

**Ennuste pohjaveden pinnankorkeuden
alenemisesta ja vuotovesimääristä Sakatin
kaivoshankkeen elinkaaren aikana**



ITASCA

Ennuste pohjaveden pinnankorkeuden alenemisesta ja vuotovesimääristä Sakatin kaivoshankkeen elinkaaren aikana



Asiakas:

Sakatti-projekti
Sodankylä

Tekijät:

Steve Meyerhoff ja Houmao Liu

Helmikuu 2025

4064



143 Union Blvd, Suite 525
Lakewood, CO, U.S.A., 80228

+1 (303) 969-8033
itasca@itascadenver.com
www.itascadenver.com

TIIVISTELMÄ

Tausta ja tavoitteet

Sakatin monimetalliesiintymän (kupari-nikkeli-PGE) hyödyntämiseen tähtäävä kaivoshanke sijaitsee Pohjois-Suomessa noin 16 kilometriä Sodankylästä koilliseen. Anglo Americanin tytäryhtiö AA Sakatti Mining Oy:llä (AASM Oy), joka omistaa Sakatin kaivoshankkeen (jatkossa "kaivostoimintojen alue") ja vastaa suunnitellusta kaivostoiminnasta, sekä Itasca Denver Inc.:llä (ITASCA) on ollut tässä työssä seuraavat tavoitteet:

1. Arvioida saatavilla olevat uusimmat hydrogeologiset aineistot, jotka on kerätty kaivostoimintojen alueelta vuodesta 2021 lähtien,
2. Arvioida ja päivittää käsitteellinen hydrogeologinen malli uusimpien kerättyjen aineistojen pohjalta, huomioiden pohjaveden pinnankorkeudet, geologiset tiedot ja päivitetyn kaivossuunnitelman tiedot,
3. Päivittää vuoden 2022 pohjaveden virtausmalli uusimmilla hydrogeologisilla aineistoilla,
4. Päivittää *MIKE SHE* -malli uusimmilla hydrogeologisilla aineistoilla,
5. Kalibroida pohjaveden virtausmalli ja *MIKE SHE* -malli pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihteluihin,
6. Laatia *MIKE SHE* -mallilla ennuste pohjaveden muodostumismäärästä menneissä ja tulevaisissa ilmasto-olosuhteissa,
7. Laatia ennusteet maanalaisen kaivoksen vuotovesimääristä ja pohjaveden pinnankorkeuden mahdollisesta alenemasta,
8. Suorittaa luotettava herkkyystarkastelu pohjaveden virtausmallin keskeisistä parametreista,
9. Arvioida ilmastomuutoksen vaikutus pohjavesiolosuhteisiin tulevaisuudessa,
10. Laatia arvio pohjaveden virtausmallin epävarmuuksista, ja
11. Antaa ohjeita ja suosituksia tulevaa maanalaisten kaivostilojen kuivatusta ja pohjaveden seurantaa varten kaivostoimintojen alueella.

Edellisen pohjaveden virtausmalliversion (ITASCA 2023) jälkeen työhön on sisällytetty seuraavat uudet lähtötiedot:

1. **Geologinen malli:** Kaivostoimintojen alueen geologista mallia on päivitetty uusilla kalliokairaustiedoilla vinotunnelien ja NE satelliittiesiintymän alueilla. Geologisen mallin päivitykseen sisällytettiin myös uudet tiedot pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän ympäristössä sijaitsevien ruhjeiden suunnasta ja kaltevuudesta.
2. **Kaivossuunnitelmat:** Kaivossuunnitelmiin päivitettiin kaivoksen sisäänkäynnin sijainti, vinotunnelien suunnitelma, kaivossuunnitelma sekä aikataulu osana ympäristölupahakemusta.
3. **Mittaustiedot:** Vuoden 2021 jälkeiset uudet mittaustiedot esimerkiksi meteorologiset havainnot, pohja- ja pintavesien pinnankorkeushavainnot sekä hydraulisten kokeiden tulokset.

Päivitettyjä lähtötietoja käytettiin aikaisempien käsitteellisten ja numeeristen mallien päivittämiseen seuraavasti:

1. Käsitteellinen hydrogeologinen malli on pääosin sama, jota käytettiin aikaisemmin (ITASCA 2023). Käsitteellistä hydrogeologista mallia on päivitetty ruhjeiden osalta. Uusi, vuoden 2021 jälkeen kerätty hydrogeologinen aineisto tukee päivitettyä käsitteellistä hydrogeologista mallia.
2. *MIKE SHE*- ja *MINEDW* -mallit yhdistettiin ja kalibroitiin käyttäen samoja simuloituja tietoja. Mallien yhdistäminen tuottaa luotettavan numeerisen esityksen käsitteellisestä hydrogeologisesta mallista.
3. Mallilla simuloitiin maanalaisen kaivoksen, maanpäällisten toimintojen sekä tarvekilouhoksen louhimisen mahdollisia yhteisvaikutuksia pohjaveteen.
4. Mallilla tehtiin herkkyystarkastelu, jotta ennustetuille pohjaveden alenemille ja vuotovesimäärille saatiin esitettyä vaihteluvälit.

Käsitteellinen Hydrogeologinen Malli

Projektille määriteltiin hydrologinen tutkimusalue (HTA). HTA on huomattavasti laajempi kuin suunniteltu kaivostoimintojen alue, jotta voidaan välttää kaivoksen louhimisesta mahdollisesti aiheutuvan hydraulisen muutoksen ulottuminen HTA:n rajoille. Keskeinen alue HTA:n sisällä on Viiankiaavan suo, joka kuuluu Suomen soidensuojeluohjelmaan ja Euroopan unionin Natura 2000 -verkostoon. Suoalue koostuu Natura-suojelluista aapasoista ja muista suojelluista elinympäristöistä, ja siellä kasvaa useita suojeltuja kasvilajeja. Suunniteltu maanalainen kaivos sijaitsee suoraan itään Kitiseltä suon kulmassa ja osittain suon alla HTA:lla.

HTA:n pohjavesisysteemiä voidaan kuvata seuraavasti:

1. Matalan vyöhykkeen pohjavesi lähellä maanpintaa olevissa jäätikkö- ja jokikerrostumissa,
2. Rikkonaisen kallioperän pohjavesi matalassa vyöhykkeessä, jäätiköitymistä edeltävän eroosion kuluttamassa, rapautuneessa ja rakoilleessa ylemmässä kallioperässä, ja
3. Syvän kallion pohjavesi ehjän kallioperän avoimissa ei-täytteisissä huokosissa, raoissa ja ruhjeissa rikkonaisen kallioperän alla.

Käsitteellinen hydrogeologinen malli on kuvaus keskeisistä osatekijöistä, jotka vaikuttavat matalan vyöhykkeen ja syvän kallioperän pohjavesiin, vuorovaikutukseen näiden pohjavesien välillä, maanalaisen kaivoksen vuotovesimääriin sekä pohjaveden mahdolliseen alenemaan liittyen kaivostoimintaan HTA:lla. Seuraavassa on esitetty HTA:n ja kaivostoimintojen alueen käsitteellisen hydrogeologisen mallin keskeisimmät rakenneosat:

1. **Sadanta ja kokonaishaihdunta** – Sadanta vaihtelee kaivostoimintojen alueella läpi vuoden. Kesällä ja syksyllä alueella sataa vettä ja talvikuukausina lunta. Talvikuukausien aikana lumi muodostaa maahan lumipeitteen, jonka paksuus vaihtelee vuosittain. Pohjavettä muodostuu keväällä lumen sulamisen seurauksena sekä kesän ja syksyn sateiden seurauksena.
Kokonaishaihdunta (ET, evapotranspiration), josta suurin osa tapahtuu kesän aikana, on noin 269 millimetriä vuodessa.
2. **Lumen sulaminen ja kevättulva** – Lumipeite alkaa sulaa keväällä lämpötilan noustessa. Noin 50 prosenttia (%) vuotuisesta pintavalunnasta ajoittuu kevääseen lumien sulamisaikaan. Lumen sulamisen aikana pohjavettä muodostuu matalaan vyöhykkeeseen (turve, jäätikkö- ja jokikerrostumat ja rapautunut/rikkonainen kallioperä).
3. **Pohjaveden muodostuminen lumen sulamisvesistä ja sateesta** – HTA:n alueella on tyypillisesti pitkät talvet, joiden aikana kertyy paljon lunta. Erityisesti alluviaalisten kerrostumien ja matalien akviferien alueilla pohjavettä muodostuu pääasiassa lumen

sulaessa kevättulvan aikana. Pohjavettä muodostuu runsaimmin myöhään keväällä tai aikaisin kesällä, kun lumipeite on sulanut, ja myöhemmin jälleen kesä- ja syyskuukausien runsaiden sateiden aikana. Pohjaveden muodostumiseen vaikuttavat hydrogeologiset olosuhteet ja geologinen rakenne.

4. **Tulevaisuuden ilmasto** – Suomen tulevasta ilmastosta on tehty lukuisia tutkimuksia. Tutkimukset osoittavat, lämpötila todennäköisesti nousee ja sadanta kasvaa HTA:lla. Koska alueen lämpötilan odotetaan muuttuvan, sateiden sataminen lumena tai vetenä ja lumen sulamisen ajoitus voivat muuttua. Näiden muuttujien muutokset vaikuttavat todennäköisesti pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihteluun ja muodostumiseen.
5. **Viiankiaavan suo** – Suon luontotyyppinä ovat muun muassa aapa- ja keidassuot, letot, huurreammallähteet, puustoiset suot ja luonnonmetsä. Suo on merkittävin ympäristöllisesti herkkä alue HTA:lla. Alueella tavataan lukuisia uhanalaisia ja silmälläpidettäviä kasvi- ja eläinlajeja. Suon turve on vedellä kyllästynyt hydrogeologinen yksikkö ja sitoo itseensä merkittävän määrän vettä, jota suon ekosysteemi käyttää. Turpeen sisältämä vesi on osittain orsivettä, ja turpeen usein paikoin vain osittain vettä läpäisevä pohja muodostuu tiivistä turvekerroksesta, jonka vedenjohtavuus (K) on alhainen ja joka erottaa turpeen hydraulisesti sen alla olevista jäätikkö- ja jokikerrostumista. Alhaisen vedenjohtavuuden omaavaa tiivistä pohjakerrosta ei esiinny koko suoalueella, minkä seurauksena turpeen sekä jäätikkö- ja jokikerrostumien välillä on osittainen hydraulinen yhteys. Pintavesivaluntaa tapahtuu suolla lumen sulamisen aikana, ja tietyillä alueilla vettä säilyy suolla kesän ajan järvissä, puroissa ja rimmissä.
6. **Pohjaveden pinnankorkeudet ja pohjaveden laatu** – Matalan vyöhykkeen hydrogeologisista yksiköistä (maaperä ja kallion ylempi rikkonainen ja rapautunut osa) mitatuissa pohjaveden pinnankorkeuksissa voidaan havaita pohjaveden muodostumisvaihtelun aiheuttamaa vuodenaikaisvaihtelua. Ehjästä kallioperästä mitatuissa pohjaveden pinnankorkeuksissa havaitaan vuodenaikaisvaihtelua vähemmän, mikä kertoo rajallisesta hydraulisesta yhteydestä matalan vyöhykkeen pohjaveden ja ehjän kallioperän syvän pohjaveden välillä.

Rikkonaisen kallioperän pohjavesi on vuorovaikutuksessa yläpuolella olevien jäätikkö- ja jokikerrostumien pohjaveden kanssa, mistä todisteena on samankaltainen vesikemia. Vesikemian havaintoaineiston perusteella syvän kallioperän pohjavesi sisältää enemmän liuenneita aineita ja eroaa vesikemialtaan muutenkin jäätikkö- ja jokikerrostumien sekä rikkonaisen kallioperän pohjavedestä. Erilaiset vesikemiat viittaavat siihen, että hydrologinen vuorovaikutus syvän kallioperän ja matalan vyöhykkeen pohjaveden hydrologisten yksiköiden välillä on rajallista.
7. **Pintavesi** – Suurin osa pintavalunnasta maanalaisen kaivoksen yläpuolella ajoittuu kevääseen, sillä yli 50 % vuotuisesta pintavalunnasta on seurausta lumen sulamisesta. Pintavesi virtaa maanpinnalla maanalaisen kaivoksen alueen yläpuolella erilaisissa uomissa ja ojissa. Pintavalunta näissä uomissa vaikuttaa pohjaveden muodostumiseen matalissa kerrostumissa sekä veden purkautumiseen jokiin. HTA:n merkittävimmät joet ovat Kitinen, Kelujoki, Hiivanahaara ja Ylijoki. Kitinen virtaa HTA:n keskeltä, ja sen virtaamaa säädellään vesivoimapadoilla. Kahteen muuhun merkittävään jokeen kerääntyy vettä HTA:n itä- ja eteläpuolelta, ja ne virtaavat lopulta Kitiseen HTA:n eteläräjällä.
8. **Geologinen ympäristö** – Kaivostoimintojen alueen hydrogeologiaa luonnehtivat matalan ja syvän vyöhykkeen pohjavedet, jotka ovat erillisiä hydrogeologisia yksiköitä. Matalan vyöhykkeen pohjavesi on varastoitunut ennen kaikkea jäätikkö- ja jokikerrostumiin, joiden

alla on rikkonainen/rapautunut kallioperä. Rikkonaisen kallioperän alla on syvän kallioperän pohjaveden vyöhyke, joka esiintyy ehjän kallioperän avoimissa ei-täytteisissä huokosissa, raoissa ja ruhjeissa. Mafiset ja ultramafiset kivilajit ovat vallitsevia syvässä kallioperässä.

Jäätikkö- ja jokikerrostumien vedenjohtavuudet (K-arvot) vaihtelevat keskitasoisesta korkeaan ($> 1 \times 10^{-6}$ metriä sekunnissa [m/s]). Rikkonaisen/rapautuneen kallioperän vedenjohtavuudet ovat korkeampia kuin ehjän kallioperän, jonka vedenjohtavuudet ovat matalia: ehjän kallioperän mitattu vedenjohtavuuden mediaani on 1×10^{-8} m/s. Pohjaveden virtaus rikkonaisessa kallioperässä rajoittuu pääasiassa paikallisiin avoimiin ei-täytteisiin huokosiin, rakoihin ja ruhjeisiin.

9. **Paikalliset ja alueelliset ruhjeet** – Kaivostoimintojen alueella sijaitsevat pohjaruhje, breksiaruhje, dolomiittiruhje, serpentiiniruhje sekä NE ruhjeet ja ruhje A. Lisäksi on alueellisia ruhjeita. Merkittävin ruhje vinotunnelien ja maanalaisen kaivoksen alueella on pohjaruhje. Hydraulisisissa kokeissa mitatut vedenjohtavuudet osoittavat, että pohjaruhjeen vedenjohtavuudet ovat suurempia kuin ympäröivän ehjän kallioperän. Muiden ruhjeiden vedenjohtavuudet vastaavat ympäröivän kallioperän vedenjohtavuuksia.

10. **Kaivokseen liittyvien toimintojen, kaivoksen ja vinotunnelin rakentaminen** – Maanpinnalta Kuusivaarasta porataan neljä vinotunnelia maanalaiseen kaivoksen alueelle, joka sijaitsee syvän kallioperän pohjavesivyöhykkeessä syvällä suon alla. Vinotunnelien ja maanalaisen kaivoksen rakentaminen vaikuttaa todennäköisesti syvän kallioperän pohjavesiin. Kallioperän ja ruhjeiden hydraulisista ominaisuuksista riippuen, syvän kallioperän ja matalan vyöhykkeen pohjavesien välillä voi olla paikallisia yhteyksiä. Maanalaiseen kaivokseen tulevien vuotovesien määrään vaikuttavat geologisten rakenteiden ja ruhjeiden hydrauliset ominaisuudet. AASM Oy suunnittelee käyttävänsä lievennyskeinoja, kuten vettä johtavien ruhjeiden injektioimista kohteissa, joissa vuotovesimäärät ovat runsaita ja voisivat vaikuttaa kaivoksen toimintaan tai johtaa pohjaveden pinnankorkeuden merkittävään alenemiseen. Koska maanalaiset louhokset sijoittuvat alhaisen vedenjohtavuuden omaavaan syvään kallioperään, kaivostoiminnan mahdollinen vaikutus matalan vyöhykkeen pohjavesiin on todennäköisesti rajallinen.

Maanalaisen kaivoksen lisäksi Kuusivaaran alueelle rakennetaan muita kaivokseen liittyviä toimintoja, kuten sivukiven sijoitusalueita, vesialtaita, rikastushiekka-alue (MWF), päällystettyjä alueita ja tarvekilouhos. Kaivokseen liittyvät toiminnot rakennetaan maanpinnalle lukuun ottamatta noin 70 metriä syvää tarvekilouhosta. Tarvekilouhoksen rakentaminen vaikuttaa ehjän kallioperän hydraulisista ominaisuuksista riippuen todennäköisesti syvän ja matalan vyöhykkeen pohjaveteen. Vuotovettä purkautuu tarvekilouhokseen sen louhinnan aikana. Lisäksi on todennäköistä, että kaivostoiminnot vähentävät pohjaveden muodostumista paikallisesti.

Malminetsintäkairauksista on jäänyt maanalaisen kaivoksen alueelle kairareikiä, jotka lävistävät mineralisaation ja joilla saattaa olla hydraulinen yhteys yläpuolisten hydrogeologisten yksiköiden vesiin kaivoksen toiminnan aikana. AASM Oy on käynnistänyt hankkeen sellaisten kairareikien tulppaamiseksi, jotka aiheuttavat riskiä kaivostoiminnalle. AASM Oy:n suunnitelmana on tulpata kaikki kairareiät, jotka sijoittuvat suunnitellun maanalaisen kaivoksen tai siihen liittyvien maanalaisten toimintojen alueelle.

Pohjaveden virtausmalli

Tässä työssä käytetty pohjaveden virtausmalli luotiin *MINEDW*-mallinnuskoodilla (ITASCA 2012), joka ratkaisee kolmiulotteisia pohjaveden virtausongelmia äärellisellä elementtimenetelmällä (finite-element method, FEM). Pohjaveden virtausmallin olennaisimmat osatekijät ovat seuraavat:

1. Pohjaveden virtausmallin raja-alue valittiin siten, että se noudattaa luonnollisia vedenjakajia ja virtausreittejä.
2. Pohjaveden virtausmalliin on kuvattu sen reunoilla sijaitsevat joet vakiovedenpinta-reunaehtoina ja alueellinen pohjaveden virtaus vaihtelevan virtauksen reunaehtoina.
3. Pohjaveden muodostuminen perustuu *MIKE SHE* -mallista saatuihin tietoihin pohjaveden muodostumisesta moreenissa, lajittuneissa kerrostumissa ja turpeessa.
4. Hydrogeologiset yksiköt perustuivat AASM Oy:n toimittamiin geologisiin malleihin. Hydrogeologisten yksiköiden hydrauliset parametrit määriteltiin pohjaveden virtausmallin kalibroinnin ja kaivostoimintojen alueelta kerätyn kenttämittausten pohjalta.

Pohjaveden steady state -malli kalibroitiin mitattuihin pohjaveden luonnontilaisiin pinnankorkeuksiin, ja transient -virtausmalli kalibroitiin pohjaveden luonnontilaisiin pohjaveden pinnankorkeuksiin, jotka on mitattu kesäkuun 2011 ja syyskuun 2023 välillä. Pohjaveden virtausmallin kalibrointi on prosessi, jossa mallin parametreja vaihdellaan käyttäen niiden mitattuja tai todennäköisiä vaihteluvälejä, kunnes simuloidut ja mitatut tiedot vastaavat riittävän tarkasti toisiaan. Pohjaveden virtausmallin kalibroinnin arvioinnissa käytettiin tilastollisia tunnuslukuja (keskivirhe, keskipoikkeama, neliöllinen keskivirhe, normalisoitu neliöllinen keskivirhe ja selitysaste). Seuraavassa on yhteenveto pohjaveden virtausmallin kalibroinnista:

1. Steady state -mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet noudattavat maanpinnan muotoja HTA:lla. Mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet osoittavat pohjaveden virtaavan HTA:lla kohti merkittävimpiä jokia. Mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet ovat yhdenmukaisia mitattujen pinnankorkeuksien kanssa.
2. Steady state-mallin kalibroinnin keskivirhe (ME) on 0,3 m, absoluuttinen keskivirhe (MAE) 0,8 m ja keskineliövirheen neliöjuuri (RMSE) 1,2 m. Kaiken kaikkiaan mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet vastaavat hyvin mitattuja pohjaveden pinnankorkeuksia. Mallin tilastolliset tunnusluvut ME, MAE ja RMSE ovat hyvin kalibroittujen arvojen normaalialueiden rajoissa, kuten on määritelty eri lähteissä (Anderson ja Woessner 1992; ESI 2017; Spitz ja Moreno 1996). Tilastollisten termien määritelmät on kerrottu tämän raportin pääosiossa. Steady state -mallin massatasevirhe on kokonaisuudessaan alle 0,001 % eli paljon pienempi kuin Reillyn ja Harbaughin (2004) suosittelema suurin hyväksyttävä massatasevirhe 0,5 %.
3. Transient-mallin laskemien pohjaveden pinnankorkeuksien vertailu mitattuihin pohjaveden pinnankorkeuksiin kesäkuun 2011 ja syyskuun 2023 väliltä osoittaa, että transient-malli on hyvin kalibroitu (Hill 1998) pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikavaihtelun ja vaihtelun suuruusluokan suhteen.
4. Transient-malli on hyvin kalibroitu pohjaveden mitattujen pinnankorkeuksien vaihteluun ja suuruusluokkiin maanalaisen kaivoksen alueella, vinotunnelien lähellä ja suolla.
5. Hydrologisella tutkimusalueella transient-malli on hyvin kalibroitu pohjaveden mitattuihin pinnankorkeuksiin maaperän pohjavesissä, rikkonaisessa kallioperässä ja ehjässä kallioperässä.
6. Kaiken kaikkiaan transient-mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet vastaavat hyvin mitattuja pohjaveden pinnankorkeuksia. Transient-mallin tilastolliset tunnusluvut ME, MAE, RMSE ja selitysaste

(r^2) ovat hyvin kalibroidun pohjaveden virtausmallin normaalialueella, kuten on määritelty eri lähteissä (Anderson ja Woessner 1992; ESI 2017; Spitz ja Moreno 1996), sekä oletetun mittausvirheen $\pm 1,0$ m rajoissa. ME, MAE ja RMSE ovat tyypillisesti alle 2,0 m ja r^2 on suurempi kuin 0,90 koko transient-mallin kalibroinnin ajanjakson aikana.

Ennustavat mallisimulaatiot ja herkkyyssanalyysi

Kalibroidulla pohjaveden virtausmallilla ennustettiin maanalaiseen kaivokseen ja tarvekilouhokseen tulevia vuotovesimääriä sekä pohjaveden pinnankorkeuden mahdollista alenemaa. Seuraavassa on esitetty tulokset ja johtopäätökset 65 % tiivistysskenaariolle, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana:

1. Maanalaisen kaivokseen tulevan vuotovesimäärän ennustetaan olevan suurimmillaan kaivostoiminnan toisen vuoden puolella välissä. Tällöin vinotunnelit on rakennettu lähes kokonaan, ja maanalaisen louhoksen louhiminen on aloitettu. Vuotovesimäärä on suurimmillaan noin 120 kuutiometriä tunnissa (m^3/h) (noin 2 880 kuutiometriä vuorokaudessa [m^3/vrk]). Saavutettuaan huippunsa, vuotovesimäärä laskee kaivoksen elinkaaren aikana vähitellen arvoon 95–110 m^3/h (2 280–2 640 m^3/vrk).
2. Vettä johtavan pohjaruhjeen vuoksi matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeuden aleneman ennustetaan olevan suurempaa vinotunnelien lähetyvillä kuin maanalaisen kaivoksen alueella. Pohjaruhjeen korkeamman vedenjohtavuuden johdosta paineen alentuminen ulottuu syvästä kallioperästä matalan vyöhykkeen pohjavesikerrokseen ja johtaa vedenpinnan alenemiseen. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 0,35 m talvella ja noin 0,25 m kesällä toimintavuotena 24.
3. Kaivostoimintojen pääalueella alenema on suurimmillaan noin 0,35 m toimintavuotena 24 eli kaivostoiminnan päättyessä.
4. NE satelliittiesiintymän alueella alenema on suurimmillaan noin 2,2 m toimintavuotena 24 eli kaivostoiminnan päättyessä.
5. Alenema on suurin lähellä maanpintaa kulkevien vinotunneleiden (alle 150 m mpa) ja tarvekilouhoksen alueella. Tarvekilouhoksen alueella alenema on suurimmillaan sama kuin louhoksen syvyys eli 75 m.
6. Ennustettu alenema vaihtelee vuodenaikojen mukaan johtuen lumen sulamisesta. Alenemien ennustetaan olevan vuosittain suurimmillaan keväällä ennen lumen sulamista.
7. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,35 m maanalaisen kaivoksen alueella) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 0,5–2 m rajoissa kaivostoimintojen pääalueella.
8. Ennustettu tarvekilouhoksen vuotovesimäärä vaihtelee välillä 15–45 m^3/h .
9. Tarvekilouhoksen arvioidussa vuotovesimäärässä on havaittavissa vuodenaikaisvaihtelua, joka perustuu simuloituun pohjaveden muodostumismäärään. Vuodenaikaisvaihtelu on keskimäärin 15 m^3/h . Vuodenaikaisvaihtelun voidaan olettaa lisääntyvän lumipeitteen paksuuden ja syyssateiden lisääntyessä.
10. Ennusteen mukaan pohjaveden purkautuminen Kitiseen voi vähentyä kaivoksen toiminta-aikana enintään 40 m^3/h , mikä vastaa noin 9–13 prosenttia pohjaveden virtausmallin laskemasta kokonaispurkautumisesta Kitiseen. Purkautumisen vähentyminen ei vaikuta olennaisella tavalla Kitisen kokonaisvirtaamaan (muutos on noin 0,01 %; SYKE 2024). Pohjaveden purkautumisen ennustetussa vähentymisessä ei ole huomioitu suunniteltua puhdistettujen kaivosvesien laskemista Kitiseen. Jos maanalaiseen kaivoksen vuotovesiä ja muita prosessivesiä lasketaan puhdistettuna

Kitiseen, puhdistetun veden määrä on todennäköisesti suurempi kuin ennustettu pohjaveden purkautumisen vähentyminen.

11. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päätyttyä. Kahdeksan vuoden kuluessa kaivoksen sulkemisesta matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeuden aleneman ennustetaan olevan alle 0,01 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen 75 vuoden kuluttua kaivoksen sulkemisesta.
12. Ehjän kallion matalien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän pohjavesikaivojen havaintopisteissä alle 3 m.

Seuraavassa on esitetty johtopäätökset mahdollisista vaikutuksista mallin ennusteisiin vuotovesimäärästä ja pohjaveden pinnankorkeuden alenemasta, jos NE satelliittiesiintymä poistetaan kaivossuunnitelmasta:

1. Vuotovesimäärä vähenee pitkällä aikavälillä verrattuna edellä kuvattuun malliskenaarion, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana. Toimintavuoden 10 jälkeen vuotovesimäärä vähenee arvoon 90 m³/h. Vähennys on noin 20 m³/h.
2. Tarvekilouhoksen vuotovesimääriin ei ole vaikutuksia tai vaikutus on hyvin vähäinen.
3. Suurin alenema NE satelliittiesiintymän alueella pienenee noin 0,2 metriin. Alenema pienenee enimmillään noin 1,7 m verrattuna kaivossuunnitelmaan, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana.
4. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,35 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 0,5–2 m rajoissa kaivostoimintojen pääalueella..
5. Kitiseen suuntautuvan pohjaveden purkautumisen ennustettuun vähentymiseen ei juuri ole vaikutusta.
6. NE satelliittiesiintymän poistaminen kaivossuunnitelmasta ei juuri vaikuta ennustettuun pohjaveden palautumiseen. Tämä johtuu siitä, että matalan vyöhykkeen ja kallioperän pohjavesien ennustettu alenema tapahtuu malmin pääesiintymän ja vinotunnelien yhteydessä, ja nämä pysyvät samoina kummassakin kaivossuunnitelmassa. Pohjaveden palautumisaikoihin ei täten vaikuta, onko NE satelliittiesiintymä kaivossuunnitelmassa mukana vai ei.

Mallille tehtiin herkkyystarkastelu, jotta voitiin arvioida tärkeimpien hydraulisten, kaivostoiminnan ja ilmaston muuttujien vaikutusta ennustettuihin pohjavesiolosuhteisiin. Herkkyyssanalyysin tuloksista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

1. Kallioperän vedenjohtavuuden nostaminen 60:nteen prosenttipisteeseen vesihävikikokeiden mitatuista tuloksista laajentaa 0,1 metrin alenema-aluetta noin 300–600 metriä.
2. Kallioperän vedenjohtavuuden alentaminen 40:nteen prosenttipisteeseen vesihävikikokeiden mitatuista tuloksista pienentää 0,1 metrin alenema-aluetta noin 200–600 metriä maanalaisen kaivoksen alueella ja Kuusivaaran alueella noin 200–400 metriä.
3. Mahdollisella ilmastomuutoksella on seuraavat vaikutukset pohjaveden virtausmallin ennusteisiin:
 - a. Maanalaiseen kaivokseen tuleva vuotovesimäärä ei juuri muutu. Tämä johtuu siitä, että kaivos ei ole suoraan yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjavesiin. Maanalaisen kaivoksen ennustetut vuotovesimäärät liittyvät pohjavesivarannon purkautumiseen ehjässä kallioperässä.
 - b. Ennustettuun alenemaan vaikuttavat merkittävästi vuotuinen sadanta ja pohjaveden

muodostumisnopeudet. Kuivempina vuosina ennustettu alenema on suurempi. Sateisimpina vuosina ennustettu alenema on pienempi.

- c. Pitkän aikavälin kehityssuunnat ennustavat aleneman pienenevän ilmaston muuttuessa havaintopisteissä, jotka ovat lähellä lajittuneita kerrostumia ja moreeneja, sillä pohjaveden muodostumisen ennustetaan lisääntyvän näissä hydrogeologisissa yksiköissä.
 - d. Pitkän aikavälin kehityssuunnat ennustavat aleneman kasvavan vähäisesti tai pysyvän samana havaintopisteissä, jotka sijaitsevat turpeessa tai sen lähellä, sillä pohjaveden muodostumisen ennustetaan pysyvän ennallaan tai pienentyvän vähäisesti tässä hydrogeologisessa yksikössä.
4. Tiivistystehokkuuden heikentyminen tai parantuminen nostaa tai vähentää todennäköisesti vuotovesimääriä ja alenemaa vettä johtavien ruhjerakenteiden alueella. Vuotovesimäärän vähentäminen vettä johtavien rakenteiden onnistuneella tiivistyksellä on täten olennaisen tärkeää.

Pohjaveden virtausmalliin liittyvät keskeiset oletukset ja epävarmuudet

Seuraavassa on yhteenveto keskeisistä pohjaveden virtausmalliin liittyvistä oletuksista ja epävarmuuksista:

1. Kaivostoimintojen alueelle ominaiset hydrauliset parametrit olivat saatavilla maanalaisen kaivoksen pääalueelta. Seuraavassa on esitetty yhteenveto käsitteelliseen ja numeeriseen malliin liittyvistä oletuksista:
 - a. Vedenjohtavuusmittauksien perusteella kallioperän oletettiin olevan vettä läpäisevämpää vinotunnelin ja Kitisen alueella kuin kaivosalueella. Näiltä alueelta on kuitenkin saatavilla vähemmän vedenjohtavuusmittauksia verrattuna kaivosalueen laajaan vedenjohtavuusmittausaineistoon.
 - b. Vesihävikikokeiden tulosten perusteella kaivosalueen geologisten rakenteiden vedenjohtavuudet ovat samankaltaisia kuin ruhjeiden ympärillä olevan kallioperän vedenjohtavuudet, koska raot ja rakenteet ovat ominaisuuksiltaan yleensä plastisen deformaation synnyttämiä täyhteisiä ns. myloniittisia siirroksia.
 - c. Turve on simuloitu yhtenä hydrogeologisena yksikkönä, jonka vedenjohtavuus ei vaihtelee. Tutkimuksissa on havaittu, että vedenjohtavuudet vaihtelevat turpeen syvyyden mukaan siten, että turpeen alaosassa vedenjohtavuus ovat alhaisempi. Tämä heikosti vettä johtava vyöhyke voi estää veden suotautumisen alapuolisiin kerroksiin ja eristää turpeen sen alla olevista glasifluviallisista sedimenteistä. Turpeen vedenjohtavuuden pienentyminen syvemmällä voi rajoittaa hydraulista yhteyttä alla oleviin hydrogeologisiin yksiköihin. Turpeen käsitteellinen malli on esitelty tämän raportin pääosiossa.
 - d. Mitattujen vedenjohtavuuksien perusteella ehjän kallioperän ja ruhjeiden vedenjohtavuuksien oletettiin laskevan syvemmälle mentäessä.
2. Transient-malli on hyvin kalibroitu hyvin saatavilla olevaan pohjaveden pinnankorkeusaineistoon. Pohjaveden virtausmalli on kalibroitu ensisijaisesti havaintopisteisiin joki- ja jäätikkökerrostumissa, rikkonaisessa kallioperässä ja matalassa ehjässä kallioperässä. Syvällä (yli 200 metriä maanpinnan alapuolella) olevasta kallioperän pohjaveden painekorkeudesta on saatavilla vähemmän tietoa verrattuna muihin hydrogeologisiin yksiköihin.
3. Matalan vyöhykkeen pohjaveden muodostuminen on vesitaseen kannalta olennainen tekijä ja vaikuttaa pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihteluun. Matalan vyöhykkeen pohjaveden muodostumista arvioitiin *MIKE SHE* -mallin avulla.
 - a. Muodostuvan pohjaveden määrä vaihtelee todennäköisesti alueellisesti oletettua pienemmässä

mittakaavassa kolmen hydrogeologisen yksikön (lajittuneet kerrostumat, moreeni ja turve) kesken pohjavesi- ja ilmasto-olosuhteiden monimuotoisuuden vuoksi. Keskeiseltä kaivostoiminnan alueelta pohjaveden mittaus- ja seuranta-aineistoa on saatavilla kattavasti, mutta HTA:n reuna-alueilta ja läpi HTA:n mittausaineistoa pohjaveden muodostumismäärän arviointiin on saatavilla vähemmän.

- b. Pohjaveden muodostumisesta tulevaisuudessa hydrologisella tutkimusalueella ei ole saatavilla tietoja. Pohjaveden virtausmallin ennusteissa käytettiin keskimääräisiä pohjaveden muodostumismääriä ja arvioita pohjaveden muodostumisesta tulevaisuuden ilmastossa. Arvioituihin pohjaveden muodostumismääriin vaikuttavat käytetyt meteorologiset parametrit.
4. Alenemaennusteissa ei ole huomioitu tiheän kasvillisuuden, juurien imuvoiman ja maanpinnan runsaan humuskerroksen vaikutuksia. Näiden tekijöiden vaikutukset vähentävät pohjaveden pinnankorkeuden ennustettua alenemaa.
5. Turpeen osalta on oletettu, että turve on hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen ja että turve toimii huokoisena väliaineena. Saatavilla olevien tietojen perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että turpeessa on monin paikoin heikosti vettä johtavia vyöhykkeitä, turpeella on usein paikoin tiivis pohjakerros ja turve on vain osittain hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen. Tästä johtuen todellinen maastossa turpeessa havaittu alenema tulisi olemaan pienempi kuin pohjaveden virtausmallin ennustama alenema.
6. Alenemaennusteissa ei ole huomioitu pohjaveden runsaampaa muodostumista, joka seuraa vedenpinnan korkeuden laskemisesta kaivostoiminnasta johtuen. Pohjaveden runsaampi muodostuminen vähentää pohjaveden pinnankorkeuden ennustettua alenemaa.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	i
SISÄLLYSLUETTELO	x
LUETTELO KUVISTA	xiii
LUETTELO TAULUKOISTA.....	xvii
LIITTEET.....	xviii
LYHENTEET.....	xix
1.0 Johdanto	1
1.1 Terminologisia huomioita.....	2
2.0 Käsitteellinen Hydrologinen Malli	4
2.1 Hydrologinen tutkimusalue (HTA)	4
2.2 Käsitteellisen hydrogeologisen mallin keskeiset rakenneosat.....	4
3.0 Keskeiset hydrogeologiset tietoaineistot.....	8
3.1 Alueen geologia.....	8
3.1.1 Geologiset yksiköt	9
3.1.1.1 Suo.....	9
3.1.1.2 Jäätikkö- ja jokikerrostumat.....	10
3.1.1.3 Rikkinainen kallioperä	10
3.1.1.4 Ehjä kallioperä.....	11
3.1.2 Geologiset rakenteet.....	11
3.1.3 Hydrauliset kokeet kaivostoimintojen alueella.....	11
3.1.3.1 Yhteenveto hydraulisista kokeista	11
3.1.3.2 Yhteenveto hydraulisten kokeiden tuloksista	12
3.1.4 Yhteenveto hydrogeologiasta	13
3.2 Meteorologiset tiedot	15
3.2.1 Sadanta	15
3.2.2 Astiahaihdunta.....	16
3.2.3 Lämpötila	16
3.2.4 Lumen syvyys ja sulanta.....	16
3.2.5 Pohjaveden muodostuminen lumen sulannasta ja sadannasta	17
3.2.6 Tulevaisuuden ilmasto	18
3.3 Pintavesi	20

3.4	Pohjavesi.....	21
3.4.1	Havaintoverkosto.....	21
3.4.2	Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet.....	21
3.5	Sakatti-hankkeen kaivossuunnitelma	23
4.0	Pohjaveden virtausmalli.....	25
4.1	Pohjaveden virtausmallin mallinnuskoodi	25
4.2	Pohjaveden virtausmallin laskentaverkko	25
4.3	Simuloidut hydrogeologiset yksiköt	25
4.4	Mallin reunaehdot	27
4.4.1	Vakiovedenpinta-reunaehto	27
4.4.2	Vaihtelevan virtauksen reunaehto	27
4.4.3	Ei virtausta -reunaehto	28
4.5	Pohjaveden muodostuminen	28
4.6	Pohjaveden virtausmallin kalibrointi	28
4.7	Steady state -mallin kalibrointi.....	29
4.7.1	Steady state -mallin tavoitteet	29
4.7.2	Steady state -mallin kalibrointi	29
4.8	Transient-mallin kalibrointi	30
4.8.1	Transient-mallin tavoitteet.....	30
4.8.2	Transient-mallin kalibrointi.....	31
5.0	Ennustava pohjaveden virtausmalli	33
5.1	Ennustavan pohjaveden virtausmallin perusasetelma	33
5.1.1	Reunaehdot.....	33
5.1.2	Kaivostoiminta	33
5.1.3	Ennustavat mallisimulaatiot.....	35
5.2	Kaivostoiminnan aikaiset ennusteet.....	36
5.2.1	Ennustetut vuotovesimäärät	36
5.2.2	Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden alenema	37
5.2.3	Ennustettu purkautuminen Kitiseen.....	40
5.3	Ennusteet huomioiden lisälievennystoimet.....	40
5.3.1	Ennustetut vuotovesimäärät	40
5.3.2	Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden alenema	41
5.3.3	Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen	43

5.4	Ennusteet pohjaveden palautumisesta kaivostoiminnan jälkeen.....	43
5.4.1	Pohjaveden ennustettu palautuminen, kun NE satelliittiesiintymä on mukana kaivossuunnitelmassa	44
5.4.2	Pohjaveden ennustettu palautuminen ilman NE satelliittiesiintymää.....	45
6.0	Pohjaveden muodostumisen vaikutus alenemaan suolla.....	47
7.0	Mallin epävarmuustekijät.....	48
7.1	Yhteenvedo mallin epävarmuustekijöistä	48
7.2	Pohjaveden virtausmallisimulaatiot epävarmuuden hallitsemiseksi	51
7.2.1	Herkkyystarkastelun mallisimuloinnit.....	51
7.2.2	Herkkyystarkasteluiden ennusteet.....	52
8.0	Johtopäätökset.....	55
9.0	VIITTEET.....	58
KUVAT		
TAULUKOT		
LIITTEET		

LUETTELO KUVISTA

Kuva 2-1	Sakatti-projektin hydrologinen tutkimusalue
Kuva 2-2	Viiiankaavan suoalue hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 2-3	Käsitteellinen hydrogeologinen malli
Kuva 2-4	Suon käsitteellinen hydrogeologinen malli
Kuva 2-5	Mitatut veden pinnankorkeudet suolla
Kuva 3-1	Pintamaalajit hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-2	Geologinen kartta hydrologisen tutkimusalueen kallioperäyksiköistä
Kuva 3-3	Kaivosalueen geologisten yksiköiden pohjois-eteläsuuntainen leikkauskuva
Kuva 3-4	Paikalliset ja alueelliset ruhjeet hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-5	Geologisten lohkomallien laajuus hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-6	Turvekerroksen arvioitu paksuus hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-7	Vesihävikikokeilla mitatut vedenjohtavuudet
Kuva 3-8	Vesihävikikokeilla mitatut vedenjohtavuudet kivilajeittain esitettyinä
Kuva 3-9	Mitatut vedenjohtavuudet pumppaus-, spinner- ja muuttuvan painekorkeuden testeistä verrattuna vesihävikikokeiden tuloksiin
Kuva 3-10	Kairarei'istä vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuksista interpoloidut vedenjohtavuudet tasoilla 135...0 m mpy ja 0...-100 m mpy
Kuva 3-11	Kairarei'istä vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuksista interpoloidut vedenjohtavuudet tasoilla -100...-200 m mpy ja -200...-300 m mpy
Kuva 3-12	Kairarei'istä vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuksista interpoloidut vedenjohtavuudet tasoilla -300...-400 m mpy ja -400...-500 m mpy
Kuva 3-13	Ruhjeiden vesihävikikokeilla mitatut vedenjohtavuudet
Kuva 3-14	Meteorologisten ja hydrologisten mittausasemien sijainti
Kuva 3-15	Sodankylän Tähtelän sääasemalla mitatut vuosittaiset, kuukausittaiset ja päivittäiset sademäärät
Kuva 3-16	Sodankylän Tähtelän sääasemalla mitattu astiahaihdunta
Kuva 3-17	Sodankylän Tähtelän sääasemalla mitatut lämpötilat
Kuva 3-18	Mitatut ja lasketut lumen vesiarvot
Kuva 3-19	<i>MIKE SHE</i> –mallin ja hydrologisen tutkimusalueen rajaukset
Kuva 3-20	<i>MIKE SHE</i> -mallilla arvioitunut pohjaveden muodostumismäärät
Kuva 3-21	Lämpötila ja sadanta Suomessa eri ilmastoskenaarioissa
Kuva 3-22	Ennustetut keskimääräiset kuukausilämpötilat ja -sadannat ilmastoskenaarioissa RCP4.5 ja RCP8.5 vuosille 2070–2099
Kuva 3-23a	Arvioitunut tulevaisuuden vuotuiset sademäärät ilmastoskenaarioissa

Kuva 3-23b	Arvioidut tulevaisuuden vuotuiset pohjaveden muodostumismäärät ilmastoskenaarioissa
Kuva 3-24	Pohjaveden muodostumismäärät tulevaisuudessa prosenttiosuutena vuotuisesta sademäärästä
Kuva 3-25	Vesistöt hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-26	Kitisen mitatut pinnankorkeudet ja virtaamat
Kuva 3-27	Purojen ja ojien mitatut ja lasketut virtaamat hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-28	Havaintopisteet hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-29	Havaintopisteet hydrologisella tutkimusalueella jaoteltuina hydrogeologisen yksikön mukaan
Kuva 3-30a	Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-30b	Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-30c	Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-31a	Vinotunnelien ja maanalaisen kaivoksen laajuus
Kuva 3-31b	Maanalaisen kaivoksen laajuus ja kaivostoimintojen eteneminen
Kuva 3-32	Maanpäällisten kaivostoimintojen sijainti
Kuva 3-33	Rikastushiekka-alueen vaiheet
Kuva 3-34	Tarvekilouhoksen louhintasuunnitelma
Kuva 3-35	Täyttösuunnitelmat ja arvioidut vedenjohtavuudet
Kuva 4-1	Simuloitujen hydrogeologisten yksiköiden tasokuva mallikerroksessa 1
Kuva 4-2	Simuloitujen hydrogeologisten yksiköiden itä-länsisuuntainen leikkauskuva maanalaisen kaivoksen alueella
Kuva 4-3	Pohjaveden virtausmallilla simuloitujen vedenjohtavuuksien vertailu vesihävikikokeilla mitattuihin vedenjohtavuuksiin
Kuva 4-4	Sakatin kaivoksen pohjaveden virtausmallissa 2024 käytetyt vedenjohtavuuden arvot
Kuva 4-5	Syvän kallioperän läpäisevämmän ja vähemmän läpäisevän kallioperä-yksikön alueellinen laajuus
Kuva 4-6	Rikkonaisen kallioperän yksiköiden simuloidut alueelliset laajuudet
Kuva 4-7	Pohjaveden virtausmallin simuloidut reunaehdot
Kuva 4-8	<i>MIKE SHE</i> -mallilla simuloidut pohjaveden muodostumismäärät
Kuva 4-9	Pohjaveden muodostumisalueiden simuloitu alueellinen laajuus
Kuva 4-10	Simuloidut steady state -tilanteen pohjaveden pinnankorkeudet hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 4-11	Simuloitu steady state -tilanteen pohjaveden pinnan syvyys maanpinnasta
Kuva 4-12	Simuloidut vedellä kyllästyneet alueet ja pohjaveden muodostumisalueet steady state -tilanteessa
Kuva 4-13	Steady state -mallin kalibroinnin hajontakuvio
Kuva 4-14a	Transient -mallin kalibroinnin hajontakuvio
Kuva 4-14b	Transient -mallin kalibroinnin hajontakuvio

Kuva 4-15	Pohjaveden simuloitujen muodostumismäärien osuus sadannasta
Kuva 4-16	Pohjavesimallin kalibroitu vesitase
Kuva 4-17	Pohjaveden virtausmallilla kalibroitu pohjaveden purkautuminen suurimpiin virtavesiin ja järviin
Kuva 5-1	Simuloidut pohjaveden muodostumismäärät tulevaisuudessa
Kuva 5-2	Ennustettu vuotovesimäärä 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittiesiintymä mukana)
Kuva 5-3	Ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittiesiintymä mukana)
Kuva 5-4	Ennustettu alenema valituille vuosille kaivoksen elinkaaren aikana (tarkkailukaivot 4 ja 8) 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittiesiintymä mukana)
Kuva 5-5	Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa (vuosi 24) 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittiesiintymä mukana)
Kuva 5-6	Mitattujen ja mallinnettujen pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelun vertailu
Kuva 5-7	Pohjaveden aleneman ennustettu vuodenaikaisvaihtelu 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittiesiintymä mukana)
Kuva 5-8	Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittiesiintymä mukana)
Kuva 5-9	Ennustetut vuotovesimäärät 65 % tiivistysskenaariossa NE satelliittiesiintymän kanssa ja ilman NE satelliittiesiintymää
Kuva 5-10	Ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65 % tiivistysskenaariossa (ilman NE satelliittiesiintymää)
Kuva 5-11	Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa (vuosi 24) 65 % tiivistysskenaariossa (ilman NE satelliittiesiintymää)
Kuva 5-12	Pohjaveden aleneman ennustettu vuodenaikaisvaihtelu 65 % tiivistysskenaariossa (ilman NE satelliittiesiintymää)
Kuva 5-13	Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen 65 % tiivistysskenaariossa NE satelliittiesiintymän kanssa ja ilman NE satelliittiesiintymää
Kuva 5-14	Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittiesiintymä mukana)
Kuva 5-15	Ennustettu tarvekilouhoksen vedenkorkeus ja vesitase sulkemisen aikana
Kuva 5-16	Ennustetut steady state -tilanteen vedenpinnankorkeudet kaivostoiminnan päättyessä
Kuva 5-17	Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 65 % tiivistysskenaariossa (ilman NE satelliittiesiintymää)
Kuva 6-1	Ennustetut vedellä kyllästyneet alueet ja pohjaveden purkautumisalueet kaivostoiminnan päättyessä 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittiesiintymä mukana)
Kuva 6-2	Ennustetut vedellä kyllästyneet alueet ja pohjaveden purkautumisalueet kaivostoiminnan päättyessä 65 % tiivistysskenaariossa (ilman NE satelliittiesiintymää)
Kuva 7-1	Hydrogeologisten selvitysten vaatimukset hankkeen eri vaiheissa

Kuva 7-2	Pohjaveden virtausmallin vaiheet
Kuva 7-3	Simuloidut kallioperän vedenjohtavuusarvot herkkyystarkastelussa
Kuva 7-4	Ennustetut vuotovesimäärät herkkyystarkasteluissa
Kuva 7-5a	Ennustettu 0,3 metrin alenema-alue kaivostoiminnan päättyessä vedenjohtavuuden herkkyyskenaarioissa
Kuva 7-5b	Ennustettu 0,1 metrin alenema-alue kaivostoiminnan päättyessä vedenjohtavuuden herkkyyskenaarioissa
Kuva 7-6	Pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihtelu keskeisimmissä havaintopisteissä vedenjohtavuuden herkkyyskenaarioissa
Kuva 7-7a	Ennustettu 0,3 metrin alenema-alue kaivostoiminnan päättyessä ilmaston herkkyystarkastelussa
Kuva 7-7b	Ennustettu 0,1 metrin alenema-alue kaivostoiminnan päättyessä ilmaston herkkyystarkastelussa
Kuva 7-8	Pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihtelu keskeisimmissä havaintopisteissä ilmaston herkkyyskenaarioissa
Kuva 7-9a	Ennustettu 0,3 metrin alenema-alue kaivostoiminnan päättyessä tiivistystehokkuuden herkkyystarkastelussa
Kuva 7-9b	Ennustettu 0,1 metrin alenema-alue kaivostoiminnan päättyessä tiivistystehokkuuden herkkyystarkastelussa

LUETTELO TAULUKOISTA

Taulukko 3-1	Yhteenveto tärkeimpien hydrogeologisten yksiköiden mitatuista vedenjohtavuuden arvoista hydrologisella tutkimusalueella
Taulukko 3-2	Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
Taulukko 3-3	Yhteenveto muuttuvan painekorkeuden testeillä mitatuista vedenjohtavuuden arvoista .
Taulukko 3-4	Yhteenveto pumppauskokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
Taulukko 3-5	Yhteenveto paineilman avulla tehdyissä antoisuuskokeissa mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
Taulukko 3-6	Ruhjeista mitatut vedenjohtavuudet
Taulukko 3-7	Sodankylän Tähtelän asemalla mitatut vuosittaiset sademäärät
Taulukko 3-8	Keskimääräiset kuukausittaiset ja päivittäiset sademäärät Sodankylän Tähtelän asemalla
Taulukko 3-9	Mitatut vuotuiset astiahaihduntatiedot Sodankylän Tähtelän asemalla
Taulukko 3-10	Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa
Taulukko 3-11	Yhteenveto pohjaveden seurantaverkostosta kaivostoimintojen alueella
Taulukko 4-1	Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut hydrauliset ominaisuudet maanalaisen kaivoksen pohjaveden virtausmallissa
Taulukko 4-2	Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut pohjaveden muodostumismäärät pohjaveden virtausmallissa
Taulukko 4-3	Steady state -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet
Taulukko 4-4	Steady state -virtausmallin kalibroinnin lasketut tilastolliset tunnusluvut
Taulukko 4-5	Transient -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet
Taulukko 4-6	Yhteenveto transient -virtausmallin kalibroinnin lasketuista tilastollisista tunnusluvuista
Taulukko 5-1	Yhteenveto simuloiduista malliskenaarioista
Taulukko 5-2	Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaarioissa, joissa on mukana NE satelliittiesiintymä
Taulukko 5-3	Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
Taulukko 7-1	Yhteenveto mallin keskeisistä parametreista ja epävarmuuksista
Taulukko 7-2	Yhteenveto herkkyystarkasteluista

LIITTEET

- A *MIKE SHE* -mallin lähtötiedot ja kalibrointi
- B Mitattujen ja kalibroidulla transient-mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat
- C Transient-mallin kalibrointi pumppauskokeesta saatuihin tietoihin

LYHENTEET

%	prosentti
3-D	kolmiulotteinen
°C	celsiusaste
AASM Oy	AA Sakatti Mining Oy
EIA	ympäristövaikutusten arviointi (YVA)
ET	evapotranspiraatio, kokonaishaihdunta
GTK	Geologian tutkimuskeskus
HTA	hydrologinen tutkimusalue
<i>K</i>	vedenjohtavuus
km	kilometri
km ²	neliökilometri
LAI	lehtialaindeksi
LOM	life of mine, kaivoksen elinkaari
m	metri
mm	millimetri
m/s	metriä sekunnissa
m ³ /vrk	kuutiometriä vuorokaudessa
m ³ /s	kuutiometriä sekunnissa
m ³ /h	kuutiometriä tunnissa
mm/päivä	millimetriä vuorokaudessa
mm/vuosi	millimetriä vuodessa
mm/kuukausi	millimetriä kuukaudessa
m mpy	metriä merenpinnan yläpuolella
MAE	absoluuttinen keskivirhe
m mpa	metriä maanpinnan alapuolella
ME	keskivirhe
MWF	rikastushiekka-alue
NE	koillinen
OL	pintavalunta
r ²	determinaatiokerroin
RCP	representative concentration pathways, ilmastoennuste

RMSE	keskineliövirheen neliöjuuri
RQD	kalliolaadun luokitus
S_s	ominaisvarasto
S_y	ominaisantisuuus
S_z	kyllästynyt vyöhyke
TMB	tunnelipora
UZ	kyllästymätön vyöhyke
VWP	tärylankapietsometri

1.0 JOHDANTO

Sakatin monimetalliesiintymän (kupari-nikkeli-PGE) hyödyntämiseen tähtäävä kaivoshanke sijaitsee Pohjois-Suomessa noin 16 kilometriä Sodankylästä koilliseen. Anglo Americanin tytäryhtiö AA Sakatti Mining Oy (AASM Oy), joka omistaa Sakatin kaivoshankkeen ja tulee vastaamaan sen toiminnasta, pyysi Itasca Denver Inc:tä (Itasca) arvioimaan Sakatin kaivoshankkeesta (jatkossa "kaivostoimintojen alue") kerätyt viimeisimmät hydrogeologiset tietoaineistot, arvioimaan ja päivittämään käsitteellisen hydrogeologisen mallin, päivittämään ja kalibroimaan tulevan kaivostoiminnan sisältävän pohjaveden virtausmallin ja laatimaan ennusteen pohjavesivaikutuksista kaivoksen elinkaaren (LOM) aikana. Tässä raportissa esitettävät tutkimuksen päätavoitteet ovat:

1. Arvioida saatavilla olevat hydrogeologiset aineistot, jotka on kerätty kaivostoimintojen alueelta;
2. Arvioida ja päivittää käsitteellinen hydrogeologinen malli uusimpien kerättyjen aineistojen pohjalta, huomioiden pohjaveden pinnankorkeudet, geologiset tiedot ja kaivossuunnitelman tiedot;
3. Päivittää vuoden 2022 pohjaveden virtausmalli uusimmilla hydrogeologisilla aineistoilla ja vastaamaan käsitteellistä hydrogeologista mallia sekä varmistaa, että virtausmallilla voidaan simuloida kaivostoiminnan vaikutuksia asianmukaisesti;
4. Päivittää *MIKE SHE* -malli uusimmilla hydrogeologisilla aineistoilla;
5. Kalibroida pohjaveden virtausmalli ja *MIKE SHE* -malli pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikavaihteluihin;
6. Laatia *MIKE SHE* -mallilla ennuste pohjaveden muodostumismäärästä menneissä ja tulevaisissa ilmasto-olosuhteissa;
7. Laatia ennusteet maanalaisen kaivoksen vuotovesimääristä ja pohjaveden pinnankorkeuden mahdollisesta alenemasta;
8. Suorittaa luotettava herkkyystarkastelu pohjaveden virtausmallin keskeisistä parametreista;
9. Arvioida ilmastomuutoksen vaikutus pohjavesiolosuhteisiin tulevaisuudessa;
10. Arvioida pohjaveden virtausmallinnuksen epävarmuudet; ja
11. Antaa ohjeita ja suosituksia tulevaa maanalaisten kaivostilojen kuivatusta ja pohjaveden seurantaa varten kaivostoimintojen alueella.

Tämän raportin tarkoituksena on esittää yhteenveto edellä kuvatussa mallinnustyöstä sekä vuoden 2021 jälkeen tehtyjen uusien hydrogeologisten maastotutkimusten ja tarkkailujen tuloksista. Tämä raportti on päivitys vuonna 2023 valmistunutta ympäristövaikutusten arviointia (YVA) varten tehtyyn raporttiin (ITASCA 2023).

Edellisen pohjaveden virtausmalliversion (ITASCA 2023) jälkeen työhön on sisällytetty seuraavat uudet lähtötiedot:

1. **Geologinen malli:** Kaivostoimintojen alueen geologista mallia on päivitetty uusilla kalliokairaustiedoilla vinotunnelien ja NE satelliittiesiintymän alueilla. Geologisen mallin päivitykseen sisällytettiin myös uudet tiedot pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän ympäristössä sijaitsevien ruhjeiden suunnasta ja kaltevuudesta.
2. **Kaivossuunnitelmat:** Kaivossuunnitelmiin päivitettiin kaivoksen sisäänkäynnin sijainti, vinotunnelien suunnitelma, kaivossuunnitelma sekä aikataulu osana ympäristölupahakemusta.

3. **Mittaustiedot:** Vuoden 2021 jälkeiset uudet mittaustiedot, kuten esimerkiksi meteorologiset havainnot, pohja- ja pintavesien pinnankorkeushavainnot sekä hydraulisten kokeiden tulokset. AASM Oy on lisäksi kerännyt tietoja esimerkiksi kairauksista ja vedenlaadusta ja kaikkia aineistoja ei ole esitetty tässä raportissa.

Päivitettyjä lähtötietoja käytettiin täsmentämään ja tukemaan aikaisempia käsitteellisiä ja numeerisia malleja seuraavasti:

1. Käsitteellinen hydrogeologinen malli on pääosin sama, jota käytettiin aikaisemmin (ITASCA 2023). Käsitteellistä hydrogeologista mallia on päivitetty ruhjeiden osalta. Uusi, vuoden 2021 jälkeen kerätty hydrogeologinen aineisto tukee päivitettyä käsitteellistä hydrogeologista mallia.
2. Aikaisemmat *MIKE SHE* ja *MINEDW* -mallit yhdistettiin ja kalibroitiin käyttäen samoja simuloituja tietoja. Mallien yhdistäminen tuottaa luotettavan numeerisen esityksen käsitteellisestä hydrogeologisesta mallista.
3. Mallilla simuloitiin maanalaisen kaivoksen, maanpäällisten kaivostoimintojen sekä tarkekilouhoksen mahdolliset kumulatiiviset vaikutukset pohjaveteen.

Mallilla tehtiin herkkyytarkastelu, jotta ennustetuille pohjaveden alenemille ja vuotovesimäärille saatiin esitettyä vaihteluvälit.

1.1 Terminologisia huomioita

Raportissa käytetään seuraavia termejä:

1. AASM Oy – Sakatti-hankkeen hydrogeologit, tutkijat ja insinöörit.
2. Kaivostoimintojen alue – Sakatti-hanke kokonaisuudessaan kattaen malmin pää- ja satelliittiesiintymät, maanalaisen kaivoksen ja maanpäällisen infrastruktuurin.
3. Maanalainen kaivos – suunniteltu maanalainen kaivos malmiesiintymän ja louhosten ympärillä.
4. Kaivoksen maanpäälliset toiminnot – kaivoksen suunnitellut maanpäälliset rakenteet Kuusivaaran alueella mukaan lukien sivukiven sijoitusalueet, vesialtaat, rikastushiekka-alue, tarkekilouhos ja päällystetyt alueet.
5. Vinotunnelit – maanalaiset tunnelit, jotka louhitaan tunneliporalla (TBM) kaivoksen rakennusvaiheessa.
6. Tarkekilouhos – Kuusivaaran alueella sijaitseva avolouhos.
7. Vuotovesi – kaivokseen tihkuva vesi.
8. Rapautunut/rikkonainen kallioperä – kallioperän yläosa, jota metamorfiset prosessit, siirrokset, tektoniset tapahtumat ja preglasiaalinen eroosio ovat rapauttaneet ja rikkoneet.
9. Ehjä kallioperä – rapautuneen/rikkonaisen kallioperän alla olevaan kallioperä, joka ei ole rapautunut tai rikkoutunut.
10. Syvän kallioperän pohjavesi – syvän ehjän kallioperän pohjavesi ei-täytteisissä huokosissa, raoissa ja ruhjeissa.
11. Matalan vyöhykkeen pohjavesi – pohjavesi lähellä maanpintaa olevissa alluviaalisissa, jäätikkö- ja jokikerrostumissa sekä rapautuneessa ja rikkonaisessa kallioperässä.

12. Suo – Viiankaaavan suo.

13. Vuoden 2023 malli – pohjaveden virtausmalli, joka tehtiin vuonna 2023 ympäristövaikutusten arviointia (YVA) varten.

2.0 KÄSITTEELLINEN HYDROLOGINEN MALLI

2.1 Hydrologinen tutkimusalue (HTA)

Kuvassa 2-1 on esitetty tätä tutkimusta varten määritelty hydrologinen tutkimusalue (HTA). HTA on paljon suunniteltua kaivosaluetta suurempi, jotta voidaan välttää kaivoksen louhimisesta mahdollisesti aiheutuvan hydraulisen muutoksen ulottuminen HTA:n rajoille. Hydrologinen tutkimusalue rajattiin siten, että se noudattelee vesistöjä (länsi-, etelä- ja itäraja), topografisia vedenjakajia (pohjoisraja) ja pohjaveden virtausreittejä (pohjois-, luoteis- ja koillisrajat). Tämä helpottaa mallin reunaehtojen määrittämistä. HTA:n laajuus on sama kuin vuoden 2023 mallissa.

Hydrologinen tutkimusalue on noin 235 neliökilometrin (km²) suuruinen. Maanpinnan korkeus HTA:lla on 180–300 metriä merenpinnan yläpuolella (m mpy). Maanpinnan korkeus vaihtelee HTA:n pohjoisreunan korkeammista kohdista eteläreunan matalampiin kohtiin. Maanpinnan korkeus on maanalaisen kaivoksen alueella 185–188 m mpy ja maanpäällisten toimintojen alueella 195–230 m mpy.

Kaivostoimintojen alue sijaitsee suoraan itään Kitisestä, joka on Kemijoen yläjuoksun suurin haara (kuva 2-1; Kemijoki sijaitsee etelässä noin 60 km:n päässä HTA:sta eikä näy kuvassa). Kaivostoimintojen alueella on kaksi ensisijaista maanalaisen kaivoksen aluetta, pääesiintymä ja NE satelliittiesiintymä. Esiintymien sijainti on esitetty kuvan 2-1 lisäkartassa. Pääesiintymän maanalaisen pintaprojektion pinta-ala on noin 0,59 km² ja pääesiintymän keskus sijaitsee noin 600 metriä itään Kitisestä. NE satelliittiesiintymän maanalaisen pintaprojektion pinta-ala on noin 0,05 km² ja NE satelliittiesiintymän keskus sijaitsee noin 1 400 metriä itään Kitisestä. Esiintymään porataan maan päältä Kuusivaarasta neljä vinotunnelia, jotka ulottuvat pääesiintymästä ensin 2 km lounaaseen ja sitten 3 km lounaaseen (punainen viiva kuvassa 2-1). Vinotunnelien sisäänkäynnit ovat maan pinnalta Kuusivaaran alueella. Kuusivaaran alue sijaitsee noin 10 km koilliseen Sodankylästä.

Kuusivaaran alueelle rakennetaan kaivoksen maanpäällisiä toimintoja tukemaan maanalaista kaivostoimintaa. Maanpäällisiin toimintoihin kuuluvat sivukiven sijoitusalueet, vesialtaat, rikastushiekka-alue, tarvekilouhos ja päällystetyt alueet. Tarvekilouhoksen pinta-ala on noin 0,18 km² ja kaivoksen maanpäällisten toimintojen rikastushiekka-alue pois lukien noin 1,32 km². Rikastushiekka-alueen pinta-ala on kaivostoiminnan päättyessä 1,15 km². Kaivoksen maanpäällisten toimintojen etäisyys Kitisestä itään on noin 1 km ja tarvekilouhoksen noin 550 m.

Kuvassa 2-2 on esitetty Viiankiaavan suon (jatkossa "suo") ja Natura 2000 -alueen sijainti hydrologisella tutkimusalueella. Suo kattaa noin 66 km² HTA:sta. Suo sijaitsee HTA:n itäisellä puoliskolla. Metsähallituksen mukaan suon luontotyypppejä ovat muun muassa aapa- ja keidassuot, letot, huurresammallahteet, puustoiset suot ja luonnonmetsä (National Parks 2022). Suo on merkittävin ympäristöllisesti herkkä alue HTA:lla. Alueella tavataan lukuisia uhanalaisia ja silmälläpidettäviä kasvi- ja eläinlajeja (National Parks 2022). Suo kuuluu Suomen soidensuojeluohjelmaan ja Euroopan unionin Natura 2000 -verkostoon. Suunniteltu maanalaisten kaivos sijaitsee suoraan itään Kitiseltä suon kulmassa ja osittain suon keskisen länsireunan alapuolella. Kaivostoimintojen alueen pääesiintymä ja NE satelliittiesiintymät sijaitsevat syvällä suon alapuolella. Pääesiintymän korkein kohta on noin 250 metrin ja NE satelliittiesiintymän noin 80 metrin syvyydessä maanpinnan alapuolella (m mpa) suon alla.

2.2 Käsitteellisen hydrogeologisen mallin keskeiset rakenneosat

Kuvassa 2-3 on esitetty käsitteellisen hydrogeologisen mallin pää rakenneosat. Kuvassa 2-4 on esitetty suon käsitteellinen hydrogeologinen malli. Käsitteellinen hydrogeologinen malli on yksinkertaistettu esitys niistä keskeisistä tekijöistä, jotka vaikuttavat matalan vyöhykkeen ja syvän kallioperän pohjavesiin ja niiden vuorovaikutukseen, maanalaisen kaivoksen ja tarvekilouhoksen vuotovesiin sekä maanalaisen kaivostoiminnan

ja kaivoksen maanpäällisten toimintojen mahdollisesti aiheuttamaan pohjaveden pinnankorkeuden alenemaan. Kuvaan 2-3 merkityt numerot (#1– #14) viittaavat seuraaviin käsitteellisen mallin pää rakenneosiin:

1. **Sadanta ja kokonaishaihdunta** – Sadanta vaihtelee kaivostoimintojen alueella läpi vuoden (#1 kuvassa 2-3). Kesällä ja syksyllä alueella sataa vettä ja talvikuukausina lunta. Talvikuukausien aikana lumi muodostaa maahan lumipeitteen, jonka paksuus vaihtelee vuosittain. Pohjavettä muodostuu keväällä lumen sulamisen seurauksena sekä kesän ja syksyn sateiden seurauksena. Kokonaishaihdunta, josta suurin osa tapahtuu kesän aikana, on noin 269 millimetriä (mm) vuodessa (#1).
2. **Lumen sulaminen ja kevättulva** – Lumipeite alkaa sulaa keväällä lämpötilan noustessa. Noin 50 % vuotuisesta pintavalunnasta ajoittuu kevääseen lumien sulamisaikaan (#1). Lumen sulamisen aikana pohjavettä muodostuu matalaan vyöhykkeeseen (turve, jäätikkö- ja jokikerrostumat sekä rapautunut/rikkonainen kallioperä).
3. **Pohjaveden muodostuminen lumen sulamisvesistä ja sateesta** – HTA:n alueella on tyypillisesti pitkät talvet, joiden aikana kertyy paljon lunta (#1). Erityisesti alluviaalisten kerrostumien ja matalien akviferien hallitsemilla alueilla pohjavettä muodostuu pääasiassa lumen sulaessa kevättulvan aikana. Pohjavettä muodostuu eniten myöhään keväällä tai aikaisin kesällä, kun lumipeite on sulanut, ja myöhemmin jälleen kesä- ja syyskuukausien runsaiden sateiden aikana. Pohjaveden muodostumiseen vaikuttavat hydrogeologiset olosuhteet ja alueen geologinen rakenne.
4. **Tulevaisuuden ilmasto** – Kaivostoimintojen alueen tulevaisuuden ilmastosta on tehty lukuisia tutkimuksia. Tutkimukset osoittavat, että lämpötila todennäköisesti nousee ja sadanta kasvaa HTA:lla. Koska alueen lämpötilan odotetaan muuttuvan, sateiden sataminen lumena tai vetenä ja lumen sulamisen ajoitus voivat muuttua. Näiden muuttujien muutokset vaikuttavat todennäköisesti pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihteluun ja muodostumiseen.
5. **Viiankiaavan suo** – Suon luontotyyppinä ovat muun muassa aapa- ja keidassuot, letot, huuressammallähteet, puustoiset suot ja luonnonmetsä. Suo on merkittävin ympäristöllisesti herkkä alue HTA:lla. Alueella tavataan lukuisia uhanalaisia ja silmälläpidettäviä kasvi- ja eläinlajeja. Kuvassa 2-4 on esitetty suon käsitteellinen kuva eri hydrogeologisista yksiköistä, kasvillisuudesta, pohjavesistä ja eri vesien virtauksesta suoalueella. Suon turve on vedellä kyllästynyt hydrogeologinen yksikkö ja sitoo merkittävän määrän vettä, jota suon ekosysteemi käyttää. Turpeen paksuus vaihtelee ja turpeen paksuuden kasvaessa myös turpeen maatuneisuus kasvaa. Turpeen sisältämä vesi on osittain orsivettä, ja turpeen osittain vettä läpäisevä pohja muodostuu tiivistä turvekerroksesta, jonka vedenjohtavuus (K) on alhainen ja joka erottaa turpeen alla olevista jäätikkö- ja jokikerrostumista (Korkka-Niemi ym. 2017; Salonen ym. 2016; Turtiainen 2020). Alhaisen vedenjohtavuuden omaavaa pohjakerrosta ei esiinny kaikkialla suoalueella ja se saattaa puuttua kokonaan suon/turpeen reuna-alueilta, minkä seurauksena turpeen ja jäätikkö- ja jokikerrostumien välillä on osittainen hydraulinen yhteys paikoin. Yhteydestä todistaa samankaltainen vesikemia. Pohjaveden virtaus turpeen yläosassa on pääosin vaakasuuntaista alaosa suuremman vedenjohtavuuden vuoksi. Koska vedenjohtavuus pienenee syvemmälle turpeessa mentäessä, pystysuuntainen pohjaveden virtaus turpeessa on vähäisempää.

GTK:n turvetutkimuksen (1965, julkaisematon) perusteella turpeen maatuneisuus kasvaa turpeen paksuuden kasvaessa ja Viiankiaavalla maatuneisuus vaihtelee Von Post:n maatuneisuusasteikolla välillä H2–H8. Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet turpeen vedenjohtavuuden pienenevän maatuneisuuden kasvaessa (Päivänen 1973, Morris ym. 2021).

Turvetutkimuksen (GTK 1965) perusteella maatuneen turpeen paksuutta ja vedenjohtavuutta voidaan kuvata seuraavasti:

- a. Heikosti maatuneen turpeen (H2–4) mediaanipaksuus on 1 m ja suurin paksuus 4,5 m,
- b. Keskinkertaisesti maatuneen turpeen (H5–6) mediaani paksuus on 0,5 m ja enimmäispaksuus 2,4 m,
- c. Hyvin maatuneen turpeen (H7–8) keskipaksuus on 0,3 m ja enimmäispaksuus 2,0 m.
- d. Yleensä turpeen maatumisasteen kasvu on tasaista, mutta paikoin esiintyy myös jyrkkiä tai vaihtelevia muutoksia. Mittausten ja Päiväsen (1973) tekemien vedenjohtavuuslaskelmien perusteella heikosti maatuneen turpeen vedenjohtavuus voi vaihdella välillä 3×10^{-6} – 2×10^{-5} m/s, keskinkertaisesti maatuneen turpeen välillä 1×10^{-6} – 2×10^{-5} m/s ja hyvin maatuneen turpeen välillä 1×10^{-7} – 3×10^{-6} m/s välillä.

Pintaveden valuntaa tapahtuu suolla lumen sulamisen aikana, ja vettä säilyy suolla kesän ajan järvissä, lammissa puroissa ja rrimissä. Kasvien juurien imuvoima todennäköisesti estää kaivostoiminnan mahdollisesti aiheuttaman pohjaveden aleneman turvekerroksessa.

Kuvassa 2-5 on esitetty turpeen huokosveden ja pohjaveden pinnankorkeuden kuvaajat turpeessa ja turpeen alla olevissa kerrostumissa. Maanalaisen kaivoksen kohdalla suoalueella turpeen paksuus vaihtelee alle 0,5 metristä 7 metriin. Suolla mitatut pohjaveden pinnankorkeudet vaihtelevat vuodenaikojen mukaan. Suolla sijaitsevista havaintoputkista mitatut pohjaveden pinnankorkeudet talvikuukausina eivät edusta todellisia pinnankorkeuksia, koska havaintoputkiin muodostuu jääkansi. Jääkansi on havaintoputkissa tyypillisesti lokakuun lopusta maaliskuuhun, kun on pakkasta. Tämän vuoksi talvikuukausien vedenpinnankorkeuksia ei huomioitu tässä raportissa eikä numeerisessa pohjaveden virtausmallin kalibroinnissa.

6. **Pohjaveden pinnankorkeudet ja pohjaveden laatu** – Matalan vyöhykkeen pohjaveden hydrogeologista yksiköistä mitatuissa pohjaveden pinnankorkeuksissa voidaan havaita vuodenaikaisvaihtelua (#7). Ehjästä kallioperästä mitatut pohjaveden pinnankorkeudet taas vaihtelevat vähemmän, mikä kertoo rajallisesta hydraulisesta yhteydestä päällä olevan matalan vyöhykkeen pohjaveden ja ehjän kallioperän syvän pohjaveden välillä.

Rikkonaisen kallioperän pohjavesi on vuorovaikutuksessa yläpuolella olevien jäätikkö- ja jokikerrostumien pohjaveden kanssa, mistä todisteena on samankaltainen vesikemia (#9). Vesikemian havaintoaineiston perusteella ehjän kallioperän pohjavesi sisältää enemmän liuenneita aineita ja eroaa vesikemialtaan muutenkin jäätikkö- ja jokikerrostumien sekä rikkonaisen kallioperän pohjavedestä. Erilaiset vesikemiat viittaavat siihen, että hydrologinen vuorovaikutus ehjän kallioperän ja matalan vyöhykkeen pohjaveden hydrologisten yksiköiden välillä on rajallista.

7. **Pintavesi** - Suurin osa pintavalunnasta maanalaisen kaivoksen yläpuolella ajoittuu kevääseen, sillä yli 50 % vuotuisesta pintavalunnasta on seurausta lumen sulamisesta (#3). Pintavesi virtaa maanpinnalla maanalaisen kaivoksen alueen yläpuolella erilaisissa uomissa ja ojissa. Pintavalunta näissä uomissa hydrologisella tutkimusalueella vaikuttaa pohjaveden muodostumiseen matalissa sedimenteissä sekä veden purkautumiseen jokiin. HTA:n merkittävimmät joet ovat Kitinen, Kelujoki, Hiivanahaara ja Ylijoki. Kitinen virtaa HTA:n keskeltä, ja sen virtamaa säännöstellään vesivoimapadoilla (#4 ja #5). Kahteen muuhun tärkeimpään jokeen kerääntyy vettä HTA:n itä- ja eteläpuolelta, ja ne virtaavat lopulta Kitiseen HTA:n etelärajalla.

8. **Geologinen ympäristö** – Kaivostoimintojen alueen hydrogeologiaa luonnehtivat matalan ja

syvän vyöhykkeen pohjavedet, jotka ovat erillisiä hydrogeologisia yksiköitä. Matalan vyöhykkeen pohjavesi (#8) on varastoitunut ennen kaikkea jäätikkö- ja jokikerrostumiin, joiden alla on rikkonainen/rapautunut kallioperä (#10). Rikkonaisen kallioperän (#10) alla on syvän pohjaveden vyöhyke ehjän kallioperän avoimissa ei-täytteisissä huokosissa, raoissa ja ruhjeissa. Mafiset ja ultramafiset kivilajit ovat vallitsevia syvässä kallioperässä (#11).

Jäätikkö- ja jokikerrostumien vedenjohtavuudet (K-arvot) vaihtelevat keskitasoisesta korkeaan ($> 1 \times 10^{-6}$ metriä sekunnissa [m/s]). Rikkonaisen/rapautuneen kallioperän vedenjohtavuudet ovat korkeampia kuin ehjän kallioperän, jonka vedenjohtavuudet ovat matalia: ehjän kallioperän mitattu vedenjohtavuuden mediaani on 1×10^{-8} m/s. Pohjaveden virtaus rikkonaisessa kallioperässä rajoittuu pääasiassa paikallisiin avoimiin ei-täytteisiin huokosiin, rakoihin ja ruhjeisiin.

Geologisten yksiköiden vedenjohtavuudet vaikuttavat pohjaveden virtaukseen ja mahdolliseen yhteyteen matalan ja syvän vyöhykkeen pohjavesien välillä.

9. **Paikalliset ja alueelliset ruhjeet** – Kaivostoimintojen alueella sijaitsevat pohjaruhje, breksiaruhje, dolomiittiruhje, NE ruhjeet ja ruhje A sekä malmiesiintymää osittain leikkaava serpentiniittiruhje (#12). Merkittävin ruhje vinotunnelien ja maanalaisen kaivoksen alueella on pohjaruhje. Hydraulisissa kokeissa mitatut vedenjohtavuudet osoittavat, että pohjaruhjeen vedenjohtavuudet ovat suurempia kuin ympäröivän ehjän kallioperän. Muiden ruhjeiden vedenjohtavuudet vastaavat ympäröivän kallioperän vedenjohtavuuksia.

Paikalliset ja alueelliset geologiset ruhjeet voivat olla vettä johtavia tai estää pohjaveden virtausta (#12 ja #13); kumpikin vaihtoehto vaikuttaa vuotovesimääriin sekä pohjaveden pinnankorkeuden alenemaan ja palautumiseen.

10. **Kaivokseen liittyvien toimintojen, kaivoksen ja vinotunnelin rakentaminen** – Maanpinnalta Kuusivaarasta porataan neljä vinotunnelia maanalaiseen kaivoksen alueelle, joka sijaitsee syvän kallioperän pohjavesivyöhykkeessä syvällä suon alla. Vinotunnelien ja maanalaisen kaivoksen rakentaminen vaikuttaa todennäköisesti syvän kallioperän pohjavesiin. Kallioperän ja ruhjeiden hydraulisista ominaisuuksista riippuen, syvän kallioperän ja matalan vyöhykkeen pohjavesien välillä voi olla paikallisia yhteyksiä. Maanalaiseen kaivokseen tulevien vuotovesien määrään vaikuttavat geologisten rakenteiden ja ruhjeiden hydrauliset ominaisuudet. AASM Oy suunnittelee käyttävänsä lievennyskeinoja, kuten vettä johtavien ruhjeiden injektioimista kohteissa, joissa vuotovesimäärät ovat runsaita ja voisivat vaikuttaa kaivoksen toimintaan tai johtaa pohjaveden pinnankorkeuden merkittävään alenemiseen.

Kaivostoiminnan lisäksi Kuusivaaran alueelle rakennetaan muita kaivokseen liittyviä toimintoja, kuten sivukiven sijoitusalueita, vesialtaita, rikastushiekka-alue (MWF), päällystettyjä alueita ja tarvekivilouhos. Kaivokseen liittyvät toiminnot rakennetaan maanpinnalle lukuun ottamatta noin 70 metriä syvää tarvekivilouhosta. Tarvekivilouhoksen rakentaminen vaikuttaa ehjän kallioperän hydraulisista ominaisuuksista riippuen todennäköisesti syvän ja matalan vyöhykkeen pohjaveteen. Vuotovettä purkautuu tarvekivilouhokseen sen louhinnan aikana. Lisäksi on todennäköistä, että kaivostoiminnot vähentävät pohjaveden muodostumista paikallisesti.

Ennen vuotta 2017 tehdystä malminetsintäkairauksista on jäänyt maanalaisen kaivoksen alueelle kairareikiä, jotka lävistävät mineralisaation ja joilla saattaa olla hydraulinen yhteys yläpuolisten hydrogeologisten yksiköiden vesiin kaivoksen toiminnan aikana. AASM Oy on käynnistänyt hankkeen sellaisten kairareikien tulppaamiseksi, jotka aiheuttavat riskiä kaivostoiminnalle. Valtaosa näistä kairareikistä tulpataan rakentamisvaiheen aikana (#14).

3.0 KESKEISET HYDROGEOLOGISET TIETOAINIESTOT

Seuraavat osiot sisältävät yleiskatsauksen keskeisistä hydrogeologisista tietoaineistoista, joita hyödynnettiin osiossa 2.0 kuvatun käsitteellisen hydrogeologisen mallin laatimisessa ja osiossa 4.0 kuvatun alueellisen pohjaveden virtausmallin laatimisessa ja kalibroimisessa. Seuraavat aineistot ovat olleet keskeisiä käsitteellisen ja numeerisen pohjaveden virtausmallin laatimisessa:

1. Geologiset mallit, sisältäen geologiset yksiköt ja ruhjeet
2. Hydraulista kokeista saadut mitatut hydrauliset tiedot
3. Ilmastotiedot, kuten sadanta, kokonaishaihdunta ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksesta tulevaisuuden pohjaveden muodostumismäärään
4. Kaivossuunnitelmat (maanalaiset toiminnot ja maanpäälliset kaivokseen liittyvät toiminnot)

3.1 Alueen geologia

Kuvissa 3-1 ja 3-2 on esitetty HTA:n pintamaalajien ja kallioperän pintageologiakartat. Pintageologiakartta on muodostettu Geologian tutkimuskeskuksen mittakaavoissa 1:20 000, 1:50 000 ja 1:200 000 olevista kartoista (2022). Kuvassa 3-3 on esitetty maanalaisen kaivoksen alueen geologisten yksiköiden pohjois-eteläsuuntainen poikkileikkaus ja maanalaisen kaivoksen laajuudessa. Poikkileikkauksen geologiset tiedot ovat peräisin AASM Oy:n toimittamista geologisista lohkomalleista. Alla on selvitys käytetyistä geologista malleista. Kaivostoimintojen alueella turve peittää jäätikkö- ja jokikerrostumat. Jäätikkö- ja jokikerrostumien alla on paleoproterotsooinen kallioperä, joka on osa Keski-Lapin vihreäkivivyöhykettä (Eilu ym. 2012; Pulkkinen 1983; Tyrväinen 1983). Kallioperän yläosa on enimmäkseen preglasiaalisesti rapautunutta (Hall ym. 2015) sekä toistuvien metamorfisten prosessien, siirrosten, tektonisten tapahtumien ja jäätikön etenemisen rikkomaa. Rapautunut kerros on säilynyt verrattain heikon glasiaalisen eroosion vuoksi. Kallioperän yläosaan viitataan jatkossa termillä rikkonainen kallioperä. Rikkonaisen kallioperän alla olevaan kallioperään viitataan termillä ehjä kallioperä. Malmiesiintymä sijaitsee alemman Sodankylän ryhmän ja ylemmän Savukosken ryhmän geologisten yksiköiden kontaktivyöhykkeellä (Luukas 2017). Sodankylän ryhmä sisältää pääosin kiilleliuskeita, metasilttikiviä ja kvartsiitteja sekä paikallisesti runsaasti metavulkaaniitteja ja satunnaisesti dolomiittisia kiviä. Ylempi Savukosken ryhmä sisältää ultramafisia vulkaanisia kiviä ja liuskeita. Malmiesiintymä sijaitsee ultramafisessa vulkaanisessa kivessä ja ultramafisissa kumulaateissa, jotka sisältävät peridotiittia ja duniittia, mafisia vulkaanisia kiviä ja vulkaanisia tuffeja. Alueellisen kallioperäkartan mukaan tarvekivilouhoksen alue sijaitsee pääosin mafisessa vulkaanisessa kivessä.

Kuvassa 3-4 on esitetty merkittävimmät geologiset ruhjeet hydrologisella tutkimusalueella perustuen AASM Oy:n, Geologian tutkimuskeskuksen (2022) ja Luukaksen (2017) tietoihin. HTA:n merkittävimmät ruhjeet on merkitty vaaleanpunaisella ja alueellisesti kartoitetut ruhjeet vihreällä (Geologian tutkimuslaitos 2022), keltaisella ja mustalla (Luukas 2017). Alueellisesti kartoitetut ruhjeet (Geologinen tutkimuslaitos 2022 ja Luukas 2017) perustuvat geofysikaalisten lentomittausaineistojen tulkintoihin. Eri datalähteistä saadut tiedot kartoitetuista ruhjeista limittyvät jossain määrin, ja tarkimman kolmiulotteisen mallin ruhjeiden ja vuonna 2017 kartoitettujen alueellisten siirrosten välillä on yhtäläisyyksiä. Yhtäläisyydet on vahvistettu kairauksilla. HTA:n kallioperään on kohdistunut kaksi merkittävää rakenteellista tapahtumaa (Luukas 2017). Ensimmäinen pohjois-eteläsuuntainen puristus johtui kohoamisesta ja ylityönnöstä pohjoisen suunnasta ja hiertovyöhykkeiden kehittymisestä suoraan malmikerrostumien ylä- ja alapuolelle. Toinen tapahtuma synnytti hauraat kaakkois-luoteissuuntaiset ruhjeet, jotka johtivat aikaisempien ruhjeiden deformaatioon. Kuten kuvasta 3-4 nähdään, maanalaisen kaivoksen alue ulottuu useiden ruhjeiden alueelle, mutta tarvekivilouhoksen alueelle ei sijoitu ruhjeita. Kaivostoimintojen alueen merkittävimmät ruhjeet on huomioitu numeerisissa ja käsitteellisissä malleissa.

3.1.1 Geologiset yksiköt

Kuvassa 3-5 on esitetty AASM Oy:n toimittaman kolmen geologisen lohkomallin laajuus. Geologisia malleja käytettiin suoraan käsitteellisissä ja numeerisissa malleissa. Seuraavassa on esitetty yhteenveto näistä geologisista lohkomalleista:

1. **Matalan vyöhykkeen geologinen malli:** Matalan vyöhykkeen geologinen malli kattaa kaivostoimintojen alueen ja Viiankiaavan suoalueen. Matalan vyöhykkeen geologinen malli sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen eri moreeneista, lajittuneista kerrostumista ja turpeesta sekä rikkonaisesta kallioperästä. Matalan vyöhykkeen malli on esitelty yksityiskohtaisesti julkaisussa Åberg ym. (2021).
2. **Vuoden 2023 geologinen malli:** Tunneliporauslinjan ja malmiesiintymän malli on yhdistetty yhdeksi geologiseksi malliksi AASM Oy:n toimesta vuonna 2023. Geologinen malli sisältää yksityiskohtaista tietoa paikallisista ruhjeista ja geologisista yksiköistä malmiesiintymän alueella ja tunneliporauslinjan ympäristössä.
3. **Kuusivaaran malli:** Kuusivaaran mallissa on esitetty yksityiskohtaisesti Kuusivaaran alueen ylemmät geologiset yksiköt. Mallin yksityiskohdat on esitelty julkaisussa Puumalainen (2021).

Kaivostoimintojen alueen geologia voidaan jakaa neljään stratigrafiseen pääyksikköön:

1. Suo,
2. Suon alla olevat jäätikkö- ja jokikerrostumat,
3. Rikkonainen kallioperä,
4. Ehjä kallioperä.

Seuraavassa on esitetty yhteenveto HTA:n stratigrafisista pääyksiköistä.

3.1.1.1 Suo

Suo sai alkunsa jääkauden sulamisvaiheeseen liittyvästä järvestä viimeisen Suomessa tapahtuneen huomattavan jäätiköiden etenemisjakson lopussa (Salonen ym. 2016). Suo on Natura 2000 -suojelualueita ja koostuu kosteikko- ja turveympäristöstä, jossa elää vaarantuneita ja uhanalaisia kasvi- ja eläinlajeja. Suolla on vesistöjä sekä neva- ja lettoalueita jänne- ja rimpikuvioinnilla (Korkka-Niemi ym. 2017). Kuvassa 3-1 on esitetty kartoitetut turvealueet HTA:lla.

Kuvassa 3-6 on esitetty kartta interpoloidusta turpeen paksuudesta HTA:lla (Åberg ym. 2021). Geologisten turvekairausten (Lappalainen ja Pajunen 1982) perusteella turvekerros on enimmillään 7,8 m paksu, ja sen keskimääräinen paksuus on 2,3 m kaivostoimintojen alueella. Muissa suolla tehdyissä tutkimuksissa (Korkka-Niemi ym. 2017) turpeen keskimääräisen paksuuden arvioitiin olevan 1,9 m. Käsitteelliseen ja numeeriseen malliin sisällytetty matalan vyöhykkeen geologinen malli sisältää viimeisimmät turpeen paksuuden kartoitustiedot.

Turve muuttuu tiiviimmäksi syvemmälle mentäessä ja sen seurauksena myös turpeen vedenjohtavuus pienenee syvemmälle mentäessä. Tästä seuraa, että turpeen ja sen alla olevien yksiköiden välinen virtausyhteys on rajallinen ja suolle on muodostunut orsivesialueita. Golder (2015) arvioi, että turpeen vedenjohtavuus vaihtelee välillä $1,0 \times 10^{-7}$ – $2,4 \times 10^{-4}$ m/s keskiarvon ollessa $1,0 \times 10^{-5}$ m/s. Lisämittauksissa turpeen vedenjohtavuus vaihteli välillä $9,8 \times 10^{-6}$ – $1,0 \times 10^{-5}$ m/s (Korkka-Niemi ym. 2017; Korkka-Niemi ja Turtiainen 2020). Taulukossa 3-1 on esitetty yhteenveto HTA:n hydrogeologisista yksiköistä mitatuista vedenjohtavuuksista.

Koska osa turveyskikössä esiintyvissä vedestä on orsivettä (kuva 2-4), joka ei ole yhteydessä alla olevien jäätikkö- ja jokikerrostumiin eikä kallioperään, tulee pohjaveden virtausmallin ennustama pohjaveden pinnankorkeuden alenema tapahtumaan jäätikkö- ja jokikerrostumissa ja kallioperässä turveyskikön alla. Turveyskikössä alenema saattaa olla huomattavasti pienempi kuin jäätikkö- ja jokikerrostumissa ja kallioperässä, koska turpeen ja sen alla olevien yksiköiden välinen yhteys on rajallinen.

3.1.1.2 Jäätikkö- ja jokikerrostumat

Matalan pohjavesivyöhykkeen jäätikkö- ja jokikerrostumat muodostuvat eri moreeneista, hiekoista ja sorista (Åberg ym. 2017; Åberg ym. 2021). Kolme tärkeintä moreenikerrostumaa ovat ylin moreeni, keskimäinen moreeni ja alempi moreeni (Åberg ym. 2020; Salonen ym. 2016). Ylemmän moreenin päällä olevat jatkuvimmat lajittuneet kerrostumat ovat lajittuneita pintakerrostumia, jotka edustavat huuhtoutuneita jokikerrostumia ja ovat muodostuneet osana tyypillistä jokiympäristöä. Lajittuneet pintakerrostumat koostuvat jokihiekoista ja sorista, hienojakoisista jokitasangon kerrostumista ja tuulen kasaamista hiekoista. Kuvassa 3-1 on esitetty kartoitettujen sorakerrostumien sijainnit HTA:lla. Moreenikerrostumat sekoittuvat hiekka- ja soravyöhykkeiden kanssa, joiden laajuus on yleensä rajallinen (Åberg ym. 2021; Salonen ym. 2014; Salonen ym. 2016). Kuten kuvasta 3-1 voidaan nähdä, lajittuneet pintakerrostumat ovat hallitsevia Kitisen jokivarressa, kun taas moreenia on tyypillisesti maaston korkeammissa kohdissa.

Alempi moreeni sisältää kohtalaisen ja heikon vedenjohtavuuden yksiköitä, joiden vedenjohtavuus on pienempi kuin muiden moreenikerrostumien (Åberg ym. 2020). Alempi moreeni voi siis mahdollisesti eristää sen päällä olevat jäätikkö- ja jokikerrostumat alla olevasta kallioperästä. Alempaa moreenia ei kuitenkaan esiinny kaikkialla HTA:lla. Pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän alueella merkittävimmät jäätikkö- ja jokikerrostumat ovat ylin ja alempi moreeni sekä lajittuneet kerrostumat. Tarvekilouhoksen ja kaivoksen maanpäällisten toimintojen alueella esiintyy jäätikkö- ja jokikerrostumista ensisijaisesti moreeneja.

Golder (2015) mittasi hydraulisisissa kokeissaan jäätikkö- ja jokikerrostumien vedenjohtavuutta 38 koerieistä. Vedenjohtavuudet vaihtelivat välillä $5,0 \times 10^{-8}$ – $4,0 \times 10^{-3}$ m/s, ja niiden keskiarvo oli noin $3,0 \times 10^{-6}$ m/s (Golder 2015), kuten on esitetty taulukossa 3-1.

3.1.1.3 Rikkinainen kallioperä

Jäätikkö- ja jokikerrostumien alla oleva rikkinäinen kallioperä on muodostunut preglasiaalisen eroosion (Hall ym. 2015), metamorfisten prosessien, siirrostumisen, tektonisten tapahtumien ja jäätikön etenemisen (Helmens ym. 2000; Hättestrandja Stroeve 2002; Helmens ym. 2007; Hall ym. 2015; Sarala ym. 2015) seurauksena. Rikkinäinen kallioperä koostuu vaihtelevan paksuisesta ylemmästä kallioperästä, joka on paksuimmillaan 150–200 m. Kuvan 3-3 pohjois-eteläsuuntainen poikkileikkaus kaivostoimintojen alueesta havainnollistaa rikkinäisen kallioperän arvioidun paksuuden. Taulukossa 3-1 on esitetty yhteenveto rikkinäisen kallioperän mitatuista vedenjohtavuuksista. Rikkinäisen kallioperän paksuus vaihtelee merkittävästi eri puolilla HTA:ta. Suunniteltu maanalaisen kaivoksen alue sijaitsee NE satelliitti- ja pääesiintymän alueilla 20–200 metriä rikkinäisen kallioperän alapuolella. Matala osuus maanalaisesta kaivoksesta on NE satelliittiesiintymän läheisyydessä noin 20 metriä rikkinäisen kallioperän alapuolella. Tarvekilouhos leikkaa rikkinäistä kallioperää Kuusivaaran alueella.

Aikaisemmat tutkimukset (AASM Oy 2021; SRK 2019,) ovat osoittaneet, että rikkinäisen kallioperän vedenjohtavuudet ovat huomattavasti korkeampia kuin ehjän kallioperän. Rikkinäisen kallioperän ylemmän, 50 metriä paksun osan vedenjohtavuuksien arvioitu keskiarvo on noin $5,0 \times 10^{-5}$ m/s vedenjohtavuuksien vaihdellissa välillä $1,0 \times 10^{-7}$ – $1,0 \times 10^{-4}$ m/s. Rikkinäisen kallioperän alemman osan vedenjohtavuuksien keskiarvo on $5,0 \times 10^{-6}$ (AASM Oy 2021). Yhteenveto rikkinäisen kallioperän vedenjohtavuuksien hajonnasta on esitetty taulukossa 3-1.

3.1.1.4 Ehjä kallioperä

Rikkonaisen kallioperän alla on mafisia ja ultramafisia vulkaanisia kiviä, joissa malmiesiintymä sijaitsee. Ehjän kallioperän kalliomassa on pääasiassa rikkoutumatonta/muuttumatonta. Ehjän kallioperän vedenjohtavuudet ovat tyypillisesti matalia, kuten on esitetty yhteenvedossa taulukossa 3-1. Vedenjohtavuudet vaihtelevat välillä $1,0 \times 10^{-12}$ – $3,4 \times 10^{-5}$ m/s, ja niiden keskiarvo oli noin $1,0 \times 10^{-8}$ m/s (AASM Oy 2021; SRK 2019). Ehjän kallioperän vedenjohtavuudet paikallisten rakovyöhykkeiden (joita käsitellään jäljempänä) ulkopuolella vaihtelevat välillä $1,0 \times 10^{-12}$ – $1,0 \times 10^{-7}$ m/s.

Ehjässä kallioperässä on paikallisia rakovyöhykkeitä. Nämä rakovyöhykkeet ovat pieniä ja paikallisia verrattuna rikkoutuneeseen kallioperään, jossa on laajamittaista rikkonaisuutta ja rapautumista. Ehjän kallioperän paikallisten rakojen vedenjohtavuudet ovat enintään kaksi suurusluokkaa suurempia kuin ympäröivän kallioperän. Verrattuna ehjän kallioperän vedenjohtavuuksiin, paikallisten rakojen mitatut vedenjohtavuudet vaihtelevat välillä $1,0 \times 10^{-8}$ – $3,4 \times 10^{-5}$ m/s, ja rakovyöhykkeet eivät ole jatkuvia (kuten käy ilmi mitattujen vedenjohtavuuksien kartasta osiossa 3.1.3). Vedenjohtavuuksien paikasta riippuvaa jakaumaa ehjässä kallioperässä käsitellään jäljempänä osiossa 3.1.3. Taulukossa 3-1 on esitetty yhteenvedo ehjän kallioperän mitatuista vedenjohtavuuksista. Maanalainen kaivos ja vinotunnelit sijoittuvat pääosin ehjään kallioperään lukuun ottamatta vinotunnelien sisäänkäynnin aluetta. Tarvekilouhoksen pohja sijoittuu ehjään kallioperään.

3.1.2 Geologiset rakenteet

Kuten kuvasta 3-4 voidaan nähdä, geofysikaalisten tietojen perusteella HTA:lla voidaan tulkita olevan useita ruhjeita. Kaivostoimintojen alueen merkittävimmät ruhjeet on kuvailtu, mutta joidenkin kaivostoimintojen alueen ulkopuolelle jäävien alueellisten ruhjeiden hydrogeologisia ominaisuuksia ei tunneta. Kuten kuvasta 3-4 voidaan nähdä, eri lähteistä tulkittujen alueellisten ja paikallisten ruhjeiden geologiset rakenteet limittyvät (AASM Oy 2021; GTK 2022; Luukas 2017). Geologisten rakenteiden malli kattaa kaivostoimintojen alueella sijaitsevat seuraavat ruhjeet: pohjaruhje, breksiaruhje, dolomiittiruhje, serpentiniittiruhje sekä NE ruhjeet ja ruhje A. Näillä kuudella merkittävimmällä ruhjeella on sekä alueellisia että paikallisia ominaisuuksia ja ne edustavat viimeisintä laajaan kairaustutkimukseen ja geoteknisiin tutkimuksiin perustuvaa tulkintaa kaivostoimintojen alueen ruhjeista. Ruhjeita on sekä rikkonaisessa että ehjässä kallioperässä, mutta ne eivät lävistä yllä olevia jäätikkö- ja jokikerrostumia (kuva 3-3). Vesihävikikokeiden tulosten perusteella joissakin ruhjeiden läpäisykohdissa vedenjohtavuudet ovat korkeampia (tätä on käsitelty jäljempänä). Korkeammat vedenjohtavuudet ovat kuitenkin yleensä paikallisia ja ne eivät ole jatkuvia. Geologisissa 3D-malleissa kuvattujen siirrostien vedenjohtavuudet vaihtelevat välillä $4,3 \times 10^{-11}$ – $1,3 \times 10^{-7}$ m/s (AASM Oy 2021). Suoraan ruhjeissa tehtyjen vesihävikikokeiden tulosten perusteella vedenjohtavuudet eivät ole ruhjeissa merkittävästi korkeampia kuin ehjässä kallioperässä. Taulukossa 3-1 on esitetty yhteenvedo ruhjeiden mitatuista vedenjohtavuuksista.

Alin hiertovyöhyke on työntösiirrostien ryhmittymä, ja sitä kutsutaan pohjaruhjeeksi. Pohjaruhje on rikkoutunut kalliovyöhyke, joka sisältää laajoja sormamaisia breksiaavyöhykkeitä mutta myös savisia vyöhykkeitä. Pohjaruhjeen kairaus on teknisesti haasteellista, ja kaivostoimintojen alueen syvät malminetsintäkairaukset päättyvät yleensä tähän vyöhykkeeseen. Pohjaruhjeen vedenjohtavuudeksi on arvioitu $5,9 \times 10^{-7}$ – $9,6 \times 10^{-7}$ m/s eli vedenjohtavuudet ovat korkeampia kuin muissa ruhjeissa ja ehjässä kallioperässä.

3.1.3 Hydrauliset kokeet kaivostoimintojen alueella

3.1.3.1 Yhteenvedo hydraulista kokeista

AASM Oy on toteuttanut laajan kenttämittausohjelman, jossa litologisten yksiköiden ja geologisten ruhjeiden vedenjohtavuuksia on selvitetty useilla hydraulisilla testausmenetelmillä. Vedenjohtavuutta on mitattu vesihävikikokeilla, pumppauskokeilla, kaatotesteillä eli vedenläpäisevyyttä mittaavan painetason (falling head) testeillä, spinner-testeillä ja paineilman avulla tehdyissä antoisuuskokeissa (air-lift). Seuraavassa on esitetty

yhteenvedo hydraulisista testeistä ja yhteenvedo kaivostoimintojen alueen läheisyydestä mitatuista vedenjohtavuuksista.

3.1.3.2 Yhteenvedo hydraulisten kokeiden tuloksista

Kuvassa 3-7 on esitetty mitatut vedenjohtavuudet kaikista vesihävikikokeista vuosilta 2016–2023 syvyyden mukaan (365 onnistunutta testiä 80 kairareistä). Kuvassa on myös trendiviiva vesihävikikokeiden tuloksista, jotka on jaoteltu viiteen ryhmään:

1. Ehjän kallioperän vedenjohtavuus (K -arvo)
2. Paikalliset raot: Paikallisten, erillään muista olevien rakojen vedenjohtavuus ehjässä kallioperässä. Paikallisiksi raoiksi määriteltiin ne, joissa vesihävikikokeessa mittausvälillä RQD (rock quality designation) < 25 % hävikki.
3. Arvioidut geometriset keskiarvot, 25. ja 75. prosenttipiste: Ehjän kallioperän ja rikkonaisemman kallioperän trendiviivat.

Yhteenvedo vesihävikikokeiden tiedoista on esitetty taulukossa 3-2. Vesihävikikokeiden tulokset kuvassa 3-7 osoittavat, että:

1. Kallioperän vedenjohtavuus pienenee syvemmälle mentäessä. Ylempi kallioperä on paremmin vettä läpäisevää kuin syvempi kallioperä.
2. Ylemmän kallioperän mitatut vedenjohtavuudet syvyysvälillä -100...100 m mpy vaihtelevat välillä $1,0 \times 10^{-9}$ – $1,0 \times 10^{-7}$ m/s.
3. Alemman kallioperän (<-100 m mpy) vedenjohtavuudet vaihtelevat välillä $1,0 \times 10^{-11}$ – $1,0 \times 10^{-7}$ m/s useimpien mitattujen arvojen ollessa alle $1,0 \times 10^{-8}$ m/s.
4. Kun vesihävikikokeet osuivat kallioperän rikkonaisiin kohtiin, näiden paikallisten kohtien vedenjohtavuudet olivat suurempia kuin ehjästä kalliosta mitatut vedenjohtavuudet. Rikkonaisissa kohdissa tehdyissä vesihävikikokeissa mitatut vedenjohtavuudet vaihtelivat välillä $1,0 \times 10^{-8}$ – $1,0 \times 10^{-4}$ m/s.
5. Rakojen kohdalla vedenjohtavuudet ovat tyypillisesti yksi tai kaksi suuruusluokkaa suurempia kuin ympäröivässä kallioperässä. Kallioperää lävistävistä ruhjeväleistä mitatut vedenjohtavuudet vaihtelevat suuresti ympäröivästä kallioperästä mitattujen vedenjohtavuuksien tapaan. Lisäksi paikallisten kallioperän rakojen vedenjohtavuudet vaikuttavat laskevan syvemmälle mentäessä.

Kuvassa 3-8 on esitetty mitatut vedenjohtavuudet kaikista laatutarkistetuista vesihävikikokeiden tuloksista ja ne on luokiteltu kivilajin mukaan. Kuten kuvassa 3-8 on esitetty, vesihävikikokeiden tuloksista ei voida havaita kivilajiin perustuvia riippuvaisuuksia. Vaikka mitattujen vedenjohtavuuksien vaihteluvälit joissakin litologisissa väleissä (esim. skapoliittikiillekivessä tai dolomiitissa) ovat suurempia kuin muissa kivilajeissa, kaikkien kivilajien keskimääräiset vedenjohtavuudet ovat samankaltaisia. Kaikissa kivilajeissa voidaan havaita vedenjohtavuuksien pienentyminen syvemmälle mentäessä.

Kuvassa 3-9 on esitetty vesihävikikokeilla mitatut vedenjohtavuudet yhdessä kaatokokeen (kuva 3-9a), pumppauskokeiden (kuva 3-9b) ja paineilman avulla tehtyjen antoisuuskokeiden tulosten kanssa (kuva 3-9c). Vesihävikikokeiden lisäksi muista kaivostoimintojen alueella tehdyistä hydraulisista testeistä on saatu samankaltaisia vedenjohtavuuden mittaustuloksia. Useimmat spinner-testit tehtiin ehjän kallioperän yläosassa ja rakojen lävistyskohdissa. Yhteenvedot arvioiduista vedenjohtavuuksista, jotka saatiin kaatokokeista (kolme

mittausta), pumppauskokeista (44 mittausta) ja ilmanostotesteistä (yhdeksän mittausta), on esitetty taulukoissa 3-3, 3-4 ja 3-5.

Kuvissa 3-10, 3-11 ja 3-12 on esitetty vesihävikikokeista saatujen interpoloitujen vedenjohtavuuksien alueelliset jakautumat kartalla. Kuvien tarkoituksena on esittää vedenjohtavuuksien paikasta riippuvat trendit määrättyissä syvyysväleissä. Interpoloidut vedenjohtavuudet on esitetty kartalla kriging-menetelmällä interpoloituina pintoina ja eri värein. Interpoloitujen pintojen lisäksi mitattujen vesihävikikokeiden sijainnit on merkitty kuvaan vihreillä symboleilla. Vuoden 2016–2023 vesihävikikokeiden 365:stä mittauksesta laadituista kaaviokuvista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

1. Ehjän kallioperän vedenjohtavuudet alle 0 m mpy syvyydellä ovat tyypillisesti alhaisia: $1,0 \times 10^{-11} - 1,0 \times 10^{-7}$ m/s.
2. Ehjän kallioperän mitatut vedenjohtavuudet laskevat syvemmälle mentäessä.
3. Joissakin paikoissa mitatut vedenjohtavuudet ovat korkeampia kaivostoimintojen alueen ruhjeissa tai ruhjeiden yhtymäkohdissa. Korkeammat vedenjohtavuudet ovat kuitenkin paikallisia ja ne eivät ole jatkuvia.
4. Mitattujen vedenjohtavuuksien perusteella kallioperän vedenjohtavuudet ovat korkeampia lähempänä Kitistä ja vinotunnelien alueella. Tämä johtuu mahdollisesti seuraavista syistä:
 - a. Korkeammat vedenjohtavuudet vinotunnelien alueella saattavat liittyä pohjaruhjeeseen.
 - b. Korkeammat vedenjohtavuudet Kitisen lähellä voivat liittyä jokiuomaan.

Kuvassa 3-13 on esitetty vesihävikikokeilla geologisen mallin ruhjeista (2016–2019) tai ruhjeiden leikkauspisteistä 2020–2021 (31 mittausta) mitatut vedenjohtavuudet. Taulukossa 3-6 on esitetty yhteenvedo ruhjerakenteiden yhteydestä mitatuista vedenjohtavuuksista. Kuten kuvasta ja taulukosta voidaan havaita, geologisen mallin ruhjeiden vedenjohtavuuksissa ei havaita selkeitä tai jatkuvia nousevia trendejä verrattuna ehjästä kallioperästä mitattuihin vedenjohtavuuksiin. Tämän perusteella ruhjeiden vedenjohtavuudet ovat samankaltaisia kuin ehjän kallioperän vedenjohtavuudet. Kuten edellä todettiin, aineisto sisältää kuitenkin satunnaisia kohonneita vedenjohtavuuksia, jotka osuvat vesihävikimittausten mittaussväleillä olleisiin matalien RQD-arvojen kohtiin.

3.1.4 Yhteenvedo hydrogeologiasta

Kaivostoimintojen alueen hydrogeologisen rakenteen muodostavat matalan vyöhykkeen ja syvän kallioperän pohjavedet, jotka ovat erillisiä hydrogeologisia yksiköitä. Matalan vyöhykkeen pohjavesi on varastoitunut ennen kaikkea jäätikkö- ja jokikerrostumiin, joiden alla on rikkonainen/rapautunut kallioperä. Rikkonaisen kallioperän alla on ehjä kallioperä, joka muodostuu pääasiassa mafisista ja ultramafisisista vulkaanisista kivilajeista. Seuraavassa on yhteenvedo kaivostoimintojen alueen hydrogeologian keskeisistä osista ylemmistä kerroksista alkaen:

1. Jäätikkö- ja jokikerrostumien ominaisuudet ovat:
 - a. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pääyksiköt ovat hiekat, sorat, moreenit ja turve.
 - b. Jäätikkö- ja jokikerrostumien vedenjohtavuudet vaihtelevat keskitasoisesta korkeaan: $5,0 \times 10^{-8} - 4,3 \times 10^{-3}$ m/s.

- c. Kerrostumien vaihtelevien ominaisuuksien ja siitä johtuvan lokeroitumisen vuoksi matalan vyöhykkeen pohjavesi ei ole kauttaaltaan yhtenevässä hydraulisessa yhteydessä kaivostoimintojen alueella.
 - d. Matalan pohjavesivyöhykkeen paksuus vaihtelee välillä 5–50 m. Mediaanipaksuus on 13 m.
2. Rikkonaisen kallioperän ominaisuudet ovat:
- a. Rikkonaisen kallioperän vedenjohtavuudet ($1,0 \times 10^{-7} - 1,0 \times 10^{-5}$ m/s) ovat suurempia kuin sen alla olevan ehjän kallioperän ($1,0 \times 10^{-11} - 1,0 \times 10^{-7}$ m/s) useiden eroosion ja rapautumisen ajanjaksojen seurauksena.
 - b. Rikkonaisen kallioperän pohjavesi on hydraulisessa yhteydessä yläpuolella olevaan jäätikkö- ja jokikerrostumien pohjaveteen pohjaveden pinnankorkeuksien ja vesikemian perusteella.
 - c. Rikkonaisen kallioperän paksuus on 0–200 m, ja paksuus vaihtelee suuresti. Erittäin rikkoutuneen kallion mediaanipaksuus on 10 m, mutta satunnaisesti tavataan jopa yli 100 metrin paksuuksia, jotka liittyvät osittain ruhjealueisiin. Alueella, jolla ei ole rikkonaista kallioperää, maaperä ja ehjä kallioperä ovat suorassa kontaktissa. Kontakti ehjän ja rikkonaisen kallioperän välillä voi olla jyrkkä tai asteittainen.
3. Ehjän kallioperän ominaisuudet ovat:
- a. Ehjän kallioperän vedenjohtavuudet ovat matalia: $1,0 \times 10^{-11} - 1,0 \times 10^{-7}$ m/s.
 - b. Pohjaveden virtaus ehjässä kallioperässä rajoittuu avoimiin ei-täytteisiin huokosiin, rakoihin ja ruhjeisiin.
 - c. Ehjän kallioperän vedenjohtavuuksissa voidaan havaita laskeva kehityssuunta syvemmälle mentäessä.
 - d. Vedenjohtavuuksilla ei havaita yhteyttä ehjän kallioperän litologisiin yksiköihin.

Seuraavassa on esitetty yhteenveto ruhjeista kaivostoimintojen alueella:

1. Kaivostoimintojen alueen 3D-mallinnetut ruhjeet ovat pohjaruhje, breksiaruhje, dolomiittiruhje, serpentiniittiruhje sekä NE ruhjeet ja ruhje A. Lisäksi on alueellisia ruhjeita (GTK 2022; Luukas 2017).
2. Kairausten yhteydessä tehdyt hydrauliset testit osoittavat, että kaivostoimintojen aluetta leikkaavien ruhjeiden hydraulinen yhteys on rajallinen, että ne ovat eristyksissä niiden yläpuolella sijaitsevista muodostumista ja että niihin varastoitunut vesimäärä on vähäinen.
3. Malmiesiintymää osittain leikkaavien ruhjeiden vedenjohtavuudet vaihtelevat merkittävästi. Vedenjohtavuuksien paikasta riippuva jakauma viittaa siihen, että ruhjeiden ympäristön vedenjohtavuudet muistuttavat ehjän kallioperän vedenjohtavuuksia ja vaihtelevat välillä $1,0 \times 10^{-11} - 1,0 \times 10^{-7}$ m/s. Satunnaisilla alueilla mitatut vedenjohtavuudet ovat kuitenkin korkeampia kuin ehjästä kallioperästä mitatut vedenjohtavuudet.
4. Vedenjohtavuusaineiston perusteella korkeampia vedenjohtavuuksia havaittiin joissakin raoissa paikallisesti. Nämä korkeammat vedenjohtavuudet eivät kuitenkaan ole jatkuvia ja vedenjohtavuudet voivat olla enintään yksi tai kaksi suuruusluokkaa

suurempia kuin ehjän kallioperän vedenjohtavuudet. Vuoden 2023 geologisen mallin ruhjeiden mitatuissa vedenjohtavuuksissa ei ole kuitenkaan havaittu laajempaa yhteyttä korkeampiin vedenjohtavuuksiin.

5. Pohjaruhje on merkittävin kaivostoimintojen alueella tunnistettu geologinen rakenne. Pohjaruhjeen kivi on rikkonaista, ja sen paksuus vaihtelee merkittävästi kaivostoimintojen alueella (noin 5–30 m vinotunnelialueella). Hydraulisten kokeiden perusteella pohjaruhjeen vedenjohtavuudet ovat keskitasoa tai hieman kohonneet, ja pohjaruhjeessa on merkittävä pohjavesivarasto. Pohjaruhje läpäistään vinotunnelien rakentamisen aikana, mutta louhokset eivät ole siihen yhteydessä. Malmin pääesiintymä on pohjaruhjeen yläpuolella. Sakatin kaivossuunnitelmassa ei ole louhintaa pohjaruhjeen lähellä. Maanalaisen kaivoksen ja pohjaruhjeen välille jää vähintään 50 metrin etäisyys.
6. Kaivostoimintojen alueen paikallisten ja alueellisten geologisten rakenteiden lisäksi alueellisen geologisen kartoituksen perusteella HTA:lla on muitakin suuria ruhjeita. Näiden alueellisten ruhjeiden hydrogeologisia ominaisuuksia ei tunneta. Nämä alueelliset ruhjeet eivät kuitenkaan sijoitu kaivoksen tai tarvekilouhoksen alueelle. Vaikka kaivostoimintojen alueen ulkopuolisista ruhjeista on saatavilla rajallisesti tietoa, kaivostoimintojen alueen tietojen perusteella nämä ruhjeet eivät todennäköisesti ole hydraulisesti yhteydessä kaivostoimintojen alueeseen, sillä kaivostoimintojen alueen ruhjeiden yhteydet ja jatkuvuudet ovat rajalliset sekä niiden vedenjohtavuudet ovat matalat.

3.2 Meteorologiset tiedot

Kuvassa 3-14 on esitetty kartta meteorologisten ja hydrologisten tietojen havaintopaikoista. Havaintopaikoilla mitataan sademäärää, lämpötilaa, ilman suhteellista kosteutta, haihduntaa, routaa, virtaamaa, maaperän kosteutta sekä lumen syvyyttä ja vesiarvoa. Tärkeimmät havaintopaikat ovat etelässä Sodankylän Tähtelässä 20 km:n päässä hydrologiselta tutkimusalueelta oleva Ilmatieteen laitoksen havaintoasema sekä suon ja kaivostoimintojen alueen ympärillä tutkimusalueella olevat AASM Oy:n asemat. Havaintopaikoilla kerätään tietoa HTA:n ilmasto-olosuhteista ja mahdollisista ilmastotrendeistä. Keskeisiä kerättyä tietoa käsitellään seuraavassa.

3.2.1 Sadanta

Kuvassa 3-15a on esitetty Sodankylässä Tähtelän asemalla mitattu vuotuinen sadanta vuosilta 1959–2022 ja mitatun vuotuisen sadannan kehityssuunta. Taulukossa 3-7 on esitetty yhteenveto mitatuista vuotuisista sadannoista. Vuosina 1959–2022 vuotuinen sadanta vaihteli välillä 390–785 mm, ja sen keskiarvo oli 519 mm. Mitatuista sadannoista muodostettu trendiviiva osoittaa, että vuotuinen sadanta on ollut kasvussa vuodesta 1959. Edellisten 10 vuoden (2012–2022) keskimääräinen sadanta oli noin 551 mm ja edellisten 20 vuoden (2002–2022) noin 544 mm. Tutkimusalueen sadanta muodostuu talvella satavasta lumesta ja kesällä satavasta vedestä. Talvella lumisateista kertyy maahan kevättä kohti kasvava lumipeite, kunnes lumi sulaa keväällä.

Kuvassa 3-15b on esitetty keskimääräiset kuukausittaiset sadannat koko mittaushistorian ajalta (1959–2022), edellisten 20 vuoden ajalta (2002–2022) ja edellisten 10 vuoden ajalta (2012–2022). Taulukossa 3-8 on esitetty yhteenveto keskimääräisistä kuukausisadannoista ja kunkin kuukauden päivittäisistä sadannoista koko mittaushistorian ajalta, edellisten 20 vuoden ajalta ja edellisten 10 vuoden ajalta. Keskimääräinen kuukausisadanta vaihtelee noin välillä 25–80 millimetriä (mm/kk). Kunkin kuukauden keskimääräinen päivittäinen sadanta vaihtelee välillä 1–2,6 millimetriä (mm/vrk). Kuukausittaiset ja päivittäiset sadannat ovat suurimmillaan kesäkuukausina (toukokuusta lokakuuhun). Keskimääräiset kuukausittaiset sademäärät ovat olleet kasvussa edellisten 20 ja 10 vuoden sadantatietojen perusteella.

Kuvassa 3-15c on esitetty mitattu päivittäinen sademäärä kesäkuun 2011 ja syyskuun 2023 välisenä aikana. Kuvassa on esitetty jäljempänä kuvatuissa numeerisissa malleissa käytetty osa-aineisto vuorokautisista sademääristä keskeiseltä mittausväliltä. Mitatut päivittäiset sademäärät vaihtelevat välillä 0–45 mm. Suurin osa päivittäin mitatuista sademääristä vaihtelee kuitenkin välillä 0–10 mm.

3.2.2 Astiahaihdunta

Kuvassa 3-16 on esitetty Sodankylän Tähtelän asemalla mitattu astiahaihdunta. Taulukossa 3-9 on esitetty yhteenveto mitatuista vuotuisista haihduntatiedoista. Haihduntatietoja vuosilta 2012–2015 ei käytetä aineiston analyysissä, koska tiedot ovat puutteellisia. Vuosina 1958–2011 astiahaihdunta oli 260–510 millimetriä vuodessa (mm/v). Keskiarvo oli 349 mm/v. Mitatuista haihduntamääristä muodostettu trendiviiva osoittaa, että haihduntamäärä on ollut laskussa vuodesta 1957. Keskimääräinen astiahaihdunta vuosina 2000–2011 oli noin 329 mm/v. Moroizumi ym. (2014) osoitti tuoreessa tutkimuksessaan, että astiahaihdunnan vähentyessä todellinen kokonaishaihdunta kasvaa. Tämä johtuu maaperän kosteuden kasvamisesta (eli sadannan lisääntymisestä; kuva 3-15). Astiahaihdunta on yleensä suurempaa kuin mahdollinen maanpinnasta tapahtuva potentiaalinen haihdunta (Brutsaert 1982). Astiahaihduntatietoja käytetään mahdollisen kokonaishaihdunnan arvioimiseen. Kokonaishaihdunta eli evapotranspiraatio sisältää sekä maanpinnasta tapahtuvan haihdunnan, että kasvien kautta tapahtuvan haihdunnan (transpiraation). SRK (2019) arvioi vuotuisen kokonaishaihdunnan olevan keskimäärin 269 mm. Haihduntaa tapahtuu pääasiassa maaliskuun ja lokakuun välillä.

3.2.3 Lämpötila

Kuvassa 3-17 on esitetty Sodankylän Tähtelän aseman päivittäiset mitatut lämpötilat vuosina 2011–2023. Kaivostoimintojen alueella lämpötilat ovat kausiluonteisia talvi- ja kesä kuukausina. Kesäisin lämpötila vaihtelee 10–25 astetta celsiusta (°C), ja vastaavasti 0–35 °C talvisin. Kausiluonteinen lämpötila vaikuttaa lumen kertymiseen, lumen sulamiseen ja pohjaveden muodostumiseen. Lämpötilatietoja on käytetty suoraan *MIKE SHE* -mallissa sademäärän, lumen kertymisen ja sulamisen vuodenaikaisvaihtelun simuloimiseksi.

3.2.4 Lumen syvyys ja sulanta

Hydrologisella tutkimusalueella sateet tulevat pääasiassa lumena lokakuun lopulta huhtikuun alkuun. Tämän ajanjakson aikana maanpinnalle kertyy lumipeite. Lumipeite alkaa sulaa huhtikuun alussa, kun ympäristön lämpötila kohoaa. Noin 50 % vuotuisesta pintaveden valunnasta tapahtuu keväällä lumen sulannan aikana. Lumen sulamisen aikana pohjavettä muodostuu ylempiin maakerroksiin (turve, jäätikkö- ja joki kerrostumat ja rapautunut/rikkonainen kallioperä).

Kuvassa 3-18 on esitetty mitatut ja simuloidut lumen vesiarvot kahdessa mittauspaikassa, Viiankaavalla ja Sodankylän Tähtelässä. Simuloidut lumen vesiarvot on saatu AASM Oy:n toimittamasta SYKE:n mallista. Lumen vesiarvon mittauksia on ajoittain saatavilla talvikausilta. Lumen vesiarvotietoja on saatavilla vuodesta 2019 lähtien Viiankaavalla ja vuodesta 2013 lähtien Sodankylän Tähtelästä. Lumen vesiarvon mittauksia käytettiin vesiarvon kalibrointiin SYKE:n mallissa, jota käytettiin kaivostoimintojen alueella. Kalibroidut lumen vesiarvot on merkitty kuvaan 3–18 yhtenäisillä viivoilla. Yleensä lunta alkaa kertyä lokakuun lopulla, ja se sulaa nopeasti huhtikuussa. Mitattu lumen vesiarvo on vaihdellut vuodesta 2013 lähtien välillä 120–260 mm. Kalibroidut lumen vesiarvon mittaukset vastaavat hyvin mitattuja lumen vesiarvotietoja. Mitattuja lumen vesiarvotietoja käytettiin myös *MIKE SHE* -mallissa havaintopisteinä, jotta voidaan verrata havaittuja lumen vesiarvoja *MIKE SHE* -mallilla simuloituihin lumen vesiarvoihin ja arvioida pohjaveden mahdollisia muodostumismääriä.

3.2.5 Pohjaveden muodostuminen lumen sulannasta ja sadannasta

HTA:n alueella on tyypillisesti pitkät talvet, joiden aikana maahan kertyy paljon lunta. Erityisesti alluviaalisten kerrostumien ja matalien akviferien hallitsemilla alueilla pohjavettä muodostuu pääasiassa keväällä lumen sekä kesä- ja syyskuukausina runsassateisten jaksojen aikana.

Kaivostoimintojen alueelle laadittu *MIKE SHE* -malli päivitettiin käyttäen meteorologisia muuttujia. Mallin avulla voidaan arvioida pohjaveden mahdollista muodostumista vuodenajoittain. Kuvaan 3-19 on merkitty HTA:n rajat, jotka ovat myös osiossa 4.0 käsiteltävän pohjaveden virtausmallin rajat, ja *MIKE SHE* -mallin rajat. Laajempi kuvaus *MIKE SHE* -mallin rakenteesta ja kalibroinnista on esitetty liitteessä A. Seuraavassa on yhteenveto *MIKE SHE* -mallista:

1. *MIKE SHE* -mallin mallinnusalue kattaa pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän alueet kokonaisuudessaan, suon yläpuoliset alueet sekä kaivoksen maanpäällisten toimintojen alueen. *MIKE SHE* -mallin mallinnusalue on pienempi kuin HTA ja tämän työn yhteydessä laadittu pohjaveden virtausmallin alue. Pienempää mallinnusaluetta käytettiin, jotta voitiin keskittyä arvioimaan pohjaveden muodostumismäärää keskeisimmillä alueilla.
2. *MIKE SHE* -mallinnuksessa käytettiin pohjaveden muodostumismäärän arvioinnissa pintavalunnan (OL), kyllästymättömän vyöhykkeen (UZ) ja kyllästyneen vyöhykkeen (SZ) moduuleja. OL laskettiin hyödyntämällä Saint-Venantin yhtälöitä ja diffuusioaalto menetelmää (diffusive wave approximation). UZ laskettiin gravity flow -menetelmällä (DHI 2017). SZ laskettiin 3D-Darcyn yhtälöllä perustuen PCG (preconditioned conjugate gradient) -menetelmään (DHI 2017).
3. *MIKE SHE* -mallin tärkeimmät ilmastomuuttujat ovat sadanta, lämpötila, potentiaalinen haihdunta ja lehtialaindeksi (LAI). Mallissa käytettiin lähimmillä sääasemilla mitattua aineistoa, jota on kuvattu tarkemmin luvussa 3.2.
4. Lumikertymä perustuu lämpötilaan ja sademäärään.
5. LAI ja potentiaalinen haihdunta perustuvat MODIS-satelliittitietoihin (2022). LAI:ta ja potentiaalista haihduntaa käytettiin todellisen kokonaishaihdunnan, joka perustuu kasvillisuustyyppiin ja saatavilla olevan veden määrään, laskemiseen *MIKE SHE* -mallissa.
6. *MIKE SHE* -mallin reunaehdot määriteltiin seuraavasti:
 - a. Kitinen määritettiin vakiovedenpinnan reunaehdoksi
 - b. Mallinnusalueella sijaitsevat pintavedet määritettiin vakiovedenpinnan reunaehdoksi
 - c. Mallin eteläreuna määritettiin kaukaisen pintavesiyhteyden reunaehdoksi (General head boundary), jossa virtausmalli määrittä pohjaveden pinnankorkeuden reunaehdon kohdalla laskennallisesti, ja
 - d. muut reuna-alueet määritettiin läpäisemättömiksi ei virtausta -reunaehdoiksi, joiden läpi ei tapahdu lainkaan pohjaveden virtausta.
7. Simuloidut hydrogeologiset yksiköt perustuivat yksinkertaistettuun matalan vyöhykkeen geologiseen malliin sekä kallioperämalliin. Malli sisältää luvussa 4.0 kuvatut samat hydrogeologiset yksiköt kuin pohjaveden virtausmalli.
8. Vedenjohtavuudet ja varastoparametrit lajittuneiden kerrostumien, moreenien ja rikkonaisen kallioperän yksiköissä kalibroitiin pohjaveden pinnankorkeuden havaintoihin.

Ehjän kallioperän vedenjohtavuudet perustuvat vesihävikikokeissa mitattuihin arvoihin. Kalibroidut ja mallissa käytetyt hydrogeologisten yksiköiden vedenjohtavuudet ja varastoparametrit olivat samat, joita käytettiin pohjaveden virtausmallissa.

9. **MIKE SHE** -mallia käytettiin ennustamaan matalan vyöhykkeen pohjaveteen muodostuvan pohjaveden määrää, jota käytettiin luvussa 4.0 kuvatun pohjaveden virtausmallin lähtötietona.

Kuvassa 3-20 on esitetty pohjaveden arvioitu päivittäinen muodostuminen (negatiiviset arvot) ja purkautuminen (positiiviset arvot) kesäkuusta 2012 syyskuuhun 2023 **MIKE SHE**-mallista. Positiiviset arvot edustavat pohjaveden purkautumista pintavesiin ja negatiiviset arvot pohjaveden muodostumista. Muodostumismäärät on arvioitu maaperän pohjaveden kolmelle erilliselle hydrogeologiselle yksikölle: lajittuneille kerrostumille, moreenille ja turpeelle. Seuraavassa on esitetty yhteenveto **MIKE SHE** -mallilla arvioiduista pohjaveden muodostumismääristä:

1. **Turve:** Pohjaveden arvioitu päivittäinen purkautumismäärä vaihtelee välillä 0–9 mm ja muodostumismäärä 0–27 mm. Keskimääräinen pohjaveden muodostumismäärä turpeessa on noin 16 % mitatusta vuosittaisesta sademäärästä.
2. **Lajittuneet kerrostumat:** Pohjaveden arvioitu päivittäinen purkautumismäärä vaihtelee välillä 0–14 mm ja muodostumismäärä 0–23 mm. Keskimääräinen pohjaveden muodostumismäärä lajittuneissa sedimenteissä on noin 25 % mitatusta vuosittaisesta sademäärästä.
3. **Moreeni:** Pohjaveden arvioitu päivittäinen purkautumismäärä vaihtelee välillä 0–7 mm ja muodostumismäärä 0–29 mm. Keskimääräinen pohjaveden muodostumismäärä moreenissa on noin 28 % mitatusta vuosittaisesta sademäärästä.

MIKE SHE -mallista saatuja pohjaveden arvioituja muodostumismääriä käytetään suoraan pohjaveden virtausmallissa, kuten luvussa 4.0 on kerrottu.

3.2.6 Tulevaisuuden ilmasto

Ilmastonmuutoksen mahdollisista vaikutuksista pohjaveden pinnankorkeuksiin ja meteorologisiin muuttujiin Suomessa on tehty useita tutkimuksia (Luoma ym. 2013; Mikkonen ym. 2015; Okkonen ym. 2010; Ruosteenoja ym. 2016). Ennusteiden mukaan lämpötilat ja sadanta todennäköisesti kohoavat Suomessa vuoteen 2100 mennessä. Lämpötilan muutokset voivat vaikuttaa sateiden muotoon (sataako lunta vai vettä) ja lumen sulamisen ajankohtaan (Ruosteenoja ym. 2016).

Kuvassa 3-21 on esitetty vuotuinen keskilämpötila ja keskisadanta neljässä ilmastoskenaariossa (Ruosteenoja ym. 2016). Tässä selvityksessä on käytetty ilmastoskenaarioita RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5. Skenaarioiden oletukset vuotuisen keskilämpötilan ja -sademäärän muutoksesta vuosille 2020–2090 ovat seuraavat:

1. **RCP2.6:** Vuotuisen keskilämpötilan ennustetaan nousevan noin 2°C ja keskisadannan noin 6 %.
2. **RCP4.5:** Vuotuisen keskilämpötilan ennustetaan nousevan noin 3°C ja keskisadannan noin 10 %.
3. **RCP8.5:** Vuotuisen keskilämpötilan ennustetaan nousevan noin 6°C ja keskisadannan noin 17 %.

Kuvassa 3-22 on esitetty RCP4.5 ja RCP8.5 -skenaarioiden mukaiset ennustetut kuukausittaisen sadannan ja lämpötilan muutokset vuosina 2070–2099. RCP2.6 -skenaarion tietoja ei ollut saatavilla. Seuraavassa on esitetty yhteenveto mahdollisista pitkäaikaisista muutoksista skenaariorissa:

1. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat lämpötilamuutokset ovat huomattavimpia talvella. Talvilämpötilojen arvioidaan nousevan 1–11 °C nykyisestä lämpötilasta, kun taas kesälämpötilojen arvioidaan nousevan 1–7 °C nykyisestä lämpötilasta. 90 %:n epävarmuusväli on ± 3 –4 °C.
2. Sadannan odotetaan lisääntyvän 5–35 %. Sadanta lisääntyy erityisesti talvikuukausina. 90 %:n epävarmuusväli on ± 15 –20 %.
3. On ennustettu, että RCP8.5 -skenaariossa lämpötila ja sadantamuutokset ovat suurempia kuin RCP4.5 -skenaariossa.

Arvioitujen lämpötila- ja sadantamuutosten mahdollisia vaikutuksia pohjaveteen hydrologisella tutkimusalueella ei tunneta. Lämpötilojen kohoamiselle ja sadannan lisääntymisellä saattaa olla seuraavat vaikutukset:

1. Talvien lämpeneminen voi vähentää lumipeitettä.
2. Lämpötilan kohoaminen voi lisätä vesisateiden määrää verrattuna lumisateisiin.
3. Lämpötilan kohoaminen voi aikaistaa lumipeitteen sulamista.
4. Kesien lämpeneminen voi lisätä kokonaishaihduntaa. Kokonaishaihdunnan lisääntyminen voi myös vähentää pintaveden valuntaa, jos kokonaishaihdunta lisääntyy enemmän kuin sadanta.
5. Lisääntynyt sadanta, erityisesti vesisateiden muodossa, voi johtaa tulvimiseen rankkasateiden aikana ja lisätä pohjaveden muodostumista kesäkuukausina.
6. Lisääntynyt sade kesä- ja talvikuukausina voi lisätä pintavaluntaa sateiden aikana.

MIKE SHE -mallia käytettiin arvioimaan pohjaveden tulevat muodostumismäärät ilmastoskenaarioissa. Lämpötila- ja sadantatiedot saatiin AASM Oy:ltä. Potentiaalinen haihdunta laskettiin Romanenkon menetelmällä käyttäen lämpötilatietoja ja kuukausittaista suhteellista ilmankosteutta vuosilta 1990–2020 (Ilmatieteenlaitoksen avoin aineisto, Sodankylän Tähtelän asema). Kuvassa 3-23 on esitetty ennustetut vuotuiset sadannat ja ennustettu vuotuinen pohjaveden muodostuminen moreenissa, lajittuneissa sedimenteissä ja turpeessa. Tiedot on esitetty vain vuoteen 2100 saakka. Taulukossa 3-10 on esitetty yhteenveto tulevaisuuden ennustetuista vuotuisista pohjaveden muodostumismääristä. Seuraavassa on esitetty *MIKE SHE* -mallin tulosten perusteella yhteenveto mahdollisista ilmastomuutoksista ilmastoskenaarioissa:

1. Sadanta vaihtelee välillä 335–950 mm/v. Sadanta pysyy verrattain tasaisena vuodesta 2020 vuoteen 2025. Vuoden 2025 jälkeen vuotuisessa sadannassa havaitaan enemmän vaihtelua.
2. Kaikissa ilmastoskenaarioissa sadannan pitkäaikainen kehityssuunta on, että vuotuinen sademäärä kasvaa hieman. Kuvaan merkitty trendiviiva osoittaa sadannan kasvavan hieman vuosina 2019–2100 ilmastoskenaariossa RCP2.6 ja voimakkaammin ilmastoskenaarioissa RCP4.5 ja RCP8.5.
3. Lajittuneissa sedimenteissä pohjavettä muodostuu vuosittain noin 85–235 mm. Ajan myötä pohjaveden muodostuminen lajittuneissa sedimenteissä lisääntyy hieman. Tämä johtuu todennäköisesti lumipeitteen kasvusta ja sadannan lisääntymisestä.
4. Moreenissa pohjavettä muodostuu vuosittain noin 80–235 mm. Ajan myötä pohjaveden muodostuminen moreenissa lisääntyy hieman. Tämä johtuu todennäköisesti lumipeitteen kasvusta ja sadannan lisääntymisestä.
5. Turpeessa pohjavettä muodostuu vuosittain noin 5–185 mm. Pohjaveden muodostumismäärissä turpeessa on paljon suurempi hajonta kuin muiden hydrogeologisten yksiköiden muodostumismäärissä. Ajan myötä pohjaveden muodostuminen turpeessa vähenee

hieman RCP2.6- ja RCP4.5 -skenaarioissa ja lisääntyy RCP8.5 -skenaariossa. *MIKE SHE* -mallin perusteella turpeen vesitase (veden muodostumisen ja purkautumisen suhde) on edelleen nettoposiitiivinen, kun vettä kertyy sateista.

