – 2.4) tilanteessa, jossa koko Karhinkankaan alueelta pumpataan pohjavettä 690 m³/d (virtausmallin lähtötilanne, keskimääräinen vedenottomäärä vuoteen 2017 saakka). Lähtötilanteen mukaan kalibrointia virtausmallia käytettiin lähtökohtana tämän raportin kaikissa virtausmallinussimuloinneissa.

2.5.2 “Trial and Error” – ja PEST -kalibrointi

Virtausmallin kalibrointi voidaan tehdä joko manuaalisesti ja/tai automaattisesti. Karhinkankaan mallinnusalueella virtausmallin lähtötilanteen kalibrointi tehtiin ensin useita keroja manuaalisesti (ns. Trial and Error -menetelmä) ja tämän jälkeen ohjelmallisesti, jolloin käytettiin GMS – ohjelmaan sisältyvää erillistä automaattista kalibrointi -ohjelmistoa (ns. PEST – kalibrointi). Lopuksi PEST – kalibroinnin jälkeen tehtiin kalibrointia vielä manuaalisesti niissä kohdin mallia, jossa PEST – kalibroinnin tuloksena pohjavesipinta ei toteuttanut pohjavesiputkista havaittuja tasoja halutulla tarkkuudella.

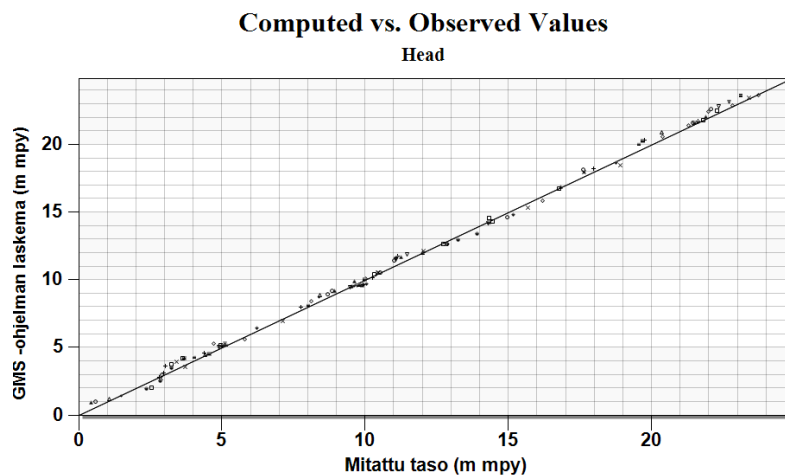
Mallinnettujen pohjavedenpinnan tasojen tarkkuuden tarkasteluun liittyen ohjelmaan oli määritelty pohjavedenpinnan tason osalta toleranssiarvo 0.5 m. Eli mallia kalibroitaessa pyrittiin siihen, että ohjelman laskemat pohjavedenpinnan tasot eivät poikkeaisi puolta metriä enempää havaintoputkista mitatuista pohjavedenpinnan tasoista.

PEST – kalibroinnin laskennan jälkeen virtausmalli saatiin lähes täydelliseen tasapainoon siihen tulevan ja siitä poistuvan vesimäärän suhteen. Mallinnusalueen pohjois- sekä eteläosissa oli kuitenkin muutamia mitattuja pohjavedenpinnan tasohavaintoja, joiden osalta PEST kalibroinnin jälkeen ero mitatun ja mallinnetun pohjavedenpinnan välillä oli yli puoli metriä. Tämä ratkaistiin siten, että näiltä osin mallia

9.9.2020

kalibroitiin vielä manuaalisesti ("Trial and Error" – kalibrointi) K – arvojen ja tarvittaessa myös konduktanssiarvojen osalta. Kun PEST – kalibroitu mallia kalibroitiin manuaalisesti ("Trial and Error"), niin mallin vesitasejännösvirhe eli mallista tulevan ja siitä poistuvan veden määrän suhde hieman kasvoi (0.6 %), mutta sitä voidaan kuitenkin pitää hyvänä lopputuloksena. Alhaista vesitasevirhettä voidaan tulkita siten, että lopullinen kalibroitu 1 – kerros -virtausmalli on laadittu riittäväällä tarkkuudella ottaen huomioon lähtöaineiston määrä ja laatu.

Kuvassa 4 on esitetty kuvaajamuodossa pohjavesiputkista (vrt. taulukko 2, seuraava sivu) mitatut ja GMS -ohjelman mallintamat pohjavedenpinnan tasot ja niiden väliset erot mallin kalibrointien jälkeen.



Kuva 4. Pohjavesiputkista mitatut ja virtausmallinohjelman laskemat pohjavesipinnan tasot ja niiden väliset erot. Kuvaajassa pohjavesiputket on esitetty symboleilla. Mitä lähempänä kukin pohjavesiputkea kuvaava symboli on kuvaajan regressiosuoraa, sitä lähempänä mallinnettu ja mitattu pohjavedenpinta ovat toisiinsa nähden.

Taulukosta 2 (seuraava sivu) ja liitteistä 2.1 – 2.4 voidaan tarkastella kalibrointituloksia yllä esitettyä kuvaajaa tarkemmin. Taulukossa 2 on esitetty omana sarakkeenaan virtausmallinnukseen sisällytettävien pohjavesiputkien (111 kpl) pohjavedenpinnan taso (sarake Pv – taso) sekä vastaava mallinohjelman laskema vedenpinnan taso (sarake GMS). Sarakkeessa "Ero" on esitetty pohjavesiputkesta mitatun ja virtausmallinohjelman laskeman pohjavedenpinnan välinen ero metreinä kalibrointien (PEST- ja "Trial and Error") jälkeen. Miinusmerkkisinä arvoina ovat putket, joissa ohjelma on laskenut pohjavedenpinnan tasot mitattua korkeammalle ja positiivisinä arvoina ne, joissa ohjelma on päätenyt laskennassaan mitattua alemmalle tasolle (vrt. liitteet 2.1 – 2.4).

Taulukosta 2 voidaan havaita, että mitattujen ja virtausmallinohjelman mallintamien pohjavedenpinnan tasojen välillä erot suurimmassa osassa putkia (111 kpl) ovat ainoastaan muutamista senttimetreistä noin 30 senttimetriin. Suurimmat erot ovat 50 – 60 cm:n luokkaa, joita on yhteensä 12 kpl. Ne sijoittuvat pääosin mallinalueen reunaosiin, missä ohjelma voi kalibrointilaskennassaan päätyä liian alhaisiin vedenjohtavuusarvoihin, jotka voivat virtausmallinlaskennassa tuottaa mitattuun nähden korkeampia mallinnettuja pohjavedenpinnan tasoja. Toisaalta harjun reuna-alueilla pohjavesi voi olla paikoitellen myös lievästi paineellista, jolloin ohjelman laskemat pohjavedenpinnan tasot (painetasot) voitaisiin katsoa edustavan paineellista pohjavedenpintaa, jota havaintoputkesta mitattu pohjavedenpinnantaso ei välttämättä edusta.

9.9.2020

Taulukko 2. Mitatut pohjavedenpinnan tasot ja vastaavat virtausmallinnusohjelman laskemat tasot (GMS). Korkeusjärjestelmänä on N2000. Sarakkeessa ”Ero” on mitatun ja mallinnetun pohjavedenpinnan tason välinen ero.

Tunnus	Pv-taso	Pv-taso (GMS)	Ero	Tunnus	Pv-taso	Pv-taso (GMS)	Ero	Tunnus	Pv-taso	Pv-taso (GMS)	Ero
PVP4	3.02	3.62	-0.60	KAHP7/11	19.57	19.98	-0.41	KAHP7	8.84	9.17	-0.33
KAHP3	3.41	3.94	-0.53	KAHP8/11	20.40	20.60	-0.20	KAHP8	9.77	9.61	0.16
Hp100/X015	0.60	1.02	-0.42	KAHP9/11	17.66	17.95	-0.29	KAHP9	10.32	10.39	-0.07
PVP3	2.38	1.92	0.46	IMU2	2.83	2.76	0.07	KT1	8.02	8.06	-0.04
HP103/X017	3.25	3.73	-0.48	507	3.71	3.55	0.16	KT2	8.11	8.40	-0.29
HP104/X023	3.69	4.17	-0.48	524	8.70	8.90	-0.20	KT3	8.40	8.74	-0.34
PIMA1	21.28	21.41	-0.13	527	9.55	9.49	0.06	KT4	7.77	7.99	-0.22
PIMA10	12.88	12.63	0.25	545	14.45	14.28	0.17	LVH1	10.48	10.55	-0.07
PIMA11	12.01	11.99	0.02	550	19.69	20.28	-0.59	LVH2	10.54	10.53	0.01
PIMA12	16.84	16.86	-0.02	554	21.99	22.45	-0.46	106	3.23	3.51	-0.28
PIMA9	14.30	14.18	0.12	568	5.03	5.14	-0.11	110	3.63	4.21	-0.58
558	21.46	21.59	-0.13	503	4.43	4.48	-0.05	113	4.58	4.50	0.08
Siivilä1	19.76	20.29	-0.53	10	11.26	11.65	-0.39	114	4.73	5.29	-0.56
Siivilä2	17.64	17.92	-0.28	11	11.47	11.85	-0.38	116	6.23	6.43	-0.20
Siivilä3	12.85	12.67	0.18	16	11.08	11.58	-0.50	118	8.43	8.84	-0.41
Siivilä4	9.92	9.60	0.32	17	11.15	11.73	-0.58	119	8.93	9.21	-0.28
KAHP5	4.96	5.12	-0.16	18	12.03	12.14	-0.11	121	9.48	9.43	0.05
KAHP5A/3A	5.16	5.12	0.04	21	14.95	14.64	0.31	123	9.73	9.58	0.15
KAHP5B/3B	5.02	5.12	-0.10	8	11.12	11.69	-0.57	124	9.93	9.60	0.33
KAHP5D/3D	5.04	5.12	-0.08	KAHP2	2.54	1.99	0.55	135	15.68	15.35	0.33
L1-90	17.99	18.19	-0.20	PHRKLHP5	4.04	4.26	-0.22	139	17.63	18.12	-0.49
L2-70	18.92	18.45	0.47	KAHP17/11	5.80	5.62	0.18	144	21.63	21.64	-0.01
KAHP1/11	22.09	22.59	-0.50	KAHP1	1.49	1.41	0.08	148	22.28	22.49	-0.21
KAHP10/11	13.26	12.96	0.30	KAHP 20/11	2.97	3.08	-0.11	149	23.12	23.61	-0.49
KAHP11/11	14.32	14.53	-0.21	KAHP 21/11	2.87	2.73	0.14	156	22.82	22.89	-0.07
KAHP12/11	9.91	9.57	0.34	KAHP 22/11	2.92	3.00	-0.08	1	9.62	9.59	0.03
KAHP13/11	10.03	10.05	-0.02	KAHP 23/11	2.84	2.50	0.34	2	10.26	10.17	0.09
KAHP14/11	10.06	9.72	0.34	KAHP10	12.72	12.67	0.05	3	10.43	10.56	-0.13
KAHP15/11	9.79	9.64	0.15	KAHP11	14.34	14.24	0.10	4	11.02	11.41	-0.39
KAHP16/11	9.64	9.87	-0.23	KAHP12	16.20	15.83	0.37	5	13.90	13.44	0.46
KAHP18/11	4.90	5.04	-0.14	KAHP14	18.75	18.64	0.11	6	16.77	16.71	0.06
KAHP19/11	5.10	5.31	-0.21	KAHP15	20.35	20.92	-0.57	PVP 3	10.00	10.04	-0.04
KAHP2/11	21.61	21.70	-0.09	KAHP16	21.90	22.05	-0.15	P 8	23.73	23.67	0.06
KAHP24/11	23.41	23.45	-0.04	KAHP17	22.34	22.83	-0.49	2032	15.17	14.83	0.34
KAHP3/11	21.44	21.61	-0.17	KAHP18	22.72	23.15	-0.43	PVP1	1.07	1.21	-0.14
KAHP4/11	21.49	21.62	-0.13	KAHP4	4.38	4.60	-0.22	PVP2	0.45	0.94	-0.49
KAHP5/11	21.81	21.76	0.05	KAHP6	7.13	6.97	0.16	102	11.08	11.47	-0.39

9.9.2020

2.6 Virtausmallin laskemien ja koepumppausten aikaisten pohjavesipintojen validointi

Vuonna 2011 Karhinkankaan alueella tehtiin koepumppauksia kahdessa osassa, ensin alueen eteläosissa ja sitten pohjoisosissa (kappale 2.4.4, sivu 9). Myös vuonna 2019 tehtiin koepumppauksia (Envineer Oy 2020), mutta ainoastaan Karhinkankaan pohjoisosissa (vrt. kappale 2.2, sivu 3).

Kaikkiin koepumppauksiin liittyen Karhinkankaan alueella tehtiin pohjavedenpinnan tasotarkkailua mittaamalla vedenpinnantasoja pumppausten aikana havaintoputkista, lammikoista ja ojista. Mutta ainoastaan vuoden 2011 koepumppausten aikaan tehtiin pohjavedenpinnan havainnointia koko Karhinkankaan alueella. Vuoden 2019 aikana sitä tehtiin vain Karhinkankaan pohjoisosissa. Eli koepumppauksiin liittyen kaikkein laajin ja kattavin pohjavedenpinnan tarkkailuaineisto on käytettävissä vuodelta 2011. Tässä yhteydessä on kuitenkin jo syytä huomioida, että vuosi 2011 oli poikkeuksellisen saateinen ja koepumppaukset tehtiin kahdessa vaiheessa

Kun virtausmallinnuksessa simuloitiin tilannetta, jossa lähtötilanteeseen kalibroituun virtausmalliin määritettiin vuoden 2011 koepumppausajankohdan pumppausmäärät ottokaivoihin – ja imuputkiin (taulukko 3), niin ohjelmaan syötetyn vuoden 2011 pohjaveden tasohavainnoista kootun vertailuta-soaineiston (vrt. edellä olevat kappaleet) avulla voitiin tehdä virtausmallin tarkastelua (validointia) sen suhteen, kuinka hyvin lähtötilanteeseen kalibroitu virtausmalli laskennassaan toteuttaa vuoden 2011 koepumppausten aikana Karhinkankaan alueella vakiintuneita pohjavedenpinnan tasoja.

Taulukko 3. Koepumppausmäärät (v. 2011)

NIMI	TYYPPI	OTTO_2011 (m ³ /d)
Uusikylä	Siiviläkaivo	65
IMU1	Imuputki	1265
SIIVILÄ1	Siiviläkaivo	1272
SIIVILÄ2	Siiviläkaivo	932
SIIVILÄ3	Siiviläkaivo	1368
NUTTURA_VO2	Kuilukaivo	625
NUTTURA_VO1	Siiviläkaivo	0
SIIVILÄ4	Siiviläkaivo	1288
IMU3	Imuputki	976
IMU2	Imuputki	1185
Yhteensä		8976

Kuvassa 5 (seuraava sivu) ja liitteessä 9 tilanne on havainnollistettu GMS – ohjelman tuottaman ns. havaintotargetti – muotoisen graafisen esityksen avulla. Kuvassa vihreällä värillä erottuvat pohjavedenpinnan havaintopisteet, joissa virtausmalli on päätyntynyt 0 – 0.5 m:n tarkkuuteen pohjavedenpinnan tasoissa, kun ohjelman vuoden 2011 koepumppausten ottomäärillä mallintamia pohjavedenpinnantasoja verrataan koepumppausten (suurimmaksi osaksi vuoden v. 2011 koepumppausten) yhteydessä mitattuihin pohjavedenpinnan tasoihin. Keltaisella värillä olevissa targeteissa eroa on keskimäärin 0.5 – 0.7 m. Punaisella värillä erottuvissa havaintopisteissä ero mallinnetun ja koepumppausten aikaan havainnoidun pohjavesipinnan välillä on yli 1 metri (4 havaintopistettä).

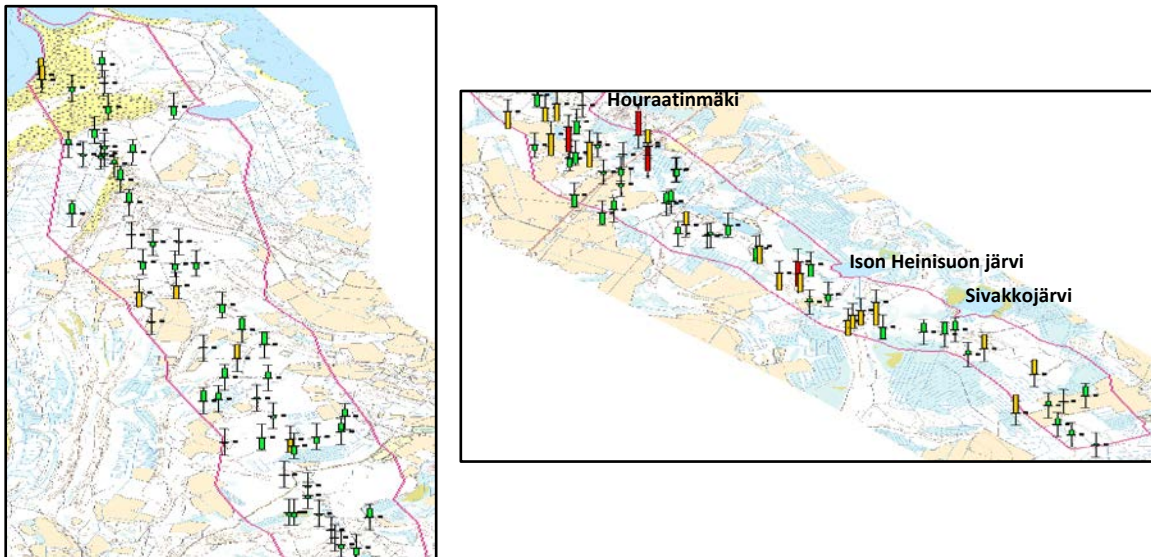
Yleisesti ottaen lähtötilanteeseen kalibroitu virtausmalli (vrt. luku 2.5.1) toteuttaa vuoden 2011 koepumppausmäärillä (ottomäärä yhteensä n. 8 900 m³/d) Karhinkankaan alueen eri koepumppausten yhteydessä mitatut pohjavedenpinnan tasot hyvin. Ainoastaan kolmella havaintopisteellä ohjelman laskemat pohjavedenpinnan tasot poikkeavat selvästi enemmän koepumppausten yhteydessä havainnoiduista pohjavedenpinnan tasoista.

9.9.2020

Suurimmat erot koepumppausten yhteydessä mitattujen ja ohjelmallisesti mallinnettujen pohjavesipintojen välillä ovat mallin reunalla Houraatinmäen eteläpuolisella alueella kahdessa pohjaveden tarkkailupisteessä, jossa virtausmallinnohjelma laskee pohjavedenpinnan tasot liian korkealle. Laskentatulokset voi johtua mallin reuna-alueella monesta eri asiasta. Esim. se tiedetään yleisesti, että MODFLOW – laskenta voi päättyä vaikeuksiin malliin syötettyjen sadanta-arvojen kanssa, jolloin ohjelma saattaa laskea pohjavedenpinnan tasoja maanpinnan yläpuolelle alueilla, joilla maakerrospaksuus on ohut tai se vaihtelee suuresti (äkkijyrkästi).

Houraatinmäen länsipuolisella harjualueella on myös pohjaveden tarkkailupiste, jossa ohjelman laskema pohjavedenpinnan asema poikkeaa enemmän koepumppausten yhteydessä mitatusta tasosta, samoin kuin Ison Heinisuon järven länsipuolella olevassa tarkkailupisteessä. Näissä kahdessa pisteessä ohjelma laskee pohjavesipintaa selvästi alemmalle tasolle verrattuna koepumppausten aikana mitattuihin tasoihin. On mahdollista, että em. putkien alueella maakerrosten vedenjohtavuus vaihtelee enemmän kuin mitä lähtötilanteen mallissa on huomioitu, tai putken pohjan asennustaso (siivilätaso) ei edusta virtausmallissa huomioitua primääriharjuaineuksen mukaista pohjavesipintaa. Tasoeroja mallinnetun ja mitattujen vedenpintojen välillä voi selittää myös vuoden 2011 sadantatilanne (vrt. alla).

Vuoden 2011 koepumppausten aikaan kesä oli hyvin sateinen, joten pohjavesi harjualueella on tuolloin täydentynyt hyvin sadannasta imeytyneen veden kautta. Lisääntynyt sadantamäärä muuttaa myös harjun lievealueiden, sekä kauemmaksi harjun liepeestä sijoittuvien orsivesikerrosten olosuhteita niin, että orsivettä muodostavat alueet voivat muotoutua paikoin paljon laajempi-alaisiksi ja yhtenäisemmiksi kuin kuivempina kesinä. Sateisina kesinä harjun pohjaveteen liittyvä orsivesikerros voi täydentää harjun pohjavettä (nostaa pohjavedenpinnan tasoa) huomattavasti tehokkaammin kuin kuivina kesinä. On huomioitava, että Karhinkankaan alueelle laadittu ”steady state” -virtausmalli ei huomioi kuivien ja sateisten vuosien välillä olevia eroja (vrt. kappale 7. sivu 31).



Kuva 5 (liite 9). Ero vuoden 2011 pumppausmäärillä mallinnettujen ja eri koepumppausten yhteydessä mitattujen pohjavedenpinnan tasojen välillä. Pohjaveden havaintopisteissä, missä virtausmallinnohjelman tuottama ns. havaintotargetti on väriltään vihreä, ero on 0 – 0.5 m, keltaisella värillä keskimäärin 0.5 – 0.7 m ja punaisella yli 1 metri.

9.9.2020

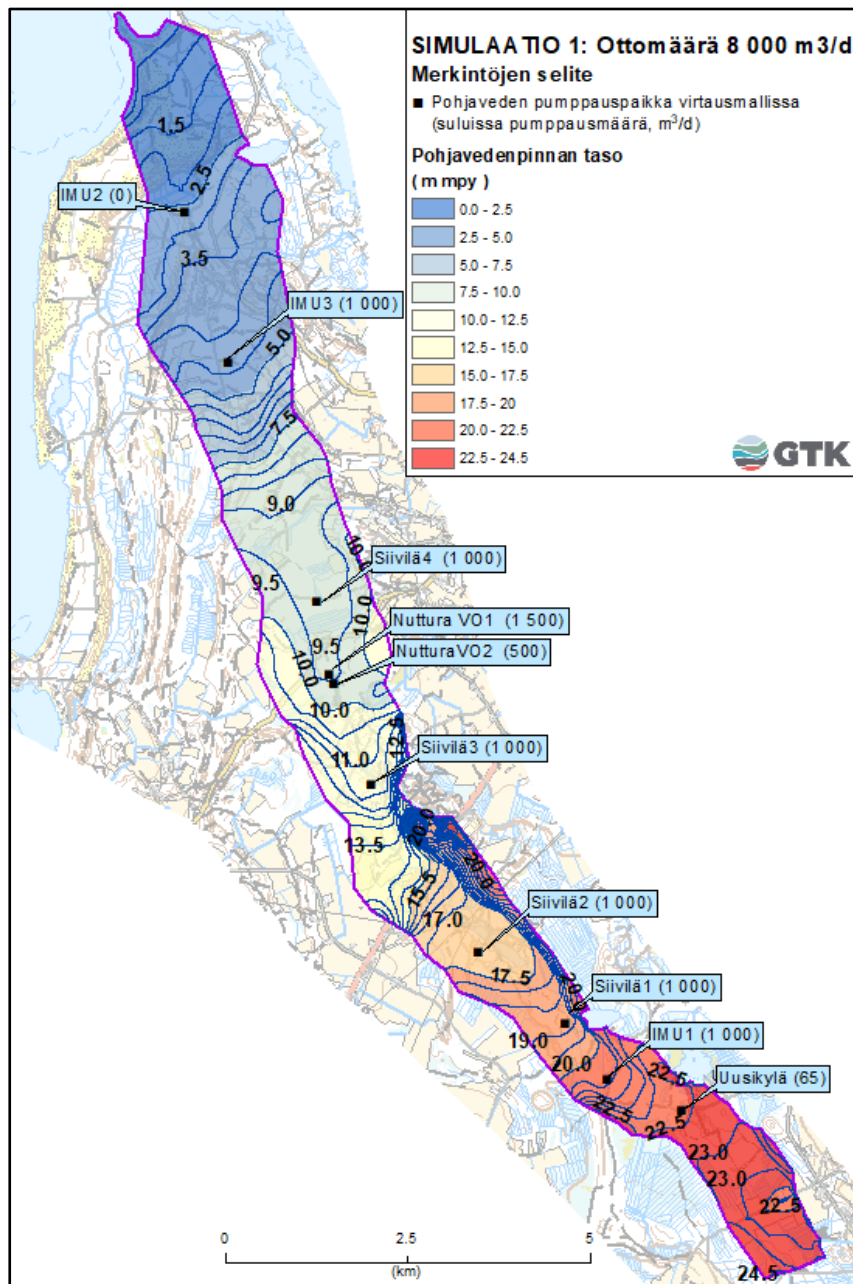
3 VEDENOTTOTILANTEIDEN SIMULOINTI

3.1 Yleistä

Kalibroidulla virtausmallilla (vrt. luku 2.5, sivu 10) tehtiin erilaisten vedenottotilanteiden simulointeja, joissa vaihdeltiin vedenottomäärää ja ottomäärien painotuksia. Ottotilanteet ajettiin tasapainotilaan eli pohjaveden pinnankorkeudet eivät enää muutu kussakin simulaatiossa mallinnetun vedenoton seurauksena.

