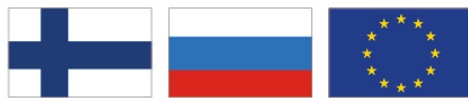


Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueen virtausmalli ja ilmastonmuutoksen vaikutusten mallintaminen alueen pohjavedenpintoihin aikaväleillä 2021–2050 ja 2072–2100

Arto Hyvönen, Jarkko Okkonen, Johannes Klein



CBC 2014-2020
KAAKKOIS-SUOMI - VENÄJÄ

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUVAILULEHTI

31.12.2021 / GTK/72/03.01/2017

Tekijät Arto Hyvönen, Jarkko Okkonen, Johannes Klein		Raportin laji GTK:n työraportti	
		Toimeksiantaja CBC RAINMAN -projekti	
Raportin nimi Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueen virtausmalli ja ilmastomuutoksen vaikutusten mallintaminen alueen pohjavedenpintoihin aikaväleillä 2021–2050 ja 2072–2100			
Tiivistelmä Hanhikankaan pohjavesialueelle tehtiin pohjaveden virtausmalli MODFLOW ohjelmistolla. Mallinnustulosten mukaan nykyisellä keskimääräisellä pumppausmäärällä (2 300 m ³ /d) Hanhilammesta ja Pankajoesta tapahtuu merkittävää pintaveden suotautumista pohjavedeksi. Likolammesta voi suotaautua lampivettä pohjaveteen lammen pinnan tulviessa. Pumppausmäärällä 4 500 m ³ /d kaikki Hanhikankaan mallinnusalueeseen liittyvät pintavesistöt tulevat pohjaveden oton piiriin, jolloin pääosa ottamalla pumpatusta vedestä on pintavesistöistä pohjavedeksi suotautunut ja siihen sekoittunutta pintavettä (maksimissaan noin 70–75 %). Ilmastomuutoksen vaikutuksia pohjavedenpinnan tasoihin simuloitiin aikaväleillä 2021–2050 ja 2072–2100 ja tuloksia verrattiin aikaväliin 1981–2010 (nykyilmasto). Tulevaisuudessa nykyistä kevätvalunnasta johtuvaa kevääseen ja alkukesään sijoittuvaa pohjavedenpinnan tasonousua ei ole erotettavissa, koska pohjavesipinnan kohoaminen aikaistuu tammi-toukokuulle. Tammi-toukokuulle ajoittuva pohjavedenpinnan tasonousu havaitaan selvimmin Mikkelin Hanhikankaalla, kun ilmastomallinnuksessa saatuja tuloksia tarkastellaan suuremmalla pumppausmäärällä (4 500 m ³ /d): Pohjavedenpinnan tasoero nykyiseen nähden kasvaa ja se on aikavälillä 2021–2050 keskimäärin 0.3 metriä ja aikavälillä 2072–2100 keskimäärin 0.6 metriä nykyistä korkeammalla (tammi-toukokuu). Kesä- ja syyskesäkuukausina pohjavedenpinta hieman alenee nykyiseen verrattuna, mutta loppukesän, syksyn ja alkutalven aikana pohjavedenpinnan tasot eivät juurikaan poikkea nykyisestä.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) harju, pohjavesi, virtausmallinnus, MODFLOW, GMS, UZF, MPI-ESM-LR, SMHI, RCA4, IPCC, RCP8.5			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Suomi, Etelä-Savo, Mikkeli, Hanhikangas			
Karttalehdet M5221E ja M5221F			
Arkistosarjan nimi GTK, työraportti		Arkistotunnus 48/2021	
Kokonaissivumäärä 29 s.	Kieli Suomi	Hinta	Julkisuus Julkinen
Yksikkö Vesiratkaisut, Ympäristöratkaisut		Projektinumero 50403–30120	
Allekirjoitus/nimen selvennys  Eeva Käpyaho yksikön päällikkö		Allekirjoitus/nimen selvennys  Arto Hyvönen geologi	

The groundwater flow model of the Mikkeli Hanhikangas aquifer and modelling of climate change impacts (SMHI RCA4, IPCC RCP8.5) on groundwater levels in the time intervals 2021-2050 and 2072-2100

This study is conducted under the RAINMAN project (Towards higher adaptive capacity in urban water management) which is funded by the South-East Finland – Russia CBC 2014-2020 programme. RAINMAN has developed solutions to preserve freshwater resources in changing climatic conditions.

Abstract

The Hanhikangas esker area, situated north of Mikkeli Finland, was selected as a study area to model the impact of climate change on groundwater flow. The groundwater flow was modelled using MODFLOW (McDonald & Harbaugh 1988) and GMS (Groundwater Modeling Software).

The groundwater flow model was at first implemented as steady state 1-layer - model in which the flow of groundwater is as well balanced as possible in relation to the amount of water entering and leaving the model domain. In the GMS -program the model calibration was done with a trial-error - method and PEST (parameter estimation).

When simulating the effects of climate change on groundwater levels in the Hanhikangas aquifer, the RCA4 regional climate model of the Swedish Meteorological Hydrological Institute (SMHI) was used, with results for the IPCC RCP8.5 emission scenario. The Max Planck Institute for Meteorology Earth System Model provides boundary conditions for the RCA4 model (SMHI, 2017). The effect of climate change on groundwater levels could be simulated annually, when the steady state flow model was changed to time-dependent i.e., to transient flow model. Transient modeling was done using MODFLOW with UZF (Unsaturated Zone Flow). In this case, the variation of the amount of water infiltrated into groundwater according to the selected climate scenario can be calculated.

The amount of water infiltrated into groundwater depends on snowmelt, rainfall, evapotranspiration, and surface runoff. The calculated snow accumulation, melting, and potential evaporation (snow model) were imported to UZF-MODFLOW. The UZF-MODFLOW models are part of the GMS software, where the actual calculation was performed.

In the snow model, the input data are air temperature, precipitation, and the water equivalent of the snow. The snow model is calibrated to the measured snow water equivalent. In addition, potential evapotranspiration was calculated. Thus, snow model outputs (rainfall and snow melt) were inputs for UZF-MODFLOW

Changes in groundwater levels caused by climate change were simulated in the time intervals 2021–2050 and 2072–2100 and the results were compared for the period 1981–2010 (current climate). As a result of climate change, the current rise in groundwater levels due to the spring snowmelt in May and early June is no longer noticeable in future, and the groundwater level rises in the period from January to May. The effect of climate change is most pronounced in the groundwater levels in

31.12.2021

the winter and spring months (January-May), when the climate modeling results obtained in Mikkelin Hanhikangas area are studied with a higher pumping volume (4,500 m³ / d): In the period 2021–2050 groundwater level would be 0.3 meters higher on average and in the period 2072–2100 0.6 meters higher than at present in January – May. In the summer and late summer months, the groundwater level will decrease slightly compared to the current situation, but there is no significant change in groundwater levels during autumn and early winter.

It is also possible, that the uppermost part of surface water from peat-based pond Likolampi can infiltrate into groundwater, if the surface of the Likolampi pond rises from time to time. In general, this before mentioned scenario would be more relevant in the future, especially as precipitation increases due to climate change along with longer frost-free periods. Thus, in general, it is possible, that the surface water bodies have higher water levels during winter and spring months in the future and the surface water seepage into aquifer could be more significant factor as a supplement to groundwater as well.

SISÄLTÖ

1	Johdanto ja mallinnuksen tavoite	1
2	Pohjavesimallinnus	1
2.1	Mallinnuksen tausta	1
2.2	Ajansuhteen muuttumaton (steady state) ja muuttuva (transient) virtausmalli	2
2.3	Pohjaveden virtausmallinnusalue	2
2.4	Virtausmallin laadinta – steady state	2
2.5	MODPATH	3
2.6	Mallinnuksen tavoitteet	6
2.7	Aineistot mallinnusta varten	7
2.7.1	Pinta-aineistot: Maa- ja kalliopinnan interpoloidut pintamallit	7
2.7.2	Sadanta ja imeytyminen	7
2.7.3	Maalajien vedenjohtavuus (K-arvot) pohjavesivyöhykkeessä	8
2.7.4	Mallissa käytetyt reunaehdot	10
2.8	Mallin kalibrointi	11
3	Virtausmallinnussimulaatioiden tulokset – STEADY STATE -MALLINNUS	13
3.1	Yleistä	13
3.2	Pohjavedenpinta ja pohjaveden virtaus: 2 300 m ³ /d ja 4 500 m ³ /d	14
3.3	Sieppausalueet, virtausreitit ja kulkeutumisaajat: 2 300 m ³ /d ja 4 500 m ³ /d	15
3.4	Pintavesi – pohjavesi -vesimäärätarkastelu: 2 300 m ³ /d ja 4 500 m ³ /d	17
4	POHJAVESIMALLIN LIITTÄMINEN ILMASTOMALLIIN – TRANSIENT-MALLINNUS	20
4.1	Ilmastomalli	20
4.2	Ilmastonmuutoksen simulointi – sadannasta pohjavedeksi imeytyvä vesimäärä	21
4.3	Simuloitu pohjavesipinnan taso aikaväleillä 2021–2050 ja 2072–2100	23
5	YHTEENVETO	25
5.1	Hanhikankaan pohjaveden virtausmalli – tasapainotila (Steady State)	25
5.2	Hanhikankaan pohjaveden virtausmalli – ajan suhteen muuttuva malli (Transient)	26
6	Mallin epävarmuuksista ja pohdinta	27
	Kirjallisuusluettelo	28

31.12.2021

1 JOHDANTO JA MALLINNUKSEN TAVOITE

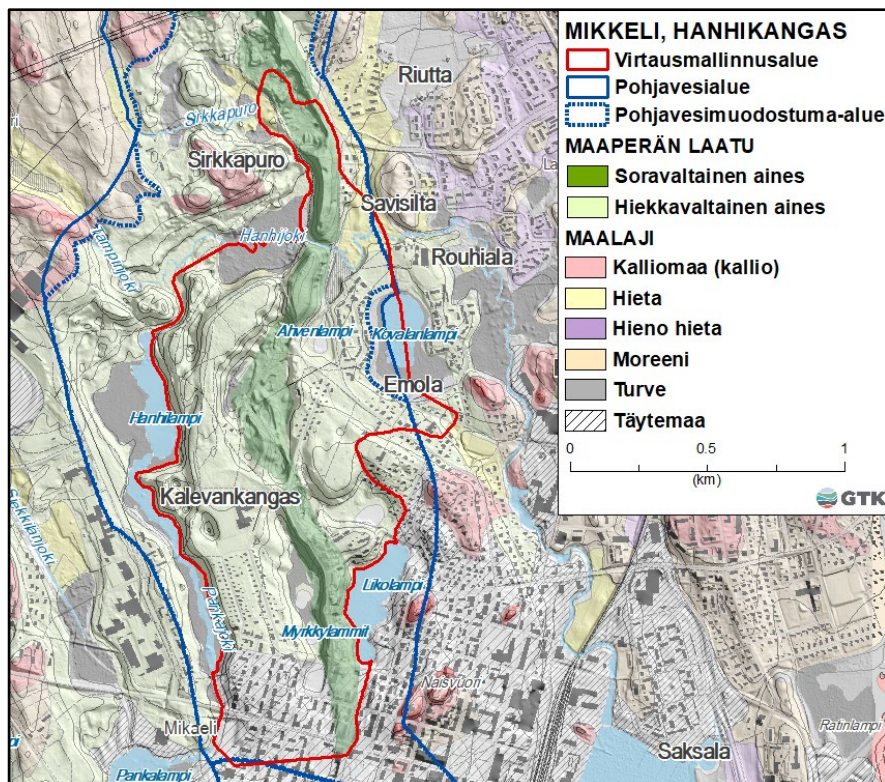
Geologian tutkimuskeskus (GTK) on laatinut RAINMAN-projektissa (Towards higher adaptive capacity in urban water management) pohjaveden virtausmallin Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueelle. Suuri osa Hanhikankaan pohjavesialueesta on rajattu vettä johtavalle hiekka- ja soravaltaiselle harjumuodostuma-alueelle (kuva 1). Mallinnuksen tavoitteena oli laatia pohjaveden virtausmalli, jonka avulla voidaan simuloida ilmastomuutosten vaikutuksia Hanhikankaan pohjavesialueen pohjaveteen aikaväleillä 2021–2050 ja 2071–2100.

RAINMAN-projekti on saanut rahoitusta Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014-2020 rajat ylittävästä yhteistyöohjelmasta. Projektissa on kehitetty ja toteutettu ratkaisuja, joiden päämääränä on turvata pinta- ja pohjavesien hyvä tila muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa.

2 POHJAVESIMALLINNUKSEN

2.1 Mallinnuksen tausta

Virtausmallinnusta varten Hanhikankaan pohjavesialueen (0649101) harjumuodostumaan rajattiin erillinen mallinnusalue (kuva 1). Pohjaveden virtausmallinnus tehtiin MODFLOW-ohjelmalla (McDonald & Harbaugh 1988). Ohjelmistona käytettiin GMS-ohjelmaa (Groundwater Modeling Software, Aquaveo, LLC).



Kuva 1. Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialue, pohjaveden muodostumisalue, virtausmallinnusalue ja maaperä. Pohjakartta ja laserkeilausaineisto © Maanmittauslaitos, pohjavesialueet © Suomen ympäristökeskus. Maaperäkartta 1:20 000 © Geologian tutkimuskeskus

31.12.2021

2.2 Ajansuhteen muuttumaton (steady state) ja muuttuva (transient) virtausmalli

Tässä työssä pohjaveden virtausmallinnus tehtiin kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin ajansuhteen muuttumaton malli (steady state -malli) ja toisessa vaiheessa tehtiin ajansuhteen muuttuva virtausmalli (transient -malli). Ajansuhteen muuttuvassa mallissa simuloidaan pohjaveden vuodenaikaisvaihtelua sekä tutkitaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia Hanhikankaan pohjaveden pinnankorkeuksiin aikaväleillä 2021–2050 sekä 2072–2100.

Kun virtausmallinnuksessa tehtiin ilmastonmuutoksen vaikutusten simulointia pohjavedenpinnan tasoon Hanhikankaan alueella, niin mallinnuksessa huomioitiin koko veden hydrologinen kierto, eli lumen kertyminen ja sulanta, vesisade, haihdunta, imeytyminen sekä veden virtaus osittain kyllästyneessä vyöhykkeessä (vadoosivyöhyke) ja täysin vedellä kyllästyneessä vyöhykkeessä (pohjavesivyöhyke). Lumenkertyminen ja sulanta, lumi- ja vesisade laskettiin astepäivätekijämallilla (Vehviläinen 1992). Lumen sulaminen ja vesisade ovat lähtöarvoja osittain kyllästyneen kerroksen virtausmallille. Osittain kyllästyneen kerroksen huomioiminen pohjaveden virtausmallinnuksessa on mahdollista, kun pohjavedenvirtausmallinnusohjelmassa (GMS-ohjelma) on erillinen UZF (Unsaturated Flow) – laskentamoduuli, ja kun käytettävissä oli ilmastonmuutoksen mukaiset skenaariot sadannalle ja lämpötilalle.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset pohjaveden määrään (pinnankorkeus) ja virtauskenttään voitiin siis mallintaa, kun pohjavedenvirtausmalliin (MODFLOW) kytkettiin pohjaveden yläpuolinen pohjavedellä kyllästyvät maakerrososuus ja veden virtaus siinä (UZF). Näin voitiin huomioida valitun ilmastomallin mukaiset pohjavedeksi imeytyvän vesimäärän vaihtelut.

2.3 Pohjaveden virtausmallinnusalue

Mallinnusalue (1.45 km²) on rajattu niin, että se sijoittuu Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueelle (0649101). Mallinnusalueen pituus on pohjoiseteläsuunnassa noin 2.5 km ja leveys vaihtelee välillä 0.1–1.0 km (kuva 1).

