

LIITE 9: SAKATIN KAIVOSHANKKEEN POHJAVEDEN VIR-
TAUSMALLINNUS, ITASCA DENVER INC. 2023

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

Laadittu

Sakatin kaivoshankkeelle

Laatinut

**Itasca Denver, Inc.
143 Union Boulevard, Suite 525
Lakewood, Colorado**

#4064

Helmikuu 2023



SISÄLLYS

Sivu

SISÄLLYS	ii
LUETTELO KUVISTA.....	v
LUETTELO TAULUKOISTA.....	ix
LUETTELO LIITTEISTÄ	x
LUETTELO LYHENTEISTÄ.....	xi
TIIVISTELMÄ.....	xxi
1.0 JOHDANTO.....	1
1.1 TERMINOLOGISIA HUOMIOITA	2
2.0 KÄSITTEELLINEN HYDROGEOLOGINEN MALLI	3
2.1 HYDROLOGINEN TUTKIMUSALUE	3
2.2 KÄSITTEELLISEN HYDROGEOLOGISEN MALLIN KESKEISET ELEMENTIT	4
3.0 KESKEISET HYDROGEOLOGISET TIETOAINEISTOT	9
3.1 ALUEEN GEOLOGIA	9
3.1.1 Geologiset yksiköt	10
3.1.1.1 Suo.....	11
3.1.1.2 Jäätikkö- ja jokikerrostumat	12
3.1.1.3 Rikkinainen kallioperä.....	13
3.1.1.4 Ehjä kallioperä.....	14
3.1.2 Geologiset rakenteet.....	14
3.1.3 Hydrauliset kokeet kaivostoimintojen alueella	15
3.1.3.1 Yhteenvedo hydraulisista kokeista.....	15
3.1.3.2 Yhteenvedo hydraulisten kokeiden tuloksista.....	16
3.1.4 Yhteenvedo hydrogeologiasta	18
3.2 METEOROLOGISET TIEDOT	21
3.2.1 Sadanta	21
3.2.2 Astiahaihdunta	22
3.2.3 Lumen syvyys ja sulanta	22
3.2.4 Pohjaveden muodostuminen lumen sulannasta ja sadannasta	23
3.2.5 Tulevaisuuden ilmasto.....	25
3.3 PINTAVESI.....	28
3.4 POHJAVESI.....	29
3.4.1 Havaintoverkosto	29
3.4.2 Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet	30

SISÄLLYS (jatkuu)

	<u>Sivu</u>
3.5 SAKATTI-HANKKEEN KAIVOSSUUNNITELMA	32
4.0 POHJAVEDEN VIRTausMALLI	35
4.1 POHJAVEDEN VIRTausMALLIN MALLINNUSKODI	35
4.2 POHJAVEDEN VIRTausMALLIN LASKENTAVERKKO	35
4.3 SIMULOIDUT HYDROGEOLOGISET YKSIKÖT	36
4.4 MALLIN REUNAHDOT	38
4.4.1 Vakiovedenpinta-reunaehto	38
4.4.2 Vaihtelevan virtauksen reunaehto	39
4.4.3 Ei virtausta -reunaehto	39
4.5 POHJAVEDEN MUODOSTUMINEN	39
4.6 POHJAVEDEN VIRTausMALLIN KALIBROINTI	40
4.7 STEADY STATE -MALLIN KALIBROINTI	42
4.7.1 Steady state -mallin tavoitteet	42
4.7.2 Steady state -mallin kalibrointi	42
4.8 TRANSIENT-MALLIN KALIBROINTI	44
4.8.1 Transient-mallin tavoitteet	44
4.8.2 Transient-mallin kalibrointi	44
5.0 ENNUSTAVA POHJAVEDEN VIRTausMALLI	47
5.1 ENNUSTAVAN POHJAVEDEN VIRTausMALLIN PERUSASETELMA	47
5.1.1 Reunaehdot	47
5.1.2 Kaivostoiminta	48
5.1.3 Ennustavat mallisimulaatiot ympäristövaikutusten arviointia varten	49
5.2 KAIVOSTOIMINNAN AIKAiset ENNUSTEET YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTIA VARTEN	50
5.2.1 Ennustetut vuotovesimäärät	50
5.2.2 Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden alenema	52
5.2.3 Ennustettu purkautuminen Kitiseen	57
5.3 ENNUSTEET HUOMIOIDEN LISÄLIEVENNYSTOIMET YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTIA VARTEN	58
5.3.1 Ennustetut vuotovesimäärät	59
5.3.2 Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden alenema	60
5.3.3 Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen	64

SISÄLLYS

(jatkuu)

Sivu

5.4	ENNUSTEET POHJAVEDEN PALAUTUMISESTA KAIVOSTOIMINNAN JÄLKEEN	64
5.4.1	Pohjaveden ennustettu palautuminen 80% ja 65% tiivistysskenaarioille.....	64
5.4.2	Pohjavesien ennustettu palautuminen ilman NE-satelliittiesiintymää	67
6.0	YHTEENVETO MALLIN KESKEISISTÄ EPÄVARMUUKSISTA	71
7.0	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	76
8.0	VIITTEET	80
KUVAT		
TAULUKOT		
LIITTEET		

LUETTELO KUVISTA

Kuva 2-1	Sakatti-projektin hydrologinen tutkimusalue
Kuva 2-2	Viiankiaavan suoalue hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 2-3	Konseptuaalinen hydrogeologinen malli
Kuva 2-4	Suon konseptuaalinen hydrogeologinen malli
Kuva 3-1	Pintamaalajit hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-2	Kallioperäyksiköiden geologinen kartta hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-3	Pohjois-eteläsuuntainen geologisten yksiköiden leikkauskuva maanalaisen kaivoksen alueelta
Kuva 3-4	Paikalliset ja alueelliset ruhjeet hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-5	Geologisten lohkomallien laajuus hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-6	Arvioitu turvekerroksen paksuus kaivostoimintojen alueella
Kuva 3-7	Vesihävikikokeilla mitattujen vedenjohtavuuksien arvot
Kuva 3-8	Vesihävikikokeilla mitatut vedenjohtavuudet kivilajeittain esitettynä
Kuva 3-9	Mitatut vedenjohtavuudet pumppaus-, spinner- ja muuttuvan painekorkeuden testeistä verrattuna vesihävikikokeiden tuloksiin
Kuva 3-10	Vesihävikikokeilla mitatut vedenjohtavuudet tasoilla 135...0 m mpy ja 0...-100 m mpy
Kuva 3-11	Vesihävikikokeilla mitatut vedenjohtavuudet tasoilla -100...-200 m mpy ja -200...-300 m mpy
Kuva 3-12	Vesihävikikokeilla mitatut 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 asemalla mitatut vuosittaiset ja kuukausittaiset sadannat
Kuva 3-16	Sodankylän Tähtelän asemalla mitattu astiahaihdunta
Kuva 3-17	Mitatut ja lasketut lumen vesiarvot
Kuva 3-18	<i>MIKE SHE</i> –mallin ja hydrologisen tutkimusalueen rajautuminen
Kuva 3-19	Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät <i>MIKE SHE</i> –mallin mukaan
Kuva 3-20	Lämpötila ja sadanta Suomessa eri kasvihuonekaasuskenaarioissa

Kuva 3-21	Ennustetut keskimääräiset kuukausilämpötilat ja -sadannat kasvihuonekaasuskenaario RCP4.5:n mukaan 2070–2099
Kuva 3-22	Arvioitu tuleva vuotuinen sadanta ja pohjaveden muodostumismäärät
Kuva 3-23	Ennustetut pohjaveden muodostumismäärät prosenttina vuotuisesta sadannasta
Kuva 3-24	Vesistöt hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-25	Kitisen mitatut joen pinnankorkeudet ja virtaamat
Kuva 3-26	Purojen ja ojien mitatut ja lasketut virtaamat maanalaisen kaivoksen alueella
Kuva 3-27	Pohjavesikaivot hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 3-28	Pohjavesikaivot hydrologisella tutkimusalueella jaoteltuna hydrogeologisen yksikön mukaan
Kuvat 3-29	Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet kaivostoimintojen alueella
Kuva 3-30	Maanalaisen kaivoksen poikkileikkauskuvaja kaivostoimintojen eteneminen
Kuva 3-31	Kuusivaaran tehdasalueelle sijoittuvat toiminnot vaihtoehdossa VE1a
Kuva 3-32	Kaivostäytön havainnekuva ja arvioidut vedenjohtavuudet
Kuva 4-1	Simuloitujen hydrogeologisten yksiköiden tasokuva mallikerroksessa 1
Kuva 4-2	Simuloitujen hydrogeologisten yksiköiden Itä-läntinen leikkauskuva maanalaisen kaivoksen alueella
Kuva 4-3	Pohjaveden virtausmallin simuloidut vedenjohtavuudet verrattuna vesihävikkikokeilla mitattuihin vedenjohtavuuksiin
Kuva 4-4	Sakatin kaivoksen vuoden 2022 pohjaveden virtausmallissa käytetyt vedenjohtavuuden arvot
Kuva 4-5	Eri kallioperän yksiköiden simuloidut laajuudet
Kuva 4-6	Rikkonaisten kallioperän yksiköiden alueellinen laajuus
Kuva 4-7	Pohjaveden virtausmallin simuloidut reunaehdot
Kuva 4-8	Simuloidut pohjaveden muodostumismäärät pohjaveden virtausmallissa perustuen <i>MIKE SHE</i> -malliin
Kuva 4-9	Pohjaveden muodostumisalueiden simuloitu alueellinen laajuus pohjaveden virtausmallissa
Kuva 4-10	Simuloidut steady state -pohjaveden pinnankorkeudet hydrologisella tutkimusalueella
Kuva 4-11	Simuloidut pohjaveden syvyydet steady state -mallissa

Kuva 4-12	Simuloidut pohjaveden purkautumisen ja muodostumisen alueet steady state -mallissa
Kuva 4-13	Steady state -mallin kalibroinnin hajontakuvio
Kuva 4-14	Virtausmallin transient -kalibroinnin hajontakuviot
Kuva 4-15	Pohjaveden simuloidut muodostumismäärät prosenttina sadannasta
Kuva 4-16	Pohjaveden virtausmallin kalibroitu vesitase
Kuva 4-17	Pohjaveden virtausmallissa kalibroitu purkautuminen suurimpiin virtavesiin ja järviin
Kuva 5-1	Simuloidut tulevat pohjaveden muodostumismäärät
Kuva 5-2	Ennustettu pohjaveden vuotovesimäärä 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa
Kuva 5-3	Ennustettu alenema kaivostoiminnan elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa
Kuva 5-4	Havaintopaikkojen alenemat kaivoksen elinkaaren aikana
Kuva 5-5	Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa
Kuva 5-6	Mitattujen ja simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelun vertailu
Kuva 5-7	Pohjaveden pinnankorkeuden ennustetut vuodenaikaisvaihtelut 80% tiivistysskenaariossa
Kuva 5-8	Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa
Kuva 5-9	Ennustettu pohjaveden vuotovesimäärä 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
Kuva 5-10	Ennustettu alenema kaivostoiminnan elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
Kuva 5-11	Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
Kuva 5-12	Pohjaveden pinnankorkeuden ennustetut vuodenaikaisvaihtelut 80% tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää
Kuva 5-13	Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
Kuva 5-14	Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa
Kuva 5-15	Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää



Kuva 6-1 Hydrogeologisten selvitysten vaatimukset hankkeen eri vaiheissa

Kuva 6-2 Pohjaveden virtausmallin vaiheet

LUETTELO TAULUKOISTA

- Taulukko 3-1 Yhteenveto tärkeimpien hydrogeologisten yksiköiden mitatuista vedenjohtavuuden arvoista tutkimusalueella
- Taulukko 3-2 Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
- Taulukko 3-3 Yhteenveto muuttuvan painekorkeuden testeillä mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
- Taulukko 3-4 Yhteenveto pumppaustesteillä mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
- Taulukko 3-5 Yhteenveto paineilman avulla tehdyissä antoisuuskokeissa mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
- Taulukko 3-6 Yhteenveto ruhjeiden vedenjohtavuuden arvoista
- Taulukko 3-7 Mitatut vuotuiset sadantatiedot Sodankylän Tähtelän asemalla
- Taulukko 3-8 Keskimääräiset kuukausittaiset ja päivittäiset sadannat Sodankylän Tähtelän asemalla
- Taulukko 3-9 Mitatut vuotuiset astiahaihduntatiedot Sodankylän Tähtelän asemalla
- Taulukko 3-10 Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä RCP4.5-ilmastoskenaariossa (mm/vrk)
- Taulukko 3-11 Yhteenveto pohjaveden seurantaverkostosta kaivostoimintojen alueella
- Taulukko 4-1 Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut hydrauliset ominaisuudet Sakatin maanalaisen kaivoksen pohjaveden virtausmallissa
- Taulukko 4-2 Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut pohjaveden muodostumismäärät pohjaveden virtausmallissa
- Taulukko 4-3 Pohjaveden steady state -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet
- Taulukko 4-4 Steady state -virtausmallin kalibroinnin lasketut tilastolliset tunnusluvut
- Taulukko 4-5 Pohjaveden transient -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet
- Taulukko 4-6 Transient -virtausmallin kalibroinnin lasketut tilastolliset tunnusluvut
- Taulukko 5-1 Yhteenveto simuloiduista malliskenaarioista
- Taulukko 5-2 Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismääristä malliskenaarioissa, joissa on mukana NE satelliittiesiintymä
- Taulukko 5-3 Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismääristä malliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
- Taulukko 6-1 Yhteenveto mallin keskeisistä parametreista ja epävarmuuksista



LUETTELO LIITTEISTÄ

- A Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat
- B Herkkyystarkasteluun sisältyvien skenaarioiden tulokset

LUETTELO LYHENTEISTÄ

%	prosentti
3D	kolmiulotteinen
°C	celsiusaste
AASM Oy	AA Sakatti Mining Oy
ET	evapotranspiraatio, kokonaishaihdunta
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/vrk	millimetriä vuorokaudessa
mm/v	millimetriä vuodessa
mm/kk	millimetriä kuukaudessa
m mpy	metriä merenpinnan yläpuolella
MAE	absoluuttinen keskivirhe
m mpa	metriä maanpinnan alapuolella
ME	keskivirhe
NE	koillinen
OL	pintavalunta
r ²	determinaatiokerroin

RMSE	keskineliövirheen neliöjuuri
RQD	kalliolaadun luokitus
S_s	ominaisvarasto
S_y	ominaisantoisuus
SZ	kyllästynyt vyöhyke
TBM	tunnelipora
UZ	kyllästymätön vyöhyke
VWP	tärylankapietsometri

Alla olevassa koostetaulukossa on esitetty pohjavesimallinnuksen osalta lisäykset ja muutokset YVA:n täydennykseen. Taulukko esitetään vain suomenkielisessä mallinnusraportissa.

Luku	Muutokset ja lisäykset	ELY-keskuksen täydennysvaatimukset YVAan
3.1, 4.1, 4.2 ja 4.3 (Itasca Denver, Inc. 2023), 16.3.1 Maanalaisen kaivoksen numeerinen pohjavesimallinnus (YVA 2023)	Pohjaveden virtausmallin pohjana oleva konseptuaalinen malli on päivitetty ja geologista kuvausta on tarkennettu. Laajan uusimman tutkimustiedon lisäksi mallinnuksessa on hyödynnetty uusimpia geologisia malleja vuodelta 2021. MINEDW-mallinnusohjelmalla tehdyn pohjaveden monikerroksisen virtausmallin huomattavan suuri kerrosmäärä ja aktiivisten elementtien määrä mahdollistavat tarkan geologisen kuvauksen. Pohjaveden virtausmallissa on maanalaisen kaivoksen läheisyydessä 34-75 vertikaalista kerrosta. Vinotunnelien kohdalla mallikerrosten määrä kasvaa syvemmälle mentäessä. Mallissa on yli 2,5 miljoonaa aktiivista elementtiä.	Mallia tulee tarkistaa geologisen kuvauksen osalta ja varmistaa, ettei geologista kuvausta ole yleistetty liikaa pohjaveden virtausmalliin.
3.2 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden virtausmallissa on hyödynnetty Sodankylän Tähtelän sääaseman sadanta- ja lämpötila-aineistoa.	Mallissa tulee hyödyntää alueellista sadanta- ja lämpötila-aineistoa.
3.4 ja 4.4 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden virtausmallissa on hyödynnetty koko mallinnusalueelta saatavissa oleva, laaja pohjaveden pinnankorkeuden havaintoaineisto (111 havaintopistettä). Mallinnusaluetta on laajennettu luonnollisille vedenjakaja-alueille siten, että mallinnusalueen ulkopuolisilla pohjaveden pinnankorkeuden havainnoilla ei ole merkitystä mallinnusalueeseen.	Mallissa tulisi hyödyntää laaja-alaisempaa pohjaveden pinnankorkeusaineistoa, mikäli sitä on saatavilla.
3.2.4 ja 4.5 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden muodostumisen kuvaus on tarkentunut huomattavasti aikaisemmasta. Pohjaveden muodostumista (lumien sulamisvedet, sadanta) on mallinnettu käyttäen MIKE SHE -mallia, jonka perusteella pohjaveden virtausmalliin on määritetty pohjaveden muodostumis- ja purkautumisalueet sekä ajallisesti muuttuvat pohjaveden muodostumisnopeudet eri maalajiyksiköille. Pohjaveden muodostumisalueet, muodostumismäärät ja muodostumisnopeudet on kuvattu mallinnusraportissa. Pohjavesimallissa muodostumisnopeudet eri maalajitteille ovat ylempi moreeni 0,18 mm/vrk, heikommin vettä läpäisevä alempi moreeni 0,1 mm/vrk, lajittuneet kerrostumat 0,73 mm/vrk ja turvemaat 0,2 mm/vrk.	Mallinnusraportissa tulee kuvata selkeästi pohjaveden muodostumisalueet, pohjaveden muodostumismäärän ja nopeuden arviointi. Tulee kiinnittää huomiota siihen, millä tarkkuudella pohjaveden muodostumista on kuvattava, jotta mallilla pystytään arvioimaan luotettavasti pohjaveden pinnankorkeuden muutoksia ja erityisesti pohjaveden pinnan alenemaa muutamista senttimetreistä kymmeneen senttimetriin olevalla tarkkuudella.
3.2.2 ja 3.2.4 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Haihdunta on huomioitu MIKE SHE -mallissa, jota on käytetty mallintamaan pohjaveden muodostumista.	Pohjaveden muodostumismäärän laskennassa tulisi huomioida haihdunta, jotta potentiaalinen pohjaveden muodostumisen määrän arviointi olisi

		luotettavampi lumettomana aikana.
3.2.4 ja 4.5 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden muodostumismäärän ja nopeuden arvioinnissa on käytetty numeerista MIKE SHE -mallia, jonka perusteella pohjaveden virtausmalliin on määritetty pohjaveden muodostumis- ja purkautumisalueet sekä pohjaveden muodostumisnopeudet.	Pohjaveden muodostumismäärän ja -nopeuden arvioinnissa tulisi hyödyntää numeerisia malleja ja edelleen niiden tuloksia pohjaveden virtausmallissa.
3.5 ja Liite B (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden virtausmallissa on huomioitu pohjaveden virtaus vinotunneleihin, tuotantotunneleihin sekä louhosperiin ja louhoksiin. Lisäksi herkkyysanalyysissä mallinnettiin kaivostäytön erilaisten vedenjohtavuusarvojen vaikutusta pohjaveden pinnankorkeuden alenemiin. Kaivostäytöt ja niiden hydrauliset ominaisuudet on kuvattu mallinnusraportissa.	Pohjavesimallissa tulee huomioida pohjaveden virtaus vinotunneleihin, tuotantotunneleihin sekä louhosperiin ja louhoksiin. Mallinnuksessa tulee huomioida erilaiset kaivostäytöt sekä niiden hydrauliset ominaisuudet.
3.2.3 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden virtausmallinnuksen pohjana käytetyssä MIKE SHE -mallissa käytettiin SYKE:n tekemää lumen sulantaa kuvaavaa mallia, joka on kalibroitu lumen vesiarvoon.	Lumen sulantaa kuvaava malli tulee kalibroida lumen vesiarvoon, mikäli mahdollista.
4.3 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Mallinnusraportissa on kuvattu laajasti hankkeen havaintopisteistä mitattuja ja mallin lähtötietona käytettyjä vedenjohtavuusarvoja. Raportissa on myös esitetty taulukko, jossa on esitetty mitattujen ja mallin kalibroimien vedenjohtavuuksien arvot. Kalibroidut K-arvot ovat mitattujen sekä kirjallisuudessa esitettyjen K-arvojen vaihteluvälien sisällä. Eri litologisten kerrosten hydrauliset parametrit poikkeavat toisistaan edelleen kalibroinnin jälkeenkin, kuten luonnontilassa.	Pohjavesimallin kalibroinnissa tulee huomioida eri litologisten kerrosten vedenjohtavuuden vaihteluvälit ja rajoittaa kalibroinnissa vedenjohtavuudet hydrogeologisissa tutkimuksissa saatuihin minimi- ja maksimivedenjohtavuusarvoihin, jotta kalibroinnissa säilytetään eri litologisten kerrosten hydraulisten ominaisuuksien poikkeavuus toisistaan.
4.6 ja 4.8 (Itasca Denver, Inc. 2023), 16.3.1 Maanalaisen kaivoksen numeerinen pohjavesimallinnus, mallin kalibointi (YVA 2023)	Pohjaveden virtausmalli on kalibroitu numeerisesti sekä steady state -tilanteeseen että transient -tilanteeseen. Steady state -tilanteen kalibroinnissa on käytetty pohjaveden pinnankorkeuden seuranta-aineistoa yhteensä 67 pohjavesiputkesta ja tutkimusreiästä. Transient-tilanteen kalibroinnissa on käytetty pohjavedenpinnan seuranta-aineistoa vuosilta 2012–2021 yhteensä 98 pohjavesiputkesta. Havaittujen ja simuloitujen pohjavedenpintojen välisiä eroja on tarkasteltu erilaisilla hyvin tunnetuilla ja käytetyillä tilastollisilla tunnusluvuilla virtausmallin toimivuuden arvioimiseksi: keskineliövirheen neliöjuuri (root mean squared error, RMSE), korrelaatiokertoimen neliö (coefficient of determination, r^2), keskipoikkeama (mean absolute error, MAE) ja keskimääräinen virhe (mean error, ME). Tunnuslukujen perusteella sekä steady state- että transient -tilanteen mallit on hyvin kalibroitu.	Kalibointi tulee suorittaa numeerisesti sekä steady state- että transient -malleille ja esittää kvantitatiivinen tulkinta mallin hyvyydestä.
5.0 ja Liite B (Itasca Denver, Inc. 2023),	Kalibroidulla pohjaveden virtausmallilla on simuloitu kaksi erilaista skenaariota:	Mallinnuksen avulla tulee tuottaa useita skenaarioita, kuten best ja worst case

16.3.1 Maanalaisen kaivoksen numeerinen pohjavesimallinnus, tulokset ja herkkyystarkastelu (YVA 2023)	80 % tiivistysskenaario (injektointitehokkuus 80 %) (realistisesti toteutettavissa ja todennäköisin nykytietoon perustuen) 65 % tiivistysskenaario (injektointitehokkuus 65 %). 65 % tiivistysskenaario vastaa tilannetta, joka voitaisiin hyväksyä turvallisuuden ja vuotovesien pumppauksen näkökulmasta. Mikäli injektointitehokkuus olisi matalampi, täytyisi kaivostoiminnassa ryhtyä välittömiin toimiin asian korjaamiseksi mm. turvallisuussyistä.	ilman lieventämistoimenpiteitä sekä erilaisilla lieventämistoimenpiteillä, jotta saadaan arvio pohjaveden pinnankorkeuksien vaihteluväleistä eri tilanteissa.
	Lisäksi kalibroidulla pohjaveden virtausmallilla tehtiin herkkyystarkastelusimulointeja:	
	- Ilmastonmuutoksen simulointi RCP4.5-ilmastoskenaariolla - Simulointi 100 % tiivistysskenaariolla - Simulointi 90 % tiivistysskenaariolla - Simuloinnit kaivostäytön korkeammilla ja matalammilla vedenjohtavuusarvoilla - Simulointi 80 % tiivistysskenaariolla oletuksella, että louhinnan edetessä louhokset täytetään kovettuvalla täytöllä ja niistä tulee täysin tiiviitä ilman täytön kutistumisesta aiheutuvaa vettä johtavaa kanavaa - Simulointi ilman NE-satelliittiesiintymää	
	Lisäksi kalibroidulla pohjavesimallilla simuloitiin maanalaisen kaivoksen ja tarvekilouhoksen yhteisvaikutusta.	
	Jokaisesta skenaariosta ja simuloinnista on esitetty pohjaveden virtausmallin tuottama arvio pohjaveden pinnankorkeuden alenemista, kaivokseen purkautuvan vuotoveden määrästä ja vaikutuksista Kitisen vesitaseeseen sekä arvio pohjaveden pinnankorkeuden palautumisesta kaivostoiminnan päättymisen jälkeen.	
5.1.3 ja Liite B (Itasca Denver, Inc. 2023),	Mallinnusraportissa on esitetty erilaisten lievennystoimenpiteiden laskentatekninen kuvaus. Lisäksi on esitetty arvio todennäköisimmästä tiivistysskenaariosta (80 % tiivistysskenaario). Toteutettu pohjaveden virtausmallinnus on hyvin konservatiivinen geologisten ominaisuuksien kuvausten suhteen ja malli ennemminkin yliarvioi kuin aliarvioi pohjaveden pinnankorkeuden alenemia ja kaivokseen tulevien vuotovesien määrää. Kaivostoimintojen alue ja sen ympäristö tunnetaan hyvin ja mallinnustyö on tehty huolellisuutta ja varovaisuutta noudattaen.	Lievennystoimenpiteiden osalta mallinnustarkastelussa tulee huomioida niiden toteutukseen ja tehokkuuteen käytännössä liittyvät epävarmuudet saavutettavasta kallioperän tiiveydestä ja hydrogeologisista ominaisuuksista. Mallinnusraportissa tulee kuvata selkeästi erilaisten lievennystoimenpiteiden laskentatekninen kuvaus.

	Suunnitellut lievennystoimenpiteet ovat teknisesti toteutettavissa sekä alalla käytettäviä vakiintuneita tiivistys- ja tuentamenetelmiä. Vuotovedet pystytään hallitsemaan ja tarvittava tiivistys maanalaiseen kaivokseen pystytään saavuttamaan.	
3.2.5 ja Liite B (Itasca Denver, Inc. 2023), 16.3.1 Maanalaisen kaivoksen numeerinen pohjavesimallinnus, herkkyystarkastelu (YVA 2023)	Mallinnuksessa käytettävästä ilmastomuutoskenaariosta on sovittu ELY-keskuksen kanssa ja skenaarioksi on valittu RCP4.5-skenaario.	Mallinnuksen ilmastomuutoskenaarioiden ajantasaisuutta tulee tarkastella ja laskea pohjavesimallilla käyttäen uusimpia ilmastomuutoskenaarioiden arvioita Suomelle.
3.0, 4.0 ja 6.0 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Mallinnusraportissa on kuvattu laajasti hankkeen havaintopisteistä ja muilta mittausasemilta mitattuja ja mallin lähtötietona käytettyjä parametrejä. Mallissa käytetyt reunaehdot on kuvattu omassa kappaleessaan. Raportissa on esitetty taulukko, jossa on esitetty mitattujen ja mallin kalibroimien vedenjohtavuuksien arvot. Kalibroidut K-arvot ovat mitattujen sekä kirjallisuudessa esitettyjen K-arvojen vaihteluvälien sisällä. Lisäksi mallinnusraporttiin on lisätty luku, jossa kuvataan mallin epävarmuudet.	Mallinnusraportissa tulee kuvata selkeästi taulukoin mallinnuksessa käytetyt parametrit ja reunaehdot sekä niiden arvot ja arvojen taustalla olevat mittaus- ja kirjallisuustiedot sekä niihin liittyvät epävarmuudet. Pohjavesimallinnuksen parametrিসointia ja tuloksia tulisi tarkastella suhteessa eri arvojen todennäköisiin vaihteluväleihin ja virhemarginaaleihin
6.0 ja Liite B (Itasca Denver, Inc. 2023), 16.3.1 Maanalaisen kaivoksen numeerinen pohjavesimallinnus, epävarmuustarkastelu, herkkyystarkastelu (YVA 2023)	Mallinnusraporttiin on lisätty luku, jossa kuvataan mallin epävarmuudet. Lisäksi mallille on tehty herkkyystarkastelu.	Mallinnustarkasteluun tulee liittää epävarmuuden tarkastelu, jossa tulee käsitellä laaditun mallin epävarmuutta sekä herkkyyttä eri lähtötietojen ja parametrien vaihtelulle, kuten mittausvirheelle. Epävarmuuden arvioinnissa tulee tarkastella mallinnuksen lähtötietojen edustavuutta, kattavuutta ja luotettavuutta.

Alla olevassa koostetaulukossa on esitetty pohjavesimallinnuksen osalta lisäykset ja muutokset Natura-arvion täydennykseen. Taulukko esitetään vain suomenkielisessä mallinnusraportissa.

Luku	Muutokset ja lisäykset	ELY-keskuksen täydennysvaatimukset YVAan
3.1, 4.1, 4.2 ja 4.3 (Itasca Denver, Inc. 2023), 16.3.1 Maanalaisen kaivoksen numeerinen pohjavesimallinnus (YVA 2023)	Pohjaveden virtausmallin pohjana oleva konseptuaalinen malli on päivitetty ja geologista kuvausta on tarkennettu. Laajan uusimman tutkimustiedon lisäksi mallinnuksessa on hyödynnetty uusimpia geologisia malleja vuodelta 2021. MINEDW-mallinnusohjelmalla tehdyn pohjaveden monikerroksisen virtausmallin huomattavan suuri kerrosmäärä ja aktiivisten elementtien määrä mahdollistavat tarkan geologisen kuvauksen. Pohjaveden virtausmallissa on maanalaisen kaivoksen läheisyydessä 34-75 vertikaalista kerrosta.	Mallia tulee tarkistaa geologisen kuvauksen osalta ja varmistaa, ettei geologista kuvausta ole yleistetty liikaa pohjaveden virtausmalliin.