3.2 Simulaatio 1: Ottomäärä 8 000 m³/d

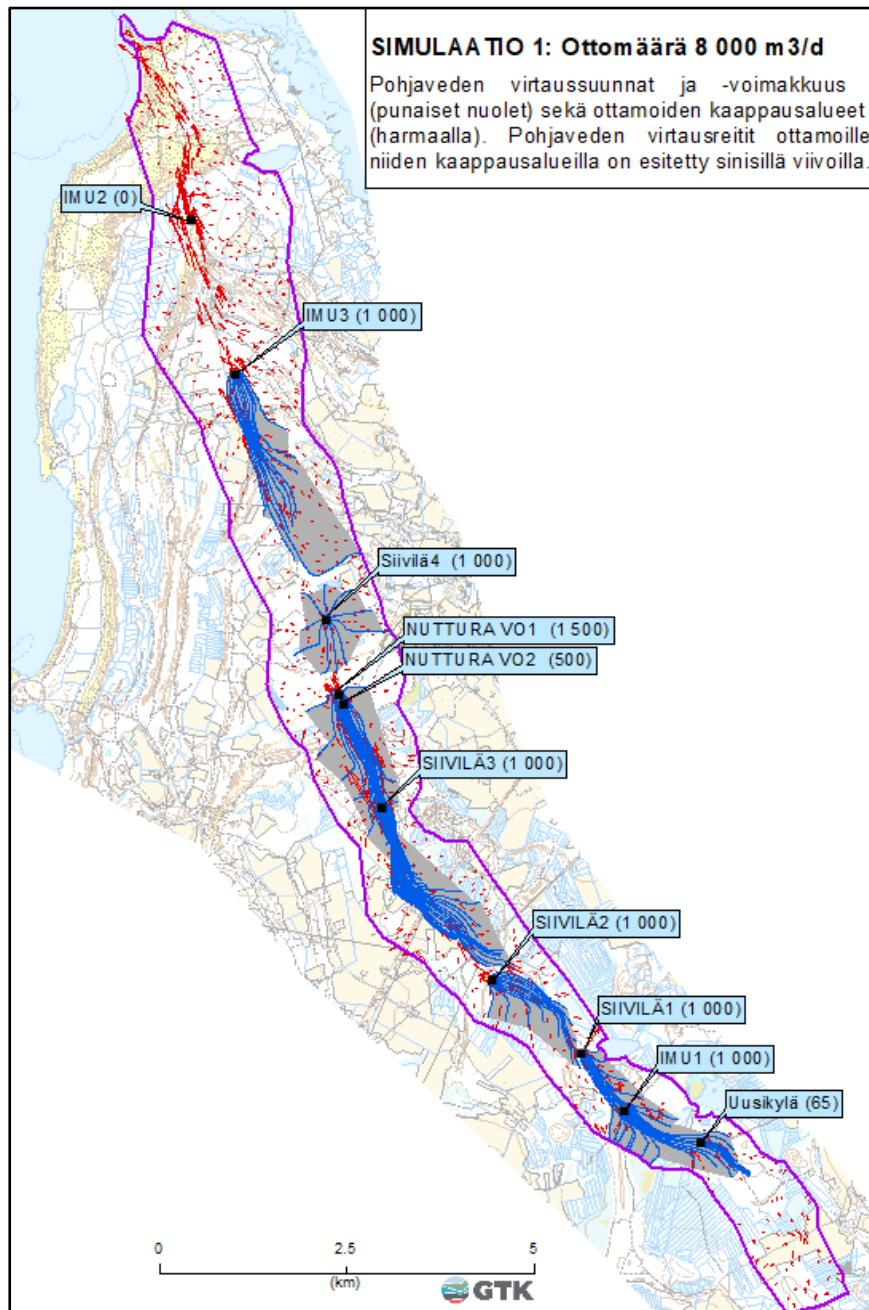
Kuvassa 6 on esitetty Karhinkankaan alueelle ohjelmallisesti simuloitujen pohjavedenpinnan tasot, jos alueelta pumpattaisiin pohjavettä 9 pisteestä yhteensä 8 000 m³/d.



Kuva 6. Karhinkankaan alueen pohjavedenpinnan tasot (m mpy) simuloituna pohjaveden ottomäärällä 8 000 m³/d.

9.9.2020

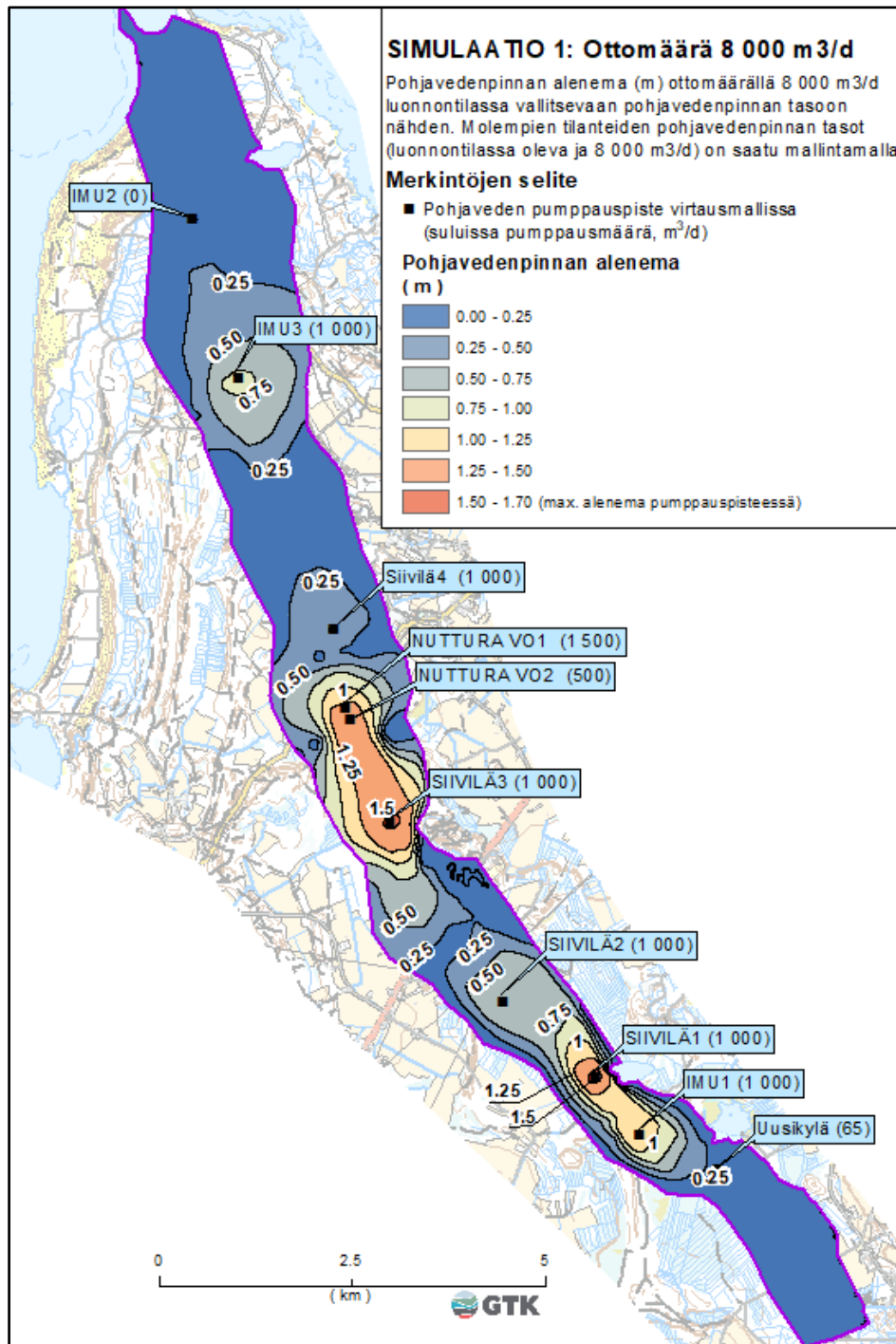
Kuvassa 7 (liite 3.1) on esitetty Karhinkankaan alueelle ohjelmallisesti simuloidut pohjaveden virtaussuunnat ja –voimakkuudet (mitä suurempi punainen virtausnuoli, sitä voimakkaampi pohjaveden virtaus) ja pohjaveden pumppauspisteiden (9 kpl) välittömässä vaikutuspiirissä olevat harjualueet (kaappausalueet), jos alueelta pumpattaisiin pohjavettä 8 000 m³/d. Pohjaveden virtausreitit ottamoille kaappausalueilla on esitetty sinisillä viivoilla.



Kuva 7. Pohjaveden virtaussuunnat ja –voimakkuudet sekä ottamoiden kaappausalueet sekä pohjaveden virtausreitit ottamoille kaappausalueilla, kun ottomäärä on 8 000 m³/d (vrt. liite 3.1)

9.9.2020

Kuvassa 8 (liite 4.1) on esitetty pohjavedenpinnan alenema (m) luonnontilassa vallitsevaan pohjavedenpintaan nähden, jos Karhinkankaan alueelta pumpattaisiin pohjavettä 8 000 m³/d. Luonnontilaa (ottomäärä 0 m³/d) vastaava Karhinkankaan alueen pohjavedenpinnan taso on tuotettu simuloimalla tausta-aineistoksi laskentaa varten, koska koko mallinnusalueen kattavaa luonnontilaisen pohjaveden pinnankorkeuden havaintoaineistoa ei ole käytettävissä (esim. vuonna 2011 vedenotto Nutturakankaan ja Uudenkylän ottamoilla oli jatkuva).



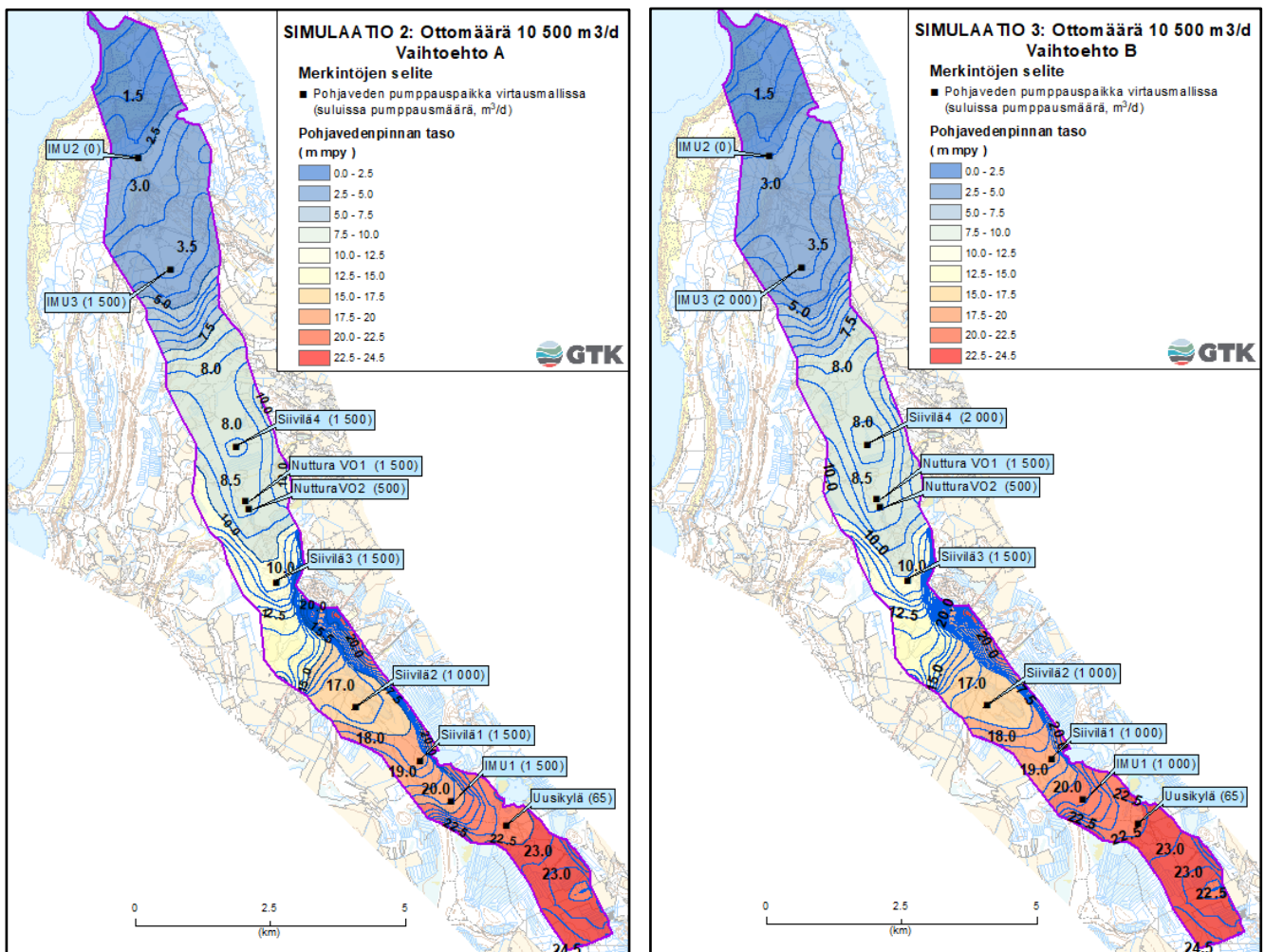
Kuva 8. Pohjavedenpinnan alenema (m) luonnontilassa vallitsevaan pohjavedenpintaan nähden, kun Karhinkankaan alueelta pumpattaisiin pohjavettä 8 000 m³/d.

9.9.2020

3.3 Simulaatiot 2 ja 3: Ottomäärä 10 500 m³/d - Vaihtoehdot A ja B

Kuvassa 9 (liite 7) on esitetty Karhinkankaan alueelle ohjelmallisesti simuloitua pohjavedenpinnan tasot, jos alueelta pumpattaisiin pohjavettä 9 pisteestä yhteensä 10 500 m³/d (vaihtoehdot A ja B).

Vaihtoehdon A mukaisessa tilanteessa pohjavettä pumpattaisiin Karhinkankaan eteläosista yhteensä 4 000 m³/d, keskiosista 5 000 m³/d ja pohjoisosasta 1 500 m³/d. Vaihtoehdossa B ottomäärät olisivat vastaavasti 3 000 m³/d, 5 500 m³/d ja 2 000 m³/d.

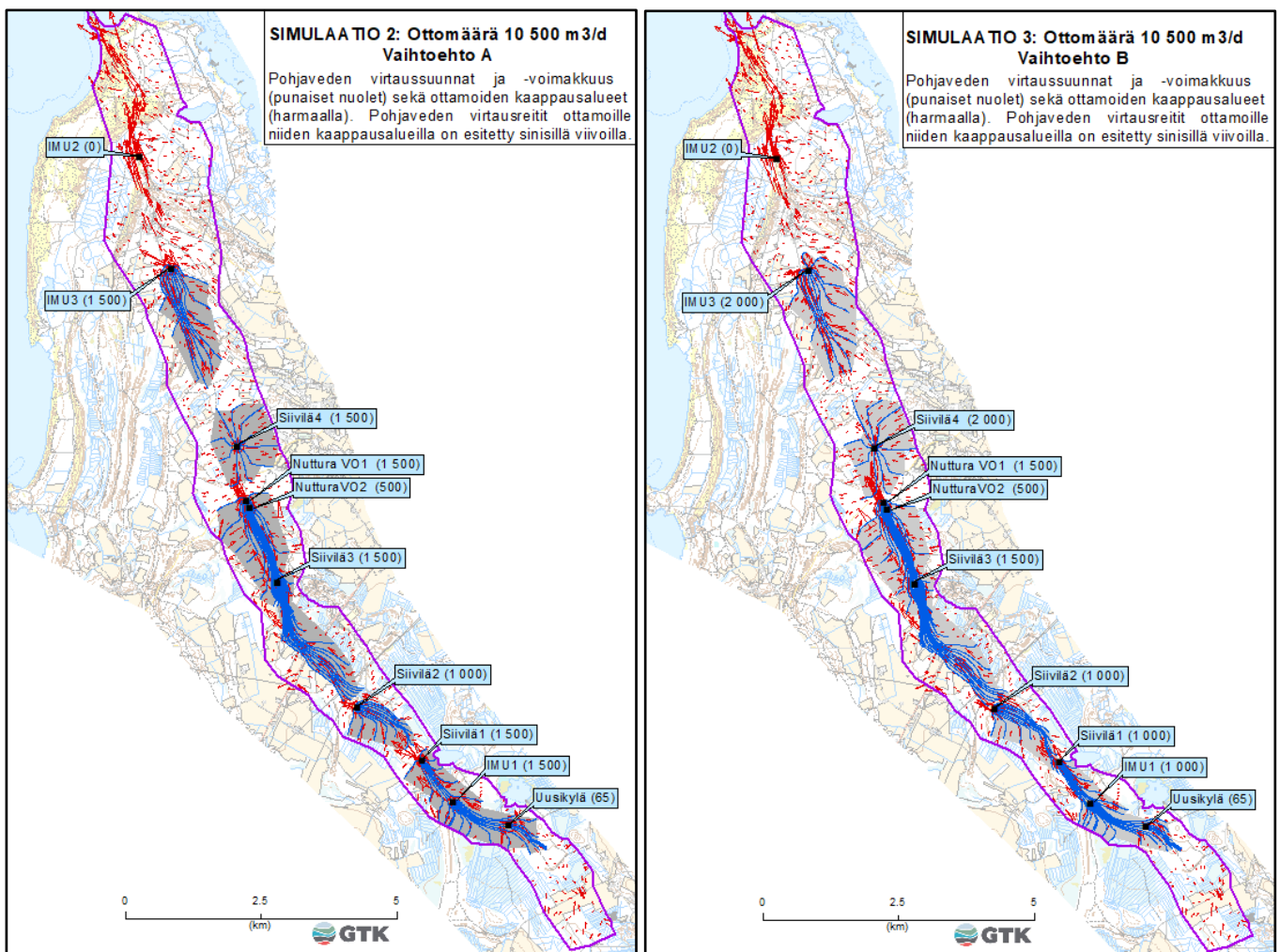


Kuva 9. Karhinkankaan alueen pohjavedenpinnan tasot simuloituna pohjavedenottomäärällä 10 500 m³/d niin, että pumpauspaikkakohtaisia ottomääriä on vaihdeltu (vaihtoehdot A ja B).

9.9.2020

Kuvassa 10 (liitteet 3.2 ja 3.3) on esitetty Karhinkankaan alueelle ohjelmallisesti simuloidut pohjaveden virtaussuunnat ja – voimakkuudet (mitä suurempi punainen virtausnuoli, sitä voimakkaampi pohjaveden virtaus) sekä pohjaveden pumppauspisteiden (9 kpl) välittömässä vaikutuspiirissä olevat harjaluueet (kaappausalueet), jos alueelta pumpattaisiin pohjavettä 10 500 m³/d.

Simulaatio toteutettiin niin, että yksittäisten pumppauspisteiden vesimääriä vaihdeltiin eri pumppauspisteiden välillä (A ja B vaihtoehdot). Vaihtoehdon A mukaisessa simulointitilanteessa pohjavettä pumpattaisiin Karhinkankaan eteläosista yhteensä 4 000 m³/d, keskiosista 5 000 m³/d ja pohjoisosasta 1 500 m³/d. Vaihtoehdossa B ottomäärät olisivat vastaavasti 3 000 m³/d, 5 500 m³/d ja 2 000 m³/d.

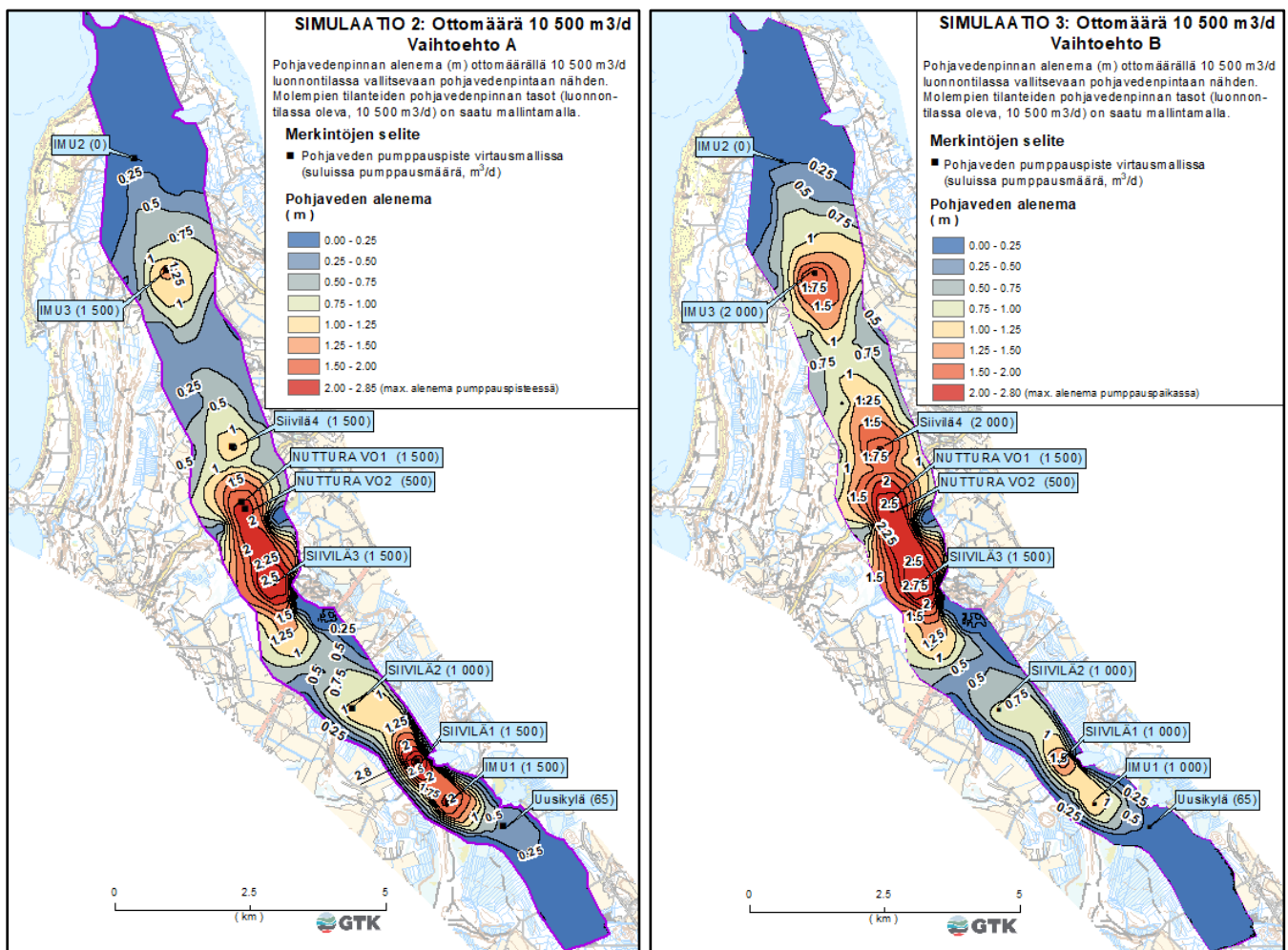


Kuva 10. Pohjaveden virtaussuunnat ja – voimakkuudet sekä ottamoiden kaappausalueet, kun pohjaveden pumppausmäärä on 10 500 m³/d (vaihtoehdot A ja B) sekä pohjaveden virtausreitit ottamoille kaappausalueilla (vrt. liitteet 3.2 ja 3.3).

9.9.2020

Kuvassa 11 (liitteet 4.2 ja 4.3) on esitetty pohjavedenpinnan alenema (m) luonnontilassa vallitsevaan pohjavedenpintaan nähden, jos Karhinkankaan alueelta pumpattaisiin pohjavettä 10 500 m³/d. Luonnontilaa (ottomäärä 0 m³/d) vastaava Karhinkankaan alueen pohjavedenpinnan taso on tuotettu simuloimalla tausta-aineistoksi laskentaa varten, koska koko mallinnusalueen kattavaa luonnontilaisen pohjaveden pinnankorkeuden havaintoaineistoa ei ole käytettävissä (esim. vuonna 2011 vedenotto Nutturakankaan ja Uudenkylän ottamoilla oli jatkuva).

Simulaatio toteutettiin niin, että yksittäisten pumppauspisteiden vesimäärissä oli vaihtelua eri pumppauspisteiden välillä (A ja B vaihtoehdot). Vaihtoehdon A mukaisessa simulointitilanteessa pohjavettä pumpattaisiin Karhinkankaan eteläosista yhteensä 4 000 m³/d, keskiosista 5 000 m³/d ja pohjoisosasta 1 500 m³/d. Vaihtoehdossa B ottomäärät olisivat vastaavasti 3 000 m³/d, 5 500 m³/d ja 2 000 m³/d.