Pohjaveden virtausmallinnusalue on pyritty rajamaan siten, että siihen kuuluva harjualue rajoittuu mahdollisimman hyvin pohjaveden virtauksen kannalta oleellisiin maastoalueisiin, kuten vesistöihin tai pohjavettä johtamattomiin tiiviisiin maakerrostumiin ja kalliomäkiin. Lisäksi rajauksessa on huomioitu alueet, jonne pohjavesiä voi purkautua mallinnusalueelta, tai joilta vesiä voi virrata mallinnusalueelle. Samalla on pyritty siihen, että mallinnusalueella lajittuneen maakerroksen paksuus pohjavesivyöhykkeessä olisi vähintään kaksi metriä.

2.4 Virtausmallin laadinta – steady state

Virtausmalli toteutettiin lähtökohtaisesti ns. ”steady state” yksikerros -mallina, jossa pohjaveden virtaus on mahdollisimman hyvin tasapainossa malliin tulevan ja siitä poistuvan veden määrän suhteen. Steady state -virtausmalli on ajan suhteen muuttumaton ja se kuvaa pitkän ajan keskimääräistä pohjaveden tilaa malliin annetuilla ottomäärillä, sekä sadannasta pohjavedeksi imeytyneillä vesimäärillä, harjuaineksen vedenjohtavuuksilla ja malliin määritellyillä reunaehdoilla, joita kaikkia on kalibroitu mallinnuksen aikana. Ilmastoskenaarioita mallinnettaessa steady state -virtausmalli toimii ns. lähtö- tai

31.12.2021

nykytilamallina, joka ilmastomuutoksen tarkastelua varten muutetaan ajan suhteen muuttuvaksi malliksi (transient malli).

Mallinnuksen lähtötietoina tässä työssä ovat maan- ja kallionpinnan topografia sekä Mikkelin Hanhikankaan harjun rakennetutkimuksessa (Väänänen et al. 2015) koottu tieto harjualueen maaperän laadusta ja eri maalajien kolmiulotteisista jakautumisesta mallinnusalueen eri osissa maanpinnasta kalliopintaan tai tiiviiseen pohjaan saakka (esimerkiksi karkearakeisen ja erittäin hyvin vettä johtavan harjuytimen sijainti ja ulottuvuudet). Mallinnusalueeseen liittyvien vesistöjen tasot ja mahdollisten purkaumaapaikkojen korkeustasot (m mpy.) on määritetty mallinnusta varten Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoon perustuvasta maanpintamallista.

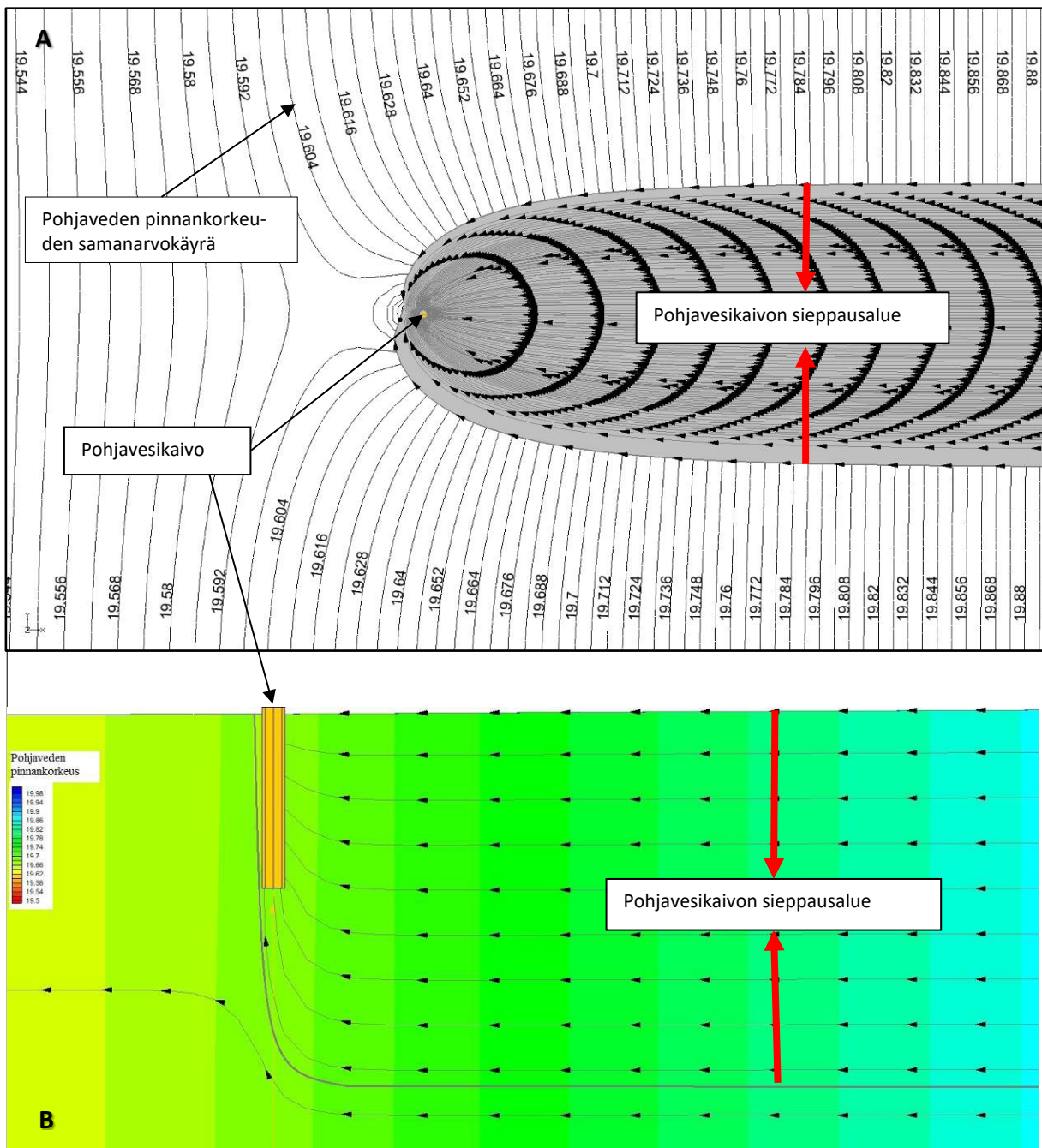
Hanhikankaan virtausmallin laskentahilaverkon (grid) yksittäisen hilan ruutukoko on 10 x 10 metriä. Ottamokaivojen ympärillä on käytetty tiheennettyä hilaverkkoa (minimiruutukoko 5 x 5 m). MODFLOW-ohjelmistossa pohjavedenpinnan korkeusasema, pohjaveden virtausnopeus ja suunta lasketaan kuhunkin hilaverkon yksittäiseen hilaan.

2.5 MODPATH

MODPATH-ohjelmistolla (Pollock 1989) voidaan laskea pohjaveden virtausreitit ja -suuntia sekä määrittää vedenottamoiden sieppausalueita. Pohjavesi virtaa vedenottamokaivoihin pohjavesimuodostumasta tietyltä kolmiulotteiselta alueelta, jota sanotaan kaivon sieppausalueeksi. Sieppausalue voidaan määrittää tietyn ajan suhteen muuttuvana tai muuttumattomana.

Pohjaveden ajan suhteen muuttumaton sieppausalue (ns. steady state tai tasapainotilanne) kattaa kokonaan sen alueen, josta vesi virtaa tasapainotilassa kaivoon (kuva 2). Ajan suhteen arvioitu sieppausalue tarkoittaa puolestaan sitä, että esimerkiksi yhden vuoden sieppausalueen reunalta pohjaveden virtausaika kaivoon on 1 vuosi ja vastaavasti viiden ja kymmenen vuoden alueen reunoilta veden virtaus kaivoon kestää 5 ja 10 vuotta (kuva 3). Ajan suhteen arvioitua sieppausaluetta voidaan hyödyntää mm. vedenottamoiden lähi- ja kaukosuojavyöhykkeiden määrittämisessä.

31.12.2021

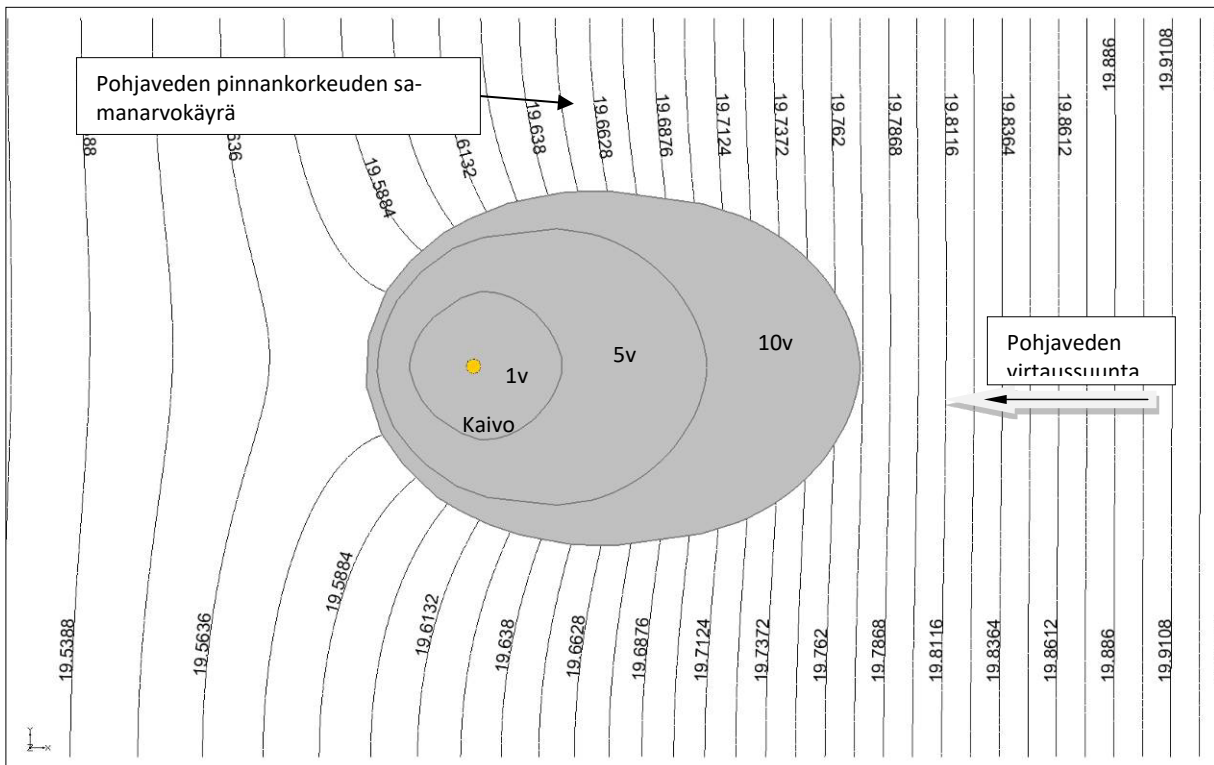


Kuva 2: Pohjaveden sieppausalue tasapainotilassa A) ylhäältäpäin ja B) vertikaalisuunnassa katsottuna. Koska kuvan kaivo ei ulotu kallionpintaan saakka, ei kaivoon virtaa vettä koko pohjavesimuodostuman paksuudelta.

Pohjaveden sieppausalueita voidaan arvioida useilla erilaisilla menetelmillä, kuten yksinkertaisella säteittäisellä menetelmällä (calculated fixed radius), volumetrisellä menetelmällä (unit gradient flow equation) ja HYBRID-menetelmällä (Paradis & Martel 2007). Luotettavin arvio kaivojen sieppausalueista voidaan kuitenkin laskea numeerisilla ns. partikkeleiden seuraamismenetelmillä (particle tracking

31.12.2021

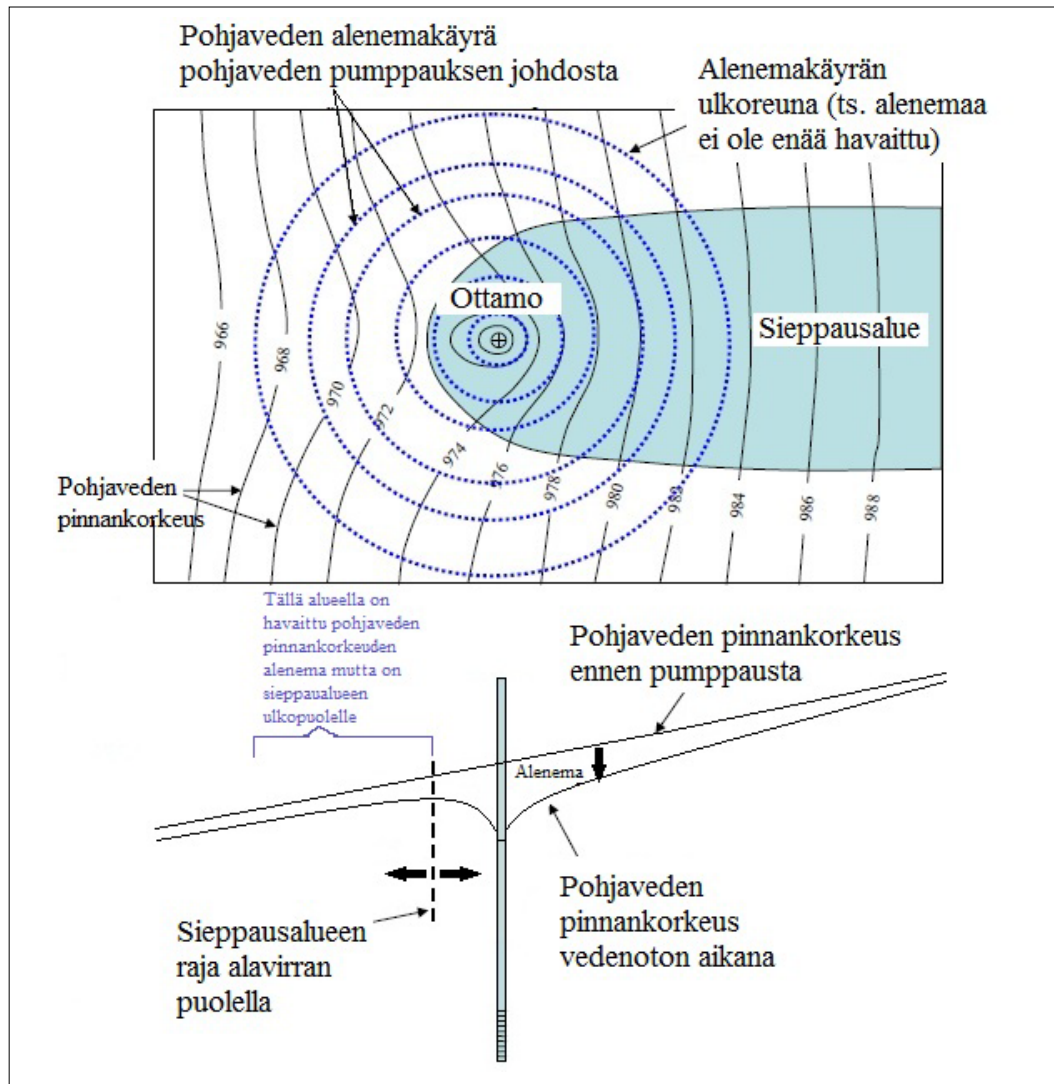
methods), kuten MODFLOW-MODPATH -menetelmällä. Kaivon sieppausalueen määrittämiseen tarvitaan pohjaveden virtausmalli (esim. MODFLOW), johon yhdistetään ns. partikkeleiden seuraamismenetelmä (esim. MODPATH). Tällöin huomioidaan parhaiten mm. pohjavesimuodostuman geologinen rakenne ja heterogeenisyys, ts. hydraulisen johtavuuden ja huokoisuuden vaihtelu eri geologisissa yksiköissä. Luotettava numeerinen sieppausalueen määrittäminen vaatii pohjaksi luotettavan virtausmallin, joka vaatii taustaksi luotettavan pohjavesialueen geologisen rakenneselvityksen ja maaperän 3D-mallin.



Kuva 3: Kaivon 1, 5 ja 10 vuoden pohjaveden sieppausalueet.