	Vinotunnelien kohdalla mallikerrosten määrä kasvaa syvemmälle mentäessä. Mallissa on yli 2,5 miljoonaa aktiivista elementtiä.	
3.2 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden virtausmallissa on hyödynnetty Sodankylän Tähtelän sääaseman sadanta- ja lämpötila-aineistoa.	Mallissa tulee hyödyntää alueellista sadanta- ja lämpötila-aineistoa.
3.4 ja 4.4 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden virtausmallissa on hyödynnetty koko mallinnusalueelta saatavissa oleva, laaja pohjaveden pinnankorkeuden havaintoaineisto (111 havaintopistettä). Mallinnusalueella on laajennettu luonnollisille vedenjakaja-alueille siten, että mallinnusalueen ulkopuolisilla pohjaveden pinnankorkeuden havainnoilla ei ole merkitystä mallinnusalueeseen.	Mallissa tulisi hyödyntää laaja-alaisempaa pohjaveden pinnankorkeusaineistoa, mikäli sitä on saatavilla.
3.2.4 ja 4.5 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden muodostumisen kuvaus on tarkentunut huomattavasti aikaisemmasta. Pohjaveden muodostumista (lumien sulamisvedet, sadanta) on mallinnettu käyttäen MIKE SHE -mallia, jonka perusteella pohjaveden virtausmalliin on määritetty pohjaveden muodostumis- ja purkautumisalueet sekä ajallisesti muuttuvat pohjaveden muodostumisnopeudet eri maalajyksiköille. Pohjaveden muodostumisalueet, muodostumismäärät ja muodostumisnopeudet on kuvattu mallinnusraportissa. Pohjavesimallissa muodostumisnopeudet eri maalajitteille ovat ylempi moreeni 0,18 mm/vrk, heikommin vettä läpäisevä alempi moreeni 0,1 mm/vrk, lajittuneet kerrostumat 0,73 mm/vrk ja turvemaat 0,2 mm/vrk.	Mallinnusraportissa tulee kuvata selkeästi pohjaveden muodostumisalueet, pohjaveden muodostumismäärän ja nopeuden arviointi. Tulee kiinnittää huomiota siihen, millä tarkkuudella pohjaveden muodostumista on kuvattava, jotta mallilla pystytään arvioimaan luotettavasti pohjaveden pinnankorkeuden muutoksia ja erityisesti pohjaveden pinnan alenemaa muutamista senttimetreistä kymmeneen senttimetriin olevalla tarkkuudella.
3.2.2 ja 3.2.4 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Haihdunta on huomioitu MIKE SHE -mallissa, jota on käytetty mallintamaan pohjaveden muodostumista.	Pohjaveden muodostumismäärän laskennassa tulisi huomioida haihdunta, jotta potentiaalinen pohjaveden muodostumisen määrän arviointi olisi luotettavampi lumettomana aikana.
3.2.4 ja 4.5 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden muodostumismäärän ja nopeuden arvioinnissa on käytetty numeerista MIKE SHE -mallia, jonka perusteella pohjaveden virtausmalliin on määritetty pohjaveden muodostumis- ja purkautumisalueet sekä pohjaveden muodostumisnopeudet.	Pohjaveden muodostumismäärän ja -nopeuden arvioinnissa tulisi hyödyntää numeerisia malleja ja edelleen niiden tuloksia pohjaveden virtausmallissa.
3.5 ja Liite B (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden virtausmallissa on huomioitu pohjaveden virtaus vinotunneleihin, tuotantotunneleihin sekä louhosperiin ja louhoksiin. Lisäksi herkkyysanalyyssissä mallinnettiin kaivostäytön erilaisten vedenjohtavuusarvojen vaikutusta pohjaveden pinnankorkeuden alenemiin. Kaivostäytöt ja niiden hydrauliset ominaisuudet on kuvattu mallinnusraportissa.	Pohjavesimallissa tulee huomioida pohjaveden virtaus vinotunneleihin, tuotantotunneleihin sekä louhosperiin ja louhoksiin. Mallinnuksessa tulee huomioida erilaiset kaivostäytöt sekä niiden hydrauliset ominaisuudet.

3.2.3 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Pohjaveden virtausmallinnuksen pohjana käytetyssä MIKE SHE -mallissa käytettiin SYKE:n tekemää lumen sulantaa kuvaavaa mallia, joka on kalibroitu lumen vesiarvoon.	Lumen sulantaa kuvaava malli tulee kalibroida lumen vesiarvoon, mikäli mahdollista.
4.3 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Mallinnusraportissa on kuvattu laajasti hankkeen havaintopisteistä mitattuja ja mallin lähtötietona käytettyjä vedenjohtavuusarvoja. Raportissa on myös esitetty taulukko, jossa on esitetty mitattujen ja mallin kalibroimien vedenjohtavuusarvojen arvot. Kalibroidut K-arvot ovat mitattujen sekä kirjallisuudessa esitettyjen K-arvojen vaihteluvälien sisällä. Eri litologisten kerrosten hydrauliset parametrit poikkeavat toisistaan edelleen kalibroinnin jälkeenkin, kuten luonnontilassa.	Pohjavesimallin kalibroinnissa tulee huomioida eri litologisten kerrosten vedenjohtavuuden vaihteluvälit ja rajoittaa kalibroinnissa vedenjohtavuudet hydrogeologisissa tutkimuksissa saatuihin minimi- ja maksimivedenjohtavuusarvoihin, jotta kalibroinnissa säilytetään eri litologisten kerrosten hydraulisten ominaisuuksien poikkeavuus toisistaan.
4.6 ja 4.8 (Itasca Denver, Inc. 2023), 16.3.1 Maanalaisen kaivoksen numeerinen pohjavesimallinnus, mallin kalibrointi (YVA 2023)	Pohjaveden virtausmalli on kalibroitu numeerisesti sekä steady state -tilanteeseen että transient -tilanteeseen. Steady state -tilanteen kalibroinnissa on käytetty pohjaveden pinnankorkeuden seuranta-aineistoa yhteensä 67 pohjavesiputkesta ja tutkimusreiästä. Transient-tilanteen kalibroinnissa on käytetty pohjavedenpinnan seuranta-aineistoa vuosilta 2012–2021 yhteensä 98 pohjavesiputkesta. Havaittujen ja simuloitujen pohjavedenpintojen välisiä eroja on tarkasteltu erilaisilla hyvin tunnetuilla ja käytetyillä tilastollisilla tunnusluvuilla virtausmallin toimivuuden arvioimiseksi: keskineliövirheen neliöjuuri (root mean squared error, RMSE), korrelaatiokertoimen neliö (coefficient of determination, r^2), keskipoikkeama (mean absolute error, MAE) ja keskimääräinen virhe (mean error, ME). Tunnuslukujen perusteella sekä steady state- että transient -tilanteen mallit on hyvin kalibroitu.	Kalibrointi tulee suorittaa numeerisesti sekä steady state- että transient -malleille ja esittää kvantitatiivinen tulkinta mallin hyvyydestä.
5.0 ja Liite B (Itasca Denver, Inc. 2023), 16.3.1 Maanalaisen kaivoksen numeerinen pohjavesimallinnus, tulokset ja herkkyystarkastelu (YVA 2023)	Kalibroidulla pohjaveden virtausmallilla on simuloitu kaksi erilaista skenaariota: • 80 % tiivistysskenaario (injektointitehokkuus 80 %) (realistisesti toteutettavissa ja todennäköisin nykytietoon perustuen) • 65 % tiivistysskenaario (injektointitehokkuus 65 %). 65 % tiivistysskenaario vastaa tilannetta, joka voitaisiin hyväksyä turvallisuuden ja vuotovesien pumppauksen näkökulmasta. Mikäli injektointitehokkuus olisi matalampi, täytyisi kaivostoiminnassa ryhtyä välittömiin toimiin asian korjaamiseksi mm. turvallisuussyistä. Lisäksi kalibroidulla pohjaveden virtausmallilla tehtiin herkkyystarkastelusimulointeja: • Ilmastonmuutoksen simulointi RCP4.5-ilmastoskenaariolla	Mallinnuksen avulla tulee tuottaa useita skenaarioita, kuten best ja worst case ilman lieventämistoimenpiteitä sekä erilaisilla lieventämistoimenpiteillä, jotta saadaan arvio pohjaveden pinnankorkeuksien vaihteluväleistä eri tilanteissa.

	• Simulointi 100 % tiivistysskenaariolla • Simulointi 90 % tiivistysskenaariolla • Simuloinnit kaivostäytön korkeammilla ja matalammilla vedenjohtavuusarvoilla • Simulointi 80 % tiivistysskenaariolla oletuksella, että louhinnan edetessä louhokset täytetään kovettuvalla täytöllä ja niistä tulee täysin tiiviitä ilman täytön kutistumisesta aiheutuvaa vettä johtavaa kanavaa • Simulointi ilman NE-satelliittiesiintymää Lisäksi kalibroidulla pohjavesimallilla simuloitiin maanalaisen kaivoksen ja tarvekilouhoksen yhteisvaikutusta. Jokaisesta skenaariosta ja simuloinnista on esitetty pohjaveden virtausmallin tuottama arvio pohjaveden pinnankorkeuden alenemista, kaivokseen purkautuvan vuotoveden määrästä ja vaikutuksista Kitisen vesitaseeseen sekä arvio pohjaveden pinnankorkeuden palautumisesta kaivostoiminnan päättymisen jälkeen.	
5.1.3 ja Liite B (Itasca Denver, Inc. 2023),	Mallinnusraportissa on esitetty erilaisten lievennystoimenpiteiden laskentatekninen kuvaus. Lisäksi on esitetty arvio todennäköisimmästä tiivistysskenaariosta (80 % tiivistysskenaario). Toteutettu pohjaveden virtausmallinnus on hyvin konservatiivinen geologisten ominaisuuksien kuvausten suhteen ja malli ennemminkin yliarvioi kuin aliarvioi pohjaveden pinnankorkeuden alenemia ja kaivokseen tulevien vuotovesien määrää. Kaivostoimintojen alue ja sen ympäristö tunnetaan hyvin ja mallinnustyö on tehty huolellisuutta ja varovaisuutta noudattaen. Suunnitellut lievennystoimenpiteet ovat teknisesti toteutettavissa sekä alalla käytettäviä vakiintuneita tiivistys- ja tuentamenetelmiä. Vuotovedet pystytään hallitsemaan ja tarvittava tiivistys maanlaiseen kaivokseen pystytään saavuttamaan.	Lievennystoimenpiteiden osalta mallinnustarkastelussa tulee huomioida niiden toteutukseen ja tehokkuuteen käytännössä liittyvät epävarmuudet saavutettavasta kallioperän tiiveydestä ja hydrogeologisista ominaisuuksista. Mallinnusraportissa tulee kuvata selkeästi erilaisten lievennystoimenpiteiden laskentatekninen kuvaus.
3.2.5 ja Liite B (Itasca Denver, Inc. 2023), 16.3.1 Maanalaisen kaivoksen numeerinen pohjavesimallinnus, herkkyystarkastelu (YVA 2023)	Mallinnuksessa käytettävästä ilmastomuutosskenaariosta on sovittu ELY-keskuksen kanssa ja skenaarioksi on valittu RCP4.5-skenaario.	Mallinnuksen ilmastomuutosskenaarioiden ajantasaisuutta tulee tarkastella ja laskea pohjavesimallilla käyttäen uusimpia ilmastomuutosskenaarion arvioita Suomelle.
3.0, 4.0 ja 6.0 (Itasca Denver, Inc. 2023)	Mallinnusraportissa on kuvattu laajasti hankkeen havaintopisteistä ja muilta mittausasemilta mitattuja ja mallin lähtötietona käytettyjä parametrejä. Mallissa käytetyt reunaehdot on kuvattu omassa kappaleessaan.	Mallinnusraportissa tulee kuvata selkeästi taulukoin mallinnuksessa käytetyt parametrit ja reunaehdot sekä niiden arvot ja arvojen taustalla olevat mittaus-

	Raportissa on esitetty taulukko, jossa on esitetty mitattujen ja mallin kalibroimien vedenjohtavuuksien arvot. Kalibroidut K-arvot ovat mitattujen sekä kirjallisuudessa esitettyjen K-arvojen vaihteluvälien sisällä. Lisäksi mallinnusraporttiin on lisätty luku, jossa kuvataan mallin epävarmuudet.	ja kirjallisuustiedot sekä niihin liittyvät epävarmuudet. Pohjavesimallinnuksen parametrisointia ja tuloksia tulisi tarkastella suhteessa eri arvojen todennäköisiin vaihteluväleihin ja virhemarginaaleihin
6.0 ja Liite B (Itasca Denver, Inc. 2023), 16.3.1 Maanalaisen kaivoksen numeerinen pohjavesimallinnus, epävarmuustarkastelu, herkkyystarkastelu (YVA 2023)	Mallinnusraporttiin on lisätty luku, jossa kuvataan mallin epävarmuudet. Lisäksi mallille on tehty herkkyystarkastelu.	Mallinnustarkasteluun tulee liittää epävarmuuden tarkastelu, jossa tulee käsitellä laaditun mallin epävarmuutta sekä herkkyyttä eri lähtötietojen ja parametrien vaihtelulle, kuten mittausvirheelle. Epävarmuuden arvioinnissa tulee tarkastella mallinnuksen lähtötietojen edustavuutta, kattavuutta ja luotettavuutta.

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 (AASM Oy), joka omistaa Sakatin kaivoshankkeen (jatkossa ”kaivostoimintojen alue”) ja vastaa suunnitellusta kaivostoiminnasta, antoi Itasca Denver Inc:lle (Itasca) toimeksiannon, jolla oli seuraavat tavoitteet:

1. Arvioida saatavilla olevat hydrogeologiset aineistot, jotka on kerätty kaivostoimintojen alueelta
2. Arvioida ja päivittää käsitteellinen hydrogeologinen malli uusimpien kerättyjen tietojen pohjalta, huomioiden pohjaveden pinnankorkeudet, geologiset tiedot ja kaivossuunnitelman tiedot
3. Kehittää pohjaveden virtausmalli, joka vastaa käsitteellistä hydrogeologista mallia ja sisältää kaivostoiminnan
4. Kalibroida pohjaveden virtausmalli pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihteluihin
5. Laatia ennusteet maanalaisen kaivoksen vuotovesimääristä ja pohjaveden pinnankorkeuden mahdollisesta alenemasta eri tilanteissa
6. Suorittaa luotettava herkkyystarkastelu pohjaveden virtausmallin keskeisistä parametreista
7. Laatia arvio pohjaveden virtausmallin epävarmuuksista
8. Arvioida ilmastonmuutoksen vaikutus pohjavesiolosuhteisiin tulevaisuudessa
9. Antaa ohjeita ja suosituksia tulevaa maanalaisten kaivostilojen kuivatusta ja pohjaveden seurantaa varten kaivostoimintojen alueella.

KÄSITTEELLINEN HYDROGEOLOGINEN MALLI

Projektille määriteltiin hydrologinen tutkimusalue (HTA). HTA on huomattavasti laajempi kuin ehdotettu kaivostoimintojen alue, jotta voidaan välttää kaivoksen kuivatuksesta aiheutuvan

TIIVISTELMÄ (jatkuu)

hydraulisten vaikutusten ulottuminen HTA:n rajoille. Keskeinen alue HTA:n sisällä on Viiankiaavan suo. Suo kuuluu Suomen soidensuojeluohjelmaan ja Euroopan unionin Natura 2000 -verkostoon. Suo koostuu Natura-suojelluista aapasoista ja muista suojelluista elinympäristöistä ja siellä kasvaa useita suojeltuja kasvilajeja. Ehdotettu maanalainen kaivos sijaitsee suoraan itään Kitiseltä suon kulmassa ja osittain suon alapuolella HTA:lla.

HTA:n pohjavesisysteemiä voidaan kuvata yleisellä 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
3. Syvän kallion pohjavesi ehjässä kallioperässä rikkonaisen kallioperän alla.

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

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 300 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).

TIIVISTELMÄ (jatkuu)

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** – Kaivostoimintojen alueen tulevaisuuden ilmastosta on tehty lukuisia tutkimuksia. Tutkimukset osoittavat, että lämpötila todennäköisesti nousee ja sadanta kasvaa HTA:lla. Koska alueen lämpötilan odotetaan muuttuvan, sateen olomuoto (vesi tai lumi) ja lumen sulamisen ajoitus voivat muuttua. Näiden muuttujien muutokset vaikuttavat todennäköisesti pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihteluun ja pohjaveden muodostumiseen.
5. **Viiankiaavan suo** – Suon luontotyyppejä 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. 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 heikko ja joka erottaa turpeen 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 hydrogeologista yksiköistä (maaperä ja kallion ylempi rikkonainen ja rapautunut osa) mitatuissa pohjaveden pinnankorkeuksissa voidaan havaita pohjaveden muodostumisvaihtelun aiheuttamaa vuodenaikaisvaihtelua. 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. 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

TIIVISTELMÄ (jatkuu)

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 etelärajalla.
8. **Geologinen rakenne** – Kaivostoimintojen alueen hydrogeologia käsittää 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 pohjaveden vyöhyke ehjässä kallioperässä, joka muodostuu pääasiassa mafisesta ja ultramafisesta vulkaanisesta kallioperästä.

 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 rakoihin.
9. **Paikalliset ja alueelliset ruhjeet** – Kaivostoimintojen alueella sijaitsevat seuraavat ruhjeet: pohjaruhje, itäinen siirros, itä-länsisiirros, SENW1- ja SENW2-siirroket, itä-länsi keskinen siirros ja kattopuolen hiertovyöhyke. Lisäksi on alueellisia ruhjeita. 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 kallioperän vedenjohtavuuksia.
10. **Kaivoksen, vinotunnelin ja maanalaisten louhosten rakentaminen** – Ennen vuotta 2017 tehdyistä malminetsintäkairauksista on jäänyt maanalaisen kaivoksen alueelle avoimia kairareikiä, jotka lävistävät mineralisaation ja joilla saattaa olla hydraulinen yhteys yläpuolisten hydrogeologisten yksiköiden vesiin kaivoksen toiminnan aikana. AASM Oy on käynnistänyt hankkeen avoimien kairareikien sulkemiseksi, jotka sijoittuvat maanalaisen kaivostoiminnan alueelle tai alle 50 metrin etäisyydelle kaivostoiminnan alueesta. Suurin osa näistä kairarei'istä suljetaan rakennusvaiheen aikana.

Maanpinnalta Kuusivaarasta porataan neljä vinotunnelia maanlaiseen kaivoksen alueelle, joka sijaitsee syvän kallioperän pohjavesivyöhykkeessä syvällä suon alla.

TIIVISTELMÄ (jatkuu)

Tunnelien ja maanalaisen kaivoksen rakentaminen vaikuttaa todennäköisesti 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 injektoimista kohteissa, joissa vuotovesimäärät ovat runsaita ja voisivat vaikuttaa kaivoksen toimintaan tai johtaa pohjaveden pinnankorkeuden merkittävään alenemiseen.

Koska maanalaiset louhokset sijoittuvat alhaisen vedenjohtavuuden omaavaan syvään kallioperän, kaivostoiminnan mahdollinen vaikutus matalan vyöhykkeen pohjavesiin on todennäköisesti rajallinen.

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 rajausta 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 pohjaveden luonnontilaisiin pinnankorkeuksiin, jotka on mitattu ennen lumen sulamisen alkamista, ja transient -virtausmalli kalibroitiin pohjaveden luonnontilaisiin pohjaveden pinnankorkeuksiin, jotka on mitattu kesäkuun 2012 ja kesäkuun 2021 välillä. Pohjaveden virtausmallin kalibrointi on prosessi, jossa mallin parametreja vaihdellaan

TIIVISTELMÄ (jatkuu)

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 0,1 m, absoluuttinen keskivirhe (MAE) 0,6 m ja keskineliövirheen neliöjuuri (RMSE) 0,8 m. Kaiken kaikkiaan mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeudet vastaavat hyvin mitattuja pohjaveden pinnankorkeuksia. Mallin tilastolliset tunnusluvut ME, MAE ja RMSE ovat hyvin kalibroitujen arvojen normaalialueiden rajoissa, kuten on määritelty eri lähteissä (Anderson ja Woessner 1992; ESI 2017; Spitz ja Moreno 1996). Tilastollisten termien määritelmät on kerrottu 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 2012 ja kesäkuun 2021 väliltä osoittaa, että transient-malli on hyvin kalibroitu (Hill 1998) pohjaveden pinnankorkeuksiin vuodenaikaisvaihtelun ja vaihtelun suuruusluokan suhteen.
4. Transient-malli on hyvin kalibroitu pohjaveden mitattujen pinnankorkeuksien muutoksiin 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 +/- 1,0 m rajoissa. ME, MAE ja RMSE ovat tyypillisesti alle 1,0 m ja r^2 on suurempi kuin 0,95 koko transient-mallin kalibroinnin ajanjakson aikana.

TIIVISTELMÄ (jatkuu)

ENNUSTAVAT MALLISIMULAATIOT JA HERKKYYSANALYYSI

Kalibroidulla pohjaveden virtausmallilla ennustettiin maanalaiseen kaivokseen tulevia vuotovesimääriä ja pohjaveden pinnankorkeuden mahdollista alenemaa. Seuraavassa on esitetty tulokset ja johtopäätökset 80% tiivistysskenaariolle:

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 118 kuutiometriä tunnissa (m^3/h) (noin 2 830 kuutiometriä vuorokaudessa [m^3/vrk]). Saavutettuaan huippunsa, vuotovesimäärä laskee kaivoksen elinkaaren aikana vähitellen arvoon $100 \text{ m}^3/\text{h} - 110 \text{ m}^3/\text{h}$ (2 400–2 640 m^3/vrk).
2. Vettä johtavan pohjaruhjeen vuoksi matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeuden aleneman ennustetaan olevan suurempaa vinotunnelien lähettyvillä kuin muilla alueilla. Pohjaruhjeen korkeamman vedenjohtavuuden johdosta paineen alentuminen ulottuu syvästä kallioperästä matalan vyöhykkeen pohjavesikerrokseen ja johtaa vedenpinnan alenemiseen. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 0,93 m talvella ja noin 0,75 m kesällä toimintavuotena 22.
3. Kaivostoimintojen pääalueella alenema on suurimmillaan 0,6 m toimintavuotena 22 eli kaivostoiminnan päättyessä.
4. Alenema on suurin lähellä maanpintaa kulkevien vinotunneleiden ja kaivoksen sisäänkäyntien alueella, missä maanalainen kaivos on alle 150 metrin syvyydessä maanpinnan alapuolella (m mpa). Tällä vinotunnelialueella alenema on kaivostoiminnan päättyessä 2,8 m.
5. Ennustettu alenema vaihtelee vuodenaikojen mukaan johtuen lumen sulamisesta. Alenemien ennustetaan olevan vuosittain suurimmillaan keväällä ennen lumen sulamista.
6. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,6 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 0,5–2 m rajoissa kaivostoimintojen pääalueella.
7. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 2,8 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 1–20 m rajoissa Kuusivaaran alueella.
8. Ennusteen mukaan pohjaveden purkautuminen Kitiseen voi vähentyä enintään $20 \text{ m}^3/\text{h}$, mikä vastaa noin 4–6 prosenttia pohjaveden mallin laskemasta kokonaispurkautumisesta Kitiseen. Purkautumisen vähentyminen ei vaikuta olennaisella tavalla Kitisen

TIIVISTELMÄ (jatkuu)

kokonaisvirtaamaan (muutos on noin 0,01 %; SYKE 2022). 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.

9. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päätyttyä. Viiden 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.
10. Ehjän kallion matalampien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän pohjavesikaivojen havaintopisteissä alle 1 m.

Seuraavassa on esitetty tulokset ja johtopäätökset 65% tiivistysskenaariolle:

1. 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 122 m³/h (noin 2 930 m³/vrk). Saavutettuaan huippunsa vuotovesimäärä laskee kaivoksen elinkaaren aikana vähitellen arvoon 107 m³/h – 118 m³/h (2 570–2 830 m³/vrk).
2. Vettä johtavan pohjaruhjeen vuoksi matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeuden aleneman ennustetaan olevan suurempaa vinotunnelien lähetyvillä kuin muilla alueilla. Koska vedenjohtavuus on pohjaruhjeen kohdalla suurempi, paineen alentuminen ulottuu syvästä kallioperästä matalan vyöhykkeen pohjavesikerrokseen ja johtaa vedenpinnan alenemiseen. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 1,0 m talvella ja noin 0,8 m kesällä kaivostoiminnan 22. vuonna.
3. Kaivostoimintojen pääalueella alenema on suurimmillaan 0,6 m toimintavuotena 22 eli kaivostoiminnan päättyessä.
4. Alenema on suurin lähellä maanpintaa kulkevien vinotunneleiden ja kaivoksen sisäänkäyntien alueella, missä maanalainen kaivos on alle 150 metrin syvyydessä maanpinnan alapuolella. Tällä vinotunnelialueella alenema on kaivostoiminnan päättyessä 4,0 m.

TIIVISTELMÄ (jatkuu)

5. Ennustettu alenema vaihtelee vuodenaikojen mukaan johtuen lumen sulamisesta. Alenemien ennustetaan olevan vuosittain suurimmillaan keväällä ennen lumen sulamista.
6. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,6 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 0,5–2 m rajoissa kaivostoimintojen pääalueella.
7. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 4,0 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 1–20 m rajoissa Kuusivaaran alueella.
8. Ennusteen mukaan pohjaveden purkautuminen Kitiseen voi vähentyä enintään 20 m³/h, mikä vastaa noin 4–6 % pohjaveden kokonaispurkautumisesta Kitiseen. Purkautumisen vähentyminen ei vaikuta olennaisesti joen kokonaisvirtaamaan (muutos on noin 0,01 %; SYKE 2022). Pohjaveden purkautumisen valunnan 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.
9. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päätyttyä. Kymmenen 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.
10. Ehjän kallion matalampien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmillä olevissa pohjaveden havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän havaintopisteissä alle 2,5 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 kuvattuihin malliskenaarioihin, joissa NE satelliittiesiintymä on mukana. Toimintavuoden 6 jälkeen vuotovesimäärä vähentyy arvoon 95–100 m³/h 80% tiivistysskenaariossa ilman NE-satelliittiesiintymää ja arvoon 100–105 m³/h 65% tiivistysskenaariossa ilman NE-satelliittiesiintymää. Vähennys on noin 5–10 m³/h kummassakin malliskenaariossa.

TIIVISTELMÄ (jatkuu)

2. Suurin alenema kaivostoimintojen pääalueella pienentyy noin 0,2 metriin. Tämä on enintään 0,4 m vähemmän kuin kaivossuunnitelmassa, joka sisältää NE satelliittiesiintymän.
3. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,2 m) on vähäisempi kuin pohjaveden pinnankorkeuden mitattu vuodenaikaisvaihtelu 0,5–2 m kaivostoiminnan pääalueella.
4. Kitiseen suuntautuvan pohjaveden purkautumisen ennustettuun vähentymiseen ei juuri ole vaikutusta.
5. 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 kaivossuunnitelmassa mukana NE-satelliittiesiintymä vai ei.

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

1. 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 trendit ennustavat aleneman kasvavan ilmaston muuttuessa havaintopisteissä, jotka ovat lähellä lajittuneita kerrostumia ja moreeneja, sillä pohjaveden muodostumisen ennustetaan vähentyvän näissä hydrogeologisissa yksiköissä.

TIIVISTELMÄ (jatkuu)

- d. Pitkän aikavälin trendit ennustavat aleneman laskevan tai pysyvän samana havaintopisteissä, jotka sijaitsevat turpeessa tai sen lähellä, sillä pohjaveden muodostumisen ennustetaan lisääntyvän tässä hydrogeologisessa yksikössä.
2. Tiivistystehokkuuden parantuminen vähentää todennäköisesti vuotovesimääriä ja pienentää alenemaa vettä johtavien ruhjerakenteiden alueella. Vuotovesimäärän vähentäminen vettä johtavien rakenteiden onnistuneella tiivistyksellä on täten olennaisen tärkeää.
3. Täytön vedenjohtavuuden pienentyminen ei juuri vaikuta kokonaistuloksiin, sillä täytön vedenjohtavuus on korkeampi kuin ympäröivän kallioperän.

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 rajoitetummin vedenjohtavuusmittauksia kuin kaivosalueelta.
 - b. Vesihävikikokeiden tulosten perusteella kaivosalueen geologisten rakenteiden vedenjohtavuudet ovat samankaltaisia kuin ruhjeiden ympärillä olevan kallioperän vedenjohtavuudet, koska raot ja rakenteet ovat yleensä täytteisiä ja ominaisuuksiltaan myloniittisia siirroksia.
 - c. Turve on simuloitu yhtenä hydrogeologisena yksikkönä, jonka vedenjohtavuus ei vaihtelee. Tutkimuksissa on havaittu, että vedenjohtavuudet vaihtelevat turpeen sisällä, turpeen alaosassa vedenjohtavuus ovat alhaisempi sekä usein paikoin turpeen pohjalla esiintyy veden liikettä pidättävä tai hidastava tiivis pohjakerros. 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.

TIIVISTELMÄ (jatkuu)

2. Transient-malli on kalibroitu hyvin saatavilla olevaan pohjaveden pinnankorkeusaineistoon. Pohjaveden virtausmalli on kalibroitu ensisijaisesti havaintopisteisiin joki- ja jäätikkökerrostumissa, rikkoutuneessa kallioperässä ja matalassa ehjässä kallioperässä. Syvällä (yli 200 metriä maanpinnan alapuolella) olevasta kallioperän pohjaveden painekorkeudesta on saatavilla rajoitetummin 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. Pohjaveden muodostumisen 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 pohjavesistä mutta HTA:n reuna-alueilta ja läpi HTA:n tietoa-aineistoa on rajatun saatavilla.
 - 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 muuttujat.
4. Alenemaennusteissa ei ole huomioitu tiheän kasvillisuuden, juurien imuvoiman ja maanpinnan runsaan humuskerroksen vaikutuksia. Nämä vaikutukset vähentävät pohjaveden pinnankorkeuden ennustettua alenemaa.
5. Turpeen osalta on oletettu, että turve on hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen ja että turve toimii huokoisena materiaalina. Saatavilla olevien tietojen perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että turpeella on usein paikoin tiivis pohjakerrokset 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.