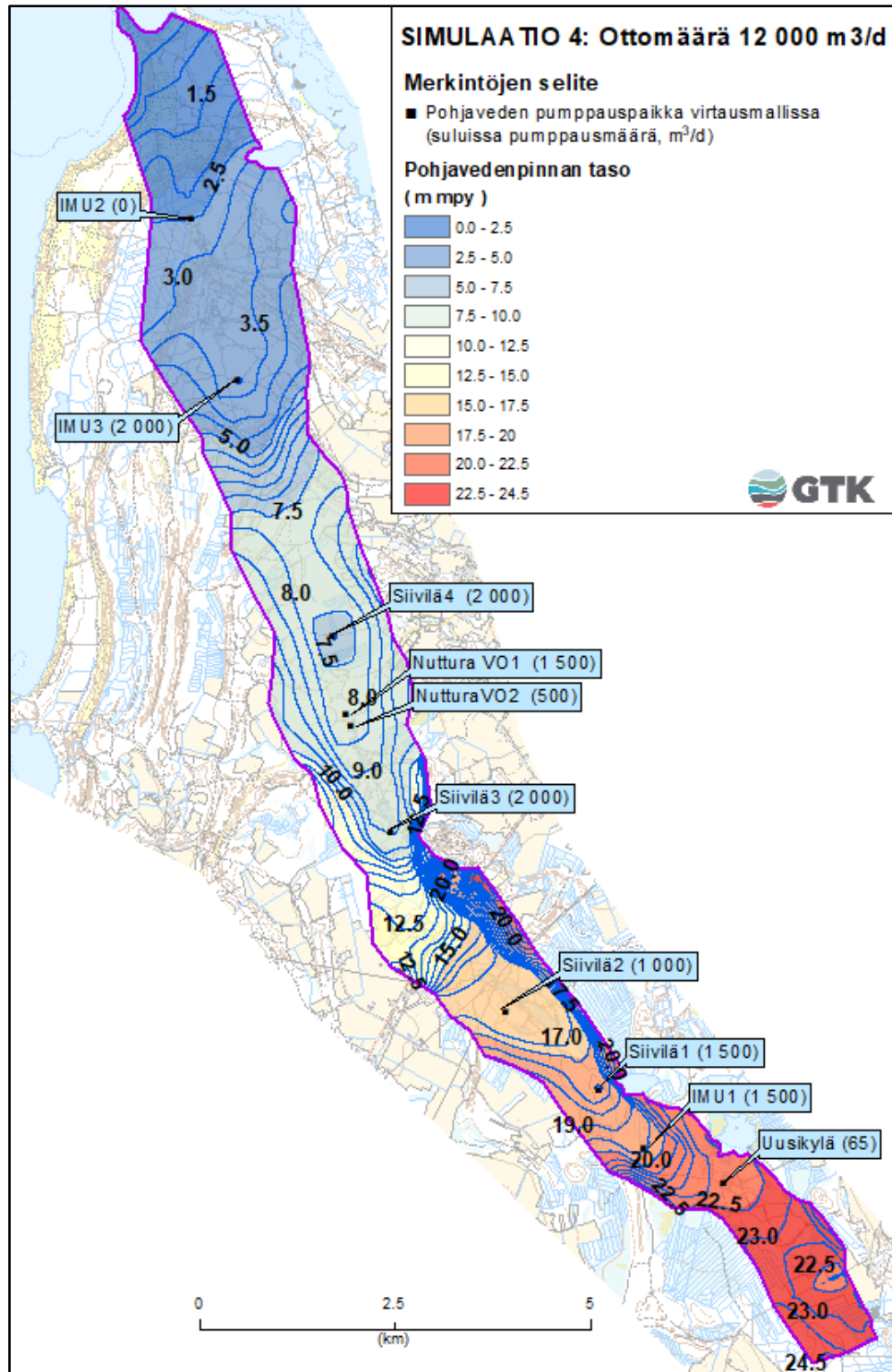


Kuva 11. Kuvassa 11 (liite 4.2 ja 4.3) on esitetty pohjavedenpinnan alenema (m) luonnontilassa vallitsevaan pohjavedenpintaan nähden, kun Karhinkankaan alueelta pumpattaisiin pohjavettä 10 500 m³/d.

9.9.2020

3.4 Simulaatio 4: Ottomäärä 12 000 m³/d

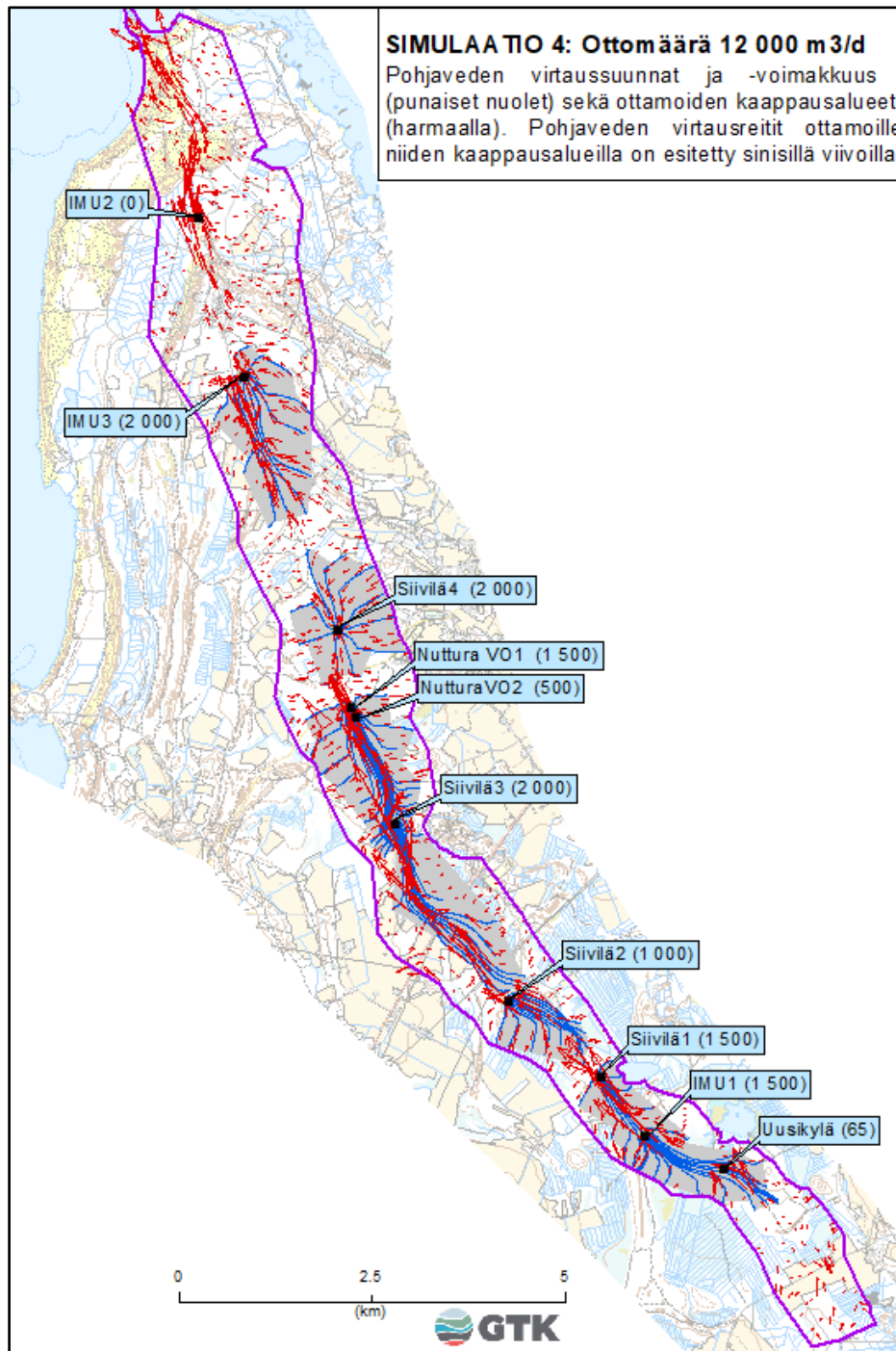
Kuvassa 12 on esitetty Karhinkankaan alueelle ohjelmallisesti simuloitut pohjavedenpinnan tasot, jos alueelta pumpattaisiin pohjavettä 9 pisteestä yhteensä 12 000 m³/d.



Kuva 12. Karhinkankaan alueen pohjavedenpinnan tasot (m mpy) simuloituna 12 000 m³/d ottomäärällä.

9.9.2020

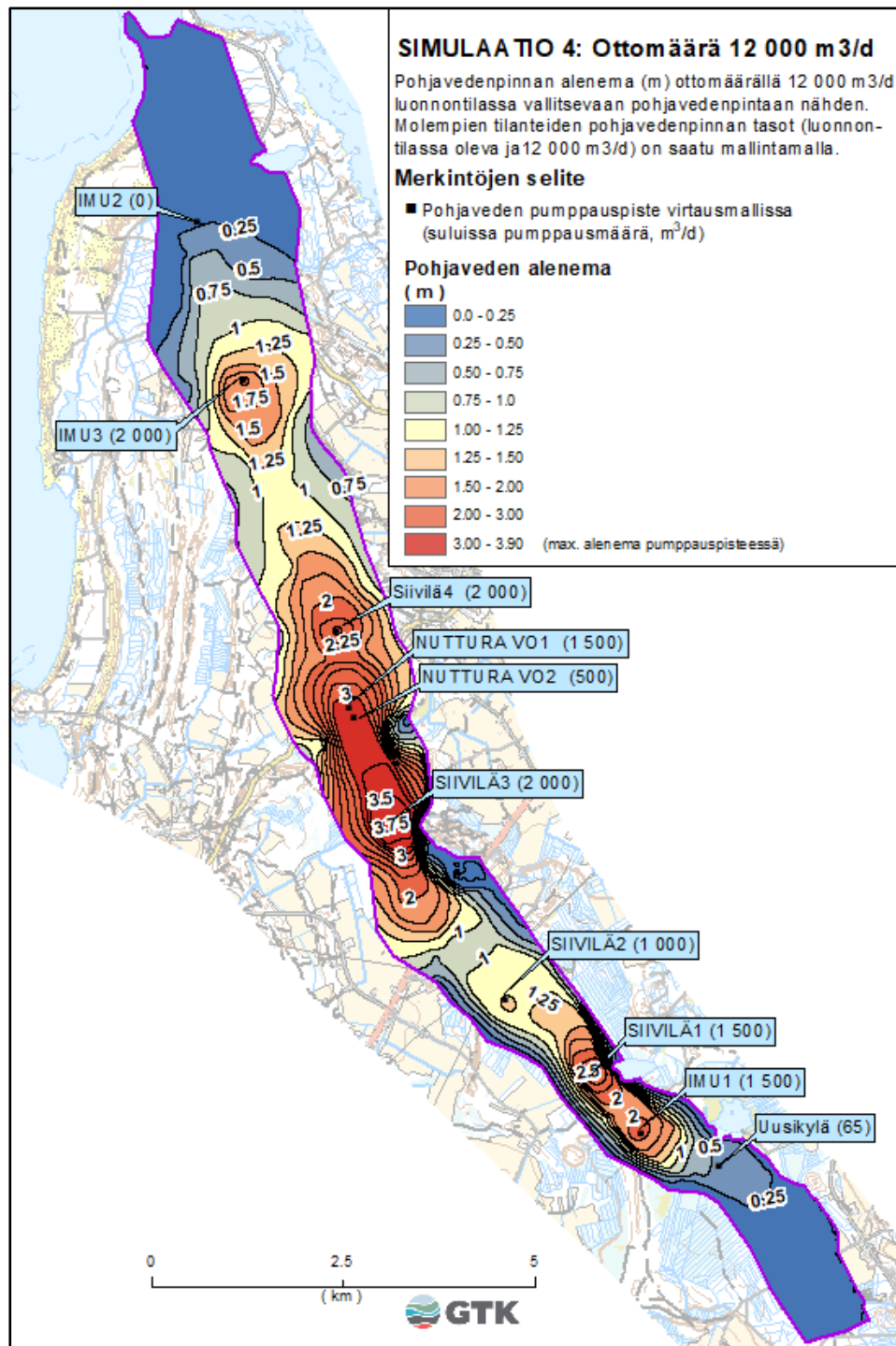
Kuvassa 13 (liite 3.4) on esitetty Karhinkankaan alueelle ohjelmallisesti simuloidut pohjaveden virtaussuunnat ja –voimakkuudet (mitä suurempi punainen virtausnuoli, sitä voimakkaampi pohjaveden virtaus) sekä pohjaveden pumppauspisteiden (9 kpl) välittömässä vaikutuspiirissä olevat harjuaalueet (kaappausalueet), jos alueelta pumpattaisiin pohjavettä 12 000 m³/d. Pohjaveden virtausreitit ottamoille kaappausalueilla on esitetty sinisillä viivoilla.



Kuva 13. Pohjaveden virtaussuunnat ja –voimakkuudet sekä ottamoiden kaappausalueet (pumppausmäärä 12 000 m³/d) ja pohjaveden virtausreitit ottamoille kaappausalueilla.

9.9.2020

Kuvassa 14 (liite 4.4) on esitetty pohjavedenpinnan alenema (m) luonnontilassa vallitsevaan pohjavedenpintaan nähden, jos Karhinkankaan alueelta pumpattaisiin pohjavettä 12 000 m³/d. Luonnontilaa (ottomäärä 0 m³/d) vastaava Karhinkankaan alueen pohjavedenpinnan taso on tuotettu simuloimalla tausta-aineistoksi laskentaa varten, koska koko mallinnusalueen kattavaa luonnontilaisen pohjaveden pinnankorkeuden havaintoaineistoa ei ole käytettävissä (esim. vuonna 2011 vedenotto Nutturakankaan ja Uudenkylän ottamoilla oli jatkuva).



Kuva 14. Pohjavedenpinnan alenema (m) luonnontilassa vallitsevaan pohjavedenpintaan nähden, kun Karhinkankaan alueelta pumpattaisiin pohjavettä 12 000 m³/d.

9.9.2020

3.5 Vesitasetarkastelu

3.5.1 Vesitasebudjetit ja vuosisadannasta pohjavedeksi imeytyvä vesimäärä

GMS – ohjelma laskee kullekin simuloidulle mallinnustilanteelle vesitasebudjetin, joka kattaa koko Karhinkankaan mallialueen. Niissä on esitetty kunkin simuloinnin mukainen laskelma malliin tulevasta ja sieltä poistuvasta vesimäärästä (liite 6). Mallinnuksella simuloitiin myös tilannetta, jossa Karhinkankaan alueelta ei pumpattaisi pohjavettä lainkaan (luonnontila). Saatuja tuloksia on esitetty jäljempänä taulukoissa 4 - 6.

Karhinkankaan virtausmallissa pohjavettä täydentyy ensisijaisesti sadannasta (vuosisadantamäärä 550 mm/y – 580 mm/y) imeytyneen veden kautta. Sadannasta pohjavedeksi imeytyneen veden kokonaismääräksi saatiin mallin kalibrointien jälkeen 13 229 m³/d. Eli tämä edellä mainittu vesimäärä imeytyy kaikissa mallinnussimulaatiotilanteissa sadannasta pohjavedeksi vuorokaudessa koko Karhinkankaan virtausmallinnusalueella (vrt. kappale 2.3.2, sivu 4).

3.5.2 Karhinkankaan mallialueen reunojen kautta tapahtuva veden virtaus ja ojapurkaumat

Karhinkankaan pohjavesi purkautuu pohjoispäästään mereen ja sen määrä on kaikissa simuloiduissa vedenottotilanteissa (simulaatiot 1 – 4) n. 1 900 m³/d. Eli tämän virtausmallinnustyön tulosten mukaan Karhinkankaan malliin määritellyistä pohjavedenottoaikoista tapahtuvilla erisuuruksilla pohjavedenottomäärillä ei olisi vaikutusta Karhinkankaalta mereen purkautuviin pohjavesimääriin.

Malliin voi tulla vettä mallin ulkopuolelta eri vesilähteistä (esim. pintavesistöt, maa- tai vajovesi) tai mallista voi poistua pohjavettä mallinnusalueen ulkopuolelle mallin reunoihin määritellyn reunaehdon mukaisesti (kappale 2.4.2, sivu 8). Tämä em. malliin ulkopuolelta pohjavettä täydentävä vesimäärä ja toisaalta mallin reunojen kautta mallista poistuva pohjavesimäärä voi vaihdella eri mallinnustilanteissa sen mukaan, miten malliin syötetyt ottomäärätiedot ja pohjaveden pumppauspisteiden sijainti vaihtuvat.

Mallinnuksessa saaduista tuloksista havaitaan (taulukko 4), että sitä mukaa, kun pohjavedenottomäärät kasvavat eri simulaatioissa, niin samalla myös mallin ulkopuolelta malliin virtaavan veden (joka täydentää harjun pohjavettä) määrä lisääntyy ja toisaalta mallista poistuvan pohjaveden määrä vähenee.

Taulukko 4. Karhinkankaan virtausmallinnusalueelle (2 600 ha) sen ulkopuolelta tuleva pohjavettä täydentävä vesimäärä, sekä mallista reunojen kautta poistuva pohjavesimäärä. Sarake, jossa on esitetty mallista reunojen kautta poistuva vesimäärä, sisältää mereen purkautuvan vesimäärän (1 900 m³/d). Suluissa olevat luvut kertovat mallista poistuvan vesimäärän, kun vesimäärästä vähennetään mereen purkautuvan veden osuus. Merivettä ei virtaa malliin pohjavedeksi missään mallinnussimulaatiossa.

Simulaatio	Mallinnusalueelle sen ulkopuolelta virtaava vesimäärä (m ³ /d)	Mallinnusalueen reunojen kautta poistuva vesi (m ³ /d)
ottomäärä 0 m ³ /d (luonnontila)	2310	-4367 (-2467)
Ottomäärä 690 m ³ /d (lähtötilanne, vuoteen 2017 asti)	2338	-4326 (-2426)
Simulaatio 1: Ottomäärä 8 000 m ³ /d	3070	-3589 (-1689)
Simulaatio 2: Ottomäärä 10 500 m ³ /d (vaihtoehto a)	3996	-3248 (-1348)
Simulaatio 2: Ottomäärä 10 500 m ³ /d (vaihtoehto b)	3683	-3363 (-1463)
Simulaatio 4: Ottomäärä 12 000 m ³ /d	4689	-3098 (-1198)

9.9.2020

Taulukkoon 5 on koottu eri mallinnussimulaatioiden tuloksena saatuja ojien kautta purkautuvia pohjavesimääriä Karhinkankaan alueella. Lisäksi taulukossa on esitetty mallinnuksen kautta saatu pohjaveden ojarpurkaumamäärä tilanteessa, jossa Karhinkankaalta ei pumpattaisi pohjavettä ollenkaan (luonnontila). Tässä yhteydessä on syytä huomioida, että taulukoissa 4 ja 5 (myös taulukko 6) esitetyt numeerisia lukuarvoja tulee tarkastella ennemminkin suuruusluokittain kuin tarkkoina numeerisina arvoina (vrt. luku 7), joita mallinnussimulaatio sinällään tuottaa (ja jotka on taulukoitu).

Mallinnustulosten mukaan pohjaveden purkautuminen ojiin vähenisi lisääntyvän pohjavedenoton seurauksena (taulukko 5). Ottomäärällä 8 000 m³/d ojiin purkautuvien pohjavesien määrä alensi ja olisi koko Karhinkankaan alueella keskimäärin alle puolet (n. 40 %) luonnontilaan simuloidun mallin ojarpurkaumamäärästä. Suuremmilla ottomäärillä (10 500 m³/d ja 12 000 m³/d) ojiin purkautuvan pohjaveden määrä alensi koko Karhinkankaan alueella edelleen siten, että se olisi n. 25 – 30 % mallinnuksella simuloidun luonnontilan ojarpurkaumamäärästä (taulukko 6).

Taulukko 5. Karhinkankaan alueen (2 600 ha) ojien (virtausmalliin sisältyvien) kautta purkautuvat vesimäärät.

Simulaatio	Ojien kautta purkautuva vesimäärä (m ³ /d)
Ottomäärä 0 m ³ /d (luonnontila)	-11 345
Ottomäärä 690 m ³ /d (lähtötilanne, vuoteen 2017 saakka)	-10 645
Simulaatio 1: Ottomäärä 8 000 m ³ /d	-4 707
Simulaatio 2: Ottomäärä 10 500 m ³ /d (vaihtoehto a)	-3 467
Simulaatio 3: Ottomäärä 10 500 m ³ /d (vaihtoehto b)	-3 033
Simulaatio 4: Ottomäärä 12 000 m ³ /d	-2 778

Taulukko 6. Eri simulaatioissa Karhinkankaan alueen ojien (virtausmalliin sisältyvien) kautta purkautuvien pohjavesimäärien suhde luonnontilassa (simuloitu) sekä lähtötilanteessa (pumppausmäärä 690 m³/d) ojiin purkautuviin vesimääriin.

Simulaatio	Ojiin purkautuvien pohjavesimäärien % -osuus luonnontilassa purkautuviin pohjavesimääriin	Purkaumamäärän alenema (%)	Ojiin purkautuvien pohjavesimäärien % -osuus lähtötilanteeseen kalibroidussa mallissa (690 m ³ /d) purkautuviin pohjavesimääriin	Purkaumamäärän alenema (%)
Ottomäärä 0 m ³ /d (luonnontila)	100	-	-	-
Ottomäärä 690 m ³ /d (lähtötilanne, vuoteen 2017 saakka)	94	6	100	-
Simulaatio 1: Ottomäärä 8 000 m³/d	41	59	44	56
Simulaatio 2: Ottomäärä 10 500 m³/d (vaihtoehto a)	31	69	33	67
Simulaatio 3: Ottomäärä 10 500 m³/d (vaihtoehto b)	27	73	28	72
Simulaatio 4: Ottomäärä 12 000 m³/d	24	76	26	74

9.9.2020

3.5.3 Valuma-aluekohtainen tarkastelu

Karhinkankaan virtausmallinnusalue jakautuu viiden (5) valuma-alueen osalle. Eri valuma-alueet sijoituvat pinta-alallisesti sekä hydrologisesti tarkasteltuna pääosin varsinaisen Karhinkankaan virtausmallinnusalueen ulkopuolelle (liite 8, taulukko 7). On huomioitava, että virtausmalli on laadittu lähtökohteisesti koko Karhinkankaan alueen tarkastelua varten lukuun ottamatta erillisiä ja ennalta valittuja kohteita tai kohdealueita (vrt. luku 3.5.4), eikä niinkään suurempimittakaavaista osa-alueittain (valuma-alueet Karhinkankaalla, taulukko 7) tapahtuvaa tarkastelua silmälläpitäen (vrt. luku 7).

Taulukko 7. Valuma-alueet ja niiden osuudet Karhinkankaan mallinnusalueesta.

Alue	Valuma-alueen pinta-ala	Valuma-alueen pinta-ala Karhinkankaalla	Valuma-alueen osuus Karhinkankaalla koko valuma-alueen alasta
Lohtajanjoen va.	10 453 ha	935 ha	9 %
Välialue	3 601 ha	982 ha	27 %
Kiviojan va.	1 650 ha	407 ha	25 %
Niemenjoen va.	1 995 ha	238 ha	12 %
Koskenkylänjoen va.	7 780 ha	109 ha	1.5 %

Karhinkankaan virtausmallinnusalueesta Lohtajanjoen valuma-alueeseen (10 453 ha) kuuluvien kahden osa-alueen yhteenlaskettu pinta-ala on 935 ha (taulukko 7, liite 8). Näiltä kahdelta osa-alueelta purkautuu luonnontilaan simuloitun virtausmallin mukaan pohjavesiä ojien ja mallinnusalueen reunan kautta yhteensä vajaa 6 000 m³/d. Ottomäärällä 8 000 m³/d pohjavesien purkausmäärä osa-alueilta on n. 40 %, ottomäärällä 10 500 (simulaatiot A ja B) n. 30 % ja ottomäärällä 12 000 m³/d n. 25 % luonnontilassa purkautuvista määristä.

Karhinkankaan virtausmallinnusalueesta Välialueen valuma-alueeseen (3 601 ha) kuuluvien kahden osa-alueen yhteenlaskettu pinta-ala on 982 ha (taulukko 7, liite 8). Luonnontilaan simuloitun virtausmallin mukaan osa-alueilta purkautuu pohjavesiä ojien ja mallinnusalueen reunan kautta yhteensä vajaa 4 000 m³/d. Ottomäärällä 8 000 m³/d pohjavesien purkausmäärä osa-alueilta on n. 75 %, ottomäärällä 10 500 (simulaatiot A ja B) n. 50 - 60 % ja ottomäärällä 12 000 m³/d vajaa 50 % luonnontilassa purkautuvista määristä.