Pohjaveden pumppaus aiheuttaa aina muutoksen pohjaveden virtauskentässä. Kaivossa ja kaivon ympäristössä pohjavedenpinta tällöin yleensä alenee. Aleneman suuruus riippuu pohjavedenoton määrästä, pohjaveden muodostumisen määrästä, muodostuman geologisesta rakenteesta ja hydraulisista johtavuuksista sekä väliaineen huokoisuudesta. Pohjaveden pinnankorkeuden alenemakäyrä ei kuitenkaan ole sama asia kuin kaivon sieppausalue (kuva 4). Pohjaveden pinta voi alentua vedenoton seurauksena jossain pisteessä pohjavesialueella, mutta vesi ei kuitenkaan välttämättä virtaa sieltä kaivon (kuva 4, sinisellä katkoviivalla esitetty alenemakäyrä). Tämä johtuu siitä, että luonnossa pohjaveden pinta ei ole käytännössä koskaan tasainen vaan aina kalteva, eli pohjavesimuodostumassa esiintyy luontainen pinnankorkeusgradientti jo ennen pumppaustilannetta.

31.12.2021



Kuva 4: Pohjaveden pumppauksen aiheuttama pohjaveden pinnanalenemäkäyrä (sininen katkoviiva) ja ottamon pohjaveden sieppausalue (vaaleansininen varjostus).

2.6 Mallinnuksen tavoitteet

Pohjaveden virtausmallinnuksen (steady state) tavoitteena oli saada yleinen ja yhtenäinen käsitys Hanhikankaan pohjavesialueen alueelle rajatun mallinnusalueen pohjavedenpinnan tasoista sekä pohjaveden virtaus- ja purkautumissuunnista mallinnusalueen pohjaveteen rajautuvat pintavesistöt (Hanhilampi, Pankajoki, Hanhijoki, Kovalanlampi, Likolampi) huomioiden. Pintavesiä voi suotautua pohjavesimuodostumaan ja toisaalta pohjavettä voi purkautua pintavesistöihin. Pohjavettä voi purkautua myös mallinnusalueeksi rajatun alueen ulkopuolelle (esim. pohjaveden virtausta jakavan kalliokynnyksen yli) tai mallinnusalueella (lähde, lähteiköt).

31.12.2021

Mallinnusalueelle sijoittuvan Mikkelin Veden pohjavedenottamon osalta tavoitteena oli saada käsitys siitä, kuinka laajalta alueelta vettä virtaa ottamokaivoille (ottamokaivojen sieppausalueet).

Kun steady state -malli muutetaan transient -malliksi, voidaan sen avulla tehdä simulaatioita siitä, kuinka ilmastonmuutos vaikuttaa pohjavedenpinnan asemaan (m mpy.) eri vuodenaikoina tulevaisuudessa (luku 4). Saatuja simulaatiotuloksia voidaan hyödyntää pohjavedenoton tulevaisuuden suunnittelussa sekä erityyppisissä Hanhikankaan pohjavesialueen riskiarvioineissa.

2.7 Aineistot mallinnusta varten

2.7.1 Pinta-aineistot: Maa- ja kalliopinnan interpoloidut pintamallit

Virtausmallinnuksessa MODFLOW -laskentahilaverkon pinnan tasoksi määritettiin interpoloitu maanpinnan taso (m mpy. N2000). Tasotiedot on saatu Maamittauslaitoksen laserkeilauspistepilviaineistosta. GTK:n käytössä olevassa laserkeilausaineistossa maanpinnan asema on esitetty laserkeilauspistepilvestä interpoloituna rasteripintana (grid), jossa yksittäisen rasterin koko on 2 x 2 m.

Laskentaverkon pohjan tasona käytettiin alueelle interpoloimalla laadittua tiiviin pohjan pintamallia (ArcMap -ohjelma, Topo to Raster), joka on interpoloitu yhdistelmäpinta kallio- ja moreenipinnasta. Tiiviin pohjan pintamalli perustuu olemassa olevaan tutkimusaineistoon mm. alueelle eri aikoina tehtyihin kairauksiin, pohjavesiputkiasennuksiin, painovoimamittauksiin ja maatutkaluotauksiin (Väänänen et al. 2015).

2.7.2 Sadanta ja imeytyminen

Virtausmallinnusalueella pohjavettä muodostuu pääasiassa maa- ja kallioperään vajonneesta sade- ja sulamisvesistä. Sadevedestä maaperään ja siitä pohjavedeksi suotautuvan veden määrään vaikuttaa maalajin ja maanpinnan topografian ohella mm. kasvillisuuden laatu sekä ihmistoiminta (esim. maainestenoitotalueet). Yleisesti harju- ja kangasalueilla sadannasta muuttuu pohjavedeksi 30–60 % (Airaaksinen 1978) ja Zaitsoffin (1982) sekä Lemmelän (1990) mukaan 50–60 %. Vajovesitutkimuksen perusteella soranottoalueilla muodostuvan pohjaveden määrä on noin 60–70 % sadannasta (Sandborg 1993).

Mikkelin seudulla keskimääräinen vuosisadanta on ollut 641.4 mm vertailukaudella 1981–2010 (<http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>). Suomen ympäristökeskuksen julkaiseman Hydrologisen vuosikirjan 2006–2010 mukaan (Korhonen & Haavanlammi 2012) Saimaan lähialueilla keskimääräinen vuosisadanta on ollut vuosina 1991–2010 keskimäärin 639 mm. Keskimääräistä sadantamäärätietoa käytettiin, kun mallinnusohjelmaan arvioitiin lähtöarvoiksi mallinnusalueen eri osiin sadannasta pohjavedeksi imeytyvää vesimäärää.

31.12.2021

Mallinnusta varten harjualue jaettiin sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrän laskentaa varten osa-alueisiin pääasiassa alueen maaperäkartan maalajitietojen (GTK maaperäkartoitus 1:20 000 ja 1:200 000), maanpinnan topografian ja maa-ainesottoalueiden sijaintitietojen perusteella. Kunkin rajatun alueen osalle arvioitiin mallinnuksen alkuvaiheessa lähtöarvoksi sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrä, joka vaihtelee mallinnusalueen eri osissa (25–70 % kokonaissadannasta). Mallinnustulosten mukaan pohjavedeksi imeytynyt sadantamäärä Hanhikankaan alueella on noin 36 % keskimääräisestä vuosittaisesta sadantamäärästä (641.4 mm) eli 930.02 m³/d.

2.7.3 Maalajien vedenjohtavuus (K-arvot) pohjavesivyöhykkeessä

Mallinnuksen kannalta yksi keskeisimmistä asioista on harjualueen vedenjohtavuusvyöhykkeet, jotka jakaantuvat sen mukaan, miten raekooltaan erilaiset lajittuneet maalajit ovat sijoittuneet harjun pohjavesivyöhykkeeseen eri puolilla harjua. Jokaiselle mallinnusalueen rajatulle vedenjohtavuusvyöhykealueelle arvioitiin aluksi hydraulinen johtavuus (K-arvo) kirjallisuuden perusteella (taulukko 1). K-arvo kuvaa yksikerrosmallissa kunkin harjulle rajatun vedenjohtavuusalueen pohjavesivyöhykkeessä olevien eri maalajien yhteistä keskimääräistä vedenjohtavuutta. Lopulliset K-arvot saatiin virtausmallin kalibroinnissa.

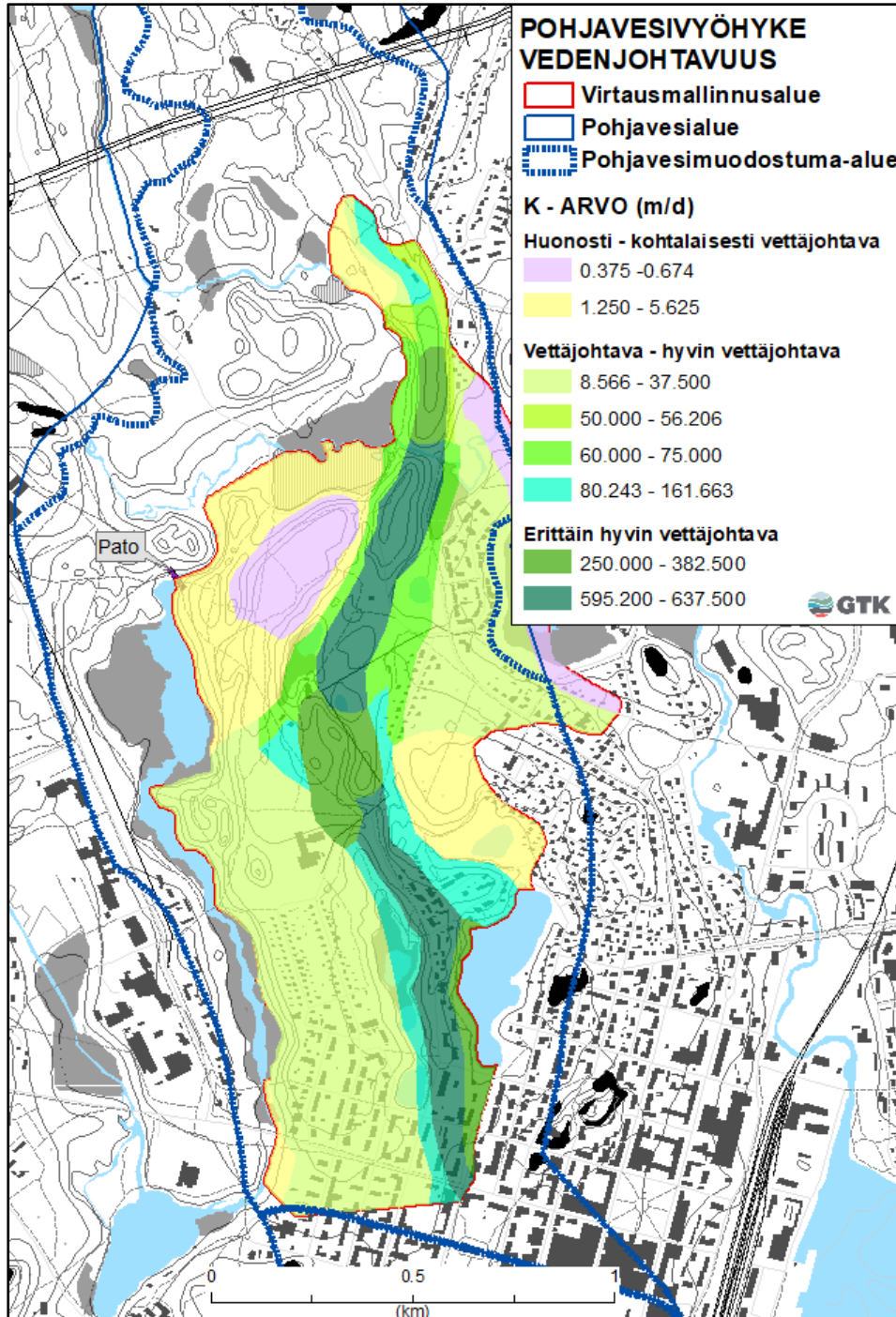
Taulukko 1. Vedenjohtavuuskertoimen (K) arvoja (m/s) Airaksisen (1978) ja Fetterin (2001) mukaan.

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

Mikkelin Hanhikankaalla virtausmallin ”trial – error” kalibroinnin jälkeen mallin kalibrointi tehtiin PEST-ohjelmalla (Doherty et al. 2010). PEST-ohjelma estimoitiin automaattisesti lukuarvoja kalibroituille parametreille, joita tässä työssä olivat K-arvojen ohella pohjaveden muodostuminen (luku 2.7.2) ja konduktanssiarvot (luku 2.7.4.1). Parametrejä estimoitiin niin kauan, kunnes Hanhikankaan mitatut ja MODFLOW-ohjelmistolla simuloidut pohjaveden pinnankorkeudet, vastasivat mahdollisimman tarkasti toisiaan (luku 2.8).

31.12.2021

Mallin kalibroinnin tuloksista voidaan todeta, että Hanhikankaan mallinnusalueen hydrauliset johtavuudet (K) vastaavat hyvin tai erittäin hyvin vettä johtavia maaleja. Heikoiten vettä johtava aines sijoittuu mallinnusalueen reunaosiin (kuva 5).



Kuva 5. Vedenjohtavuus (m/d) eli K-arvo pohjavesivyyhykkeessä Mikkelin Hanhikankaan pohjaveden virtausmallinnusalueella. Pohjakartta © Maanmittauslaitos, pohjavesialueet © Suomen ympäristökeskus.

31.12.2021

2.7.4 Mallissa käytetyt reunaehdot

2.7.4.1 Vesistöt

Mallinnusalueella tai sen reunamilla olevat pintavesistöt voivat olla kokonaan tai osittain yhteydessä pohjaveteen. Vesistöt voivat toimia harjun pohjaveden purkupaikkoina, tai vastaavasti pintaveden (lampi, joki, puro) imeytymispaikkoina, jolloin kyseessä on pohjaveteen sekoittuva ja sitä täydentävä pinta- tai orsivesi. Kaikki vesistöt on määritelty virtausmallissa vakiovedenpintoina, jolloin virtausmallin vesistöjen reunojen laskentasoluissa on lähtöarvoina käytetty pintavesistöjen keskimääräisiä vedenpinnan tasoja (m mpy.), jotka on saatu peruskartoilta, laserkeilausaineistosta tai alueella tehdyistä maastomittauksista.

Hanhikankaan mallinnusalue rajautuu länsiosistaan Hanhilampeen ja Pankajokeen. Edellä mainittujen vesistöjen vedenpintojen tasot määräytyvät pääsääntöisesti Hanhilammen pohjoispäähän sijoittuvan Tampinkosken padon padotuskorkeuden mukaisesti. Hanhilammen osalta vedenpinnan taso vaihtelee ja se on keskimäärin tasolla 89.4–89.5 m mpy. (N60). Hanhilampeen laskevassa Pankajoessa vedenpinta on hieman Hanhilampea korkeammalla tasolla. Mallinnusalueen kaakkoisosaan sijoittuu Likolampi ja koillisosaan Kovalanlampi. Pohjavedenottamon pohjoispuolella virtaa Hanhijoki, joka nimes-tään huolimatta on puro. Se virtaa lännestä itään poikki harjun keskiselänteen.

Hanhilammen ranta-alueet on määritelty virtausmalliin vakiovedenpintana (Specified Head -reuna-ehto) lammen patoutuneen vedenpinnan tason mukaisesti (m mpy.). Hanhilammen vesi voi suotautua harjumuodostumaan riippuen lammen ja harjualueen vedenpintojen tasoeroista. Virtaavaan veden määrään ja nopeuteen vaikuttaa myös ranta-alueen maalajin vedenjohtavuus. Hanhilammen veden pinnantaso on keskimäärin 89.5 m mpy.

Pankajoen, Likolammen ja Kovalanlammen ranta-alueet, samoin kuin Hanhijoki, on määritetty virtausmalliin vakiovedenpintoina käyttäen ns. General Head -reunaehto (GHB). Kun käytetään GHB reunaehto, niin mallinnusalueen reunan läpi virtaavan veden määrään ja nopeuteen vaikuttaa reuna-alueen ja mallinnusalueen vedenpintojen tasoero sekä konduktanssiarvo. Käytännössä GHB -reunaehdon konduktanssiarvon avulla voidaan mallinnuksessa huomioida vesistön rantojen heikommin vettä johtavia sedimentti- ja mineraalimaakerroksia (liejut, savet, turve) tai mallin ulkopuolelta malliin virtaavia vesimääriä.

2.7.4.2 Pohjavedenottamot

Mallinnusalueella on Mikkelin veden uusi pohjavedenottamo, jonka viidestä ottokaivosta pumpataan pohjavettä yhteensä keskimäärin 2 300 m³/d. Ottoluvan mukainen maksimiottomäärä on 4 500 m³/d (ISAVI/15/04.09/2010). Ottamokaivojen sijainti ja niiden keskimääräiset ottomäärät on annettu virtausmalliin lähtötietoina.