Kuvassa 3-24 on esitetty pohjaveden arvioitu muodostuminen kokonaissadannan funktiona ajan kuluessa moreenille, lajittuneille kerrostumille ja turpeelle. Lisäksi kuvaan on merkitty jokaisen hydrogeologisen yksikön keskimääräinen pohjaveden muodostuminen katkoviivalla.

1. **RCP2.6:** Pohjaveden muodostumismäärä vaihtelee moreenissa 18–50 %, lajittuneissa kerrostumissa 17–46 % ja turpeessa 2–25 % vuotuisesta keskisadannasta.
2. **RCP4.5:** Pohjaveden muodostumismäärä vaihtelee moreenissa 19–38 %, lajittuneissa kerrostumissa 19–34 % ja turpeessa 4–27 % vuotuisesta keskisadannasta.
3. **RCP8.5:** Pohjaveden muodostumismäärä vaihtelee moreenissa 19–34 %, lajittuneissa kerrostumissa 17–35 % ja turpeessa 1–25 % vuotuisesta keskisadannasta.

Vertaamalla tulevien muodostumismäärien trendiä nykyisen ajanjakson keskimääräisiä muodostumismääriä voidaan havaita, että pohjaveden muodostuminen tulee pysymään melko tasaisena turpeessa ja laskemaan moreenissa sekä lajittuneissa kerrostumissa RCP4.5 ja RCP8.5 -skenaarioissa. RCP2.6 -skenaariossa pohjaveden muodostumismäärä vaihtelee voimakkaasti myöhempinä vuosina (vuoden 2060 jälkeen), joka johtaa nousevaan kehityssuuntaan.

3.3 Pintavesi

Kuvassa 3-25 on esitetty tärkeimmät joet, purot ja lähteet HTA:n alueella sekä pintaveden yleiset virtaussuunnat. Merkittävimmät joet ovat Kitinen, Hiivanahaara, Ylijoki ja Kelujoki. Kitinen virtaa HTA:n keskeltä ja lounaisrajaa myöten. Hiivanahaara ja Ylijoki virtaavat HTA:n itärajaa myöten ja Kelujoki etelärajaa myöten. Kaikki HTA:n joet laskevat lopulta Kitiseen. Seuraavassa on esitetty yhteenveto pintaveden valunnasta hydrologisella tutkimusalueella:

1. Pintavedet laskevat hydrologisella tutkimusalueella yleisesti kohti Kitistä erilaisten uomien, purojen ja jokien kautta.
2. Suoalueella on pintaveden vedenjakaja. Vedenjakaja on kaivostoimintojen alueen itäpuolella. Vedenjakajan vuoksi pintavesi virtaa suolla länteen kaivostoimintojen alueen läpi kohti Kitistä ja itään kohti Ylijokea.
3. Kelujoki virtaa HTA:n etelärajaa myöten länteen Kitiseen.
4. Kitiseen päätyvän pintaveden valunnan lisäksi alueella on painanteita, joihin pintavesi virtaa Kitisen sijasta. Näissä painanteissa vesi imeytyy maahan ja muodostaa pohjavettä vettä läpäisevään hiekkaan/soraan.
5. Pohjavettä purkautuu tihkumalla, yksittäisinä lähteinä ja lähteikköinä, joita on kartoitettu vuosina 2006–2021 (Salonen ym. 2016). Kuvassa 3-25 on esitetty 88 lähdettä, jotka on tunnistettu HTA:lla. Lähteiden vaikutuksen maanalaisen kaivoksen vuotovesimääriin arvioidaan olevan vähäinen verrattuna pohjaveden muodostumisen määrään sadannasta. Lähteitä ei näin ollen ole huomioitu tässä raportissa esitetyssä mallin kalibroinnissa, malliennusteissa eikä herkkyystarkasteluissa.
6. Laajat alueet suosta pysyvät kesäkuukausina tulvivina vielä pitkään kevättulvakauden jälkeen, koska suon pinnanmuodot pidättävät valuntaa altaisiin (rimpiin) matalien turveharjanteiden (jätteiden) sisään.

Kitisen virtamaa on säädelty vesivoimapadoilla 1970-luvun lopulta asti. Hydrologisella tutkimusalueella on kaivostoimintojen alueelta katsottuna yläjuoksun puolella Matarakosken voimalaitos ja alajuoksun puolella Kelukosken voimalaitos. Veden pinnankorkeutta padon yläpuolella ja virtamaa padon alapuolella mitataan molemmissa kohteissa. Kuvassa 3-26 on esitetty mitattu veden pinnankorkeus ennen patoja ja virtaama patojen jälkeen. Pinnankorkeus padon yläpuolella on kummassakin sijainnissa suhteellisen tasainen: 187,8 ja 180,9 m mpy. Vesivoimapatojen juoksutus vaihtelee vuodenajoittain johtuen lumen sulannasta seuraavasta pintaveden valunnasta. Kummankin padon virtaama vaihtelee välillä 0–700 kuutiometriä sekunnissa (m^3/s) välillä.

Suurimpien jokien lisäksi alueella on paljon muita puroja ja pikkujokia, jotka yhdistyvät suurempiin jokiin. Tällaisia puroja ovat muun muassa Kärvaslammen purku-uoma, Ruosteoja, Tiukuojat ja Sakattioja. Kuvassa 3-27 on esitetty Kärvaslammen purku-uoman, Ruosteojan ja Tiukuojan virtaamat vuosina 2021–2023. Suoalueen purojen mitatut virtaamat vaihtelevat välillä 0–1,2 m^3/s . Virtaama on suurimmillaan keväällä lumen sulannan aikana (esim. toukokuussa 2024) sekä runsaiden sateiden aikana (esim. lokakuussa 2021).

3.4 Pohjavesi

3.4.1 Havaintoverkosto

Kuvassa 3-28 on esitetty pohjaveden havaintopisteet, jotka on asennettu kaivostoimintojen alueelle talvikausien aikana. AASM Oy on asentanut kaivostoimintojen alueelle yhteensä 130 pohjaveden havaintopistettä, joista 118 on pohjavesikaivoja ja 12:ssa on tärylankapietsometri (VWP). Taulukossa 3-11 esitetty yhteenveto havaintopisteistä, kuten niiden sijainti, asennustiedot ja havaintopisteessä tarkkailtava hydrogeologinen yksikkö. Pohjaveden pinnankorkeuksia mitataan manuaalisesti ja automaattimittareilla 80 pohjavesikaivosta sekä pelkästään manuaalisesti 21 pohjavesikaivosta, ja kaikissa tärylankapietsometrikohteissa on dataloggerit. Pohjaveden seuranta aloitettiin vuonna 2012, jolloin käytössä oli 21 pohjavesikaivoa. Seuranta on laajennettu vuosina 2016–2023. Havaintoverkosto keskittyy Kuusivaaran alueelle (eli kaivoksen maanpäällisten toimintojen, tarvekilouhoksen ja vinotunnelien sisäänkäynnin alueelle) sekä maanalaisen kaivoksen alueelle. Lisähavaintopisteitä on asennettu kaivostoimintojen alueen pohjoispuolelle, suon ulkopuolelle ja Kitisen jokivarteen.

Kuvassa 3-29 on esitetty HTA:n havaintopisteet luokiteltuina hydrogeologisten yksiköiden mukaan. Kaivostoimintojen alueen pohjaveden havaintopisteistä AASM Oy on asentanut neljä turpeeseen, 43 jäätikkö- ja jokikerrostumiin, 46 ylempään kallioon ja 37 syvään kallioon. Ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA) jälkeen lisähavaintopisteitä on asennettu ensisijaisesti kallioon. Pohjaveden havaintoverkostolla on tarkoitus havainnoida pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihtelua eri hydrogeologisissa yksiköissä.

3.4.2 Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet

Kuvassa 3-30 on esitetty kartta kaivostoimintojen alueen pohjaveden havaintopisteistä ja mitattujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat sellaisissa havaintopisteissä, jotka kuvaavat tyypillisiä pohjaveden pinnankorkeuksia lähellä maanpintaa olevissa pohjaveden havaintopisteissä (kuva 3-30a), rikkonaisessa ja ylemmässä kalliossa (kuva 3-30b) sekä Kuusivaaran alueella (kuva 3-30c). Pohjaveden pinnankorkeuksista kaivostoimintojen alueella voidaan todeta seuraavaa:

1. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet vaihtelevat välillä 182–188 m mpy kaivostoimintojen alueella. Pohjaveden pinta on korkeammalla kauempana Kitisestä. Tämän seurauksena suon länsiosan pohjavesi virtaa Kitistä kohti.
2. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihtelu noudattelee lumen sulantaa. Pohjaveden pinnankorkeus nousee vuodenaikaisvaihtelun seurauksena 0,5–2 m.

Pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihtelu on paljon suurempaa Kitisen läheisyydessä kuin suoalueella.

3. Myös rikkonaisen kallioperän pohjaveden pinnankorkeuden kuvaajissa näkyvä pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihtelu noudattelee lumen sulantaa. Pohjaveden pinnankorkeus nousee vuodenaikaisvaihtelun seurauksena 0,5–2 m. Rikkonaisen kallion pietsometreissa pohjaveden pinnankorkeudet ovat samalla tasolla tai hieman alempana kuin kivennäismaalajeissa. Syvän kallioperän pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelu on vähäistä, kuten käy ilmi pohjaveden pinnankorkeuksista pohjavesikaivossa 17HYD013.
4. Syvän kallion pohjaveden pinnankorkeuksissa, joita kuvaavat pohjavesikaivon 17HYD013 pinnankorkeudet, on havaittu vain rajallista vaihtelua kairaamisen, pumppauskokeiden ja keväisen lumen sulannan aikana. Tämän perusteella yhteys syvän kallioperän pohjaveden ja sen yläpuolella olevien yksiköiden pohjaveden välillä on rajallinen.
5. Kivennäismaalajien havaintokaivoissa (esim. 18HYD030 ja 18HYD033) lähellä Kuusivaaran aluetta pohjaveden pinnankorkeus reagoi lumen sulantaan hyvin vaihtelevasti, kuten pohjaveden pinnankorkeuksista liitteessä B voidaan havaita.
6. Rikkonaisen kallioperän pohjavesikaivoissa Kuusivaaran alueella pinnankorkeudet nousevat lumen sulannan seurauksena jopa 20 m, kuten voidaan havaita pohjaveden pinnankorkeuksista havaintoputkissa 19KUU017. Pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelu on Kuusivaaran alueella suurempaa kuin maanalaisen kaivoksen alueella. Kuusivaaran alueen suurempi vuodenaikaisvaihtelu on seurausta topografian vaikutuksesta, ohuesta kerrostumakerroksesta ja heikon vedenjohtavuuden omaavasta kallioperästä.
7. Verrattaessa mitattuja pinnankorkeuksia havaintopisteistä GA101, GA102 ja GA103 muihin lähellä sijaitseviin havaintopisteisiin todettiin, että mitatut pinnankorkeuksien vaihtelut eivät kuvaa tarkasti todellisia pinnankorkeuksia havaintokaivoissa jäätymisestä johtuen. Tyypillisesti nämä havaintokaivot ovat jäässä lokakuun loppupuolelta maaliskuun loppuun, kun lämpötilat ovat pakkasella. Tämän vuoksi näiden havaintokaivojen pinnankorkeuksia lokakuusta maaliskuuhun ei sisällytetty tähän raporttiin tai numeeriseen pohjaveden virtausmalliin.

Turpeen vedenpintojen kesäaikainen vaihtelu poikkeaa muiden kerrostumien pohjaveden pintojen vaihtelusta havaintokaivoissa ja tämä osoittaa, että turpeen pohjavesiolosuhteet ovat osittain erillisiä muusta pohjavesisysteemistä.

AASM Oy asensi kaivostoimintojen alueelle monitasoisia tärylankapietsometrejä (VWP) vuonna 2017 sekä vuonna 2023. Vuonna 2017 tehtyjen asennuksien teknisten haasteiden vuoksi näistä havaintopisteistä mitattuja kallion huokospaineita ei pidetä luotettavina (pohjaveden pinnankorkeudet esimerkiksi nousevat/laskevat jatkuvasti tai kertovat paineellisista olosuhteista) eikä tuloksia ole tämän vuoksi esitetty tässä raportissa. Vuonna 2023 asennetuista tärylankapietsometreista mitattuja tietoja käydään yhä läpi, eikä näitä tuloksia vielä esitetä tämän vuoksi.

Turpeen, matalan vyöhykkeen geologisten yksiköiden ja kallioperän vesikemiasta on laadittu useita tutkimuksia (Bigler 2019; Korkka-Niemi ym. 2017; Lahtinen 2017; Suonperä 2016; Turtiainen 2020). Seuraavassa on esitetty yhteenveto näistä tutkimuksista:

1. Kolmen ylimmän hydrostratigrafisen yksikön – turpeen, jäätikkö ja jokikerrostumien sekä rikkonaisen kallioperän – vesikemia on keskenään samankaltainen, mistä voidaan päätellä, että niiden vedet muodostuvat samalla tavalla.

2. Rikkonaisen kallioperän vedenlaatua hallitsee kalsium-magnesium-bikarbonaatti -koostumus, ja vedenlaatu on samankaltainen kuin rikkonaisen kallioperän päällä olevien jäätikkö- ja jokikerrostumien vedenlaatu.
3. Ehjän kallioperän vedessä on selvästi enemmän liuenneita aineita, kloridia ja sulfaattia, ja se sisältää mineralisoituneilta vyöhykkeiltä peräisin olevien metallien kohonneita pitoisuuksia. Ehjän kallioperän vedenlaatu poikkeaa huomattavasti sen yläpuolella olevan rapautuneen/rikkonaisen kallioperän vedenlaadusta, mikä viittaa rajoitettuun hydrologiseen vuorovaikutukseen ehjän ja rapautuneen/rikkonaisen kallioperän välillä.
4. Pohjaveden virtauksesta syvässä kallioperässä ei ole yksityiskohtaista tietoa kiteisen kallion pohjaveden monimuotoisesta virtauksesta ja lokeroitumisesta johtuen. Korkka-Niemi ym. (2020) ovat ajoittaneet ehjän kallioperän pohjaveden iäksi vähintään 32 000 vuotta ennen nykypäivää. Tämän perusteella ehjään kallioperään ei muodostu uutta pohjavettä maaperän pohjavesistä.

3.5 Sakatti-hankkeen kaivossuunnitelma

Kuvassa 3-31a on esitetty kaivostoimintojen alueen ja vinotunnelien alueet kartalla. Kuvassa 3-31b on esitetty vinotunnelien ja maanalaisen kaivoksen rakentamisen etenemisvaiheet. Maanalaiseen kaivokseen kulkee maanpinnalta neljä vinotunnelia Kuusivaaran alueelta. Seuraavassa on esitetty yhteenveto ehdotetusta maanalaisesta kaivoksesta:

1. **Vinotunnelit:** Vinotunneleita on tarkoitus alkaa rakentaa ensimmäisenä toimintavuotena. Vinotunnelien korkeusasema merenpinnasta vaihtelee 190 metristä mpy (Kuusivaarassa sisäänkäyntien alueella) -600 metriin mpy maanalaisen kaivoksen ympärillä.
2. **Maanalainen kaivos:** Valmiin maanalaisen kaivoksen korkeusasema merenpinnasta vaihtelee 90 metristä mpy noin -935 metriin mpy.
3. **Pääesiintymän louhinta-alue:** Malmin louhinta on tarkoitus aloittaa toisena toimintavuotena -630 metrin syvyydestä mpy, ja louhinta päättyy toimintavuotena 24. Louhintasyvyys vaihtelee -925 metristä mpy -70 metriin mpy.
4. **NE satelliittiesiintymän louhinta-alue:** NE satelliittiesiintymän alueelle aletaan rakentaa vinotunnelia 9. toimintavuotena -250 metrin syvyydestä mpy. Malmin louhinta alkaa noin 9. toimintavuotena -170 metrin syvyydessä mpy. Louhinta päättyy toimintavuotena 15. Louhintasyvyys vaihtelee -170 metristä mpy 92 metriin mpy.

Suunnittelun kaivoksen tilavuus on noin 17,4 miljoonaa m³, josta 12,1 miljoonaa m³ täytetään. Koska kaivoksen rakenteita rakennetaan pohjavedellä kyllästyneeseen vyöhykkeeseen (tunnelit, louhokset ja vinotunnelit), on odotettavissa, että vinotunneleihin ja kaivoksen rakenteisiin purkautuu vuotovesiä. Vuotovesimäärän oletetaan olevan rajallinen ehjän kallioperän alhaisen vedenjohtavuuden sekä niiden AASM Oy:n lievennyssuunnitelman mukaisten vettä johtavien ruhjeiden, jotka maanalainen kaivos läpäisee, injektoinnin vuoksi. Mahdollisia vettä johtavia ruhjeita ovat pohjaruhje, breksiaruhje, dolomiittiruhje, serpentiniittiruhje sekä NE ruhjeet ja ruhje A. Lisäksi lievennyssuunnitelmassa on injektoida vinotunnelien matalat osat 150 metriin maanpinnan alapuolelle.

Maanalaiseen kaivokseen purkautuva vuotovesi on tarkoitus kerätä kahteen pumppaamoon. Alempi pumppaamo sijaitsee tasolla -635 metriä mpy, ja se kerää suolapitoisemman vuotoveden, jota purkautuu tuotannon yhteydessä yli -420 metrin (mpy) syvyyksissä. Toinen pumppaamo sijaitsee tasolla -435 m mpy, ja se kerää ja kerää vähemmän suolapitoisen vuotoveden kaivoksesta alle -420 metrin (mpy) syvyyksistä. Kummassakin pumppaamossa on kaksi pumppua ja yksi putkilinja maanpinnalle. Yhteensä pumppuja olisi siis neljä ja putkilinjoja kaksi. Molemmat pumppaamot pumppaavat vettä maanpinnan tasolla olevaan laskeutusaltaaseen.

Jos kaivoksesta pumpattu vesi on laadultaan sopivaa, se pumpataan sisäiseen vesikiertoon. Lopulta kaivoksesta pumpattu vesi lasketaan puhdistuksen jälkeen Kitiseen.

Kuvassa 3-32 on esitetty maanpäälliset kaivostoiminnot ja niiden sijainti. Kuusivaaran alueelle sijoittuvat kaivoksen maanpäälliset toiminnot tukevat kaivosta ja sen maanalaista louhintaa. Kaivoksen maanpäällisiä rakenteita ovat Kuusivaaran alueella ovat sivukiven sijoitusalueet, vesialtaat, rikastushiekka-alue ja päälystetyt alueet. Kuvassa 3-33 on esitetty rikastushiekka-alueen vaiheet. Rikastushiekka-aluetta laajennetaan toimintavuodesta 2 toimintavuoden 21 loppuun saakka. Rikastushiekka-alueelle läjitetään matalan vedenjohtavuuden omaavaa suodatettua rikastushiekkaa ja lisäksi sen rakenteissa tullaan hyödyntämään sivukiveä. Rikastushiekka-alue suljetaan vaiheittain kaivostoiminnan aikana. Muut maanpäälliset kaivostoiminnot rakennetaan ensimmäisenä toimintavuotena. Maanpäällisten toimintojen rakentaminen todennäköisesti vähentää pohjaveden muodostumista kaivoksen toiminta-aikana.

Kuvassa 3-34 on esitetty leikkauskuva vaiheittaisesta tarkekilouhoksen louhintasuunnitelmasta. Seuraavassa on esitetty yhteenveto louhintasuunnitelmasta:

1. Vaihe 1: Louhinta maanpinnasta 170 m mpy syvyyteen toimintavuosina 2–12 (sininen osa kuvassa).
2. Vaihe 2: Louhinta syvyydellä 170–120 m mpy toimintavuosina 12–21 (keltainen osa kuvassa).

Tarkekilouhokseen vuotaa vettä, koska se sijaitsee pohjavedellä kyllästyneessä kerroksessa.

Kuvassa 3 on esitetty havainnekuva pastalla täytetyn louhoksen rakenteesta ja täyttöperiaatteesta. Alustavien kaivossuunnitelmien mukaan louhokset täytetään pastatäytöllä tai pasta-kivimursketäytöllä. Louhokset täytetään kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tehdään ns. tulppa louhoksen pohjalle. Louhos täytetään noin 2 metriä louhoksen alaosaan rakennettavan seinämän yläpuolelle, minkä jälkeen täytön annetaan kovettua. Kun ensimmäisen vaiheen täyttö on saavuttanut riittävän kovuuden, loppuosa louhoksesta täytetään ja täytön annetaan jälleen kovettua. Louhosten täyttö todennäköisesti vähentää vuotovesimäärää. Täyttöaine saattaa kutistua kuivuessaan. Täytön kutistuminen synnyttää todennäköisesti pohjavedelle uusia virtausreittejä täytetyn alueen ulkoreunan ympäri. Täyttömateriaalien vedenjohtavuuksien arvioitiin aiemmin olevan $2 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-7}$ m/s.

Maanpinnalta tehdyistä malminetsintäkairauksista on jäänyt kaivostoimintojen alueelle kairareikiä, jotka lävistävät mineralisoituneen alueen. Tällaisilla kairareillä voi olla hydraulinen yhteys yläpuolella olevien jäätikkö- ja jokikerrostumien pohjaveteen kaivostoiminnan aikana. Kairareiät, jotka voivat aiheuttaa riskin maanalaiselle kaivostoiminnalle, suljetaan rakennusvaiheessa osana AASM Oy:n käynnissä olevaa ohjelmaa. Suljettujen kairareikien vedenjohtavuuden oletetaan käsitteellisessä ja numeerisessa mallissa olevan sama kuin ehjän kallioperän eikä niitä siten ole erikseen kuvattu malliin.

4.0 POHJAVEDEN VIRTAUSMALLI

Aikaisempi pohjaveden virtausmalli tehtiin vuonna 2022 (ITASCA 2023). Seuraavassa esitetään täydellinen kuvaus mallin päivityksestä ja päivitetyn pohjaveden virtausmallin kalibroinnista.

4.1 Pohjaveden virtausmallin mallinnuskoodi

Tässä selvityksessä käytetty pohjaveden virtausmalli luotiin *MINEDW*-koodilla (ITASCA 2012), joka ratkaisee kolmiulotteisia pohjaveden virtausyhtälöitä äärellisellä elementtimenetelmällä (finite-element method). *MINEDW*-koodi sisältää useita ominaisuuksia, jotka on kehitetty erityisesti huomioimaan kaivosten kuivanapitoon liittyvät olosuhteet. Tätä kaupallista mallinnuskoodia on käytetty yli 100:ssa kaivosten kuivanapitohankkeessa ympäri maailman, niin avolouhoksissa kuin maanalaisissakin louhoksissa. *MINEDW*-koodia on sovellettu monenlaisiin hydrogeologisiin ja ilmastollisiin olosuhteisiin esimerkiksi Afrikassa, Etelä-Amerikassa, Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa. Sandia National Lab on testannut *MINEDW*-koodia laajasti, ja se on hyväksytty luvituskäyttöön Nevadassa (NDEP 2018a). Pohjaveden virtausmallinnuskoodia on käytetty maailmanlaajuisesti ympäristövaikutusten arvioinneissa ja lupamenettelyissä USA:ssa, Kanadassa, Afrikassa ja Australiassa.

4.2 Pohjaveden virtausmallin laskentaverkko

Kuvassa 4-1 on esitetty pohjaveden virtausmallin äärellisten elementtien laskentaverkko. Laskentaverkko on päivitetty vuoden 2022 mallinnuksen jälkeen, koska tunneliporaussuunnitelma on muuttunut ja tarkevilouhos on lisätty simulointeihin. Äärellisten elementtien verkko sisältää 1 630 394 solmupistettä ja 3 206 948 elementtiä. Mallin laskentaverkko on tiheämpi maanalaisen kaivoksen alueella. Mallin laskentaverkkoa tihennettiin näillä alueilla, jotta se kuvastaisi mahdollisimman hyvin maanalaisen kaivoksen ja hydrogeologisten yksiköiden geometriaa. Pohjaveden virtausmallissa mallin laskentaverkon yksittäisen laskentasolun koko oli vinotunneleissa 8 m x 8 m, pää- ja NE satelliittiesiintymän alueella 20 m x 20 m ja ympäröivällä alueella 1 km x 1 km. Kuvassa 4-2 on esitetty mallin länsi-itäsuuntainen poikkileikkaus maanalaisen kaivoksen alueelta. Poikkileikkauksen sijainti on merkitty kuvaan 4-1. Äärellisten elementtien laskentaverkkoa tihennettiin pystysuunnassa siten, että alueen keskeiset hydrogeologiset ominaisuudet ja kaivossuunnitelma voidaan kuvata. Maanalaisen kaivoksen läheisyydessä olevien erilaisten hydrostratigrafisten yksiköiden kuvaamiseen käytettiin 34–75 pystysuuntaista kerrosta. Kerrosten määrää lisättiin vinotunnelien edetessä syvemmälle ja maanalaisen kaivoksen yläpuolelle. Alueellisissa verkoissa maanalaisen kaivoksen alueen ulkopuolella on 28 pystysuuntaista kerrosta.

4.3 Simuloidut hydrogeologiset yksiköt

Kuvassa 4-1 on esitetty mallin ylimmän kerroksen hydrogeologiset yksiköt, jotka muodostuvat erilaisista jäätikkö- ja joki- sekä turvekerrostumista. Kuvassa 4-2 on esitetty hydrogeologisten yksiköiden poikkileikkaus maanalaisen kaivoksen alueella. Maanalaisen kaivoksen alapuolella kallioperä kuvataan mallissa "vähemmän läpäisevän kallioperän" hydrogeologisenä yksikkönä. Mallin hydrogeologiset yksiköt perustuvat AASM Oy:n toimittamiin geologisiin malleihin. Pohjaveden virtausmallissa on seuraavat hydrogeologiset yksiköt:

1. Turve;
2. Jokikerrostumat: lajittuneet pintakerrostumat, hiekat ja sorat;
3. Jäätikkökerrostumat: ylin, keski- ja alempi moreeni
4. Rapautunut kallio ja savinen rapauma;
5. Rikkinainen kallioperä;
6. Ehjä kallioperä; ja
7. Ruhjeet ja pohjaruhje.

Kuvassa 4-3 on esitetty pohjaveden virtausmallissa käytetyt ehjän kallioperän kalibroidut vedenjohtavuudet verrattuna vesihävikikokeiden mittaustietoihin, ja kuvassa 4-4 on esitetty mallissa käytetyt kalibroidut vedenjohtavuudet verrattuna vedenjohtavuuksien havaittuihin globaaleihin arvoihin julkaisusta Freeze ja Cherry (1979). Taulukossa 4-1 on esitetty yhteenveto hydrogeologisten yksiköiden kalibroiduista hydraulisista parametreista. Hydrogeologisten yksiköiden kuvaamisessa huomioitiin seuraavat näkökohdat ja oletukset:

1. Maaperän pohjaveden vedenjohtavuudet ja anisotropia kalibroitiin pohjaveden vuodenaikaisvaihteluun, joka liittyy lumen sulantaan ja pohjaveden purkautumiseen pintavesistöihin. Pohjaveden virtausmallin kalibrointi oli iteratiivinen prosessi, ja sekä *MIKE SHE* -mallissa (liite A), että pohjaveden virtausmallissa käytettiin samoja vedenjohtavuuden arvoja. Seuraavassa on esitetty yhteenveto vedenjohtavuuksien jakaumasta pohjaveden virtausmallissa:
 - a. Hydrogeologiset yksiköt kuvattiin suoraan perustuen niiden levinneisyyteen matalan vyöhykkeen geologisessa mallissa.
 - b. Alueelliset hydrogeologiset yksiköt ulotettiin mallin reunoille. Alueellisten pintageologiakarttojen (GTK 2022) tietoja käytettiin alueellisten pintageologian yksiköiden määrittämisessä.
 - c. Hydrogeologiset yksiköt jaettiin lajittuneisiin pintakerrostumiin ja turpeisiin, jotta mitatut ja mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet vastaisivat paremmin toisiaan. Lajittuneet pintakerrostumat ja turpeet jaettiin niin, että ne edustavat Kuusivaaran aluetta ja Viiankiaavan suoaluetta (kuva 4-1).
 - d. Lajittuneiden pintakerrostumien vedenjohtavuudet ovat matalampia kuin Freeze ja Cherryn (1979) esittämät lajittuneiden kerrostumien (hiekat, sorat) arvojen vaihteluvälit, koska kaivostoimintojen alueen lajittuneet kerrostumat muodostuvat useista erilaisista lajittuneista sedimenteistä, kuten jäätikkö- ja jokikerrostumista, palmikkojokien kerrostumista, tuulen kasaamista hiekoista ja hienojakoisista jokitasangon kerrostumista (Åberg ym. 2021).
2. Vesihävikikokeiden tulosten perusteella ehjä kallioperä jaettiin edelleen läpäisevämpään kallioperään tarvekilouhoksen, kaivoksen maanpäällisten toimintojen ja vinotunnelin alueella ja vähemmän läpäisevään kallioperään maanalaisen kaivoksen alueella. Kuvassa 4-5 on esitetty läpäisevämmän ja vähemmän läpäisevän kallioperäalueen alueelliset laajuudet. Vettä läpäisevämpi kallioperä vinotunnelien lähellä kuvattiin malliin yleisesti kaksi kertaa vettä läpäisevämpänä kuin vähemmän vettä läpäisevä kallioperä (kuva 4-3). Enemmän ja vähemmän vettä läpäisevien kallioperävyöhykkeiden vedenjohtavuuden kuvattiin pienentyvän syvemmälle mentäessä vesihävikikokeiden tulosten perusteella (kuva 4-3). Ehjän kallioperän horisontaalisten ja vertikaalisten vedenjohtavuuksien väliseksi anisotropiaksi määritettiin arvo 10 pohjaveden virtausmallin kalibrointiin perustuen.
3. Rikkonainen kallioperä jaettiin edelleen kolmeen hydrogeologiseen yksikköön. Kuvassa 4-6 on esitetty kolmen rikkonaisen kallioperävyöhykkeen laajuus. Nämä kolme hydrogeologista aluetta ovat Kuusivaaran alueella, Kitisen varrella ja maanalaisen kaivoksen läheisyydessä. Jako kolmeen alueeseen perustuu pohjaveden virtausmallin kalibrointiin pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihteluihin sekä pumppauskokeiden aikaisiin hydraulisiin vasteisiin.
4. Kuvassa 4-3 on esitetty pohjaruhjeelle määritetyt vedenjohtavuudet. Pohjaruhjeen ylempi vedenjohtavuus perustuu pumppaustesteissä mitattuun vedenjohtavuuteen. Ehjän kallioperän vedenjohtavuuksien tapaan pohjaruhjeen vedenjohtavuuden oletettiin mallissa

pienentyvän syvemmälle mentäessä.

5. Kaivostoimintojen alueen ruhjeiden vedenjohtavuuden kuvattiin mallissa vastaavan ehjän kallioperän vedenjohtavuuksia. Ruhjeissa tehtyjen vesihävikkikokeiden perusteella saatujen vedenjohtavuuksien analyysissa ei näy viitteitä korkeammista vedenjohtavuuksista ruhjeissa.
6. Kalibroidut vedenjohtavuudet ovat mitattujen vedenjohtavuuksien, kirjallisuuteen perustuvien vedenjohtavuuksien ja globaalisti käytettyjen vedenjohtavuuksien vaihteluvälien rajoissa.
7. Alueellisia ruhjeita ei huomioitu pohjaveden virtausmallissa, koska niiden hydraulisista ominaisuuksista ei ole saatavilla tietoja.

4.4 Mallin reunaehdot

Pohjaveden virtausmallin rajausta valittiin siten, että se noudattaa luonnollisia vedenjakajia ja virtausreittejä. Numeerisen pohjaveden virtausmallin rajausta on sama kuin osiossa 2.0 kuvatun hydrologisen tutkimusalueen. Rajauksen valinnalla pyrittiin rajoittamaan vaikutuksia, joita pohjaveden ja pintaveden luonnollisilla virtauksilla hydrologiselle tutkimusalueelle ja sieltä pois voisi olla ennustettuihin vuotovesimääriin ja pohjaveden pinnankorkeuden alenemaan. Lisäksi rajausta valittiin siten, että kaivoksen kuivanapidon ja mallin reunojen välillä ei tapahdu vuorovaikutusta eikä hydraulista rasitusta. Samoja reunaehdotuksia käytettiin kaikissa steady state-, transient- ja ennustesimulaatioissa.

Pohjaveden virtausmallin maanpinnan korkeudet määriteltiin topografisesta aineistosta. Pohjaveden virtausmallin syvimmän kohdan korkeusasema on noin -2 700 m mpy.

Seuraavassa on esitetty yhteenveto pohjaveden virtausmallin reunaehdoista.

4.4.1 Vakiovedenpinta-reunaehto

Kuten edellä kerrottiin, mallin itä-, länsi- ja eteläreunat asetettiin noudattelemaan jokia. Kaikilla näillä mallialueen reunoilla joet kuvataan vakiovedenpinta-reunaehdolla mallin ensimmäisessä (ylimmäisessä) kerroksessa. Jokien lisäksi HTA:lla on useita muita suuria vesistöjä. Kuvassa 4-7 on esitetty malliin syötetyt vakiovedenpinta-reunaehdot, joita käytettiin pohjaveden virtausmallissa jokien ja järvien kohdalla. Vakiovedenpinta-reunaehdoille määritettiin vedenpinnan korkeudet maanpinnan korkeuden perusteella. Vakiovedenpinnan korkeudet annettiin vakioarvoina ilman vuodenaikaisvaihtelun huomioimista.

4.4.2 Vaihtelevan virtauksen reunaehto

Vaihtelevan virtauksen reunaehdon sijainti on esitetty kuvassa 4-7. Vaihtelevan virtauksen reunaehdotuksia käytettiin transient- ja ennustesimulaatioissa kuvaamaan pohjaveden vuorovaikutusta pohjaveden virtausmallinnusalueen reunaehdojen ja virtausmallin ulkopuolisen alueen välillä. Pohjaveden virtausmallin ulkoreunan solmukohdille määritettiin vaihtelevan virtauksen reunaehto lukuun ottamatta niitä solmukohtia, joille määritettiin vakiovedenpinta-reunaehto. Vaihtelevan virtauksen reunaehto on MINEDW-koodin erityinen ominaisuus, jolla voidaan kuvata käytännössä ääretöntä akviferia samoilla hydraulisilla ominaisuuksilla kuin mitkä pohjaveden virtausmallin reunalle on annettu. Tämä reunaehto sallii tarvittaessa pohjaveden virtaamisen sisään ja ulos mallialueen reunan läpi pohjaveden pinnankorkeuden ja simuloitujen hydrogeologisten yksiköiden ominaisuuksien mukaan.

4.4.3 Ei virtausta -reunaehto

Pohjaveden virtausmallin syvimmän kohdan korkeusasema on noin -2 700 m mpy, joten on kohtuullista olettaa, ettei virtausmallin pohjan läpi tapahdu merkittävää pohjaveden virtausta. Pohjaveden virtausmallin pohjassa olevat solmukohdat määritettiin siten ei virtausta -reunaehdoksi kaikissa simulaatioissa, eli vesi ei pääse virtaamaan mallin pohjan läpi.

4.5 Pohjaveden muodostuminen

Kuvassa 4-8 on esitetty pohjaveden keskimääräiset muodostumismäärät kesäkuusta 2011 syyskuuhun 2023 maaperän pohjaveden hydrogeologisissa yksiköissä. Kuukausittaiset simuloidut pohjaveden muodostumismäärät perustuvat kalibroituun *MIKE SHE* -malliin. *MIKE SHE* -mallin ennustamia pohjaveden muodostumismääriä käytettiin pohjaveden virtausmallissa sellaisinaan. Taulukossa 4-2 on esitetty pohjaveden virtausmalliin syötetyt pohjaveden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä. Kuvassa 4-9 on esitetty mallissa käytetyt moreenin, lajittuneiden kerrostumien ja turpeen pohjaveden muodostumisalueet. Seuraavassa on esitetty yhteenvedo mallin laskemista pohjaveden muodostumismäärästä steady state- ja transient -mallissa:

1. Vakiovedenpinta -reunaehdon kohtaan ei ole mallissa syötetty pohjaveden muodostumista.
2. Pohjaveden muodostumismäärät steady state -mallissa perustuvat *MIKE SHE* -mallista saatuihin keskimääräisiin muodostumismääriin (kuva 4-8). Keskimääräisiä muodostumismääriä muokattiin joillakin moreenialueilla, jotta mallin laskemat steady state -tilanteen pohjaveden pinnankorkeudet ja mitatut pohjaveden pinnankorkeudet vastaisivat tarkemmin toisiaan.
3. Moreeni on jaettu kahteen erilliseen pohjaveden muodostumisvyöhykkeeseen (ylempi ja alempi moreeni), jotka on kuvattu sinisillä väreillä (kuva 4-9).
4. Pohjaveden muodostumismäärät steady state -tilanteessa ovat pohjoisimmassa moreenissa 0,26 mm/vrk, ylemmässä moreenissa 0,4 mm/vrk, alemmassa moreenissa 0,45 mm/vrk, lajittuneissa kerrostumissa 0,4 mm/vrk ja turpeessa 0,2 mm/vrk.
5. Transient-mallissa käytettiin sellaisinaan *MIKE SHE* -mallista saadut pohjaveden muodostumismäärät ja ne on esitetty kuvassa 4-8.

4.6 Pohjaveden virtausmallin kalibrointi

Pohjaveden virtausmallin kalibroinnissa mallin parametreja vaihdellaan käyttäen niiden todennäköisiä arvoja, kunnes mallin laskemat ja mitatut arvot vastaavat riittävän tarkasti toisiaan (Spitz ja Moreno 1996). Tässä tutkimuksessa vedenjohtavuutta (K) ja sen anisotropiaa, ominaisantisuutta (S_y), ominaisvarastoa (S_s) ja kaivostointia edeltävän pohjaveden muodostumisen jakautumista ja määrää säädettiin mitattujen arvojen rajoissa, jotta saavutettiin hyväksyttävä kalibrointitulokset. Pohjaveden virtausmalli kalibroitiin pohjaveden pinnankorkeuden luonnontilaan (ilman kaivostointia) sekä pohjaveden pinnankorkeuden luontaiseen vaihteluun että pumppauskokeiden aikaiseen vaihteluun.

Pohjaveden virtausmallin toimivuutta voidaan arvioida kvantitatiivisesti tilastollisen parametrianalyysin avulla (ASTM 2008; Barnett ym. 2012; BLM 2008; NDEP 2018b). Sekä steady state- että transient-mallin kalibroinnin arvioinnissa käytettiin useita yleisesti käytössä olevia tilastollisia tunnuslukuja, joiden avulla voidaan verrata mitattujen pinnankorkeuksien ja mallin laskemien pinnankorkeuksien vastaavuutta. Käytetyt tunnusluvut olivat keskineliövirheen neliöjuuri (RMSE), absoluuttinen keskivirhe (MAE), keskivirhe (ME) ja determinatiokerroin (r^2). Koska nämä tilastolliset parametrit ovat hyvin tunnettuja ja määritelty muissa julkaisuissa (esim. Anderson ja Woessner 1992; Davis 1986), niiden määritelmiä ei toisteta tässä raportissa. Täydellisissä kalibroinneissa RMSE,

MAE ja ME lähestyvät arvoa 0, kun taas r^2 lähestyy arvoa 1. Korrelaatiokertoimen neliö, r^2 , jota kutsutaan myös determinaatikertoimeksi, on muuttujien välisen lineaarisen suhteen herkempi indikaattori. Mitä lähempänä r^2 on arvoa 1,0, sitä paremmin mitatut ja mallinnetut arvot vastaavat toisiaan. Ihanteellisia arvoja lähestyvät kalibroinnin tilastolliset tunnusluvut kertovat hyvin kalibroidusta mallista (Hill 1998).

Pohjaveden virtausmallin kalibroinnin laatuun ja edellä kuvattujen tilastollisten tunnuslukujen hyväksyttäviin arvoihin vaikuttavat useat tekijät (Spitz and Moreno 1996), kuten:

1. Mallialueen koko ja hilaverkon tiheys
2. Reunaehtojen luonnollisen heterogeenisyyden tai monimutkaisuuden taso
3. Pohjaveden pinnankorkeusmittausten sijainti, määrä ja tarkkuus
4. Pohjaveden mitattujen pinnankorkeuksien vaihteluväli mallialueella
5. Pohjaveden virtausmallin laatimisen käyttötarkoitus.

Nämä tekijät on syytä huomioida, kun arvioidaan tämän (tai minkä tahansa) mallin kalibrointia. Esimerkiksi RMSE kuvaa residuaalien (ero mallin laskemien ja mitattujen arvojen välillä) hajontaa. Jos RMSE on pieni – yleensä alle 10 %:sta 15 %:iin – verrattuna pohjaveden pinnankorkeuksien yleiseen vaihteluväliin, tämä kertoo yleensä hyvästä kalibroinnista (ESI 2017). Muiden tilastovirheiden katsotaan olevan vähäisiä mallin yleisen vastaavuuden kannalta (Anderson ja Woessner 1992).

4.7 Steady state -mallin kalibrointi

Steady state -simulaatioilla arvioidaan pohjaveden pinnankorkeuden jakaumia ja vaihteluja aikoina, jolloin hydrologinen ympäristö on (lähes) täydellisessä tasapainossa. Steady state -olosuhteissa hydrologinen sisäänvirtaus mallialueelle vastaa ulosvirtausta mallialueelta, jolloin vesivarannossa ei tapahdu nettomuutoksia. Steady state -simulaatiot toimivat lähtökohtana (eli määrittelevät pohjaveden pinnankorkeuden ja vaihteluolosuhteet) transient-simulaatioille. Transient-simulaatioita tarvitaan, jotta voidaan simuloida vaihtelevia hydrologisia muutoksia tai fyysisiä muutoksia (kuten kaivostoiminta ja pumpaus) pohjavesiin.

4.7.1 Steady state -mallin tavoitteet

Kuten luvussa 3.4.2 todettiin, hydrologisella tutkimusalueella on huomattava määrä pohjaveden havaintokaivoja. Taulukossa 4-3 on esitetty yhteenveto havaintopisteistä, joita on käytetty steady state -mallin kalibroinnissa. Pohjaveden pinnankorkeustiedot osoittavat, että pinnankorkeudet vaihtelevat vuodenajoittain lumen sulamisen seurauksena. Tästä syystä pohjaveden havaintoputkien steady state -pinnankorkeuksiksi valittiin pohjaveden mitatut pinnankorkeudet ennen lumen sulamisen alkamista.

4.7.2 Steady state -mallin kalibrointi

Kalibroidun steady state -mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet on esitetty kuvassa 4-10. Mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet noudattavat maanpinnan muotoja hydrologisella tutkimusalueella. Mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet osoittavat, että pohjavesi virtaa kohti HTA:n merkittävämpiä jokia, jotka ovat Kitinen, Ylijoki, Hiivanahaara ja Kelujoki. Mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet ovat yhdenmukaisia mitattujen pinnankorkeuksien kanssa.

Kuvassa 4-11 on esitetty mallin laskema pohjaveden pinnan syvyys maanpinnasta pohjaveteen steady state -kalibroinnissa. HTA:lla useimmat mallin laskemat pohjavedenpinnat ovat alle metrin päässä maanpinnasta. Alueilla, joilla maanpinta on korkeammalla, pohjavesi on syvemmällä.

Kuvassa 4-12 on esitetty mallin laskemat vedellä kyllästyneet alueet, joilla tapahtuu veden lammikoitumista, pintavaluntaa sekä jossain määrin pohjaveden purkautumista, ja vettä ei imeydy maaperään, sekä pohjaveden muodostumisalueet, joilla vesi suotautuu alaspäin. Vedellä kyllästyneiksi alueiksi on määritelty alueet, joilla pohjaveden pinta on maanpinnan tasolla tai sen yläpuolella, ja vesi purkautuu jatkaen kiertokulkuaan joko evapotranspiraationa tai pintavesivaluntana. Muodostumisalueilla pohjaveden pinta on yleensä maanpinnan alapuolella ja vesi imeytyy hydrogeologisiin yksiköihin. HTA:lla yleisimmät vedellä kyllästyneet alueet ovat uomien ja oien yhteydessä, kun taas muodostumisalueet sijaitsevat korkeammassa maanpinnan kohdissa. Mallin laskemat muodostumisalueet ja vedellä kyllästyneet alueet ovat yhdenmukaiset *MIKE SHE* -mallin ja alueelta tehtyjen havaintojen kanssa.

Kuvassa 4-12 on lisäksi esitetty maanalaisen kaivoksen ja suon pintaprojektio. Suo sijoittuu pääosin vedellä kyllästyneelle alueelle, jolla tapahtuu veden lammikoitumista, pintavaluntaa sekä jossain määrin pohjaveden purkautumista, ja vettä ei imeydy maaperään. Tämä tulos on yhteneväinen maastohavaintojen kanssa. Tulos on tärkeä myös arvioitaessa kaivostoiminnan mahdollisesti aiheuttaman pohjaveden pinnankorkeuden aleneman vaikutuksia suohon. Suolla on riittävästi pintavaluntaa sekä sadannasta että pohjavesipurkaumista, josta voi muodostua suolla uutta pohjavettä kaivoksen elinkaaren aikana.

Kuvassa 4-13 on esitetty mallin laskemien ja mitattujen pohjaveden pinnankorkeuksien vastaavuus. Koska välillä 180–190 m mpy on runsaasti havaintoja, tältä korkeusväliltä on selvyden vuoksi esitetty tarkempi kuva. Taulukossa 4-3 on esitetty yhteenveto mitatuista ja mallin laskemista pohjaveden pinnankorkeuksista ja mallin tilastollisista tunnusluvuista. Luvussa 4.1 käsitellyt tilastollisia tunnuslukuja käytettiin pohjaveden virtausmallin steady state-kalibroinnin arviointiin. Steady state-mallin ME on 0,3 m, MAE 0,8 m ja RMSE 1,2 m. Taulukossa 4-4 on esitetty yhteenveto steady state -mallin kalibroinnin tunnusluvuista. Kaiken kaikkiaan steady state -mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet vastaavat hyvin mitattuja pohjaveden pinnankorkeuksia. Mallin tilastolliset tunnusluvut ovat hyvin kalibroidun pohjaveden virtausmallin normaalialueen rajoissa (Anderson ja Woessner 1992; Barnett ym. 2012; Hill 1998; NDEP 2018b; Spitz ja Moreno 1996). Lisäksi mallin tilastollisten ME-, MAE- ja RMSE-tunnuslukujen arvot ovat lähellä nollaa, ja r^2 :n arvo on lähellä yhtä, mikä kertoo hyvin kalibroidusta mallista. Lisäksi ME, MAE ja RMSE ovat pienemmät tai suunnilleen samat kuin oletettu pohjaveden pintojen mittausvirhe +/-1,0 m.

Koko virtausmallin massatasevirhe steady state-simulaation lopussa on alle 0,001 % eli paljon pienempi kuin Reillyn ja Harbaughin (2004) suosittelema suurin hyväksyttävä massatasevirhe 0,5 %.

4.8 Transient-mallin kalibrointi

4.8.1 Transient-mallin tavoitteet

Transient-mallin kalibroinnin ensisijaisena tarkoituksena on simuloida mitatun ja mallinnetun pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelun (kesäkuu 2011 – syyskuu 2023) vastaavuutta, kun mallinnettujen pohjaveden pinnankorkeuksien laskentaan käytetään *MIKE SHE*-mallilla ennustettuja vuodenaikaisriippuvaisia pohjaveden muodostusmääriä. Transient-mallin kalibrointia tarkennettiin kalibroimalla malli keskeisimmissä pumppauskokeissa havaittuihin pohjaveden pinnankorkeuden vaihteluihin. Yksityiskohtaisempaa tietoa mallin kalibroimisesta pumppauskokeiden havaintoihin on esitetty liitteessä C. Pohjaveden virtausmalli kalibroidiin hydrologisen tutkimusalueen havaintopisteistä mitattuihin pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihteluun. Transient-mallin kalibroinnissa käytetyistä havaintopisteistä on kerätty tietoa automaattimittareilla jatkuvatoimisesti ja manuaalisilla mittauksilla. Sellaisien vuosina 2022 ja 2023 asennettujen havaintopisteiden mittausaineistoja, joista oli olemassa alle yhden vuoden mittausarja, ei käytetty kalibroinnissa. Valitut pohjaveden havaintokaivot edustavat kaikkia hydrogeologisia yksiköitä ja havaintokaivoista on saatavilla pitkän aikavälin pinnankorkeuksien mittausaineistoa, joka kuvaa edustavalla tavalla pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihtelua. Taulukossa 4-5 on esitetty yhteenveto niistä pohjaveden havaintopisteistä, joita käytettiin

transient-mallin kalibroinnissa. Transient-mallin kalibroinnissa käytettiin yhteensä 98 pohjaveden havaintopistettä. ITASCAN kokemusten perusteella pohjaveden havaintopisteiden määrä on huomattava verrattuna muihin vastaavissa vaiheissa oleviin hankkeisiin.

4.8.2 Transient-mallin kalibrointi

Liitteessä B on esitetty yhteenvedo mitatuista ja transient-mallin laskemista pohjaveden pinnankorkeuden kalibroinnissa. Kuten pohjaveden pinnankorkeuden kuvaajista voidaan nähdä, pohjaveden virtausmalli on hyvin kalibroitu pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihteluun HTA:lla. Seuraavassa on esitetty yhteenvedo transient-mallin kalibroinnista:

1. Malli on hyvin kalibroitu pohjaveden mitattuihin pinnankorkeuksiin maanalaisen kaivoksen lähellä, vinotunnelin alueella, maanpäällisten kaivostointojen ja tarvekilouhoksen lähellä sekä suolla.
2. Hydrologisella tutkimusalueella pohjaveden virtausmalli on hyvin kalibroitu pohjaveden mitattuihin pinnankorkeuksiin maaperän pohjavesissä, rikkonaisessa kallioperässä ja ehjässä kallioperässä.
3. Kuusivaaran alueella pohjaveden virtausmalli on hyvin kalibroitu mitattuihin pohjaveden pinnankorkeuksiin sekä alueilla, joilla pohjaveden vuodenaikaisvaihtelu on pientä (alle 1 m) että alueilla, joilla vuodenaikaisvaihtelu on suurta (yli 10 m).
4. Turpeen hydrogeologisessa yksikössä kevätulannan aikaiset mitatut ja mallinnetut vedenpinnankorkeudet eivät vastaa toisiaan sellaisina ajanjaksoina, jolloin turpeen päällä on lammikoitumista (huhti- ja toukokuu). Kevätulannan ulkopuolella, kesäkuusta lokakuuhun, mitatut ja mallinnetut pinnankorkeuden vastaavat hyvin toisiaan.
5. Yleisesti ottaen mallinnetut pohjaveden pinnankorkeudet vastaavat hyvin mitattujen pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelua kevätulannan aikana. Joissakin havaintopisteissä on havaittavissa kevätulannan aikana suurempaa vaihtelua mitatuissa pohjaveden pinnankorkeuksissa kuin mallinnetuissa pohjaveden pinnankorkeuksissa. Tämä vähäinen ero johtuu siitä, että mallisimuloinneissa on käytetty sadannan kuukausikeskiarvoja, kun taas mitatut pinnankorkeudet heijastavat päivittäisiä sademääriä.

Taulukossa 4-6 on esitetty transient-mallin tilastolliset tunnusluvut malliajon eri ajankohdissa. Datapisteitä on esitetty sekä kesältä ja talvelta kuuden kuukauden välein. Jokaiselle pisteelle on esitetty laskettu ME, MAE, RMSE, normalisoitu RMSE ja r^2 . Kuvassa 4-14 on esitetty mitattujen ja mallin laskemien pohjaveden pinnankorkeuksien vastaavuus eri ajankohtina. Näiden tietojen perusteella mallin kalibroinnista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

1. Mallin tilastollisten tunnuslukujen perusteella transient-malli on hyvin kalibroitu kalibroinnin koko ajanjaksolla.
2. Mallin tilastolliset tunnusluvut ovat kirjallisuudessa esitetyn hyvin kalibroidun mallin rajoissa (Anderson ja Woessner 1992; Hall 1998; Spitz ja Moreno 1996).
3. Korrelaatioisuorat osoittavat, että mallivirheessä ei ole vinoumaa tai muutosta mitattujen ja mallin laskemien pohjaveden pinnankorkeuksien välillä.
4. ME, MAE ja RMSE ovat tyypillisesti alle 2,0 m. Jotkin tilastolliset arvot ovat yli arvon 2,0 myöhempinä mallin kalibroinnin ajanjaksoina.
5. Transient-malli on hyvin kalibroitu pohjaveden pinnankorkeuksiin sekä kesä- että talvikuukausina.

6. Kuusivaaran alueella suuremmat tilastolliset virheet johtuvat pohjaveden pinnankorkeuden suuremmista vuodenaikaisvaihteluista. Suuri vuodenaikaisvaihtelu johtuu todennäköisesti rikkoutuneen ja ehjän kallioperän heterogeenisyydestä.

Kuvassa 4-15 on esitetty mallin laskemat vuosittaiset pohjaveden muodostumismäärät prosenttina sadannasta moreenissa, lajittuneissa kerrostumissa ja turpeessa, sekä mallin laskema keskimääräinen muodostumismäärä. Mallin laskemat pohjaveden muodostumismäärät perustuvat *MIKE SHE* -mallista saatuihin muodostumismääriin (negatiiviset arvot kuvassa 3-20). Pohjaveden muodostumismäärät eri hydrogeologisissa yksiköissä vaihtelevat 11–41 % sadannasta riippuen mitatun sademäärän suuruudesta. Keskimääräinen pohjaveden muodostumismäärä kalibrointijaksolla moreenin hydrogeologisessa yksikössä on noin 30 %, lajittuneiden kerrostumien yksikössä noin 25 % ja turpeessa noin 16 % mitatusta vuosittaisesta sadannasta. Keskimääräiset pohjaveden muodostumismäärät vastaavat muodostumismääriä, joita on käytetty julkaisussa Åberg ym. (2019).

Kuvassa 4-16 on esitetty mallin laskema vesitase pohjaveden virtausmallin alueella. Positiiviset arvot edustavat sisäänvirtausta malliin ja negatiiviset arvot ulosvirtausta. Mallin laskemasta vesitaseesta voidaan tehdä seuraavat havainnot:

1. Vesitaseen osatekijät pohjaveden virtausmallissa vaihtelevat vuodenajoittain riippuen pohjaveden muodostumismäärästä.
2. Mallissa käytetty pohjaveden muodostumismäärä vaihtelee välillä 0–22 000 kuutiometriä tunnissa (m^3/h). Muodostumismäärää on suurimmillaan lumen sulannan aikana.
3. Pintaveden valunta vaihtelee välillä 1 000–12 500 m^3/h .
4. Pohjaveden purkautuminen jokiin vaihtelee välillä 450–625 m^3/h . Pohjaveden purkautuminen jokiin kuvaa pintavesiin päätyvää pohjaveden määrää.
5. Pohjaveden ulosvirtaus mallialueelta vaihtelee välillä -50–50 m^3/h . Negatiivinen virtaus tarkoittaa virtausta ulos mallialueelta ja positiivinen virtaus tarkoittaa virtausta mallialueelle. Pohjaveden sisään- ja ulosvirtausta tapahtuu vaihtelevan virtauksen reunaehtoisten alueilla.

Kuvassa 4-17 on esitetty mallin laskema merkittävimpien pintavesistöjen vesitase. Kuvassa näkyy pohjaveden purkautumismäärä jokiin. Ulosvirtaus kuvassa 4-17 ei sisällä pintaveden valumaa uomien kautta jokiin; siinä nähdään vain pohjaveden purkautuminen joki- ja järvirajapintoihin (vakiovedenpinta-reunaehtoihin). Negatiivinen mallin laskema arvo tarkoittaa mallin alueelta jokiin ja järviin poistuvan pohjaveden määrää. Pohjaveden purkautumisesta puroihin ja järviin voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

1. Pohjaveden purkautuminen järviin vaihtelee noin välillä 2–25 m^3/h .
2. Pohjaveden purkautuminen Kitiseen vaihtelee noin välillä 330–500 m^3/h .
3. Pohjaveden purkautuminen Kelujokeen, Hiivanahaaraan ja Ylijokeen vaihtelee noin välillä 105–115 m^3/h .

5.0 ENNUSTAVA POHJAVEDEN VIRTAUSMALLI

Kun pohjaveden virtausmalli oli hyvin kalibroitu pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihteluun, sitä käytettiin tulevien vuotovesimäärien ja mahdollisen pohjaveden pinnankorkeuden aleneman ennustamiseen. Tämä raportin osuus käsittelee ennustavan mallin simulaatioita ja tuloksia.

5.1 Ennustavan pohjaveden virtausmallin perusasetelma

5.1.1 Reunaehdot

Kuten luvussa 4.0 kerrottiin, seuraavat reunaehdot olivat käytössä steady state- ja transient-malleissa ja siten myös ennustavan pohjavesimallin mallisimulaatioissa:

1. Kitiselle, Kelujoelle, Hiivanahaaralle ja Ylijoelle sekä HTA:n järville määritettiin vakiovedenpinta-reunaehdot maanpinnan korkeuden perusteella. Oletuksena oli, että vakiovedenpinta-reunaehdot eivät muutu kaivoksen elinkaaren aikana. Vaikka näiden vesistöjen pinnankorkeuksissa on vuodenaikaisvaihtelua, sillä ei ole vaikutusta vuotovesimääriin ja pohjaveden pinnankorkeuden alenemaan.
2. Mallin ulkorajaa käsiteltiin vaihtelevan virtauksen reunaehtona, joka sallii vuorovaikutuksen alueellisten pohjavesien kanssa, kuten kuva 4-7 osoittaa. Vaihtelevan virtauksen reunaehto perustuu oletukselle äärettömästä vesivarastosta, josta vettä voi tarvittaessa virrata mallin alueelle.

Kuvassa 5-1 on esitetty mallin laskemat kuukausittaiset pohjaveden tulevaisuuden muodostumismäärät moreenissa, lajittuneissa kerrostumissa ja turpeessa. Pohjaveden keskimääräinen kuukausittainen muodostumismäärä arvioitiin perustuen kuukausittaisiin muodostumismääriin kesäkuun 2011 ja syyskuun 2023 välillä. Keskimääräiset kuukausittaiset muodostumismäärät toistuvat vuosittain koko mallisimulaation ajan. Mahdollisen ilmastomuutoksen vaikutuksia simuloituihin pohjaveden muodostumismääriin arvioitiin erillisissä mallin herkkyyssimulaatioissa.

5.1.2 Kaivostoiminta

AASM Oy toimitti yksityiskohtaiset LOM (kaivoksen elinkaari) -suunnitelmat .dxf-tiedostona ja yksityiskohtaisen LOM-aikataulun DESWIK-muodossa. Seuraavassa on esitetty yhteenveto ennustavaan malliin kuvastusta kaivostoiminnan elinkaaresta:

1. Vuodet 0–2: Kuusivaarasta rakennetaan neljä vinotunnelia pääesiintymälle. Ensimmäiset maanalaiset kaivostilat rakennetaan.
2. Vuodet 2–8: Louhinta alkaa ja kaivosta jatketaan syvemmille tasoille -400 metrin syvyyteen mpy ja alemmas.
3. Vuodet 9–10: NE satelliittiesiintymään rakennetaan yhdystunneli (vinotunneli), ja louhinta alkaa syvyyden -150 metriä mpy yläpuolella. NE satelliittiesiintymän louhinta päättyy vuonna 14.
4. Vuodet 11–24: Pääesiintymän louhinta jatkuu sekä syvemmissä että matalissa osissa.

Kaivostoiminta kestää elinkaarisuunnitelman mukaan noin 24 vuotta. Koska toiminnan aloitusvuosi ei ole tiedossa, mallinnuksen tulokset esitetään vuosina kaivostoiminnan aloittamisesta.

Seuraavassa on esitetty yhteenveto ennustavassa mallissa käytetyistä maanalaisten toimintojen reunaehdoista:

1. Maanalaista kaivosta kuvataan ennustavassa mallissa suotopinta-reunaehtoina perustuen DESWIK-aikatauluun ja .dxf-tiedostoissa toimitettuihin korkeuksiin. Oletuksena on, että koko kaivos säilyy avoimena koko sen elinkaaren ajan perustuen tunnelien korkeuteen merenpinnasta, pohjaveden pinnankorkeuteen ja in-situ-kallioperän hydraulisiin ominaisuuksiin.
 - a. Seuraavassa kuvatut mallinnustulokset ovat herkkiä kaivoksen laajuudelle, louhinta-aikataululle ja kaivossuunnitelmien korkeustasolle.
 - b. Tunnelin halkaisijan läpimittaa ei ole suoranaisesti kuvattu malliin, vaan se on ennemminkin toteutettu malliruudukon kokoon perustuen. Malliruudukon koko asetettiin 8 metriin vinotunnelin alueella. Vähäisellä vaihtelulla tunnelin halkaisijassa, enintään 16 metriin saakka, on todennäköisesti merkityksetön vaikutus malliennusteisiin.
 - c. Ennustavat mallisimuloinnit perustuvat neljään vinotunneliin. Seuraavassa kuvatut mallinnustulokset osoittavat, että pohjaveden pinnankorkeuden alenemaa ilmenee, kun syvimällä olevaa tunnelia rakennetaan. Myöhemmin rakennettavilla, samalla alueella matalammissa osissa sijaitsevilla tunneleilla on todennäköisesti rajallinen lisävaikutus ennustettuun alenemaan.
 - d. Vinotunnelin geometria saattaa vaikuttaa malliin muuttamalla suotopintasolujen sijaintia. Vähäisillä muutoksilla vinotunnelin geometriassa tai tunnelin siirrolla samassa korkeustasossa muutamia metrejä on todennäköisesti merkityksetön vaikutus ennustettuun alenemaan.
2. Vaikka kaikki louhitut osiot täytetään, kaivostäyttöä ei kuvata ennustavassa mallissa täysin tiiviinä malliskenaarioissa seuraavista syistä:
 - a. Kun pastatäyttö kovettuu, täyttöaine todennäköisesti kutistuu, jonka seurauksena kallion ja täytön väliin jää vettä johtava kanava. Tämän seurauksena täytetyt louhokset jäävät vuotamaan vapaasti kaivoksen elinkaaren ajan.
 - b. Eri alueilta ja eri täyttömateriaaliyhdistelmistä kerättyjen vedenjohtavuuksien perusteella kaivostäytön vedenjohtavuus on välillä $2 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-7}$ m/s (kuva 3-34). Kaikissa mallinnusskenaarioissa kaivostäytölle käytettiin konservatiivista vedenjohtavuutta, 1×10^{-7} m/s. Koska täytön vedenjohtavuus 1×10^{-7} m/s on suurempi kuin ehjän kallioperän vedenjohtavuus ($2 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-7}$ m/s), se ei välttämättä estä vuotoveden suotautumista ehjästä kallioperästä.
3. AASM Oy:n lievennystoimina on tiivistää sekä kaivoksen osat, jotka lävistävät tunnettua vettä johtavia ruhjeita, että vinotunnelit 150 metriin maanpinnan alapuolelle asti. Tiivistämistä ennustavaan malliin tehtiin seuraavat oletukset:
 - a. Tiivistämistä käytetään vähentämään veden mahdollista johtumista seuraavista ruhjeista: pohjaruhje, breksiaruhje, dolomiittiruhje, serpentiniittiruhje sekä NE ruhjeet ja ruhje A.
 - b. Mallissa oletetaan, että kaivostoiminnan aikana läpäistävien tunnettujen vettä johtavien ruhjeiden tiivistäminen vähentää vuotoveden suotautumista maanalaiseen kaivokseen. Tämän vuoksi malliin sisällytettiin oletetun louhinta-alueen ja maanalaisen kaivoksen valikoituja suotopinta-reunaehdoja tiivistyksen alueille tiivistystehokkuuden mukaisesti. Tiivistyksen tehokkuuden vaikutuksia mallin ennusteisiin on arvioitu herkkyystarkastelussa.

Kuusivaarassa kaivoksen maanpäällisten toimintojen sijoittelun vuoksi kevätulannan ja sadannan suotautuminen pohjavedeksi saattaa vähentyä paikallisesti näillä alueilla. Seuraavassa on esitetty yhteenveto kaivoksen maanpäällisten toimintojen reunaehdoista sekä pohjaveden muodostumisesta ennustavissa mallisimuloinneissa:

1. Rikastushiekka-alueella käytetään sivukiven ja rikastushiekan sekoitetta, jonka vedenjohtavuus on alhainen. Tämän vuoksi pohjaveden muodostumisen vuodenaikaisvaihtelu on todennäköisesti vähäistä. Näin ollen pohjaveden muodostumisessa rikastushiekka-alueen pohjan läpi käytettiin ennustavissa mallisimuloinneissa seuraavia oletuksia:
 - a. Pohjaveden muodostuminen oletettiin tasaiseksi koko rikastushiekka-alueella.
 - b. AASM Oy:n kanssa käytyyn keskusteluun perustuen noin 15 % keskimääräisestä vuosittaisesta sadannasta (0,24 mm/vrk) oletettiin muodostuvan pohjavedeksi rikastushiekka-alueella. Tämä on noin 50 % vähemmän kuin normaali pohjaveden muodostumismäärä alueella ilman rikastushiekka-aluetta.
 - c. Alhaisempaa pohjaveden muodostumismäärää käytettiin kaivoksen toiminta-aikana sekä toiminnan päättymisen jälkeen.
 - d. Muutos pohjaveden muodostumismäärään tehtiin rikastushiekka-alueen vaiheistuksen (kuva 3-33) mukaan.
2. Pohjaveden muodostumismäärälle muilla kaivoksen maanpäällisten toimintojen alueella (sivukiven sijoitusalueet, vesialtaat ja päällystetyt alueet) tehtiin seuraavat oletukset:
 - a. AASM Oy:n kanssa käytyyn keskusteluun perustuen noin 10 % keskimääräisestä vuosittaisesta sadannasta oletettiin muodostuvan pohjavedeksi muilla kaivoksen maanpäällisten toimintojen alueella. Tämä on noin 67 % vähemmän kuin normaali pohjaveden muodostumismäärä alueella ilman maanpäällisiä toimintoja.
 - b. Näillä alueilla pohjaveden muodostumismäärän vähennystä sovellettiin kuvassa 5-1 esitettyihin pohjaveden muodostumismääriin.
 - c. Alhaisempaa pohjaveden muodostumismäärää käytettiin kaivoksen toiminta-aikana sekä toiminnan päättymisen jälkeen.
3. AASM Oy toimitti ITASCALLE tarvekilouhoksen louhintasuunnitelman .dxf-muodossa (kuva 3-34). Tarvekilouhos on noin 75 metriä syvä. Tarvekilouhosta louhitaan samanaikaisesti kaivoksen muiden toimintojen rinnalla seuraavien louhintavaiheiden mukaisesti:
 - a. **Vaihe 1:** Louhinta maanpinnasta 170 m mpy syvyyteen toimintavuosina 2–12 (sininen osa kuvassa).
 - b. **Vaihe 2:** Louhinta syvyydellä 170–120 m mpy toimintavuosina 12–21 (keltainen osa kuvassa).
4. Oletuksena on, että tarvekilouhoksesta pumpataan vuotovesiä koko sen elinkaaren ajan, jotta kuivat työskentelyolosuhteet säilyisivät.

5.1.3 Ennustavat mallisimulaatiot

Edellä kuvatun ennustavan mallin perusasetelman ja oletusten pohjalta ajettiin yksi ennustava mallisimulaatio. Ennustavassa mallisimulaatiossa (65 % tiivistysskenaario sisältäen NE satelliittiesiintymän) käytettiin seuraavia oletuksia:

1. Injektointitehokkuuden on oletettu olevan 65 % (65 % injektointitehokkuutta pidetään todennäköisimpänä tehokkuutena, joka hankkeessa voidaan saavuttaa). Vinotunnelit injektoidaan 150 m syvyyteen maanpinnan tasosta ja lisäksi injektoidaan vettä johtavat ruhjeet kohteissa, joissa vuotovesimäärät ovat runsaita.
2. Kaivostäytön vedenjohtavuutena on käytetty korkeaa vedenjohtavuusarvoa ($1,0 \times 10^{-7}$ m/s).
3. Täytetyt louhokset jäävät vuotamaan kaivoksen elinkaaren ajan.
4. Injektointitehokkuuden ollessa 65 %, tiivistyksen alueella osa laskentasoluista (35 %) jätetään vuotamaan.

Edellä kuvatun skenaarion lisäksi simuloitiin yksi lisäskenario ilman kaivostoimintaa ennustamaan tulevaisuuden pohjavesiolosuhteita luonnontilassa. Skenaariossa käytettiin samaa pohjaveden muodostumismäärää kuin edellä kuvatussa skenaariossa (kuva 5-1). Tämä mallisimulaatio toimi pohjavesiolosuhteiden vertailukohtana (luonnontilana), jotta kaivosskenaarioiden vaikutusta voidaan verrata tulevaisuuden skenaarioon, jossa ei ole kaivostoimintaa, ja näin arvioida kaivostoiminnan nettovaikutusta pohjavesiin (esim. alenema).

5.2 Kaivostoiminnan aikaiset ennusteet

5.2.1 Ennustetut vuotovesimäärät

Kuvassa 5-2 on esitetty ennustetut vuotovesimäärät 65 % tiivistysskenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana. Taulukossa 5-2 on esitetty yhteenveto ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista vuotovesimääristä. Seuraavat päätelmät voidaan tehdä pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä 65 % tiivistysskenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana:

Maanalaiset kaivokset

1. Vuotovesimäärät alkavat kasvaa kaivostoiminnan 1. vuonna, kun vinotunnelit rakennetaan. Vuoden 2 puoliväliin mennessä vuotovesimäärät ovat suurimmillaan, eli $120 \text{ m}^3/\text{h}$ ($2\,880 \text{ m}^3/\text{vrk}$), johtuen vettä johtavasta pohjaruhjeesta. Vuotovesimäärät ovat suurimmillaan vinotunnelien ja maanalaisen kaivoksen lähimpänä maanpintaa olevien osioiden rakentamisen jälkeen.
2. Kun vuotovesimäärän huippu on saavutettu, vuotovesien suotautuminen kaivokseen vähentyy noin arvoon $95 \text{ m}^3/\text{h}$ ($2\,280 \text{ m}^3/\text{vrk}$) vuoteen 9 mennessä, kun louhinta etenee alemmille tasoille, joiden vedenjohtavuudet alhaisemmat. Vuotovesimäärät eivät kasva louhittaessa alemmilla tasoilla, joilla kallioperän vedenjohtavuudet ovat alhaisemmat.
3. Vuoden 9 jälkeen vuotovesimäärä alkaa nousta, kun pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän lähimpänä maanpintaa olevia osia louhitaan. Vuotovesimäärä kasvaa arvoon $110 \text{ m}^3/\text{h}$ ($2\,640 \text{ m}^3/\text{vrk}$) vuoden 11 jälkeen ja pysyy sen jälkeen suhteellisen tasaisena, mutta hieman laskevana kaivoksen elinkaaren loppuun asti.
4. Ennustettu vuotovesimäärä ($95\text{--}120 \text{ m}^3/\text{h}$) vastaa maanalaisen kaivoksen alueen (noin 1 km^2) pohjaveden kokonaismuodostumista, joka vaihtelee vuodenajoin välillä $0\text{--}100 \text{ m}^3/\text{h}$ (kuva 4-16).
5. Kaivoksen elinkaaren aikana maanalaisista louhoksista poistetaan vettä yhteensä noin 22 miljoonaa m^3 .

Tarvekilouhos

1. Vuotovesimäärä lisääntyy asteittain sitä mukaa, kun tarvekilouhosta syvennetään.
2. Tarvekilouhoksen vuotovesimäärä vaihtelee välillä 15–45 m³/h.
3. Tarvekilouhoksen vuotovesimäärä vaihtelee vuodenajoittain pohjaveden muodostumismäärän mukaisesti. Vuodenaikaisvaihtelu on noin 15 m³/h. Lumipeitteen paksuudesta ja syyssateista riippuen on odotettavissa, että vuodenaikaisvaihtelu voi olla suurempaakin.
4. Tarvekilouhoksen vuotovesimäärä ei sisällä mahdollista pintavaluntaa eikä vesi- tai lumisateesta suoraan alueelle tulevaa sademäärää.
5. Kaivoksen elinkaaren aikana tarvekilouhoksesta poistetaan vettä yhteensä noin 3,8 miljoonaa m³.

5.2.2 Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden alenema

Kuvassa 5-3 on esitetty 11 hypoteettisen pohjaveden havaintopisteen pohjaveden pinnankorkeuden kuvaajat kaivostoimintojen alueella 65 % tiivistysskenaariossa. Myös hypoteettisten pohjaveden havaintopisteiden sijainnit on merkitty kuvaan 5-3. Oletuksena on, että hypoteettisissa pohjaveden havaintopisteissä pinnankorkeudet kuvaavat matalan vyöhykkeen pohjavettä (0–10 m maanpinnan alapuolella). Jokaisesta hypoteettisesta pohjaveden havaintopisteestä on esitetty ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana. Alenema saatiin vähentämällä mallin laskema pinnankorkeus 65 % tiivistysskenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana, mallin laskemasta pinnankorkeudesta skenaariosta, jossa ei ole kaivostoimintaa. Ennustetusta alenemasta kaivostoimintojen alueella 65 % tiivistysskenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana, voidaan tehdä seuraavat havainnot (kuva 5-3):

1. Ennustettu alenema vaihtelee vuodenaikojen mukaan johtuen lumen sulannasta. Alenemien ennustetaan olevan vuosittain suurimmillaan keväällä ennen lumen sulamista. Aleneman vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,7 m.
2. Aleneman vuodenaikaisvaihtelu on suurempaa pohjaveden havaintopisteessä 1 johtuen ohuemmasta kerrostumasta ja siitä, että pohjavettä muodostuu alhaisemman vedenjohtavuuden omaavaan kallioperään.
3. Pohjaveden pinnankorkeus alkaa laskea pohjaveden havaintopisteissä 1–5, kun kaivostoiminnan alkuvaiheessa rakennetaan tarvekilouhosta ja vinotunneleita (vuosina 0–2).
4. Alenemat ovat pohjaveden havaintopisteissä 3, 4 ja 5 hieman suurempia kuin muissa sijainneissa, koska vinotunnelien läheisyydessä on vettä johtava pohjaruhje. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 0,35 m talvella ja noin 0,25 m kesällä.
5. Pääesiintymän alueella alenema kasvaa pohjaveden havaintopisteissä hiljalleen, kun maanalainen louhinta etenee. Kaivostoimintojen alueella alenema on suurimmillaan 0,2 m vuonna 10.
6. Alenema kasvaa 10. vuonna pohjaveden havaintopisteissä 7, 8 ja 11, kun pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän lähellä maanpintaa olevia louhoksia louhitaan. NE satelliittiesiintymän alueella alenema on suurimmillaan 2,2 m vuonna 24.
7. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,35 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 0,5–2 m rajoissa ensisijaisella kaivostoiminnan alueella.

Kuvassa 5-4 on esitetty kuukausittainen alenema viiden vuoden välein kaivoksen elinkaaren aikana (vuosina 5, 10, 15 ja 24 kaivostoiminnan aloittamisesta) kahdessa pohjaveden havaintopisteessä (hypoteettiset pisteet 4 ja 8) 65 % tiivistysskenaariossa. Pohjaveden havaintopisteissä simuloiduista alenemista vuodenajoin voidaan tehdä seuraavat havainnot:

1. Alenema pienenee keväällä lumen sulantajakson jälkeen toukokuusta heinäkuuhun.
2. Kesäkuukausien jälkeen alenema kasvaa loppuvuoden ajan ja aina seuraavan vuoden sulantaan asti.

Kuvassa 5-5 on esitetty kaivostoimintaan liittyvän ennustetun aleneman sama-arvokäyrät hydrologisella tutkimusalueella 65 % tiivistysskenaariossa, jossa NE satelliittisiintymä on mukana, kaivostoiminnan lopussa vuonna 24. Ennustettu alenema on suurempaa NE satelliittisiintymän alueella, tarvekilouhoksen alueella ja vinotunnelien alueella. Suurin alenema kaivostoiminnan lopussa sijoittuu vinotunnelin ja tarvekilouhoksen alueelle. Suurin alenema on sama kuin tarvekilouhoksen syvyys 75 metriä. Suurin alenema pääesiintymän yläpuolella on noin 0,5 m ja NE satelliittisiintymän yläpuolella noin 2,2 m.

Ennustetuista pohjaveden alenemakäyristä tulee huomioida seuraavaa:

1. Alenemaennusteissa on oletettu, että turve on hydraulisessa yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen ja toimii huokoisena väliaineena. Olemassa olevan tiedon perusteella on perusteltua olettaa, että turpeessa on alhaisen vedenjohtavuuden vyöhykkeitä ja sen vuoksi turvekerros on vain osittain yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen. Tämän seurauksena todellinen maastossa turpeessa havaittu alenema tulisi olemaan pienempi kuin pohjaveden virtausmallin ennustama alenema. Tämä perustuu ITAScan kokemuksiin muista kaivoksista, joiden maaperän hydrogeologinen stratigrafia on samankaltainen.
2. On todennäköistä, että kun alenemaa alkaa muodostua matalan vyöhykkeen pohjavedessä, pohjaveden muodostuminen alkaa lisääntyä. Pohjaveden muodostumisen lisääntymistä ei ole simuloitu pohjaveden virtausmallissa. Pohjaveden muodostumisen lisääntyminen johtaa pohjaveden virtausmallilla ennustettua pienempään alenemaan matalan pohjaveden vyöhykkeessä.

Kuvassa 5-6 on esitetty mitattujen ja mallinnettujen pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvertailu kalibrintajakson aikana (2012–2023). Tiedot on esitetty kuudesta pohjaveden havaintopisteestä suolla. Kuvassa 5-6 on esitetty myös korkeimman ja alimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskimääräiseen mitattuun pinnankorkeuteen. Seuraavaa lähestymistapaa käytettiin määriteltäessä pohjaveden pinnankorkeuden eroja suhteessa keskimääräiseen mitattuun pinnankorkeuteen:

1. Pohjaveden pinnankorkeuden korkeimman ja alimman mitatun pinnankorkeuden ero määritellään erona korkeimman / alimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ja keskimääräisen mitatun pohjaveden pinnankorkeuden välillä kuvaan merkittynä ajanjaksona.
2. Alimman ja korkeimman mitatun pinnankorkeuden ero on pohjaveden pinnankorkeuksien mitattu luonnontilainen vaihteluväli. Pohjaveden pinnankorkeuksien luontaiseen vaihteluun vaikuttaa sadannan määrä.
3. Mallinnettu kalibroidun pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelu on mallinnettujen pohjaveden pinnankorkeuksien vaihtelu vähennettynä mallinnetulla keskimääräisellä pinnankorkeudella kuvaan merkittynä ajanjaksona.

Kuvan 5-6 perusteella mitattujen ja mallin laskemien pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelusta voidaan tehdä seuraavat havainnot:

1. Pohjaveden mitatut pinnankorkeudet vaihtelevat vuodenajoittain seuraavasti:
 - a. Turpeessa vedenpinnankorkeuden (havaintoputket GA101, GA102 ja GA104) ero verrattuna keskimääräiseen mitattuun pinnankorkeuteen vaihtelee -0,37 metristä +0,31 metriin. Kesällä turpeen vedenpinnankorkeuden ero suhteessa keskimääräiseen mitattuun vedenpinnankorkeuteen on +/- 0,1 m.
 - b. Kivennäismaalajeissa pohjaveden pinnankorkeuden (pohjaveden havaintoputket GA201, GA202 ja GA300) ero suhteessa keskimääräiseen mitattuun pinnankorkeuteen vaihtelee -0,67 metristä +0,5 metriin.
2. Pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaismuutokset vaihtelevat vuosittain sadannan mukaan.
3. Muissa kuin turpeen havaintopisteissä (GA201, GA202 ja GA300), pohjaveden pinnankorkeudet nousevat kevään sulannan aikana ja laskevat sitten hitaasti talven ajan. Joinakin vuosina pohjaveden pinnankorkeudet nousevat kesän/syksyn sateiden aikana.
4. Mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelut vastaavat hyvin kivennäismaalajien pohjaveden havaintopisteissä (GA201, GA202 ja GA300) mitattuja vaihteluita.
5. Kuten luvussa 4.0 todettiin, pohjaveden virtausmalli on hyvin kalibroitu vedenpinnankorkeuteen turpeen havaintopisteissä (liite B). Mallin laskemat veden pinnankorkeuden vaihtelut turpeen havaintopisteissä kalibrointijakson aikana ovat +/-0,1 m, mikä vastaa kohtalaisen hyvin mitattua vaihtelua.
6. Yleisesti ottaen mallinnetut pohjaveden pinnankorkeudet vastaavat hyvin mitattujen pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelua. Joinakin ajanjaksoina on havaittavissa suurempaa vaihtelua mitatuissa pohjaveden pinnankorkeuksien vaihtelussa kuin mallinnetuissa. Tämä johtuu siitä, että mallisimuloinneissa on käytetty sadannan kuukausikeskiarvoja, kun taas mitatut pinnankorkeudet heijastavat päivittäisiä sademääriä.

Kuvassa 5-7 on esitetty mallin laskema pohjaveden pinnankorkeuden alenemaennuste ajanjaksolle kaivostoiminnan vuodesta 1 vuoteen 24 saakka 65 % tiivistysskenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä. Alenemaennustetta on verrattu mallin laskemaan keskimääräiseen pohjaveden pinnankorkeuteen skenaariossa, jossa kaivostoimintaa ei ole ollenkaan. Kuvassa on myös esitetty pohjaveden luonnontilainen vaihteluväli vuosina 2012–2023 sekä ennustettu pohjaveden vuodenaikaisvaihtelu kussakin pohjaveden havaintopisteessä skenaariossa ilman kaivostoimintaa. Ennustettu alenema on saatu vähentämällä ennustettu pohjaveden pinnankorkeus 65 % tiivistysskenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä, ennustetusta pohjaveden pinnankorkeudesta ilman kaivostoimintaa.

Kaivostoiminnan aiheuttamista pohjaveden pinnankorkeuksien tulevista muutoksista voidaan tehdä seuraavat havainnot:

1. Havaintopisteissä GA101, GA102 ja GA201 pohjaveden pinnankorkeuksien ennustettu vuodenaikaisvaihtelu ja ennustettu alenema ovat pohjaveden pinnankorkeuksien aiemmin mitatun luonnontilaisen vuodenaikaisvaihtelun rajoissa.

2. Havaintopisteessä GA104 ennustettu alenema on 0,05 m suurempi kuin pohjaveden pinnankorkeuksien aiemmin mitattu vuodenaikaisvaihtelu. Pohjaveden pinnankorkeuden ennustettu muutos on enintään 0,05 metriä alimman talvikaudella mitatun pohjaveden pinnankorkeuden alapuolella.
3. Havaintopisteessä GA300 ennustettu alenema on 0,75 m suurempi kuin pohjaveden pinnankorkeuksien aiemmin mitattu vuodenaikaisvaihtelu. Pohjaveden pinnankorkeuden ennustettu muutos on enintään 0,85 metriä alimman talvikaudella mitatun pohjaveden pinnankorkeuden alapuolella.
4. Havaintopisteessä GA202 ennustettu alenema on 0,37 m suurempi kuin pohjaveden pinnankorkeuksien aiemmin mitattu vuodenaikaisvaihtelu. Pohjaveden pinnankorkeuden ennustettu muutos on enintään 0,46 metriä alimman talvikaudella mitatun pohjaveden pinnankorkeuden alapuolella.

5.2.3 Ennustettu purkautuminen Kitiseen

Kuvassa 5-8 on esitetty ennustetun pohjaveden purkautuminen (baseflow) Kitiseen kaivoksen elinkaaren aikana 65 % tiivistysskenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana, sekä skenaariossa, jossa kaivostoimintaa ei ole lainkaan. Ennusteen mukaan pohjaveden purkautuminen Kitiseen voi vähentyä kaivostoiminnan vuoksi enintään 40 m³/h. Tämä vastaa noin 9–13 % mallin laskemasta pohjaveden kokonaispurkautumisesta Kitiseen (mallin laskema pohjaveden kokonaispurkautuminen on 300–420 m³/h). Kokonaispurkauman vähentyminen on noin 0,01 % Kitisen kokonaisvirtaamasta (SYKE 2024). Pohjaveden purkautumisen ennustetussa vähentymisessä ei ole huomioitu suunniteltua kaivoksen puhdistettujen vuotovesien laskemista Kitiseen. Jos kaivoksen vuotovesiä ja muita prosessivesiä lasketaan puhdistettuna Kitiseen, puhdistetun veden määrä on todennäköisesti suurempi kuin ennustettu pohjaveden purkautumisen vähentyminen.

5.3 Ennusteet huomioiden lisälievennystoimet

Luvussa 5.2 esitettyjä alenemaennusteita käytettiin analyyseissa ympäristövaikutusten arviointia ja Natura 2000 -arviointia varten. Arviointien mukaan ennustetuilla alenema-alueilla suolla on mahdollista muodostua ympäristövaikutuksia. Tämän vuoksi AASM Oy on lisännyt välttämistoimen, jotta mahdollista alenemaa suoalueella voidaan vähentää entisestään. Tämä raportin osuus sisältää yhteenvedon välttämistoimista sekä niiden mahdollisista vaikutuksista pohjaveden pinnankorkeuden alenemaan ja vuotovesimääriin. Osuudessa vertaillaan myös tämän osion tuloksia luvussa 5.2 esitettyihin tuloksiin.

Ennustettu suoalueen alenema liittyi ensisijaisesti NE satelliittiesiintymän mataliin maanalaisiin louhoksiin. Suoalueen aleneman minimoimiseksi AASM Oy suunnittelee poistavansa NE satelliittiesiintymän maanalaiset louhokset kaivossuunnitelmasta (NE satelliittiesiintymän alueet on merkitty kuvaan 3-31a). Tähän liittyen simuloitiin ylimääräinen skenaario, joka on 65 % tiivistysskenaario ilman NE satelliittiesiintymää. Kaikki simuloidut olosuhteet ovat samat kuin edellisessä skenaariossa (65 % tiivistysskenaario, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä) lukuun ottamatta sitä, että kaikki NE satelliittiesiintymään liittyvät rakenteet poistettiin virtausmallista.

5.3.1 Ennustetut vuotovesimäärät

Kuvassa 5-9 on esitetty ennustetut vuotovesimäärät 65 % tiivistysskenaariossa tilanteessa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana sekä tilanteessa ilman NE satelliittiesiintymää. Taulukossa 5-3 on esitetty yhteenvedo ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista määristä 65 % tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää. Seuraavat päätelmät voidaan tehdä tulevista vuotovesimääristä 65 % tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää:

Maanalainen kaivos

1. Ennustetut alenemat 65 % tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää ovat samaa suuruusluokkaa ja noudattavat samaa ajallista kuviota kuin 65 % tiivistysskenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana (esitetty luvussa 5.2). Ainoa poikkeus on, että vuotovesimäärä alkaa vähentyä toimintavuodesta 4 lähtien.
2. Vuotovesimäärä alkaa lisääntyä kaivostoiminnan ensimmäisenä vuotena, kun vinotunneleita rakennetaan. Vuoden 2 puoliväliin mennessä vuotovesimäärät ovat suurimmillaan eli 120 m³/h (2 880 m³/vrk) johtuen vettä johtavasta pohjaruhjeesta. Vuotovesimäärät ovat suurimmillaan vinotunnelien rakentamisen sekä maanalaisen kaivoksen lähellä maanpintaa olevien osioiden rakentamisen jälkeen.
3. Kun vuotovesimäärän huippu on saavutettu, vuotovesimäärä vähenee noin määrään 90 m³/h (2 160 m³/vrk) vuoteen 12 mennessä, kun louhinta etenee alemmille tasoille, joiden vedenjohtavuudet ovat alhaisemmat. Vuotovesimäärät eivät kasva louhittaessa alemmilla tasoilla, joilla kallion vedenjohtavuudet ovat alhaisempia.
4. Vuotovesimäärät pysyvät kohtalaisen tasaisina vuoden 12 jälkeen, vähäistä laskua on nähtävissä. Vuotovesimäärä on 88–92 m³/h (2 112–2 208 m³/vrk) vuosina 12–24.
5. Kaivoksen elinkaaren aikana maanalaisista louhoksista poistetaan vettä yhteensä noin 19,7 miljoonaa m³. Tämä on 2,3 miljoonaa m³ vähemmän kuin skenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä.

Tarvekilouhos

1. Vuotovesimäärä lisääntyy asteittain sitä mukaa, kun tarvekilouhosta syvennetään.
2. Tarvekilouhoksen vuotovesimäärä vaihtelee välillä 15–45 m³/h.
3. Tarvekilouhoksen vuotovesimäärä vaihtelee vuodenajoittain pohjaveden muodostumismäärän mukaisesti. Vaihtelu on noin 15 m³/h. Lumipeitteen paksuudesta ja syyssateista riippuen on odotettavissa, että vuodenaikaisvaihtelu voi olla suurempaakin.
4. Tarvekilouhoksen vuotovesimäärä ei sisällä mahdollista pintavaluntaa eikä vesi- tai lumisateesta suoraan alueelle tulevaa sademäärää.
5. Kaivoksen elinkaaren aikana tarvekilouhoksesta poistetaan vettä yhteensä noin 3,8 miljoonaa m³.
6. Tarvekilouhoksen vuotovesimäärässä ei ole eroavaisuuksia skenaarioiden (NE satelliittiesiintymä mukana tai ilman NE satelliittiesiintymää) välillä.

5.3.2 Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden alenema

Kuvassa 5-10 on esitetty pohjaveden pinnankorkeuden alenemat 11 hypoteettisessa pohjaveden havaintopisteessä sekä pohjaveden pinnankorkeuden kuvaajat näissä havaintopisteissä kaivostoimintojen alueella 65 % tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää. Myös hypoteettisten pohjaveden havaintopisteiden sijainnit on merkitty kuvaan 5-10. Oletuksena on, että hypoteettisissa pohjaveden havaintopisteissä pinnankorkeudet kuvaavat matalan vyöhykkeen pohjavettä (0–10 m maanpinnan alapuolella). Jokaisesta hypoteettisesta pohjaveden havaintopisteestä on esitetty ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana. Alenema saatiin vähentämällä mallin laskema pinnankorkeus 65 % tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää, mallin laskemasta pinnankorkeudesta skenaariosta, jossa ei ole kaivostoimintaa. Ennustetusta

alenemasta kaivostoimintojen alueella 65 % tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää voidaan tehdä seuraavat havainnot (kuva 5-10):

1. Ennustettu alenema vaihtelee vuodenaikojen mukaan johtuen lumen sulannasta. Alenemien ennustetaan olevan vuosittain suurimmillaan keväällä ennen lumen sulamista. Aleneman vuodenaikavaihtelu on 0,01–0,7 m.
2. Aleneman vuodenaikavaihtelu on suurempaa pohjaveden havaintopisteessä 1 johtuen ohuemmasta maaperästä ja siitä, että pohjavettä muodostuu alhaisemman vedenjohtavuuden omaavaan kallioperään.
3. Pohjaveden pinnankorkeus alkaa laskea pohjaveden havaintopisteissä 1–5, kun kaivostoiminnan alkuvaiheessa rakennetaan tarvekilouhosta ja vinotunneleita (vuosina 0–2).
4. Alenemat ovat pohjaveden havaintopisteissä 3, 4 ja 5 hieman suurempia kuin muissa sijainneissa, koska vinotunnelien läheisyydessä on vettä johtava pohjaruhje. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 0,35 m talvella ja noin 0,25 m kesällä.
5. Pääesiintymän alueella alenema kasvaa pohjaveden havaintopisteissä hiljalleen, kun maanalainen louhinta etenee. Kaivostoimintojen alueella alenema on suurimmillaan 0,2 m vuonna 12.
6. Pohjaveden havaintopisteissä 8, 9 ja 10 on vähäistä alenemaa vuonna 10, kun pääesiintymän lähellä maanpintaa olevia louhoksia louhitaan. Verrattuna alenemaan skenaariossa, jossa kaivossuunnitelmassa on mukana NE satelliittiesiintymä, NE satelliittiesiintymän maanalaisten louhosten poistaminen kaivossuunnitelmasta vähentää alenemaa näissä pohjaveden havaintopisteissä.
7. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,35 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikavaihtelun 0,5–2 m rajoissa ensisijaisella kaivostoiminnan alueella.

Kuvassa 5-11 on esitetty kaivostoimintaan liittyvän ennustetun aleneman sama-arvokäyrät hydrologisella tutkimusalueella 65 % tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää, kaivostoiminnan lopussa vuonna 24. Ennustettu alenema on suurempaa tarvekilouhoksen alueella ja lähellä maanpintaa sijaitsevien vinotunnelien alueella. Suurin alenema kaivostoiminnan lopussa sijoittuu vinotunnelin ja tarvekilouhoksen alueelle. Suurin alenema on sama kuin tarvekilouhoksen syvyys 75 metriä. Suurin alenema pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän yläpuolella on noin 0,3 m. Tässä skenaariossa pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän yläpuolella on vähemmän alenemaa kuin skenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana (kuvattu luvussa 5.2), koska NE satelliittiesiintymä on poistettu kaivossuunnitelmasta. Tilanteessa, jossa NE satelliittiesiintymä on poistettu kaivossuunnitelmasta, suurin alenema NE satelliittiesiintymän yläpuolella pienenee 0,2 metriin. Tämä on jopa 1,7 metriä vähemmän verrattuna tilanteeseen, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana kaivossuunnitelmassa.

Ennustetuista pohjaveden alenemakäyristä tulee huomioida seuraavaa:

1. Ennustetuissa alenemissa on oletettu, että turve on hydraulisessa yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen ja toimii huokoisena väliaineena. Olemassa olevan tiedon perusteella on perusteltua olettaa, että turpeessa on alhaisen vedenjohtavuuden vyöhykkeitä ja sen vuoksi turvekerros on vain osittain yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen. Tämän seurauksena todellinen maastossa turpeessa havaittu alenema tulisi olemaan pienempi kuin pohjaveden virtausmallin ennustama alenema. Tämä perustuu ITASCAN kokemuksiin muista kaivoksista, joiden maaperän hydrogeologinen stratigrafia on samankaltainen.

2. Kuten luvussa 5.2 kuvatussa skenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana, on tässäkin skenaariossa todennäköistä, että kun alenemaa alkaa muodostua matalan vyöhykkeen pohjavedessä, pohjaveden muodostuminen alkaa lisääntyä. Pohjaveden muodostumisen lisääntymistä ei ole simuloitu pohjaveden virtausmallissa. Pohjaveden muodostumisen lisääntyminen johtaa pohjaveden virtausmallilla ennustettua pienempään alenemaan matalan pohjaveden vyöhykkeessä.

Kuvassa 5-12 on esitetty mallin laskema pohjaveden pinnankorkeuden alenemaennuste kaivostoiminnan vuosille 1–24 65 % tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää. Alenemaennustetta on verrattu siihen keskimääräiseen pohjaveden pinnankorkeuteen skenaariossa, jossa kaivostoimintaa ei ole ollenkaan. Kuvassa on esitetty myös korkeimman ja alimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero vuosilta 2012–2023 (luonnontilainen vaihteluväli) sekä ennustettu pohjaveden vuodenaikaisvaihtelu kussakin pohjaveden havaintopisteessä skenaariossa ilman kaivostoimintaa. Ennustettu alenema saadaan vähentämällä kaivostoimintaskenaariossa ennustettu pohjaveden pinnankorkeus ennustetusta pohjaveden pinnankorkeudesta ilman kaivostoimintaa. Ennustetusta pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelusta suolueen pohjaveden havaintopisteissä ilman NE satelliittiesiintymää voidaan todeta seuraavaa:

1. Pohjaveden havaintopisteessä GA104 ennustettu alenema on 0,05 m suurempi kuin aiemmin mitattu vuodenaikaisvaihtelu. Pohjaveden pinnankorkeuden ennustettu vaihtelu on enintään 0,05 metriä alimman talvikaudella mitatun pohjaveden pinnankorkeuden alapuolella.
2. Kaikissa muissa pohjaveden havaintopisteissä pohjaveden pinnankorkeuksien ennustettu vaihtelu ja ennustettu alenema ovat aiemmin mitatun pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelun rajoissa.
3. Ennusteissa pohjaveden pinnankorkeuksien vaihtelusta ilman NE satelliittiesiintymää alenema ja pohjaveden pinnankorkeuksien vaihtelu on vähäisempää kuin luvussa 5.2 kuvatussa skenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana.

5.3.3 Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen

Kuvassa 5-13 on esitetty ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen kaivoksen elinkaaren aikana 65 % tiivistysskenaarioissa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana, skenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää sekä skenaariossa ilman kaivostoimintaa. Ennusteen mukaan pohjaveden purkautuminen Kitiseen voi kaivostoiminnan vuoksi vähentyä enintään 40 m³/h. Tämä purkautumisen vähentyminen vastaa noin 9–13 % mallilla simuloidusta pohjaveden kokonaispurkautumisesta Kitiseen. Purkautumisen vähentyminen ei vaikuta olennaisesti joen kokonaisvirtaamaan (muutos on noin 0,01 %; SYKE 2024). Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen ei juuri muutu malliskenaarioissa oli NE satelliittiesiintymä mukana suunnitelmassa tai ei.

5.4 Ennusteet pohjaveden palautumisesta kaivostoiminnan jälkeen

Oletuksena on, että kaivostoiminnan päättymisen jälkeen matalan vyöhykkeen ja syvän kallioperän pohjavedet alkavat palautua. Pohjaveden virtausmallin avulla arvioitiin, kuinka kauan matalan vyöhykkeen ja kallioperän pohjavesien palautuminen kestää ilman NE satelliittiesiintymää ja sen kanssa. Pohjaveden palautumissimulaatioissa käytettiin seuraavia oletuksia:

1. Pohjaveden palautumissimulaatioissa käytettiin samoja reunaehtoja ja niiden ominaisuuksia kuin kaivostoiminnan aikaisissa simulaatioissa, jotka on kuvattu luvussa 5.2.
2. Pohjaveden muodostuminen tulevaisuudessa perustuu ennustettuun keskimääräiseen muodostumiseen (kuva 5-1) ja oletettuihin muodostumismääriin sekä kaivoksen maanpäällisten toimintojen ominaisuuksiin (luku 5.1).

3. Tarvekilouhos on simuloitu louhosjärvenä, jossa järven pinnasta haihtuu vettä 269 mm/v ja sadanta järveen on 518 mm/v. On oletettu, ettei tarvekilouhokseen tule vettä muualta (ei pintavesivaluntaa tai pumppausta) kaivoksen sulkemisen jälkeen.

Edellä mainittujen oletusten pohjalta pohjaveden virtausmallin simulointi ulotettiin 400 vuoden päähän kaivostoiminnan päättymisestä. Pohjaveden palautumisen arvioidaan kestävän yli 400 vuotta, koska ehjän kallion vedenjohtavuus on alhainen.

5.4.1 Pohjaveden ennustettu palautuminen, kun NE satelliittiesiintymä on mukana kaivossuunnitelmassa

Pohjaveden palautumista 65 % tiivistysskenaarioissa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana, kuvataan esittämällä alenemat keskeisimmissä havaintopisteissä. Pohjaveden palautumisen arvioinnissa käytettiin seuraavia hypoteettisia havaintopisteitä, jotka on esitetty kuvassa 5-14:

1. Ennustetun aleneman alueelle lisättiin yksitoista hypoteettista matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopistettä. Nämä pohjaveden havaintopisteet kuvaavat pohjaveden pinnankorkeuksia ylimmäisessä vedellä kyllästyneessä mallikerroksessa.
2. Yksi pohjaveden havaintopiste kuvaa pohjavettä aina maanpinnalta syvälle kaivosvyöhykkeelle saakka. Tässä havaintopisteessä oletetaan olevan mittauspisteitä kahdeksassa eri syvyydessä.

Pohjaveden katsotaan palautuneen, kun alenema kussakin pohjaveden havaintopisteessä lähestyy 0 metriä. Kuvassa 5-14 on esitetty pohjaveden aleneman kuvaajat 65 % tiivistysskenaarion, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana, pohjaveden palautumiselle hypoteettisille pohjaveden havaintopisteille pohjaveden palautumisen aikana. Pohjaveden palautumiseen liittyvä ennustettu alenema arvioitiin vertaamalla mallin ennustamaa alenemaa 65 % tiivistysskenaarioon, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana, pohjaveden palautumisen skenaariossa skenaarioon ilman kaivostoimintaa. Pohjaveden palautumisesta kaivostoimintojen alueella voidaan tehdä seuraavat havainnot 65 % tiivistystehokkuuden skenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana:

1. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päättyttyä. Pohjavesien palautuminen alkaa, kun kaivoksen kuivattaminen vuotovesien pumppaamisella päättyy.
2. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteissä ennustetut palautuneet pohjavesitasot vaihtelevat vuodenajoittain lumen sulannasta johtuen. Vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,15 m.
3. Kahdeksan vuoden kuluessa matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna skenaarioon, jossa kaivostoimintaa ei ole ollut lainkaan.
4. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteiden perusteella pohjavesitasot ovat palautuneet siten, että alenema on alle 0,01 m (yli 99 % palautuminen) verrattuna skenaarioon ilman kaivostoimintaa, kaikissa pohjaveden havaintopisteissä 75 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä.
5. Ehjän kallioperän mittauspisteissä alenema kasvaa ehjän kallioperän yläosassa vielä kaivostoimintaa seuraavien 20 vuoden aikana, kun syvemmän kallioperän pohjavedet alkavat palautua.
6. Ehjän kallion matalien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa pohjaveden havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän havaintopisteissä alle 3 m, kun pinnankorkeutta verrataan skenaarioon, jossa kaivostoimintaa ei ole ollut lainkaan.

Kuvassa 5-15 on esitetty ennustettu vesitase ja vedenpinnan korkeus tarvekilouhoksen täyttyessä vedellä. Pohjaveden palautumisesta tarvekilouhoksessa voidaan tehdä seuraavat havainnot:

1. Ennustetun tarvekilouhoksen louhosjärven pinnankorkeus nousee kaivostoiminnan päättymisen jälkeen. Steady state -tilanteessa tarvekilouhoksen vedenpinnan korkeus on noin 188 m mpy (syvyys noin 70 m) 35 vuotta kaivostoiminnan päättymisen jälkeen.
2. Vuotovesimäärä vaihtelee 10–45 m³/h. Kun louhosjärvi täyttyy, vähenee vuotovesimäärä ajan mittaan välille 2–10 m³/h.
3. Kun louhosjärven pinta nousee yli tason 180 m mpy (arviolta noin toimintavuotena 22), alkaa louhosjärvestä tapahtua pohjaveden ulosvirtausta alavirran (pohjoisen) puolella tarvekilouhosta (tästä on kerrottu lisää tuonnempana raportissa). Pohjaveden ulosvirtaus vaihtelee välillä 4–10 m³/h ja ylävirran puolelta louhosjärveen sisään virtaava vesimäärä on samansuuruinen.
4. Louhosjärven täyttymisessä ei simuloitu valuntaa, joten louhosjärven pintaan tulevan sadannan määrä kasvaa ajan kuluessa, kun louhosjärven pinta-ala kasvaa. Kun louhosjärven pinnankorkeus on saavuttanut tasapainotilan, louhosjärven pintaan tuleva sademäärä on noin 5 m³/h.
5. Pohjaveden sisään- ja ulosvirtaus vaihtelee vuodenaikojen mukaan lumen sulannan vuoksi. Sisäänvirtauksen vuodenaikaisvaihtelu on noin 10 m³/h ja ulosvirtauksen noin 5 m³/h.

Kuvassa 5-16 on esitetty ennustetut tasapainotilanteen palautuneet pohjaveden pinnankorkeudet HTA:lla. Kun tasapainotila on saavutettu, pohjaveden pinnankorkeuksista voidaan havaita seuraavaa:

1. Pohjaveden pinnankorkeus on korkeammalla tarvekilouhoksen eteläpuolella kuin pohjoispuolella. Tämän vuoksi pohjaveden sisäänvirtausta tarvekilouhokseen tapahtuu eteläpuolelta ja ulosvirtausta pohjoispuolelta.
2. Pohjaveden päävirtaussuunta on tarvekilouhokselta pohjoiseen kohti Kitistä. On odotettavissa, että ajan kuluessa pohjaveden ulosvirtaus tarvekilouhoksesta kuluu Kitistä kohti.

5.4.2 Pohjaveden ennustettu palautuminen ilman NE satelliittiesiintymää

Pohjaveden palautumista 65 % tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää kuvataan esittämällä alenemat keskeisimmissä havaintopisteissä. Pohjaveden palautumisen arviointiin käytettiin samoja havaintopisteistä kuin arvioitaessa palautumista 65 % tiivistysskenaarioissa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana. Kuvassa 5-17 on esitetty pohjaveden aleneman kuvaajat 65 % tiivistysskenaariota ilman NE satelliittiesiintymää hypoteettisille pohjaveden havaintopisteille (11 hypoteettista havaintoputkea ja yksi pietsometri) pohjaveden palautumisen aikana.

Pohjaveden palautumiseen liittyvä ennustettu alenema arvioitiin vertaamalla mallin ennustamaa alenemaa 65 % tiivistysskenaarioon ilman NE satelliittiesiintymää pohjaveden palautumisen skenaariossa skenaarioon ilman kaivostoimintaa. Pohjaveden palautumisesta kaivostoimintojen alueella voidaan tehdä seuraavat havainnot:

1. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päätyttyä. Pohjavesien palautuminen alkaa, kun kaivoksen kuivattaminen vuotovesien pumpppaamisella päättyy.

2. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteissä ennustetut palautuneet pohjavesitasot vaihtelevat vuodenajoittain lumen sulannasta johtuen. Vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,15 m.
3. Kahdeksan vuoden kuluttua matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna skenaarioon, jossa kaivostoimintaa ei ole ollut lainkaan.
4. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteiden perusteella pohjavesitasot ovat palautuneet siten, että alenema on alle 0,01 m (yli 99 % palautuminen) verrattuna skenaarioon ilman kaivostoimintaa, kaikissa pohjaveden havaintopisteissä 75 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä.
5. Ehjän kallioperän mittauspisteissä alenema kasvaa ehjän kallioperän yläosassa vielä kaivostoimintaa seuraavien 20 vuoden aikana.
6. Ehjän kallion matalien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa pohjaveden havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän havaintopisteissä alle 3 m, kun pinnankorkeutta verrataan skenaarioon, jossa kaivostoimintaa ei ole ollut lainkaan.

Havainnot pohjaveden palautumisesta ovat samat skenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää ja NE satelliittiesiintymän kanssa. Tämä johtuu siitä, että matalan vyöhykkeen ja syvän kallioperän pohjavesien alenema tapahtuu pääesiintymän ja vinotunnelien yhteydessä, ja nämä pysyvät samoina kummassakin skenaariossa. Pohjaveden palautumisaikoihin ei täten vaikuta, onko NE satelliittiesiintymä mukana kaivossuunnitelmassa vai ei. Lisäksi pohjaveden palautuminen tarvekilouhoksessa pysyy samana. Tämän vuoksi pohjaveden ajallista palautumista skenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä ei ole mukana, ei esitetä tässä raportissa.

6.0 POHJAVEDEN MUODOSTUMISEN VAIKUTUS ALENEMAAN SUOLLA

Kuten useissa luvuissa tässä raportissa on todettu, suolle ennustettu alenema voi olla todellista suurempi, koska suon numeerista kuvausta on yksinkertaistettu numeeriseen pohjaveden virtausmalliin. Aikaisemmin tässä raportissa esitetyt pääkohdat ovat seuraavat:

1. Suon alueen alenemaennusteissa on oletettu, että turve on hydraulisessa yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen ja toimii huokoisena väliaineena. Olemassa olevan tiedon perusteella on perusteltua olettaa, että turvekerros on vain osittain yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen. Tämän seurauksena todellinen maastossa turpeessa havaittu alenema tulisi olemaan pienempi kuin pohjaveden virtausmallin ennustama alenema. Tämä perustuu ITASCan kokemuksiin muista kaivoksista, joiden maaperän hydrogeologinen stratigrafia on samankaltainen.
2. On todennäköistä, että kun alenemaa alkaa muodostua matalan vyöhykkeen pohjavedessä, pohjaveden muodostuminen alkaa lisääntyä. Pohjaveden muodostumisen lisääntymistä ei ole simuloitu pohjaveden virtausmallissa. Pohjaveden muodostumisen lisääntyminen johtaa pohjaveden virtausmallilla ennustettua pienempään alenemaan matalan pohjaveden vyöhykkeessä.

Edellä mainittuja kahta seikkaa tukevat myös vedellä kyllästyneiden alueiden, joilla tapahtuu veden lammikoitumista, pintavaluntaa ja jossain määrin pohjaveden purkautumista, ja vettä ei imeydy maaperään, sekä pohjaveden muodostumisalueiden, joilla vesi suotautuu alaspäin, jakautuminen kaivostoimintaa edeltävässä tilanteessa ja kaivostoiminnan päättyessä. Kun verrataan kuvassa 4-12 esitettyä näiden alueiden jakautumista kuvissa 6-1 ja 6-2 esitettyyn, huomataan, että kaivostoiminta ei vaikuta vedellä kyllästyneiden alueiden ja pohjaveden muodostumisalueiden jakautumiseen kaivoksen tai suon alueella. Suon alueella, johon ennustettiin aiheutuvan alenemaa, esiintyy edelleen veden lammikoitumista ja pintavaluntaa, jonka seurauksena suon vesivarasto täydentyy. Kuvista 4-12, 6-1 ja 6-2 voidaan todeta, että suon vedellä kyllästyneen tilan ylläpitoon riittää vettä.

7.0 MALLIN EPÄVARMUUSTEKIJÄT

7.1 Yhteenveto mallin epävarmuustekijöistä

Työn yhteydessä ITASCA arvioi tärkeimpiä tietoaineistoja, joita on käytetty käsitteellisessä hydrogeologisessa mallissa ja pohjaveden virtausmallissa. Toimialan käytäntöjen mukaisesti AASM Oy on tehnyt kattavat selvitykset tässä hankevaiheessa verrattuna vaatimuksiin, jotka on esitelty kuvassa 7-1. Pohjavesimalleihin liittyy aina epävarmuuksia. Mallin luotettavuus kuitenkin paranee hankkeen edetessä mallien päivittyessä. Epävarmuuden vähentämiseksi on tarve saada uusia seurantatietoja sekä päivittää käsitteellistä mallia sekä pohjaveden numeerista virtausmallia ajoittain.

Pohjaveden virtausmallinnuksen vaiheet on esitetty kuvassa 7-2. Malli on validoitava ja päivitettävä ajoittain seurantatietojen pohjalta. Tällainen menettely parantaa pohjaveden virtausmallin luotettavuutta jatkuvasti, kun lähtöaineistoon liittyvät epävarmuudet vähentyvät.

Taulukossa 7-1 on esitetty yhteenveto keskeisistä mallinnuksessa käytetyistä tiedoista ja niihin liittyvistä epävarmuuksista. Seuraavassa on esitetty yhteenveto keskeisistä pohjaveden virtausmallin ennusteisiin liittyvistä epävarmuuksista:

1. Kaivostoimintojen alueelle ominaiset hydrauliset parametrit olivat saatavilla maanalaisen kaivoksen pääalueelta. Näiden tietojen pohjalta käsitteellisessä ja numeerisissa malleissa tehtiin seuraavat oletukset:
 - a. Vedenjohtavuuksien perusteella kallioperän oletettiin olevan vettä läpäisevämpää vinotunnelin ja Kitisen alueella kuin kaivosalueella. Tältä alueelta on kuitenkin saatavilla vähemmän vedenjohtavuustietoja kuin kaivosalueelta.
 - b. Vesihävikikokeiden tulosten perusteella kaivosalueen geologisen rakenteiden vedenjohtavuudet ovat samankaltaisia kuin ruhjeiden ympärillä olevan kallioperän vedenjohtavuudet. Mallissa on siten oletettu, että maanalaisen kaivoksen alueen ruhjeiden/rakojen vedenjohtavuudet vastaavat kallioperän vedenjohtavuuksia.
 - c. Turve on simuloitu yhtenä hydrogeologisena yksikkönä, jonka vedenjohtavuus ei vaihtelee. Turpeelle mallissa annetut vedenjohtavuudet sijoittuvat turpeen mitattujen vedenjohtavuuksien yläosan puoleen väliin. Pohjaveden virtausmallin simulointi korkeammilla vedenjohtavuuksilla huomioimatta turpeessa esiintyviä alhaisempia vedenjohtavuuksia ja turpeessa usein paikoin esiintyvää tiivistä pohjakerrosta, on konservatiivinen lähestymistapa ennustaa turvealueen mahdollista alenemaa. Tutkimuksissa on havaittu, että vedenjohtavuudet vaihtelevat turpeen sisällä pienenytyn syvemmälle mentäessä. Turpeen alaosassa vedenjohtavuudet ovat alhaisempia ja usein paikoin turpeessa on tiivis pohjakerros. Nämä tekijät voivat rajoittaa hydraulista yhteyttä turpeen alla oleviin jäätikkö- ja jokikerrostumiin sekä vähentää mallin ennustamaa alenemaa turpeessa.
 - d. Mitattujen vedenjohtavuuksien perusteella kaikkien kallioperäyksiköiden vedenjohtavuuksien oletettiin asettuvan trendiviivalle sekä laskevan mallissa syvemmälle mentäessä. Tämä oletus on perusteltu saatavilla olevien mittausaineistojen perusteella ja oletus vahvistuu edelleen, kun kaivoksen toiminnan yhteydessä saadaan lisää havaintoaineistoa.
2. Pohjaveden virtausmalli on kalibroitu hyvin saatavilla oleviin transient-tilanteen pohjaveden pinnankorkeustietoihin tilastollisten tunnuslukujen perusteella (Spitz ja Moreno 1996; Anderson

ja Woessner 1992; Barnett et al. 2012). Pohjaveden virtausmalli on kalibroitu ensisijaisesti pohjaveden pinnankorkeuksiin jäätikkö- ja jokikerrostumissa, rikkonaisessa kallioperässä ja matalassa ehjässä kallioperässä. Syvällä (yli 200 metriä maanpinnan alapuolella) olevan kallioperän pohjaveden pinnankorkeuksista on saatavilla rajoitetummin tietoa.

3. Matalan vyöhykkeen pohjaveden muodostuminen on vesitaseen kannalta olennainen tekijä ja vaikuttaa pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihteluun. Matalan vyöhykkeen pohjaveden muodostumista arvioitiin *MIKE SHE* -mallilla, joka perustuu mitattuihin meteorologisiin muuttujiin ja joka on kalibroitu mitattuihin pohjaveden pinnankorkeuksiin. Tässä raportissa esitelty pohjaveden virtausmalli sisältää *MIKE SHE* -mallilla arvioidut pohjaveden muodostumismäärät mallin kalibroinnin ajanjaksolle, ja ennustavissa mallisimulaatioissa käytettiin keskimääräisiä pohjaveden muodostumismääriä. Mallin laskemiin pohjaveden muodostumismääriin liittyy seuraavia epävarmuuksia:
 - a. Pohjaveden muodostumista arvioitiin *MIKE SHE* -mallin avulla kolmessa pohjaveden muodostumisen kannalta oleellisimmissä hydrogeologisessa yksikössä (moreeni, lajittuneet kerrostumat ja turve). Näitä kolmea yksikköä on tutkittu laajasti ja ymmärrys niistä on hyvä. Pohjaveden muodostumisen määrä vaihtelee todennäköisesti alueellisesti monimuotoisemmin kuin vain kolmen oletetun hydrogeologisen yksikön välillä; kuitenkin pohjaveden muodostuminen HTA:lla on mallin pohjaveden pintojen vuodenaikaisvaihtelun kalibroinnin perusteella kuvattu hyvin.
 - b. Pohjaveden muodostumisesta tulevaisuudessa hydrologisella tutkimusalueella ei ole saatavilla tietoja. Pohjaveden virtausmallin ennusteissa käytettiin keskimääräisiä pohjaveden muodostumismääriä ja arvioita pohjaveden muodostumisesta tulevaisuuden ilmastossa. Arvioituihin pohjaveden muodostumismääriin vaikuttavat käytetyt meteorologiset parametrit.
4. Alenemaennusteissa ei ole huomioitu tiheän kasvillisuuden, juurien imuvoiman ja maanpinnan runsaan humuskerroksen vaikutuksia. Näiden tekijöiden vaikutukset vähentävät pohjaveden pinnankorkeuden ennustettua alenemaa.
5. Turpeen osalta on oletettu, että turve on hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen ja että turve toimii huokoisena väliaineena. Saatavilla olevien tietojen perusteella on perusteltua olettaa, että turpeessa on monin paikoin alhaisen vedenjohtavuuden vyöhykkeitä ja turve on vain osittain hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen. Tästä johtuen todellinen maastossa turpeessa havaittu alenema tulisi olemaan pienempi kuin pohjaveden virtausmallin ennustama alenema.
6. Alenemaennusteissa ei ole huomioitu pohjaveden lisääntyntä muodostumista, joka seuraa vedenpinnan korkeuden laskemisesta kaivostoiminnasta johtuen. Pohjaveden runsaampi muodostuminen vähentää pohjaveden pinnankorkeuden ennustettua alenemaa.

Kuten kuvat 7-1 ja 7-2 osoittavat, tietoaaineistojen kerääminen on pitkäaikainen prosessi. Tietoa tulee kerätä ennen kaivostoimintaa, sen aikana ja sen jälkeen. Käsitteellisten ja numeeristen pohjaveden virtausmallien validointi ja päivittäminen edellyttää jatkuvaa tiedonkeruuta. Oletuksena on, että kaivoksen elinkaaren aikana käsitteellisiä ja numeerisia malleja tullaan päivittämään jatkuvasti.

AASM Oy on tehnyt kattavat selvitykset maanalaisen kaivoksen alueen ja sitä ympäröivien alueiden geologisista ja hydrogeologisista olosuhteista. Tässä raportissa esitetty käsitteellinen hydrogeologinen malli sekä pohjaveden virtausmalli päivitettiin AASM Oy:n tekemien viimeisimpien tutkimusten pohjalta. Tässä pohjavesimallinnuksessa käytetty *MINEDW*-koodi sisältää useita ominaisuuksia, jotka on kehitetty erityisesti huomioimaan kaivosolosuhteet, ja *MINEDW*-koodia on käytetty laajasti erityyppisissä kaivoshankkeissa sekä monenlaisissa

hydrogeologisissa ja ilmastollisissa olosuhteissa. Tässä raportissa kuvattua pohjaveden virtausmallia on päivitetty merkittävästi edellisen virtausmallin jälkeen. Seuraavassa on esitetty yhteenveto pohjaveden virtausmallinnuksen tärkeimmistä vahvuuksista:

1. Pohjaveden virtausmallinnusalue (hydrogeologinen tutkimusalue HTA) on huomattavasti laajempi kuin kaivostoimintojen alue. Mallinnusalueen raja on merkittävän etäisyyden päässä mahdollisista kaivostoiminnasta aiheutuvista hydraulisista vaikutuksista, jotta voidaan välttää vaikutusten ulottuminen mallinnusalueen rajoille. Kaikki kaivoksen toiminnot sijoittuvat mallinnusalueelle. Lisäksi koko Viiankiaavan suon ympäristöltään herkkä alue sisältyy mallinnusalueeseen, ja mallinnusalueen rajauksella ei ole vaikutuksia mallinnustuloksiin.
2. Pohjaveden monikerroksisen virtausmallin huomattavan suuri kerrosmäärä ja aktiivisten elementtien määrä mahdollistavat tarkan geologian sekä kaivostoimintojen kuvauksen.
3. Pohjaveden virtausmalli simuloi keskeisten pintavesimuodostumien vaikutusta pohjaveteen sekä kaivostoiminnan vaikutuksia keskeisimpiin pintavesimuodostumiin.
4. Pohjaveden muodostumisen kuvaus on aikaisempaa tarkempi ja luotettavampi. Pohjaveden muodostuminen mallinnettiin *MIKE SHE* -mallilla, jotta voitiin ennustaa ajasta riippuvaisista pohjaveden muodostumismääriä eri hydrogeologisille yksiköille. Näitä ajasta riippuvaisia pohjaveden muodostumismääriä käytettiin suoraan pohjaveden virtausmallissa.
5. Pohjaveden virtausmallissa on käytetty suoraan kaivostoimintojen alueelle matalan ja syvän vyöhykkeen pohjaveden alueelle tehtyjä viimeisimpiä geologisia- ja rakennemalleja. Kalibroidut vedenjohtavuudet ovat mitattujen sekä kirjallisuudessa esitettyjen K-arvojen vaihteluvälien sisällä.
6. Pohjaveden virtausmalli kalibroitiin matalan ja syvän vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeusaineistoihin 13 vuoden ajalta. Pohjaveden virtausmalli on hyvin kalibroitu kaikissa hydrogeologisissa yksiköissä pääesiintymän, NE satelliittiesiintymän ja Kuusivaaran alueella. Pohjaveden virtausmalli on hyvin kalibroitu kaikkien hydrogeologisten yksiköiden pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihteluun. Poikkeavuudet mitattujen ja mallin laskemien pohjaveden pinnankorkeuksien välillä selvitettiin tunnettujen ja laajasti käytössä olevien tilastollisten tunnuslukujen avulla pohjavesimallin kalibroinnin laadun arvioimiseksi. Tärkeimpien tilastollisten tunnuslukujen perusteella sekä steady state- että transient-malli on hyvin kalibroitu.

Pohjaveden virtausmalli pystyy ennustamaan tarkasti Sakatti-hankkeen alenemien sijainnit ja suuruudet. On selvää, että mallin ennustamiin tuloksiin sisältyy aina epävarmuutta. Epävarmuuden suuruus riippuu kuitenkin paikallisten olosuhteiden ymmärtämisestä. Kuten luvussa 3 on kuvattu, alueella on tehty suunnitteluvaiheeseen (kuva 7-1) nähden erittäin laajat selvitykset, ja alueen olosuhteista on syntynyt kattava ymmärrys. Tämän seurauksena epävarmuudet on pystytty minimoimaan olemassa olevien mittaustietojen perusteella. Toteutettu pohjaveden virtausmallinnus on hyvin varovainen ja konservatiivinen seuraavista syistä:

1. Mallinnuksessa käytetyt vedenjohtavuusarvot ovat mittaushajonnan keskiväliin tai korkeampaan päähän sijoittuvia, ja mittaushajonnan alapäähän sijoittuvia matalia vedenjohtavuusarvoja ei ole käytetty.
2. Turve on kuvattu konservatiivisesti selvästi todellisuutta vedenjohtavampana kuin olemassa olevan mittaushajonnan osoittaa. Aikaisempiin tutkimuksiin ja mittauksiin perustuen turpeen pohjaosassa on vettä pidättävä ja veden virtausta estävä tiivis hyvin maaton pohjakerros, joka todennäköisesti rajoittaa alenemaa turpeessa.

3. Rakenteiden hydrauliset ominaisuudet ovat konservatiivisia ja ne on esitetty todellisuutta jatkuvampina vyöhykkeinä pohjavesimallissa kuin olemassa olevan aineisto osoittaa. Mittaustiedon perusteella tiedetään, että geologiset rakenteet eivät ole jatkuvia, kuten ne on nyt mallissa kuvattu. Todellisuudessa ko. rakenteiden ominaisuudet vaihtelevat eikä niillä ole yhteyksiä toisiinsa. Mallissa kuvattu rakenteiden jatkuvuus johtaa vuotovesimäärän ja pohjaveden pinnankorkeuden aleneman yliarviointiin.
4. Pohjaruhje on syvän kallioperän merkittävin rakenne ja siitä on mitattu korkeampia vedenjohtavuuksia kuin ympäröivästä kallioperästä. Kairaustietoon perustuen tiedetään, että pohjaruhjeessa on hyvin savipitoisiakin osuuksia, joissa veden liike on rajoittuneempaa kuin malliin kuvatussa pohjaruhjeessa. Tämän vuoksi mallissa kuvattu pohjaruhjeen hydraulinen yhteys johtaa vuotovesimäärän ja pohjaveden pinnankorkeuden aleneman yliarviointiin.
5. Pohjaveden virtausmallissa ei ole huomioitu pohjaveden pinnankorkeuden aleneman vaikutusta pohjaveden muodostumiseen. Pohjaveden pinnankorkeuden alentuminen matalan vyöhykkeen pohjavedessä saa aikaan vastaavan pohjaveden muodostumisen lisääntymisen. Tämä tapahtuu kaivostointojen alueella saatavilla olevan veden runsauden vuoksi (pintavalunta) kevätsulannan kaudella.
6. Alueella kallioperän painaumuksissa ja rakenteiden risteyskohdissa esiintyvän savisen rapauman toimimista aleneman etenemistä estävänä tai hidastavana tekijänä ei ole huomioitu pohjavesimallissa.

7.2 Pohjaveden virtausmallisimulaatiot epävarmuuden hallitsemiseksi

7.2.1 Herkkyystarkastelun mallisimuloinnit

Kuten edellä on kuvattu, mallinnustuloksissa on epävarmuutta pohjaveden muodostumisessa, suunnitellussa tiivistystehokkuudessa sekä kallioperän vedenjohtavuudessa. Mahdollisen epävarmuuden hallitsemiseksi tehtiin herkkyystarkastelu, jotta voitiin arvioida tiivistystehokkuuden, vedenjohtavuuksien ja meteorologisten muuttujien vaikutusta vuotovesimääriin ja alenemiin.

Herkkyystarkastelu tehtiin ilman NE satelliittiesiintymää. Ennustavat virtausmallisimulaatiot tehtiin virtausmallilla, joka on kuvattu luvussa 5.1. Taulukossa 5-2 on esitetty yhteenveto herkkyyskenaarioista ja perustilan mallinnusparametreihin tehdyt muutokset on esitetty taulukossa oranssilla. Seuraavassa on esitetty yhteenveto ennustavista malliskenaarioista, jotka simuloitiin herkkyystarkastelua varten:

1. **Perustilaskenaario:** Perustilalla viitataan tässä 65 % tiivistyskenaarioon ilman NE satelliittiesiintymää, jossa vinotunnelit injektoidaan 150 m syvyyteen maanpinnan tasosta ja injektoidaan kaikki vettä johtavat ruhjeet kohteissa, joissa vuotovesimäärät ovat runsaita. Injektointitehokkuuden on oletettu olevan 65 %. Kaivostäytön vedenjohtavuutena on käytetty korkeaa vedenjohtavuusarvoa ($1,0 \times 10^{-7}$ m/s) ja täytetyt louhokset jäävät vuotamaan kaivoksen elinkaaren ajan. Injektointitehokkuuden ollessa 65 %, tiivistyksen alueella osa laskentasoluista (35 %) jätetään vuotamaan. Tämä skenaario kuvattiin luvussa 5.3. Muut oletukset on kuvattu luvussa 5.0.
2. **Kallioperän vedenjohtavuuden 60 prosenttipisteen skenaario:** Skenaariossa käytetyt parametrit ovat muuten samat kuin perustilaskenaariossa, mutta kallioperän vedenjohtavuutta on nostettu mitattujen tulosten trendiviivan 60:nneen prosenttipisteeseen. Kuvassa 7-3 on esitetty kalibroidut vedenjohtavuudet perustilaskenaariossa sekä kallioperän vedenjohtavuuden 60 prosenttipisteen skenaariossa. Lisäksi kuvassa on esitetty vesihävikikokeilla mitatut vedenjohtavuuden arvot. Kuten kuvasta 7-3 voidaan nähdä, vesihävikikokeilla mitatut 60:nneen prosenttipisteen

- vedenjohtavuuden arvot vastaavat kallioperän vedenjohtavuuksien yläpään arvoja, joita tavataan rikkonaisessa kallioperässä.
3. **Kallioperän vedenjohtavuuden 40 prosenttipisteen skenaario:** Skenaariossa käytetyt parametrit ovat muuten samat kuin perustilaskenaariossa, mutta kallioperän vedenjohtavuutta on laskettu mitattujen tulosten trendiviivan 40:nteen prosenttipisteeseen. Kuvassa 7-3 on esitetty kalibroidut vedenjohtavuudet perustilaskenaariossa sekä kallioperän vedenjohtavuuden 40 prosenttipisteen skenaariossa. Vesihävikikokeilla mitatut 40:nnen prosenttipisteen vedenjohtavuuden arvot vastaavat kallioperän vedenjohtavuuksien alapään arvoja, joita tavataan ehjässä kallioperässä.
 4. **Pumppauskoeskenaario:** Osana tämän selvityksen virtausmallin kalibrointia, pohjaveden virtausmalli kalibroidiin pumppauskokeiden aikana mitattuihin pohjaveden pinnankorkeuksiin (liite C). Mallin kalibroinnissa on mukana heikommin läpäisevää rapautunutta kallioperää savisen rapauman alueella. Skenaario on muuten sama kuin perustilaskenaario, mutta savisen rapauman vedenjohtavuus on kymmenkertainen.
 5. **RCP2.6-skenaario:** Skenaarion parametrit ovat samat kuin perustilaskenaariossa, mutta tulevaisuuden sademäärät perustuvat RCP2.6-ilmastoskenaarioon (kuvat 3-23 ja 3-24).
 6. **RCP4.5-skenaario:** Skenaarion parametrit ovat samat kuin perustilaskenaariossa, mutta tulevaisuuden sademäärät perustuvat RCP4.5-ilmastoskenaarioon (kuvat 3-23 ja 3-24).
 7. **RCP8.5-skenaario:** Skenaarion parametrit ovat samat kuin perustilaskenaariossa, mutta tulevaisuuden sademäärät perustuvat RCP8.5-ilmastoskenaarioon (kuvat 3-23 ja 3-24).
 8. **80 % tiivistysskenaario:** 80 % tiivistysskenaarion parametrit ovat muuten samat kuin perustilaskenaariossa, mutta injektointitehokkuuden on oletettu olevan 80 %. Injektointitehokkuuden ollessa 80 %, tiivistyksen alueella osa laskentasoluista (20 %) jätetään vuotamaan.
 9. **50 % tiivistysskenaario:** 50 % tiivistysskenaarion parametrit ovat muuten samat kuin perustilaskenaariossa, mutta injektointitehokkuuden on oletettu olevan 50 %. Injektointitehokkuuden ollessa 50 %, tiivistyksen alueella osa laskentasoluista (50 %) jätetään vuotamaan.

7.2.2 Herkkyystarkasteluiden ennusteet

Kuvassa 7-4 on esitetty herkkyystarkastelun mukaisten skenaarioiden ja perustilaskenaarion ennustetut vuotovesimäärät maanalaiseen kaivokseen ja tarvekilouhokseen. Seuraavat havainnot voidaan tehdä vuotovesimäärän herkkyydestä perustilaskenaariossa:

Maanalainen kaivos

1. 50 % tiivistysskenaariossa tiivistystehokkuuden pieneneminen johtaa vuotovesimäärän lisääntymiseen noin 5 %:lla. 80 % tiivistysskenaariossa tiivistystehokkuuden lisääntyminen johtaa vuotovesimäärän vähenemiseen noin 5 %:lla.
2. RCP-ilmastoskenaarioiden ja perustilaskenaarion välillä on vähäisiä eroavaisuuksia. Tällaiset tulokset olivat odotettuja, koska suurin osa vuotovesimäärästä on peräisin syvästä pohjavedestä, jolla on vähäinen yhteys tai ei ollenkaan yhteyttä matalan vyöhykkeen pohjaveteen.
3. Kallioperän vedenjohtavuuden 40 prosenttipisteen skenaariossa ennustettu vuotovesimäärä on noin 50 % pienempi kuin perustilaskenaariossa.

4. Kallioperän vedenjohtavuuden 60 prosenttipisteen skenaariossa ennustettu vuotovesimäärä on noin 30–35 % suurempi kuin perustilaskenaariossa.
5. Pumppauskeskenäriossa vuotovesimäärä on noin 5 % pienempi kuin perustilaskenaariossa.

Tarvekilouhos

1. Kun tiivistystehokkuus on 50 % tai 80 %, on tällä vähäisiä vaikutuksia vuotovesimäärään.
2. Vuotovesimäärän vuodenaikaisvaihtelu on suurempaa RCP-ilmastoskenaarioissa kuin perustilaskenaariossa.
3. Kallioperän vedenjohtavuuden 40 ja 60 prosenttipisteen skenaarioissa ennustettu vuotovesimäärä on 50 % pienempi kuin perustilaskenaariossa. Kuten kuvasta 7-3 voidaan nähdä simuloidut vedenjohtavuudet ovat näissä skenaarioissa pienempiä kuin perustilaskenaariossa, ja tämä johtaa vuotovesimäärän vähenemiseen.
4. Pumppauskeskenäriossa vuotovesimäärä on noin 25 % pienempi kuin perustilaskenaariossa. Vuotovesimäärän väheneminen johtuu siitä, että simuloidut vedenpinnan korkeudet ovat alhaisempia kuin perustilaskenaariossa.

Kuvissa 7-5a ja 7-5b on esitetty ennustetut 0,3 metrin ja 0,1 metrin alenemakäyrät kaivostoiminnan lopussa kolmelle vedenjohtavuuden herkkyyskenaariolle. Kuvassa 7-6 on esitetty mallinnettu pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihtelu vedenjohtavuuden herkkyyskenaarioissa ja perustilaskenaariossa tärkeimmissä pohjaveden havaintopisteissä (GA102, GA104, GA202 ja GA300) toimintavuosina 1–24 verrattuna keskimääräisiin mallinnettuihin 24 toimintavuoden pohjaveden pinnankorkeuksiin tilanteessa, jossa kaivostoimintaa ei ole lainkaan. Kuvassa 7-6 on myös esitetty kuvassa 5-3 määriteltynä ajanjaksona, vuosina 2012–2023, mitatut alimmat ja korkeimmat pohjaveden pinnankorkeudet (luonnontilan vaihteluväli) sekä ennustetut alenemat havaintopisteissä herkkyyskenaarioissa.

Ennustettu alenema on saatu vähentämällä ennustettu pohjaveden pinnankorkeus eri herkkyyskenaarioissa sen skenaarion pohjaveden pinnankorkeuksista, jossa kaivostoimintaa ei ole lainkaan.

Seuraavassa on esitetty yhteenveto herkkyyskenaarioiden tuloksista kaivoksen toiminnan päätyttyä:

1. Kallioperän vedenjohtavuuden nostamisella 60:nteen prosenttipisteeseen on seuraavat vaikutukset alenemaan verrattuna perustilaskenaarioon:
 - a. 0,1 metrin alenema-alue laajenee noin 300–600 metriä maanalaisen kaivoksen alueella
 - b. Kuusivaaran alueella alenema-alue on samanlainen kallioperän vedenjohtavuuden 60 prosenttipisteen skenaariossa ja perustilaskenaariossa. Vinotunnelin sisäänkäynnin eteläpuolella on alueita, joissa alenemaa on vähemmän, koska ylemmän kallioperän simuloitu vedenjohtavuus on pienempi kallioperän vedenjohtavuuden 60 prosenttipisteen skenaariossa kuin perustilaskenaariossa (kuva 7-3).
2. Kallioperän vedenjohtavuuden alentamisella 40:nteen prosenttipisteeseen on seuraavat vaikutukset alenemaan verrattuna perustilaskenaarioon:
 - a. 0,1 metrin alenema-alue pienenee 200–600 metriä maanalaisen kaivoksen alueella
 - b. 0,1 metrin alenema-alue pienenee 200–400 metriä Kuusivaaran alueella

3. Pumpppauskoeskenaariossa alenema-alueen laajuus on sama kuin perustilaskenaariossa. Paikallisesti saattaa olla pieniä eroavaisuuksia rapautuneiden yksiköiden laajuudesta ja paksuudesta riippuen.
4. Havaintopisteessä GA102 ennustettu pinnankorkeuksien vaihtelu ja ennustettu alenema on pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun rajoissa kaikissa vedenjohtavuuden herkkyystarkasteluissa.
5. Havaintopisteissä GA104, GA202 ja GA300 ennustettu alenema on kallioperän vedenjohtavuuden 60 prosenttipisteen skenaariossa suurempi kuin pohjaveden pinnankorkeuden mitattu vuodenaikaisvaihtelu, ja kallioperän vedenjohtavuuden 40 prosenttipisteen skenaariossa sekä perustilaskenaariossa pienempi kuin pohjaveden pinnankorkeuden mitattu vuodenaikaisvaihtelu.