Karhinkankaan virtausmallinnusalueesta Kiviojan valuma-alueeseen (1 650 ha) kuuluvan osa-alueen pinta-ala on 407 ha (taulukko 7, liite 8). Luonnontilaan simuloitun virtausmallin mukaan osa-alueelta purkautuu pohjavesiä ojien ja mallinnusalueen reunan kautta yhteensä hieman yli 2 000 m³/d. Ottomäärällä 8 000 m³/d pohjavesien purkausmäärä osa-alueelta on vajaa 30 %, ottomäärällä 10 500 (simulaatiot A ja B) vajaa 20 % ja ottomäärällä 12 000 m³/d vajaa 15 % luonnontilassa purkautuvista määristä.

Karhinkankaan virtausmallinnusalueesta Niemenjoen valuma-alueeseen (1 995 ha) kuuluvan osa-alueen pinta-ala on 238 ha (taulukko 7, liite 8). Luonnontilaan simuloitun virtausmallin mukaan osa-alueelta purkautuu pohjavesiä ojien ja mallinnusalueen reunan kautta yhteensä hieman yli 1 000 m³/d. Ottomäärällä 8 000 m³/d ja 10 500 (simulaatio B) pohjavesien purkausmäärä osa-alueelta on n. 20 % luonnontilassa purkautuvista määristä. Ottomäärällä 10 500 (simulaatio A) ja 12 000 m³/d vastaavasti vajaa 10 %.

9.9.2020

Karhinkankaan virtausmallinnusalueesta Koskenkylänjoen valuma-alueeseen (7 780 ha) kuuluvan osa-alueen pinta-ala on 109 ha (taulukko 7, liite 8). Luonnontilaan simuloidun virtausmallin mukaan osa-alueelta purkautuu pohjavesiä ojien ja mallinnusalueen reunan kautta yhteensä n. 600 m³/d. Ottomäärällä 8 000 m³/d ja ottomäärällä 10 500 (simulaatio B) pohjavesien purkausk määrä osa-alueelta on vajaa 40 % luonnontilassa purkautuvista määristä. Vastaavasti ottomäärällä 10 500 (simulaatio A) ja 12 000 m³/d vajaa 30 %.

3.5.4 Kohteellinen tarkastelu

Mallinnuksen yhtenä tavoitteena oli saada virtausmallin antamien tulosten perusteella arvioita myös siitä, miten pohjavedenotto vaikuttaa tarkemman tarkastelun kohteeksi valittuihin ojiin purkautuviin pohjavesimääriin. Lisäksi arvioitiin vedenoton vaikutuksia mallinnusalueen liepeille sijoittuvien järvien osalta (Vatunginjärvi, Iso Heinisuon järvi ja Sivakkojärvi), joihin voi purkautua mallinnusalueen reunaosien (harjuliepeen) alueelta pohjavesiä ja/tai niistä voi suotautua järvivesiä harjun suuntaan (taulukko 8). Tarkasteluun valittujen kohteiden sijainti on esitetty karttaliitteissä 5.1 - 5.3.

Taulukko 8. Tarkastelun kohteeksi valittujen kohteiden ojiin purkautuvat mallinnetut pohjavesivesimäärät sekä Ison Heinisuonjärven ja Sivakkojärven virtausmallin puoleisten ranta-alueiden kautta tapahtuva pintaveden suotautuminen (vrt. sijainti karttaliitteet 5.1 – 5.3).

Kohde (tyyppi)	Otto 0 m ³ /d	Otto 690 m ³ /d	Otto 8 000 m ³ /d	Otto 10 500 (A) m ³ /d	Otto 10 500 (B) m ³ /d	Otto 12 000 m ³ /d
Vatunginjärvi	0	0	0	0	0	0
Kylmäperänoja (ojat)*	1715	1715	1507	1355	1144	1125
Pentinjärvi (ojat)	185	182	78	5	0	0
Nuottajärvi (ojat)	2470	1969	99	0	0	0
Pikku Rantijärvi (ojat)	227	183	68	7	0	2
Ison Heinisuon järvestä mallialueelle virtaava vesimäärä	35	36	169	270	171	276
Isoon Heinisuon järveen mallialueelta virtaava vesimäärä	7	7	0	0	0	0
Sivakkojärvestä pois virtaava vesimäärä	0	0	2	32	2	34
Sivakkojärveen virtaava vesimäärä	45	47	13	3	13	3

*Kylmäperänojaan purkautuvia vesimääriä voidaan hyödyntää Lahdenkrooppi – lammen tarkastelussa.

Mallinnustulosten mukaan Isoon Heinisuon järveen sekä Sivakkojärveen voi purkautua pieniä määriä (m³/d) pohjavesiä mallinnusalueen reuna-alueilta (harjun liepeiltä) ja toisaalta niistä voi samaan aikaan suotautua pieniä määriä pintavesiä harjun suuntaan pohjavedeksi (taulukko 8). Mallin laskemat vesimäärät viittaavat siihen suuntaan, että vedenoton vaikutukset kohdistuisivat enemmänkin Ison Heinisuon järveen kuin Sivakkojärveen. Kun pohjaveden pumppausmäärät lisääntyvät Karhinkankaan eteläosissa Ison Heinisuon järven länsipuolella, niin myös järviveden suotautuminen harjun suuntaan voimistuisi simulaatiotulosten mukaan tarkasteltuna. Vatunginjärveen (vrt. sijainti, liite 4.3) Karhinkankaalla tapahtuvalla pohjavedenotolla ei tämän virtausmallinnustyön tulosten mukaan olisi vaikutusta.

9.9.2020

Kohteellisessa tarkastelussa (taulukko 8) Karhinkankaan pohjoisosiin sijoittuvaan Kylmäperänojaan (sijainti: liite 4.1) purkautuva vesimäärä pienenee sitä mukaa kun ottomäärät lisääntyvät. Simuloituissa ottotilanteissa 1-4 Kylmäperänojaan purkautuvassa vesimäärässä ei kuitenkaan tapahtuisi poikkeavan suuria muutoksia millään pohjaveden ottomäärällä simuloituna (vrt. luku 3, ottomäärät 8 000 m³/d, 10 500 m³/d ja 12 000 m³/d). Suurimallakin ottomäärällä simuloituna (12 000 m³/d) ojaan purkautuvan pohjaveden määrä olisi vielä noin 65 % verrattuna ojaan luonnontilassa (vedenotto 0 m³/d) purkautuvaan pohjavedenmäärään nähden.

Pentinjärven ja Pikku-Rantijärven (sijainti: liite 4.2) alueiden ojissa pohjaveden purkaumamäärät aleniivat selvästi jo ottomäärällä 8 000 m³/d. Suurimmilla ottomäärillä (10 500 m³/d ja 12 000 m³/d) pohjaveden purkautuminen näiden alueiden ojiin loppuu virtausmallinussimulaation mukaan käytännössä kokonaan. Nuottajärven alueella (liite 4.2) pohjaveden purkautuminen alueen ojiin vähenisi simulaatiotulosten mukaan huomattavasti jo 8 000 m³/d – ottomäärällä simuloituna ja loppuisi kokonaan suuremmilla vedenottomäärillä (vrt. kappale 5, sivu 30).

Pentinjärven, Pikku-Rantijärven ja Nuottajärven alueille sijoittuvien kosteikkojen osalta voidaan todeta, että niiden hydrologiset olosuhteet voivat liittyä pohjaveden purkautumisen ohella myös alueiden orsivesiolosuhteisiin. Maaperäkartoitustietojen (maaperäkartta 1:20 000, GTK) ja harjurakennetutkimustietojen (Paalijärvi & Valjus 2014) mukaan ainakin Karhinkankaan keskiosissa on alueita, joissa primäärin harjuaineksen päälle on kerrostunut laajoja ranta- ja dyynihienohiekkakerroksia (vrt. liite 4.2), jotka voisivat varastoida ja johtaa orsivesiä pohjavedeksi. Orsivedet voivat myös purkautua pohjavesien ohella alavampiin mastokohtiin. Virtausmallinnuksella ei varsinaisesti mallinneta orsivesiä, vaan ne huomioidaan mallissa ainoastaan malliin sisällytettyjen reunaehtoien kautta pohjavettä täydentävänä vesilähteenä.

4 YHTEENVETO

Karhinkankaan harjualueelle rajattiin mallinnusalue (liite 1), johon tehtiin pohjaveden virtausmalli Groundwater Modeling System (GMS) – virtausmallinnusohjelmistolla. Malli on ns. MODFLOW – virtausmalli (Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model) ja se toteutettiin ns. ”steady state” 1 – kerros – mallina, jossa pohjaveden virtaus pyritään saamaan mahdollisimman hyvin tasapainoon malliin tulevan ja siitä poistuvan veden määrän suhteen.

Virtausmallinnuksen kohteeksi rajattu Karhinkankaan alue on kooltaan n. 2 600 ha (26 km²) ja sen pituus luode-kaakko – suunnassa on n. 20 km. Alueen leveys sen keski- ja pohjoisosissa on keskimäärin n. 1.5 km ja eteläosissa leveys vaihtelee 0.7 – 1.0 km:n välillä. Harjualueelle on rajattu vedenhankinnan kannalta tärkeäksi määritelty Karhinkankaan pohjavesialue (1042901).

Virtausmalliin määriteltiin 10 pohjaveden pumppauspistettä, jotka ovat etelästä pohjoiseen päin lueteltuina: Uusikylä, IMU1, Siivilä1, Siivilä2, Siivilä3, Nuttura VO2, Nuttura VO1, Siivilä4, IMU3 ja IMU2 (liite 1). Näistä edellä mainituista pumppauspisteistä 9 valittiin mukaan eri mallinussimulaatioihin. Pohjoisisiin malliin sisällytetty pohjaveden pumppauspiste (IMU2) ei ole mukana varsinaisissa ottosimuloinneissa (simulaatiot 1 – 4); se oli mukana mallissa ainoastaan vuoden 2011 koepumppausten tulosten simulointia varten ja simulointitulosten validointiin liittyen (vrt. kappale 2.6, sivu 13).

9.9.2020

Lähtötilanteen virtausmalli laadittiin niin, että se kalibroitiin pohjaveden oton osalta tilanteeseen, jossa koko Karhinkankaan alueelta pumpataan (simuloitu pumppaus) pohjavettä kahdesta pumppauspisteestä yhteensä 690 m³/d (Uusikylä 65 m³/d ja Nuttura VO2 – pisteestä 625 m³/d, sijainti liite 1). Lähtötilanteen mukaisen pohjavedenpinnan tason voidaan katsoa vallinneen Karhinkankaan alueella pisimpään (vuoteen 2017 saakka). Kalibroidulla ja verifioidulla lähtötilanteen mallilla tehtiin neljä (4) varsinaista mallinnussimulaatiota, joissa pohjaveden ottomäärät vaihtelivat eri pumppauspisteiden välillä.

Simulaatiossa 1 pumppausmäärä on koko karhinkankaan alueella yhteensä 8 000 m³/d. Simulaatiossa 2 ja 3 pumppausmäärät ovat molemmissa simulaatioissa 10 500 m³/d niin, että kaivokohtaisia ottomääriä vaihdeltiin kaivojen kesken (vaihtoehto a ja b). Simulaatiossa 4 pohjaveden pumppausmäärä on 12 000 m³/d. Yhteinen piirre kaikkien edellä mainittujen neljän simulaation osalta on se, että mallinnustulosten mukaan mereen purkautuva pohjavesimäärä (1 900 m³/d) pysyi samansuuruisena kaikissa simulaatiotilanteissa. Eli virtausmallinnustulosten mukaan Karhinkankaan mallinnusalueella tapahtuvalla pohjavedenotolla ei olisi vaikutusta pohjavesimäärään, joka purkautuu Karhinkankaan pohjoisosista mereen.

Mallinnustulosten mukaan Isoon Heinisuon järveen sekä Sivakkojärveen voi purkautua pieniä määriä (m³/d) pohjavesiä mallinnusalueen reuna-alueilta (harjun liepeiltä) ja toisaalta niistä voi samaan aikaan suotautua pieniä määriä pintavesiä harjun suuntaan pohjavedeksi. Mallin laskemat vesimäärät viittaavat siihen suuntaan, että vedenoton vaikutukset kohdistuisivat enemmänkin Isoon Heinisuon järveen kuin Sivakkojärveen. Kun pohjaveden pumppausmäärät lisääntyvät Karhinkankaan eteläosissa Ison Heinisuon järven länsipuolella, niin myös järviveden suotautuminen harjun suuntaan voimistuisi simulaatiotulosten mukaan tarkasteltuna. Tätä mallinnustulosta tukevat myös alueen pohjavesistä tehdyt isotooppitutkimukset, joiden mukaan Karhinkankaan eteläosien pohjavesissä on sekoittuneena vaihtelevia määriä pintavettä (Hendriksson et.al. 2018). Vatunginjärveen (liite 4.3) Karhinkankaalla tapahtuvalla pohjavedenotolla ei tämän virtausmallinnustyön tulosten mukaan olisi vaikutusta.

Ottomäärällä 8 000 m³/d mallinnettuna suuressa osassa Karhinkankaan aluetta ei tapahdu suuria muutoksia pohjavedenpinnan tasoissa verrattuna simuloituun tilanteeseen, jossa pohjavettä ei pumpattaisi koko Karhinkankaan alueelta ollenkaan. Pumppauspisteiden vaikutusalueella pohjavedenpinnan alenemat ovat kohtuullisen pieniä eli muutamista kymmenistä senttimetreistä hieman yli metrin luokkaan sen mukaan, kuinka lähellä pumppauspistettä tarkastelu tehdään (liite 4.1 ja kuva 8, sivu 17). Pumppauspisteissä mallin laskemat pohjavedenpinnan alenemat ovat suurimmillaan 1.5 m:n luokkaa Karhinkankaan keski- ja eteläosissa. Tässä yhteydessä on kuitenkin huomioitava, että virtausmallinnusohjelmiston laskentavirhe pohjavedenpinnan aleneman suhteen on suurin juuri pumppauspisteen kohdalla olevassa yksittäisessä laskentasolussa pumppauksen aiheuttamasta pohjavedenpinnan alenemakartion suuruudesta johtuen, jota aleneman jyrkkyyttä laskentahilaverkko (MODFLOW -finite difference grid) ei pysty kunnolla seuraamaan.

Ottotilanteissa, joissa Karhinkankaalta pumpattaisiin pohjavettä yhteensä 10 500 m³/d (vaihtoehto a), olisivat pohjavedenpinnan alenemat vastaavasti pumppauspisteiden ympäristöissä enimmillään 2.0 – 2.5 m:n luokkaa (liite 4.2 ja kuva 11, sivu 20). Vaihtoehdon b mukaisesti toteutettuna Ison Heinisuon järven ja Sivakkojärven länsipuolella alenemat olisivat 1.0 – 1.5 metrin luokkaa.

9.9.2020

Ottomäärällä 12 000 m³/d simuloituna vedenpinnan alenema olisi Houraatinkankaan länsipuolisella harjualueella mallin keskiosissa pumppauspisteiden lähiympäristöissä 3.0 – 3.5 metrin luokkaa. Alueella sijaitsee Nutturakankaan ottamo. Ison Heinisuon järven ja Sivakkojärven länsipuolella pohjavedenpinnan alenema olisi suurimmalla 12 000 m³/d ottomäärällä simuloituna 2.0 – 2.5 metrin luokkaa, joka on samaa luokkaa kuin ottomäärällä 10 500 m³/d (vaihtoehto A), koska molemmissa em. ottosimulaatioissa järvien länsipuolelta pumpattavat pohjavesimäärät ovat samansuuruiset (vrt. kuvat 11 ja 14, sivut 20 ja 23).

Kun tarkastellaan koko Karhinkankaan alueen ojista purkautuvaa pohjavesimäärää, niin pohjaveden purkautuminen ojiin vähenisi alle puoleen (n. 40 %) verrattuna luonnontilassa ojiin purkautuviin pohjavesimääriin. Suuremmilla ottomäärillä, 10 500 m³/d ja 12 000 m³/d, ojiin purkautuvat pohjaveden kokonaismäärät vähenisivät edelleen ja olisivat noin 25 - 30 % luonnontilan purkaumamääristä (taulukot 5 ja 6, sivu 25). Tässä yhteydessä on huomioitava ja erikseen painotettava sitä, että ojiin purkautuviin pohjavesimääriin vaikuttaa suuresti virtausmalliin määritelty ojien pohjien taso, joka toimii mallinnuksessa pohjaveden purkaustasona. Kuten kappaleessa 2.4.3 todetaan, niin ojien pohjien tasosta ei ole tarkkaa tietoa, vaan niiden tasot on määritelty laserkeilausaineistosta interpoloidusta korkeusmallirasterista, jonka tarkkuus (resoluutio) on 2 x 2 m. On huomioitava, että jo ojien leveys sinällään on maastossa useimmiten alle 2 m.

Kohteellisessa tarkastelussa (vrt. kohteiden sijainti liitteet 4.1 – 4.3) mallinnusalueen ojissa on havaittavissa erisuuruisiin pohjaveden pumppausmääriin liittyvää vaihtelua ojiin purkautuvien pohjavesimäärien osalta. Kun pohjavedenpinta mallinnuksessa alenee, vähenee ojiin purkautuva vesimäärä sen mukaisesti. Ja kun pohjavedenpinnantasoo laskee lopulta mallinnuksessa ojien pohjille määritellyn tason alapuolelle, loppuu pohjavedenpurkauma ojiin kokonaan (vrt. taulukko 8, sivu 27).

Pentinjärven ja Pikku-Rantijärven (liite 4.2) alueiden ojissa pohjaveden purkaumamäärät alenevat lisääntyvien ottomäärien mukaisesti. Suurimmilla ottomäärillä (10 500 m³/d ja 12 000 m³/d) pohjaveden purkautuminen virtausmallissa em. alueiden ojiin loppuisi käytännössä kokonaan.

Nuottajärven alueella (liite 4.2) pohjaveden purkautuminen alueen ojiin alenisi simulaatiotulosten mukaan huomattavasti jo 8000 m³/d – määrällä simuloituna, jolloin se olisi enää n 5 % luonnontilassa (simuloitu) purkautuvasta määrästä. Pohjaveden purkautuminen alueen ojiin loppuisi virtausmallinnustulosten mukaan suuremmilla vedenottomäärillä (vrt. taulukko 8, sivu 27). Sen sijaan vuoden 2011 koepumppausten yhteydessä tehtyjen havaintojen (Nuottajärven ojan KA-VIR4 – havaintopiste) perusteella koepumppauksesta aiheutunut ojavirtaaman alenema oli karkeasti arvioiden 30–40 % luokkaa. KA-VIR4 – pisteen mittaustuloksissa on kuitenkin mittausjakson koepumppausmäärän, sadannan ja sulannan muutoksista aiheutuvaa kohtuullisen suurta vaihtelua. Eli virtaamamittaustulosten perusteella ei voida kuitenkaan tehdä suoria päätelmiä esim. pinta- ja pohjaveden osuuksien vaihtelusta mittauspisteessä tai tarkkaa arviota pisteen Siivilä4 koepumppauksen vaikutuksesta ojavirtaamaan. Havaintojen perusteella 2011 koepumppauksesta (keskiarvo 1 368 m³/d) aiheutunut ojavirtaaman alenema on karkeasti arvioiden 30–40 % luokkaa (Paalijärvi & Valjus 2014, Paalijärvi M., suullinen tiedonanto).

9.9.2020

Pentinjärven, Pikku-Rantijärven ja Nuottajärven alueille sijoittuvien kosteikkojen osalta voidaan todeta, että niiden hydrologiset olosuhteet voivat liittyä pohjaveden purkautumisen ohella myös alueiden orsivesiolosuhteisiin. Maaperäkartoitus- ja rakennetutkimustiedon mukaan ainakin Karhinkankaan keskiosissa on alueita, joissa harjuaineksen päälle on sijoittunut laajoja ranta- ja dyynihienohiekkakerroksia (vrt. liite 4.2), jotka voisivat varastoida ja johtaa orsivesiä pohjavedeksi. Orsivedet voivat myös purkautua pohjavesien ohella alavampiin mastokohtiin (kuten esim. Nuottajärven alue). Virtausmallinnuksella ei varsinaisesti mallinneta orsivesiä. Ne huomioidaan mallissa ainoastaan malliin sisällytettyjen reunaehto- ja pohjavettä täydentävänä vesilähteenä.

5 POHDINTA

Nuottajärven osalta voidaan todeta (vrt. edellinen sivu), että virtausmallinnustulokset näyttäisivät poikkeavan huomattavasti vuonna 2011 tehdyn koepumppauksen (3 kk ajanjakso) yhteydessä tehdyistä alueen ojavirtaamahavainnoista, joissa on arvioitu Nuottajärven alueen ojiin purkautuvia ja alueelta poisjohtuvia pohjavesimääriä (Paalijärvi & Valjus 2014).

Mallinnuksissa saatujen ja maastossa mittauksin havaitun Nuottajärven alueen pohjaveden purkauma-erojen selittämiseksi Nuottajärven alueella simuloitiin kohteellinen tilanne, jossa alueen ojien pohjien tasoja syvennettiin vielä puoli metriä lähtötilanteen virtausmallin ojanpohjien syvyyskiin nähden (ojien todellisista syvyyksistä tai korkeustasoista ei ole tarkkaa mittaustietoa). Lisäksi mallinnussimulaatioon lisättiin Nuottajärven alueelle reunaehto, joka huomioi Nuottajärven alueen (ja sen ympäristön) harjua peittäviä ranta- ja dyynihienohiekkakerroksia (vrt. liitekartta 4.2), joihin voisi varastoitua lähtötilanteen malliin arvioitua määrää suurempia määriä pohjavettä täydentävää orsivettä, jota (orsivettä) purkautuisi myös Nuottajärven oja- ja ojaston alueella.

Tässäkin mallinnussimulaatiotilanteessa Nuottajärven alueen ojiin purkautuvat pohjavesimäärät vähenisivät huomattavasti enemmän kuin maastomittauksissa vuonna 2011 oli havaittu (Nuottajärven ojan KA-VIR4 – havaintopiste), varsinkin silloin, kun pohjaveden ottomäärää kasvatetaan. Mutta pohjaveden purkautumien Nuottajärven alueen ojiin ei kuitenkaan loppuisi missään ottosimulaatiotilanteessa (ottomäärät 8 000 m³/d, 10 500 m³/d ja 12 000 m³/d) kokonaan (taulukko 9, seuraava sivu). Eli tämä mallinnussimulaatio osoittaa sen, että Nuottajärven alueella malliin määritettyjen ojasyvyyksien ohella orsivesien pohjavettä täydentävä vaikutus voi olla suurempi kuin se, mihin lähtötilanteen malli on kalibroinnissaan päätenyt.

Edellä esitetty Nuottajärven alueen kohteellinen simulointitulokset osoittaa, että Karhinkankaan virtausmallissa Nuottajärven alueella mallinnusohjelman laskema pohjavedeksi muodostuva veden määrä eri lähteistä (mm. sadanta, orsivesi) voi olla liian alhainen, jolloin myös mallin laskemat pohjaveden oja- ja purkaumamäärät jäävät liian alhaisiksi. Toisaalta Nuottajärven alueen ojiin purkautuu niin pohjavesiä, orsivesiä kuin pintavesiäkin, joten koepumppausten yhteydessä alueen tarkkailupisteessä KA-VIR4 mitatut vesimäärät (poikkeuksellisen sateisena kesänä vuonna 2011) voivat edustaa todellisuudessa enemmän tai vähemmän kaikkia edellä mainittuja vesilähteitä (eli ei pelkästään pohjavettä).

9.9.2020

Koska edellä esitetty kohteellinen Nuottajärven alueen simulaatio tehtiin mallin kalibroinnin jälkeen lisäämällä malliin reunaehtoja (pohjaveden täydentyminen orsiveden kautta) ja muuttamalla alueen ojien pohjien purkaustasoja, voidaan edellä kuvattua Nuottajärven alueelle rajattua kohteellista mallinnustulosta ojiin purkautuvien pohjavesimäärien osalta (vrt. taulukko 9) pitää hyvin epävarmana, korkeintaan suuntaa-antavana ja mallin epävarmuuksia esiin tuovana esimerkkinä.

Taulukko 9. Ojasyvyyksien ja orsiveden lisäyksen vaikutus (virtausmallinnus) pohjaveden ojarpurkaumamääriin Nuottajärven alueella.

Kohde (tyyppi)	Otto 690 m ³ /d	Otto 8 000 m ³ /d	Otto 10 500 m ³ /d	Otto 10 500 (B) m ³ /d	Otto 12 000 m ³ /d
Nuottajärvi (oja): Ojien pohjan tasot: maanpinta -1.0 m	1969	99	0	0	0
Nuottajärvi (oja): Ojien pohjan tasot: maanpinta -1.5 m, orsivesilisäys	2 800	775	220	90	40

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Karhinkankaan alueelle tehtiin pohjaveden virtausmalli, jossa pohjavedenottoa simuloitiin kolmella eri pumppausmäärällä (8 000 m³/d, 10 500 m³/d ja 12 000 m³/d) yhdeksässä virtausmalliin sijoitetussa pumppauspisteessä.