31.12.2021

2.7.4.3 Muut reunaehdot

Usein mallinnettavalle harjualueelle voi virrata vettä mallinnusalueeksi rajatun harjualueen ulkopuolisilta alueilta pintavaluntana tai maakerroksia pitkin suotautumalla varsinkin, jos harjualueen ympäristössä on korkeampia moreeni- tai kalliomäkiä tai soistumia ja pintavesistöjä, joiden tasot (m mpy.) ovat korkeammalla suhteessa mallinnusalueen maanpintaan tai pohjavedenpinnan tasoon nähden. Toisaalta alueet, jotka sijoittuvat mallinnusalueen ympäristöön niin, että niiden maanpinnan (ja/tai pohjavesipinnan) taso sijoittuu mallinnusalueella vallitsevaa luonnollista pohjavedenpinnan tasoa alemmalle tasolle, voivat toimia pohjaveden purkausalueina, jos muut tekijät (esim. kalliokynnykset, tiiviit maakerrokset, pohjaveden pumppaus) eivät paikallisesti estä tai ohjaa pohjaveden virtausta muualle. Näille mallin reuna-alueille voidaan reunaehdot määrittellä samoin kuin vesistöjen rannoille, eli silloin voidaan soveltaen käyttää General head -reunaehto, joka sallii pohjavettä täydentävän veden virtauksen malliin tai pohjaveden virtauksen mallinnusalueen ulkopuolelle alueen maalajien vedenjohtavuuksien sekä GHB-reunaehdon konduktanssiarvon määräämänä. Alueilla, joilla pohjavesiä purkautuu (esimerkiksi ojat, lähteet) tai pohjavedet purkautuvat mallinnusalueen ulkopuolelle (mallin ulkopuolisilta alueilta ei voi virrata täydentävää vettä malliin), voidaan käyttää drain -reunaehto.

Hanhikankaan virtausmallinnusalueella mallinnusalueen pohjoisreunan osalle asetettiin GHB-reunaehto. Pohjavettä voi GHB-reunaehdon kautta suotautua varsinaiselle mallinnusalueelle pohjoisen suunnalta, koska mallinnusalueen pohjoispuoliselle harjualueelle sijoittuu vettä hyvin johtavia ja varastoivia lajittuneita maakerroksia. Lisäksi em. mallinnusalueen pohjoispuolisella harjualueella maanpinta ja kalliopinta, sekä pohjavesipinta, kohoavat Hanhikankaan mallinnusalueella yleisesti vallitsevia maa-, kallio- ja pohjavedenpintoja korkeammalle tasolle.

Hanhikankaan mallinnusalueen etelä-kaakkoisopäässä pohjavedet purkautuvat etelään kohden Mikkelin taajama-alueella mallin eteläreunan alueelle sijoittuvan mahdollisen kapean kalliokynnyksen yli. Mallinnuksessa alue on määritelty pohjaveden purkauspaikaksi (Drain -reunaehto) kalliopinnan tason mukaisesti. Tämän em. kalliokynnyksen korkeusasema on epävarma, koska alueelta ei ole riittävän kattavaa tutkimustietoa.

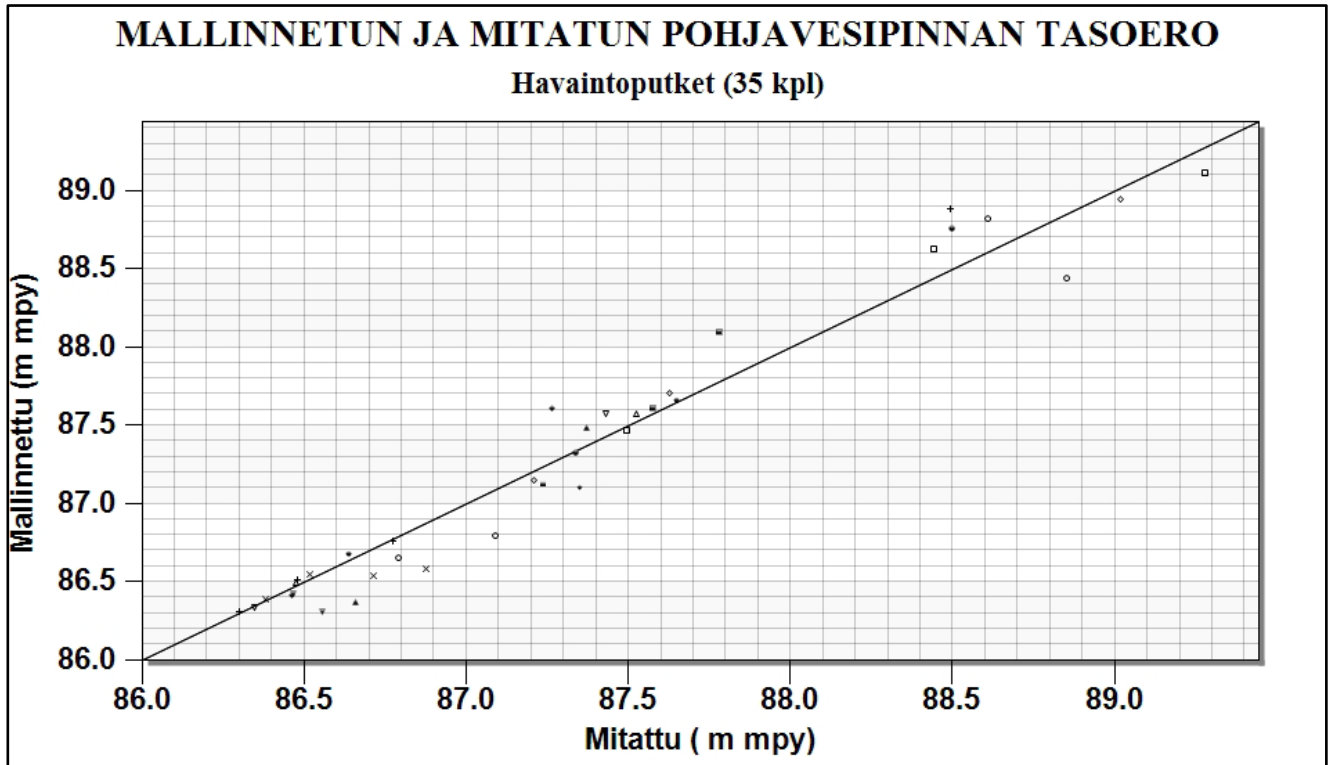
2.8 Mallin kalibrointi

Virtausmallin kalibrointi voidaan tehdä joko manuaalisesti ja/tai automaattisesti. Hanhikankaan mallinnusalueella virtausmallin kalibrointi tehtiin manuaalisesti (trial-error -menetelmä). Lisäksi käytettiin PEST eli automaattista parametrien estimointiohjelmia (luku 2.6.3).

Hanhikankaan virtausmalli kalibroidiin käyttäen mallinnusalueen havaintoputkista mitattuja pohjavesipinnan tasoja. Kalibrointi on prosessi, jossa mallin parametrejä (esimerkiksi pohjavedeksi imeytynyt sadantamäärä, K-arvot) muutetaan, kunnes havaitut pinnankorkeudet vastaavat mahdollisimman hyvin simuloituja pinnankorkeuksia.

31.12.2021

Kuvasta 6 voidaan havaita, että mallilaskenta toteuttaa hyvin havaitut pohjavedenpinnan tasot (taulukko 2), kun mallinnohjelman laskemia pohjavedenpinnan tasoja verrataan havaintoputkista mitattuihin vesipintoihin.



Kuva 6. Korrelaatio mallinnettujen ja pohjaveden havaintoputkista mitattujen vedenpintojen välillä Mikkelin Hanhikankaan pohjaveden virtausmallinnusalueella. Havaintoputket (35 kpl) on esitetty kaaviossa symboleilla.

Kuvan 6 tarkempi tarkastelu voidaan tehdä taulukkomuodossa. Taulukossa 2 on esitetty 35:n pohjaveden havaintoputken maastossa mitatut pohjavedenpinnan asemat sarakkeessa "Mitattu pv." ja vastaavasti sarakkeessa "Simuloitu pv." on mallinnohjelman laskema pohjavedenpinnan taso. Sarakkeessa "Ero" on esitetty virtausmallinnohjelman laskeman tason (m mpy.) ja pohjavesiputkesta mitatun pohjavedenpinnan tason (m mpy.) välinen ero metreinä (m) mallin kalibroinnin jälkeen. Mallinnohjelman pohjavesiputkista mitattujen ja virtausmallinnohjelman laskemien pohjavedenpinnan tasojen väliset erot ovat suuressa osassa havaintoputkia vain muutamia senttimetrejä tai kymmeniä senttimetrejä. Suurimmat erot ovat havaintoputkissa H0706 (0.39 m) ja H0906 (0.42 m), jotka sijaitsevat mallinnohjelman pohjoisosassa Hanhijoen eteläpuolella.

31.12.2021

Taulukko 2. Pohjavesiputkista mitatut pohjavedenpinnan tasot ("Mitattu pv.", m mpy.) ja vastaavat virtausmallinnusohjelman laskemat tasot ("Simuloitu pv.", m mpy.), sekä tasojen erotus ("Ero", m) Mikkelin Hanhikankaan pohjaveden virtausmallinnusalueella.

Tunnus	Mitattu pv. (m mpy.)	Simuloitu pv. (m mpy.)	Ero (m)	Tunnus	Mitattu pv. (m mpy.)	Simuloitu pv. (m mpy.)	Ero (m)
1	86.77	86.75	0.02	H0406	87.24	87.12	0.12
2	86.52	86.55	-0.03	H0506	89.02	88.94	0.08
11	87.09	86.79	0.30	H0606	87.35	87.10	0.25
21	88.50	88.76	-0.26	H0706	88.49	88.88	-0.39
23	88.44	88.62	-0.18	H0806	86.71	86.54	0.17
29	87.78	88.10	-0.32	H0906	88.85	88.44	0.42
51	87.21	87.15	0.06	HPE0114	87.34	87.32	0.02
52	86.46	86.41	0.05	HPE0214	87.49	87.47	0.03
GTK-001	87.37	87.48	-0.11	MW3	87.58	87.60	-0.03
GTK-002	87.43	87.57	-0.14	MW5	87.63	87.70	-0.07
GTK-003	86.47	86.42	0.04	MW6	87.27	87.60	-0.34
GTK-004	86.48	86.51	-0.03	K1	86.48	86.49	-0.01
GTK-005	86.88	86.58	0.30	K2	86.66	86.36	0.30
H0106	88.61	88.82	-0.21	K3	86.35	86.33	0.02
H0206	87.65	87.66	-0.01	K4	86.56	86.30	0.25
H0306	89.28	89.11	0.16	K5	86.30	86.31	-0.01
KP27	103.66	103.80	-0.14	Hp_105	103.57	103.83	-0.26
KP52	103.11	102.88	0.23				

3 VIRTAUSMALLINNUSSIMULAATIOIDEN TULOKSET – STEADY STATE -MALLINNUS

3.1 Yleistä

Hanhikankaan pohjavesialueella tärkeimmät tarkastelun kohteena ovat pohjaveden virtausmallinnustulokset liittyvät pohjavedenpinnan korkeusaseman ja virtaussuuntien muutoksiin (m mpy.), sekä pintavesien suotautumiseen pohjaveteen. Myös pohjavedenottamon eri ottamokaivojen ottomäärät (nykyotto, ottoluvan mukainen maksimiotto) ja kaivojen sieppausalueiden laajuus sekä pinta-pohjavesivuorovaikutuksen tarkastelu eri mallinnustilanteissa on tärkeää, kun arvioidaan pohjaveteen liittyviä riskejä, jotka voivat puolestaan liittyä ihmistoimintaan ja/tai ilmastomuutokseen.

31.12.2021

3.2 Pohjavedenpinta ja pohjaveden virtaus: 2 300 m³/d ja 4 500 m³/d

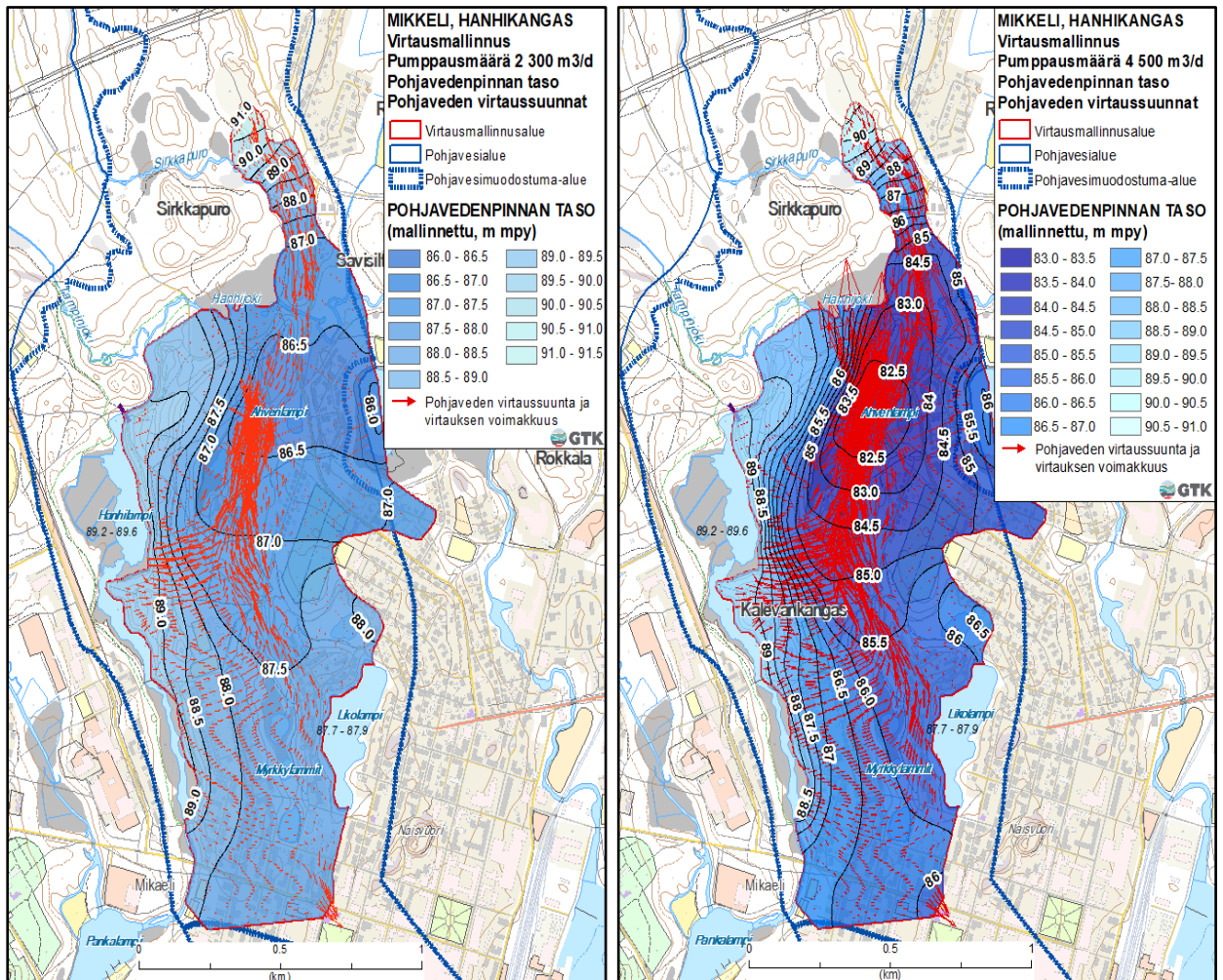
Kuvassa 7 on esitetty pohjavedenpinnan korkeusasema (m mpy.) sekä pohjaveden virtaussuunnat (mitä nopeampi virtaus, sitä pidempi virtausnuoli), kun Hanhikankaan pohjavedenottamolta pumpataan pohjavettä viidestä kaivosta yhteensä 2 300 m³/d, tai vaihtoehtoisesti ottoluvan mukainen maksimumimäärä eli 4 500 m³/d.

Hanhikankaan mallinnusalueella pohjaveden pinnan vietto ja yleiset pohjaveden virtaussuunnat ovat pumppausmäärällä 2 300 m³/d lännestä itään ja etelästä pohjoiseen kohden ottamokaivoja. Ottamokaivojen pohjoispuolella pohjavedenpinnan vietto kääntyy ja virtaussuunnat ovat pohjoisesta etelään. Mallinnusalueen eteläpäässä pohjaveden virtaussuunta kääntyy etelään ja pohjavettä purkautuu Hanhikankaan alueelta Mikkelin taajama-alueen suuntaan oletetun kalliokynnyksen yli. Kalliokynnyksen asema on epävarma, koska virtausmallinnusalueen etelälaidalla kalliopinnan tasosta ei ole riittävän kattavaa tutkimustietoa.