Kuvissa 7-7a ja 7-7b on esitetty ennustetut 0,3 metrin ja 0,1 metrin alenemakäyrät kaivostoiminnan lopussa ilmaston herkkyysskenaarioille (RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5). Kuvassa 7-8 on esitetty simuloitu pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelu ilmaston herkkyysskenaarioissa ja perustilaskenaariossa tärkeimmissä pohjaveden havaintopisteissä (GA102, GA104, GA202 ja GA300) toimintavuosina 1–24. Seuraavassa on esitetty yhteenvedo ennustetuista alenemista valituissa malliskenaarioissa kaivostoiminnan lopussa:

1. Vaihteleva ilmasto johtaa samankaltaisiin alenemakäyriin kuin perustilaskenaariossa. Paikallisesti saattaa olla pieniä eroavaisuuksia pohjaveden muodostumisen vaihtelusta moreenissa, lajittuneissa kerrostumissa ja turpeessa johtuen.
 - a. Kuusivaaran alueella on vähemmän alenemaa johtuen pohjaveden suuremmasta muodostumisesta moreenissa ja lajittuneissa kerrostumissa.
 - b. Maanalaisen kaivoksen alueella alenema suurenee turvealueella johtuen pohjaveden pienemmästä muodostumisesta turpeessa.
2. Alenema-alueen laajuutta vertailtaessa, RCP4.5-skenaariossa ja perustilaskenaariossa on huomattavia eroavaisuuksia. Ensisijainen syy tälle on, että RCP4.5-skenaariossa sademäärä ja pohjaveden muodostuminen vaihtelevat enemmän. Tämän vuoksi alenema voi joku suurentua tai pienentyä verrattuna perustilaskenaarioon riippuen simuloitun sadannan määrästä sekä vuodesta.
3. Havaintopisteissä GA102, GA202 ja GA300 ennustettu vaihtelu pohjaveden pinnankorkeuksissa ja ennustettu alenema ovat pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun rajoissa kaikissa ilmastoskenaarioissa. Pohjaveden muodostumismäärän vaihtelun vuoksi simuloituissa pohjaveden pinnankorkeuksissa on merkittävää vaihtelua.
4. Havaintopisteessä GA104 ennustettu alenema on pienempi kuin pinnankorkeuden mitattu vuodenaikaisvaihtelu. Kuitenkin pinnankorkeuden suuresta vaihtelusta johtuen, jotkut mallinnetut vedenpinnankorkeudet laskevat mitatun vuodenaikaisvaihtelun alarajan alapuolelle. Tämä saattaa johtua siitä, että havaintopisteen GA104 talviaikaiset mittaustulokset eivät kuvaa todellista talviajan vedenpinnan tasoa.

Kuvissa 7-9a ja 7-9b on esitetty ennustetut 0,3 metrin ja 0,1 metrin alenemakäyrät kaivostoiminnan lopussa tiivistystehokkuuden herkkyysskenaarioissa. Kuten kuvista voidaan nähdä, tiivistystehokkuuden herkkyysskenaarioiden välillä on vain vähäisiä eroja. Tämän vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden kuvaajia tärkeimmissä havaintopisteissä ei esitetä tässä raportissa.

8.0 JOHTOPÄÄTÖKSET

ITASCA rakensi pohjaveden virtausmallin käsitteellisen hydrogeologisen mallin pohjalta. Pohjaveden virtausmalli kalibroitiin kaivostoimintojen alueelta saatavilla oleviin pohjaveden pinnankorkeuden mittaustietoihin. ITASCA katsoo, että pohjaveden virtausmalli on huolellisesti laadittu ja kalibroitu saatavilla oleviin pohjaveden pinnankorkeustietoihin. Käsitteellisen hydrogeologisen mallin ja numeerisen mallin laatimisen pohjalta voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset koskien ennusteita tulevista vuotovesimäärästä ja pohjaveden pinnankorkeuden alenemasta 65 % tiivistysskenaariossa, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana:

1. Maanalaiseen kaivokseen tulevan vuotovesimäärän ennustetaan olevan suurimmillaan kaivostoiminnan toisen vuoden puolella välissä. Vuotovesimäärä on suurimmillaan noin 120 m³/h. Saavutettuaan huippunsa, vuotovesimäärä laskee kaivoksen elinkaaren aikana vähitellen arvoon 95 – 110 m³/h.
2. Ennustettu tarvekilouhokseen tuleva vuotovesimäärä vaihtelee välillä 15–45 m³/h.
3. Tarvekilouhoksen arvioidussa vuotovesimäärässä on havaittavissa vuodenaikaisvaihtelua, joka perustuu simuloituun pohjaveden muodostumismäärään. Vuodenaikaisvaihtelu on keskimäärin 15 m³/h. Vuodenaikaisvaihtelun voidaan olettaa lisääntyvän lumipeitteen paksuuden ja syyssateiden lisääntyessä.
4. Vettä johtavan pohjaruhjeen vuoksi matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeuden aleneman ennustetaan olevan suurempaa vinotunnelien lähetyillä kuin muilla alueilla. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 0,35 m talvella ja noin 0,25 m kesällä.
5. Suurin alenema ensisijaisen kaivosalueen päällä on 0,2 m ja NE satelliittiesiintymän alueella 1,9 m.
6. Alenema on suurin lähellä maanpintaa kulkevien vinotunnelien, tarvekilouhoksen sekä vinotunnelien sisäänkäynnin (maalainen kaivos alle 150 m mpa) alueella. Tarvekilouhoksen alueella alenema on suurimmillaan sama kuin louhoksen syvyys eli 75 m.
7. Ennustettu alenema vaihtelee vuodenaikojen mukaan johtuen lumen sulannasta. Alenemien ennustetaan olevan vuosittain suurimmillaan keväällä ennen lumen sulamista.
8. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä maanalaisen kaivoksen alueella on enintään 0,35 m. Alenema on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 0,5–2 m rajoissa kaivostoimintojen pääalueella.
9. Ennusteen mukaan pohjaveden purkautuminen Kitiseen voi vähentyä kaivoksen toiminta-aikana enintään 40 m³/h, mikä vastaa noin 9–13 % pohjaveden virtausmallin laskemasta kokonaispurkautumisesta Kitiseen. Purkautumisen vähentyminen ei vaikuta olennaisella tavalla Kitisen kokonaisvirtaamaan (muutos on noin 0,01 %).
10. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päättyttyä. Kahdeksan vuoden kuluessa kaivoksen sulkemisesta matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeuden aleneman ennustetaan olevan alle 0,01 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen 75 vuoden kuluttua kaivoksen sulkemisesta.
11. Ehjän kallioperän matalien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän pohjavesikaivojen havaintopisteissä alle 3 m.
12. Ennustetun tarvekilouhoksen louhosjärven pinnankorkeus nousee kaivostoiminnan päättymisen jälkeen. Steady state -tilanteessa tarvekilouhoksen vedenpinnan korkeus on noin 188 m mpy ja se saavutetaan noin 35 vuotta kaivostoiminnan päättymisen jälkeen.

13. Kun louhosjärven pinta nousee yli tason 180 m mpy (arviolta noin toimintavuotena 22), alkaa louhosjärvestä tapahtua pohjaveden läpivirtausta etelän puolelta pohjoiseen 4–10 m³/h.

Seuraavassa on esitetty johtopäätökset koskien ennusteita tulevista vuotovesimääristä, pohjaveden pinnankorkeuden alenemasta ja palautumisesta ilman NE satelliittiesiintymää:

1. Vuotovesimäärä vähenee pitkällä aikavälillä verrattuna malliskenaarion, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana. Toimintavuoden 10 jälkeen vuotovesimäärä vähenee arvoon 90 m³/h. Vähennys on noin 20 m³/h.
2. Tarvekilouhoksen ennustettuihin vuotovesimääriin ei ole vaikutuksia tai vaikutus on hyvin vähäinen.
3. Suurin alenema NE satelliittiesiintymän alueella on noin 0,2 metriä. Alenema pienenee enimmillään noin 1,7 m verrattuna kaivossuunnitelmaan, jossa NE satelliittiesiintymä on mukana.
4. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä, enintään 0,35 m, on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 0,5–2 m rajoissa kaivostoimintojen pääalueella.
5. Kitiseen suuntautuvan pohjaveden purkautumisen ennustettuun vähentymiseen ei ole vaikutusta tai vaikutus on hyvin vähäinen.
6. NE satelliittiesiintymän poistamisella kaivossuunnitelmasta ei ole vaikutusta ennustettuun pohjaveden palautumiseen tai vaikutus on hyvin vähäinen.

Herkkyysanalyysin tuloksista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset mallin epävarmuuksien hallitsemiseksi verrattuna perustilaskenaarioon:

1. Kallioperän vedenjohtavuuden nostaminen 60:n prosenttipisteeseen vesihävikikokeiden mitatuista tuloksista laajentaa 0,1 metrin alenema-alueita noin 300–600 metriä.
2. Kallioperän vedenjohtavuuden alentaminen 40:n prosenttipisteeseen vesihävikikokeiden mitatuista tuloksista pienentää 0,1 metrin alenema-alueita noin 200–600 metriä maanalaisen kaivoksen alueella ja Kuusivaaran alueella noin 200–400 metriä.
3. Vaihteleva ilmasto johtaa samankaltaisiin alenemäkäyriin kuin perustilaskenaariossa. Paikallisesti saattaa olla pieniä eroavaisuuksia pohjaveden muodostumisen vaihtelusta moreenissa, lajittuneissa kerrostumissa ja turpeessa johtuen. Maanalaisen kaivoksen alueella alenema suurenee turvealueilla.
4. Vertailtaessa alenema-alueen laajuutta ilmastoskenaarioissa, havaitaan alenemissa olevan huomattavaa vaihtelua. Ensisijainen syy tälle on simuloidun sademäärän ja pohjaveden muodostumisen lisääntynyt vaihtelu. Tämän vuoksi alenema voi joku suurentua tai pienentyä verrattuna perustilaskenaarioon riippuen simuloidun sadannan määrästä sekä vuodesta.
5. Tiivistystehokkuuden heikentyminen tai parantuminen nostaa tai vähentää todennäköisesti vuotovesimääriä ja alenemaa vettä johtavien ruhjerakenteiden alueella. Vuotovesimäärän vähentäminen vettä johtavien rakenteiden onnistuneella tiivistyksellä on täten olennaisen tärkeää.

Kuten osiossa 6.0 kerrottiin, näissä johtopäätöksissä ei ole huomioitu seuraavia vaikutuksia:

1. Alenemaennusteissa ei ole huomioitu tiheän kasvillisuuden, juurien imuvoiman ja maanpinnan runsaan humuskerroksen vaikutuksia. Nämä vaikutukset vähentävät pohjaveden pinnankorkeuden ennustettua alenemaa.
2. Suon alueen alenemaennusteissa on oletettu, että turve on hydraulisessa yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen ja toimii huokoisena väliaineena. Olemassa olevan tiedon perusteella on perusteltua olettaa, että turvekerros on vain osittain yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen.

Tämän seurauksena todellinen maastossa turpeessa havaittu alenema tulisi olemaan pienempi kuin pohjaveden virtausmallin ennustama alenema.

3. Alenemaennusteissa ei ole huomioitu pohjaveden runsaampaa muodostumista, joka seuraa vedenpinnan korkeuden laskemisesta kaivostoiminnasta johtuen. Pohjaveden runsaampi muodostuminen vähentää pohjaveden pinnankorkeuden ennustettua alenemaa.

9.0 VIITTEET

- AASM Oy. 2021. Review report 2021: Review of Sakatti project bedrock hydrogeological testing data from 2016–2021. Eero Heikkisen laatima sisäinen raportti Anglo American Sakatti Mining Oy:lle, lokakuu.
- Åberg, S.C., A.K. Åberg, and K. Korkka-Niemi. 2021. Three-dimensional hydrostratigraphy and groundwater flow models in complex Quaternary deposits and weathered/fractured bedrock: evaluating increasing model complexity. *Hydrogeology Journal* 29: 1043–74.
- Åberg, S.C., A.K. Åberg, K. Korkka-Niemi, and V.-P. Salonen. 2017. Hydrostratigraphy and 3D modelling of a bank storage affected aquifer in a mineral exploration area in Sodankylä, northern Finland. In *Mine Water and Circular Economy*, vol. 1, edited by C. Wolkersdorfer, L. Sartz, M. Sillanpää, and A. Häkkinen, 237–44. Lappeenranta, Finland: Lappeenranta University of Technology.
- Åberg, S.C., K. Korkka-Niemi, A. Rautio, and A.K. Åberg. 2022. The effect of river regulation on groundwater flow patterns and the hydrological conditions of an aapa mire in northern Finland. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 40 (huhtikuu): 101044.
- Åberg, S.C., K. Korkka-Niemi, A. Rautio, V.-P. Salonen, and A.K. Åberg. 2019. Groundwater recharge/discharge patterns and groundwater-surface water interactions in a sedimentary aquifer along River Kitinen near Sodankylä, Northern Finland. *Boreal Environment Research* 24: 155–87.
- Åberg, A.K., S. Kultti, A. Kaakinen, K.O. Eskola, and V.-P. Salonen. 2020. Weichselian sedimentary record and ice-flow patterns in the Sodankylä area, central Finnish Lapland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 92 (2020): 77–98. <https://doi.org/10.17741/bgsf/92.2.001>.
- Anderson, M.P., and W.W. Woessner. 1992. *Applied groundwater modeling— Simulation of flow and advective transport*. San Diego: Academic Press, Inc.
- ASTM. 2008. ASTM Standard D5981-96(2008): Standard guide for calibrating a groundwater flow model application. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Barnett, B., L.R. Townley, V. Post, R.E. Evans, R.J. Hunt, L. Peeters, S. Richardson, A.D. Werner, A. Knapton, and A. Boronkay. 2012. Australian groundwater modelling guidelines. Waterlines Report Series No. 82. Canberra: National Water Commission.
- Bigler, P. 2019. Hydrogeology and hydrogeochemistry of the western margin of the Viiankiaapa mire in Sodankylä: Factors affecting the distribution of endangered species. Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki, Helsinki.
- BLM. 2008. Groundwater modeling guidance for mining activities. United States Bureau of Land Management, Reno, NV, Instructional Memorandum NV-2008-035.
- Brutsaert, W. 1982. *Evaporation into the atmosphere: Theory, history, and applications*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Copernicus Climate Store. 2022. Data for RCP4.5 climate case. Viitattu huhtikuussa 2022. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-ecv-cmip5-bias-corrected?tab=overview>.

Davis, J. 1986. *Statistics and data analysis in geology*. Toronto: John Wiley and Sons.

DHI. 2017. *MIKE SHE user manual. Volume 2: Reference guide*. Hørsholm, Denmark: DHI.

Eilu, P. 2012. Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Special Paper 53, Geological Survey of Finland, Espoo, Finland.

ESI. 2017. Guide to using *Groundwater Vistas*, version 7, code documentation report. Reinholds, PA: Environmental Simulations, Inc.

Freeze, R.A., and J.A. Cherry. 1979. *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Golder. 2015. Viiankiaapa – pinta- ja pohjavesi- olosuhteiden selvitys. Report prepared for Anglo American Sakatti Mining Oy.

Golder 2024. Draft report prepared by Golder Associates.

GTK. 2022. Mineral deposits and exploration. Geological Survey of Finland (GTK). Viitattu helmikuussa, maaliskuussa ja toukokuussa 2022. <https://gtkdata.gtk.fi/mdae/index.html>.

Hall, A.M., S. Sarala, and K. Ebert. 2015. Late Cenozoic deep weathering patterns on the Fennoscandian shield in northern Finland: A window on ice sheet bed conditions at the onset of Northern Hemisphere glaciation. *Geomorphology* 246 (October): 472–88.

Hättestrand, C., and A.P. Stroeven. 2002. A relict landscape in the centre of Fennoscandian glaciation: Geomorphological evidence of minimal Quaternary glacial erosion. *Geomorphology* 44 (April): 127–43.

Helmens, K.F., M.E. Räsänen, P. Johansson, H. Jungner, and K. Korjonen. 2000. The Last interglacial-glacial cycle in NE Fennoscandia: A nearly continuous record from Sokli (Finnish Lapland) *Quaternary Science Reviews* 19, no. 16 (November): 1605–23.

Helmens, K.F., J.A.A. Bos, S. Engels, C.J. van Meerbeeck, S.J.P. Bohncke, H. Renssen, O. Heiri, S.J. Brooks, H. Seppä, H.J.B. Birks, and B. Wohlfarth. 2007. Present-day temperatures in northern Scandinavia during the last glaciation. *Geology* 35 (11): 987–90.

Hill, M.C. 1998. Methods and guidelines for effective model calibration, with application to UCODE, a computer code for universal inverse modeling, and MODFLOWP, a computer code for inverse modeling with MODFLOW. USGS Water-Resources Investigations Report 98-4005. Sivulla vierailtu 28. lokakuuta 2019. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/wri984005>.

ITASCA. 2012. *MINEDW user manual*. Denver, CO: ITASCA Denver.

ITASCA. 2023. Prediction of drawdown and groundwater inflow rates over the life of the Sakatti Project. Report prepared by ITASCA Denver for Anglo American Sakatti Mining Oy, March.

Korkka-Niemi, K., K. Koskimaa, and J. Karhu. 2020. Hydrogeology of the Sakatti exploration target area: Dating of groundwater. Helsingin yliopiston Anglo American Sakatti Mining Oy:lle laatima raportti.

Korkka-Niemi, K. (ed.), A. Rautio, S. Åberg, A. Åberg, P. Bigler, and V.-P. Salonen. 2017. Hydro and environment geological studies during the years 2016-2017 around Sakatti exploration target. Final report (Draft 1):

Characterization of geo-hydro-ecological factors possibly controlling the distribution of endangered species of Viiankiaapa Mire. Helsingin yliopiston Anglo American Sakatti Mining Oy:lle laatima raportti..

Korkka-Niemi, K., and H. Turtiainen, H. 2020. Hydraulic properties of peat and hydrogeochemical characteristics of groundwater and porewater in Viiankiaapa Mire. Report prepared by the University of Helsinki for Anglo American Sakatti Mining Oy, 20 August. Helsingin yliopiston Anglo American Sakatti Mining Oy:lle laatima raportti, 20. elokuuta.

Lahtinen T. 2017. Hydrogeochemical characterization of the Sakatti mine prospecting area, Sodankylä, Finnish Lapland. Pro gradu -tutkielma, Geotieteiden ja maantieteen osasto, Helsingin yliopisto

Lappalainen, E., and H. Pajunen. 1982. Lapin turvevarat. Geologinen tutkimuslaitos maaperäosasto, raportti P 13.6/80/20.

Luoma, S., Klein, J., Backman, B. 2013. Climate change and groundwater: Impacts and adaptation in shallow coastal aquifer in Hanko, South Finland. In *Climate Change Adaptation in Practice: From Strategy Development to Implementation*, 137–55. Chichester, England: John Wiley & Sons.

Luukas, J. 2017. Updates of the Sakatti deposit fault and lithological 3D models in May 2017. Geologian tutkimuslaitoksen Anglo American Sakatti Mining Oy:lle laatima raportti.

Mikkonen, S., M. Laine, H. Mäkelä, H. Gregow, H. Tuomenvirta, M. Lahtinen, and A. Laaksonen, 2015. Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 29: 1521–29.

MODIS. 2022. Data for *MIKE SHE* model including plant cover and evaporation. Sivulla vierailtu 2021. <https://modis.gsfc.nasa.gov/>.

Moroizumi, T., N. Ito, J. Koskiahho, and S. Tattari. 2014. Long-term trends of pan evaporation and an analysis of its causes in Finland. Okayaman yliopiston tekemä tutkimus.

Morris, P.J., J.M. Waddington, B.W. Benscoter, and M.R. Turetsky. 2011. Conceptual frameworks in peatland ecohydrology: Looking beyond the two-layered (acrotelm-catotelm) model. *Ecohydrology* 4 (1): 1–11.

National Parks. 2022. Sivulla vierailtu toukokuussa 2022. <https://www.nationalparks.fi/viiankiaapa>.

NDEP. 2018a. Listing of accepted codes for groundwater and geochemical modeling at mine sites. Nevada Division of Environmental Protection, Bureau of Mining Regulation and Reclamation, 3 April.

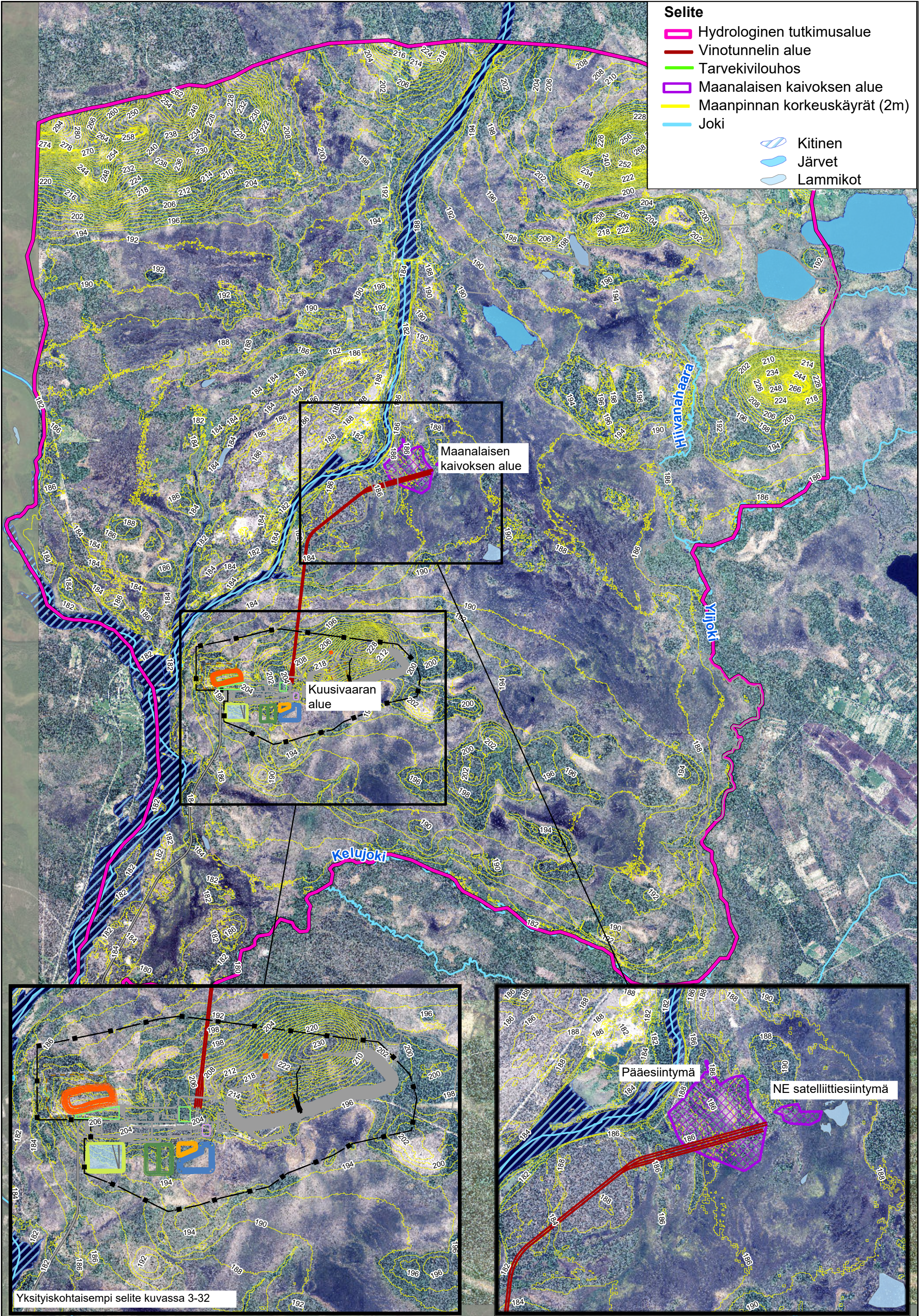
NDEP. 2018b. Guidance for hydrogeologic groundwater flow modeling at mine sites. Nevada Division of Environmental Protection, Bureau of Mining Regulation and Reclamation.

Okkonen J., M. Jyrkama, and B. Klove. 2010. A conceptual approach for assessing the impact of climate change on groundwater and related surface waters in cold regions (Finland). *Hydrogeology Journal* 18: 429–39.

Päivänen, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. *Acta Forestalia Fennica* 129: 1–70.

Pulkkinen, E.1983. Sattasen karttalehtialueen geokemiallisen kartoituksen tulokset. Geological Survey of Finland. Accessed 20 November 2019. http://tupa.gtk.fi/kartta/geokemiallinen_karttaselitys/gks_3714_s.pdf.

- Puumalainen, T. 2021. Geologinen 3D-malli ja kerrostumien geokemialliset sekä hydrogeologiset ominaisuudet Sodankylän Kuusivaarassa. Pro gradu -tutkielma. Geotieteiden osasto, Oulun yliopisto.
- Read, J., and P. Stacy. 2009. *Guidelines for open pit slope design*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Reilly, T.E., and A.W. Harbaugh. 2004. Guidelines for evaluating groundwater flow models. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report No. 2004-5038.
- Ruosteenoja, K., K. Jylhä, and M. Kämäräinen. 2016. Climate projections for Finland under RCP forcing scenarios. *Geophysica* 51(1): 17–50.
- Salonen, V.P., K. Korkka-Niemi, A. Rautio, A. Åberg, and S. Åberg. 2014. Recent geological history of the Sakatti area, Sodankylä and its hydro-environmental implications – A baseline study on existing surveys. Helsingin yliopiston Anglo American Sakatti Mining Oy:lle laatima raportti.
- Salonen, V.-P., K. Korkka-Niemi, A. Rautio, E. Koivisto, A. Åberg, S. Åberg, J. Laakso, T. Lahtinen, and E. Suonperä. 2016. Sakatti geoenvironments: A baseline study on quaternary sediments, hydrogeological conditions, and groundwater-surface water interactions in Kersilö area, Sodankylä. Helsingin yliopiston Anglo American Sakatti Mining Oy:lle laatima raportti
- Sarala, P., J. Räisänen, P. Johansson, and K.O. Eskola. 2015. Aerial LiDAR analysis in geomorphological mapping and geochronological determination of surficial deposits in the Sodankylä region, northern Finland. *GFF Journal of the Geological Society of Sweden* 137 (4): 293–303.
- Spitz, K., and J. Moreno. 1996. *A practical guide to groundwater and solute transport modeling*. New York: John Wiley and Sons.
- SRK. 2019. A hydrological impact assessment for the Sakatti Cu-Ni-PGE-Au deposit, Northern Finland. SRK Consultingin Anglo American Sakatti Mining Oy:lle laadima raportti, kesäkuu.
- Stantec. 2020. Sakatin kaivoshankkeen pohjavesivaikutusten mallinnus. Stantecin Anglo American Sakatti Mining Oy:lle laatima raportti.
- Suonperä, E. 2016. Holocene paleohydrology of Viiankiaapa mire, Sodankylä, Finnish Lapland. Pro gradu -tutkielma, Geotieteiden ja maantieteen osasto, Helsingin yliopisto.
- SYKE. 2024. Surface water discharge and stage data. Viitattu helmikuussa 2024. [https://www.syke.fi/en-US/Open information/Open web services/Environmental data API](https://www.syke.fi/en-US/Open%20information/Open%20web%20services/Environmental%20data%20API).
- Turtiainen, H. 2020. Hydraulic properties of peat and hydrogeochemical characteristics of groundwater and porewater in Viiankiaapa mire. Geotieteiden ja maantieteen osasto, Helsingin yliopisto.
- Tyrväinen, A. 1983. Suomen geologinen kartta 1:100 000: Lehdet 3713 ja 3714: Sodankylän ja Sattasen kartta-alueiden kallioperä [Geological map of Finland 1:100,000, sheets 3713–3714: explanation to the bed rock maps of pre-Quaternary rocks]. Geological Survey of Finland, Espoo, Finland.



N

010002000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	HSA_Layout
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

ITASCA

Sakatti-projektin hydrologinen tutkimusalue

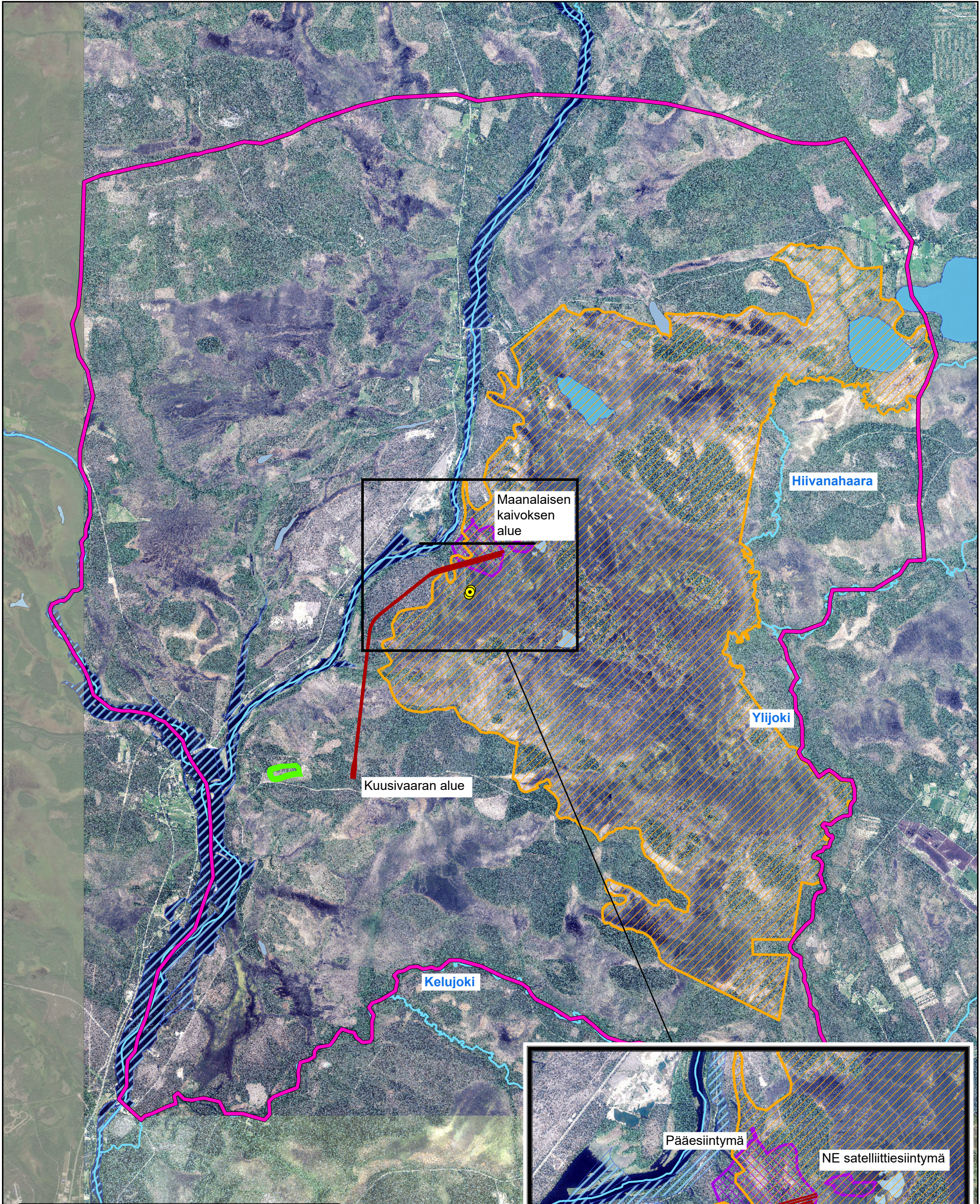
CLIENT:

Sakatti Project

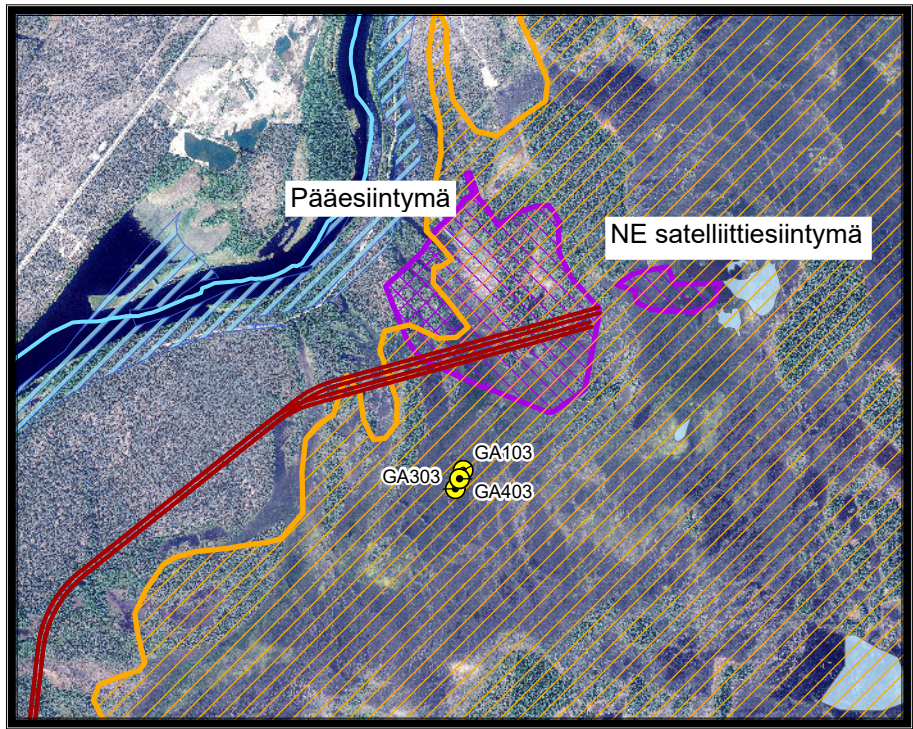
FIGURE NO.

2-1

G:\ARC\GIS\0064_Sakatti\MXD\Working\Sakatti\Sakatti.aprx



- Selite**
- Hydrologinen tutkimusalue
 - Poikkileikkauslinja
 - Vintunnelin alue
 - Tarvekilouhos
 - Viiankiaavan Natura 2000 -alue
 - Maanalaisen kaivoksen alue
 - Joki
 - Kitinen
 - Järvet
 - Lammikot
 - Seuranta-asema



N

0

1000

2000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	V_HSA_Layout
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

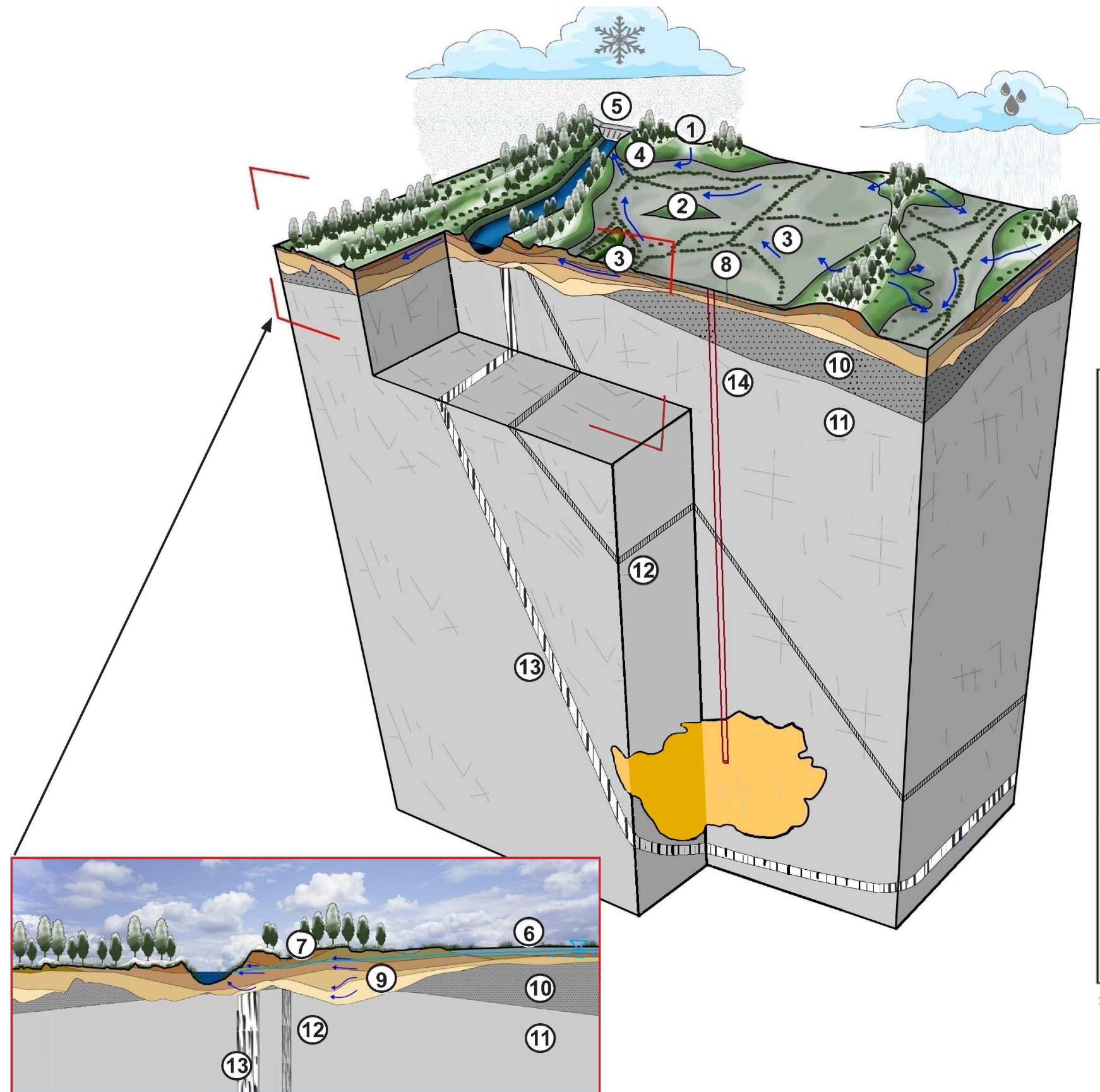
ITASCA

Viiankiaavan suoalue hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Project

FIGURE NO. 2-2

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXD\Working\Sakatti\Sakatti.aprx



SELITE

- Pohjaveden virtausreitti
- Pinnanmuodot
- Viiankiaavan suokompleksi
- Kitinen
- Turve
- Lajittuneet pintakerrostumat
- Ylempi moreeni
- Keskimmäiset hiekat ja sorat
- Alemmat hiekat ja sorat
- Alempi moreeni
- Alimmat hiekat ja sorat
- Rapautunut ja rikkonainen kallio
- Ehjä kallio
- Siirros
- Pohjaruhje
- Esiintymä

1–14 käsitteellisen mallin keskeisimmät rakenneosat

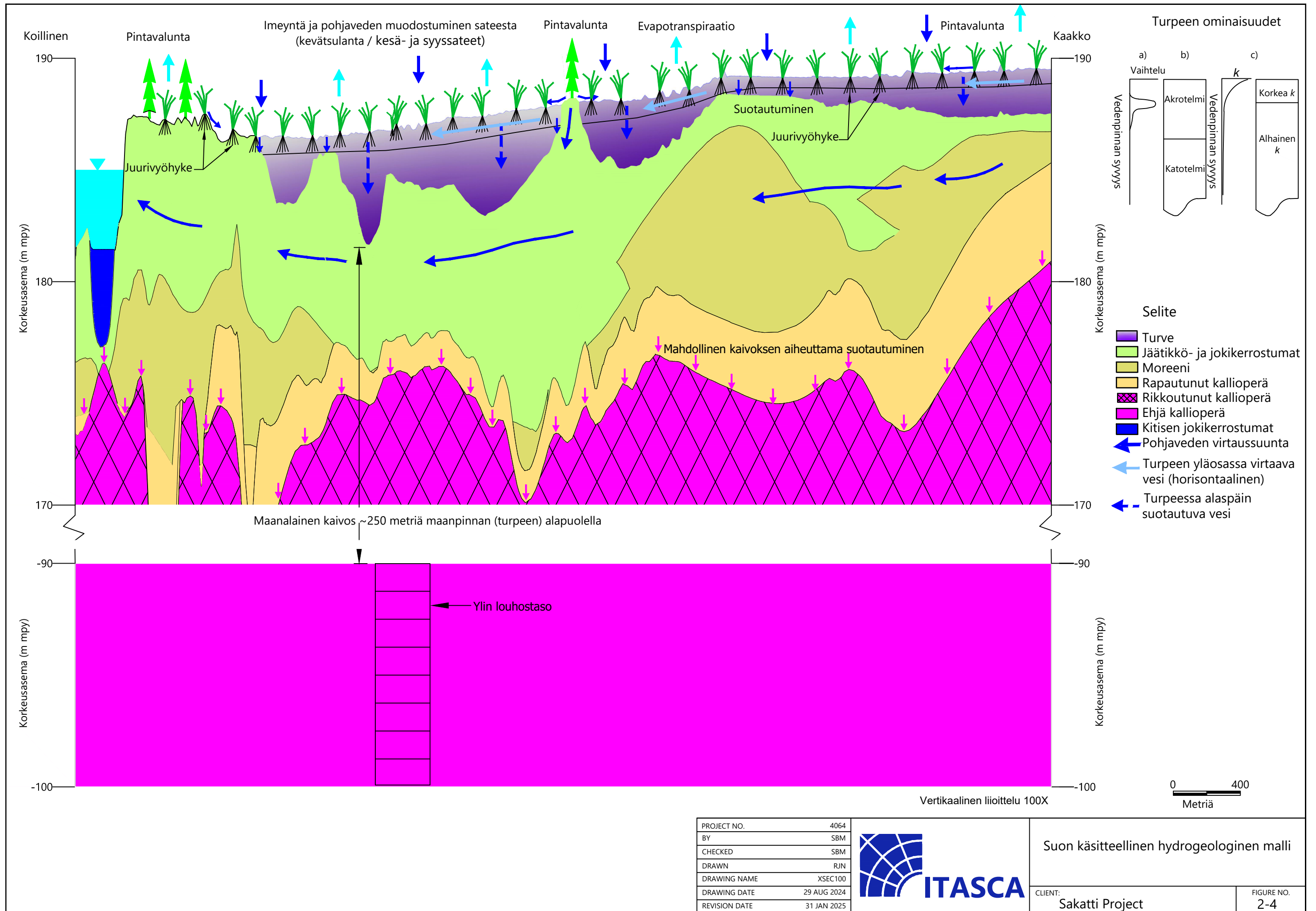
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CONCEPT
DRAWING DATE	30 JAN 2025
REVISION DATE	

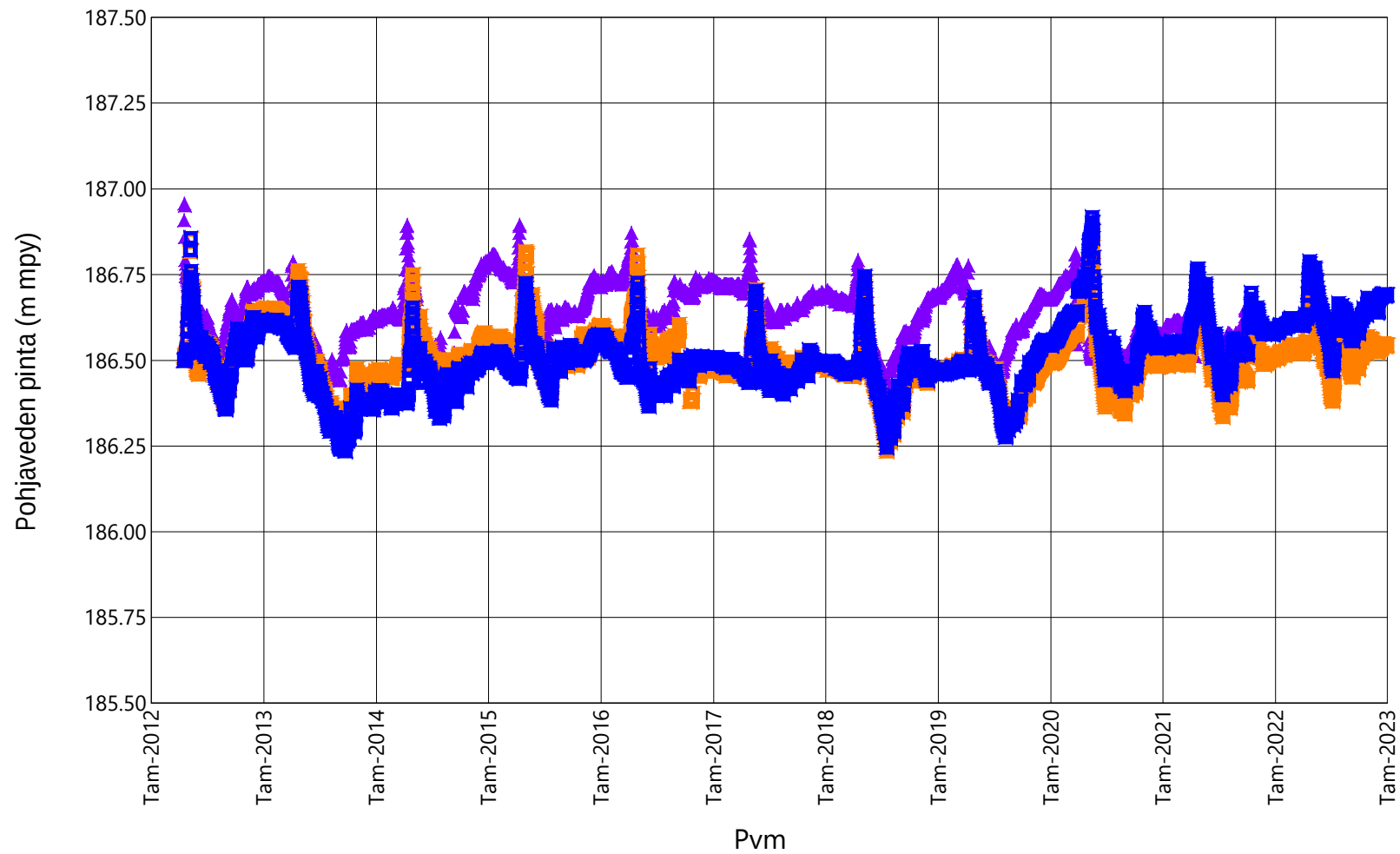


Käsitteellinen hydrogeologinen malli

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
2-3





Huom: Havaintoputkien sijainti on esitetty kuvassa 2-2.

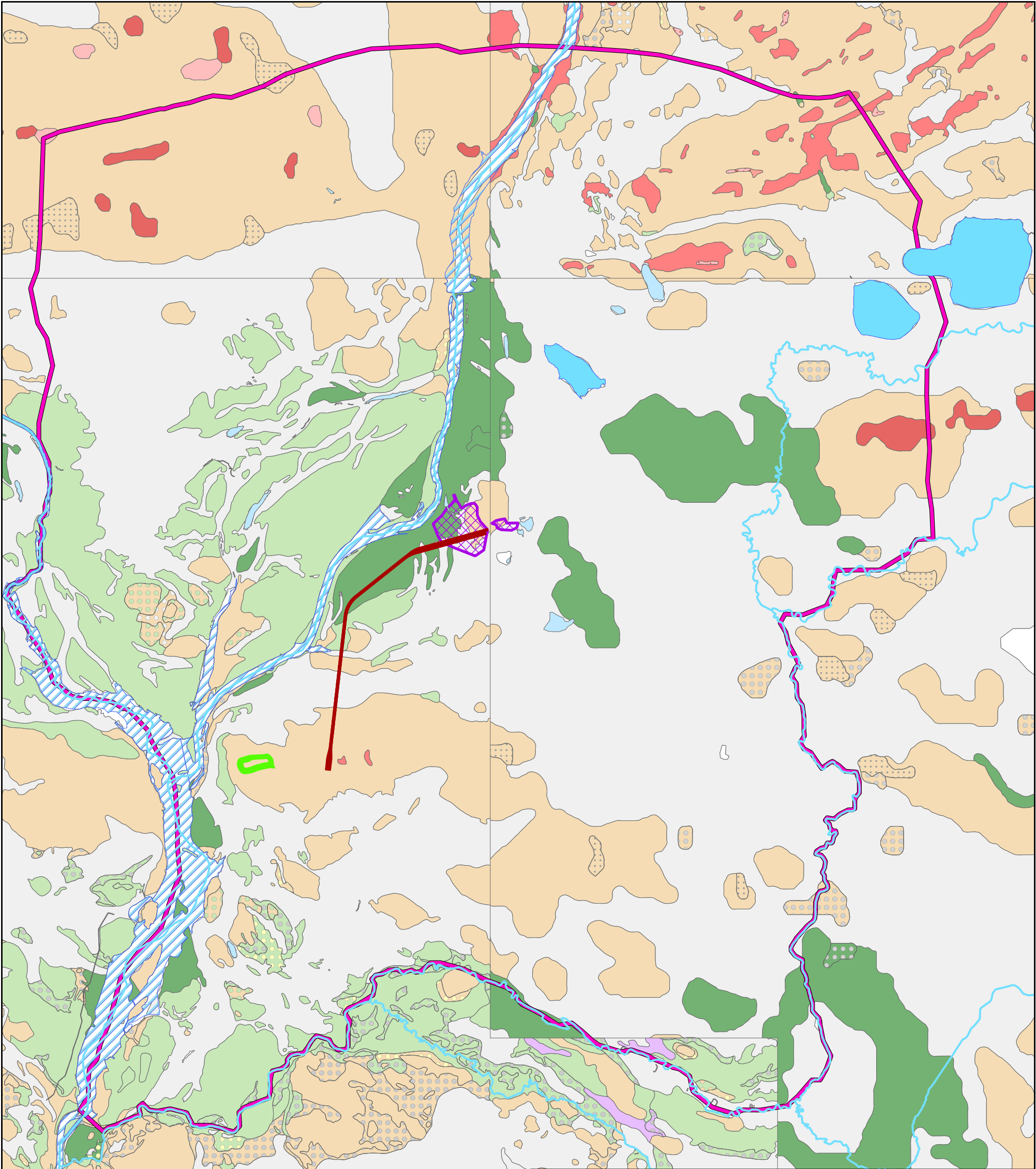
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	EW
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	



Mitatut veden pinnankorkeudet suolla

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
2-5



Selite

- Joki
- Vinotunnelin alue
- Tarvekilouhos
- Kitinen
- Järvet
- Lammet
- 0DDQDODL kaivoksen alue
- Hydrologinen tutkimusalue

Pohjamaa

- Avokallio (kallio pinnassa, paljastuma)
- Rapautunut kallio (RpKa)
- 6RUD 6U
- 0RUHHQLW KLNNDPRUHHQL GLDP
- Hiekka (Hk)
- Siltti (Si)
- Turve (rahkaturve, saraturve, paksu turve)

Pintamaa

- Soistuma (<0,3 m)
- Ohutturpeinen alue (0,3-0,6 m)

Huom. Pintamaalajien kartta perustuu Geologian tutkimuskeskuksen 20:000, 50:000, 200:000 aineistoihin (2022)



0 1000 2000 Metriä

PROJECT NO.	4064
% <	SBM
& + (& . (')	HL
DRAWN	NP
' 5 \$: , 1 * 1 \$ 0 (	Sakatti
' 5 \$: , 1 * ' \$ 7 (	\$ S U
5 (9 , 6 , 2 1 ' \$ 7 (	Aug. 12, 2024



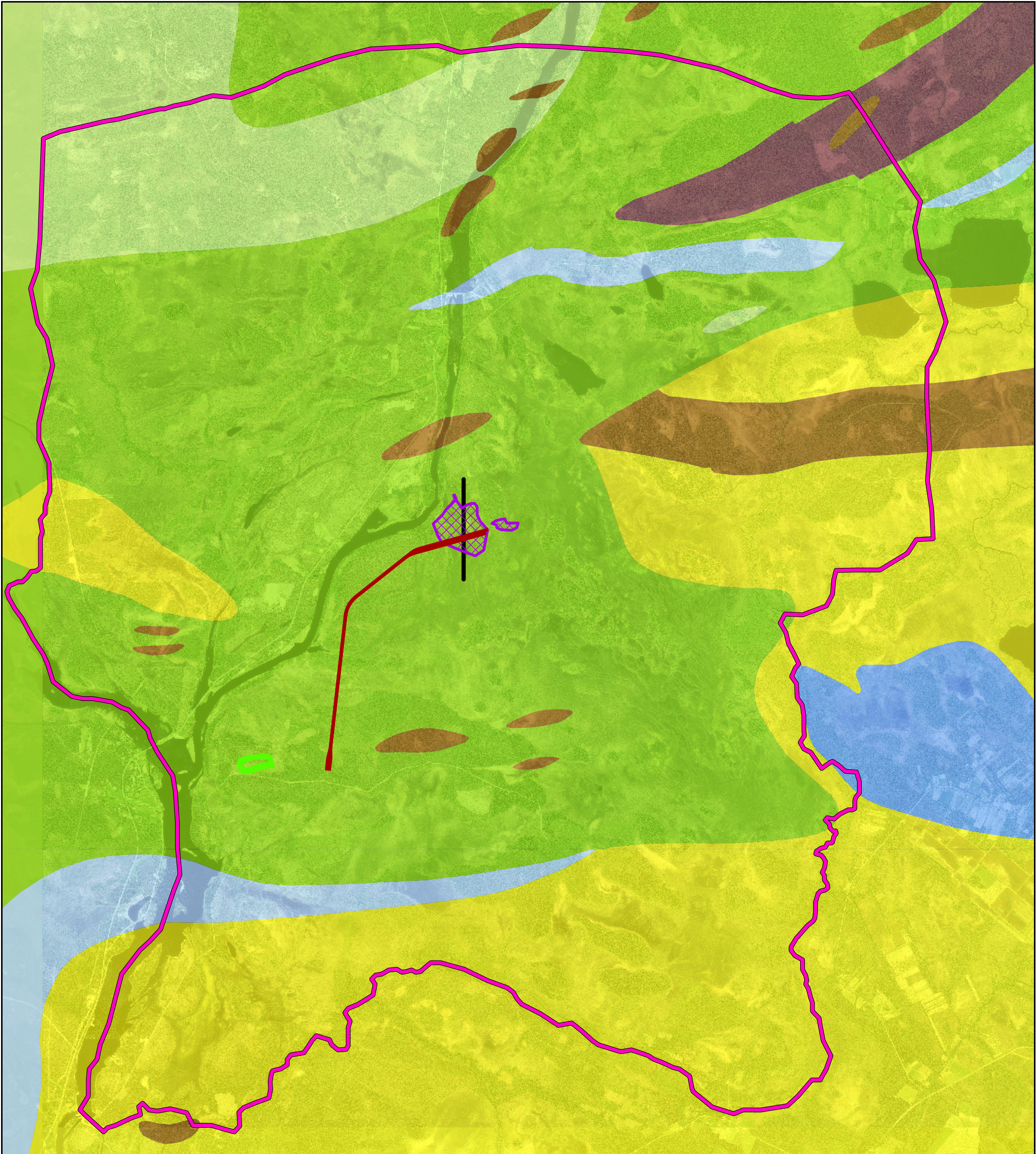
Pintamaalajit hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT:

Sakatti Project

FIGURE NO.

3-1



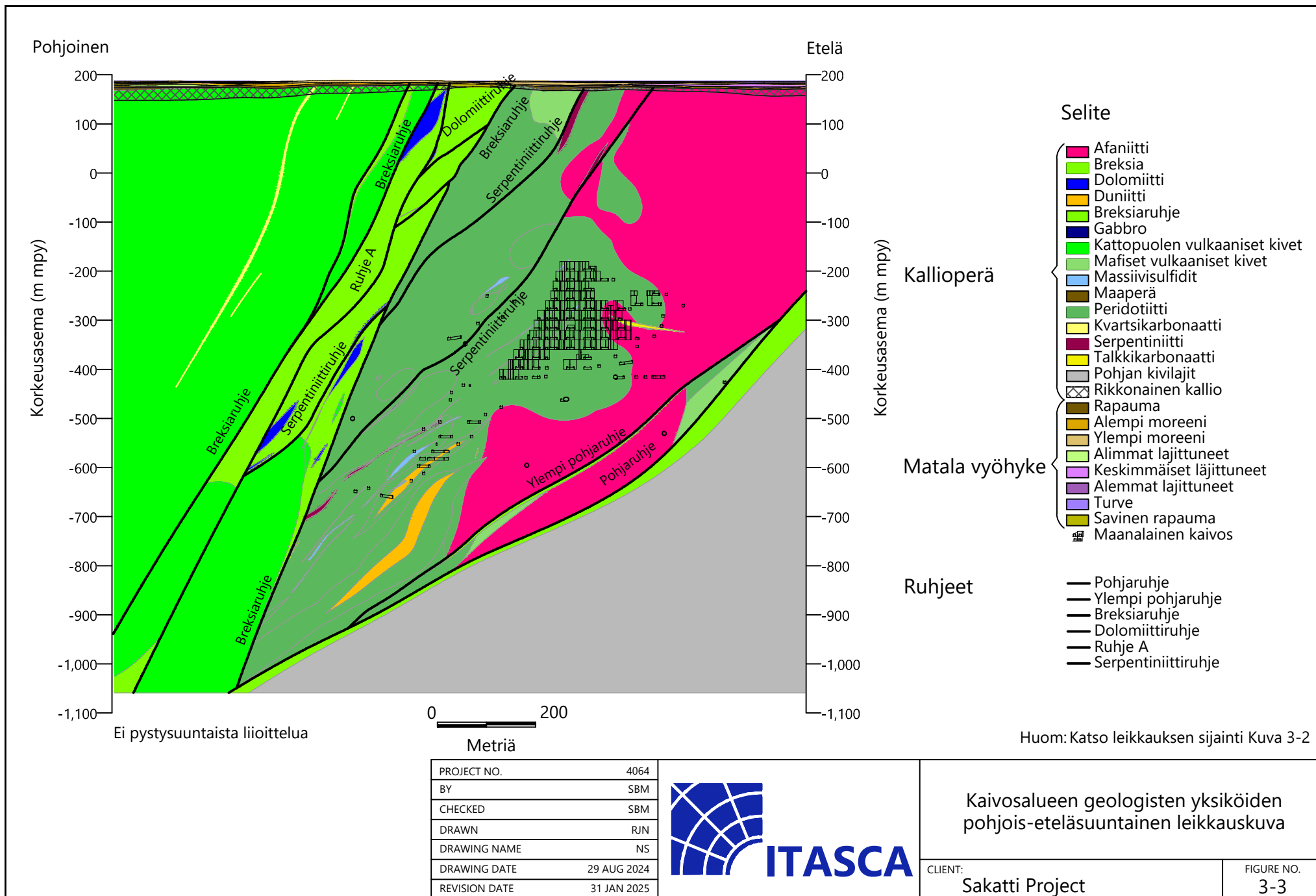
Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Tarvekivilouhos
- Maanalaisen kaivoksen alue
- Geologisen leikkauksen linja

Kivilajit

Kvartsiitti	} Alempi Sodankylä-ryhmä
Kiilleliuske	
Gneissi	
Ultramafinen vulkaniitti	} Ylempi Savukoski-ryhmä
Mafinen vulkaniitti	
Peridotiitit	
Gabro	

N  010002000 Metriä	PROJECT NO.	4064		Geologinen kartta hydrologisen tutkimusalueen kallioperäyksiköistä	
	BY	SBM			
	CHECKED	HL		CLIENT: Sakatti Project	FIGURE NO. 3-2
	DRAWN	NP			
	DRAWING NAME	Geology			
	DRAWING DATE	Apr. 25, 2022			
	REVISION DATE	Aug. 30, 2024			





N

010002000

Metriä

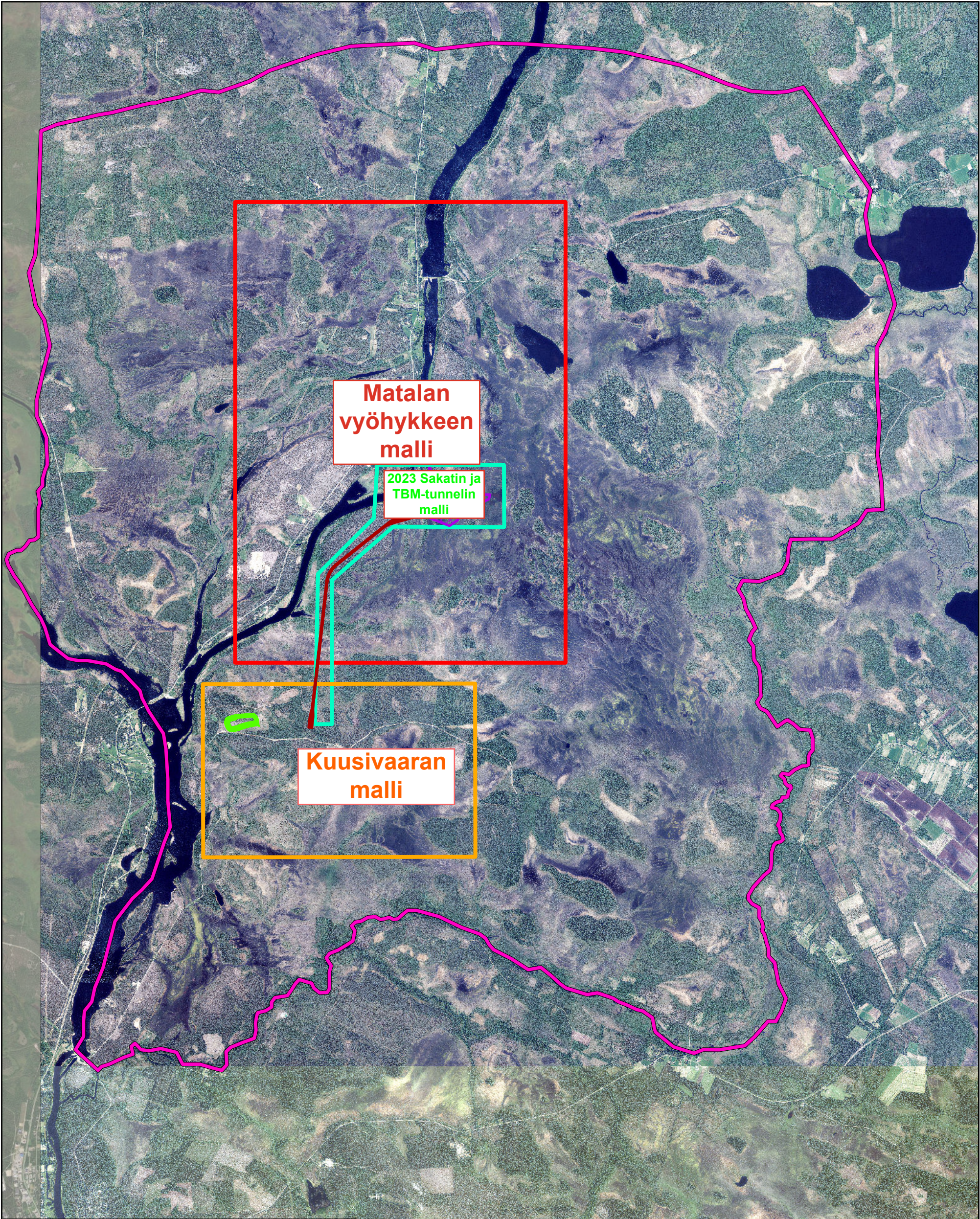
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	FaultStr
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

Paikalliset ja alueelliset ruhjeet hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Project

FIGURE NO. 3-4

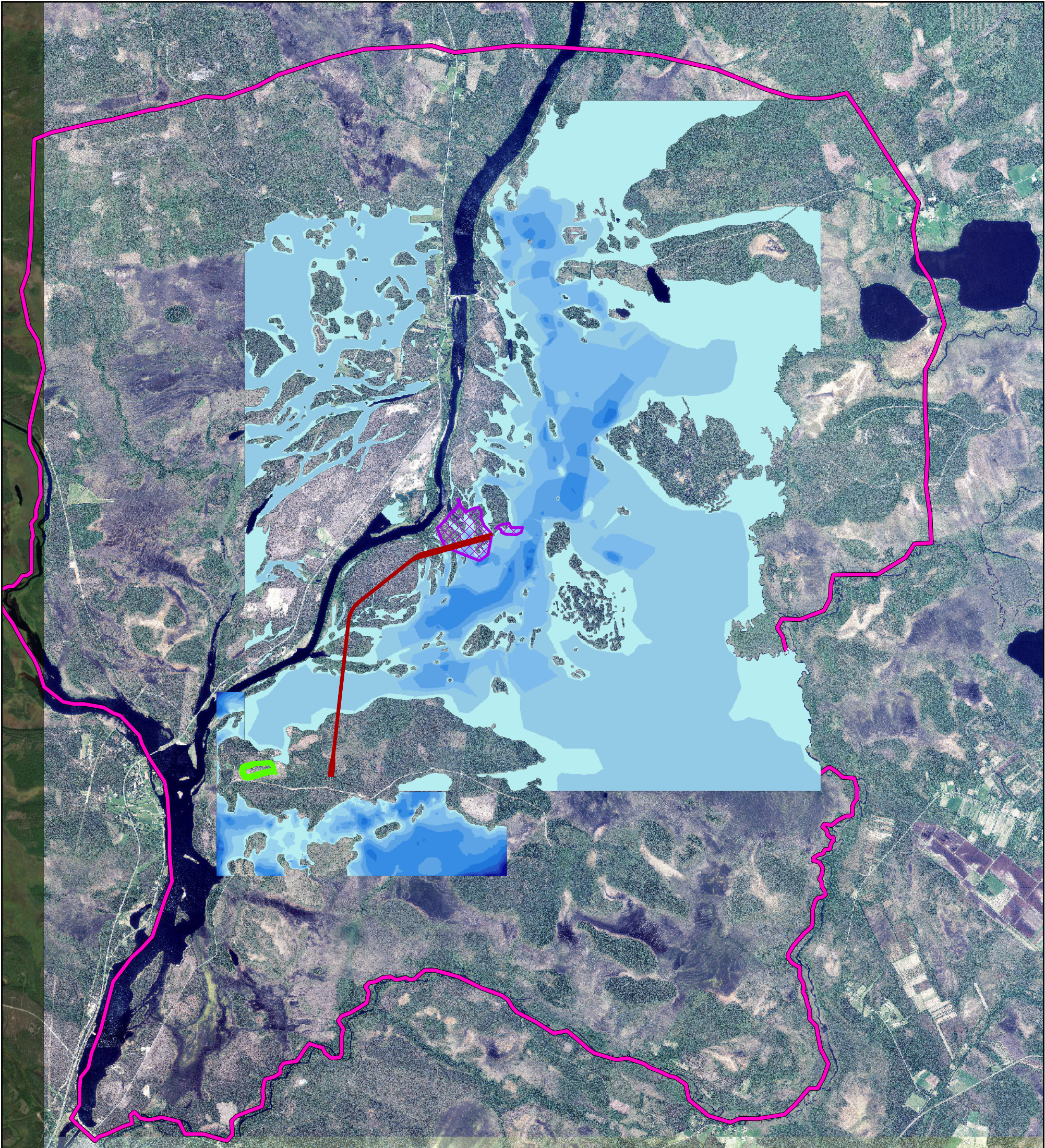
S:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\Sakatti\Sakatti.aprx



Selite

- Vinotunnelin alue
- Tarvekilouhos
- Maanalaisen kaivoksen alue
- Geologisten mallien alueet**
- Matalan vyöhykkeen malli
- 2023 Sakatin ja TBM-tunnelin malli
- Kuusivaaran malli
- Hydrologinen tutkimusalue

 0 1000 2000 Metriä	PROJECT NO.	4064		Geologisten lohkomallien laajuus hydrologisella tutkimusalueella	
	BY	SBM			
	CHECKED	HL		CLIENT: Sakatti Project	FIGURE NO. 3-5
	DRAWN	NP			
	DRAWING NAME	GeoModels			
	DRAWING DATE	Apr. 25, 2022			
	REVISION DATE	Aug. 30, 2024			



Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Tarvekilouhos
- Maanalaisen kaivoksen alue

Turpeen paksuus (m)

- <0.1 - 1
- 1.01 - 2
- 2.01 - 3
- 3.01 - 4
- 4.01 - 5
- 5.01 - 6
- 6.01 - 7
- 7.01 - 8
- 8.01 - 9
- 9.01 - 11.1

N

010002000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Sakatti
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Oct. 02, 2024

ITASCA

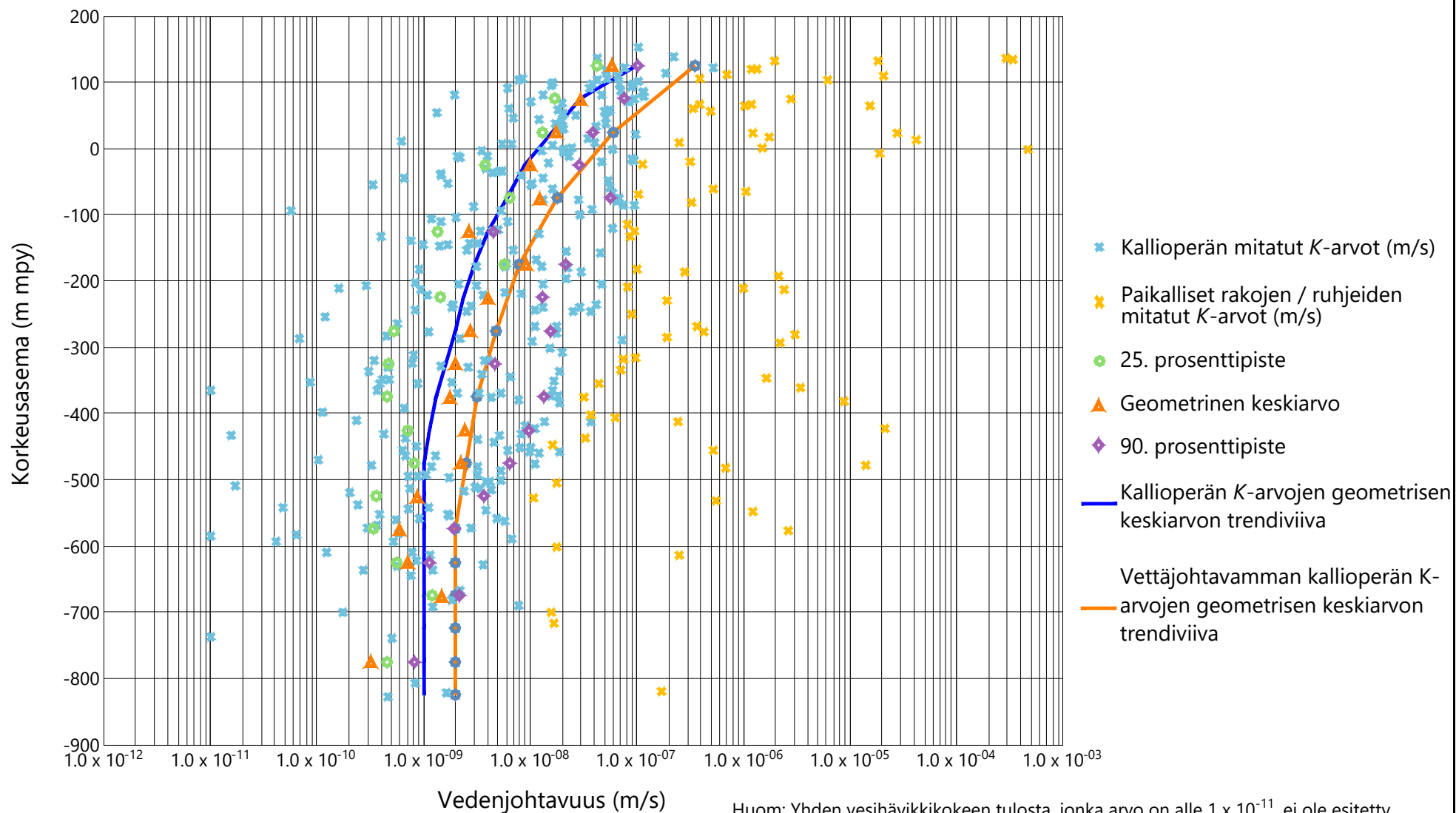
Turvekerroksen arvioitu paksuus hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Project

FIGURE NO.

3-6

G:\ARCGIS\R064_Sakatti\MXD\Working\Sakatti\Sakatti.aprx



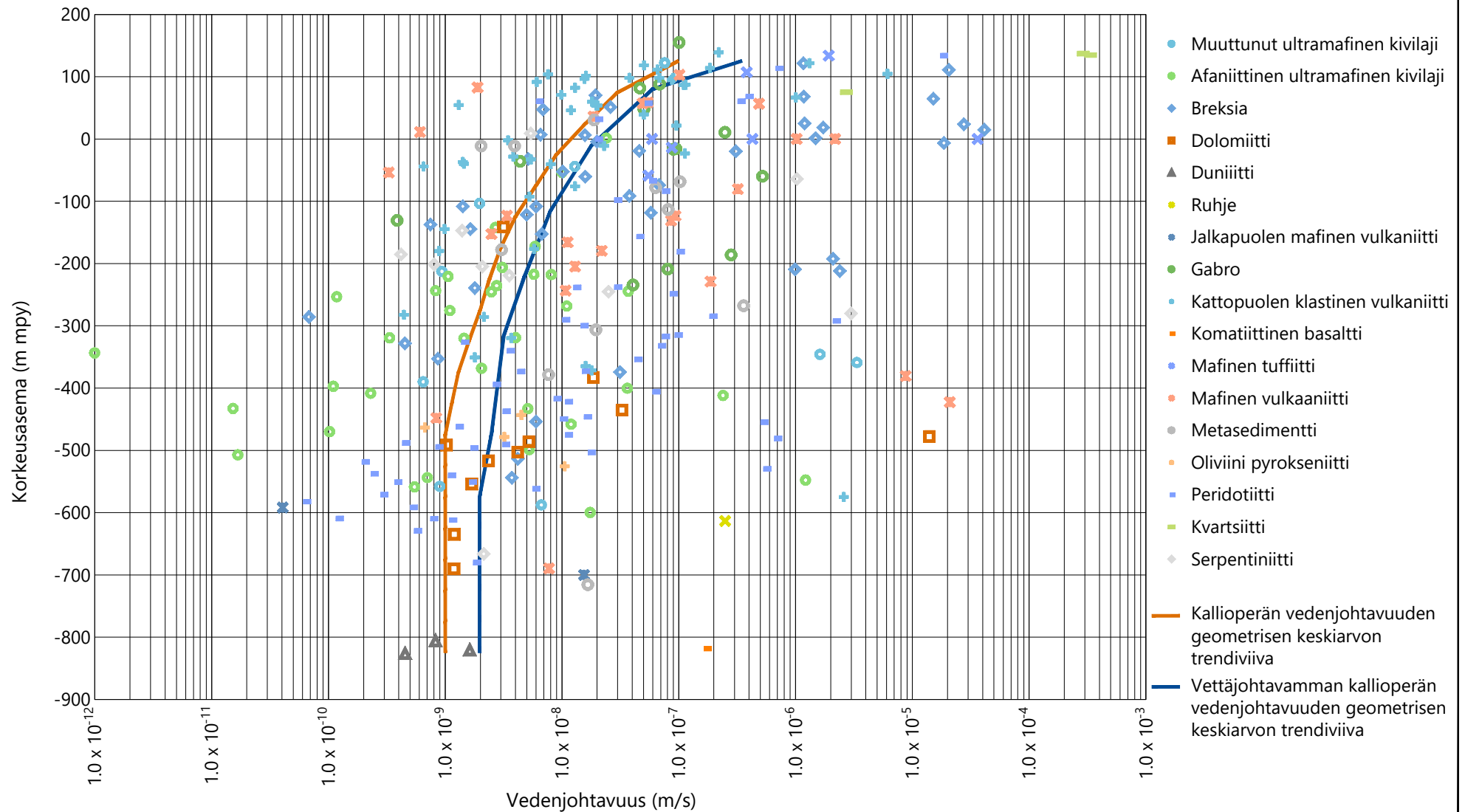
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	GEO
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Vesihäikkikokeilla mitatut
vedenjohtavuudet

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-7



PROJECT NO.	
BY	6 % 0
& + (& . (')	6 % 0
' 5 \$: 1	5 - 1
' 5 \$: , 1 * 1 \$ 0 (	3 \$ & . (\$
' 5 \$: , 1 * ' \$ 7 (	\$ 8 *
5 (9 , 6 , 2 1 ' \$ 7 (	6 (3



Vesihävikkikokeilla mitatut
vedenjohtavuudet kivilajeittain
esitettyinä

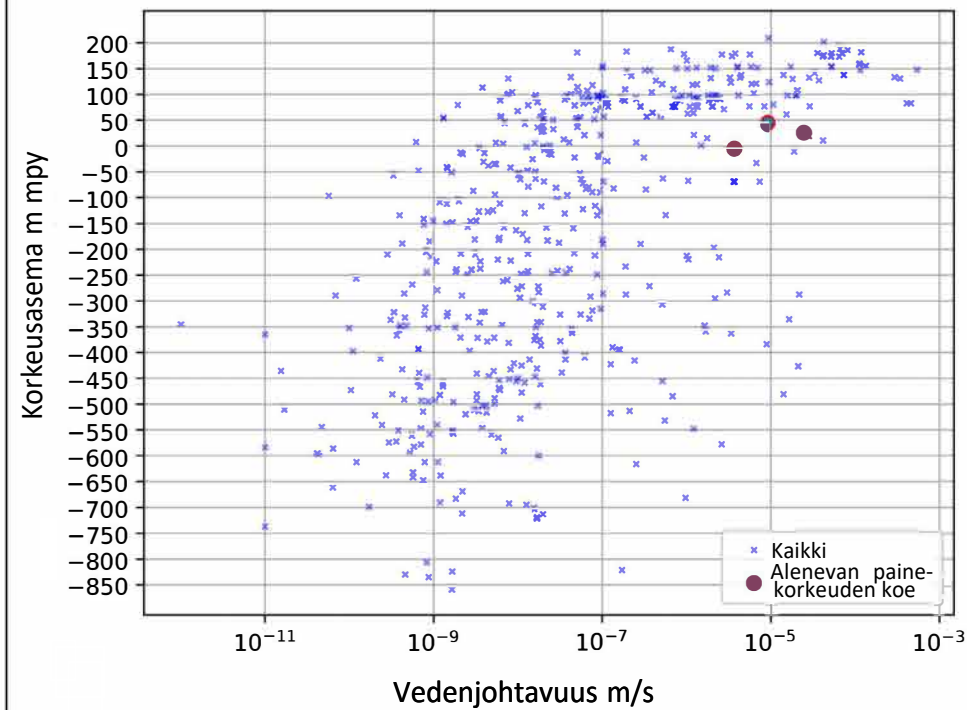
& / , (1 7

Sakatti Project

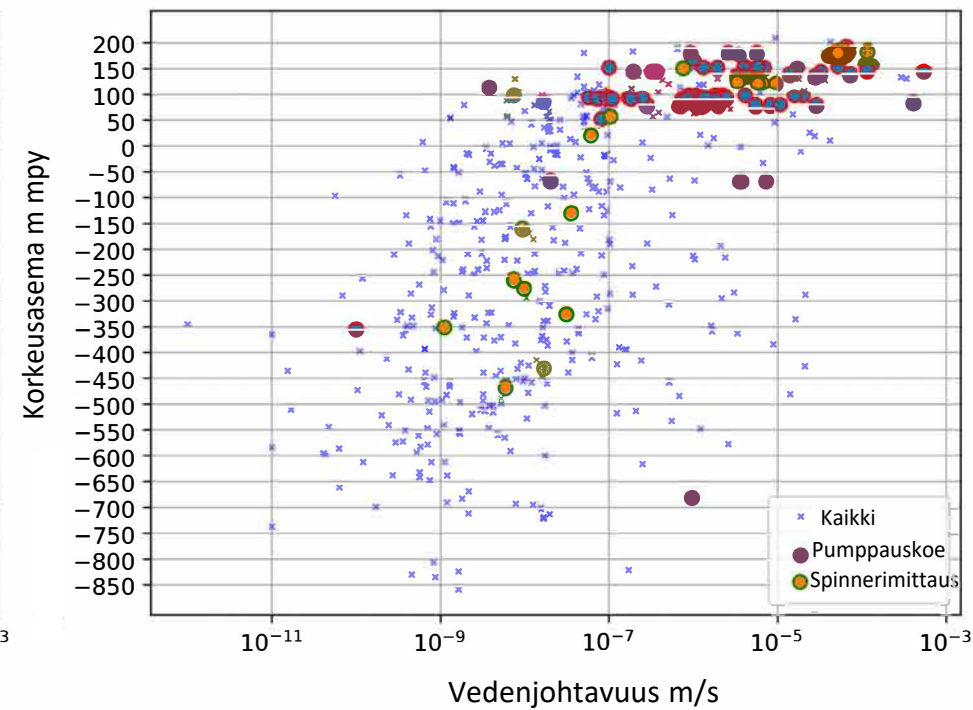
FIGURE NO.

3-8

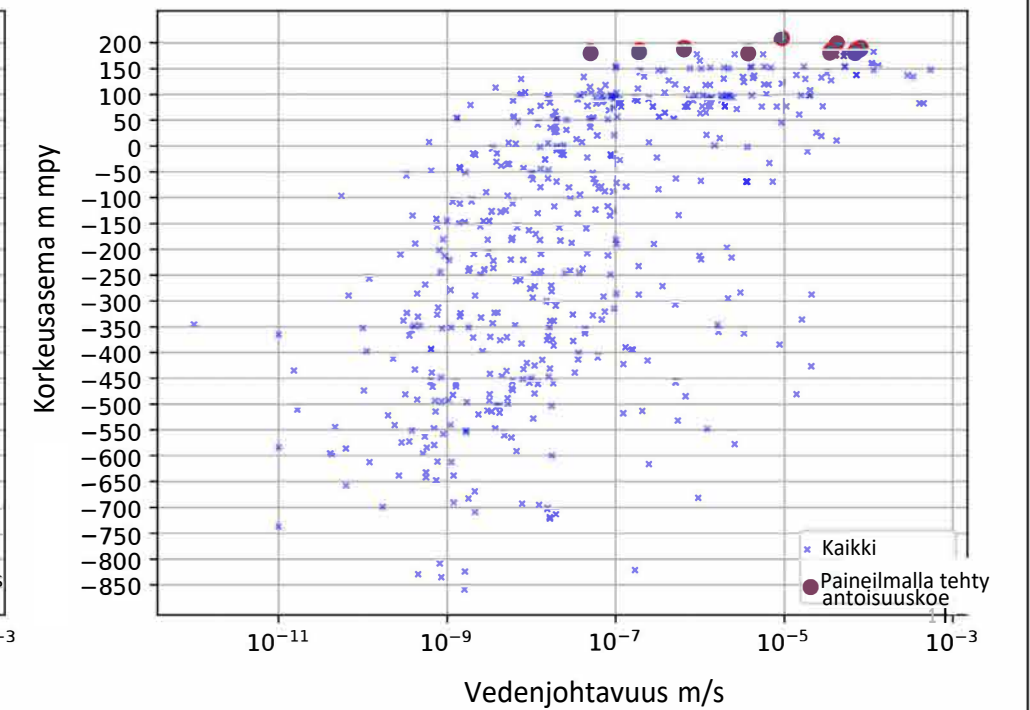
a) Alenevan painekorkeuden kokeilla mitatut vedenjohtavuudet



b) Pumppauskokeilla mitatut vedenjohtavuudet



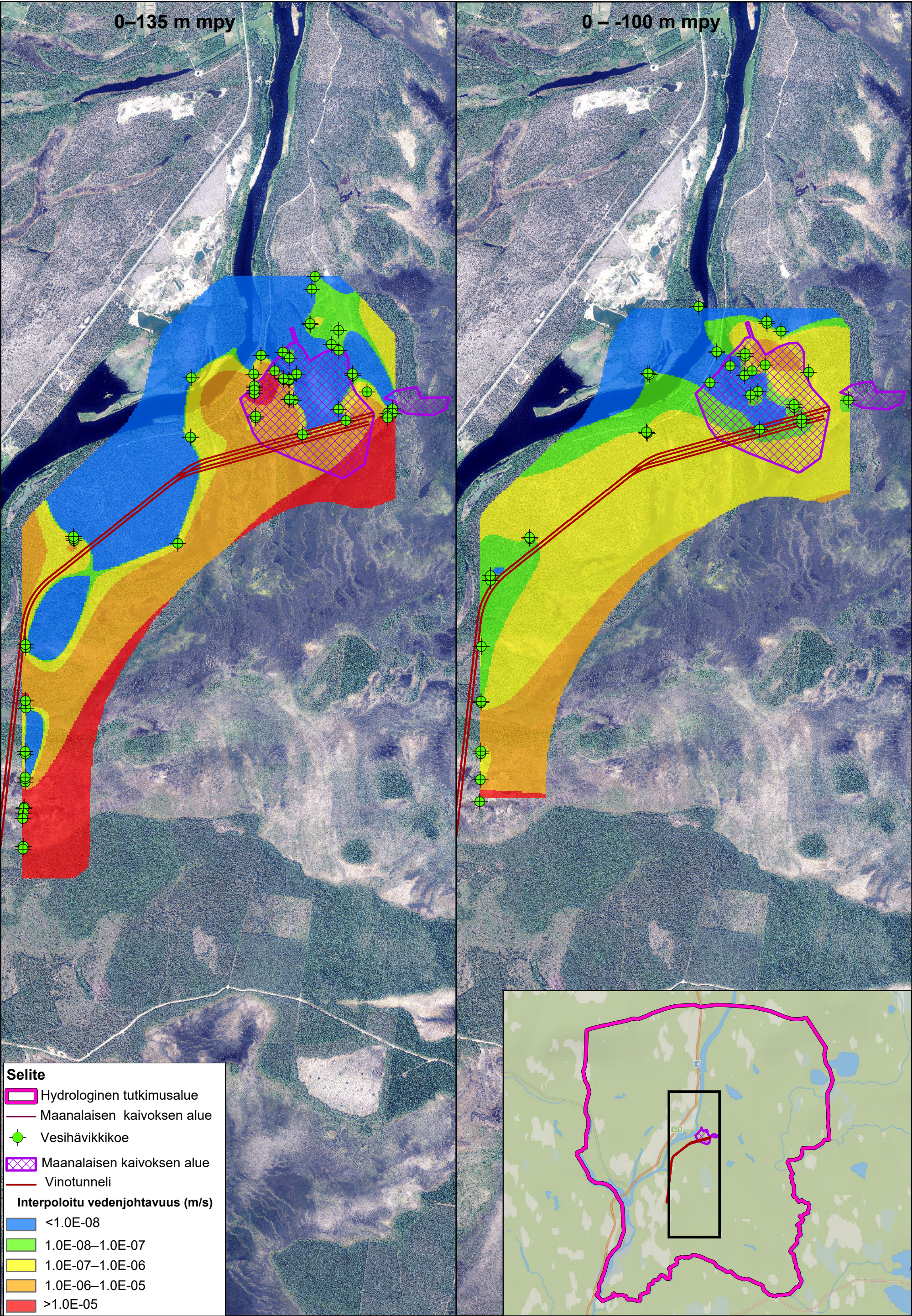
c) Spinnerimittauksilla mitatut vedenjohtavuudet

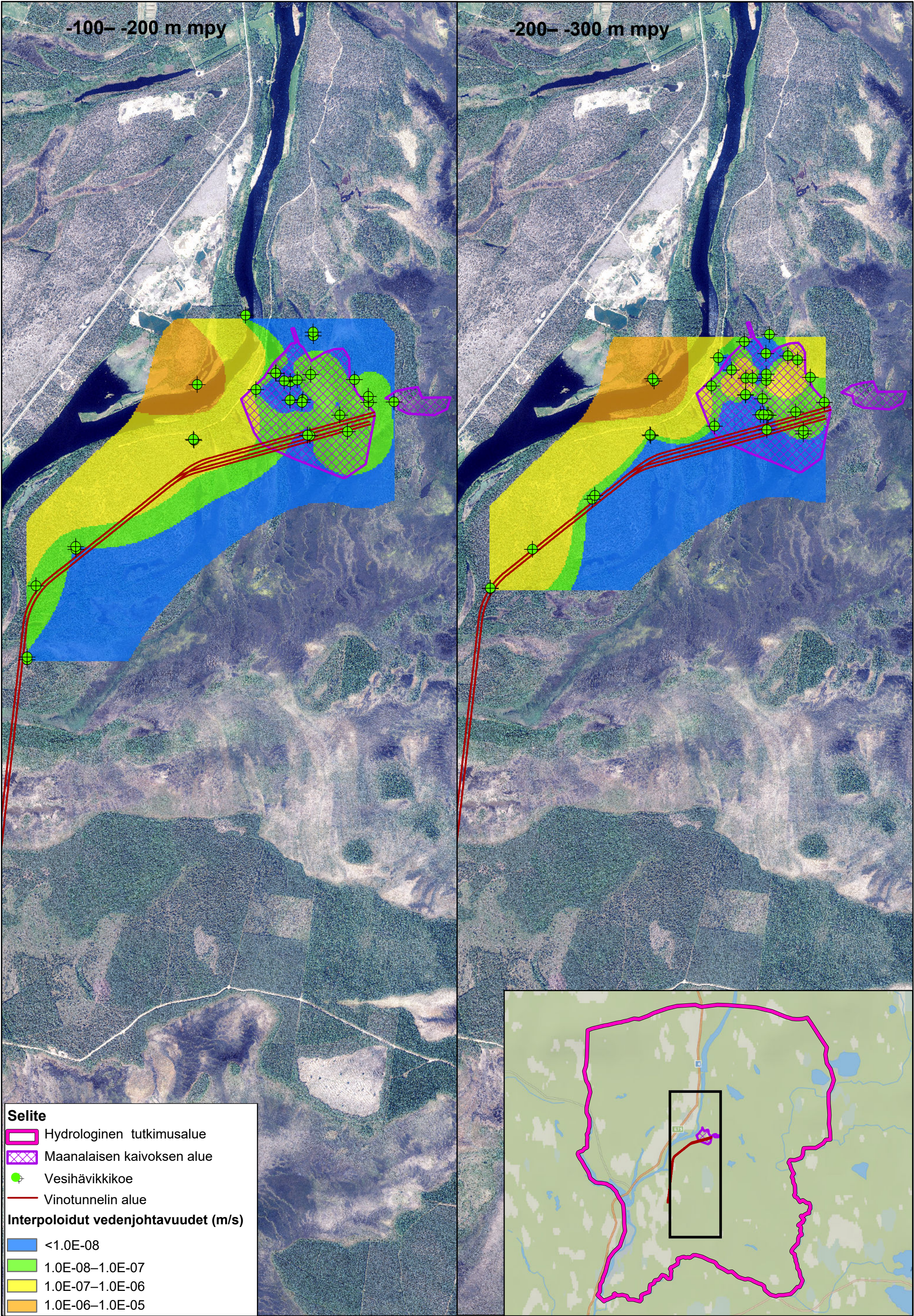


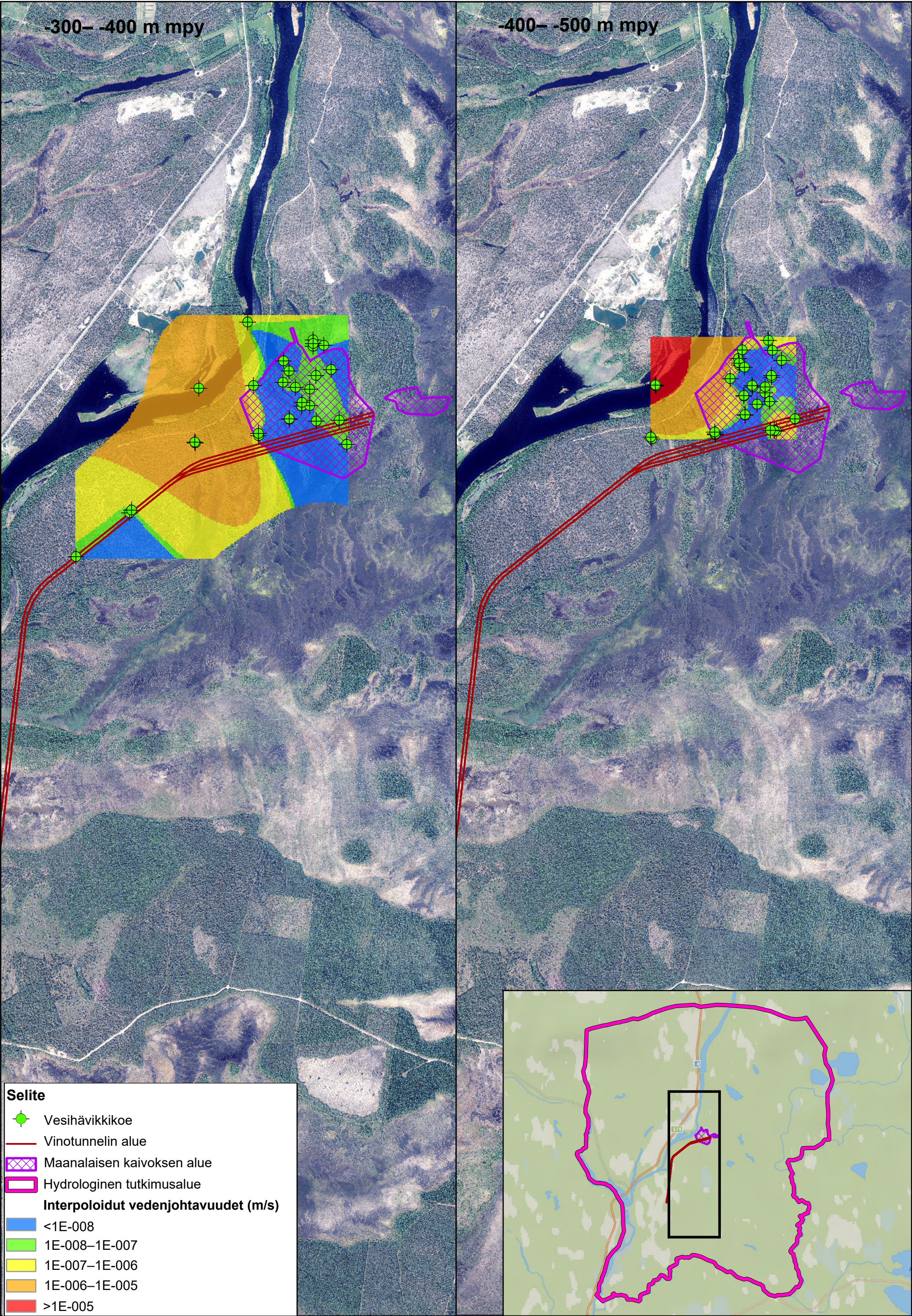
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	TESTS
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	

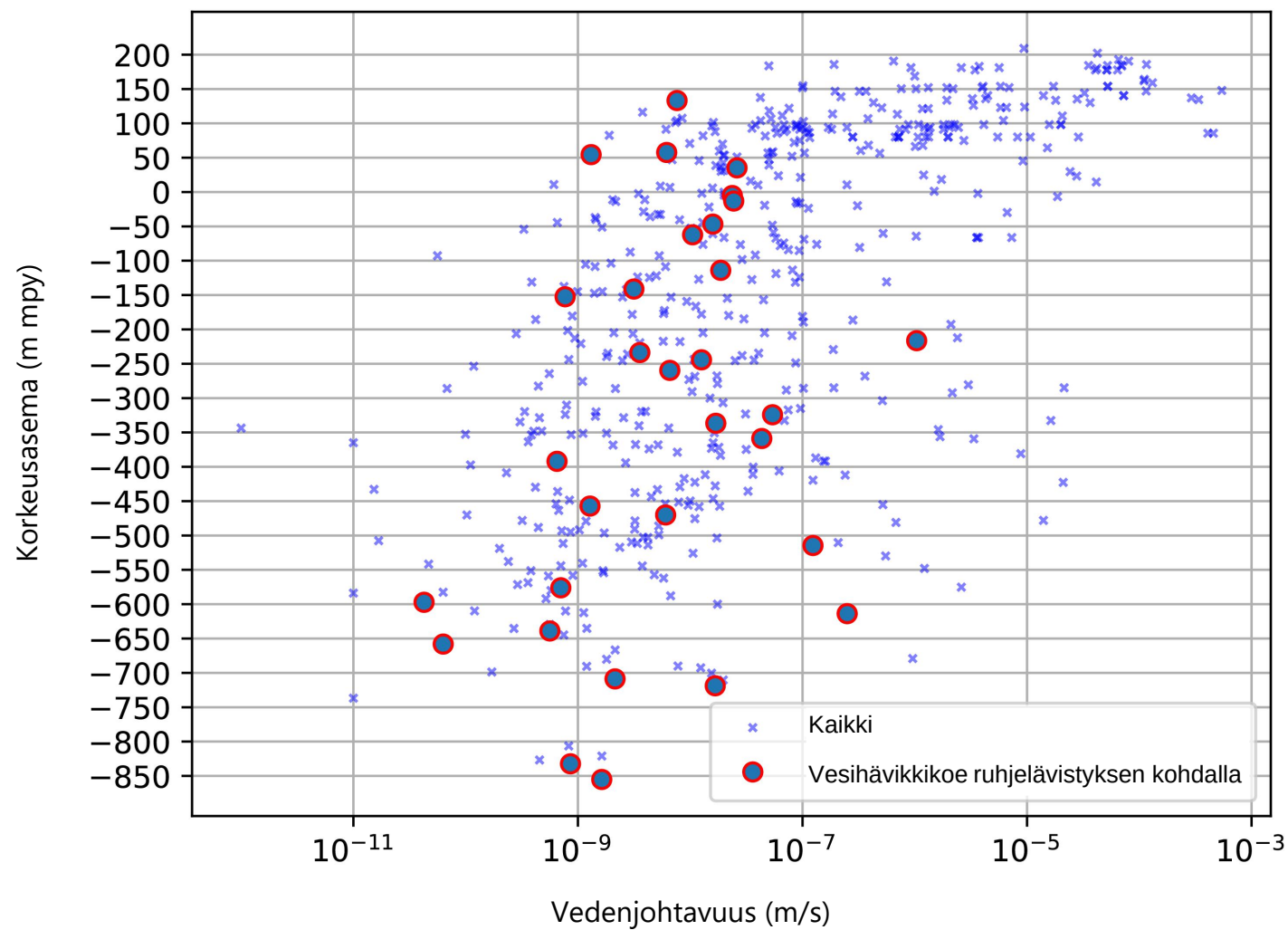


Mitatut vedenjohtavuudet pumppaus-, spinner- ja muuttuvan painekorkeuden testeistä verrattuna vesihävikkikokeiden tuloksiin	
CLIENT: Sakatti Project	FIGURE NO. 3-9









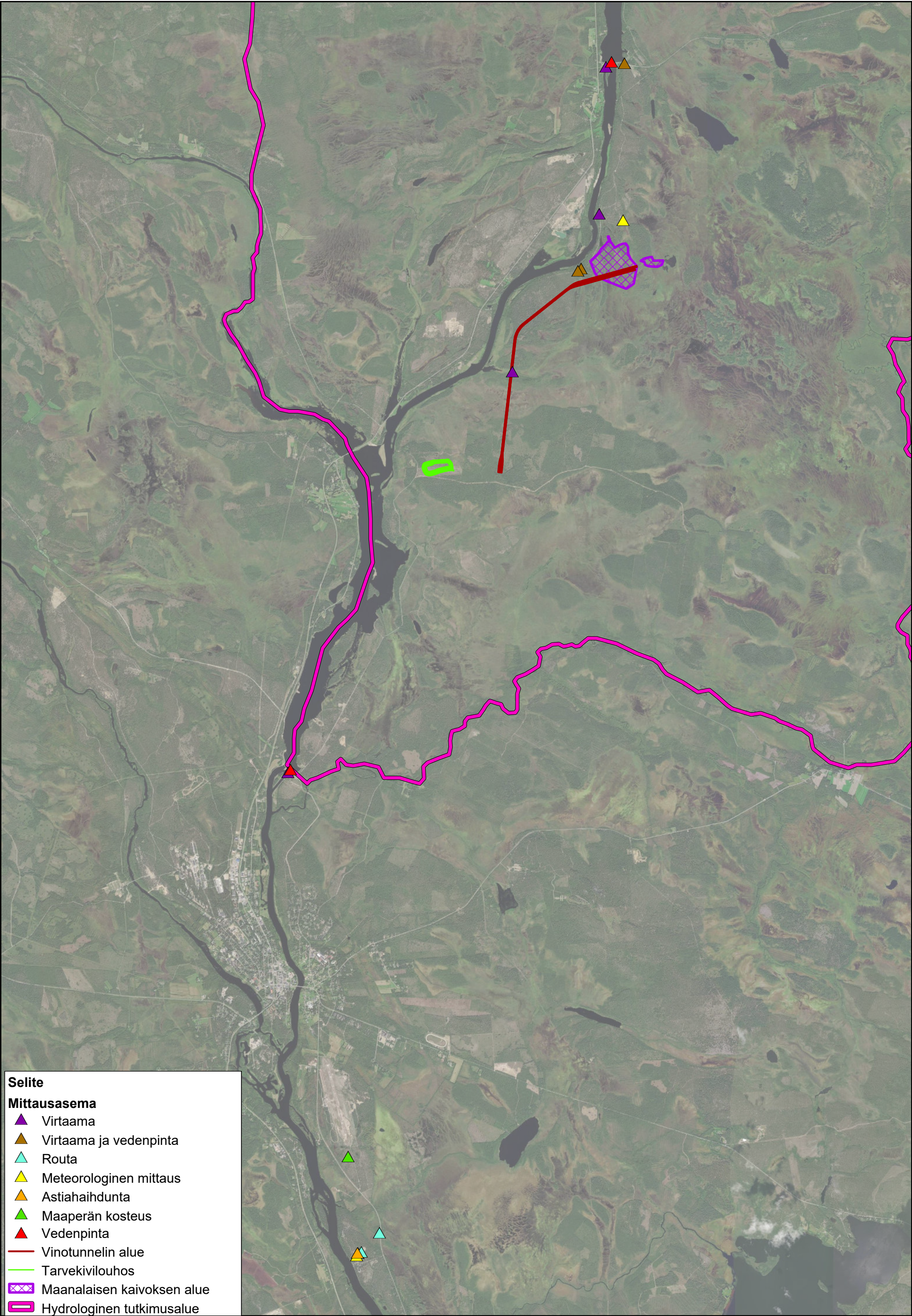
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	FAULT
DRAWING DATE	22 AUG 2024
REVISION DATE	



Ruhjeiden vesihävikikokeilla
mitatut vedenjohtavuudet

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-13



Selite

Mittausasema

Virtaama

Virtaama ja vedenpinta

Routa

Meteorologinen mittaus

Astiahaidunta

Maaperän kosteus

Vedenpinta

Vinotunnelin alue

Tarvekilouhos

Maanalaisen kaivoksen alue

Hydrologinen tutkimusalue

N

0

1000

2000

Metriä

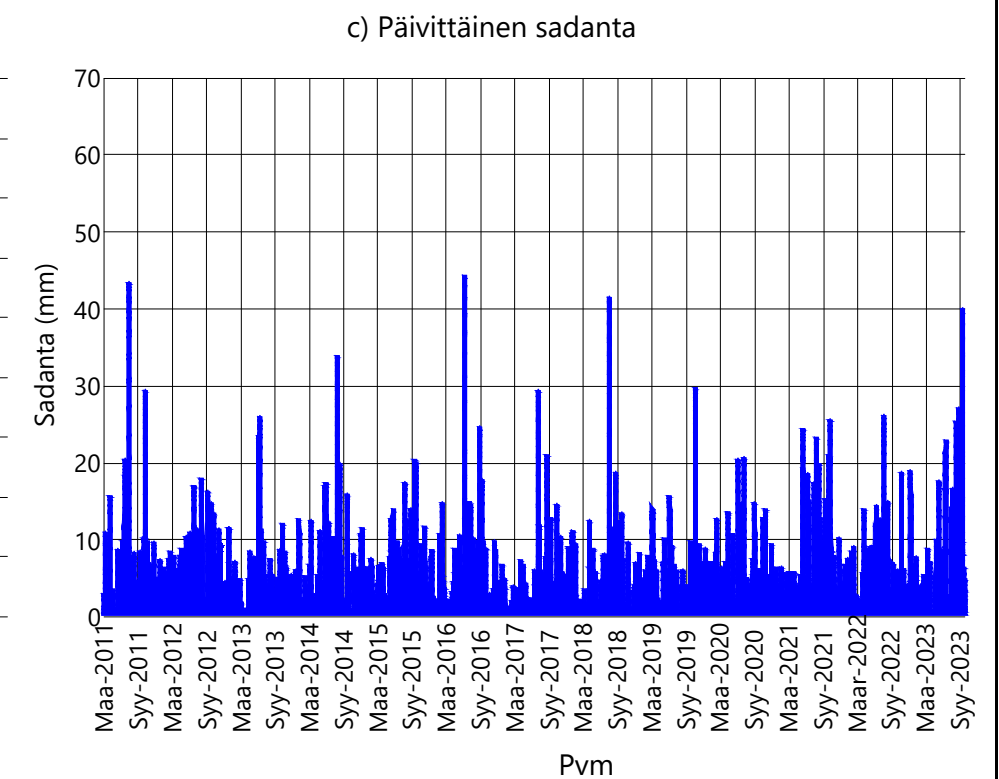
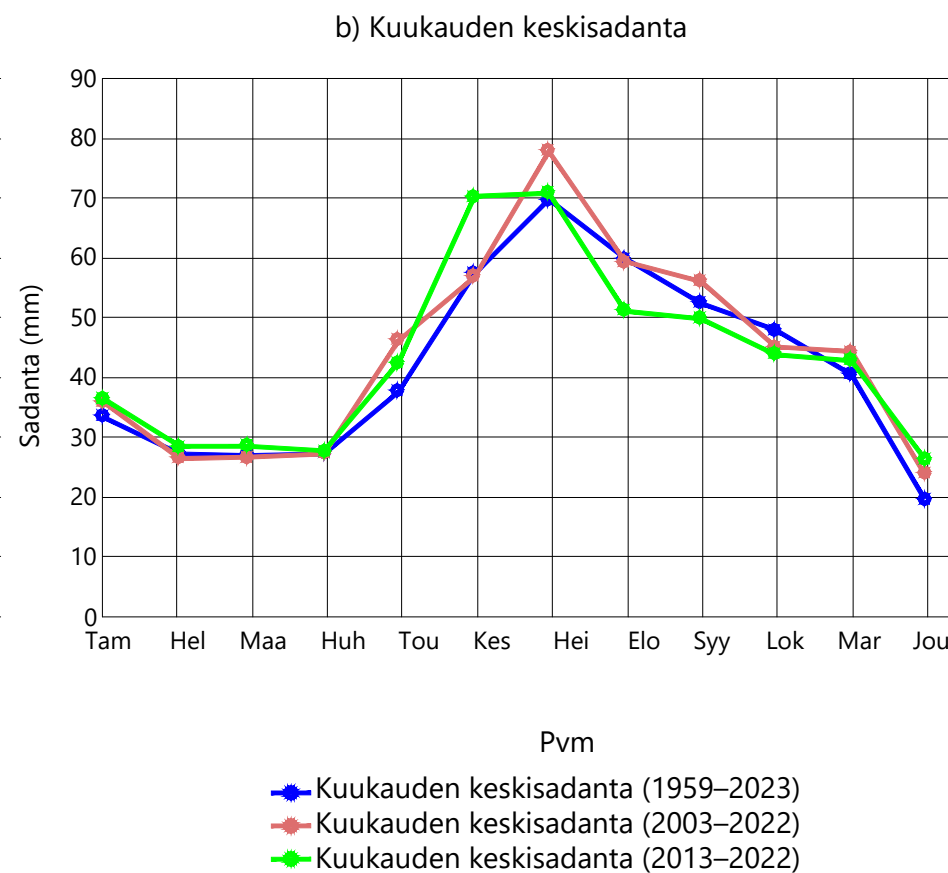
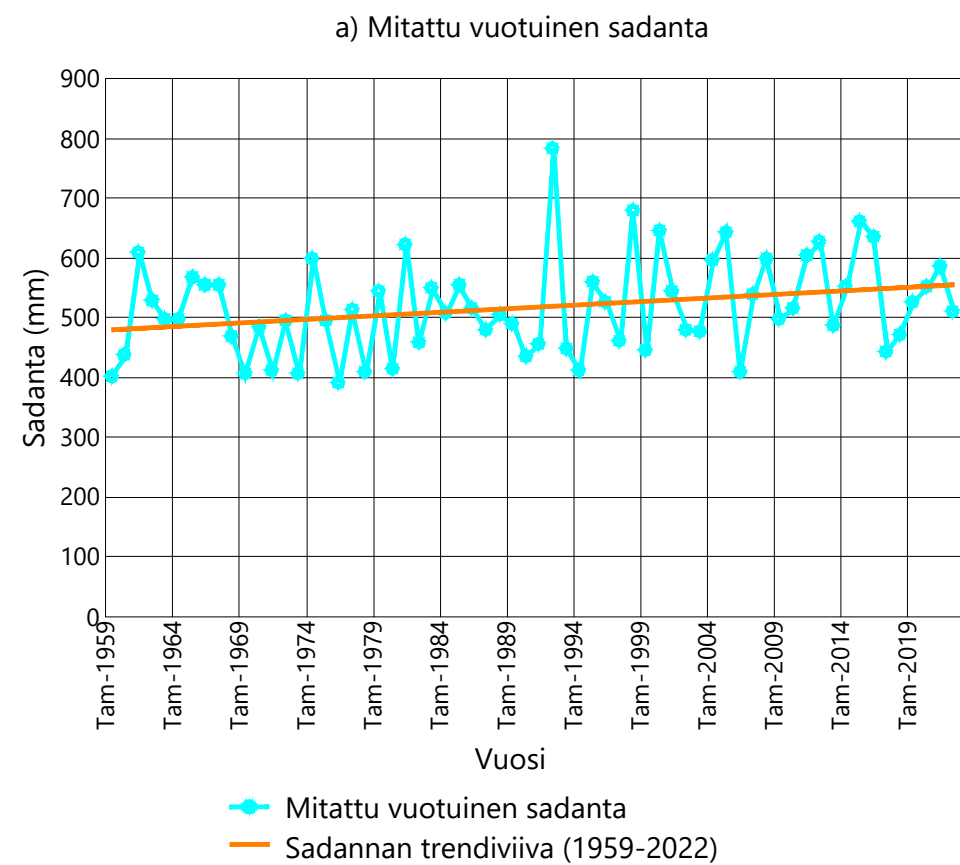
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Sakatti
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 12, 2024



Meteorologisten ja hydrologisten
mittausasemien sijainti

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-14



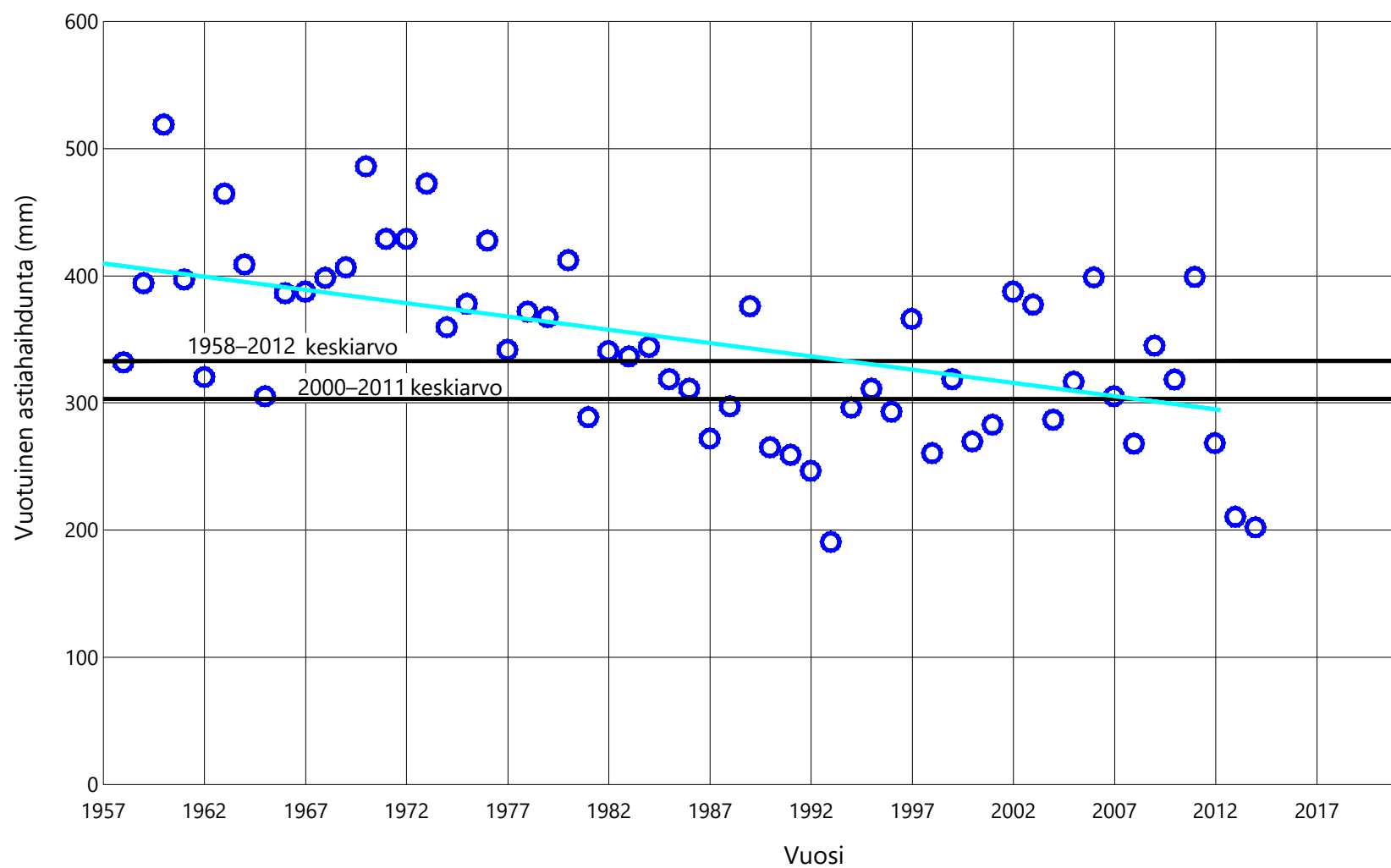
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRECIP
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Sodankylän Tähtelän sääasemalla mitatut vuosittaiset, kuukausittaiset ja päivittäiset sademäärät

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-15



— Laskettu astiahaihdunnan keskiarvo — Mitatun astiahaihduntadatan trendiviiva ○ Mitattu astiahaihdunta

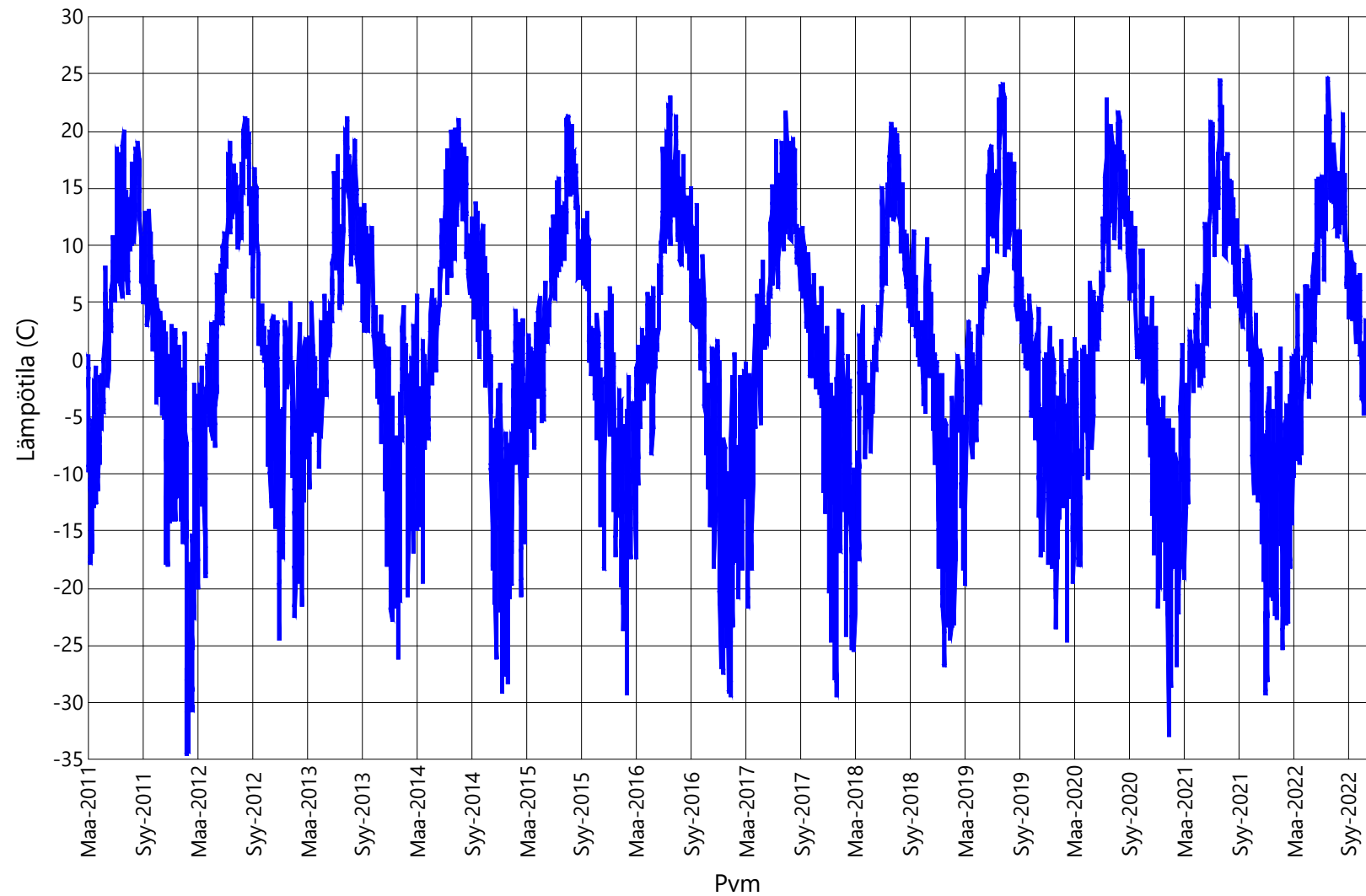
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PAN
DRAWING DATE	22 AUG 2024
REVISION DATE	



Sodankylän Tähtelän sääasemalla
mitattu astiahaihdunta

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-16



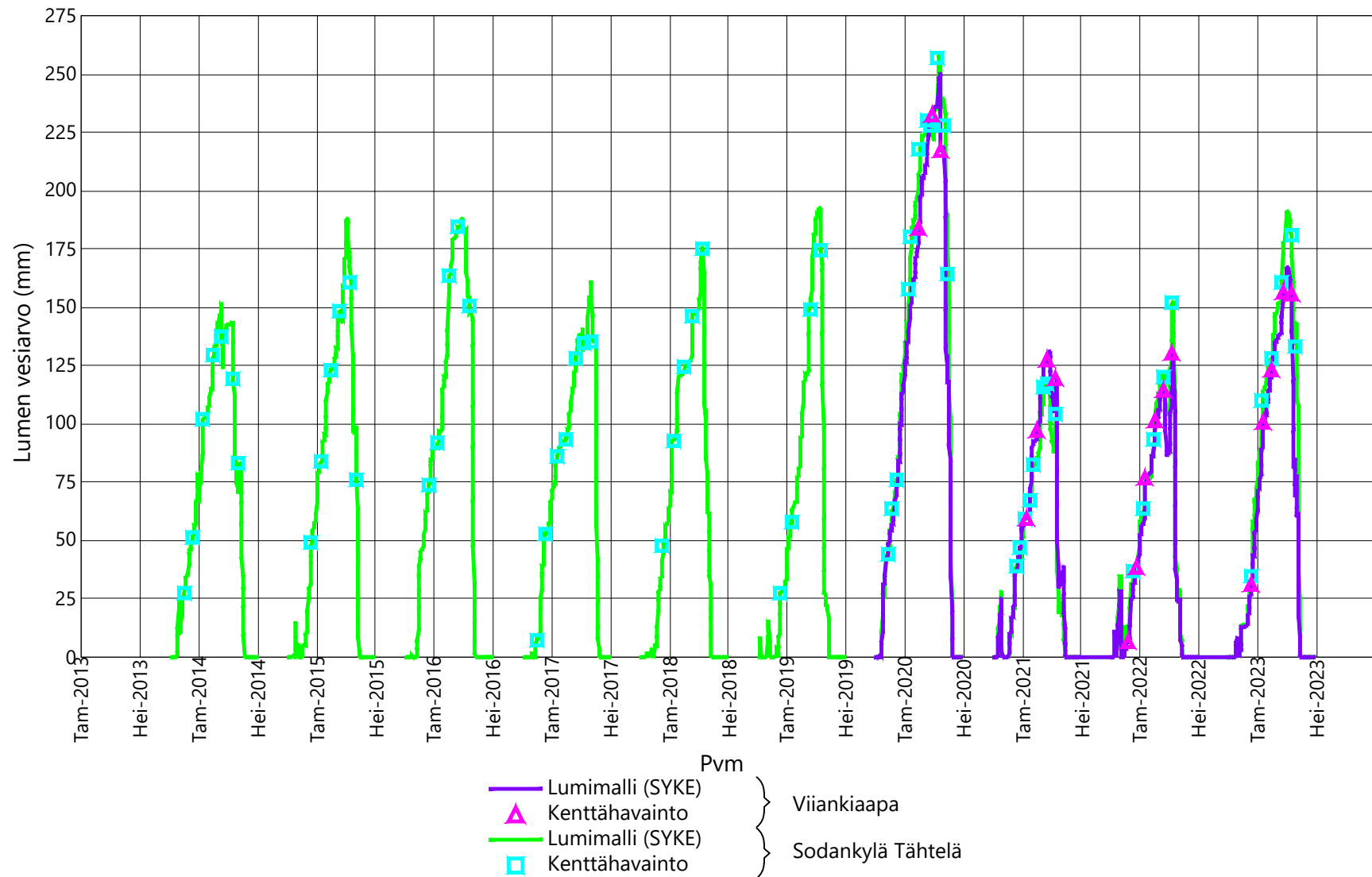
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MIKESHE
DRAWING DATE	22 AUG 2024
REVISION DATE	



Sodankylän Tähtelän sääasemalla
mitatut lämpötilat

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-17



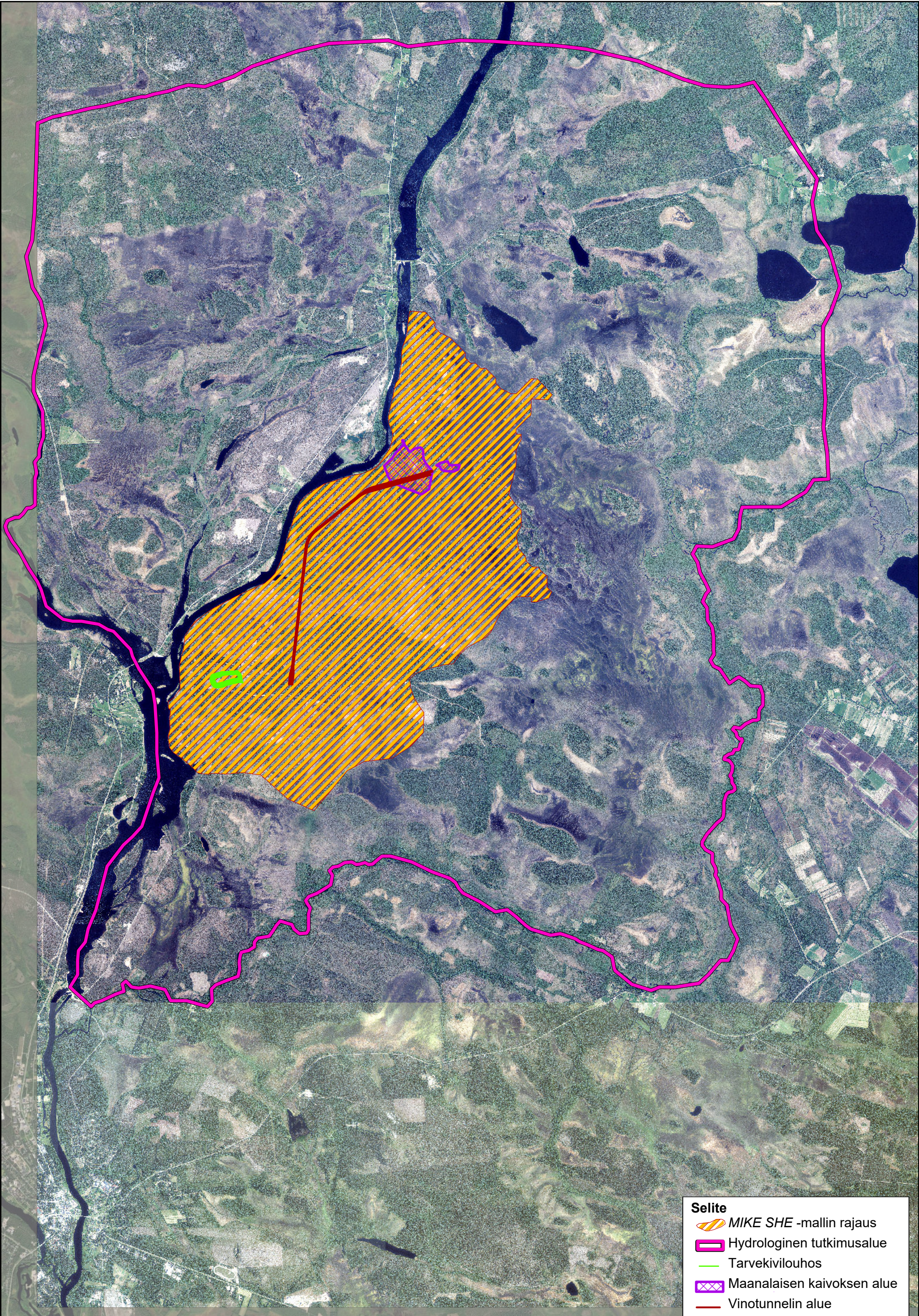
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SNOW
DRAWING DATE	22 AUG 2024
REVISION DATE	



Mitatut ja lasketut lumen
vesiarvot

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-18



Selite

MIKE SHE -mallin raja

Hydrologinen tutkimusalue

Tarvekilouhos

Maanalaisen kaivoksen alue

Vinotunnelin alue

N

010002000

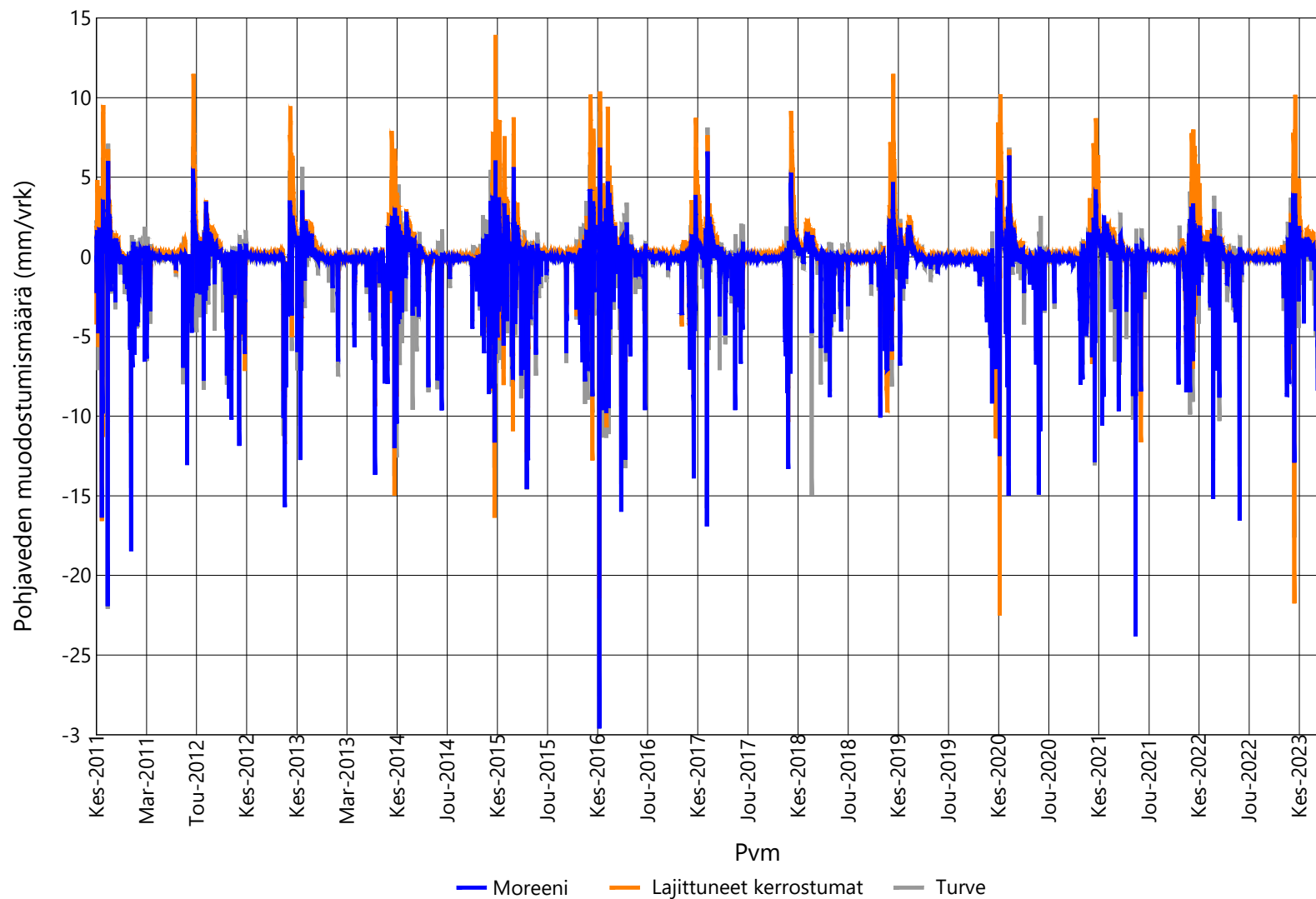
Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Sakatti
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024



MIKE SHE -mallin ja hydrologisen tutkimusalueen rajaukset

CLIENT:	FIGURE NO.
Sakatti Project	3-19



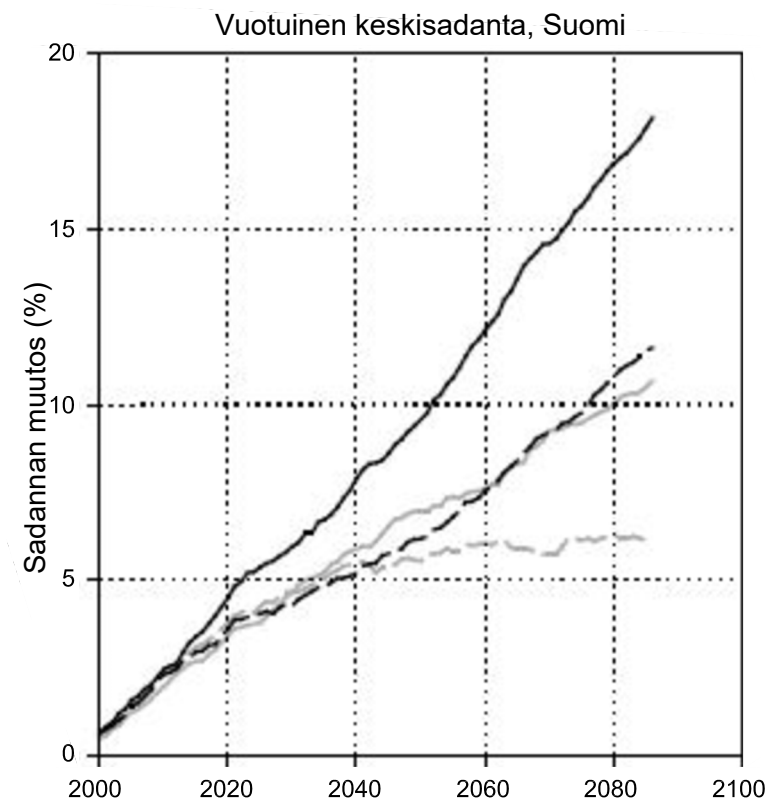
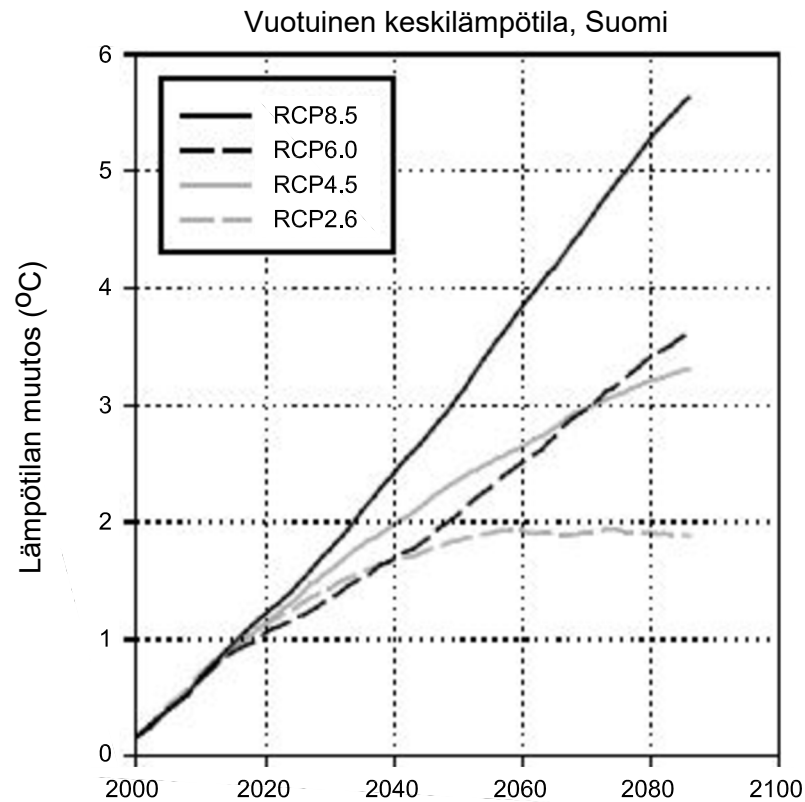
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECHARGE
DRAWING DATE	22 AUG 2024
REVISION DATE	