Virtausmallinnussimuloinneissa saatujen tulosten mukaan Karhinkankaan alueelta on mahdollista pumpata ja hyödyntää pohjavettä talousvedeksi n. 8 000 – 10 000 m³/d. Muodostumasta olisi mahdollista pumpata pohjavettä jopa 12 000 m³/d, mutta silloin pohjavedenpinnan alenemasta johtuvat mahdolliset vaikutukset muodostuisivat selvästi suuremmiksi pumppauspisteiden vaikutusalueilla. Simuloidut pohjavedenpinnan alenemat pumppauspisteissä ja niiden lähiympäristöissä vaihtelevat noin 0.5 - 3.5 m:n välillä, pumppausmääristä ja niiden jakautumisesta riippuen.

Mallinnustulosten mukaan pohjaveden otto vaikuttaisi Karhinkankaan ojiin purkautuviin pohjavesimääriin niitä alentavasti. Virtausmallinnuksella laadittujen ottosimulaatioiden ja niiden tulosten mukaan ottomäärällä 8 000 m³/d koko Karhinkankaan alueen ojiin purkautuva pohjavesimäärä vähenisi alle puoleen (n. 40 %), ottomäärällä 10 500 m³/d vajaan kolmannekseen (27 %) ja ottomäärällä 12 000 m³/d ojiin purkautuva pohjavesimäärä olisi noin 25 %:a siitä määrästä, mitä luonnontilaan simuloitun (simulaatio, jossa Karhinkankaan alueelta ei pumpattaisi pohjavettä ollenkaan) virtausmallin mukaan Karhinkankaan alueen ojiin purkautuva pohjaveden kokonaismäärä olisi.

Karhinkankaan pohjoisosiin sijoittuvan Kylmäperänojan purkautuviin pohjavesimääriin simulointien mukaisilla pohjavedenottomäärillä (8 000 m³/d, 10 500 m³/d, 12 000 m³/d) ei olisi huomattavaa vaikutusta. Pentinjärven, Nuottajärven ja Pikku Rantijärven alueiden pohjaveden ojarpurkaumiin pohjavedenotolla olisi vaikutuksia niin, että niiden alueella ojista tapahtuva pohjaveden purkautuminen vähenisi selvästi jo 8 000 m³/d – ottomäärällä ja suuremmilla ottomäärillä simuloituna (10 500 m³/d ja 12 000 m³/d) pohjaveden purkauma ojiin loppuisi kokonaan. Pentinjärven, Nuottajärven ja Pikku Rantijärven alueille mahdollisesti kertyvillä pinta- ja orsivesillä voi kuitenkin olla pohjaveden ohella huomattava vaikutus ko. kosteikkojen kokonaisvesitalouteen.

9.9.2020

Mallinnustulosten mukaan Isoon Heinisuon järveen ja Sivakkojärveen voi purkautua pieniä määriä pohjavesiä mallinnusalueen reunaosien (harjuliepeen) alueelta ja toisaalta niistä voi suotautua pieniä määriä pintavesiä harjun suuntaan. Mallin antamien tulosten mukaan pohjavedenoton mahdolliset vaikutukset kohdistuisivat Isoon Heinisuon järveen, ei niinkään Sivakkojärveen. Vaikutukset Isoon Heinisuon järveen olisivat vähäisemmät, jos pohjavedenotto toteutettaisiin simuloitulla pumppausmäärällä 10 500 m³/d vaihtoehdon B mukaisesti. Vatinginjärveen virtausmallinustyön tulosten mukaan Karhinkankaalla tapahtuvalla pohjavedenotolla ei olisi vaikutusta ollenkaan.

7 MALLIN EPÄVARMUUKSISTA

Pohjaveden virtausmalli toteutettiin ns. ”steady state” 1 – kerros – mallina, jossa pohjaveden virtaus pyritään saamaan mahdollisimman hyvin tasapainoon malliin tulevan ja siitä poistuvan veden määrän suhteen. Steady state – mallissa ei mallinneta eri vuodenaikoihin liittyviä jaksottaisia hydrologisia muutoksia, vaan malli laskee mallinnusalueen pohjavedenpinnan aseman kulloisenkin mallinnustilanteen lopputilanteeseen saakka (tasapainotilaan) malliin annetuilla ottomäärillä sekä sadannasta pohjavedeksi imeytyneillä vesimäärillä, harjuaineksen vedenjohtavuuksilla ja malliin määritellyillä reunaehdoilla, joita kaikkia on kalibroitu mallinnuksen aikana.

Tämä edellä olevassa kappaleessa esitetty ”Steady State” yksikerrosmalleihin liittyvä tasapainotila tulee huomioida mallin laskentatuloksia tarkasteltaessa mm. järviin harjusta suotautuvien pohjavesien tai järvestä harjuun suotautuvien pintavesien määräsuhteiden tai mallinuksissa saatujen ojarukaumamäärien osalta. Luonnontilassa eri vuodenaikojen välillä voi olla suuria eroja sadantamäärissä tai sadannasta pohjavedeksi imeytyneessä vesimäärässä sen mukaan, esim. kuinka kylmä tai lämmin talvijakso (sateinen tai kuiva kesä) kunakin vuonna sattuu olemaan. Sadantamäärän on ennustettu pitemmällä ajanjaksolla muuttuvan ilmastomuutoksen myötä. Ennusteiden mukaan lämpimämpien talvien ja sateisten kesien osuus kasvaisi, jolla olisi vaikutusta sadannasta pohjavedeksi imeytyneisiin pohjavesimääriin. Koska ”steady state” -malli ei ota huomioon edellä mainittuja tekijöitä (vuodenaikais- tai pitemmän ajanjakson vaihtelua), tulee mallin antamia lukuarvoja tarkasteltaessa kiinnittää huomio paremminkin muutoksen suuntaan kuin absoluuttisiin virtausmallin antamiin lukuarvoihin.

Karhinkankaalla on paljon oja alueilla, joissa pohjavedenpinta ulottuu lähelle maanpintaa, mutta ojien pohjien tasoista tai edes ojien tarkoista sijainnista ei ole tarkempaa kattavaa mittaus- tai kartoitustietoa, eikä sen hankkiminen olisi edes mielekästä mallinnusalueen pinta-ala (26 km²) huomioiden. Tämän vuoksi Karhinkankaan mallinnusalueelle sijoittuvien ojien pohjien tasot määritettiin laserkeilausaineistosta (Maanmittauslaitos) interpoloidusta korkeusmallista (tarkkuus 2 x 2 m). Korkeusmallista määritettyihin ojanpohjan tasoarvoihin liittyvästä epätarkkuudesta johtuen (vrt. luku 2.4.3, sivu 8) virtausmallin laskemat ja tässä raportissa esitetyt ojarukaumamäärät ovat ainoastaan suuntaa-antavia, koska malliin määritellyillä ojasyvyyksillä (ojien pohjien korkeusasema, m mpy) on osaltaan suuri vaikutus virtausmallin laskemisiin pohjaveden ojarukaumamääriin. Eli mallin laskemat ojista purkautuvat pohjaveden määrät eri ottotilanteissa riippuvat osaltaan siitä, millaisia purkutasoja (m mpy) mallinuksessa on määritetty ojien pohjien tasoksi. Mitä alemmalle tasolle ojan pohja on määritelty mallissa (eli mitä syvempi oja), sitä alemmalle tasolle pohjaveden pinta voi mallinuksessa alueella laskea ilman, että pohjaveden purkautuminen ojiin vähenee merkittävästi tai loppuu kokonaan.

9.9.2020

Epävarmuuksia liittyy myös siihen, kuinka suureksi ohjelma on laskenut mallia kalibroitaessa esim. pohjavettä täydentävän orsiveden tai sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrää, jotka tekijät myös vaikuttavat mallin eri simulointituloksissa purkautuviin pohjavesimääriin. Eli, jos esim. sadannan määrä tai mallinnusalueen ulkopuolelta täydentyvä vesimäärä ovat kalibroituineet virtausmallissa alhaisemmiksi verrattuna todellisiin luonnossa esiintyviin määriin, niin myös mallin laskemat oja-vesien purkautumismäärät ovat todellista määrää alhaisempia.

Tämä edellisessä kappaleessa kuvattu epävarmuus voi aiheuttaa myös sen, että virtausmallin simuloimat pohjavedenpinnan tasot voivat paikoin asettua liian alhaiselle tasolle, kun simulaatioita tehdään eri ottomäärillä. Edellä mainitun mukainen tilanne voi olla kysymyksessä esim. Ison Heinisuonjärven sekä Sivakkojärven länsi-koillispuolisella harjualueella Siivilä 1 – pumppauspisteessä ja sen vaikutusalueella. Vuoden 2011 koepumppauksessa pohjavedenpinnan alenema kaivossa Siivilä1 (pumppausmäärä keskimäärin 1270 m³/d ja enimmillään hetkellisesti 1550 m³/d) ja sen lähialueella oli noin puolen metrin luokkaa. Sen sijaan virtausmallin simulaatiossa, jossa järvien länsipuolelta pumpattaisiin pohjavettä kahdesta pisteestä yhteensä 2 000 m³/d (IMU1: 1 000 m³/d ja Siivilä 1: 1000 m³/d, kuva 8 sivu 17), olisi pohjavedenpinnan alenema Siivilä 1 – pisteen ympäristössä mallinnustulosten mukaan enimmillään 1.25 - 1.5 metriä. Eli mallinnustulos ennustaa, että pohjavedenpinta asettuisi uudessa tasapainotilassaan enimmillään noin 0.75 - 1 metrin verran alemmalle tasolle, kuin vuoden 2011 koepumppauksen aikana.

Edellä esitettyjen tulosten arvioinnissa on syytä huomioida, että vuosi 2011 oli poikkeuksellisen sateinen. Toisaalta virtausmallin kalibroinnissaan saavuttama tasapainotila (steady state) edustaa mallin kaikki reunaehdot huomioiden paremminkin keskimääräistä vuotta vähempisateista (kuivempaa) olosuhdetta, joka tulee myös ottaa huomioon mallinnustuloksia tarkasteltaessa.

LIITTEET

- Liite 1 Kalliopinnan interpoloitu taso (m mpy) sekä virtausmalliin sijoitettujen pumppauspisteiden sijainti
- Liite 2 Vertailu pohjavedenpinnan havaintoputkista mitattujen ja virtausmallin kalibroinnin tuloksena saatujen pohjavesipintojen välillä
- Liite 3 Virtausmallin simuloitujen tuloksena saadut pohjaveden virtaussuunnat ja -voimakkuudet karhinkankaan alueella sekä malliin sijoitettujen pumppauspisteiden kaappausalueet ja kaappausalueilla tapahtuva pohjaveden liike ottamoille
- Liite 4 Pohjavedenpinnan alenemat eri ottomääräsimulaatiosuhteissa (8 000 m³/d, 10 500 m³/d ja 12 000 m³/d) verrattuna luonnontilaan
- Liite 5 Kohteelliseen tarkasteluun valittujen alueiden sijainti
- Liite 6 Vesitasebudjetit
- Liite 7 Simuloitu pohjavedenpinnan taso (m mpy) Karhinkankaan alueella ottomäärällä 10 500 m³/d
- Liite 8 Valuma-alueet
- Liite 9 Havaintotargetit

9.9.2020

KIRJALLISUUSLUETTELO

Airaksinen, J.U. 1978: Maa- ja pohjavesihydrologia. Pohjoinen, Oulu. 248 s.

Envineer Oy, 2020. Karhinkankaan pohjaveden koepumppausraportti 2019. Tutkimusraportti 21.02.2020, 44 s. 7 liitettä.

Fetter, C.W. 2001: Applied Hydrogeology. Prentice Hall 2001. 596 s.

Hendriksson, N., Luoma, S., Okkonen, J. & Lukkari, S. 2018. Pohjavesien reaktiivinen geokemiallinen ja virtausmallinnus, CASE Study: Karhinkangas. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 20.12.2018. 51 s. 27 liitettä.

Lemmelä, R. 1990. Water balance of a sandy aquifer at Hyrylä in southern Finland. Turun yliopisto, Turku. Turun yliopiston julkaisuja. Sarja A II, Biologica-Geographica-Geologica 73. 340 s. ISBN 951-880-428-1.

Paalijärvi, M & Okkonen, J., 2014. Karhinkankaan ja Sivakkokankaan pohjaveden antoisuuden selvitys ja raakavesiputken suunnittelu, osa II: Karhinkankaan ja Sivakkokankaan vedenhankintatutkimukset ja pohjaveden virtausmallinnus 2011-2014. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 27.6.2014. 64 s. 23 liitettä.

Paalijärvi, M & Okkonen, J., 2014. Karhinkankaan ja Sivakkokankaan pohjaveden antoisuuden selvitys ja raakavesiputken suunnittelu, osa I: Karhinkankaan ja Sivakkokankaan pohjavesialueiden geologinen rakenneselvitys 2009–2012. Geologian tutkimuskeskus. 37 s. 134 liitettä.

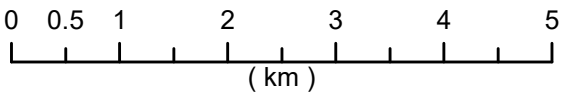
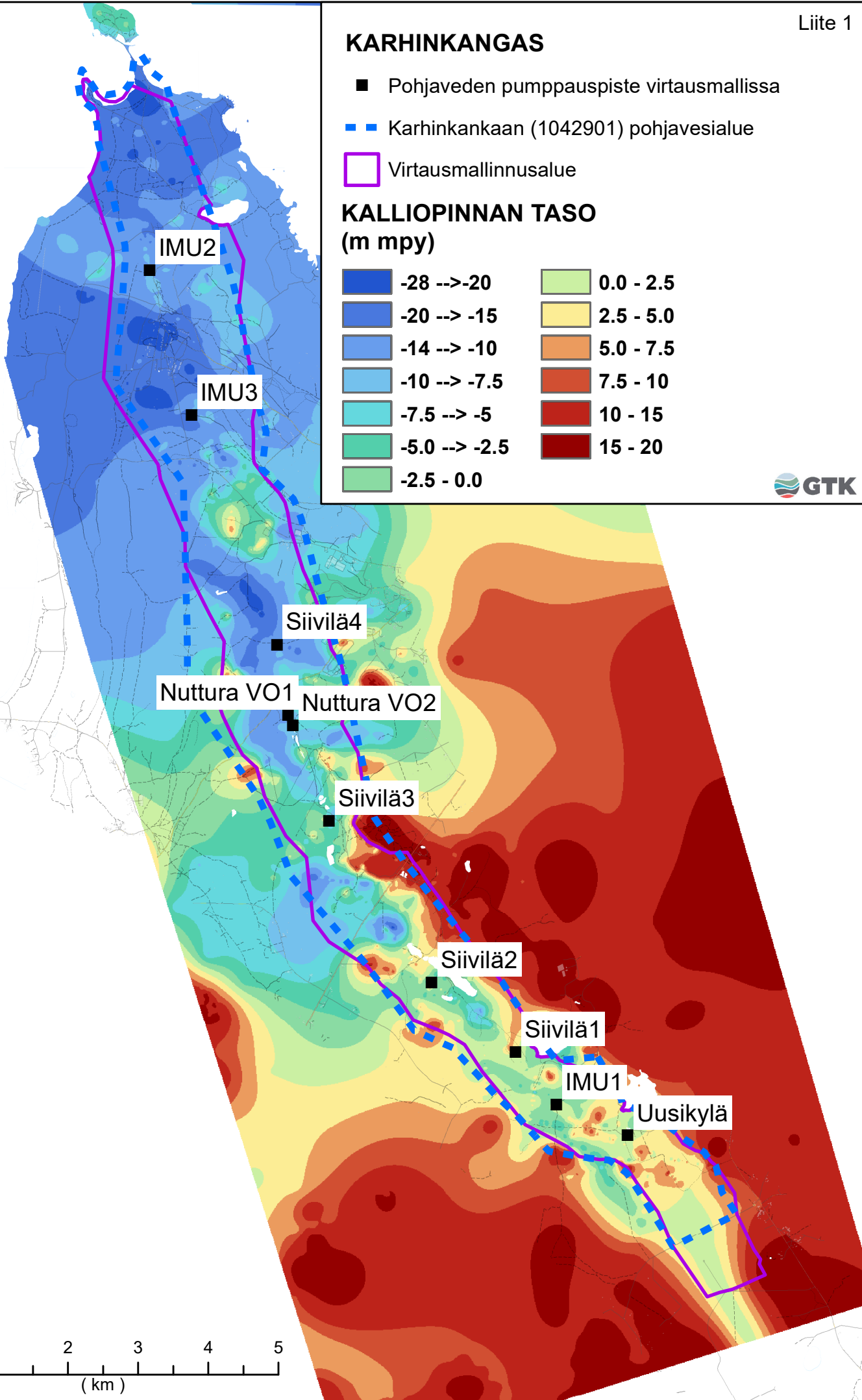
Zaitsoff, O.1982. Oripään pohjavesialueen vesitaseesta. Vesihallitus, Helsinki. Vesihallituksen monistesarja 131. 89 s.

KARHINKANGAS

- Pohjaveden pumppauspiste virtausmallissa
- Karhinkankaan (1042901) pohjavesialue
- Virtausmallinnusalue

KALLIOPINNAN TASO (m mpy)

■ -28 --> -20	■ 0.0 - 2.5
■ -20 --> -15	■ 2.5 - 5.0
■ -14 --> -10	■ 5.0 - 7.5
■ -10 --> -7.5	■ 7.5 - 10
■ -7.5 --> -5	■ 10 - 15
■ -5.0 --> -2.5	■ 15 - 20
■ -2.5 - 0.0	



KARHINKANGAS: Virtausmallinnus Lähtötilanne (ottomäärä 690 m³/d)

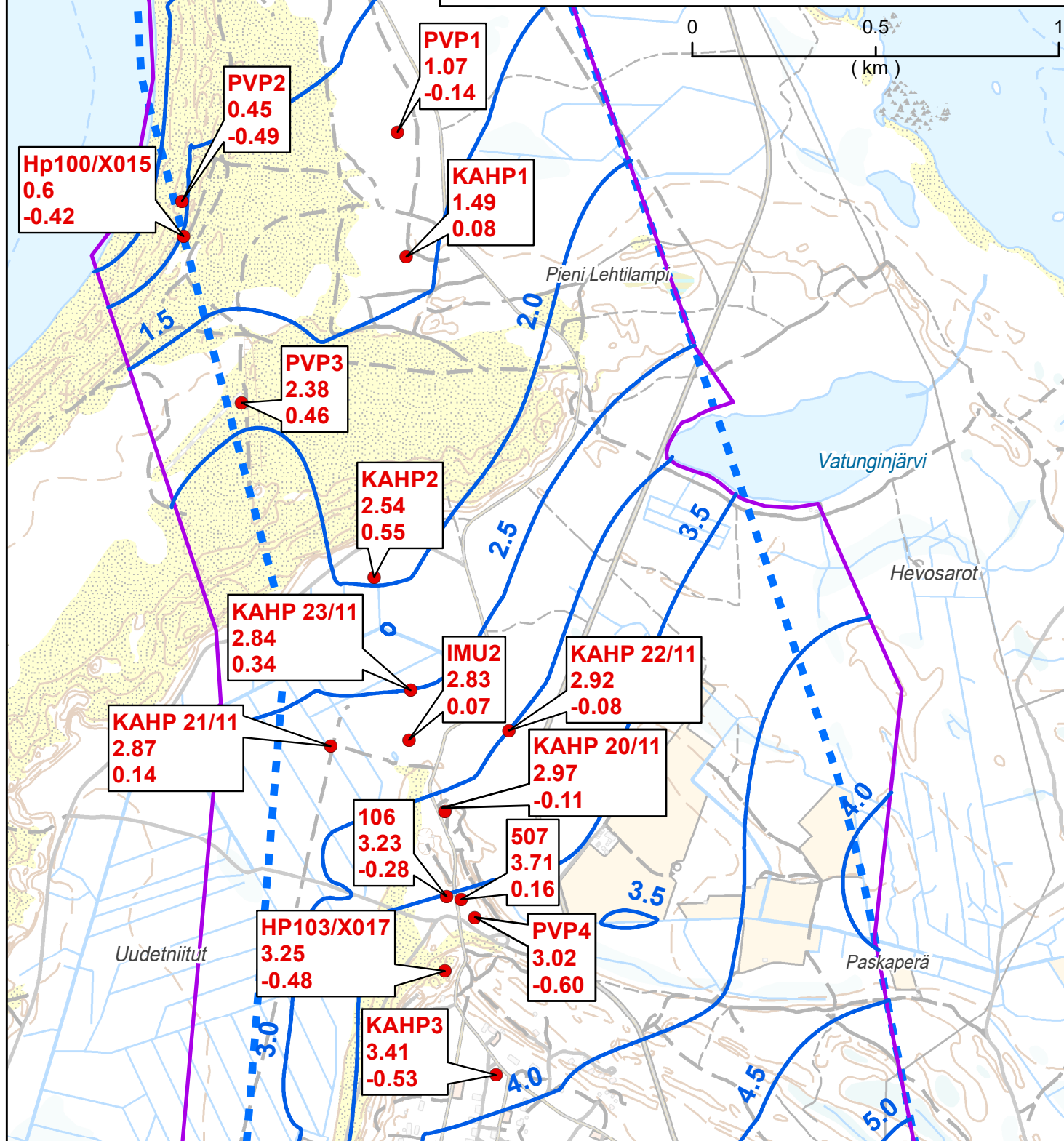
Liite 2.1

— Karhinkankaan (1042901) pohjavesialue

□ Virtausmallinnusalue

● Havaintoputki: Tunnus, mitattu pohjavedenpinnan taso ja ero mitatun ja mallinnetun pohjavedenpinnan tason välillä (miinusmerkkinen, kun ohjelma laskenut pohjavedenpinnan tason mitattua tasoa korkeammalle ja plusmerkkinen kun laskenut alemmalle tasolle)

— Pohjavedenpinnan taso (m mpy), mallinnustulos ottomäärällä 690 m³/d



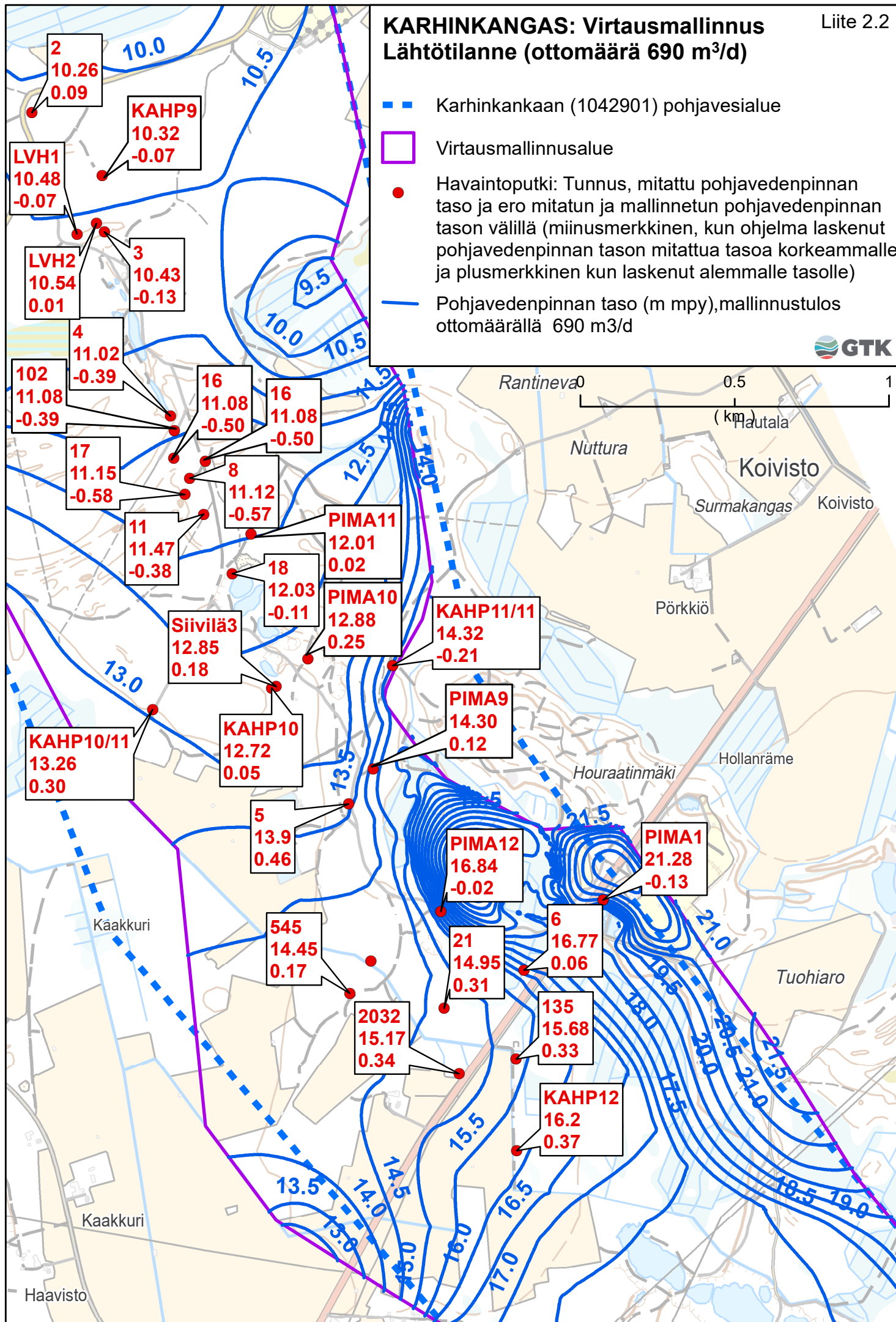
KARHINKANGAS: Virtausmallinnus Lähtötilanne (ottomäärä 690 m³/d)