Pumppausmäärällä 4 500 m³/d pohjavedenpinnan yleinen vietto ja virtaussuunta ovat pääosin samat kuin ottomäärällä 2 300 m³/d, mutta ottamokaivojen itä- ja koillispuolella pohjavedenpinnan vietto ja virtaussuunnat muuttuvat ja ovat idästä länteen kohden ottamokaivoja. Pohjavettä purkautuu edelleen Mikkelin taajaman suuntaan, mutta noin puolet vähemmän kuin ottomäärällä 2 300 m³/d (luku 3.4).

Virtausmallisimulaatioiden mukaan pohjavedenpinta kaivoalueella vaihtelee pumppausmäärällä 2 300 m³/d välillä noin 86.5–87.0 m mpy. ja pumppausmäärällä 4 500 m³/d välillä noin 82.5–85.0 m mpy. Pohjaveden virtaus on voimakkainta ottamokaivojen suuntaan Kalevankankaan pohjoisreunalla Hanhilammen ranta-alueen suunnalta, sekä harjun vettä johtavassa ydinosassa ottamokaivojen etelä- ja pohjoispuolella.

31.12.2021



Kuva 7. Pohjavesipinnan taso ja pohjaveden virtausuunnat pumppausmäärällä 2 300 m³/d ja 4 500 m³/d Mikkelin Hanhikankaan pohjaveden virtausmallinnusalueella. Pohjakartta © Maanmittauslaitos, HALTIK 2021, pohjavesialueet © Suomen ympäristökeskus.

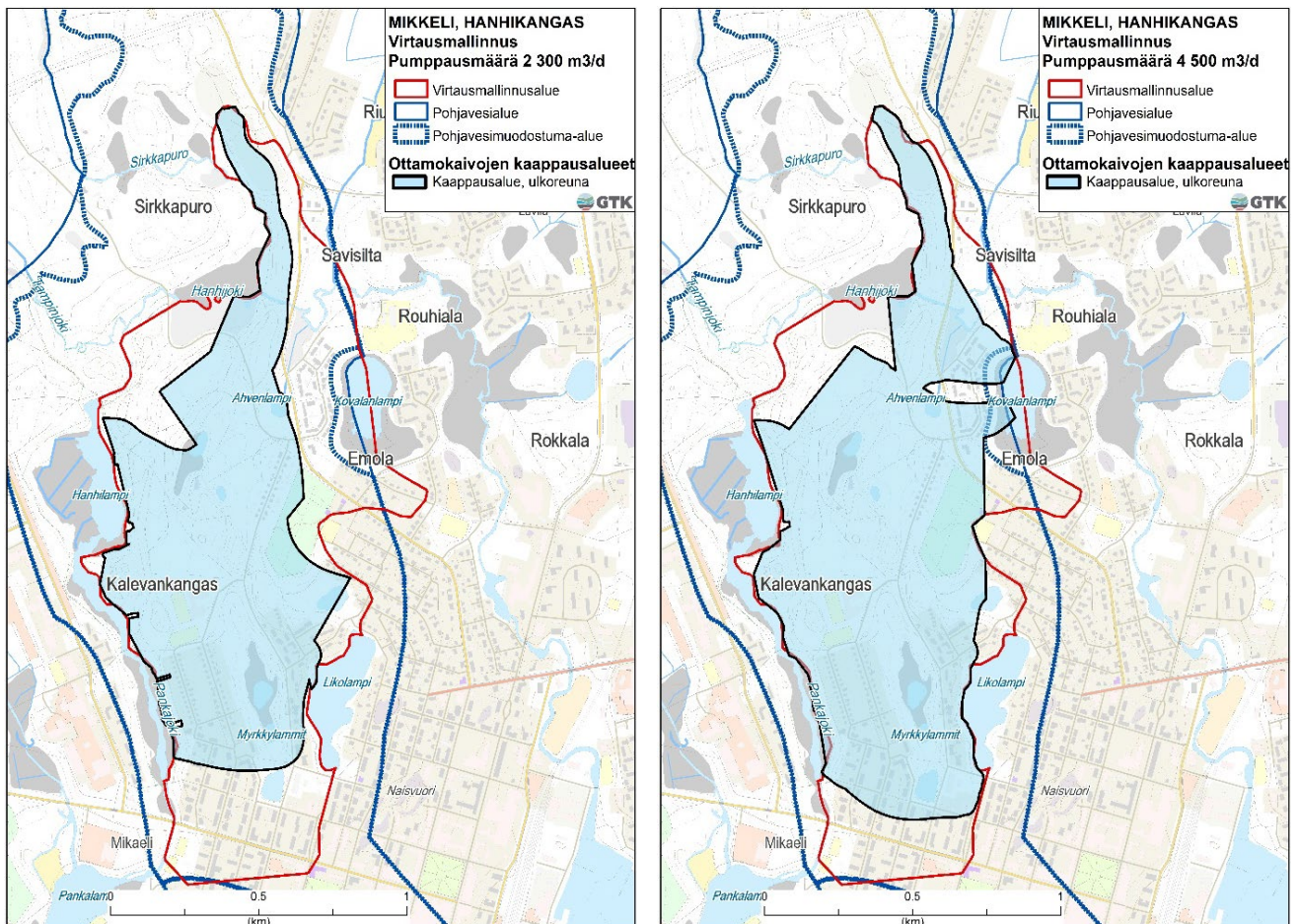
3.3 Sieppausalueet, virtausreitit ja kulkeutumisaajat: 2 300 m³/d ja 4 500 m³/d

MODFLOW/MODPATH-ohjelma (luku 2.4) laskee ottamokaivojen pohjaveden sieppausalueet sekä pohjaveden kulkeutumisreitit kaivoille (kuva 8). Pumppausmäärällä 2 300 m³/d ottamokaivojen K1 – K4 sieppausalueet suuntautuvat länteen ja etelälounaaseen, joista suunnista pohjavesi virtaa ottamokaivoille pääosin Kalevankankaalta ja sen eteläpuolisilta alueilta, jotka puolestaan liittyvät Hanhilampeen ja Pankajokeen. Kaivon K5 osalta sieppausalue suuntautuu pohjoiseen ja toisaalta myös kaakkoon, jossa suunnassa se ylittää hautausmaan eteläpuolelle, paikallisesti Likolammen ranta-alueelle saakka. Kaivon K5 pohjoispuolelle sijoittuva Hanhijoki ja kaakkoispuolelle sijoittuva Likolampi olisivat pääosin pohjaveden purkauspaikkoja, kun pohjaveden pumppausmäärä on 2 300 m³/d. Likolammen purkautuva pohjavesimäärä olisi hyvin alhainen (0.4 m³/d, luku 3.3 ja luku 3.4 taulukko 3).

31.12.2021

Mikäli Likolammen pinta kohoaa (esim. rankkasateen seurauksena) virtausmalliin määritetyn tason (87.52 m mpy.) yläpuolelle, on virtausmallinnustulosten tulkinnan pohjalta arvioituna kuitenkin mahdollista, että lammen ranta-alueilta harjuun pohjavedeksi tulvatilanteessa suotautunut lampivesi voisi pohjaveteen sekoittuneena päätyä ottamokaivoalueelle pidemmän ajan kuluessa. Kuten kuvista 7 ja 8 voidaan havaita, kääntyvät pohjaveden virtaussuunnat Likolammen länsipuolisella harjualueella kohden pohjoista ja ottamokaivoaluetta jo alhaisemmalla pohjaveden pumppausmäärällä (2 300 m³/d).

Kun pohjavettä pumpataan 4 500 m³/d, säilyvät kaivojen K1–K3 sieppausalueet lähes samankokoisina ja -muotoisina kuin pumppausmäärällä 2 300 m³/d. Sen sijaan kaivon K4 sieppausalue laajenee kattaen koko keskeisen mallinnusalueen lukuun ottamatta ottamokaivojen pohjoispuolelle sijoittuvaa harju- aluetta, jolta alueelta pohjavesi virtaa kaivolle K5. Pohjaveden purkautuminen loppuu pääosin Hanhipuroon ja purovesiä suotautuu pohjavedeksi (vrt. luku 3.4, taulukko 3). Pohjavesien virtaussuunta Hanhipuron alueella on kohden kaivoa K5. Suuremmalla pumppausmäärällä (4 500 m³/d) ottamokaivojen K4 ja K5 sieppausalueiden vaikutuspiirissä ovat myös Likolampi ja Kovalanlampi, jotka alkavat toimia pintavesien imeytymispaikkoina.



Kuva 8. Ottamokaivojen sieppausalueet pumppausmäärillä 2 300 m³/d ja 4 500 m³/d Mikkelin Hanhikankaan pohjaveden virtausmallinnusalueella. Pohjakartta © Maanmittauslaitos, HALTIK 2021, pohjavesialueet © Suomen ympäristökeskus.

31.12.2021

MODFLOW/MODPATH –ohjelman laskemien pohjaveden virtausreittien osalta tarkastelua voidaan tehdä myös pohjaveden kulkeutumisaikojen osalta. Tässä yhteydessä on syytä huomioida, että virtausmalli on yksikerroksinen, jossa pohjavesivyöhykkeen eri maalajivyöhykkeille määritetyt vedenjohtavuusarvot ovat keskiarvoja (luku 2.6.3). Esimerkiksi virtausmallissa harjun ydinsora-alueeksi rajatussa maalajivyöhykkeessä raekoko voi luonnossa vaihdella kerroksittain hiekasta soraan, kiviin ja lohkareisiin, mikä heijastuu erilaisina vedenjohtavuuksina kunkin rajatun maalajivyöhykkeen sisäisen kerrosrakenne mukaisesti. Mutta yksikerrosmalli ei sinällään huomioi virtausmalliin rajattujen eri maalajivyöhykkeiden maalajivaihtelua (K-arvovaihtelua), vaan kullekin maalajivyöhykkeelle kalibroitu vedenjohtavuuskertoimen arvo (K-arvo) kuvaa ko. rajatun maalajivyöhykkeen sisältämien eri maalajien (maalajikerrosten) keskimääräistä vedenjohtavuutta. Tästä syystä MODFLOW/MODPATH-ohjelman yksikerrosmallista laskemien kulkeutumisaikojen tarkastelussa on syytä olla kriittinen.

Saatujen tulosten mukaan pumppausmäärällä 2 300 m³/d Hanhilammesta pohjaveteen suotautunut ja siihen sekoittunut pintavesi päätyisi ottamokaivoille minimissään 298 vuorokaudessa (noin 9.8 kk). Vastaavasti kauempaa Pankajoen ranta-alueilta kulkeutumisaika olisi minimissään 2.8 vuotta.

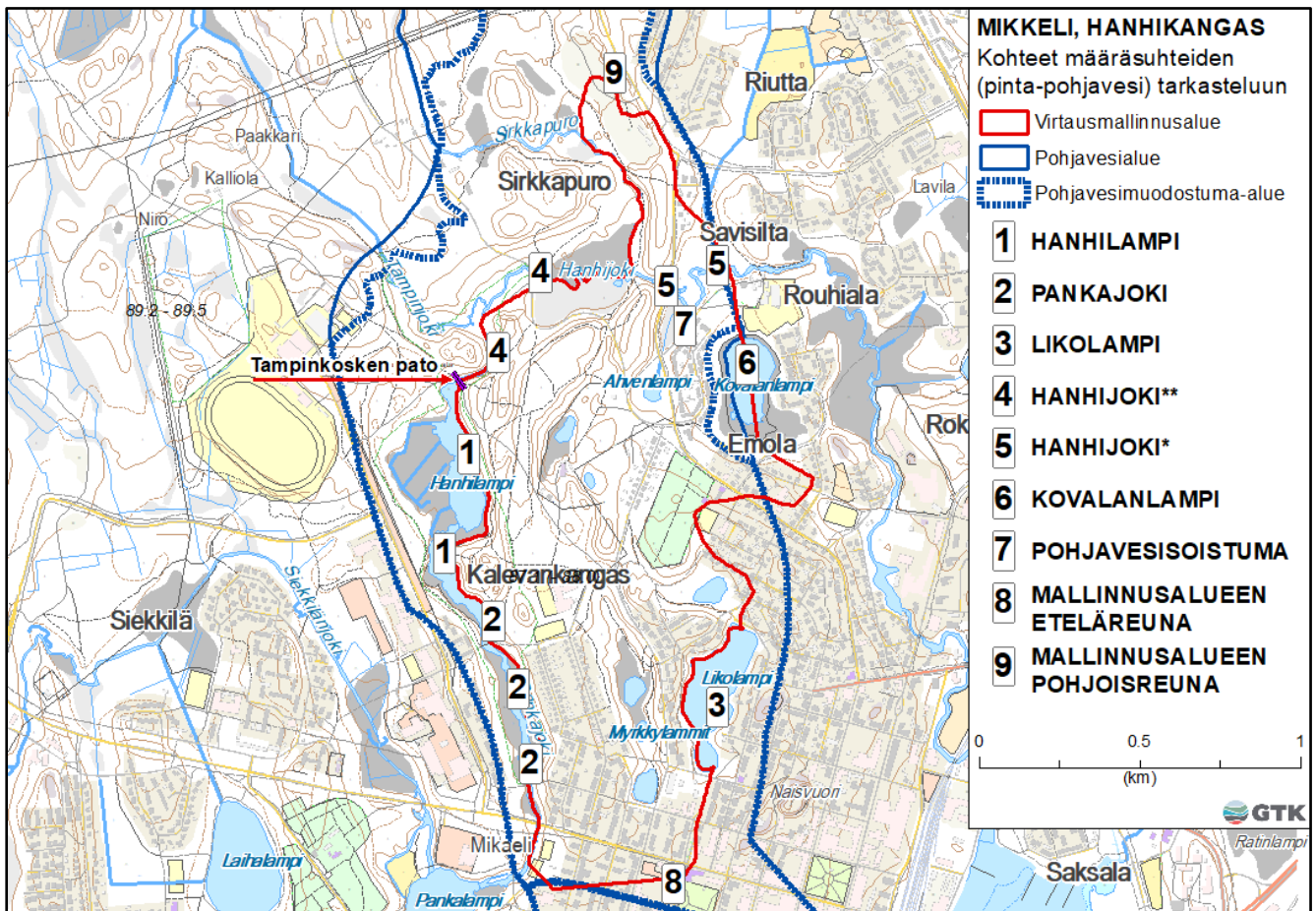
Likolammen vedenpinta vaihtelee useita kymmeniä senttimetrejä vuodenaikojen ja esimerkiksi vesisateliteilanteiden mukaan. Tilanteissa, jossa Likolammen vedenpinta kohoaisi alueella vallitsevaa ja mallinnuksessa käytettyä yleistä pohjavedenpintaa korkeammalle tasolle, olisi mahdollista, että lammen ranta-alueilta alkaisi suotautua lampivettä harjuun pohjavedeksi. Virtausmallin partikkelien kulkeutumisaikojen tarkastelun mukaan, kun pumppausmäärä on 2 300 m³/d, olisi pohjaveden kulkeutumisaika lammen ranta-alueilta (ja lammen rannan imeytymispaikasta riippuen) ottamokaivoalueelle minimissään noin 5 vuotta.