MIKE SHE -mallilla arvioidut
pohjaveden muodostumismäärät

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-20



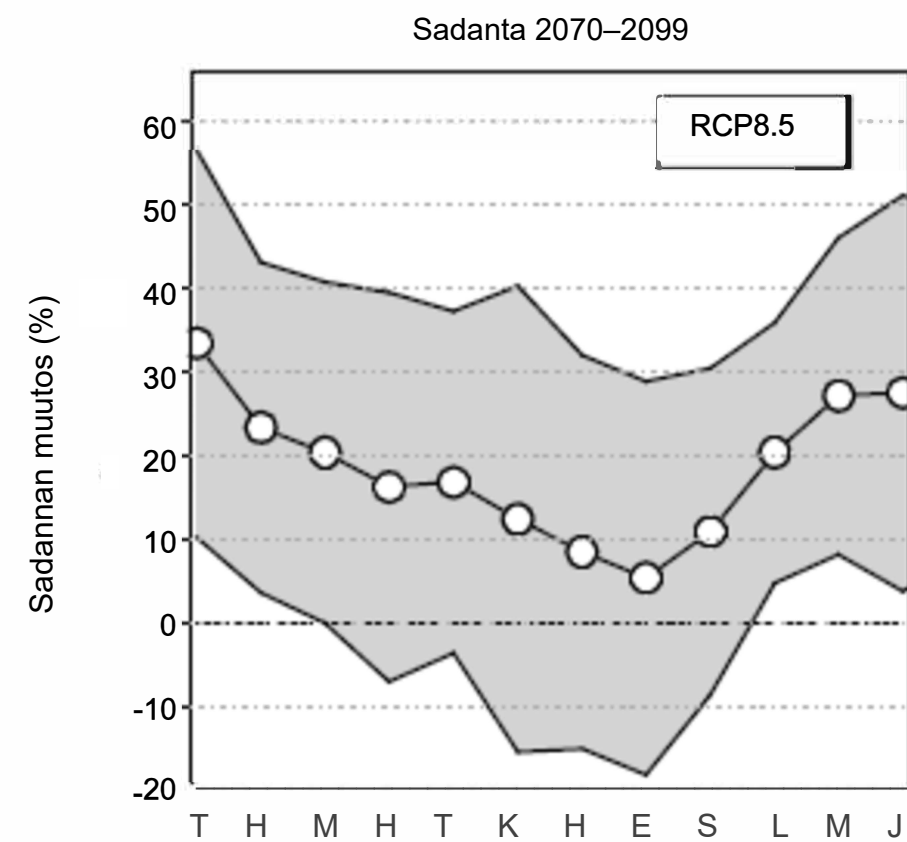
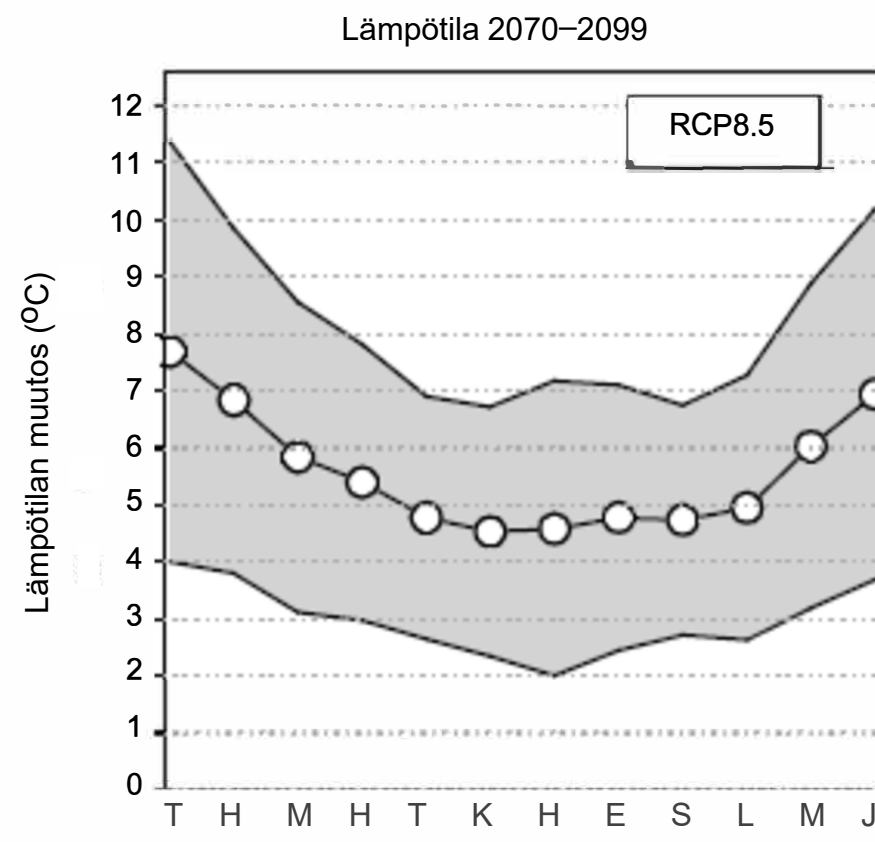
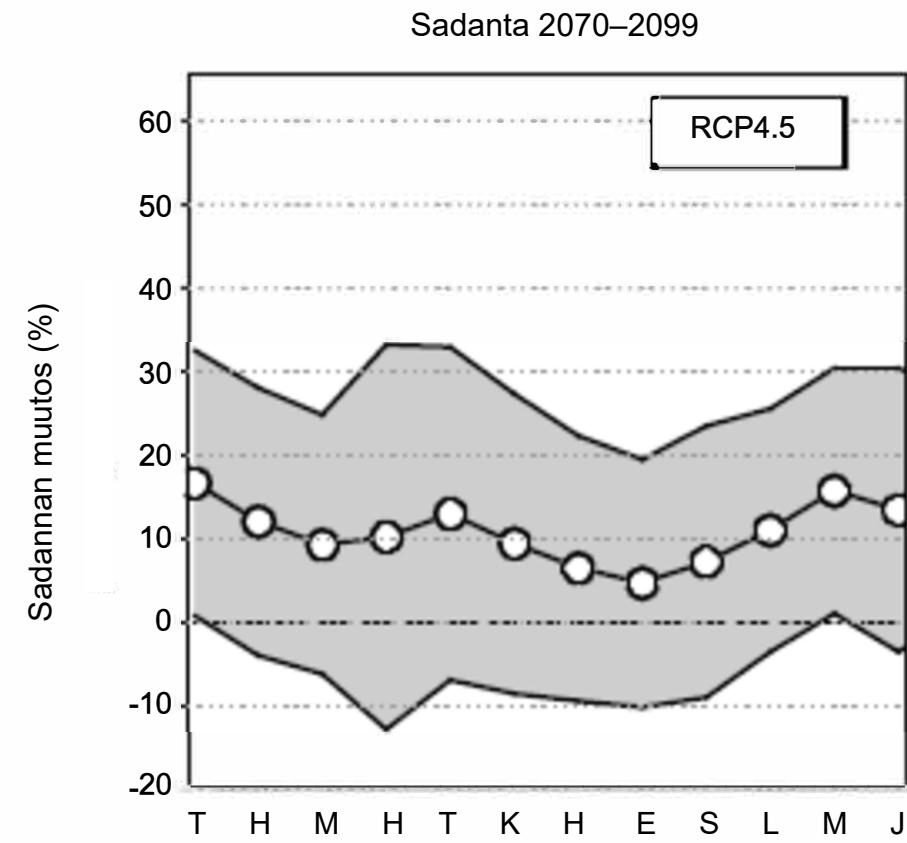
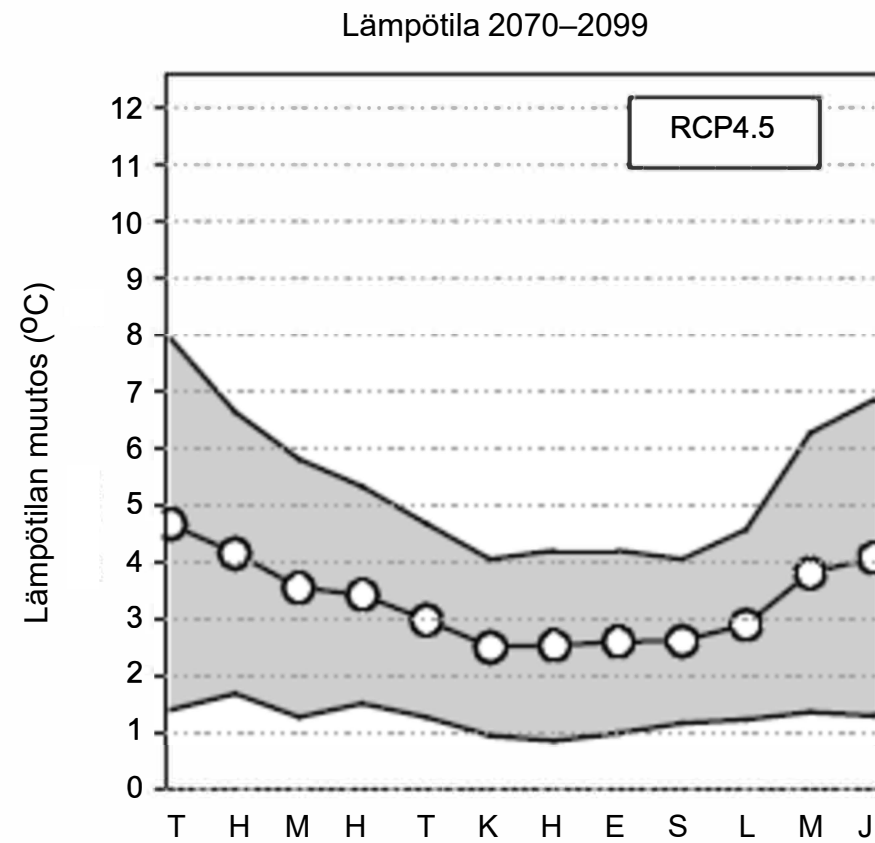
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	FUTURE
DRAWING DATE	22 AUG 2024
REVISION DATE	



Lämpötila ja sadanta Suomessa eri ilmastoskenaarioissa

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-21



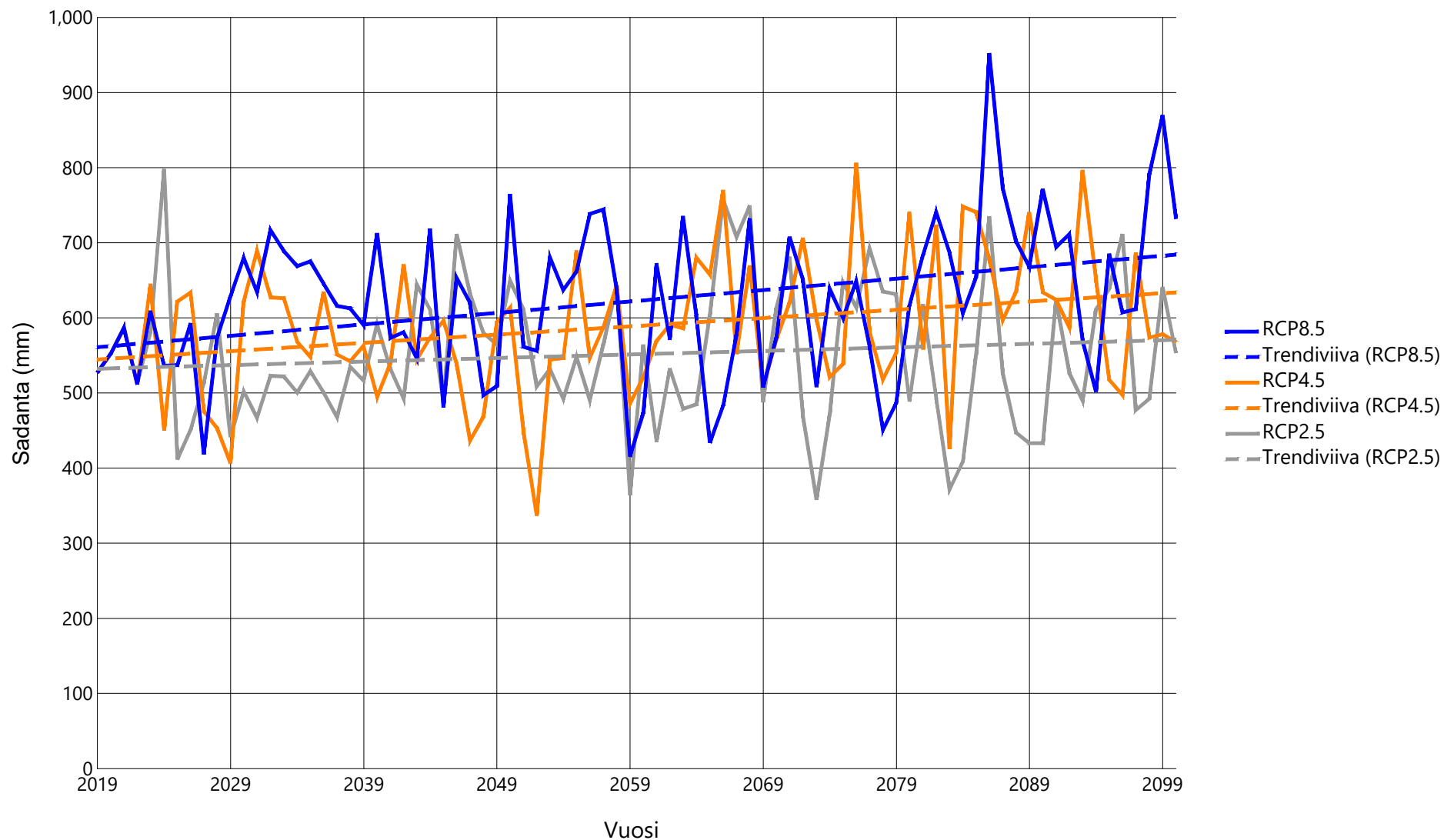
Lähde: Ruosteenoja ym. 2016

Huom: Ilmastoskenaariolle RCP2.5 ei ollut saatavilla aineistoa

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	FUTURE
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Ennustetut keskimääräiset kuukausilämpötilat ja -sadannat ilmastoskenaarioissa RCP4.5 ja RCP8.5 vuosille 2070-2099	
CLIENT: Sakatti Project	FIGURE NO. 3-22



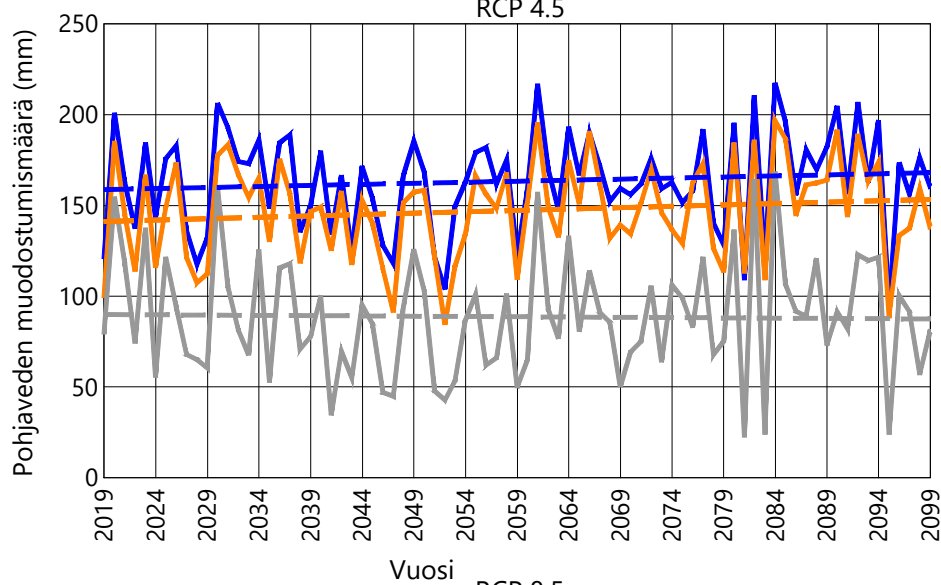
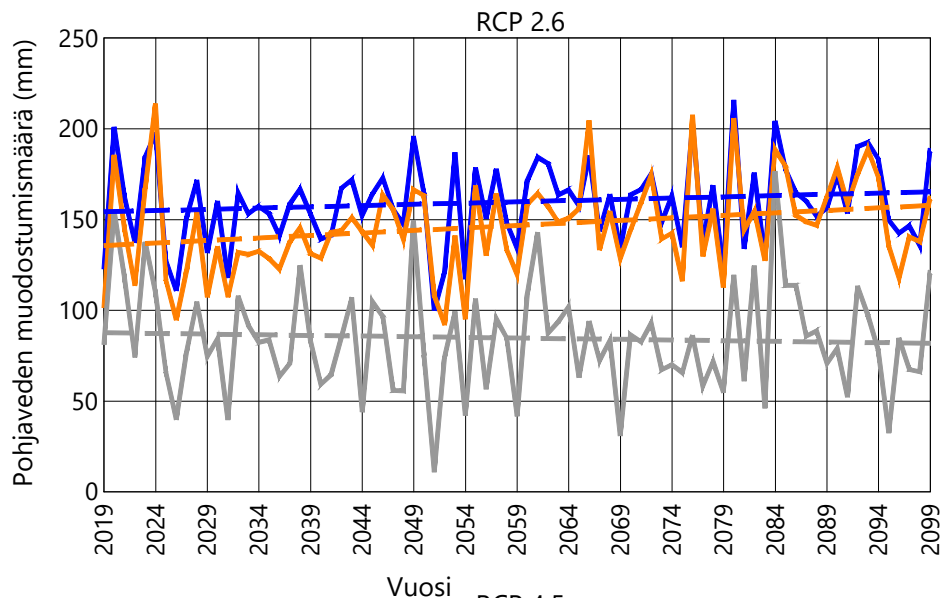
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	ANNUAL
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	



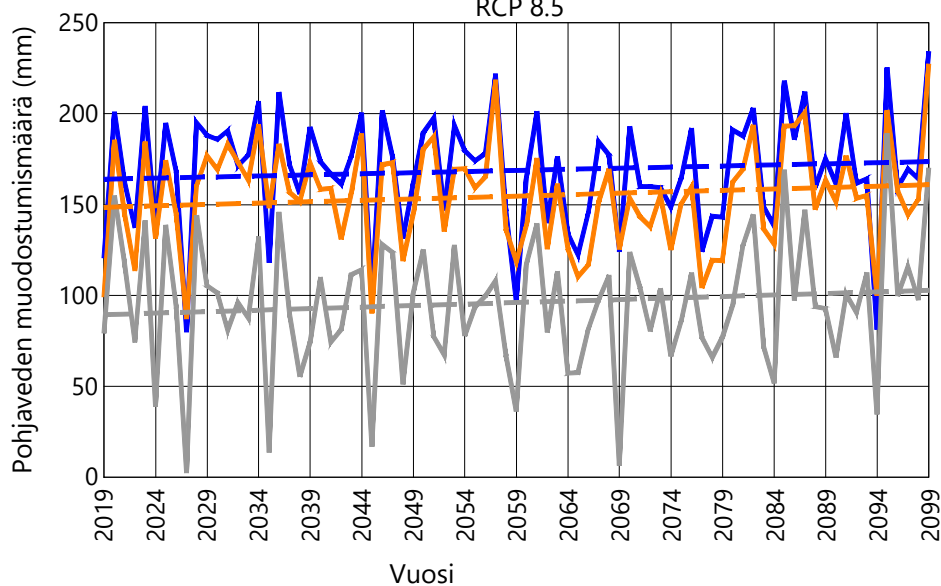
Arvioidut tulevaisuuden vuotuiset sademäärät
ilmastoskenaarioissa

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-23a



Moreeni
Trendiviiva (moreeni)
Lajittuneet kerrostumat
Trendiviiva (lajitt.kerr.)
Turve
Trendiviiva (turve)



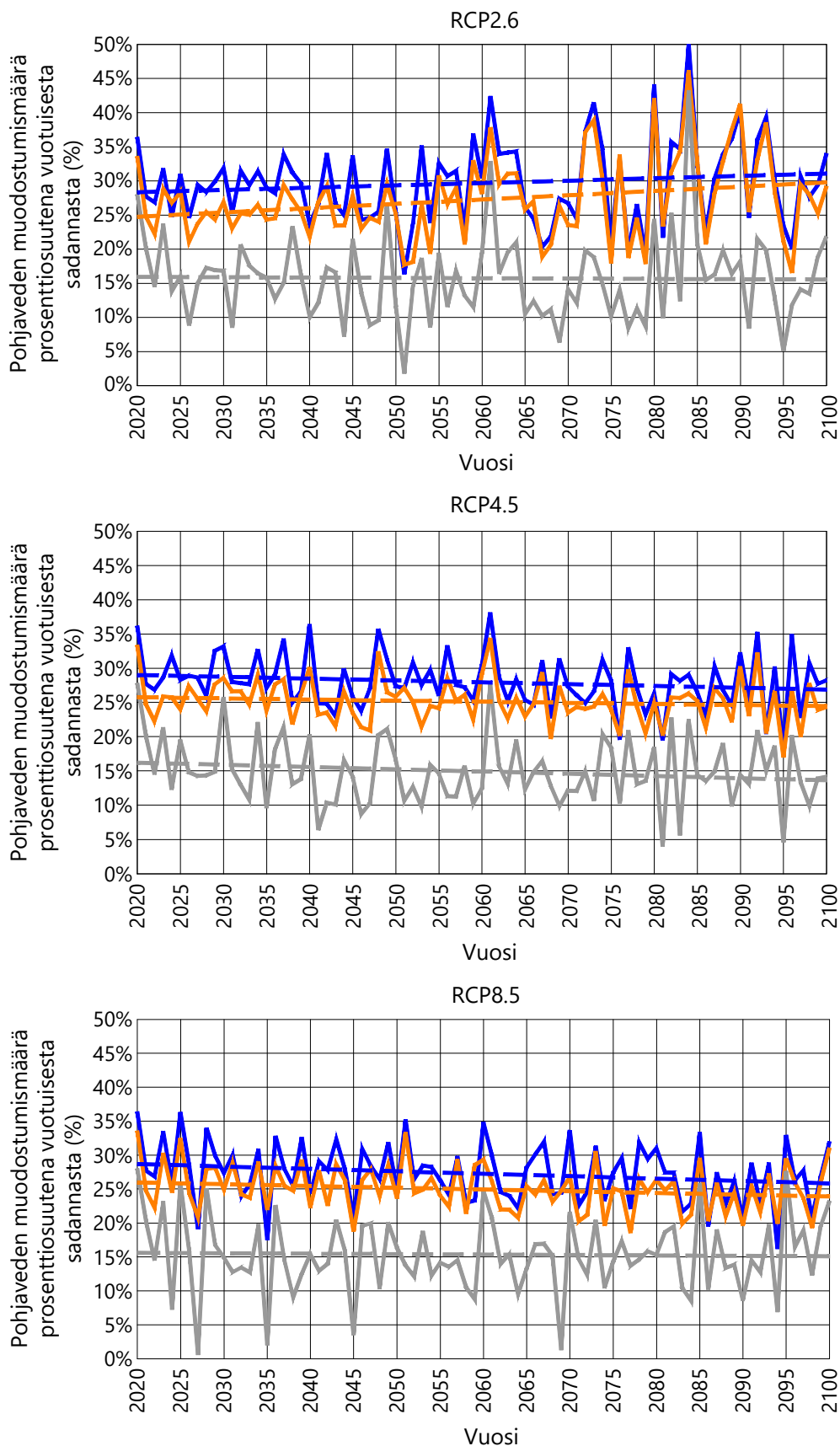
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	ANNUAL
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	



Arvioidut tulevaisuuden vuotuiset
pohjaveden muodostumismäärät
ilmastoskenaarioissa

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-23b



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	ANNUAL
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Pohjaveden muodostumismäärät
tulevaisuudessa prosenttiosuutena
vuotuisesta sademäärästä

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-24



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

0DDQDODLVHQ NDLYRNV

Vinotunnelin alue

Tarvekiivilouhos

Viiankiaavan Natura2000 alue

Joki

Kitinen

Järvet

Lammikot

Pintaveden virtaussuunta

Maanpinnan korkeuskäyrä (2 m)

Lähde

Virtavesien seuranta-asemat

Virtaama

Virtaama ja vedenpinnan korkeus

Vedenpinnan korkeus

N

0

1000

2000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	SurfaceWater
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

ITASCA

Vesistöt hydrologisella tutkimusalueella

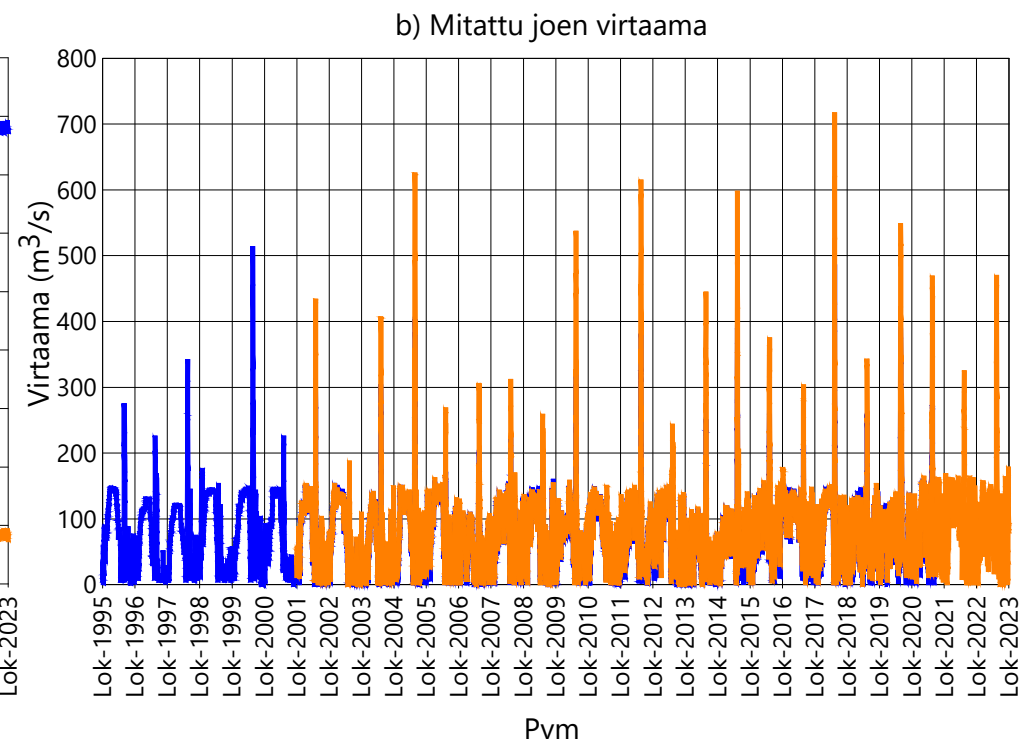
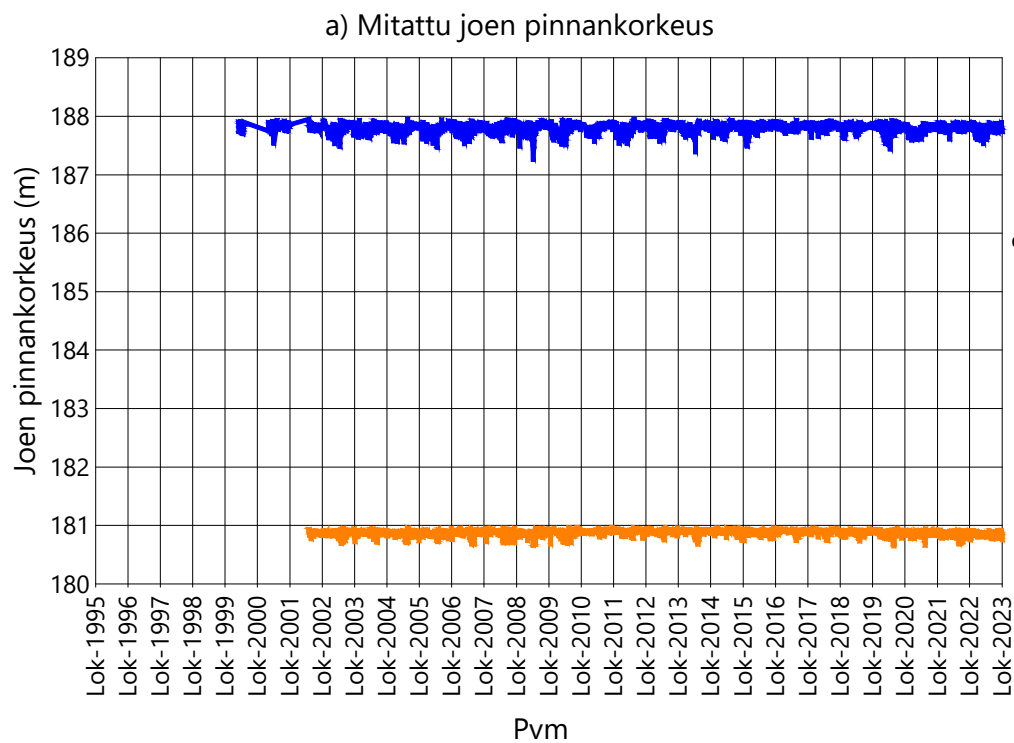
CLIENT:

Sakatti Project

FIGURE NO.

3-25

C:\ARCGIS\0064_Sakatti\MXD\Working\Sakatti\Sakatti.aprx



— Matarakoski (#6500435) — Kelukoski (#6500445)

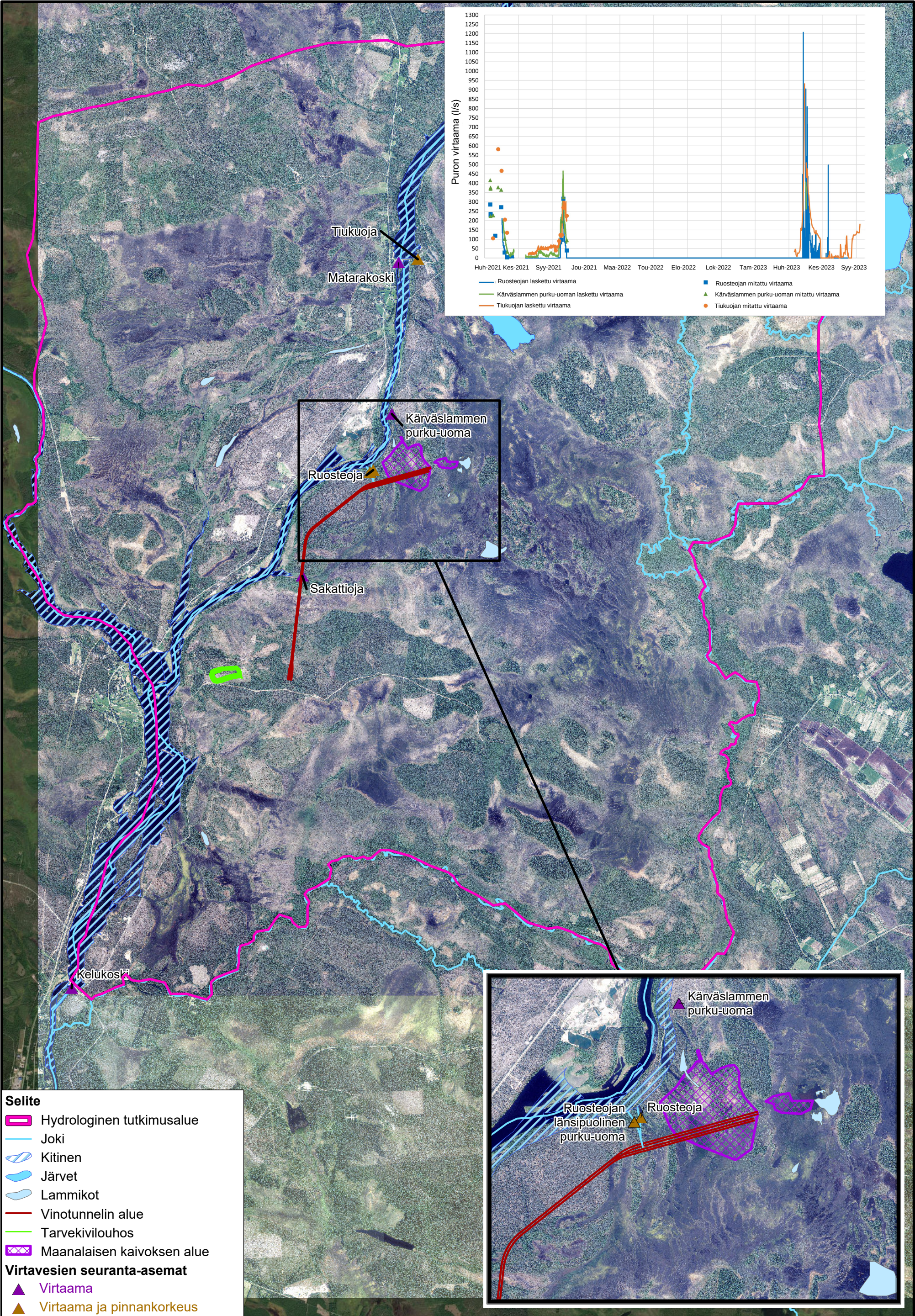
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	R/JN
DRAWING NAME	RIVER
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Kitisen mitatut
pinnankorkeudet ja virtaamat

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-26



N

0

1000

2000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Sakatti
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

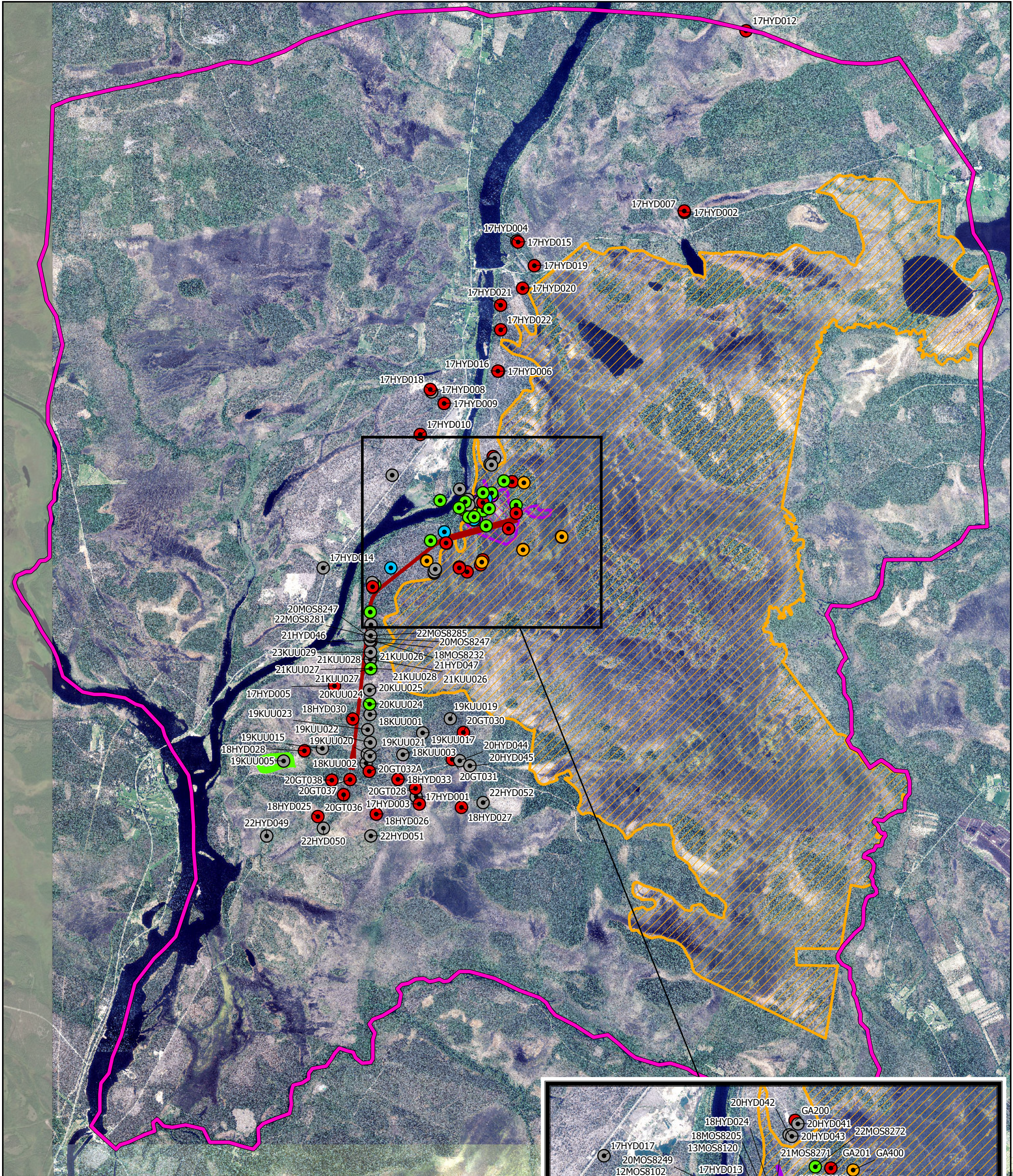
ITASCA

Purojen ja ojen mitatut ja lasketut virtaamat hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Project

FIGURE NO. 3-27

©:ARCGIS\W064_Sakatti\MXD\Working\Sakatti\Sakatti.aprx

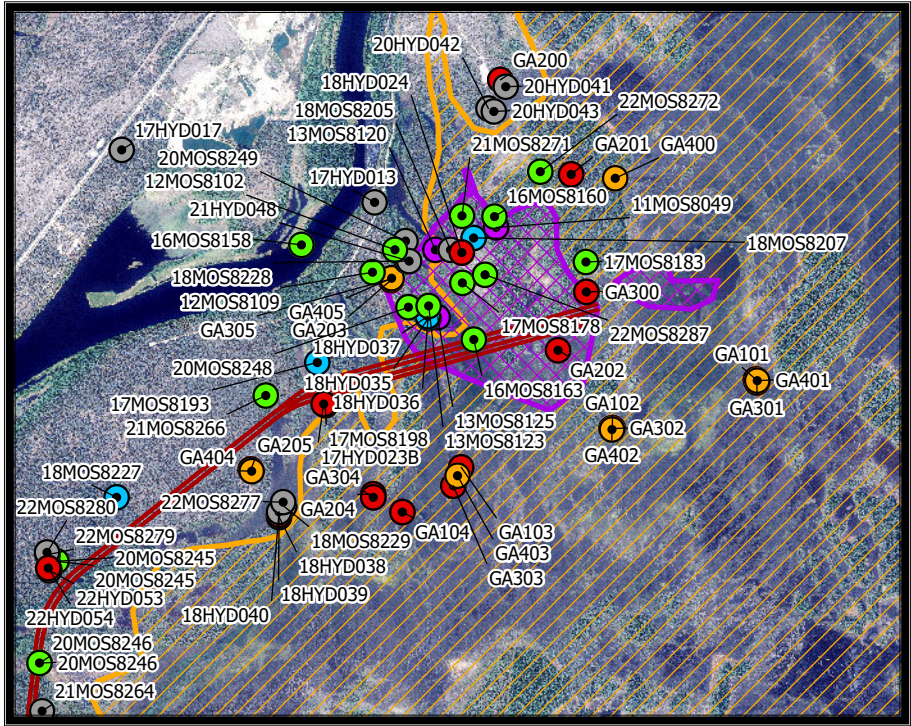


Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Viiankiaavan Natura 2000 -alue
- Maanalaisen kaivoksen alue
- Tarvekilouhos

Havaintopisteet

- Kallion pohjavesikaivo
- Kallion pumppauskaivo
- Ylemmän kallion pohjavesikaivo
- Kivennäismaan pohjavesikaivo
- Smartwell-kaivo
- Tärylankapietsometri



N

0

1000

2000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	MonLoc_HSA
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

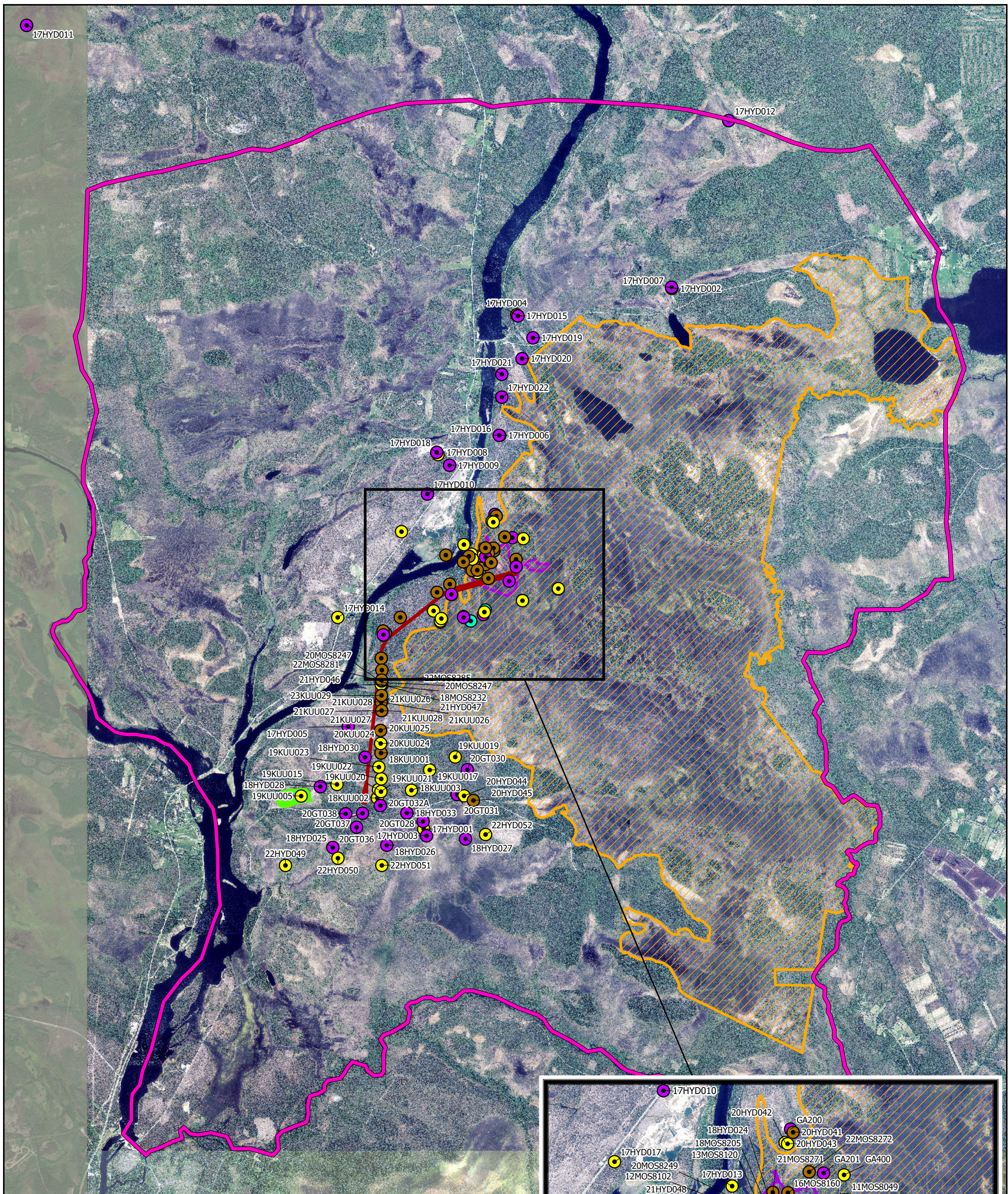
ITASCA

Havaintopisteet hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Project

FIGURE NO. 3-28

6:\ARCGIS\0064_Sakatti\MXD\Working\Sakatti\Sakatti.aprx



Selite

Havaintopisteet hydrogeologisen yksikön mukaan

-  Syvä kallio
-  Turve
-  Kivennäismaalajit
-  Ylempi kallio
-  Tarvekivilouhos
-  Tärylankapietsometri
-  Vinotunnelin alue
-  Viiankiaavan Natura 2000 -alue
-  Maanalaisen kaivoksen alue
-  Hydrologinen tutkimusalue



0 1000 2000 Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	MonLoc_Geo
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024



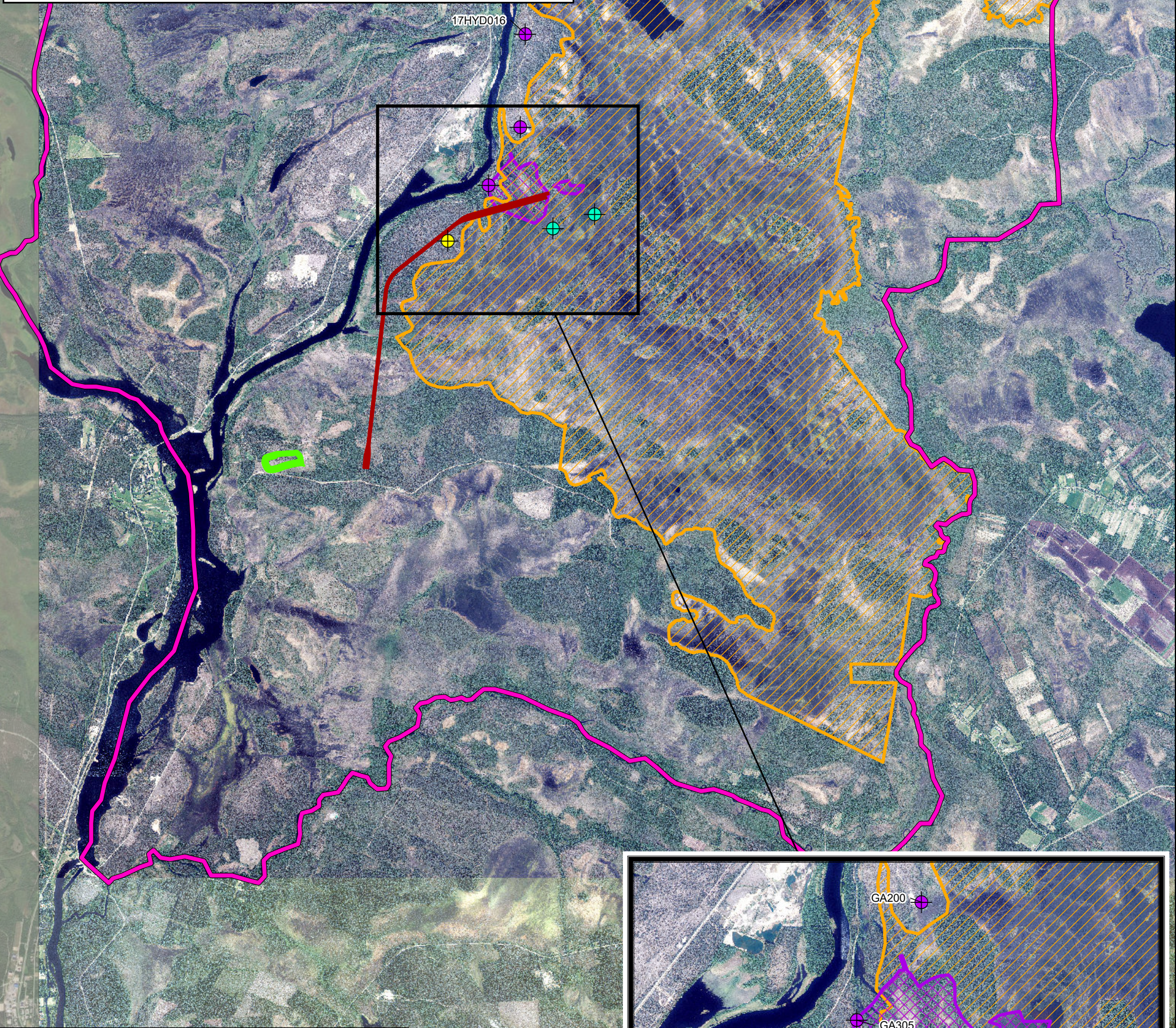
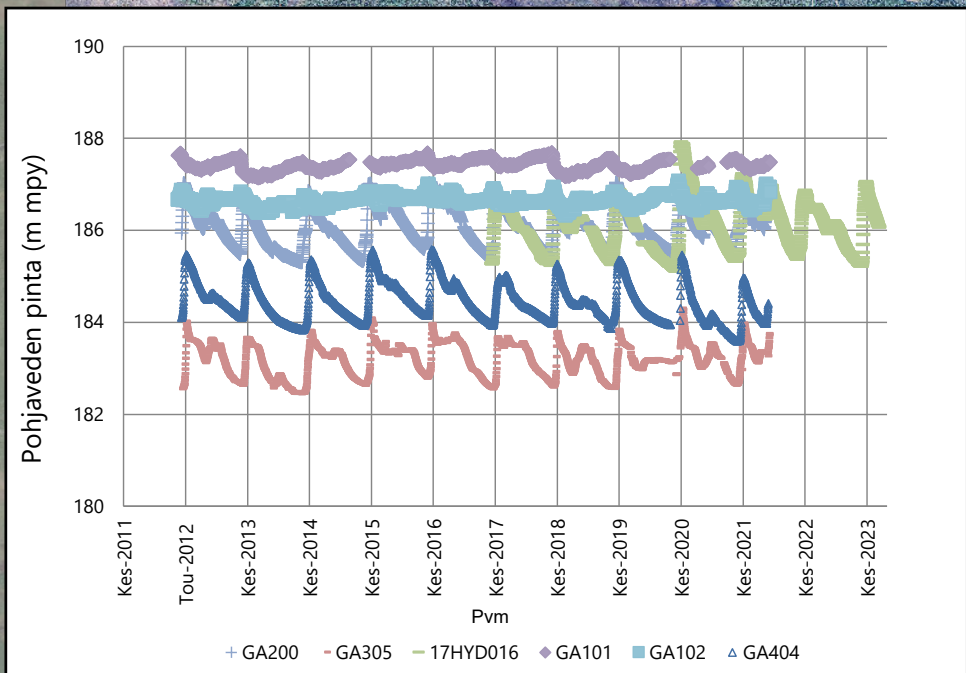
Havaintopisteet hydrologisella tutkimusalueella jaoteltuina hydrogeologisen yksikön mukaan

CLIENT:

Sakatti Project

FIGURE NO.

3-29

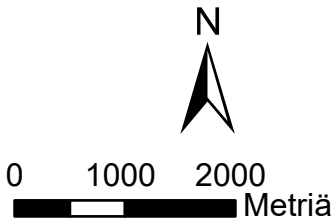
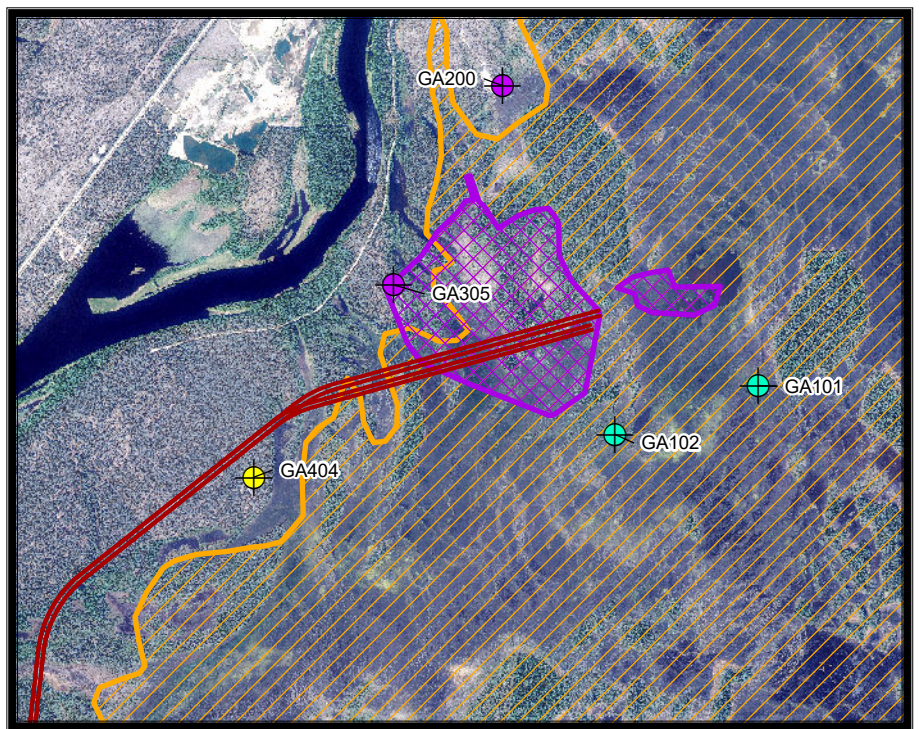


Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Tarvekilouhos
- Viiiankaavan Natura 2000 -alue
- Maanalaisen kaivoksen alue

Havaintopiste hydrogeologisen yksikön mukaan

- Turve
- Kivennäismaalajit
- Ylempi kallio



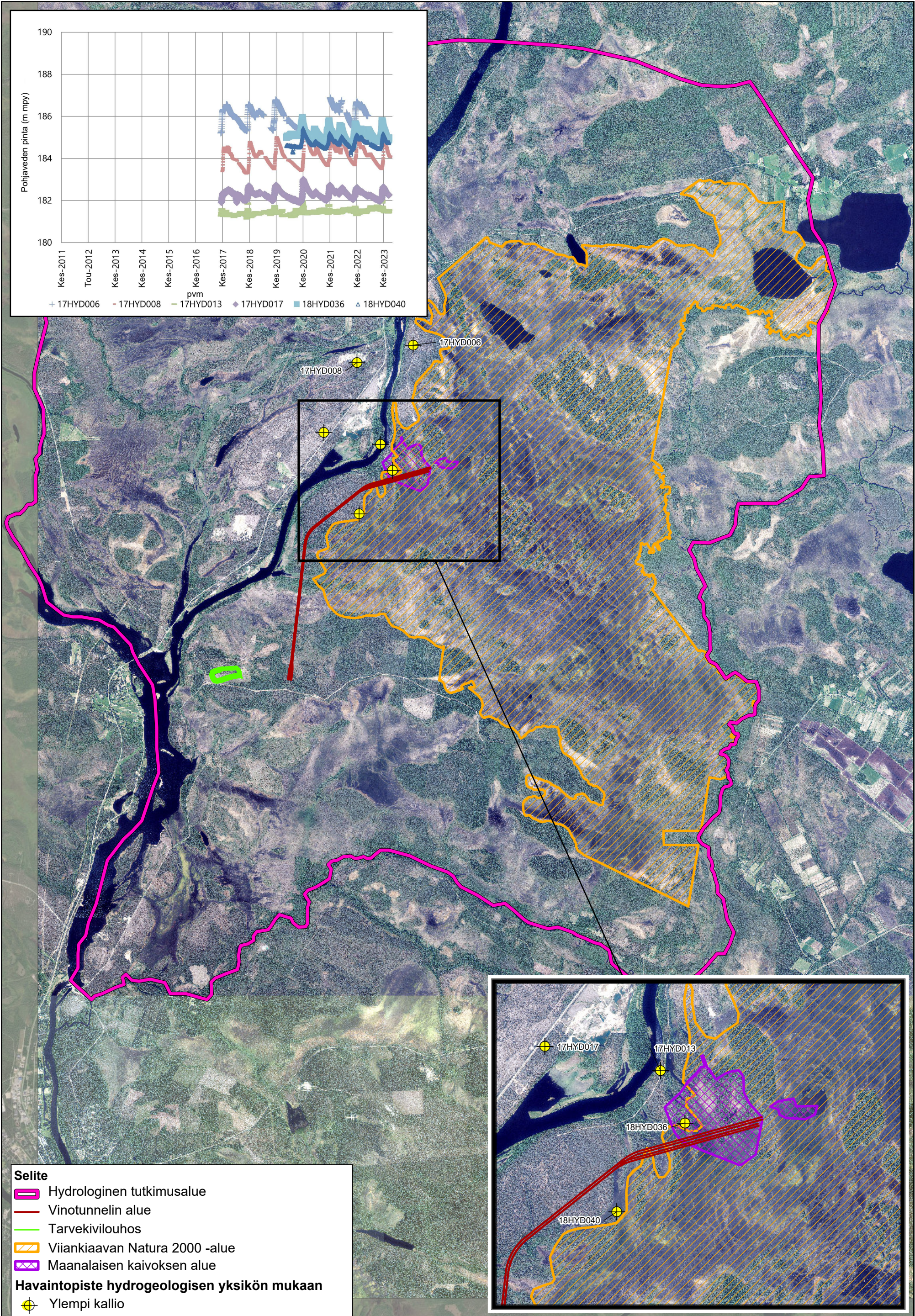
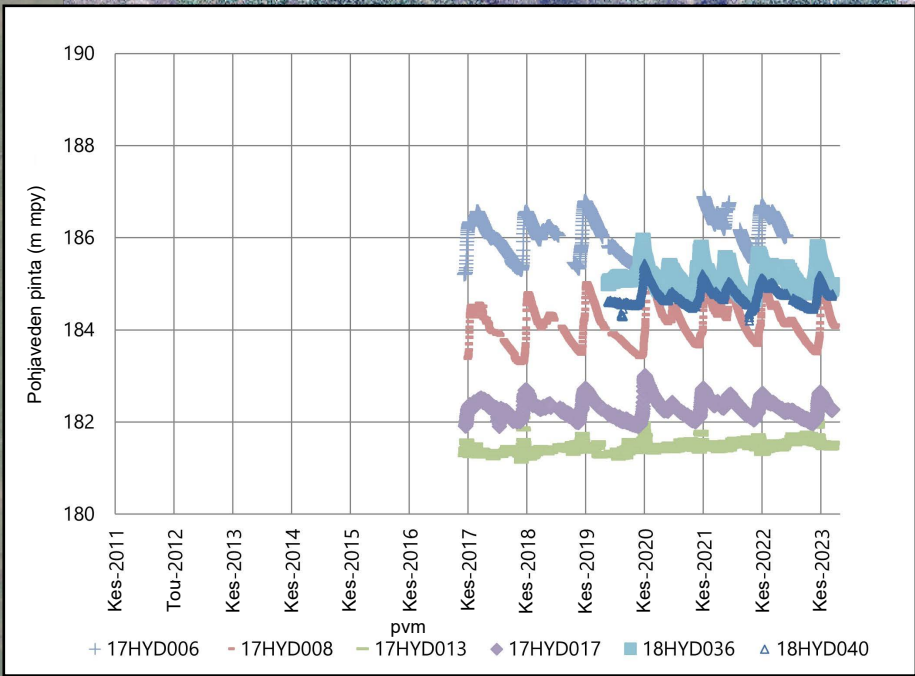
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	GW_Sitea
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Oct. 02, 2024



Mitatut pohjaveden
pinnankorkeudet hydrologisella
tutkimusalueella

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-30a

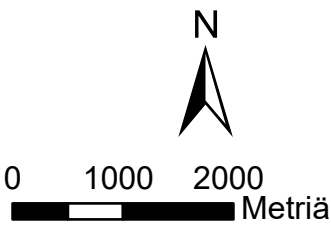
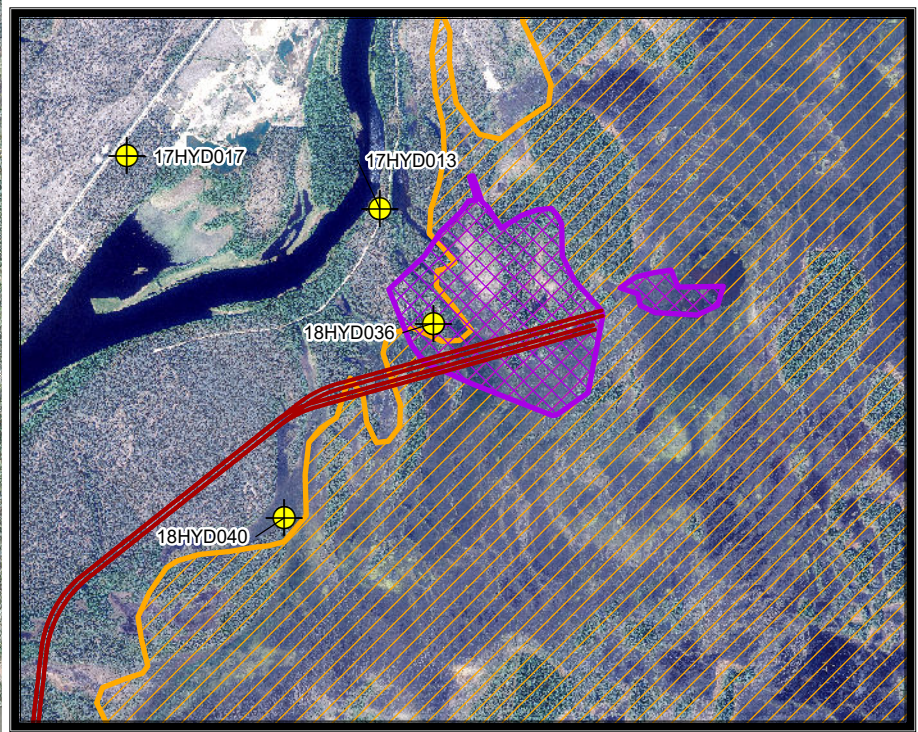


Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Tarvekilouhos
- Viiankaavan Natura 2000 -alue
- Maanalaisten kaivoksen alue

Havaintopiste hydrogeologisen yksikön mukaan

- Ylempi kallio

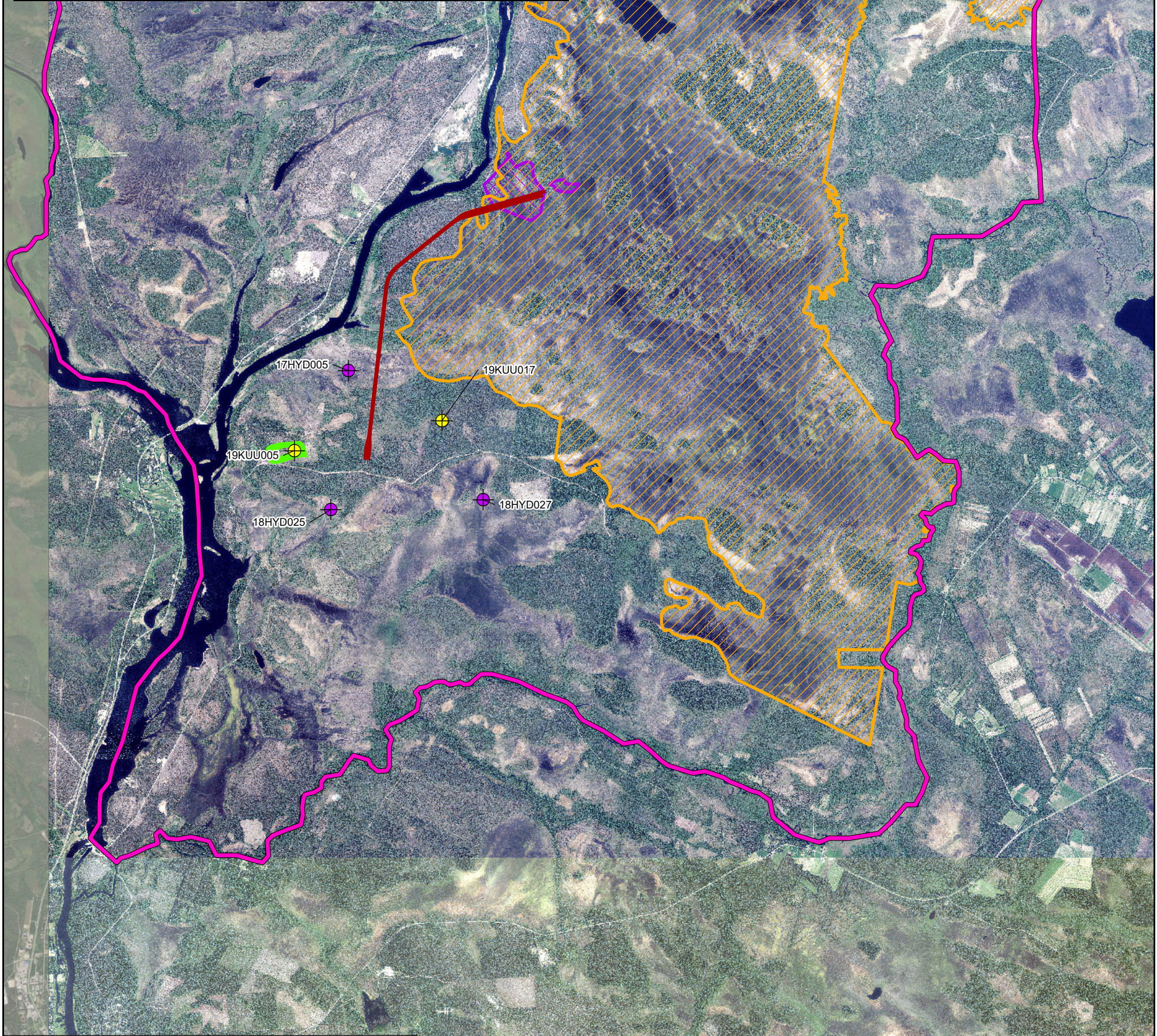
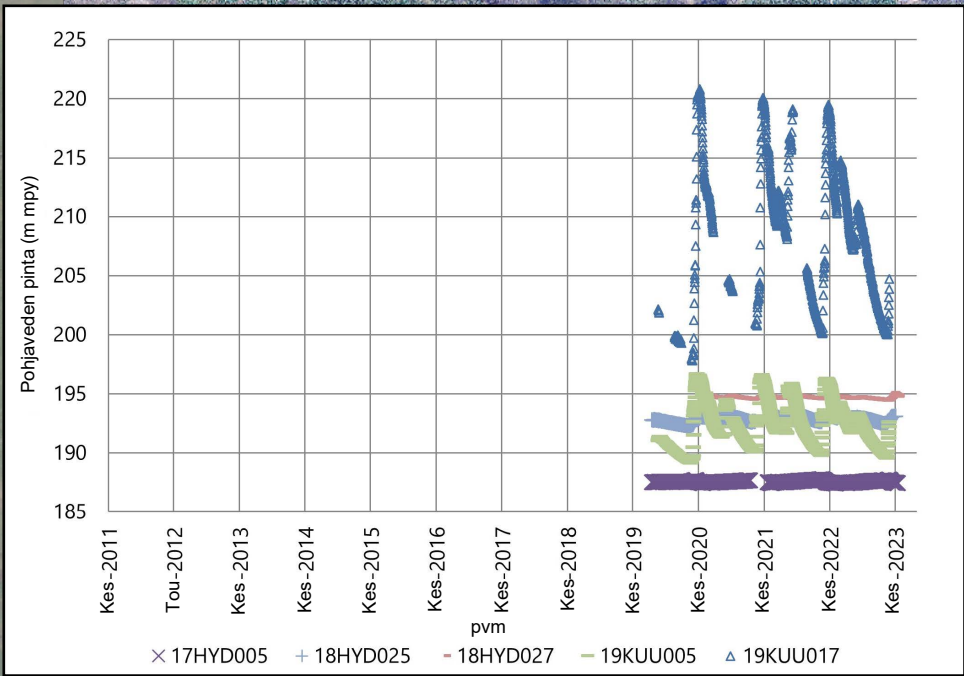


PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	GW_Siteb
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024



Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet
hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT:	FIGURE NO.
Sakatti Project	3-30b



Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Tarvekivilouhos
- Viiankiaavan Natura 2000 -alue
- Maanalaisen kaivoksen alue

Havaintopiste hydrogeologisen yksikön mukaan

- Kivennäismaalajit
- Ylempi kallio

N

0 1000 2000 Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	GW_Sitec
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

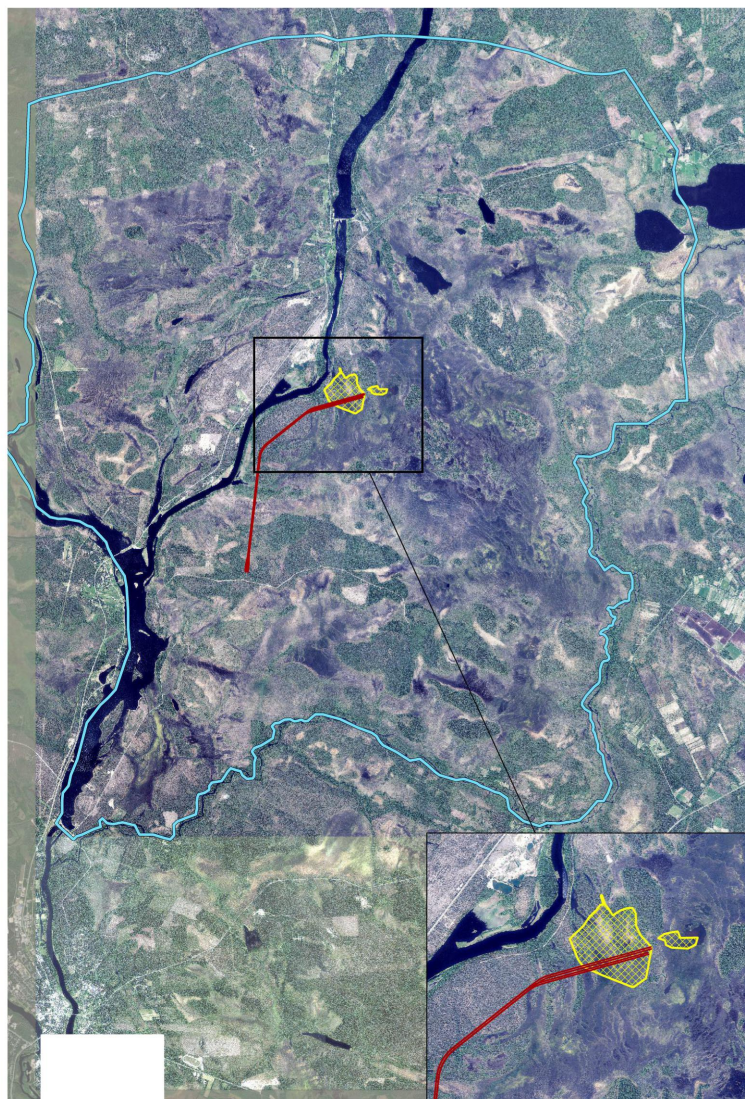
ITASCA

Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Project

FIGURE NO. 3-30c

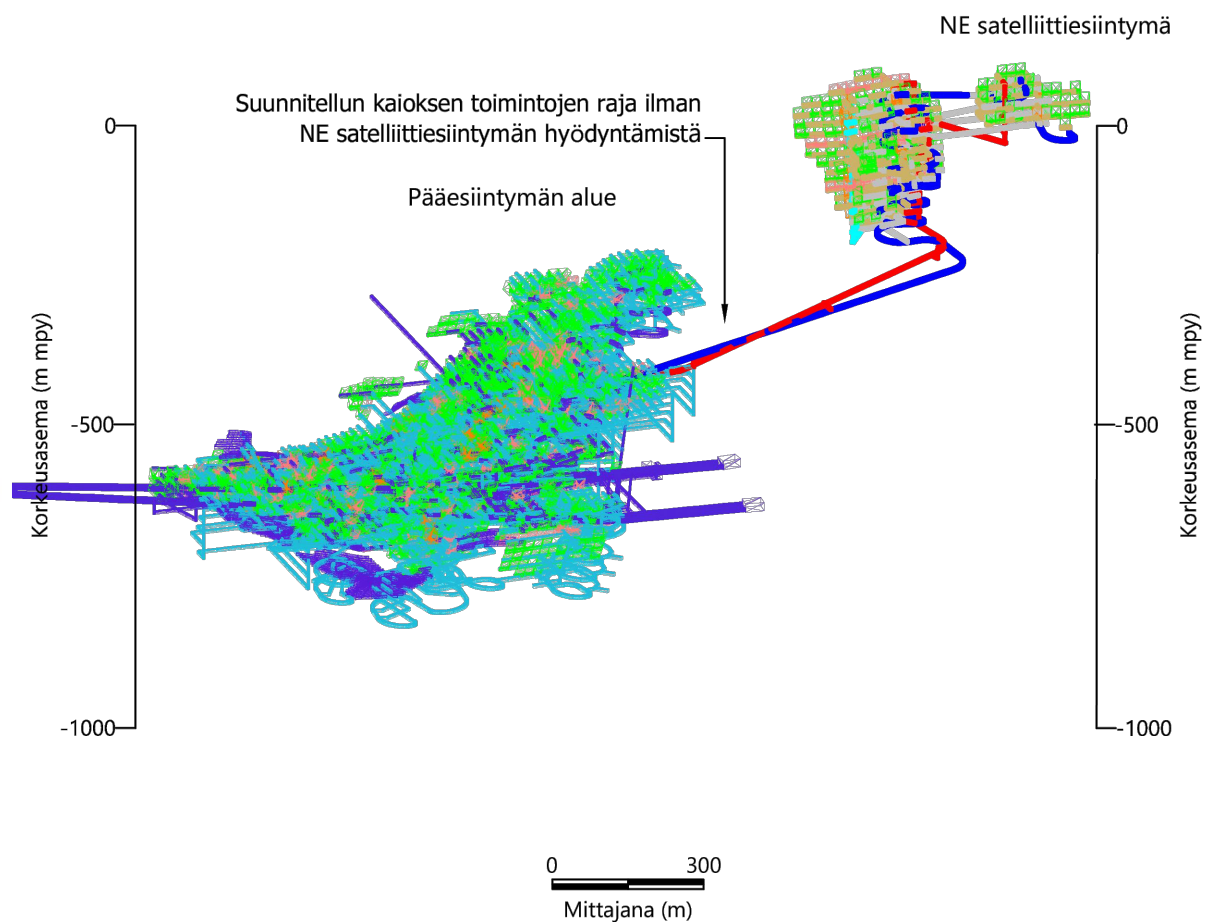
a) Tasokartta



Selite

- Hydrologinen tulkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Maanalaisen kaivoksen alue

b) Vinotunneli ja louhintavyöhykkeet



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MINEPLAN
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	6 FEB 2025

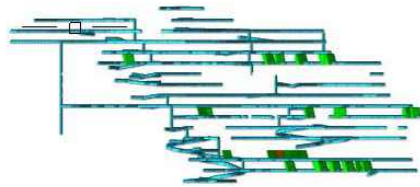


Vinotunnelien ja maanalaisen kaivoksen
laajuus

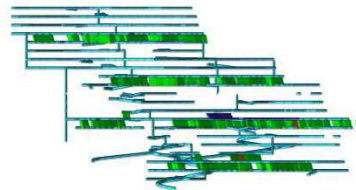
CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-31a

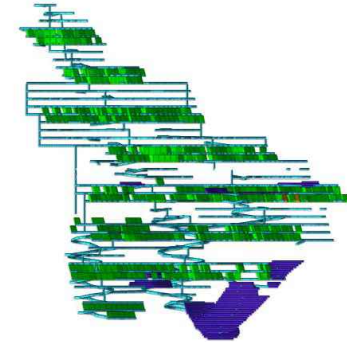
Maanalaisen kaivostoimintojen eteneminen



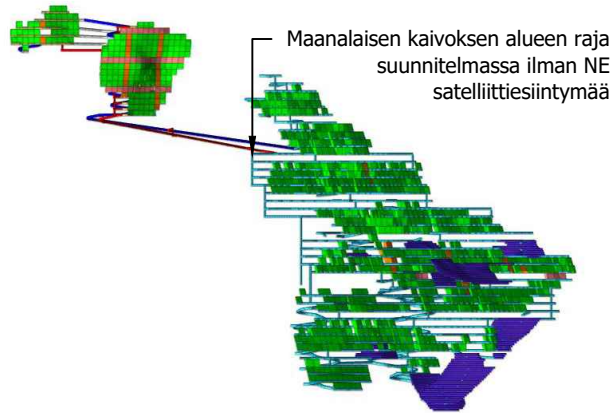
Vuoden 3 alku



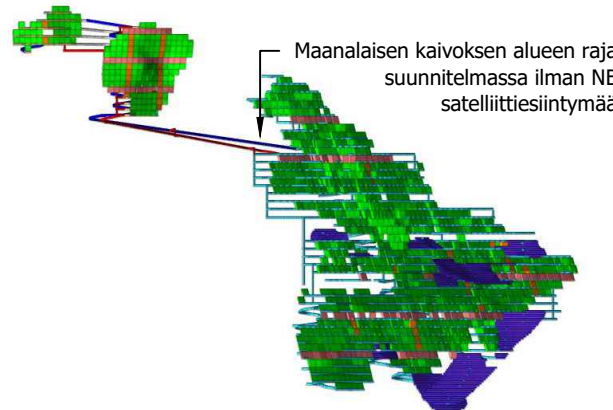
Vuoden 5 alku



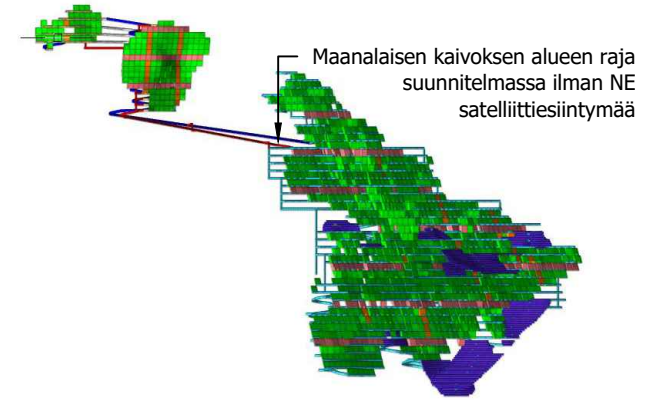
Vuoden 10 alku



Vuoden 15 alku



Vuoden 20 alku



Vuoden 24 alku

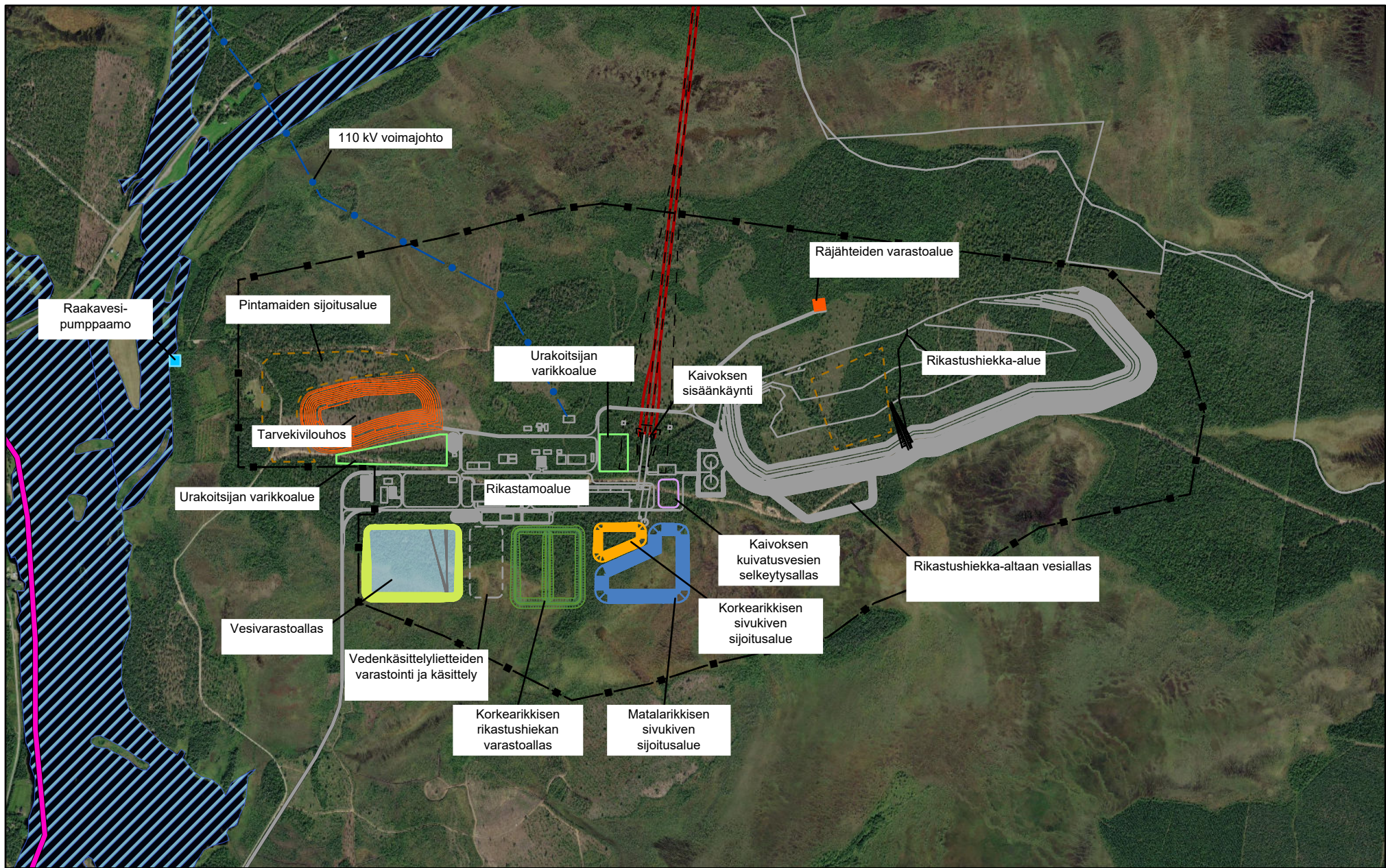
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MINEPLAN
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	



Maanalaisen kaivoksen laajuus ja
kaivostoimintojen eteneminen

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-31b



Selite

-  Vinotunnelin alue
-  Maanalaisen kaivoksen alue
-  Hydrologinen tutkimusalue
-  Kitinen



0 0.13 0.25 0.5
Mailia

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	SurfaceLayout_L
DRAWING DATE	Aug. 28, 2024
REVISION DATE	Aug. 28, 2024



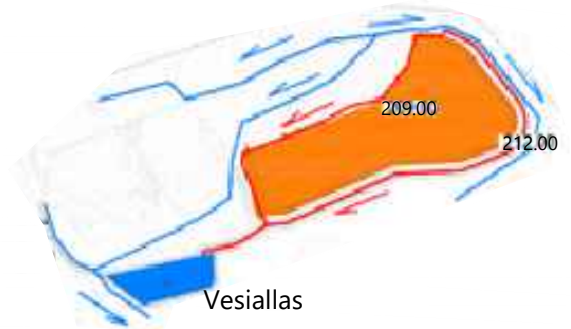
Maanpäällisten kaivostoimintojen sijainti

CLIENT:	FIGURE NO.
Sakatti Project	3-32

Rikastushiekka-alueen laajeneminen



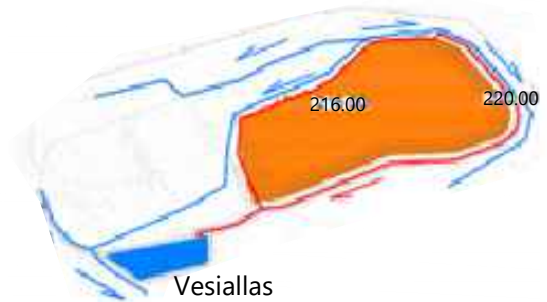
Lohko 1, alkupenger ja vesien keräysallas



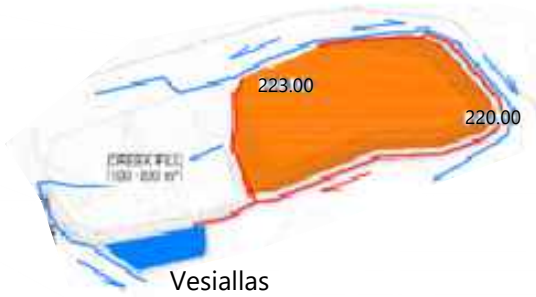
Lohko 1, vaihe 1-A (5. toimintavuosi)



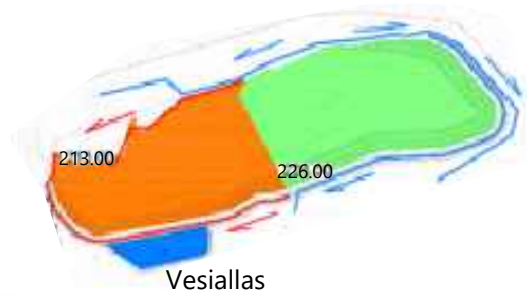
Lohko1, vaihe1-B (6. toimintavuosi)



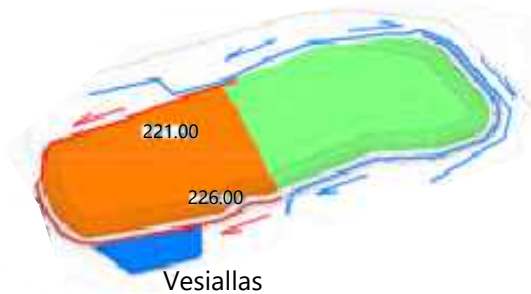
Lohko1, vaihe 1-C (8. toimintavuosi)



Täysi lohko 1, vaihe 1-D (11. toimintavuosi ja aloituspato lohkolla 2)



Lohko 2, vaihe 2A (vuosi17). Lohko 1 suljettu



Täysi lohko 2, vaihe 2B (vuosi 21).



Huom: Rikastushiekka-alueen vaiheet, Golder (2024)

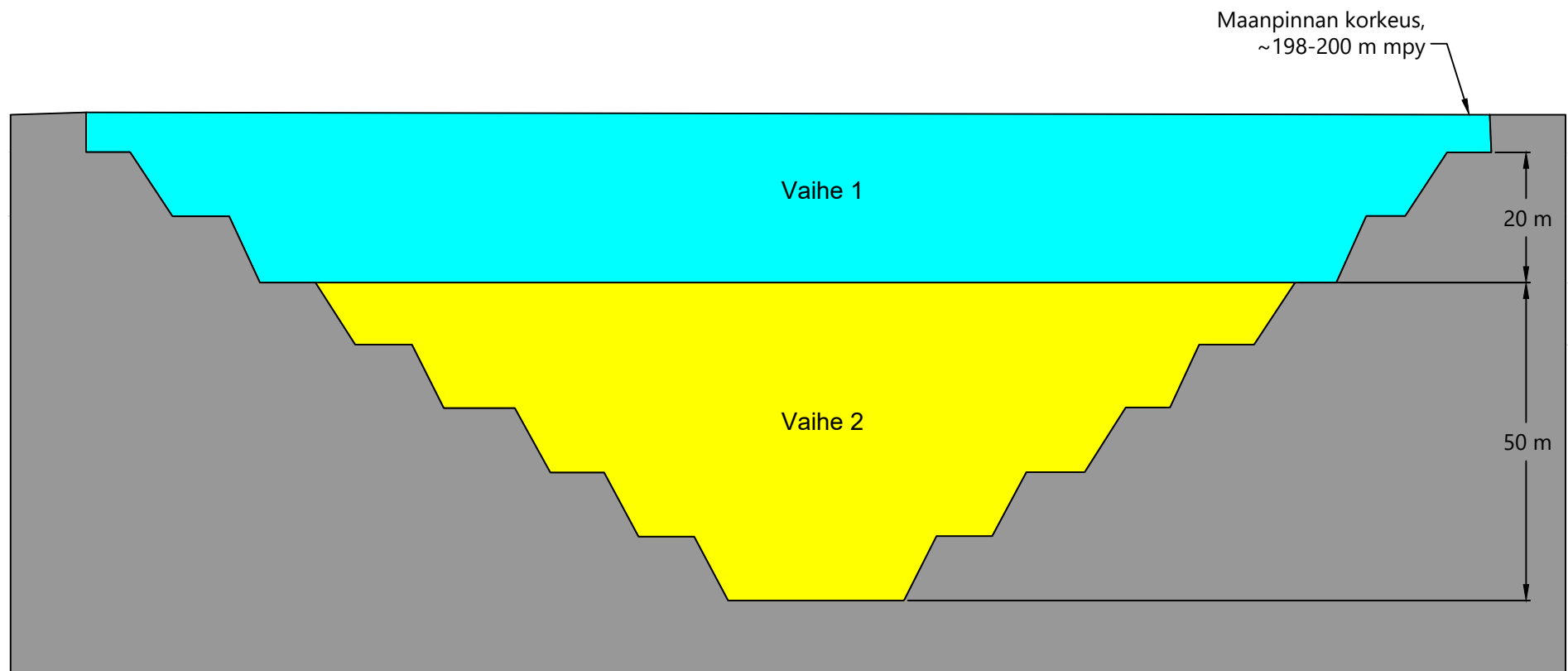
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	FM
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	30 SEP 2024



Rikastushiekka-alueen vaiheet

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-33



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	QUARRY
DRAWING DATE	23 AUG 2024
REVISION DATE	

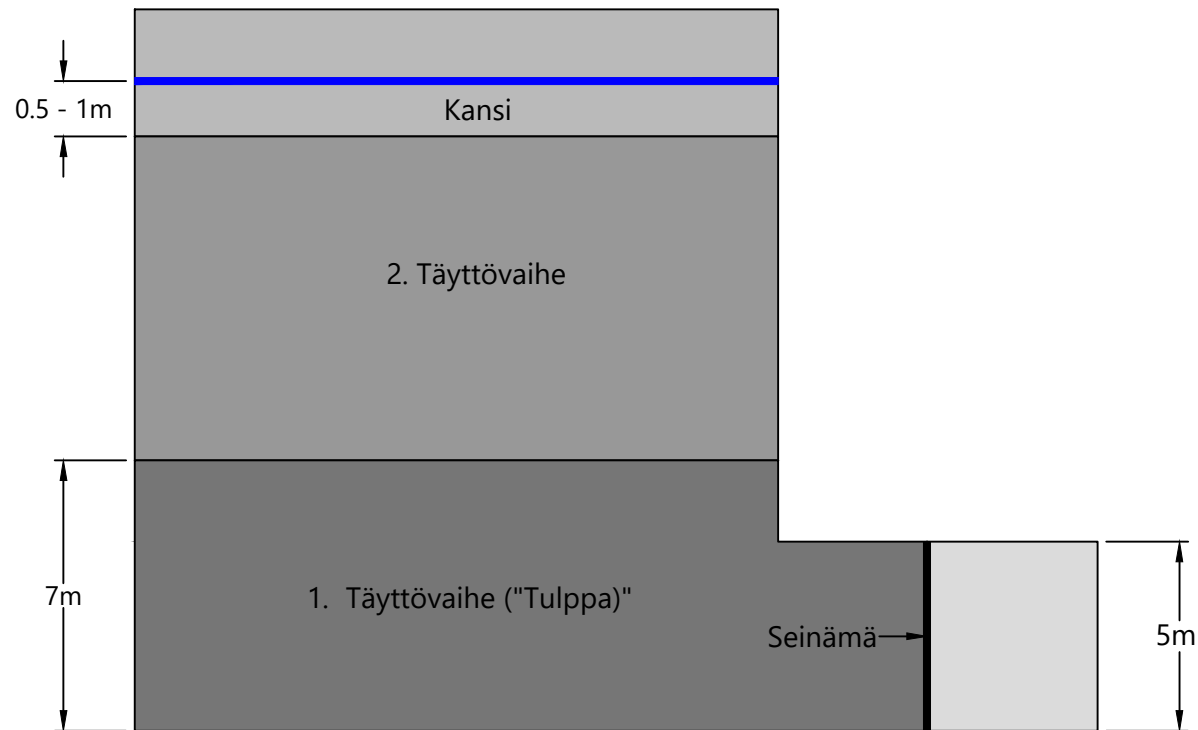


Tarvekilouhoksen louhintasuunnitelma

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-34

a) Kaivostäytön periaate (Patterson ja Cooke 2021)



b) Kaivostäytön arvioidut vedenjohtavuudet

Kaivostäytön hydrauliset ominaisuudet	Vedenjohtavuus (m/s)	Sy
Korkea	1.00E-07	Ei saatavilla
Keski	5.00E-08	
Alhainen	2.00E-08	

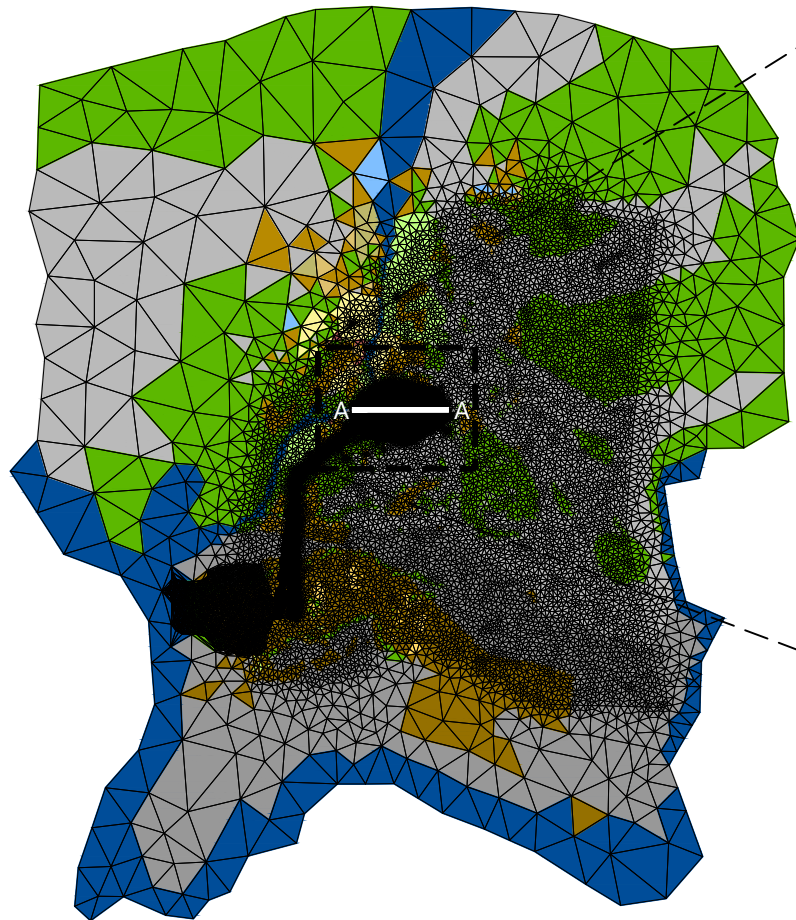
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	BACKFILL
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



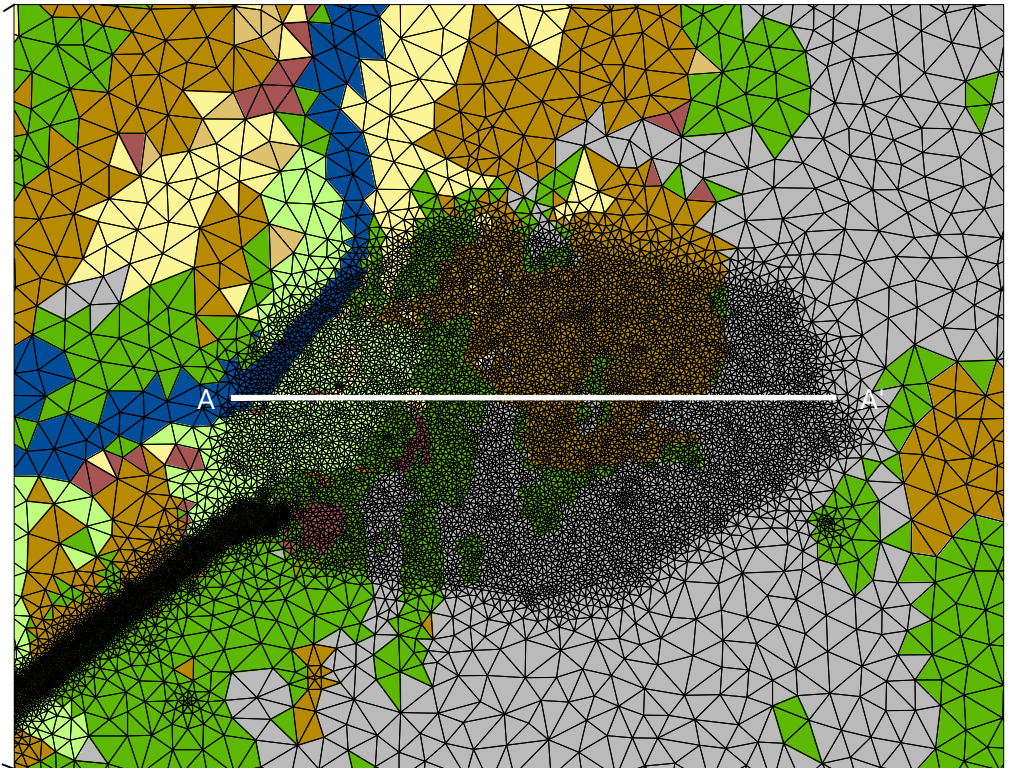
Täyttösuunnitelmat ja arvioidut vedenjohtavuudet

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
3-35



0 4000
Metriä



0 500
Metriä

Selite

- | | | | |
|---|---------------------------------|---|--------------------------------------|
|  | Turve |  | Keskimmäinen hiekka |
|  | Lajittuneet
pintakerrostumat |  | Alempi hiekka |
|  | |  | Keskimmäiset lajittuneet kerrostumat |
|  | Ylempi moreeni |  | Alemmat lajittuneet kerrostumat |
|  | |  | Rapautunut kallio |
|  | Alempi moreeni |  | Jokikerrostumat |
| | |  | Kallioperän rikkonainen yläosa |

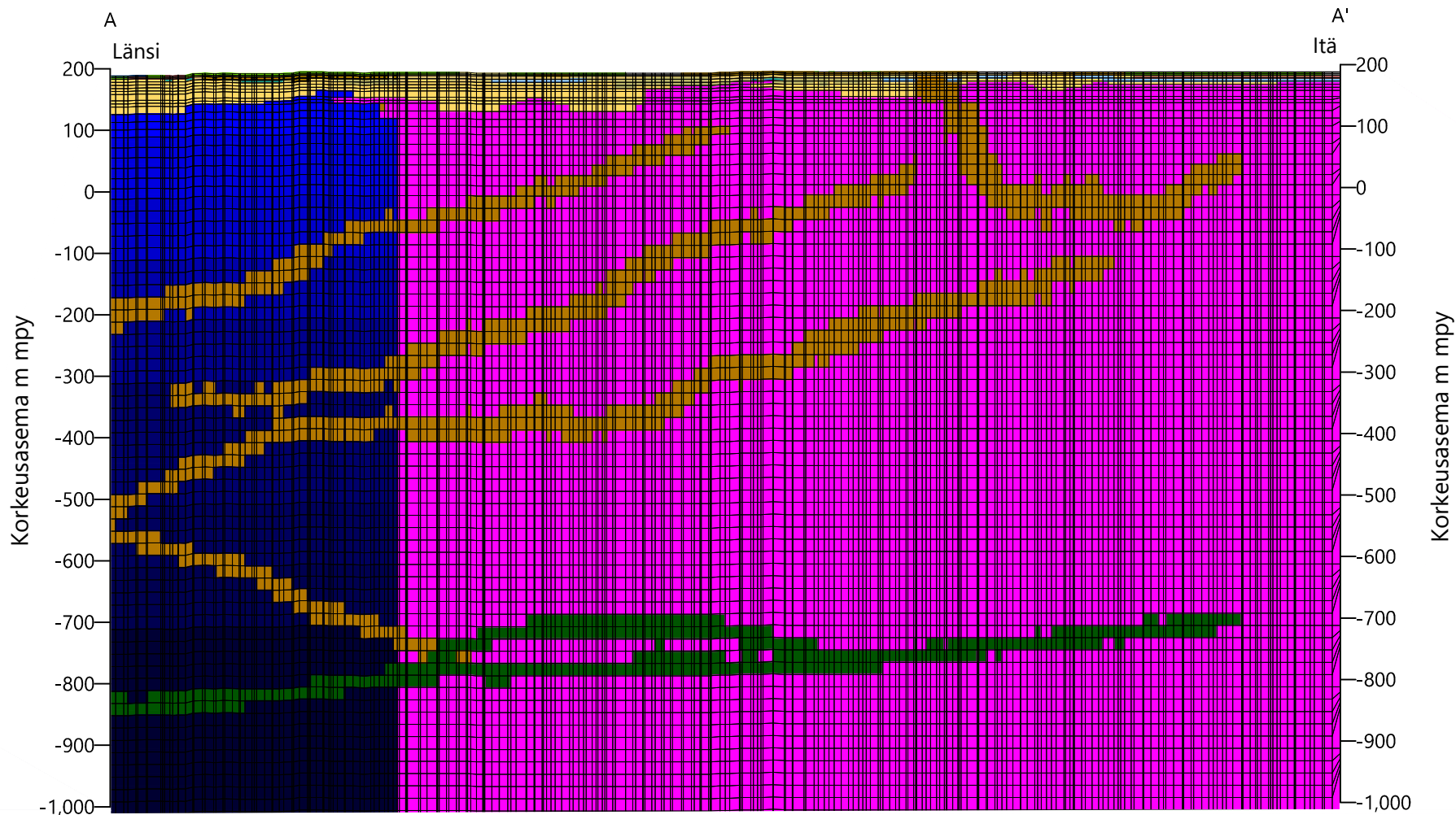
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MODEL
DRAWING DATE	20 AUG 2024
REVISION DATE	



Simuloitujen hydrogeologisten
yksiköiden tasokuva mallikerroksessa 1

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-1



Selite

- | | |
|----------------------|--------------------------------|
| Turve | Savinen rapauma |
| Lajittuneet | Rikkinainen kallioperän yläosa |
| pintakerrostumat | Läpäisevämpi kallioperä |
| Ylempi moreeni | Vähemmän läpäisevä kallioperä |
| Alempi moreeni | Ruhje |
| Kesk. Lajitt. kerros | Pohjaruhje |
| Alim. lajitt. kerros | |
| Rapautunut kallio | |
| Jokikerrostumat | |
| Pohjakerrostumat | |

Ei korkeussuuntaista liioittelua

0 4000
Metriä

Poikkileikkauksen sijainti on esitetty kuvassa 4-1

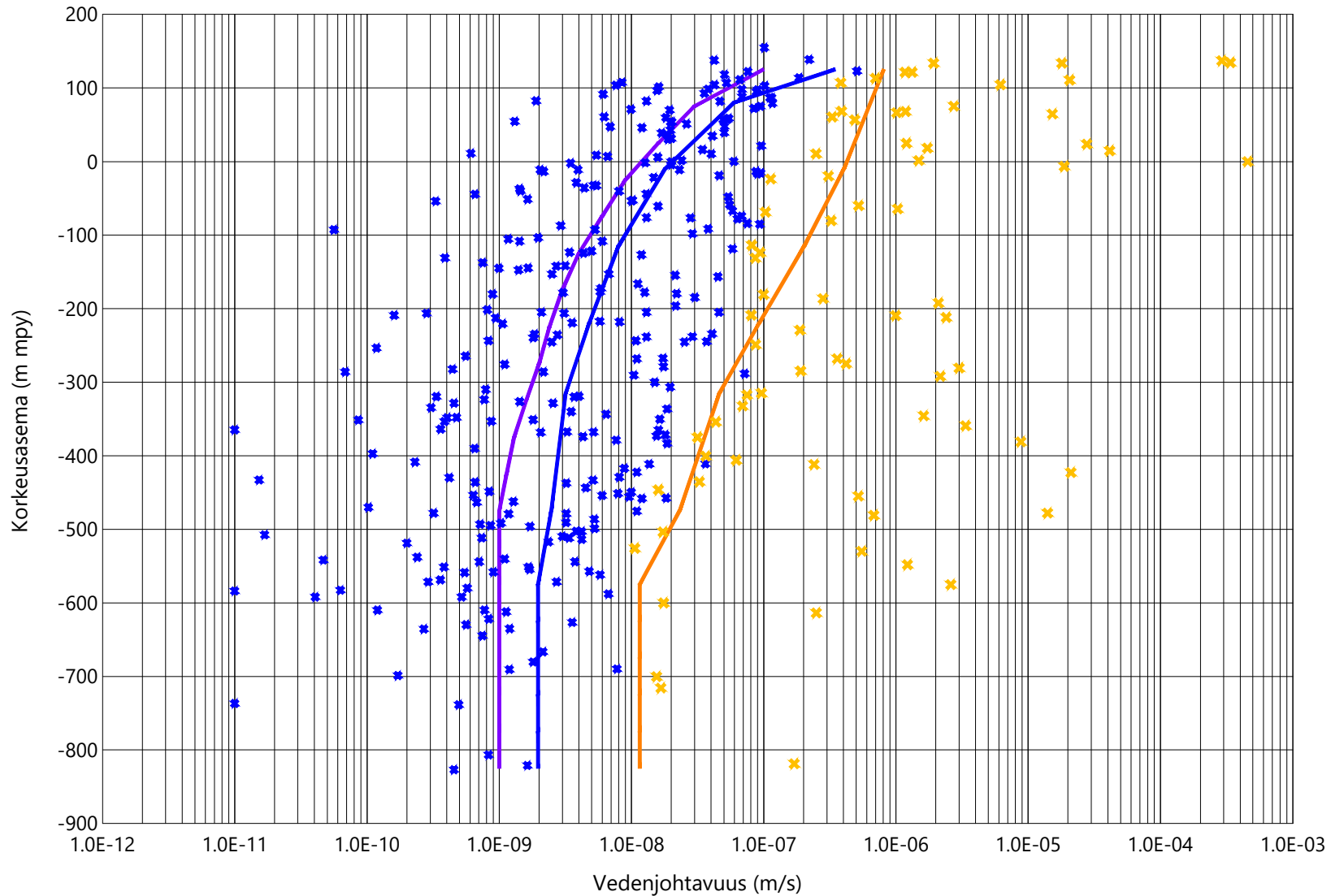
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	XSEC
DRAWING DATE	23 AUG 2024
REVISION DATE	



Simuloitujen hydrogeologisten yksiköiden
Itä-länsisuuntainen leikkauskuva
maalaisen kaivoksen alueella

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-2



- ★ Kallioperän vesihävikikokeista mitatut K -arvot
- ★ Rakojen/Ruhjeiden vesihävikikokeista mitatut K -arvot
- Läpäisevämpi kallioperä (mallinnettu)
- Vähemmän läpäisevä kallioperä ja ruhjeet(mallinnettu)
- Pohjaruhje (mallinnettu)

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SIM
DRAWING DATE	23 AUG 2024
REVISION DATE	



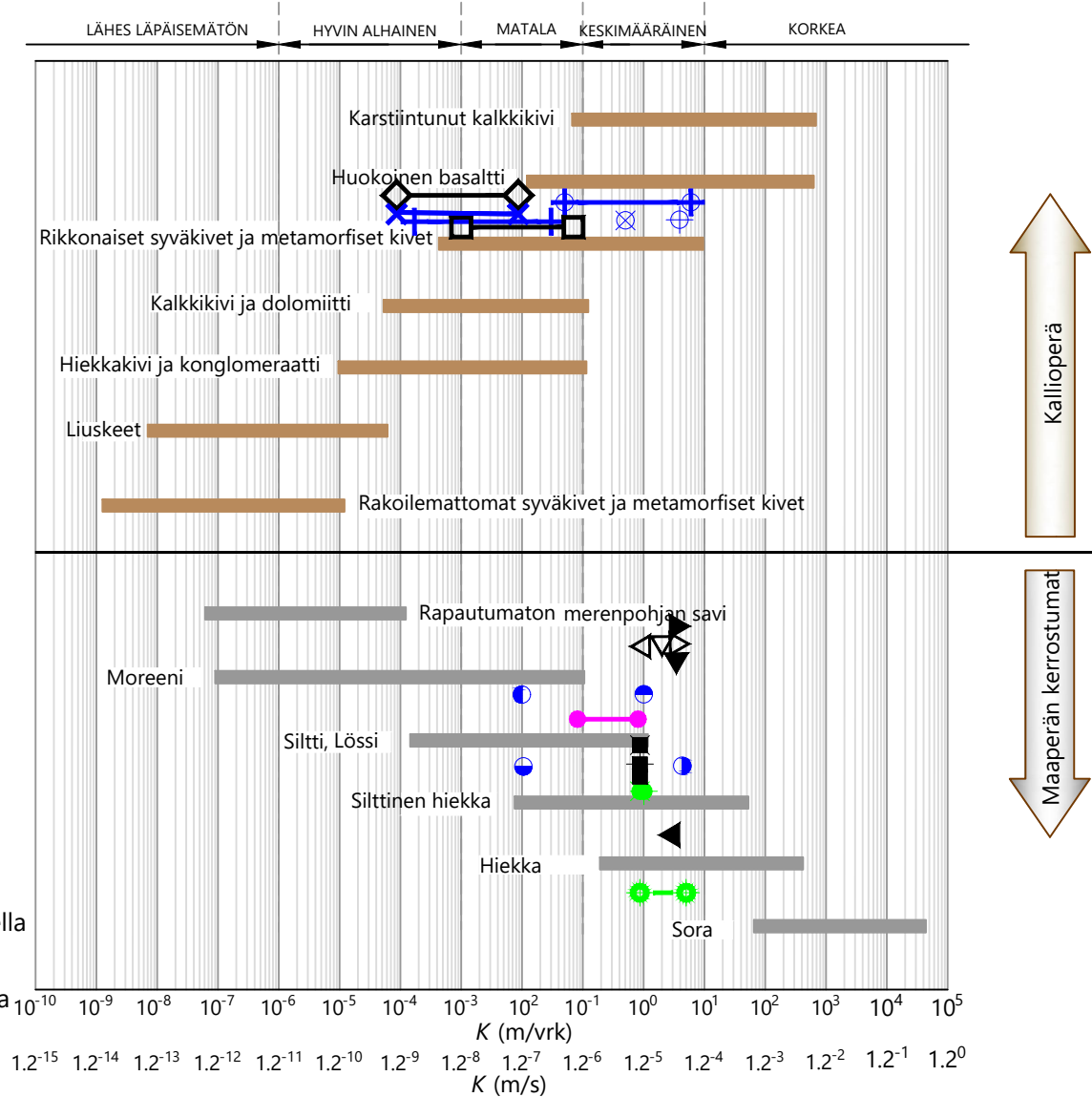
Pohjaveden virtausmallilla simuloitujen
vedenjohtavuuksien vertailu
vesihävikikokeilla mitattuihin
vedenjohtavuuksiin

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-3

SELITE

- ◀ Lajittuneet kerrostumat (Kuusivaara)
- ◁ Moreeni Sakatin alueella
- ▶ Ylempi moreeni
- ▷ Keskimäinen moreeni
- ▼ Intermediaaninen moreeni
- ▽ Alempi moreeni
- Pintakerrostumat (Lajittuneet)
- Keskimäiset lajittuneet
- Alemmat lajittuneet
- Ylemmät hiekat
- Keskimäiset hiekat
- Alemmat hiekat
- Savi
- Savinen rapauma
- Pohjakerrostumat
- Kitisen jokikerrostumat
- Turve
- ⊕ Rikkoutunut kallioperä Kitisen läheisyydessä
- ⊗ Rikkoutunut kallioperä Sakatin alueella
- ⊕ Ehjä kallioperä Kitisen läheisyydessä
- ⊕ Ehjä kallioperä Sakatin alueella
- ⊗ Ehjä kallioperä maanalaisen kaivoksen alueella
- Pohjaruhje
- ◇ Muut ruhjeet maanalaisen kaivoksen alueella



Perustuu Freeze ja Cherry 1979

Huomiot:

1) Vedenjohtavuuden oletetaan olevan yhtäsuuri sekä horisontaali- (K_x) että vertikaalisuunnassa (K_y)

2) Anisotropia määritettiin mallin kalibroinnissa

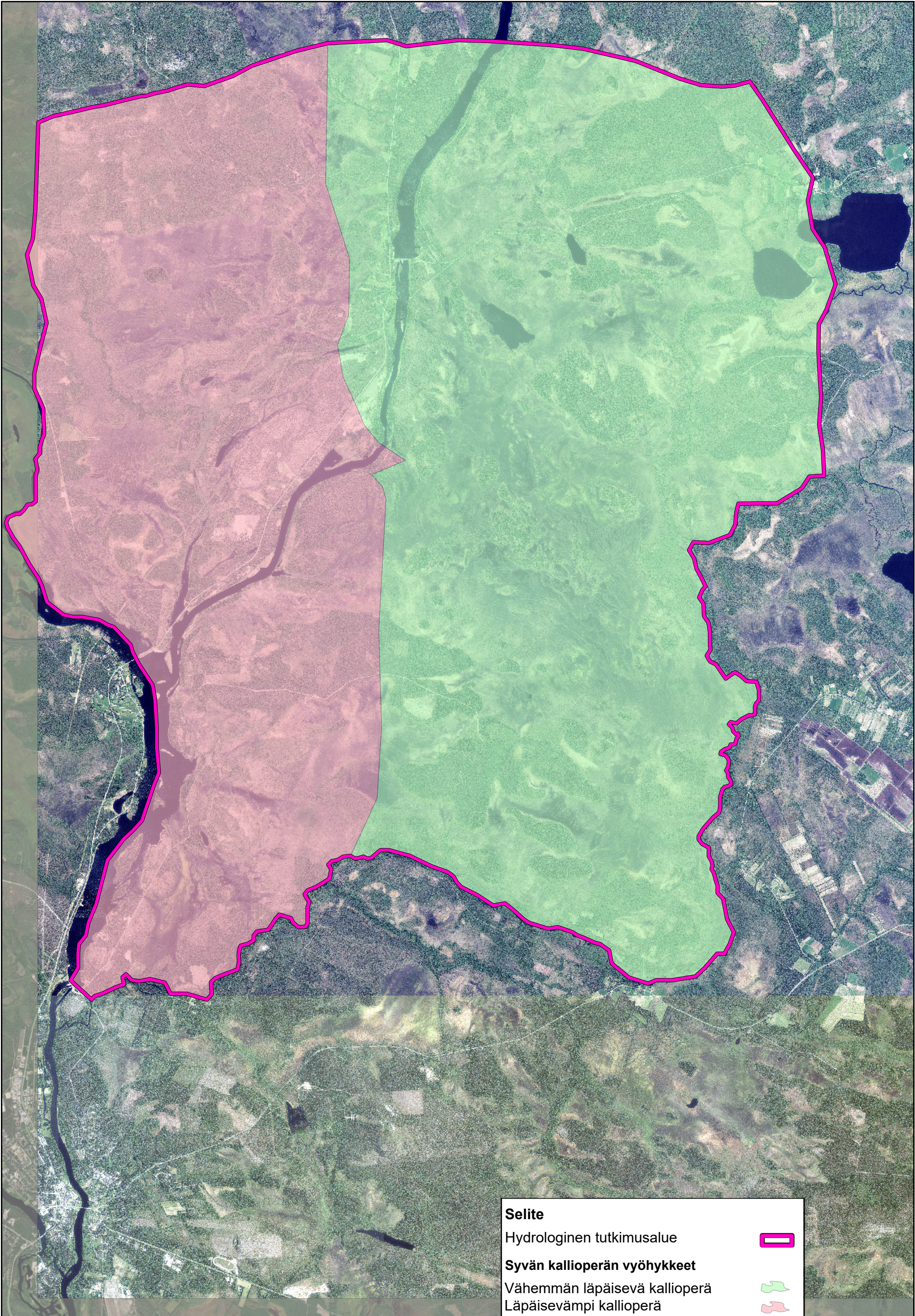
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KVALUES
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Sakatin kaivoksen pohjaveden virtausmallissa
2024 käytetyt vedenjohtavuuden arvot

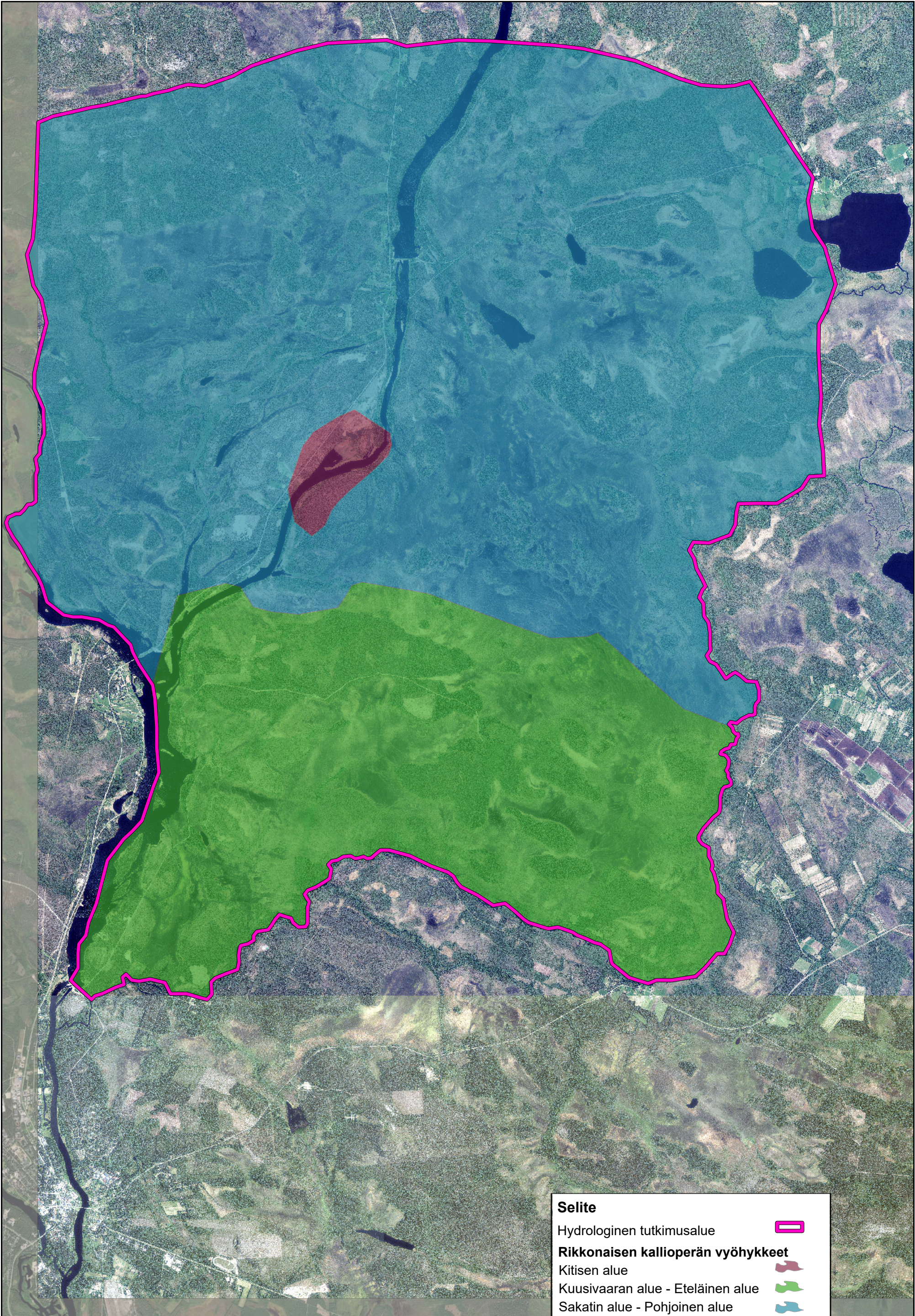
CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-4



Selite
Hydrologinen tutkimusalue
Syvän kallioperän vyöhykkeet
Vähemmän läpäisevä kallioperä
Läpäisevämpi kallioperä

N 0 1000 2000 Metriä	PROJECT NO.	4064		Syvän kallioperän läpäisevämmän ja vähemmän läpäisevän kallioperä-yksikön alueellinen laajuus	
	BY	SBM			
	CHECKED	HL		CLIENT: Sakatti Project	FIGURE NO. 4-5
	DRAWN	NP			
	DRAWING NAME	Sakatti			
	DRAWING DATE	Apr. 25, 2022			
	REVISION DATE	Aug. 30, 2024			



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Rikkonaisen kallioperän vyöhykkeet

Kitisen alue

Kuusivaaran alue - Eteläinen alue

Sakatin alue - Pohjoinen alue

N

010002000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Sakatti
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

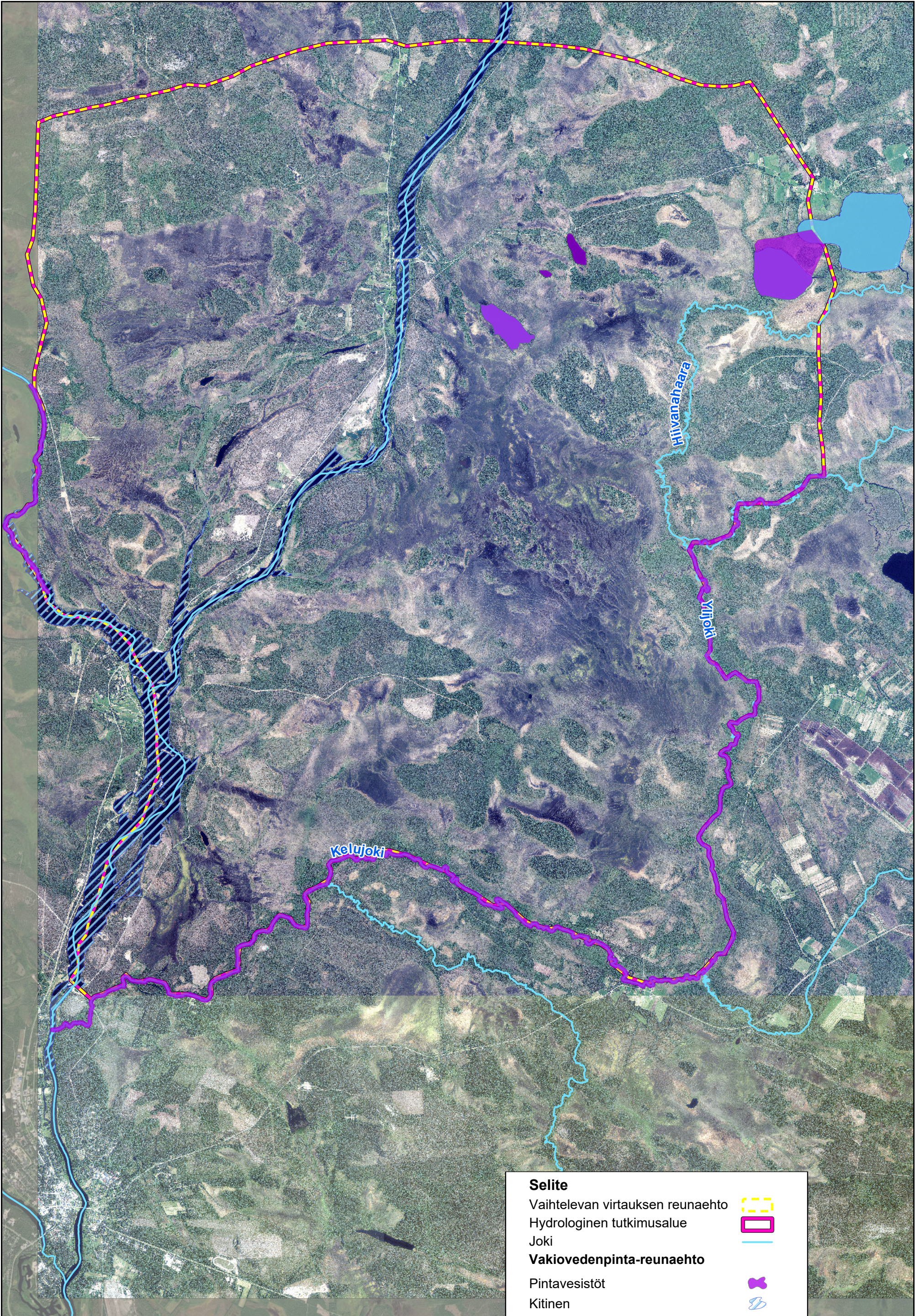
Rikkonaisen kallioperän yksiköiden simuloitut alueelliset laajuudet

CLIENT: Sakatti Project

FIGURE NO.

4-6

G:\ARCGIS\R064_Sakatti\MXD\Working\Sakatti\Sakatti.aprx



N

0

1000

2000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Sakatti
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

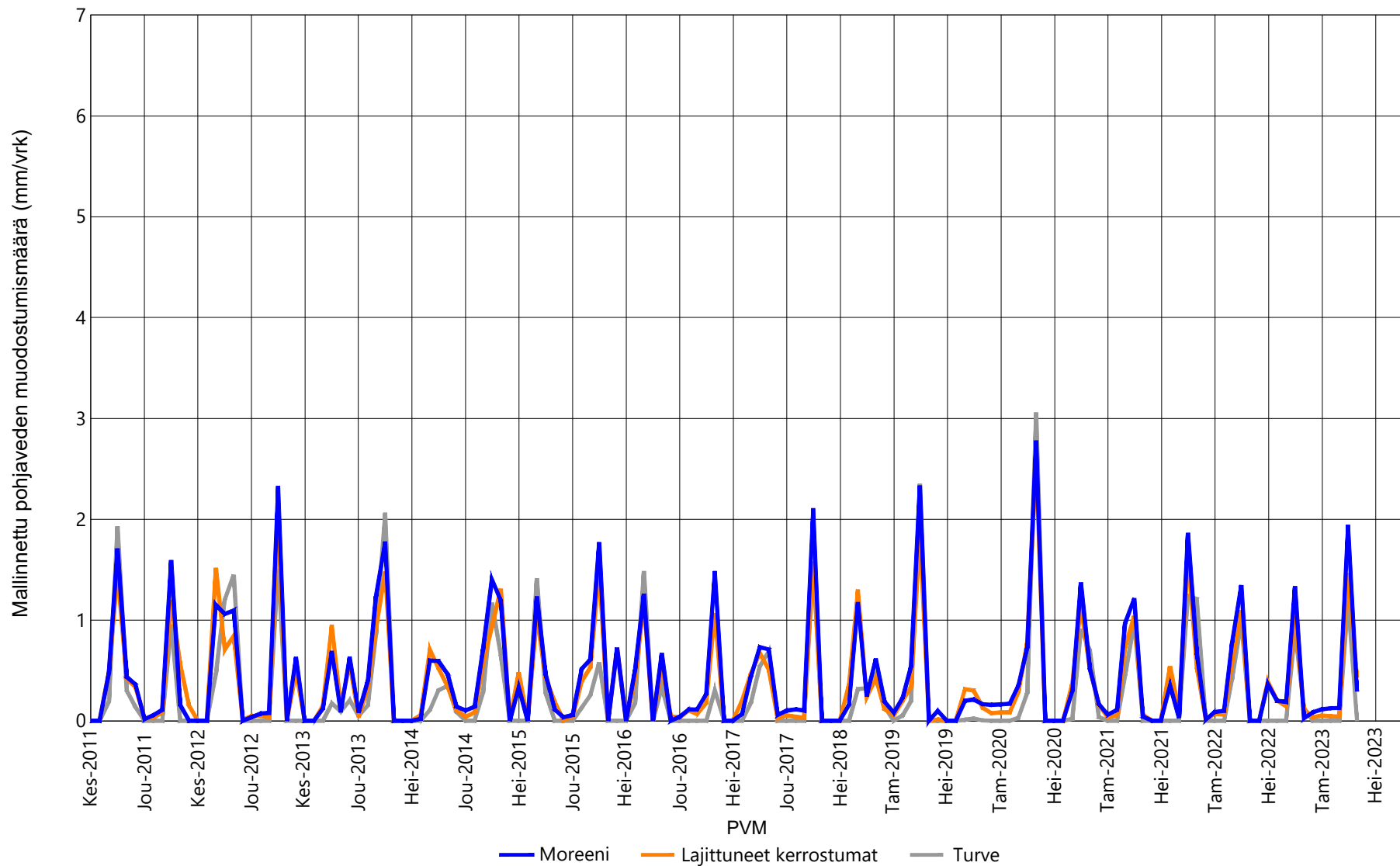
ITASCA

Pohjaveden virtausmallin simuloidut reunaehdot

CLIENT: Sakatti Project

FIGURE NO.

4-7



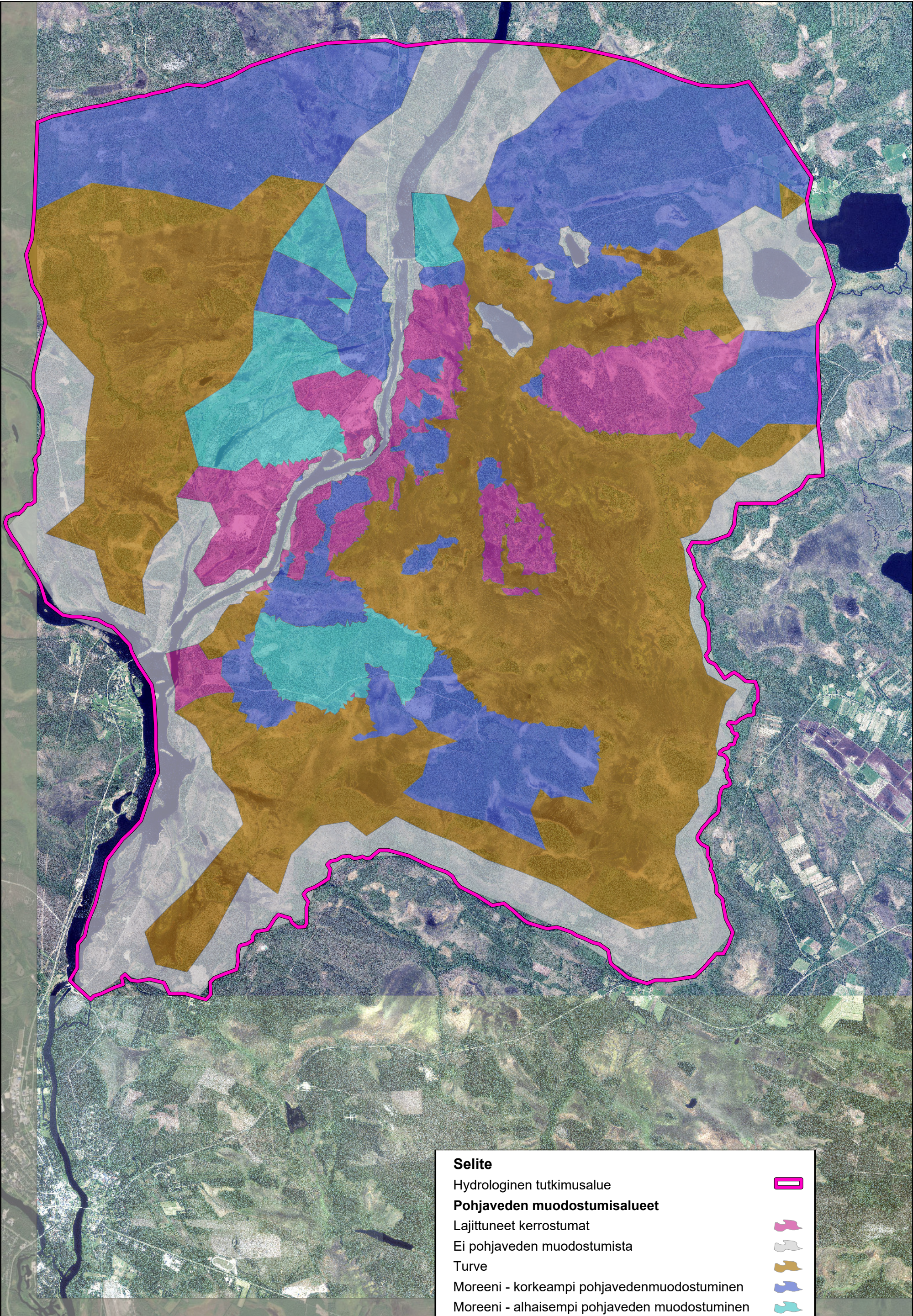
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECHARGE
DRAWING DATE	26 AUG 2024
REVISION DATE	



MIKE SHE -mallilla simuloidut
pohjaveden muodostumismäärät

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-8



Selite

Hydrologinen tutkimusalue



Pohjaveden muodostumisalueet

Lajittuneet kerrostumat



Ei pohjaveden muodostumista



Turve



Moreeni - korkeampi pohjavedenmuodostuminen



Moreeni - alhaisempi pohjaveden muodostuminen



0 1000 2000
Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	SimRecharge
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

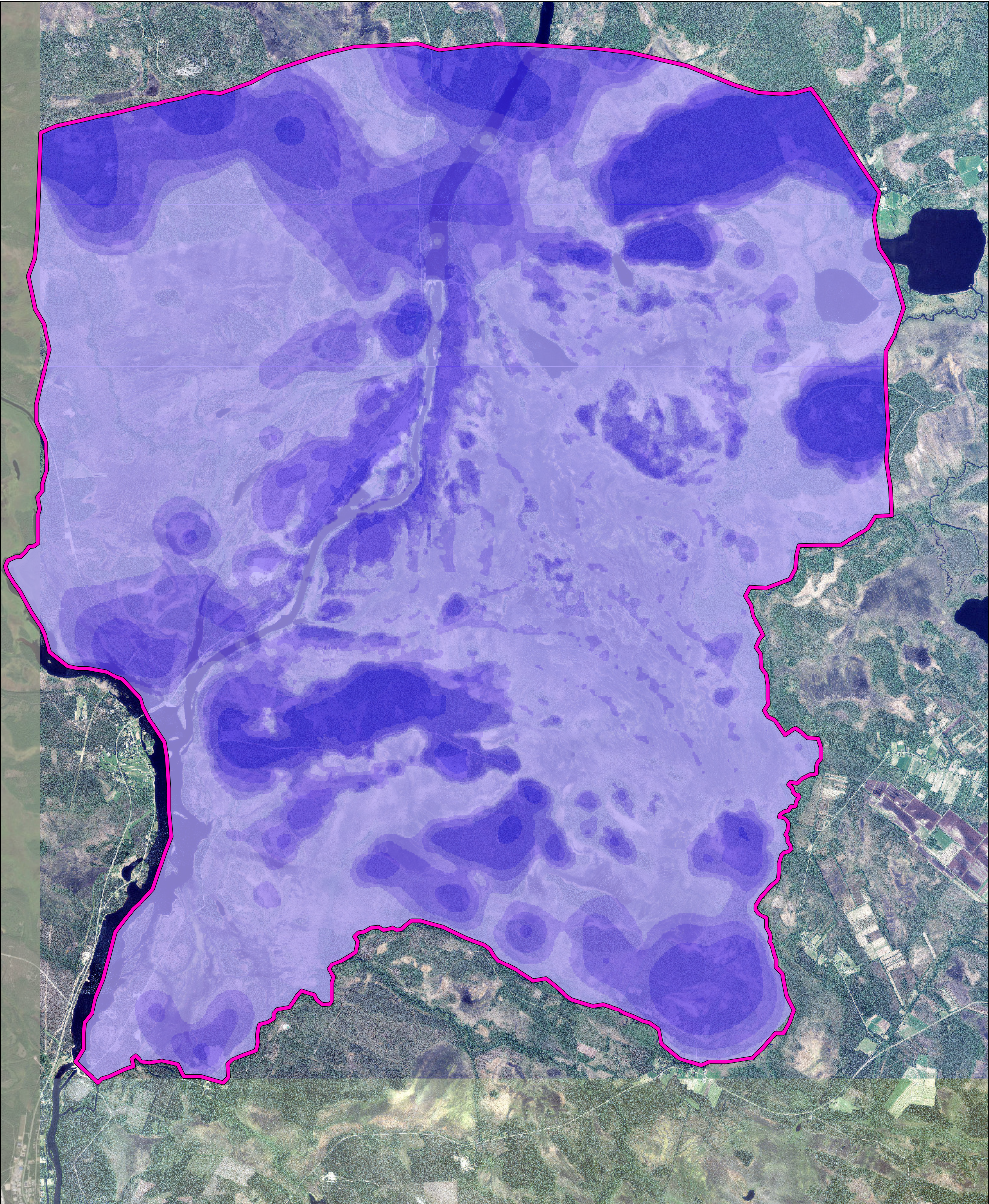


Pohjaveden muodostumisalueiden simuloitu
alueellinen laajuus

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-9





Selite

 Hydrologinen tutkimusalue

Mallinnettu pohjaveden pinnansyvyys (m mpa)

 0–0.5

 0.5–1

 1–2

 2–3

 3–5

 5–10

 10+

N



010002000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	SimDepth
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

 **ITASCA**

Simuloitu steady state -tilanteen pohjaveden pinnan syvyys maanpinnasta

CLIENT:

Sakatti Project

FIGURE NO.