■ Karhinkankaan (1042901) pohjavesialue

□ Virtausmallinnusalue

● Havaintoputki: Tunnus, mitattu pohjavedenpinnan taso ja ero mitatun ja mallinnetun pohjavedenpinnan tason välillä (miinusmerkkinen, kun ohjelma laskenut pohjavedenpinnan tason mitattua tasoa korkeammalle ja plusmerkkinen kun laskenut alemmalle tasolle)

— Pohjavedenpinnan taso (m mpy), mallinnustulos ottomäärällä 690 m³/d



KARHINKANGAS: Virtausmallinnus Lähtötilanne (ottomäärä 690 m³/d)

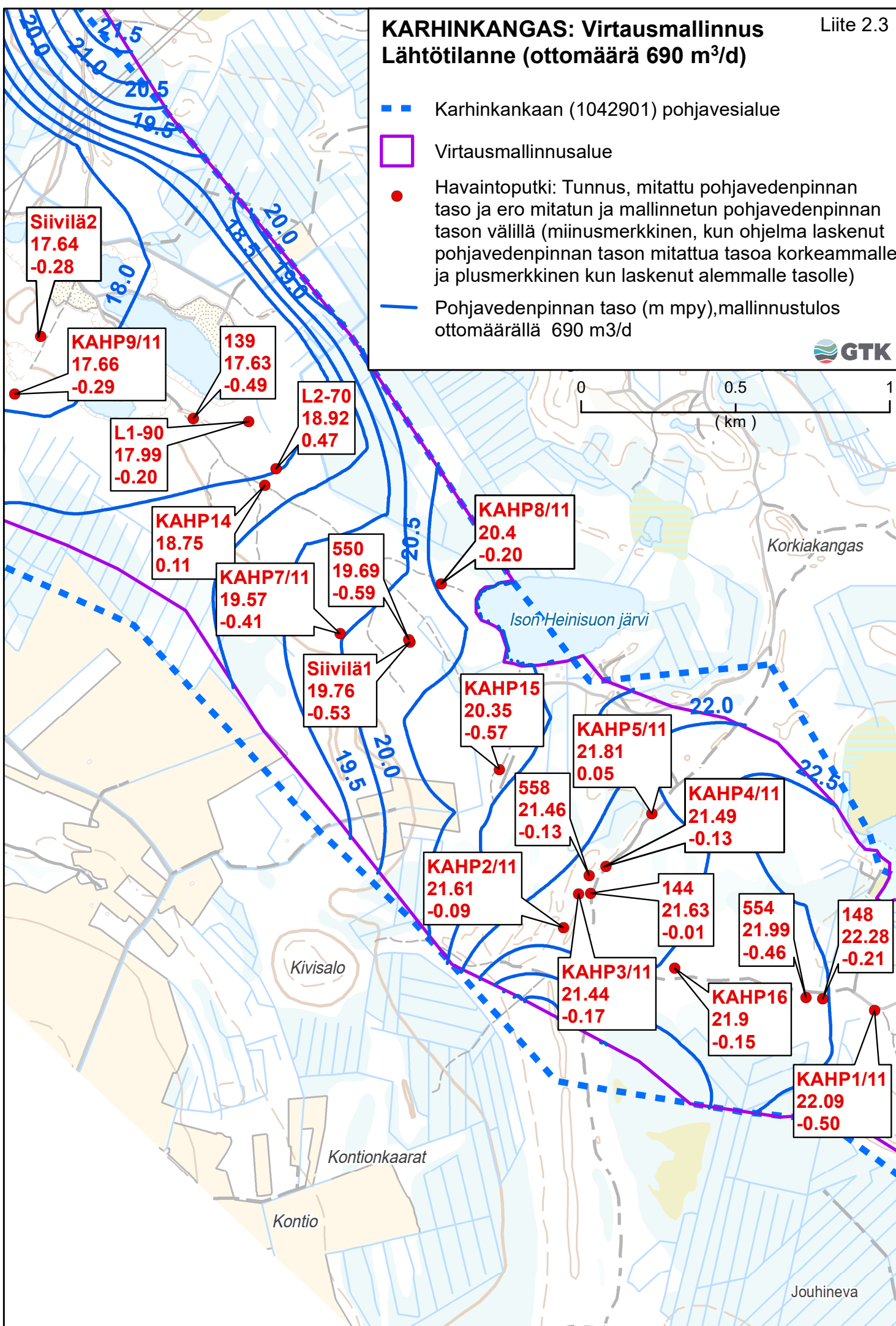
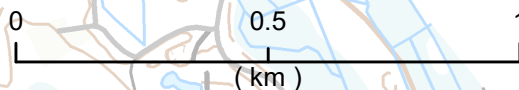
Liite 2.3

— Karhinkankaan (1042901) pohjavesialue

□ Virtausmallinnusalue

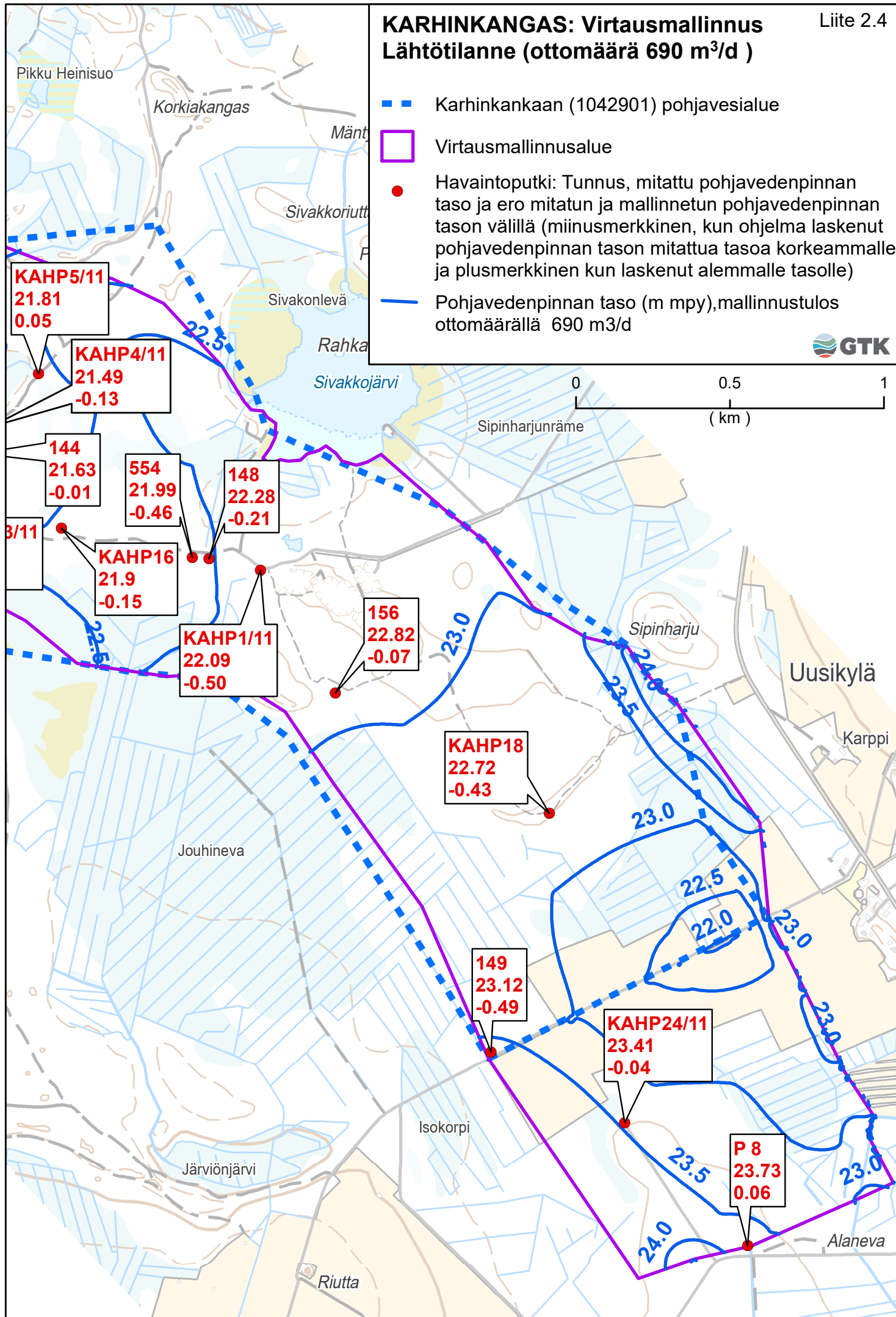
● Havaintoputki: Tunnus, mitattu pohjavedenpinnan taso ja ero mitatun ja mallinnetun pohjavedenpinnan tason välillä (miinusmerkkinen, kun ohjelma laskenut pohjavedenpinnan tason mitattua tasoa korkeammalle ja plusmerkkinen kun laskenut alemmalle tasolle)

— Pohjavedenpinnan taso (m mpy), mallinnustulos ottomäärällä 690 m³/d



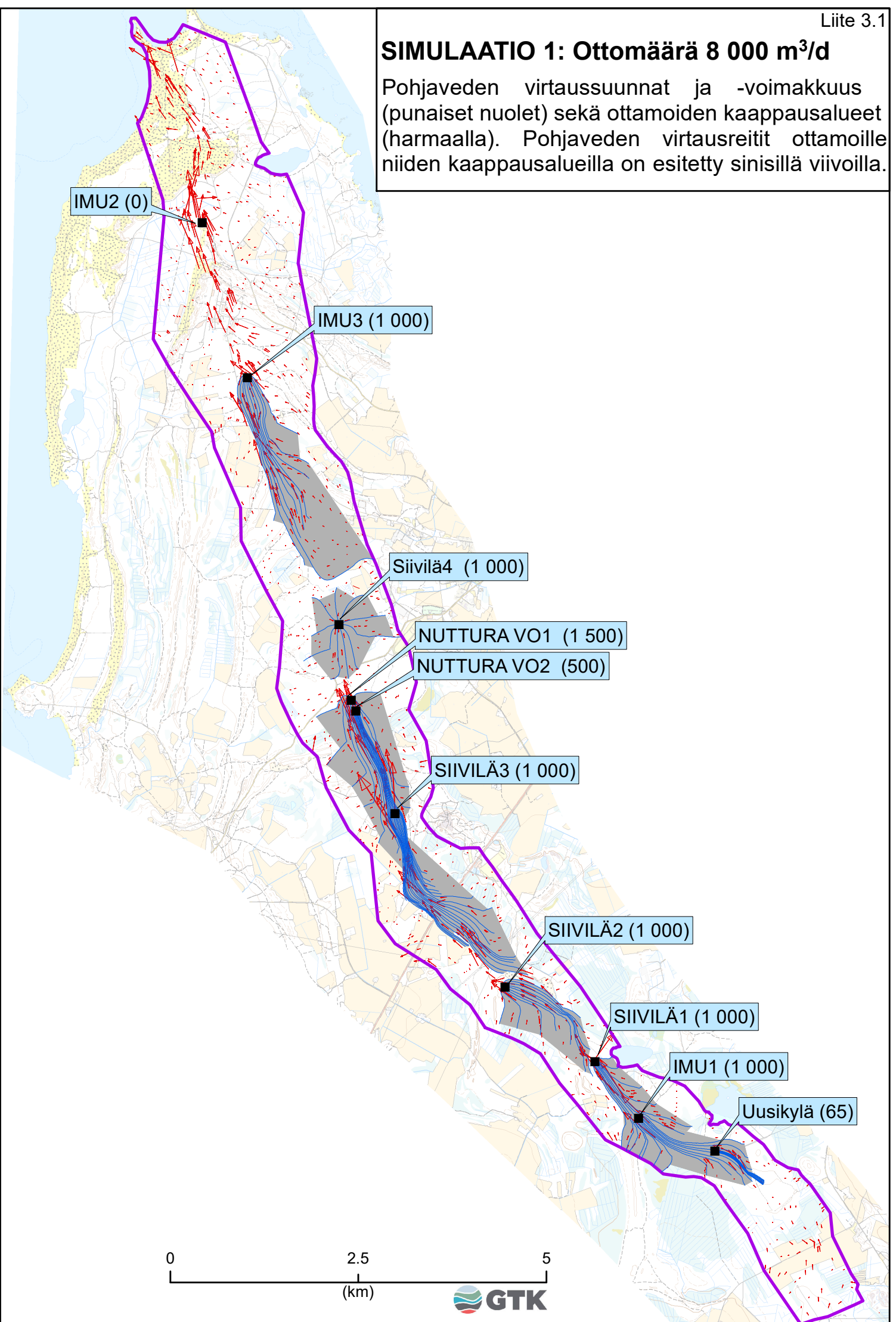
KARHINKANGAS: Virtausmallinnus Lähtötilanne (ottomäärä 690 m³/d)

Liite 2.4



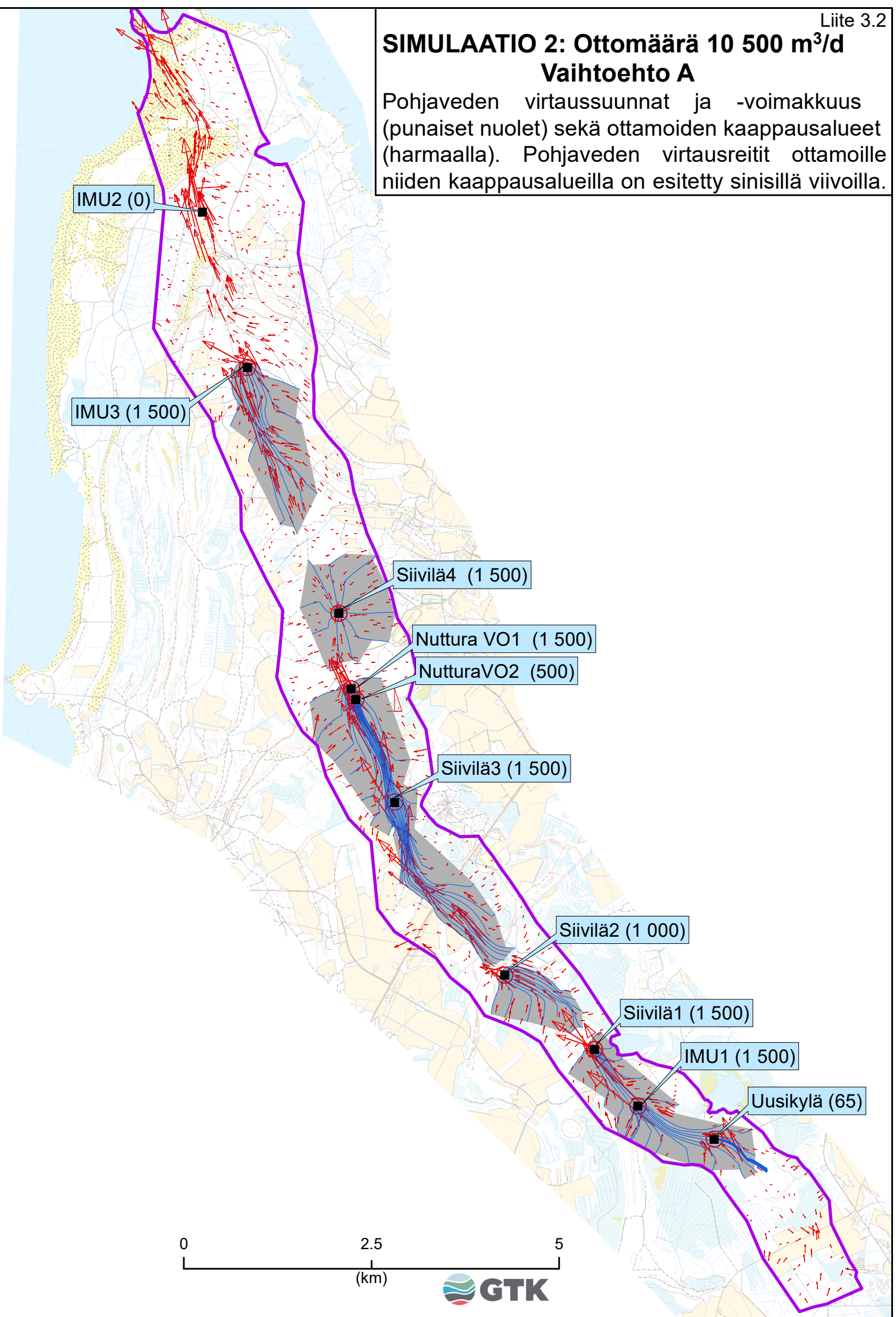
SIMULAATIO 1: Ottomäärä 8 000 m³/d

Pohjaveden virtaussuunnat ja -voimakkuus (punaiset nuolet) sekä ottamoiden kaappausalueet (harmaalla). Pohjaveden virtausreitit ottamoille niiden kaappausalueilla on esitetty sinisillä viivoilla.



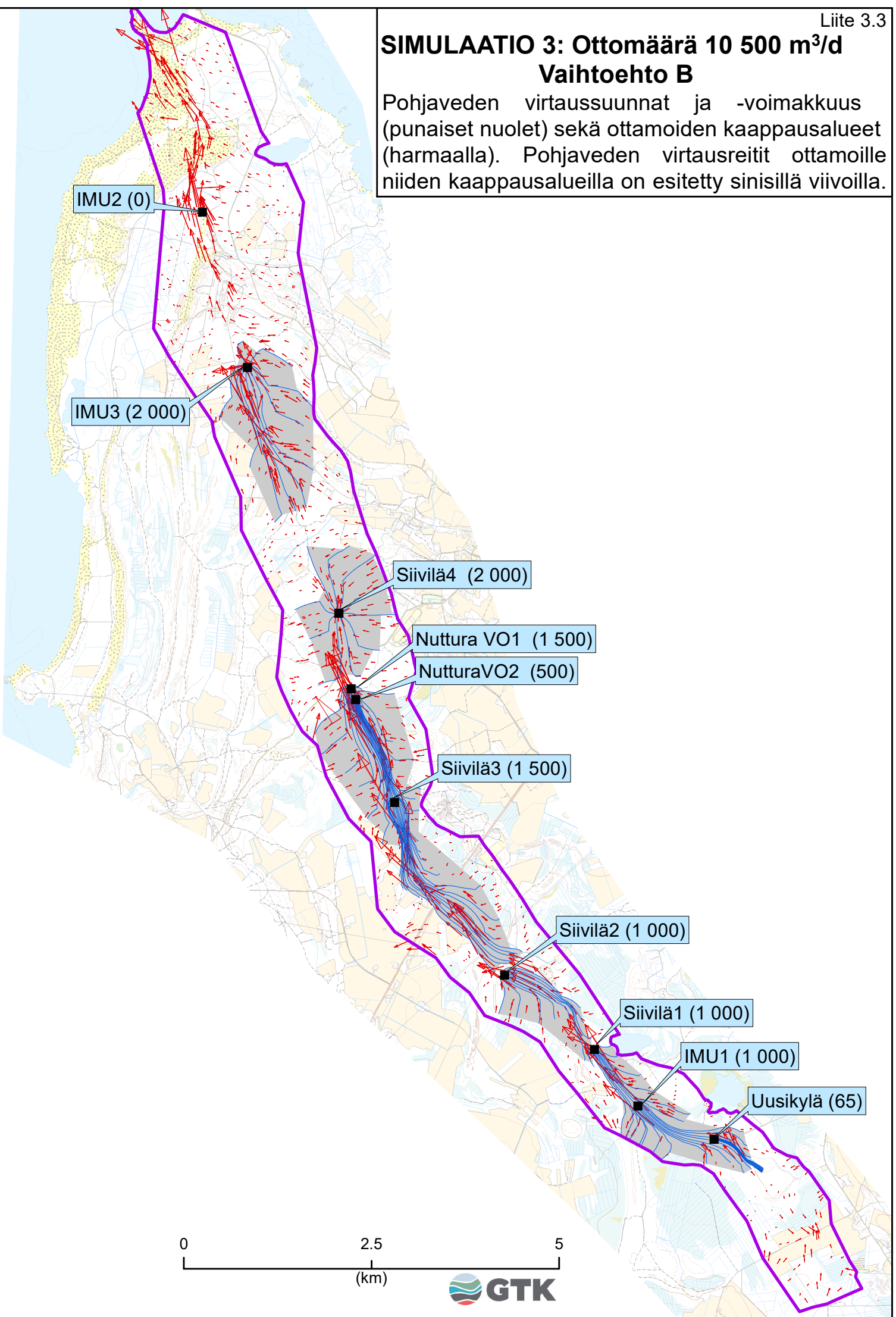
SIMULAATIO 2: Ottomäärä 10 500 m³/d Vaihtoehto A

Pohjaveden virtaussuunnat ja -voimakkuus (punaiset nuolet) sekä ottamoiden kaappausalueet (harmaalla). Pohjaveden virtausreitit ottamoille niiden kaappausalueilla on esitetty sinisillä viivoilla.



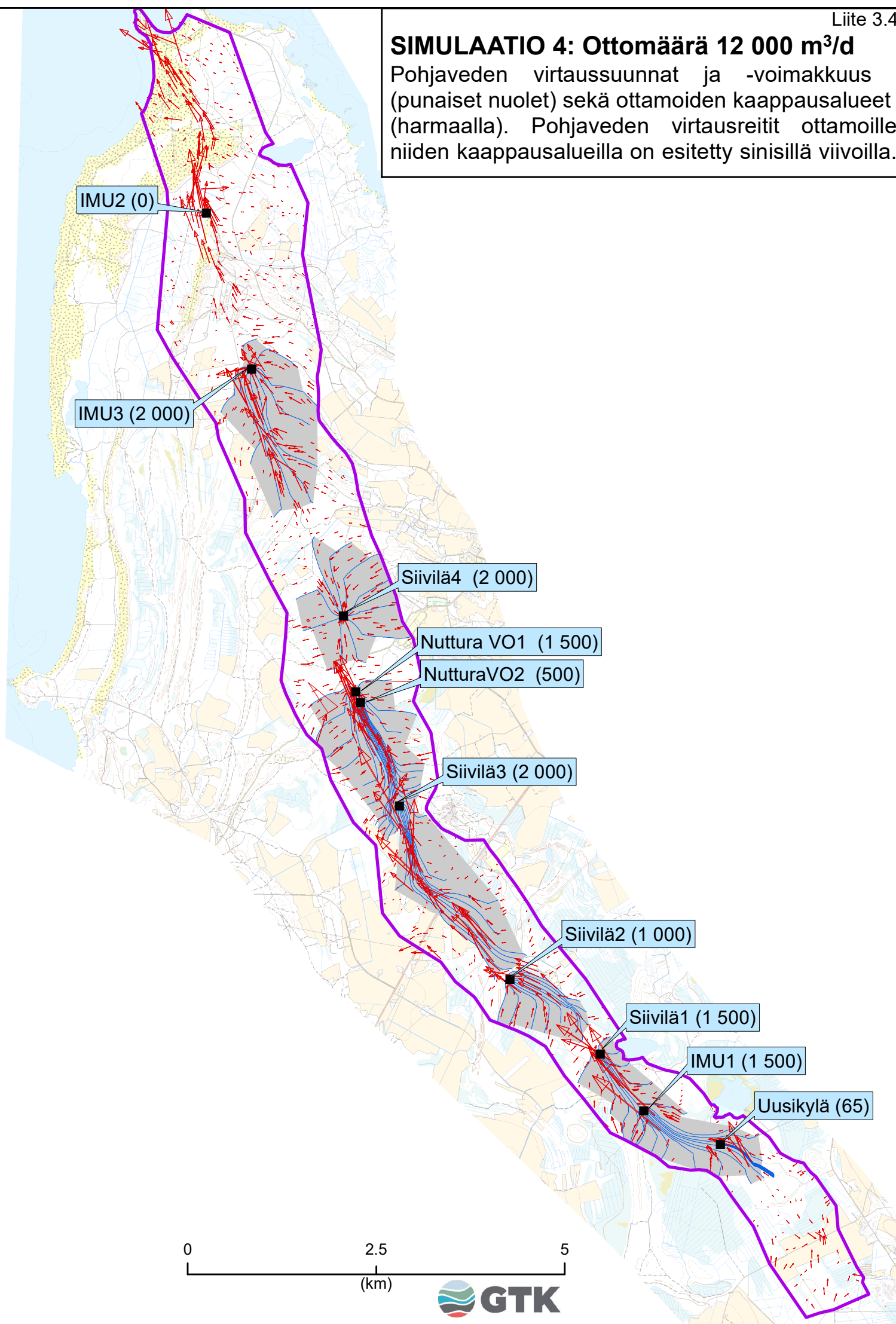
SIMULAATIO 3: Ottomäärä 10 500 m³/d Vaihtoehto B

Pohjaveden virtaussuunnat ja -voimakkuus (punaiset nuolet) sekä ottamoiden kaappausalueet (harmaalla). Pohjaveden virtausreitit ottamoille niiden kaappausalueilla on esitetty sinisillä viivoilla.