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 hydrogeologiset tietoaineistot, arvioimaan ja päivittämään käsitteellisen hydrogeologisen mallin, kehittämään 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 tietoaineistojen pohjalta, huomioiden pohjaveden pinnankorkeudet, geologiset tiedot ja kaivossuunnitelman tiedot
3. Kehittää pohjaveden virtausmalli, joka vastaa käsitteellistä hydrogeologista mallia ja sisältää kaivostoiminnan
4. Kalibroida pohjaveden virtausmalli pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihteluihin
5. Laatia ennusteet maanalaisen kaivoksen vuotovesimääristä ja pohjaveden pinnankorkeuden mahdollisesta alenemasta eri tilanteissa
6. Suorittaa luotettava herkkyystarkastelu pohjaveden virtausmallin keskeisistä parametreista
7. Laatia arvio pohjaveden virtausmallin epävarmuuksista
8. Arvioida ilmastonmuutoksen vaikutus pohjavesiolosuhteisiin tulevaisuudessa
9. Antaa ohjeita ja suosituksia tulevaa maanalaisten kaivostilojen kuivatusta ja pohjaveden seurantaa varten kaivostoimintojen alueella.

Tämän raportin tarkoituksena on tarjota yhteenveto edellä kuvatusta mallinnustyöstä.

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, maanlaisen kaivoksen ja maanpäällisen infrastruktuurin.
3. Maanalainen kaivos – ehdotettu maanalainen kaivos malmiesiintymän ja louhosten ympärillä.
4. Vinotunnelit – maanalaiset tunnelit, jotka louhitaan tunneliporalla (TBM) kaivoksen rakennusvaiheessa.
5. Vuotovesi – kaivokseen tihkuva vesi.
6. Rapautunut/rikkonainen kallioperä – kallioperän yläosa, jota metamorfiset prosessit, siirrokset, tektoniset tapahtumat ja preglasiaalinen eroosio ovat rapauttaneet ja rikkoneet.
7. Ehjä kallioperä – rapautuneen/rikkonaisen kallioperän alla olevaan kallioperä, joka ei ole rapautunut tai rikkoutunut.
8. Syvän kallioperän pohjavesi – syvän kallioperän pohjavesi paikallisissa huokosissa ja raoissa.
9. Matalan vyöhykkeen pohjavesi – pohjavesi lähellä maanpintaa olevissa alluviaalisissa, jäätikkö- ja jokikerrostumissa sekä rapautuneessa ja rikkonaisessa kallioperässä.
10. Suo – Viiankiaavan suo.

2.0 KÄSITTEELLINEN HYDROGEOLOGINEN MALLI

2.1 HYDROLOGINEN TUTKIMUSALUE

Kuvassa 2-1 on esitetty tätä tutkimusta varten määritelty hydrologinen tutkimusalue (HTA). HTA on paljon suunniteltua kaivosaluetta suurempi, jotta voidaan välttää kaivoksen kuivatuksesta 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 on huomattavasti laajempi kuin aikaisemmissa tutkimuksissa (Stantec 2020), jotta on mahdollista sisällyttää kaikki saatavilla oleva hydrogeologinen tietoaineisto käsitteellisiin ja numeerisiin malleihin. Laajemman HTA:n tärkeimmät edut ovat seuraavat:

1. Koko Viiankiaavan suoalue sisältyy HTA:han.
2. Koko maanalaisen kaivoksen alue (maanalaiset tuotantotunnelit ja louhokset) ja vinotunnelit sisältyvät HTA:han.
3. HTA:n ulkorajat ovat huomattavan etäisyyden päässä mahdollisista kaivostoiminnan aiheuttamista hydraulisista muutoksista, jolloin mahdolliset reunavaikutukset mallin ennustamiin tuloksiin voidaan välttää.

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 alueen lähellä 185–188 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 sijainnit on esitetty kuvan 2-1 lisäkartassa. Pääesiintymän koko on noin 0,45 km², ja sen keskus sijaitsee 600 metriä itään Kitisestä. NE satelliittiesiintymän koko on noin



0,07 km², ja sen keskus sijaitsee 1 400 metriä itään Kitisestä. Esiintymiin porataan maan päältä Kuusivaarasta neljä vinotunnelia, jotka ulottuvat pääesiintymästä ensin 2 km lounaaseen ja sitten 3 km etelään (punainen viiva kuvassa 2-1). Vinotunnelleiden sisäänkäynnit ovat maan pinnalta Kuusivaaran alueella. Kuusivaaran alue sijaitsee noin 10 km koilliseen Sodankylästä.

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 luontotyyppejä ovat muun muassa aapa- ja keidassuot, letot, huurresammallähteet, 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. Ehdotettu maanalainen kaivos sijaitsee suoraan itään Kitiseltä suon kulmassa ja osittain suon alapuolella HTA:lla. Kaivostoimintojen alueen pää- ja NE satelliittiesiintymät sijaitsevat syvällä suon alapuolella. Pää- ja NE-satelliittiesiintymien korkeimmat kohdat ovat noin 255 ja 80 metrin syvyydessä maanpinnan alapuolella suon alla.

2.2 KÄSITTEELLISEN HYDROGEOLOGISEN MALLIN KESKEISET ELEMENTIT

Kuvassa 2-3 on esitetty käsitteellisen hydrogeologisen mallin pääelementit. Kuvassa 2-4 on esitetty suon käsitteellinen hydrogeologinen malli. Käsitteellinen hydrogeologinen malli on yksinkertaistettu esitys niistä keskeisistä tekijöistä, jotka vaikuttavat maaperän ja kallioperän pohjavesiin, matalan vyöhykkeen ja syvän kallioperän pohjavesien vuorovaikutukseen, maanalaisen kaivoksen vuotovesiin ja mahdolliseen kaivostoiminnan aiheuttamaan pohjaveden pinnankorkeuden alenemaan. Kuvaan 2-3 merkityt numerot (#1– #14) viittaavat seuraaviin käsitteellisen mallin pääelementteihin:

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 300 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 ja 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 pinnakorkeuden vuodenaikaisvaihteluun ja muodostumiseen.
5. **Viiankiaavan suo** – Suon luontotyyppejä ovat muun muassa aapa- ja keidassuot, letot, huurresammallähteet, puustoiset suot ja luonnonmetsä. Suo on merkittävin ympäristöllisesti herkkä alue HTA:lla. Alueella tavataan lukuisia uhanalaisia ja silmälläpidettäviä kasvi- ja eläinlajeja. Kuvat 2-4a ja 2-4b esittävät suon käsitteellistä kuvaa 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 (#2).

Turpeen paksuus vaihtelee ja turpeen paksuuden kasvaessa myös turpeen maatuneisuus kasvaa. Turpeen sisältämä vesi on osittain orsivettä, ja turpeen osittain vettä läpäisevä pohja muodostuu tiiviistä turvekerroksesta, jonka vedenjohtavuus (K) on alhainen ja joka erottaa turpeen alla olevista jäätikkö- ja jokikerrostumista (#6) (Korkka-Niemi ym. 2017; Salonen ym. 2016; Turtiainen 2020). Alhaisen vedenjohtavuuden omaavaa pohjakerrosta ei esiinny koko suoalueella, minkä seurauksena turpeen ja jäätikkö- ja jokikerrostumien välillä on osittainen hydraulinen yhteys paikoin. Yhteydestä todistaa samankaltainen vesikemia.

Pintaveden valuntaa tapahtuu suolla lumen sulamisen aikana, ja vettä säilyy suolla kesän ajan järvissä, lammissa puroissa ja rimmissä (#3). Veden virtaaminen on turpeessa pääosin horisontaalista turvekerroksen heikosti maatuneessa ja paremmin vettä johtavassa ylimmässä osassa. Turpeessa tapahtuu myös hitaampaa pystysuuntaista huokosveden suotautumista, tätä pystysuuntaista veden suotautumista rajoittaa kasvavan maatuneisuuden myötä pienenevä vedenjohtavuus

GTK:n turvetutkimuksen (1965, julkaisematon) perusteella turpeen maatuneisuus kasvaa turpeen paksuuden kasvaessa, maatuneisuus vaihtelee Von Post:n maatuneisuusasteikolla H2–H8 Viiankiaavalla. Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet vedenjohtavuuden pienenevän maatuneisuuden kasvessa (Päivänen 1973, Morris ym. 2021). Aikaisempaan turvetutkimukseen (GTK 1965) Viiankiaavan turpeelle voidaan yleistää seuraavat: (1) heikosti maatuneen turpeen (H2–4) mediaanipaksuus on 1 m ja suurin paksuus 4.5 m, (2) keskiasteisesti maatuneen turpeen (H5–6) mediaanipaksuus on 0.5 m ja suurin paksuus 2.4 m, (3) hyvin maatuneen turpeen (H7–8) keskipaksuus on 0.3 m suurin paksuus 2.0 m. Maatuneisuusasteen kasvaminen on yleensä vaihettaista mutta myös vaihtelevia tai teräviä muutoksia tavataan. Viiankiaavan turpeelle laskennalliset vedenjohtavuudet maatuneisuuteen perustuen vaihtelevat heikosti maatuneessa turpeessa $3 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-5}$ m/s välillä, keskiasteisesti maatuneessa turpeessa $1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-5}$ m/s välillä ja hyvin maatuneessa turpeessa $1 \times 10^{-7} - 3 \times 10^{-6}$ m/s välillä (Päivänen 1973)

Kuvassa 2-4a on esitetty länsi-itäsuuntainen poikkileikkaus maanalaisen kaivoksen alueesta ja suosta. Poikkileikkauksessa on esitetty huokosveden ja pohjaveden pinnankorkeuden kuvaajat turpeessa sekä turpeen alla olevissa kerrostumissa. Maanalaisen kaivoksen kohdalla suoalueella turpeen paksuus vaihtelee alle 0,5 metristä 7 metriin. Turpeeseen on asennettu pohjaveden havaintoputkia, joista mitattujen huokosveden paineiden perusteella veden pinnankorkeudet turpeessa nousevat talvikuukausina, kun lumen syvyys kasvaa ja havaintoputkeen muodostuu jääkansi (lumipeite kasvattaa huokosveden painetta turpeessa, jolloin huokosveden pinnankorkeudet näyttäivät kasvavan). Turveysikön alta pohjaveden havaintoputkista GA303 ja GA403 (kuva 2-4a) mitatut pohjaveden pinnankorkeudet eivät reagoi samalla tavalla lumipeitteen paineen alla. Kun vertaillaan lumipeitteen paksuuden vaikutusta (pohjaveden ja huokosveden painenvaihtelu) (GA103 vs. GA303/GA403), voidaan havaita, että turpeen ja sen alla olevien kerrostumien välillä ei välttämättä ole hydraulista yhteyttä kaikilla alueilla.

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 glasiaalisten ja fluviaalisten kerrostumaen pohjaveden kanssa, mistä todisteena on samankaltainen vesikemia (#9). Havaintoaineiston perusteella ehjän kallioperän pohjavesi sisältää

enemmän liuenneita aineita ja eroaa vesikemialtaan muutenkin lasiaalisten ja fluviaalisten kerrostumaen 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. **Geologia** – 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 ehjässä kallioperässä, joka muodostuu pääasiassa mafisesta ja ultramafisesta vulkaanisesta kallioperästä (#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 rakoihin ja huokosiin.

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

9. **Paikalliset ja alueelliset ruhjeet** – Kaivostoimintojen alueella sijaitsevat seuraavat malmiesiintymää lävistävät ruhjeet: itäinen siirros, itä-länsisiirros, SENW1- ja SENW2-siirroksat, itä-länsi keskinen siirros ja kattopuolen hiertovyöhyke. Lisäksi on alueellisia ruhjeita. 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 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. Kaivoksen, vinotunnelien ja maanalaisten louhosten rakentaminen – Ennen vuotta 2017 tehdyistä malminetsintäkairauksista on jäänyt maanalaisen kaivoksen alueelle avoimia kairareikiä, jotka lävistävät mineralisaation ja joilla saattaa olla hydraulinen yhteys yläpuolisten hydrogeologisten yksiköiden vesiin kaivoksen toiminnan aikana. AASM Oy on käynnistänyt hankkeen avoimien kairareikien sulkemiseksi, jotka sijoittuvat maanalaisen kaivostoiminnan alueelle tai alle 50 metrin etäisyydelle kaivostoiminnan alueesta. Suurin osa näistä kairareikiä suljetaan rakennusvaiheen aikana (#14).

Maanpinnalta Kuusivaarasta porataan neljä vinotunnelia maanalaiseen kaivoksen alueelle, joka sijaitsee syvän kallioperän pohjavesivyöhykkeessä syvällä suon alla. Tunnelien ja maanalaisen kaivoksen rakentaminen vaikuttaa todennäköisesti kallioperän pohjavesiin. Ehjän 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 injektoimista kohteissa, joissa vuotovesimäärät ovat runsaita ja voisivat vaikuttaa kaivoksen toimintaan tai johtaa pohjaveden pinnankorkeuden merkittävään alenemiseen.

3.0 KESKEISET HYDROGEOLOGISET TIETOAINEISTOT

Seuraavat osiot sisältävät yleiskatsauksen keskeisistä hydrogeologisista tietoaaineistoista, joita hyödynnettiin osiossa 2.0 kuvatun hydrogeologisen mallin laatimisessa ja osiossa 4.0 kuvatun alueellisen pohjaveden virtausmallin laatimisessa ja kalibroimisessa. Käsitteellisen ja numeerisen pohjaveden virtausmallin laatimisessa on käytetty seuraavia keskeisiä tietoja:

1. Geologiset mallit, sisältäen geologiset yksiköt ja ruhjeet
2. Vesihävikikokeista saadut hydrauliset tiedot
3. Ilmastotiedot, kuten sadanta, kokonaishaihdunta ja arviot ilmastomuutoksesta
4. Ehdotetut kaivossuunnitelmat.

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.

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 siirrostien 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. 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 pohjaveden virtausmallissa. Seuraavassa on 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 turpeestasekä rikkonaisesta kallioperästä. Matalan vyöhykkeen malli on esitelty yksityiskohtaisesti julkaisussa Åberg ym. (2021).

2. **Vinotunneli- ja malmiesiintymämalli (AASM 2021, julkaisematon):** Tunneliporauslinjan ja malmiesiintymän malli on uusiin päivitys geologisista tiedoista (AASM Oy 2021). 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 -suojelualue 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 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. 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 $1,0 \times 10^{-7} - 2,4 \times 10^{-4}$ metriä sekunnissa (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 yhteenvedon HTA:n hydrogeologisista yksiköistä mitatuista vedenjohtavuuksista.

Koska osa turveyksikössä esiintyvässä vedestä on orsivettä (kuva 2-4), joka ei ole yhteydessä alla olevien jäätikkö- ja jokikerrostumiin ja kallioperään, tulee pohjaveden virtausmallin ennustama pohjaveden pinnankorkeuden alenema tapahtumaan jäätikkö- ja jokikerrostumissa ja kallioperässä turveyksikön alla. Turveyksikössä 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, keskimmäinen 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, sora-alueet 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.

Golder (2015) mittasi hydraulisissa kokeissaan jäätikkö- ja jokikerrostumien vedenjohtavuutta 38 koekuopasta. 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).

3.1.1.3 Rikkonainen kallioperä

Jäätikkö- ja jokikerrostumien alla oleva rikkonainen kallioperä on muodostunut preglasiaalisen eroosion (Hall ym. 2015), metamorfisten prosessien, ruhjeutumisen, tektonisten tapahtumien ja jäätikön etenemisen (Helmens ym. 2000; Hättestrand ja Stroeve 2002; Helmens ym. 2007; Hall ym. 2015; Sarala ym. 2015) seurauksena. Rikkonainen kallioperä koostuu vaihtelevan paksuisesta ylemmästä kallioperästä, joka on paksuimmillaan 150–200 m. Kuvan 3-3 pohjois-eteläsuuntainen poikkileikkaus kaivostoimintojen alueesta havainnollistaa rikkonaisen kallioperän arvioidun paksuuden. Taulukko 3-1 sisältää yhteenvedon rikkonaisen kallioperän mitatuista vedenjohtavuuksista. Rikkonaisen kallioperän paksuus vaihtelee merkittävästi eri puolilla HTA:ta. Ehdotettu maanalaisen kaivoksen alue sijaitsee NE satelliitti- ja pääesiintymän alueilla 20–200 metriä rikkonaisen kallioperän alapuolella.

Aikaisemmat tutkimukset (AASM Oy 2021; SRK 2019,) ovat osoittaneet, että rikkonaisen kallioperän vedenjohtavuudet ovat huomattavasti korkeampia kuin ehjän kallioperän. Rikkonaisen kallioperän



ylemmän, 50 metriä paksun osan vedenjohtavuuksien arvioitu keskiarvo on noin $5,0 \times 10^{-5}$ m/s vedenjohtavuuksien vaihdellessa välillä $1,0 \times 10^{-7}$ m/s – $1,0 \times 10^{-4}$ m/s. Rikkonaisen kallioperän alemman osan vedenjohtavuuksien keskiarvo on $5,0 \times 10^{-6}$ (AASM Oy 2021).

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. 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.

Ehjän kallioperän kalliomassassa 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, eivätkä rakovyöhykkeet ole jatkuvia (kuten käy ilmi mitattujen vedenjohtavuuksien kartasta osiossa 3.1.3). Vedenjohtavuuksien paikasta riippuvaa jakaumaa ehjässä kallioperässä käsitellään jäljempänä osiossa 3.1.3. Taulukko 3-1 sisältää yhteenvedon ehjän kallioperän mitatuista vedenjohtavuuksista (AASM Oy 2021).

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, itäinen siirros, itä-länsisiirros, SENW1- ja SENW2-siirrokset, itä-länsi keskinen siirros ja kattopuolen hiertovyöhyke. Pohjaruhje joudutaan läpäisemään vinotunnelien rakentamisen aikana muttei louhinnan aikana. Näillä seitsemällä 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 eivätkä jatkuvia. Geologisissa 3D-malleissa kuvattujen siirrosten vedenjohtavuudet vaihtelevat välillä $4,3 \times 10^{-11}$ m/s – $1,3 \times 10^{-7}$ m/s (AASM Oy 2021). Suoraan ruhjeissa tehtyjen vesihävikikokeiden tulosten perusteella vedenjohtavuudet eivät ole ruhjeissa merkittävästi korkeampia. Taulukko 3-1 sisältää yhteenvedon ruhjeiden mitatuista vedenjohtavuuksista.

Alin hiertovyöhyke on työntösiirrosten ryhmittymä, ja sitä kutsutaan pohjaruhjeeksi. Pohjaruhje on rikkoutunut kalliovyöhyke, joka sisältää laajoja sormaisia siirrosbreksiavyöhykkeitä 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 Yhteenveto hydraulisista kokeista

AASM Oy on toteuttanut laajan kenttämittaushjelman, jossa litologisten yksiköiden ja geologisten ruhjeiden vedenjohtavuuksia on selvitetty useilla hydraulisilla testausmenetelmillä.

Vedenjohtavuutta on mitattu vesihävikikokeilla, pumppaustesteillä, kaatotesteillä eli vedenläpäisevyyttä mittaavan painetason (falling head) testeillä, spinner-testeillä ja paineilman avulla tehdyissä antoisuuskokeissa (air-lift). Seuraavassa on yhteenveto hydraulisista testeistä ja yhteenveto kaivostoimintojen alueen läheisyydestä mitatuista vedenjohtavuuksista.

3.1.3.2 Yhteenveto hydraulisten kokeiden tuloksista

Kuvassa 3-7 on esitetty mitatut vedenjohtavuudet kaikista vesihävikikokeista vuosilta 2016–2021 syvyyden mukaan (281 onnistunutta testiä 57 kairareiästä). Kuvassa on myös trendiviiva vesihävikikokeiden tuloksista, joissa RQD (rock quality designation) -arvojen jakautumisen perusteella havaittiin kallioperän rakoilua (oranssi) ja ehjää kallioperää (violetti) (AASM Oy 2021). Kallioperän rakoilun ja ehjän kallioperän erottamisen kriteerinä käytettiin RQD-arvoa: mikäli vesihävikikokeessa mittausvälillä $RQD < 25\%$ hävikki, katsottiin tämä osoitukseksi kallioperän rikkonaisuudesta. Kallion rikkoutumisen heterogeenisen luonteen vuoksi kaikki nämä havainnot eivät kuitenkaan liity alueen geologisen mallin ruhjekuvauksiin. Arvioitu jako kohonneiden ja vedenjohtavuuden tausta-arvojen välillä vesihävikikokeiden tulostiedoissa asetettiin arvoon $1,0 \times 10^{-8}$ m/s kallioperässä ja arvoon $1,0 \times 10^{-7}$ m/s ylemmässä osassa, jonka korkeus on yli -100 m mpy. Kaikkien mitattujen vedenjohtavuuksien lisäksi kuvaan on merkitty kallioperän ja rakojen arvioidut geometriset keskiarvot ja 75. prosenttipiste sekä edustavat trendiviivat tausta-arvoille ja alhaisen RQD:n väleille. Yhteenveto vesihävikikokeiden tiedoista on esitetty taulukossa 3-2.

Vesihävikikokeiden tulokset kuvassa 3-7 osoittavat, että kallioperän vedenjohtavuus heikkenee syvemmälle mentäessä. Ylempi kallioperä on paremmin vettä läpäisevää kuin syvempi kallioperä. Ylemmän kallioperän mitatut vedenjohtavuudet syvyysvälillä -100...100 m mpy vaihtelevat välillä $1,0 \times 10^{-9} - 1,0 \times 10^{-7}$ m/s. Alemman kallioperän (-100 m mpy) vedenjohtavuuden tausta-arvot vaihtelevat välillä $1,0 \times 10^{-11} - 1,0 \times 10^{-7}$ m/s, kun useimmat mitatut arvot ovat alle $1,0 \times 10^{-8}$ m/s.

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. Rakojen kohdalla vedenjohtavuudet ovat tyypillisesti yksi tai kaksi suuruusluokkaa suurempia kuin ympäröivässä kallioperässä. Kallioperän mitattujen vedenjohtavuuksien tapaan mitatut vedenjohtavuudet ruhjeväleissä, jotka rikkoutunut kallioperä lävistää, vaihtelevat suuresti. Lisäksi paikallisten kallioperän rakojen vedenjohtavuudet vaikuttavat laskevan syvemmälle mentäessä.

Kuvassa 3-8 on esitetty mitatut vedenjohtavuudet kaikista laatutarkistetuista vesihävikikokeiden tuloksista. Mittauksia on yhteensä 281 vuosilta 2016–2021, ja ne on luokiteltu kivilajin mukaan. Kuten kuvasta 3-8 voidaan nähdä, 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 havaitaan sama trendi vedenjohtavuuksien pientymisestä syvemmälle mentäessä. Kuvassa 3-9 on esitetty vesihävikikokeilla mitatut vedenjohtavuudet yhdessä kaatokokeen (kuva 3-9a), pumppaustestien (kuva 3-9b) ja spinner-testien tulosten kanssa (25 mittauksia, 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 mittauksia), pumppaustesteistä (19 mittauksia) ja ilmanostotesteistä (yhdeksän mittauksia), 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 määritetyissä 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 2016–2021 vesihävikikokeiden 281:stä mittauksesta laadituista kaaviokuvista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

1. Ehjän kallioperän vedenjohtavuudet syvyydellä alle 0 m mpy 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 eivätkä jatkuvia.
4. Mitattujen vedenjohtavuuksien perusteella kallioperän vedenjohtavuudet ovat korkeampia lähempänä Kitistä ja vinotunnelien alueella. Tämä johtuu mahdollisesti seuraavista syistä:
 - a. Korkeammat vedenjohtavuudet vinotunnelien alueella voivat 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 mittauksista) mitatut vedenjohtavuudet. Taulukossa 3-6 on esitetty yhteenveto 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 mittausväleillä olleisiin mataliin RQD-arvojen kohtiin.

3.1.4 Yhteenveto 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 yhteenveto kaivostoimintojen alueen hydrogeologian keskeisistä osista ylemmistä kerroksista alkaen:

1. Jäätikkö- ja jokikerrostumilla on seuraavat ominaisuudet:
 - 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 hydraulisessa yhteydessä kaivostoimintojen alueella.
 - d. Matalan pohjavesivyöhykkeen paksuus vaihtelee välillä 5–50 m. Mediaanipaksuus on 13 m.
2. Rikkonaisella kallioperällä on seuraavat ominaisuudet:
 - 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 oleviin 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. Ehjällä kallioperällä on seuraavat ominaisuudet:
 - a. Ehjän kallioperän vedenjohtavuudet ovat matalia: $1,0 \times 10^{-11} - 1,0 \times 10^{-7}$ m/s.
 - b. Pohjaveden virtaus ehjässä kallioperässä rajoittuu lähinnä paikallisiin rakoihin.
 - c. Ehjän kallioperän vedenjohtavuuksissa voidaan havaita laskeva trendi syvemmälle mentäessä.
 - d. Vedenjohtavuuksissa ei havaita trendejä ehjän kallioperän litologisiin yksiköihin liittyen.

Seuraavassa on esitetty yhteenveto ruhjeista kaivostoimintojen alueella:

1. Kaivostoimintojen alueen 3D-mallinnetut ruhjeet ovat pohjaruhje, itäinen siirros, itä-länsisiirros, SENW1- ja SENW2-siirroket, itä-länsi keskinen siirros ja kattopuolen hiertovyöhyke. Lisäksi on alueellisia ruhjeita (GTK 2022; Luukas 2017).
2. Kairausten yhteydessä tehdyt hydrauliset testit osoittavat, että kaivostoimintojen aluetta lävistävien ruhjeiden hydraulinen yhteys on rajallinen, että ne ovat eristyksissä niiden yläpuolella sijaitsevista muodostumista ja että niihin varastoitunut vesimäärä on vähäinen.
3. Malmiesiintymän lävistävien 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 joidenkin rakojen paikallisissa osuuksissa. Nämä korkeammat vedenjohtavuudet eivät kuitenkaan ole jatkuvia. Näissä osuuksissa vedenjohtavuudet voivat olla enintään yksi tai kaksi suuruusluokkaa suurempia kuin ehjän kallioperän vedenjohtavuudet. Geologisen mallin seitsemän mallinnetun ruhjeen yhteydestä mitatuissa vedenjohtavuuksissa ei ole kuitenkaan havaittu laajemmassa skaalassa nousevaa trendiä.
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. AASM Oy ei suunnittele 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 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 sadantaa, maaperän kosteutta, routaa, haihduntaa, virtaamaa ja lumen syvyyttä sekä vesi-arvoa. Tärkeimmät havaintopaikat ovat etelässä Sodankylän Tähtelässä 20 km:n päässä hydrologiselta tutkimusalueelta sekä suon ja kaivostoimintojen alueen ympärillä tutkimusalueella. AASM Oy kerää näistä havaintopaikoista tietoa HTA:n ilmasto-olosuhteista ja mahdollisista ilmastotrendeistä. Kerättyjä tietoja käsitellään seuraavassa.

3.2.1 Sadanta

Kuvassa 3-15a on esitetty Sodankylässä Tähtelän asemalla mitattu vuotuinen sadanta vuosilta 1959–2020 ja mitatun vuotuisen sadannan trendi. Taulukossa 3-7 on esitetty yhteenveto mitatuista vuotuisista sadannoista. Vuosina 1959–2020 vuotuinen sadanta vaihteli välillä 390–785 mm, ja sen keskiarvo oli 518 mm. Mitatuista sadannoista muodostettu trendiviiva osoittaa, että vuotuinen sadanta on ollut kasvussa vuodesta 1959. Edellisten 10 vuoden (2011–2020) keskimääräinen sadanta oli noin 553 mm ja edellisten 20 vuoden (2001–2020) noin 548 mm. Tutkimusalueen sadanta muodostuu talvella satavasta lumesta ja kesällä satavasta vedestä. Talvella lumisateista kertyy maahan kevättä kohti kasvava lumipeite.

Kuvassa 3-15b on esitetty keskimääräiset kuukausittaiset sadannat koko mittaushistorian ajalta (1959–2020), edellisten 20 vuoden ajalta (2001–2020) ja edellisten 10 vuoden ajalta (2011–2020). 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 20–82 millimetriä (mm/kk). Kunkin kuukauden keskimääräinen päivittäinen sadanta vaihtelee välillä 1–2,7 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.

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 kasvamisesta; 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 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 3-17 on esitetty mitatut ja simuloidut lumen vesiarvot kahdessa mittauspaiassa, Viiankiaavalla 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 Viiankiaavalta ja vuodesta 2013 lähtien

Sodankylän Tähtelästä. Lumen vesiärvon mittauksia käytettiin vesiärvon kalibrointiin SYKE:n mallissa, jota käytettiin kaivostoimintojen alueella. Kalibroidut lumen vesiärvot on merkitty kuvaan 3-17 yhtenäisillä viivoilla. Yleensä lunta alkaa kertyä lokakuun lopulla, ja se sulaa nopeasti huhtikuussa. Mitattu lumen vesiärvon on vaihdellut vuodesta 2013 lähtien välillä 120–260 mm. Kalibroidut lumen vesiärvon mittaukset vastaavat hyvin mitattuja lumen vesiärvotietoja. Havaittuja lumen vesiärvotietoja käytettiin myös *MIKE SHE* -mallissa havaintopisteinä, jotta voidaan verrata havaittuja lumen vesiärvotietoja *MIKE SHE* -mallilla simuloituihin lumen vesiärvotietoihin ja arvioida pohjaveden mahdollisia muodostumismääriä.