4-11



Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Maanalaisen kaivoksen alue
- Viiankiaapa Natura 2000 - alue
- Tunnelilijan alue
- Joki
- Kitinen
- Järvi
- Lampi

Mallinnetut vedellä kyllästyneet alueet / pohjaveden muodostumisalueet

- Vedellä kyllästyneet alueet (lammikoituminen, pintavalunta, pohjaveden purkautuminen)
- Muodostumisalue



0 1000 2000
Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Discharge
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024



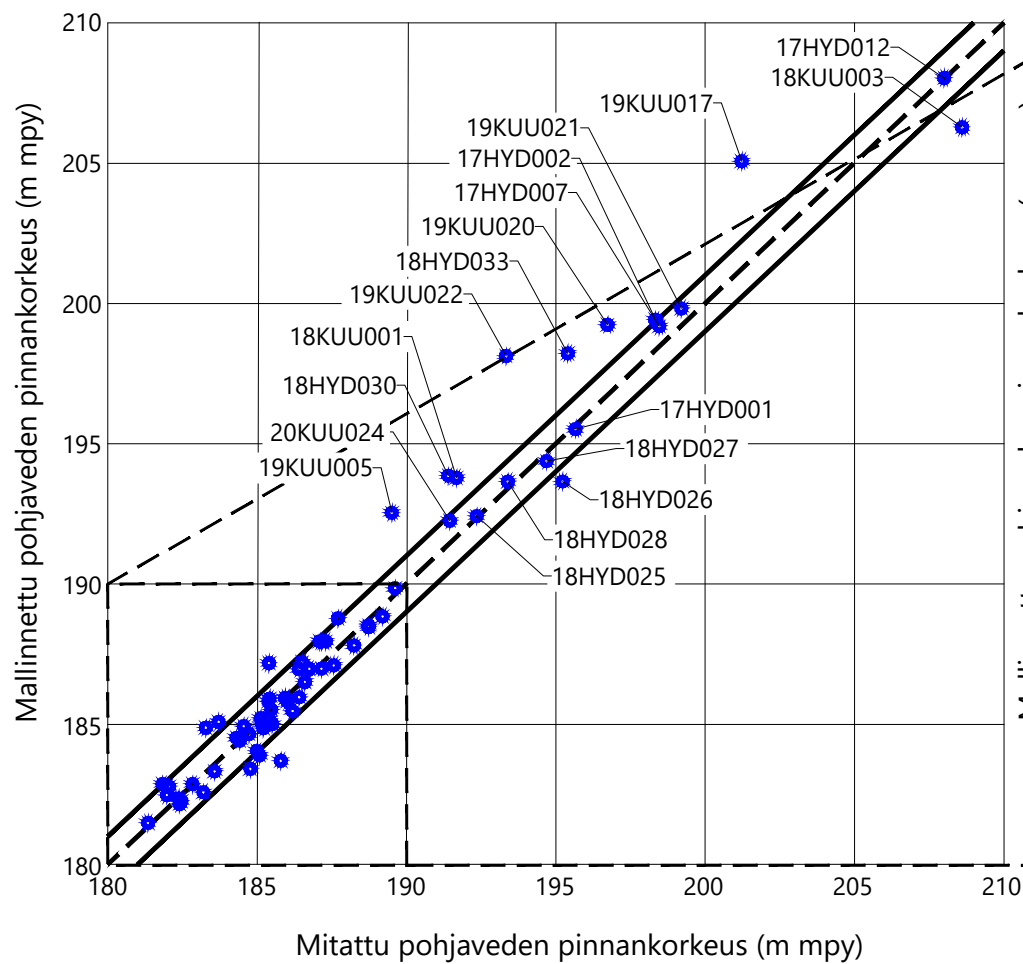
ITASCA

Simuloidut vedellä kyllästyneet alueet ja
pohjaveden muodostumisalueet steady
state -tilanteessa

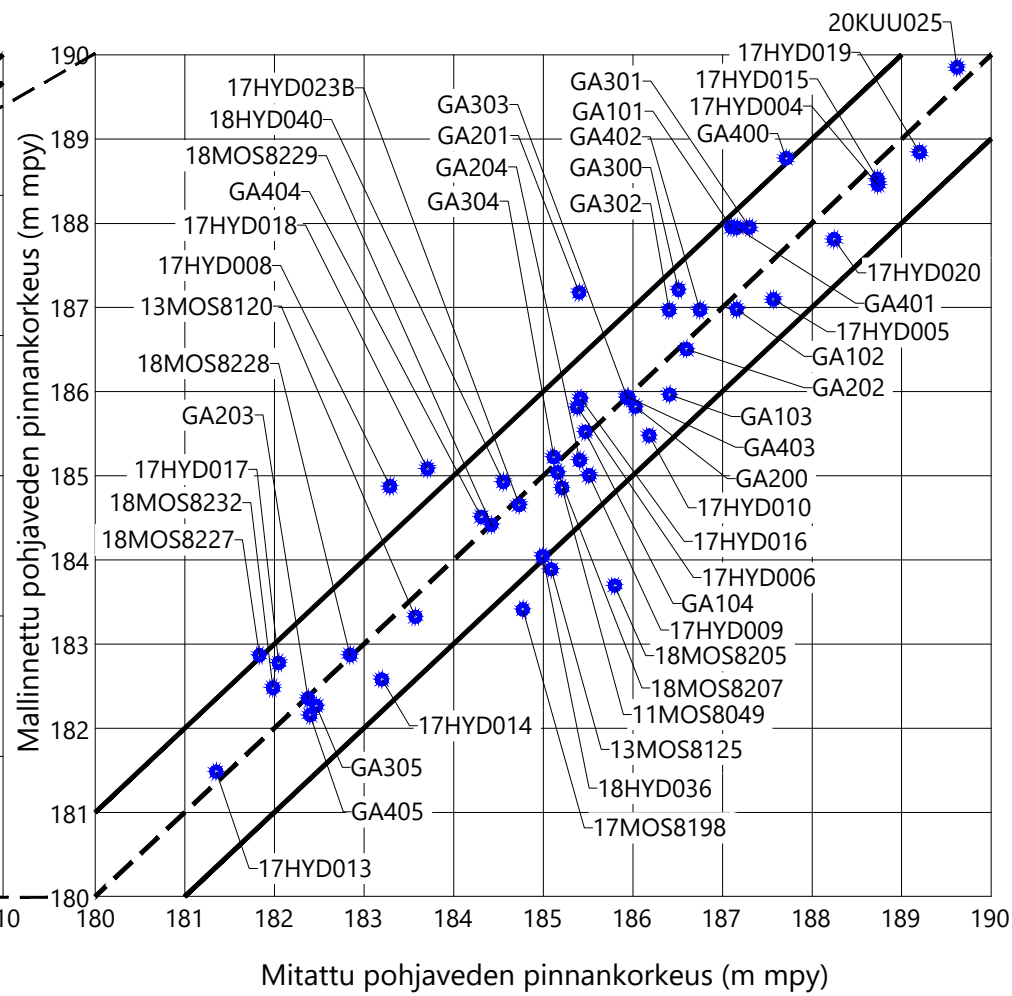
CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-12

a) Koko mallin kalibrointi



b) Mallin kalibrointi 180–190 m mpy välillä



Huomio: Havaintojen mittausajankohdat on esitetty taulukossa 4-3.

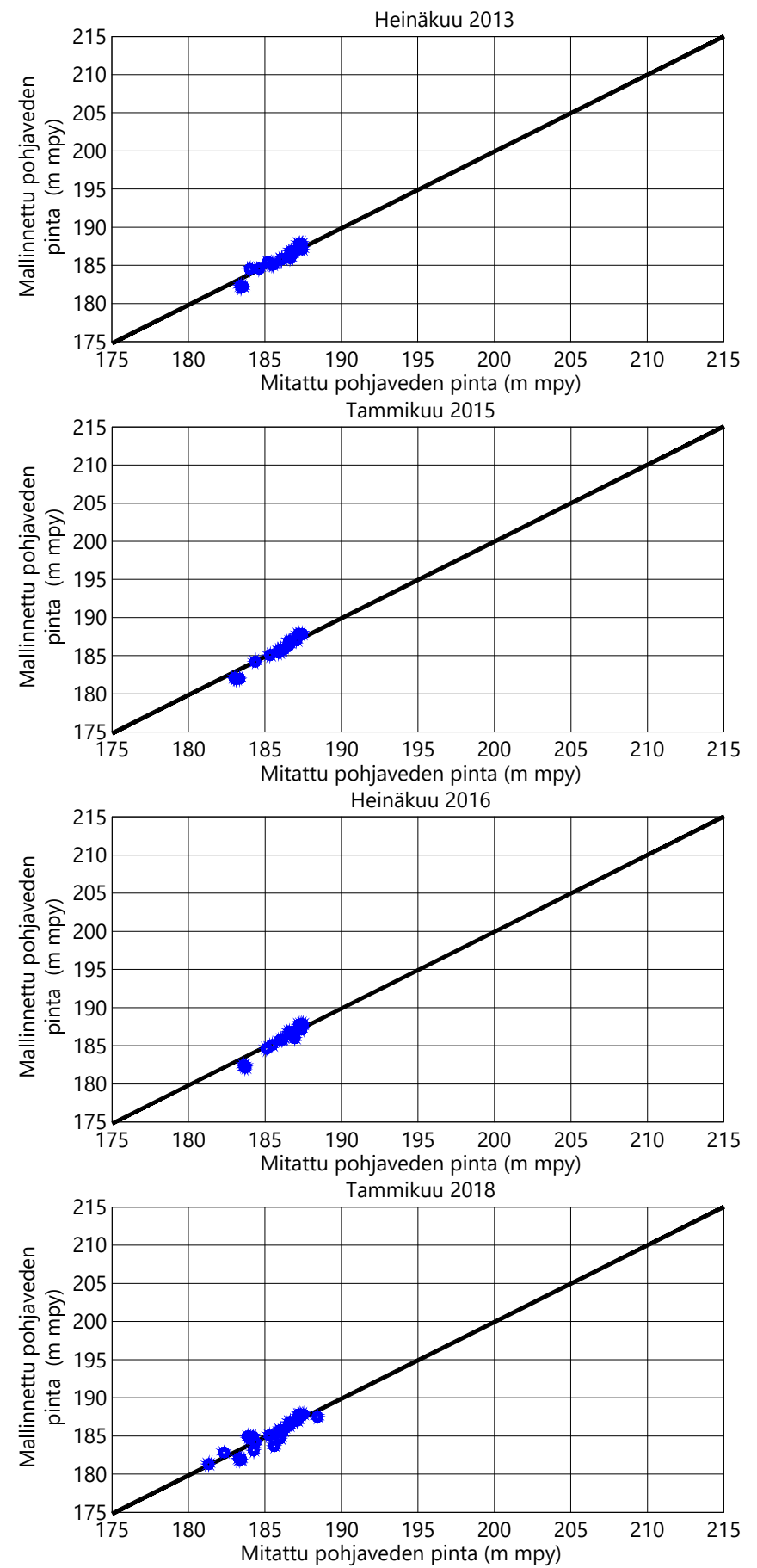
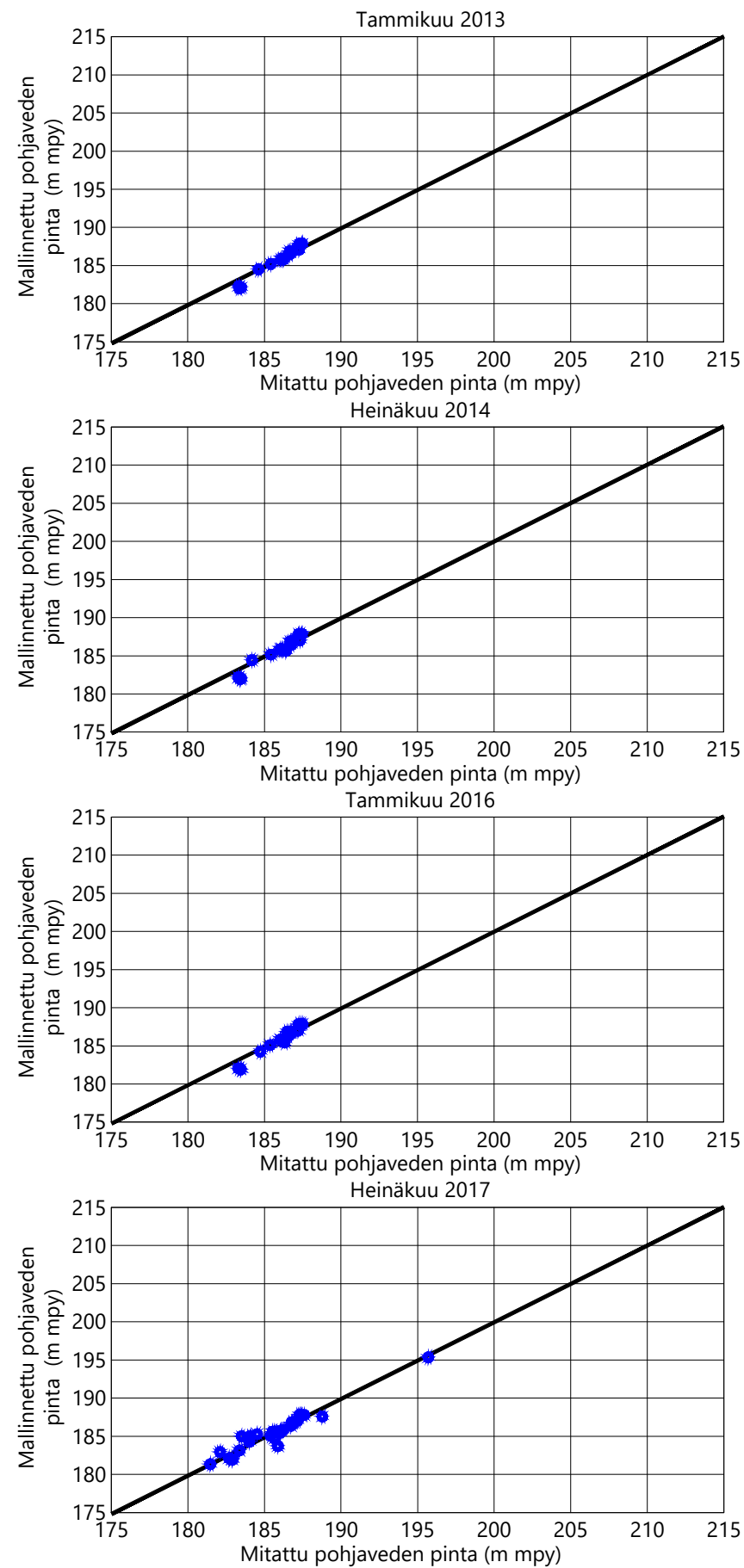
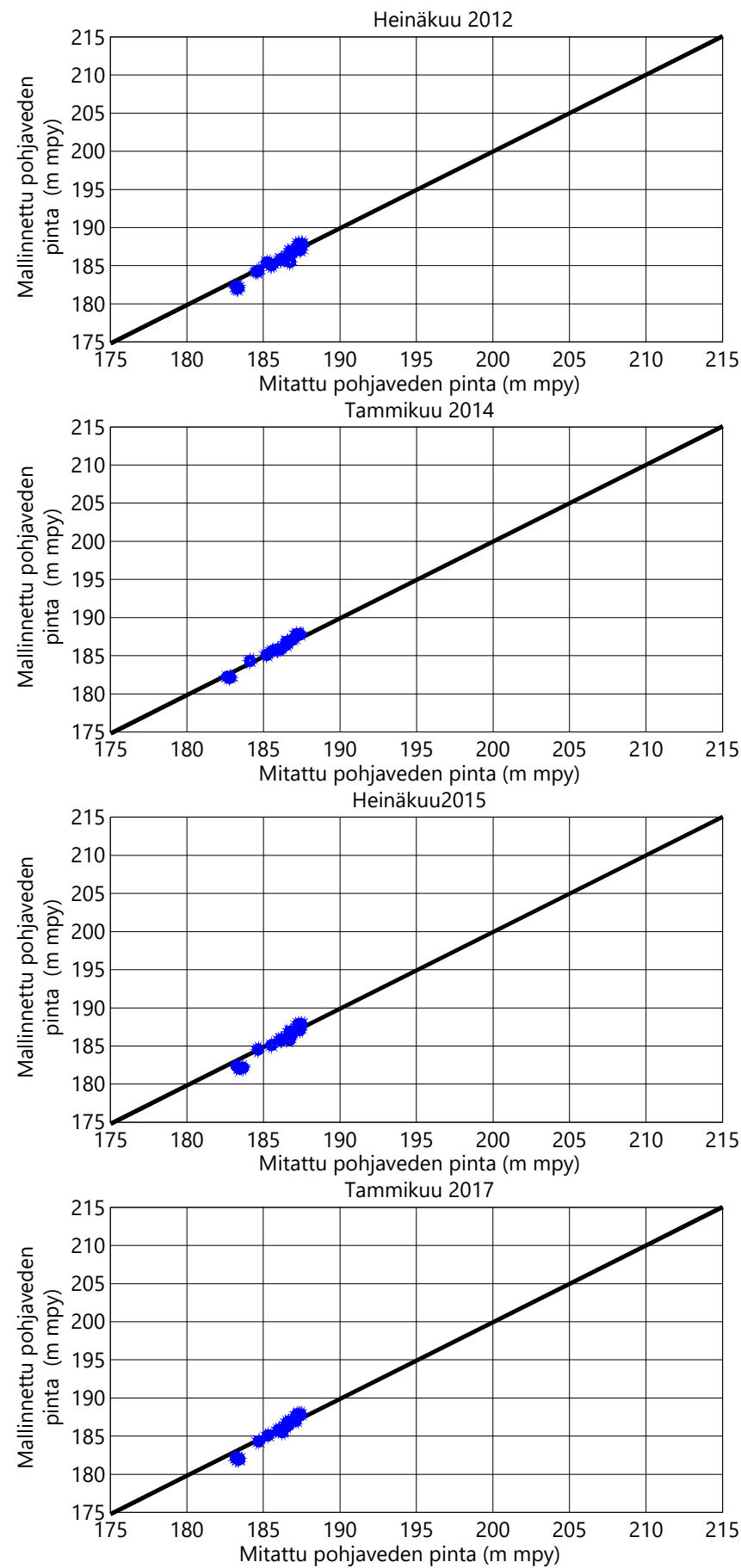
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SS
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Steady state -mallin kalibroinnin
hajontakuvi

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-13



• Mittauspiste
— 1:1 korrelaatioasuora

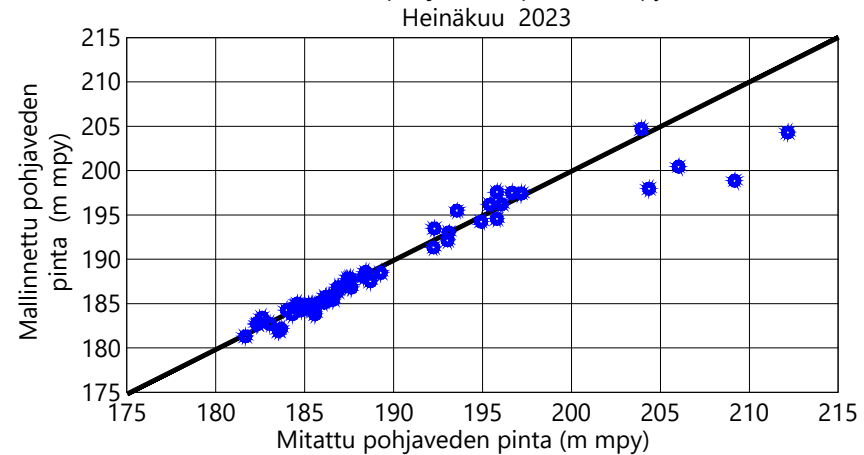
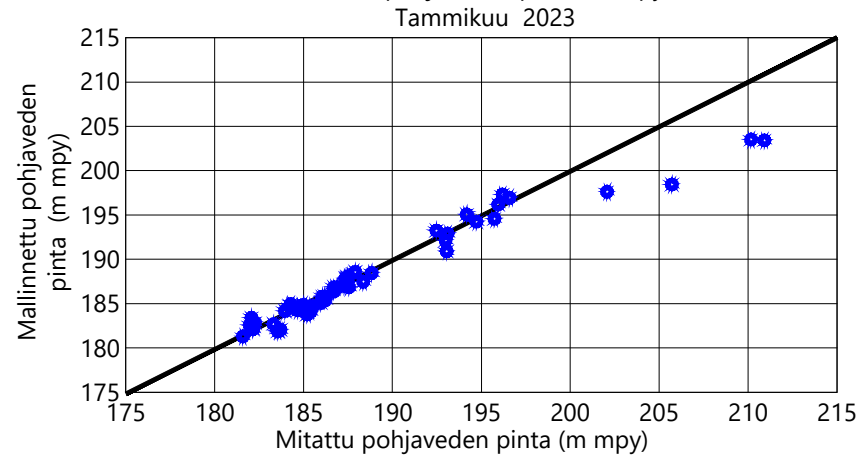
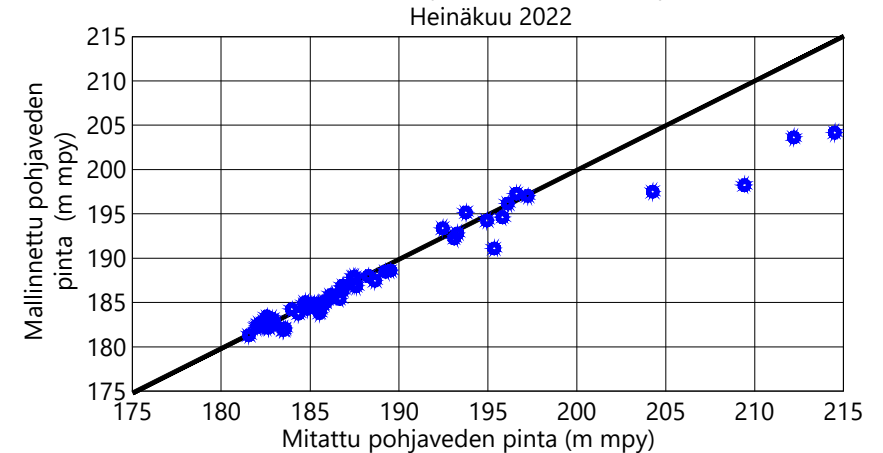
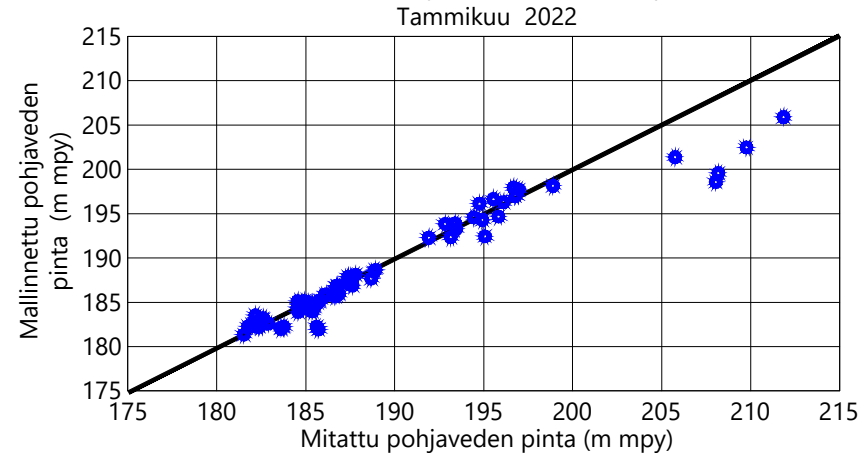
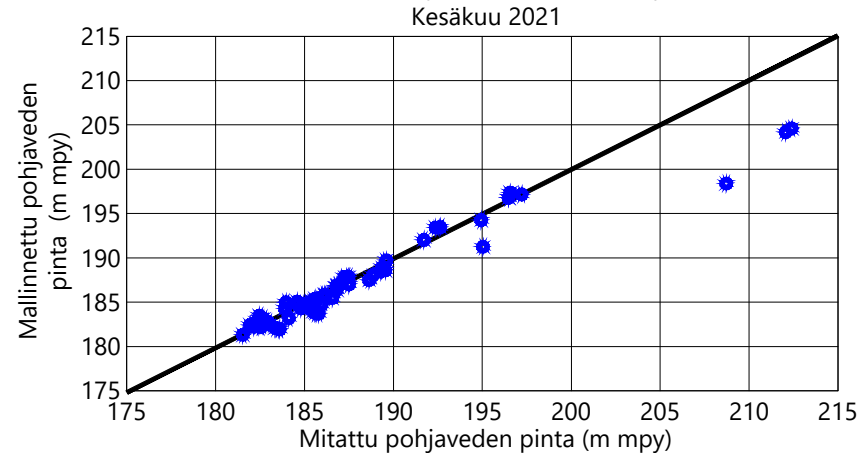
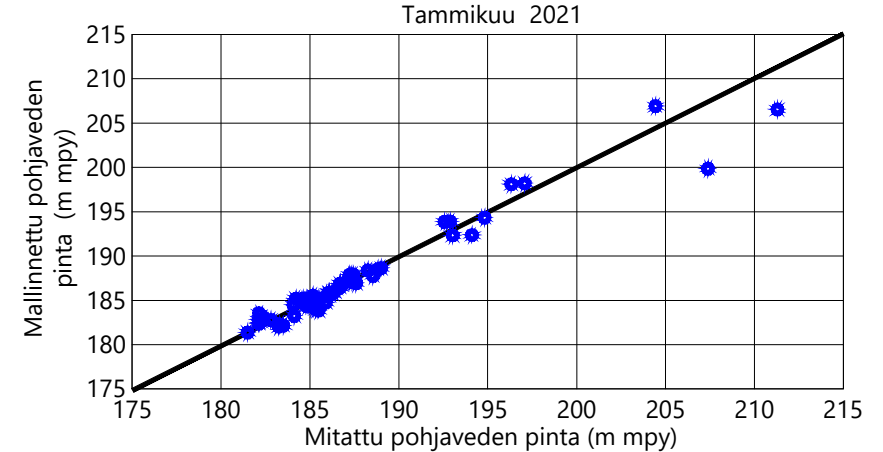
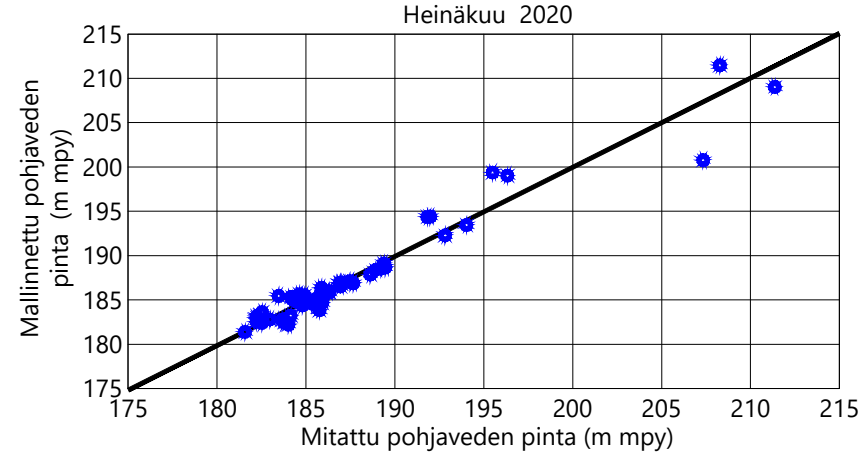
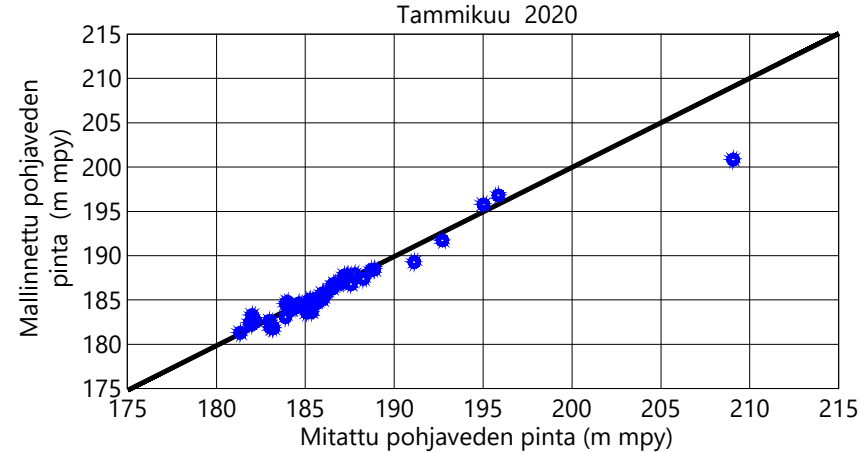
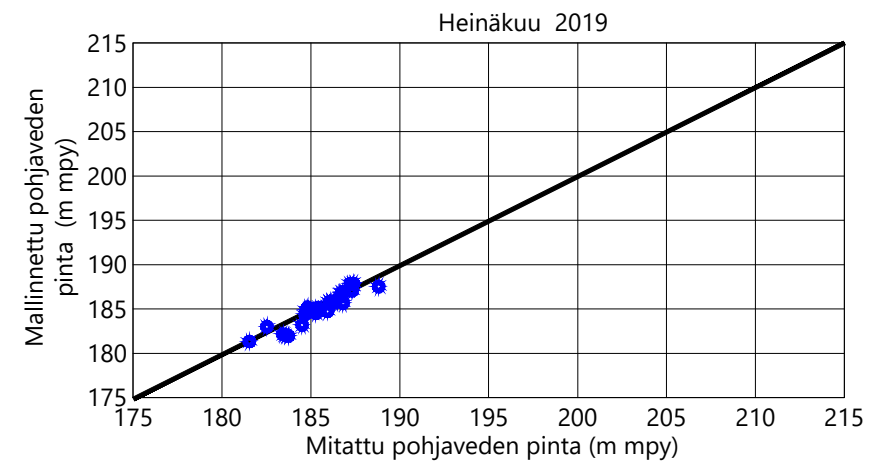
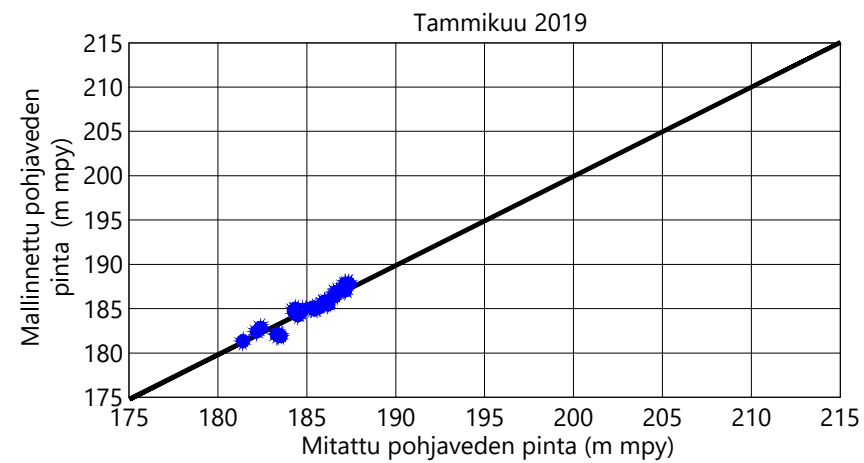
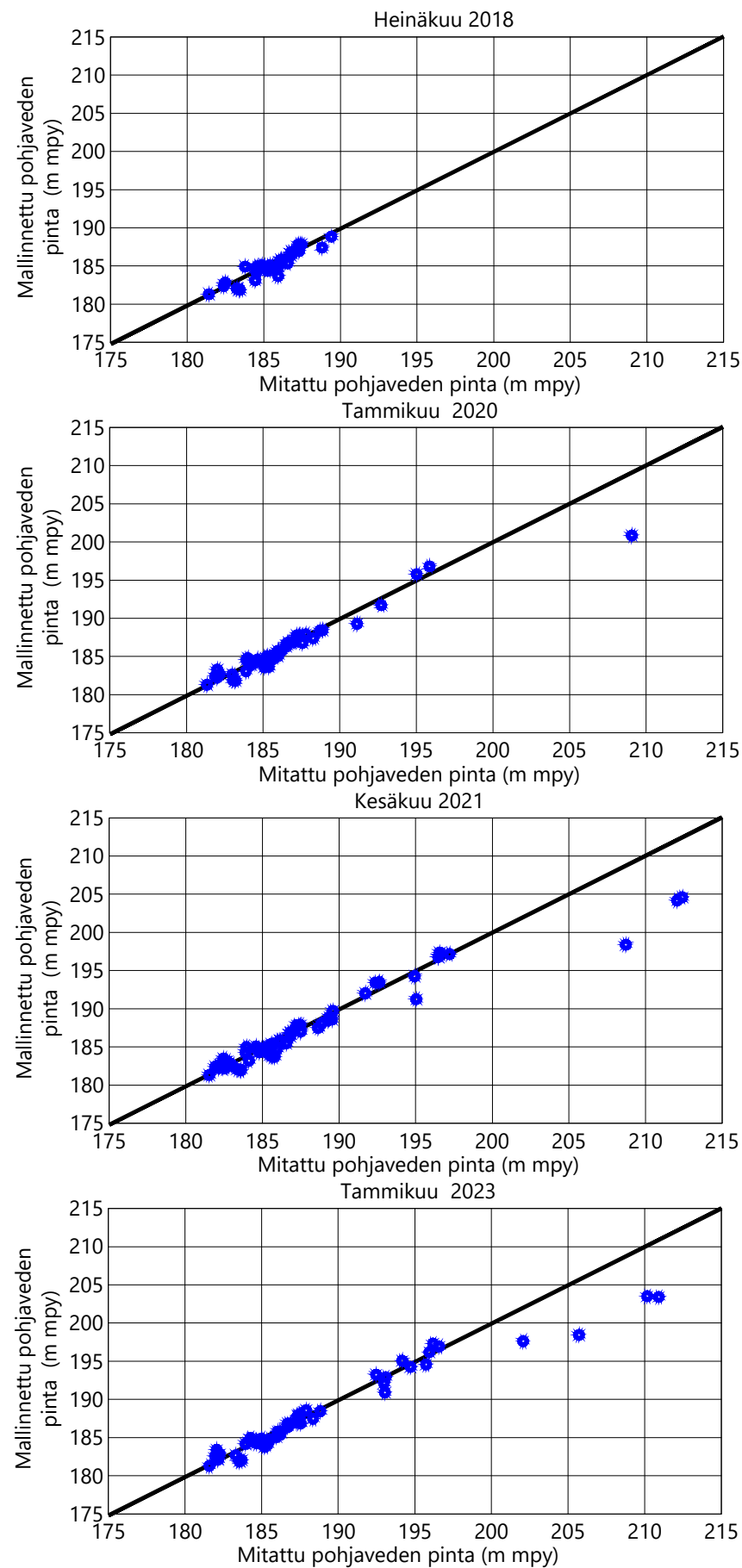
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	TEMP
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	



Transient -mallin kalibroinnin
hajontakuvio

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-14a



• Mittauspiste
— 01:1 korrelaatio-suora

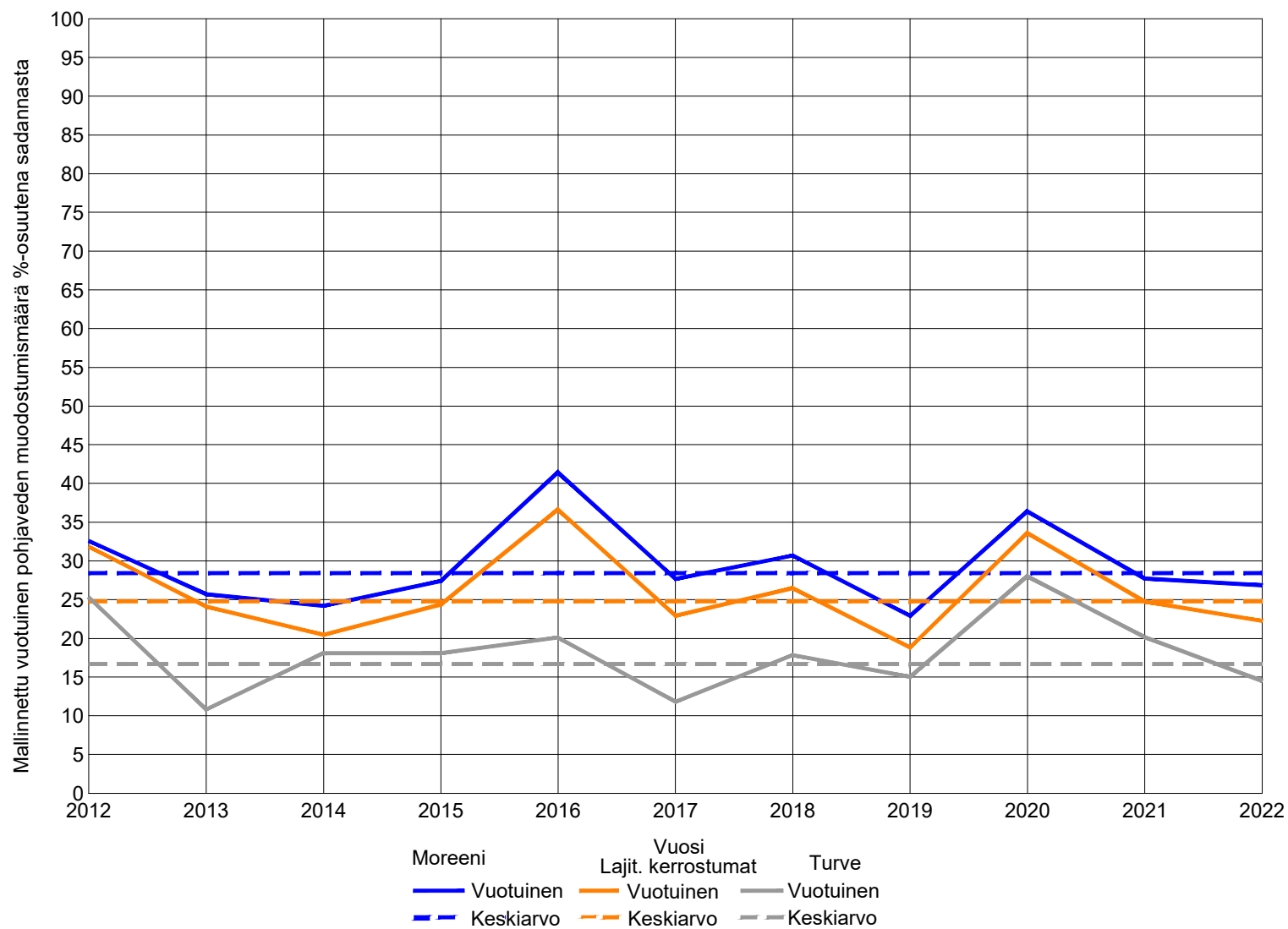
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	TEMP
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	



Transient -mallin kalibroinnin
hajontakuvi

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-14b



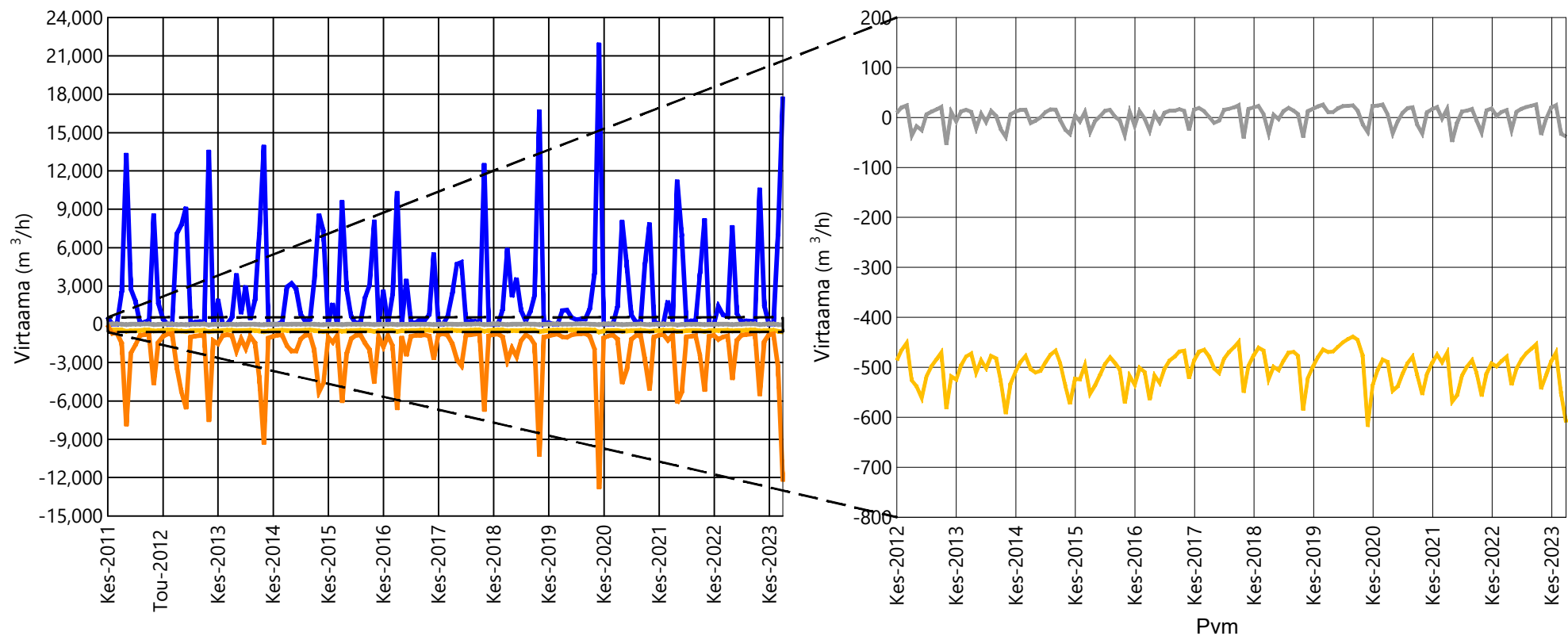
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CAL
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Pohjaveden simuloitujen
muodostumismäärien osuus sadannasta

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-15



— Malliin syötetty pohjaveden muodostuminen — Pintavesivalunta — Pohjaveden ulosvirtaus mallista — Pohjaveden purkautuminen virtavesiin ja järviin

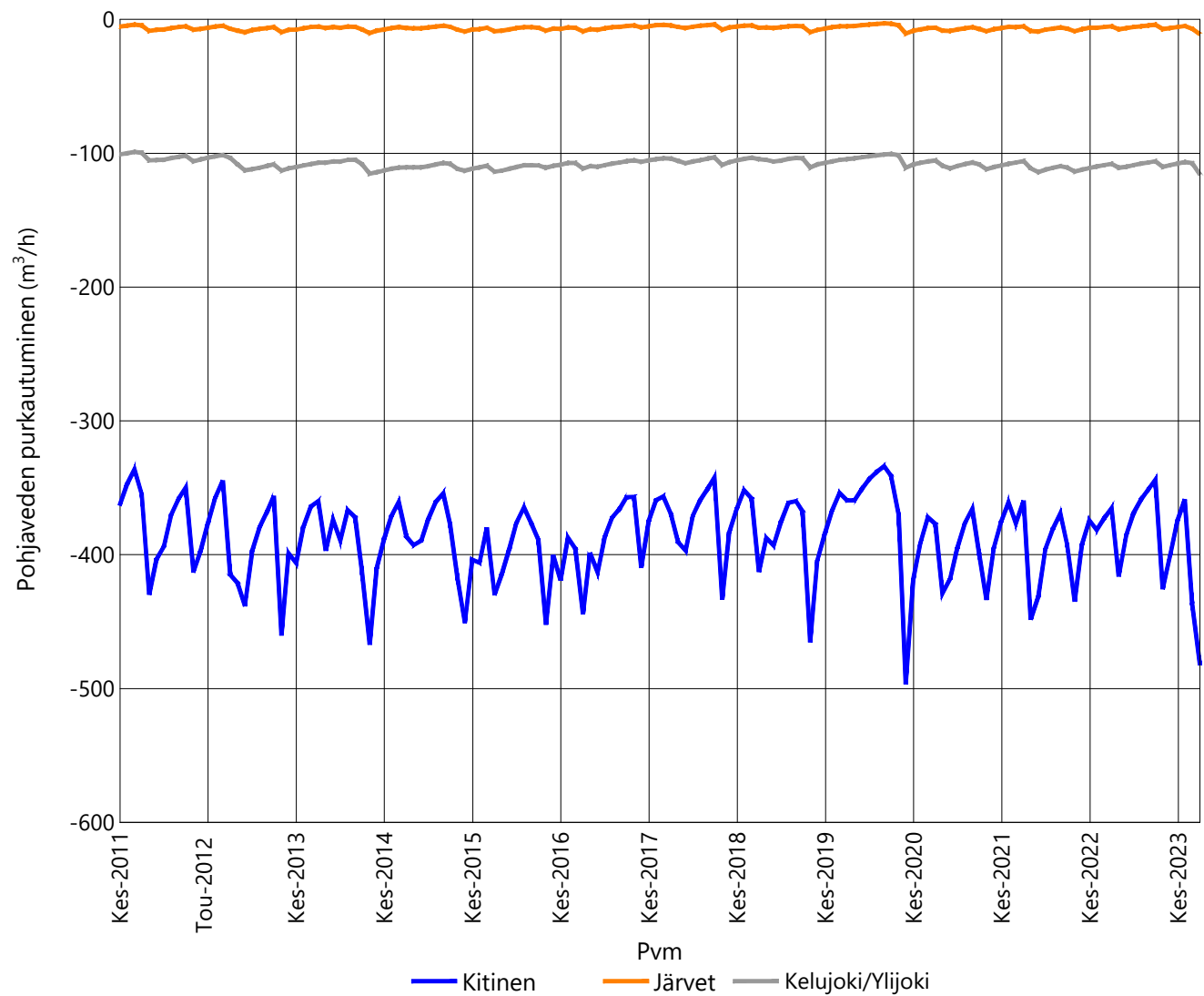
PROJECT NO.	
BY	6 % 0
& + (& . (')	6 % 0
' 5 \$: 1	5 - 1
' 5 \$: , 1 * 1 \$ 0 (	& \$ /
' 5 \$: , 1 * ' \$ 7 (	\$ 8 *
5 (9 , 6 , 2 1 ' \$ 7 (	



Pohjavesimallin kalibroitu
vesitase

& / , (1 7
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-16



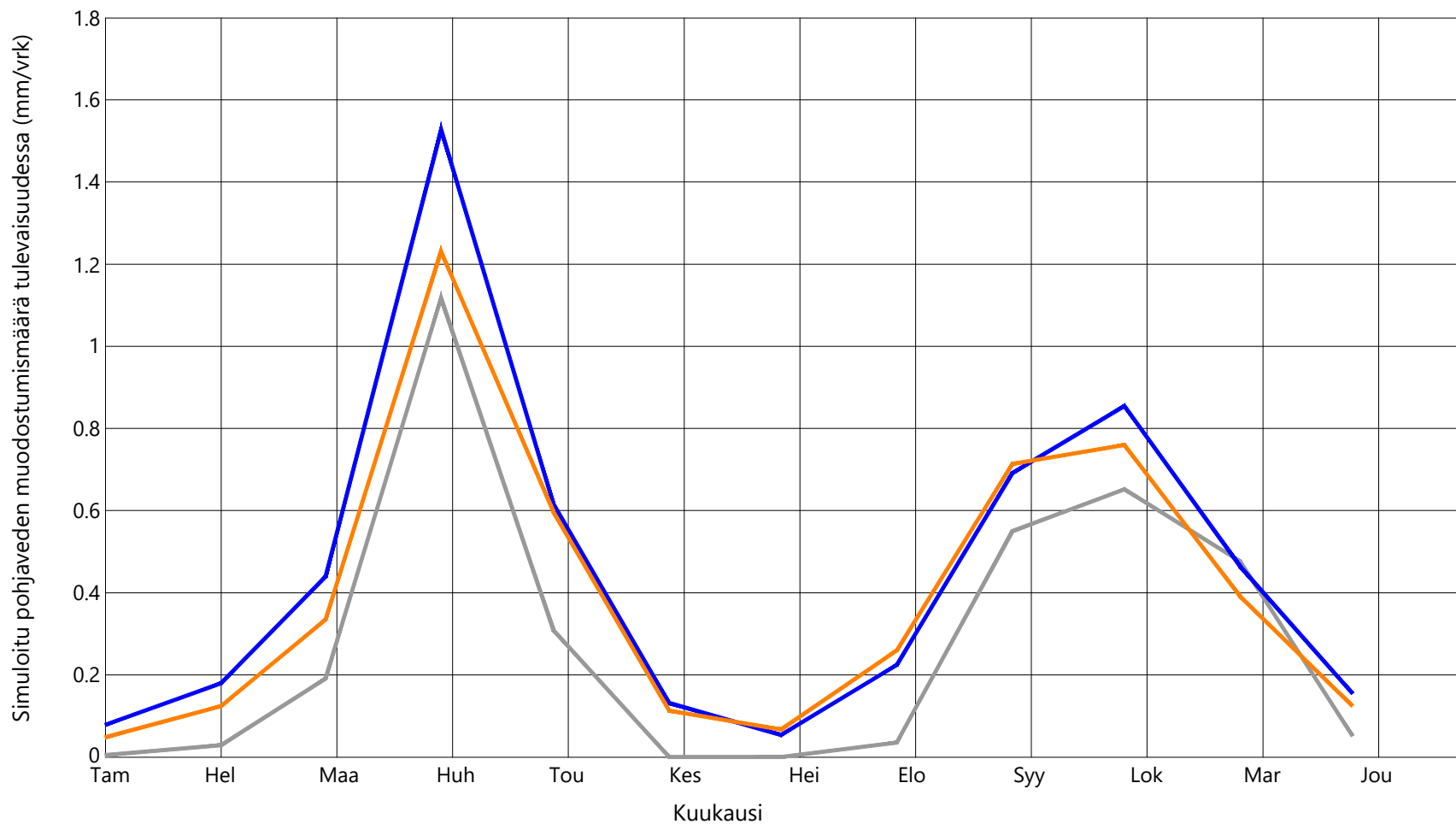
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	R/JN
DRAWING NAME	CAL
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Pohjaveden virtausmallilla kalibroitu
pohjaveden purkautuminen
suurimpiin virtavesiin ja järviin

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
4-17



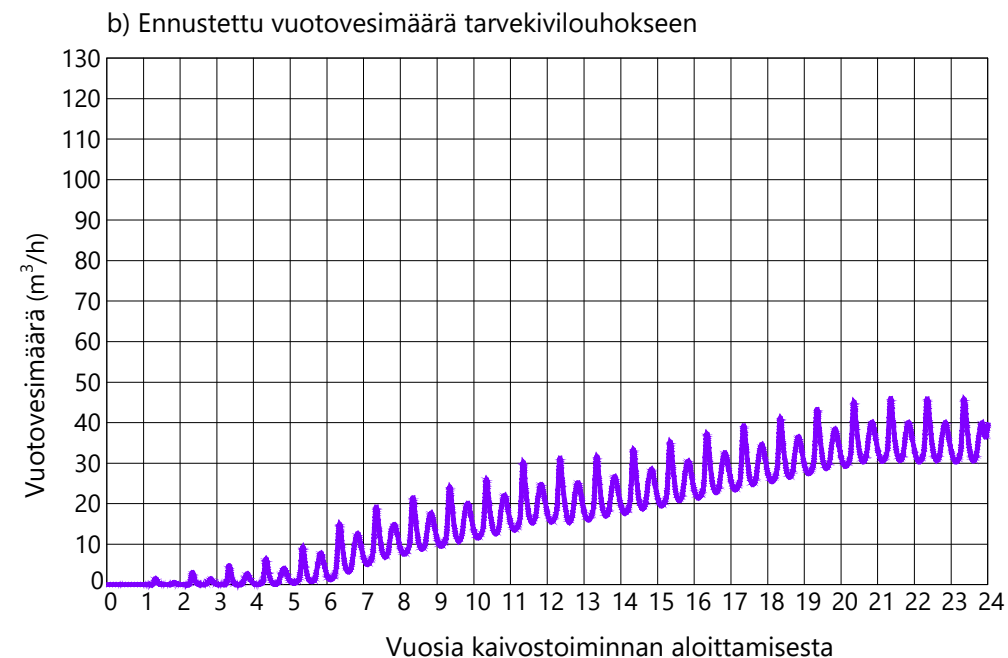
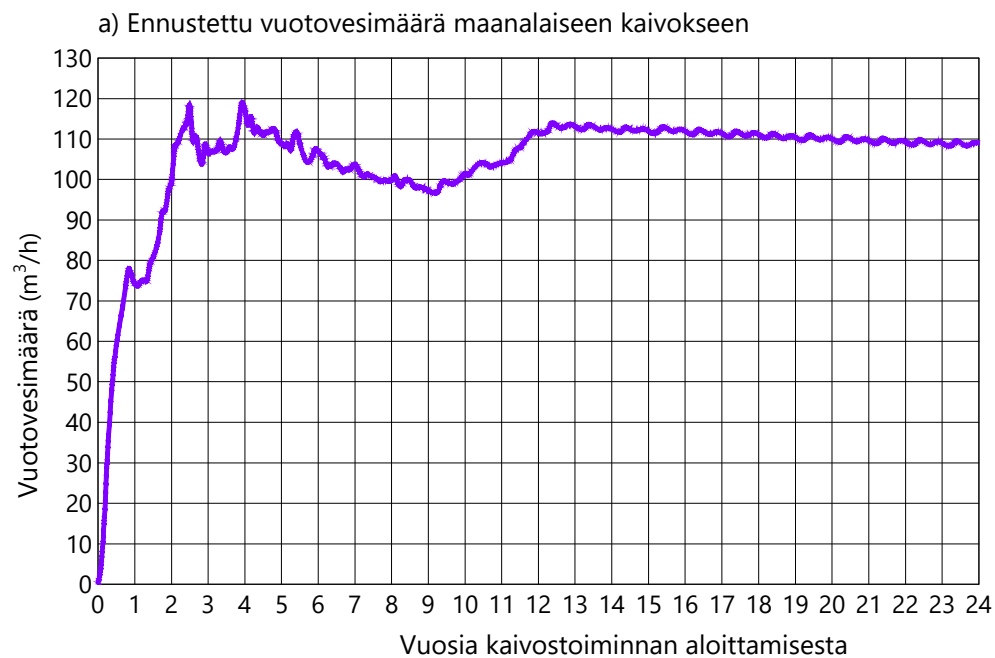
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECHARGE
DRAWING DATE	28 AUG 2024
REVISION DATE	



Simuloidut pohjaveden muodostumismäärät
tulevaisuudessa

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
5-1



— 65% tiivistysskenaario, jossa NE satelliittiesiintymä mukana

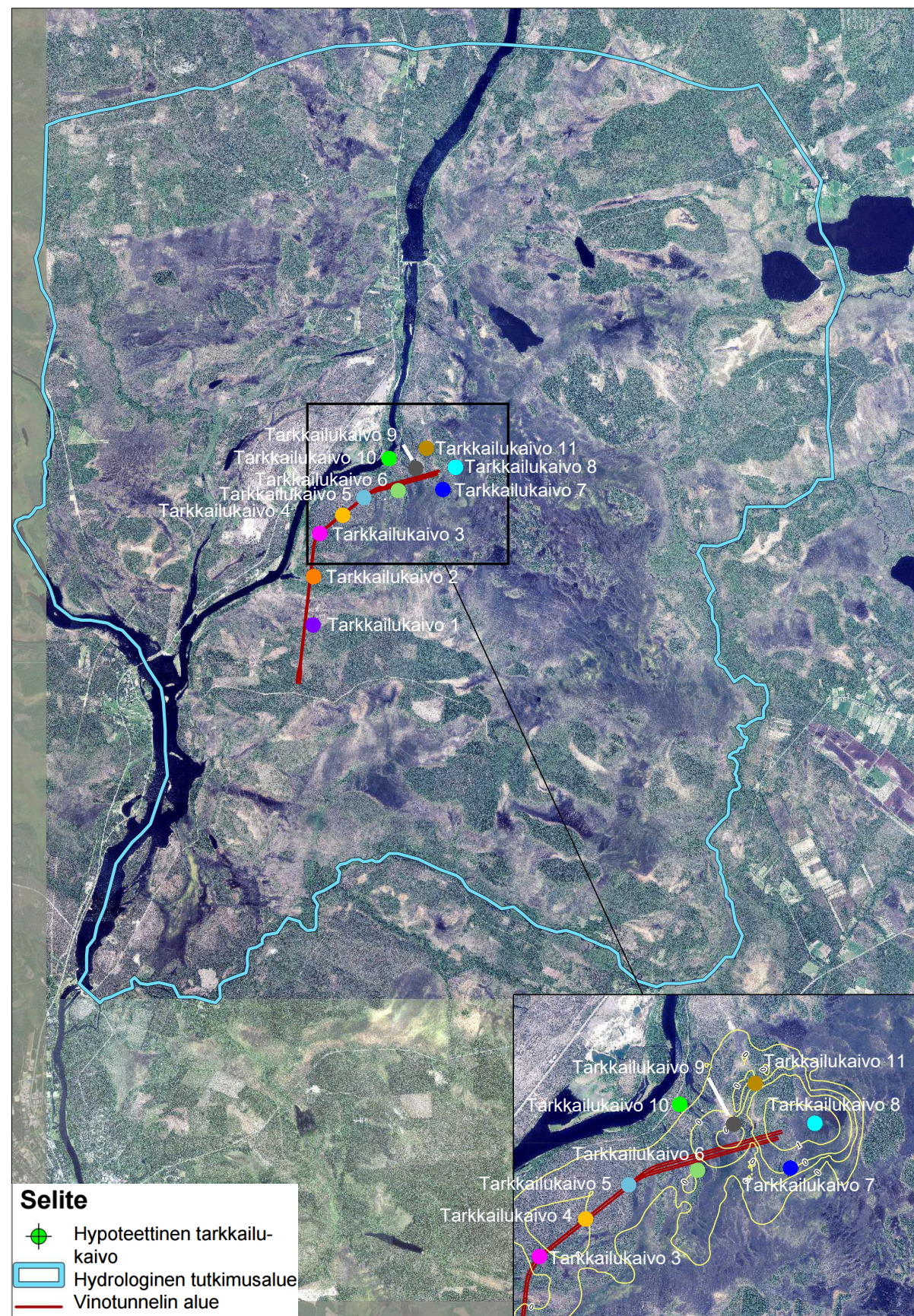
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	28 AUG 2024
REVISION DATE	



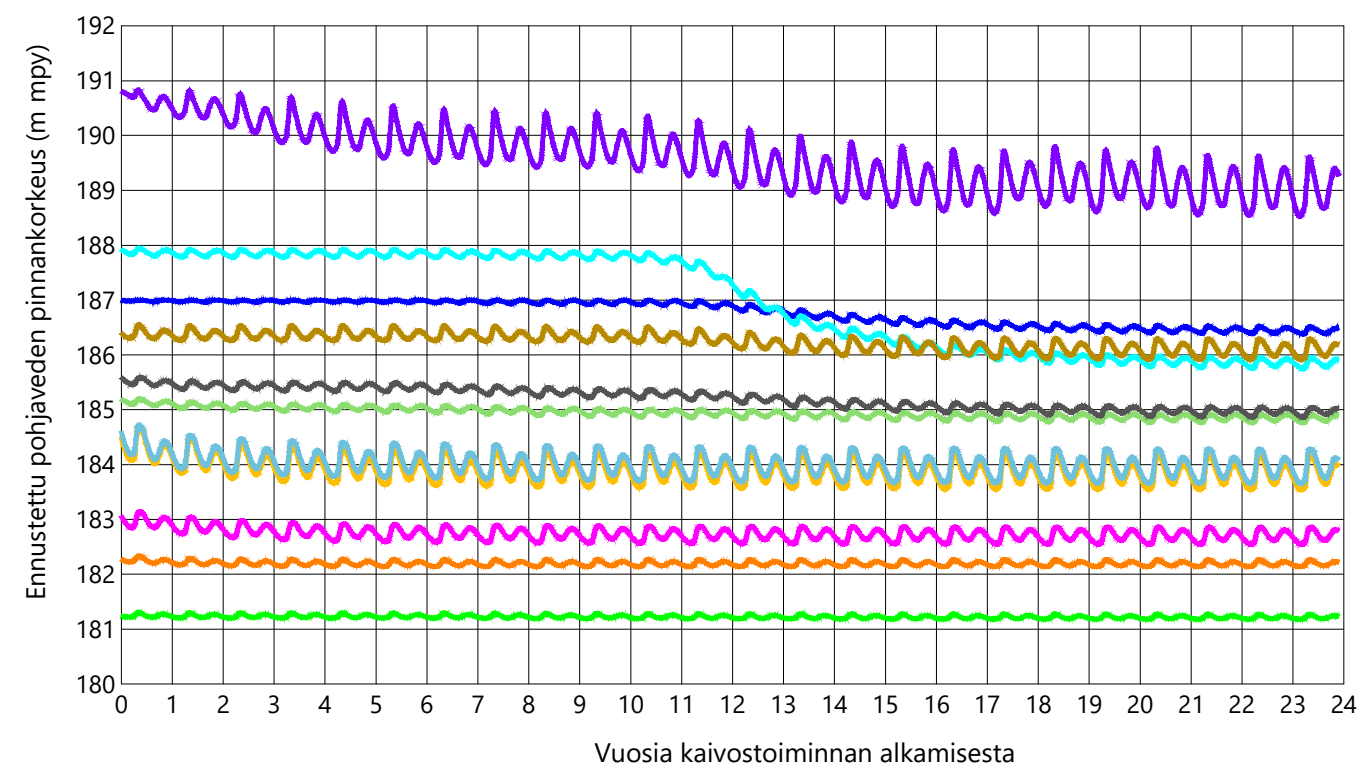
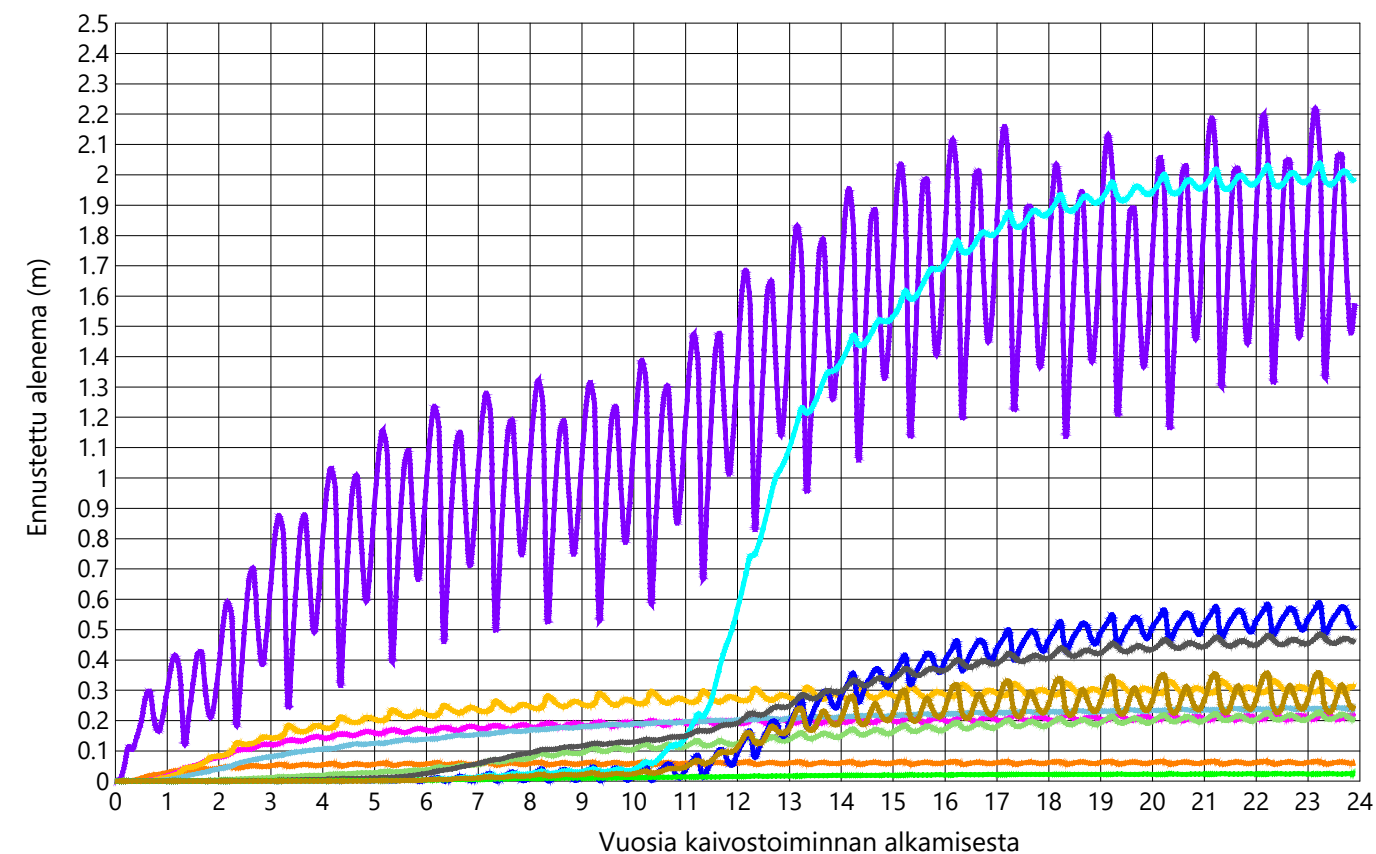
Ennustettu vuotovesimäärä 65 %
tiivistysskenaariossa
(NE satelliittiesiintymä mukana)

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
5-2



- | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Tarkkailukaivo 1 | Tarkkailukaivo 2 | Tarkkailukaivo 3 | Tarkkailukaivo 4 |
| Tarkkailukaivo 5 | Tarkkailukaivo 6 | Tarkkailukaivo 7 | Tarkkailukaivo 8 |
| Tarkkailukaivo 9 | Tarkkailukaivo 10 | Tarkkailukaivo 11 | |



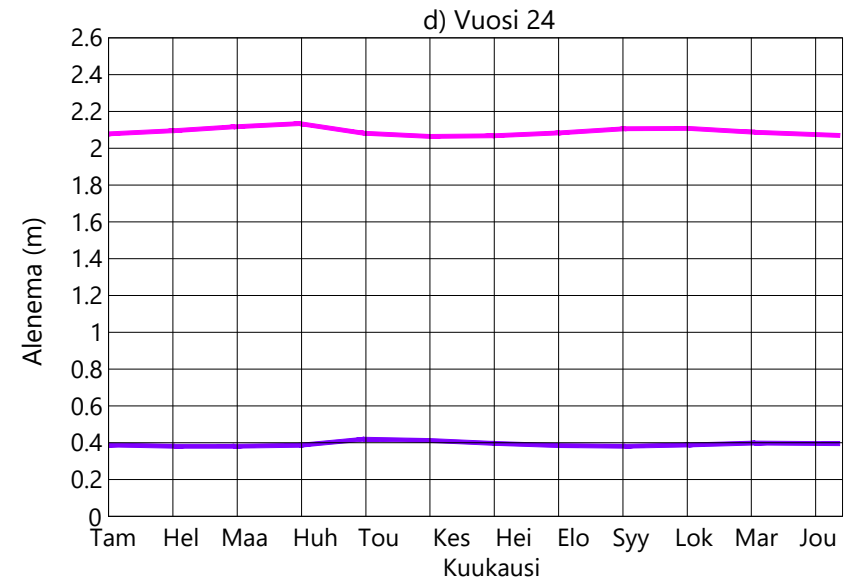
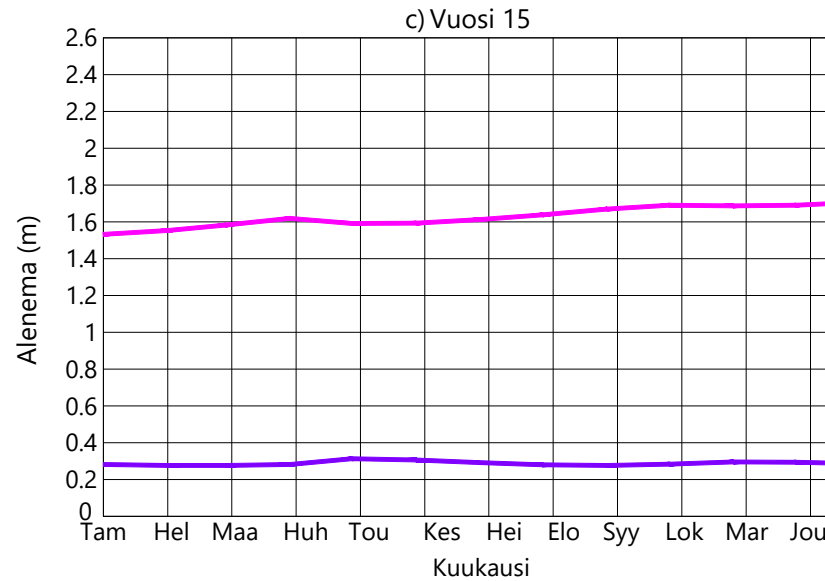
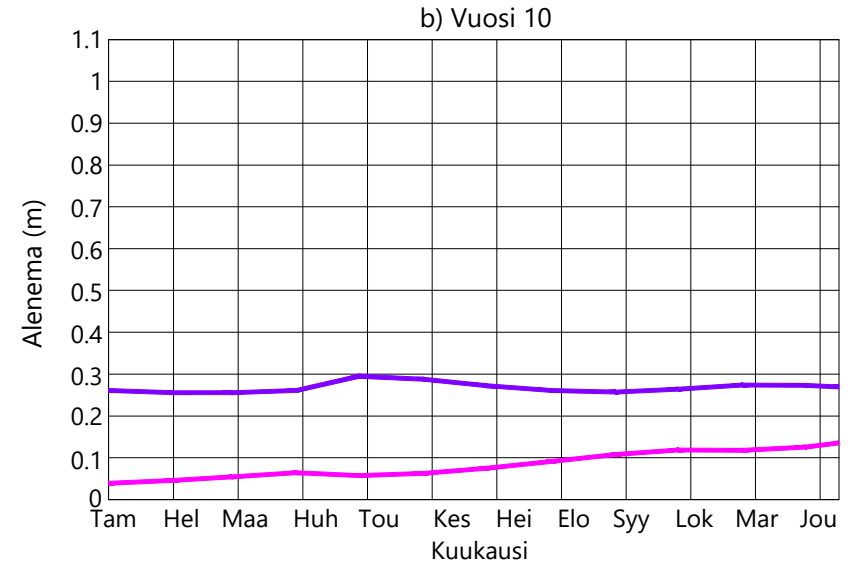
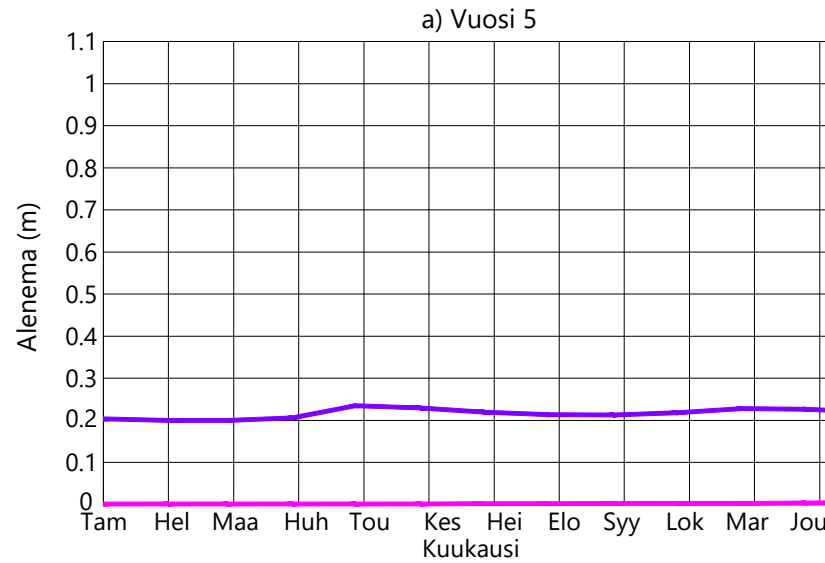
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittiesiintymä mukana)

CLIENT: Sakatti Project

FIGURE NO. 5-3



Tarkkailukaivo 4

— 65% injektointitehokkuus

Tarkkailukaivo 8

— 65% integtointitehokkuus

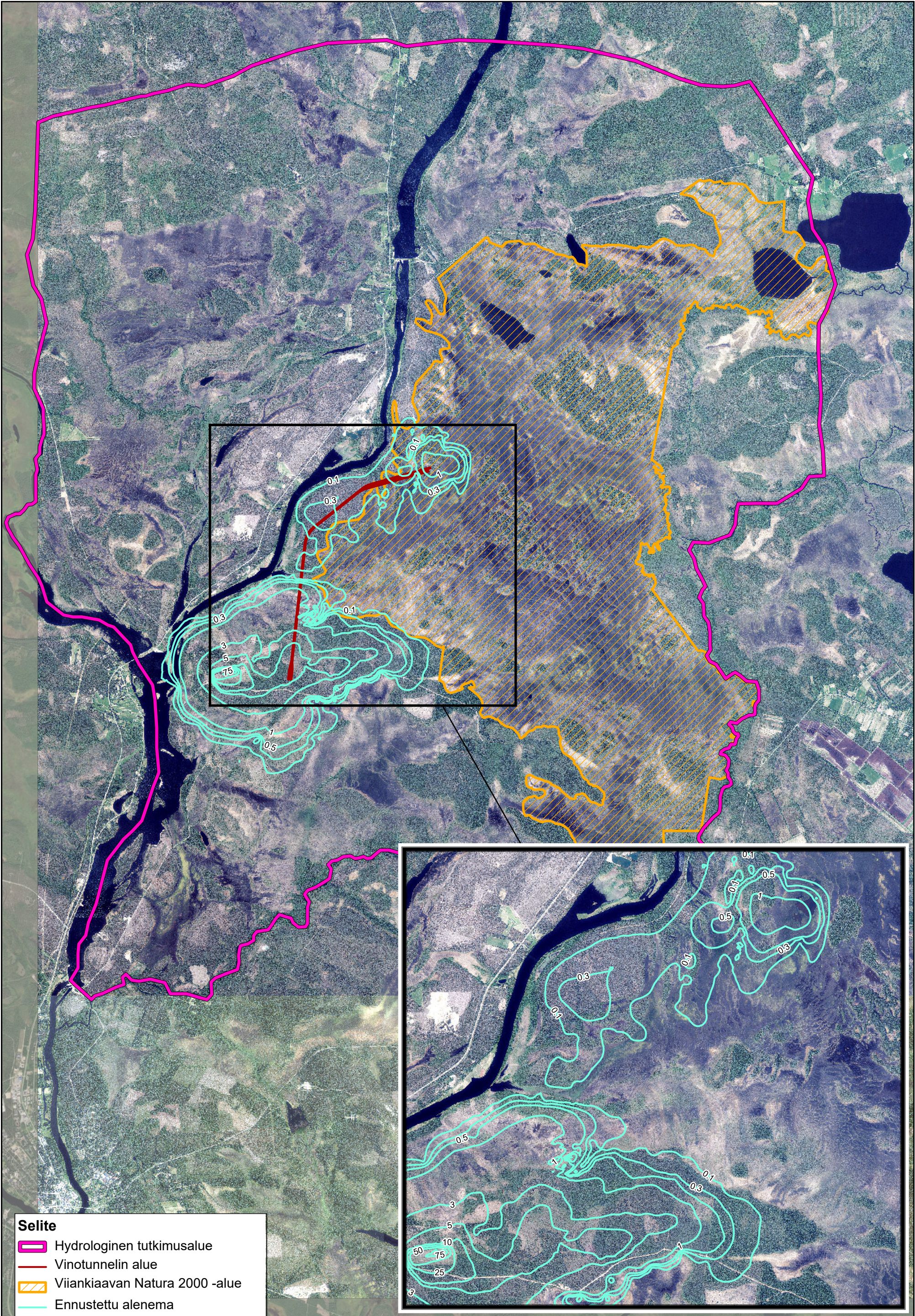
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	YEAR
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Ennustettu alenema valituille vuosille
kaivoksen elinkaaren aikana (tarkkailukaivot 4
ja 8) 65 % tiivistysskenaariossa (NE
satelliittiesiintymä mukana)

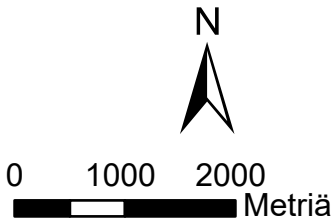
CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
5-4



Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Viiankiaavan Natura 2000 -alue
- Ennustettu alenema



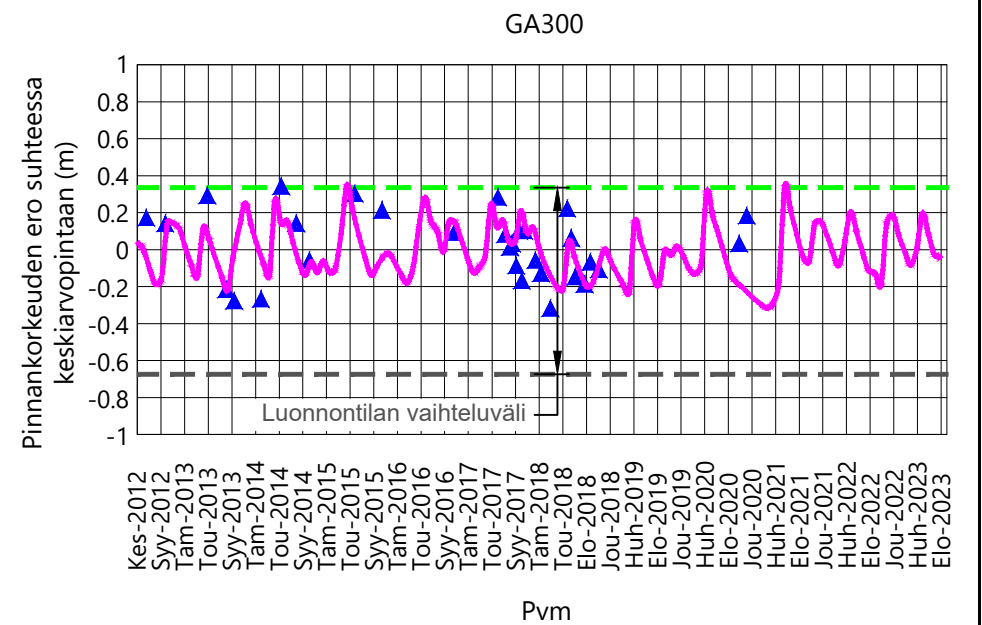
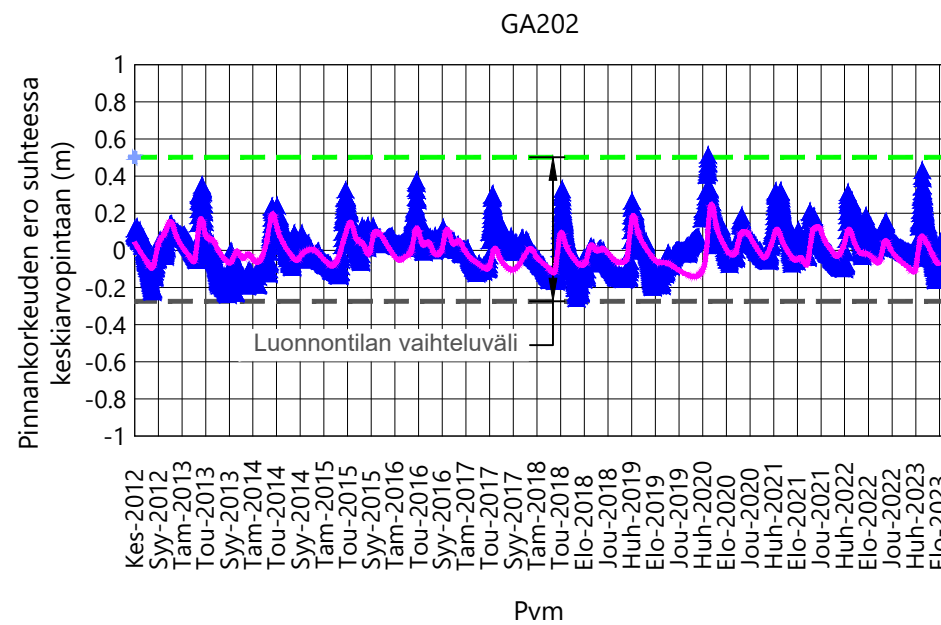
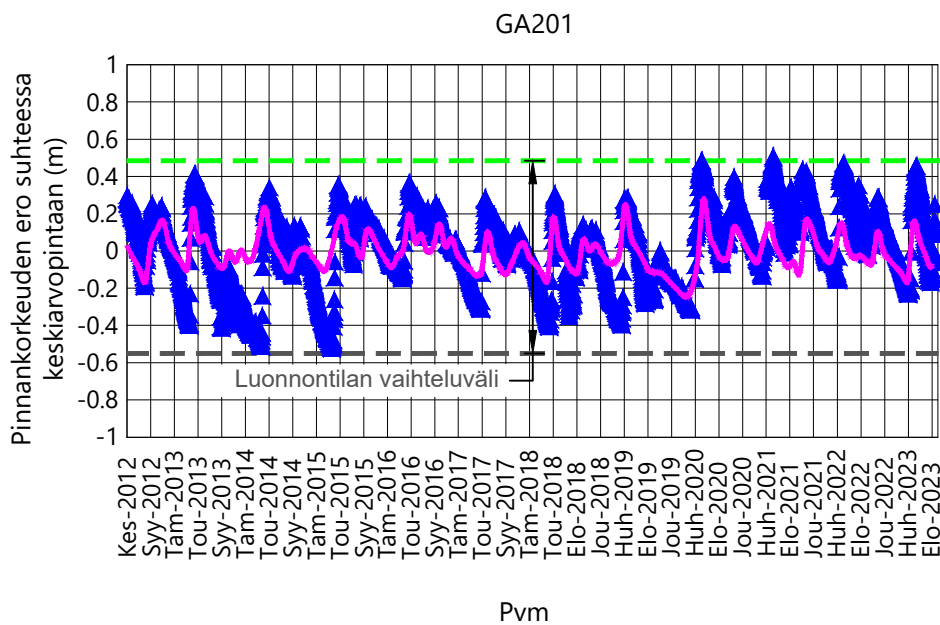
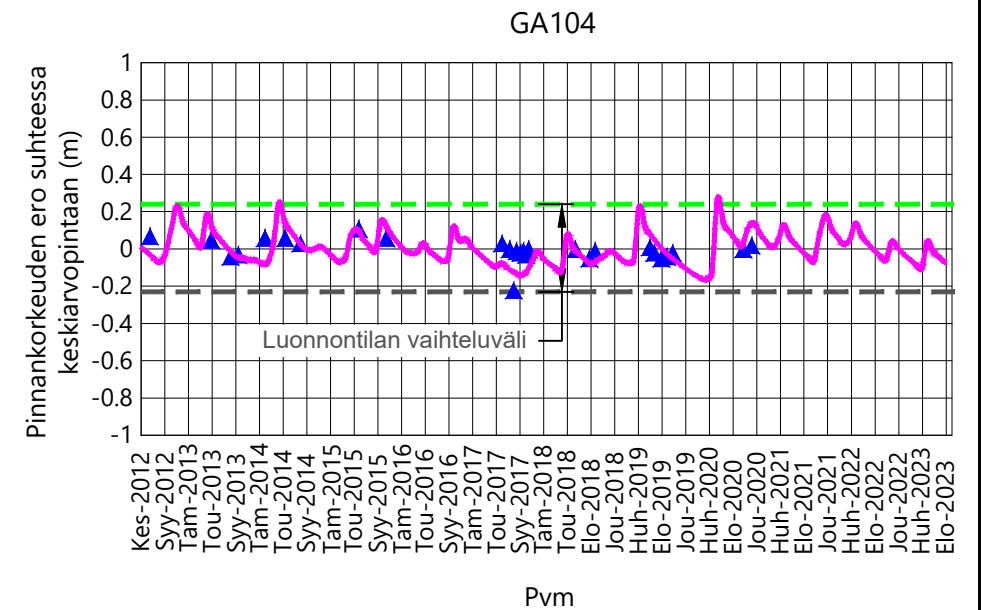
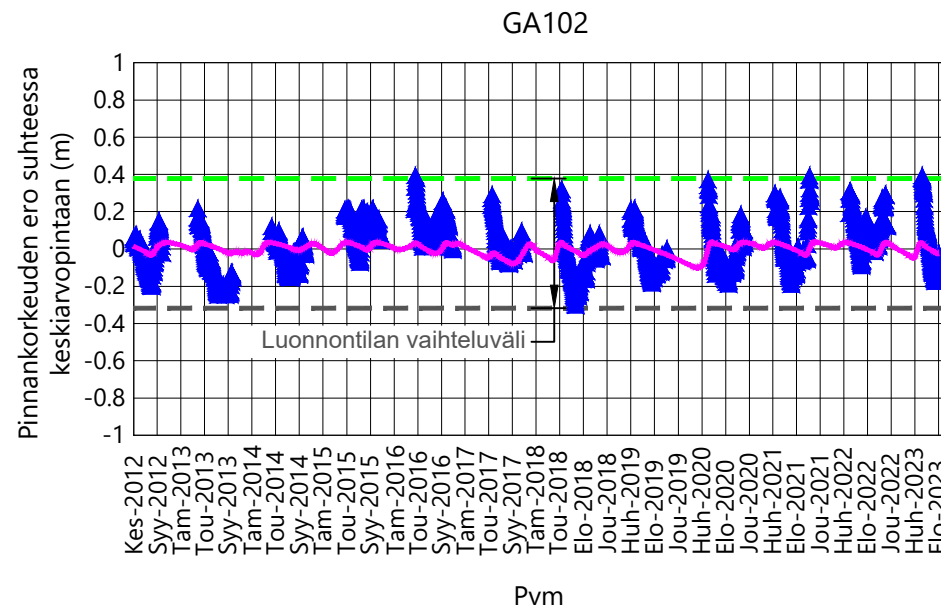
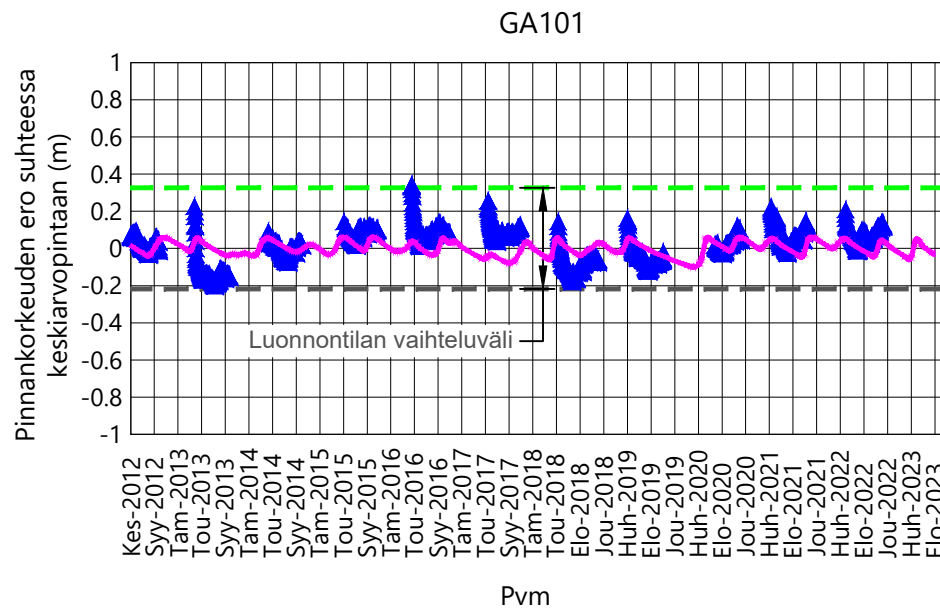
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_65NE
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Oct. 02, 2024



Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa
(vuosi 24) 65 % tiivistysskenaariossa (NE
satelliittiesiintymä mukana)

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
5-5



- ▲ Mitattu pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa mittausten keskiarvopintaan 2012–2023 (y-akselin 0-arvo)
- Mallinnetun ja kalibroidun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa simuloituun keskiarvopintaan 2012–2023 (y-akselin 0-arvo)

- Korkeimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan vuosina 2012–2023
- Alimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan vuosina 2012–2023

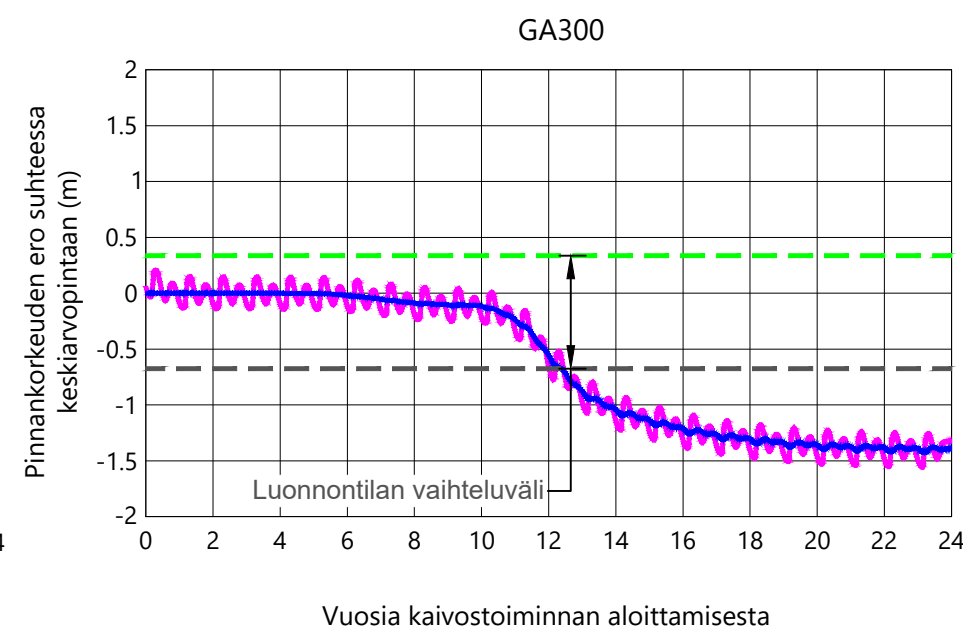
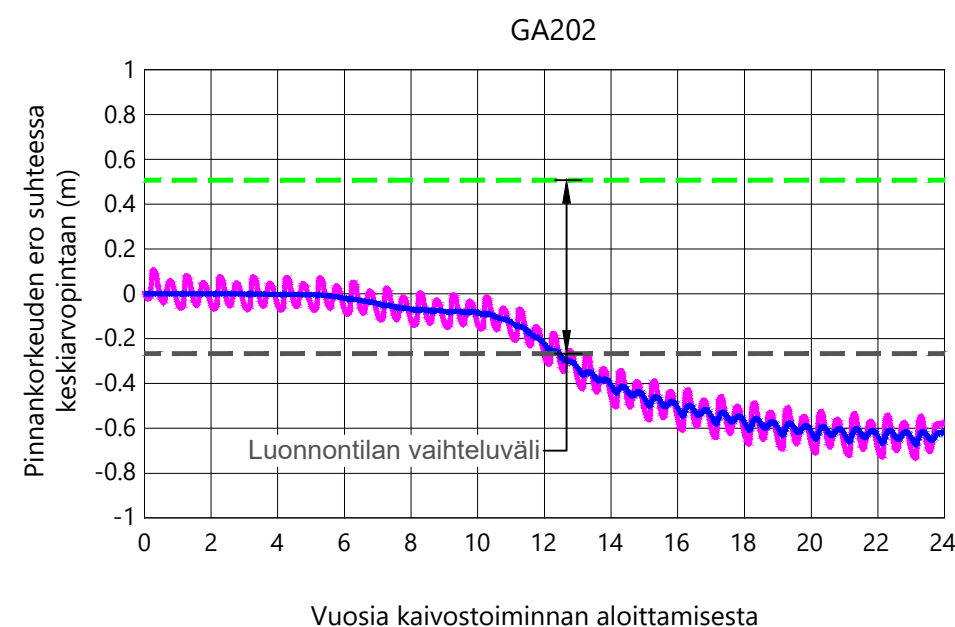
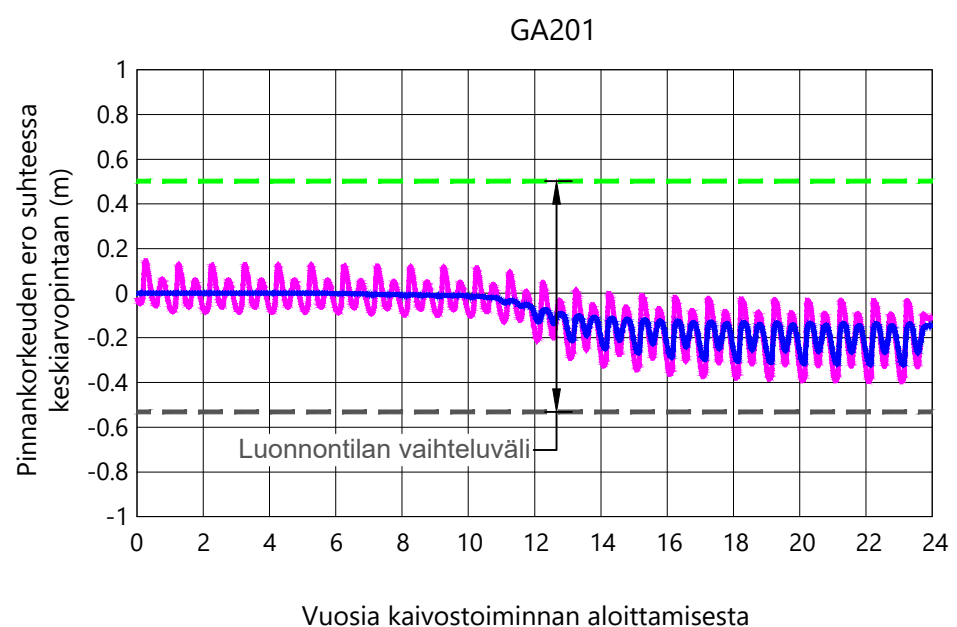
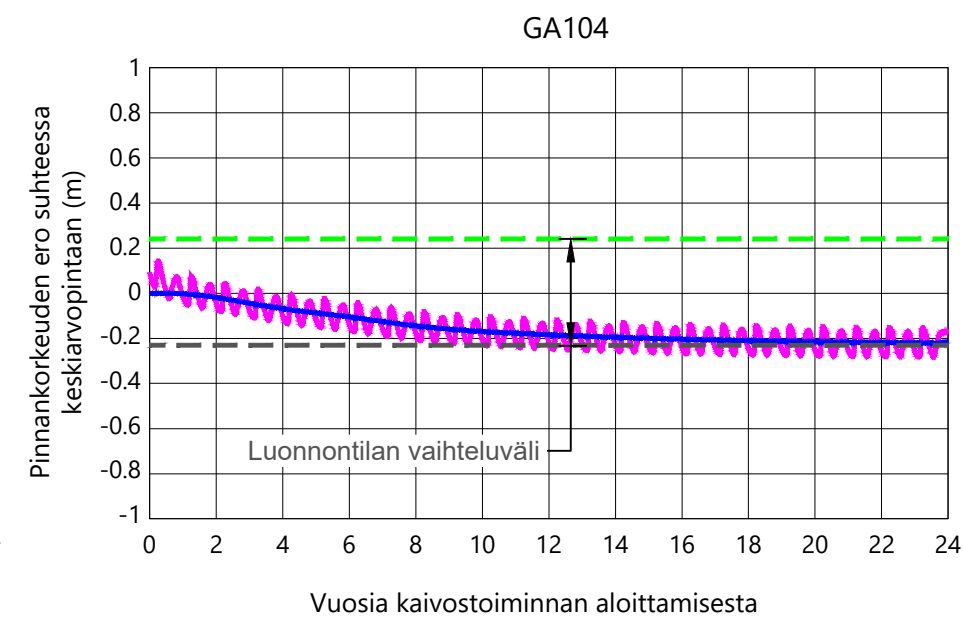
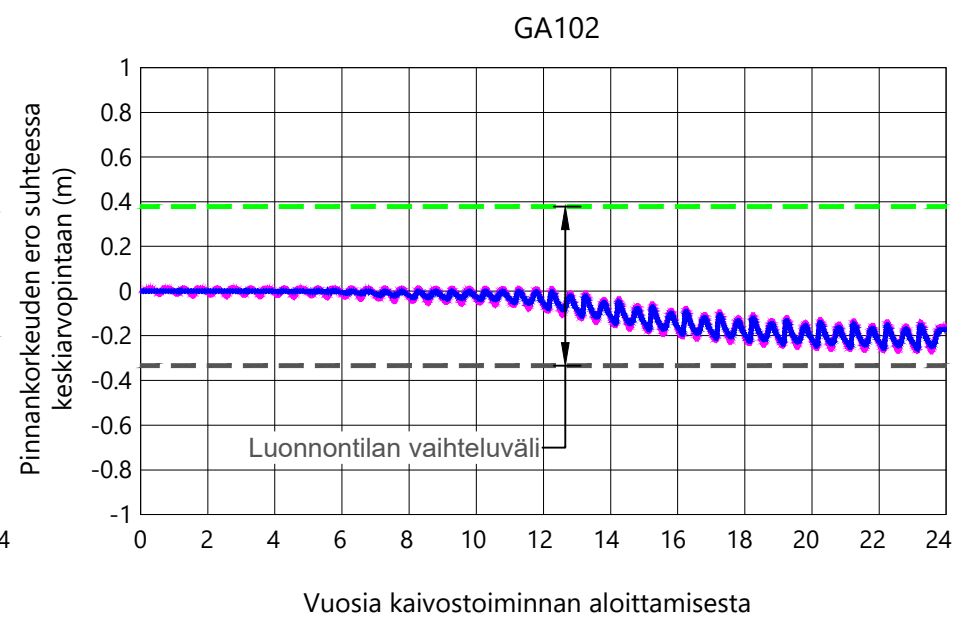
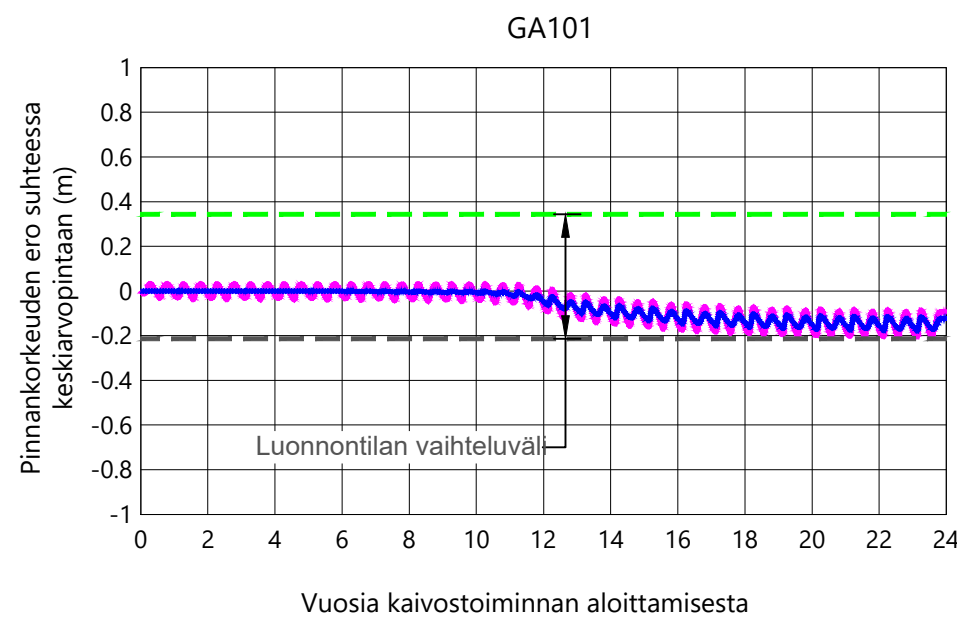
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	6 FEB 2025



Mitattujen ja mallinnettujen pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelun vertailu

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
5-6



— Ennustettu alenema 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittesiintymä mukana)

— Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan ilman kaivostoimintaa

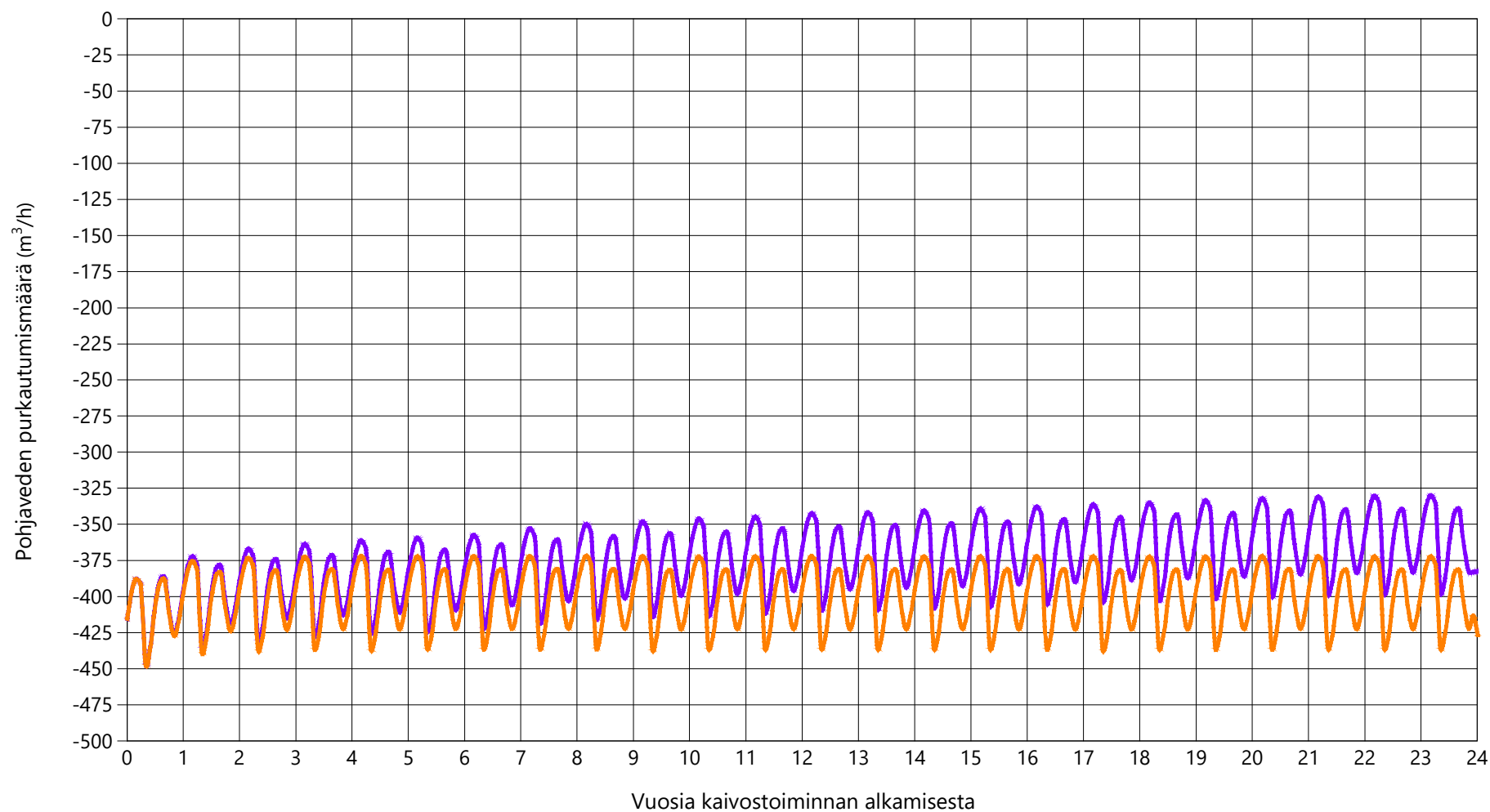
— Korkeimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan vuosina 2012–2023

— Alimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan vuosina 2012–2023

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	6 FEB 2025



Pohjaveden aleneman ennustettu vuodenaikaisvaihtelu 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittesiintymä mukana)	
CLIENT: Sakatti Project	FIGURE NO. 5-7



— 65% tiivistysskenaario, NE satelliittiesiintymä mukana — Kaivosta ei toteuteta -skenaario

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	30 SEP 2024

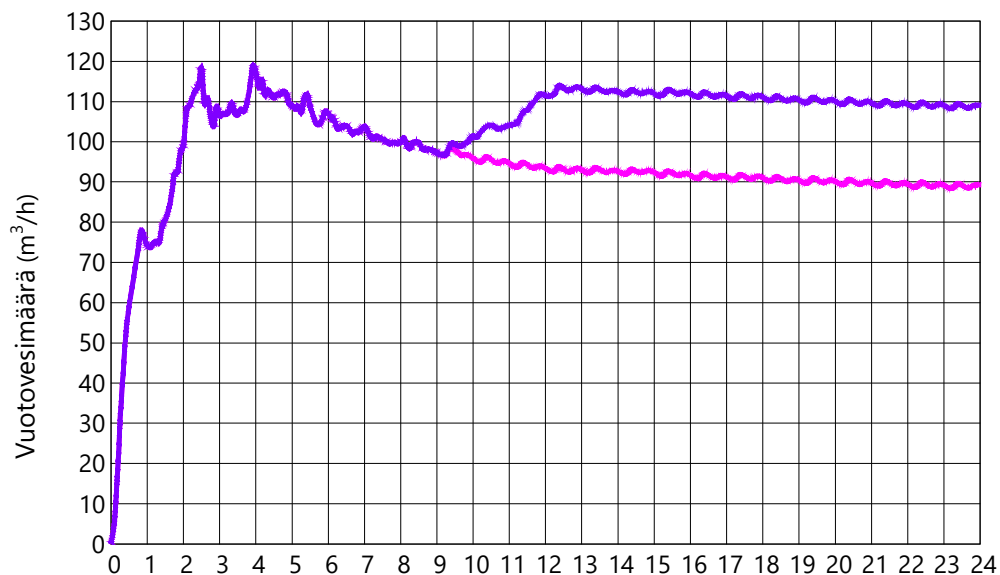


Ennustettu pohjaveden purkautuminen
Kitiseen 65 % tiivistysskenaariossa (NE
satelliittiesiintymä mukana)

CLIENT:
Sakatti Project

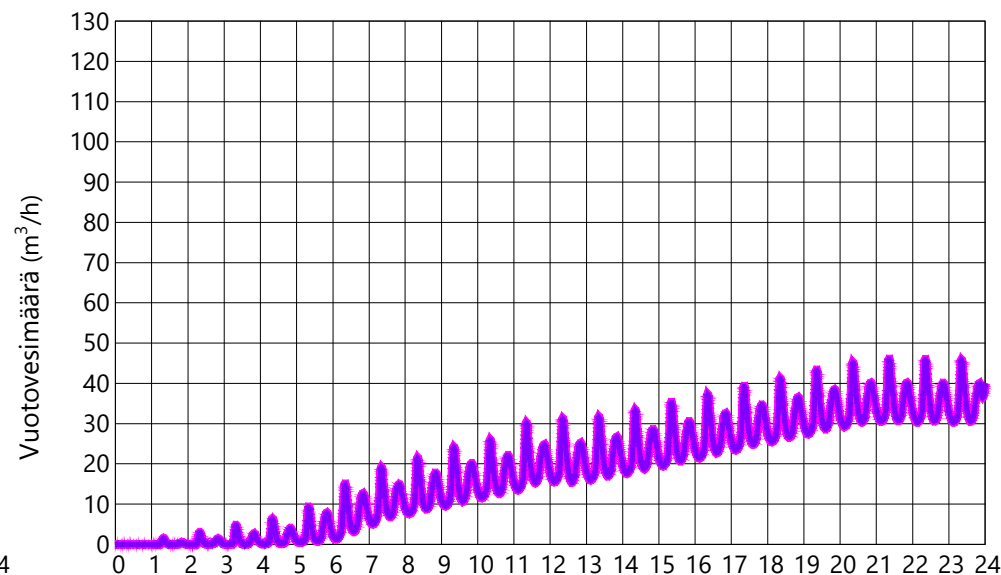
FIGURE NO.
5-8

a) Ennustettu vuotovesimäärä maanalaiseen kaivokseen



Vuosia kaivostoiminnan aloittamisesta

b) Ennustettu vuotovesimäärä tarvekilouhokseen



Vuosia kaivostoiminnan aloittamisesta

— 65% tiivistysskenaario, jossa NE satelliittiesiintymä mukana — 65% tiivistysskenaario ilman NE satelliittiesiintymää

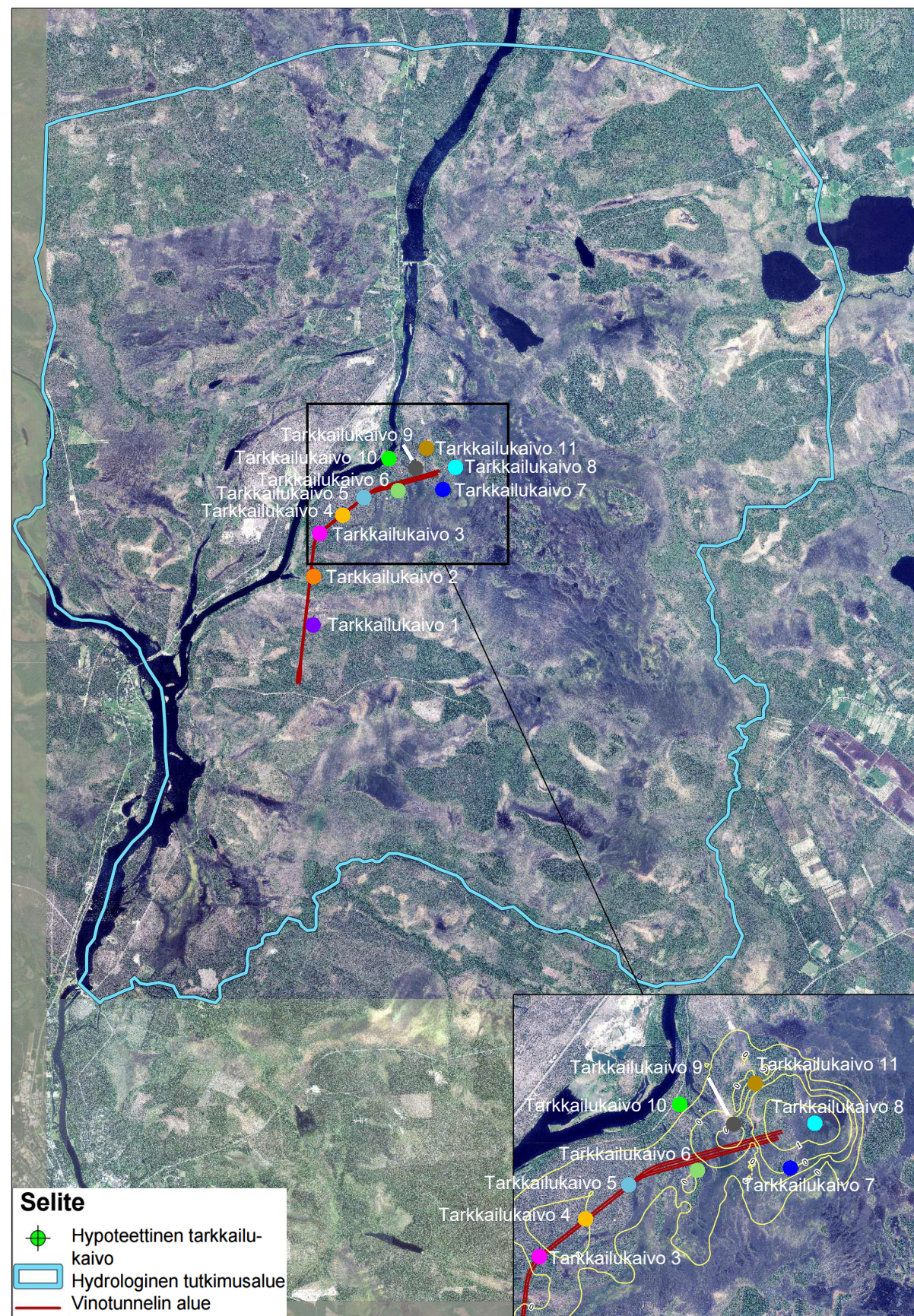
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	



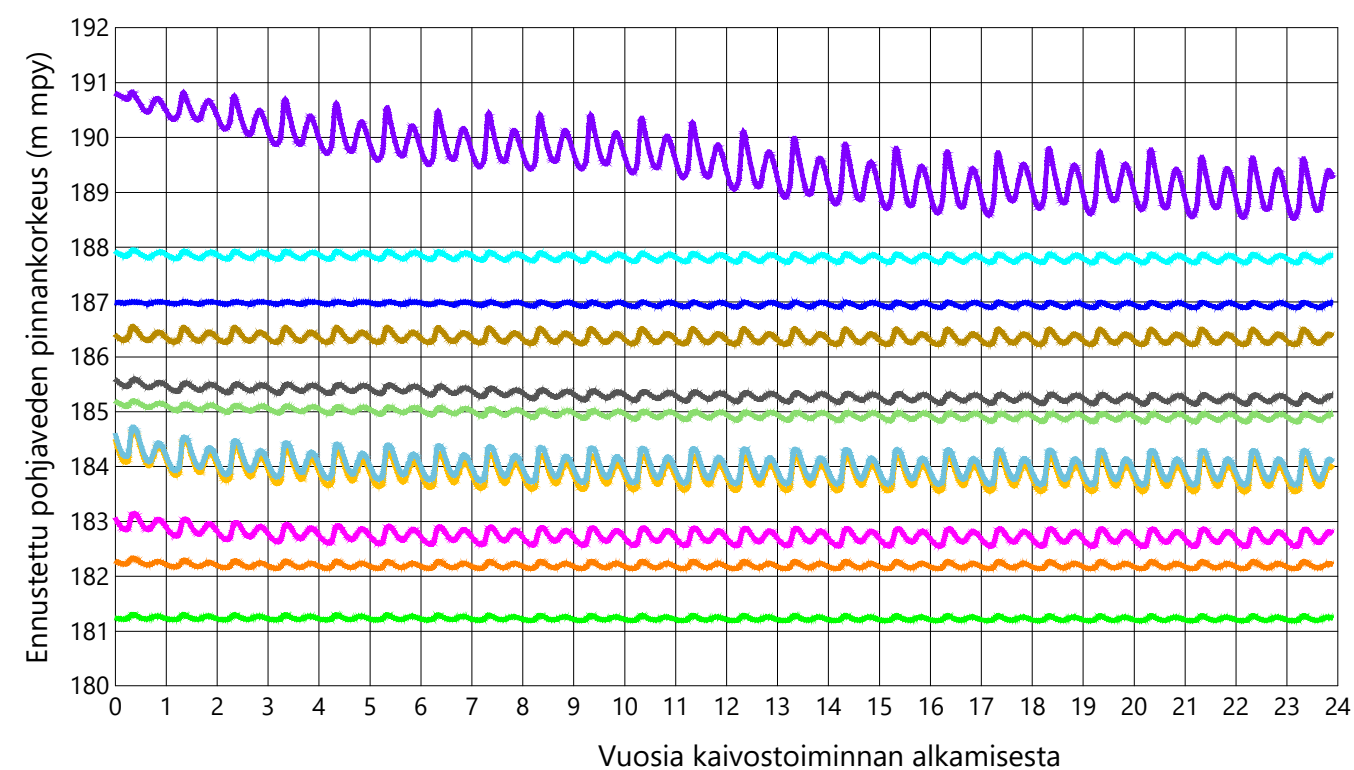
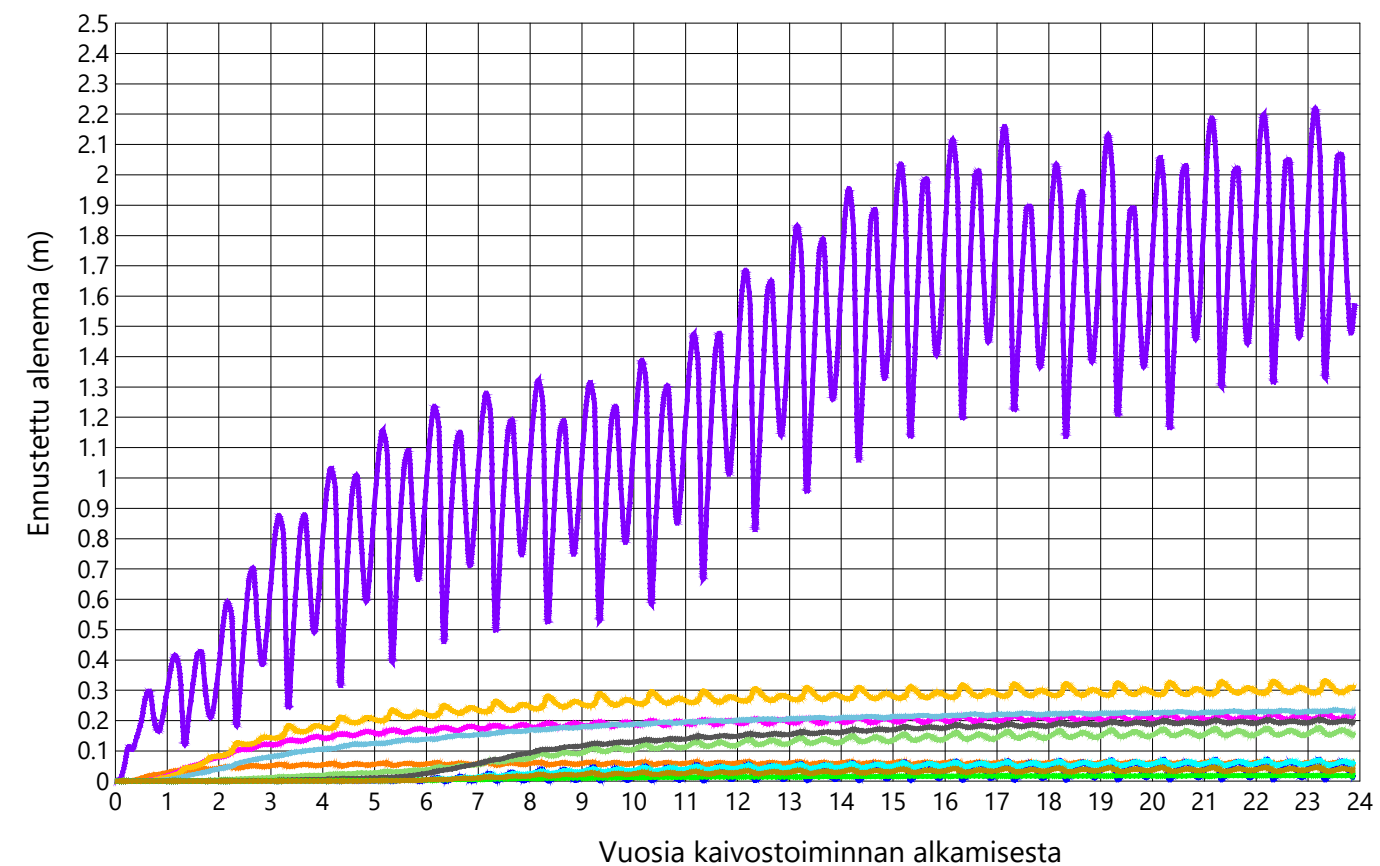
Ennustetut vuotovesimäärät 65 %
tiivistysskenaariossa NE satelliittiesiintymän
kanssa ja ilman NE satelliittiesiintymää

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
5-9



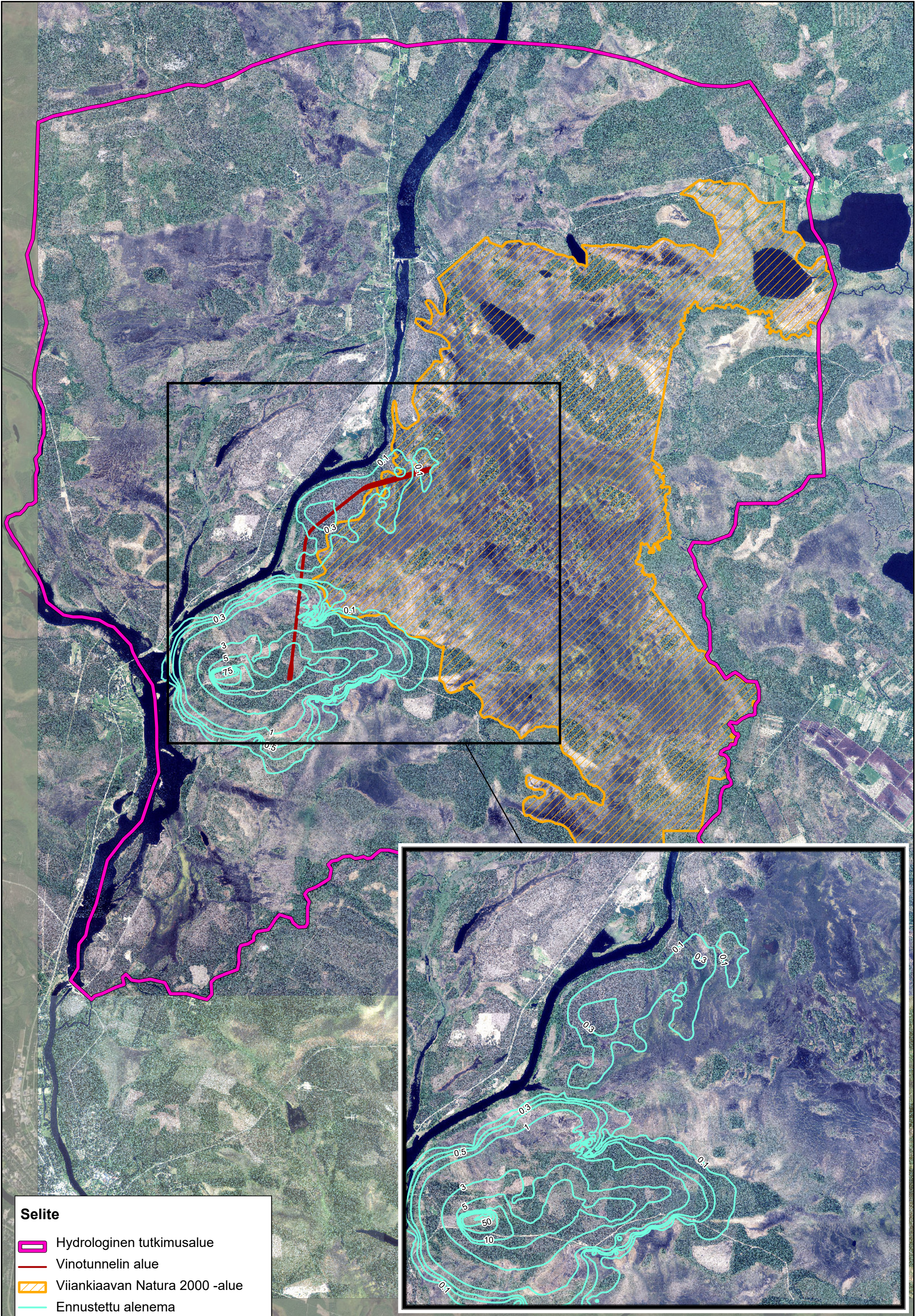
- | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Tarkkailukaivo 1 | Tarkkailukaivo 2 | Tarkkailukaivo 3 | Tarkkailukaivo 4 |
| Tarkkailukaivo 5 | Tarkkailukaivo 6 | Tarkkailukaivo 7 | Tarkkailukaivo 8 |
| Tarkkailukaivo 9 | Tarkkailukaivo 10 | Tarkkailukaivo 11 | |



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65 % tiivistysskenaariossa (ilman NE satelliittiesiintymää)	
CLIENT: Sakatti Project	FIGURE NO. 5-10



Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Viiankiaavan Natura 2000 -alue
- Ennustettu alenema



0 1000 2000
metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_65woNE
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Oct. 02, 2024

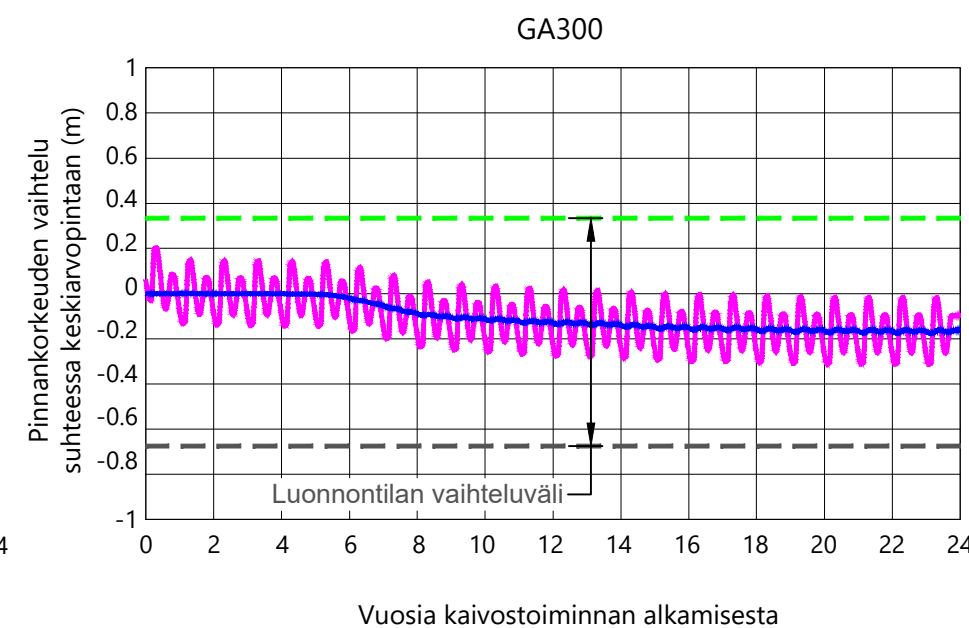
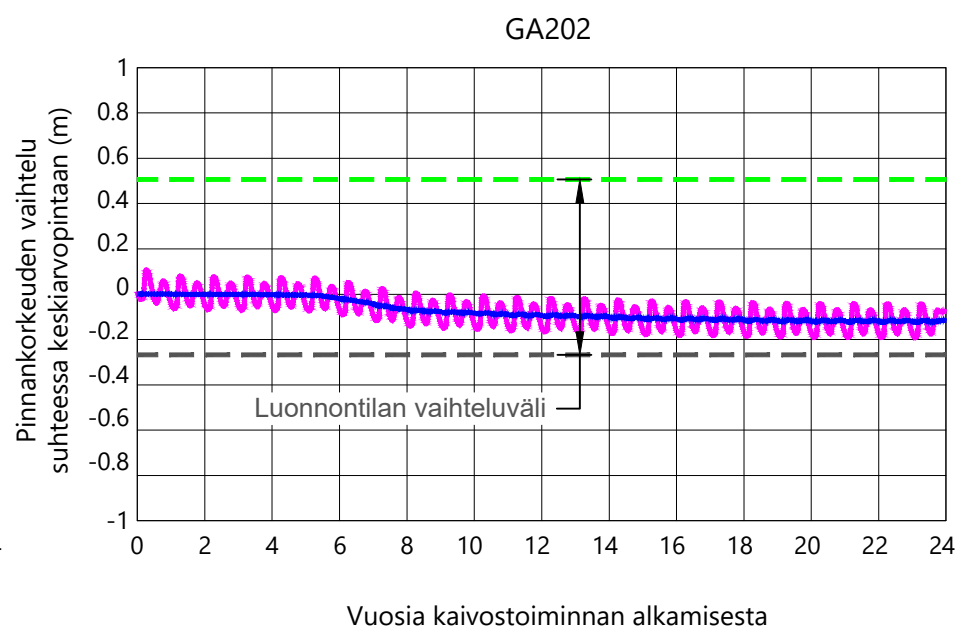
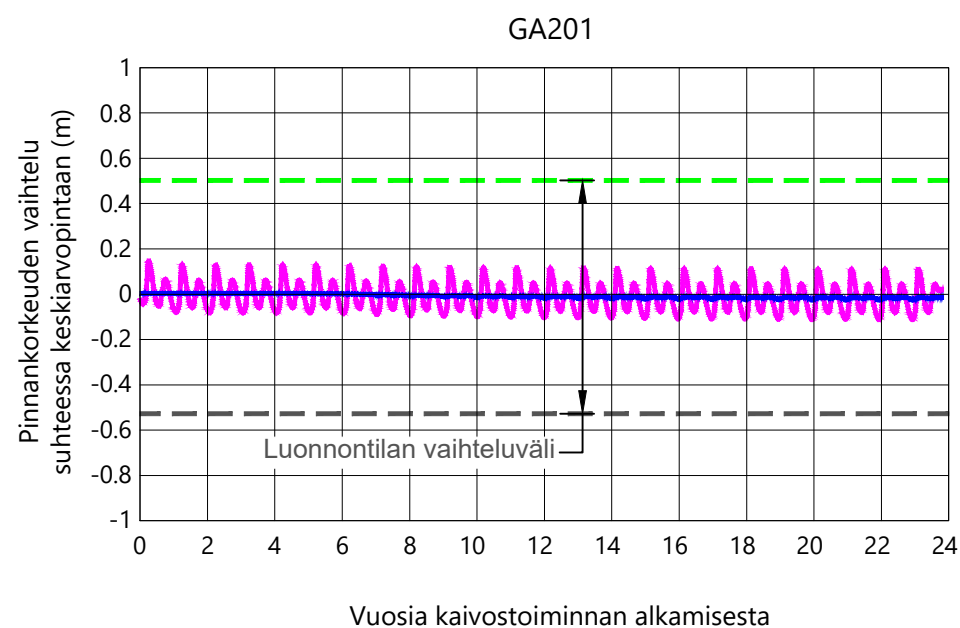
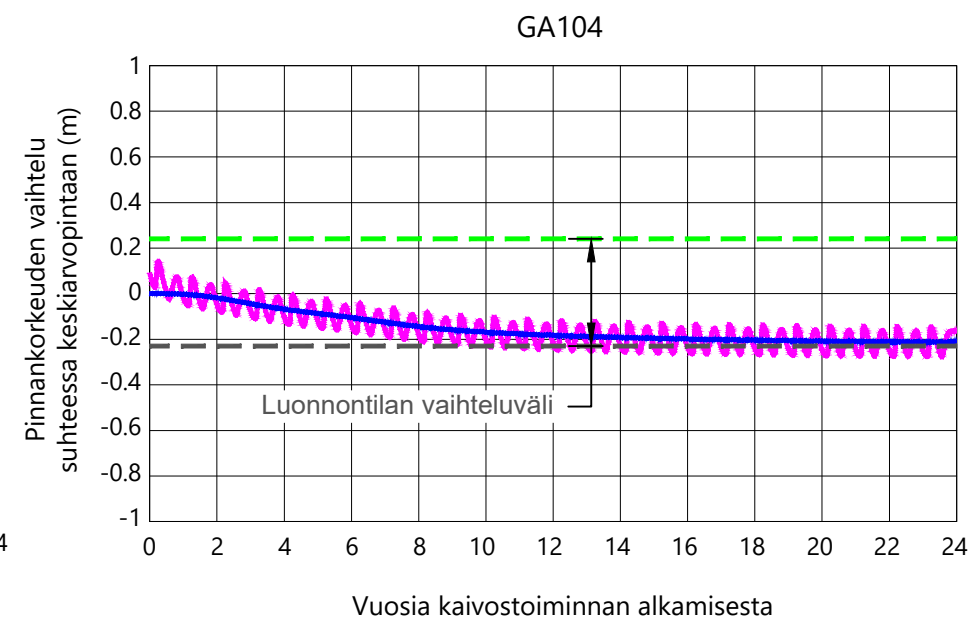
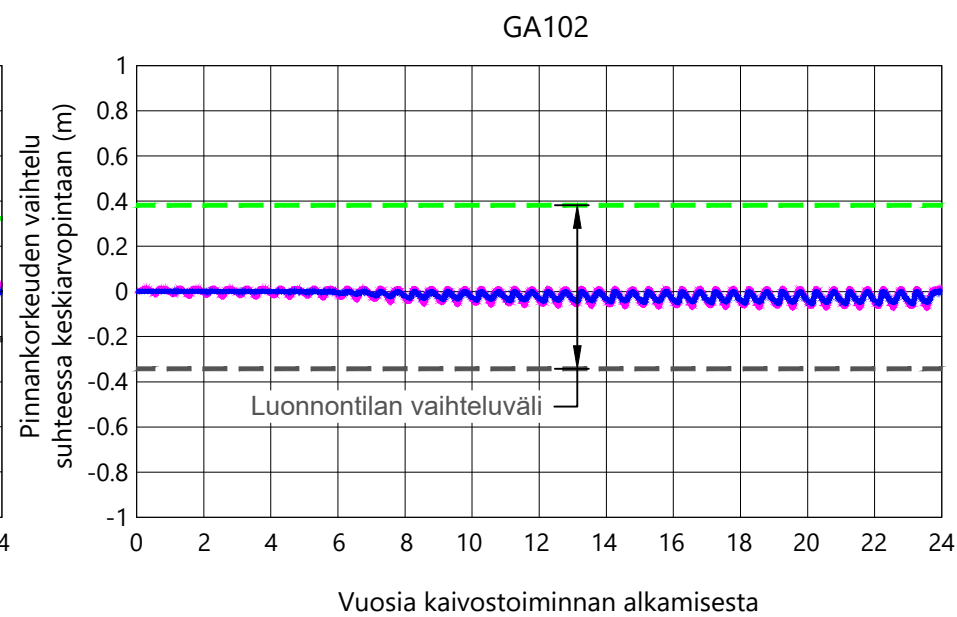
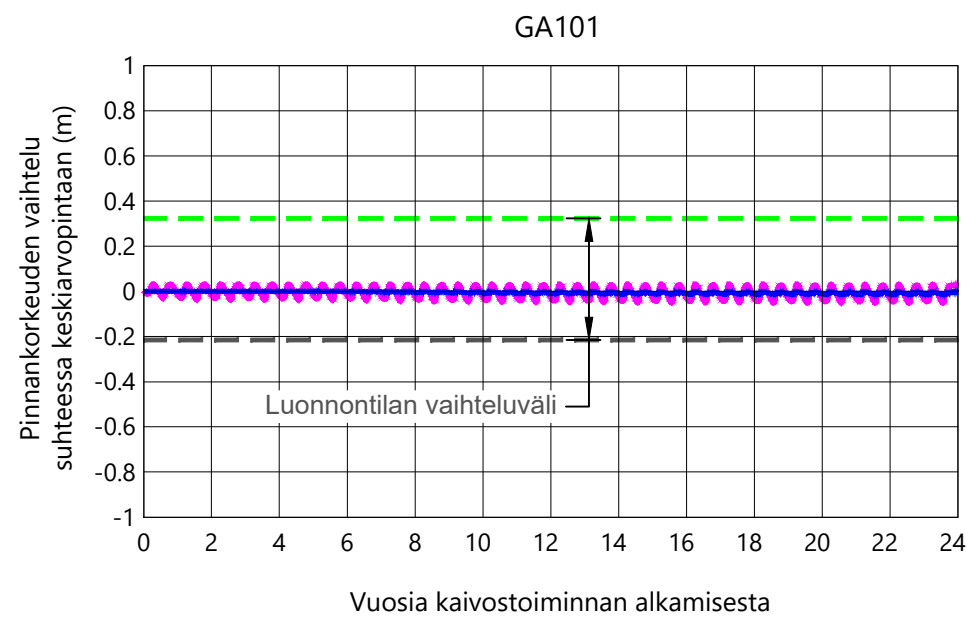


ITASCA

Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa
(vuosi 24) 65 % tiivistysskenaariossa
(ilman NE satelliittiesiintymää)

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
5-11



— Ennustettu alenema 65 % tiivistysskenaariossa (ilman NE satelliittiesiintymää)

— Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan ilman kaivostoimintaa

— Korkeimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan vuosina 2012–2012

— Alimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan vuosina 2012–2023

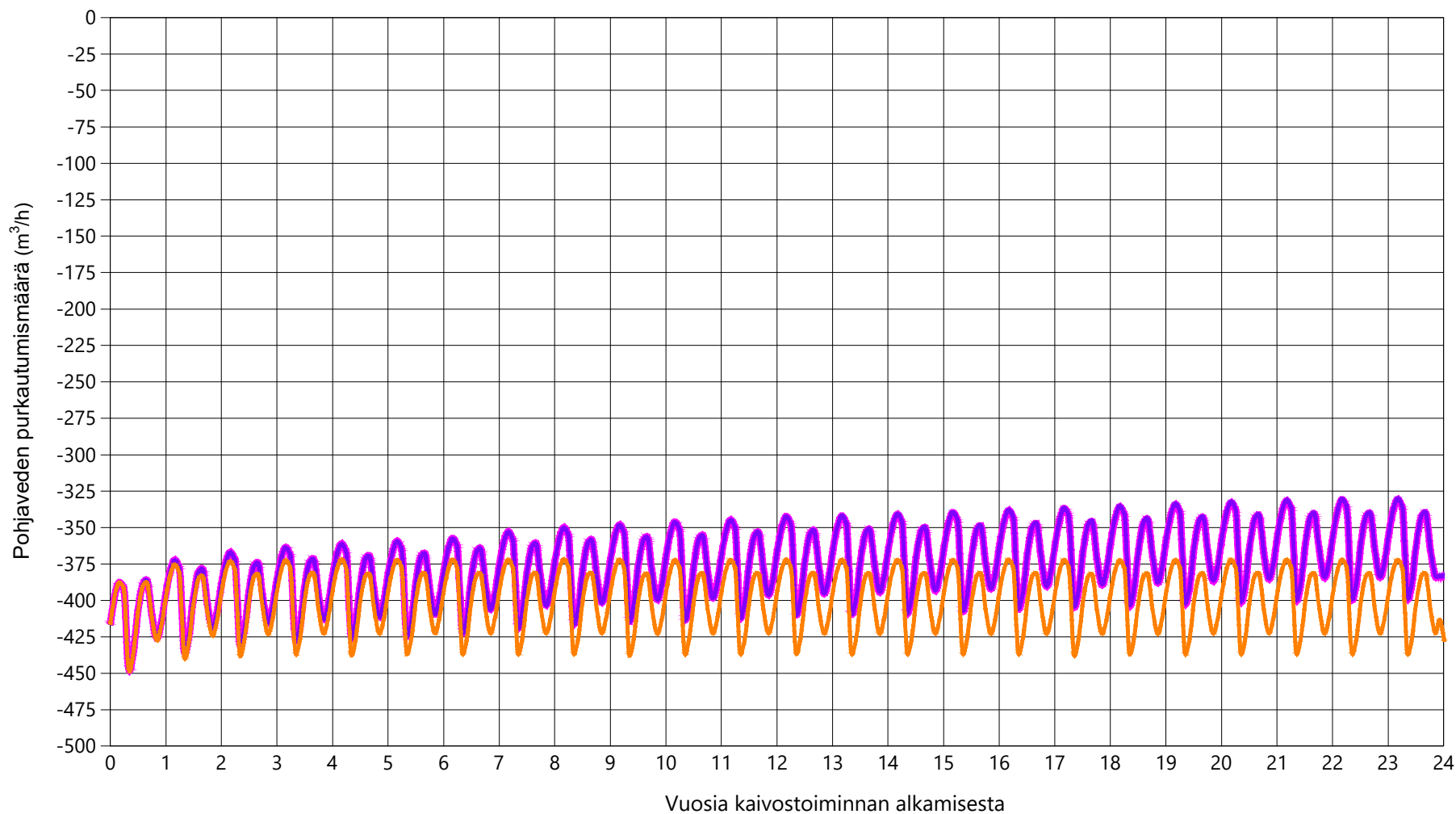
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	6 FEB 2025