SIMULAATIO 4: Ottomäärä 12 000 m³/d

Pohjaveden virtaussuunnat ja -voimakkuus (punaiset nuolet) sekä ottamoiden kaappausalueet (harmaalla). Pohjaveden virtausreitit ottamoille niiden kaappausalueilla on esitetty sinisillä viivoilla.










SIMULAATIO 1: Ottomäärä 8 000 m³/d

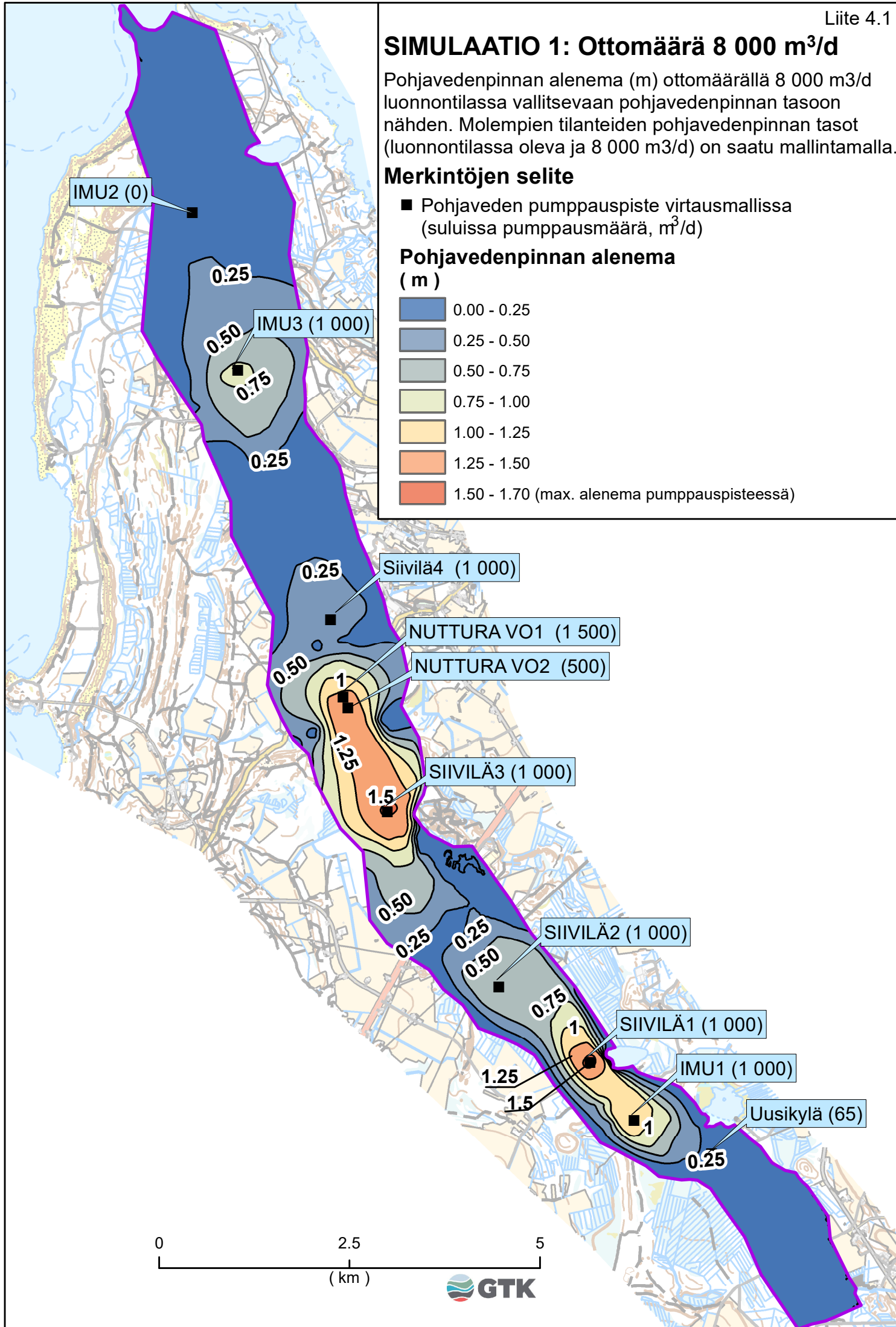
Pohjavedenpinnan alenema (m) ottomäärällä 8 000 m³/d luonnontilassa vallitsevaan pohjavedenpinnan tasoon nähden. Molempien tilanteiden pohjavedenpinnan tasot (luonnontilassa oleva ja 8 000 m³/d) on saatu mallintamalla.

Merkintöjen selite

- Pohjaveden pumppauspiste virtausmallissa (suluissa pumppausmäärä, m³/d)

Pohjavedenpinnan alenema (m)

	0.00 - 0.25
	0.25 - 0.50
	0.50 - 0.75
	0.75 - 1.00
	1.00 - 1.25
	1.25 - 1.50
	1.50 - 1.70 (max. alenema pumppauspisteessä)











SIMULAATIO 2: Ottomäärä 10 500 m³/d Vaihtoehto A

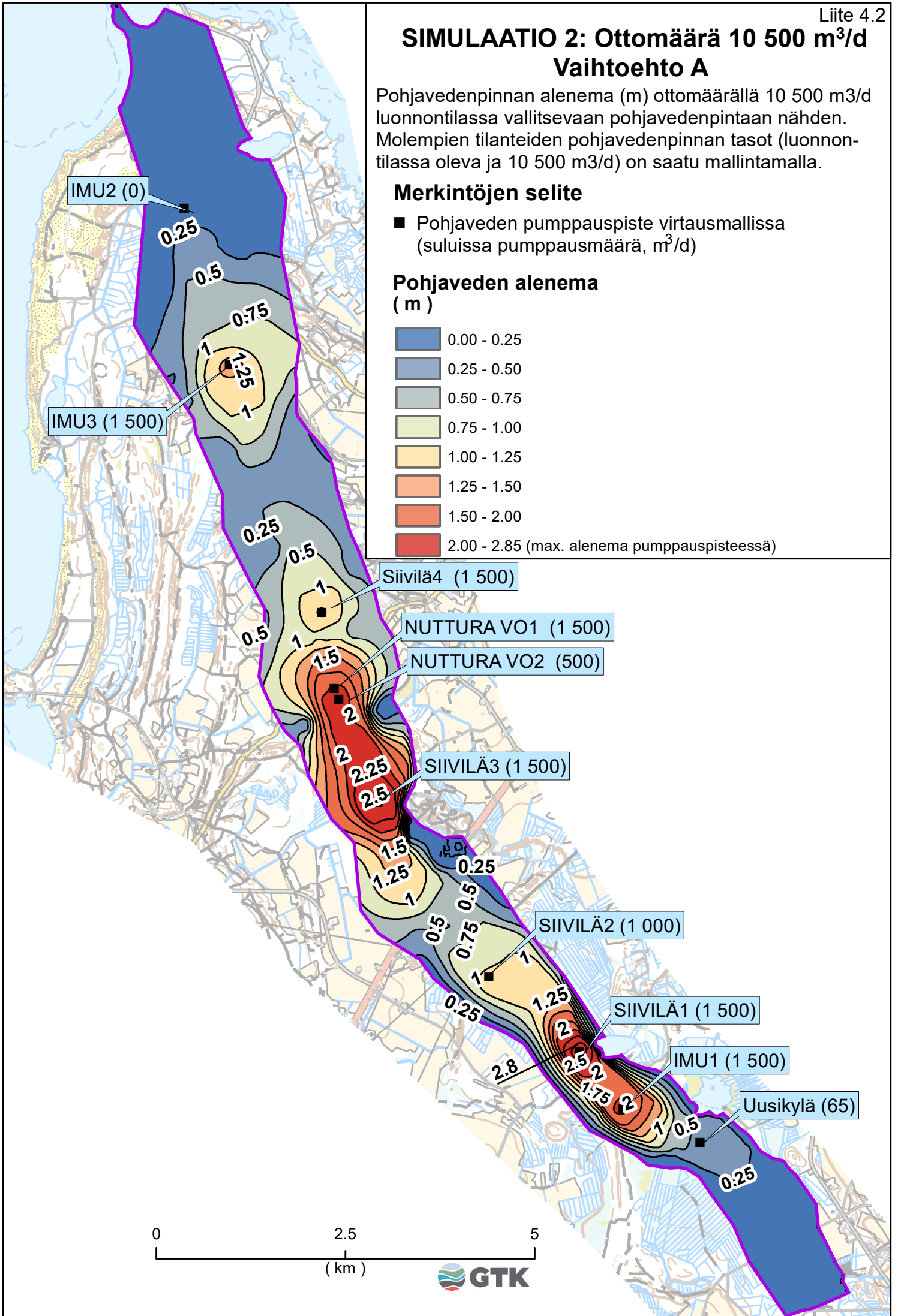
Pohjavedenpinnan alenema (m) ottomäärällä 10 500 m³/d luonnontilassa vallitsevaan pohjavedenpintaan nähden. Molempien tilanteiden pohjavedenpinnan tasot (luonnontilassa oleva ja 10 500 m³/d) on saatu mallintamalla.

Merkintöjen selite

- Pohjaveden pumppauspiste virtausmallissa (suluissa pumppausmäärä, m³/d)

Pohjaveden alenema (m)

	0.00 - 0.25
	0.25 - 0.50
	0.50 - 0.75
	0.75 - 1.00
	1.00 - 1.25
	1.25 - 1.50
	1.50 - 2.00
	2.00 - 2.85 (max. alenema pumppauspisteessä)



0 2.5 5
(km)









SIMULAATIO 3: Ottomäärä 10 500 m³/d Vaihtoehto B

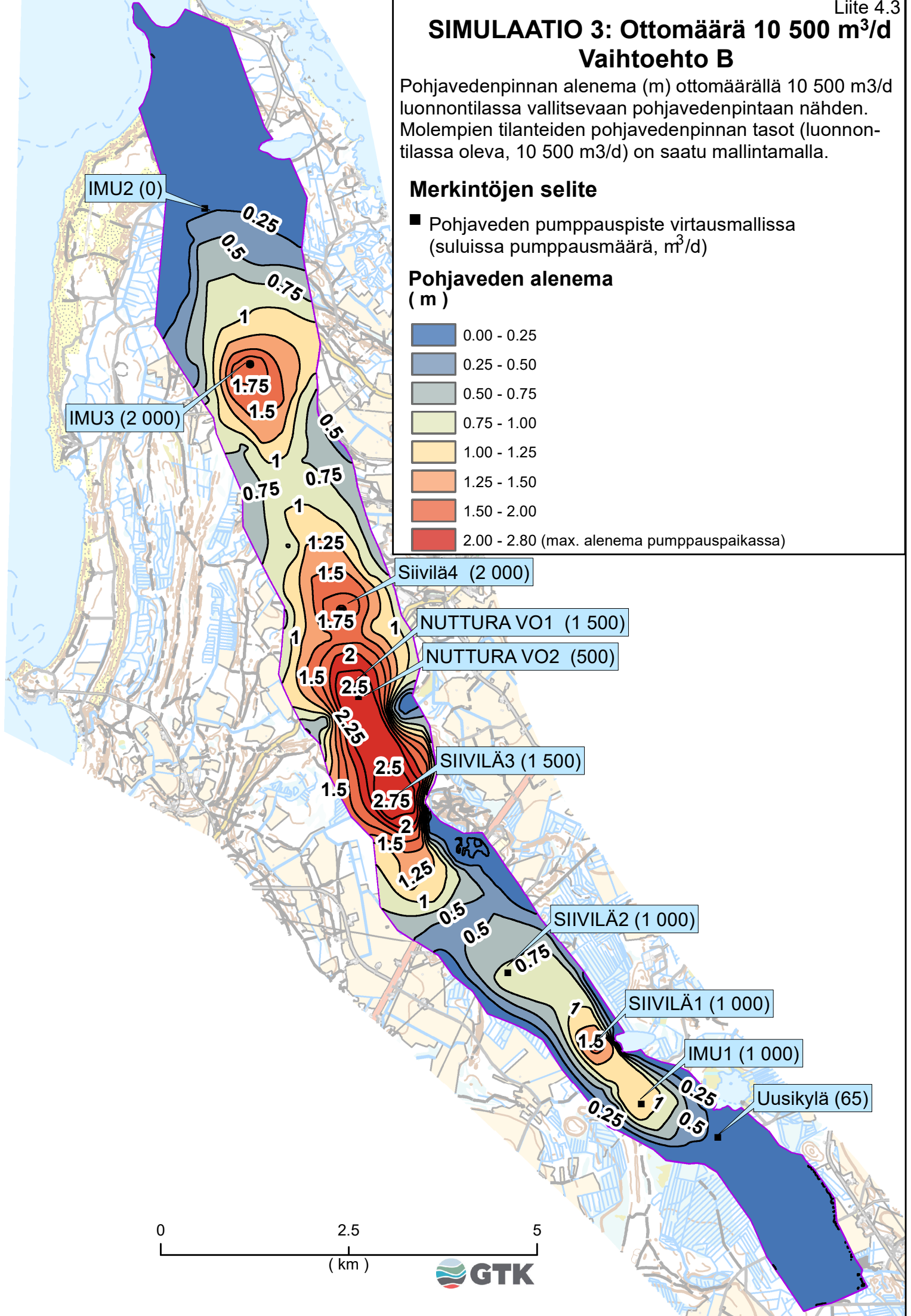
Pohjavedenpinnan alenema (m) ottomäärällä 10 500 m³/d luonnontilassa vallitsevaan pohjavedenpintaan nähden. Molempien tilanteiden pohjavedenpinnan tasot (luonnontilassa oleva, 10 500 m³/d) on saatu mallintamalla.

Merkintöjen selite

- Pohjaveden pumppauspiste virtausmallissa (suluissa pumppausmäärä, m³/d)

Pohjaveden alenema (m)

	0.00 - 0.25
	0.25 - 0.50
	0.50 - 0.75
	0.75 - 1.00
	1.00 - 1.25
	1.25 - 1.50
	1.50 - 2.00
	2.00 - 2.80 (max. alenema pumppauspaikassa)



0 2.5 5
(km)










SIMULAATIO 4: Ottomäärä 12 000 m³/d

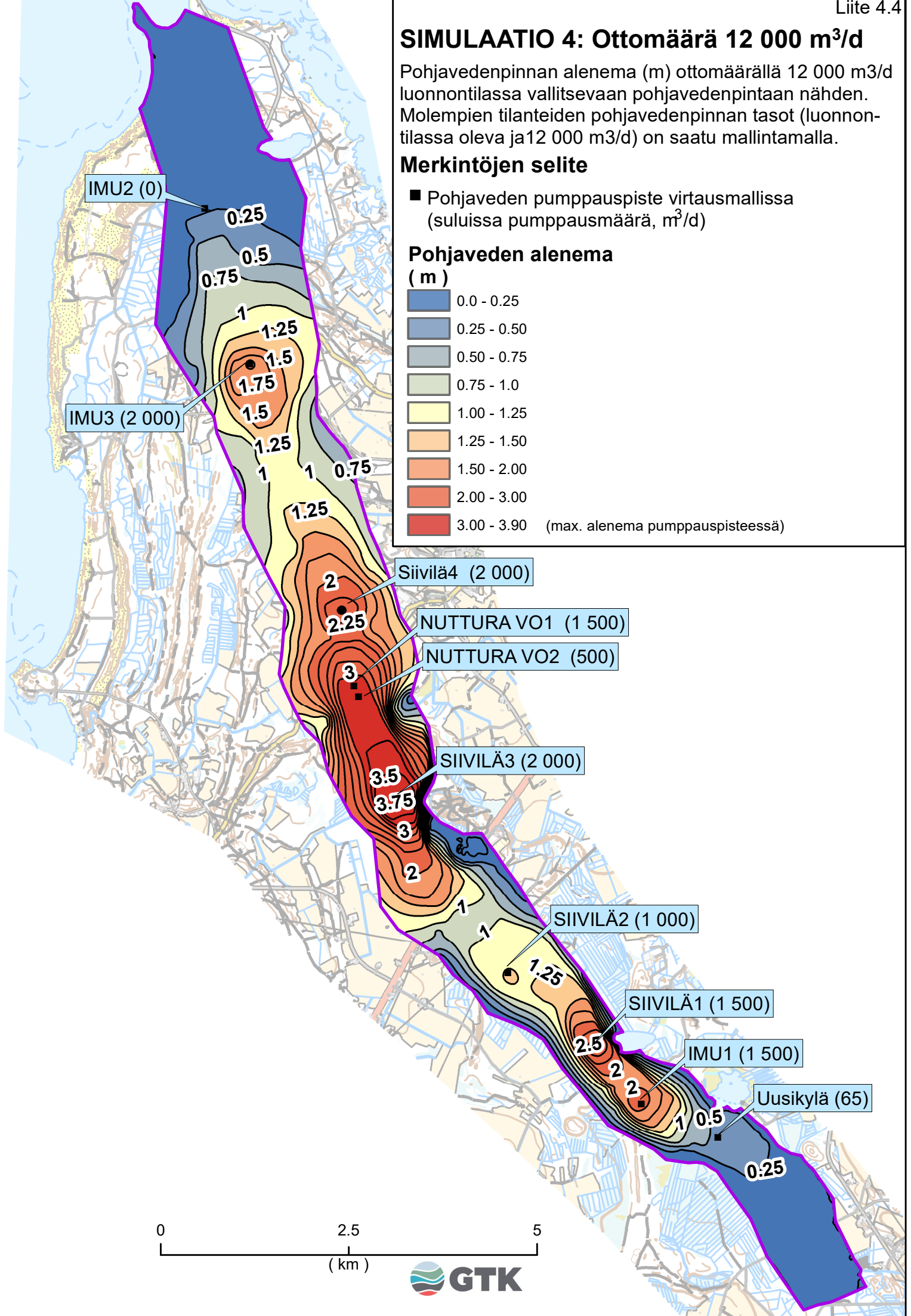
Pohjavedenpinnan alenema (m) ottomäärällä 12 000 m³/d luonnontilassa vallitsevaan pohjavedenpintaan nähden. Molempien tilanteiden pohjavedenpinnan tasot (luonnontilassa oleva ja 12 000 m³/d) on saatu mallintamalla.

Merkintöjen selite

- Pohjaveden pumppauspiste virtausmallissa (sulussa pumppausmäärä, m³/d)

Pohjaveden alenema (m)

	0.0 - 0.25
	0.25 - 0.50
	0.50 - 0.75
	0.75 - 1.0
	1.00 - 1.25
	1.25 - 1.50
	1.50 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 3.90 (max. alenema pumppauspisteessä)

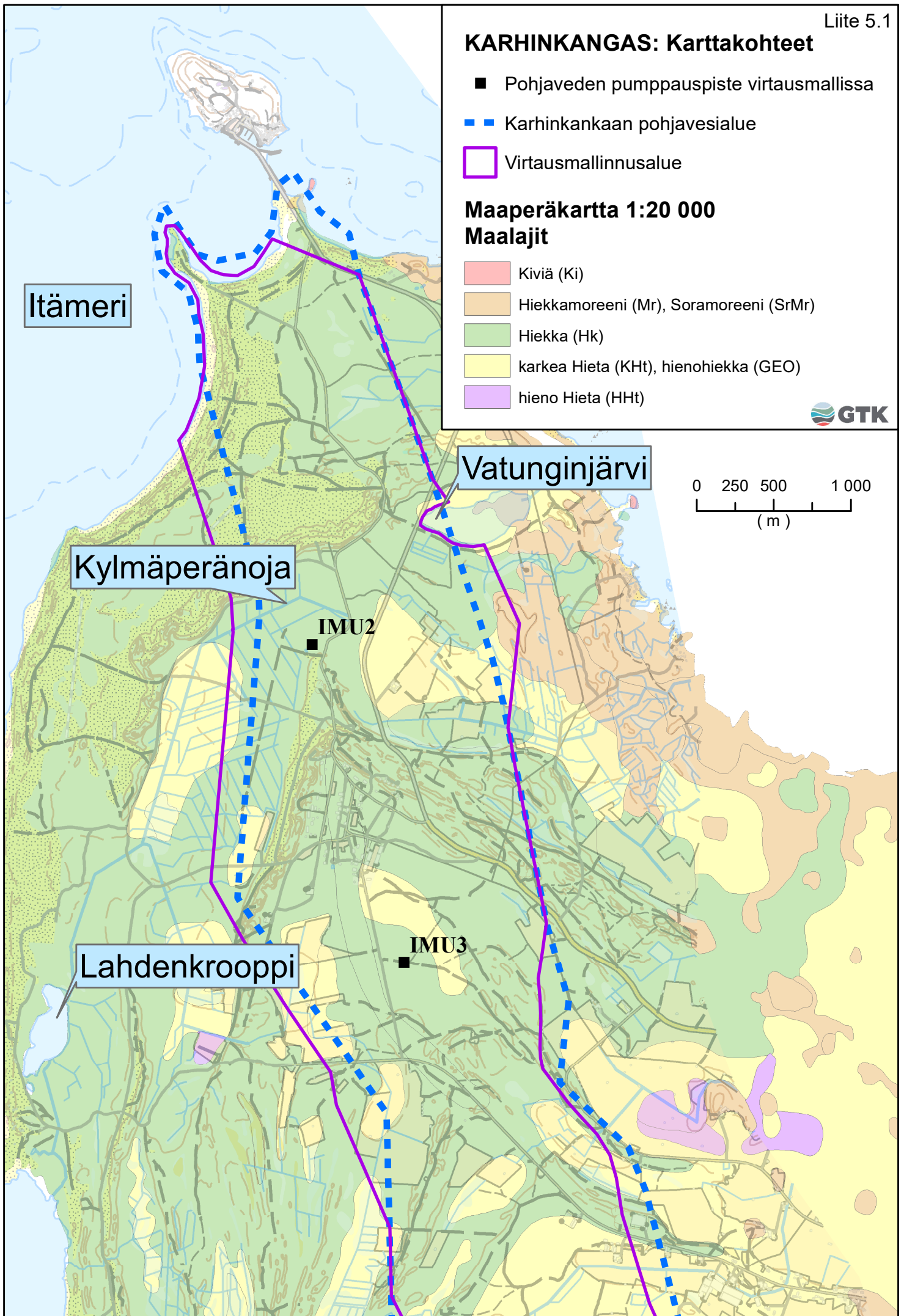


KARHINKANGAS: Karttakohteet

- Pohjaveden pumppauspiste virtausmallissa
- Karhinkankaan pohjavesialue
- Virtausmallinnusalue

Maaperäkartta 1:20 000**Maalajit**

- Kiviä (Ki)
- Hiekkamoreeni (Mr), Soramoreeni (SrMr)
- Hiekka (Hk)
- karkea Hieta (KHt), hienohiekka (GEO)
- hieno Hieta (HHt)

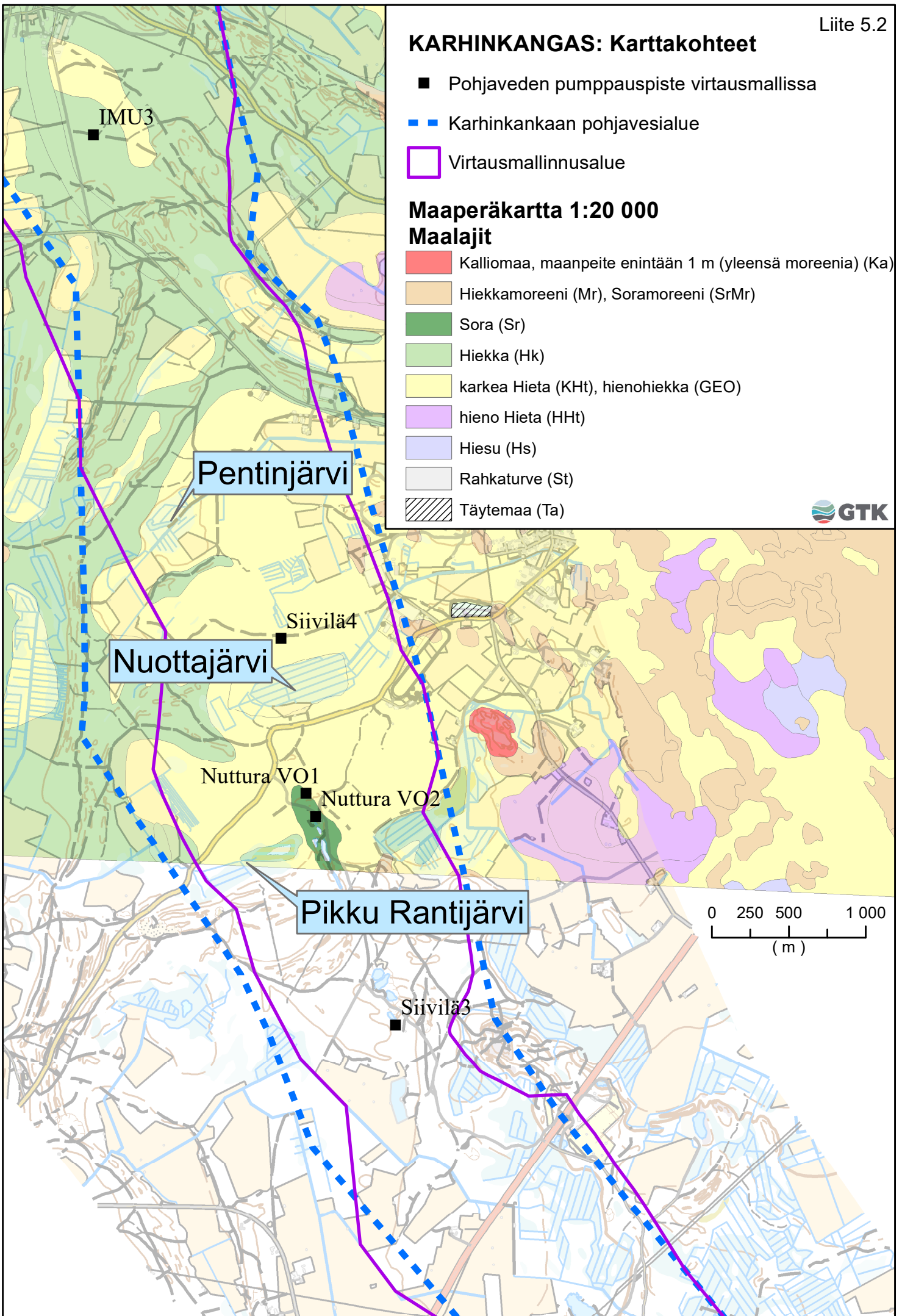


KARHINKANGAS: Karttakohteet

- Pohjaveden pumppauspiste virtausmallissa
- Karhinkankaan pohjavesialue
- Virtausmallinnusalue