3.2.4 Pohjaveden muodostuminen lumen sulannasta ja sadannasta

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

Kaivostoimintojen alueelle on laadittu *MIKE SHE* -malli käyttäen meteorologisia muuttujia. Mallin avulla voidaan arvioida pohjaveden mahdollista muodostumista vuodenajoittain. Kuvaan 3-18 on merkitty HTA:n rajat, jotka ovat myös osiossa 4.0 käsiteltävän pohjaveden virtausmallin rajat, ja *MIKE SHE* -mallin rajat. Seuraavassa on yhteenveto *MIKE SHE* -mallista:

1. *MIKE SHE* -mallin alue kattaa pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän alueet kokonaisuudessaan sekä osia suoalueesta. *MIKE SHE* -mallin alue rajattiin perustuen osavaluma-alueisiin ArcMap- ohjelman hydrogeologiatyökalulla. *MIKE SHE* -mallin alue on pienempi kuin HTA ja tämän työn yhteydessä laaditun pohjaveden virtausmallin alue.
2. *MIKE SHE* -mallin tärkeimpiä ilmastomuuttujia ovat sadanta, lämpötila, potentiaalinen haihdunta ja lehtialaindeksi (LAI). Lumen sulanta simuloitiin lumen sulamisen moduulilla. LAI ja potentiaalinen haihdunta perustuvat MODIS-satelliittitietoihin (2022). LAI:ta ja potentiaalista haihduntaa käytettiin todellisen kokonaishaihdunnan laskemiseen *MIKE SHE* -mallissa.
3. Pohjaveden muodostumisen arvioinnissa käytettiin pintavalunnan (OL), kyllästymättömän vyöhykkeen (UZ) ja kyllästyneen vyöhykkeen (SZ) moduuleja. OL laskettiin hyödyntämällä



Saint-Venantin yhtälöitä ja diffuusioaaltoomenetelmää (diffusive wave approximation). UZ laskettiin Richardin yhtälöllä (DHI 2017). SZ laskettiin 3D-Darcyn yhtälöllä perustuen PCG (preconditioned conjugate gradient) -menetelmään (DHI 2017).

4. Simuloidut hydrogeologiset yksiköt perustuivat yksinkertaistettuun matalan vyöhykkeen geologiseen malliin, joka koostuu seitsemästä kerroksesta. Malli sisältää seuraavat hydrogeologiset yksiköt: turveysikkö, lajittuneiden kerrostumien yksikkö (lajittuneet pintakerrostumat, keskimmäiset ja alimmat lajittuneet kerrostumat, alimmat hiekat ja sorat) ja moreeniyksikkö (ylin moreeni ja alempi moreeni). *MIKE SHE* -mallin pohjalle simuloitiin yksinkertaistettu rikkonaisen kallioperän kerros, jonka vakiopaksuus oli 10 m.
5. Hydrogeologisille yksiköille määriteltiin yhdenmukainen vedenjohtavuuden arvo.
6. *MIKE SHE* -mallin reunaehdot määriteltiin seuraavasti: Kitinen määritettiin vakiovedenpinnan reunaehdoksi ja muut alueet läpäisemättömän ei virtausta - reunaehdoiksi, joiden läpi ei tapahdu lainkaan virtausta.
7. Vedenjohtavuudet lajittuneiden kerrostumien, moreenien ja rikkonaisen kallioperän yksiköissä kalibroitiin pohjaveden pinnankorkeuden havaintoihin *MIKE SHE* -mallin SZ-moduulissa.
8. *MIKE SHE* -mallin avulla ennustettiin pohjaveden muodostumista matalan vyöhykkeen hydrogeologisissa yksiköissä, joita käytettiin osiossa 4.0 kuvatussa pohjaveden virtausmallissa.

Kuvassa 3-19 on esitetty pohjaveden arvioitu päivittäinen muodostuminen (negatiiviset arvot) ja purkautuminen (positiiviset arvot) kesäkuusta 2012 kesäkuuhun 2021 AASM Oy:n ja Stantecin kehittämästä *MIKE SHE* -mallista. Positiiviset arvot edustavat pohjaveden purkautumista pintavesiin ja negatiiviset arvot pohjaveden muodostumista. Muodostumismäärät on esitetty 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 0–8 mm ja muodostumismäärä 0–25 mm. Keskimääräinen pohjaveden muodostumismäärä turpeessa on noin 12 % mitatusta vuosittaisesta sateesta.
2. **Lajittuneet kerrostumat:** Pohjaveden arvioitu päivittäinen purkautumismäärä vaihtelee välillä 0–10 mm ja muodostumismäärä 0–40 mm. Keskimääräinen pohjaveden

muodostumismäärä kerrostumalajittuneissa sedimenteissä on noin 46 % mitatusta vuosittaisesta sateesta.

3. **Moreeni:** Pohjaveden arvioitu päivittäinen purkautumismäärä vaihtelee välillä 0–12 mm ja muodostumismäärä 0–29 mm. Keskimääräinen pohjaveden muodostumismäärä moreenissa on noin 30 % mitatusta vuosittaisesta sateesta.

MIKE SHE -mallista saatuja pohjaveden arvioituja muodostumismääriä käytetään suoraan pohjaveden virtausmallissa, kuten osiossa 4.0 ilmenee.

3.2.5 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 3-20 on esitetty vuotuinen keskilämpötilaa ja keskisadanta neljässä ilmastoskenaariossa (Ruosteenoja ym. 2016). Ensisijainen, tässä tutkimuksessa käytetty skenaario on kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kehityskulku 4.5 (RCP4.5). RCP4.5-skenaarion mukaan Suomen vuotuisen keskilämpötilan ennustetaan kasvavan 2,5 celsiusastetta (°C) ja keskisadannan 11 % vuodesta 2020 vuoteen 2090.

Kuvassa 3-21 on esitetty RCP4.5-skenaarion mukaiset ennustetut kuukausittaisen sadannan ja lämpötilan muutokset vuosina 2070–2099. Seuraavassa on esitetty yhteenveto mahdollisista pitkäaikaisista muutoksista RCP4.5-skenaariossa:

1. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat lämpötilamuutokset ovat huomattavimpia talvella. Talvilämpötilojen arvioidaan nousevan 1–8 °C nykyisestä lämpötilasta, kun taas kesälämpötilojen arvioidaan nousevan 1–4 °C nykyisestä lämpötilasta. 90 %:n epävarmuusväli on ± 3 °C.

2. Sadannan odotetaan lisääntyvän 5–20 %. Sadanta lisääntyy erityisesti talvikuukausina. 90 %:n epävarmuusväli on ± 15 –20 %

Arvioitujen lämpötila- ja sadantamuutosten mahdollisia vaikutuksia pohjaveteen hydrologisella tutkimusalueella ei tunneta. Lämpötilojen kohoamiselle ja sadannan lisääntymisellä voi 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.

AASM Oy:n laatimaa *MIKE SHE* -mallia, joka on kuvattu osiossa 3.2.4, käytettiin arvioimaan pohjaveden tulevat muodostumismäärät RCP4.5-skenaariossa. RCP4.5-skenaariion tiedot ovat peräisin Copernicus Climate Storesta (2022). Potentiaalinen haihdunta laskettiin Romanenko-menetelmällä käyttäen RCP4.5-skenaariion lämpötilatietoja ja kuukausittaista keskimääräistä ilmakehän kosteutta vuosilta 1990–2020 (Ilmatieteen laitoksen avoin data, Sodankylän Tähtelän asema). Arvioitu potentiaalinen haihdunta sovitettiin satelliittitietojen avulla määritettyihin haihduntoihin, ja satelliittitietojen haihduntaa käytettiin *MIKE SHE* -mallissa ajanjaksolle 2012–2021. Kuvassa 3-22 on esitetty ennustetut vuotuiset sadannat ja ennustettu vuotuinen pohjaveden muodostuminen moreenissa, lajittuneissa sedimenteissä ja turpeessa. Tiedot on esitetty vain vuoteen 2100 asti, mikä on riittävä ajanjakso kaivostoimintaan ja pohjaveden palautumiseen toiminnan jälkeen. Taulukossa 3-10 on esitetty yhteenveto tulevaisuuden ennustetuista vuotuisista pohjaveden muodostumismääristä. Seuraavassa on esitetty *MIKE SHE* -mallin tulosten perusteella yhteenveto mahdollisista muutoksista ilmastossa RCP4.5-skenaariossa:

1. Sadanta vaihtelee välillä 365–730 mm/v. Sadanta pysyy verrattain tasaisena vuodesta 2020 vuoteen 2030. Vuoden 2040 jälkeen vuotuisessa sadannassa havaitaan enemmän vaihtelua.
2. Sadannan pitkäaikainen trendi on, että vuotuinen sademäärä kasvaa hieman. Kuvaan merkitty trendiviiva osoittaa sadannan kasvavan hieman vuosina 2020–2100.
3. Lajittuneissa sedimenteissä pohjavettä muodostuu vuosittain noin 100–375 mm. Ajan myötä pohjaveden muodostuminen lajittuneissa sedimenteissä vähenee hieman. Tämä johtuu todennäköisesti lumipeitteen ohentumisesta ja pohjaveden muodostumisen vähentymisestä kevättulvan aikana sekä kasvaneesta kokonaishaihdunnasta.
4. Moreenissa pohjavettä muodostuu vuosittain noin 55–235 mm. Ajan myötä pohjaveden muodostuminen moreenissa vähenee hieman. Tämä johtuu todennäköisesti lumipeitteen ohentumisesta ja pohjaveden muodostumisen vähentymisestä kevättulvan aikana sekä kasvaneesta kokonaishaihdunnasta.
5. Turpeessa pohjavettä muodostuu vuosittain noin 20–165 mm. Ajan myötä pohjaveden muodostuminen turpeessa lisääntyy hieman. Tämä johtuu pintaveden valunnan vähentymisestä, mikä lisää pohjaveden muodostumista turpeeseen. AASM Oy:n *MIKE SHE* -mallin perusteella turpeen vesitase (veden muodostumisen ja purkautumisen suhde) on edelleen nettopositiivinen, kun vettä kertyy sateista.

Kuvassa 3-23 on esitetty pohjaveden arvioitu muodostuminen kokonaissadannan funktiona ajan kuluessa moreenille, lajittuneille kerrostumille ja turpeelle. Lisäksi kuvaan on merkitty nykyisen ajanjakson (2012–2021) keskimääräinen pohjaveden muodostuminen katkoviivalla ja arvioitujen muodostumismäärien trendi yhtenäisellä viivalla. Pohjaveden muodostumismäärä on moreenissa 13–37 %, lajittuneissa sedimenteissä 27–58 % ja turpeessa 1–38 % keskimääräisestä vuosisadannasta. Vertaamalla tulevien muodostumismäärien trendiviivoja ja nykyisen ajanjakson keskimääräisiä muodostumismääriä voidaan havaita, että pohjaveden muodostuminen tulee lisääntymään turpeessa ja vähentymään moreenissa ja lajittuneissa kerrostumissa, kuten edellä todettiin. Muutokset keskimääräisissä muodostumismäärissä vuosina 2020–2100 ovat moreenissa noin -3 %, lajittuneissa sedimenteissä noin -7 % ja turpeessa noin +3 %. *MIKE SHE* -mallin laskema kokonaishaihdunnan arvioitu lisääntyminen on suhteessa suurempi kuin arvioitu sadannan lisääntyminen, minkä seurauksena sadannasta muodostuu ennusteen mukaan tulevaisuudessa aiempaa vähemmän pohjavettä.

3.3 PINTAVESI

Kuvassa 3-24 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 Kelujoen 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 3-24 on esitetty 85 lähdetä, jotka AASM Oy on tunnistanut HTA:lla. Lähteiden vaikutuksen vuotovesimääriin maanlaiseen kaivokseen arvioidaan olevan vähäinen verrattuna pohjaveden muodostumisen määrään sadannasta. Lähteitä ei täten ole huomioitu tässä raportissa esitellyssä herkkyystarkastelussa eikä mallin kalibroinnissa.
6. Laajat alueet suolla pysyvät kesäkuukausina tulvivina vielä pitkään kevättulvan jälkeen, koska suon pinnanmuodot pidättävät valuntaa altaisiin (rimpiin) matalien turveharjanteiden (jänteiden) 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 virtaamaa padon alapuolella mitataan molemmissa kohteissa. Kuvassa 3-25 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 (SYKE 2022).

Suurimpien jokien lisäksi alueella on paljon muita puroja ja pikkujokia, joiden pintaveden virtaus yhdistyy suurempiin jokiin. Tällaisia puroja ovat muun muassa Kärväslammen purku-uoma, Ruosteoja, Tiukuoja ja Sakattioja. Näistä ojista ja puroista on saatavana virtaamatietoja vain vuodelta 2021. Kuvassa 3-26 on esitetty Kärväslammen purku-uoman, Ruosteojan ja Tiukuojan virtaamat vuonna 2021. Suoalueen purojen mitatut virtaamat vaihtelevat välillä 0–0,6 m^3/s . Virtaama on suurimmillaan keväällä lumen sulannan aikana sekä runsaiden sateiden aikana (esim. lokakuussa 2021).

3.4 POHJAVESI

3.4.1 Havaintoverkosto

Kuvassa 3-27 on esitetty pohjaveden havaintopisteet, jotka on asennettu kaivostoimintojen alueelle talvikausien aikana. AASM Oy on asentanut kaivostoimintojen alueelle yhteensä 111 pohjaveden havaintopistettä, joista 106 on pohjavesikaivoa ja viisi tärylankapietsometriä (VWP). Taulukossa 3-11 esitetty yhteenveto havaintopisteistä, kuten niiden sijainti, asennustiedot ja havaintopisteessä tarkkailtavan hydrogeologisen yksikön. Pohjaveden pinnankorkeuksia mitataan manuaalisesti ja automaattimittareilla 82 pohjavesikaivosta sekä pelkästään manuaalisesti 12 pohjavesikaivosta (2021). Pohjaveden seuranta aloitettiin vuonna 2012, jolloin käytössä oli 21 pohjavesikaivoa. Seurantaa on laajennettu vuosina 2016–2021. Havaintoverkosto keskittyy Kuusivaaran alueelle (eli kaivosinfrastruktuurin ja vinotunnelien alueelle) ja maanalaisen kaivoksen alueelle. Lisähavaintopisteitä on asennettu kaivostoimintojen alueen pohjoispuolelle, suon ulkopuolelle ja Kitisen jokivarteen.



Kuvassa 3-28 on esitetty HTA:n havaintopisteet luokiteltuina hydrogeologisten yksiköiden mukaan. Kaivostoimintojen alueen pohjaveden havaintopisteistä AASM Oy on asentanut neljä turpeeseen, 42 jäätikkö- ja jokikerrostumiin, 42 ylempään kallioon ja 23 syvään kallioon. Pohjaveden havaintoputkien tarkoituksena on mitata pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihtelua eri hydrogeologisissa yksiköissä.

3.4.2 Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet

Kuvassa 3-29 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 3-29a), rikkonaisessa ja ylemmässä kalliossa (kuva 3-29b) sekä Kuusivaaran alueella (kuva 3-29c). Pohjaveden pinnankorkeuksista kaivostoimintojen alueella voidaan todeta seuraavaa:

1. Maaperän pohjaveden pinnankorkeudet vaihtelevat välillä 182–188 m mpy kaivostoimintojen alueella. Pohjaveden pinta on korkeammalla kauempana Kitisestä. Tämän seurauksena suon länsiosan pohjavesi virtaa Kitistä kohti lumen sulannan aiheuttaman kevättulvan aikana.
2. Maaperän 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. Ylemmän kallion pietsometreissä 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. Kivennäismaalajien havaintokaivoissa (esim. 18HYD030 ja 18HYD033) lähellä Kuusivaaran aluetta pohjaveden pinnankorkeus reagoi lumen sulantaan vaihtelevasti, kuten pohjaveden pinnankorkeuksista liitteessä A voidaan havaita.
5. 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.

6. Turpeen pinnalla olevan lumipeitteen ja pohjavesikaivojen GA101, GA102 ja GA103 jääpinnan vuoksi turpeen huokosveden määrä kasvaa talvikuukausina ja vähenee kevätkuukausina. Huokosveden määrä kasvaa edellä mainituissa kaivoissa tyypillisesti lokakuusta huhtikuuhun ja vähenee huhtikuusta toukokuuhun. Huokosveden pinta turpeessa nousee 0,2–0,5 m.

Tutkimuksissa todettiin, että mitatut huokosveden paineen nousut eivät kuvaa tarkasti todellisia huokosvesitasoja näissä pohjavesikaivoissa. Havaittu vuodenaikaisvaihtelusta poikkeava huokosvesitasojen vaihtelu näissä pohjavesikaivoissa on ristiriidassa verrattuna pohjaveden pinnankorkeuksien todelliseen vuodenaikaisvaihteluun turvealueiden ulkopuolella.

7. Kallioperän pohjaveden pinnankorkeuksissa, joita kuvaavat pohjavesikaivon 17HYD013 pinnankorkeudet, on havaittu vain rajallista vaihtelua kairaamisen, pumppauskokeiden ja keväisen lumen sulannan aikana. Tämän perusteella yhteys ehjän kallioperän pohjaveden ja sen yläpuolella olevien yksiköiden pohjaveden välillä on rajallinen.
8. Pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelut turpeessa vaikuttavat liittyvän lumipeitteen kasvuun. Turpeen vedenpintojen käyttäytyminen poikkeaa jonkin verran muiden kerrostumien pohjaveden pintojen käyttäytymistä havaintokaivoissa osoittaen, että turpeen pohjavesitasot ovat osittain erillisiä muista pohjavesistä.

AASM Oy asensi kaivostoimintojen alueelle monitasoisia tärylankapietsometrejä (VWP). Asennuksien teknisen epäonnistumisen vuoksi näistä havaintopisteistä mitattujaja kallion huokospaineita ei pidetä luotettavana (pohjaveden pinnankorkeudet esimerkiksi nousevat/laskevat jatkuvasti tai kertovat paineellisista olosuhteista) ja tuloksia ei esitetä.

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 yllä 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 32 000 BP. Tämän perusteella ehjään kallioperään ei muodostu uutta pohjavettä maaperän pohjavesistä. Ehjän kallioperän pohjaveden muodostumislähdettä ei tunneta tarkasti.

3.5 SAKATTI-HANKKEEN KAIVOSSUUNNITELMA

Kuvassa 3-30a on esitetty kaivostoimintojen alueen ja vinotunnelien alueet kartalla. Kuvassa 3-30b 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 toimintavuonna 1. Vinotunnelien korkeusasema merenpinnasta vaihtelee 190 metristä mpy (Kuusivaarassa sisäänkäyntien alueella) -610 metriin mpy maanalaisen kaivoksen ympärillä.
2. **Maanalainen kaivos:** Valmiin maanalaisen kaivoksen korkeusasema merenpinnasta vaihtelee 112 metristä mpy noin -935 metriin mpy.
3. **Pääesiintymän louhinta-alue:** Malmin louhinta on tarkoitus aloittaa toimintavuonna 2 - 390 metrin syvyydestä mpy, ja louhinta päättyy vuonna 22. Louhintasyvyys vaihtelee -935 metristä mpy -65 metriin mpy.
4. **NE satelliittiesiintymän louhinta-alue:** NE satelliittiesiintymän alueelle aletaan rakentaa vinotunnelia 7. toimintavuonna -380 metrin syvyydestä mpy. Malmin louhinta alkaa noin 10. toimintavuonna -95 metrin syvyydessä mpy. Louhinta päättyy toimintavuonna 20. Louhintasyvyys vaihtelee -170 metristä mpy 112 metriin mpy.



Ehdotetun kaivoksen pituus on noin 420 km, ja noin 11 miljoonaa kuutiometriä louhittua tilaa täytetään.

Maanalaiseen kaivokseen purkautuva vuotovesi on tarkoitus kerätä kahteen pumppaamoon. Alempi pumppaamo sijaitsee tasolla -635 metriä mpy, ja se käsittelee suolapitoisemman vuotoveden, jota purkautuu tuotannon yhteydessä yli -420 metrin (mpy) syvyyksissä. Toinen pumppaamo sijaitsee tasolla -435 m mpy, ja se kerää ja kuljettaa 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 3-31 on esitetty maanpinnalla sijaitsevat kaivoksen rakenteet ja niiden sijainti.

Vuotovesimäärän ja maaperän pohjaveden pinnankorkeuden mahdollisen aleneman vähentämiseksi, AASM Oy:n ensisijainen lievennystoimi on tiivistää vettä johtavat ruhjeet, jotka maanalainen kaivos läpäisee. Lisäksi lievennyssuunnitelmaan sisältyy ylempien vinotunnelien tiivistys syvyystasolle 150 m maanpinnan alapuolelle asti. Mahdolliset vettä johtavat ruhjeet ovat pohjaruhje, itäinen siirros, itä-länsisiirros, SENW1- ja SENW2-siirrokset, itä-länsi keskinen siirros ja kattopuolen hiertovyöhyke.

Kuvassa 3-32 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 mahdollisten vedenjohtavuuksien arvioitiin aiemmin olevan $2 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-7}$ m/s. Tätä täytön mahdollisten vedenjohtavuuksien vaihteluväliä käytetään pohjaveden virtausmallissa arvioitaessa täytön mahdollisia vaikutuksia mallin ennusteisiin.

Maanalaisten kaivostilojen (tunnelien, louhosten ja vinotunnelien) rakentaminen ehjään kallioperään johtaa todennäköisesti vesien vuotamiseen kaivostiloihin. Vuotovesimäärän oletetaan olevan vähäinen, koska ehjän kallioperän vedenjohtavuudet ovat alhaiset ja AASM Oy suunnittelee tiivistävänsä vettä johtavat ruhjeet.

Maanpinnalta tehdyistä malminetsintäkairauksista on jäänyt kaivostoimintojen alueelle avoimia kairareikiä, jotka lävistävät mineralisoituneen alueen. Avoimista kairarei'istä 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; niitä käsitellään siten ehjänä kallioperänä.

4.0 POHJAVEDEN VIRTausMALLI

4.1 POHJAVEDEN VIRTausMALLIN MALLINNUSKoodI

Tässä tutkimuksessa 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 kuivatukseen liittyvät olosuhteet. Tätä kaupallista mallinnuskoodia on käytetty yli 75:ssä kaivosten kuivatushankkeessa ympäri maailman, niin avolouhoksissa kuin maanalaisissakin louhoksissa. *MINEDW*-koodia on sovellettu monenlaisiin hydrogeologisiin ja ilmastollisiin olosuhteisiin esimerkiksi Botswana, Pohjois-Amerikassa ja Siperiassa. 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.

4.2 POHJAVEDEN VIRTausMALLIN LASKENTAVERKKO

Kuvassa 4-1 on esitetty pohjaveden virtausmallin äärellisten elementtien verkko. Äärellisten elementtien verkko sisältää 1 351 533 solmupistettä ja 2 666 619 elementtiä. Mallin verkko on tiheämpi maanalaisen kaivoksen alueella. Mallin verkko tihennettiin näillä alueilla, jotta se kuvastaisi mahdollisimman hyvin maanalaisen kaivoksen ja hydrogeologisten yksiköiden geometriaa. Pohjaveden virtausmallissa mallin verkon 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 alueesta. Poikkileikkauksen sijainti on merkitty kuvaan 4-1. Äärellisten elementtien verkko tihennettiin pystysuunnassa siten, että alueen keskeiset hydrogeologiset ominaisuudet voidaan kuvata. Maanalaisen kaivoksen läheisyydessä olevien erilaisten hydrostratigrafisten yksiköiden kuvaamiseen käytettiin 34–75 pystysuuntaista kerrosta. Kerrosten määrää lisättiin vinotunnelien edetessä syvemmälle ja



maalaisen kaivoksen yläpuolelle. Alueellisissa verkoissa maalaisen 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 jokikerrostumista. Kuvassa 4-2 on esitetty hydrogeologisten yksiköiden poikkileikkaus maalaisen kaivoksen alueella. Maalaisen kaivoksen alapuolella kallioperä kuvataan mallissa "vähemmän läpäisevän kallioperän" hydrogeologisena 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
7. Ruhjeet ja pohjaruhje

Kuvassa 4-3 on esitetty pohjaveden virtausmallissa käytetyt kalibroidut vedenjohtavuudet verrattuna vesihävikokeiden tietoihin, 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 hydraulista 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. 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 (Geologinen tutkimuslaitos 2022) tietoja käytettiin alueellisten pintageologian yksiköiden määrittämisessä.
 - c. Lajittuneet pintakerrostumat ja turpeet jaettiin edelleen hydrogeologisiin alayksiköihin, 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 Freezen ja Cherryn (1979) esittämät lajittuneiden kerrostumaen (hiekat, sorat) arvot, 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 vinotunnelialueella 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 kallioperäalueiden vedenjohtavuuden kuvattiin pienentyvän syvemmälle mentäessä vesihävikikokeiden tulosten perusteella (kuva 4-3). Ehjän kallioperän horisontaalisten ja vertikaalisten vedenjohtavuuksien väliseksi anisotropiaksi määritettiin 10 pohjaveden virtausmallin kalibrointiin perustuen.
 3. Rikkonainen kallioperä jaettiin edelleen kolmeen hydrogeologiseen yksikköön. Kuvassa 4-6 on esitetty kolmen rikkonaisen kallioperäalueen laajuus. Kolme hydrogeologista aluetta olivat Kuusivaaran alueella, Kitisen varrella ja päämallinnusalueella. Jako kolmeen alueeseen perustuu pohjaveden virtausmallin kalibrointiin pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihteluihin.
 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 vesihävikikokeiden perusteella

saatujen vedenjohtavuuksien analyysissä 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 kuivatuksen ja mallin reunojen välillä ei tapahdu vuorovaikutusta. Samoja reunaehdotuksia käytettiin kaikissa steady state-, transient- ja ennustemallisimulaatioissa.

Pohjaveden virtausmallin maanpinnan korkeudet määriteltiin topografiasta. Pohjaveden virtausmallin pohjan matalimman kohdan korkeus on noin -2 700 m mpy.

Seuraavassa on esitetty yhteenveto mallin reunaehdoista.

4.4.1 Vakiovedenpinta-reunaehto

Kuten edellä kerrottiin, mallin itä-, länsi- ja eteläreunat asetettiin noudattelemaan jokia. Kaikilla näillä reunoilla joet kuvataan vakiovedenpinta-reunaehdolla mallin ensimmäisessä (ylimmässä) 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 vakiona ilman vuodenaikaisvaihtelua.

4.4.2 Vaihtelevan virtauksen reunaehto

Vaihtelevan virtauksen reunaehdot on esitetty kuvassa 4-7. Vaihtelevan virtauksen reunaehto käytettiin transient- ja ennustemallisimulaatioissa kuvaamaan pohjaveden vuorovaikutusta pohjaveden virtausmallin alueen reunaehto- ja virtausmallin ulkopuolisen alueen välillä. Pohjaveden virtausmallin ulkoreunan solmukohtille määritettiin vaihtelevan virtauksen reunaehto lukuun ottamatta niitä solmukohtia, joille määritettiin vakiovedenpinnan-reunaehto. Vaihtelevan virtauksen reunaehto on *MINEDW*-koodin erityinen ominaisuus, jolla voidaan kuvata käytännössä ääretöntä akviferia samoilla hydraulisilla ominaisuuksilla kuin 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 pohja on noin -2 700 metrin syvyydessä merenpinnan alapuolella, joten on kohtuullista olettaa, ettei virtausmallin pohjan läpi kulje 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 2012 kesäkuuhun 2021 maaperän pohjaveden hydrogeologisissa yksiköissä. 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 muodostumismääristä 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 jaettiin alueellisesti tietyillä moreenialueilla eri parametrivöhykkeisiin, jotta mallin laskemat ja mitatut pohjaveden pinnankorkeudet vastaisivat tarkemmin toisiaan.
3. Moreeni on jaettu kahteen pohjaveden muodostumisalueen parametrivöhykkeeseen, jotka on kuvattu sinisellä (kuva 4-9).
4. Pohjaveden muodostumismäärät steady state -tilanteessa ovat ylemmässä moreenissa 0,18 mm/vrk, alemmassa moreenissa 0,1 mm/vrk, lajittuneissa kerrostumissa 0,73 mm/vrk ja turpeessa 0,2 mm/vrk.
5. Transient-mallissa käytetyt *MIKE SHE* -mallista saadut pohjaveden muodostumismäärät on esitetty kuvassa 4-8 (vain negatiiviset arvot käytettiin *MIKE SHE* -mallista). Pohjaveden muodostumismäärät syötettiin kuukausittaisina arvoina.

4.6 POHJAVEDEN VIRTausmallin kalibrointi

Pohjaveden virtausmallin kalibroinnissa mallin epävarmoja parametreja vaihdellaan käyttäen niiden todennäköisiä arvoja, kunnes mallin laskemat ja mitatut arvot vastaavat riittävän tarkasti toisiaan (Spitz ja Moreno 1996). Tässä tutkimuksessa vedenjohtavuutta (K), vedenjohtavuuden (K) anisotropiaa, ominaisantoisuutta (S_y), ominaisvarastoa (S_s) ja kaivostoimintaa edeltävän pohjaveden muodostumisen jakautumista ja määrää säädettiin mitattujen arvojen rajoissa, jotta saavutettiin hyväksyttävä kalibroitulos. Malli kalibroitui pohjaveden pinnankorkeuden luonnontilaan (ilman kaivostoimintaa) ja pohjaveden pinnankorkeuden luontaiseen vaihteluun.

Pohjaveden virtausmallin toimivuutta voidaan arvioida kvantitatiivisesti tilastollisen parametrin analyysin 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 determinaatiokerroin (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 selityssasteeksi, 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 ja monimutkaisuuden taso
3. Pohjaveden pinnan korkeusmittauksien sijainti, määrä ja tarkkuus
4. Pohjaveden mitattujen korkeuksien vaihteluväli mallialueella
5. Pohjaveden virtausmallin laatimisen käyttötarkoitus.

Nämä tekijät on syytä huomioida, kun arvioidaan tämän (tai minkä tahansa) mallin kalibrointia. Esimerkiksi RMSE mittaa eroa mallin laskemien ja mitattujen arvojen välillä. Jos RMSE on pieni – yleensä alle 10 %:sta 15 %:iin – verrattuna pohjaveden pinnankorkeuksien yleiseen vaihteluväliin, tämä kertoo yleensä ”hyvästä” kalibroinnista (ESI 2017). Jäljelle jäävien 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 pumppaus) pohjavesiin.

4.7.1 Steady state -mallin tavoitteet

Kuten osiossa 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. Taulukossa 4-3 on esitetty yhteenveto kaivostoimintaa edeltävistä mitatuista pohjaveden pinnankorkeuksista niissä havaintoputkissa, joita käytettiin steady state -mallin kalibroinnissa.

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 enintään 1 metrin syvyydessä maanpinnan alla. Alueilla, joilla maanpinta on korkeammalla, pohjavesi on syvemmällä.