Pohjaveden aleneman ennustettu vuodenaikaisvaihtelu 65 % tiivistysskenaariossa (ilman NE satelliittiesiintymää)

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
5-12



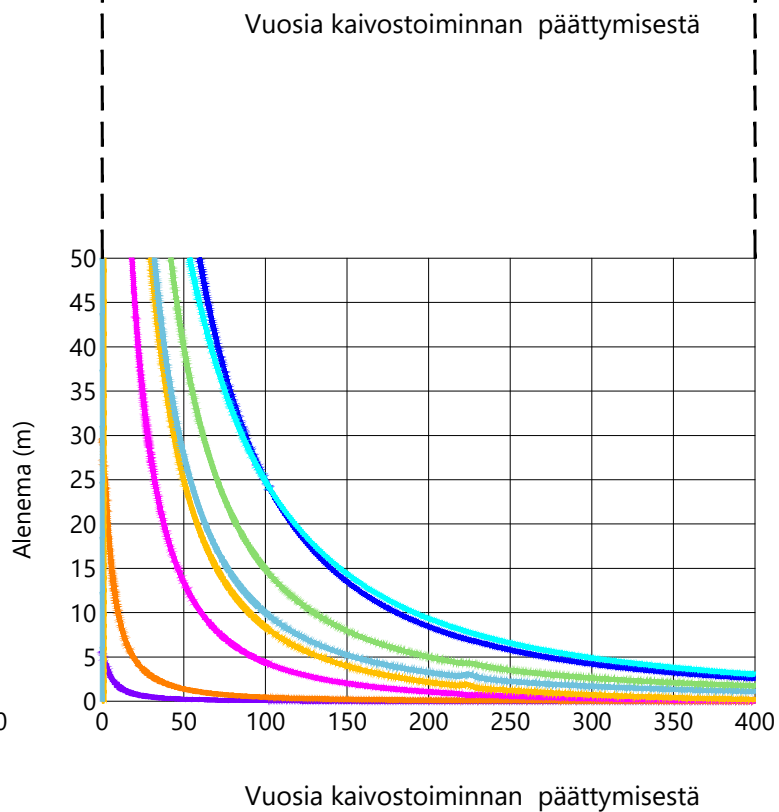
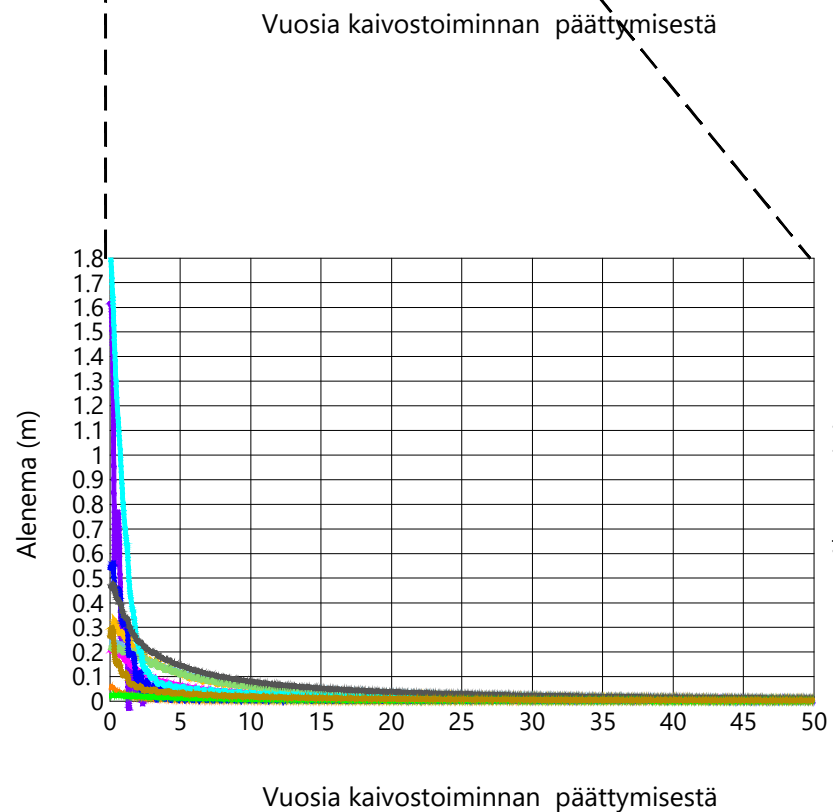
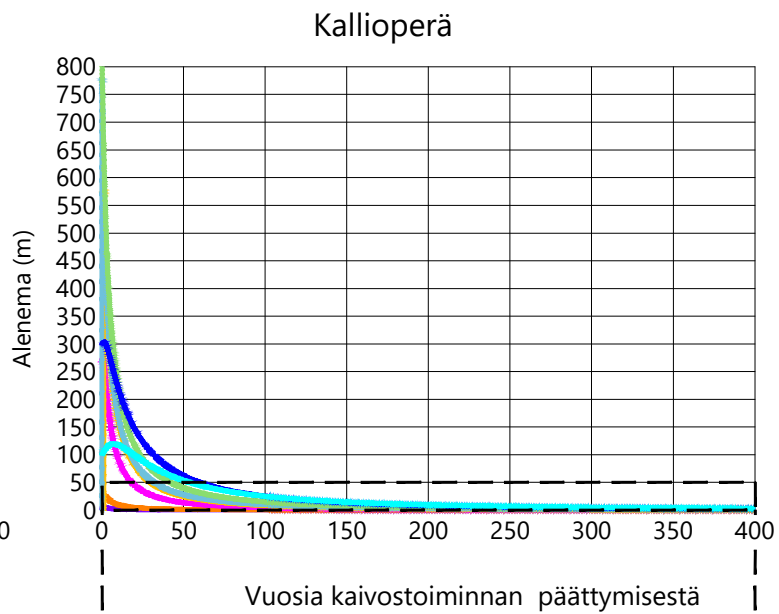
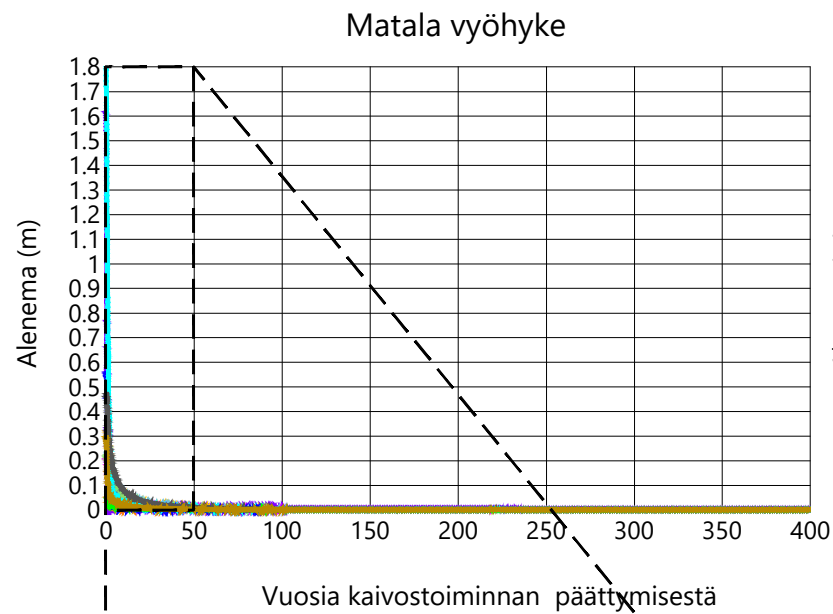
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	30 SEP 2024



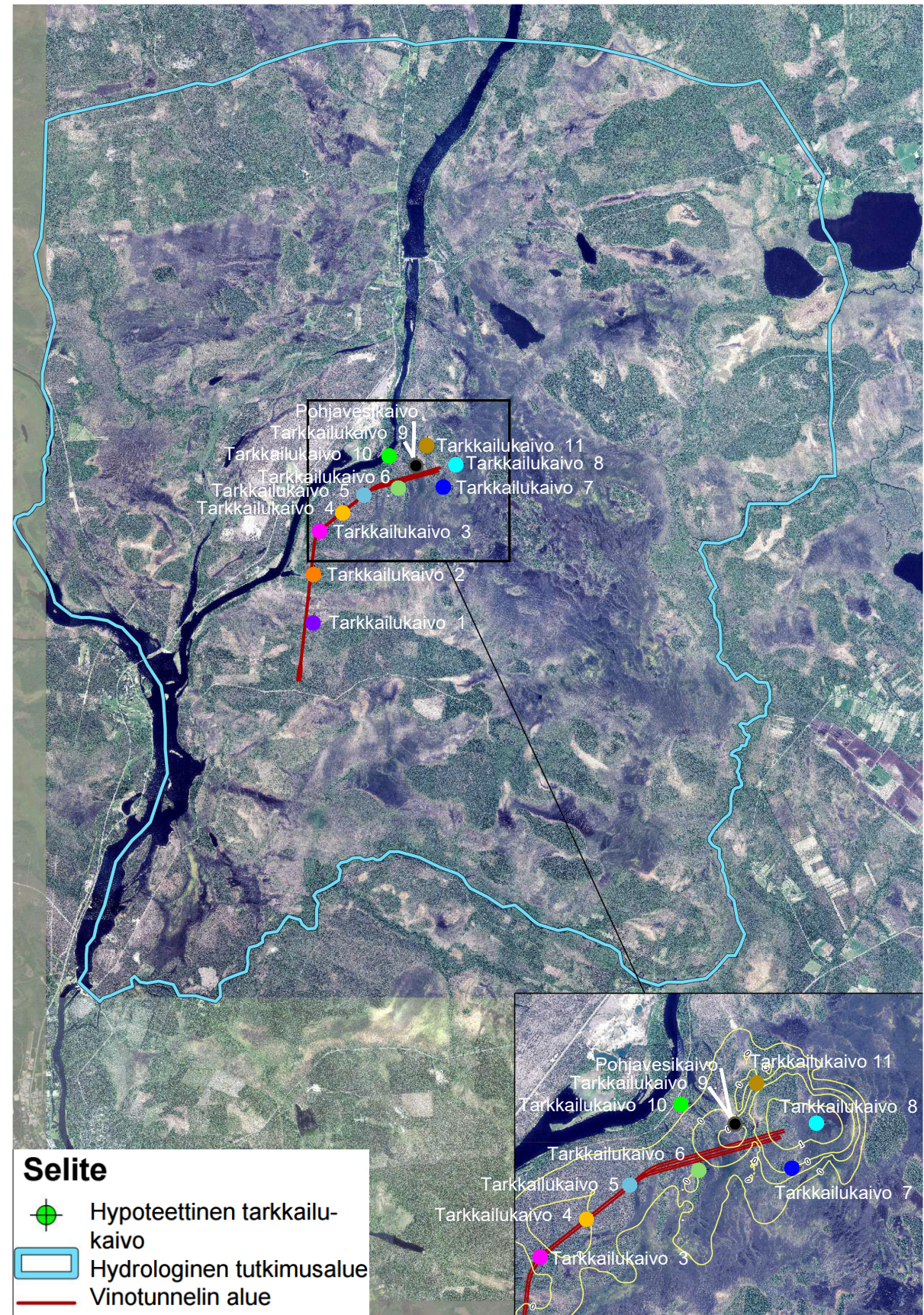
Ennustettu pohjaveden purkautuminen
Kitiseen 65 % tiivistysskenaariossa NE
satelliittiesiintymän kanssa ja ilman NE
satelliittiesiintymää

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
5-13



- | | | | | |
|-------------------|-------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| Tarkkailukaivo 1 | Tarkkailukaivo 2 | Tarkkailukaivo 3 | Pohjavesikaivo - 100 m mpy | Pohjavesikaivo - 0 m mpy |
| Tarkkailukaivo 4 | Tarkkailukaivo 5 | Tarkkailukaivo 6 | Pohjavesikaivo - -200 m mpy | Pohjavesikaivo - -400 m mpy |
| Tarkkailukaivo 7 | Tarkkailukaivo 8 | Tarkkailukaivo 9 | Pohjavesikaivo - -600 m mpy | Pohjavesikaivo - -800 mpy |
| Tarkkailukaivo 10 | Tarkkailukaivo 11 | | Pohjavesikaivo - -1000 m mpy | Pohjavesikaivo - -1200 m mpy |



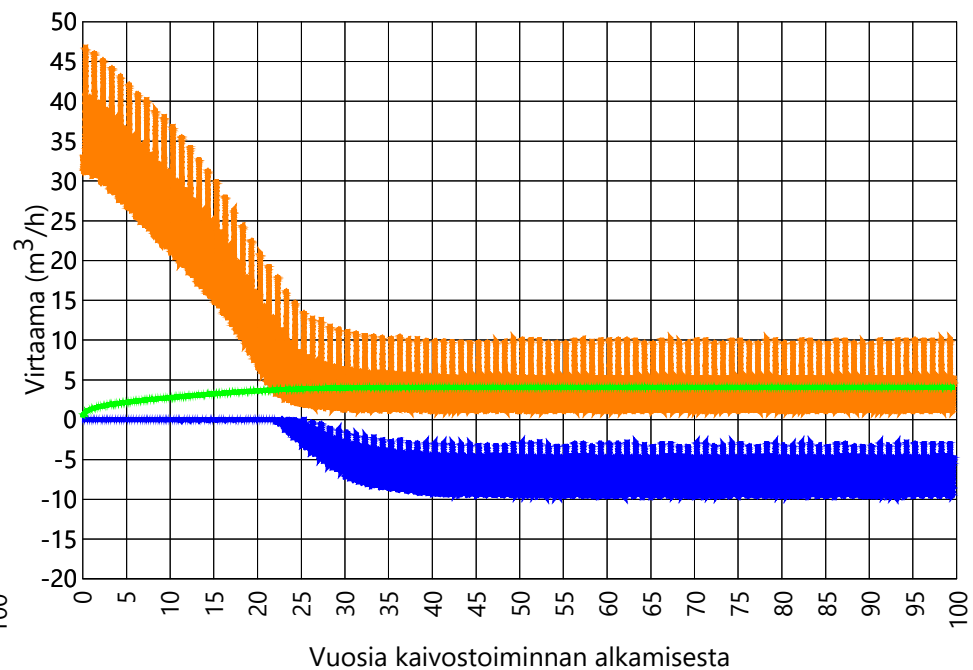
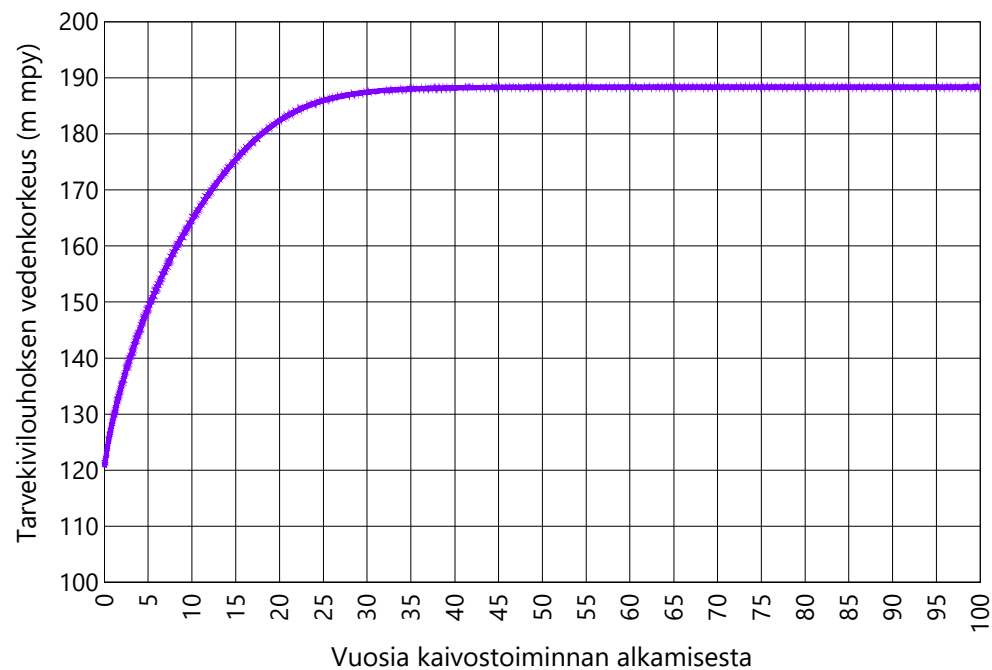
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVERY
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 65 % tiivistys-skenaariossa (NE satelliittiensiintymä mukana)

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
5-14



— Louhosjärven pinnankorkeus
 — Pohjaveden ulosvirtaus
 — Pohjaveden sisäänvirtaus
 — Sadanta

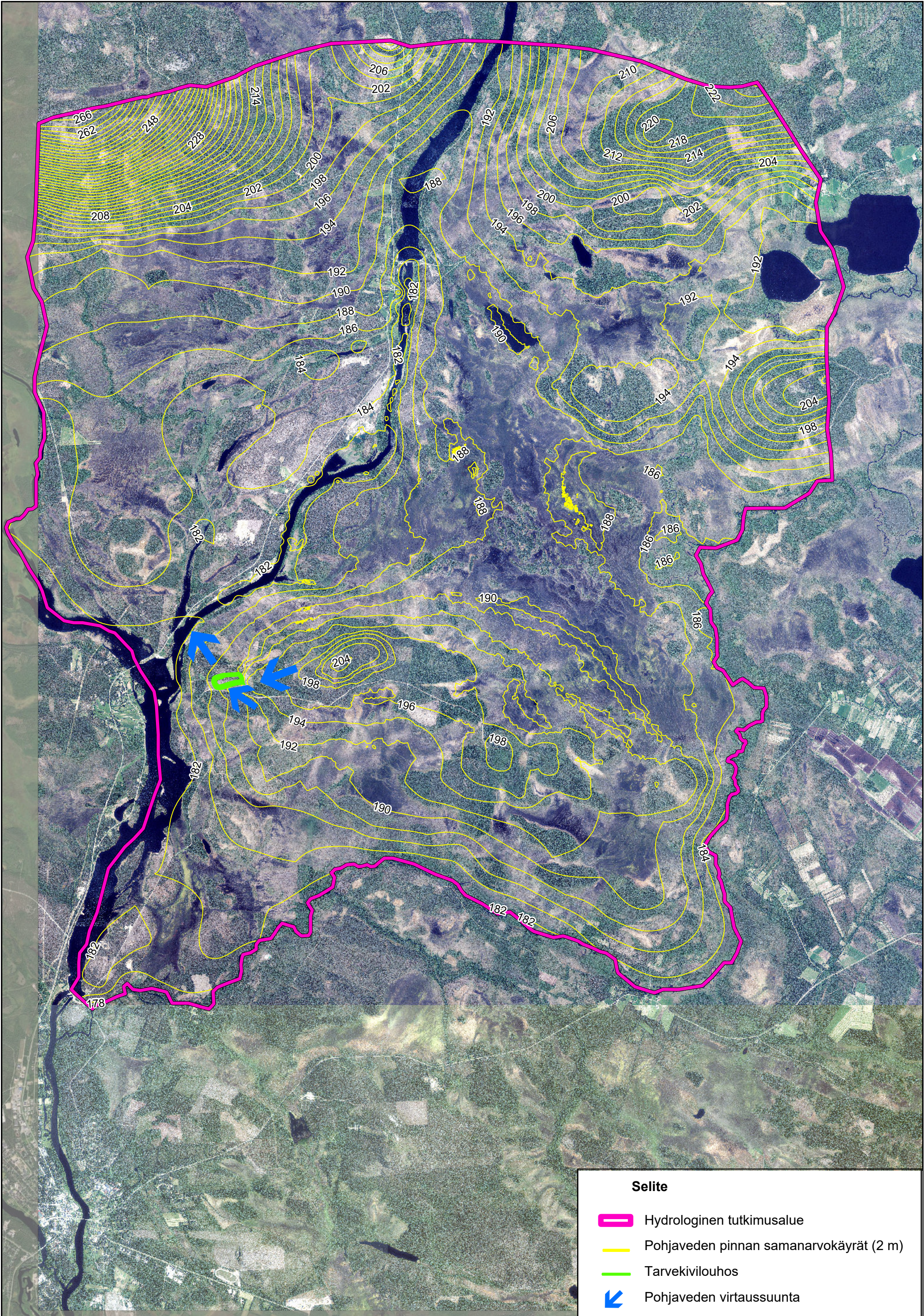
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	QUARRYWB
DRAWING DATE	29 AUG 2024
REVISION DATE	



Ennustettu tarvekivilouhoksen vedenkorkeus
ja vesitase sulkemisen aikana

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
5-15



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Pohjaveden pinnan samanarvokäyrät (2 m)

Tarvekilouhos

Pohjaveden virtaussuunta

N

0

1000

2000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	SS_Close
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

ITASCA

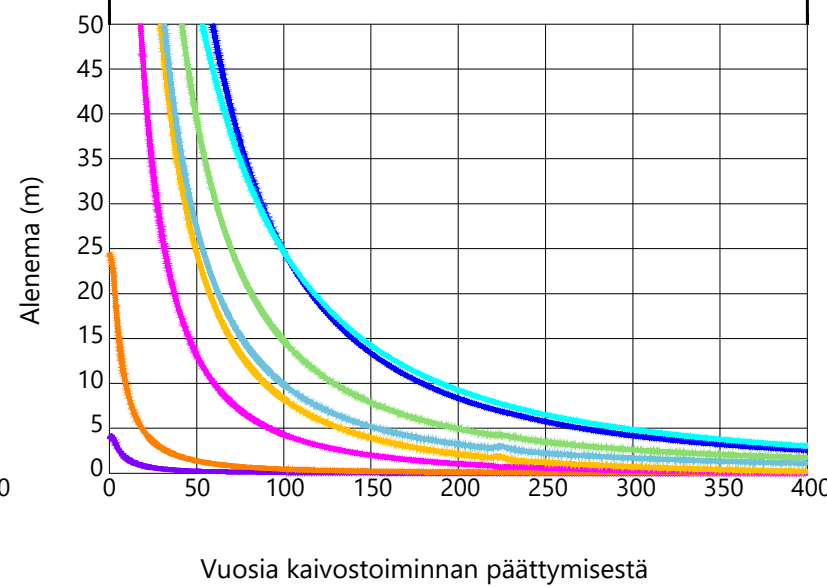
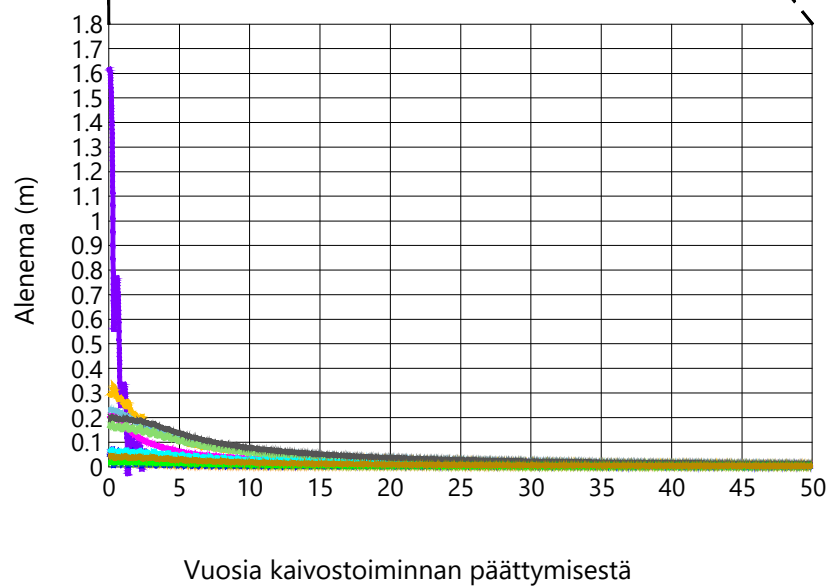
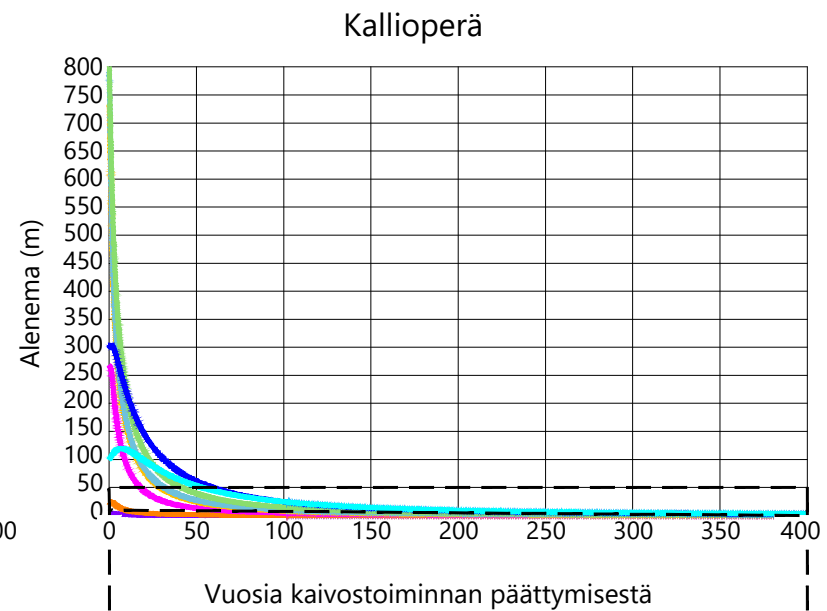
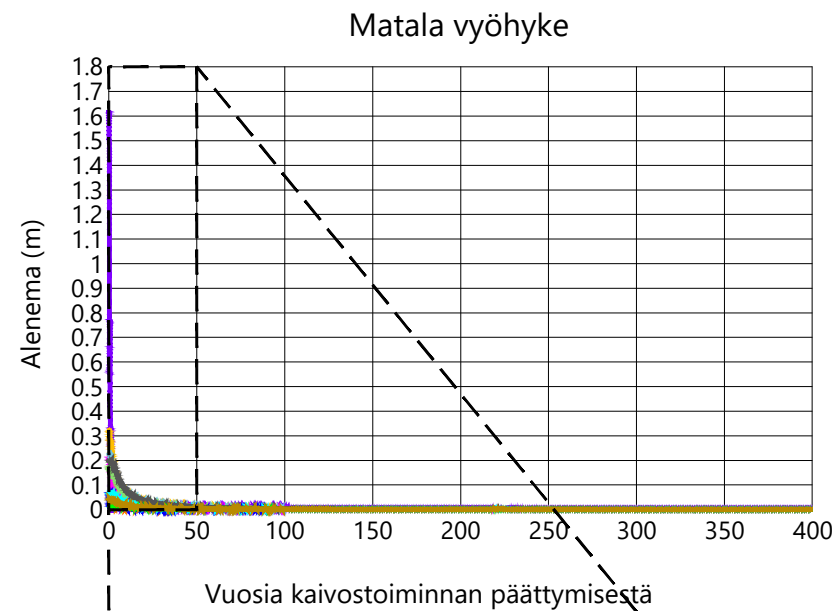
Ennustetut steady state -tilanteen
vedenpinnankorkeudet kaivostoiminnan
päätyessä

CLIENT:

Sakatti Project

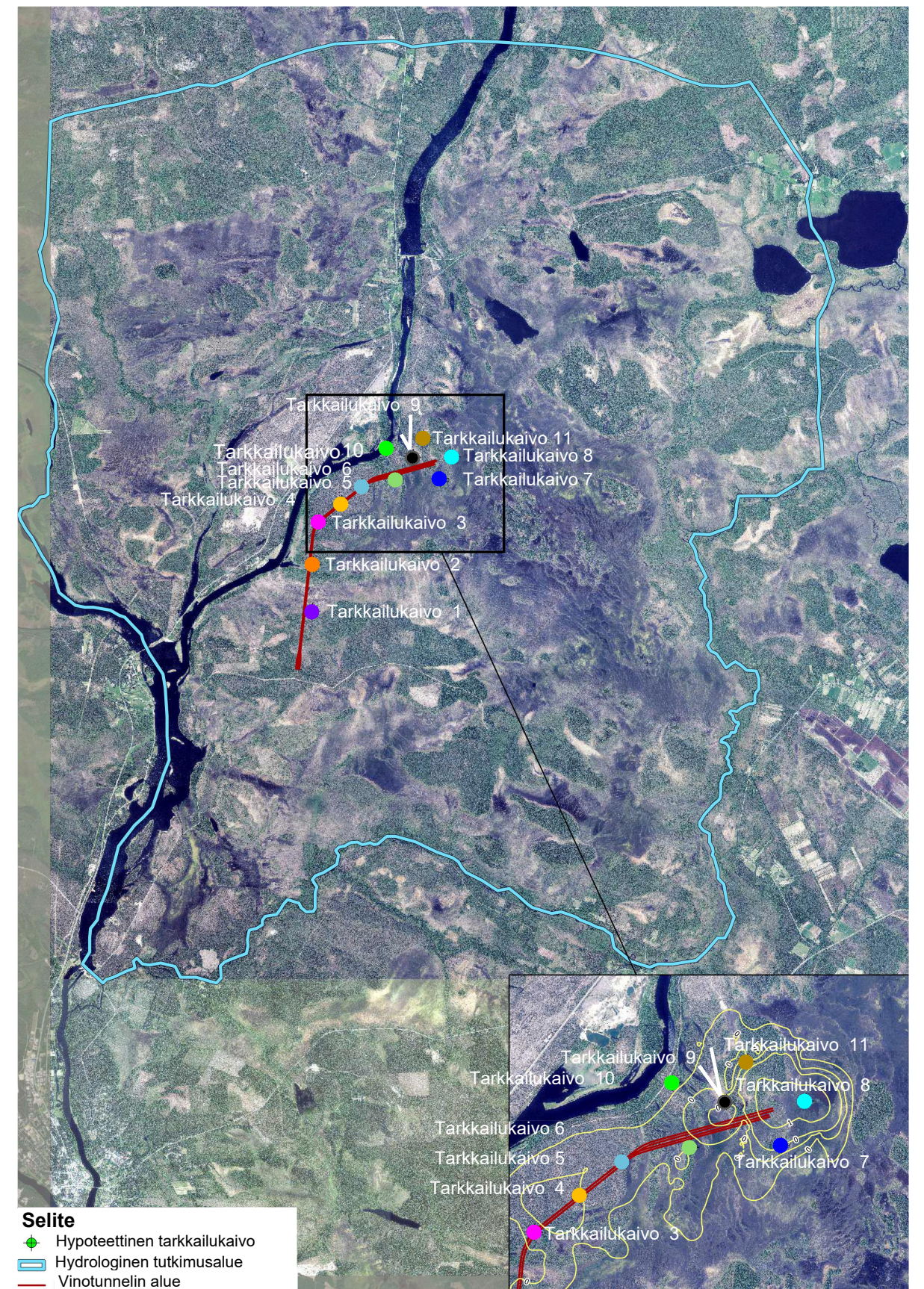
FIGURE NO.

5-16



Tarkkailukaivo 1 Tarkkailukaivo 2 Tarkkailukaivo 3
Tarkkailukaivo 4 Tarkkailukaivo 5 Tarkkailukaivo 6
Tarkkailukaivo 7 Tarkkailukaivo 8 Tarkkailukaivo 9
Tarkkailukaivo 10 Tarkkailukaivo 11

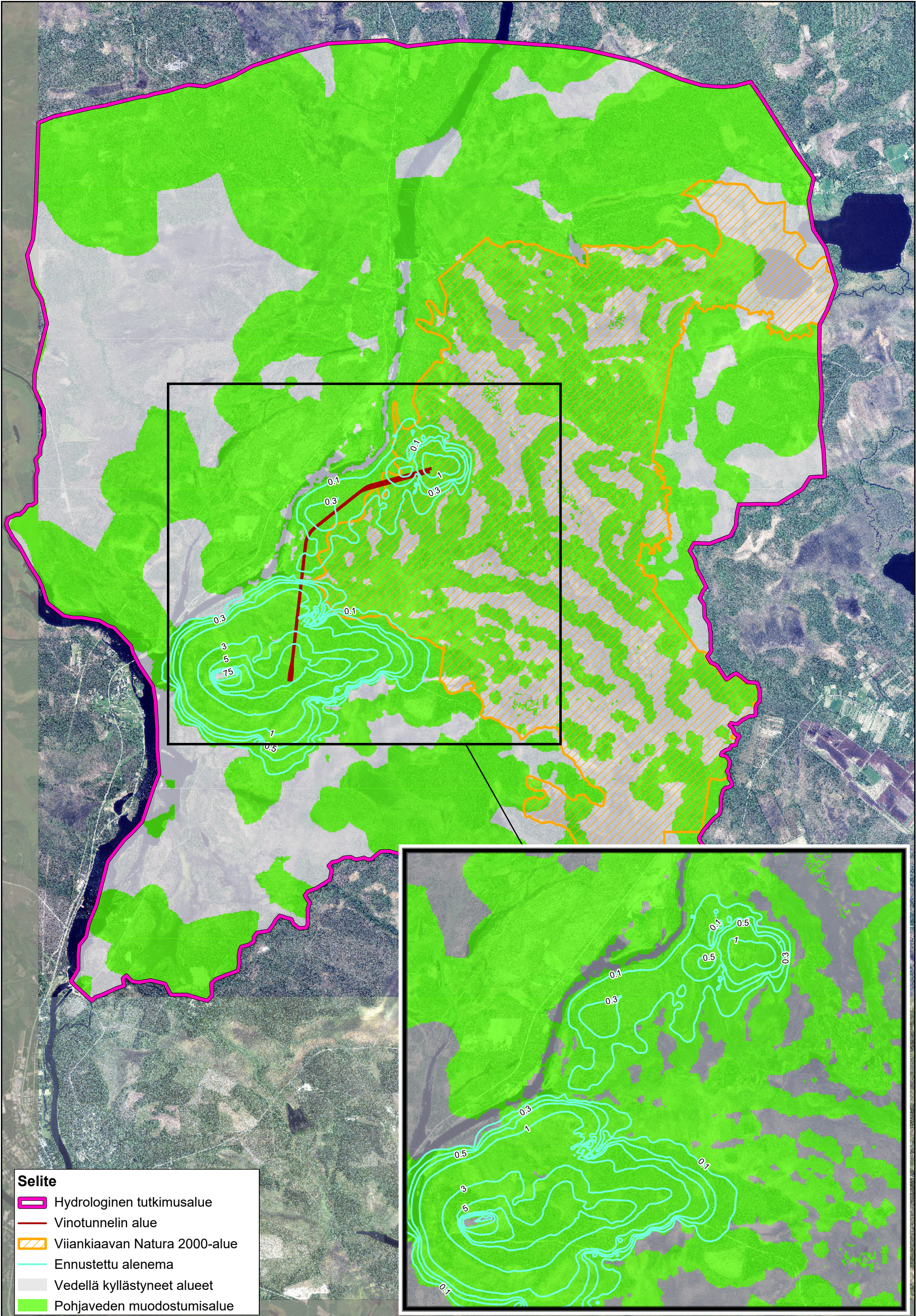
Pohjavesikaivo - 100 m mpy
Pohjavesikaivo - -200 m mpy
Pohjavesikaivo - -600 m mpy
Pohjavesikaivo - -1000 m mpy
Pohjavesikaivo - 0 m mpy
Pohjavesikaivo - -400 m mpy
Pohjavesikaivo - -800 m mpy
Pohjavesikaivo - -1200 m mpy



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVERY
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 65 % tiivistysskenaariossa (ilman NE satelliittiesiintymää)	
CLIENT: Sakatti Project	FIGURE NO. 5-17



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Vinotunnelin alue

Viiankiaavan Natura 2000-alue

Ennustettu alenema

Vedellä kyllästyneet alueet

Pohjaveden muodostumisalue

N

0

1000

2000

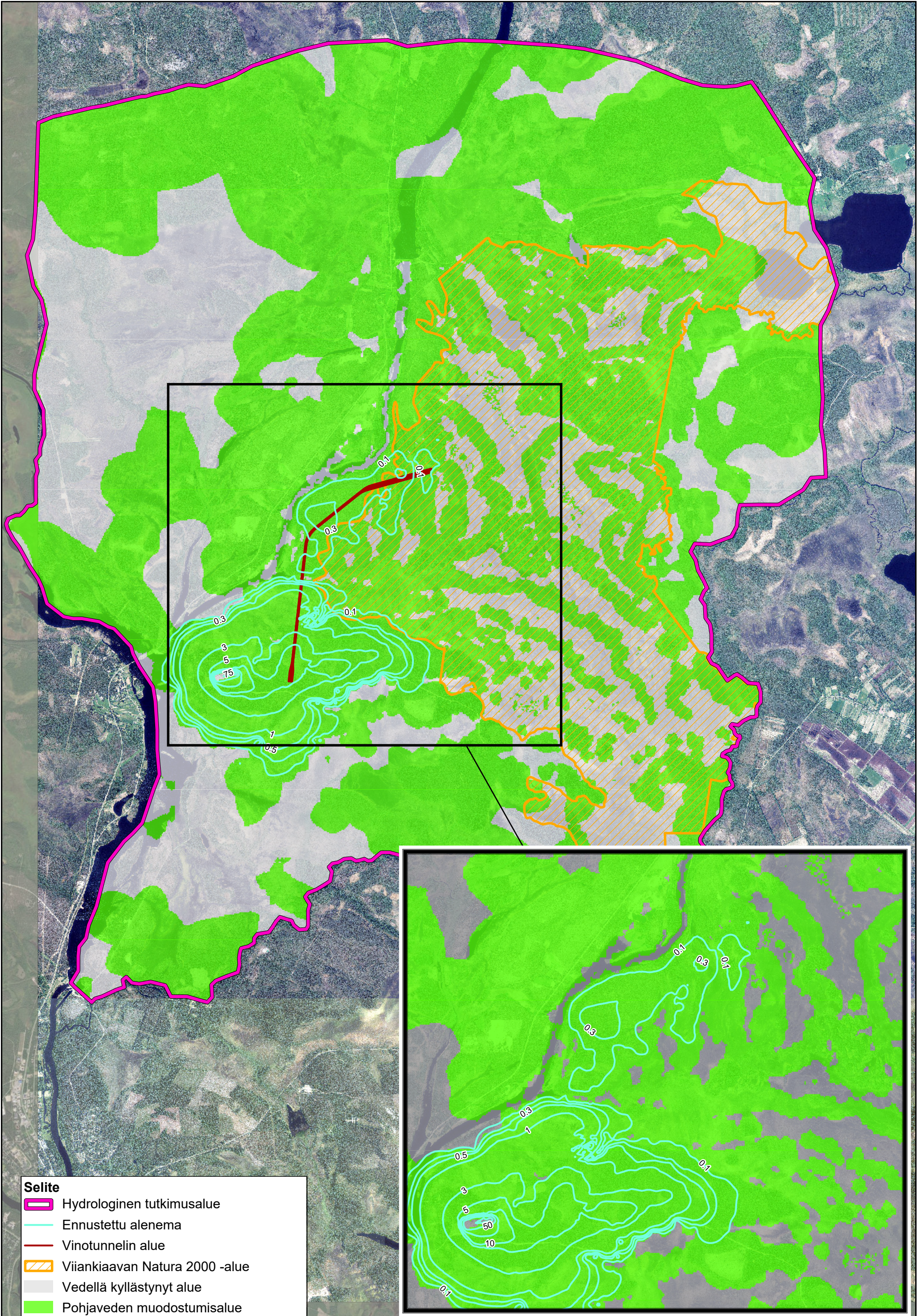
Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_65NE_RD
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024



Ennustetut vedellä kyllästyneet alueet ja pohjaveden purkautumisalueet kaivostoiminnan päättyessä 65 % tiivistysskenaariossa (NE satelliittiesiintymä mukana)

CLIENT:	FIGURE NO.
Sakatti Project	6-1



N

010002000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_65woNE_RD
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024

ITASCA

Ennustetut vedellä kyllästyneet alueet ja pohjaveden purkautumisalueet kaivostoiminnan päättyessä 65 % tiivistysskenaariossa (ilman NE satelliittiesiintymää)

CLIENT:

Sakatti Project

FIGURE NO.

6-2

6:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXD\Working\Sakatti\Sakatti.aprx

PROJEKTIN VAIHE					
Projektivaihe	Käsitteellinen	Toteutettavuus-selvitystä edeltävä	Toteutettavuusselvitys	Suunnittelu ja rakentaminen	Toiminta
Geotekninen vaihe	Taso 0	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 4
Hydrogeologinen malli	Alueellinen pohjavesi-selvitys	Kaivosmittakaavan nostepumppaukset, koepumppaukset ja vesihävikikokeet alustavien hydrogeologisten parametrien määrittämiseksi. Alustavan hydrogeologisen tietokannan ja mallin rakentaminen.	Kohdennetut pumppauskokeet ja nostepumppaukset, päivitetty hydrogeologinen tietokanta ja 3D-malli, paineenpoisto- ja kuivatusvaatimusten alustava arviointi, injektoimis/ palautumisnopeudet	Pohjavesikaivojen asentaminen ja kuivatus- tai vedensyöttökaivojen rakentaminen, hydrogeologisen tietokannan ja 3D-mallin tarkentaminen, paineenpoisto- ja kuivatusvaatimukset, injektoimis/ palautumisvaatimukset	Jatkuva pohjavesikaivo- ja vedenpoisto-verkoston ylläpito, vedensyöttömäärien ja reikätiheyden optimointi, jatkuva hydrogeologisen tietokannan ja 3D-mallin parantaminen

Lähde: Read and Stacey, 2009

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	STAGES
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	

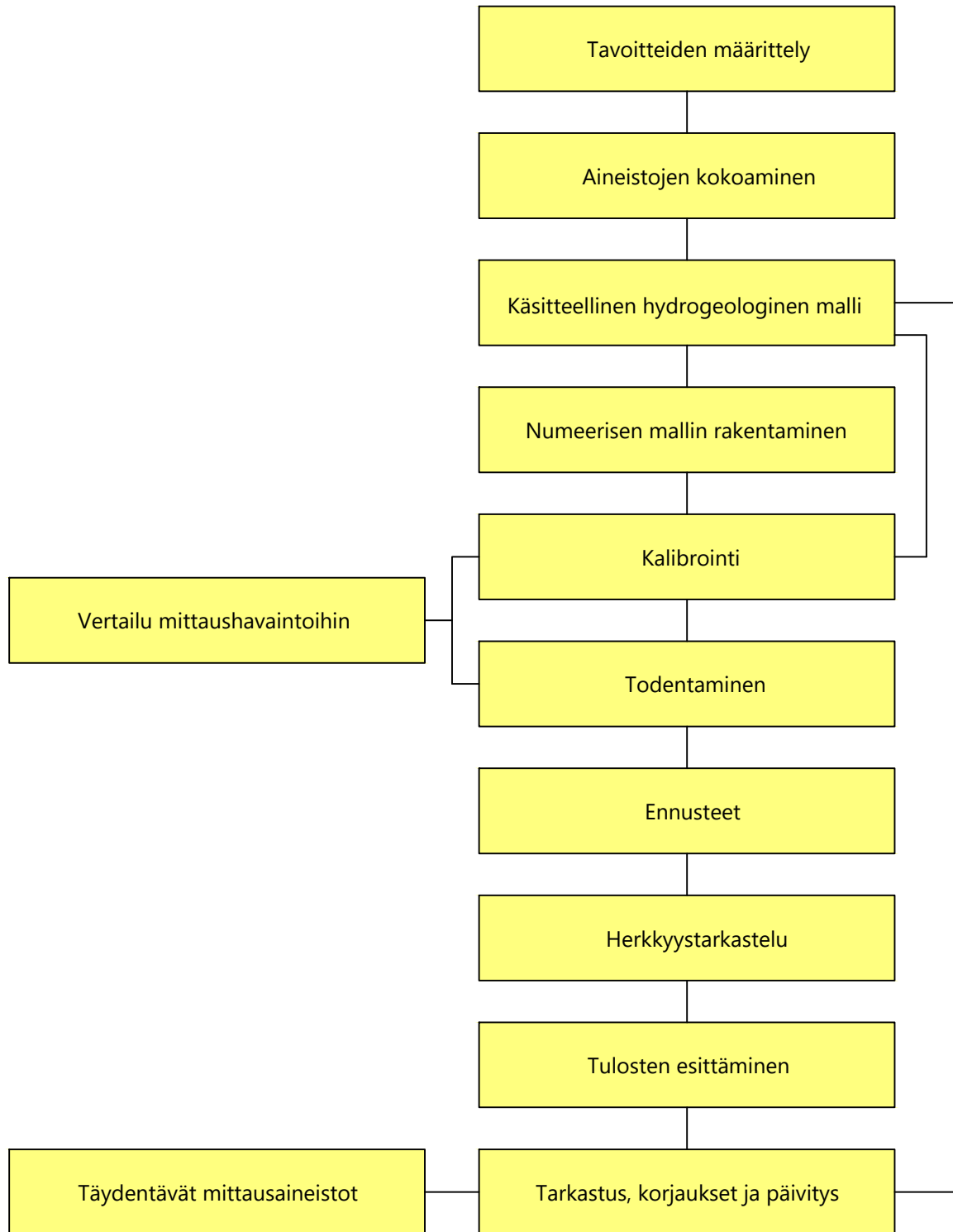


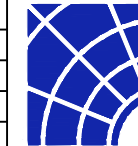
Hydrogeologisten selvitysten
vaatimukset hankkeen eri vaiheissa

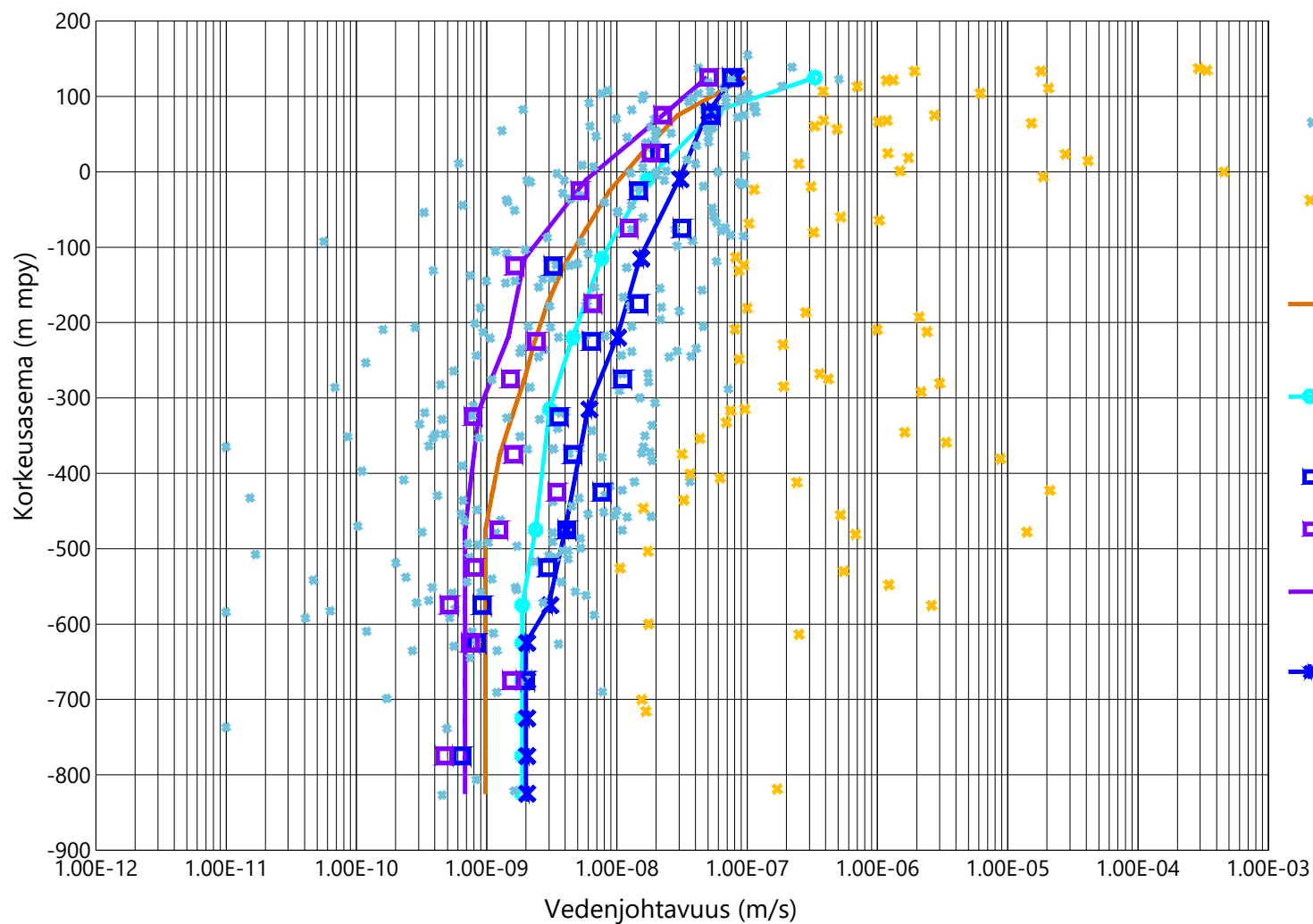
CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
7-1

Pohjaveden virtausmallinnuksen vaiheet



PROJECT NO.	4064	 ITASCA	Pohjaveden virtausmallin vaiheet	
BY	SBM			
CHECKED	SBM		CLIENT: Sakatti Project	
DRAWN	RJN			
DRAWING NAME	FLOW		FIGURE NO. 7-2	
DRAWING DATE	30 AUG 2024			
REVISION DATE				



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	HYDRA
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	

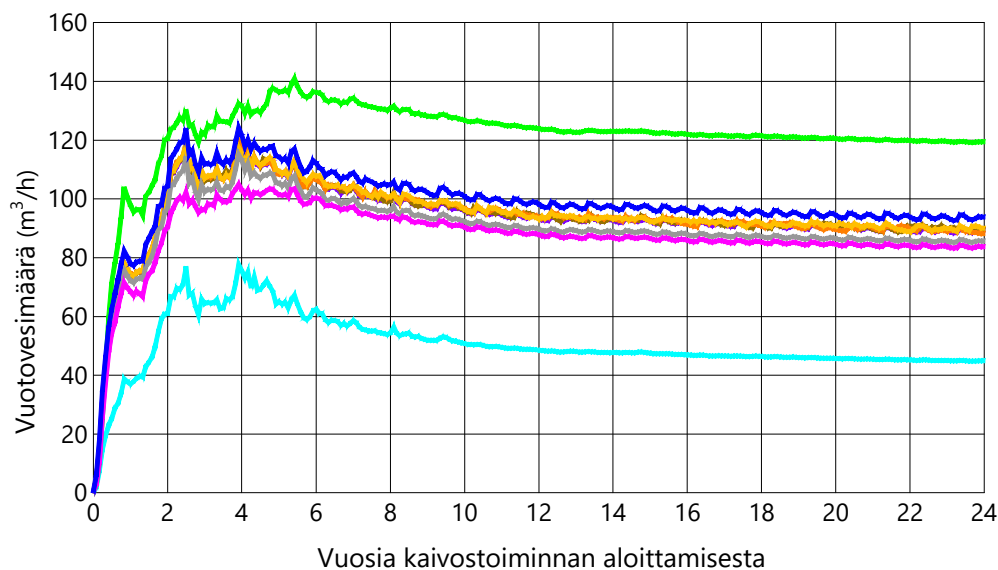


Simuloidut kallioperän
vedenjohtavuusarvot herkkyytstarkastelussa

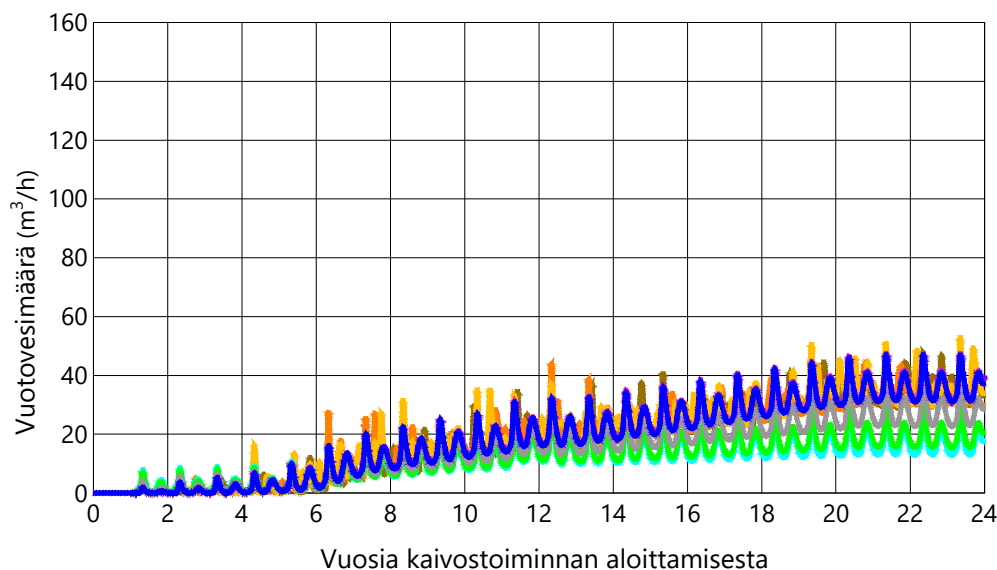
CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
7-3

a) Ennustettu vuotovesimäärä maanalaiseen kaivokseen



b) Ennustettu vuotovesimäärä tarvekilouhokseen



Herkkyystarkastelut

- Kallioperän vedenjohtavuuden 60. prosenttipisteen skenaario
- 50 % tiivistysskenaario
- RCP8.5-skenaario
- RCP4.6-skenaario
- Perustilaskenaario
- RCP2.5-skenaario
- Pumppauskoeskenaario
- 80 % tiivistysskenaario
- Kallioperän vedenjohtavuuden 80. prosenttipisteen skenaario

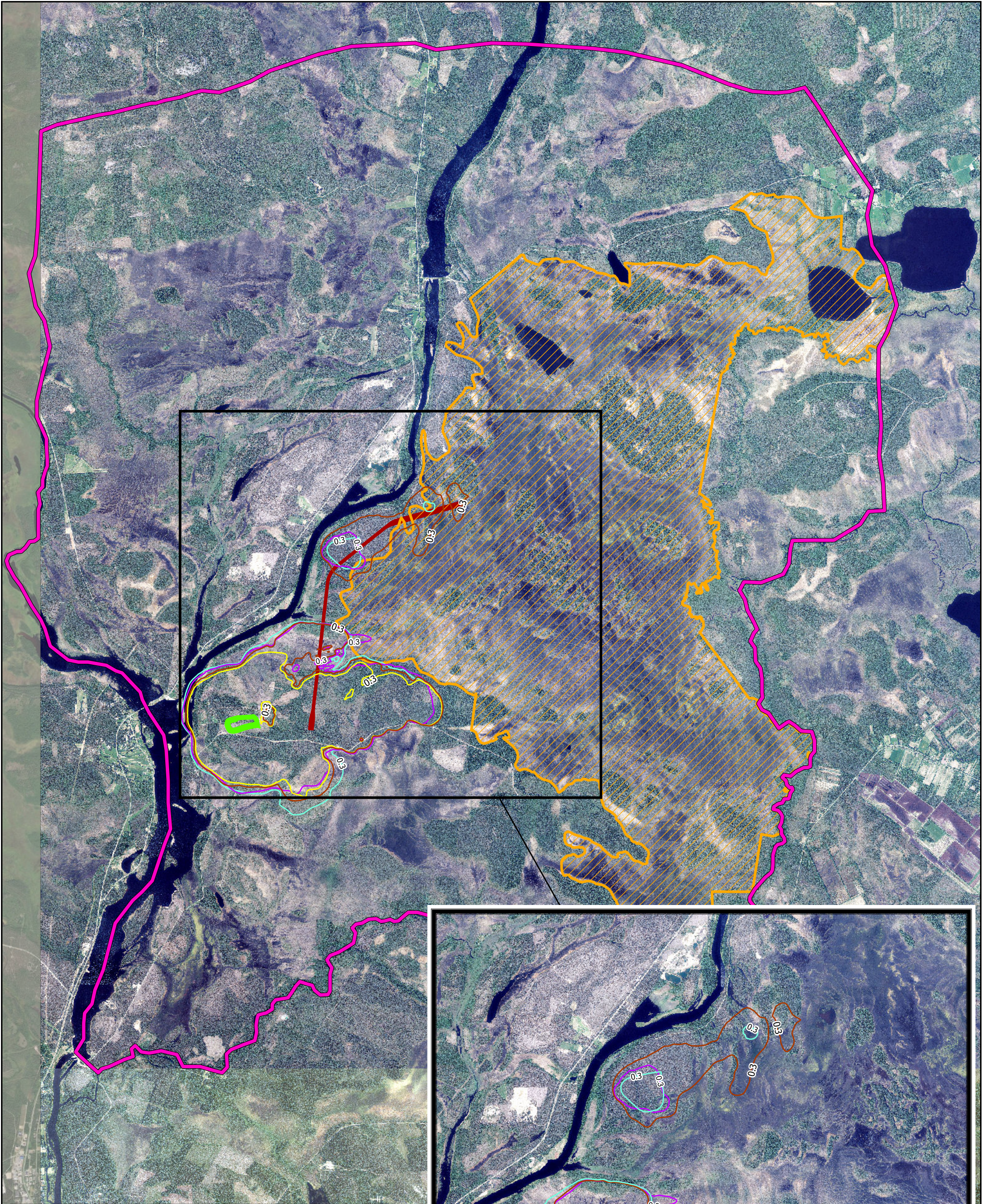
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SENS
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	30 SEP 2024



Ennustetut vuotovesimäärät
herkkyystarkasteluissa

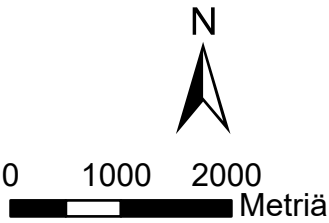
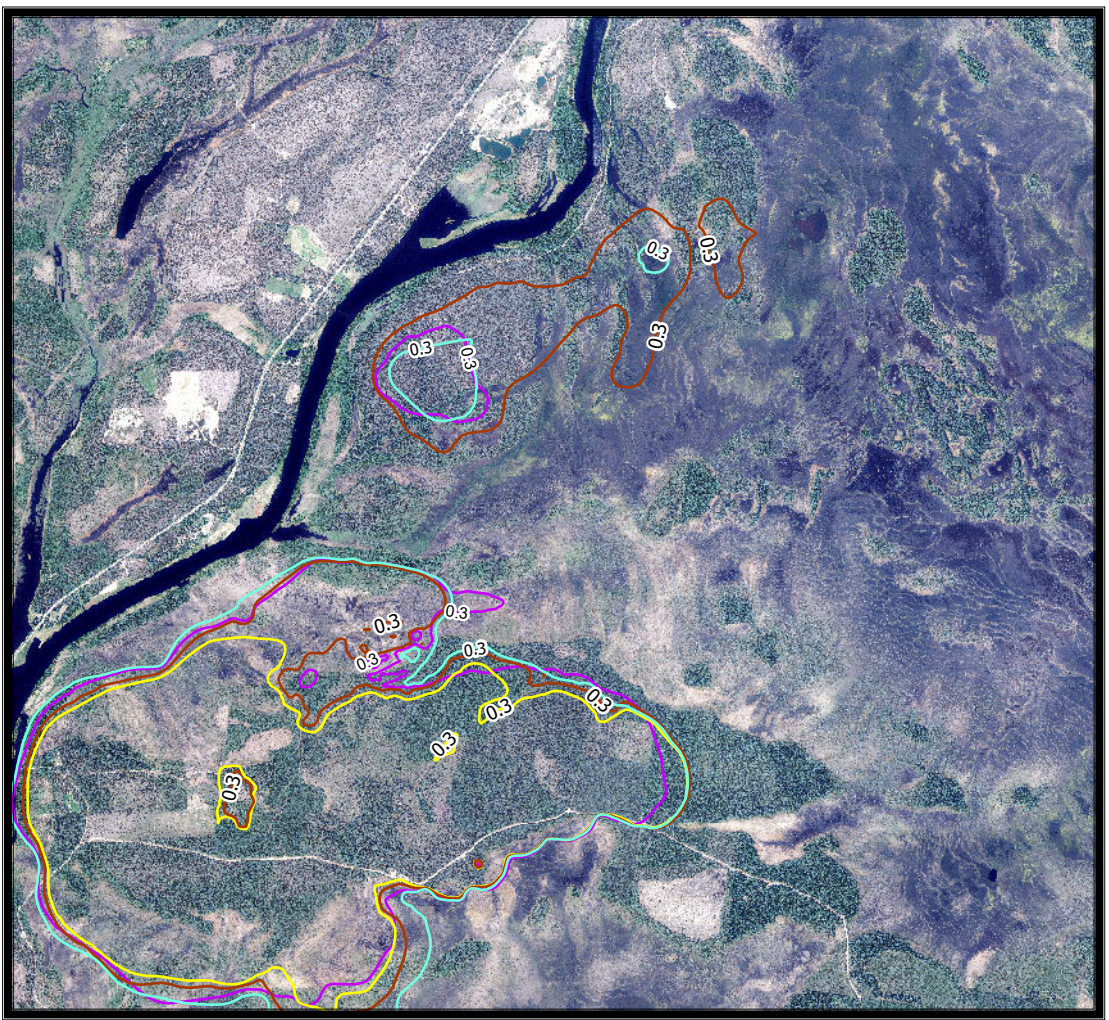
CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
7-4



Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Tarvekilouhos
- Viiankiaavan Natura 2000 -alue
- 0,3 m alenema-alue skenaarioissa:**
- Kallioperän vedenjohtavuuden 40. prosenttipiste
- Kallioperän vedenjohtavuuden 60. prosenttipiste
- Perustila
- Pumppauskoe



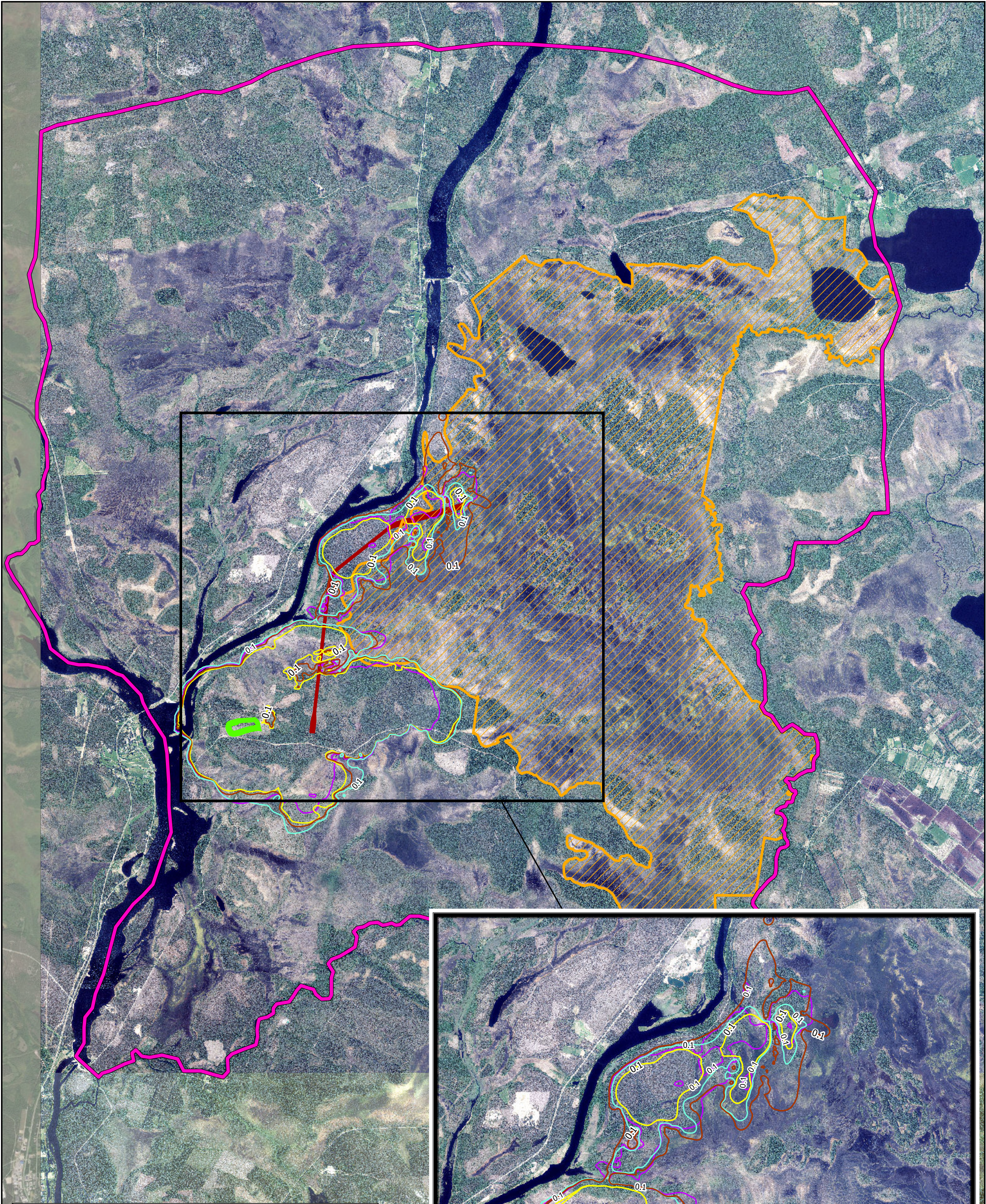
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_SSS_Base
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024



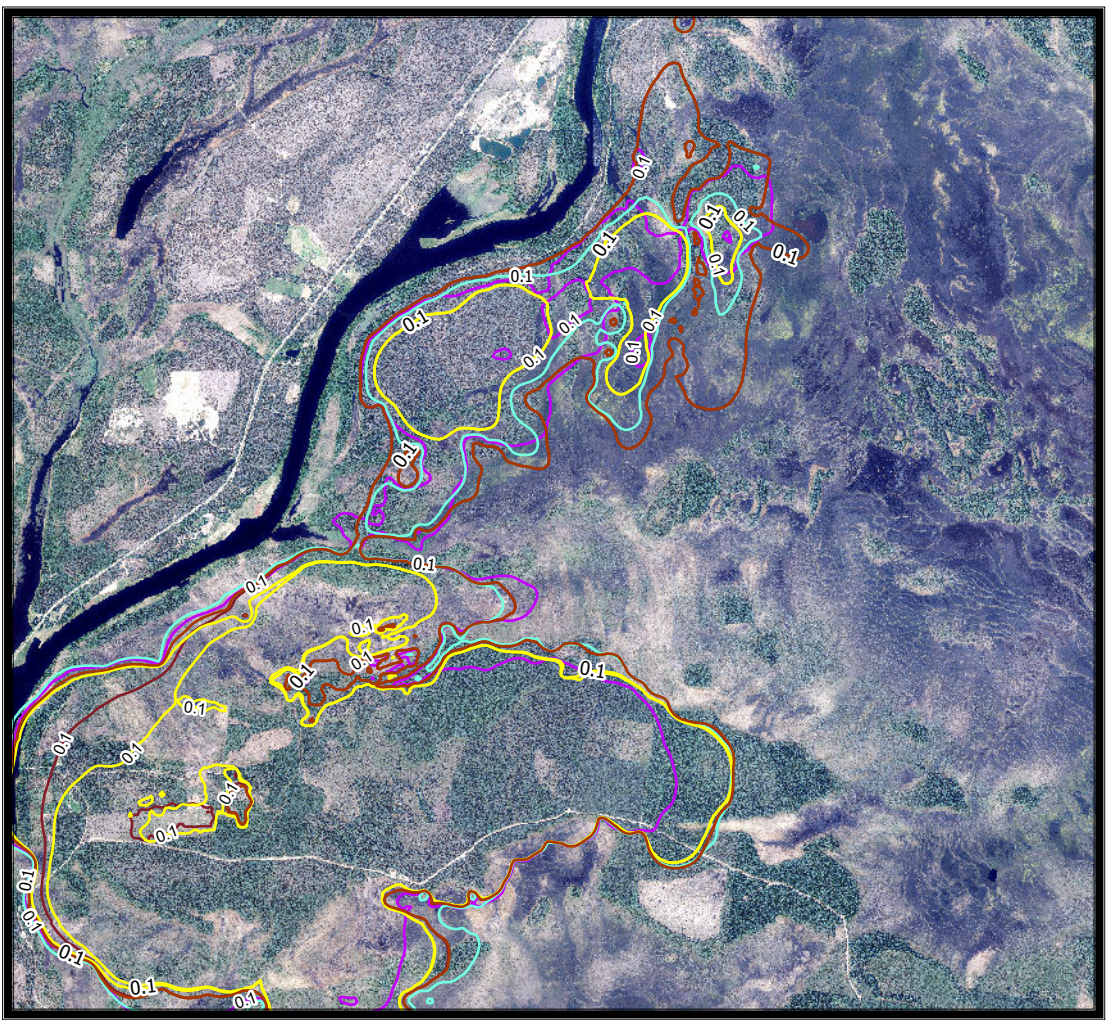
Ennustettu 0,3 metrin alenema-alue
kaivostoiminnan päättyessä vedenjohtavuuden
herkkyyskkenaarioissa

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
7-5a



- Selite**
- Hydrologinen tutkimusalue
 - Viiankiaavan Natura 2000 -alue
 - Vinotunnelin alue
 - Tarvekilouhos
 - 0,1 m alenema-alue skenaarioissa:**
 - Kallioperän vedenjohtavuuden 40. prosenttipiste
 - Kallioperän vedenjohtavuuden 60. prosenttipiste
 - Perustila
 - Pumppauskoe



0 1000 2000
Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_SSS_Baseb
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024



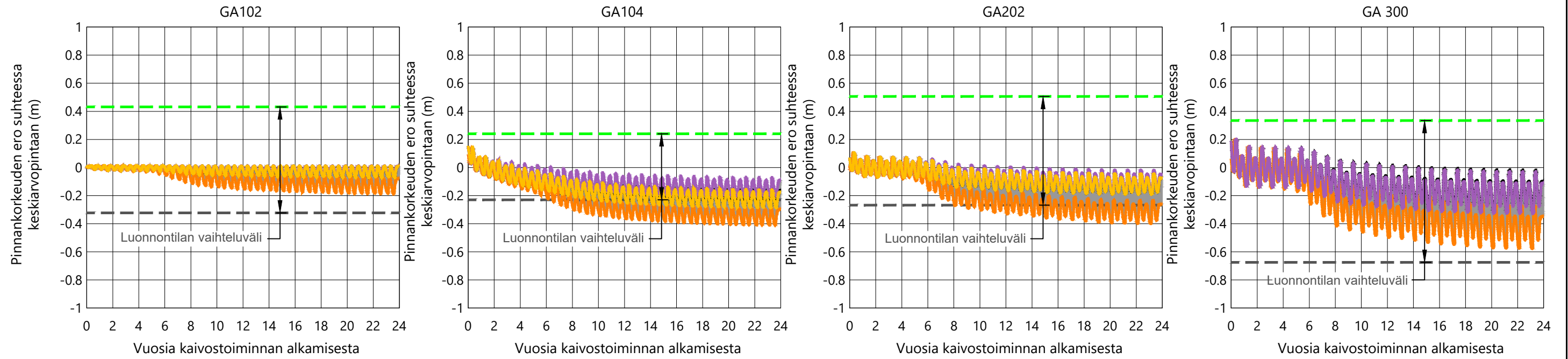
ITASCA

Ennustettu 0,1 metrin alenema-alue
kaivostoiminnan päättyessä vedenjohtavuuden
herkkyyskenaarioissa

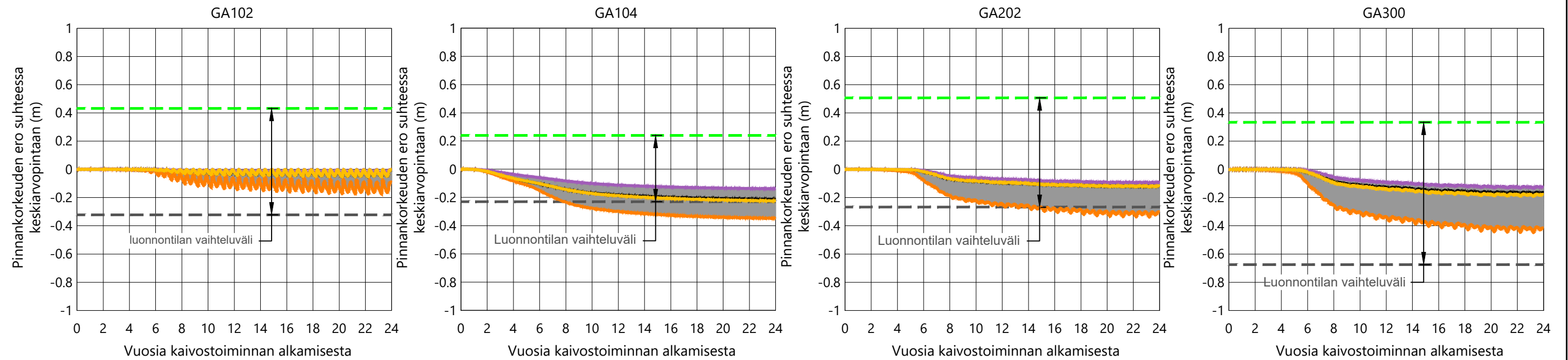
CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
7-5b

a) Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan



b) Ennustettu alenema



Ennustettu alenema

- Perustilaskenaario
- Kallioperän vedenjohtavuuden 40 prosenttipisteen skenaario
- Pumppauskoeskenaario
- Kallioperän vedenjohtavuuden 60 prosenttipisteen skenaario

- Herkkyystarkasteluilla ennustettu mahdollinen aleneman vaihteluväli
- — Korkeimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan vuosina 2012–2023
- — Alimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan vuosina 2012–2023

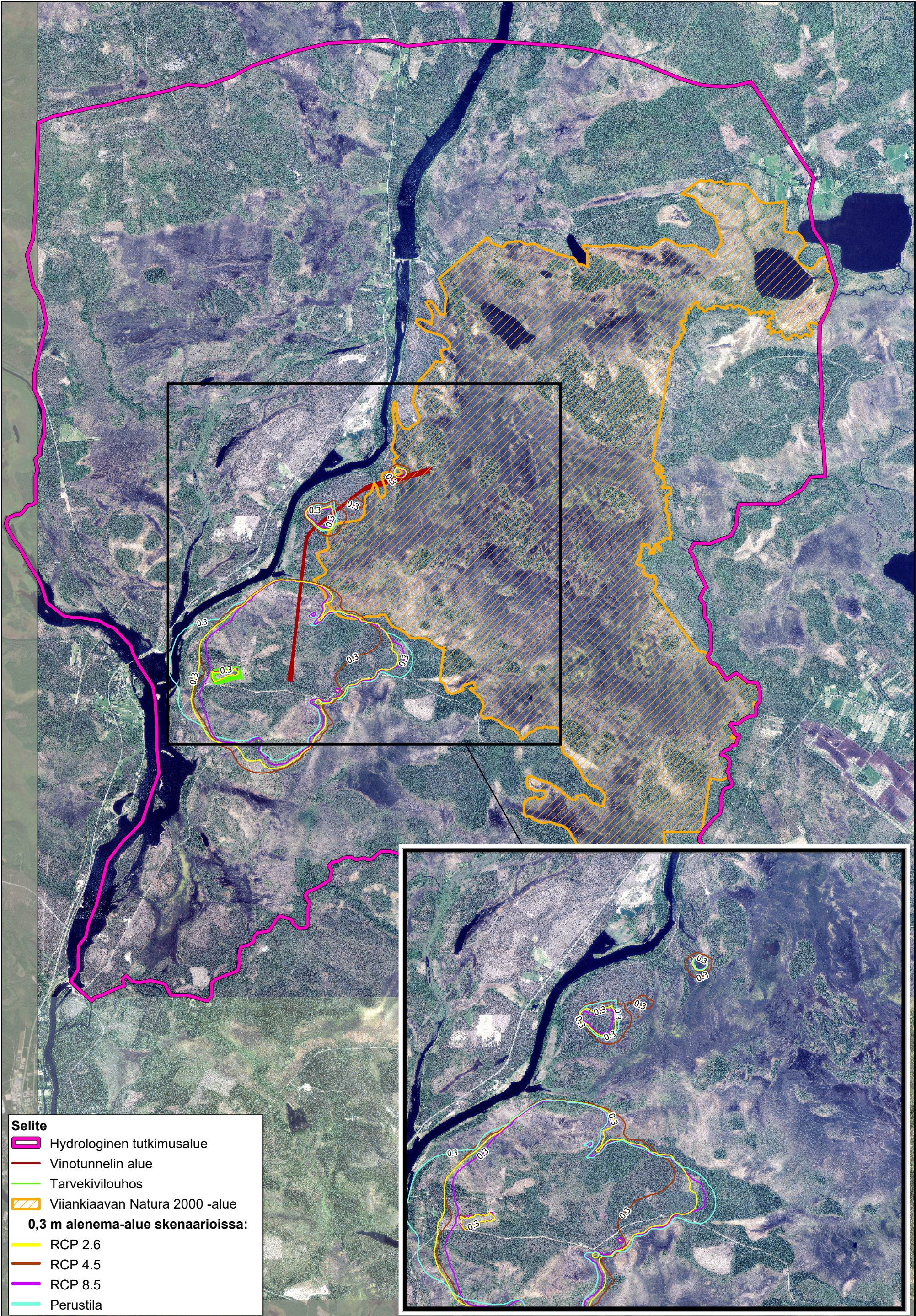
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Pohjaveden pinnankorkeuden
vuodenaikaisvaihtelu keskeisimmissä
havaintopisteissä vedenjohtavuuden
herkkyyskenaarioissa

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
7-6

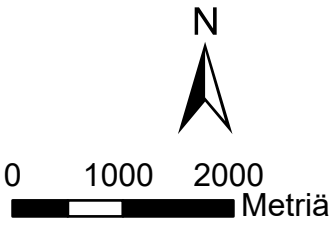


Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Vinotunnelin alue

0,3 m alenema-alue skenaarioissa:



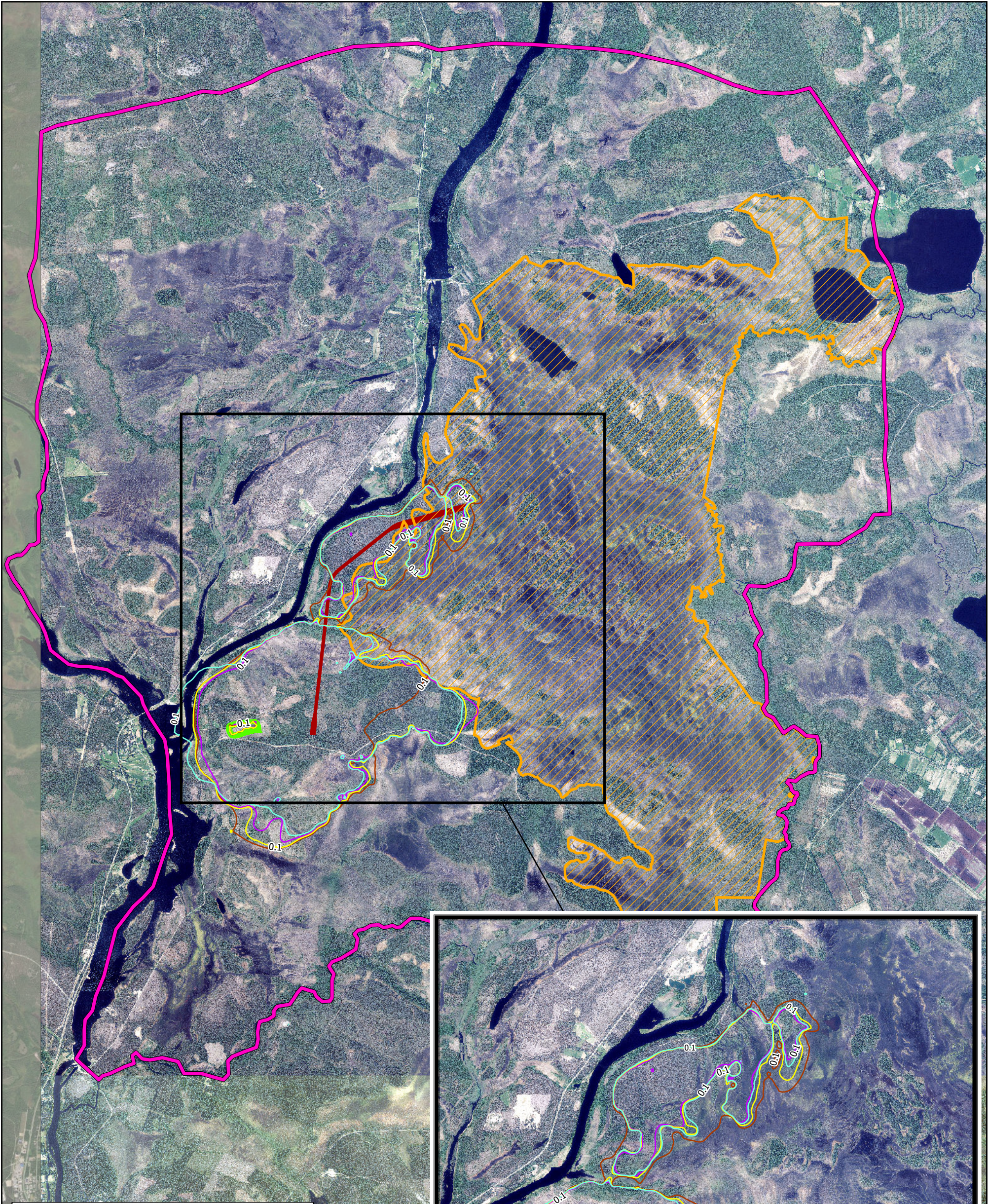
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_Climate_Basea
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024



Ennustettu 0,3 metrin alenema-alue
kaivostoiminnan päättyessä ilmaston
herkkyystarkastelussa

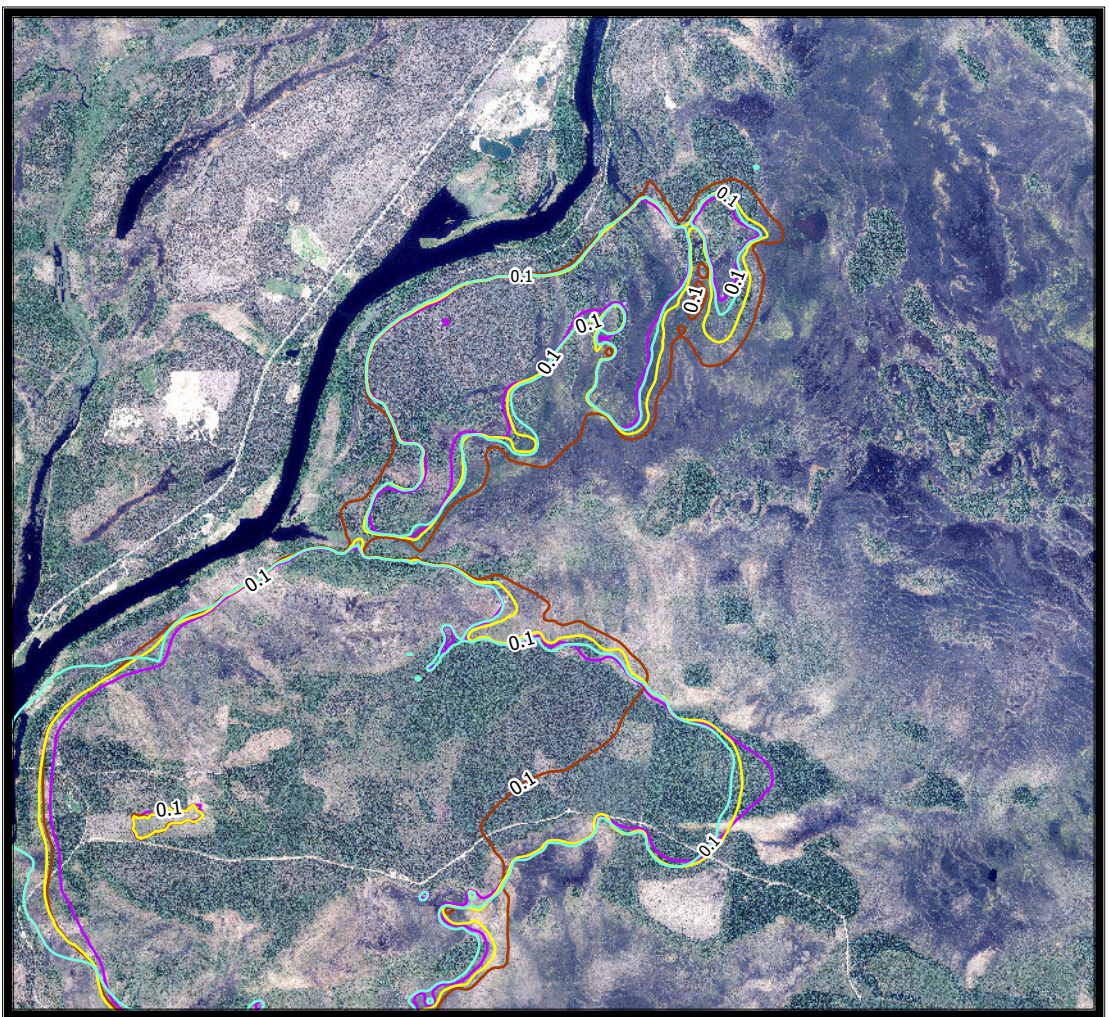
CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
7-7a



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Vinotunnelin alue

0 1000 2000
Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_Climate_Baseb
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024



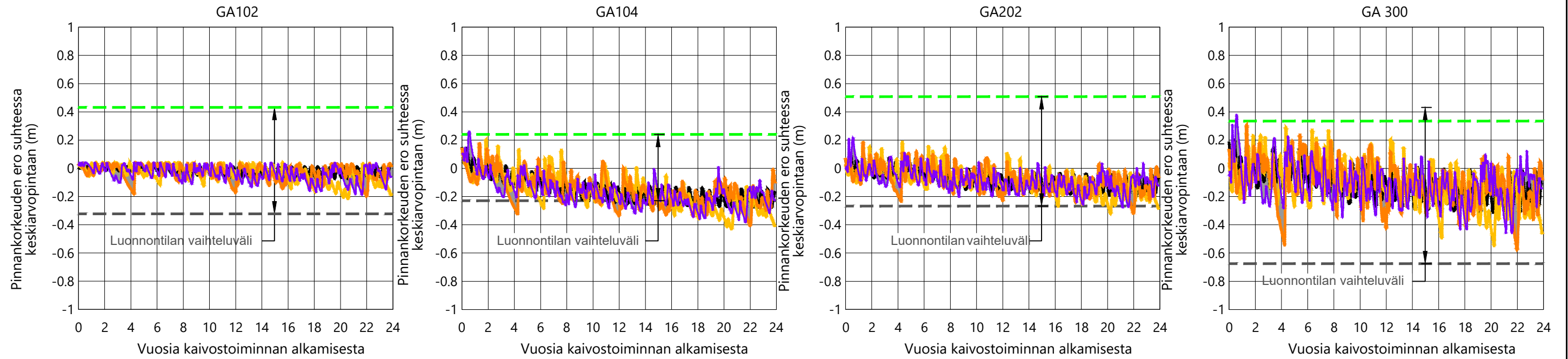
ITASCA

Ennustettu 0,1 metrin alenema-alue
kaivostoiminnan päättyessä ilmaston
herkkyystarkastelussa

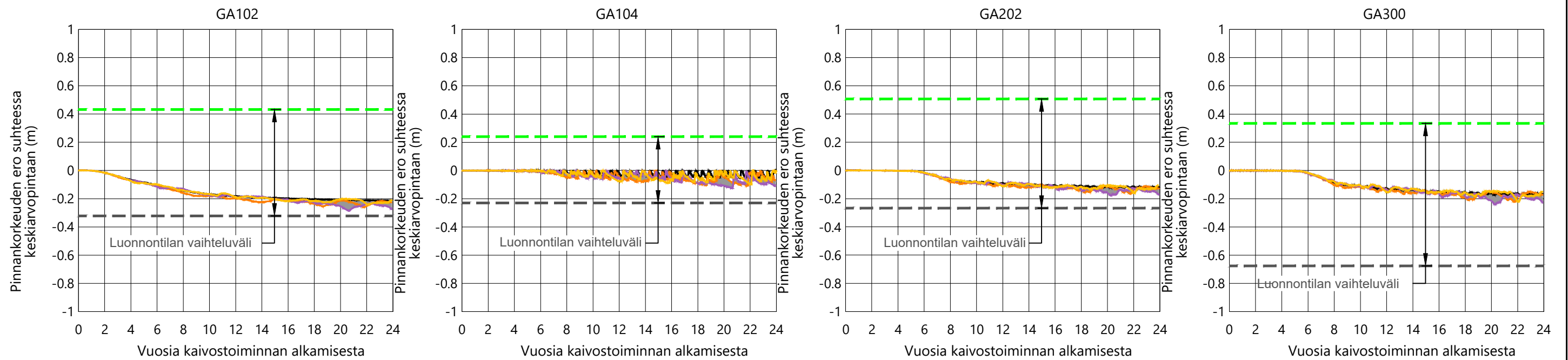
CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
7-7b

a) Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan



b) Ennustettu alenema



Ennustettu alenema

- Perustilaskenaario
- RCP2.6-skenaario
- RCP4.5-skenaario
- RCP8.5-skenaario
- Herkkyystarkasteluilla ennustettu mahdollinen aleneman vaihteluväli
- Korkeimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan vuosina 2012–2023
- Alimman mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ero suhteessa keskiarvopintaan vuosina 2012–2023

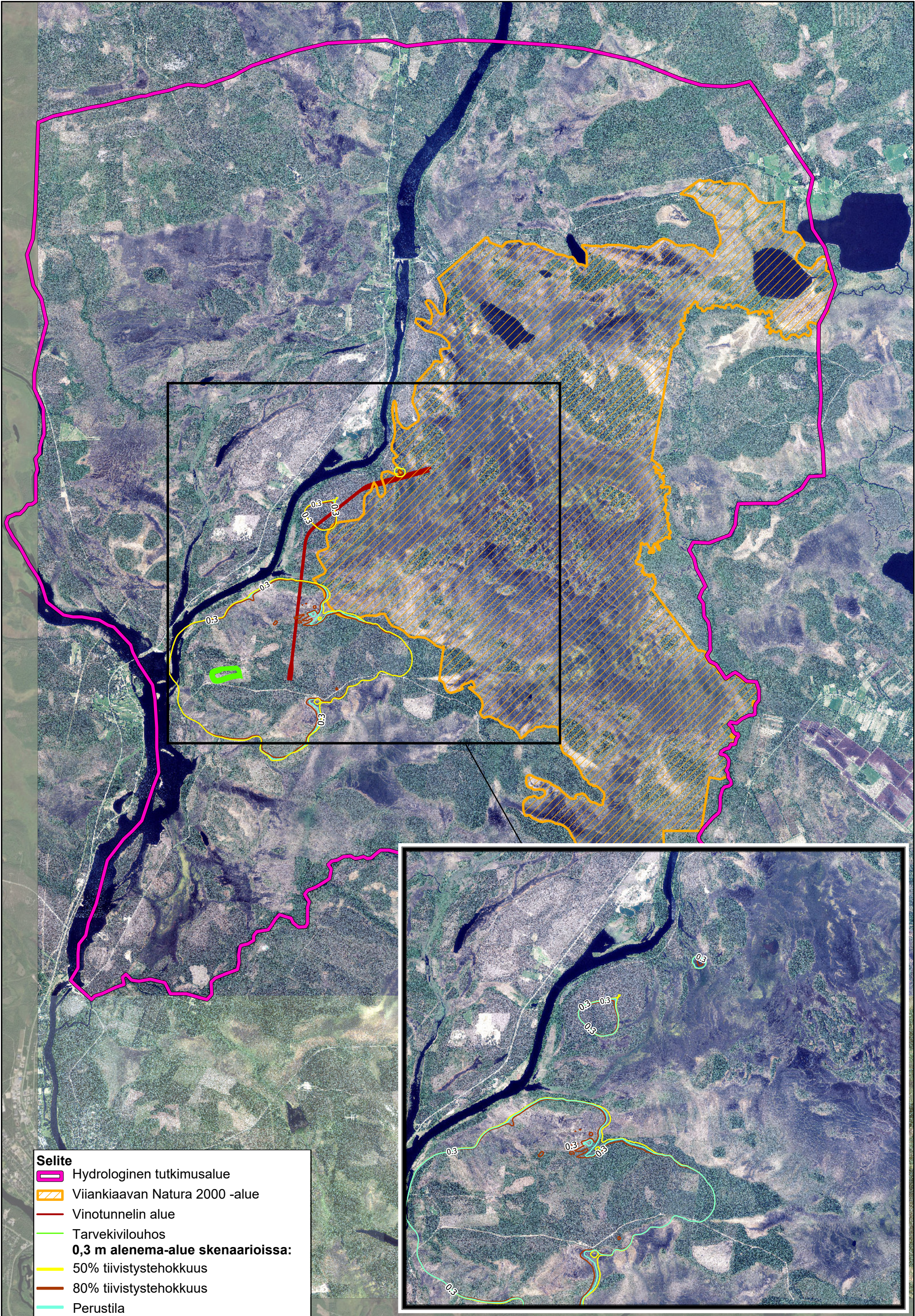
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	30 AUG 2024
REVISION DATE	



Pohjaveden pinnankorkeuden
vuodenaikaisvaihtelu keskeisimmissä
havaintopisteissä ilmaston
herkkyyskenaarioissa

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
7-8



- Selite**
- Hydrologinen tutkimusalue
 - Viiankiaavan Natura 2000 -alue
 - Vinotunnelin alue
 - Tarvekilouhos
 - 0,3 m alenema-alue skenaarioissa:**
 - 50% tiivistystehokkuus
 - 80% tiivistystehokkuus
 - Perustila

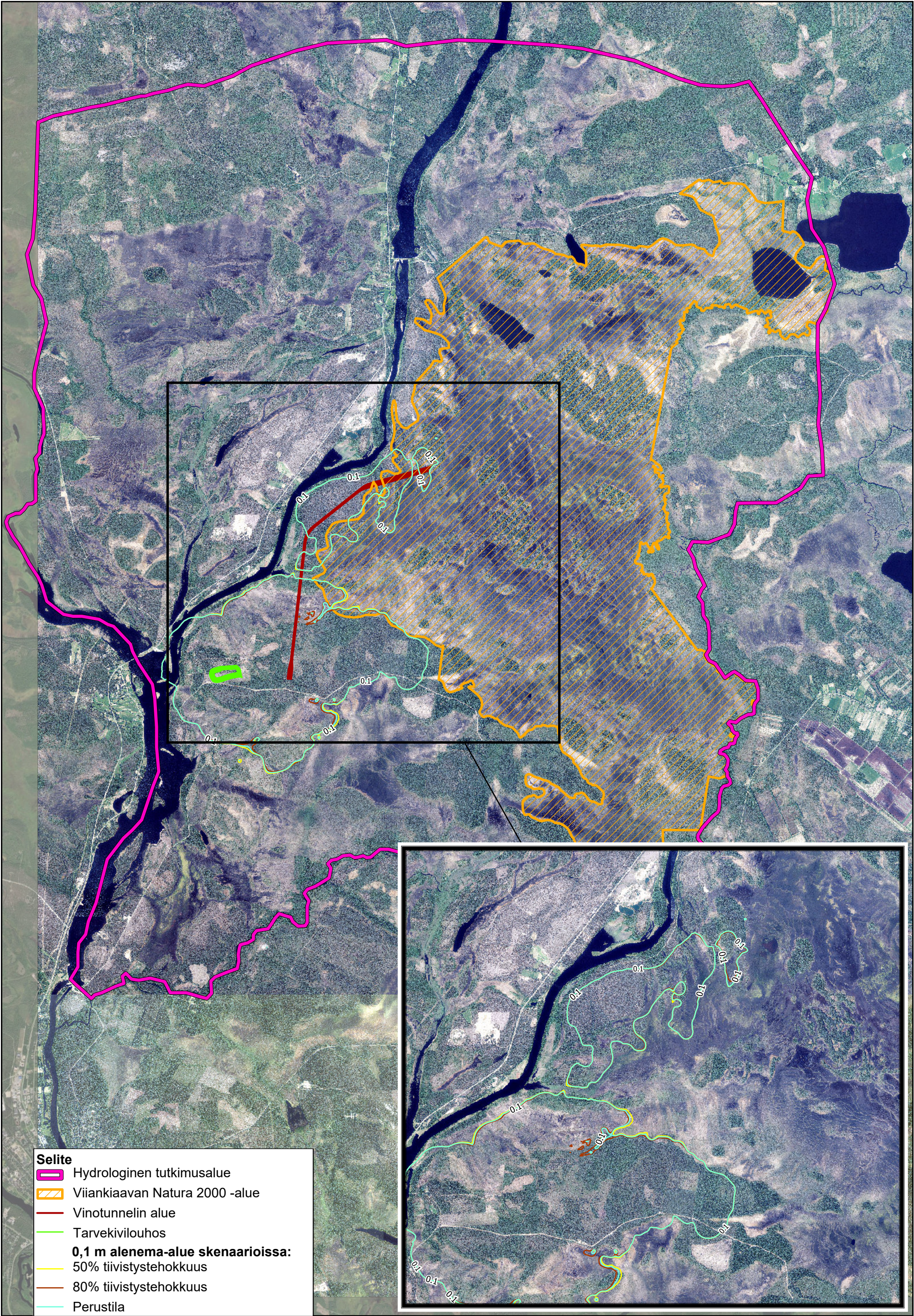
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_Grouting_Basea
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024



Ennustettu 0,3 metrin alenema-alue kaivostoiminnan
päätyessä tiivistystehokkuuden
herkkyystarkastelussa

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
7-9a



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Viiankiaavan Natura 2000 -alue

Vinotunnelin alue

Tarvekilouhos

0,1 m alenema-alue skenaarioissa:

50% tiivistystehokkuus

80% tiivistystehokkuus

Perustila

N

0

1000

2000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_Grouting_Baseb
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 30, 2024



Ennustettu 0,1 metrin alenema-alue
kaivostoiminnan päättyessä
tiivistystehokkuuden herkkyyystarkastelussa

CLIENT:	FIGURE NO.
Sakatti Project	7-9b

**Yhteenveto tärkeimpien hydrogeologisten yksiköiden
mitatuista vedenjohtavuuden arvoista hydrologisella
tutkimusalueella**

Hydrogeologinen yksikkö	Mitattujen vaakasuuntaisten vedenjohtavuuksien vaihteluvälit (m/s)	Lähde
Turve	$1.0 \times 10^{-7} - 2.0 \times 10^{-4}$	Golder 2015; Korkka-Niemi ja Turtiainen 2020
Moreeni	$5.0 \times 10^{-8} - 4.3 \times 10^{-3}$	Åberg ym. 2019; Åberg ym. 2021; Puumalainen 2021; Turtiainen 2020; SRK 2019
Hiekat /Sorat		
Joki- ja jäätikkökerrostumat		
Rikkonainen kallioperä	$8.1 \times 10^{-8} - 1.4 \times 10^{-4}$	AASM Oy 2021; hydraulic tests through 2023
Ehjä kallioperä	$1.0 \times 10^{-12} - 1.0 \times 10^{-5}$	AASM Oy 2021; hydraulic tests through 2023
Pohjaruhje	$5.9 \times 10^{-7} - 9.6 \times 10^{-7}$	AASM Oy 2021; hydraulic tests through 2023
Muut ruhjeet	$4.3 \times 10^{-11} - 1.0 \times 10^{-6}$	AASM Oy 2021; hydraulic tests through 2023

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikä­tunnus	Testitunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
20MOS8248	Test 1	3 489 112	7 495 581	121	1.17E-06
	Test 10	3 489 142	7 495 405	-464	6.74E-10
	Test 11	3 489 147	7 495 382	-544	7.04E-10
	Test 12	3 489 147	7 495 382	-559	5.46E-10
	Test 2	3 489 113	7 495 570	70	1.94E-08
	Test 5	3 489 129	7 495 470	-254	1.18E-10
	Test 6	3 489 131	7 495 456	-319	4.00E-09
	Test 7	3 489 134	7 495 442	-344	1.00E-12
	Test 8	3 489 137	7 495 427	-409	2.31E-10
	Test 9	3 489 141	7 495 413	-433	5.11E-09
16MOS8160	Test 1	3 489 495	7 495 878	-119	5.80E-08
	Test 10	3 489 493	7 495 688	-562	5.80E-09
	Test 11	3 489 494	7 495 983	-239	1.30E-08
	Test 2	3 489 495	7 495 904	-92	3.80E-08
	Test 3	3 489 496	7 495 840	-205	1.30E-08
	Test 4	3 489 496	7 495 794	-285	1.90E-07
	Test 5	3 489 495	7 495 772	-333	6.90E-08
	Test 6	3 489 495	7 495 750	-406	6.20E-08
	Test 7	3 489 494	7 495 708	-475	1.10E-08
	Test 8	3 489 493	7 495 688	-530	5.50E-07
	Test 9	3 489 492	7 495 670	-583	6.30E-11
16MOS8163	Test 1	3 489 444	7 495 448	1	2.40E-08
	Test 2	3 489 456	7 495 447	-54	1.00E-08
	Test 3	3 489 473	7 495 445	-142	2.70E-09
	Test 4	3 489 490	7 495 443	-173	5.90E-09
	Test 5	3 489 500	7 495 442	-244	8.30E-10
	Test 6	3 489 575	7 495 433	-481	6.80E-07
	Test 7	3 489 560	7 495 435	-455	5.20E-07
	Test 8	3 489 534	7 495 439	-412	2.40E-07
17MOS8158	Test 10	3 488 720	7 495 755	-478	1.40E-05
	Test 11	3 488 732	7 495 734	-575	2.60E-06
	Test 12	3 488 740	7 495 720	-614	2.50E-07
	Test 2	3 488 653	7 495 855	46	1.20E-08
	Test 3	3 488 663	7 495 845	-11	2.30E-08
	Test 4	3 488 672	7 495 834	-76	1.30E-08
	Test 5	3 488 689	7 495 807	-193	2.10E-06
	Test 6	3 488 689	7 495 807	-212	2.40E-06
	Test 7	3 488 699	7 495 791	-281	3.00E-06
	Test 8	3 488 707	7 495 779	-381	8.80E-06
	Test 9	3 488 717	7 495 761	-423	2.10E-05

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikä­tunnus	Testitunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
17MOS8159	Test 3	3 489 024	7 496 317	-93	5.30E-09
	Test 4	3 489 034	7 496 299	-177	5.80E-09
	Test 5	3 489 055	7 496 251	-365	1.60E-08
17MOS8169	Test 1	3 489 350	7 495 702	113	7.00E-07
	Test 10	3 489 346	7 495 683	-519	2.00E-10
	Test 11	3 489 346	7 495 681	-610	1.20E-10
	Test 2	3 489 349	7 495 700	60	3.30E-07
	Test 3	3 489 349	7 495 699	21	9.60E-08
	Test 4	3 489 349	7 495 695	-124	3.40E-09
	Test 5	3 489 349	7 495 693	-202	8.10E-10
	Test 6	3 489 349	7 495 692	-276	1.10E-09
	Test 8	3 489 345	7 495 686	-422	1.10E-08
	Test 9	3 489 345	7 495 685	-446	1.60E-08
17MOS8170	Test 1	3 490 083	7 495 602	83	1.90E-09
	Test 2	3 490 085	7 495 632	11	6.10E-10
	Test3	3 490 086	7 495 653	-54	3.30E-10
	Test 4	3 490 087	7 495 683	-153	2.50E-09
17MOS8174	Test 2	3 489 700	7 495 630	60	6.20E-09
	Test 3	3 489 701	7 495 621	0	2.00E-08
	Test 4	3 489 703	7 495 602	-84	7.50E-08
	Test 5	3 489 704	7 495 586	-157	4.50E-08
	Test 6	3 489 705	7 495 571	-238	2.90E-08
	Test 7	3 489 706	7 495 553	-315	9.60E-08
	Test 8	3 489 707	7 495 521	-458	1.20E-08
17MOS8178	Test 10	3 489 565	7 495 625	-558	9.00E-10
	Test 2	3 489 380	7 495 694	57	5.30E-08
	Test 3	3 489 392	7 495 690	-19	4.60E-08
	Test 4	3 489 434	7 495 677	-147	1.40E-09
	Test 5	3 489 469	7 495 664	-245	3.70E-08
	Test 6	3 489 495	7 495 655	-340	3.50E-09
	Test 8	3 489 527	7 495 643	-491	3.20E-09
	Test 9	3 489 554	7 495 631	-538	2.40E-10
17MOS8180	Test 2	3 490 049	7 495 568	134	1.80E-05
	Test 3	3 490 049	7 495 582	122	7.60E-08
	Test 4	3 490 049	7 495 602	47	6.90E-09
17MOS8183	Test 3	3 489 903	7 495 752	25	1.20E-06
	Test 4	3 489 904	7 495 721	-124	9.40E-08
	Test 5	3 489 906	7 495 678	-180	2.20E-08
	Test 6	3 489 908	7 495 640	-268	1.10E-08

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikätkunnus	Testitunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
17MOS8184	Test 2	3 489 753	7 495 550	31	2.00E-08
	Test 3	3 489 755	7 495 519	-67	5.80E-08
	Test 4	3 489 756	7 495 493	-98	2.90E-08
	Test 5	3 489 757	7 495 472	-181	1.00E-07
	Test 6	3 489 759	7 495 437	-249	8.70E-08
	Test 8	3 489 759	7 495 415	-300	1.50E-08
	Test 9	3 489 760	7 495 378	-374	4.30E-09
17MOS8199	Test 3	3 489 502	7 495 548	-221	1.06E-09
	Test 4	3 489 511	7 495 548	-236	2.76E-09
	Test 7	3 489 477	7 495 550	-217	5.75E-09
	Test 8	3 489 541	7 495 547	-373	1.55E-08
	Test 9	3 489 454	7 495 551	-218	8.10E-09
17MOS8200	Test 10	3 489 353	7 495 546	-508	1.68E-11
	Test 11	3 489 354	7 495 544	-592	4.07E-11
	Test 6	3 489 352	7 495 553	-433	1.53E-11
	Test 7	3 489 353	7 495 548	-470	1.03E-10
	Test 8	3 489 351	7 495 557	-397	1.10E-10
	Test 9	3 489 350	7 495 564	-368	2.05E-09
17MOS8201	Test 1	3 489 531	7 495 790	-821	1.63E-09
18MOS8207	Test 7	3 489 395	7 495 786	-326	1.43E-09
	Test 10	3 489 410	7 495 740	-551	1.67E-09
	Test 11	3 489 413	7 495 731	-612	1.13E-09
	Test 12	3 489 410	7 495 740	-610	7.75E-10
	Test 2	3 489 402	7 495 881	71	9.90E-09
	Test 3	3 489 402	7 495 861	-4	2.00E-08
	Test 4	3 489 401	7 495 838	-122	5.00E-09
	Test 5	3 489 399	7 495 810	-205	2.09E-09
	Test 8	3 489 403	7 495 760	-450	9.99E-09
	Test 9	3 489 406	7 495 750	-496	1.71E-09
18MOS8208	Test 1	3 489 499	7 496 239	114	1.85E-07
	Test 10	3 489 519	7 496 122	-372	1.80E-08
	Test 11	3 489 519	7 496 078	-436	3.27E-08
	Test 12	3 489 518	7 496 057	-503	4.19E-09
	Test 13	3 489 517	7 496 048	-517	2.36E-09
	Test 14	3 489 515	7 496 024	-554	1.69E-09
	Test 15	3 489 513	7 496 007	-635	1.20E-09
	Test 16	3 489 512	7 495 987	-667	2.14E-09
	Test 17	3 489 516	7 496 026	-691	1.20E-09
	Test 2	3 489 501	7 496 232	98	9.01E-08
	Test 3	3 489 506	7 496 214	-2	3.46E-09

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikäätunnus	Testitunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
18MOS8208 (continued)	Test 4	3 489 509	7 496 196	-37	1.42E-09
	Test 5	3 489 512	7 496 177	-145	9.92E-10
	Test 6	3 489 515	7 496 152	-180	8.90E-10
	Test 7	3 489 519	7 496 122	-286	2.16E-09
	Test 8	3 489 520	7 496 097	-320	3.69E-09
	Test 9	3 489 519	7 496 078	-383	1.86E-08
	Test 10	3 489 519	7 496 078	-510	2.08E-07
18MOS8226	Test 1	3 488 648	7 495 431	57	4.88E-07
	Test 10	3 488 679	7 495 394	-346	1.62E-06
	Test 11	3 488 682	7 495 391	-359	3.36E-06
	Test 12	3 488 683	7 495 389	-401	3.64E-08
	Test 13	3 488 691	7 495 380	-499	5.26E-09
	Test 14	3 488 695	7 495 374	-548	1.22E-06
	Test 15	3 488 697	7 495 371	-600	1.75E-08
	Test 16	3 488 704	7 495 362	-700	1.55E-08
	Test 17	3 488 706	7 495 359	-716	1.67E-08
	Test 2	3 488 652	7 495 427	11	2.49E-07
	Test 3	3 488 652	7 495 426	-17	8.99E-08
	Test 4	3 488 655	7 495 423	-36	4.39E-09
	Test 5	3 488 658	7 495 419	-81	3.23E-07
	Test 6	3 488 662	7 495 415	-131	8.64E-08
	Test 7	3 488 666	7 495 409	-186	2.81E-07
	Test 8	3 488 670	7 495 405	-235	4.07E-08
	Test 9	3 488 674	7 495 400	-291	1.04E-08
18MOS8227	Test 1	3 487 813	7 494 740	139	2.20E-07
	Test 10	3 487 834	7 494 582	-307	1.96E-08
	Test 2	3 487 816	7 494 724	96	1.56E-08
	Test 3	3 487 818	7 494 710	54	2.02E-08
	Test 4	3 487 820	7 494 695	1	1.49E-06
	Test 5	3 487 822	7 494 679	-20	3.09E-07
	Test 6	3 487 823	7 494 668	-53	1.02E-08
	Test 7	3 487 825	7 494 655	-104	1.97E-09
	Test 8	3 487 828	7 494 635	-178	3.04E-09
	Test 9	3 487 833	7 494 596	-268	3.60E-07
18MOS8228	Test 1	3 489 102	7 495 765	111	2.06E-05
	Test 2	3 489 101	7 495 740	64	1.52E-05
18MOS8229	Test 1	3 488 558	7 494 674	68	3.87E-07

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikätkunnus	Testitunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
18MOS8231	Test 1	3 487 479	7 493 505	87	1.15E-07
	Test 2	3 489 351	7 495 993	101	1.61E-08
	Test 3	3 489 352	7 495 984	-24	1.13E-07
	Test 4	3 489 352	7 495 967	-74	6.81E-08
	Test 8	3 489 349	7 495 905	-354	4.34E-08
	Test 9	3 489 349	7 495 889	-437	3.22E-09
18MOS8232	Test 1	3 489 342	7 495 816	-819	1.70E-07
19MOS8237	Test 1	3 489 309	7 495 845	121	1.32E-06
	Test 10	3 489 303	7 495 795	-551	3.81E-10
	Test 11	3 489 309	7 495 769	-690	7.78E-09
	Test 2	3 489 308	7 495 841	66	1.01E-06
	Test 5	3 489 307	7 495 831	-108	1.42E-09
	Test 7	3 489 305	7 495 822	-375	3.15E-08
19MOS82329	Test 3	3 489 595	7 496 083	-351	1.80E-09
	Test 5	3 489 600	7 495 989	-827	4.55E-10
19MOS8240	Test 1	3 489 444	7 495 717	-44	1.29E-08
	Test 3	3 489 441	7 495 699	-186	4.20E-10
	Test 4	3 489 439	7 495 678	-320	1.45E-09
	Test 5	3 489 438	7 495 652	-394	2.66E-09
	Test 6	3 489 437	7 495 625	-488	4.44E-10
19MOS8242	Test 1	3 489 799	7 495 883	91	6.09E-09
	Test 2	3 489 802	7 495 869	9	5.42E-09
	Test 3	3 489 805	7 495 852	-64	1.03E-06
	Test 4	3 489 807	7 495 839	-153	6.75E-09
	Test 5	3 489 809	7 495 815	-245	2.51E-08
20HYD041	Test 1	3 489 533	7 496 574	39	5.03E-08
20HYD043	Test 1	3 489 510	7 496 483	60	1.82E-08
20KUU024	Test 1	3 487 458	7 492 505	103	1.02E-07
	Test 2	3 487 460	7 492 525	59	5.45E-08
	Test 3	3 487 460	7 492 526	57	4.92E-08
20KUU025	Test 1	3 487 456	7 492 720	137	2.91E-04
	Test 2	3 487 456	7 492 723	134	3.38E-04
	Test 3	3 487 460	7 492 760	75	2.74E-06
	Test 4	3 487 465	7 492 792	23	2.77E-05
	Test 5	3 487 467	7 492 803	15	4.14E-05
	Test 6	3 487 467	7 492 803	-7	1.87E-05
20MOS8244	Test 1	3 488 278	7 494 976	-206	3.09E-09
	Test 2	3 488 260	7 494 951	-245	2.49E-09
	Test 3	3 488 229	7 494 912	-320	3.35E-10
	Test 4	3 488 216	7 494 895	-379	7.68E-09

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikätnunnus	Testitunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
20MOS8245	Test 1	3 487 544	7 494 406	-11	3.94E-09
	Test 2	3 487 544	7 494 406	-11	2.04E-09
	Test 3	3 487 543	7 494 374	-78	6.34E-08
	Test 4	3 487 543	7 494 374	-114	8.14E-08
	Test 5	3 487 537	7 494 319	-209	8.07E-08
	Test 6	3 487 536	7 494 315	-229	1.88E-07
20MOS8246	Test 1	3 487 475	7 493 958	30	1.89E-08
	Test 2	3 487 478	7 493 935	7	6.59E-09
	Test 3	3 487 480	7 493 903	-69	1.03E-07
	Test 4	3 487 481	7 493 868	-131	3.88E-10
	Test 5	3 487 481	7 493 852	-166	1.12E-08
20MOS8247	Test 1	3 487 476	7 493 558	134	1.93E-06
	Test 2	3 487 476	7 493 560	107	3.83E-07
	Test 3	3 487 477	7 493 514	-14	8.74E-08
	Test 4	3 487 478	7 493 504	-59	5.52E-08
20MOS8249	Test 1	3 489 098	7 495 881	87	1.11E-07
	Test 2	3 489 098	7 495 879	68	1.18E-06
	Test 1	3 489 095	7 495 798	-329	4.54E-10
20MOS8250	Test 1	3 489 102	7 495 796	104	6.16E-06
	Test 2	3 489 104	7 495 785	18	1.73E-06
	Test 3	3 489 105	7 495 778	-40	1.45E-09
	Test 4	3 489 106	7 495 769	-142	3.16E-09
	Test 5	3 489 106	7 495 754	-213	9.37E-10
20MOS8251B	Test 1	3 489 202	7 495 649	-348	4.04E-10
20MOS8253	Test 1	3 489 150	7 496 014	95	8.77E-08
	Test 2	3 489 150	7 496 011	82	1.30E-08
	Test 3	3 489 151	7 495 998	-29	3.84E-09
	Test 4	3 489 151	7 495 994	-40	8.04E-09
	Test 5	3 489 155	7 495 954	-282	4.44E-10
	Test 6	3 489 150	7 495 876	-514	4.21E-09
	Test 7	3 489 145	7 495 828	-680	1.80E-09
20MOS8254	Test 1	3 489 247	7 495 901	54	1.31E-09
	Test 2	3 489 248	7 495 896	-32	5.16E-09
	Test 3	3 489 248	7 495 887	-109	6.03E-09
	Test 4	3 489 249	7 495 885	-145	1.65E-09
	Test 5	3 489 250	7 495 870	-286	6.83E-11
	Test 6	3 489 250	7 495 870	-429.17	8.09E-09

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikäätunnus	Testitunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
20MOS8255	Test 1	3 489 349	7 495 839	111	6.60E-08
	Test 2	3 489 349	7 495 838	98	6.84E-08
	Test 3	3 489 349	7 495 836	51	2.61E-08
	Test 4	3 489 349	7 495 830	-61	1.59E-08
	Test 5	3 489 350	7 495 824	-138	7.51E-10
	Test 6	3 489 351	7 495 811	-292	2.16E-06
	Test 7	3 489 351	7 495 811	-509.47	3.00E-09
20MOS8258	Test 1	3 489 340	7 496 070	-244	1.08E-08
21KUU026	Test 1	3 487 472	7 493 215	155	1.01E-07
	Test 2	3 487 472	7 493 198	88	6.88E-08
	Test 3	3 487 474	7 493 178	36	1.87E-08
	Test 4	3 487 475	7 493 162	-16	9.49E-08
	Test 5	3 487 475	7 493 143	-60	5.23E-07
21KUU027	Test 1	3 487 473	7 493 016	82	4.66E-08
	Test 2	3 487 473	7 493 002	48	5.05E-08
	Test 3	3 487 473	7 492 981	6	1.58E-08
	Test 4	3 487 472	7 492 958	-33	5.42E-09
21MOS8245B	Test 1	3 489 248	7 495 806	-443	4.50E-09
21MOS8256	Test 1	3 489 306	7 496 035	54	1.97E-08
	Test 2	3 489 312	7 495 917	-448	8.41E-10
	Test 3	3 489 311	7 495 904	-479	3.22E-09
21MOS8256B	Test 1	3 489 310	7 495 972	-353	8.70E-10
	Test 2	3 489 305	7 495 949	-492	1.03E-09
21MOS8257C	Test 1	3 489 547	7 496 007	-454	6.00E-09
	Test 2	3 489 547	7 495 958	-630	5.62E-10
21MOS8258B	Test 1	3 489 333	7 496 011	-486	5.24E-09
	Test 4	3 489 344	7 495 930	-806	8.28E-10
21MOS8259	Test 1	3 489 608	7 496 144	-44	6.55E-10
	Test 2	3 489 601	7 495 800	-592	5.19E-10
21MOS8259B	Test 1	3 489 613	7 495 935	-462	1.28E-09
	Test 2	3 489 609	7 495 895	-588	6.69E-09
21MOS8260	Test 1	3 489 539	7 495 868	-317	7.47E-08
	Test 2	3 489 553	7 495 719	-540	1.10E-09
	Test 3	3 489 553	7 495 715	-571	2.90E-10
21MOS8260B	Test 1	3 489 540	7 495 827	-417	8.83E-09
	Test 2	3 489 542	7 495 815	-495	8.59E-10
21MOS8261	Test 1	3 489 701	7 496 193	98	3.80E-08
	Test 2	3 489 697	7 495 980	-544	3.74E-09

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikä tunnus	Testitunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
21MOS8262	Test 1	3 489 704	7 496 047	118	5.05E-08
	Test 3	3 489 718	7 495 937	-210	9.93E-07
	Test 4	3 489 698	7 495 727	-526	1.06E-08
21MOS8263	Test 1	3 489 650	7 496 090	104	7.63E-09
	Test 2	3 489 649	7 495 969	-239	1.80E-09
	Test 3	3 489 648	7 495 913	-390	6.51E-10
	Test 4	3 489 647	7 495 871	-504	1.73E-08
17MOS8169B	Test 1	3 489 346	7 495 683	-635.36	2.69E-10
	Test 2	3 489 346	7 495 681	-710.38	1.97E-08
21MOS8259D	Test 1	3 489 615	7 496 021	-453.88	6.38E-10
21MOS8261C	Test 1	3 489 704	7 496 030	-511.62	7.38E-10
	Test 2	3 489 704	7 496 020	-541.70	4.68E-11
	Test 3	3 489 704	7 496 013	-580.21	5.75E-10
	Test 4	3 489 705	7 496 038	-493.12	7.18E-10
	Test 5	3 489 705	7 496 034	-502.61	3.82E-09
21MOS8263B	Test 1	3 489 649	7 495 956	-451.36	7.89E-09
	Test 2	3 489 648	7 495 917	-583.88	1.00E-11
	Test 3	3 489 650	7 495 903	-736.80	1.00E-11
21MOS8266	Test 1	3 488 475	7 495 184	-130.74	5.61E-07
	Test 2	3 488 475	7 495 174	-204.96	4.59E-08
	Test 3	3 488 476	7 495 160	-310.17	7.92E-10
	Test 4	3 488 476	7 495 155	-343.50	6.44E-09
	Test 5	3 488 477	7 495 137	-478.17	3.19E-10
21MOS8267	Test 1	3 489 051	7 495 592	106.65	5.24E-08
	Test 2	3 489 051	7 495 599	79.21	1.16E-07
	Test 3	3 489 050	7 495 617	10.23	4.01E-08
	Test 4	3 489 056	7 495 547	-284.92	2.14E-05
21MOS8268	Test 1	3 489 267	7 496 147	-435.98	6.59E-10
	Test 2	3 489 273	7 496 067	-698.69	1.71E-10
	Test 3	3 489 267	7 496 105	-568.71	3.59E-10
21MOS8269	Test 1	3 489 356	7 496 200	-264.39	5.56E-10
	Test 2	3 489 356	7 496 178	-363.65	3.61E-10
	Test 3	3 489 359	7 496 154	-429.72	4.18E-10
21MOS8270	Test 1	3 489 443	7 496 068	-189.37	1.02E-07
	Test 2	3 489 442	7 495 965	-419.50	1.24E-07
	Test 3	3 489 440	7 495 989	-356.22	1.68E-06
	Test 4	3 489 441	7 495 974	-391.68	1.60E-07
	Test 5	3 489 441	7 495 974	-391.68	1.54E-07
	Test 6	3 489 447	7 495 917	-557.14	4.79E-09

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikäätunnus	Testitunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
21MOS8271	Test 1	3 489 344	7 495 993	15.96	3.45E-08
	Test 2	3 489 348	7 495 999	-1.80	1.27E-08
	Test 3	3 489 337	7 495 978	-48.30	5.39E-08
	Test 4	3 489 325	7 495 952	-105.33	1.17E-09
22MOS8272	Test 1	3 489 643	7 496 200	103.94	4.24E-08
	Test 2	3 489 677	7 496 199	38.60	1.69E-08
	Test 3	3 489 690	7 496 198	-13.75	2.17E-09
	Test 4	3 489 671	7 496 199	-51.16	1.64E-09
22MOS8273	Test 1	3 489 541	7 496 006	-76.58	2.80E-08
	Test 2	3 489 522	7 495 747	-644.71	7.48E-10
	Test 3	3 489 544	7 495 928	-285.66	1.02E-07
	Test 4	3 489 545	7 495 886	-387.05	1.31E-07
	Test 5	3 489 538	7 495 836	-479.12	1.18E-09
	Test 6	3 489 517	7 495 722	-692.60	1.24E-08
22MOS8275	Test 1	3 489 446	7 496 131	137.63	4.22E-08
	Test 2	3 489 443	7 496 099	-350.45	1.64E-08
	Test 3	3 489 442	7 496 090	-410.92	3.62E-08
	Test 4	3 489 441	7 496 082	-457.39	1.83E-08
22MOS8276	Test 1	3 488 021	7 494 835	122.71	5.08E-07
	Test 2	3 488 023	7 494 785	75.03	9.47E-08
	Test 3	3 488 020	7 494 845	72.09	8.43E-08
	Test 4	3 488 020	7 494 846	-29.78	6.66E-06
	Test 5	3 488 020	7 494 854	-76.09	1.34E-07
	Test 6	3 488 020	7 494 845	-124.46	4.33E-09
	Test 7	3 488 021	7 494 835	-184.62	3.01E-08
	Test 8	3 488 021	7 494 823	-267.66	1.73E-08
	Test 9	3 488 022	7 494 806	-328.55	2.55E-09
	Test 10	3 488 023	7 494 793	-367.44	3.26E-09
22MOS8281	Test 1	3 487 475	7 493 591	42.66	1.97E-08
22MOS8282	Test 1	3 488 874	7 495 565	92.92	3.55E-08
	Test 2	3 488 888	7 495 497	-303.72	5.15E-07
	Test 3	3 488 890	7 495 487	-332.66	1.63E-05
	Test 4	3 488 893	7 495 457	-411.46	1.36E-08
	Test 5	3 488 895	7 495 435	-455.95	9.58E-09
	Test 6	3 488 896	7 495 406	-511.53	3.38E-09
22MOS8283	Test 1	3 489 202	7 495 557	-154.63	2.14E-08
	Test 2	3 489 204	7 495 564	-336.38	1.86E-08
	Test 3	3 489 204	7 495 564	-334.64	3.05E-10
	Test 4	3 489 203	7 495 562	-278.86	1.75E-08
	Test 5	3 489 204	7 495 563	-323.80	7.71E-10

Yhteenveto vesihäviikkokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikäätunnus	Testitunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
22MOS8284	Test 1	3 489 250	7 495 569	-234.68	1.85E-09
	Test 2	3 489 255	7 495 594	-353.51	3.85E-10
22MOS8286	Test 1	3 488 603	7 495 113	-87.39	2.92E-09
22MOS8287	Test 1	3 489 454	7 495 717	107.45	8.47E-09
	Test 2	3 489 454	7 495 720	-92.67	5.61E-11
	Test 3	3 489 457	7 495 697	-206.38	2.82E-10
	Test 4	3 489 463	7 495 665	-364.94	1.00E-11
22MOS8288C	Test 1	3 489 479	7 495 685	-368.00	5.17E-09
	Test 2	3 489 478	7 495 688	-348.06	4.76E-10
22MOS8289B	Test 1	3 489 410	7 495 457	-177.86	1.26E-08
	Test 2	3 489 430	7 495 461	-288.34	7.17E-08
22MOS8290	Test 1	3 489 400	7 495 889	-21.92	1.47E-08
	Test 2	3 489 401	7 495 864	-85.25	9.35E-08
	Test 3	3 489 402	7 495 848	-126.97	1.19E-08

Note:

1. Coordinate System is KKJ3.

Yhteenveto muuttuvan painekorkeuden testeillä mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikä- tunnus	Reikä- syvyys (m mpa)	Yläpinta	Alapinta	Mittaus- välin pituus (m)	Tutkittu muodostuma	Mittaus- päivä	Analyysimenetelmä					
							Tulkinta- menetelmä	<i>K</i> (m/vrk)	<i>K</i> (m/s)	<i>T</i> (m ² /vrk)	<i>T</i> (m ² /s)	Huomiot
11MOS8049	914.01	159.00	177.00	18.00	Kattopuolen Vulkaniitit	2/5/2017	Bouwer Rice	3.15E-01	3.65E-06	5.67E+00	6.56E-05	Alenevan painekorkeuden testi
13MOS8120	1060.90	140.00	171.00	31.00	Breksia	2/3/2017	Bouwer Rice	2.09E+00	2.42E-05	6.47E+01	7.49E-04	Alenevan painekorkeuden testi kattopuolen vulkaniittien ja breksian kontaktissa (146 m). Rikkinainen kallio 151–154 m.
13MOS8125	820.80	126.00	157.00	31.00	Breksia	2/3/2017	Bouwer Rice	7.94E-01	9.19E-06	2.46E+01	2.85E-04	Alenevan painekorkeuden testi muuttuneen ultramafisen ja breksian kontaktissa (137 m). Rikkinainen kallio 130.2–130.6 m ja 150.6–151.7 m.