Maaperäkartta 1:20 000**Maalajit**

- Kalliomaa, maanpeite enintään 1 m (yleensä moreenia) (Ka)
- Hiekkamoreeni (Mr), Soramoreeni (SrMr)
- Sora (Sr)
- Hiekka (Hk)
- karkea Hieta (KHt), hienohiekka (GEO)
- hieno Hieta (HHt)
- Hiesu (Hs)
- Rahkaturve (St)
- Täytemaa (Ta)

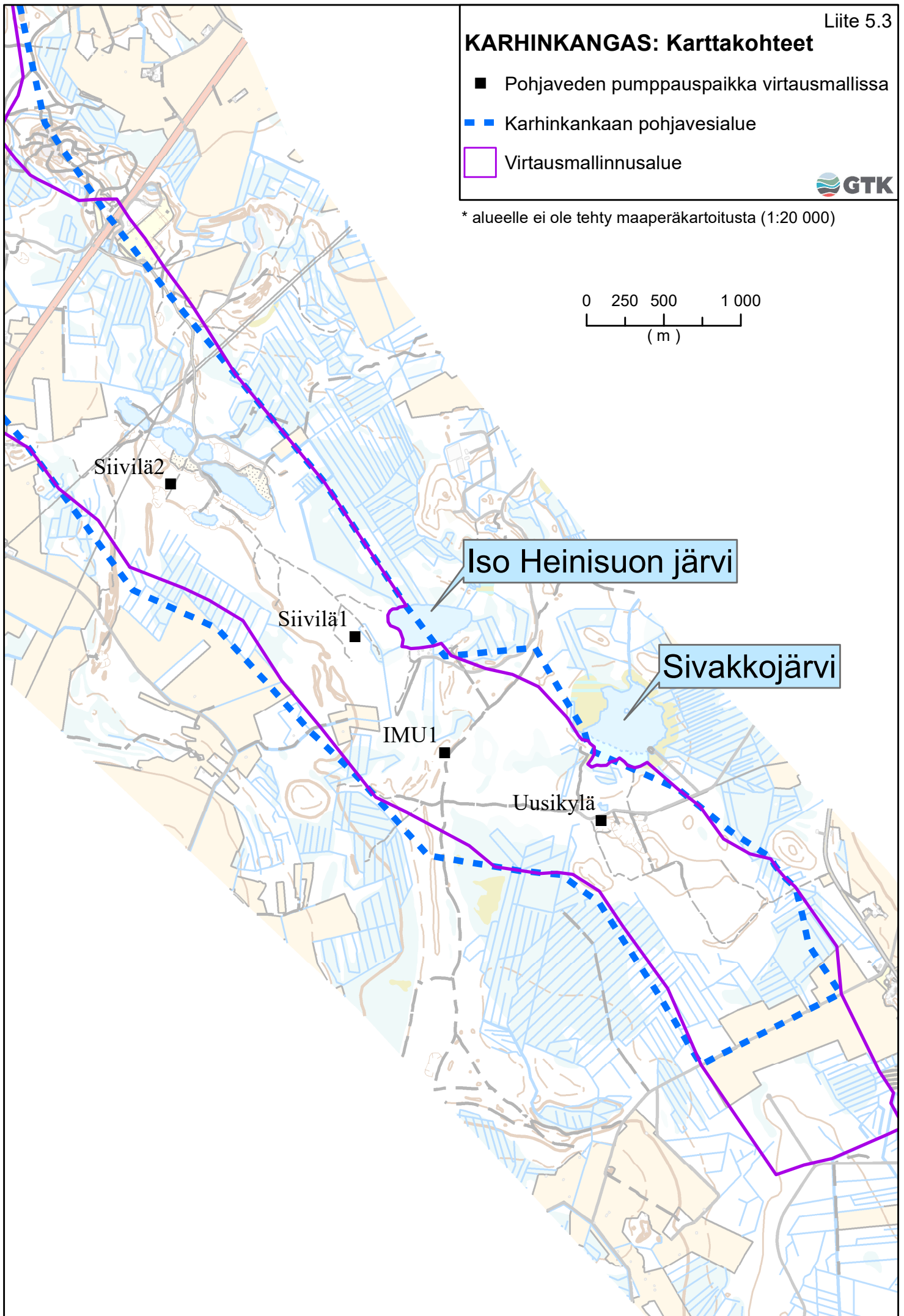
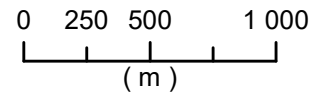


KARHINKANGAS: Karttakohteet

- Pohjaveden pumppauspaikka virtausmallissa
- Karhinkankaan pohjavesialue
- Virtausmallinnusalue



* alueelle ei ole tehty maaperäkartoitusta (1:20 000)



Mallinnussimulaatioiden vesitasebudjetit

Alueella ei pohjaveden ottoa (luonnontila)

	Malliin tuleva vesi (m ³ /d)	Mallista poistuva vesi (m ³ /d)
KAIVOT	0	0
OJAT	0	-11345
MALLIN REUNAT	2310	-4367
IMEYTYNYT SADANTAMÄÄRÄ	13229	0
YHTEENSÄ	15539	-15712

Lähtötilanne: Ottomäärä 690 m³/d

	Malliin tuleva vesi (m ³ /d)	Mallista poistuva vesi (m ³ /d)
KAIVOT	0	-690
OJAT	0	-10645
MALLIN REUNAT	2338	-4326
IMEYTYNYT SADANTAMÄÄRÄ	13229	0
YHTEENSÄ	15567	-15661

Simulaatio 1: Ottomäärä 8 000 m³/d

	Malliin tuleva vesi (m ³ /d)	Mallista poistuva vesi (m ³ /d)
KAIVOT	0	-8000
OJAT	0	-4707
MALLIN REUNAT	3070	-3589
IMEYTYNYT SADANTAMÄÄRÄ	13229	0
YHTEENSÄ	16299	-16296

Simulaatio 2: Ottomäärä 10 500 m³/d (vaihtoehto a)

	Malliin tuleva vesi (m ³ /d)	Mallista poistuva vesi (m ³ /d)
KAIVOT	0	-10500
OJAT	0	-3467
MALLIN REUNAT	3996	-3248
IMEYTYNYT SADANTAMÄÄRÄ	13229	0
YHTEENSÄ	17225	-17215

Simulaatio 3: Ottomäärä 10 500 m³/d (vaihtoehto b)

	Malliin tuleva vesi (m ³ /d)	Mallista poistuva vesi (m ³ /d)
KAIVOT	0	-10500
OJAT	0	-3033
MALLIN REUNAT	3683	-3363
IMEYTYNYT SADANTAMÄÄRÄ	13229	0
YHTEENSÄ	16912	-16897

Simulaatio 4: Ottomäärä 12 000 m³/d

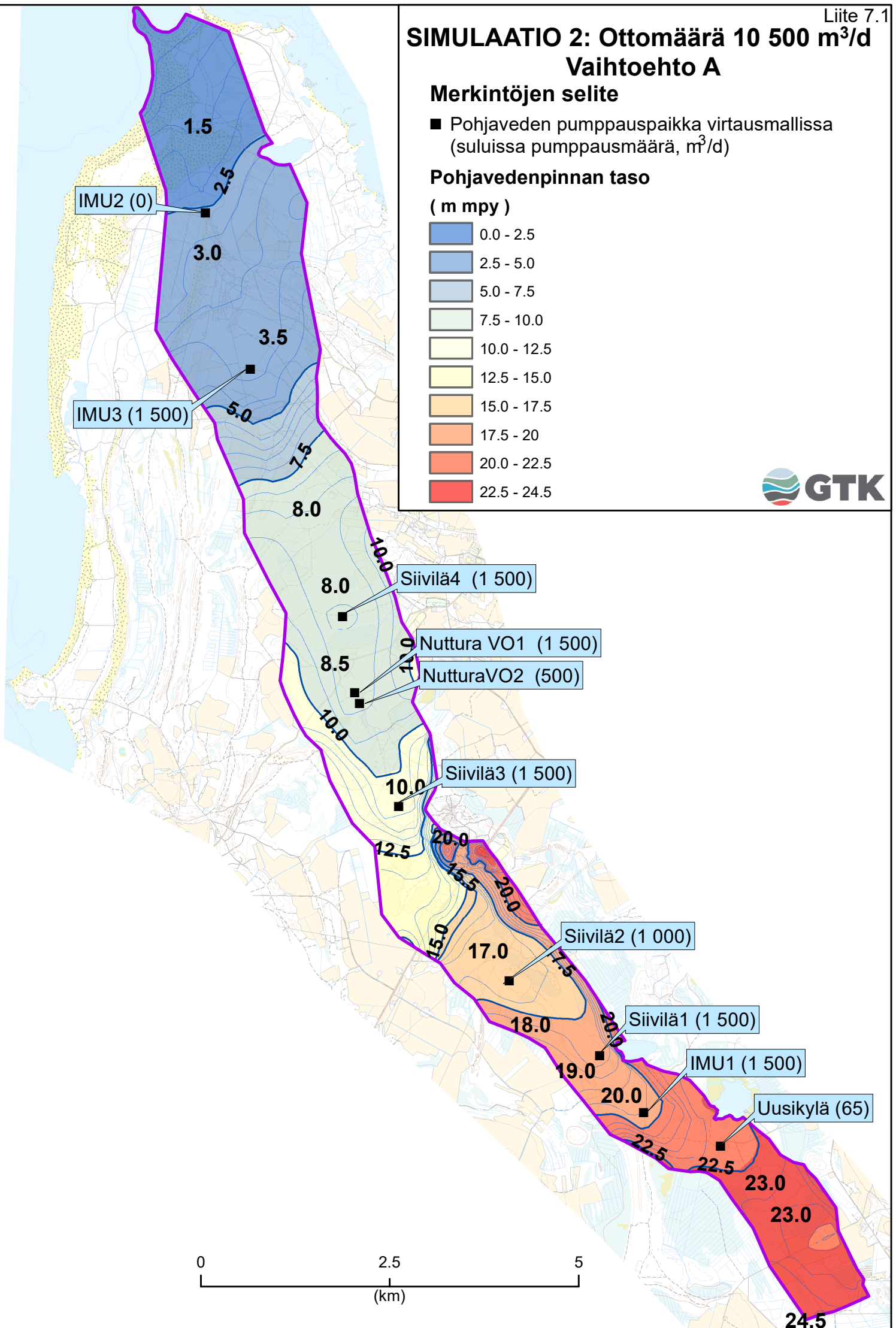
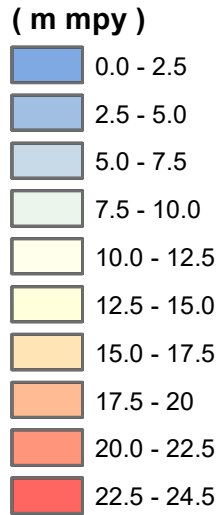
	Malliin tuleva vesi (m ³ /d)	Mallista poistuva vesi (m ³ /d)
KAIVOT	0	-12000
OJAT	0	-2778
MALLIN REUNAT	4689	-3098
IMEYTYNYT SADANTAMÄÄRÄ	13229	0
YHTEENSÄ	17918	-17877

SIMULAATIO 2: Ottomäärä 10 500 m³/d Vaihtoehto A

Merkintöjen selite

- Pohjaveden pumppauspaikka virtausmallissa
(sulussa pumppausmäärä, m³/d)

Pohjavedenpinnan taso (m mpy)



0 2.5 5
(km)

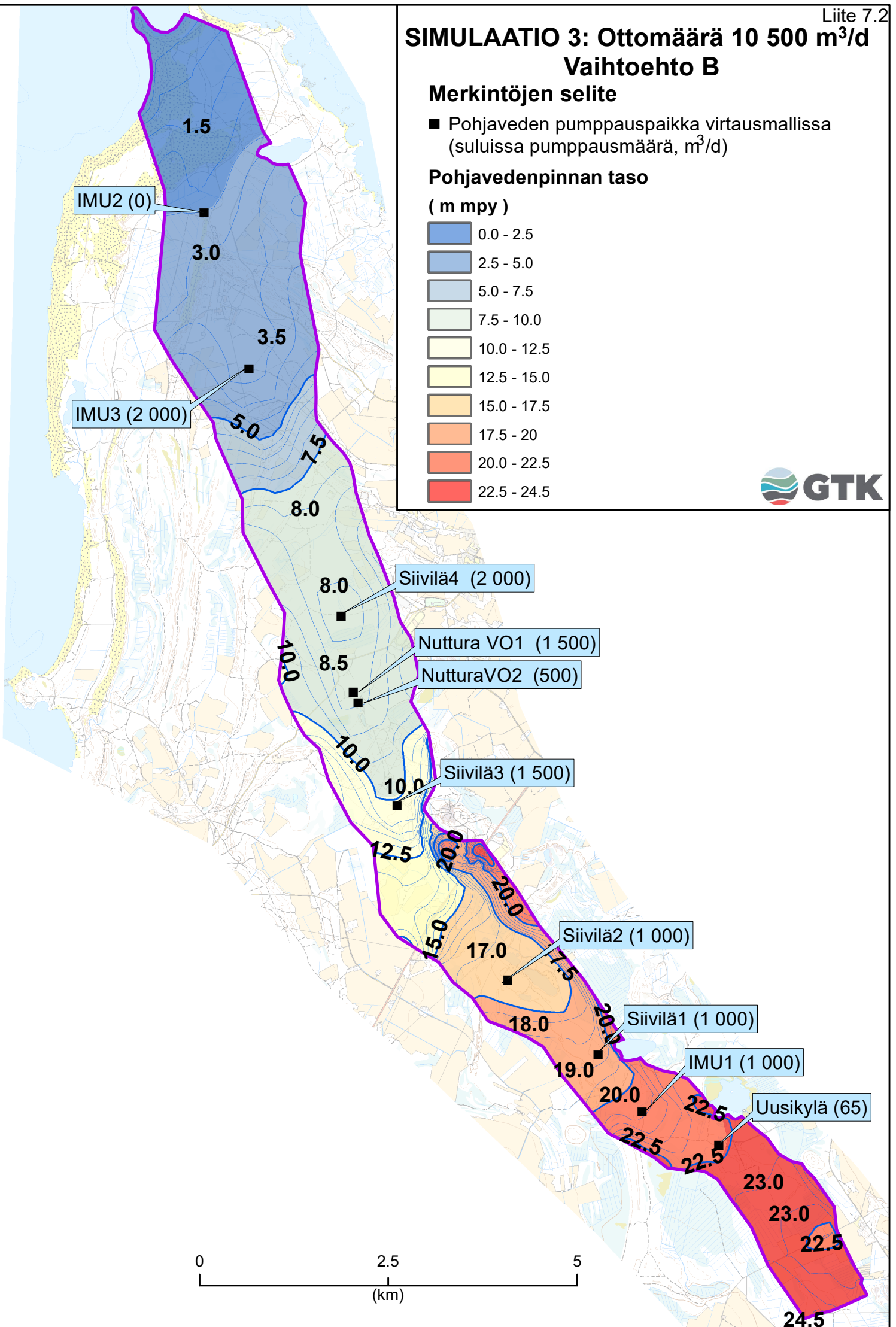
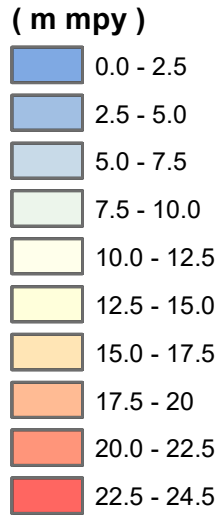
24.5

SIMULAATIO 3: Ottomäärä 10 500 m³/d Vaihtoehto B






Merkintöjen selite

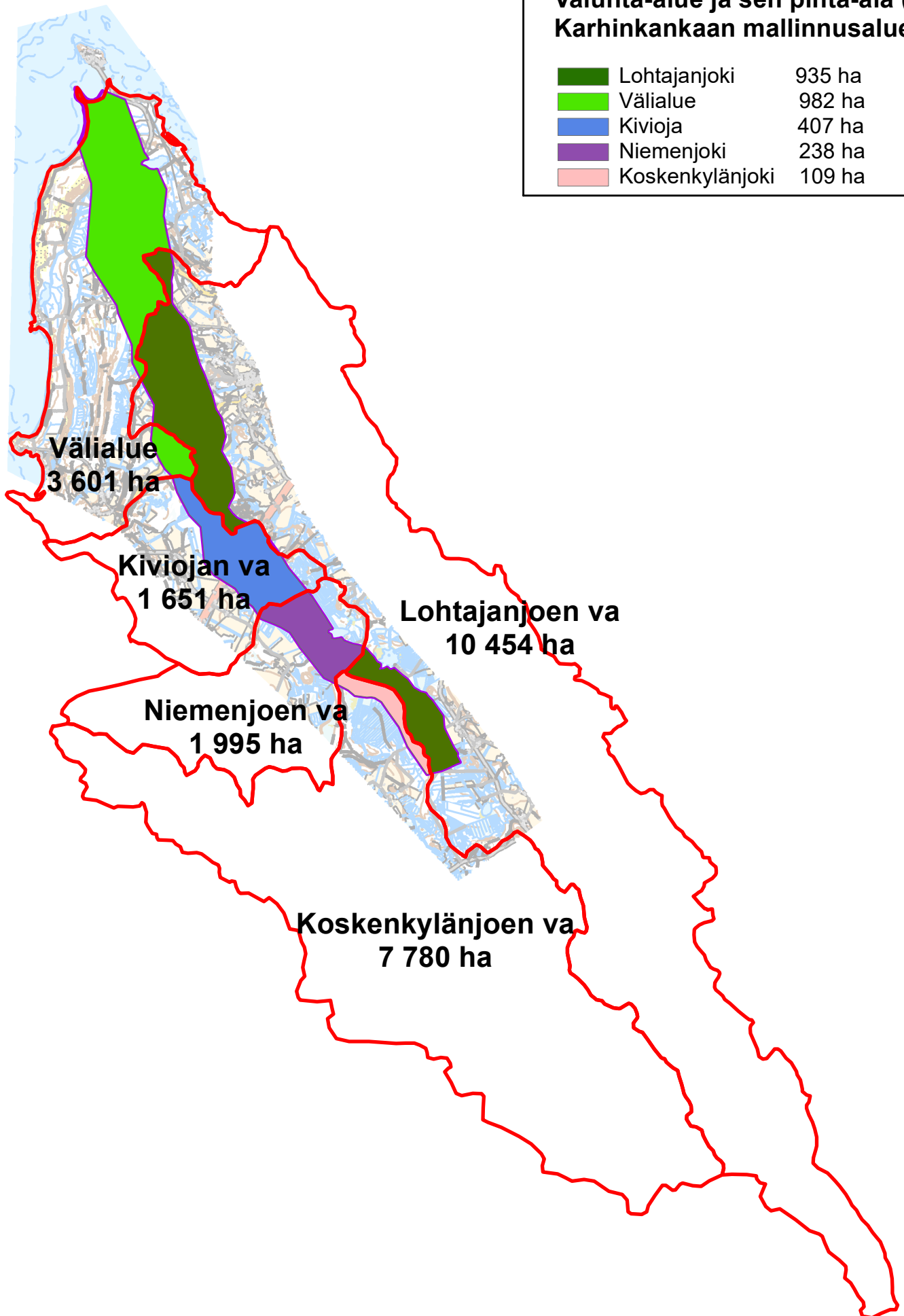
- Pohjaveden pumppauspaikka virtausmallissa
(suluisissa pumppausmäärä, m³/d)

Pohjavedenpinnan taso (m mpy)



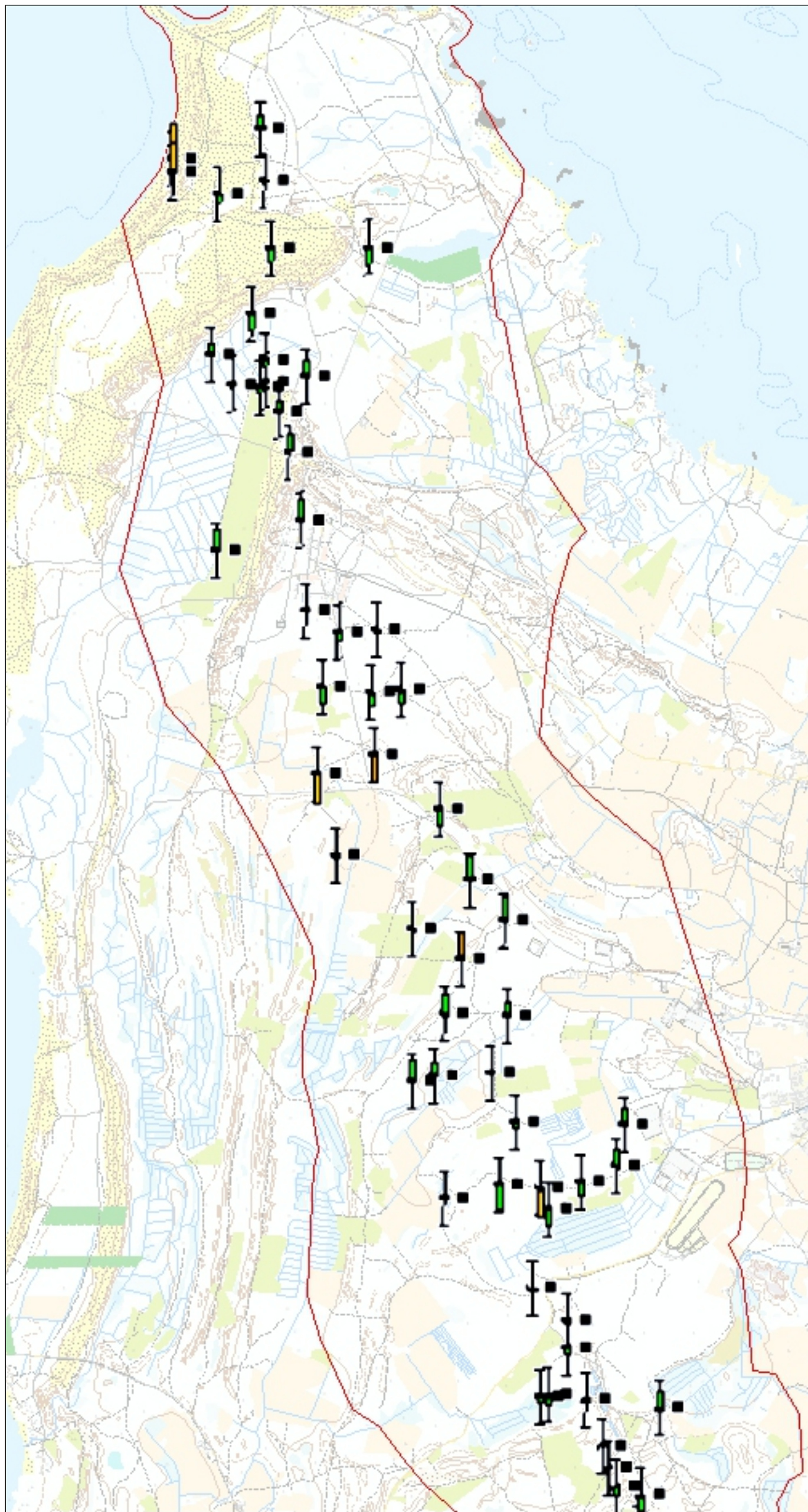
Valunta-alue ja sen pinta-ala (ha) Karhinkankaan mallinnusalueella

	Lohtajanjoki	935 ha
	Välialue	982 ha
	Kivioja	407 ha
	Niemenjoki	238 ha
	Koskenkylänjoki	109 ha



0 2.5 5
(km)

Havaintotargetit (vrt. raporttisivu 14, kuva 5)



Havaintotargetit (vrt. raporttisivu 14, kuva 5)