Simuloitaessa pohjavedenottoa ottoluvan mukaisella maksimipumppausmäärällä 4 500 m³/d, muuttuu tilanne siten, että alueen kaikista pintavesistöistä alkaa suotautua vettä pohjavedeksi. Samalla voidaan todeta, että pohjaveden purkautuminen ympäristöönsä loppuu muualla paitsi mallinnusalueen eteläpäässä (luku 3.4, taulukko 3). Pumppausmäärällä 4 500 m³/d pohjaveden kulkeutumisaika ottamokaivoalueelle Kalevankankaan pohjoispuoliselta Hanhilammen rantavyöhykealueelta olisi minimissään 147 vrk (noin 4.8 kk) ja vastaavasti etelämpää Pankajoesta noin 1.5 vuotta. Likolammen rantavyöhykkeen alueelta pohjaveden kulkeutumisaika ottamokaivoalueelle olisi minimissään noin 2.7 vuotta. Vastaavasti ottamokaivojen pohjoispuolisen harjua poikittain leikkaavan Hanhijoen alueelta (josta ottoluvan mukaisella maksimipumppausmäärällä pintavettä suotautuu pohjavedeksi) pohjaveden kulkeutumisaika kaivolle K5 olisi minimissään noin 83 vuorokautta (noin 2.7 kk). Kovalanlammen rantavyöhykkeen alueelta pohjaveden virtaus ottamokaivoille kestäisi minimissään noin 1.4 vuotta, mikäli Kovalanlammen länsipuolella kalliopinta (tai moreenipinta) ei kohoa pohjaveden virtausta hidastavaksi tai estäväksi selänneeksi. Kovalanlammen alueelta ei ole tutkimustietoa maakerrospaksuuksista tai maaperän kerrosjärjestyksestä (maalajeista).

3.4 Pintavesi – pohjavesi -vesimäärätarkastelu: 2 300 m³/d ja 4 500 m³/d

Kuvassa 9 olevaan karttaan on merkitty yhdeksän kohdetta, joissa on tehty tarkempaa kohteellista tarkastelua pinta- ja pohjavesimääräsuhteiden, sekä pohjaveden purkautumisen osalta (vrt. taulukko 3) pohjaveden pumppausmäärillä 2 300 m³/d ja 4 500 m³/d.

31.12.2021



Kuva 9. Mikkelin Hanhikankaan pohjaveden virtausmallinnusalueen pohjaveteen liittyvät pintavesistöt ja alueet, joilta virtaa pohjavettä mallista pois tai mallin suuntaan (vrt. taulukko 3). Pohjakartta © Maanmittauslaitos, HALTIK 2021, pohjavesialueet © Suomen ympäristökeskus.

Virtausmallinnustulosten mukaan, kun pohjavettä pumpataan $2\,300\text{ m}^3/\text{d}$, suotautuu Hanhilammesta (1) ja Pankajoesta (2) pohjavettä täydentävää pintavettä yhteensä $1\,587\text{ m}^3/\text{d}$. Hanhilammen osuus edellä mainitusta vesimäärästä on $893\text{ m}^3/\text{d}$ ja Pankajoen $694\text{ m}^3/\text{d}$. Vastaavasti, kun pohjavettä pumpataan $2\,300\text{ m}^3/\text{d}$, purkautuu Kovalanlampeen (6) pohjavettä $126.6\text{ m}^3/\text{d}$. Pohjavettä purkautuu hyvin pieniä määriä ($0.4\text{ m}^3/\text{d}$) myös Likolampeen (3), mutta Likolammesta saattaa olosuhteista riippuen myös suotautua lampivettä pohjavedeksi (vrt. luku 3.3). Hanhijokeen (4 ja 5) purkautuvan pohjaveden määrä on kokonaisuudessaan $118\text{ m}^3/\text{d}$, josta määrästä $79.2\text{ m}^3/\text{d}$ purkautuu Hanhijoen osaan (5), joka virtaa ottamokaivojen pohjoispuolelle sijoittuvan harjuselänteen poikki. Mallin mukaan ottomäärällä $2\,300\text{ m}^3/\text{d}$ tapahtuisi Hanhijoessa (5) pohjaveden purkautumisen ohella samanaikaisesti myös vähäistä ($0.7\text{ m}^3/\text{d}$) puroveden imeytymistä pohjavedeksi. Ottamon koillispuolella sijaitsevalle Hanhijokeen liittyvälle pienialaiselle soistuma-alueelle (7) purkautuu pohjavesiä $29\text{ m}^3/\text{d}$. Soistuma-alueelle purkautuvat pohjavedet ovat pääosin lähtöisin Hanhipuron pohjoispuolisen harjualueen suunnalta. Pohjavesiä purkautuu mallinnusalueelta Mikkelin taajaman suuntaan $212\text{ m}^3/\text{d}$ matalan kalliokynnyksen (8) yli mallinnusalueen eteläpäässä (taulukko 3).

31.12.2021

Ottoluvan mukaisella maksimipumppausmäärällä (4 500 m³/d) simuloituna Harjumuodostumaan imeytyisi mallinnustulosten mukaan pintavesiä mallinnusalueen eri osista yhteensä 3 438 m³/d. Hanhilammesta ja Pankajoesta suotautuvan pohjaveden määrä olisi 2 807 m³/d. Tästä edellä mainitusta vesimäärästä Hanhilammen osuus olisi 1 617 m³/d ja Pankajoen 1 191 m³/d. Lisäksi pintavesiä imeytyisi Hanhijoesta, Kovalanlammesta sekä Likolammesta yhteensä 631 m³/d (taulukko 3).

Ottoluvan mukaisella maksimimäärällä pumpattaessa (4 500 m³/d) alkaa simulaatiotulosten mukaan Hanhijoesta suotautua pintavettä pohjavedeksi noin 330 m³/d. Tästä edellä mainitusta määrästä suurin osa (noin 270 m³/d) suotautuisi ottamokaivojen pohjoispuolisen harjun keskiselänteen poikki virtaavalta Hanhijoen osalta. Tässä yhteydessä on syytä huomioida MODPATH-ohjelmalla mallinnettu pohjaveden kulkeutumisaika Hanhijoen (5) alueelta pohjoisimmalle ottamokaivolle K5, joka on noin 2.7 kk (noin 83 vuorokautta).

Pumppausmäärällä 4 500 m³/d pohjavesien purkautuminen Hanhijokeen liittyvälle lähdesoistuma-alueelle (7) loppuu. Likolammesta (3) suotautuu lampivesiä pohjavedeksi 10 m³/d ja Kovalanlammesta (6) vastaavasti noin 314 m³/d (taulukko 3).

Taulukko 3. Pohjavedeksi suotautuvien pintavesien sekä pintavesiin purkautuvien pohjavesien määrät Mikkelin Hanhikankaan pohjaveden virtausmallinnusalueella (kohteiden sijainti, kuva 9).

	Karttakohteet (kuva 9) ja niihin liittyvät vesimäärät (m³/d)				
Pumppausmäärä (m³/d)	1.Hanhilampi (suotautuva pintavesimäärä)	2.Pankajoki (suotautuva pintavesimäärä)	3.Likolampi (suotautuva pintavesimäärä)	3.Likolampi (purkautuva pohjavesimäärä)	8.Mallin eteläreuna (Mikkelin taajaman suuntaan purkautuva pohjavesimäärä)
2 300	893.3	693.8	0.0	0.4	211.8
4 500	1 616.5	1 190.5	10.2	0.0	123.9
	4.Hanhijoki (suotautuva pintavesimäärä)	4.Hanhijoki (purkautuva pohjavesimäärä)	5.Hanhijoki (suotautuva pintavesimäärä)	5.Hanhijoki (purkautuva pohjavesimäärä)	9.Mallin pohjoisreuna (mallinnusalueen pohjoispuoliselta harjualueelta Hanhikankaalle virtaava pohjaveden määrä)
2 300	1.4	39.1	0.7	79.2	268.0
4 500	36.6	23.5	270.9	0.0	293.9
	6.Kovalanlampi (suotautuva pintavesimäärä)	6.Kovalanlampi (purkautuva pohjavesimäärä)	7.Soistuma (purkautuva pohjavesimäärä)		
2 300	0.0	126.6	29		
4 500	313.8	5.8	0		

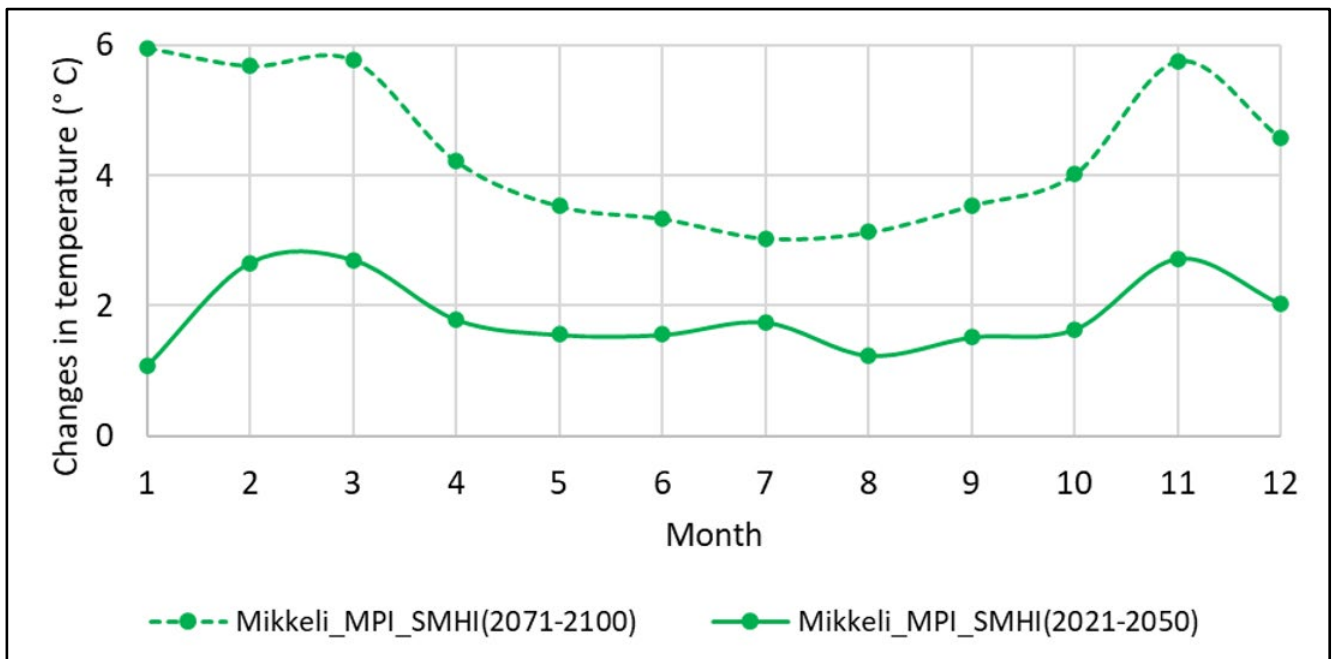
31.12.2021

4 POHJAVESIMALLIN LIITTÄMINEN ILMASTOMALLIIN – TRANSIENT-MALLINNUS

4.1 Ilmastomalli

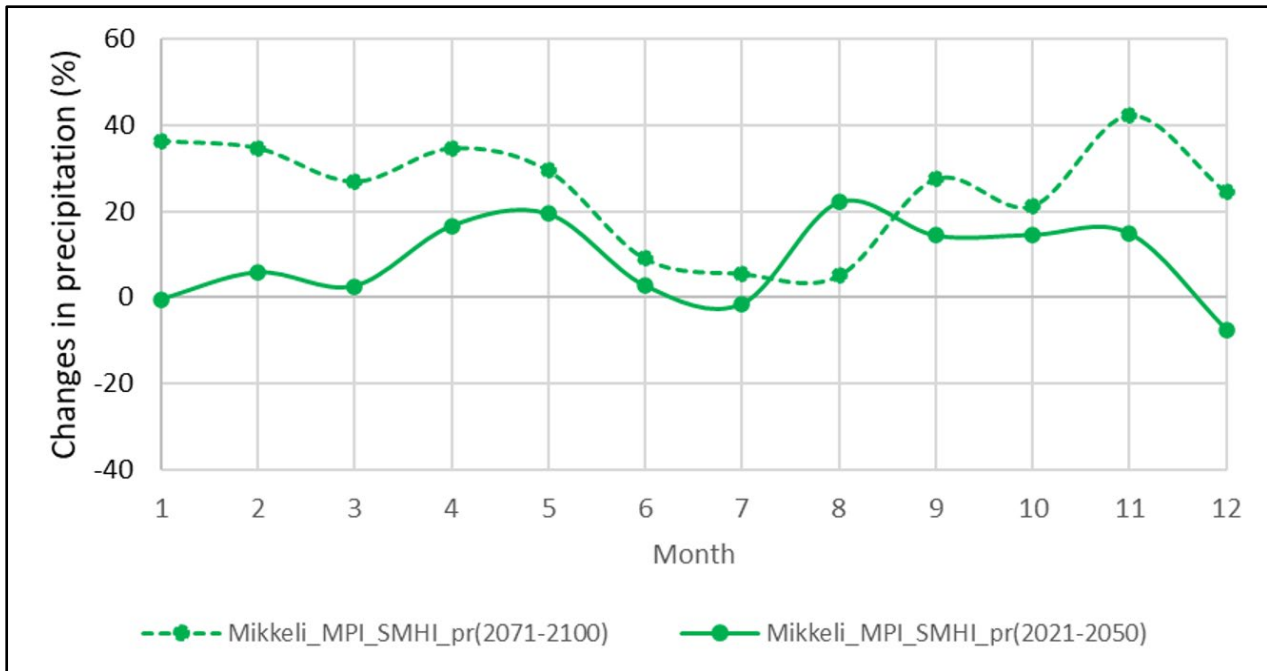
Tässä työssä käytettiin Swedish Meteorological Hydrological Instituten (SMHI) RCA4 alueellista ilmastomallia, jonka taustalle valittiin IPCC:n RCP8.5 päästöskenaario, kun simuloitiin ilmastomuutosten vaikutuksia Hanhikankaan mallinnusalueen pohjavedenpinnantasoihin. Max Planck Institute for Meteorology Earth System Model määrittää reunaehdot RCA4 mallille (SMHI 2017).

RCA4 mallin antamat tulokset nykyilmastosta ja havaitut ilmasto-olosuhteet Mikkelissä poikkeavat jossain määrin toisistaan. Tämän vuoksi laskettiin, kuinka paljon sadanta (P) ja lämpötila (T) muuttuvat Mikkelissä kahden 30 vuotta kestävä tarkastelujakson aikana (kuvat 10–11) verrattuna aikajaksoon 1981–2010 (2021–2050 verrattuna 1981–2010, sekä 2071–2100 verrattuna 1981–2010), jolta on olemassa yhtenäistä sadannan ja lämpötilan seurantatietoa. Sadannan ja lämpötilan muutosarvot (ΔT ja ΔP) laskettiin yhteen SYKE:n tuottamaan säädataan jaksosta 1981–2010. Näin saatuja laskennan tuloksia käytetään RCA4 mallitulosten sijasta. Laskelmamenetelmästä tarkemmin Jylhä et al. (2004) ja Klein & Luoma (2020).



Kuva 10. Lämpötilan muutos Mikkelissä ajanjaksoilla 2021–2050 (vihreä viiva) ja 2071–2100 (vihreä katkoviiva) verrattuna ajanjaksoon 1981–2010 (alueellinen ilmastomalli SMHI-RCA4, globaalimalli MPI-ESM-LR, RCP 8.5).

31.12.2021



Kuva 11. Sadannan muutos Mikkelissä ajanjaksolla 2021–2050 (vihreä viiva) ja 2071–2100 (vihreä katkoviiva) verrattuna ajanjaksoon 1981–2010 (alueellinen ilmastomalli SMHI-RCA4, globaalimalli MPI-ESM-LR, RCP 8.5).

4.2 Ilmastomuutoksen simulointi – sadannasta pohjavedeksi imeytyvä vesimäärä

Ilmastomuutoksen aiheuttamia vuosittaisia muutoksia voidaan simuloida, kun steady state -virtausmalli muutetaan ajansuhteen muuttuvaksi eli ns. transient -virtausmalliksi ja malliin (MODFLOW) kytketään pohjaveden yläpuolinen pohjavedellä kyllästymätön eli osittain kyllästynyt maakerrososuus. Tällöin voidaan laskea valitun ilmastoskenaariomallin mukainen sadannasta (vesi, lumi) pohjavedeksi imeytyvän vesimäärän vaihtelu huomioiden evapotranspiraatio eli haihdunta sekä pintavalunta. Eli pohjavedeksi imeytyvä vesimäärä riippuu lumen sulannasta, vesisateesta, haihdunnasta ja pintavalunnasta.