Kuvassa 4-12 on esitetty mallin laskemat pohjaveden purkautumis- ja muodostumisalueet. Purkautumisalueiksi on määritelty alueet, joilla pohjaveden pinta on maanpinnan tasolla tai sen yläpuolella, ja vesi purkautuu jatkaen kiertokulkuaan joko evapotransiraation tai pintavesivalunnan kautta. Muodostumisalueilla pohjaveden pinta on yleensä maanpinnan alapuolella ja vesi imeytyy hydrogeologisiin yksiköihin. HTA:lla yleisimmät purkautumisalueet ovat uomien ja ojien yhteydessä, kun taas muodostumisalueet sijaitsevat korkeammissa maanpinnan kohdissa. Mallin laskemat muodostumis- ja purkautumisalueet ovat yhdenmukaiset *MIKE SHE* -mallin ja alueelta tehtyjen havaintojen kanssa.

Kuvassa 4-13 on esitetty mallin laskemien ja mitattujen pohjaveden pinnankorkeuksien vastaavuus. Taulukossa 4-3 on esitetty yhteenveto mitatuista ja mallin laskemista pohjaveden pinnankorkeuksista ja mallin tilastollisista tunnusluvuista. Osiossa 4.1 käsiteltyjä tilastollisia tunnuslukuja käytettiin pohjaveden virtausmallin steady state -kalibroinnin arviointiin. Steady state-mallin ME on 0,1 m, MAE 0,6 m ja RMSE 0,8 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 kuin oletettu pohjaveden pintojen mittausvirhe $\pm 1,0$ 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 pohjaveden pinnankorkeuden vastetta *MIKE SHE* -mallilla arvioituihin pohjaveden vuodenaikaisiin muodostusmääriin kesäkuusta 2012 kesäkuuhun 2021. Pohjaveden virtausmalli kalibroitui hydrologisen tutkimusalueen havaintopisteistä mitattuihin pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaismuutoksiin. Transient-mallin kalibroinnissa käytetyistä havaintopisteistä on kerätty tietoa automaattimittareilla jatkuvatoimisesti ja manuaalisilla mittauksilla. Koska joistakin pohjaveden havaintokaivoista oli pinnankorkeuden mittaustietoa ainostaan kalibroitijakson ulkopuolelta, vain osaa havaintoputkista käytettiin mallin kalibroinnissa. Valitut pohjaveden havaintokaivot edustavat kaikkia hydrogeologisia yksiköitä ja havaintokaivoista on saatavillapitkän aikavälin pinnankorkeuksien mittausaineistoa, joka kuvaa edustavalla tavalla pohjaveden pinnankorkeuden vuodenaikaisvaihteluja. Taulukossa 4-5 on esitetty yhteenveto niistä pohjaveden havaintopisteistä, joita käytettiin transient-mallin kalibroinnissa. Transient-mallin kalibroinnissa käytettiin yhteensä 98 pohjaveden havaintopistettä. Itascaan kokemusten perusteella pohjaveden havaintopisteiden määrä on huomattava verrattuna muihin vastaavissa vaiheissa oleviin hankkeisiin.

4.8.2 Transient-mallin kalibrointi

Liitteessä A on esitetty yhteenveto 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 yhteenveto transient-mallin kalibroinnista:

1. Malli on hyvin kalibroitu pohjaveden mitattuihin pinnankorkeuksiin maanalaisen kaivoksen alueen lähellä, vinotunnelien lähellä ja 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).

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. Korrelaatio-suorat osoittavat, että mallivirheessä ei ole vinoumaa tai muutosta mitattujen ja mallin laskemien pohjaveden pinnankorkeuksien välillä.
4. ME, MAE ja RMSE ovat tyypillisesti alle 1,0 m.
5. Transient-malli on hyvin kalibroitu pohjaveden pinnankorkeuksiin sekä kesä- että talvikuukausina.

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 3-19). Pohjaveden muodostumismäärät eri hydrogeologisissa yksiköissä vaihtelevat 3–60 % sadannasta. Keskimääräinen pohjaveden muodostumismäärä moreenin hydrogeologisessa yksikössä on noin 30 %, lajittuneiden kerrostumaen yksikössä noin 46 % ja turpeessa noin 12 % 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 0–20 000 kuutiometriä tunnissa (m^3/h). Muodostumismäärää on suurimmillaan lumen sulannan aikana.
3. Pintaveden valunta vaihtelee välillä 1 000–11 000 m^3/h .
4. Pohjaveden purkautuminen jokiin vaihtelee välillä 350–650 m^3/h . Pohjaveden purkautuminen jokiin kuvaa pintavesiin päätyvää pohjaveden määrää.
5. Pohjaveden ulosvirtaus mallialueelta vaihtelee välillä 50–100 m^3/h . Pohjaveden ulosvirtausta tapahtuu vaihtelevan virtauksen reunaehtoien 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 välillä 2–25 m^3/h .
2. Pohjaveden purkautuminen Kitiseen vaihtelee välillä 225–510 m^3/h .
3. Pohjaveden purkautuminen Kelujokeen, Hiivanahaaraan ja Ylijokeen vaihtelee välillä 105–150 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 osiossa 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 pohjaveden tulevat muodostumismäärät moreenissa, lajittuneiden kerrostumissa ja turpeessa kuukausittain. Pohjaveden keskimääräinen kuukausittainen muodostumismäärä arvioitiin perustuen kuukausittaisiin muodostumismääriin kesäkuun 2012 ja kesäkuun 2021 välillä. Keskimääräiset kuukausittaiset muodostumismäärät toistuvat vuosittain koko mallisimulaation ajan. Mahdollisen ilmastonmuutoksen 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 kuvatusta kaivostoiminnan elinkaaresta:

1. Vuodet 0–2: Kuusivaarasta rakennetaan neljä vinotunnelia pääesiintymälle. Ensimmäiset maanalaiset kaivostilat rakennetaan.
2. Vuodet 3–8: Louhinta alkaa ja kaivosta jatketaan syvemmille tasoille -400 metrin syvyyteen mpy ja alemmas. Tämän ajanjakson aikana louhintaa tehdään kaikista syvimmällä.
3. Vuodet 9–10: NE-satelliittiesiintymään rakennetaan yhdystunneli (vinotunneli), ja louhinta alkaa -150 metrin syvyydessä mpy ja ylempänä.
4. Vuodet 11–22: Louhinta jatkuu lähempänä pintaa olevilla tasoilla pääesiintymässä -400...-70 m mpy ja NE-satelliittiesiintymässä -170...112 m mpy.

Seuraavassa on esitetty yhteenveto ennustavassa mallissa käytetyistä reunaehdoista:

1. Maanalaista kaivosta kuvataan ennustavassa mallissa suotopintareunaehtoina perustuen *DESWIK*-aikatauluun ja .dxf-tiedostoissa toimitettuihin korkeuksiin. Oletuksena on, että koko kaivos louhoksia lukuun ottamatta säilyy avoimena kaivoksen elinkaaren ajan perustuen tunnelien korkeuteen merenpinnasta, pohjaveden pinnankorkeuteen ja in-situ-kallioperän hydraulisiin ominaisuuksiin.
2. Vaikka kaikki louhitut osiot täytetään, kaivostäyttöä ei kuvata ennustavassa mallissa täysin tiiviinä 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa 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 täytön vedenjohtavuus on välillä $2 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-7}$ m/s (kuva 3-32). 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 kaivoksen osat, jotka lävistävät tunnettuja vettä johtavia ruhjeita, sekä vinotunnelit 150 metriin maanpinnan alapuolelle asti. Tiivistämistä ennustavaan malliin kuvattaessa tehtiin seuraavat oletukset:
 - a. Tiivistämistä käytetään vähentämään veden mahdollista johtumista seuraavista ruhjeista: pohjaruhje, itäinen siirros, itä-länsisiirros, SENW1- ja SENW2-siirrokset, itä-länsi keskinen siirros ja kattopuolen hiertovyöhyke.
 - 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 suotopintareuna-ehdoita tiivistyksen alueille tiivistystehokkuuden mukaisesti. Tiivistyksen tehokkuuden vaikutuksia mallin ennusteisiin on arvioitu herkkyystarkastelussa.

Kaivossuunnitelman mukaan kaivoksen elinkaari on noin 22 vuotta. Koska kaivostoiminnan alkamisajankohdasta ei ole varmuutta, mallin ennusteet esitetään vuosina kaivostoiminnan alusta laskien.

Täyttöskenaarioiden simulaatioissa louhitun tilan kallioperän alempi vedenjohtavuus vaihdetaan täytön korkeampaan vedenjohtavuuteen pohjaveden virtausmallissa. Vedenjohtavuuden muutokset lisäävät vuotovesimäärää seurauksena ennustetun vuotovesimäärän numeerisista virheistä. Tämä – hyvin pieni – numeerinen virhe ennustetussa vuotovesimäärässä oikaistiin hyödyntämällä ennustettuja vuotovesimääriä louhinta-alueelle ja kaivokseen ilman mitään täyttömateriaalia. Ennustettu vuotovesimäärä ilman täyttöä on suurempi kuin missään täyttöskenaariossa.

5.1.3 Ennustavat mallisimulaatiot ympäristövaikutusten arviointia varten

Edellä kuvatun ennustavan mallin perusasetelman ja oletusten pohjalta seuraavassa on esitetty yhteenveto ennustavista malliskenaarioista ympäristövaikutusten arviointia varten:

1. **80% tiivistysskenaario:** Skenaariossa oletetaan, että vinotunnelit injektoidaan 150 m syvyyteen maanpinnan tasosta ja kaikki merkittävästi vettä johtavat geologiset rakenteet injektoidaan. Injektointitehokkuuden on oletettu olevan 80 %. Kaivostäytön



vedenjohtavuutena on käytetty maltillista vedenjohtavuusarvoa ($5,0 \times 10^{-8}$ m/s) ja täytetyt louhokset jäävät vuotamaan kaivoksen elinkaaren ajan. Pohjavedenvirtausmallissa injektointitehokkuudella (%) tarkoitetaan vuotamaan jäävien laskentasolujen suhteellista osuutta tiivistyksen alueilla.

2. **65% tiivistysskenaario:** Skenaariossa oletetaan, että vinotunnelit injektoidaan 150 m syvyyteen maanpinnan tasosta ja kaikki merkittävästi vettä johtavat geologiset rakenneteet injektoidaan. 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. Pohjavedenvirtausmallissa injektointitehokkuudella (%) tarkoitetaan vuotamaan jäävien laskentasolujen suhteellista osuutta tiivistyksen alueilla. Taulukossa 5-1 on esitetty yhteenveto kahdesta malliskenaariosta ja mallissa käytetyistä parametreista. AASM Oy:n ja Itasca Denver Inc.:n kaivosalan ja hydrogeologian alan kokemuksen ja saatavilla olevan teknisen tiedon perusteella 80% tiivistysskenaario on todennäköisin skenaario, joka hankkeessa voidaan saavuttaa.

Kahden edellä kuvatun skenaarion lisäksi simuloitiin yksi lisäskenaario ilman kaivostoimintaa, jossa tulevia pohjavesiolosuhteita arvioitiin keskimääräisten pohjaveden muodostumistietojen perusteella. Näin voitiin arvioida pohjaveden luonnontilaista vuodenaikaisvaihtelua, joka seuraa pelkästään pohjaveden muodostumismäärän vaihtelusta. Tämä lisäskenaario toimi pohjaveden vaihtelun vertailukohtana (luonnontilana), jotta kaivosskenaarioiden vaikutusta voidaan verrata tulevaisuuden skenaarioon ilman kaivostoimintaa ja näin arvioida kaivostoiminnan nettovaikutusta pohjavesiin.

Keskeisimpiä kaivos- ja ilmastoparametreja testattiin ylimääräisillä herkkyytstarkasteluilla. Näiden skenaarioiden ennustavien mallien perusasetelmat ja tulokset on esitetty liitteessä B.

5.2 KAIVOSTOIMINNAN AIKAISET ENNUSTEET YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTIA VARTEN

5.2.1 Ennustetut vuotovesimäärät

Kuvassa 5-2 on esitetty ennustetut vuotovesimäärät 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa. Taulukossa 5-2 on esitetty yhteenveto ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista vuotovesimääristä



80% ja 65 % tiivistysskenaarioissa. Seuraavat päätelmät voidaan tehdä pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä 80% tiivistysskenaariossa:

1. Vuotovesimäärät alkavat kasvaa kaivostoiminnan 1. vuonna, kun vinotunnelit rakennetaan. Vuoden 2 puoliväliin mennessä vuotovesimäärät ovat suurimmillaan, eli 118 m³/h (2 830 kuutiometriä vuorokaudessa [m³/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 100 m³/h (2 400 m³/vrk) vuoteen 6 mennessä, kun louhinta etenee alemmille tasoille, joiden vedenjohtavuudet alhaisemmat. Vuotovesimäärät eivät kasva louhittaessa alemmilla tasoilla, joilla kallion vedenjohtavuudet ovat alhaisemmat.
3. Vuotovesimäärä pysyy suhteellisen tasaisena arvossa 100 m³/h (2 400 m³/vrk) vuoteen 10 asti, minkä jälkeen vuotovesimäärä alkaa lisääntyä. Vuotovesimäärä alkaa lisääntyä 10. vuoden aikana, kun pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän lähimpänä maanpintaa olevia louhoksia louhitaan. Vuotovesimäärä kasvaa arvoon 110 m³/h (2 640 m³/vrk) vuoden 10 jälkeen ja pysyy suhteellisen tasaisena kaivoksen elinkaaren loppuun asti.
4. Ennustettu vuotovesimäärä (100–120 m³/h) vastaa maanalaisen kaivoksen alueen (noin 1 km²) pohjaveden kokonaismuodostumista, joka vaihtelee vuodenajoin välillä 0–100 m³/h (kuvat 4-16 ja 4-17).
5. Kaivoksen elinkaaren aikana maanalaisista louhoksista poistetaan vettä yhteensä noin 20 miljoonaa m³.

Seuraavat havainnot voidaan tehdä pohjaveden tulevista vuotovesimääristä 65% tiivistysskenaariossa (kuva 5-2 ja taulukko 5-2):

1. Vuotovesimäärät alkavat kasvaa kaivostoiminnan 1. vuonna, kun vinotunnelit rakennetaan. Vuoden 2 puoliväliin mennessä vuotovesimäärät ovat suurimmillaan eli 122 m³/h (2 930 m³/vrk) johtuen vettä johtavasta pohjaruhjeesta. Vuotovesimäärät ovat suurimmillaan vinotunnelien ja maanalaisen kaivoksen lähimpänä maanpintaa olevien osioiden rakentamisen jälkeen.
2. Kun vuotovesimäärän huippu on saavutettu, vuotovesimäärä vähentyy noin arvoon 107 m³/h (2 570 m³/vrk) vuoteen 6 mennessä, kun louhinta etenee alemmille tasoille, joiden vedenjohtavuudet ovat alhaisemmat. Vuotovesimäärät eivät kasva louhittaessa alemmilla tasoilla, joilla kallion vedenjohtavuudet ovat alhaisemmat.

3. Vuotovesimäärä pysyy suhteellisen tasaisena arvossa $107 \text{ m}^3/\text{h}$ ($2\,540 \text{ m}^3/\text{vrk}$) vuoteen 10 asti, minkä jälkeen vuotovesimäärä alkaa lisääntyä. Vuotovesimäärä alkaa lisääntyä 10. vuoden aikana, kun pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän lähempänä maanpintaa olevia louhoksia louhitaan. Vuotovesimäärä kasvaa arvoon $118 \text{ m}^3/\text{h}$ ($2\,830 \text{ m}^3/\text{vrk}$) vuoden 10 jälkeen ja pysyy suhteellisen tasaisena kaivoksen elinkaaren loppuun asti.
4. Ennustettu vuotovesimäärä ($107\text{--}122 \text{ m}^3/\text{h}$) vastaa maanalaisen kaivoksen alueen (noin 1 km^2) pohjaveden kokonaismuodostumista, joka vaihtelee vuodenajoittain välillä $0\text{--}100 \text{ m}^3/\text{h}$ (kuvat 4-16 ja 4-17).
5. Kaivoksen elinkaaren aikana maanalaisista louhoksista poistetaan vettä yhteensä noin 21 miljoonaa m^3 .

Ennustetut vuotovesimäärät noudattelevat 65% tiivistysskenaariossa samaa kaavaa ja ajoittuvat samalla tavalla kuin 80% tiivistysskenaariossa, mutta vuotovesimäärät ovat 5 – 8 % suurempia kuin 80% tiivistysskenaariossa.

5.2.2 Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden alenema

Kuvissa 5-3a ja 5-3b on esitetty 11 hypoteettisen pohjaveden havaintopisteen pohjaveden pinnankorkeuden kuvaajat kaivostoimintojen alueella 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa. Myös hypoteettisten pohjaveden havaintopisteiden sijainnit on merkitty kuviin 5-3a ja 5-3b. Oletuksena on, että hypoteettisissa pohjaveden havaintopisteissä pinnankorkeudet kuvaavat matalan vyöhykkeen pohjavettä ($0\text{--}10 \text{ m}$ maanpinnan alapuolelta). Jokaisesta hypoteettisesta pohjaveden havaintopisteestä on esitetty ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana. Alenema saatiin vertaamalla mallin laskemaa pinnankorkeutta 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa mallin laskemaan pinnankorkeuteen skenaariossa ilman kaivostoimintaa. Ennustetusta alenemasta kaivostoimintojen alueella 80 % tiivistysskenaariossa voidaan tehdä seuraavat havainnot (kuva 5-3a):

1. Ennustettu alenema vaihtelee vuodenaikojen mukaan johtuen lumen sulannasta. Alenemien ennustetaan olevan vuosittain suurimmillaan keväällä ennen lumen sulamista. Aleneman vuodenaikaisvaihtelu on $0,01\text{--}0,4 \text{ m}$.
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 vinotunneleita (1. vuodesta 2. vuoteen).
4. Alenemat ovat pohjaveden havaintopisteissä 3, 4 ja 5 suurempia kuin muissa sijainneissa, koska vinotunnelien läheisyydessä on vettä johtava pohjaruhje. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 0,93 m talvella ja noin 0,75 m kesällä.
5. Pääesiintymän alueella alenema kasvaa pohjaveden havaintopisteissä hiljalleen, kun maanalainen louhinta etenee. Kaivostoimintojen alueella alenema on suurimmillaan 0,6 m vuonna 22.
6. Alenema kasvaa 10. vuonna pohjaveden havaintopisteissä 8, 9 ja 10, kun pääesiintymän ja NE satelliittiesiintymän lähellä maanpintaa olevia louhoksia louhitaan.
7. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,6 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 0,5–2 m rajoissa kaivostoiminnan alueella.

Ennustetusta alenemasta kaivostoimintojen alueella 65% tiivistysskenaariossa voidaan tehdä seuraavat havainnot (kuva 5-3b):

1. Ennustetut alenemat noudattelevat samaa kaavaa ja ajoittuvat samalla tavalla kuin 80 % tiivistysskenaariossa, mutta aleneman suuruusluokka vaihtelee.
2. Aleneman vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,8 m hypoteettisissa pohjaveden havaintopisteissä.
3. Alenemat ovat pohjaveden havaintopisteissä 1, 3, 4 ja 5 suurempia kuin muissa sijainneissa, koska vinotunnelien alueella on vettä johtava pohjaruhje. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 1,0 m talvella ja noin 0,8 m kesällä.
4. Pääesiintymän alueella alenema kasvaa pohjaveden havaintopisteissä hiljalleen, kun maanalainen louhinta etenee. Kaivostoimintojen alueella alenema on suurimmillaan 0,6 m vuonna 22.
5. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,6 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 0,5–2 m rajoissa kaivostoiminnan alueella.

Kuvassa 5-4 on esitetty kuukausittainen alenema viiden vuoden välein kaivoksen elinkaaren aikana (vuosina 5, 10, 15 ja 22 kaivostoiminnan aloittamisesta) kahdessa pohjaveden havaintopisteessä (hypoteettiset pisteet 4 ja 8) 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa. Pohjaveden havaintopisteissä simuloituista alenemista vuodenajoittain 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.
3. Kaivoksen elinkaaren aikana (5. vuodesta 22. vuoteen) ero vuosittaisen suurimman ja pienimmän aleneman välillä kasvaa (enintään 0,2 m).

Kuvissa 5-5a ja 5-5b on esitetty kaivostoimintaan liittyvän ennustetun aleneman sama-arvokäyrät hydrologisella tutkimusalueella vuoden 22 lopussa 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa. Ennustettu alenema on suurempaa NESatelliittiesiintymän alueella, vinotunnelien lähellä ja lähellä maanpintaa kulkevien vinotunnelien alueella. Suurin alenema kaivostoiminnan lopussa sijoittuu lähellä maanpintaa kulkevan vinotunnelin ja kaivoksen sisäänkäyntien alueelle. Alenema on suurimmillaan kaivostoiminnan lopussa 2,8 m 80% tiivistysskenaariossa ja 4,0 m 65% tiivistysskenaariossa. Ennustetut kaivos toiminnan lopun suurimmat alenemat 2,8 ja 4,0 m 80% ja 65% tiivistysskenaariossa ovat Kuusivaaran alueelta mitattujen pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelun (1–20 m) rajoissa.

Kun matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus alkaa laskea, pohjaveden muodostuminen todennäköisesti lisääntyy. Tätä pohjaveden muodostumisen lisääntymistä ei ole huomioitu pohjaveden virtausmallissa. Pohjaveden muodostumisen lisääntyminen johtaisi pienempään alenemaan matalan vyöhykkeen pohjavedessä kuin mitä pohjaveden virtausmalli ennustaa.

Kuvissa 5-5a ja 5-5b on esitetty ennustettu alenema suoalueella. Ennustavassa mallissa on oletuksena, että turve on hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen ja toimii huokoisena materiaalina. Saatavilla olevien tietojen perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että turpeen tiiviistä alhaisen vedenjohtavuuden omaavasta pohjakerroksesta johtuen turve on vain osittain hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen. Tästä johtuen todellinen maastossa turpeessa havaittu alenema tulisi olemaan pienempi kuin pohjaveden virtausmallin ennustama alenema. Tämä perustuu Itascaan kokemuksiin muista kaivoksista, joiden maaperän hydrogeologinen stratigrafia on samankaltainen.



Kuvassa 5-6 on esitetty vertailu mitatusta ja mallin laskemasta muutoksesta pohjaveden pinnankorkeuksissa verrattuna pohjaveden keskimääräiseen pinnankorkeuteen kalibroitajanjakson aikana. Tiedot on esitetty kuudesta pohjaveden havaintopisteestä suolla. Kuvassa 5-6 on esitetty myös suurin ja pienin muutos pohjaveden pinnankorkeuksissa verrattuna mitattuun keskimääräiseen pinnankorkeuteen. Seuraavaa lähestymistapaa käytettiin pohjaveden pinnankorkeuden muutoksia määriteltäessä:

1. Pohjaveden pinnankorkeuden suurin ja pienin mitattu muutos määritellään erona suurimman/pienimmän mitatun pohjaveden pinnankorkeuden ja keskimääräisen pohjaveden pinnankorkeuden välillä kuvaan merkittynä ajanjaksona.
2. Pienimmän ja suurimman pinnankorkeuden ero on pohjaveden pinnankorkeuksien mitattu luonnollinen vaihteluväli. Pohjaveden pinnankorkeuksien luontaiseen vaihteluun vaikuttaa sadannan määrä.
3. Simuloitu muutos kalibroiduissa pohjaveden pinnankorkeuksissa on simuloitu pohjaveden pinnankorkeus ajan myötä vähennettynä simuloituilla keskimääräisillä pinnankorkeuksilla 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 (pohjaveden havaintoputket GA101, GA102 ja GA104) ero verrattuna keskimääräiseen pinnankorkeuteen vaihtelee -0,2 metristä +0,45 metriin. Suurimman osan ajasta turpeen vedenpinnankorkeuden ero keskimääräiseen vedenpinnankorkeuteen on +/- 0,1 m. Pinnankorkeus nousee merkittävästi vain talven lopussa lumen syvyyden mukaan.
 - b. Kivennäismaalajeissa pohjaveden pinnankorkeuden (pohjaveden havaintoputket GA201, GA202 ja GA300) ero verrattuna keskimääräiseen pinnankorkeuteen vaihtelee -0,67 metristä +0,5 metriin.
2. Pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaismuutokset vaihtelevat vuosittain sadannan mukaan.
3. Muissa kuin turpeen pohjaveden 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. Turpeen havaintopisteissä (GA101, GA102 ja GA104) mitatut pinnankorkeudet reagoivat lumipeitteen aiheuttamaan huokospaineen muutoksiin.
5. Mallin laskemat pohjaveden pinnankorkeuksien muutokset vastaavat hyvin kivennäismaalajien pohjaveden havaintopisteissä (GA201, GA202 ja GA300) mitattuja muutoksia.
6. Kuten osiossa 4.0 todettiin, pohjaveden virtausmalli on hyvin kalibroitu vedenpinnankorkeuteen turpeen pohjaveden havaintopisteissä (liite A). Pohjaveden virtausmalli ei kuvasta turpeen vedenpinnan havaintopisteistä mitattuja vuodenaikaisvaihteluita (GA101, GA102 ja GA104; kuva 5-6), sillä mitattu vaihtelu turpeen vedenpinnan korkeudessa on seurausta kasvavan lumipeitteen aiheuttamasta paineesta eikä todellisista pohjaveden pinnankorkeuden muutoksista. Mallin laskemat veden pinnankorkeuden vaihtelut turpeen havaintopisteissä kalibrointijakson aikana ovat +/- 0,1 m, mikä vastaa kohtalaisen hyvin mitattua vaihtelua.

Kuvassa 5-7 on esitetty mallin laskema muutos pohjaveden pinnankorkeuksissa ennustetulle ajanjaksolle kaivostoiminnan vuodesta 1 vuoteen 22 saakka 80% tiivistysskenaariossa, kun mukana on myös NE satelliittiesiintymä. Kuvassa on myös esitetty pohjaveden mitatut minimi- ja maksimikorkeudet ajalta 2012–2021, sekä ennustettu alenema kussakin pohjaveden havaintopisteessä. Muutos ennustetuissa pohjaveden pinnankorkeuksissa verrattuna pohjaveden keskimääräisiin pinnankorkeuksiin on ennustettu pinnankorkeus vähennettynä ennustetulla keskimääräisellä pinnankorkeudella. Ennustettu alenema saadaan vähentämällä kaivostoimintaskenaariossa ennustettu pohjaveden pinnankorkeus ennustetusta pohjaveden pinnankorkeudesta ilman kaivostoimintaa. Näin voidaan arvioida kaivostoimintaan liittyvä muutos pohjaveden pinnankorkeudessa. Pohjaveden pinnankorkeustiedot esitetään vain 80% tiivistysskenaariolle, jossa mukana on NE satelliittiesiintymä, sillä edellä esitetyt ennustetut alenemat osoittavat, että maanalaisen kaivosalueen ennustetut alenemat eroavat vain hyvin vähän 8 % ja 65% tiivistysskenaarioissa, joissa on mukana NE satelliittiesiintymä.

Pohjaveden pinnankorkeuksien tulevista muutoksista voidaan tehdä seuraavat havainnot:

1. Havaintopisteissä GA101, GA102 ja GA201 pohjaveden pinnankorkeuksien ennustettu muutos ja ennustettu alenema ovat pohjaveden pinnankorkeuksien aiemmin mitatun vuodenaikaisvaihtelun rajoissa.
2. Havaintopisteessä GA300 ennustettu alenema on pohjaveden pinnankorkeuksien aiemmin mitatun vuodenaikaisvaihtelun rajoissa. Pohjaveden pinnankorkeuden ennustettu muutos on enintään 0,2 metrin lasku pienimmästä mitatusta pinnankorkeudesta talviaikaan.
3. Havaintopisteessä GA202 ennustettu alenema on 0,15 m suurempi kuin pohjaveden pinnankorkeuksien aiemmin mitattu vuodenaikaismuutos. Pohjaveden pinnankorkeuden ennustettu muutos on enintään 0,23 metrin lasku pienimmästä mitatusta pinnankorkeudesta talviaikaan.
4. Havaintopisteessä GA104 ennustettu alenema on 0,23 m suurempi kuin pohjaveden pinnankorkeuksien aiemmin mitattu vuodenaikaismuutos. Pohjaveden pinnankorkeuden ennustettu muutos on enintään 0,23 metrin lasku pienimmästä mitatusta pinnankorkeudesta talviaikaan.

5.2.3 Ennustettu purkautuminen Kitiseen

Kuvassa 5-8 on esitetty ennustetun pohjaveden purkautuminen (baseflow) Kitiseen kaivoksen elinkaaren aikana tilanteissa, joissa tiivistys onnistuu 80% ja 65% tai jossa kaivostoimintaa ei ole lainkaan. Ennusteen mukaan pohjaveden purkautuminen Kitiseen voi vähentyä kaivostoiminnan vuoksi enintään 20 m³/h. Tämä vastaa noin 4–6 % mallin laskemasta pohjaveden kokonaispurkautumisesta Kitiseen (mallin laskema pohjaveden kokonaispurkautuminen on 300–420 m³/hr). Purkautumisen vähentyminen ei vaikuta olennaisesti joen kokonaisvirtaamaan (muutos on noin 0,01 %; SYKE 2022). 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 LISÄLIEVENNYSOIMET YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTIA VARTEN

Osiassa 5.2 esitettyjä alenemaennusteita käytettiin alustavissa analyyseissa ympäristövaikutusten arviointia ja Natura 2000 -arviointia varten. Alustavien arviointien mukaan ennustetuilla alenema-alueilla suolla on mahdollista muodostua ympäristövaikutuksia. Tämän vuoksi AASM Oy on lisännyt välttämistoimen, jotta mahdollinen alenema suoalueella voidaan minimoida entisestään. Raportin tämä osuus sisältää yhteenvedon välttämistoimista ja niiden mahdollisista vaikutuksista pohjaveden pinnankorkeuden alenemaan ja vuotovesimääriin. Osuudessa vertaillaan myös tämän osion tuloksia osion 5.2 tuloksiin.