Yhteenveto pumppauskokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Havaintoasema / kairareikä	Tutkittu muodostuma	Pumppauskokeen tulkinta	
		Tulkintamenetelmä	<i>K</i> (m/s)
17MOS8193	Kallioperä - Pohjaruhje	Theis palautuminen	9.59E-07
		Cooper-Jacob	5.93E-07
		Papadopoulos-Cooper	6.74E-07
18MOS8207	Kallioperä - ruhje	Theis palautuminen	9.96E-11
18MOS8205	Kallioperä	Cooper-Jacob	1.67E-08
17HYD001	Matala kallioperä	Cooper-Jacob	3.25E-05
17HYD002	Matala kallioperä	Theis	2.79E-05
17HYD014	Matala kallioperä	Neuman (vapaa akfiveri)	3.76E-09
17HYD004	Matala kallioperä	MLU (monikerroksellinen akfiveri)	9.51E-06
17HYD006	Matala kallioperä	MLU (monikerroksellinen akfiveri)	3.33E-06
17HYD008	Matala kallioperä	MLU (läpäisevä akfiveri)	6.56E-06
17MOS8169	Matala kallioperä	Cooper-Jacob (alenema ja palautuminen)	8.06E-08
11MOS8054	Ks. Spinner-testin kuvaus	Bouwer-Rice	1.11E-09
13MOS8123	Ks. Spinner-testin kuvaus	Theis palautuminen	9.74E-09
16MOS8161	Ks. Spinner-testin kuvaus	Cooper-Jacob (alenema ja palautuminen)	7.40E-09
12MOS8096	Ks. Spinner-testin kuvaus	Cooper-Jacob (palautuminen)	6.11E-08
17HYD013	Ks. Spinner-testin kuvaus	Cooper-Jacob	1.04E-07
17HYD017	Ks. Spinner-testin kuvaus	Cooper-Jacob (palautuminen)	5.81E-06
17MOS8174	Ks. Spinner-testin kuvaus	Cooper-Jacob (palautuminen)	9.32E-09
17HYD016	Maaperä	MLU (monikerroksellinen akfiveri)	1.16E-04
17HYD015	Maaperä	MLU (monikerroksellinen akfiveri)	5.21E-05
18HYD037	Matala kallioperä	Theis palautuminen	1.00E-07
18HYD038	Matala kallioperä	Theis palautuminen	1.00E-06
18KUU001	Syvä kallioperä	Theis palautuminen	4.08E-04
18KUU002	Matala kallioperä	Theis palautuminen	1.11E-04
18MOS8232	Matala kallioperä	Theis	4.46E-06 to 7.26E-05
19KUU005	Matala kallioperä	Theis/Moench	1.10E-04
19KUU023	Matala kallioperä	Theis/Moench	1.31E-04
21HYD046	Maaperä	Theis/Moench	3.44E-06 to 6.40E-05
21HYD047	Matala kallioperä	Theis/Moench	5.80E-06 to 5.23E-05
22HYD053	Matala kallioperä	Theis/Moench	1.23E-06 to 6.92E-06
22MOS8279	Syvä kallioperä	Theis	9.99E-08 to 2.45E-06
22MOS8280	Syvä kallioperä	Theis/Moench	1.07E-07 to 1.32E-06
22MOS8281	Syvä kallioperä	Theis	1.08E-06 to 2.00E-05
22MOS8285	Syvä kallioperä	Theis/Moench	7.14E-07 to 2.87E-05
23HYD056	Matala kallioperä	Theis/Moench	6.54E-05
23HYD057	Matala kallioperä	Theis/Moench	4.19E-05
23HYD058	Maaperä	Theis/Moench	6.91E-05
23KUU029	Syvä kallioperä	Theis	3.57E-06 to 3.7E-06
23KUU032	Matala kallioperä	Theis	9.24E-07
23KUU033	Matala kallioperä	Theis	3.26E-06
23KUU034	Matala kallioperä	Theis	3.21E-07
24KUU035	Matala kallioperä	Theis/Moench	1.15E-04
24KUU039	Matala kallioperä	Theis/Moench	5.43E-04

Yhteenveto paineilman avulla tehdyissä antoisuuskokeissa mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Havainto- asematunnus	Syvyys (m mpa)	Mitattu vesipinta (m mpa)	Kyllästyneen vesivaraston paksuus (m)	Testaus- päivämäärä	Paineilmakokeiden tulkinta			
					Tulkintamenetelmä	T (m ² /vrk)	K (m/vrk)	K (m/s)
17HYD003	12.09	1.19	10.90	5/1/2017	Theis palautuminen	75.78	6.952	8.05E-05
17HYD005	9.55	0.05	9.50	5/2/2017	Theis palautuminen	57.33	6.035	6.98E-05
17HYD007	16.00	1.54	14.46	4/24/2017	Theis palautuminen	0.81	0.056	6.48E-07
17HYD009	8.60	4.68	3.92	4/21/2017	Theis palautuminen	0.017	0.004	5.02E-08
17HYD011	12.74	0.10	12.64	4/30/2017	Theis palautuminen	10.24	0.810	9.38E-06
17HYD012	8.40	0.09	8.31	4/22/2017	Theis palautuminen	30.43	3.662	4.24E-05
17HYD015	11.50	0.70	10.80	4/30/2017	Theis palautuminen	33	3.056	3.54E-05
17HYD018	9.51	5.94	2.09	3/8/2017	Cooper-Jacob	0.677	0.324	3.75E-06
17HYD016	10.75	5.53	2.49	3/7/2017	Bouwer-Rice	0.041085	0.0165	1.91E-07

TAULUKKO 3-6
Ruhjeista mitatut vedenjohtavuudet

Havaintoasema- tunnus	Testaus- menetelmä	Testausväli (m mpa)		Ruhje	Mitattu vedenjohtavuus (m/s)
		Yläpinta	Alapinta		
16MOS8160	Vesihävikki	380.4	480.4	Serpentiniittiruhje	1.26E-08
16MOS8160	Vesihävikki	795.35	893.1	Ei ruhjetta	6.31E-11
16MOS8163	Vesihävikki	167.4	215.4	Serpentiniittiruhje\Breksiaruhje	2.37E-08
16MOS8163	Vesihävikki	215.4	281.75	Serpentiniittiruhje\Breksiaruhje	1.05E-08
17MOS8174	Vesihävikki	100.95	158.4	Serpentiniittiruhje	6.17E-09
17MOS8174	Vesihävikki	158.4	242.4	Serpentiniittiruhje	2.44E-08
17MOS8178	Vesihävikki	606.65	705.45	Ei ruhjetta	6.04E-09
17MOS8184	Vesihävikki	477.25	572.2	Ei ruhjetta	1.69E-08
17MOS8199	Vesihävikki	209.1	391.2	Serpentiniittiruhje\Breksiaruhje	1.87E-08
17MOS8200	Vesihävikki	396.15	496.15	Serpentiniittiruhje\Breksiaruhje	6.58E-09
17MOS8200	Vesihävikki	716.4	851.1	Pohjaruhje	4.26E-11
17MOS8201	Vesihävikki	1039.25	1042	Pohjaruhje	1.63E-09
17MOS8207	Vesihävikki	382.25	455.5	Serpentiniittiruhje	3.56E-09
18MOS8208	Vesihävikki	858.35	930.8	Ruhje A	2.14E-09
18MOS8208	Vesihävikki	930.8	1105.5	Pohjaruhje	8.58E-10
18MOS8226	Vesihävikki	865.2	950	Pohjaruhje	1.67E-08
18MOS8231	Vesihävikki	588.35	683.5	Serpentiniittiruhje	4.34E-08
20MOS8248	Vesihävikki	744.9	780	Serpentiniittiruhje\Breksiaruhje	7.04E-10
20MOS8250	Vesihävikki	271.9	389.6	Dolomiittiruhje	3.15E-09
20MOS8253	Vesihävikki	708.9	730.9	Serpentiniittiruhje\Breksiaruhje	1.24E-07
20MOS8254	Vesihävikki	115.1	148.4	Ruhje A	1.31E-09
20MOS8255	Vesihävikki	122.5	182.8	Ruhje A	2.61E-08
20MOS8255	Vesihävikki	186.2	282.9	Ruhje A	1.59E-08
20MOS8255	Vesihävikki	311.8	368.8	Dolomiittiruhje	7.69E-10
20MOS8256	Vesihävikki	671.55	703.8	Serpentiniittiruhje\Breksiaruhje	3.22E-09
21MOS8257C	Vesihävikki	789.9	903	Serpentiniittiruhje\Breksiaruhje	5.62E-10
21MOS8259B	Vesihävikki	684.6	734.8	Serpentiniittiruhje\Breksiaruhje	1.28E-09
21MOS8260	Vesihävikki	486.5	593.4	Serpentiniittiruhje	5.41E-08
21MOS8262	Vesihävikki	363.9	485.4	Ruhje A	1.04E-06
21MOS8263	Vesihävikki	30.4	139.5	Ruhje A	7.63E-09
21MOS8263	Vesihävikki	573.2	647.2	Serpentiniittiruhje	6.51E-10
13MOS8123	Spinneri	312.6	316.66	Ei ruhjetta	3.54E-08
16MOS8161	Spinneri	64.16	104.16	Ei ruhjetta	7.40E-09
17HYD013	Spinneri	28.75	35.75	Ei ruhjetta	7.59E-07
17MOS8174	Spinneri	508.15	512.55	Ei ruhjetta	3.11E-08
17MOS8174	Spinneri	600.95	629.15	Ei ruhjetta	1.67E-08
17MOS8174	Spinneri	653.35	654.75	Ei ruhjetta	5.90E-09

TAULUKKO 3-7

Sodankylän Tähtelän asemalla mitatut vuosittaiset sademäärät

Vuosi	Mitattu vuosisadanta (mm)
1959	402
1960	437.4
1961	609.3
1962	530.4
1963	497.9
1964	498.4
1965	569.2
1966	555.3
1967	556.1
1968	469.2
1969	405.9
1970	485.9
1971	412
1972	494.2
1973	406.8
1974	600.3
1975	494.1
1976	391.4
1977	512.4
1978	409
1979	543.7
1980	414.4
1981	623.3
1982	458.9
1983	549.2
1984	507.4
1985	554.8
1986	515.6
1987	480.9
1988	505.2
1989	490.2
1990	434.8
1991	457
1992	784.7
1993	449.3
1994	411.5

TAULUKKO 3-7

Sodankylän Tähtelän asemalla mitatut vuosittaiset sademäärät

Vuosi	Mitattu vuosisadanta (mm)
1995	560.1
1996	526.6
1997	462.2
1998	679.6
1999	445.9
2000	646.4
2001	544.5
2002	480
2003	478.1
2004	596.9
2005	644.6
2006	408.4
2007	540.6
2008	600.2
2009	498.9
2010	515.8
2011	604
2012	627.3
2013	486.7
2014	551.5
2015	662.9
2016	636.6
2017	443.4
2018	472.2
2019	527.4
2020	552
2021	586.6
2022	511.6
2023 ¹	375.3
Aritmeettinen keskiarvo (1959–2022)	519
Aritmeettinen keskiarvo (2002–2022)	544
Aritmeettinen keskiarvo (2012–2022)	551

Huomio:

1. Vuotta 2023 ei ole sisällytetty aritmeettiseen keskiarvoon koska vuoden aineisto oli epätäydellinen.

TAULUKKO 3-8
Keskimääräiset kuukausittaiset ja päivittäiset sademäärät Sodankylän Tähtelän asemalla

Kuukausi	Kokomittaushistoria (1959–2022)		Viimeiset 20 vuotta (2002–2022)		Viimeiset 10 vuotta (2012–2022)	
	Päivittäinen sadanta (mm/vrk)	Kuukausittainen kokonaissadanta (mm)	Päivittäinen sadanta (mm/vrk)	Kuukausittainen kokonaisadanta (mm)	Päivittäinen sadanta (mm/vrk)	Kuukausittainen kokonaisadanta (mm)
Tammikuu	1.1	33.4	1.1	34.6	1.1	34.7
Helmikuu	1.0	27.5	1.0	27.9	1.1	30.6
Maaliskuu	0.9	26.8	0.8	25.9	0.9	27.0
Huhtikuu	0.9	27.6	0.9	27.9	1.0	30.8
Toukokuu	1.2	37.7	1.4	44.3	1.3	40.9
Kesäkuu	1.9	57.6	2.0	59.1	2.3	68.2
Heinäkuu	2.3	69.9	2.6	79.8	2.3	69.9
Elokuu	1.9	54.4	1.9	52.7	1.7	46.9
Syyskuu	1.7	51.7	1.8	52.8	1.7	49.6
Lokakuu	1.6	49.6	1.6	48.9	1.8	55.8
Marraskuu	1.3	40.2	1.4	41.2	1.4	42.0
Joulukuu	1.2	36.4	1.4	43.1	1.6	49.0

TAULUKKO 3-9

Mitatut vuotuiset astiahaihduntatiedot Sodankylän Tähtelän asemalla

Vuosi	Astiahaihdunta (mm)
1957	78.1
1958	331.9
1959	393.9
1960	518.6
1961	397.0
1962	320.4
1963	464.2
1964	408.8
1965	305.1
1966	385.9
1967	387.2
1968	398.3
1969	406.6
1970	485.6
1971	428.8
1972	428.7
1973	472.3
1974	359.5
1975	377.9
1976	427.5
1977	341.5
1978	371.6
1979	367.3
1980	411.9
1981	288.5
1982	340.5
1983	336.4
1984	343.8
1985	318.6
1986	310.9
1987	271.9
1988	297.3
1989	375.9
1990	264.8
1991	259.1
1992	246.6

TAULUKKO 3-9

Mitatut vuotuiset astiahaihduntatiedot Sodankylän Tähtelän asemalla

Vuosi	Astiahaihdunta (mm)
1993	190.7
1994	296.2
1995	310.9
1996	293.0
1997	365.9
1998	260.2
1999	318.6
2000	269.5
2001	282.6
2002	387.4
2003	377.3
2004	286.5
2005	316.7
2006	398.6
2007	305.2
2008	267.9
2009	344.8
2010	318.4
2011	398.8
2012	268.1
2013	210.3
2014	202.0
2015	122.6
Aritmeettinen keskiarvo(1958–2011)	349
Aritmeettinen keskiarvo(2000–2011)	329

Huomio:

1. Aineistot vuosilta 1957 ja 2012 - 2015 on jätetty pois tiedoista poikkeavan pienten mittausarvojen vuoksi.

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
9/1/2023	1.5	1.4	2.6	1.5	1.4	2.6	1.5	1.4	2.6
10/1/2023	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5
11/1/2023	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
12/1/2023	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.1
1/1/2024	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2/1/2024	0.5	0.4	0.3	0.1	0.1	0.0	0.7	0.6	0.3
3/1/2024	0.1	0.1	0.0	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.0
4/1/2024	2.3	2.6	0.9	1.1	0.8	0.5	1.3	1.2	0.0
5/1/2024	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2024	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2024	1.7	1.6	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2024	1.0	1.2	0.8	0.2	0.2	0.0	0.5	0.8	0.0
9/1/2024	0.3	0.2	0.0	0.2	0.3	0.0	0.5	0.6	0.2
10/1/2024	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.5	0.5
11/1/2024	0.3	0.4	0.0	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3
12/1/2024	0.0	0.1	0.0	1.1	0.8	0.8	0.1	0.1	0.0
1/1/2025	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
2/1/2025	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
3/1/2025	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.9	0.7	0.5
4/1/2025	1.7	1.3	0.9	2.2	1.9	1.8	2.3	2.1	1.9
5/1/2025	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2025	0.0	0.1	0.0	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2025	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2025	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.5	0.0
9/1/2025	0.6	0.8	0.2	0.3	0.4	0.1	0.6	0.7	0.1
10/1/2025	0.8	0.7	0.5	1.8	1.6	2.0	1.2	0.9	0.9
11/1/2025	0.6	0.5	0.6	0.0	0.1	0.0	0.8	0.6	1.1
12/1/2025	0.1	0.1	0.0	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.0
1/1/2026	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3	0.0	0.4	0.3	0.1
2/1/2026	0.3	0.2	0.1	0.7	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0
3/1/2026	1.3	1.0	0.9	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.1
4/1/2026	0.3	0.2	0.0	0.8	0.6	0.1	1.6	1.4	1.0
5/1/2026	0.0	0.0	0.0	0.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2026	0.1	0.1	0.0	0.3	0.2	0.0	0.7	0.5	0.0
7/1/2026	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2026	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	1.0	1.0	1.2
9/1/2026	0.4	0.5	0.0	1.6	1.5	2.0	0.1	0.0	0.0
10/1/2026	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.0
11/1/2026	0.8	0.8	0.4	0.3	0.3	0.3	0.8	0.8	0.6
12/1/2026	0.1	0.0	0.0	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1/1/2027	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
2/1/2027	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.5	0.4	0.1
3/1/2027	0.4	0.3	0.1	0.6	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0
4/1/2027	0.8	0.5	0.3	1.3	0.9	0.2	1.3	1.1	0.0
5/1/2027	1.4	1.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2027	0.9	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2027	0.6	0.5	0.6	0.0	0.1	0.0	0.2	0.4	0.0
8/1/2027	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9/1/2027	0.2	0.1	0.0	0.5	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0
10/1/2027	0.2	0.2	0.0	1.0	0.8	0.4	0.2	0.3	0.0
11/1/2027	0.3	0.2	0.2	1.1	0.8	1.1	0.1	0.1	0.0
12/1/2027	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
1/1/2028	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
2/1/2028	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
3/1/2028	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
4/1/2028	1.8	1.4	1.2	2.5	2.2	2.1	3.2	2.4	2.3
5/1/2028	0.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2028	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
7/1/2028	1.4	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2028	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.0	1.3	1.1	1.1
9/1/2028	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.0	0.9	0.8	1.0
10/1/2028	1.0	0.9	0.7	0.1	0.1	0.0	0.8	0.8	0.4
11/1/2028	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
12/1/2028	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
1/1/2029	0.1	0.0	0.0	0.9	0.7	0.4	0.1	0.1	0.0
2/1/2029	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
3/1/2029	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.5	0.3	0.2
4/1/2029	0.9	0.8	0.1	1.7	1.2	1.2	1.2	0.9	0.6
5/1/2029	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.6	0.4
6/1/2029	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2029	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	0.0
8/1/2029	0.1	0.1	0.0	0.2	0.4	0.0	0.9	0.6	1.0
9/1/2029	0.6	0.6	0.2	0.4	0.5	0.0	0.2	0.3	0.0
10/1/2029	1.5	1.1	1.6	0.5	0.6	0.2	1.0	0.8	1.2
11/1/2029	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0
12/1/2029	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
1/1/2030	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	1.0	0.8	0.5
2/1/2030	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
3/1/2030	0.1	0.0	0.0	0.4	0.2	0.0	0.6	0.5	0.1
4/1/2030	1.8	1.5	1.4	2.8	2.2	2.6	1.0	0.9	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
5/1/2030	0.6	0.6	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2030	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
7/1/2030	0.3	0.3	0.0	0.5	0.5	0.0	1.2	1.0	1.2
8/1/2030	0.3	0.3	0.0	1.4	1.3	1.6	1.1	1.2	0.9
9/1/2030	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0
10/1/2030	0.8	0.7	1.0	0.8	0.8	0.9	0.0	0.0	0.0
11/1/2030	0.0	0.1	0.0	0.5	0.4	0.1	0.3	0.4	0.5
12/1/2030	0.7	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.1
1/1/2031	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	0.5	0.1
2/1/2031	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	1.0	1.1	0.0
3/1/2031	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0
4/1/2031	2.0	1.7	0.9	2.2	1.9	1.0	0.9	0.9	0.0
5/1/2031	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2031	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2031	0.0	0.0	0.0	2.1	1.8	2.0	1.1	1.1	0.2
8/1/2031	0.9	1.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0
9/1/2031	0.2	0.2	0.0	0.7	0.9	0.3	2.0	1.7	2.2
10/1/2031	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.3	0.4	0.1
11/1/2031	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0
12/1/2031	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0
1/1/2032	1.1	0.7	0.6	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
2/1/2032	0.1	0.0	0.0	0.9	0.7	0.4	0.1	0.1	0.0
3/1/2032	0.2	0.1	0.0	0.8	0.7	0.0	0.1	0.1	0.0
4/1/2032	1.7	1.3	1.1	0.7	0.8	0.0	2.5	2.0	1.6
5/1/2032	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1	0.0
6/1/2032	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2032	0.3	0.3	0.0	1.4	1.3	1.0	0.7	0.8	0.5
8/1/2032	0.0	0.0	0.0	0.6	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0
9/1/2032	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.4	0.3	0.5	0.1
10/1/2032	0.9	0.8	0.4	0.7	0.7	0.4	1.0	0.7	0.9
11/1/2032	1.2	1.1	1.4	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0
12/1/2032	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
1/1/2033	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.8	0.6	0.4
2/1/2033	0.8	0.6	0.4	0.7	0.6	0.4	0.2	0.2	0.0
3/1/2033	0.4	0.4	0.1	0.6	0.5	0.0	0.4	0.3	0.0
4/1/2033	1.1	1.0	0.7	1.2	1.2	0.0	1.4	1.2	0.2
5/1/2033	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2033	0.1	0.1	0.0	0.5	0.4	0.0	0.8	0.7	0.6
7/1/2033	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2033	1.0	0.9	0.7	0.9	0.7	0.8	0.8	0.7	0.5

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
9/1/2033	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	1.0
10/1/2033	0.2	0.2	0.0	0.5	0.3	0.2	0.9	0.8	0.2
11/1/2033	0.6	0.5	0.6	0.4	0.4	0.2	0.0	0.1	0.0
12/1/2033	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1	0.0	0.1	0.0
1/1/2034	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
2/1/2034	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.3	0.2
3/1/2034	1.9	1.6	1.3	0.7	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0
4/1/2034	0.2	0.3	0.0	1.7	1.4	0.8	2.4	2.1	0.8
5/1/2034	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2034	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2034	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2034	0.8	0.7	0.1	0.8	1.0	0.0	2.2	1.9	1.7
9/1/2034	0.4	0.3	0.2	1.1	0.8	0.7	0.7	0.6	1.2
10/1/2034	0.1	0.0	0.0	1.3	1.0	1.4	0.7	0.7	0.5
11/1/2034	0.9	0.8	0.8	0.5	0.6	1.0	0.2	0.2	0.0
12/1/2034	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.3	0.0
1/1/2035	0.1	0.0	0.0	0.8	0.6	0.4	0.5	0.5	0.0
2/1/2035	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
3/1/2035	0.1	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.5	0.4	0.2
4/1/2035	0.4	0.3	0.1	1.2	1.1	0.0	1.5	1.8	0.0
5/1/2035	1.9	1.6	1.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0
6/1/2035	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2035	0.0	0.1	0.0	0.9	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0
8/1/2035	1.1	0.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
9/1/2035	0.5	0.5	0.3	0.4	0.4	0.2	0.2	0.3	0.0
10/1/2035	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.0	0.7	0.8	0.0
11/1/2035	0.1	0.1	0.0	0.6	0.4	0.5	0.1	0.2	0.1
12/1/2035	0.3	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
1/1/2036	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	1.1	0.8	0.6
2/1/2036	0.4	0.3	0.0	0.4	0.3	0.1	0.0	0.1	0.1
3/1/2036	1.0	0.8	0.6	0.6	0.5	0.1	0.8	0.6	0.6
4/1/2036	0.5	0.4	0.1	2.3	2.4	1.8	1.8	1.4	1.9
5/1/2036	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2036	0.0	0.0	0.0	1.1	1.1	1.1	0.7	0.4	0.2
7/1/2036	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.2
8/1/2036	0.9	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	0.1
9/1/2036	0.7	0.5	0.8	0.6	0.7	0.3	0.1	0.2	0.0
10/1/2036	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3	0.0	0.9	0.8	1.1
11/1/2036	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.5	0.3	0.4	0.0
12/1/2036	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1/1/2037	0.1	0.0	0.0	0.8	0.6	0.5	0.0	0.1	0.0
2/1/2037	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
3/1/2037	0.3	0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	1.2	0.9	0.5
4/1/2037	0.4	0.3	0.1	2.1	1.6	1.6	0.8	0.8	0.0
5/1/2037	1.9	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2037	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.3	0.0
7/1/2037	0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	0.0	0.0	0.1	0.0
8/1/2037	0.0	0.1	0.0	0.3	0.2	0.3	1.1	1.1	1.0
9/1/2037	0.3	0.4	0.0	0.3	0.3	0.1	0.7	0.5	0.7
10/1/2037	0.8	0.7	0.3	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	0.4
11/1/2037	0.9	0.6	0.6	0.3	0.3	0.2	0.4	0.4	0.3
12/1/2037	0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0
1/1/2038	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.7	0.6	0.3
2/1/2038	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0
3/1/2038	0.7	0.5	0.4	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
4/1/2038	1.1	1.0	1.1	1.7	1.4	0.6	0.7	0.8	0.1
5/1/2038	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2038	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.1
7/1/2038	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2038	0.4	0.4	0.0	1.0	0.8	0.7	0.8	0.9	0.7
9/1/2038	1.7	1.4	1.9	0.5	0.4	0.3	0.5	0.5	0.3
10/1/2038	0.5	0.4	0.4	0.8	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3
11/1/2038	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
12/1/2038	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
1/1/2039	0.2	0.2	0.0	0.3	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0
2/1/2039	0.1	0.0	0.0	0.6	0.4	0.2	0.8	0.6	0.3
3/1/2039	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.8	0.8	0.3
4/1/2039	2.1	1.8	1.0	1.3	1.0	0.8	1.2	1.1	0.1
5/1/2039	0.0	0.0	0.0	1.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2039	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.5	0.4	0.0
7/1/2039	0.3	0.3	0.0	1.0	1.1	1.5	0.0	0.0	0.0
8/1/2039	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	0.2
9/1/2039	0.9	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5
10/1/2039	0.9	0.6	0.9	0.1	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0
11/1/2039	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.9	0.7	0.8
12/1/2039	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4	0.4	0.2
1/1/2040	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2/1/2040	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	1.1	1.0	0.9
3/1/2040	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
4/1/2040	1.3	1.0	0.9	1.7	1.4	1.1	1.2	1.1	0.4

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
5/1/2040	0.8	1.0	0.0	0.4	0.3	0.0	0.2	0.1	0.0
6/1/2040	0.0	0.1	0.0	0.4	0.3	0.0	0.8	0.8	0.5
7/1/2040	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2040	0.7	0.6	0.6	0.8	0.9	0.4	0.8	0.6	0.7
9/1/2040	0.7	0.8	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
10/1/2040	0.0	0.0	0.0	1.1	0.8	0.9	1.2	1.1	0.9
11/1/2040	0.0	0.1	0.0	0.9	0.9	1.0	0.4	0.4	0.1
12/1/2040	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1/1/2041	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0
2/1/2041	0.7	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.8	0.7	0.4
3/1/2041	0.1	0.1	0.0	0.5	0.4	0.3	0.8	0.7	0.1
4/1/2041	1.3	1.1	0.4	1.4	1.4	0.4	0.6	0.7	0.0
5/1/2041	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2041	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0
7/1/2041	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2041	0.2	0.4	0.0	0.5	0.5	0.1	1.1	1.2	0.0
9/1/2041	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.7	0.7	0.4
10/1/2041	1.3	1.0	0.7	0.4	0.4	0.1	1.0	0.7	1.2
11/1/2041	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.0	0.4	0.5	0.3
12/1/2041	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
1/1/2042	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2/1/2042	0.1	0.1	0.0	0.9	0.7	0.4	0.1	0.1	0.0
3/1/2042	0.3	0.2	0.0	1.2	1.0	0.7	0.2	0.1	0.0
4/1/2042	1.5	1.0	0.8	0.8	1.1	0.0	1.6	1.2	0.7
5/1/2042	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2042	0.0	0.0	0.0	0.6	0.5	0.2	0.5	0.3	0.0
7/1/2042	0.4	0.7	0.0	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2042	0.6	0.4	0.1	0.6	0.4	0.5	0.3	0.3	0.0
9/1/2042	1.2	1.0	1.3	0.7	0.7	0.4	0.7	0.6	0.3
10/1/2042	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3	1.0	1.2
11/1/2042	0.5	0.4	0.3	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.2
12/1/2042	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3	0.3
1/1/2043	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2/1/2043	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0
3/1/2043	0.3	0.2	0.0	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5	0.2
4/1/2043	1.6	1.2	0.8	1.5	1.5	0.2	1.9	1.8	1.4
5/1/2043	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2043	1.1	1.0	0.9	0.0	0.0	0.0	1.2	1.1	0.9
7/1/2043	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2043	1.2	1.2	1.6	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
9/1/2043	0.3	0.2	0.0	0.6	0.5	0.4	0.9	0.7	0.8
10/1/2043	0.6	0.6	0.1	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3
11/1/2043	0.1	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.1
12/1/2043	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3	0.1
1/1/2044	1.3	1.2	0.4	0.1	0.1	0.0	1.4	1.2	1.0
2/1/2044	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.5	0.7	0.0
3/1/2044	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0
4/1/2044	1.4	1.3	0.0	1.1	0.8	0.5	0.6	0.6	0.0
5/1/2044	0.1	0.3	0.0	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2044	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.3	1.0
7/1/2044	0.6	0.6	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0
8/1/2044	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0
9/1/2044	0.6	0.5	0.3	1.2	0.9	1.4	0.4	0.3	0.2
10/1/2044	0.7	0.5	0.5	0.8	1.1	0.9	1.2	1.1	1.0
11/1/2044	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.0	0.4	0.4	0.3
12/1/2044	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.5	0.5	0.2
1/1/2045	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
2/1/2045	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
3/1/2045	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.6	0.5	0.2
4/1/2045	1.6	1.3	1.0	1.7	1.4	0.5	1.9	1.6	0.3
5/1/2045	0.2	0.2	0.0	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2045	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0
7/1/2045	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
8/1/2045	0.0	0.0	0.0	1.0	0.7	1.2	0.0	0.0	0.0
9/1/2045	0.4	0.4	0.0	0.9	0.9	0.8	0.3	0.3	0.0
10/1/2045	1.4	1.2	0.6	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0
11/1/2045	0.9	0.7	1.4	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
12/1/2045	0.5	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
1/1/2046	0.6	0.5	0.4	0.1	0.1	0.0	1.0	0.7	0.4
2/1/2046	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	1.6	1.3	1.6
3/1/2046	0.3	0.2	0.0	1.3	1.0	0.8	0.8	0.9	0.9
4/1/2046	1.6	1.4	0.7	0.9	1.0	0.0	0.5	0.4	0.1
5/1/2046	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
6/1/2046	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2046	0.9	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2046	0.4	0.5	0.1	0.5	0.7	0.0	0.8	0.7	0.2
9/1/2046	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
10/1/2046	1.2	1.2	0.7	0.7	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3
11/1/2046	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.8	0.7	0.7
12/1/2046	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3	0.3	0.1

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1/1/2047	0.9	0.8	0.2	0.8	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3
2/1/2047	0.5	0.5	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
3/1/2047	0.4	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
4/1/2047	0.6	0.7	0.0	1.5	1.2	0.9	1.9	2.0	1.1
5/1/2047	0.5	0.6	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2047	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2047	0.0	0.1	0.0	0.5	0.4	0.0	0.0	0.3	0.0
8/1/2047	0.9	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	1.7	1.5	0.8
9/1/2047	0.8	0.8	0.9	0.3	0.3	0.0	0.9	0.6	1.6
10/1/2047	0.4	0.4	0.1	0.2	0.1	0.0	0.4	0.5	0.3
11/1/2047	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
12/1/2047	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
1/1/2048	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
2/1/2048	0.6	0.5	0.4	1.0	0.8	0.5	0.1	0.1	0.0
3/1/2048	0.4	0.3	0.0	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.0
4/1/2048	1.7	1.5	0.3	1.4	1.2	1.2	2.0	1.6	1.0
5/1/2048	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2048	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2048	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2048	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	0.0
9/1/2048	0.6	1.0	0.2	0.5	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0
10/1/2048	1.1	1.0	0.7	0.8	0.9	0.3	0.4	0.4	0.0
11/1/2048	0.3	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5	0.9	0.9	0.5
12/1/2048	0.1	0.0	0.0	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2
1/1/2049	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
2/1/2049	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
3/1/2049	0.2	0.1	0.0	0.4	0.3	0.1	1.6	1.3	1.3
4/1/2049	1.6	1.1	1.3	1.9	1.4	1.7	1.1	1.0	1.2
5/1/2049	0.9	0.9	0.6	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0
6/1/2049	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2049	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2049	1.0	0.8	0.8	0.7	0.8	0.2	0.4	0.6	0.0
9/1/2049	1.2	1.2	1.2	1.4	1.2	1.2	0.7	0.7	0.3
10/1/2049	0.1	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0
11/1/2049	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.2
12/1/2049	0.2	0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	0.6	0.4	0.3
1/1/2050	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
2/1/2050	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
3/1/2050	0.8	0.6	0.3	1.0	0.9	0.6	0.1	0.0	0.0
4/1/2050	0.9	0.8	0.0	0.8	0.8	0.0	2.0	1.6	1.4

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
5/1/2050	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2050	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0
7/1/2050	0.9	0.6	0.4	0.8	0.7	0.0	1.1	1.0	0.6
8/1/2050	0.8	1.0	0.9	1.1	1.0	1.0	0.5	0.4	0.5
9/1/2050	0.5	0.4	0.3	0.6	0.4	0.7	1.3	1.4	1.4
10/1/2050	0.7	0.7	0.4	0.9	0.9	1.0	0.5	0.8	0.1
11/1/2050	0.4	0.5	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2	0.3	0.0
12/1/2050	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/1/2051	0.4	0.4	0.0	0.1	0.1	0.0	0.5	0.6	0.2
2/1/2051	0.0	0.0	0.0	1.4	1.2	0.6	0.0	0.0	0.0
3/1/2051	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.9	0.8	0.2
4/1/2051	1.6	1.3	0.0	0.9	0.8	0.2	1.5	1.6	0.0
5/1/2051	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2051	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.6	0.5	0.0
7/1/2051	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.6
8/1/2051	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9/1/2051	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
10/1/2051	0.8	1.2	0.1	1.2	1.4	0.6	0.8	0.6	0.4
11/1/2051	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0
12/1/2051	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.5	0.4	0.1
1/1/2052	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2/1/2052	0.1	0.1	0.0	1.5	1.2	1.2	1.1	0.9	0.8
3/1/2052	0.6	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.7	0.6	0.1
4/1/2052	2.0	1.4	2.0	0.8	0.6	0.1	0.6	0.6	0.0
5/1/2052	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2052	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2052	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.0
8/1/2052	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9/1/2052	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
10/1/2052	0.5	0.6	0.0	0.5	0.8	0.1	0.2	0.1	0.0
11/1/2052	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	1.9	1.6	1.2
12/1/2052	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
1/1/2053	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.6	0.4	0.5
2/1/2053	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
3/1/2053	0.4	0.3	0.0	0.2	0.1	0.0	0.8	0.7	0.4
4/1/2053	1.5	1.1	0.6	1.4	1.2	0.2	1.4	1.2	1.1
5/1/2053	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2053	0.2	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2053	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.8	0.7	0.0
8/1/2053	0.2	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.5	0.5	0.3

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
9/1/2053	1.8	1.6	1.2	1.8	1.7	1.2	0.3	0.3	0.1
10/1/2053	0.5	0.4	0.6	0.2	0.0	0.0	1.3	1.0	1.3
11/1/2053	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	0.4
12/1/2053	1.1	0.9	0.8	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0
1/1/2054	0.0	0.1	0.0	0.4	0.2	0.1	0.4	0.4	0.1
2/1/2054	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
3/1/2054	0.6	0.5	0.3	0.9	0.7	0.5	0.5	0.3	0.0
4/1/2054	1.2	1.0	0.4	1.4	1.2	1.1	1.2	1.1	0.2
5/1/2054	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.9	1.0	0.0
6/1/2054	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2054	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2054	0.5	0.4	0.1	0.5	0.5	0.2	0.3	0.5	0.0
9/1/2054	0.5	0.5	0.3	0.5	0.4	0.3	1.4	1.2	1.2
10/1/2054	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.2	0.7	0.6	0.7
11/1/2054	0.1	0.1	0.1	0.7	0.6	0.6	0.2	0.2	0.2
12/1/2054	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
1/1/2055	0.7	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.7	0.5	0.4
2/1/2055	0.1	0.1	0.0	0.4	0.2	0.1	0.5	0.4	0.2
3/1/2055	0.1	0.0	0.0	0.7	0.5	0.1	0.9	0.8	0.3
4/1/2055	1.8	1.5	1.3	1.4	1.1	1.1	0.3	0.3	0.0
5/1/2055	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
6/1/2055	0.3	0.5	0.0	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2055	0.2	0.3	0.0	0.4	0.4	0.0	1.1	0.9	1.0
8/1/2055	0.3	0.4	0.0	0.3	0.3	0.0	0.6	0.6	0.4
9/1/2055	1.0	0.8	1.2	0.9	0.7	0.9	0.8	0.9	0.6
10/1/2055	1.1	1.0	0.7	1.3	1.3	1.1	0.0	0.0	0.0
11/1/2055	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	0.1
12/1/2055	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.2
1/1/2056	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2/1/2056	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.3	0.3	0.0
3/1/2056	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	1.2	1.0	0.4
4/1/2056	1.6	1.3	0.7	1.9	1.6	0.2	0.9	0.9	0.0
5/1/2056	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2056	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2056	1.3	1.1	0.6	1.3	1.2	0.2	0.1	0.2	0.0
8/1/2056	0.4	0.2	0.3	0.6	0.4	0.5	1.3	1.1	0.9
9/1/2056	0.2	0.2	0.0	0.4	0.3	0.3	1.1	1.0	1.2
10/1/2056	0.6	0.6	0.3	0.5	0.4	0.1	0.6	0.6	0.4
11/1/2056	0.1	0.1	0.0	0.3	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3
12/1/2056	0.2	0.2	0.0	0.8	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1/1/2057	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
2/1/2057	0.7	0.6	0.3	1.5	1.4	1.0	0.4	0.3	0.2
3/1/2057	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.6	0.2
4/1/2057	1.8	1.6	1.0	0.9	0.8	0.1	1.6	1.9	0.1
5/1/2057	0.5	0.8	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2057	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
7/1/2057	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.3	0.8
8/1/2057	0.6	0.6	0.1	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
9/1/2057	1.0	0.7	0.9	1.0	0.8	0.6	1.4	1.4	1.8
10/1/2057	0.9	0.9	0.9	0.6	0.5	0.2	0.4	0.3	0.0
11/1/2057	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2
12/1/2057	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.8	0.8	0.3
1/1/2058	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
2/1/2058	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.4	0.3	0.0
3/1/2058	0.7	0.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0
4/1/2058	1.3	1.1	0.2	2.1	1.6	1.5	1.1	1.0	0.0
5/1/2058	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2058	0.3	0.3	0.0	0.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2058	0.0	0.2	0.0	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2058	0.2	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.6	0.7	0.0
9/1/2058	1.2	0.9	1.1	1.0	0.7	1.0	0.8	0.7	0.4
10/1/2058	1.0	0.9	1.1	1.0	1.0	0.8	1.4	1.1	1.6
11/1/2058	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	0.0	0.1	0.1	0.1
12/1/2058	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1/1/2059	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0
2/1/2059	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0
3/1/2059	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.1	1.0
4/1/2059	1.8	1.4	1.0	1.8	1.6	0.6	1.0	1.1	0.0
5/1/2059	0.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2059	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2059	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2059	0.7	0.7	0.0	0.8	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0
9/1/2059	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.5	0.0
10/1/2059	0.5	0.4	0.2	0.5	0.5	0.6	0.1	0.2	0.0
11/1/2059	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.4	0.9	0.1
12/1/2059	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
1/1/2060	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	1.8	1.5	1.1
2/1/2060	1.1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.1	1.0	0.8	1.7
3/1/2060	1.2	1.1	1.3	0.8	0.6	0.3	0.5	0.4	0.5
4/1/2060	0.0	0.0	0.0	1.1	1.1	0.2	0.3	0.1	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
5/1/2060	0.4	0.4	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2060	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2060	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
8/1/2060	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
9/1/2060	0.7	1.0	0.1	0.7	1.0	0.1	0.1	0.0	0.0
10/1/2060	0.3	0.4	0.1	0.5	0.5	0.2	0.5	0.6	0.0
11/1/2060	1.5	1.4	1.3	1.2	0.9	1.2	1.0	0.9	0.5
12/1/2060	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1/1/2061	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
2/1/2061	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
3/1/2061	0.9	0.7	0.5	1.8	1.5	1.5	0.5	0.4	0.1
4/1/2061	1.5	1.4	1.3	1.1	1.2	0.7	2.0	1.6	2.0
5/1/2061	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0
6/1/2061	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2061	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
8/1/2061	0.7	0.8	0.0	0.8	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0
9/1/2061	1.0	0.8	0.6	1.0	0.7	0.7	0.3	0.3	0.1
10/1/2061	1.2	1.0	1.7	1.0	0.8	1.2	1.8	1.6	1.8
11/1/2061	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6
12/1/2061	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.3	0.2	0.2	0.0
1/1/2062	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
2/1/2062	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
3/1/2062	0.5	0.4	0.1	0.1	0.1	0.0	0.6	0.5	0.1
4/1/2062	0.8	0.6	0.0	0.7	0.5	0.4	0.2	0.1	0.0
5/1/2062	0.5	0.4	0.0	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2062	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
7/1/2062	1.2	1.1	0.3	1.2	1.2	0.4	1.3	1.0	1.0
8/1/2062	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
9/1/2062	1.2	1.0	0.8	1.3	1.2	0.9	0.9	1.0	1.0
10/1/2062	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0	0.6	0.5	0.3
11/1/2062	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.2
12/1/2062	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
1/1/2063	0.6	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2/1/2063	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.4	0.3	0.2
3/1/2063	0.3	0.3	0.2	0.8	0.6	0.4	0.9	0.8	0.2
4/1/2063	1.9	1.6	0.4	1.4	1.3	0.0	0.2	0.2	0.0
5/1/2063	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.0
6/1/2063	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2063	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
8/1/2063	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.6	2.3

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
9/1/2063	1.3	1.3	0.7	1.4	1.4	0.8	0.1	0.3	0.0
10/1/2063	1.1	0.8	1.6	1.0	0.7	1.3	0.9	0.7	0.6
11/1/2063	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.3
12/1/2063	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.3	0.0
1/1/2064	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	1.1	1.0	0.2
2/1/2064	0.1	0.0	0.0	0.8	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0
3/1/2064	0.6	0.5	0.2	0.5	0.4	0.2	0.6	0.6	0.1
4/1/2064	1.4	1.0	0.3	1.2	1.0	0.7	0.6	0.7	0.0
5/1/2064	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0
6/1/2064	1.2	0.9	0.8	1.4	1.1	1.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2064	0.2	0.5	0.0	0.2	0.5	0.0	1.3	1.1	1.5
8/1/2064	0.7	0.7	1.5	0.5	0.5	1.1	0.0	0.0	0.0
9/1/2064	0.6	0.6	0.4	0.7	0.7	0.6	0.1	0.1	0.0
10/1/2064	0.6	0.4	0.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
11/1/2064	0.0	0.1	0.0	0.5	0.6	0.5	0.2	0.2	0.1
12/1/2064	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
1/1/2065	0.2	0.2	0.0	0.3	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0
2/1/2065	0.3	0.2	0.0	1.6	1.4	0.4	0.9	0.7	0.5
3/1/2065	0.6	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
4/1/2065	0.7	0.5	0.0	0.5	0.4	0.0	0.2	0.0	0.0
5/1/2065	1.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2065	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2065	0.6	0.6	0.4	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2065	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0
9/1/2065	0.9	0.7	1.1	1.1	0.9	1.3	0.4	0.6	0.0
10/1/2065	0.8	0.8	0.5	1.2	1.1	1.0	0.9	1.2	0.4
11/1/2065	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.9	0.7	0.7
12/1/2065	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.3
1/1/2066	0.1	0.1	0.0	0.2	0.3	0.0	0.7	0.4	0.6
2/1/2066	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
3/1/2066	0.8	0.6	0.5	1.8	1.7	0.4	0.8	0.6	0.7
4/1/2066	1.8	1.6	0.4	0.0	0.1	0.0	0.7	0.5	0.3
5/1/2066	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2066	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2066	0.8	0.7	0.2	0.5	0.6	0.0	0.3	0.3	0.0
8/1/2066	1.1	1.1	1.2	1.2	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0
9/1/2066	0.9	0.8	0.8	1.2	1.1	1.8	0.6	0.7	0.2
10/1/2066	0.3	0.4	0.0	0.8	0.8	0.9	0.6	0.5	0.2
11/1/2066	0.3	0.4	0.0	0.3	0.3	0.0	0.6	0.5	0.5
12/1/2066	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	0.2	0.2

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1/1/2067	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
2/1/2067	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.9	0.6	0.5
3/1/2067	0.1	0.2	0.0	1.0	0.8	0.4	0.3	0.3	0.1
4/1/2067	2.3	1.9	0.8	0.7	0.6	0.0	0.9	0.8	0.7
5/1/2067	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2067	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.0
7/1/2067	0.4	0.4	0.0	0.3	0.3	0.0	0.8	0.6	0.4
8/1/2067	0.2	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
9/1/2067	1.1	0.8	1.1	1.2	0.9	1.1	0.5	0.5	0.4
10/1/2067	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.9	0.4	0.3	0.1
11/1/2067	0.0	0.0	0.0	0.8	0.7	0.5	1.0	0.9	0.9
12/1/2067	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.2
1/1/2068	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4	0.1	0.6	0.5	0.3
2/1/2068	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.2
3/1/2068	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
4/1/2068	1.5	1.2	0.3	0.9	0.5	0.0	0.4	0.3	0.0
5/1/2068	0.4	0.4	0.0	0.6	0.6	0.3	0.3	0.1	0.0
6/1/2068	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2068	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.7	0.6
8/1/2068	1.1	1.1	1.4	1.5	1.2	1.8	0.0	0.0	0.0
9/1/2068	0.5	0.6	0.0	0.4	0.5	0.1	1.0	0.8	1.1
10/1/2068	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.1	1.2	1.1	1.1
11/1/2068	0.3	0.4	0.4	0.6	0.6	0.4	0.6	0.9	0.3
12/1/2068	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0
1/1/2069	0.1	0.0	0.0	0.7	0.5	0.4	0.7	0.5	0.0
2/1/2069	0.4	0.3	0.2	0.1	0.2	0.0	0.4	0.5	0.0
3/1/2069	0.4	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
4/1/2069	1.2	1.0	0.2	1.5	1.2	0.2	1.3	1.2	0.0
5/1/2069	0.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.0
6/1/2069	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2069	0.3	0.6	0.0	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2069	0.3	0.3	0.1	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
9/1/2069	0.6	0.5	0.4	0.6	0.5	0.2	0.7	0.8	0.1
10/1/2069	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3	0.3	0.0
11/1/2069	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
12/1/2069	0.1	0.1	0.0	0.9	0.6	0.6	0.1	0.1	0.0
1/1/2070	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	0.4	0.2
2/1/2070	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	1.1	0.8	0.7
3/1/2070	0.2	0.2	0.0	0.8	0.7	0.4	0.6	0.4	0.4
4/1/2070	1.6	1.2	1.0	1.2	0.9	1.0	1.5	1.3	1.4

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
5/1/2070	1.1	1.1	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2070	0.1	0.2	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2070	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2070	0.3	0.2	0.0	0.3	0.3	0.0	0.8	0.8	0.1
9/1/2070	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2
10/1/2070	0.7	0.6	0.4	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
11/1/2070	0.4	0.5	0.3	0.7	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3
12/1/2070	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.1	1.2	0.8	0.8
1/1/2071	0.5	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.7
2/1/2071	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0
3/1/2071	1.5	1.3	0.4	2.0	1.8	0.7	0.3	0.2	0.0
4/1/2071	0.7	1.1	0.0	0.3	0.5	0.0	0.8	0.6	0.0
5/1/2071	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
6/1/2071	1.4	1.2	1.7	1.2	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2071	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	0.4	0.0
8/1/2071	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.0	0.2	0.2	0.0
9/1/2071	0.2	0.1	0.0	0.3	0.2	0.1	1.5	1.2	1.6
10/1/2071	0.3	0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.8	0.7	0.5
11/1/2071	0.2	0.2	0.0	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.7
12/1/2071	0.1	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0
1/1/2072	0.1	0.1	0.0	0.3	0.2	0.0	0.9	0.8	0.5
2/1/2072	0.3	0.2	0.0	1.0	0.8	0.7	0.4	0.5	0.0
3/1/2072	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
4/1/2072	2.2	1.9	1.4	1.3	1.1	0.7	0.4	0.4	0.0
5/1/2072	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
6/1/2072	0.5	0.4	0.0	0.5	0.4	0.0	0.5	0.3	0.0
7/1/2072	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1.1	0.0	0.0	0.0
8/1/2072	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.1	1.1
9/1/2072	0.5	0.8	0.0	0.7	0.9	0.7	0.2	0.2	0.2
10/1/2072	0.8	0.9	0.6	0.4	0.4	0.0	0.1	0.1	0.0
11/1/2072	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2	0.3
12/1/2072	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.8	0.7	0.5
1/1/2073	0.0	0.1	0.0	1.3	1.2	0.5	0.1	0.1	0.0
2/1/2073	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
3/1/2073	0.5	0.4	0.2	0.6	0.6	0.0	1.1	0.9	0.7
4/1/2073	1.7	1.3	0.4	0.3	0.3	0.0	0.6	0.6	0.0
5/1/2073	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2073	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2073	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2073	0.6	0.8	0.1	0.6	0.6	0.0	0.5	1.0	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
9/1/2073	0.6	0.6	0.3	0.6	0.6	0.1	2.4	2.0	2.1
10/1/2073	1.2	0.7	1.2	0.9	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0
11/1/2073	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5
12/1/2073	0.1	0.1	0.0	0.8	0.6	0.7	0.2	0.2	0.1
1/1/2074	0.1	0.1	0.0	1.2	1.0	1.2	0.6	0.4	0.4
2/1/2074	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.5	0.4
3/1/2074	0.3	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.7	0.6	0.3
4/1/2074	1.4	1.0	0.8	1.3	1.0	0.7	0.6	0.4	0.0
5/1/2074	0.9	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0
6/1/2074	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
7/1/2074	0.4	0.5	0.0	0.6	0.6	0.0	0.4	0.4	0.0
8/1/2074	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.5	0.5	0.2
9/1/2074	1.1	0.8	1.1	1.3	1.0	1.3	0.4	0.2	0.1
10/1/2074	0.3	0.3	0.0	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
11/1/2074	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.7	0.6	0.8
12/1/2074	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0
1/1/2075	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3	0.1	1.0	0.8	0.7
2/1/2075	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.6	0.6	0.2
3/1/2075	0.7	0.6	0.3	1.6	1.4	1.0	0.1	0.0	0.0
4/1/2075	1.5	1.3	0.8	0.1	0.1	0.0	1.2	1.2	0.0
5/1/2075	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2075	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2075	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0
8/1/2075	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9/1/2075	0.3	0.4	0.0	0.3	0.3	0.0	1.8	1.5	1.7
10/1/2075	0.7	0.7	0.1	0.7	0.7	0.3	0.3	0.1	0.0
11/1/2075	1.0	0.7	1.0	1.8	1.4	1.9	0.2	0.3	0.3
12/1/2075	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
1/1/2076	0.2	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0
2/1/2076	0.2	0.1	0.0	0.5	0.4	0.2	0.9	0.7	0.3
3/1/2076	0.2	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.7	0.6	0.6
4/1/2076	1.8	1.5	1.6	1.9	1.5	1.2	0.4	0.2	0.0
5/1/2076	1.4	1.6	0.5	0.9	1.0	0.2	0.1	0.1	0.0
6/1/2076	0.3	0.6	0.0	0.4	0.7	0.0	1.1	0.9	0.4
7/1/2076	0.2	0.4	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2076	0.8	0.9	0.5	0.9	0.8	1.0	0.4	0.4	0.0
9/1/2076	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.4	0.4	0.3
10/1/2076	0.7	0.6	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11/1/2076	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	1.6	1.4	1.6
12/1/2076	0.7	0.6	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	0.6	0.6

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1/1/2077	0.3	0.4	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
2/1/2077	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
3/1/2077	0.0	0.1	0.0	0.4	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
4/1/2077	1.7	1.6	0.4	2.1	2.1	0.8	0.7	0.4	0.0
5/1/2077	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.0
6/1/2077	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
7/1/2077	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.1	1.3
8/1/2077	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
9/1/2077	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.2	0.7	0.7	1.0
10/1/2077	0.8	0.7	0.7	1.4	1.1	1.4	0.2	0.2	0.0
11/1/2077	0.1	0.1	0.0	1.1	1.1	1.4	0.3	0.4	0.2
12/1/2077	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/1/2078	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.8	0.5
2/1/2078	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
3/1/2078	0.5	0.4	0.2	0.3	0.3	0.0	0.4	0.3	0.1
4/1/2078	0.2	0.1	0.0	1.8	1.6	0.9	0.7	0.6	0.0
5/1/2078	2.1	2.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
6/1/2078	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2078	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2078	0.3	0.5	0.0	0.3	0.4	0.0	0.2	0.1	0.0
9/1/2078	1.2	0.9	1.1	1.2	1.1	0.8	0.1	0.0	0.0
10/1/2078	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.6	0.6	0.1
11/1/2078	0.6	0.5	0.6	0.7	0.5	0.6	0.5	0.5	0.2
12/1/2078	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	1.2	0.9	1.2
1/1/2079	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.7	0.6	0.7
2/1/2079	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4	0.4	0.3
3/1/2079	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3	0.2	0.0
4/1/2079	2.4	1.9	1.7	2.4	2.1	2.2	0.3	0.2	0.0
5/1/2079	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2079	0.4	0.4	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2079	0.4	0.5	0.0	0.1	0.2	0.0	0.6	0.5	0.0
8/1/2079	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9/1/2079	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.7	0.6	0.2
10/1/2079	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	1.1	0.9	0.8
11/1/2079	0.1	0.2	0.1	0.4	0.4	0.3	0.5	0.3	0.5
12/1/2079	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1
1/1/2080	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3	0.2	0.0
2/1/2080	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.6	0.5	0.2
3/1/2080	0.2	0.1	0.0	1.5	1.0	0.8	0.9	0.8	0.8
4/1/2080	1.6	1.2	0.9	0.6	0.7	0.0	0.3	0.3	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
5/1/2080	1.0	1.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2080	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.9	0.2
7/1/2080	0.4	0.5	0.0	0.2	0.5	0.0	0.4	0.2	0.0
8/1/2080	0.8	0.7	0.5	0.7	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
9/1/2080	1.2	0.9	1.4	1.4	1.0	0.9	0.5	0.5	0.0
10/1/2080	0.7	1.0	1.1	1.2	1.2	2.4	0.9	0.8	0.4
11/1/2080	1.0	1.1	0.0	0.5	0.6	0.3	1.2	1.1	1.4
12/1/2080	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
1/1/2081	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.5	0.5	0.3
2/1/2081	0.0	0.1	0.0	0.4	0.4	0.2	0.9	0.8	0.5
3/1/2081	0.0	0.1	0.0	1.2	1.1	0.2	0.4	0.4	0.0
4/1/2081	1.4	1.0	0.8	0.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
5/1/2081	0.9	1.5	0.0	0.2	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0
6/1/2081	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0
7/1/2081	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2081	1.1	1.1	0.8	0.8	0.9	0.1	0.6	0.6	0.0
9/1/2081	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.5	2.2
10/1/2081	0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.4	0.4	0.3
11/1/2081	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.1	0.6	0.5	0.6
12/1/2081	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.6	0.6	0.4
1/1/2082	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0
2/1/2082	0.1	0.1	0.0	2.4	1.9	2.0	0.6	0.5	0.0
3/1/2082	0.2	0.1	0.0	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	0.0
4/1/2082	2.6	2.2	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5/1/2082	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.3	1.5
6/1/2082	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2082	1.5	1.2	1.6	1.8	1.3	1.6	0.0	0.0	0.0
8/1/2082	0.6	0.6	0.3	0.6	0.7	0.5	1.4	1.4	0.6
9/1/2082	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	0.0	0.8	0.6	1.2
10/1/2082	0.3	0.2	0.0	0.8	0.6	0.4	0.1	0.0	0.0
11/1/2082	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.9	0.9	1.0
12/1/2082	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3	0.4
1/1/2083	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2/1/2083	0.1	0.1	0.0	1.4	1.1	0.6	0.7	0.7	0.4
3/1/2083	0.5	0.3	0.1	0.0	0.2	0.0	0.4	0.3	0.1
4/1/2083	2.4	2.2	1.0	0.8	0.7	0.0	0.9	0.9	0.0
5/1/2083	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2083	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
7/1/2083	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0
8/1/2083	0.2	0.3	0.0	0.4	0.3	0.0	0.4	0.5	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
9/1/2083	0.5	0.5	0.2	0.5	0.4	0.1	1.0	0.7	0.7
10/1/2083	0.5	0.6	0.1	0.2	0.2	0.0	0.8	0.6	0.9
11/1/2083	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	0.1	0.3	0.4	0.2
12/1/2083	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0
1/1/2084	0.0	0.1	0.0	0.4	0.2	0.1	1.4	1.3	0.8
2/1/2084	0.0	0.0	0.0	0.8	0.6	0.4	0.3	0.5	0.0
3/1/2084	0.1	0.2	0.0	1.2	0.9	0.8	0.0	0.0	0.0
4/1/2084	3.3	2.3	2.9	0.8	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0
5/1/2084	0.0	0.3	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2084	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.2	0.3
7/1/2084	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0
8/1/2084	1.7	1.3	1.8	1.6	1.4	0.9	0.0	0.0	0.0
9/1/2084	0.5	0.5	0.5	0.8	0.7	1.2	0.5	0.4	0.3
10/1/2084	0.5	0.8	0.0	0.9	1.1	1.3	0.0	0.0	0.0
11/1/2084	0.4	0.6	0.6	0.4	0.4	0.0	0.5	0.4	0.2
12/1/2084	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1
1/1/2085	0.0	0.1	0.0	0.9	0.8	0.3	1.8	1.5	1.5
2/1/2085	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.3
3/1/2085	0.1	0.1	0.0	0.6	0.6	0.2	0.8	0.7	0.6
4/1/2085	2.1	2.1	0.8	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
5/1/2085	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2085	0.8	0.8	0.5	0.9	0.8	0.1	0.6	0.5	0.0
7/1/2085	0.9	0.8	0.9	1.3	1.2	1.8	0.0	0.0	0.0
8/1/2085	0.5	0.5	0.0	0.5	0.4	0.0	0.2	0.1	0.0
9/1/2085	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	1.6	1.4	1.5
10/1/2085	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	0.4	0.0
11/1/2085	1.3	1.1	1.5	1.2	1.1	1.1	0.9	0.9	1.3
12/1/2085	0.1	0.2	0.0	0.4	0.4	0.0	0.6	0.6	0.4
1/1/2086	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
2/1/2086	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	1.5	1.4	0.5
3/1/2086	0.9	0.8	0.5	0.9	0.7	0.3	0.3	0.5	0.0
4/1/2086	1.1	1.2	0.0	0.7	0.6	0.0	0.2	0.4	0.0
5/1/2086	0.2	0.2	0.0	0.3	0.4	0.0	0.8	0.7	0.6
6/1/2086	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2086	1.0	0.7	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1
8/1/2086	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.8	0.8
9/1/2086	1.2	1.0	1.4	1.1	1.0	1.3	0.0	0.0	0.0
10/1/2086	0.0	0.1	0.0	0.2	0.3	0.0	1.3	1.2	0.9
11/1/2086	0.9	0.9	1.1	0.8	0.8	0.9	0.0	0.1	0.0
12/1/2086	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.5	0.2

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1/1/2087	0.1	0.1	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
2/1/2087	0.9	0.7	0.6	0.8	0.6	0.2	1.6	1.6	0.5
3/1/2087	0.3	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
4/1/2087	0.7	0.5	0.0	1.6	1.4	0.4	0.0	0.0	0.0
5/1/2087	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2087	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	1.7	1.9
7/1/2087	0.5	0.6	0.0	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2087	1.1	0.9	1.0	1.0	0.9	0.6	0.5	0.6	0.0
9/1/2087	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.6	0.6	0.5
10/1/2087	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0	1.4	1.3	1.6
11/1/2087	1.0	0.9	0.9	1.4	1.3	1.6	0.3	0.5	0.4
12/1/2087	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0
1/1/2088	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0
2/1/2088	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0
3/1/2088	0.8	0.7	0.4	1.7	1.5	0.9	0.8	0.7	0.2
4/1/2088	0.6	0.5	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
5/1/2088	0.7	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2088	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	0.0	1.1	1.0	0.8
7/1/2088	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0
8/1/2088	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9/1/2088	1.4	1.2	1.2	1.3	1.3	1.0	0.8	0.9	0.5
10/1/2088	0.0	0.1	0.0	1.1	0.9	1.2	1.0	0.7	0.5
11/1/2088	1.3	1.1	1.4	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9	1.1
12/1/2088	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.1
1/1/2089	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.9	0.4
2/1/2089	0.1	0.1	0.0	1.3	1.2	0.7	0.6	0.8	0.0
3/1/2089	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.0
4/1/2089	2.4	2.3	1.1	1.2	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0
5/1/2089	0.2	0.4	0.0	0.4	0.3	0.0	0.2	0.2	0.0
6/1/2089	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.0
7/1/2089	0.6	0.6	0.4	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2089	0.5	0.6	0.3	0.7	0.6	0.8	0.2	0.2	0.0
9/1/2089	0.4	0.4	0.0	0.3	0.3	0.0	1.5	1.2	0.9
10/1/2089	0.6	0.5	0.4	0.6	0.4	0.1	0.3	0.3	0.6
11/1/2089	0.1	0.1	0.0	0.5	0.5	0.2	1.1	1.1	1.1
12/1/2089	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0
1/1/2090	0.1	0.1	0.0	0.3	0.3	0.0	0.5	0.5	0.2
2/1/2090	0.1	0.1	0.0	0.5	0.5	0.1	0.6	0.5	0.3
3/1/2090	0.9	0.7	0.4	0.2	0.2	0.0	0.4	0.5	0.0
4/1/2090	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5	0.2	0.6	0.6	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
5/1/2090	1.7	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0
6/1/2090	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2090	1.0	1.1	0.4	0.8	1.0	0.0	0.8	0.7	0.4
8/1/2090	0.7	0.5	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.0
9/1/2090	0.9	0.8	0.8	1.1	0.9	1.1	1.0	1.0	1.0
10/1/2090	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.6	0.4	0.0
11/1/2090	0.1	0.1	0.0	0.8	0.7	0.7	0.2	0.4	0.4
12/1/2090	0.2	0.2	0.1	0.6	0.5	0.4	0.0	0.1	0.0
1/1/2091	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.8	0.7	0.4
2/1/2091	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3	0.0	0.8	0.7	0.1
3/1/2091	0.3	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.6	0.6	0.0
4/1/2091	2.5	2.8	1.2	1.5	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0
5/1/2091	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.0
6/1/2091	0.6	0.7	0.0	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2091	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.6	0.2
8/1/2091	0.2	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	1.0	0.9	1.0
9/1/2091	0.6	0.5	0.4	0.7	0.6	0.5	0.8	0.7	0.6
10/1/2091	0.4	0.3	0.1	0.7	0.5	0.6	0.1	0.1	0.0
11/1/2091	0.1	0.2	0.0	1.1	1.0	1.5	0.4	0.4	0.6
12/1/2091	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.7	0.3
1/1/2092	0.3	0.3	0.0	0.5	0.4	0.3	1.0	1.2	0.4
2/1/2092	0.5	0.3	0.2	0.6	0.5	0.2	0.4	0.5	0.0
3/1/2092	0.1	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.1	0.1	0.0
4/1/2092	0.4	0.4	0.1	1.4	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0
5/1/2092	2.4	2.4	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2092	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	1.5	1.3	0.7
7/1/2092	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2092	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0
9/1/2092	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	0.4	0.4	0.5	0.3
10/1/2092	1.1	0.8	0.8	1.5	1.2	1.7	0.0	0.0	0.0
11/1/2092	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.9	0.7	1.0
12/1/2092	0.1	0.2	0.0	1.0	0.9	1.2	0.7	0.7	0.5
1/1/2093	0.0	0.0	0.0	0.6	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0
2/1/2093	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3	0.0	1.2	1.0	1.0
3/1/2093	0.2	0.2	0.0	0.8	0.8	0.1	0.2	0.3	0.0
4/1/2093	2.5	2.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5/1/2093	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2093	0.5	0.4	0.0	1.0	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0
7/1/2093	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2093	1.1	1.1	0.9	1.2	1.2	1.2	0.8	1.0	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
9/1/2093	1.0	1.0	1.3	1.0	1.0	1.1	0.7	0.8	0.4
10/1/2093	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.7	0.8
11/1/2093	0.4	0.4	0.0	0.5	0.6	0.8	0.7	0.6	0.8
12/1/2093	0.3	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.7	0.7	0.8
1/1/2094	0.3	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.5	0.4	0.5
2/1/2094	0.2	0.2	0.0	0.6	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5
3/1/2094	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
4/1/2094	0.9	0.7	0.2	2.1	1.8	0.8	0.0	0.0	0.0
5/1/2094	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2094	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2094	0.5	0.6	0.0	0.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2094	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
9/1/2094	1.1	0.8	1.1	1.1	0.8	0.8	0.3	0.7	0.0
10/1/2094	0.9	1.0	0.9	0.7	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0
11/1/2094	0.3	0.3	0.3	1.2	1.1	1.7	0.5	0.7	0.1
12/1/2094	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.1
1/1/2095	0.7	0.6	0.2	0.4	0.4	0.1	1.1	1.1	0.5
2/1/2095	0.4	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	1.1	0.8	1.0
3/1/2095	0.7	0.7	0.0	1.2	1.1	0.4	1.3	1.1	1.9
4/1/2095	0.9	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5/1/2095	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2095	0.3	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2095	0.3	0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2095	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4	0.6	0.0
9/1/2095	0.6	0.4	0.3	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.0
10/1/2095	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0	1.3	1.2	0.5
11/1/2095	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.9	0.8	0.8
12/1/2095	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	1.1	0.8	1.4
1/1/2096	0.2	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.6	0.6
2/1/2096	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	1.1	1.1	0.7
3/1/2096	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
4/1/2096	1.2	0.9	0.7	1.7	1.3	0.9	0.0	0.0	0.0
5/1/2096	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.5	0.5	0.0
6/1/2096	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2096	0.5	0.5	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
8/1/2096	1.0	0.8	1.3	1.2	0.9	1.3	0.2	0.3	0.0
9/1/2096	0.6	0.7	0.5	0.6	0.7	0.5	1.3	1.4	0.5
10/1/2096	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	1.1	0.8	0.8
11/1/2096	0.1	0.1	0.0	0.5	0.4	0.3	0.1	0.0	0.3
12/1/2096	0.1	0.0	0.0	0.6	0.5	0.2	0.4	0.3	0.3

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut tulevaisuuden muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä ilmastoskenaariossa

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP2.6-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)			Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP8.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1/1/2097	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0
2/1/2097	0.3	0.2	0.0	0.3	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0
3/1/2097	0.1	0.0	0.0	1.4	1.2	0.9	1.8	1.5	1.5
4/1/2097	1.2	1.0	0.8	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
5/1/2097	1.7	2.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.2	0.3	0.0
6/1/2097	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2097	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
8/1/2097	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
9/1/2097	1.1	0.9	1.2	1.1	0.9	1.0	0.6	0.6	0.1
10/1/2097	0.1	0.2	0.0	1.4	1.2	1.1	0.8	0.6	0.1
11/1/2097	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.6
12/1/2097	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.1	1.5
1/1/2098	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2	0.3	0.2
2/1/2098	0.1	0.1	0.0	1.0	0.8	0.5	1.0	0.8	0.7
3/1/2098	0.1	0.1	0.0	0.5	0.5	0.0	0.7	0.8	0.4
4/1/2098	3.0	2.8	1.9	1.3	1.3	0.1	0.4	0.3	0.0
5/1/2098	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2098	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
7/1/2098	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0
8/1/2098	0.6	0.4	0.2	0.5	0.4	0.1	0.3	0.3	0.0
9/1/2098	0.2	0.2	0.0	0.3	0.3	0.1	0.9	0.8	1.0
10/1/2098	0.1	0.1	0.0	0.4	0.4	0.3	0.5	0.4	0.3
11/1/2098	0.1	0.1	0.1	0.7	0.6	0.5	0.9	0.9	0.8
12/1/2098	0.1	0.1	0.0	0.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0
1/1/2099	0.2	0.1	0.0	0.5	0.4	0.2	1.7	1.4	0.9
2/1/2099	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.2	0.7	0.0
3/1/2099	0.2	0.1	0.0	0.8	0.7	0.5	0.6	0.7	0.0
4/1/2099	2.5	2.0	2.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
5/1/2099	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6/1/2099	0.1	0.2	0.0	0.2	0.3	0.0	1.1	0.9	0.1
7/1/2099	0.7	0.6	0.3	0.5	0.5	0.0	1.3	1.2	1.2
8/1/2099	1.0	0.9	1.0	1.1	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0
9/1/2099	0.2	0.2	0.0	0.2	0.1	0.1	1.6	1.5	1.9
10/1/2099	0.8	0.7	0.3	1.0	0.9	0.8	0.0	0.0	0.0
11/1/2099	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.8	0.7	0.9
12/1/2099	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.1	0.5	0.4	0.6
1/1/2100	0.1	0.0	0.0	2.3	3.2	1.5	1.3	2.0	0.5

Yhteenveto pohjaveden seurantaverkostosta kaivostoimintojen alueella

Havaintoasema / Kairareikä	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Maan- pinnan korkeus (m mpy)	Asennus- vuosi	Syvyys (m)	Siiviläosuuden / Avoimen osuuden syvyys (m mpa)	Suunta	Kaltevuus	Mittausten aikaväli	Mittautapa	Havaintoasematyyppi	Hydrogeologinen yksikkö
11MOS8049	3,489,500	7,495,950	185.44	2016	200	180–195	175	75	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Smartwell-pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
12MOS8102	3,489,050	7,495,850	187.9	2022	530	NA	192	81	2023	Jatkuva	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
12MOS8109	3,488,950	7,495,750	186.2	2022	359	NA	172	80	2023	Jatkuva	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
13MOS8123	3,489,200	7,495,600	187.1	2022	829	NA	95	84	2023	Jatkuva	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
13MOS8120	3,489,230	7,495,850	185.6	2017	175	141–171	89	70	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Smartwell-pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
13MOS8125	3,489,240	7,495,550	187.19	2017	160	127–157	93	85	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Smartwell-pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
16MOS8158	3,488,634	7,495,872	182.49	2017	605	NA	132	75	2017–2021	Mittaukset lopetettu	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
16MOS8160	3,489,493	7,495,998	186.15	2017	823	NA	178	68	2017–2021	Mittaukset lopetettu	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
16MOS8163	3,489,401	7,495,450	186.33	2017	727	NA	87	75	2017–2021	Mittaukset lopetettu	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
17MOS8178	3,489,350	7,495,703	185.95	2017	760	NA	108	72	2017–2021	Mittaukset lopetettu	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
17MOS8183	3,489,900	7,495,796	188.14	2017	545	NA	177	69	2017–2021	Mittaukset lopetettu	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
17HYD001	3,488,233	7,490,930	195.66	2017	76	27.7–75.7	0	90	2017–2023	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
17HYD002	3,492,710	7,500,683	198.43	2017	100	26–100	0	90	2017	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
17HYD003	3,488,285	7,490,807	195.60	2017	11	2–8	0	90	2017–2023	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD004	3,489,912	7,500,204	190.12	2017	100	32.8–99.8	0	90	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
17HYD005	3,486,872	7,492,778	187.46	2017	10	3–5	0	90	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD006	3,489,607	7,498,030	190.67	2017	100	30–99	0	90	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
17HYD007	3,492,706	7,500,704	198.47	2017	16	2.8–12.8	0	90	2017	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD008	3,488,494	7,497,684	189.07	2017	102	30–102	0	90	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
17HYD009	3,488,700	7,497,492	188.31	2017	7	2.6–6.6	0	90	2017–2023	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD010	3,488,301	7,496,974	188.39	2017	7	1.4–3.4	0	90	2017–2023	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD011	3,481,069	7,505,428	216.81	2017	12.8	2.7–4.7; 10.7–12.7	0	90	2017	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD012	3,493,737	7,503,711	208.07	2017	8.2	4.3–7.8	0	90	2017	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD013	3,488,959	7,496,061	182.72	2017	251	29–251	54	76	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
17HYD014	3,486,683	7,494,747	183.20	2017	112	22–112	0	90	2017–2023	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
17HYD015	3,489,934	7,500,186	190.17	2017	11	3–5; 7–9	0	90	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD016	3,489,597	7,498,032	190.75	2017	11	3–7	0	90	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD017	3,487,834	7,496,295	188.01	2017	94.4	36.3–94.3	0	90	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
17HYD018	3,488,469	7,497,725	189.35	2017	10.6	4.35–8.35	0	90	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD019	3,490,206	7,499,792	189.73	2017	9	1.2–3.2; 5.2–7.2	0	90	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD020	3,490,009	7,499,416	191.29	2017	10	4–8	0	90	2017–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD021	3,489,642	7,499,133	189.69	2017	13.7	8–12	0	90	2017–2023	Jatkuva (Ilmanpaine)	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17HYD022	3,489,644	7,498,721	190.20	2017	14.4	8.25–12.25	0	90	2017–2023	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
17MOS8193	3,488,704	7,495,348	185.41	2017	1032	721.9–1006.9	155	80	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pumppauskaivo	Syvä kallioperä

Yhteenveto pohjaveden seurantaverkostosta kaivostoimintojen alueella

Havaintoasema / Kairareikä	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Maan- pinnan korkeus (m mpy)	Asennus- vuosi	Syvyys (m)	Siiviläosuuden / Avoimen osuuden syvyys (m mpa)	Suunta	Kaltevuus	Mittausten aikaväli	Mittaustapa	Havaintoasematyyppi	Hydrogeologinen yksikkö
17MOS8198	3,488,740	7,495,158	186.06	2017	125	32.5–122.5	164	62	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
17HYD023B	3,488,733	7,495,163	186.20	2018	15	2–14	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
18MOS8207	3,489,400	7,495,902	185.36	2018	902.5	284–774	174	76	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
18MOS8205	3,489,298	7,495,850	185.9	2018	185.3	12.9–182.9	86	79	2019	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
18HYD024	3,489,347	7,495,838	187.93	2018	7.3	6–7	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
18HYD025	3,486,594	7,490,597	192.87	2018	6.5	2.45–4.45	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
18HYD026	3,487,568	7,490,638	195.73	2018	14.4	2.8–4.8	0	90	2018	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
18HYD027	3,488,989	7,490,751	194.29	2018	6.4	2.3–4.3	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
18HYD028	3,486,369	7,491,695	193.54	2018	5.5	3.75–5.75	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
18HYD030	3,487,176	7,492,225	195.65	2018	9.3	7.9–9.9	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
18HYD033	3,487,929	7,491,219	200.02	2018	8.3	5.15–7.15	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA101	3,490,657	7,495,272	187.15	2012	5.1	3–5	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Turpeen havaintoasema	Turve
GA102	3,490,019	7,495,056	186.67	2012	3.3	1–3	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Turpeen havaintoasema	Turve
GA103	3,489,344	7,494,882	185.032	2012	2	1–2	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Turpeen havaintoasema	Turve
GA104	3,489,083	7,494,682	185.47	2012	3.7	2–4	0	90	2012–2023	Manuaalinen	Turpeen havaintoasema	Turve
GA200	3,489,519	7,496,606	186.98	2012	6.4	4.5–6.5	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA201	3,489,834	7,496,186	187.49	2012	5	3–5	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA202	3,489,776	7,495,403	186.64	2012	5	4–5	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA203	3,489,033	7,495,716	187.54	2012	5.4	3.5–5.5	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA204	3,488,953	7,494,762	186.51	2012	4	2–4.5	0	90	2012–2023	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA205	3,488,408	7,494,872	187.75	2012	4	2–4	0	90	2012–2023	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA300	3,489,902	7,495,662	187.51	2012	3.5	2.5–3.5	0	90	2012–2023	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA301	3,490,661	7,495,260	187.22	2012	9.7	7.5–9.5	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA302	3,490,014	7,495,054	186.58	2012	10	8–10	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA303	3,489,310	7,494,800	186.06	2012	12.3	10.5–12.5	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA304	3,488,954	7,494,748	186.53	2012	14.2	12–14	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA305	3,489,034	7,495,720	187.44	2012	10	8–10	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
GA400	3,490,031	7,496,168	190.54	2012	6.9	5–7	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
GA401	3,490,663	7,495,268	187.22	2012	12.5	9.5–12.5	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
GA402	3,490,016	7,495,050	186.65	2012	13	11–13	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
GA403	3,489,329	7,494,844	186.04	2012	16.8	15–17	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
GA404	3,488,412	7,494,864	188.39	2012	10.4	8.5–10.5	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
GA405	3,489,035	7,495,723	187.41	2012	13.4	11.5–13.5	0	90	2012–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
18MOS8232	3,487,479	7,493,522	183.14	2018	158	20–65.5	180	69	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä

Yhteenveto pohjaveden seurantaverkostosta kaivostoimintojen alueella

Havaintoasema / Kairareikä	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Maan- pinnan korkeus (m mpy)	Asennus- vuosi	Syvyys (m)	Siiviläosuuden / Avoimen osuuden syvyys (m mpa)	Suunta	Kaltevuus	Mittausten aikaväli	Mittautapa	Havaintoasematyyppi	Hydrogeologinen yksikkö
18KUU001	3,487,464	7,492,301	196.62	2018	150	72–150	180	70	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
18KUU002	3,487,398	7,491,488	205.62	2018	70	13–70	43	60	2019, 2021–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
18KUU003	3,488,012	7,491,630	216.7	2018	60	23–60	65	60	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
18MOS8228	3,489,102	7,495,800	186.66	2018	197	162–178	180	60	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
18HYD035	3,489,199	7,495,546	186.83	2018	10	4–8	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
18HYD036	3,489,198	7,495,550	186.73	2018	22	15–21	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
18HYD037	3,489,196	7,495,554	186.8	2018	57	13–57	0	76	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pumppauskaivo	Matala kallioperä
18MOS8227	3,487,811	7,494,748	185.37	2018	250	50–250	171	71	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pumppauskaivo	Syvä kallioperä
18MOS8229	3,488,557	7,494,708	186.66	2018	158	138–160	179	70	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
18HYD038	3,488,534	7,494,660	186.95	2018	57	18–54	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pumppauskaivo	Matala kallioperä
18HYD039	3,488,534	7,494,670	186.67	2018	15	5–12.5	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
18HYD040	3,488,534	7,494,684	186.73	2018	30	24–30	0	90	2018–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
19KUU005	3,486,022	7,491,524	197.00	2019	50	20–50	1	60	2019–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
19KUU015	3,486,669	7,491,734	201.15	2019	15	9–15	1	60	2019–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
19KUU017	3,488,342	7,491,994	226.67	2019	51	0–50	360	60	2019–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
19KUU019	3,488,803	7,492,230	226.23	2019	51	20–50	1	60	2019–2023	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
19KUU020	3,487,418	7,491,640	211.73	2019	70	50–55	71	60	Ei	Ei mittautusta	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
19KUU021	3,487,462	7,491,606	214.79	2019	60	7–60	288	60	2019–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
19KUU022	3,487,468	7,491,834	210.75	2019	100	80–100	319	60	2019–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
19KUU023	3,487,425	7,492,047	200.53	2019	53	33–50	30	60	2019–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
20MOS8245	3,487,543	7,494,463	184.6	2020	291	25–270	179	69	2019–2022; 2023	Manuaalinen + Jatkuva; muutettu VWP:ksi	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
20MOS8246	3,487,468	7,494,011	183.56	2020	403	30–350	172	65	2019–2022; 2023	Manuaalinen + Jatkuva; muutettu VWP:ksi	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
20MOS8247	3,487,476	7,493,572	184.57	2020	283	80–260	179	70	2020–2023	Manuaalinen + Jatkuva; muutettu VWP:ksi	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
20KUU025	3,487,455	7,492,708	190.24	2020	203	100–200	4	60	2020–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
20KUU024	3,487,457	7,492,474	192.23	2020	200	20–190	1	65	2020–2023	Manuaalinen + Jatkuva; muutettu VWP:ksi	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
20GT028	3,488,222	7,491,067	198.71	2020	4.6	2.5–4.5	0	90	2021–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
20GT030	3,489,021	7,492,001	210.98	2020	5.6	3.5–5.5	0	90	2021–2023	Mittaukset lopetettu	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
20GT031	3,488,837	7,491,551	199.44	2020	4.7	2.5–4.5	0	90	2021–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
20GT032A	3,487,451	7,491,353	203.08	2020	2.8	0.8–2.8	0	90	2021–2023	Mittaukset lopetettu	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
20GT036	3,487,024	7,490,962	197.84	2020	4.6	1.5–4.5	0	90	2021–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
20GT037	3,487,131	7,491,215	203.54	2020	4.0	3–5	0	90	2021–2023	Mittaukset lopetettu	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
20GT038	3,486,826	7,491,204	203.75	2020	2.6	0.5–2.5	0	90	2021–2023	Mittaukset lopetettu	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä

Yhteenveto pohjaveden seurantaverkostosta kaivostoimintojen alueella

Havaintoasema / Kairareikä	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Maan- pinnan korkeus (m mpy)	Asennus- vuosi	Syvyys (m)	Siiväosuuden / Avoimen osuuden syvyys (m mpa)	Suunta	Kaltevuus	Mittausten aikaväli	Mittaustapa	Havaintoasematyyppi	Hydrogeologinen yksikkö
20HYD041	3,489,543	7,496,576	186.95	2020	201	145–195	276	85	Ei	Ei mittausta	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
20HYD042	3,489,466	7,496,479	187.06	2020	50	38–50	55	60	2021–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
20HYD043	3,489,490	7,496,466	187	2020	216	25–120	49	64	Ei	Ei mittausta	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
20HYD044	3,488,961	7,491,529	197.33	2020	122	16–32; 60–76; 108–112	231	60	Ei	Ei mittausta	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
20HYD045	3,489,130	7,491,445	196.52	2020	123	25–260	0	60	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
20MOS8248	3,489,110	7,495,595	186.31	2020	156	25–140	174	73	2021–2022; 2023	Manuaalinen + Jatkuva; muutettu VWP:ksi	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
20MOS8249	3,489,097	7,495,889	188.19	2020	120	80–110	177	86	Ei	Ei mittausta	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
21KUU026	3,487,471	7,493,221	187.60	2021	285	20–282.5	178	70	2021–2022; 2023	Manuaalinen + Jatkuva; muutettu VWP:ksi	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
21KUU027	3,487,475	7,493,067	188.28	2021	280	20–280	183	59	2021–2022; 2023	Manuaalinen + Jatkuva; muutettu VWP:ksi	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
21HYD046	3,487,472	7,493,542	183.65	2021	9	4–8	0	90	2021–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
21HYD047	3,487,465	7,493,543	183.93	2021	51	12–48	0	90	2021–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
21HYD048	3,489,113	7,495,800	186.7	2021	110	38–108	180	70	2021–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
21KUU028	3,487,467	7,493,221	187.66	2021	455	20–440	0	60	2021–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
21MOS8264	3,487,479	7,493,797	185.15	2021	339	109–329	177	68	2021–2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
21MOS8271	3,489,348	7,496,001	186.0	2021	258	NA	207	60	2023	Jatkuva	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
21MOS8266	3,488,475	7,495,201	187.0	2022	675	NA	178	82	2023	Jatkuva	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
22HYD049	3,485,740	7,490,273	186.9	2022	50	10–50	0	90	2023	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
22HYD050	3,486,686	7,490,403	192.2	2022	50	10–50	0	90	2023	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
22HYD051	3,487,478	7,490,274	194.1	2022	50	10–50	0	90	2023	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
22HYD052	3,489,350	7,490,831	194.5	2022	50	10–50	0	90	2023	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
22MOS8272	3,489,697	7,496,198	187.0	2023	295	NA	275	60	2022	Jatkuva	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
22MOS8277	3,488,552	7,494,727	186.6	2022	32	20–32	177	70	Ei	Ei mittausta	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
22MOS8281	3,487,476	7,493,601	185.2	2022	159	18–156	180	75	2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
22MOS8285	3,487,476	7,493,617	185.1	2022	188	25–185	180	75	2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
22MOS8287	3,489,451	7,495,739	185.56	2023	758	NA	178	78	2023	Jatkuva	Tärylankapietsometri	Syvä kallioperä
22MOS8279	3,487,503	7,494,493	187.0	2022	150	36–150	180	75	2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
22MOS8280	3,487,501	7,494,503	184.3	2022	150	36–150	180	75	2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä
22HYD053	3,487,512	7,494,423	187.0	2022	50	20–50	0	90	2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Matala kallioperä
22HYD054	3,487,507	7,494,433	187.0	2022	10	2–9	0	90	2023	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Maaperä
23KUU029	3,487,473	7,493,341	185.7	2023	357	148–356	359	70	2023	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallioperä

Huomio:

1. Koordinaattijärjestelmä on KKJ3

TAULUKKO 4-1

Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut hydrauliset ominaisuudet maanalaisen kaivoksen pohjaveden virtausmallissa

Hydrogeologinen yksikkö		Vedenjohtavuuden mitattu vaihteluväli (m/s)	Mallinnuksen kalibroidut hydrauliset parametrit					Kommentti
			K_h (m/s) ¹	K_v (m/s)	Anisotropia K_h/K_v ²	S_s (m ⁻¹)	S_y	
Moreeni	Kuusivaara - ylempi	$5.0 \times 10^{-8} - 4.3 \times 10^{-3}$	3.5×10^{-5}	3.5×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.025	
	Pohjoinen moreeni		1.2×10^{-5}	1.2×10^{-6}	100	5.0×10^{-6}	0.1	
	Ylempi		4.0×10^{-5}	4.0×10^{-7}	100	1.0×10^{-6}	0.05	
	Keskimmäinen		4.0×10^{-5}	4.0×10^{-7}	100	1.0×10^{-6}	0.05	
	Intermediäärinen		4.0×10^{-5}	4.0×10^{-7}	100	1.0×10^{-6}	0.05	
	Alempi		2.3×10^{-5}	2.3×10^{-6}	10	5.0×10^{-6}	0.1	
Lajittuneet pintakerrostumat (sorat)			$1.0 \times 10^{-5} - 5.8 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-6} - 5.8 \times 10^{-6}$	2 – 10	1.0×10^{-6}	0.15 – 0.2	
Lajittuneet kerrostumat	Keskimmäiset		1.0×10^{-5}	1.0×10^{-6}	10	$1.0 \times 10^{-6} - 5.0 \times 10^{-6}$	0.05	
	Alemmat		1.2×10^{-5}	1.2×10^{-6}	10		0.1	
Hiekat	Ylempi		1.0×10^{-5}	1.0×10^{-7}	100	1.0×10^{-6}	0.05	
	Keskimmäinen							
	Alempi							
Savinen rapauma			1.2×10^{-7}	1.2×10^{-8}	10	5.0×10^{-6}	0.15	
Rapautunut kallio			1.2×10^{-7}	1.2×10^{-8}	10	5.0×10^{-6}	0.15	
Pohjakerrostumat			1.2×10^{-5}	1.2×10^{-6}	10	5.0×10^{-6}	0.05	
Kitinen, jokikerrostumat			5.0×10^{-5}	5.0×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.05	
Turve		$1.0 \times 10^{-7} - 1.0 \times 10^{-5}$	$9.3 \times 10^{-7} - 9.3 \times 10^{-6}$	$9.3 \times 10^{-8} - 9.3 \times 10^{-7}$	10	1.0×10^{-6}	0.1 – 0.25	
Rikkonainen kallio	Jokialue	$8.1 \times 10^{-8} - 1.4 \times 10^{-4}$	4.6×10^{-5}	4.6×10^{-6}	10	5.0×10^{-6}	0.01	
	Sakatin alue		5.8×10^{-6}	5.8×10^{-7}	10	5.0×10^{-6}	0.01	
	Kuusivaaran alue		$5.8 \times 10^{-7} - 6.9 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-7} - 6.9 \times 10^{-6}$	10	5.0×10^{-6}	0.01	
Ehjä kallio	Jokialue	$1.0 \times 10^{-12} - 3.4 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-9} - 3.5 \times 10^{-7}$	$2.0 \times 10^{-10} - 3.5 \times 10^{-8}$	10	5.0×10^{-6}	0.005	Vedenjohtavuusarvot (K) pienenevät syvyyden suhteen vesihävikikokeiden mittaustulosten perusteella; ks. Kuva 4-3
	Kaivostoimintojen alue		$1.0 \times 10^{-9} - 1.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-10} - 1.0 \times 10^{-8}$	10	5.0×10^{-6}	0.005	
Pohjaruhje		$5.9 \times 10^{-7} - 9.6 \times 10^{-7}$	$1.2 \times 10^{-8} - 8.1 \times 10^{-7}$	$1.2 \times 10^{-8} - 8.1 \times 10^{-7}$	1	5.0×10^{-6}	0.005	
Ruhje (poislukien pohjaruhje)		$4.3 \times 10^{-11} - 1.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-9} - 1.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-9} - 1.0 \times 10^{-7}$	1	5.0×10^{-6}	0.005	

Huomio:

- Olettaen että vaakasuora vedenjohtavuus X-suunnassa (K_x) on sama kuin vaakasuora vedenjohtavuus Y-suunnassa (K_y)
- Anisotropia vedenjohtavuuksien K_h ja K_v välillä on määritetty pohjaveden virtausmallin kalibroinnin avulla

TAULUKKO 4-2

Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut pohjaveden muodostumismäärät pohjaveden virtausmallissa

Päivämäärä	Arvioitu pohjaveden muodostuminen (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
6/1/2011	0.26	0.10	0.00
7/1/2011	0.00	0.00	0.00
8/1/2011	0.00	0.00	0.00
9/1/2011	0.47	0.48	0.19
10/1/2011	1.71	1.47	1.92
11/1/2011	0.43	0.42	0.30
12/1/2011	0.36	0.33	0.14
1/1/2012	0.02	0.02	0.00
2/1/2012	0.06	0.03	0.00
3/1/2012	0.11	0.08	0.00
4/1/2012	1.59	1.20	0.95
5/1/2012	0.16	0.56	0.00
6/1/2012	0.00	0.15	0.00
7/1/2012	0.00	0.00	0.00
8/1/2012	0.00	0.00	0.00
9/1/2012	1.15	1.52	0.47
10/1/2012	1.06	0.71	1.20
11/1/2012	1.10	0.84	1.45
12/1/2012	0.00	0.01	0.00
1/1/2013	0.04	0.05	0.00
2/1/2013	0.07	0.05	0.00
3/1/2013	0.08	0.04	0.00
4/1/2013	2.33	1.96	1.50
5/1/2013	0.00	0.00	0.00
6/1/2013	0.63	0.48	0.00
7/1/2013	0.00	0.00	0.00
8/1/2013	0.00	0.00	0.00
9/1/2013	0.12	0.15	0.00
10/1/2013	0.69	0.95	0.17
11/1/2013	0.09	0.14	0.09
12/1/2013	0.63	0.56	0.21
1/1/2014	0.08	0.04	0.05
2/1/2014	0.40	0.33	0.15
3/1/2014	1.23	0.92	0.85

TAULUKKO 4-2

Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut pohjaveden muodostumismäärät pohjaveden virtausmallissa

Päivämäärä	Arvioitu pohjaveden muodostuminen (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
4/1/2014	1.78	1.48	2.06
5/1/2014	0.00	0.00	0.00
6/1/2014	0.00	0.00	0.00
7/1/2014	0.00	0.00	0.00
8/1/2014	0.02	0.06	0.00
9/1/2014	0.60	0.70	0.11
10/1/2014	0.59	0.52	0.30
11/1/2014	0.46	0.34	0.35
12/1/2014	0.14	0.10	0.09
1/1/2015	0.10	0.04	0.00
2/1/2015	0.14	0.08	0.00
3/1/2015	0.70	0.57	0.28
4/1/2015	1.40	0.93	1.17
5/1/2015	1.19	1.31	0.65
6/1/2015	0.00	0.00	0.00
7/1/2015	0.33	0.48	0.00
8/1/2015	0.00	0.00	0.00
9/1/2015	1.23	1.04	1.41
10/1/2015	0.47	0.43	0.28
11/1/2015	0.11	0.19	0.00
12/1/2015	0.04	0.01	0.00
1/1/2016	0.06	0.04	0.00
2/1/2016	0.52	0.40	0.13
3/1/2016	0.61	0.53	0.25
4/1/2016	1.77	1.51	0.58
5/1/2016	0.00	0.00	0.00
6/1/2016	0.72	0.72	0.00
7/1/2016	0.00	0.00	0.00
8/1/2016	0.50	0.42	0.17
9/1/2016	1.26	1.18	1.48
10/1/2016	0.00	0.00	0.00
11/1/2016	0.67	0.55	0.34
12/1/2016	0.00	0.04	0.00
1/1/2017	0.04	0.03	0.00

TAULUKKO 4-2

Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut pohjaveden muodostumismäärät pohjaveden virtausmallissa

Päivämäärä	Arvioitu pohjaveden muodostuminen (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
2/1/2017	0.11	0.11	0.00
3/1/2017	0.11	0.07	0.00
4/1/2017	0.26	0.18	0.00
5/1/2017	1.48	1.07	0.30
6/1/2017	0.00	0.00	0.00
7/1/2017	0.00	0.00	0.00
8/1/2017	0.07	0.20	0.00
9/1/2017	0.44	0.47	0.18
10/1/2017	0.73	0.67	0.54
11/1/2017	0.71	0.51	0.69
12/1/2017	0.06	0.02	0.00
1/1/2018	0.10	0.05	0.00
2/1/2018	0.11	0.04	0.00
3/1/2018	0.10	0.03	0.00
4/1/2018	2.11	1.58	1.55
5/1/2018	0.00	0.00	0.00
6/1/2018	0.00	0.00	0.00
7/1/2018	0.00	0.00	0.00
8/1/2018	0.16	0.36	0.00
9/1/2018	1.17	1.30	0.31
10/1/2018	0.24	0.24	0.32
11/1/2018	0.62	0.42	0.46
12/1/2018	0.19	0.12	0.14
1/1/2019	0.08	0.05	0.00
2/1/2019	0.23	0.20	0.06
3/1/2019	0.54	0.34	0.20
4/1/2019	2.33	1.87	2.35
5/1/2019	0.00	0.00	0.00
6/1/2019	0.10	0.01	0.00
7/1/2019	0.00	0.00	0.00
8/1/2019	0.00	0.00	0.00
9/1/2019	0.20	0.31	0.01
10/1/2019	0.21	0.30	0.02
11/1/2019	0.16	0.13	0.00

TAULUKKO 4-2

Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut pohjaveden muodostumismäärät pohjaveden virtausmallissa

Päivämäärä	Arvioitu pohjaveden muodostuminen (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
12/1/2019	0.16	0.07	0.00
1/1/2020	0.16	0.08	0.00
2/1/2020	0.17	0.08	0.00
3/1/2020	0.35	0.29	0.03
4/1/2020	0.73	0.78	0.28
5/1/2020	2.78	2.61	3.05
6/1/2020	0.00	0.00	0.00
7/1/2020	0.00	0.00	0.00
8/1/2020	0.00	0.00	0.00
9/1/2020	0.29	0.37	0.02
10/1/2020	1.37	1.15	0.91
11/1/2020	0.52	0.52	0.69
12/1/2020	0.17	0.16	0.04
1/1/2021	0.06	0.03	0.00
2/1/2021	0.11	0.06	0.00
3/1/2021	0.97	0.73	0.45
4/1/2021	1.21	1.04	0.98
5/1/2021	0.04	0.06	0.00
6/1/2021	0.00	0.00	0.00
7/1/2021	0.00	0.00	0.00
8/1/2021	0.35	0.54	0.00
9/1/2021	0.03	0.09	0.00
10/1/2021	1.86	1.65	1.24
11/1/2021	0.67	0.52	1.21
12/1/2021	0.01	0.01	0.00
1/1/2022	0.09	0.07	0.00
2/1/2022	0.10	0.06	0.00
3/1/2022	0.77	0.57	0.41
4/1/2022	1.34	1.09	0.99
5/1/2022	0.00	0.00	0.00
6/1/2022	0.00	0.00	0.00
7/1/2022	0.36	0.39	0.00
8/1/2022	0.20	0.20	0.00
9/1/2022	0.19	0.15	0.00

TAULUKKO 4-2

Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut pohjaveden muodostumismäärät pohjaveden virtausmallissa

Päivämäärä	Arvioitu pohjaveden muodostuminen (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
10/1/2022	1.33	1.03	0.90
11/1/2022	0.02	0.11	0.13
12/1/2022	0.08	0.04	0.00
1/1/2023	0.11	0.05	0.00
2/1/2023	0.13	0.04	0.00
3/1/2023	0.13	0.04	0.00
4/1/2023	1.94	1.46	1.19
5/1/2023	0.29	0.43	0.00
6/1/2023	0.00	0.00	0.00
7/1/2023	0.00	0.00	0.00
8/1/2023	1.62	1.59	0.27
9/1/2023	1.84	1.51	2.97

TAULUKKO 4-3
Steady state -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet

Havaintoasema	Itä- koordinaatti (m)	Pohjois- koordinaatti (m)	Maan- pinnan korkeus- asema (m mpy)	Siiviläosuuden korkeusasema (m mpy)		Hydrogeologinen yksikkö	Pohjaveden pinnankorkeuden mittausajankohta	Mitattu pohjavesi- pinta (m mpy)	Mallinnettu pohjavesi- pinta (m mpy)	Mallin jäännösero (m)
				Yläpinta	Alapinta					
GA101	3,490,657	7,495,272	187.2	184.2	182.2	Turve	Maaliskuu 2013	187.6	188.0	0.35
GA102	3,490,019	7,495,056	186.7	185.7	183.7	Turve	Maaliskuu 2013	186.6	187.0	0.38
GA103	3,489,344	7,494,882	185.0	184.0	183.0	Turve	Maaliskuu 2013	186.2	186.0	-0.22
GA200	3,489,519	7,496,606	187.0	182.5	180.5	Maaperä	Maaliskuu 2013	185.6	185.8	0.22
GA201	3,489,834	7,496,186	187.5	184.5	182.5	Maaperä	Maaliskuu 2013	186.8	187.2	0.38
GA202	3,489,776	7,495,403	186.6	182.6	181.6	Maaperä	Maaliskuu 2013	186.6	186.5	-0.10
GA203	3,489,033	7,495,716	187.5	184.0	182.0	Maaperä	Maaliskuu 2013	182.5	182.4	-0.15
GA301	3,490,661	7,495,260	187.2	179.7	177.7	Maaperä	Maaliskuu 2013	187.5	188.0	0.45
GA302	3,490,014	7,495,054	186.6	178.6	176.6	Maaperä	Maaliskuu 2013	186.7	187.0	0.27
GA303	3,489,310	7,494,800	186.1	175.6	173.6	Maaperä	Maaliskuu 2013	186.1	185.9	-0.20
GA304	3,488,954	7,494,748	186.5	174.5	172.5	Maaperä	Maaliskuu 2013	185.3	185.2	-0.12
GA305	3,489,034	7,495,720	187.4	179.4	177.4	Maaperä	Maaliskuu 2013	182.7	182.3	-0.44
GA401	3,490,663	7,495,268	187.2	177.7	174.7	Matala kallioperä	Maaliskuu 2013	187.3	187.9	0.60
GA402	3,490,016	7,495,050	186.7	175.7	173.7	Matala kallioperä	Maaliskuu 2014	186.7	187.0	0.30
GA403	3,489,329	7,494,844	186.0	171.0	169.0	Matala kallioperä	Maaliskuu 2014	186.1	185.9	-0.17
GA404	3,488,412	7,494,864	188.4	179.9	177.9	Matala kallioperä	Maaliskuu 2013	184.2	184.5	0.29
GA405	3,489,035	7,495,723	187.4	175.9	173.9	Matala kallioperä	Maaliskuu 2013	182.7	182.2	-0.51
11MOS8049	3,489,500	7,495,950	185.4	5.4	-9.6	Syvä kallioperä	Maaliskuu 2017	185.6	184.9	-0.70
13MOS8120	3,489,230	7,495,850	185.6	44.6	14.6	Syvä kallioperä	Maaliskuu 2017	183.4	183.3	-0.03
13MOS8125	3,489,240	7,495,550	187.2	60.2	30.2	Syvä kallioperä	Maaliskuu 2017	185.5	183.9	-1.60
17HYD004	3,489,912	7,500,204	190.1	157.3	90.3	Matala kallioperä	Maaliskuu 2020	188.7	188.5	-0.20
17HYD006	3,489,607	7,498,030	190.7	160.7	91.6	Matala kallioperä	Maaliskuu 2018	185.4	185.8	0.43
17HYD008	3,488,494	7,497,684	189.1	158.6	86.9	Matala kallioperä	Maaliskuu 2018	183.4	184.9	1.51
17HYD013	3,488,959	7,496,061	182.7	153.4	-68.7	Matala kallioperä	Maaliskuu 2018	181.4	181.5	0.10
17HYD015	3,489,934	7,500,186	190.2	187.1	181.1	Maaperä	Maaliskuu 2018	188.8	188.5	-0.23
17HYD016	3,489,597	7,498,032	190.7	187.7	183.7	Maaperä	Maaliskuu 2018	185.4	185.9	0.50

TAULUKKO 4-3
Steady state -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet

Havaintoasema	Itä- koordinaatti (m)	Pohjois- koordinaatti (m)	Maan- pinnan korkeus- asema (m mpy)	Siiviläosuuden korkeusasema (m mpy)		Hydrogeologinen yksikkö	Pohjaveden pinnankorkeuden mittausajankohta	Mitattu pohjavesi- pinta (m mpy)	Mallinnettu pohjavesi- pinta (m mpy)	Mallin jäännösero (m)
				Yläpinta	Alapinta					
17HYD017	3,487,834	7,496,295	188.0	151.7	93.7	Matala kallioperä	Maaliskuu 2018	182.0	182.8	0.73
17HYD018	3,488,469	7,497,725	189.3	185.0	181.0	Maaperä	Maaliskuu 2018	183.7	185.1	1.37
17HYD020	3,490,009	7,499,416	191.3	187.3	183.3	Maaperä	Maaliskuu 2018	188.2	187.8	-0.44
17HYD023B	3,488,733	7,495,163	186.2	184.2	172.2	Maaperä	Maaliskuu 2019	184.7	184.7	-0.08
17MOS8198	3,488,740	7,495,158	186.1	153.6	63.6	Matala kallioperä	Maaliskuu 2019	184.8	183.4	-1.36
18HYD036	3,489,198	7,495,550	186.7	171.7	165.7	Matala kallioperä	Maaliskuu 2021	184.7	184.0	-0.95
18HYD040	3,488,534	7,494,684	186.7	162.7	156.7	Matala kallioperä	Maaliskuu 2021	184.6	184.9	0.37
18MOS8207	3,489,400	7,495,902	185.4	-98.6	-588.6	Syvä kallioperä	Maaliskuu 2020	185.2	185.0	-0.12
18MOS8227	3,487,811	7,494,748	185.4	135.4	-64.6	Syvä kallioperä	Maaliskuu 2021	181.8	182.9	1.03
18MOS8228	3,489,102	7,495,800	186.7	24.7	8.7	Syvä kallioperä	Maaliskuu 2020	182.8	182.9	0.02
18MOS8229	3,488,557	7,494,708	186.7	48.7	26.7	Syvä kallioperä	Maaliskuu 2020	184.4	184.4	-0.01
18MOS8232	3,487,479	7,493,522	183.1	163.1	117.6	Matala kallioperä	Maaliskuu 2020	182.0	182.5	0.50
GA400	3,490,031	7,496,168	190.5	185.5	183.5	Matala kallioperä	Maaliskuu 2020	187.5	188.8	1.06
GA402	3,490,016	7,495,050	186.7	175.7	173.7	Matala kallioperä	Maaliskuu 2021	186.7	187.0	0.22
GA403	3,489,329	7,494,844	186.0	171.0	169.0	Matala kallioperä	Maaliskuu 2021	186.0	185.9	-0.02
17HYD005	3,486,872	7,492,778	187.5	184.5	182.5	Maaperä	Maaliskuu 2020	187.6	187.1	-0.48
18HYD025	3,486,594	7,490,597	192.9	190.4	188.4	Maaperä	Maaliskuu 2020	192.4	192.4	0.06
18HYD027	3,488,989	7,490,751	194.3	192.0	190.0	Maaperä	Maaliskuu 2021	194.6	194.4	-0.31
18HYD028	3,486,369	7,491,695	193.5	189.8	187.8	Maaperä	Kesäkuu 2021	193.4	193.6	0.25
18HYD030	3,487,176	7,492,225	195.6	187.7	185.7	Maaperä	Huhtikuu 2020	191.4	193.9	2.46
18HYD033	3,487,929	7,491,219	200.0	194.9	192.9	Maaperä	Huhtikuu 2020	195.4	198.2	2.82
18KUU001	3,487,464	7,492,301	196.6	124.6	46.6	Syvä kallioperä	Huhtikuu 2020	191.7	193.8	2.10
18KUU003	3,488,012	7,491,630	216.7	193.7	156.7	Matala kallioperä	Huhtikuu 2020	208.6	206.3	-2.33
19KUU005	3,486,022	7,491,524	197.0	177.0	147.0	Matala kallioperä	Huhtikuu 2020	189.2	192.5	3.03
19KUU017	3,488,342	7,491,994	226.7	226.7	176.7	Matala kallioperä	Huhtikuu 2021	201.2	205.1	3.84
19KUU021	3,487,462	7,491,606	214.8	207.8	154.8	Matala kallioperä	Huhtikuu 2021	199.2	199.8	0.62

TAULUKKO 4-3

Steady state -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet

Havaintoasema	Itä- koordinaatti (m)	Pohjois- koordinaatti (m)	Maan- pinnan korkeus- asema (m mpy)	Siiviläosuuden korkeusasema (m mpy)		Hydrogeologinen yksikkö	Pohjaveden pinnankorkeuden mittausajankohta	Mitattu pohjavesi- pinta (m mpy)	Mallinnettu pohjavesi- pinta (m mpy)	Mallin jäännösero (m)
				Yläpinta	Alapinta					
19KUU022	3,487,468	7,491,834	210.7	130.7	110.7	Matala kallioperä	Huhtikuu 2021	194.5	198.1	4.79
20KUU024	3,487,457	7,492,474	192.2	172.2	2.2	Syvä kallioperä	Huhtikuu 2021	191.5	192.3	0.80
20KUU025	3,487,455	7,492,709	190.2	90.2	-9.8	Syvä kallioperä	Huhtikuu 2021	189.6	189.9	0.23
17HYD001	3,487,467	7,493,221	195.7	168.0	120.0	Matala kallioperä	Toukokuu 2017	195.7	195.5	-0.13
17HYD002	3,492,710	7,500,683	198.4	172.4	98.4	Matala kallioperä	Huhtikuu 2020	199.4	199.4	1.10
17HYD007	3,492,706	7,500,704	198.5	195.7	185.7	Maaperä	Huhtikuu 2020	199.2	199.2	0.72
17HYD009	3,488,700	7,497,492	188.3	185.7	181.7	Maaperä	Huhtikuu 2020	183.7	185.0	-0.51
17HYD010	3,488,301	7,496,974	188.4	187.0	185.0	Maaperä	Huhtikuu 2020	184.3	185.5	-0.71
17HYD012	3,493,737	7,503,711	208.1	203.8	200.3	Maaperä	Huhtikuu 2020	208.0	208.0	0.03
17HYD014	3,486,683	7,494,747	183.2	161.2	70.9	Matala kallioperä	Huhtikuu 2019	181.8	182.6	-0.62
17HYD019	3,490,206	7,499,792	189.7	188.5	182.5	Maaperä	Huhtikuu 2020	189.1	188.8	-0.36
18HYD026	3,487,568	7,490,638	195.7	192.9	190.9	Maaperä	Huhtikuu 2020	195.2	193.7	-1.58
18MOS8205	3,489,298	7,495,850	185.9	173.0	3.0	Matala kallioperä	Huhtikuu 2020	185.8	183.7	-2.11
19KUU020	3,487,418	7,491,640	211.7	161.7	156.7	Matala kallioperä	Huhtikuu 2020	196.7	199.2	2.51
GA104	3,489,083	7,494,682	185.5	183.5	181.5	Turve	Huhtikuu 2012	185.4	185.5	0.05
GA204	3,488,953	7,494,762	186.5	184.5	182.0	Maaperä	Huhtikuu 2012	185.4	185.2	-0.22
GA300	3,489,902	7,495,662	187.5	185.0	184.0	Maaperä	Huhtikuu 2012	186.2	187.2	0.70

Huomio:

1. Koordinaattijärjestelmä on KJ3

TAULUKKO 4-4

Steady state -virtausmallin kalibroinnin lasketut tilastolliset tunnusluvut

Steady state -mallin tilastolliset tunnusluvut	
Keskivirhe (m)	0.3
Absoluuttinen keskivirhe (m)	0.8
Neliöllinen keskivirhe (m)	1.2
Korkein mitattu pohjaveden pinnan taso (m mpy)	208.6
Matalin mitattu pohjaveden pinnan taso (m mpy)	181.4
Mitattujen pohjaveden pinnankorkeuksien vaihteluväli (m)	27.2
Normalisoitu neliöllinen keskivirhe (%)	4%
Korrelaatiokerroin (r^2)	0.99
Jäännöseron suurin arvo (m)	3.8
Jäännöseron pienin arvo (m)	-2.3
Havaintojen määrä	69

TAULUKKO 4-5
Transient -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet

Havaintoasema	Itä-koordinaatti (m)¹	Pohjois- koordinaatti (m)¹	Pohjaveden pinnankorkeus (m mpy)	Hydrogeologinen yksikkö
11MOS8049	3,489,500	7,495,950	185.4	Syvä kallioperä
13MOS8120	3,489,230	7,495,850	185.6	Syvä kallioperä
13MOS8125	3,489,240	7,495,550	187.2	Syvä kallioperä
16MOS8158	3,488,634	7,495,872	182.5	Syvä kallioperä
16MOS8160	3,489,493	7,495,998	186.2	Syvä kallioperä
16MOS8163	3,489,401	7,495,450	186.3	Syvä kallioperä
17HYD001	3,488,233	7,490,930	195.7	Matala kallioperä
17HYD002	3,492,710	7,500,683	198.4	Matala kallioperä
17HYD003	3,488,285	7,490,807	195.6	Maaperä
17HYD004	3,489,912	7,500,204	190.1	Matala kallioperä
17HYD005	3,486,872	7,492,778	187.5	Maaperä
17HYD006	3,489,607	7,498,030	190.7	Matala kallioperä
17HYD007	3,492,706	7,500,704	198.5	Maaperä
17HYD008	3,488,494	7,497,684	189.1	Matala kallioperä
17HYD009	3,488,700	7,497,492	188.3	Maaperä
17HYD010	3,488,301	7,496,974	188.4	Maaperä
17HYD011	3,481,069	7,505,428	216.8	Maaperä
17HYD012	3,493,737	7,503,711	208.1	Maaperä
17HYD013	3,488,959	7,496,061	182.7	Matala kallioperä
17HYD014	3,486,683	7,494,747	183.2	Matala kallioperä
17HYD015	3,489,934	7,500,186	190.2	Maaperä
17HYD016	3,489,597	7,498,032	190.7	Maaperä
17HYD017	3,487,834	7,496,295	188.0	Matala kallioperä
17HYD018	3,488,469	7,497,725	189.3	Maaperä
17HYD019	3,490,206	7,499,792	189.7	Maaperä
17HYD020	3,490,009	7,499,416	191.3	Maaperä
17HYD021	3,489,642	7,499,133	189.7	Maaperä

TAULUKKO 4-5
Transient -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet

Havaintoasema	Itä-koordinaatti (m)¹	Pohjois- koordinaatti (m)¹	Pohjaveden pinnankorkeus (m mpy)	Hydrogeologinen yksikkö
17HYD022	3,489,644	7,498,721	190.2	Maaperä
17HYD023B	3,488,733	7,495,163	186.2	Maaperä
17MOS8178	3,489,350	7,495,703	186.0	Syvä kallioperä
17MOS8183	3,489,900	7,495,796	188.1	Syvä kallioperä
17MOS8198	3,488,740	7,495,158	186.1	Matala kallioperä
18HYD024	3,489,347	7,495,838	187.9	Maaperä
18HYD025	3,486,594	7,490,597	192.9	Maaperä
18HYD027	3,488,989	7,490,751	194.3	Maaperä
18HYD028	3,486,369	7,491,695	193.5	Maaperä
18HYD030	3,487,176	7,492,225	195.6	Maaperä
18HYD033	3,487,929	7,491,219	200.0	Maaperä
18HYD035	3,489,199	7,495,546	186.8	Matala kallioperä
18HYD036	3,489,198	7,495,550	186.7	Matala kallioperä
18HYD037	3,489,196	7,495,554	186.8	Matala kallioperä
18HYD038	3,488,534	7,494,660	187.0	Matala kallioperä
18HYD039	3,488,534	7,494,670	186.7	Matala kallioperä
18HYD040	3,488,534	7,494,684	186.7	Matala kallioperä
18KUU001	3,487,464	7,492,301	196.6	Syvä kallioperä
18KUU002	3,487,398	7,491,488	205.6	Matala kallioperä
18KUU003	3,488,012	7,491,630	216.7	Matala kallioperä
18MOS8205	3,489,298	7,495,850	185.9	Matala kallioperä
18MOS8207	3,489,400	7,495,902	185.4	Syvä kallioperä
18MOS8227	3,487,811	7,494,748	185.4	Syvä kallioperä
18MOS8228	3,489,102	7,495,800	186.7	Syvä kallioperä
18MOS8229	3,488,557	7,494,708	186.7	Syvä kallioperä
18MOS8232	3,487,479	7,493,522	183.1	Matala kallioperä
19KUU005	3,486,022	7,491,524	197.0	Matala kallioperä

TAULUKKO 4-5
Transient -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet

Havaintoasema	Itä-koordinaatti (m)¹	Pohjois- koordinaatti (m)¹	Pohjaveden pinnankorkeus (m mpy)	Hydrogeologinen yksikkö
19KUU015	3,486,669	7,491,734	201.2	Matala kallioperä
19KUU017	3,488,342	7,491,994	226.7	Matala kallioperä
19KUU019	3,488,803	7,492,230	226.2	Matala kallioperä
19KUU021	3,487,462	7,491,606	214.8	Matala kallioperä
19KUU022	3,487,468	7,491,834	210.7	Matala kallioperä
19KUU023	3,487,425	7,492,047	200.5	Matala kallioperä
20HYD045	3,489,130	7,491,445	196.5	Matala kallioperä
20KUU024	3,487,457	7,492,474	192.2	Syvä kallioperä
20KUU025	3,487,455	7,492,708	190.2	Syvä kallioperä
20MOS8245	3,487,543	7,494,463	184.6	Syvä kallioperä
20MOS8246	3,487,468	7,494,011	183.6	Syvä kallioperä
20MOS8247	3,487,476	7,493,572	184.6	Syvä kallioperä
20HYD042	3,489,466	7,496,479	187.1	Matala kallioperä
20HYD045	3,489,130	7,491,445	196.5	Syvä kallioperä
20GT028	3,488,222	7,491,067	198.7	Maaperä
20GT030	3,489,021	7,492,001	211.0	Maaperä
20GT031	3,488,837	7,491,551	199.4	Maaperä
20GT036	3,487,024	7,490,962	197.8	Maaperä
21HYD046	3,487,472	7,493,542	183.7	Maaperä
21HYD047	3,487,465	7,493,543	183.9	Matala kallioperä
21KUU026	3,487,471	7,493,221	187.6	Syvä kallioperä
21MOS8264	3,487,479	7,493,797	185.2	Syvä kallioperä
GA101	3,490,657	7,495,272	187.2	Turve
GA102	3,490,019	7,495,056	186.7	Turve
GA103	3,489,344	7,494,882	185.0	Turve
GA104	3,489,083	7,494,682	185.5	Turve
GA200	3,489,519	7,496,606	187.0	Maaperä

TAULUKKO 4-5
Transient -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet

Havaintoasema	Itä-koordinaatti (m)¹	Pohjois- koordinaatti (m)¹	Pohjaveden pinnankorkeus (m mpy)	Hydrogeologinen yksikkö
GA201	3,489,834	7,496,186	187.5	Maaperä
GA202	3,489,776	7,495,403	186.6	Maaperä
GA203	3,489,033	7,495,716	187.5	Maaperä
GA204	3,488,953	7,494,762	186.5	Maaperä
GA205	3,488,408	7,494,872	187.8	Maaperä
GA300	3,489,902	7,495,662	187.5	Maaperä
GA301	3,490,661	7,495,260	187.2	Maaperä
GA302	3,490,014	7,495,054	186.6	Maaperä
GA303	3,489,310	7,494,800	186.1	Maaperä
GA304	3,488,954	7,494,748	186.5	Maaperä
GA305	3,489,034	7,495,720	187.4	Maaperä
GA400	3,490,031	7,496,168	190.5	Matala kallioperä
GA401	3,490,663	7,495,268	187.2	Matala kallioperä
GA402	3,490,016	7,495,050	186.7	Matala kallioperä
GA403	3,489,329	7,494,844	186.0	Matala kallioperä
GA404	3,488,412	7,494,864	188.4	Matala kallioperä
GA405	3,489,035	7,495,723	187.4	Matala kallioperä

Huomio:

1. Koordinaattijärjestelmä on KKJ3

TAULUKKO 4-6

Yhteenveto transient -virtausmallin kalibroinnin lasketuista tilastollisista tunnusluvuista

Lasketut tunnusluvut	Heinäkuu 2012	Tammikuu 2013	Heinäkuu 2013	Tammikuu 2014	Heinäkuu 2014	Tammikuu 2015	Heinäkuu 2015	Tammikuu 2016
Keskivirhe (m)	0.19	0.07	0.03	-0.15	0.12	0.04	0.15	0.16
Absoluuttinen keskivirhe (m)	0.41	0.40	0.43	0.33	0.47	0.41	0.45	0.49
Neliöllinen keskivirhe (m)	0.53	0.54	0.55	0.40	0.61	0.54	0.58	0.64
Normalisoitu neliöllinen keskivirhe (%)	12%	13%	14%	8%	15%	12%	14%	15%
Korrelaatiokerroin (r2)	96%	98%	93%	99%	96%	98%	96%	98%
Alin mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	183.2	183.3	183.4	182.6	183.3	183.0	183.2	183.3
Korkein mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	187.5	187.4	187.4	187.4	187.4	187.4	187.5	187.5
Mitattujen pohjaveden pinnan korkeuksien vaihteluväli (m)	4.3	4.1	4.0	4.8	4.1	4.4	4.2	4.2
Pohjaveden pinnan korkeuden mittaushavaintojen määrä	21	17	21	17	17	17	17	17

TAULUKKO 4-6

Yhteenveto transient -virtausmallin kalibroinnin lasketuista tilastollisista tunnusluvuista

Lasketut tunnusluvut	Heinäkuu 2016	Tammikuu 2017	Heinäkuu 2017	Tammikuu 2018	Heinäkuu 2018	Tammikuu 2019	Heinäkuu 2019	Tammikuu 2020
Keskivirhe (m)	0.18	0.09	-0.01	0.13	0.24	-0.01	0.25	0.31
Absoluuttinen keskivirhe (m)	0.46	0.45	0.53	0.61	0.57	0.45	0.55	0.75
Neliöllinen keskivirhe (m)	0.62	0.60	0.72	0.77	0.75	0.59	0.70	1.41
Normalisoitu neliöllinen keskivirhe (%)	16%	14%	5%	11%	9%	10%	9%	5%
Korrelaatiokerroin (r2)	97%	98%	92%	84%	86%	91%	88%	92%
Alin mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	183.6	183.2	181.4	181.3	180.6	181.4	181.1	180.9
Korkein mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	187.5	187.4	195.7	188.4	189.4	187.3	188.8	209.1
Mitattujen pohjaveden pinnan korkeuksien vaihteluväli (m)	3.9	4.3	14.2	7.1	8.8	5.9	7.7	28.2
Pohjaveden pinnan korkeuden mittaushavaintojen määrä	17	17	30	28	35	26	28	45

TAULUKKO 4-6

Yhteenveto transient -virtausmallin kalibroinnin lasketuista tilastollisista tunnusluvuista

Lasketut tunnusluvut	Heinäkuu 2020	Tammikuu 2021	Heinäkuu 2021	Tammikuu 2022	Heinäkuu 2022	Tammikuu 2023	Heinäkuu 2023
Keskivirhe (m)	-0.02	0.16	0.60	0.69	0.85	0.57	0.60
Absoluuttinen keskivirhe (m)	1.00	0.82	1.00	1.19	1.19	1.08	1.08
Neliöllinen keskivirhe (m)	1.55	1.41	2.06	2.49	2.53	1.96	2.14
Normalisoitu neliöllinen keskivirhe (%)	5%	5%	7%	7%	8%	7%	7%
Korrelaatiokerroin (r2)	94%	95%	86%	88%	92%	94%	92%
Alin mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	181.0	181.1	181.1	181.5	181.5	181.6	181.6
Korkein mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	211.4	211.3	212.4	218.0	214.5	210.9	212.2
Mitattujen pohjaveden pinnan korkeuksien vaihteluväli (m)	30.4	30.2	31.3	36.5	33.0	29.4	30.5
Pohjaveden pinnan korkeuden mittaushavaintojen määrä	51	58	66	72	66	55	55

TAULUKKO 5-1

Yhteenveto simuloituista malliskenaarioista

Malliskenaario	Vinotunnelin tiivistysvyvyys (m mpa)	Vinotunnelin tiivistämisen- tehokkuus (%)	Ruhjeiden tiivistämisen- tehokkuus (%)	Täytön veden- johtavuus K (m/s)	Huomio
65% tiivistyskenaario	150	65	65	1.0×10^{-7}	

TAULUKKO 5-2

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m³/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
0.00	0.0	0.0	0	0
0.08	4.8	0.0	3,360	0
0.16	14.9	0.0	14,435	0
0.25	30.6	0.0	36,483	0
0.33	42.4	0.0	68,022	0
0.42	52.8	0.0	106,025	0
0.50	58.9	0.0	149,879	0
0.58	64.0	0.0	197,468	0
0.67	68.6	0.0	246,890	0
0.75	73.3	0.0	301,425	0
0.84	78.0	0.0	357,571	0
0.92	76.0	0.0	414,084	0
1.00	74.2	0.0	469,296	0
1.09	73.6	0.0	518,781	0
1.16	74.9	0.0	574,472	0
1.25	75.2	0.0	628,638	0
1.33	74.9	1.5	684,359	1,151
1.42	79.1	0.2	741,336	1,284
1.50	80.7	0.0	801,407	1,284
1.58	82.8	0.0	863,047	1,284
1.67	86.6	0.0	925,384	1,284
1.75	92.0	0.0	993,860	1,298
1.84	92.4	0.6	1,060,365	1,695
1.92	97.5	0.1	1,132,890	1,764
2.00	99.1	0.0	1,206,637	1,764
2.09	108.3	0.0	1,279,421	1,764
2.16	108.8	0.0	1,360,401	1,764
2.25	111.0	0.0	1,440,314	1,764
2.33	112.8	3.0	1,524,246	4,021
2.42	113.7	0.7	1,606,095	4,521
2.50	118.4	0.0	1,694,210	4,521
2.58	109.4	0.0	1,775,587	4,521
2.67	110.9	0.0	1,855,437	4,521
2.75	106.3	0.5	1,934,530	4,857

TAULUKKO 5-2

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m³/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
2.84	103.8	1.5	2,009,255	5,937
2.92	108.8	0.5	2,090,182	6,286
3.00	106.4	0.0	2,169,312	6,293
3.09	107.1	0.0	2,241,261	6,293
3.16	106.8	0.0	2,320,722	6,293
3.25	107.2	0.2	2,397,941	6,401
3.33	109.7	4.8	2,479,551	9,935
3.42	107.0	1.4	2,556,607	10,960
3.50	106.6	0.1	2,635,928	11,014
3.58	108.1	0.0	2,716,343	11,014
3.67	107.5	0.0	2,793,732	11,046
3.75	109.5	1.3	2,875,206	12,028
3.84	113.8	2.7	2,957,174	13,984
3.92	118.9	1.1	3,045,663	14,792
4.00	117.0	0.2	3,132,741	14,931
4.09	113.4	0.0	3,211,652	14,957
4.17	115.5	0.1	3,297,609	15,023
4.25	111.5	0.7	3,377,896	15,505
4.33	113.0	6.4	3,461,935	20,235
4.42	111.7	2.6	3,542,365	22,100
4.50	110.8	0.4	3,624,829	22,423
4.59	111.8	0.1	3,708,003	22,523
4.67	111.7	0.4	3,788,421	22,816
4.75	112.6	2.7	3,872,184	24,859
4.84	112.1	4.0	3,952,901	27,767
4.92	109.3	2.2	4,034,251	29,394
5.01	109.0	0.7	4,115,378	29,945
5.09	108.1	0.4	4,188,025	30,208
5.17	108.9	0.6	4,269,038	30,639
5.25	107.2	1.6	4,346,225	31,815
5.33	110.8	9.3	4,428,679	38,722
5.42	111.8	4.2	4,509,177	41,728
5.50	108.7	1.2	4,590,045	42,643
5.59	106.3	0.7	4,669,151	43,184

TAULUKKO 5-2

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
5.67	104.4	1.4	4,744,319	44,174
5.75	104.3	5.4	4,821,929	48,170
5.84	105.7	7.9	4,898,044	53,822
5.92	107.6	5.0	4,978,136	57,564
6.01	106.9	2.0	5,057,698	59,069
6.09	106.0	1.2	5,128,931	59,906
6.17	105.3	1.7	5,207,291	61,183
6.25	103.2	4.2	5,281,580	64,198
6.33	103.4	14.9	5,358,495	75,290
6.42	104.1	9.2	5,433,438	81,917
6.50	103.9	4.3	5,510,772	85,134
6.59	103.1	3.1	5,587,510	87,438
6.67	101.8	4.7	5,660,804	90,795
6.75	102.6	10.1	5,737,174	98,300
6.84	102.3	12.7	5,810,843	107,420
6.92	103.2	9.7	5,887,619	114,652
7.01	103.9	6.3	5,964,889	119,373
7.09	102.6	5.0	6,033,827	122,725
7.17	101.2	5.5	6,109,107	126,845
7.25	100.6	8.1	6,181,540	132,683
7.33	101.4	19.1	6,257,014	146,856
7.42	100.9	13.2	6,329,647	156,336
7.50	100.6	8.2	6,404,474	162,412
7.59	100.3	6.8	6,479,077	167,462
7.67	99.4	8.3	6,550,677	173,423
7.75	99.7	13.5	6,624,860	183,479
7.84	99.9	14.9	6,696,791	194,213
7.92	99.5	12.1	6,770,792	203,194
8.01	99.9	8.8	6,845,096	209,754
8.09	101.0	7.6	6,915,380	215,026
8.17	99.0	8.0	6,989,063	221,000
8.25	98.2	10.4	7,059,802	228,503
8.34	99.9	21.4	7,134,096	244,421
8.42	100.0	15.2	7,206,068	255,344

TAULUKKO 5-2

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
8.50	99.8	10.0	7,280,353	262,809
8.59	98.3	8.7	7,353,474	269,313
8.67	97.9	9.8	7,423,932	276,393
8.76	98.3	15.1	7,497,040	287,612
8.84	97.9	17.7	7,567,561	300,389
8.92	97.8	14.4	7,640,317	311,130
9.01	97.2	10.7	7,712,609	319,125
9.09	96.8	9.5	7,777,659	325,509
9.17	96.6	9.9	7,849,552	332,878
9.25	96.8	12.4	7,919,243	341,782
9.34	98.7	24.1	7,992,711	359,697
9.42	99.7	17.7	8,064,529	372,420
9.50	99.3	12.1	8,138,405	381,453
9.59	99.1	10.6	8,212,099	389,355
9.67	98.8	12.3	8,283,209	398,217
9.76	99.6	17.9	8,357,279	411,569
9.84	99.7	20.1	8,429,094	426,044
9.92	100.9	16.8	8,504,152	438,546
10.01	101.5	13.1	8,579,682	448,277
10.09	101.0	11.5	8,647,549	456,016
10.17	102.0	12.1	8,723,457	464,981
10.25	102.8	14.1	8,797,499	475,163
10.34	103.6	25.9	8,874,596	494,451
10.42	104.1	19.5	8,949,550	508,497
10.50	104.1	14.2	9,027,000	519,096
10.59	103.9	12.5	9,104,308	528,427
10.67	103.1	13.8	9,178,524	538,396
10.76	103.4	19.5	9,255,451	552,904
10.84	103.6	22.1	9,330,045	568,813
10.92	103.9	18.7	9,407,344	582,742
11.01	104.2	15.0	9,484,838	593,895
11.09	104.3	13.5	9,554,896	602,942
11.17	104.4	14.0	9,632,546	613,343
11.25	105.1	16.4	9,708,211	625,124

TAULUKKO 5-2

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
11.34	106.7	30.2	9,787,617	647,571
11.42	107.7	22.7	9,865,176	663,900
11.50	107.8	17.0	9,945,408	676,523
11.59	109.1	15.2	10,026,561	687,857
11.67	109.9	16.6	10,105,689	699,803
11.76	110.9	22.3	10,188,170	716,419
11.84	111.9	24.8	10,268,719	734,266
11.92	111.8	21.4	10,351,888	750,156
12.01	111.4	17.2	10,434,773	762,972
12.09	111.2	15.5	10,512,191	773,751
12.17	111.6	15.9	10,595,250	785,602
12.26	111.9	18.5	10,675,789	798,952
12.34	113.9	31.1	10,760,503	822,125
12.42	113.9	24.2	10,842,531	839,528
12.51	113.3	18.1	10,926,798	852,991
12.59	112.7	15.4	11,010,641	864,430
12.68	112.7	16.8	11,091,812	876,553
12.76	113.2	22.7	11,176,043	893,405
12.84	113.6	25.2	11,257,870	911,555
12.93	113.5	21.8	11,342,335	927,746
13.01	113.1	17.7	11,426,477	940,915
13.10	112.5	16.0	11,502,094	951,644
13.17	112.3	16.4	11,585,659	963,871
13.26	112.4	19.1	11,666,603	977,611
13.34	113.6	31.6	11,751,098	1,001,115
13.42	113.5	24.7	11,832,812	1,018,899
13.51	113.0	18.7	11,916,886	1,032,793
13.59	112.5	16.9	12,000,611	1,045,385
13.68	112.2	18.3	12,081,417	1,058,570
13.76	112.5	24.2	12,165,110	1,076,563
13.84	112.8	26.7	12,246,329	1,095,808
13.93	112.7	23.3	12,330,170	1,113,174
14.01	112.4	19.3	12,413,802	1,127,499
14.10	112.0	17.6	12,489,055	1,139,323

TAULUKKO 5-2

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m³/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
14.17	111.7	18.1	12,572,170	1,152,762
14.26	111.7	20.7	12,652,623	1,167,660
14.34	112.9	33.3	12,736,623	1,192,441
14.42	112.8	26.5	12,817,873	1,211,524
14.51	112.4	20.4	12,901,479	1,226,733
14.59	112.1	18.7	12,984,861	1,240,661
14.68	112.0	20.1	13,065,494	1,255,097
14.76	112.3	25.9	13,149,080	1,274,401
14.84	112.6	28.6	13,230,123	1,294,972
14.93	112.4	25.2	13,313,722	1,313,705
15.01	111.9	21.1	13,396,964	1,329,397
15.10	111.4	19.4	13,471,798	1,342,465
15.17	111.5	19.9	13,554,726	1,357,289
15.26	111.6	22.5	13,635,065	1,373,498
15.34	112.9	35.2	13,719,056	1,399,659
15.42	113.0	28.5	13,800,401	1,420,155
15.51	112.6	22.4	13,884,155	1,436,818
15.59	112.1	20.7	13,967,531	1,452,209
15.68	111.8	22.0	14,048,032	1,468,061
15.76	112.1	27.9	14,131,444	1,488,782
15.84	112.5	30.6	14,212,410	1,510,787
15.93	112.3	27.1	14,295,971	1,530,977
16.01	111.9	23.1	14,379,203	1,548,138
16.10	111.4	21.4	14,456,734	1,563,047
16.18	111.1	21.9	14,539,397	1,579,329
16.26	111.2	24.5	14,619,429	1,596,960
16.34	112.4	37.2	14,703,023	1,624,615
16.43	112.3	30.5	14,783,884	1,646,572
16.51	111.8	24.4	14,867,088	1,664,741
16.59	111.3	22.7	14,949,906	1,681,617
16.68	111.1	24.0	15,029,890	1,698,921
16.76	111.4	29.8	15,112,782	1,721,111
16.85	111.8	32.6	15,193,280	1,744,565
16.93	111.7	29.2	15,276,387	1,766,259

TAULUKKO 5-2

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m³/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
17.01	111.3	25.1	15,359,230	1,784,961
17.10	110.9	23.4	15,433,732	1,800,708
17.18	110.6	23.9	15,516,016	1,818,474
17.26	110.7	26.5	15,595,717	1,837,566
17.34	111.9	39.2	15,678,971	1,866,722
17.43	111.9	32.5	15,759,515	1,890,146
17.51	111.4	26.5	15,842,424	1,909,884
17.59	110.9	24.8	15,924,952	1,928,298
17.68	110.7	26.0	16,004,646	1,947,027
17.76	111.2	31.9	16,087,369	1,970,726
17.85	111.6	34.6	16,167,703	1,995,665
17.93	111.5	31.2	16,250,626	2,018,903
18.01	111.0	27.2	16,333,247	2,039,136
18.10	110.6	25.5	16,407,539	2,056,258
18.18	110.3	25.9	16,489,586	2,075,537
18.26	110.3	28.5	16,569,033	2,096,081
18.34	111.3	41.1	16,651,870	2,126,678
18.43	111.3	34.4	16,732,018	2,151,455
18.51	110.8	28.3	16,814,477	2,172,523
18.59	110.3	26.5	16,896,541	2,192,273
18.68	110.1	27.8	16,975,788	2,212,322
18.76	110.4	33.6	17,057,961	2,237,330
18.85	110.8	36.6	17,137,772	2,263,655
18.93	110.8	33.1	17,220,190	2,288,315
19.01	110.4	29.1	17,302,303	2,310,000
19.10	109.9	27.4	17,376,163	2,328,426
19.18	109.7	27.8	17,457,758	2,349,125
19.26	109.8	30.5	17,536,782	2,371,067
19.34	111.0	43.2	17,619,340	2,403,214
19.43	111.0	36.6	17,699,235	2,429,536
19.51	110.5	30.5	17,781,456	2,452,247
19.59	110.0	28.7	17,863,304	2,473,565
19.68	109.8	29.9	17,942,331	2,495,084
19.76	110.1	35.6	18,024,261	2,521,602

TAULUKKO 5-2

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m³/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
19.85	110.5	38.5	18,103,828	2,549,331
19.93	110.4	35.1	18,185,977	2,575,455
20.01	110.0	31.1	18,267,817	2,598,577
20.10	109.5	29.2	18,344,054	2,618,933
20.18	109.3	29.6	18,425,358	2,640,970
20.26	109.4	32.3	18,504,100	2,664,202
20.35	110.5	45.0	18,586,341	2,697,713
20.43	110.5	38.3	18,665,935	2,725,310
20.51	110.1	32.3	18,747,829	2,749,314
20.60	109.5	30.3	18,829,324	2,771,854
20.68	109.3	31.5	18,908,016	2,794,555
20.76	109.7	37.3	18,989,610	2,822,303
20.85	110.1	40.1	19,068,864	2,851,208
20.93	110.0	36.8	19,150,698	2,878,565
21.02	109.6	32.8	19,232,228	2,902,935
21.10	109.1	30.6	19,305,562	2,923,501
21.18	108.9	30.8	19,386,579	2,946,419
21.26	109.0	33.3	19,465,040	2,970,401
21.35	110.1	45.9	19,546,975	3,004,563
21.43	110.1	39.0	19,626,265	3,032,619
21.51	109.6	32.8	19,707,843	3,057,038
21.60	109.1	30.7	19,789,028	3,079,844
21.68	108.9	31.8	19,867,432	3,102,710
21.76	109.3	37.4	19,948,731	3,130,511
21.85	109.7	40.1	20,027,711	3,159,386
21.93	109.6	36.6	20,109,273	3,186,595
22.02	109.2	32.5	20,190,536	3,210,750
22.10	108.8	30.4	20,263,635	3,231,196
22.18	108.5	30.7	20,344,390	3,254,002
22.26	108.6	33.2	20,422,610	3,277,900
22.35	109.8	45.8	20,504,291	3,312,000
22.43	109.8	38.9	20,583,350	3,340,005
22.51	109.3	32.8	20,664,692	3,364,377
22.60	108.8	30.6	20,745,650	3,387,150

TAULUKKO 5-2

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa, jossa on mukana NE satelliittiesiintymä

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
22.68	108.6	31.7	20,823,832	3,409,974
22.76	109.0	37.3	20,904,909	3,437,735
22.85	109.4	40.1	20,983,673	3,466,574
22.93	109.3	36.5	21,065,014	3,493,748
23.02	108.9	32.4	21,146,056	3,517,863
23.10	108.5	30.4	21,218,958	3,538,283
23.18	108.3	30.6	21,299,496	3,561,056
23.26	108.3	33.2	21,377,503	3,584,927
23.35	109.4	45.8	21,458,922	3,618,965
23.43	109.5	38.8	21,537,736	3,646,931
23.51	109.0	32.7	21,618,841	3,671,272
23.60	108.5	30.6	21,699,566	3,694,014
23.68	108.3	31.7	21,777,530	3,716,805
23.76	108.7	37.3	21,858,385	3,744,537
23.85	109.1	40.0	21,936,946	3,773,346
23.93	109.1	36.5	22,018,081	3,800,493

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
0.00	0.0	0.0	0	0
0.08	4.8	0.0	3,360	0
0.16	14.9	0.0	14,435	0
0.25	30.6	0.0	36,483	0
0.33	42.4	0.0	68,022	0
0.42	52.8	0.0	106,025	0
0.50	58.9	0.0	149,879	0
0.58	64.0	0.0	197,468	0
0.67	68.6	0.0	246,890	0
0.75	73.3	0.0	301,425	0
0.84	78.0	0.0	357,571	0
0.92	76.0	0.0	414,084	0
1.00	74.2	0.0	469,296	0
1.09	73.6	0.0	518,781	0
1.16	74.9	0.0	574,472	0
1.25	75.2	0.0	628,638	0
1.33	74.9	1.5	684,359	1,151
1.42	79.1	0.2	741,336	1,284
1.50	80.7	0.0	801,407	1,284
1.58	82.8	0.0	863,047	1,284
1.67	86.6	0.0	925,384	1,284
1.75	92.0	0.0	993,860	1,298
1.84	92.4	0.6	1,060,365	1,695
1.92	97.5	0.1	1,132,890	1,764
2.00	99.1	0.0	1,206,637	1,764
2.09	108.3	0.0	1,279,421	1,764
2.16	108.8	0.0	1,360,401	1,764
2.25	111.0	0.0	1,440,314	1,764
2.33	112.8	3.0	1,524,246	4,021
2.42	113.7	0.7	1,606,095	4,521
2.50	118.4	0.0	1,694,210	4,521
2.58	109.4	0.0	1,775,587	4,521
2.67	110.9	0.0	1,855,437	4,521

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää

Vuosisia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
2.75	106.3	0.5	1,934,530	4,857
2.84	103.8	1.5	2,009,255	5,937
2.92	108.8	0.5	2,090,182	6,286
3.00	106.4	0.0	2,169,312	6,293
3.09	107.1	0.0	2,241,261	6,293
3.16	106.8	0.0	2,320,722	6,293
3.25	107.2	0.2	2,397,941	6,401
3.33	109.7	4.8	2,479,551	9,935
3.42	107.0	1.4	2,556,607	10,960
3.50	106.6	0.1	2,635,928	11,014
3.58	108.1	0.0	2,716,343	11,014
3.67	107.5	0.0	2,793,732	11,046
3.75	109.5	1.3	2,875,206	12,028
3.84	113.8	2.7	2,957,174	13,984
3.92	118.9	1.1	3,045,663	14,792
4.00	117.0	0.2	3,132,741	14,931
4.09	113.4	0.0	3,211,652	14,957
4.17	115.5	0.1	3,297,609	15,023
4.25	111.5	0.7	3,377,896	15,505
4.33	113.0	6.4	3,461,935	20,235
4.42	111.7	2.6	3,542,365	22,100
4.50	110.8	0.4	3,624,829	22,423
4.59	111.8	0.1	3,708,003	22,523
4.67	111.7	0.4	3,788,421	22,816
4.75	112.6	2.7	3,872,184	24,859
4.84	112.1	4.0	3,952,901	27,767
4.92	109.3	2.2	4,034,251	29,394
5.01	109.0	0.7	4,115,378	29,945
5.09	108.1	0.4	4,188,025	30,208
5.17	108.9	0.6	4,269,038	30,639
5.25	107.2	1.6	4,346,225	31,815
5.33	110.8	9.3	4,428,679	38,722
5.42	111.8	4.2	4,509,177	41,728

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
5.50	108.7	1.2	4,590,045	42,643
5.59	106.3	0.7	4,669,151	43,184
5.67	104.4	1.4	4,744,319	44,174
5.75	104.3	5.4	4,821,929	48,170
5.84	105.7	7.9	4,898,044	53,822
5.92	107.6	5.0	4,978,136	57,564
6.01	106.9	2.0	5,057,698	59,069
6.09	106.0	1.2	5,128,931	59,906
6.17	105.3	1.7	5,207,291	61,183
6.25	103.2	4.2	5,281,580	64,198
6.33	103.4	14.9	5,358,495	75,290
6.42	104.1	9.2	5,433,438	81,917
6.50	103.9	4.3	5,510,772	85,134
6.59	103.1	3.1	5,587,510	87,438
6.67	101.8	4.7	5,660,804	90,795
6.75	102.6	10.1	5,737,174	98,300
6.84	102.3	12.7	5,810,843	107,420
6.92	103.2	9.7	5,887,619	114,652
7.01	103.9	6.3	5,964,889	119,373
7.09	102.6	5.0	6,033,827	122,725
7.17	101.2	5.5	6,109,107	126,845
7.25	100.6	8.1	6,181,540	132,683
7.33	101.4	19.1	6,257,014	146,856
7.42	100.9	13.2	6,329,647	156,336
7.50	100.6	8.2	6,404,474	162,412
7.59	100.3	6.8	6,479,077	167,462
7.67	99.4	8.3	6,550,677	173,423
7.75	99.7	13.5	6,624,860	183,479
7.84	99.9	14.9	6,696,791	194,213
7.92	99.5	12.1	6,770,792	203,194
8.01	99.9	8.8	6,845,096	209,754
8.09	101.0	7.6	6,915,380	215,026
8.17	99.0	8.0	6,989,063	221,000

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
8.25	98.2	10.4	7,059,802	228,503
8.34	99.9	21.4	7,134,096	244,421
8.42	100.0	15.2	7,206,068	255,344
8.50	99.8	10.0	7,280,353	262,809
8.59	98.3	8.7	7,353,474	269,313
8.67	97.9	9.8	7,423,932	276,393
8.76	98.3	15.1	7,497,040	287,612
8.84	97.9	17.7	7,567,561	300,389
8.92	97.8	14.4	7,640,317	311,130
9.01	97.2	10.7	7,712,609	319,125
9.09	96.8	9.5	7,777,648	325,509
9.17	96.6	9.9	7,849,493	332,878
9.25	96.6	12.4	7,919,060	341,782
9.34	98.3	24.1	7,992,194	359,697
9.42	98.7	17.7	8,063,273	372,420
9.50	98.1	12.1	8,136,248	381,453
9.59	97.1	10.6	8,208,515	389,355
9.67	96.5	12.3	8,278,006	398,217
9.76	96.8	17.9	8,350,057	411,566
9.84	96.7	20.1	8,419,716	426,041
9.92	96.4	16.8	8,491,435	438,543
10.01	95.8	13.1	8,562,742	448,274
10.09	95.2	11.5	8,626,739	456,013
10.17	94.9	12.1	8,697,368	464,978
10.25	95.0	14.1	8,765,790	475,160
10.34	96.3	25.9	8,837,429	494,448
10.42	96.2	19.5	8,906,674	508,494
10.50	95.5	14.2	8,977,755	519,093
10.59	94.9	12.5	9,048,380	528,424
10.67	94.6	13.8	9,116,520	538,393
10.76	94.9	19.5	9,187,148	552,901
10.84	95.3	22.1	9,255,753	568,810
10.92	95.1	18.7	9,326,471	582,739

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m³/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
11.01	94.5	15.0	9,396,789	593,892
11.09	94.0	13.5	9,459,949	602,939
11.17	93.7	14.0	9,529,668	613,340
11.25	93.7	16.4	9,597,143	625,121
11.34	94.9	30.2	9,667,719	647,568
11.42	94.8	22.7	9,735,953	663,897
11.50	94.2	17.0	9,806,075	676,520
11.59	93.7	15.2	9,875,761	687,854
11.67	93.4	16.6	9,942,996	699,800
11.76	93.7	22.3	10,012,714	716,416
11.84	94.0	24.8	10,080,382	734,263
11.92	93.8	21.4	10,150,180	750,153
12.01	93.4	17.2	10,219,644	762,969
12.09	92.8	15.5	10,284,251	773,748
12.17	92.5	15.9	10,353,096	785,599
12.26	92.6	18.5	10,419,766	798,949
12.34	93.8	31.1	10,489,555	822,122
12.42	93.7	24.2	10,556,992	839,525
12.51	93.0	18.1	10,626,207	852,988
12.59	92.5	15.4	10,695,061	864,427
12.68	92.4	16.8	10,761,608	876,550
12.76	93.0	22.7	10,830,770	893,402
12.84	93.4	25.2	10,898,017	911,552
12.93	93.3	21.8	10,967,457	927,743
13.01	93.0	17.7	11,036,618	940,912
13.10	92.4	16.0	11,098,707	951,641
13.17	92.2	16.4	11,167,315	963,868
13.26	92.3	19.1	11,233,799	977,608
13.34	93.5	31.6	11,303,382	1,001,112
13.42	93.5	24.7	11,370,680	1,018,896
13.51	93.0	18.7	11,439,898	1,032,790
13.59	92.6	16.9	11,508,791	1,045,382
13.68	92.3	18.3	11,575,265	1,058,567

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
13.76	92.6	24.2	11,644,156	1,076,560
13.84	92.9	26.7	11,711,071	1,095,805
13.93	92.9	23.3	11,780,155	1,113,174
14.01	92.6	19.3	11,849,035	1,127,499
14.10	92.2	17.6	11,911,005	1,139,323
14.17	92.0	18.1	11,979,421	1,152,762
14.26	92.0	20.7	12,045,670	1,167,660
14.34	93.2	33.3	12,114,984	1,192,441
14.42	93.1	26.5	12,182,027	1,211,524
14.51	92.7	20.4	12,250,971	1,226,730
14.59	92.4	18.7	12,319,704	1,240,658
14.68	92.3	20.1	12,386,184	1,255,106
14.76	92.7	25.9	12,455,157	1,274,410
14.84	92.9	28.6	12,522,062	1,294,981
14.93	92.7	25.2	12,591,063	1,313,714
15.01	92.3	21.1	12,659,716	1,329,406
15.10	91.8	19.4	12,721,381	1,342,474
15.17	91.5	19.9	12,789,447	1,357,298
15.26	91.5	22.5	12,855,352	1,373,507
15.34	92.7	35.2	12,924,324	1,399,668
15.42	92.7	28.5	12,991,036	1,420,164
15.51	92.3	22.4	13,059,671	1,436,827
15.59	91.8	20.7	13,127,940	1,452,218
15.68	91.5	22.0	13,193,830	1,468,070
15.76	91.8	27.9	13,262,152	1,488,790
15.84	92.2	30.6	13,328,510	1,510,795
15.93	92.0	27.1	13,396,979	1,530,986
16.01	91.6	23.1	13,465,129	1,548,147
16.10	91.1	21.4	13,528,564	1,563,056
16.18	90.9	21.9	13,596,164	1,579,337
16.26	90.9	24.5	13,661,630	1,596,968
16.34	92.1	37.2	13,730,161	1,624,624
16.43	92.1	30.5	13,796,451	1,646,581

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
16.51	91.6	24.4	13,864,603	1,664,750
16.59	91.1	22.7	13,932,382	1,681,626
16.68	90.9	24.0	13,997,818	1,698,930
16.76	91.2	29.8	14,065,689	1,721,120
16.85	91.6	32.6	14,131,656	1,744,574
16.93	91.5	29.2	14,199,751	1,766,268
17.01	91.2	25.1	14,267,610	1,784,970
17.10	90.8	23.4	14,328,607	1,800,717
17.18	90.5	23.9	14,395,950	1,818,483
17.26	90.6	26.5	14,461,194	1,837,575
17.34	91.8	39.2	14,529,496	1,866,731
17.43	91.8	32.5	14,595,562	1,890,155
17.51	91.3	26.5	14,663,508	1,909,892
17.59	90.8	24.8	14,731,078	1,928,306
17.68	90.6	26.0	14,796,307	1,947,035
17.76	91.1	31.9	14,864,086	1,970,735
17.85	91.5	34.6	14,929,960	1,995,674
17.93	91.4	31.2	14,997,940	2,018,912
18.01	91.0	27.2	15,065,629	2,039,145
18.10	90.5	25.5	15,126,440	2,056,267
18.18	90.2	25.9	15,193,573	2,075,546
18.26	90.3	28.5	15,258,587	2,096,093
18.34	91.3	41.1	15,326,510	2,126,690
18.43	91.3	34.4	15,392,224	2,151,467
18.51	90.8	28.3	15,459,772	2,172,535
18.59	90.3	26.5	15,526,935	2,192,285
18.68	90.1	27.8	15,591,772	2,212,334
18.76	90.4	33.6	15,659,056	2,237,342
18.85	90.8	36.6	15,724,454	2,263,667
18.93	90.8	33.1	15,791,975	2,288,327
19.01	90.4	29.1	15,859,197	2,310,012
19.10	89.9	27.4	15,919,616	2,328,438
19.18	89.7	27.8	15,986,335	2,349,137

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
19.26	89.8	30.5	16,050,965	2,371,079
19.34	91.0	43.2	16,118,646	2,403,226
19.43	91.0	36.6	16,184,143	2,429,548
19.51	90.5	30.5	16,251,491	2,452,259
19.59	90.0	28.7	16,318,469	2,473,577
19.68	89.8	29.9	16,383,117	2,495,096
19.76	90.1	35.6	16,450,188	2,521,614
19.85	90.5	38.5	16,515,374	2,549,343
19.93	90.4	35.1	16,582,664	2,575,466
20.01	90.0	31.1	16,649,652	2,598,589
20.10	89.6	29.2	16,712,003	2,618,944
20.18	89.3	29.6	16,778,470	2,640,982
20.26	89.4	32.3	16,842,856	2,664,214
20.35	90.6	45.0	16,910,258	2,697,725
20.43	90.6	38.3	16,975,486	2,725,322
20.51	90.1	32.3	17,042,545	2,749,326
20.60	89.6	30.3	17,109,208	2,771,866
20.68	89.4	31.5	17,173,553	2,794,567
20.76	89.7	37.3	17,240,323	2,822,315
20.85	90.1	40.1	17,305,227	2,851,220
20.93	90.1	36.8	17,372,234	2,878,577
21.02	89.7	32.8	17,438,941	2,902,946
21.10	89.2	30.6	17,498,895	2,923,512
21.18	89.0	30.8	17,565,099	2,946,431
21.26	89.1	33.3	17,629,233	2,970,413
21.35	90.2	45.9	17,696,351	3,004,575
21.43	90.2	39.0	17,761,304	3,032,631
21.51	89.7	32.8	17,828,069	3,057,049
21.60	89.2	30.7	17,894,448	3,079,856
21.68	89.0	31.8	17,958,529	3,102,722
21.76	89.4	37.4	18,025,030	3,130,523
21.85	89.8	40.1	18,089,684	3,159,398
21.93	89.7	36.6	18,156,447	3,186,607

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista kokonaismääristä malliskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	Maanalainen kaivos	Louhos	Maanalainen kaivos	Louhos
22.02	89.3	32.5	18,222,909	3,210,762
22.10	88.9	30.4	18,282,650	3,231,207
22.18	88.7	30.7	18,348,621	3,254,014
22.26	88.8	33.2	18,412,533	3,277,912
22.35	89.9	45.8	18,479,428	3,312,012
22.43	89.9	38.9	18,544,175	3,340,017
22.51	89.5	32.8	18,610,732	3,364,389
22.60	88.9	30.6	18,676,907	3,387,162
22.68	88.7	31.7	18,740,794	3,409,986
22.76	89.1	37.3	18,807,093	3,437,746
22.85	89.5	40.1	18,871,557	3,466,585
22.93	89.5	36.5	18,938,121	3,493,760
23.02	89.1	32.4	19,004,387	3,517,875
23.10	88.6	30.4	19,063,951	3,538,295
23.18	88.4	30.6	19,129,725	3,561,068
23.26	88.5	33.2	19,193,448	3,584,939
23.35	89.6	45.8	19,260,095	3,618,977
23.43	89.6	38.8	19,324,618	3,646,946
23.51	89.2	32.7	19,390,953	3,671,287
23.60	88.7	30.6	19,456,918	3,694,029
23.68	88.4	31.7	19,520,601	3,716,820
23.76	88.8	37.3	19,586,695	3,744,552
23.85	89.3	40.0	19,650,973	3,773,361
23.93	89.2	36.5	19,717,347	3,800,508

TAULUKKO 7-1
Yhteenveto mallin keskeisistä parametreista ja epävarmuuksista

Kohta	Muuttuja	Merkitys / Vaikutus	Aineistolähde	Aineiston vaihe	Aineiston luotettavuus	Aineiston luotettavuuden parantaminen	Malliennusteen mahdollinen epävarmuus
1	Geologisten yksiköiden K_h ja K_v	1. Mallin kalibrointi pohjavesipintoihin 2. Mallinnetut vuotovesimäärät 3. Mallinnetut alenemat	AASM Oy:n toimittamat, laajaan hydrauliseen testausohjelmaan perustuvat vedenjohtavuusarvot (K)	1.AASM Oy on suorittanut kattavan hydraulisen testausohjelman, johon on sisällytynyt vesihävikki-, pumppaus-, paineilma- ja alenevan painekorkeuden testejä. 2.Vedenjohtavuusarvoja (K) on saatavilla kallioperän eri kivilajityksille eri syvyyksiltä. 3. Vedenjohtavuusarvoaineisto (K) on keskittynyt suunnitellun maanalaisen kaivoksen alueelle ja sen lähistöön.	Korkea	Tärylankapietsometrien mittaamien paineaineistojen kerääminen kallioperästä	+/- 25%
2	Ruhjeiden K_h ja K_v	1. Mallin kalibrointi pohjavesipintoihin 2. Mallinnetut vuotovesimäärät 3. Mallinnetut alenemat	AASM Oy:n toimittamat maanalaisen kaivoksen alueen ruhjeiden vedenjohtavuusarvot	1. Vedenjohtavuusarvoja (K) on saatavilla paikallisista ruhjevyyhykkeistä. 2. Vedenjohtavuusarvoja (K) ei tunneta alueellisista ruhjeista.	Keskitasoinen	1. Maanalaista kaivosta tai rakenteita leikkaavien ruhjeiden tarkempi kuvaaminen. 2. Kalliopohjaveden havaintoasemien asentaminen kaivostoiminnan aikaista seurantaa varten.	+/- 25%
3	Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet	Mallin kalibrointi	AASM Oy:n toimittamat pohjaveden pinnankorkeudet matalassa pohjavesivyyhykkeessä	AASM Oy on mitannut pohjaveden pinnankorkeuksia kaivostoimintojen alueella vuodesta 2012 lähtien. Seurannan tarkoituksena on ollut selvittää vuodenaikavaihtelun vaikutusta pohjaveden muodostumiseen ja pinnantasoihin matalan vyyhykkeen hydrogeologisissa yksiköissä.	Korkea	1. Pohjaveden pinnankorkeuden seurantaa jatketaan. 2. Turpeen vesipintojen korkeuden seurantaa jatketaan. 3. Tarvittaessa seurantaverkostoa laajennetaan.	+/- 10%
4	Mitatut kalliopohjaveden pinnankorkeudet	Mallin kalibrointi	AASM Oy:n toimittamat pohjaveden pinnankorkeudet havaintoasemilla	1. AASM Oy on asentanut havaintokaivoja pääasiassa rikkonaiseen kallioon ja joitakin havaintokaivoja ehjään kallioon. 2. Aineisto v. 2017 asennetuista tärylankapietsometreista (VWP) yli 200 m mpa syvyydestä on epävarmaa. 3. Aineisto uudemmmasta VWP-verkosta on validoinnissa.	Keskitasoinen	Aineiston kerääminen kaivoksen maanalaisten tilojen ja vinotunneleiden alueelle asennetuista tärylankapietsometreista.	+/- 10%
5	Pohjaveden muodostuminen ja ilmastoteijät	Pohjavesipintojen kalibrointi mallissa	AASM Oy on toimittanut arviot pohjaveden muodostumisesta tämän hetken tilanteesta ja tulevaisuuden aikaväleille	1. Pohjaveden muodostumista on arvioitu MIKE SHE -mallinnuksen perusteella. 2. Malli on herkkä tulevaisuuden aikajaksoille annetuille pohjaveden muodostumisen arvoille.	Keskitasoinen	1. Jatkoselvitykset ilmastomuutoksen vaikutuksista pohjaveden muodostumiseen. 2. Jatkoselvitykset aleneman vaikutuksesta pohjaveden muodostumiseen maanalaisen kaivoksen lähialueella.	+/-20%

TAULUKKO 7-2
Yhteenveto herkkyystarkasteluista

Tarkas- teltava muut- tuja	Skenaarion nimi	Simuloitu pohjaveden muodostuminen	Simuloidut <i>K</i> -arvot	Vinotunne- leiden injektointi- syvyys (m mpa)	Vinotunne- leiden injektointi- tehokkuus (%)	Ruhjeiden injektointi- tehokkuus (%)	Kaivostäytön <i>K</i> -arvo	Huomio
Injektointitehokkuus	65% Injektointitehokkuus	Kuva 5-1	Taulukko 4-1	150	65	65	1.0 x 10 ⁻⁷	Perustilaskenaario kuten luvussa 5
	80% Injektointitehokkuus	Kuva 5-1	Taulukko 4-1		80	80		
	50% Injektointitehokkuus	Kuva 5-1	Taulukko 4-1		50	50		
Ilmasto	RCP2.6	RCP2.6; Kuva 3-23/3-24	Taulukko 4-1		65	65		
	RCP4.5	RCP4.5; Kuva 3-23/3-24	Taulukko 4-1		65	65		
	RCP8.5	RCP8.5; Kuva 3-23/3-24	Taulukko 4-1		65	65		
Vedenjohtavuus (<i>K</i>)	60 prosenttipistettä mitatuista kallioperän <i>K</i> -arvoista	Kuva 5-1	Taulukko 4-1; Kallioperä kuten kuvassa 6-3		65	65		Kaikki kallioperän <i>K</i> -arvot 60 prosenttipistettä
	40 prosenttipistettä mitatuista kallioperän <i>K</i> -arvoista	Kuva 5-1	Taulukko 4-1; Kallioperä kuten kuvassa 6-3		65	65		Kaikki kallioperän <i>K</i> -arvot 40 prosenttipistettä
	Pumppauskokeiden <i>K</i> -arvot	Kuva 5-1	Taulukko 4-1; Rapautuneen kallion ja savisen rapauman <i>K</i> - arvot korkeammat		65	65		Rapautuneen kallion ja savisen rapauman vedenjohtavuudet 10- kertaiset

Huomio:

1. Oranssilla fontilla olevat kohdat viittaavat muuttujiin, joita on muutettu verrattuna perustilaskenaarioon

LIITE A

***MIKE SHE* -mallin lähtötiedot ja kalibrointi**



LIITE A

1.0 JOHDANTO

Liitteessä A käsitellään kaivostoimintojen alueelle laaditun *MIKE SHE* -mallin rakennetta, malliin syötettyjä muuttujia sekä kalibrointia. Raportin luvuissa 2.0 ja 3.0 on esitetty *MIKE SHE* -malliin liittyvät tiedot sekä kuvaus mallin pohjana käytetystä käsitteellisestä mallista. Alla on kuvattu *MIKE SHE* -mallin rakennetta, mukaan lukien mallinnusaluetta ja hilaverkkoa, reunaehtoja, annetut muuttujat sekä mallin kalibrointia pohjaveden pinnantasoihin ja lumensyvyysaineistoon. *MIKE SHE* -malli ja pohjaveden virtausmalli (MINEDW-malli) laadittiin toisiinsa kytkettynä.