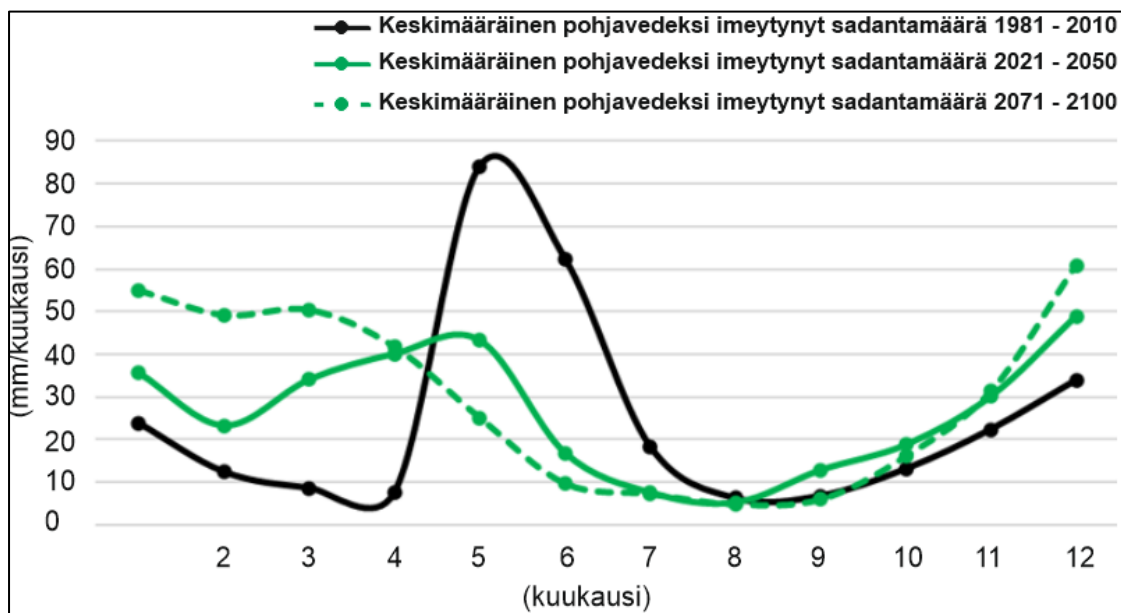
Lumimallissa lähtötietoina ovat ilman lämpötila, sadanta ja lumen vesiarvo. Lumimalli kalibroidaan mittattuihin lumen vesiarvoihin. Tässä työssä laskettu lumen kertyminen, sulanta ja potentiaalinen haihdunta (lumimalli) vietiin lähtötietoina osittain kyllästyneen kerroksen malliin (UZF). UZF ja MODFLOW-mallit ovat osa GMS-virtausmallinnusohjelmistoa, jossa varsinainen laskenta suoritetaan.

31.12.2021

Kuvassa 12 on esitetty Hanhikankaan alueen keskimääräinen sadannasta pohjavedeksi imeytynyt vesimäärä kuukausittain aikavälillä 1981–2010, sekä valitulla ilmastoskenaariolla ja päästöskenaariolla (2021–2050 ja 2071–2100) laskettuna (kappale 4.1). Kun tarkastellaan historiallista ajanjaksoa 1981–2010, sadannasta pohjavedeksi imeytyvä vesimäärä on suurin keväisin touko-kesäkuussa (musta käyrä, kuva 12). Tilanne muuttuu ilmastoskenaarioiden mukaan aikaväleillä 2021–2050 ja 2071–2100 siten (vihreät käyrät), että keväisin touko-kesäkuussa tapahtuva sade- ja sulamisveden imeytyminen pohjavedeksi vähenee ja toisaalta se lisääntyy talvikuukausina (tammi-huhtikuu). Kesä- ja syyskesäaikana sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrä vähenee, kun taas syyskesällä, syksyllä sekä alkutalvesta sen määrä hieman lisääntyy nykyiseen nähden.

Ilmastonmuutoksen osalta on esitetty myös näkemyksiä, että tulevaisuudessa vuosittainen lumipeitteen paksuus voisi alentua lumisateen vähetessä (Krasting et al. 2013). Toisaalta talvikuukausina voi tapahtua enemmän sadannasta pohjavedeksi imeytymistä verrattuna ajanjaksoon 1981–2010, joka voi olla seurausta esimerkiksi pidemmistä roudattomista jaksoista.

Tulevaisuudessa lisääntyneen sadannan myötä myös pintavalunta voi voimistua (Hägglom et al. 2020). Tällöin pintavesistöihin voi päätyä ajanjaksoa 1981–2010 enemmän talvisadannasta peräisin olevia valumavesiä, jotka puolestaan voivat täydentää talvikuukausien aikana varsinkin sellaisia pohjavesivarastoja, jotka ovat yhteydessä pintavesistöihin.

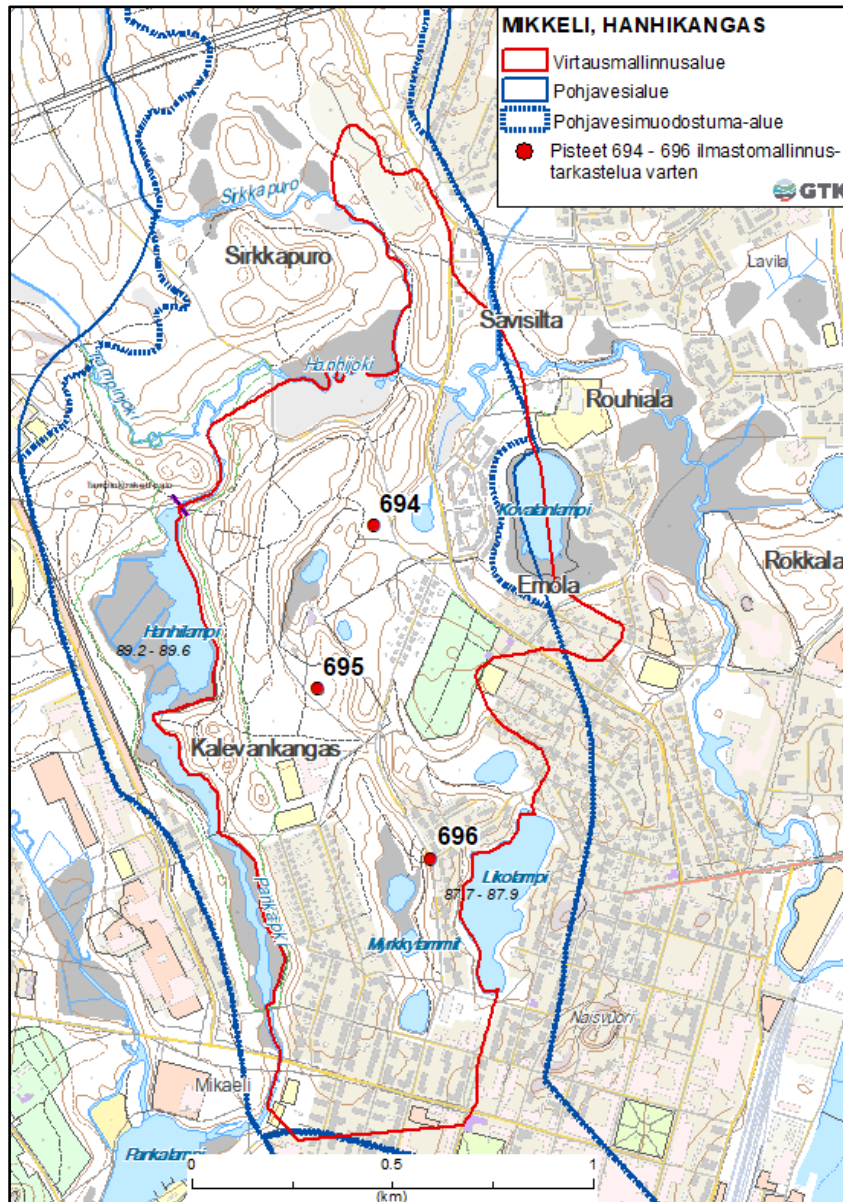


Kuva 12. Kuva 12. Keskimääräinen sadannasta pohjavedeksi imeytyvä vesimäärä ajanjaksoilla 1981–2010 (musta viiva), 2021–2050 (vihreä viiva) ja 2071–2100 (vihreä katkoviiva) Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueella.

31.12.2021

4.3 Simuloitu pohjavesipinnan taso aikaväleillä 2021–2050 ja 2072–2100

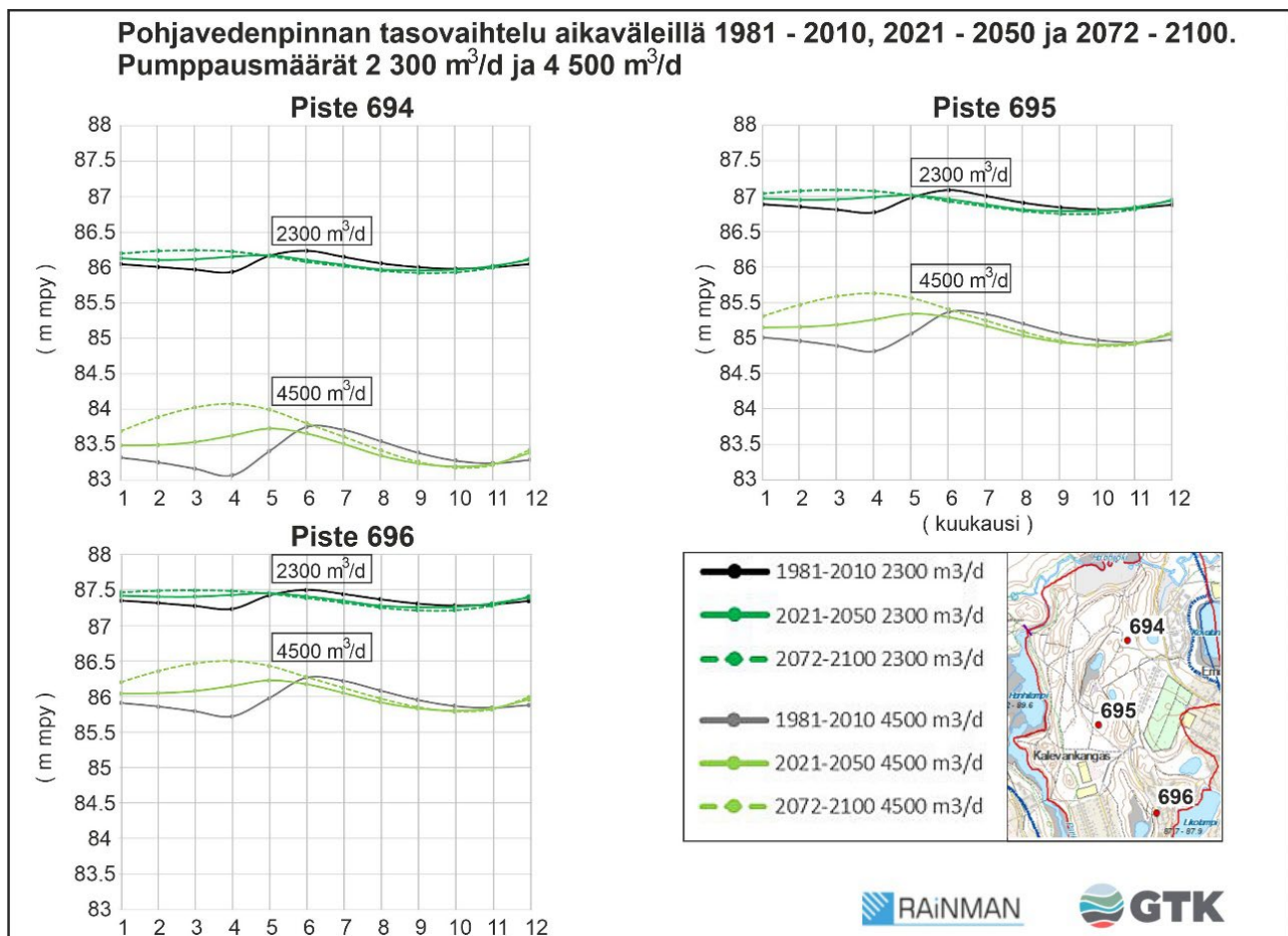
Ilmastonmuutokseen liittyvien mallinnustulosten tarkastelua varten mallinnusalueelta valittiin kolme virtausmallinnusalueen laskentatasoa (694, 695 ja 696), joiden sijainti on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Alueellisten ilmastomallien tarkastelua varten valittujen laskentatasolujen 694, 695 ja 696 sijainti Mikkelin Hanhikankaan pohjaveden virtausmallinnusalueella. Pohjakartta © Maanmittauslaitos, HALTIK 2021, pohjavesialueet © Suomen ympäristökeskus.

31.12.2021

Kuvassa 14 on esitetty ilmastosimulaatioajojen tuloksena Hanhikankaan mallinnusalueen pohjavedenpinnan tasot, kun tarkastelu on tehty kolmessa virtausmallin laskentaselussa (694, 695 ja 696) pohjaveden pumppausmäärillä 2 300 m³/d ja 4 500 m³/d. Tarkastelun kohteena olevat mallinnetut aikajakset ovat 1981–2010, 2021–2050 ja 2072–2100. Edellä mainitun 2072–2100 ajanjakson osalta on huomioitava, että sen laskenta alkaa vuotta myöhemmin (eli vuodesta 2072) verrattuna ilmastomallissa esitettyyn laskentaan (kappaleet 4.1–4.2). Tämä johtuu transient -virtausmallinnuksen laskentaan liittyvistä teknisistä seikoista. Yhden vuoden erolla ei ole jatkossa tehtävien ilmastoskenaarioiden tarkastelun kannalta kuitenkaan merkitystä.



Kuva 14. Pohjavedenpinnan taso tammikuusta joulukuuhun laskentaseluissa 694, 695 ja 696 eri ajanjaksoina (1981–2010, 2021–2050 ja 2072–2100) tarkasteltuna Mikkelin Hanhikankaan pohjaveden virtausmallinnusalueella. Ylemmät käyrät kuvaavat tilannetta nykyisellä vedenotolla 2 300 m³/vrk ja alemmat käyrät tilannetta voimassa olevan ottoluvan mukaisella maksimivedenottomäärällä 4 500 m³/vrk.

Mallinnustulosten mukaan ajanjaksolla 1981–2010 (kuvassa musta käyrä) pohjavedenpinnan taso nousee vuositasolla tarkasteluna korkeimpaan asemaansa Mikkelin Hanhikankaalla kesäkuukausina ja se on alimmillaan syys- ja talvikuukausina (syys-joulukuu ja tammi-huhtikuu). Tulevaisuudessa (ajanjaksot 2021–2050 ja 2072–2100) kevääseen ja alkukesään ajoittuvaa erillistä pohjavedenpinnan tasonousua (ajanjakso 1981–2010) ei olisi enää havaittavissa. Pohjavedenpinnan taso asettuisi korkeimmalle tasolleen tammi-toukokuun välisenä aikana. Ajanjaksolla 2072–2100 pohjavedenpinta kohoaisi tammi-

31.12.2021

toukokuu-välisenä aikana enemmän verrattuna ajanjaksoon 2021–2050. Ero ajanjaksoon 1981–2010 on selvemmin havaittavissa suuremmalla pumppausmäärällä (4 500 m³/d). Ajanjaksoilla 2021–2050 ja 2072–2100 pohjavesipinnan taso alensi kesä- ja syyskesäkuukausien aikana verrattuna ajanjaksoon 1981–2010. Pohjavedenpinnan tasoissa ei tapahtuisi kovin suuria muutoksia syksy- ja alkutalvikuukausina (loka-joulukuu) ilmastonmuutoksen seurauksena.