Suoalueen alenema liittyy lähinnä NE satelliittiesiintymän mataliin maanalaisiin louhoksiin. Suoalueen aleneman minimoimiseksi AASM Oy suunnittelee poistavansa NE satelliittiesiintymän maanalaiset louhokset kaivossuunnitelmasta (NE satelliittiesiintymän alueet on merkitty kuvaan 3-30a). Tähän liittyen simuloitiin kaksi ylimääräistä ennustavaa pohjaveden virtausmalliskenaariota:

1. **80% tiivistysskenaario ilman NE satelliittiesiintymää:** Skenaariossa oletetaan, että vinotunnelit injektoidaan 150 m syvyyteen maanpinnan tasosta ja kaikki merkittävästi vettä johtavat geologiset rakenteet injektoidaan. Injektointitehokkuuden on oletettu olevan 80%. Kaivostäytön vedenjohtavuutena on käytetty maltillista vedenjohtavuusarvoa ($5,0 \times 10^{-8}$ m/s) ja täytetyt louhokset jäävät vuotamaan kaivoksen elinkaaren ajan. Pohjavedenvirtausmallissa injektointitehokkuudella (%) tarkoitetaan vuotamaan jäävien laskentasolujen suhteellista osuutta tiivistyksen alueilla. Skenaariossa oletetaan, että kaikki NE satelliittiesiintymään liittyvät maanalaiset louhokset jätetään pois kaivossuunnitelmasta.
2. **65% tiivistysskenaario ilman NE satelliittiesiintymää:** Skenaariossa oletetaan, että vinotunnelit injektoidaan 150 m syvyyteen maanpinnan tasosta ja kaikki merkittävästi vettä johtavat geologiset rakenneteet injektoidaan. 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. Pohjavedenvirtausmallissa injektointitehokkuudella (%) tarkoitetaan vuotamaan jäävien laskentasolujen suhteellista osuutta tiivistyksen alueilla. Skenaariossa oletetaan, että kaikki NE satelliittiesiintymään liittyvät maanalaiset louhokset jätetään pois kaivossuunnitelmasta.

5.3.1 Ennustetut vuotovesimäärät

Kuvassa 5-9 on esitetty ennustetut vuotovesimäärät 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää. Taulukossa 5-3 on esitetty yhteenveto ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivisista määristä 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa ilman NEsatelliittiesiintymää. Seuraavat päätelmät voidaan tehdä tulevista vuotovesimääristä 80% tiivistysskenaariossa ilman NEsatelliittiesiintymää:

1. Vuotovesimäärät alkavat kasvaa kaivostoiminnan 1. vuonna, kun vinotunnelit rakennetaan. Vuoden 2 puoliväliin mennessä vuotovesimäärät ovat suurimmillaan eli 118 m³/h (2 830 m³/vrk) johtuen vettä johtavasta pohjaruhjeesta. Vuotovesimäärät ovat suurimmillaan vinotunnelien ja maanalaisen kaivoksen lähellä maanpintaa olevien osioiden rakentamisen jälkeen.
2. Kun vuotovesimäärän huippu on saavutettu, vuotovesimäärä vähentyy noin arvoon 100 m³/h (2 400 m³/vrk) vuoteen 6 mennessä, kun louhinta etenee alemmille tasoille, joiden vedenjohtavuudet ovat alhaisemmat. Vuotovesimäärät eivät kasva louhittaessa alemmilla tasoilla, joilla kallion vedenjohtavuudet ovat alhaisempia.
3. Vuotovesimäärät laskevat hitaasti ajan myötä kaivostoiminnan 6. vuoden jälkeen. Vuotovesimäärä on 95–100 m³/h (2 280–2 400 m³/vrk) 6. vuodesta 22. vuoteen.
4. Kaivoksen elinkaaren aikana maanalaisista louhoksista poistetaan vettä yhteensä noin 18,3 miljoonaa m³. Tämä on 1,6 miljoonaa m³ vähemmän kuin skenaariossa, jossa on mukana NE-satelliittiesiintymä.

Seuraavat päätelmät voidaan tehdä tulevista vuotovesimääristä 65% tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää (kuva 5-9 ja taulukko 5-3):

1. Vuotovesimäärät alkavat kasvaa kaivostoiminnan 1. vuonna, kun vinotunnelit rakennetaan. Vuoden 2 puoliväliin mennessä vuotovesimäärät ovat suurimmillaan eli 122 m³/h (2 930 m³/vrk) johtuen vettä johtavasta pohjaruhjeesta. Vuotovesimäärät ovat suurimmillaan vinotunnelien ja maanalaisen kaivoksen lähellä maanpintaa olevien osioiden rakentamisen jälkeen.
2. Kun vuotovesimäärän huippu on saavutettu, vuotovesimäärä vähentyy noin arvoon 107 m³/h (2 570 m³/vrk) vuoteen 6 mennessä, kun louhinta etenee alemmille tasoille, joiden vedenjohtavuudet ovat alhaisemmat. Vuotovesimäärät eivät kasva louhittaessa alemmilla tasoilla, joilla kallion vedenjohtavuudet ovat alhaisempia.



3. Vuotovesimäärät laskevat hitaasti ajan myötä kaivostoiminnan 6. vuoden jälkeen. Vuotovesimäärä on 100–105 m³/h (2 400–2 520 m³/vrk) 6. vuodesta 22. vuoteen.
4. Kaivoksen elinkaaren aikana maanalaisista louhoksista poistetaan vettä yhteensä noin 19,5 miljoonaa m³. Tämä on 1,5 miljoonaa m³ vähemmän kuin skenaariossa, jossa on mukana NEsatelliittiesiintymä.

Ennustetut vuotovesimäärät noudattelevat 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa ilman NEsatelliittiesiintymää samaa kaavaa ja ajoittuvat samalla tavalla kuin osiossa 5.2 kuvatuissa NEsatelliittiesiintymän skenaarioissa. Erona on, että vuotovesimäärät pienentyvät kaivoksen elinkaaren aikana sen sijaan, että ne kasvaisivat kaivostoiminnan 10. vuonna.

5.3.2 Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden alenema

Kuvissa 5-10a ja 5-10b on esitetty 11 hypoteettisen pohjaveden havaintopisteen pohjaveden pinnankorkeuden kuvaajat kaivostoimintojen alueella 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää. Myös hypoteettisten pohjaveden havaintopisteiden sijainnit on merkitty kuviin 5-10a ja 5-10b. Oletuksena on, että hypoteettisissa pohjaveden havaintopisteissä pinnankorkeudet kuvaavat matalan vyöhykkeen pohjavettä (0–10 m maanpinnan alapuolelta). Jokaisen hypoteettisen pohjaveden havaintopisteen osalta on esitetty ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana. Alenema saatiin vertaamalla mallin ennustamaa alenemaa 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa ilman NE-satelliittiesiintymää skenaarioon ilman kaivostoimintaa. Ennustetusta alenemasta kaivostoimintojen alueella 80% tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää voidaan tehdä seuraavat havainnot (kuva 5-10a):

1. Ennustettu alenema vaihtelee vuodenaikojen mukaan johtuen lumen sulannasta. Alenemien ennustetaan olevan vuosittain suurimmillaan keväällä ennen lumen sulamista. Aleneman vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,4 m.
2. Aleneman vuodenaikaisvaihtelu on suurempaa pohjaveden havaintopisteessä 1 johtuen ohuemmasta kerrostumasta ja siitä, että pohjavettä muodostuu alhaisemman vedenjohtavuuden omaavaan kallioperään.
3. Pohjaveden korkeus alkaa laskea pohjaveden havaintopisteissä 1–5, kun kaivostoiminnan alkuvaiheessa rakennetaan vinotunneleita (1. vuodesta 2. vuoteen).

4. Alenemat ovat pohjaveden havaintopisteissä 3, 4 ja 5 suurempia kuin muissa sijainneissa, koska vinotunnelien läheisyydessä on vettä johtava pohjaruhje. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 0,93 m talvella ja noin 0,75 m kesällä.
5. Pääesiintymän alueella alenema kasvaa pohjaveden havaintopisteissä hiljalleen, kun maanalainen louhinta etenee. Kaivostoiminnan alueella alenema on suurimmillaan 0,3 m 22. vuonna. Verrattuna alenemaan skenaariossa, jossa kaivossuunnitelmassa on mukana NE satelliittiesiintymä, NE satelliittiesiintymän maanalaisten louhosten poistaminen kaivossuunnitelmasta vähentää alenemaa kaivostoimintojen alueella.
6. Pohjaveden havaintopisteissä 8, 9 ja 10 on vähäistä alenemaa 10. vuonna, kun pääesiintymän lähellä maanpintaa olevia louhoksia louhitaan. Verrattuna alenemaan skenaariossa, jossa kaivossuunnitelmassa on mukana NEsatelliittiesiintymä, NE-satelliittiesiintymän maanalaisten louhosten poistaminen kaivossuunnitelmasta vähentää alenemaa näissä pohjaveden havaintoputkissa.
7. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,3 m) on vähäisempi kuin pohjaveden pinnankorkeuden mitattu vuodenaikaisvaihtelu 0,5–2 m kaivostoimintojen alueella.

Ennustetusta alenemasta kaivostoimintojen alueella 65% tiivistämiskenaariossa ilman NEsatelliittiesiintymää voidaan tehdä seuraavat havainnot (kuva 5-10b):

1. Ennustetut alenemat noudattelevat samaa kaavaa ja ajoittuvat samalla tavalla kuin 80% tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää.
2. Aleneman vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,8 m hypoteettisissa pohjaveden havaintopisteissä.
3. Alenemat ovat pohjaveden havaintopisteissä 1, 3, 4 ja 5 suurempia kuin muissa sijainneissa, koska vinotunnelien alueella on vettä johtava pohjaruhje. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 1,0 m talvella ja noin 0,8 m kesällä.
4. Pääesiintymän alueella alenema kasvaa pohjaveden havaintopisteissä hiljalleen, kun maanalainen louhinta etenee. Kaivostoimintojen alueella alenema on suurimmillaan 0,3 m 22. vuonna. Verrattuna alenemaan skenaariossa, jossa kaivossuunnitelmassa on mukana NEsatelliittiesiintymä, NE satelliittiesiintymän maanalaisten louhosten poistaminen kaivossuunnitelmasta vähentää alenemaa kaivostoimintojen alueella.
5. Pohjaveden havaintopisteissä 8, 9 ja 10 on vähäistä alenemaa 10. vuonna, 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 havaintopisteissä.

6. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,3 m) on vähäisempi kuin pohjaveden pinnankorkeuden mitattu vuodenaikaisvaihtelu 0,5–2 m kaivostoimintojen alueella.

Kuvissa 5-11a ja 5-11b on esitetty kaivostoimintaan liittyvän ennustetun aleneman sama-arvokäyrät hydrologisella tutkimusalueella vuoden 22 lopussa 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa ilman NEsatelliittiesiintymää. Ennustettu alenema on suurempi vinotunnelien yhteydessä ja lähellä maanpintaa kulkevien vinotunnelien alueella. Suurin alenema kaivostoiminnan lopussa keskittyy lähellä maanpintaa kulkevan vinotunnelin ja sisäänkäyntien alueelle. Alenema on suurimmillaan kaivostoiminnan lopussa 2,8 m 80% tiivistysskenaariossa ilman NEsatelliittiesiintymää ja 4,0 m 65% tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää. Verrattuna alenemaan simuloiduissa skenaarioissa, jossa kaivossuunnitelmassa on mukana NEsatelliittiesiintymä ja jotka on kuvattu osiossa 5.2, NE satelliittiesiintymän maanalaisten louhosten poistaminen vähentää alenemaa kaivoksen ja NEsatelliittiesiintymän alueilla.

Samoin kuin osiossa 5.2 kuvatuissa skenaarioissa, pohjaveden muodostuminen todennäköisesti lisääntyy, kun matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus alkaa alentua. Tätä pohjaveden muodostumisen lisääntymistä ei ole huomioitu pohjaveden virtausmallissa. Pohjaveden muodostumisen lisääntyminen johtaisi pienempään alenemaan matalan vyöhykkeen pohjavedessä kuin pohjaveden virtausmalli ennustaa.

Kuvissa 5-10a ja 5-10b on esitetty ennustettu alenema suoalueella. Ennustavassa mallissa on oletettu, että turve on hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen ja toimii huokoisena materiaalina. Saatavilla olevien tietojen perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että suon turve on vain osittain hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen. Tästä johtuen 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.

Kuvassa 5-12 on esitetty mallin ennustama muutos pohjaveden pinnankorkeuksissa ajanjaksolle kaivostoiminnan 1. vuodesta 22. vuoteen 80% tiivistysskenaariossa ilman NE-satelliittiesiintymää. Kuvassa on esitetty myös pohjaveden mitatut minimi- ja maksimikorkeudet ajalta 2012–2021, sekä ennustettu alenema kussakin pohjaveden havaintopisteessä. Muutos ennustetuissa pohjaveden pinnankorkeuksissa verrattuna pohjaveden keskimääräisiin pinnankorkeuksiin on ennustettu pinnankorkeus vähennettynä ennustetulla keskimääräisellä pinnankorkeudella. Ennustettu alenema saadaan vähentämällä kaivostoimintaskenaariossa ennustettu pohjaveden pinnankorkeus ennustetusta pohjaveden pinnankorkeudesta ilman kaivostoimintaa. Näin voidaan arvioida kaivostoimintaan liittyvä muutos pohjaveden pinnankorkeudessa. Pohjaveden pinnankorkeustiedot esitetään vain 80% tiivistysskenaariolle, sillä ennustetut alenematiedot osoittavat, että kaivosalueen ennustetut alenemat eroavat hyvin vähän 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää. Ennustetusta pohjaveden pinnankorkeuden muutoksesta suoalueen pohjaveden havaintopisteissä ennustavan pohjaveden virtausmallin simulaatioissa ilman NE satelliittiesiintymää voidaan todeta seuraavaa:

1. Pohjaveden havaintopisteissä GA101, GA102, GA201, GA200 ja GA300 pohjaveden pinnankorkeuksien ennustettu muutos ja ennustettu alenema ovat pohjaveden pinnankorkeuksien aiemmin mitatun vuodenaikaisvaihtelun rajoissa.
2. Pohjaveden havaintopisteessä GA104 ennustettu alenema on 0,23 m suurempi kuin aiemmin mitattu vuodenaikaismuutos. Pohjaveden pinnankorkeuden ennustettu muutos on enintään 0,23 metrin lasku pienimmästä mitatusta pinnankorkeudesta talviaikaan.
3. Ennusteissa pohjaveden pinnankorkeuksien muutoksista ilman NE satelliittiesiintymää alenema ja pohjaveden pinnankorkeuksien muutos on vähäisempää kuin osiossa 5.2 esitellyissä skenaarioissa, joissa NE satelliittiesiintymä on mukana.

5.3.3 Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen

Kuvassa 5-13 on esitetty ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen kaivoksen elinkaaren aikana 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää sekä skenaariossa ilman kaivostoimintaa. Ennusteen mukaan pohjaveden purkautuminen Kitiseen voi kaivostoiminnan vuoksi vähentyä enintään 20 m³/h. Tämä purkautumisen vähentyminen vastaa noin 4–6 % mallilla simuloidusta pohjaveden kokonaispurkautumisesta Kitiseen. Purkautumisen vähentyminen ei vaikuta olennaisesti joen kokonaisvirtaamaan (muutos on noin 0,01 %; SYKE 2022). 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. Suunnitelmat on kuvattu osioissa 5.2 ja 5.3.

5.4.1 Pohjaveden ennustettu palautuminen 80% ja 65% tiivistysskenaarioille

Pohjaveden palautumista kaivoksen elinkaaren skenaarioissa NEsatelliittiesiintymän kanssa ennustettiin kahden malliskenaarion avulla. Nämä kaksi pohjaveden palautumisen malliskenaariota perustuvat seuraavana tutkimusasetelmaan ja oletuksiin:

1. **80% tiivistysskenaarion pohjaveden palautuminen:** Pohjaveden palautumisen skenaariossa käytetään kaivostoiminnan ajalta osiossa 5.2 kuvattuja oletuksia. Kaivostoiminnan jälkeen pohjavesien annetaan palautua luonnollisesti. Ennustetut pohjaveden muodostumismäärät perustuvat pohjaveden arvioituun keskimääräiseen muodostumiseen, joka on esitetty kuvassa 5-1. Keskimääräiset kuukausittaiset muodostumismäärät toistuvat vuosittain koko mallisimulaation ajan.
2. **65% tiivistysskenaarion pohjaveden palautuminen:** Pohjaveden palautumisen skenaariossa käytetään kaivostoiminnan ajalta osiossa 5.2 kuvattuja oletuksia. Kaivostoiminnan jälkeen



pohjavesien annetaan palautua luonnollisesti. Ennustetut pohjaveden muodostumismäärät perustuvat pohjaveden arvioituun keskimääräiseen muodostumiseen, joka on esitetty kuvassa 5-1. Keskimääräiset kuukausittaiset muodostumismäärät toistuvat vuosittain koko mallisimulaation ajan.

Edellä mainittujen oletusten pohjalta pohjaveden virtausmallin simulointi ulotettiin 400 vuoden päähän kaivostoiminnan päättymisestä. Pohjaveden palautumiselle simuloitiin 400 vuoden ajanjakso ehjän kallioperän alhaisen vedenjohtavuuden vuoksi.

Pohjaveden palautumista kuvaa parhaiten aleneman suuruus keskeisimmissä tarkkailupisteissä ajan kuluessa. Pohjaveden palautumisajan arvioinnissa käytettiin seuraavia hypoteettisia tarkkailupisteitä, jotka on esitetty kuvassa 5-14:

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

Pohjaveden katsotaan palautuneen, kun alenema kussakin pohjaveden havaintopisteessä lähestyy 0 metriä. Kuvassa 5-14a on esitetty pohjaveden aleneman kuvaajat 80% tiivistysskenaarion pohjaveden palautumiselle 11 eri hypoteettiselle pohjaveden havaintopisteelle ja yhdelle syvälle pohjaveden havaintopisteelle kaivostoimintojen alueella pohjaveden palautumisen aikana. Pohjaveden palautumiseen liittyvä ennustettu alenema arvioitiin vertaamalla mallin ennustamaa alenemaa 80% tiivistyskenaarion pohjaveden palautumisen skenaariossa skenaarioon ilman kaivostoimintaa. Pohjaveden palautumisesta kaivostoimintojen alueella voidaan tehdä seuraavat havainnot 80% tiivistyksen tehokkuuden pohjaveden palautumisen skenaariossa:

1. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päättyttyä. Pohjavesien palautuminen alkaa, kun pohjavettä ei enää purkaudu kaivokseen.



2. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteissä ennustetut palautuneet pohjavesitasot vaihtelevat vuodenaikojen lumen sulannasta johtuen. Vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,15 m.
3. Viiden vuoden kuluessa matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen.
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 matalampien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa pohjaveden havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän havaintopisteissä alle 1 m.

Kuvassa 5-14b on esitetty pohjaveden aleneman kuvaajat 65% tiivistystehokkuuden pohjaveden palautumisen skenaariossa 11 eri hypoteettiselle pohjaveden havaintopisteelle ja yhdelle syväkallion pohjaveden havaintoputkelle kaivostoimintojen alueella pohjaveden palautumisen aikana. Pohjaveden palautumisesta kaivostoimintojen alueella voidaan tehdä seuraavat havainnot 65 % tiivistystehokkuuden pohjaveden palautumisen skenaariossa:

1. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päätyttyä. Pohjavesien palautuminen alkaa, kun pohjavettä ei enää purkaudu kaivokseen.
2. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteissä ennustetut palautuneet pohjavesitasot vaihtelevat vuodenaikojen lumen sulannasta johtuen. Vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,15 m.
3. Kymmenen vuoden kuluessa matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen.
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 pohjaveden havaintoputken mittauspisteissä alenema kasvaa ehjän kallioperän yläosassa kaivostoimintaa seuraavien 20 vuoden aikana, kun syvemmän kallioperän pohjavedet alkavat palautua.
6. Ehjän kallion matalampien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa pohjaveden havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän havaintopisteissä alle 2,5 m.

5.4.2 Pohjavesien ennustettu palautuminen ilman NE-satelliittiesiintymää

Pohjaveden palautumista ilman NE satelliittiesiintymää ennustettiin kahden malliskenaarion avulla. Nämä kaksi pohjaveden palautumisen malliskenaariota perustuvat seuraavalle tutkimusasetelmalle ja oletuksille:

1. **80% tiivistysskenaarion pohjaveden palautuminen ilman NE satelliittiesiintymää:** skenaariossa käytetään kaivostoiminnan ajalta osiossa 5.3 kuvattuja oletuksia. Kaivostoiminnan jälkeen pohjavesien annetaan palautua luonnollisesti. Ennustetut pohjaveden muodostumismäärät perustuvat pohjaveden arvioituun keskimääräiseen muodostumiseen, joka on esitetty kuvassa 5-1. Keskimääräiset kuukausittaiset muodostumismäärät toistuvat vuosittain koko mallisimulaation ajan.
2. **65% tiivistysskenaarion pohjaveden palautuminen ilman NE satelliittiesiintymää:** skenaariossa käytetään kaivostoiminnan ajalta osiossa 5.3 kuvattuja oletuksia. Kaivostoiminnan jälkeen pohjavesien annetaan palautua luonnollisesti. Ennustetut pohjaveden muodostumismäärät perustuvat pohjaveden arvioituun keskimääräiseen muodostumiseen, joka on esitetty kuvassa 5-1. Keskimääräiset kuukausittaiset muodostumismäärät toistuvat vuosittain koko mallisimulaation ajan.

Edeltävien oletusten pohjalta pohjaveden virtausmallin simulointi ulotettiin 400 vuoden päähän kaivostoiminnan päättymisestä. Pohjaveden palautumiselle simuloidaan 400 vuoden ajanjakso ehjän kallioperän alhaisen vedenjohtavuuden vuoksi.



Pohjaveden palautumista kuvaa alenema keskeisimmissä pohjaveden havaintopisteissä ajan kuluessa. Pohjaveden palautumisajan arvioinnissa käytettiin seuraavia hypoteettisia pohjaveden havaintopisteitä, jotka on esitetty kuvassa 5-15:

1. Ennustetun aleneman alueelle lisättiin yksitoista hypoteettista matalaa pohjaveden havaintoputkea. Nämä havaintopisteet kuvaavat pohjaveden pinnankorkeuksia ylimmässä vedellä kyllästyneessä mallikerroksessa.
2. Yksi pohjaveden havaintopiste kuvaa pohjavettä aina maanpinnalta syvälle kaivosvyöhykkeelle saakka. Tässä pohjaveden havaintoputkessa oletettiin olevan mittauspisteitä kahdeksassa eri syvyydessä.

Pohjaveden katsotaan palautuneen, kun alenema kussakin pohjaveden havaintopisteessä lähestyy 0 metriä. Kuvassa 5-15a on esitetty pohjaveden aleneman kuvaajat 80% tiivistystehokkuuden pohjaveden palautumisen skenaariossa 11 eri hypoteettiselle pohjaveden havaintopisteelle ja yhdelle syväkallion pohjaveden havaintopisteelle pohjaveden palautumisen aikana. Pohjaveden palautumiseen liittyvä ennustettu alenema arvioitiin vertaamalla mallin ennustamaa alenemaa 80% tiivistystehokkuuden pohjaveden palautumisen skenaariossa skenaarioon ilman kaivostoimintaa. Pohjaveden palautumisesta kaivostoimintojen alueella voidaan tehdä seuraavat havainnot 80% tiivistystehokkuuden pohjaveden palautumisen skenaariossa:

1. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päätyttyä. Pohjavesien palautuminen alkaa, kun pohjavettä ei enää purkaudu kaivokseen.
2. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteissä ennustetut palautuneet pohjavesitasot vaihtelevat vuodenajoittain lumen sulannasta johtuen. Vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,15 m.
3. Viiden vuoden kuluessa matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen.
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 havaintopisteissä 75 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä.



5. Ehjän kallioperän pohjavesiputken havaintopisteissä alenema kasvaa ehjän kallioperän yläosassa kaivostoimintaa seuraavien 20 vuoden aikana, kun syvemmän kallioperän pohjavedet alkavat palautua.
6. Ehjän kallion matalampien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän havaintopisteissä alle 1 m.

Kuvassa 5-15b on esitetty pohjaveden aleneman kuvaajat 65% tiivistystehokkuuden pohjaveden palautumisen skenaariossa 11 eri hypoteettiselle havaintopisteelle ja yhdelle syväkallion pohjaveden havaintopisteelle kaivostoimintojen alueella pohjaveden palautumisen aikana. Pohjaveden palautumisesta kaivostoimintojen alueella voidaan tehdä seuraavat havainnot 65% tiivistystehokkuuden pohjaveden palautumisen skenaariossa:

1. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päätyttyä. Pohjavesien palautuminen alkaa, kun pohjavettä ei enää purkaudu kaivokseen.
2. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteissä ennustetut palautuneet pohjavesitasot vaihtelevat vuodenajoittain lumen sulannasta johtuen. Vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,15 m.
3. Kymmenen vuoden kuluessa matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen.
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 havaintopisteissä 75 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä.
5. Ehjän kallioperän pohjaveden painekorkeuden havainnointipisteissä alenema kasvaa ehjän kallioperän yläosassa kaivostoimintaa seuraavien 20 vuoden aikana, kun syvemmän kallioperän pohjavedet alkavat palautua.
6. Ehjän kallion matalampien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän havaintopisteissä alle 2,5 m.



Havainnot pohjaveden palautumisesta ovat samat skenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää ja satelliittiesiintymän kanssa. Tämä johtuu siitä, että matalan vyöhykkeen ja syvän kallioperän pohjavesien alenema tapahtuu pääesiintymän ja vinotunnelien yhteydessä, ja nämä pysyvät samoina kummassakin kaivossuunnitelmassa. Pohjaveden palautumisaikoihin ei täten vaikuta, onko NE- satelliittiesiintymä mukana kaivossuunnitelmassa vai ei.

6.0 YHTEENVETO MALLIN KESKEISISTÄ EPÄVARMUUKSISTA

Työn yhteydessä Itasca arvioi tärkeimpiä tietoaaineistoja, joita on käytetty käsitteellisessä hydrogeologisessa mallissa ja pohjaveden virtausmallissa. Toimialan käytäntöjen mukaisesti AASM Oy on tehnyt kattavat selvitykset tässä hankkeen vaiheessa verrattuna vaatimuksiin, jotka on esitelty kuvassa 6-1. Pohjavesimalleihin liittyy aina epävarmuuksia. Mallin luotettavuus kuitenkin paranee hankkeen edetessä mallien päivittyessä.

Pohjaveden virtausmallinnuksen vaiheet on esitetty kuvassa 6-2. Malli on validoitava ja päivitettävä ajoittain seurantatietojen pohjalta. Tällainen menettely parantaa pohjaveden virtausmallin luotettavuutta jatkuvasti, kun lähtöaineistoon liittyvät epävarmuudet vähentyvät.

Taulukossa 6-1 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 rajoitetusti rajoitetummin vedenjohtavuustietoja kuin kaivosalueelta. Vesihävikikokeiden tulosten perusteella kaivosalueen geologisen rakenteiden vedenjohtavuudet ovat samankaltaisia kuin ruhjeiden ympärillä olevan kallioperän vedenjohtavuudet. Mallissa on siten oletettu, että maanalaisen kaivoksen alueen ruhjeiden vedenjohtavuudet vastaavat kallioperän vedenjohtavuuksia.
 - b. 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 pienentyen syvemmällä, turpeen alaosassa vedenjohtavuudet ovat alhaisempia ja usein paikoin turpeessa on tiivis pohjakerros. Nämä tekijät voivat rajoittaa hydraulista yhteyttä alla oleviin kerrostumiin ja vähentää mallin ennustamaa alenemaa turpeessa.

- c. Mitattujen vedenjohtavuuksien perusteella kaikkien kallioperäyksiköiden vedenjohtavuudet laskevat mallissa syvemmälle mentäessä. Tämä oletus on perusteltu saatavilla olevien mittausaineistojen perusteella.
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. Pohjaveden muodostumisen määrä vaihtelee todennäköisesti alueellisesti monimuotoisemmin kuin vain kolmen oletetun hydrogeologisen yksikön välillä.
 - 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. Nämä tekijät vähentävät pohjaveden pinnankorkeuden ennustettua alenemaa.
5. Turpeen osalta on oletettu, että turve on hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen ja että turve toimii huokoisena materiaalina. Saatavilla olevien tietojen perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että suon 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 6-1 ja 6-2 osoittavat, tietoaineistojen 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 päivitetään jatkuvasti.

Seuraava on yhteenveto MINEDW mallinnuksen vahvuuksista

Pohjaveden virtausmallinnusta on kehitetty mittavasti edellisestä mallinnuksesta (Stantec Consulting Ltd. 2020). Kaivostoimintojen alue ja sen ympäristö tunnetaan hyvin ja mallinnustyö on tehty huolellisuutta ja varovaisuutta noudattaen. Tässä pohjavesimallinnuksessa käytetty MINEDW-koodi sisältää useita ominaisuuksia, jotka on kehitetty erityisesti huomioimaan kaivosten kuivatukseen liittyvät olosuhteet ja MINEDW-koodia on käytetty laajasti erityyppisissä kaivoshankkeissa sekä monenlaisissa hydrogeologisissa ja ilmastollisissa olosuhteissa. Pohjaveden virtausmallin pohjana oleva käsitteellinen malli on päivitetty ja geologista kuvausta on tarkennettu. Laajan uusimman tutkimustiedon lisäksi mallinnuksessa on hyödynnetty uusimpia geologisia malleja vuodelta 2021. MINEDW-mallinnusohjelmalla tehdyn pohjaveden monikerroksisen virtausmallin huomattavan suuri kerrosmäärä ja aktiivisten elementtien määrä mahdollistavat tarkan geologisen kuvauksen. Mallinnusaluetta on laajennettu luonnollisille vedenjakaja-alueille ja mallin simuloimat alenema-alueet ovat kokonaisuudessaan mallinnetun alueen sisällä. Mallinnusalueen alueellisen laajuuden vuoksi mallin reunaehdot eivät vaikuta mallin laskemiin tuloksiin.