2.0 MALLIN RAKENNE JA ANNETUT MUUTTUJAT

Sakatin kaivoshanke sijoittuu alueelle, jossa on tyypillisesti pitkät talvet, joiden aikana kertyy paljon lunta. Erityisesti alluviaalisten kerrostumien ja matalien akviferien hallitsemilla alueilla pohjavettä muodostuu pääasiassa lumen sulaessa kevättulvan aikana. Kesä- ja syyskuukausien aikana pohjavettä muodostuu myös suoraan sadannasta. *MIKE SHE* -malli laadittiin kaivostoimintojen alueelle, jotta voitiin arvioida matalan vyöhykkeen pohjaveden muodostumisen vuodenaikaisvaihtelua. *MIKE SHE* -malli käyttää meteorologisia muuttujia, maankäyttöä ja topografiaa pohjaveden pinnankorkeuksien, lumen kertymisen, pohjaveden virtauksen ja pintavalunnan vuodenaikaisvaihtelun ennustamiseen.

2.1 MALLINNUSALUE

Kuvassa A-1 esitetään hydrologisen tutkimusalueen raja, joka on myös raportin luvussa 4.0 esitetyn pohjaveden virtausmallinnusalueen raja, sekä *MIKE SHE* -mallin raja. Seuraavassa on esitetty yhteenveto mallinnusalueesta:

1. *MIKE SHE* -mallin mallinnusalue kattaa pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän alueet kokonaisuudessaan, osan suosta ja sen yläpuolisista alueista sekä Kuusivaaran alueen. Mallinnusalueen laajuus on noin 36 km².
2. *MIKE SHE* -mallin mallinnusaluetta laajennettiin alkuperäisestä, vuoden 2023 selvityksestä (ITASCA 2023). Mallinnusaluetta laajennettiin, jotta se kattaisi koko maanalaisen kaivostoiminnan alueen sekä maanpäällisten toimintojen alueen.
3. *MIKE SHE* -mallin mallinnusalue on pienempi kuin HTA ja tämän työn yhteydessä laadittu pohjaveden virtausmallin alue. Pienempää mallinnusaluetta käytettiin, jotta voitiin keskittyä arvioimaan pohjaveden muodostumismäärää kaivostoiminnan keskeisimmillä alueilla.

2.2 MALLIN RAKENNE

MIKE SHE -mallinnuksessa käytettiin pintavalunnan (OL), kyllästymättömän vyöhykkeen (UZ) ja kyllästyneen vyöhykkeen (SZ) moduuleja (DHI 2017). OL laskettiin hyödyntämällä Saint-Venantin yhtälöitä ja diffuusioaalto menetelmää (diffusive wave approximation). UZ laskettiin gravity flow -menetelmällä (DHI 2017). SZ laskettiin 3D-Darcyn yhtälöllä (DHI 2017). *MIKE SHE* -moduulit toimivat yhdessä ennustaessaan pohjaveden pinnankorkeutta matalassa vyöhykkeessä, pohjaveden pinnankorkeuden nousua ja laskua kevät sulannan ja talven aikana sekä pohjaveden purkautumista maanpinnalle pintavalunnaksi.

Appendix A

Mallin laskentaverkon tiheys on tasainen x-y -suunnassa ja vaihteleva z-suunnassa. Hilaverkon tiheys x-y -suunnassa on 75 metriä (m). Pystysuunnassa *MIKE SHE* -mallin hilaverkon tiheys on sama kuin pohjaveden virtausmallissa ja se vaihtelee 2–10 metrin välillä. Molemmissa malleissa käytettiin samaa pystysuuntaista hilaverkkoa, jotta molempiin oli mahdollista syöttää sama lähtötietojoukko. Pystysuunnassa käytettiin tiheämpää hilaverkkoa, jotta hydrogeologisten yksiköiden pystysuuntaista vaihtelevuutta saatiin kuvattua paremmin.

Kuvassa A-1 on esitetty *MIKE SHE* -mallin reunaehdot, jotka on määritelty seuraavasti:

1. Kitinen määritettiin vakiovedenpinnan reunaehdoksi. Vakiovedenpinnan reunaehdolle annettu korkeus perustuu Kitisen mitattuun pinnankorkeusaineistoon.
2. Mallinnusalueella sijaitsevat pintavedet määritettiin vakiovedenpinnan reunaehdoksi. Vakiovedenpinnan reunaehdolle annettu korkeus perustuu maanpinnan korkeuteen.
3. Mallin eteläreuna määritettiin kaukaisen pintavesiyhteyden reunaehdoksi (general head boundary), jossa pohjaveden pinnankorkeudet reunaehdon kohdalla määritettiin *MINEDW*-virtausmallin tilanteessa, jossa kaivostointia ei vielä ollut aloitettu. Kaukaisen pintavesiyhteyden reunaehto sallii virtauksen sisään ja ulos mallista hydrogeologisten yksiköiden hydraulisten ominaisuuksien sekä laskennallisen pohjaveden pinnankorkeuden perusteella.
4. Muut reuna-alueet määritettiin ei virtausta -reunaehdoiksi.

2.3 MALLIN LÄHTÖTIEDOT

Mallin ensisijaiset lähtötiedot käsittävät hydrogeologiset yksiköt ja hydrauliset ominaisuudet, meteorologiset muuttujat (sadanta, lämpötila, potentiaalinen haihdunta) ja kasvillisuuden ominaisuudet (maankäyttö, lehtialaindeksi (LAI) ja juurten ulottuvuus). Alla on esitetty yhteenveto mallin tärkeimmistä muuttujista.

2.3.1 Hydrogeologiset yksiköt

MIKE SHE -mallissa käytettiin samaa geologista aineistoa kuin *MINEDW* -virtausmallissa, joka on kuvattu raportin luvussa 4.0. Geologinen aineisto perustuu AASM Oy:n toimittamiin matalan, rakoilevan ja ehjän kallioperän geologisiin malleihin. Hydrogeologisten yksiköiden kalibroidut hydrauliset parametrit ovat samat kuin *MINEDW* -virtausmallissa ja ne on esitetty raportin taulukossa 4-1. Matalan vyöhykkeen kalibroidut hydrauliset parametrit perustuvat *MINEDW* -virtausmallilla kalibroituun pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihteluun. Syvän vyöhykkeen hydrogeologisten yksiköiden hydrauliset ominaisuudet perustuvat vesihävikikokeissa mitattuun aineistoon.

Kyllästymättömän vyöhykkeen laskenta perustuu pintamaalajeihin, jotka on esitetty raportin kuvassa 3-1. Kyllästymättömän vyöhykkeen muuttujat perustuvat UNSODA-maaperäluokkiin (unsaturated soil hydraulic database) (Nemes et al. 2015). Lajittuneet kerrostumat määritettiin UNSODA-maaperäluokkien mukaisesti hiekaksi, moreeni silttiseksi saveksi ja turve turpeeksi.

2.3.2 Meteorologiset havainnot

MIKE SHE -malliin syötettiin sadannan, lämpötilan ja potentiaalisen haihdunnan keskeisimmät meteorologiset havainnot. Nämä muuttujat vaikuttavat eniten pohjaveden pinnankorkeuden muutoksiin, pohjaveden muodostumiseen, haihduntaan sekä sadannan tyyppiin (vesisade, lumi ja lumen kertymä). Raportissa on esitetty kuvia ja kuvaus mitatusta sadannasta ja lämpötilasta ja seuraavassa on esitetty yhteenveto näistä:

1. Kuvassa 3-15c on esitetty mitattu päivittäinen sademäärä kesäkuun 2011 syyskuun 2023 välisenä aikana. Kuvassa on esitetty jäljempänä kuvatuissa numeerisissa malleissa käytetty osa-aineisto vuorokautisista

Appendix A

sademäärästä keskeiseltä mittausväliltä. Mitatut päivittäiset sademäärät vaihtelevat välillä 0–45 mm. Suurin osa päivittäin mitatuista sademäärästä vaihtelee kuitenkin välillä 0–10 mm.

2. Kuvassa 3-17 on esitetty Sodankylän Tähtelän aseman päivittäiset mitatut lämpötilat vuosina 2011-2023. Kaivostoimintojen alueella lämpötilat ovat kausiluonteisia talvi- ja kesäkuukausina. Kesäisin lämpötila vaihtelee 10–25 astetta celsiusta (°C), ja vastaavasti 0 – -35 °C talvisin. Kausiluonteinen lämpötila vaikuttaa lumen kertymiseen, lumen sulamiseen ja pohjaveden muodostumiseen.

Kuvassa A-2 on esitetty suhteellinen ilmankosteus, päivittäiset arviot potentiaalisesta haihdunnasta sekä laskennalliset potentiaalisen haihdunnan arvot. Kuvassa esitetyt kausittaiset kosteustiedot ovat AFRYn (2021) arvioimia kuukausikeskiarvoja Sodankylän Tähtelän sääasemalta. Kausittaista kosteusaineistoa käytettiin aikaisemmassa *MIKE SHE* -mallissa (ITASCA 2023). Potentiaalinen haihdunta perustuu Romanenkon yhtälöön (1961), joka laskee potentiaalista haihduntaa suhteellisen ilmankosteuden, sadannan ja lämpötilan perusteella. Romanenkon yhtälössä käytetään suhteellisen ilmankosteuden pitkänajan keskiarvoa potentiaalisen haihdunnan arvioimiseen. Seuraavassa on esitetty yhteenveto potentiaalisesta haihdunnasta ja keskimääräisestä kosteusaineistosta:

1. Keskimääräisestä kosteusaineistosta on nähtävissä vuodenaikaisvaihtelu, joka on kesän 72 % ja talven 93 % välillä.
2. Arvioitu potentiaalisen haihdunnan vuodenaikaisvaihtelu on seuraava
 - a. Potentiaalinen haihdunta vaihtelee keväällä, kesällä ja syksyllä välillä 1,4–4 mm/vrk.
 - b. Potentiaalinen haihdunta vaihtelee talvella välillä 0–0,5 mm/vrk.
3. Laskennalliset potentiaalisen haihdunnan arvot sovitettiin arvioituun päivittäiseen haihduntaan, jotta saatiin tuotettua arvioidun päivittäisen haihdunnan sovitettu käyrä.

2.3.3 Maankäyttö mallinnusalueella

Kuvassa A-3 on esitetty HTA:n maankäyttöluokat. Maankäyttöaineisto perustuu MODIS-satelliittihavaintoihin (The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (2022). Jokaiselle kasvillisuustypille määritettiin juuriston syvyys sekä LAI (lehtialaindeksi). Taulukossa A-1 on esitetty yhteenveto laskennallisesta juuriston syvyydestä ja taulukossa A-4 kuukausittainen laskennallinen LAI. AASM Oy:n aikaisemman analyysin perusteella LAI:n arvioitiin vaihtelevan vuodenaikojen mukaan. Seuraavassa on esitetty yhteenveto laskennallisesta juuriston syvyydestä ja LAI:sta:

1. **Kastelemattomat maat, vesi:** Nämä maankäyttötyypit simuloitiin ilman LAI:ta tai juuriston syvyyttä.
2. **Leveälehtiset:** LAI sai arvoja välillä 0,5–6,5 mm/vrk ja juuriston syvyys arvon 2500 mm.
3. **Sekametsät:** LAI sai arvoja väliltä 0,5–3,9 mm/vrk ja juuriston syvyys arvon 2500 mm.
4. **Havumetsät:** LAI sai arvoja väliltä 0,5–3,0 mm/vrk ja juuriston syvyys arvon 2500 mm.
5. **Vaihettumisvyöhyke:** LAI sai arvoja väliltä 0,5–4,25 mm/vrk ja juuriston syvyys arvon 2500 mm.
6. **Turve, suot:** LAI sai arvoja väliltä 0,5–1,75 mm/vrk ja juuriston syvyys arvon 200 mm.

LAI:lle annettuja arvoja ja potentiaalisen haihdunnan arvoja käytettiin ennustamaan haihduntaa *MIKE SHE* -mallinnusalueella. Eri maankäyttöluokkien juuriston syvyyden arvoja vaihdeltiin kohtuullisesti, jotta mitatut ja mallinnetut pohjaveden pinnankorkeudet saatiin vastaamaan toisiaan paremmin.

2.4 MALLIN KALIBROINTI

2.4.1 Mallin kalibrointimenetelmä

MIKE SHE- ja *MINEDW* -mallien kalibrointi oli iteratiivinen prosessi. Mallin kalibrointi tehtiin seuraavasti:

1. *MINEDW* -mallia, alustavia hydrogeologisia yksiköitä ja hydraulisia ominaisuuksia käytettiin steady state -tilanteen pohjaveden pinnankorkeuden määrittelymiseen.
2. Hydrogeologiset vyöhykkeet ja alustava steady state -tilanteen pohjaveden pinnankorkeudet syötettiin *MIKE SHE* -malliin.
3. *MIKE SHE* -mallilla arvioitiin pohjaveden muodostumista moreenissa, lajittuneissa kerrostumissa ja turpeessa.
4. *MIKE SHE* -mallista saadut pohjaveden muodostumistiedot syötettiin *MINEDW* -virtausmalliin.
5. *MINEDW* -virtausmalli uudelleenkalibroitiin mitattuihin pohjaveden pinnankorkeuksiin säätämällä hydrogeologisia yksiköitä ja hydraulisia ominaisuuksia.
6. Vaiheet 1–5 iteratiivisessa prosessissa toistettiin niin kauan, kunnes mitattujen ja mallinnettujen pohjaveden pinnankorkeuksien vastaavuus on riittävä sekä *MIKE SHE*- että *MINEDW* -mallissa.

Molemmissa malleissa käytettiin samaa kalibrointiajanjaksoa kesäkuusta 2011 syyskuuhun 2023.

2.4.2 Mallin kalibrointi

Liitteessä B on esitetty yhteenveto mitattujen ja mallinnettujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajista *MIKE SHE*- ja *MINEDW* -malleissa. Kuten pohjaveden pinnankorkeuden kuvaajista voidaan nähdä, molemmat mallit ovat hyvin kalibroituja pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihteluun HTA:lla. Seuraavassa on esitetty yhteenveto transient-mallin kalibroinnista:

1. Malli on hyvin kalibroitu pohjaveden mitattuihin pinnankorkeuksiin maanalaisen kaivoksen lähellä, vinotunnelin alueella, maanpäällisten kaivostoimintojen ja tarvekilouhoksen lähellä sekä suolla.
2. Hydrologisella tutkimusalueella pohjaveden virtausmalli on hyvin kalibroitu pohjaveden mitattuihin pinnankorkeuksiin maaperän pohjavesissä, rikkonaisessa kallioperässä ja ehjässä kallioperässä.
3. Kuusivaaran alueella pohjaveden virtausmalli on hyvin kalibroitu mitattuihin pohjaveden pinnankorkeuksiin sekä alueilla, joilla pohjaveden vuodenaikaisvaihtelu on pientä (alle 1 m), että alueilla, joilla vuodenaikaisvaihtelu on suurta (yli 10 m).
4. Verrattuna *MINEDW* -malliin, *MIKE SHE* -malli toistaa pohjaveden pinnankorkeuden lyhytaikaista vaihtelua (päivistä viikkoihin), kun taas *MINEDW* -malli kuvaa yleistä vaihtelua kuukausitasolla. Joissakin kohteissa pohjaveden pinnankorkeus vaihtelee enemmän *MIKE SHE* -mallissa kuin *MINEDW* -mallissa.

MIKE SHE -malli kalibroitiin pohjaveden pinnankorkeuksien lisäksi kahdelta havaintoasemalta saatuihin lumen vesiarvoihin (kuva 3-14). Kuvassa A-5 on esitetty mitattu ja mallinnettu lumen vesiarvo Viiankiaavan ja Sodankylän Tähtelän havaintoasemilla. Kuten kuvasta voidaan nähdä, *MIKE SHE* -malli on hyvin kalibroitu mitattuun lumen vesiarvoon koko kalibrointiajanjaksolla.

3.0 ENNUSTE MENNEESTÄ JA TULEVASTA POHJAVEDEN MUODOSTUMISESTA

Kalibroidulla *MIKE SHE* -mallilla laadittiin ennuste pohjaveden muodostumisesta *MINEDW* -mallille kalibrointiajanjaksolle (2011–2023) sekä ennuste pohjaveden muodostumisesta tulevaisuudessa ilmastoskenaarioille. Ennustettu pohjaveden muodostuminen esitetään pääraportissa, mutta tässä esitetään yhteenveto.

3.1 Pohjaveden muodostumisen ennustaminen pohjaveden virtausmallin kalibroinnin aikana

Kuvassa 3-20 on esitetty *MIKE SHE* -mallilla lasketut päivittäiset pohjaveden muodostumismäärät (negatiiviset arvot) ja purkautumismäärät (positiiviset arvot) kesäkuusta 2011 syyskuuhun 2023. Positiiviset arvot kuvaavat pohjaveden purkautumista pintavesiin ja negatiiviset arvot kuvaavat pohjaveden muodostumista. Muodostumismäärät on arvioitu maaperän pohjaveden kolmelle erillisille hydrogeologiselle yksikölle: lajittuneille kerrostumille, moreenille ja turpeelle. Seuraavassa on esitetty yhteenveto *MIKE SHE* -mallilla arvioiduista pohjaveden muodostumismääristä:

1. **Turve:** Pohjaveden arvioitu päivittäinen purkautumismäärä vaihtelee välillä 0–9 mm ja muodostumismäärä 0–27 mm. Keskimääräinen pohjaveden muodostumismäärä turpeessa on noin 16 % mitatusta vuosittaisesta sademäärästä.
2. **Lajittuneet kerrostumat:** Pohjaveden arvioitu päivittäinen purkautumismäärä vaihtelee välillä 0–14 mm ja muodostumismäärä 0–23 mm. Keskimääräinen pohjaveden muodostumismäärä lajittuneissa sedimenteissä on noin 25 % mitatusta vuosittaisesta sademäärästä.
3. **Moreeni:** Pohjaveden arvioitu päivittäinen purkautumismäärä vaihtelee välillä 0–7 mm ja muodostumismäärä 0–29 mm. Keskimääräinen pohjaveden muodostumismäärä moreenissa on noin 28 % mitatusta vuosittaisesta sademäärästä.

3.2 Pohjaveden muodostumisen ennustaminen ilmastomuutoskenaarioissa

MIKE SHE -mallia käytettiin ennustamaan pohjaveden muodostumismääriä tulevaisuudessa ilmastoskenaarioissa. Kuvassa 3-23 on esitetty ennustetut vuotuiset sadannat ja ennustettu vuotuinen pohjaveden muodostuminen moreenissa, lajittuneissa sedimenteissä ja turpeessa. Seuraavassa on esitetty *MIKE SHE* -mallin tulosten perusteella yhteenveto mahdollisista muutoksista pohjaveden muodostumisessa ilmastoskenaarioissa:

1. Lajittuneissa sedimenteissä pohjavettä muodostuu vuosittain noin 85–235 mm. Ajan myötä pohjaveden muodostuminen lajittuneissa sedimenteissä lisääntyy hieman. Tämä johtuu todennäköisesti lumipeitteen kasvusta ja sadannan lisääntymisestä.
2. Moreenissa pohjavettä muodostuu vuosittain noin 80–235 mm. Ajan myötä pohjaveden muodostuminen moreenissa lisääntyy hieman. Tämä johtuu todennäköisesti lumipeitteen kasvusta ja sadannan lisääntymisestä.
3. Turpeessa pohjavettä muodostuu vuosittain noin 5–185 mm. Pohjaveden muodostumismäärissä turpeessa on paljon suurempaa vaihtelua kuin muiden hydrogeologisten yksiköiden muodostumismäärissä. Verrattuna nykyiseen ilmastoon, ajan myötä pohjaveden muodostuminen turpeessa vähenee hieman RCP2.6- ja RCP4.5 -skenaarioissa ja lisääntyy RCP8.5 -skenaariossa. *MIKE SHE* -mallin perusteella turpeen vesitase (muodostuminen ja purkautuminen) on edelleen nettoposiitiivinen, kun vettä kertyy sateista.

4.0 VIITTEET

AFRY. 2021. An estimate of future potential evaporation in Sodankylä area using climate scenario data. AFRYn laatima tekninen muistio Sakatti-hankkeelle, lokakuu.

DHI. 2017. *MIKE SHE user manual. Volume 2: Reference guide*. Hørsholm, Denmark: DHI.

ITASCA. 2023. Prediction of drawdown and groundwater inflow rates over the life of the Sakatti Project. Report prepared by ITASCA Denver for Anglo American Sakatti Mining Oy, March.

Appendix A

MODIS. 2022. Data for *MIKE SHE* model including plant cover and evaporation. Viitattu 2021. <https://modis.gsfc.nasa.gov/>.

Nemes, A., M. Schaap, F.J. Leij, J. Wösten, and M. Henk. 2015. UNSODA 2.0: Unsaturated soil hydraulic database. Database and program for indirect methods of estimating unsaturated hydraulic properties. U.S. Salinity Laboratory - ARS - USDA. Dataset. <https://doi.org/10.15482/USDA.ADC/1173246>.

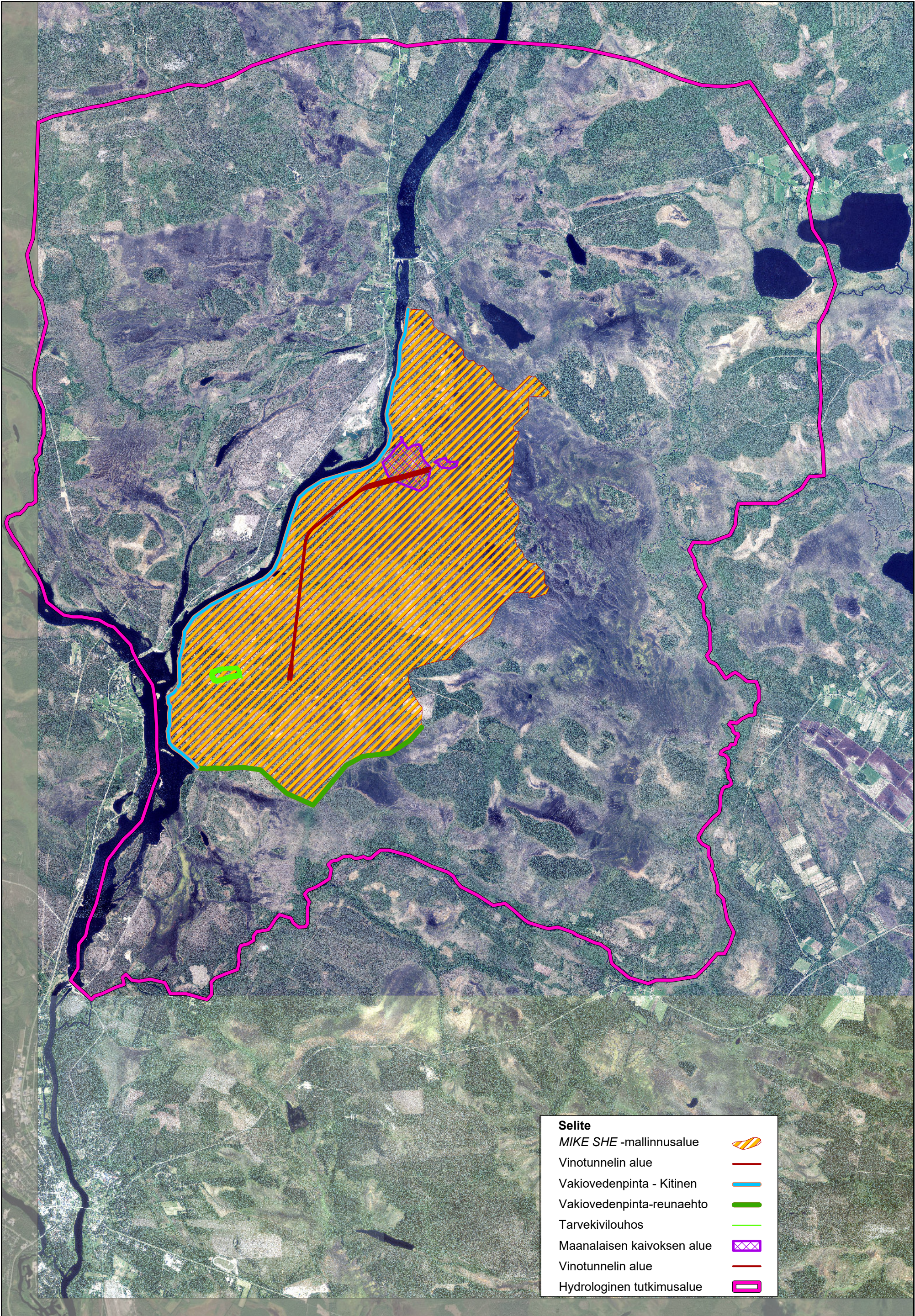
Romanenko, V.A. 1961. Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. Ukrainian Hydrometeorological Research Institute, Kiev, No. 3.

Liitteet:

- Kuva A-1 – *MIKE SHE* -mallin mallinnusalue ja mallin raja
- Kuva A-2 – *MIKE SHE* -mallissa käytetty ilmankosteus ja referenssihaihdunta
- Kuva A-3 – Maankäyttö *MIKE SHE* -mallin mallinnusalueella
- Kuva A-4 – *MIKE SHE* -mallia varten arvioitu lehtialaindeksi (LAI)
- Kuva A-5 – Mitattu ja ennustettu lumen vesiarvo
- Taulukko A-1 – Yhteenveto arvioiduista kuivumisrajoista

Yhteenveto arvioituista kuivumisrajoista

Maankäyttö	Kuivumisraja (mm)
Leveälehtiset	2 500
Sekametsät	
Havumetsät	
Vaihtettumisvyöhyke	
Turve/suo	200



Selite	
MIKE SHE -mallinnusalue	
Vinotunnelin alue	
Vakiovedenpinta - Kitinen	
Vakiovedenpinta-reunaehto	
Tarvekilouhos	
Maanalaisen kaivoksen alue	
Vinotunnelin alue	
Hydrologinen tutkimusalue	

N

010002000

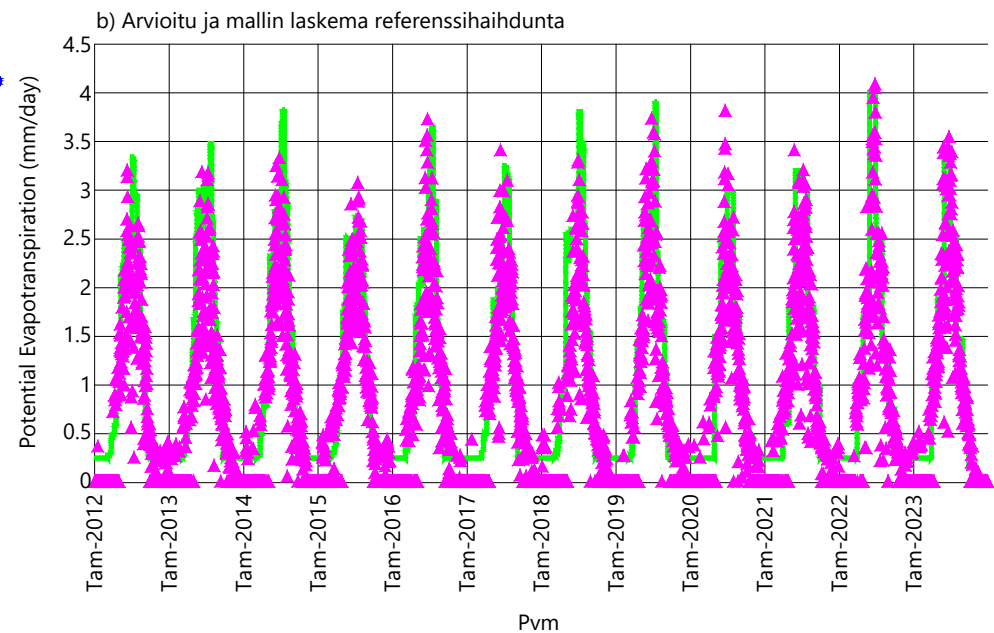
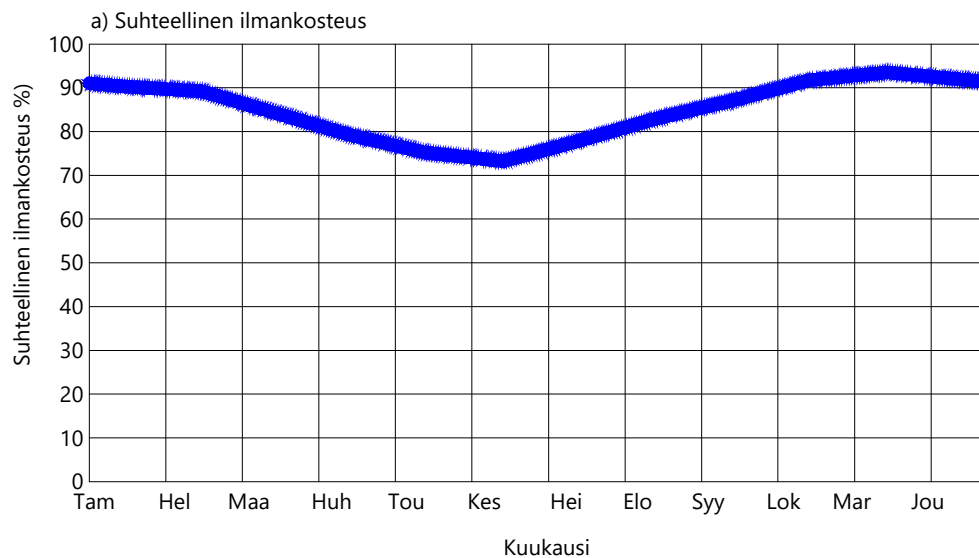
Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	MIKESHE_A1
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Oct. 02, 2024

MIKE SHE -mallin mallinnusalue ja mallin rajaus

CLIENT: Sakatti Project

FIGURE NO. A-1



— Mallin laskema ▲ Päivittäinen

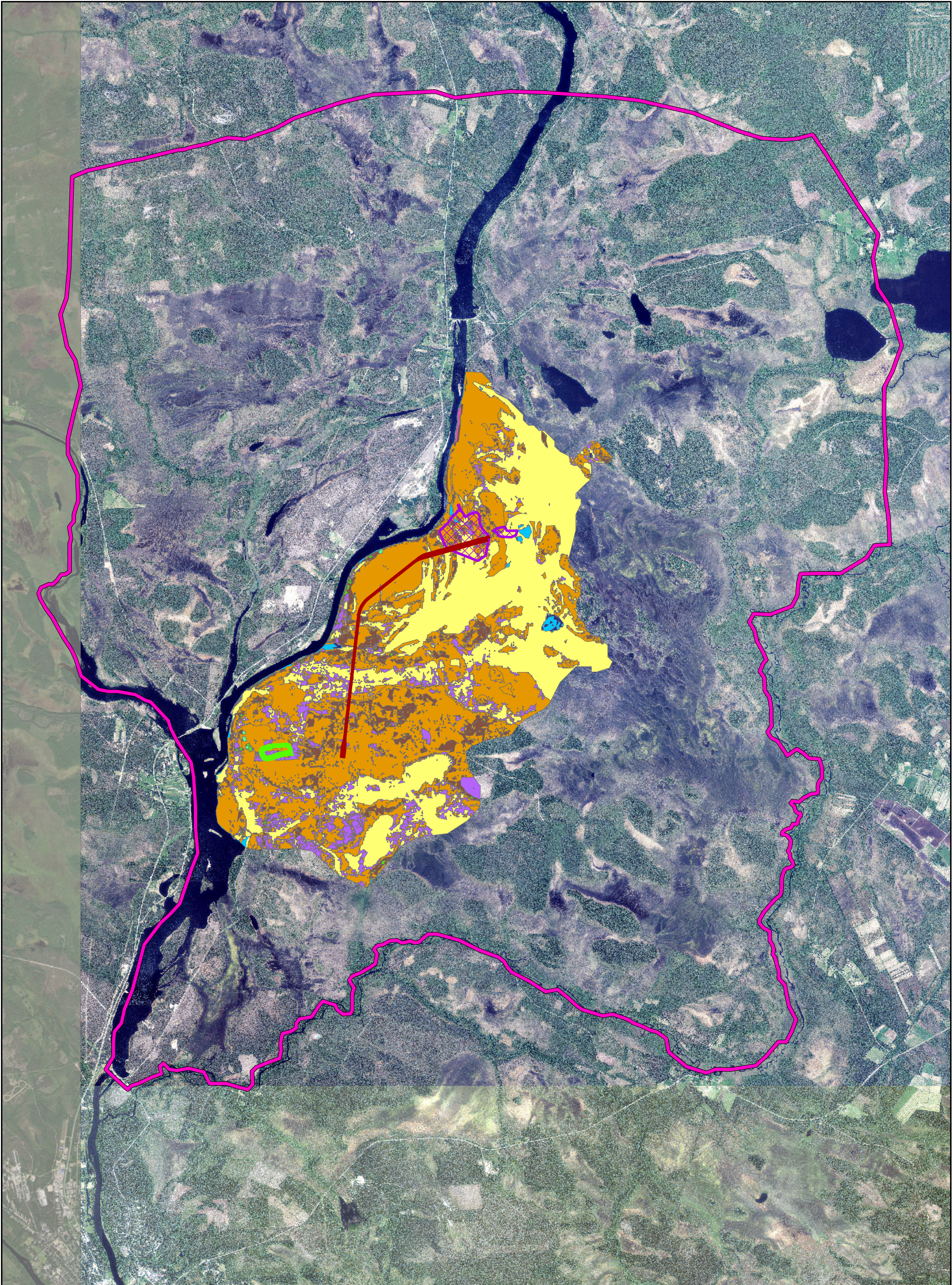
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MIKESHE
DRAWING DATE	18 SEP 2024
REVISION DATE	



MIKE SHE -mallissa käytetty ilmankosteus ja referenssihaihdunta

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
A-2



N

010002000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	MIKESHE_Land
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Sep. 18, 2024

Maankäyttö MIKE SHE -mallin mallinnusalueella

CLIENT: Sakatti Project

FIGURE NO.

A-3

Selite

Vinotunnelin alue

HTA

Tarvekilouhos

Maanalainen kaivos

Leveälehtiset

Havumetsät

Jokivarren kerrostumat

Suot

Sekametsät

Kastelematon maa

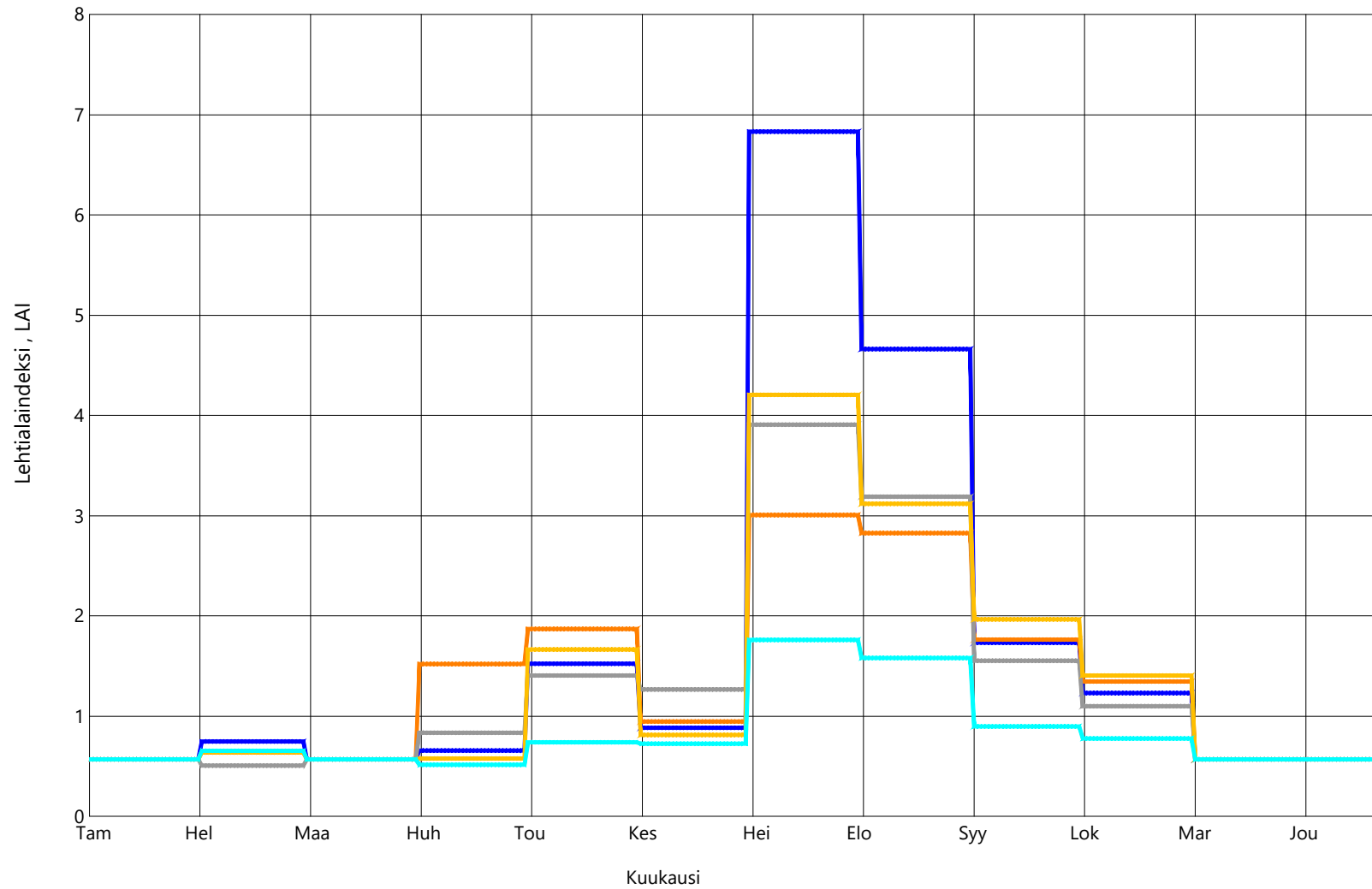
Turve

Vaihettumisvyöhyke

Vesi

Maankäyttöluokat

G:\ARCGIS\A064_Sakatti\MXD\Working\Sakatti\Sakatti.aprx



— Leveälehtiset
 — Havumetsät
 — Sekametsät
 — Vaihtumisyvyöhyke
 — Turve (suo)

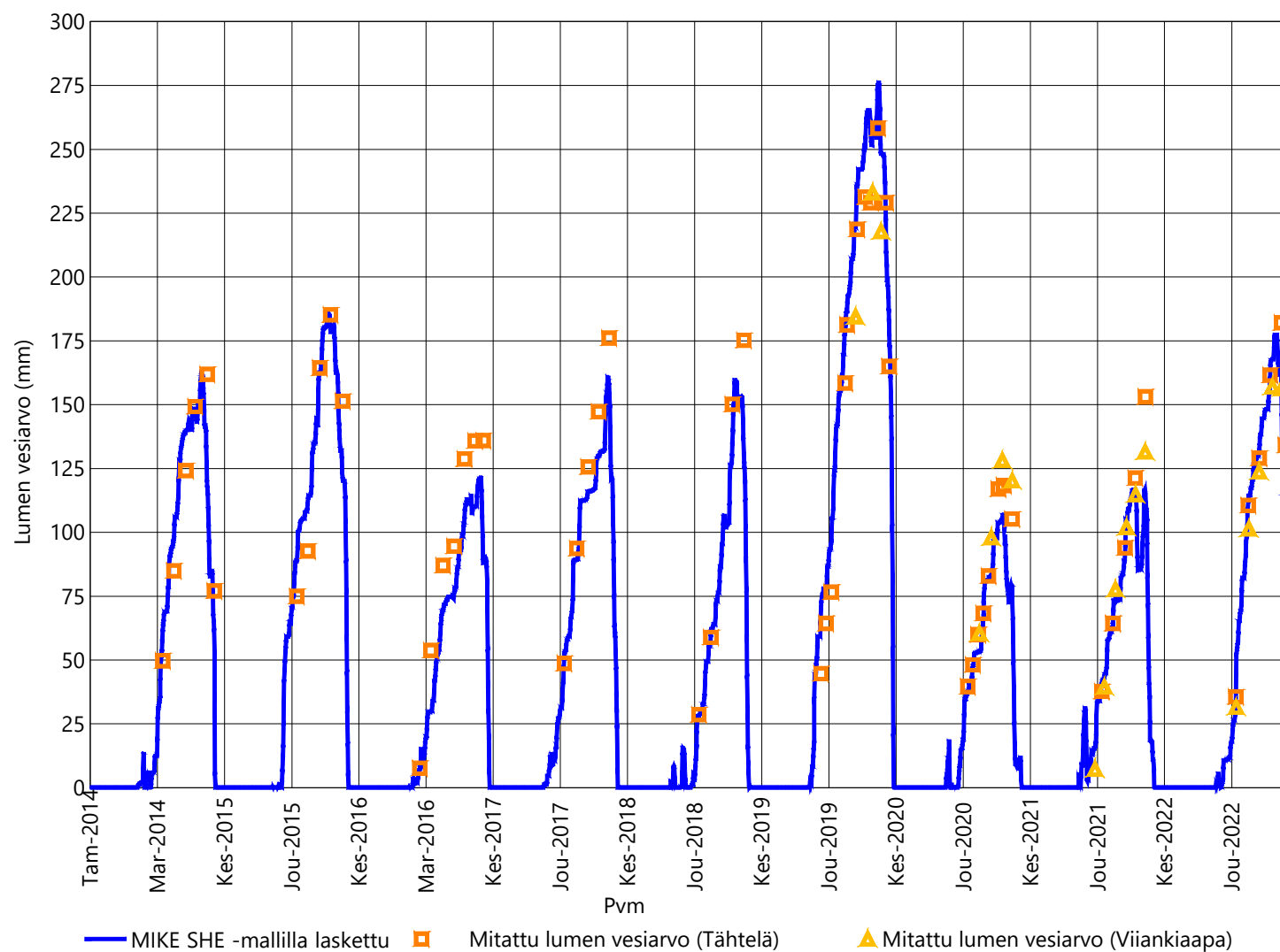
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MIKESHE
DRAWING DATE	18 SEP 2024
REVISION DATE	



MIKE SHE -mallia varten arvioitu
lehtialaindeksi (LAI)

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
A-4



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SNOW
DRAWING DATE	18 SEP 2024
REVISION DATE	



Mitattu ja ennustettu lumen vesiarvo

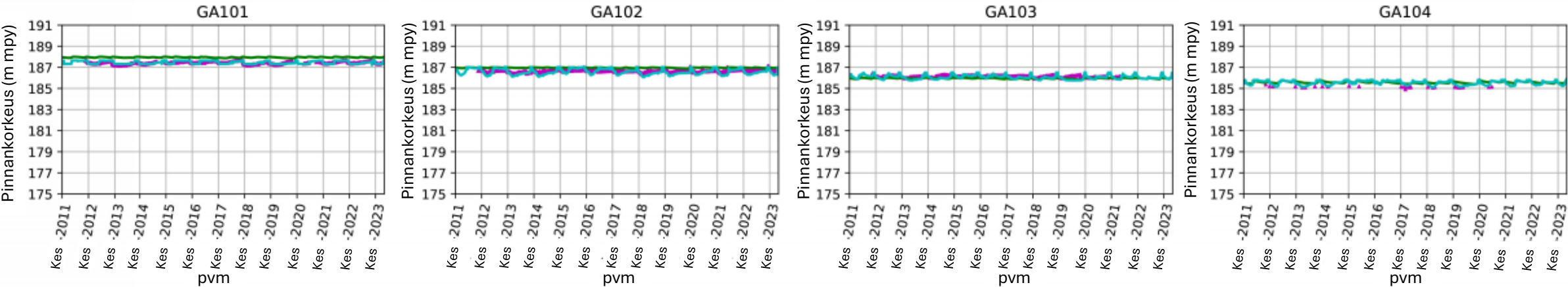
CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
A-5

LIITE B

**Mitattujen ja kalibroidulla transient-mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien
kuvaajat**

Vesipinnat turpeessa



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	4 OCT 2024
REVISION DATE	

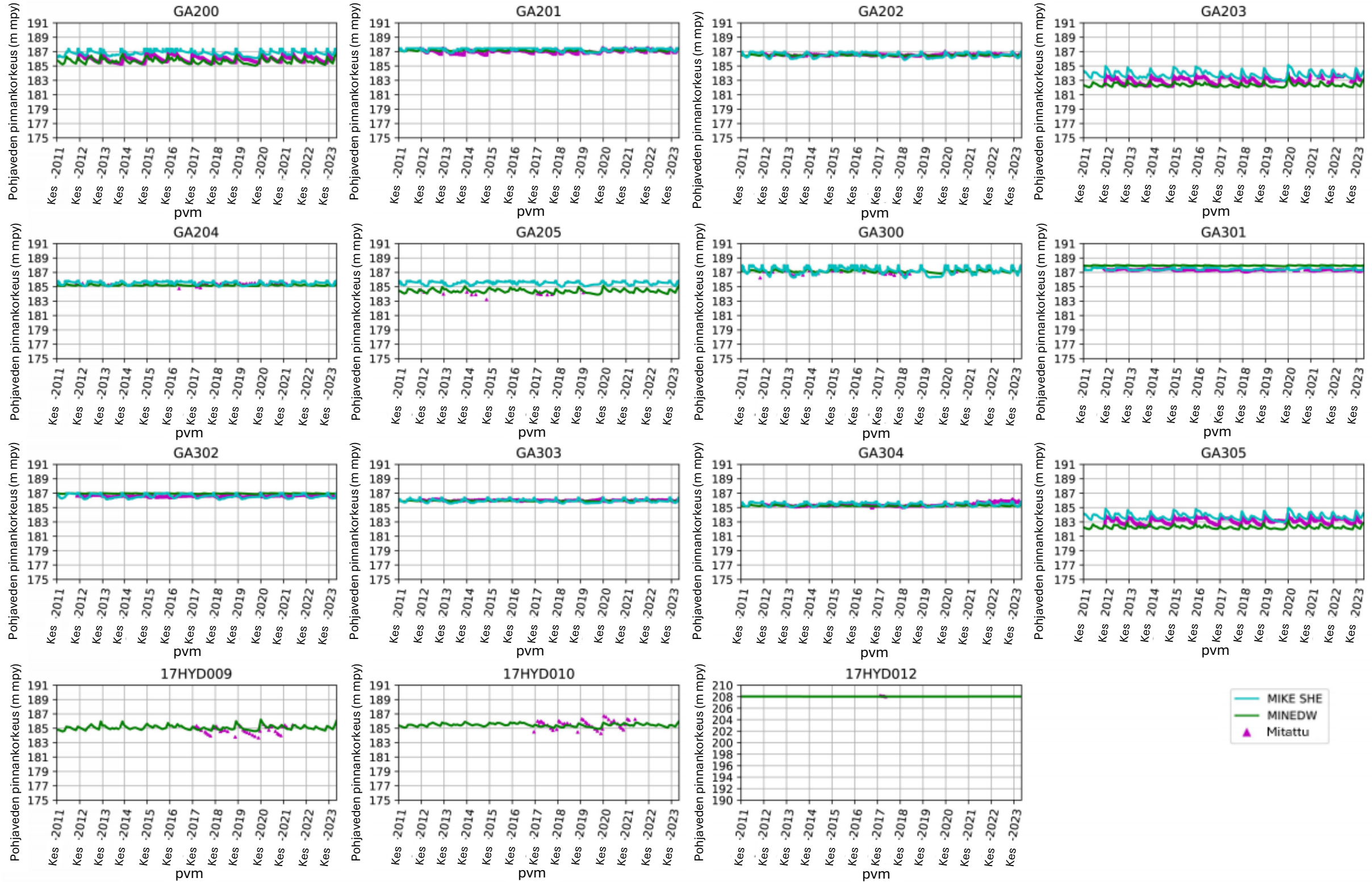


Transient-mallin kalibroinnin mitattujen
ja mallilla simuloitujen pohjaveden
pinnankorkeuksien kuvaajat

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
B1

Pohjavesipinnat kivennäismaalajeissa



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	4 OCT 2024
REVISION DATE	

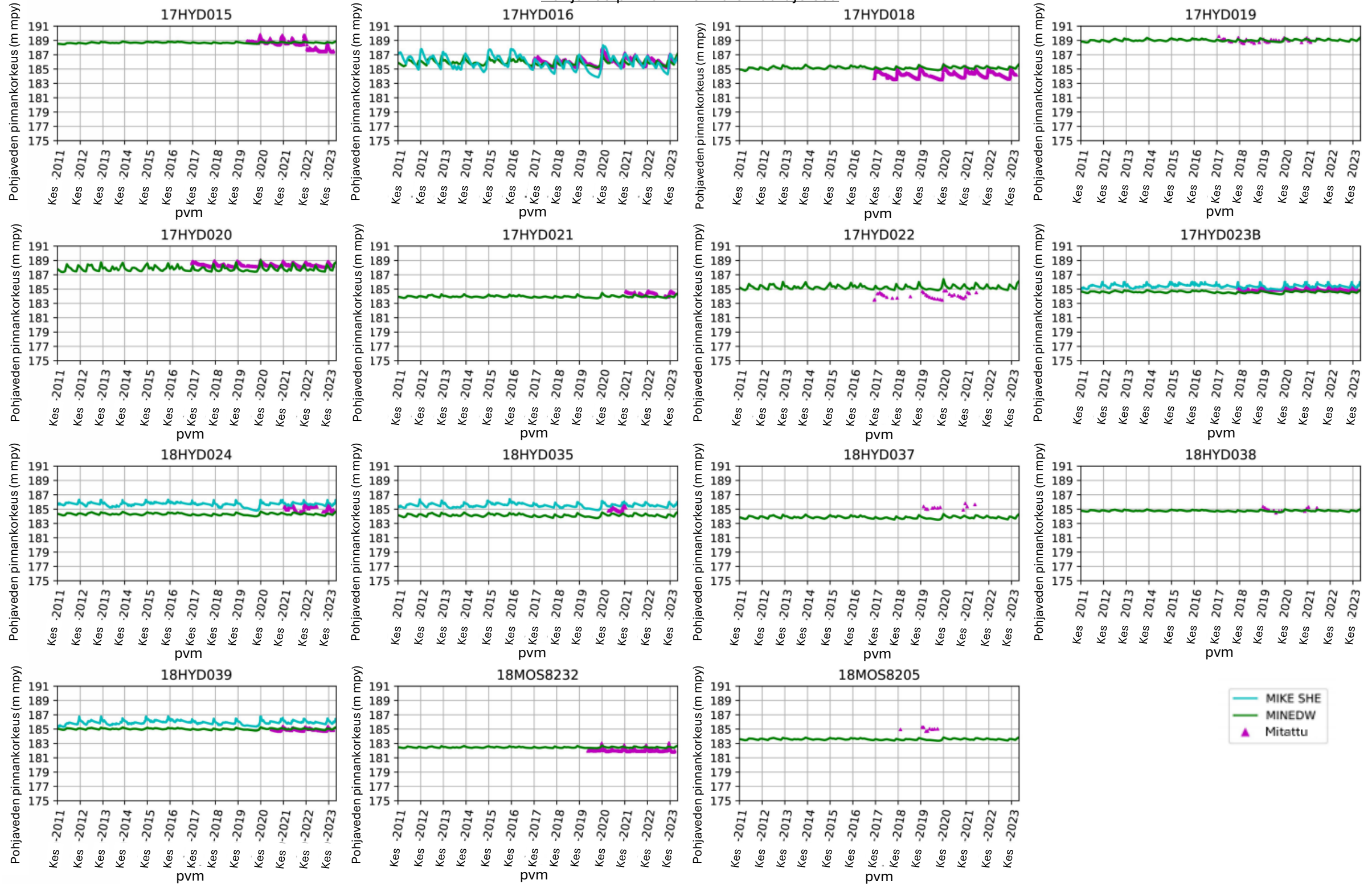


Transient-mallin kalibroinnin mitattujen
ja mallilla simuloitujen pohjaveden
pinnankorkeuksien kuvaajat

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
B2

Pohjavesipinnat kivennäismaalajeissa



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	4 OCT 2024
REVISION DATE	

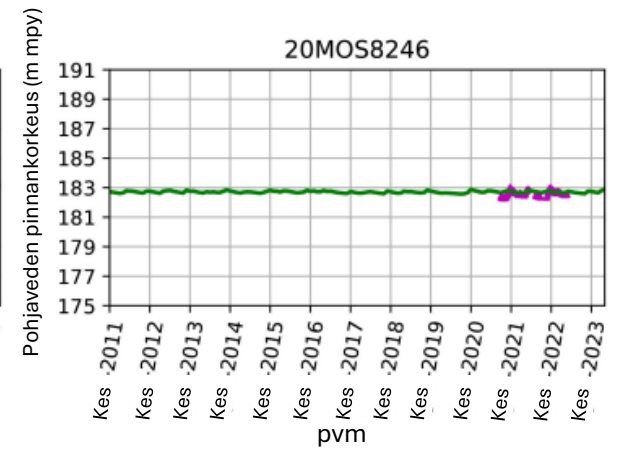
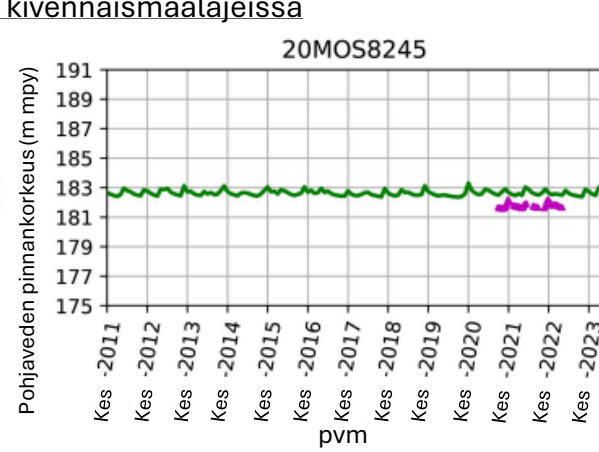
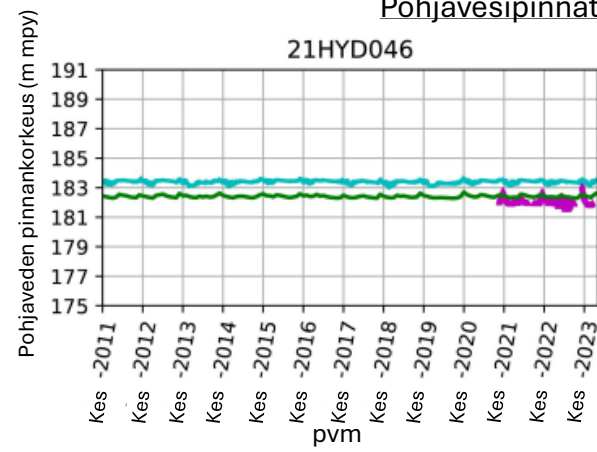
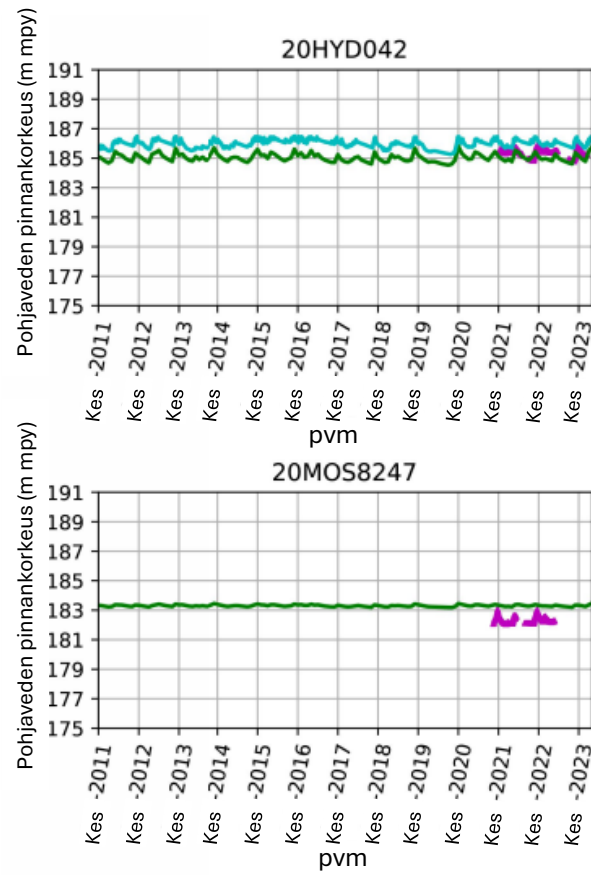


Transient-mallin kalibroinnin mitattujen
ja mallilla simuloitujen pohjaveden
pinnankorkeuksien kuvaajat

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
B3

Pohjavesipinnat kivennäismaalajeissa



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	4 OCT 2024
REVISION DATE	

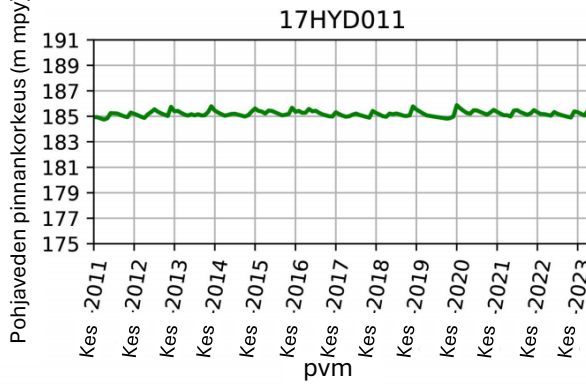
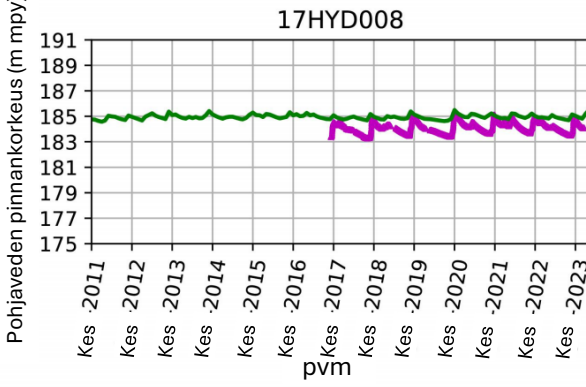
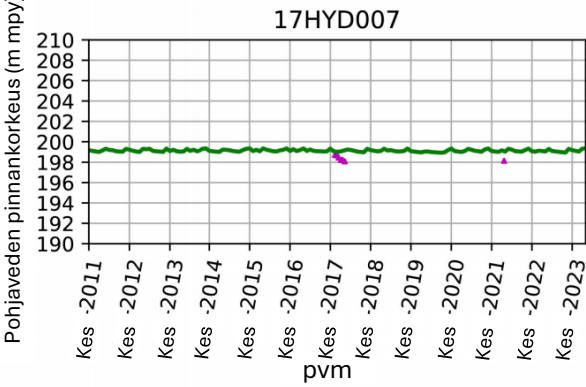
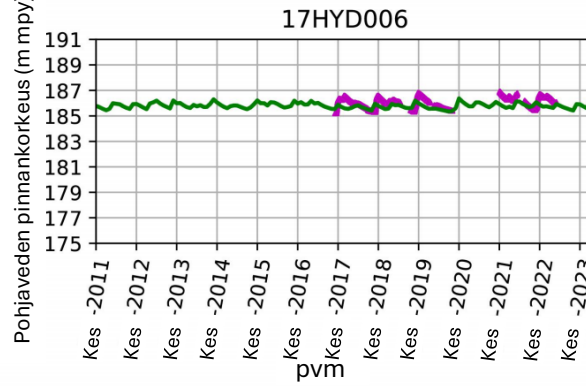
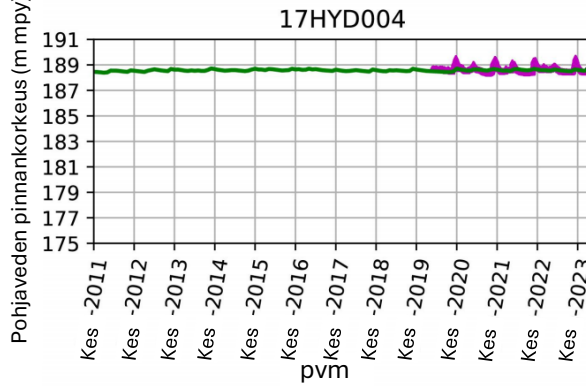
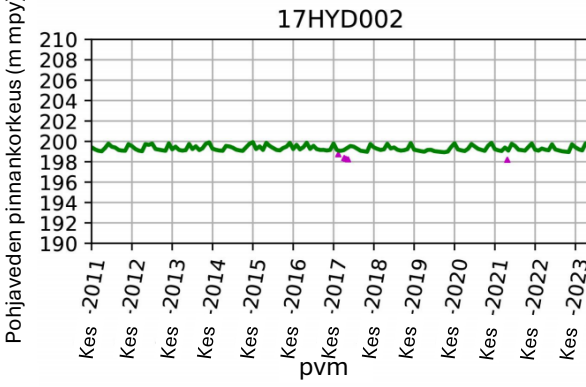
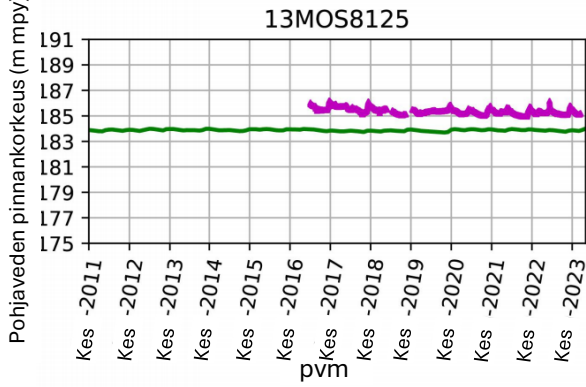
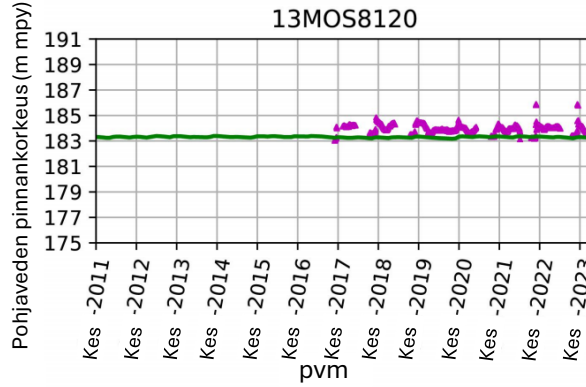
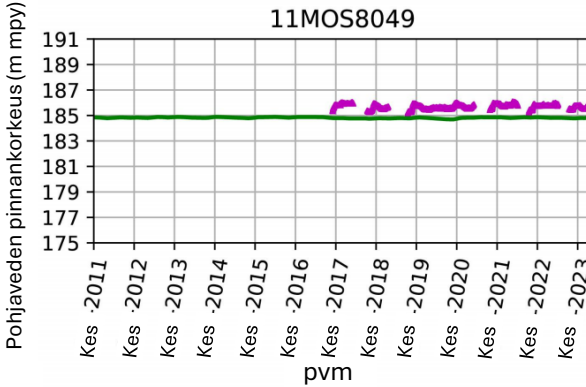
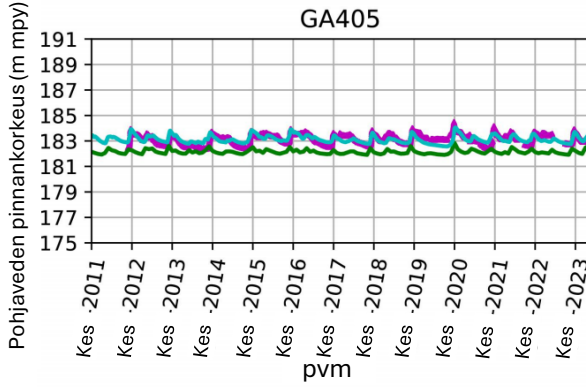
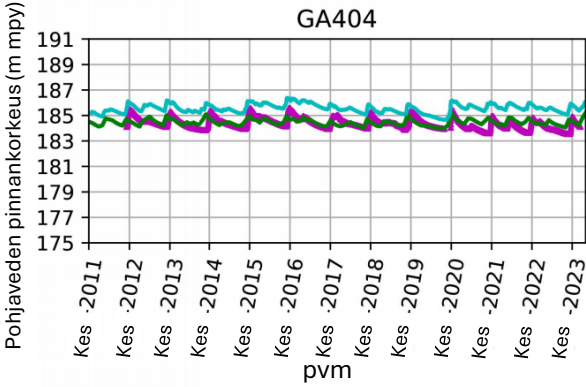
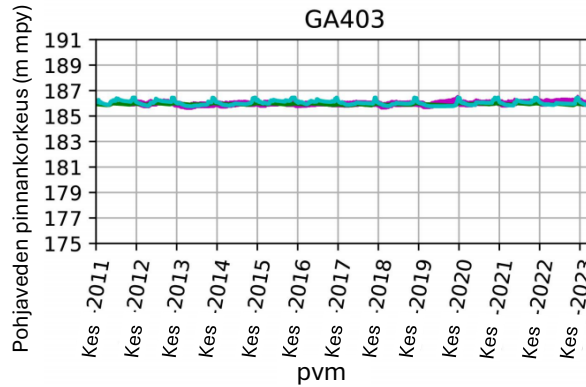
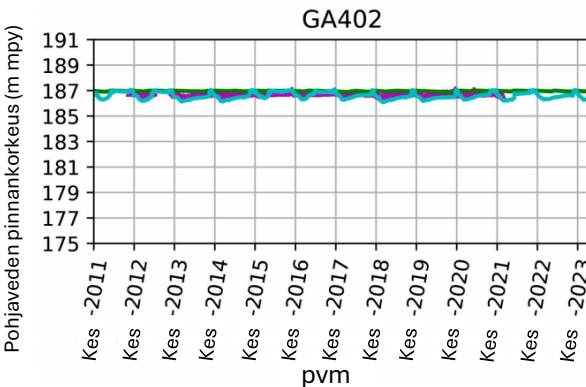
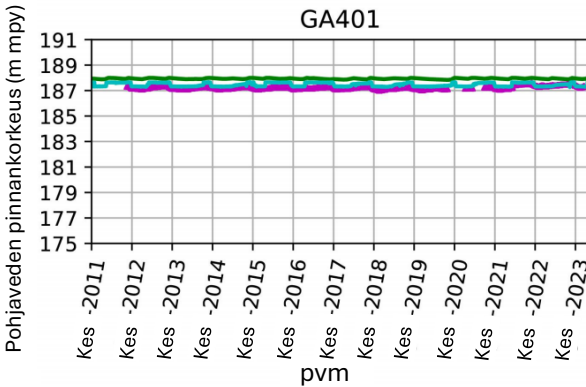
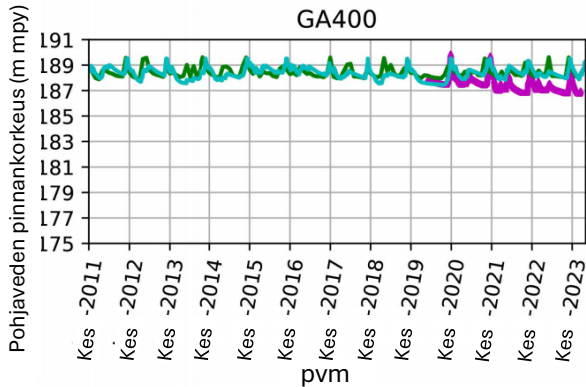


Transient-mallin kalibroinnin mitattujen
ja mallilla simuloitujen pohjaveden
pinnankorkeuksien kuvaajat

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
B4

Pohjavesipinnat kallioperässä



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	4 OCT 2024
REVISION DATE	

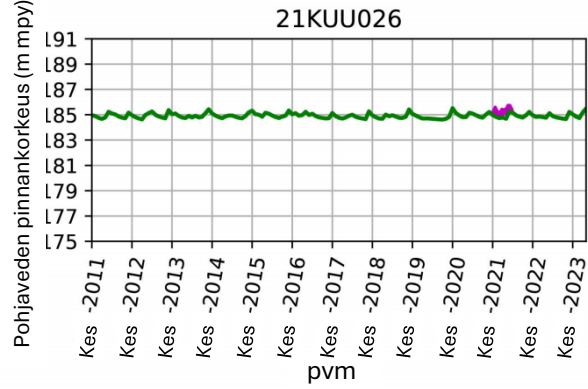
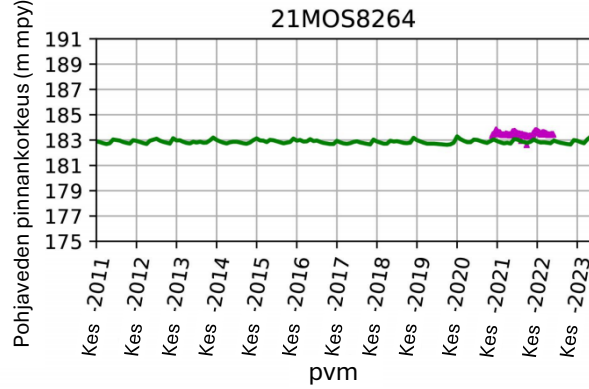
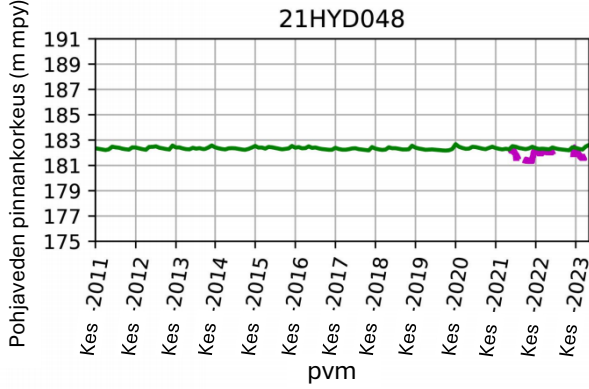
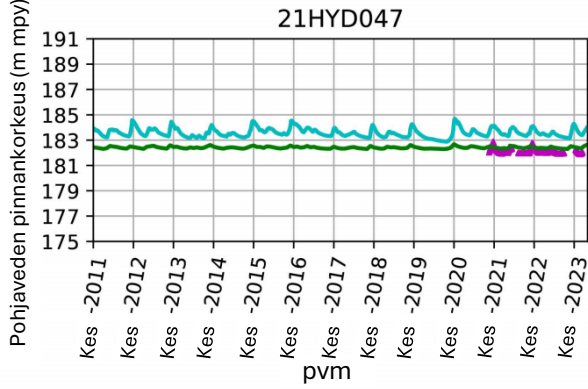
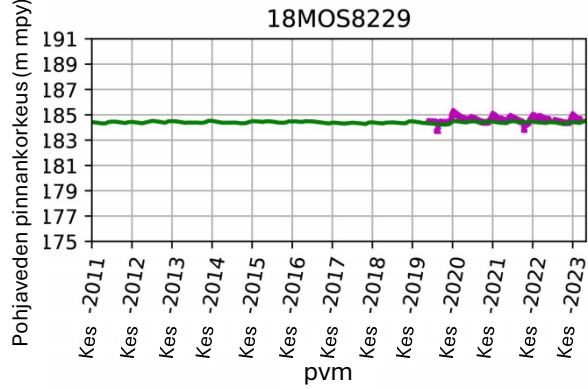
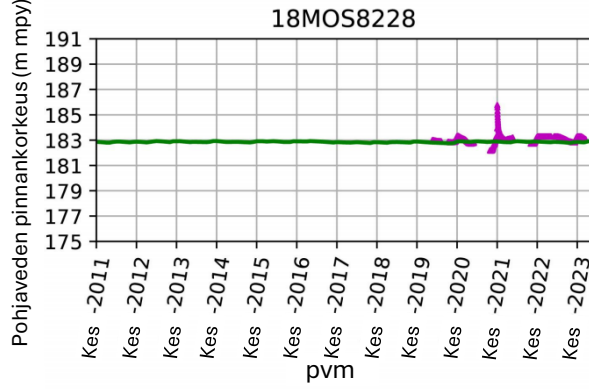
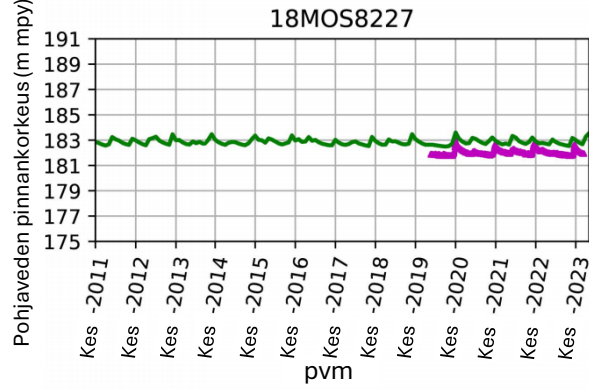
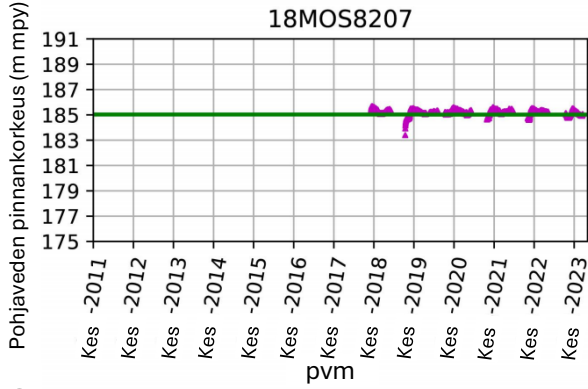
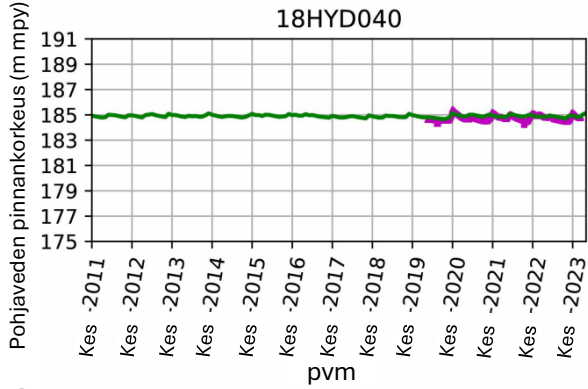
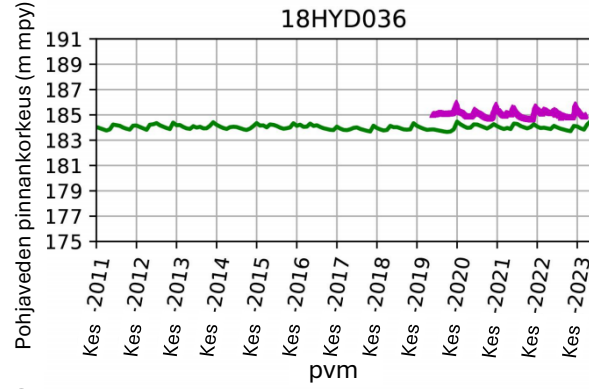
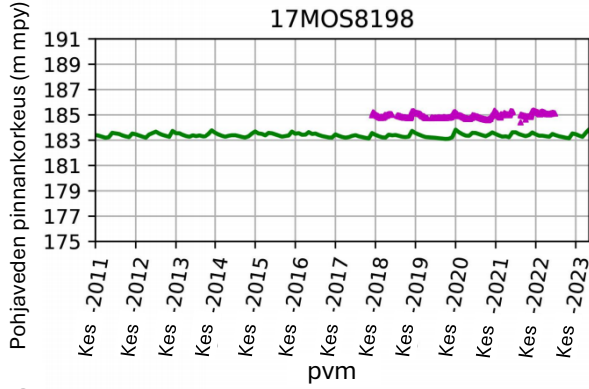
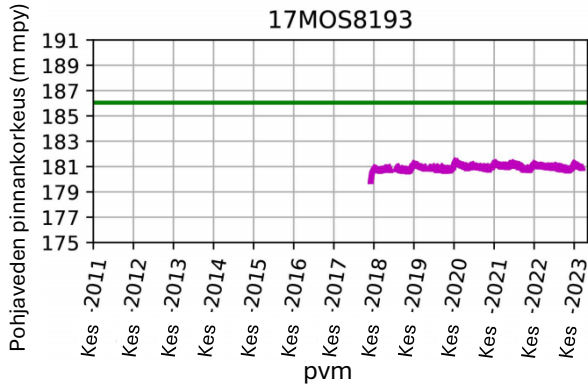
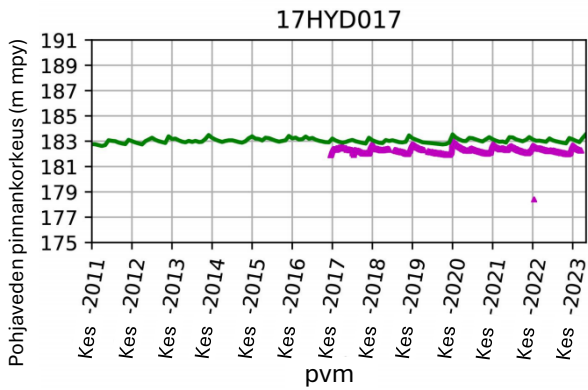
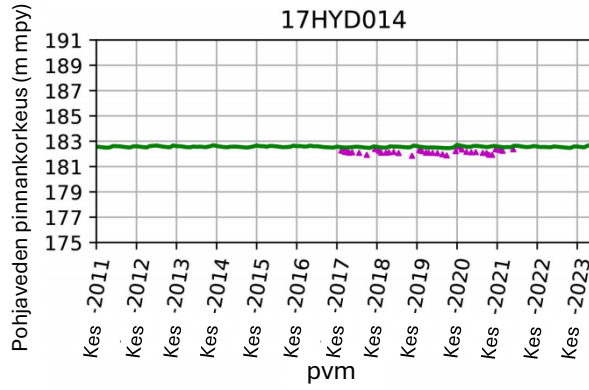
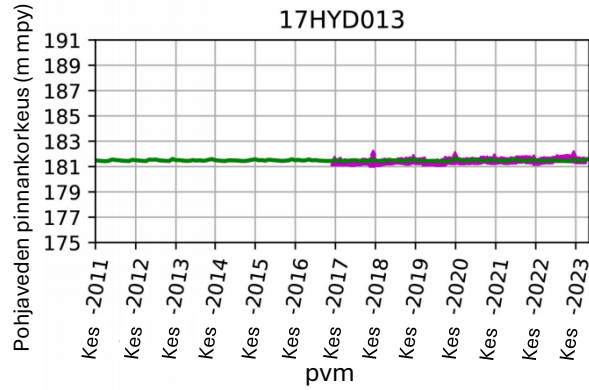


Transient-mallin kalibroinnin mitattujen
ja mallilla simuloitujen pohjaveden
pinnankorkeuksien kuvaajat

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
B5

Pohjavesipinnat kallioperässä



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	4 OCT 2024
REVISION DATE	

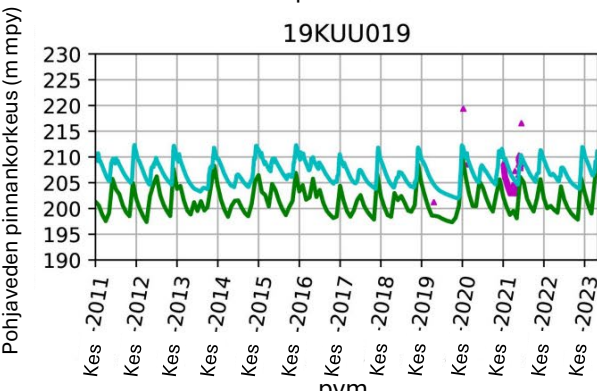
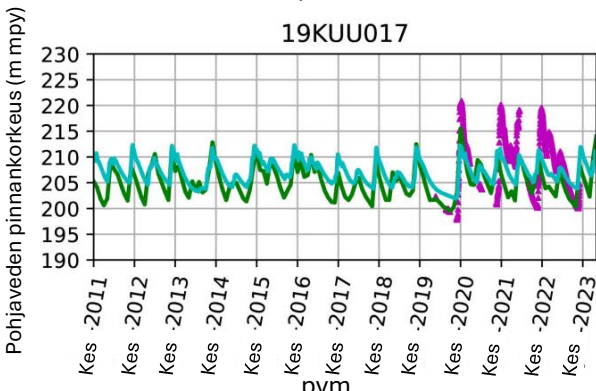
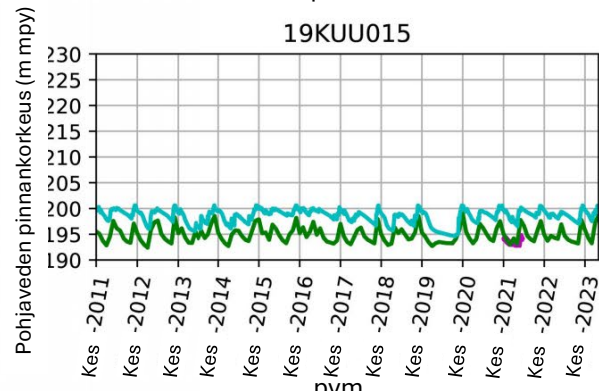
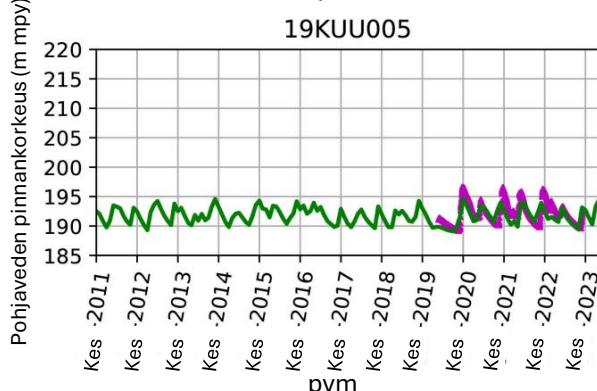
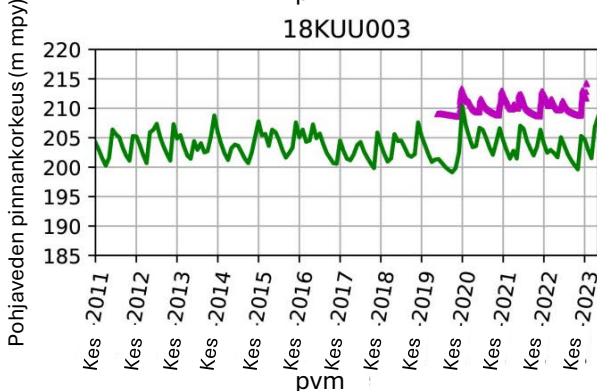
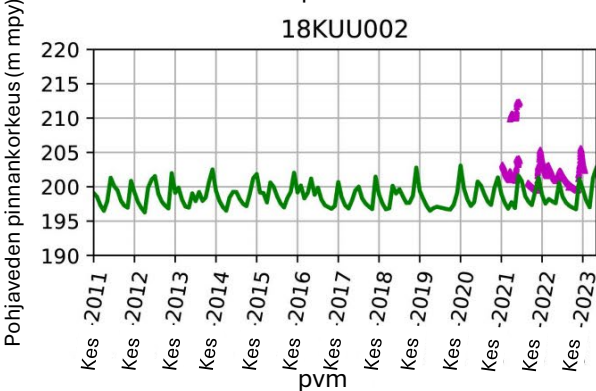
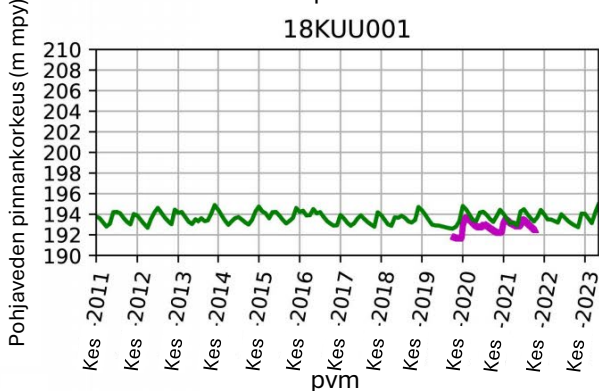
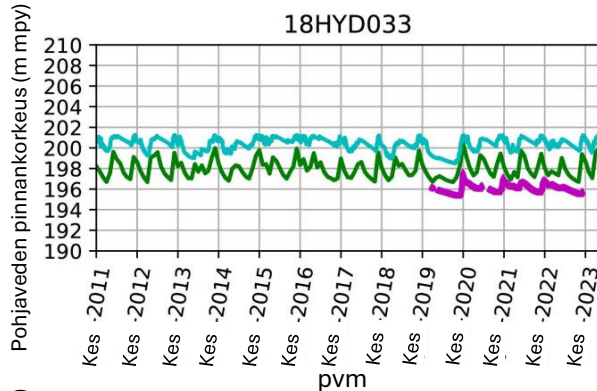
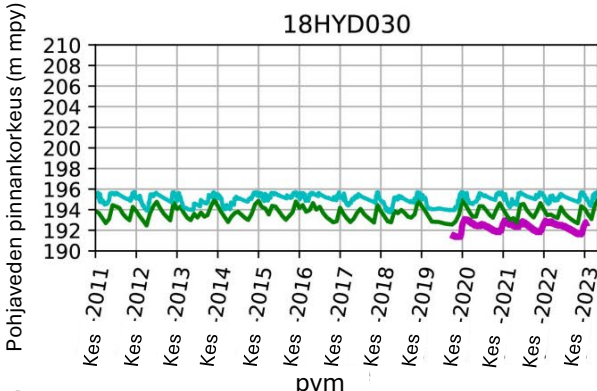
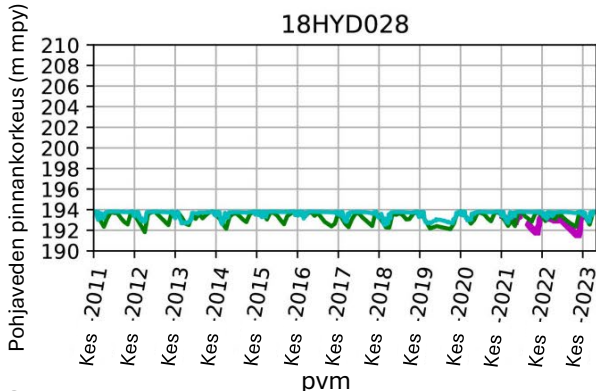
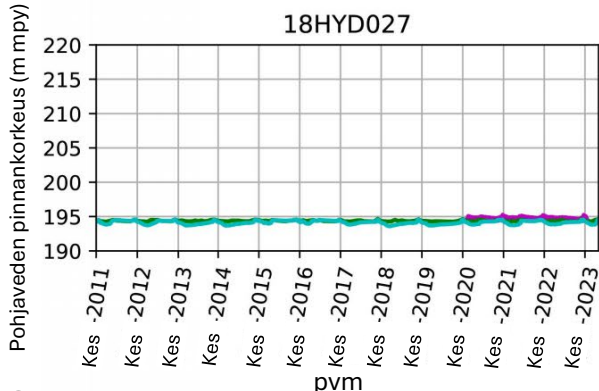
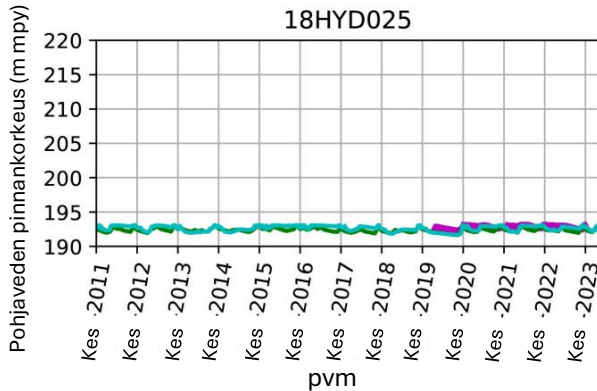
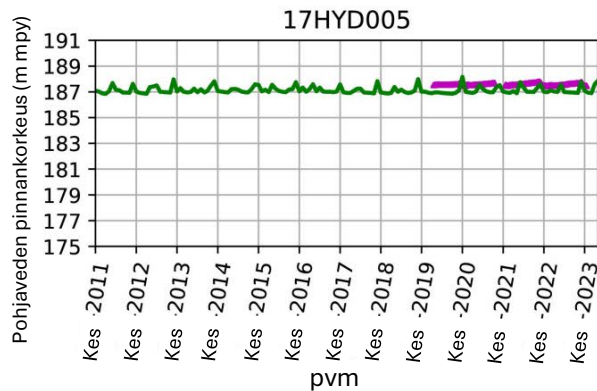
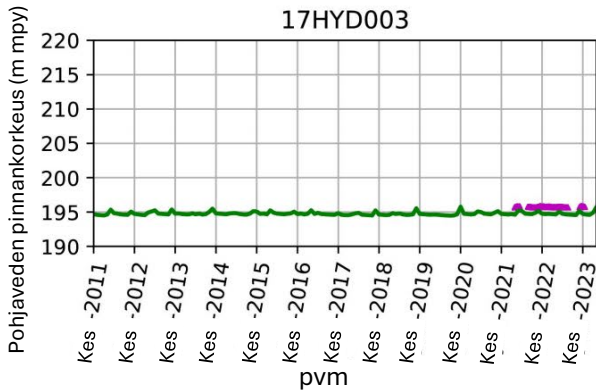
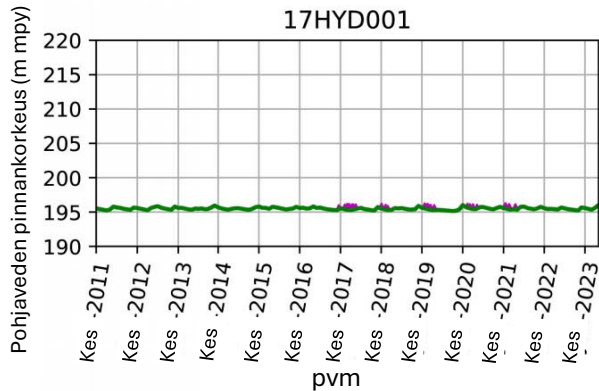


Transient-mallin kalibroinnin mitattujen
ja mallilla simuloitujen pohjaveden
pinnankorkeuksien kuvaajat

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
B6

Pohjavesipinnat Kuusivaaran alueella



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	4 OCT 2024
REVISION DATE	

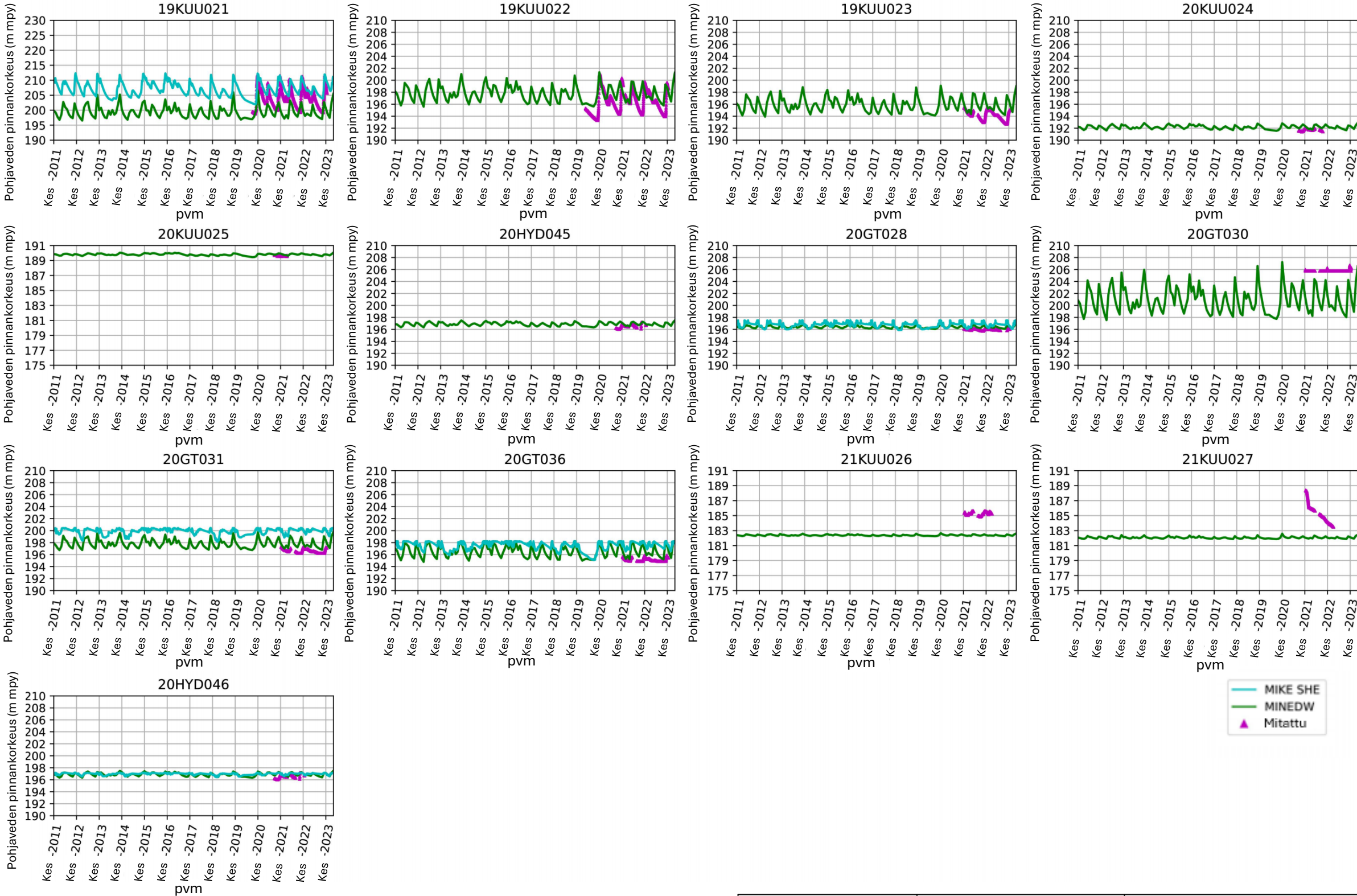


Transient-mallin kalibroinnin mitattujen
ja mallilla simuloitujen pohjaveden
pinnankorkeuksien kuvaajat

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
B7

Pohjavesipinnat Kuusivaaran alueella



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	4 OCT 2024
REVISION DATE	



Transient-mallin kalibroinnin mitattujen
ja mallilla simuloitujen pohjaveden
pinnankorkeuksien kuvaajat

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
B8

LIITE C

Transient-mallin kalibrointi pumppauskokeesta saatuihin tietoihin

LIITE C

1.0 JOHDANTO

Liitteessä C on kuvattu pohjaveden virtausmallin kalibrointia suhteessa tehtyyn pumppauskokeeseen. Pohjana käytetyn numeerisen mallin keskeisimmät tiedot ja hydrogeologisen mallin kuvaus on esitetty raportissa. Seuraavassa on esitetty pumppauskokeen kuvaus, pohjaveden virtausmallin kalibroinnin asetukset sekä mallin kalibrointi pumppauskokeessa mitattuihin tietoaineistoihin.

2.0 YLEISTÄ PUMPPAUSKOEKSESTA

Hankealueella on tehty useita pumppauskokeita. ITASCA on käyttänyt havaintoasemalta 18HYD038 tehdyn pumppauskokeen tietoja pohjaveden virtausmallin kalibrointiin. Tätä pumppauskoetta käytettiin havaintoasemalta 18HYD038 tehdyn pumppauskokeen pitkäkestoisuuden ja laajemman havaintopisteverkoston takia verrattuna muihin pumppauskokeisiin. Taulukossa 3-4 on esitetty yhteenveto muista pumppauskokeista ja niitä on käsitelty raportissa. Pumppauskoepisteiden ja havaintopisteiden sijainti on esitetty kuvassa C-1. Seuraavassa on esitetty yhteenveto pisteessä 18HYD038 tehdystä pumppauskokeesta:

1. Step-testi 1: 6.11.2022,
2. Step-testi 2: 26.11.2022,
3. Vakiopumppauskoe 1: 7.–10.11.2022, ja
4. Vakiopumppauskoe 2: 29.11.–7.12.2022.

Pohjaveden virtausmallin kalibroinnissa keskityttiin vakiopumppauskokeeseen 2 (CTR2). Seuraavassa on esitetty vakiopumppauskokeen 2 keskeisimmät havainnot (Piteau 2023):

- Pumppauskoe alkoi 29.11.2022 klo 13:30
- Pumppaustehoksi asetettiin alun perin 4 m³/h, mutta ensimmäisen tunnin jälkeen tehoa nostettiin pumpun maksimitehoon, joka oli 4,6 m³/h. Koko pumppauskokeen keskimääräinen pumppausteho oli 4,5 m³/h.
- Taulukossa C-1 on esitetty tärkeimmät tiedot pumppauskaivosta sekä kokeen havaintokaivoista. Käytössä oli viisi kairareikää, kolme havaintokaivoa sekä yksi pumppauskaivo. Näitä yhdeksää havaintopistettä käytettiin mallin kalibroinnissa. Pohjaveden pinnankorkeuksia mitattiin kaikissa havaintopisteissä joko manuaalisesti tai automaattisella pinnankorkeusmittarilla kokeen aikana sekä kokeen jälkeen pohjaveden pinnan palautuessa.
- Hankealue oli jäässä pumppauskokeen aikana eikä merkittävää sadetta esiintynyt.
- Pumppaus lopetettiin 7.12.2022 klo 12 ja pohjaveden palautuminen alkoi.

3.0 MALLIN KALIBROINTI

3.1 Malliin tehdyt muutokset pumppauskokeen ennustejoa varten

Pumppauskokeen kalibroinnin pohjana käytettiin kalibroituja pohjaveden virtausmallia, joka on kuvattu raportin luvussa 4.0. Koska havaintokaivot ja pumppauskaivo sijaitsivat lähellä toisiaan, pohjaveden virtausmalliin tehtiin seuraavat muutokset pumppauskokeen kalibrointia varten:

1. Mallin hilaverkkoa tiennettiin pumppauskaivon 18HYD038 läheisyydessä. Vaakasuuntaista solukokoa pienennettiin 50 metristä neljään metriin. Solukokoa pienennettiin samankeskeisessä ympyrässä pumppauskaivon ympärillä 80 metrin etäisyydelle saakka.
2. Rikkoutuneeseen ja ehjään kallioperään lisättiin pystysuuntaisia kerroksia. Pystysuuntaisen hilaverkon kokoa pienennettiin 20 metristä viiteen metriin.
3. Geologiseen kuvaukseen tehtiin vähäisiä muutoksia, jotta geologiset mallit saatiin yhdenmukaiseksi tiennetyn hilaverkon kanssa.

Kun pohjaveden virtausmalli kalibroitiin pumppauskokeeseen, tehtiin seuraavat oletukset:

1. Ennustejoa tehtiin 1.11.–31.12.2022 väliselle ajalle.
2. Kalibroinnin aikana käytettiin vaihtelevan pituisia ajanjaksoja, jotka vaihtelivat pumppauskokeen ja palautumisen aikaisesta 20 minuutista yhteen vuorokauteen.
3. Ennustejoon syötettiin keskimääräinen pumppausteho.
4. Pohjaveden virtausmallin kalibrointi pumppauskokeeseen oli iteratiivinen prosessi, jossa hydraulisia parametreja säädettiin vastaamaan pumppauskokeessa mitattua alenemaa. Lisäksi pohjaveden virtausmallilla (tilanne ennen kaivostoiminnan aloittamista ja transient-tilanne) tuotettiin lähtötilanteen pohjaveden pinnantasot pumppauskokeen kalibrointiin.

3.2 Pumppauskokeen kalibrointitulokset

Kuvassa C-2 on esitetty pumppauskokeen mitatut ja mallinnetut alenemakuvaajat. Seuraavassa on esitetty yhteenveto mallin kalibroinnista:

1. Pohjaveden virtausmalli on hyvin kalibroitu mitattuun alenemaan kaikissa havaintopisteissä.
2. Yleisesti ottaen mallin laskema ja mitattu alenema vastaavat toisiaan sekä pumppauskokeen että palautumisvaiheen aikana.
3. Pohjaveden virtausmalli on hyvin kalibroitu mitattuun alenemaan maaperän pohjavesissä, rikkonaisessa kallioperässä ja ehjässä kallioperässä.

3.3 Malliin tehdyt muutokset pumppauskokeen kalibroinnin perusteella

Seuraavassa on esitetty ensisijaiset muutokset, jotka on tehty pohjaveden virtausmalliin pumppauskokeen kalibroinnin perusteella:

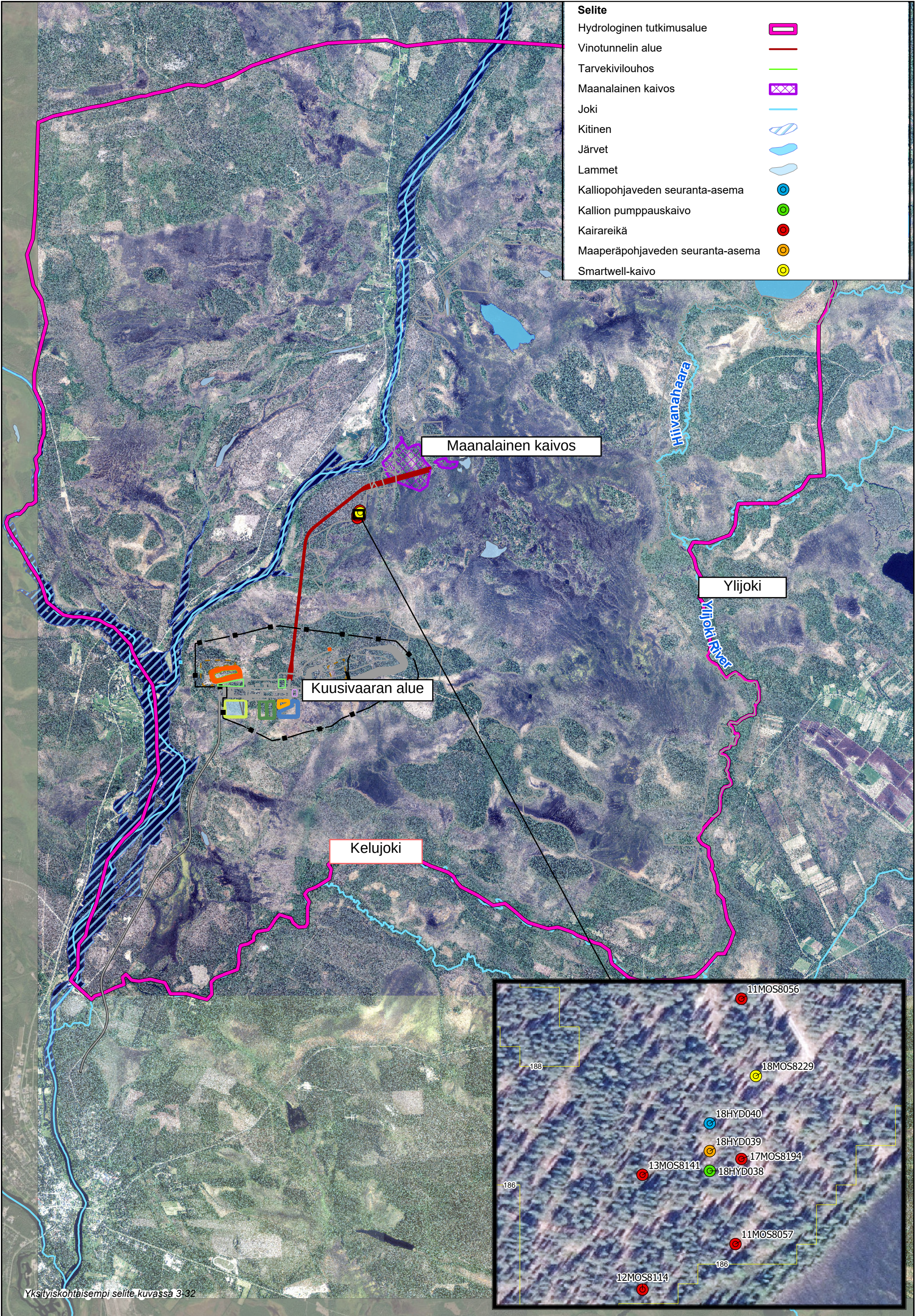
- Rapautuneiden kerrostumien (savinen rapauma) vedenjohtavuutta pienennettiin arvosta 0,1 m/vrk arvoon 0,01 m/vrk, ja
- Ehjän kallioperän vedenjohtavuutta nostettiin arvosta 0,017 m/vrk arvoon 0,03 m/vrk

Nämä päivitettyt muuttujat sisällytettiin pohjaveden virtausmalliin, kuten pääraportissa on kuvattu.

4.0 VIITTEET

Piteau. 2023. Sakatti project: Q4 2022 pumping test results and interpretation. Pitou Associatesin Sakatin projektitiimille tekemä tekninen muistio, 27.3.2023.

Liitteet: Kuva C-1 – 18HYD038 pumppauskokeen havaintoasemat ja pumppauskaivo
Kuva C-2 – 18HYD038 vakiopumppauskokeen mitattu ja mallinnettu alenema
Taulukko C-1 – Yhteenveto 18HYD038 pumppauskokeen havaintoasemista ja pumppauskaivoista



11MOS8056

18MOS8229

18HYD040

18HYD039

17MOS8194

13MOS8141

18HYD038

11MOS8057

12MOS8114

188

186

186

N

010002000

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	AppC_Pump
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Oct. 22, 2024

ITASCA

18HYD038 pumppauskokeen
havaintoasemat ja pumppauskaivo

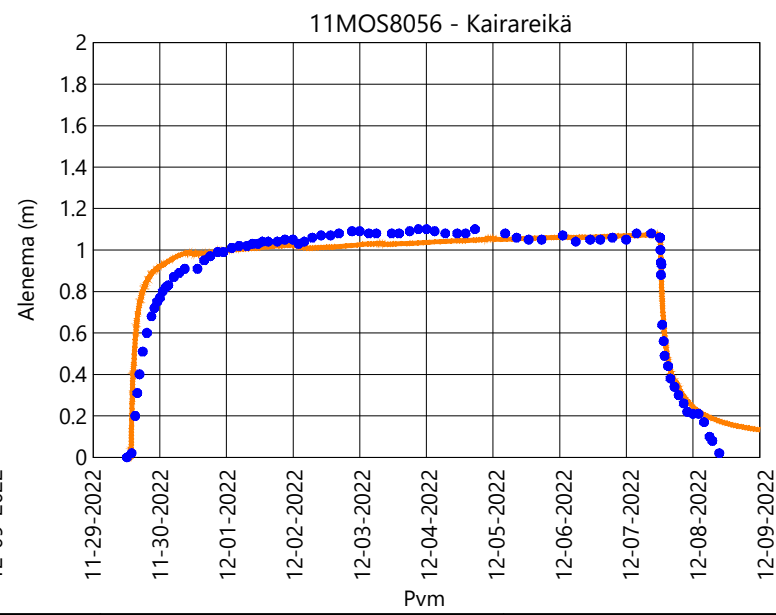
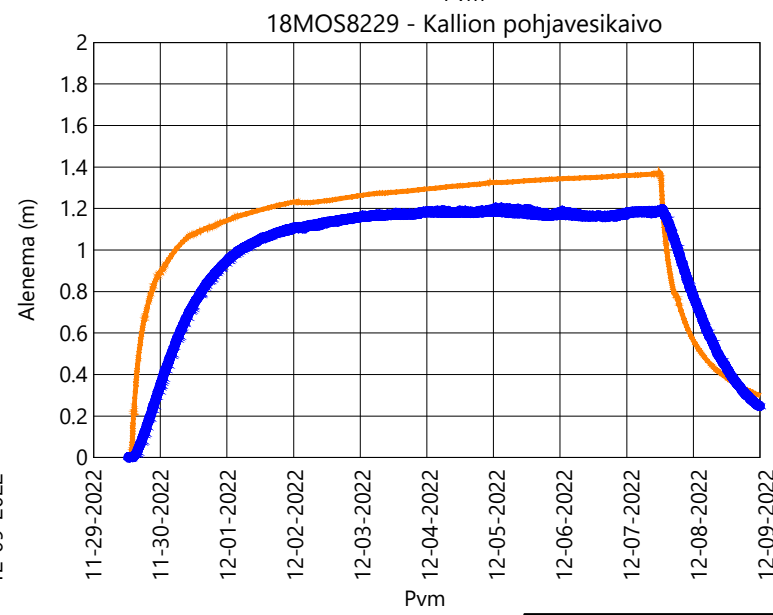
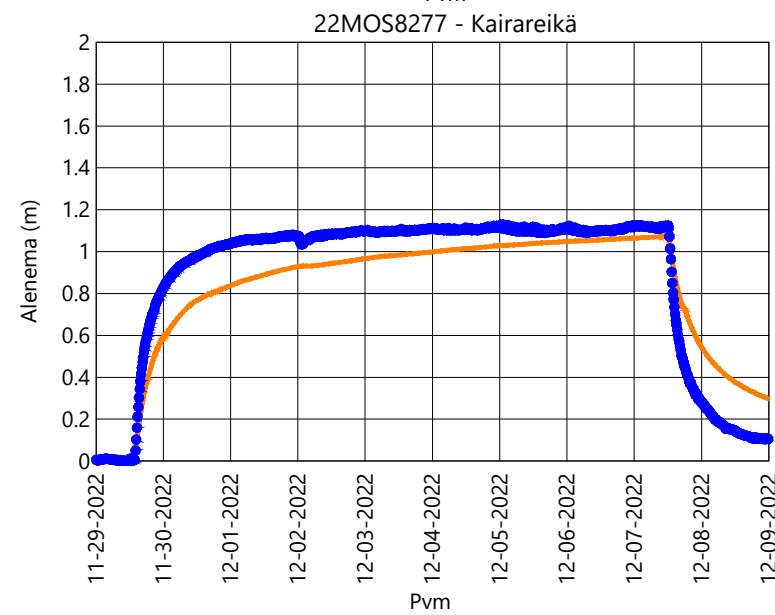
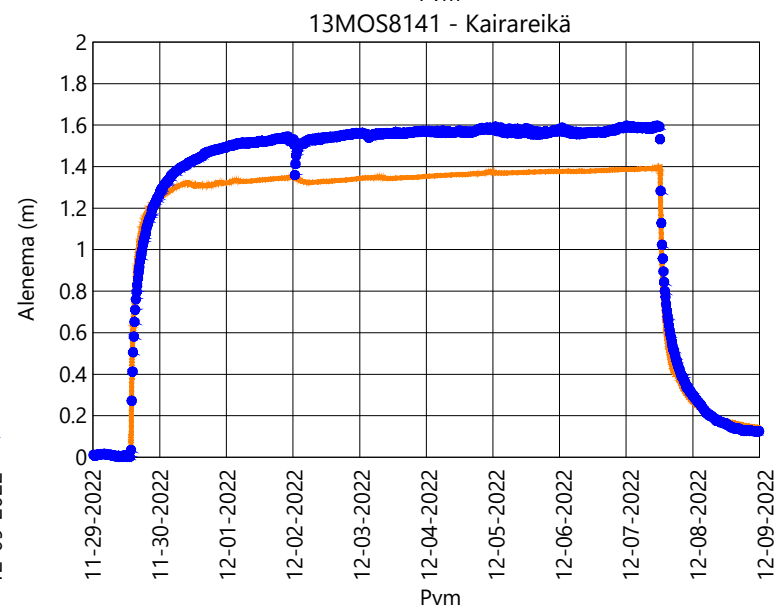
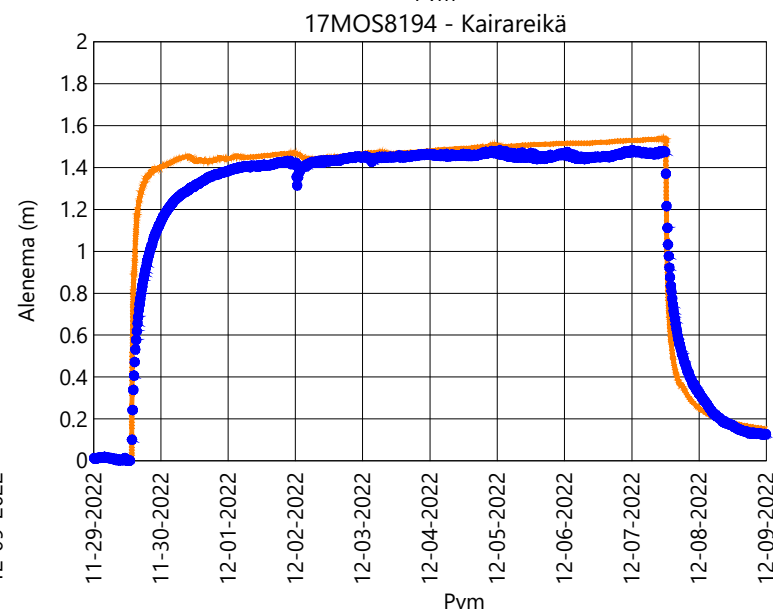
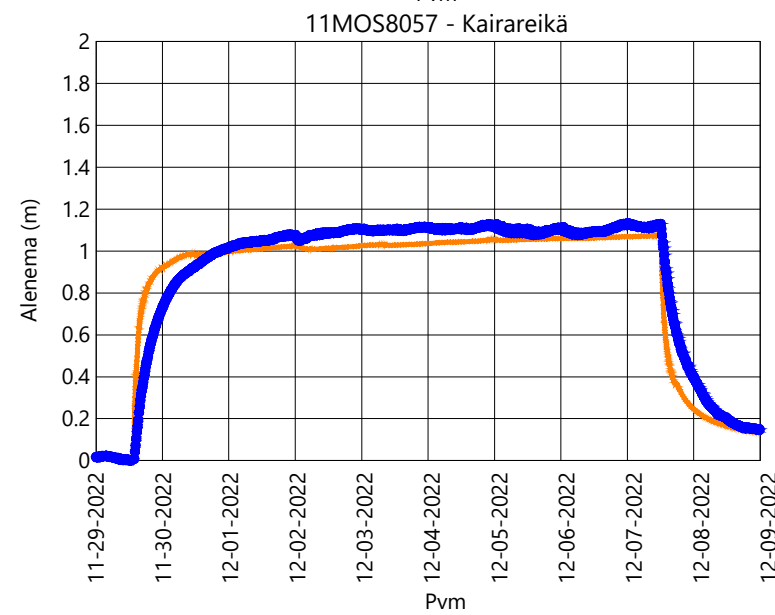
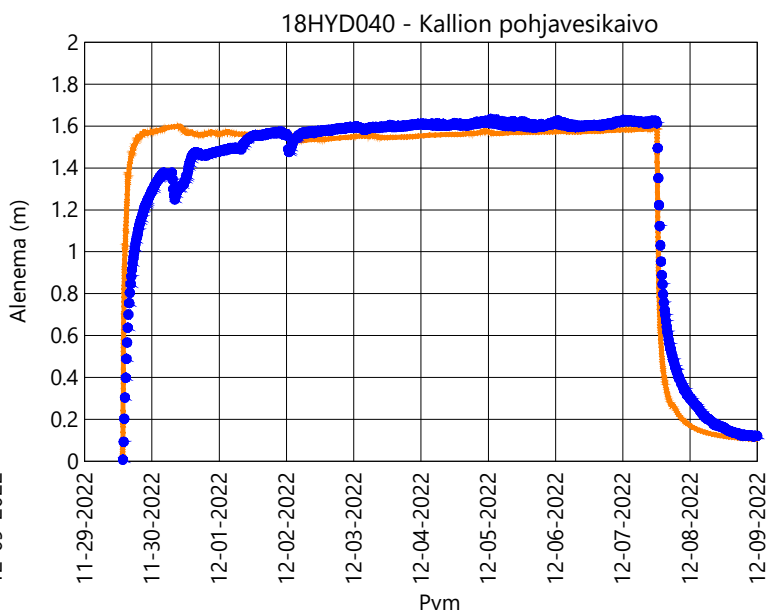
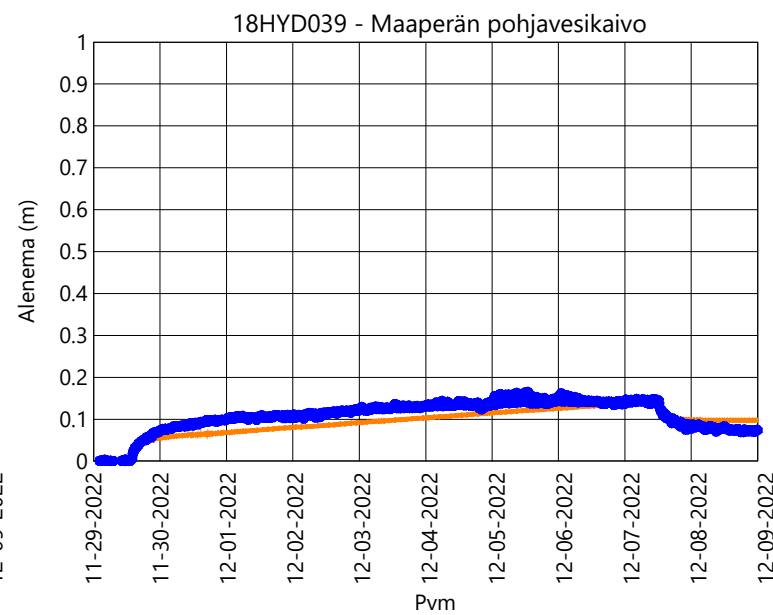
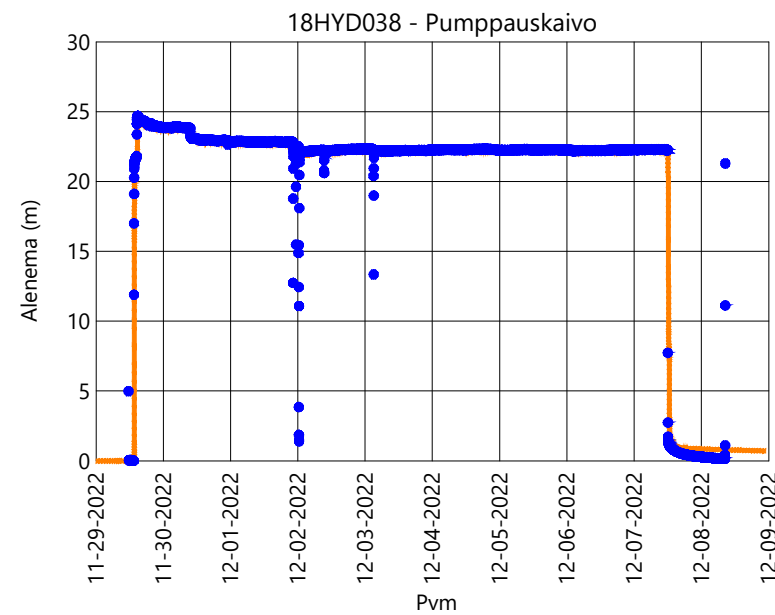
CLIENT:

Sakatti Project

FIGURE NO.

C-1

G:\ARC\GIS\A064_Sakatti\MXD\Working\Sakatti\Sakatti.aprx



• Mitattu
— Mallin laskema

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	SBM
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX-C
DRAWING DATE	18 SEP 2024
REVISION DATE	21 OCT 2024



18HYD038
vakiopumppauskokeen mitattu ja
mallinnettu alenema

CLIENT:
Sakatti Project

FIGURE NO.
C-2

TAULUKKO C-1

Yhteenveto 18HYD038 pumppauskokeen havaintoasemista ja pumppauskaivosta

Havaintoasema	Havaintoasemaluokka	Itä	Pohjoinen	Maan- pinnan korkeus (m mpy)	Syvyys (m)	Suunta	Kaltevuus	Hydrogeologinen yksikkö
18HYD038	Kallioperän pumppauskaivo	488366	7491528	186.95	57	245	90	Matala kallioperä
18HYD039	Maaperän seuranta-asema	488366	7491538	186.67	15	199	90	Maaperä
18HYD040	Kallioperän seuranta-asema	488366	7491552	186.73	30	267	90	Matala kallioperä
17MOS8194	Kairareikä	488382	7491534		110			Syvä kallioperä
11MOS8056	Kairareikä	488382	7491615		204			Syvä kallioperä
11MOS8057	Kairareikä	488379	7491491		228			Syvä kallioperä
12MOS8114	Kairareikä	488332	7491468		298			Syvä kallioperä
13MOS8141	Kairareikä	488332	7491526		110			Syvä kallioperä
18MOS8229	Kallioperän seuranta-asema	488389	7491576	186.66	158	179	70	Syvä kallioperä