5 YHTEENVETO

5.1 Hanhikankaan pohjaveden virtausmalli – tasapainotila (Steady State)

Hanhikankaan steady state -virtausmallinnuksessa saatujen simulaatiotulosten mukaan alueen keskimääräisestä vuosisadannasta (noin 640 mm) imeytyy pohjavedeksi noin 36 %. Tämä tarkoittaa mallinnusalueen pinta-ala (145.5 ha) huomioiden sitä, että vuorokaudessa kokonaissadannasta pohjavedeksi imeytyvä vesimäärä on noin 930 m³. Kun nykyisin alueelta pumpataan pohjavettä viidestä kaivosta keksimäärin 2 300 m³/d ja ottoluvan mukainen maksimiottomäärä on 4 500 m³/d, on tilanne lähtökohdaisesti pohjavedeksi imeytyvä sadevesimäärä huomioiden se, että pohjavedeksi suotautuvien pintavesien määrä mallinnusaluetta rajaavista ja sen sisälle sijoittuvista pintavesistöistä on merkittävä (maksimissaan 70–75 %). Tämä on todettu aiemmin alueella tehdyissä tutkimuksissa (Pöyry Environment Oy 2008, Kaipainen et al. 2021)

Virtausmallinnustulosten mukaan suurimpana pohjavettä täydentävä pintavesilähteenä toimii ottamokaivojen länsipuolelle sijoittuva Hanhilampi, sekä kauempana kaivoalueesta kaakossa virtaava Pankajoki. Mallinnustulosten mukaan pohjaveden kulkeutumisaajoissa ottamon kaivoalueelle on em. kahden vesistön välillä kuitenkin merkittävä ero. Nykyisellä pumppausmäärällä (2 300 m³/d) pohjavesi päätyy ottamokaivoille Hanhilammen rantavyöhykkeen alueelta minimissään 298 vuorokaudessa (9.8 kk), kun vastaava aika Pankajoesta on minimissään noin 2.8 vuotta. Vastaavasti ottoluvan mukaisella maksimimäärällä pumpattaessa pohjavesi kulkeutuu Hanhilammen ranta-alueelta ottamokaivoille minimissään 148 vuorokaudessa (4.8 kk) ja Pankajoen ranta-alueilta minimissään noin 1.5 vuodessa.

Mallinnustulosten mukaan pohjaveden pinnan yleinen vietto ja pohjaveden virtaussuunnat ovat nykyisellä (2 300 m³/d) ja ottoluvan mukaisella maksimipumppausmäärällä (4 500 m³/d) ottamokaivojen eteläpuolisella harjualueella lännestä ja länsilounaasta itään sekä etelästä pohjoiseen. Ottamokaivoalueen pohjoispuolella pohjavedenpinnan vietto ja virtaussuunnat kääntyvät, ja ovat pohjoisesta etelään. Mallinnusalueen eteläpäässä pohjaveden virtaus suuntautuu etelään kohden Mikkelin taajama-aluetta, jonne pohjavesiä purkautuu todennäköisen kalliokynnyksen yli molemmilla edellä mainituilla pumppausmäärillä simuloitaessa. Yleistäen voidaan todeta, että ottoluvan mukaisella maksipumppausmäärällä (4 500 m³/d) koko virtausmallinnusalue ja kaikki siihen liittyvät pintavesistöt tulevat käytännössä pohjaveden oton piiriin.

Pumppausmäärällä (2 300 m³/d) pohjaveden pinta viettää kohden Kovalanlampea, jonne pohjavesiä purkautuu. Ottoluvan mukaisella maksimipumppausmäärällä (4 500 m³/d) pohjavedenpinnan vietto ja pohjaveden virtaussuunnat kääntyvät ja ovat Kovalanlammen länsirannan alueelta kohden vedenottamokaivoja. Pohjaveden kulkeutumisaika kaivoille K4 ja K5 olisi minimissään 480 vuorokautta (noin 1.3 vuotta). Eli suuremmalla ottomäärällä pumpattaessa Kovalanlammen vesiä alkaisi todennäköisesti suotautumaan pohjavedeksi, jotka päätyisivät ottamokaivoalueelle, mikäli sille ei olisi geologista estettä.

31.12.2021

Kovalanlammen alueen kalliopinnan topografiasta, maaperän laadusta tai maaperäpaksuuksista ei ole kuitenkaan tarkempaa tutkimustietoa.

Likolammen vedenpinta yhtyy mallinnuksessa likimain pohjavesipinnan tasoon, kun Hanhikankaalta pumpataan pohjavettä 2 300 m³/d. Mallinnustulosten mukaan lammesta ei suotautuisi silloin lampivettä harjuun pohjavedeksi ja toisaalta lampeen ei käytännössä purkaudu pohjavesiä. Lampi on tutkimusten mukaan turvepohjainen (Eskelinen et al. 2019), joten luontaista lampiveden suotautumista lammen pohjan läpi ei tapahdu tai se on hyvin vähäistä. Tilanne voi kuitenkin muuttua nopeasti, jos Likolammen pinta nousee keväisin lumen sulaessa, syysateiden tai muiden voimakkaiden sadantapiikkien seurauksena. Tällöin lammen vedenpinnan nousun myötä lammen pintavesiä pääsisi todennäköisesti imeytymään harjun vettä johtaviin kerroksiin pohjavedeksi. Koska Likolammen länsipuolella harjussa pohjavedet virtaavat pohjoiseen, myös pohjavedeksi suotautuneet lammen pintavedet päätyisivät lopulta pohjaveteen sekoituttuaan pohjavedenottoaivojen suuntaan. Likolammen rannan länsipuoleisilta harjuselänteiden alueilta pohjavesien kulkeutumismatka ottamokaivoalueelle on noin 850 m. Pumppausmäärällä 2 300 m³/d pohjaveden kulkeutumisaika ottamon kaivoalueelle olisi minimissään noin viisi vuotta. Ottoluvan mukaisella maksimipumppausmäärällä pohjaveden kulkeutumisaika vedenottamoalueelle olisi vastaavasti noin 2.8 vuotta. Likolammen eteläpuolisella harjualueella pohjavedet purkautuvat kalliokynnyksen yli etelään kohden Mikkelin taajama-alueita.

Virtausmallinnustulosten mukaan kaivoalueen pohjoispuolella harjun keskiselänteiden läpi länsi-itäsuunnasta virtaava Hanhijoki toimii pääosin pohjavesien purkauspaikkana, kun pohjaveden pumppausmäärä on 2 300 m³/d (taulukko 3, sivu 18). Ottoluvan mukaisella maksimimäärällä pumpattaessa (4 500 m³/d), Hanhijoen ottamoalueen pohjoispuolelle sijoittuva osa toimisi puroveden imeytymispaikkana ja pohjavesien kulkeutumisaika tältä alueelta kaivolle K5 olisi minimissään 85 vuorokautta.

5.2 Hanhikankaan pohjaveden virtausmalli – ajan suhteen muuttuva malli (Transient)

Ilmastoskenaariomallinnusten osalta mallinnukset tehtiin ajansuhteen muuttuvalla (transient) virtausmallilla. Mallinnuksen keinoin simuloitiin pohjavedenpinnan muutoksia aikaväleillä 2021–2050 ja 2072–2100 ja tuloksia verrattiin aikaväliin 1981–2010 (nykyilmasto). Saatujen mallinnustulosten mukaan suurin ilmastonmuutoksen aiheuttama pohjavedenpinnan tasoissa tapahtuva muutos Mikkelin Hanhikankaalla liittyy ajallisesti joulun jälkeiseen talveen ja kevättalveen, jolloin pohjavedenpinnan tasot olisivat nykyistä korkeammalla tasolla. Kevät-, kesä- ja syyskesäkuukausina pohjavedenpinta alenisi nykyiseen verrattuna. Myöhemmin syksyllä ja alkutalvella joulukuulle saakka pohjavedenpinnan taso tulevaisuudessa pysyttelisi likipitään samalla tasolla kuin nykyään (kuva 14).

Nykyilmaston (1981–2010) olosuhteilla mallinnettaessa, kun pohjavedenpinnan tasomuutoksia tarkastellaan kuukausitasolla, havaitaan myöhemmin keväällä ja alkukesällä tapahtuva nopea pohjavedenpinnan kohoaminen, joka johtuu lumen sulamisesta keväisin. Aikaväleillä 2021–2050 ja 2072–2100 vastaava kevätvalunnasta johtuvaa ja alkukesään sijoittuvaa pohjavedenpinnan tason hetkellistä nousua ei olisi havaittavissa, koska pohjavesipinnat kohoavat tulevaisuudessa jo talvikuukausien aikana (tammi-toukokuu –välinen ajanjakso) nykyistä korkeammalle tasolle (kuva 14).

Kun tarkastellaan ilmastonmuutoksen vaikutusta Hanhikankaan pohjavesipintaan eri pumppausmäärillä (2 300 m³/d ja 4 500 m³/d), on sen vaikutus pohjavesipinnan tasoihin havaittavissa selvimmin ajansuhteen muuttuvissa virtausmallinussimulaatioissa, joissa pohjavettä pumpataan 4 500 m³/d.

31.12.2021

Pienemmällä pohjavedenottomäärällä (2 300 m³/d) mallinnettaessa on mahdollista, että suurempi osa pohjavedeksi imeytyneestä sadevedestä purkautuu virtausmalliin määriteltyihin pintavesistöihin ja lähdepurkauma-alueille kuin suuremmalla pumppausmäärällä (4 500 m³/d) mallinnettaessa.

Pohjavedenottomäärällä 2 300 m³/d pohjavedenpinta nousisi ottamokaivojen eteläpuolisella mallinusalueella aikavälillä 2021–2050 (tammi- toukokuu) keskimäärin 14 cm, ja vastaavasti aikavälillä 2072–2100 nousu olisi keskimäärin 23 cm verrattuna nykyaikaan. Ottoluvan mukaisella maksimipumppausmäärällä (4 500 m³/d) tarkasteltuna tasoero nykyilmaston aikaiseen pohjavedenpintaan kasvaisi niin, että ajanjaksolla 2021–2050 pohjavesipinta olisi keskimäärin 30 cm korkeammalla tasolla. Vastaavasti aikajaksolla 2072–2100 pohjavedenpinnan nousu nykyilmaston aikaiseen vedenpintaan verrattuna olisi keskimäärin 60 cm.

6 MALLIN EPÄVARMUUKSISTA JA POHDINTA

Virtausmallinlaskennassa yhtenä tärkeimmistä laskentaan ja sen tuloksiin vaikuttavista tekijöistä on mallin pohjaksi määritelty tiiviin pohjan taso pohjavesivyöhykkeeseen sijoittuvien maakerrosten vedenjohtavuuksien ohella. Hanhikankaan virtausmallinusalueella tiiviin pohjan taso perustuu pääosin painovoimalinjamittauksiin ja niiden tulkintatuloksiin, joiden perusteella pohjantasoa on interpoloitu.

Painovoimatutkimuslinjoilla geofysiikan tulkinta perustuu raskaisiin kairauksiin, joissa kalliopinta on varmistettu painovoimalinjojen päissä vähintään kolmen metrin syvyyteen saakka kussakin kairauspisteessä. Tutkimustiedon puute tai tutkimuspisteiden jakautumisen epätasaisuus maakerrospaksuuksien osalla voi vaikuttaa interpolointilaskentaan siten, että sen tuloksena syntyvän pohjan muoto (kalliopinnan tai tiiviin pohjan taso, m mpy.) on paikoin hyvin yleispiirteinen, puutteellinen tai jopa virheellinen. Tämä voi puolestaan vaikuttaa virtausmallinnuksessa esimerkiksi mallin laskemiin ottamokaivojen sieppausalueisiin, niiden muotoon ja laajuuteen.

Kun ilmastonmuutoksen vaikutuksia mallinnettiin pohjavedenpinnan tasoihin Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueella, käytettiin Swedish Meteorological Hydrological Institutens (SMHI) RCA4 alueellista ilmastomallia, jonka taustalle valittiin IPCC:n RCP8.5 päästöskenaario. RCP8.5 päästöskenaario kuvastaa suurinta arvioitua ilmastomuutosta kohoavan lämpötilan ja sadantamäärän osalta.

Pohjaveden virtausmallinnuksessa lämpötilan nousu ja sademäärän lisääntyminen Mikkelin Hanhikankaalla vaikuttavat siten, että ilmastonmuutos on nähtävissä pohjavedenpinnan talviaikaisena (tammi-huhtikuun välinen ajanjakso) tasonousuna, koska lämpenemisen seurauksena roudaton aika vuositasolla pitenee ja samaan aikaan sadannasta pohjavedeksi muodostuvan veden määrä lisääntyy. On mahdollista, että muilla päästöskenaarioilla mallinnettuna tilanne voisi olla esimerkiksi sellainen, että talvi-kuukausina lumipeitteen paksuus ohenee, jonka seurauksena roudan esiintymisen todennäköisyys kohoaa pakkasjaksojen aikana. Tämän seurauksena talviaikaiseen sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrää voisi aika ajoin vaihdella, jonka seurauksena myös pohjavedenpinnan tasossa olisi talvi-kuukausien aikana vaihtelua.

31.12.2021

KIRJALLISUUSLUETTELO

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

Aluehallintovirasto, ISAVI/15/04.09/2010. Hanhikankaan vedenottamosta otettavan pohja- ja teko-pohjavesimäärien lisääminen 4 500 m³:iin vuorokaudessa, Mikkeli, 2010.

Doherty, J.E., Hunt, R.J. & Tonkin, M.J. 2010. Approaches to highly parameterized inversion: A guide to using PEST for model-parameter and predictive-uncertainty analysis: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5211, 71 p. Available at: <http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5211>.

Eskelinen, A., Forsman, P., Kiiskinen, A., Lerssi, J., Mäkinen, J. & Stranius, T. 2019. Mikkelin Likolammen ja Hanhilammen sedimenttitutkimukset CBC RAINMAN-projektissa. GTK:n työraportti 74/2019. 26 s. + 54 liites. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/74_2019.pdf

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

Hägglom et al. 2020. Water management guidelines for agriculture and forestry, Publications of the Ministry of Agriculture and Forestry, 2020:12, 72 s.

Jylhä, K., Tuomenvirta, H. & Ruosteenoja, K. 2004. Climate change projections for Finland during the 21 st century, *Boreal Environment Research*, 9(2), pp. 127–152.

Kaipainen, T., Eskelinen, A., Jarva, J., Kiiskinen, A. 2021. Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueen pohjavesi-pintavesi-vuorovaikutustutkimus CBC-RAINMAN projektissa. GTK:n työraportti 61/2020. 18 s. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/61_2020.pdf

Klein, J. & Luoma, S. 2020. Regional Climate Change Scenarios for the Water Management in Lahti and Mikkeli. Espoo, Finland. GTK Open File Report 61/2019. 22 p. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/61_2019.pdf

Korhonen, J. & Haavanlammi, E. (toim.) 2012. Hydrologinen vuosikirja 2006–2010. Suomen ympäristö 8. 234 s.

Krasting, JP., Broccoli, A.J. & Lanzante, J.R. 2013. Future changes in Northern Hemisphere Snowfall

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.

31.12.2021

McDonald, M.G & Harbaugh, A.W. 1988. Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model,

Paradis & Martel et al. 2007. Comparative study of methods for WHPA delineation. Groundwater Vol 45, Issue 2, Pages 158-167

Pollock, D.W. 1989. Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the U.S. Geological Survey modular three-dimensional finite-difference ground-water model. U.S. Geological Survey Open-File report 89-381.

Pöyry Environment Oy. 2008: Hanhikankaan pohjavedenoton kehittäminen, pohjavesitutkimukset 2006–2007, 28s.

Sandborg, M. 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Tutkimusraportti III : Vajovesitutkimukset. Vesi- ja ympäristöhallitus, monistesarja 330, 127 s.

SMHI (2017) cordex EUR-11 SMHI RCA4. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. Available at: <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=CXEU11SMRCA4>.

Vehviläinen, B. 1992. Snow cover models in operational watershed forecasting. National Board of Waters and the Environment. Vesi- ja ympäristöhallitus. 112 s.

Väänänen, T., Hyvönen, A., Mursu, J. & Hyvärinen, J. 2015. Hanhikankaan rakennetutkimus ja virtausmallinnus. Arkistoraportti 2/2016. Geologian tutkimuskeskus, Kuopio. 55 s. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/2_2016.pdf

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