Pohjaveden muodostumisen kuvaus on tarkentunut huomattavasti aikaisemmasta. Pohjaveden muodostumista on mallinnettu käyttäen *MIKE SHE* -mallia, jonka perusteella pohjaveden virtausmalliin on määritetty pohjaveden muodostumis- ja purkautumisalueet sekä ajallisesti muuttuvat pohjaveden muodostumisnopeudet eri maalajiyksiköille.

Tässä raportissa on kuvattu laajasti hankkeen havaintopisteistä mitattuja ja mallin lähtötietona käytettyjä vedenjohtavuusarvoja. Raporttiin on liitetty taulukko, jossa on esitetty mitattujen ja mallin kalibroimien vedenjohtavuuksien arvot. Kalibroidut K-arvot ovat mitattujen sekä kirjallisuudessa esitettyjen K-arvojen vaihteluvälien sisällä. Eri litologisten kerrosten hydrauliset parametrit poikkeavat toisistaan edelleen kalibroinnin jälkeenkin, kuten luonnontilassa. Pohjaveden virtausmalli on kalibroitu numeerisesti sekä keskiarvotilanteeseen (steady state) että vuodenaikaisvaihtelut sisältävän dynaamiseen (transient) -tilanteeseen. Havaittujen ja simuloitujen pohjavedenpintojen välisiä eroja on tarkasteltu hyvin tunnetuilla ja käytetyillä tilastollisilla tunnusluvuilla virtausmallin toimivuuden arvioimiseksi. Tunnuslukujen perusteella sekä steady state- että transient -tilanteen mallit on hyvin kalibroitu.

Kalibroidulla pohjaveden virtausmallilla on simuloitu kaksi erilaista skenaariota, joissa on käytetty erilaisia injektointitehokkuuksia. Injektointitehokkuusluvuilla kuvataan sitä, miten hyvin injektoinnilla saadaan suljettua ja tiivistettyä vettä johtavia rakenteita, kuten ruhjeita ja rakoja, ja valitut skenaariot ovat 80 %, joka vastaa normaalia injektointitilannetta ja 65 %, joka vastaa selvästi tavoitteista jäävää injektointia ja sellaista tilannetta, joka vielä voitaisiin hyväksyä turvallisuusnäkökulmasta. Lisäksi mallilla on tehty lukuisia simulointeja, sisältäen ilmastonmuutoskenaarion, herkkyystarkastelua varten. Jokaisesta skenaariosta ja simuloinnista on esitetty pohjaveden virtausmallin tuottama ennuste pohjaveden pinnankorkeuden alenemista, kaivokseen purkautuvan vuotoveden määrästä ja vaikutuksista Kitisen vesitaseeseen sekä arvio pohjaveden pinnankorkeuden palautumisesta kaivostoiminnan päättymisen jälkeen. Herkkyystarkastelun lisäksi on käsitelty laajasti mallinnuksen epävarmuustekijöitä.



Pohjaveden virtausmalli pystyy ennustamaan tarkasti alenemien sijainnit ja suuruudet. On selvää, että mallin ennustamiin tuloksiin sisältyy aina epävarmuutta. Epävarmuuden suuruus riippuu kuitenkin paikallisten olosuhteiden ymmärtämisestä. Alueella on tehty suunnitteluvaiheeseen nähden erittäin laajat selvitykset, ja alueen olosuhteista on syntynyt kattava ymmärrys. Tämän vuoksi ennusteiden epävarmuudet ovat vähäisiä.

Toteutettu pohjaveden virtausmallinnus on hyvin varovainen ja konservatiivinen geologisten ominaisuuksien kuvausten suhteen ja tästä johtuen malli yliarvioi pohjaveden pinnankorkeuden alenemia ja kaivokseen tulevien vuotovesien määrää. Pohjaveden virtausmallinnuksen varovaisuus ja konservatiivisuus johtuu seuraavista mallinnuksessa käytettyihin parametreihin liittyvistä seikoista:

- Vedenjohtavuusarvot ovat maltillisia ja ne perustuvat mittausaineistoon. Varovaisuussyistä valitut vedenjohtavuusarvot ovat mittaushajonnan keskiväliin tai korkeampaan päähän sijoittuvia, ja mittaushajonnan alapäähän sijoittuvia matalia vedenjohtavuuslukuja ei ole käytetty.
- Turve on kuvattu konservatiivisesti selvästi todellisuutta vedenjohtavampana, sillä tiivis pohjakerros on jätetty varovaisuussyistä pois. Aikaisempaan tutkimukseen ja mittauksiin perustuen turpeen pohjaosassa esiintyy vettä pidättävä ja veden virtausta estävä tiivis hyvin maatunut pohjakerros suuressa osassa turvekerrosta.
- Rakenteiden hydrauliset ominaisuudet ovat konservatiivisia ja ne esitetään todellisuutta jatkuvampina vyöhykkeinä pohjavesimallissa. Mittaustiedon perusteella tiedetään, että geologisista rakenteista lukumääräisesti kuusi eivät ole jatkuvia, kuten ne on nyt mallissa kuvattu. Todellisuudessa ko. rakenteiden ominaisuudet vaihtelevat eikä niillä ole yhteyksiä toisiinsa.
- Pohjaruhje on syvän kallioperän merkittävin rakenne ja sille on annettu mallinnuksessa mittauksiin perustuvat vedenjohtavuusarvot. Kairaustietoon perustuen tiedetään, että pohjaruhjeessa on hyvin savipitoisiakin osuuksia, joissa veden liike on rajoittuneempaa kuin malliin kuvatussa pohjaruhjeessa.
- Alueella esiintyvän savisen rapauman toimimista veden virtausta estävänä tai hidastavana tekijänä ei ole huomioitu pohjavesimallissa.

7.0 JOHTOPÄÄTÖKSET

Itasca rakensi pohjaveden virtausmallin käsitteellisen hydrogeologisen mallin pohjalta. Pohjaveden virtausmalli kalibroitiin kaivostoimintojen alueelta saatavilla oleviin pohjaveden pinnakorkeuden 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 vuotovesimääristä ja pohjaveden pinnankorkeuden alenemasta 80% tiivistysskenaariossa:

1. Maanalaiseen kaivokseen tulevan vuotovesimäärän ennustetaan olevan suurimmillaan kaivostoiminnan toisen vuoden puolella välissä. Vuotovesimäärä on suurimmillaan noin 118 m³/h. Saavutettuaan huippunsa vuotovesimäärä laskee kaivoksen elinkaaren aikana vähitellen arvoon 100 m³/h – 110 m³/h.
2. Vettä läpäisevän pohjaruhjeen vuoksi matalan vyöhykkeen pohjaveden aleneman ennustetaan olevan suurempaa vinotunnelien lähettyvillä kuin muilla alueilla. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 0,93 m talvella ja noin 0,75 m kesällä kaivostoiminnan lopussa eli vuonna 22.
3. Kaivostoimintojen alueella alenema on suurimmillaan 0,6 m.
4. Alenema on suurin lähellä maanpintaa kulkevien vinotunneleiden ja kaivoksen sisäänkäyntien alueella (missä kaivos on lähempänä kuin 150 m maanpinnan alla). Tällä vinotunnelialueella suurin alenema on kaivostoiminnan päättyessä 2,8 m.
5. Ennustettu alenema vaihtelee vuodenaikojen mukaan johtuen lumen sulannasta. Alenemien ennustetaan olevan vuosittain suurimmillaan keväällä ennen lumen sulamista.
6. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,6 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 0,5–2 m rajoissa kaivostoimintojen alueella.
7. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 2,8 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 1–20 m rajoissa Kuusivaaran alueella.
8. Ennusteen mukaan pohjaveden purkautuminen Kitiseen voi vähentyä enintään 20 m³/h, mikä vastaa noin 4–6 prosenttia pohjaveden kokonaispurkautumisesta Kitiseen. Purkautumisen vähentyminen ei vaikuta olennaisella tavalla joen kokonaisvirtaamaan (muutos on noin 0,01 %; SYKE 2022). Pohjaveden purkautumisen ennustetussa vähentymisessä ei ole huomioitu suunniteltua puhdistettujen kaivosvesien laskemista Kitiseen. Jos maanalaiseen kaivokseen vuotovesiä ja muita prosessivesiä lasketaan



puhdistettuna Kitiseen, puhdistetun veden määrä on todennäköisesti suurempi kuin ennustettu pohjavaluman vähentyminen.

9. Maaperän pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua heti kaivostoiminnan päätyttyä. Viiden vuoden kuluessa maaperän pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen. Maaperän pohjavesien ennustetaan palautuvan 75 vuoden kuluessa kaivostoiminnan päättymisestä (0,01 metrin päähän kaivostoimintaa edeltäneestä pinnankorkeudesta).
10. Ehjän kallion matalampien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmillä olevissa pohjaveden havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän pohjaveden havaintopisteissä alle 1 m.

Seuraavat johtopäätökset voidaan tehdä koskien ennusteita tulevista vuotovesimäärästä ja pohjaveden pinnankorkeuden alenemasta 65% tiivistysskenaariossa:

1. Maanalaiseen kaivokseen tulevan vuotovesimäärän ennustetaan olevan suurimmillaan kaivostoiminnan toisen vuoden puolella välissä. Vuotovesimäärä on suurimmillaan noin 122 m³/h. Saavutettuaan huippunsa vuotovesimäärä laskee kaivoksen elinkaaren aikana vähitellen arvoon 107 m³/h – 118 m³/h.
2. Vettä läpäisevän pohjaruhjeen vuoksi matalan vyöhykkeen pohjaveden aleneman ennustetaan olevan suurempaa vinotunnelien lähettyvillä kuin muilla alueilla. Alenema on vinotunnelien läheisyydessä suurimmillaan noin 1,0 m talvella ja noin 0,8 m kesällä kaivostoiminnan lopussa eli vuonna 22.
3. Kaivostoimintojen alueella alenema on suurimmillaan 0,6 m.
4. Alenema on suurin lähellä maanpintaa kulkevien vinotunneleiden ja sisäänkäyntien alueella (missä maanalainen kaivos on lähempänä kuin 150 m maanpinnan alla). Tällä vinotunnelialueella suurin alenema on kaivostoiminnan päättyessä 4,0 m.
5. Ennustettu alenema vaihtelee vuodenaikojen mukaan johtuen lumen sulannasta. Alenemien ennustetaan olevan vuosittain suurimmillaan keväällä ennen lumen sulamista.
6. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,6 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 0,5–2 m rajoissa kaivostoimintojen alueella.
7. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 4,0 m) on pohjaveden pinnankorkeuden mitatun vuodenaikaisvaihtelun 1–20 m rajoissa Kuusivaaran alueella.
8. Ennusteen mukaan pohjaveden purkautuminen Kitiseen voi vähentyä enintään 20 m³/h, mikä vastaa noin 4–6 prosenttia pohjaveden kokonaispurkautumisesta Kitiseen.

Purkautumisen vähentyminen ei vaikuta olennaisella tavalla joen kokonaisvirtaamaan (muutos on noin 0,01 %; SYKE 2022). Pohjaveden purkautumisen ennustetussa vähentymisessä ei ole huomioitu suunniteltua puhdistettujen kaivosvesien laskemista Kitiseen. Jos maanalaiseen kaivokseen vuotovesiä ja muita prosessivesiä lasketaan puhdistettuna Kitiseen, puhdistetun veden määrä on todennäköisesti suurempi kuin ennustettu pohjaveden purkautumisen vähentyminen.

9. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua heti kaivostoiminnan päätyttyä. Kymmenen vuoden kuluessa matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen. Matalan vyöhykkeen pohjavesien ennustetaan palautuvan 75 vuoden kuluessa kaivostoiminnan päättymisestä (0,01 metrin päähän kaivostoimintaa edeltäneestä pinnankorkeudesta).
10. Ehjän kallion matalampien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa pohjaveden havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän pohjaveden havaintopisteissä alle 2,5 m.

Seuraavassa on esitetty johtopäätökset ennusteista tulevista vuotovesimääristä ja pohjaveden pinnankorkeuden alenemasta sekä pohjaveden muodostumisesta, jos NE satelliittiesiintymä poistetaan kaivossuunnitelmasta:

1. Kaivokseen tuleva vuotovesimäärä vähentyy pitkällä aikavälillä verrattuna malliskenaarioihin, joissa NE-satelliittiesiintymä on mukana. Kaivostoiminnan 6. vuoden jälkeen vuotovesimäärä vähentyy arvoon 95–100 m³/h 80% tiivistystehokkuuden skenaariossa ilman NE-satelliittiesiintymää ja arvoon 100–105 m³/h 65% tiivistystehokkuuden skenaariossa ilman NE-satelliittiesiintymää. Vähennys on noin 5–10 m³/h kummassakin malliskenaariossa.
2. Alenema on kaivostoimintojen alueella suurimmillaan 0,2 m. Tämä on enintään 0,4 m vähemmän kuin kaivossuunnitelmassa, joka sisältää NE-satelliittiesiintymän.
3. Ennustettu alenema kaivostoiminnan päättyessä (enintään 0,3 m) on vähäisempi kuin pohjaveden pinnankorkeuden mitattu vuodenaikaisvaihtelu 0,5–2 m kaivostoimintojen alueella.
4. Kitiseen suuntautuvan pohjaveden purkautumisen ennustettuun vähentymiseen NE-satelliittiesiintymän poistamisella kaivossuunnitelmasta ei juuri ole vaikutusta.
5. NE satelliittiesiintymän poistaminen kaivossuunnitelmasta ei juuri vaikuta ennustettuun pohjaveden palautumiseen. Tämä johtuu siitä, että maaperän ja kallioperän pohjavesien



alenema tapahtuu pääesiintymän ja vinotunnelien yhteydessä, ja nämä pysyvät samoina kummassakin kaivossuunnitelmassa. Pohjaveden palautumisaikoihin ei täten vaikuta, onko kaivossuunnitelmassa mukana NE satelliittiesiintymä vai ei.

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. Turpeen osalta on oletettu, että turve on hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen ja että toimii huokoisena materiaalina. Saatavilla olevien tietojen perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että suon turve on vain osittain hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen. Tästä johtuen 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.

8.0 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 ja 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.

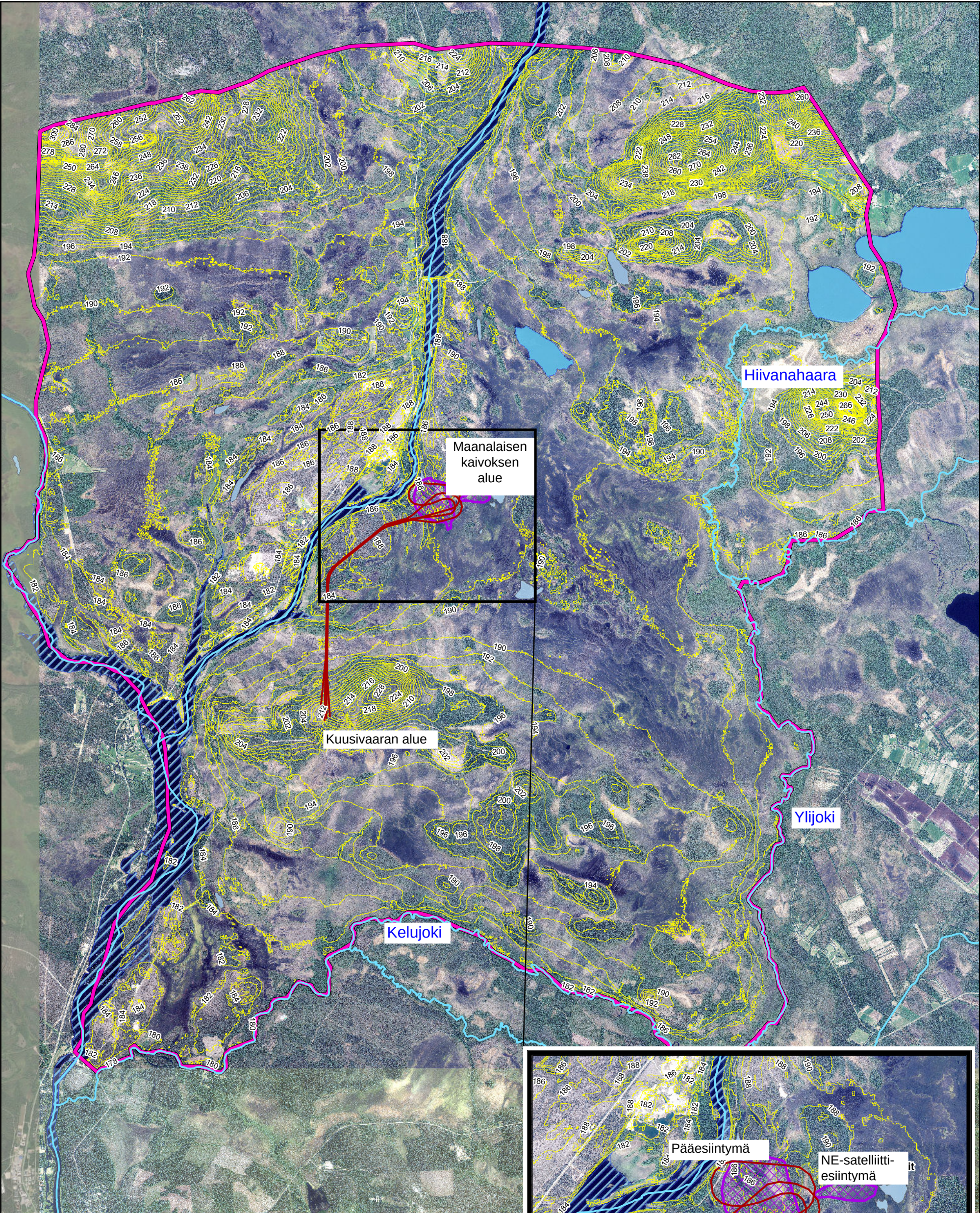


- Copernicus Climate Store. 2022. RCP4.5-ilmastoskenaarion tiedot. Viitattu huhtikuussa 2022. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-ecv-cmip5-bias-corrected?tab=overview>.
- Davis, J. 1986. *Statistics and data analysis in geology*. Toronto: John Wiley and Sons.
- DHI. 2017. *MIKE SHE 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.
- Geologinen tutkimuslaitos. 2022. Mineral deposits and exploration. Sivulla vierailtu helmikuussa, maaliskuussa ja toukokuussa 2022. <https://gtkdata.gtk.fi/mdae/index.html>.
- Golder. 2015. Viiankiaapa – pinta- ja pohjavesi- olosuhteiden selvitys. Anglo American Sakatti Mining Oy:lle laadittu raportti.
- 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 MODFLOW, 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, Inc.
- 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. 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. Teoksessa *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 ja A. Laaksonen, 2015. Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 29: 1521–29.
- MODIS. 2022. *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.
- 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 ja 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.

- Pulkkinen, E. 1983. Sattasen karttalehtialueen geokemiallisen kartoituksen tulokset. Geologinen tutkimuslaitos. Viitattu 20. marraskuuta 2019. http://tupa.gtk.fi/kartta/geokemiallinen_karttaselitys/gks_3714_s.pdf.
- Puumalainen, T. 2021. Geologinen 3D-malli ja kerrostumaen geokemialliset sekä hydrogeologiset ominaisuudet Sodankylän Kuusivaarassa. Pro gradu -tutkielma. Geotieteiden osasto, Oulun yliopisto.
- Read, J. ja 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 ja 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 ja 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 ja 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. ja 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 kaivos Hankkeen 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.
- Turtiainen, H. 2020. Hydraulic properties of peat and hydrogeochemical characteristics of groundwater and porewater in Viiankiaapa mire. Pro gradu -tutkielma. 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. Geologinen tutkimuslaitos, Espoo.



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Vinotunnelin alue

Maanalaisen kaivoksen alue

Maanpinnan korkeuskäyrät (2 m)

Joki

Kitinen

Järvet

Lammikot

N

0

1,300

2,600

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	HSA
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jun. 16, 2022

ITASCATM

Denver, Inc.

Sakatti-projektin hydrologinen tutkimusalue

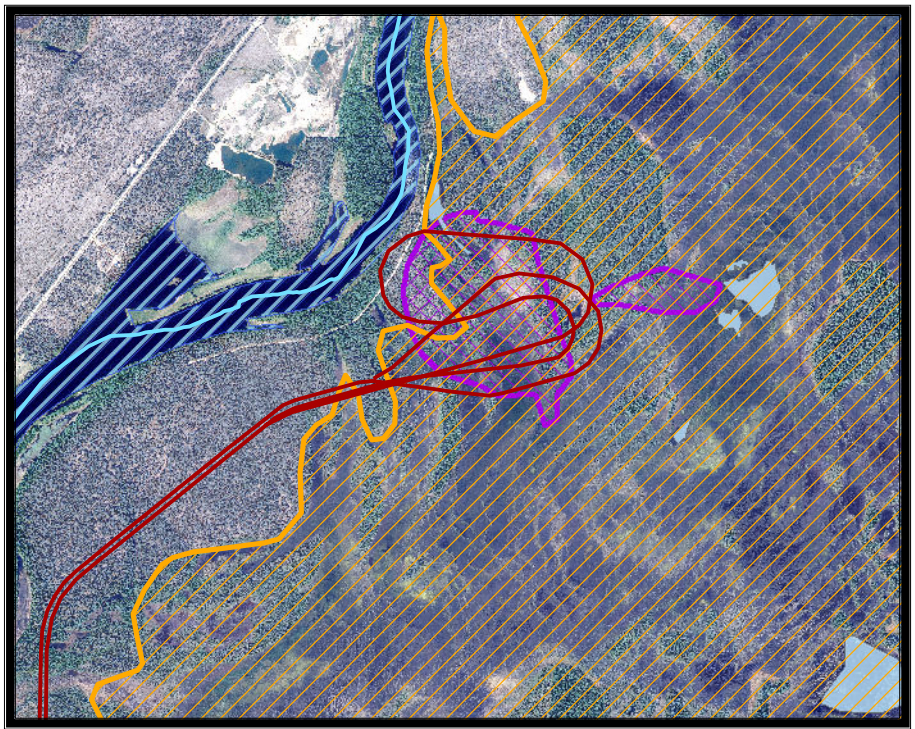
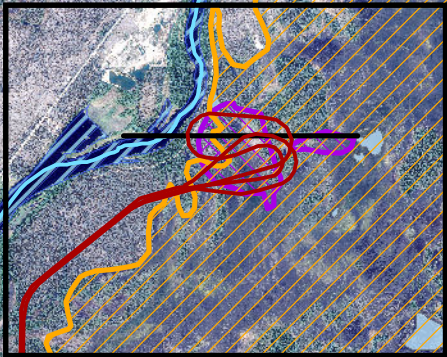
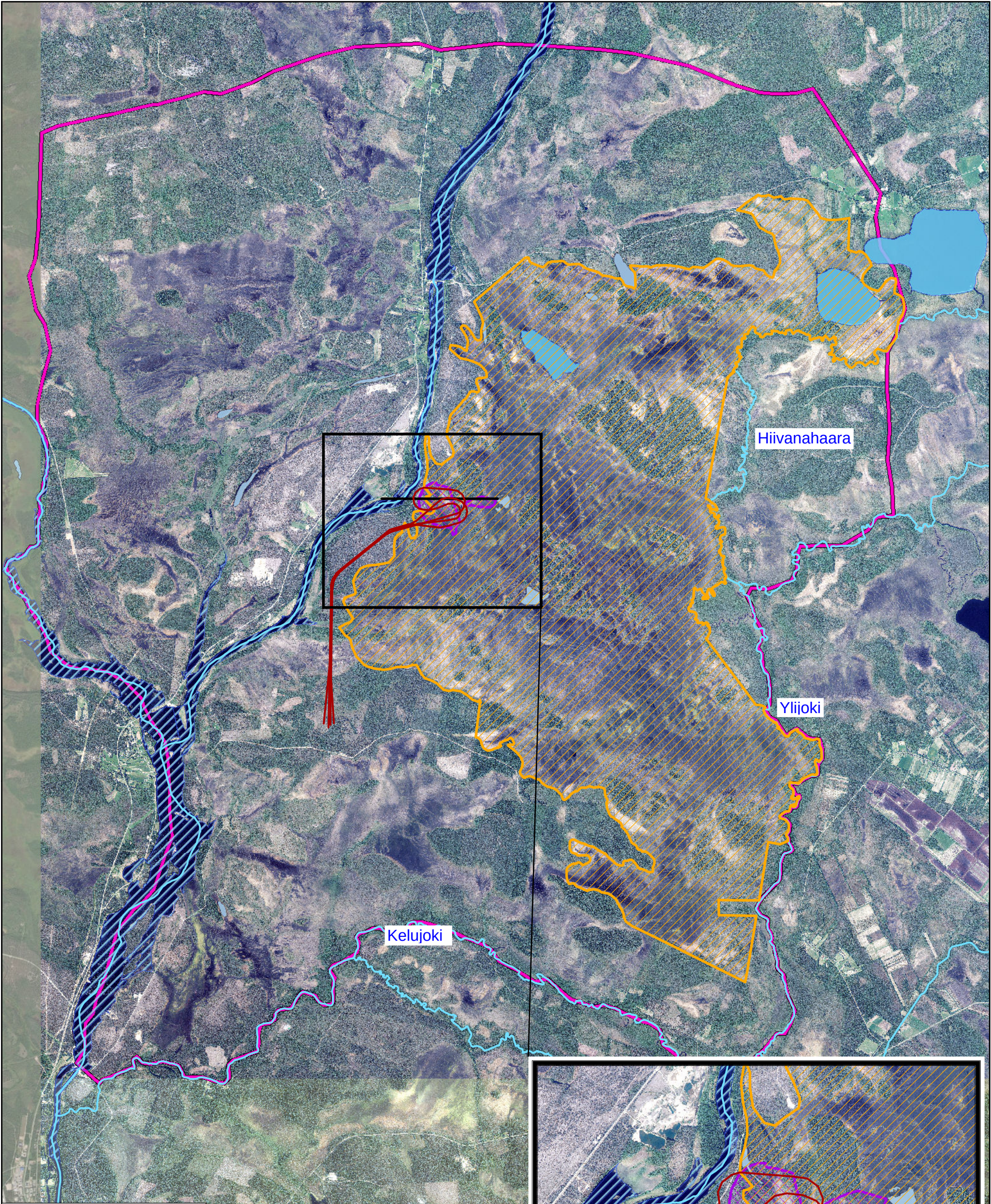
CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

2-1

C:\ARC\GIS\4064_Sakatti\MXD\Working\HSA.mxd



Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Poikkileikkauslinja
- Vinotunnelin alue
- Viiankiaavan Natura 2000 -alue
- Maanalaisen kaivoksen alue
- Joki
- Kitinen
- Järvet
- Lammikot

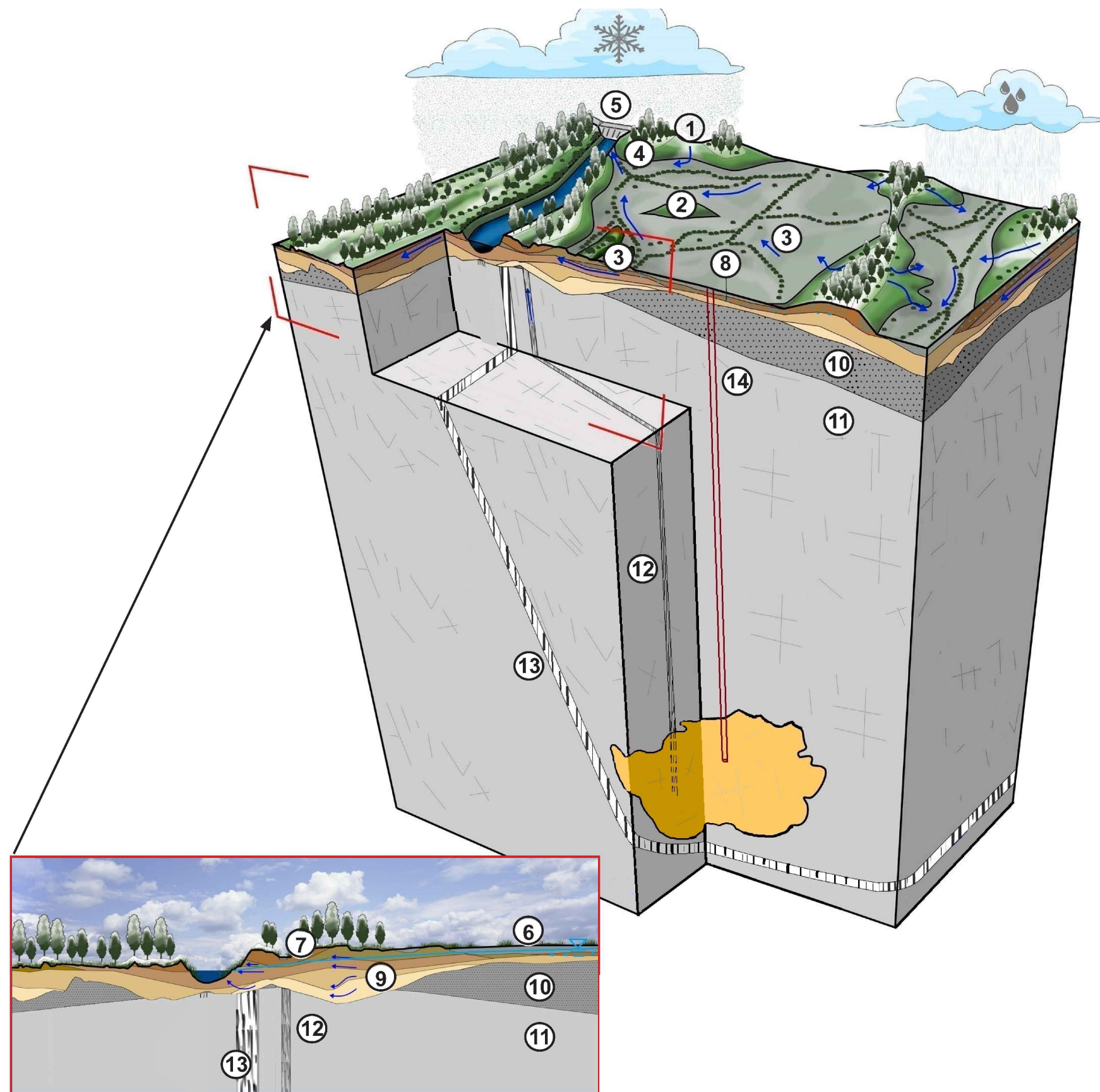
0 1,250 2,500 Metriä

N

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	V_HSA
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jun. 16, 2022

ITASCA
Denver, Inc.

Viiankiaavan suoalue hydrologisella tutkimusalueella	
CLIENT:	FIGURE NO.
Sakatti Mine	2-2

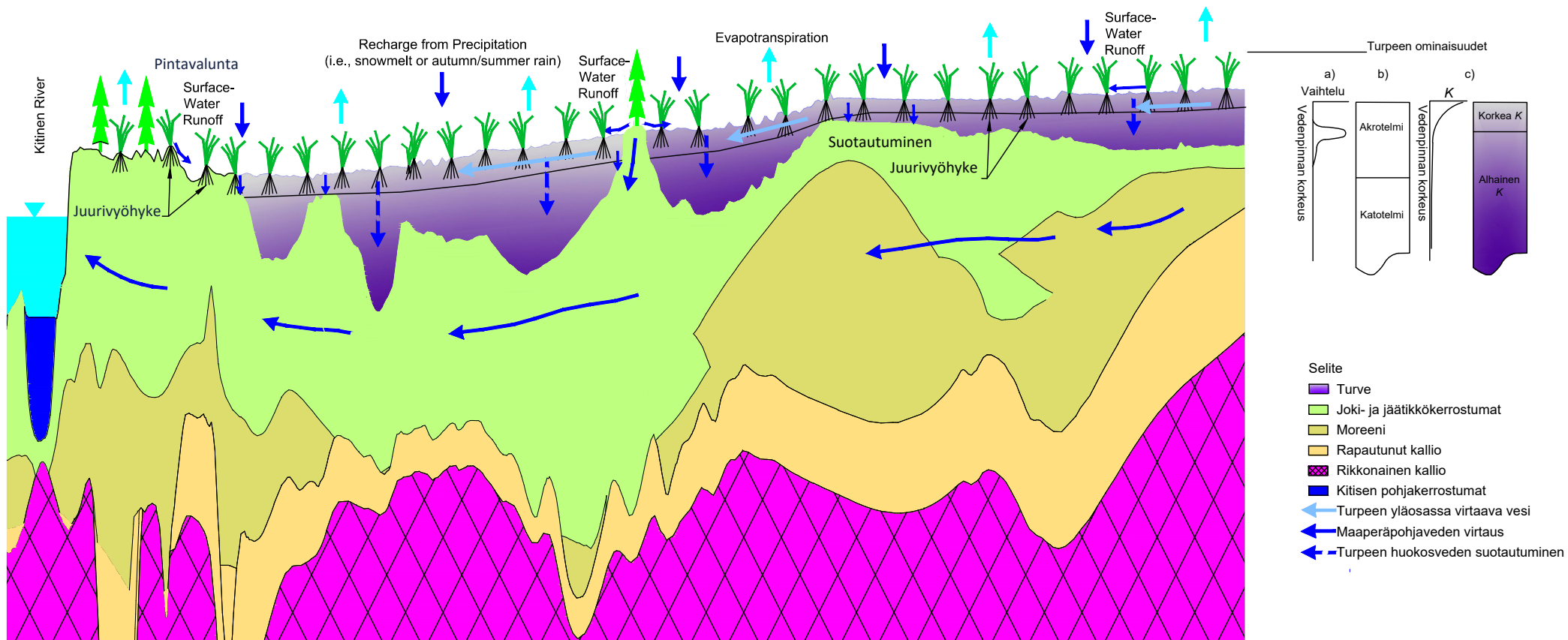


SELITE	
	Pohjaveden virtaussuunta
	Maastonmuodot
	Suo/kosteikko
	Kitinen
	Turve
	Lajittuneet pintakerrostumat
	Ylin moreeni
	Keskimmäiset lajittuneet kerrostumat
	Alemmat lajittuneet kerrostumat
	Alempi moreeni
	Alimmat sorat ja hiekat
	Rikkinainen kallio
	Ehjä kallio
	Ruhjeet
	Pohjaruhje
	Malmiesiintymä
① to ⑭ Konseptuaalisen hydrologisen mallin pääpiirteet	

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CONCEPT
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	



Konseptuaalinen hydrogeologinen malli	
CLIENT:	Sakatti Mine
FIGURE NO.	2-3



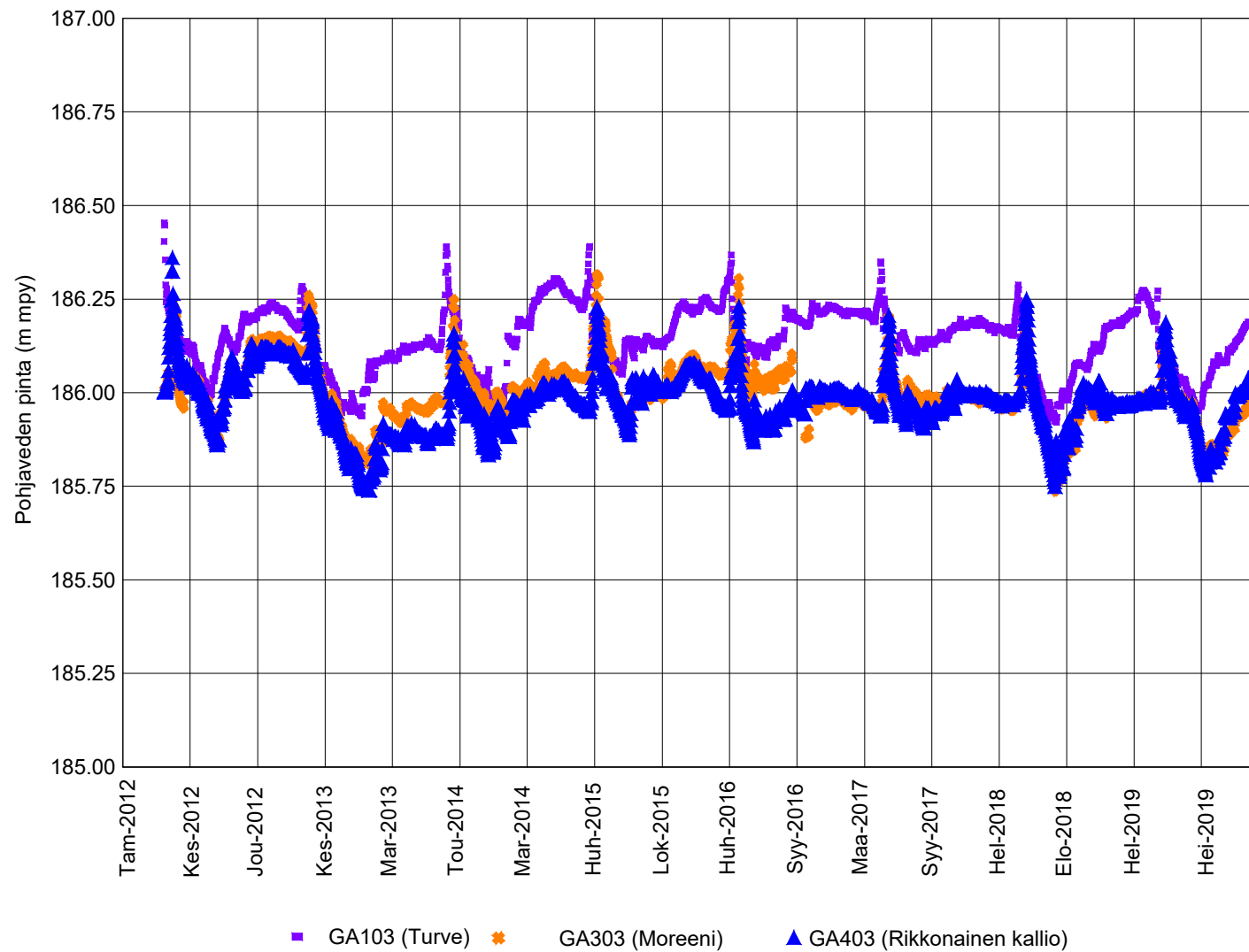
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	XSEC100
DRAWING DATE	13 MAR 2023
REVISION DATE	



Suon konseptuaalinen hydrogeologinen malli

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
2-4a



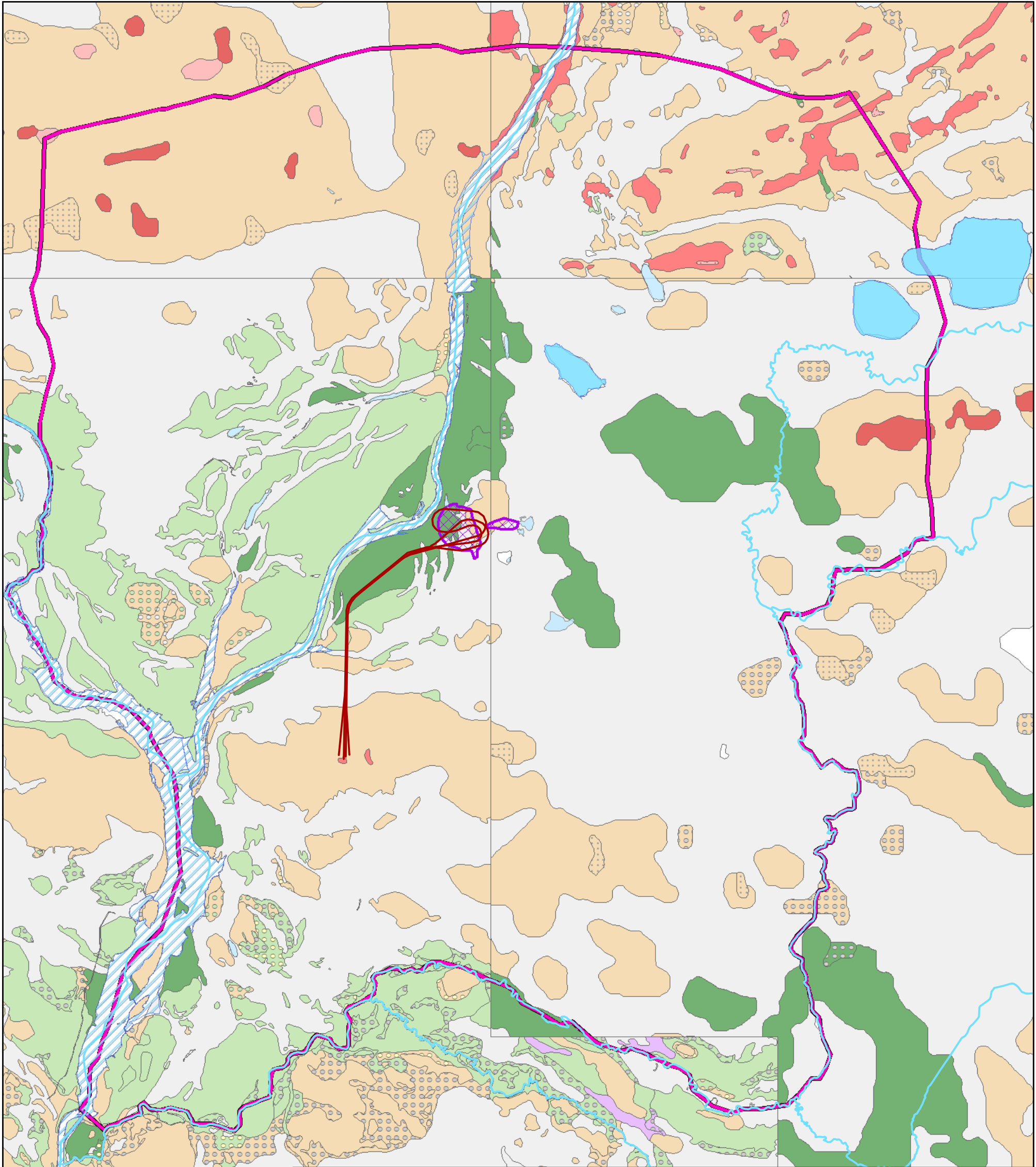
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	EW
DRAWING DATE	13 MAR 2023
REVISION DATE	



Suon konseptuaalinen hydrogeologinen malli

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
2-4b



Selite

- Joki
- Vinotunnelin alue
- Kitinen
- Järvet
- Lammet
- Maanalaisen kaivoksen alue
- Hydrologinen tutkimusalue

Pohjamaa

- Avokallio (kallio lähellä pintaa, paljastuma)
- Rapautunut kallio (RpKa)
- Sora (Sr)
- Moreenit (hiekkamoreeni, diamiktoni)
- 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 1,250 2,500 Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	SurfGeology
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	May. 26, 2022



ITASCA
Denver, Inc.

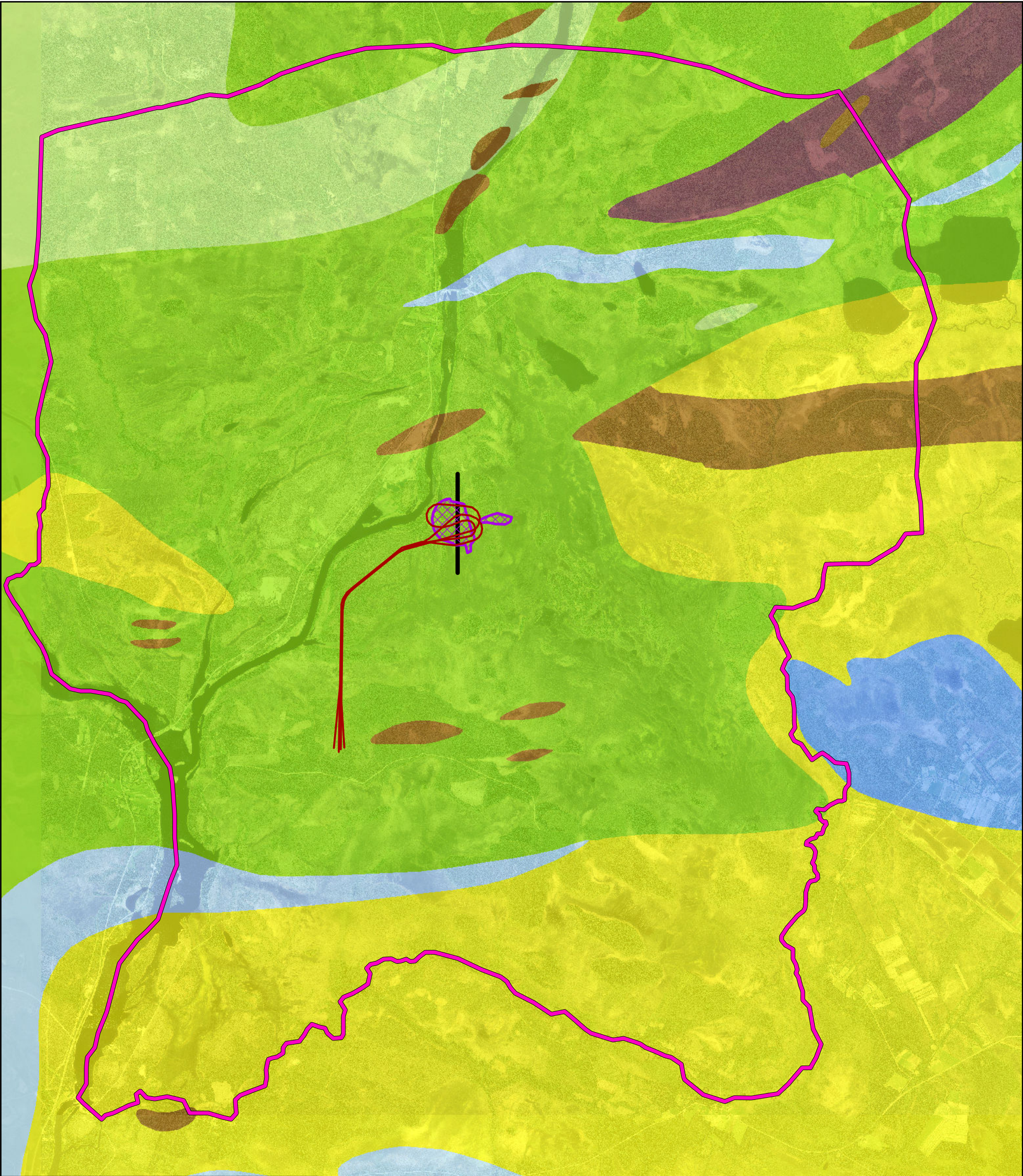
Pintamaalajit
hydrologisella
tutkimusalueella

CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

3-1



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Vinotunnelin alue

Maanalaisen kaivoksen alue

Kallioperän yksiköt

Kvartsiitti

Kiilleliuske

Gneissi

Ultramafinen vulkaniitti

Mafinen vulkaaninen tuffiitti

Peridotiitti

Gabro

Alempi Sodankylä-ryhmä

Ylempi Savukoski-ryhmä

N

01,2502,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Geology
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Oct. 17, 2022

ITASCATM

Denver, Inc.

Kallioperäyksiköiden geologinen
kartta hydrologisella
tutkimusalueella

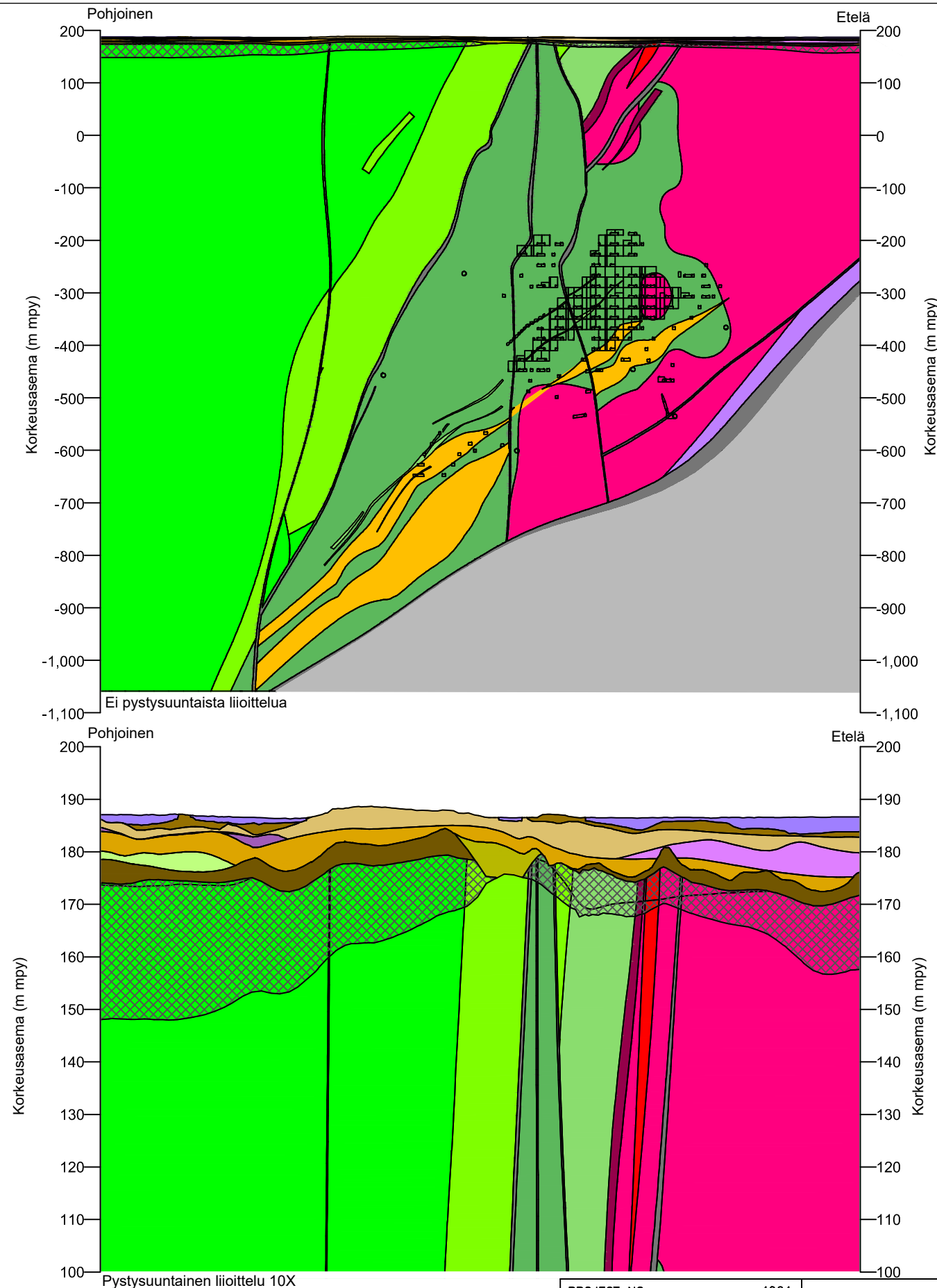
CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

3-2

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXD\Working\Geology.mxd



- Selite**
- Afaniitti
 - Breksia
 - Duniitti
 - Ruhje
 - Mafinen kivilaji
 - Kattopuolen klastiset vulkaniitit
 - Mafinen vulkaaninen kivilaji
 - Peridotiitti
 - Serpentiniitti
 - Hiertovyöhyke
 - Pohjan kivilajit
 - Rikkonaisen kallion vyöhyke
 - Rapautunut kallio
 - Alempi moreeni
 - Ylin moreeni
 - Alimmat sorat ja hiekat
 - Keskimmäiset lajittuneet kerrostumat
 - Alemmat lajittuneet kerrostumat
 - Turve
 - Savinen rapauma
 - Maanalainen kaivos
- Kallioperä
- Matala vyöhyke

Huom: Ks. leikkauksen sijainti Kuva 3-2

0 200
Mittajana (m)

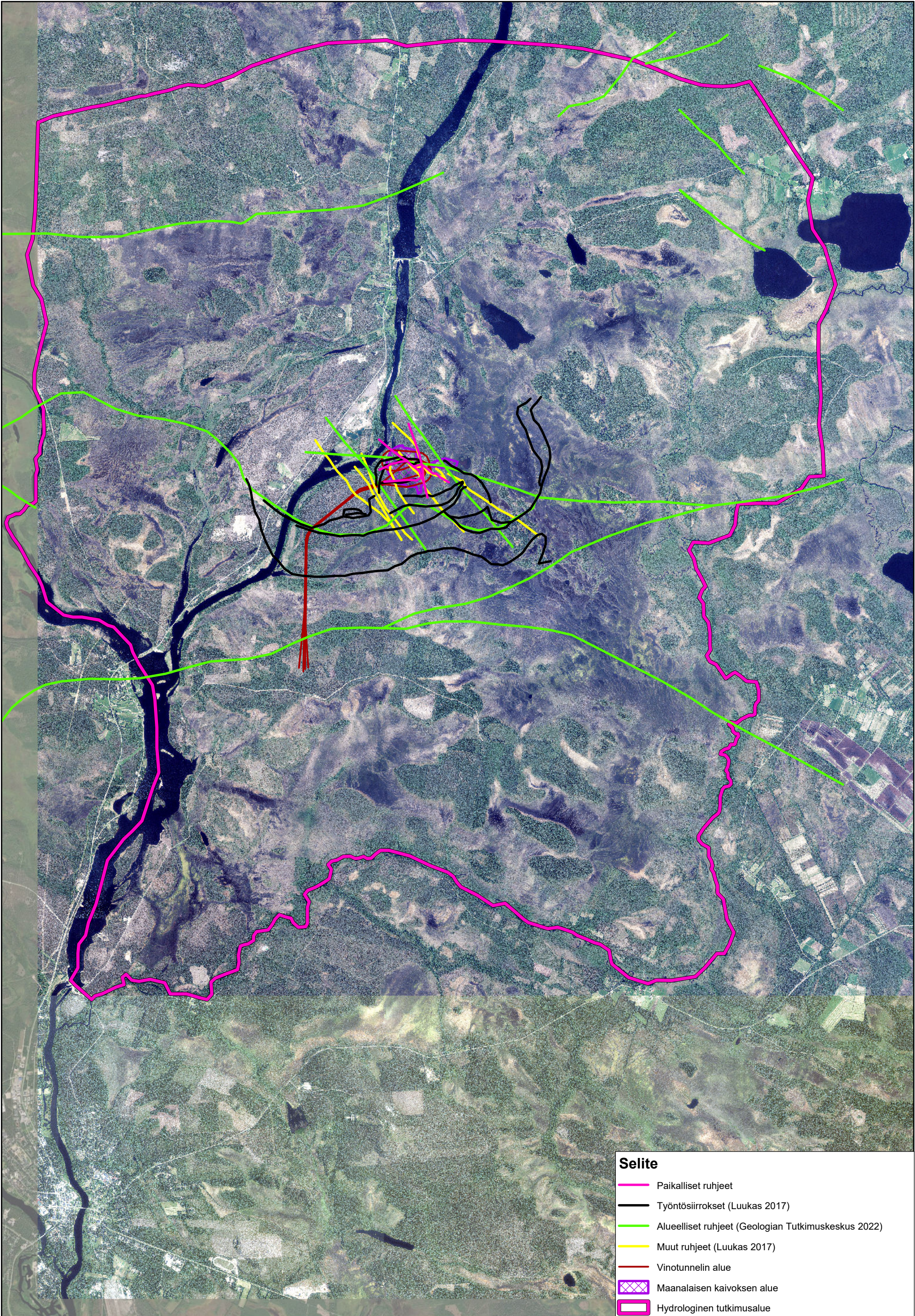
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	NS
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022



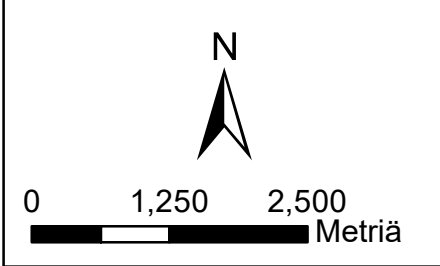
Pohjois-etelä -suuntainen
geologisten yksiköiden leikkauskuva
maanalaisen kaivoksen alueelta

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-3



- Selite**
- Paikalliset ruhjeet
 - Työntösiirrokset (Luukas 2017)
 - Alueelliset ruhjeet (Geologian Tutkimuskeskus 2022)
 - Muut ruhjeet (Luukas 2017)
 - Vinotunnelin alue
 - Maanalaisen kaivoksen alue
 - Hydrologinen tutkimusalue



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	FaultStr
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Oct. 17, 2022

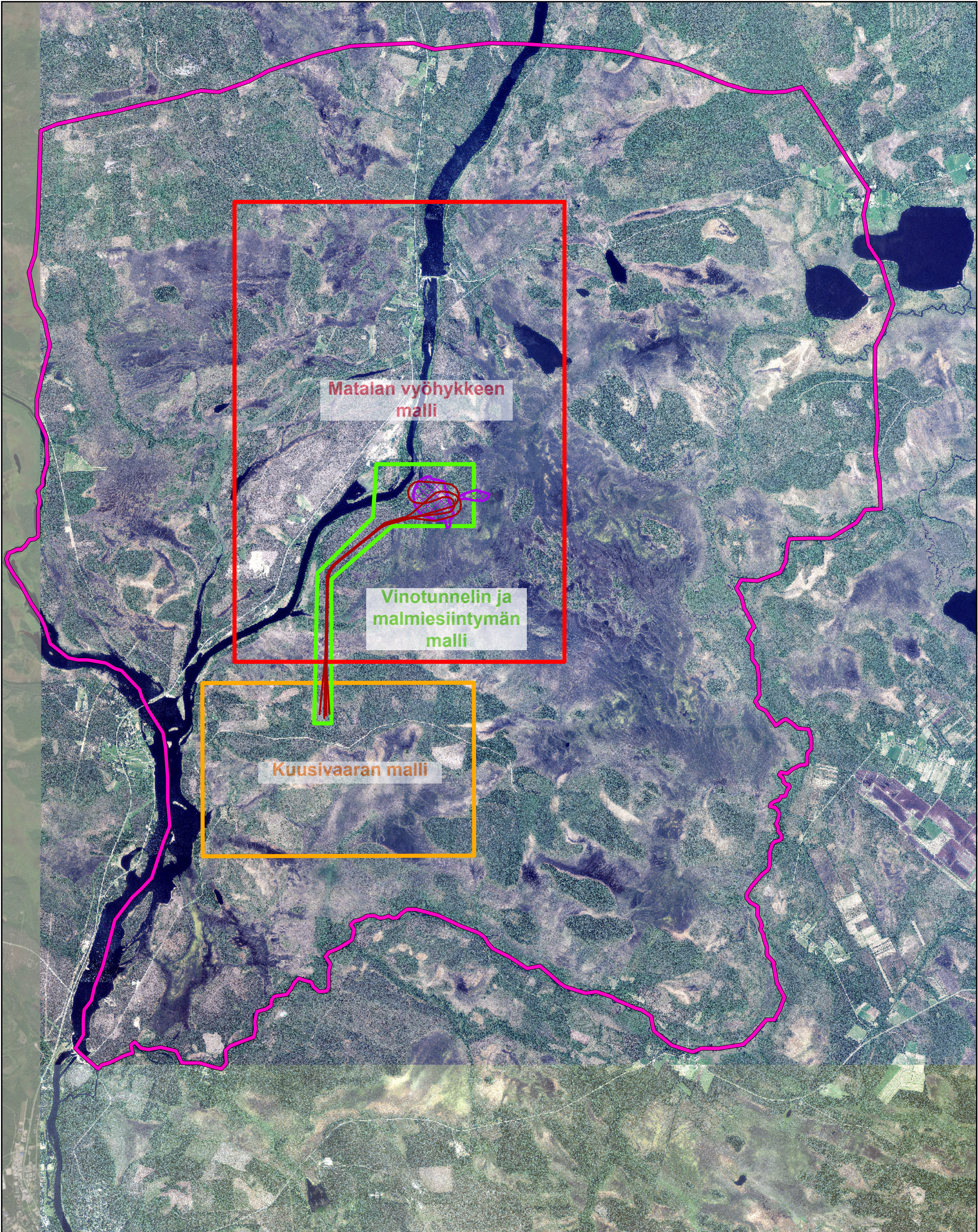


ITASCA
Denver, Inc.

Paikalliset ja alueelliset
ruhjeet hydrologisella
tutkimusalueella

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-4



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Vinotunnelin alue

Maanalaisen kaivoksen alue

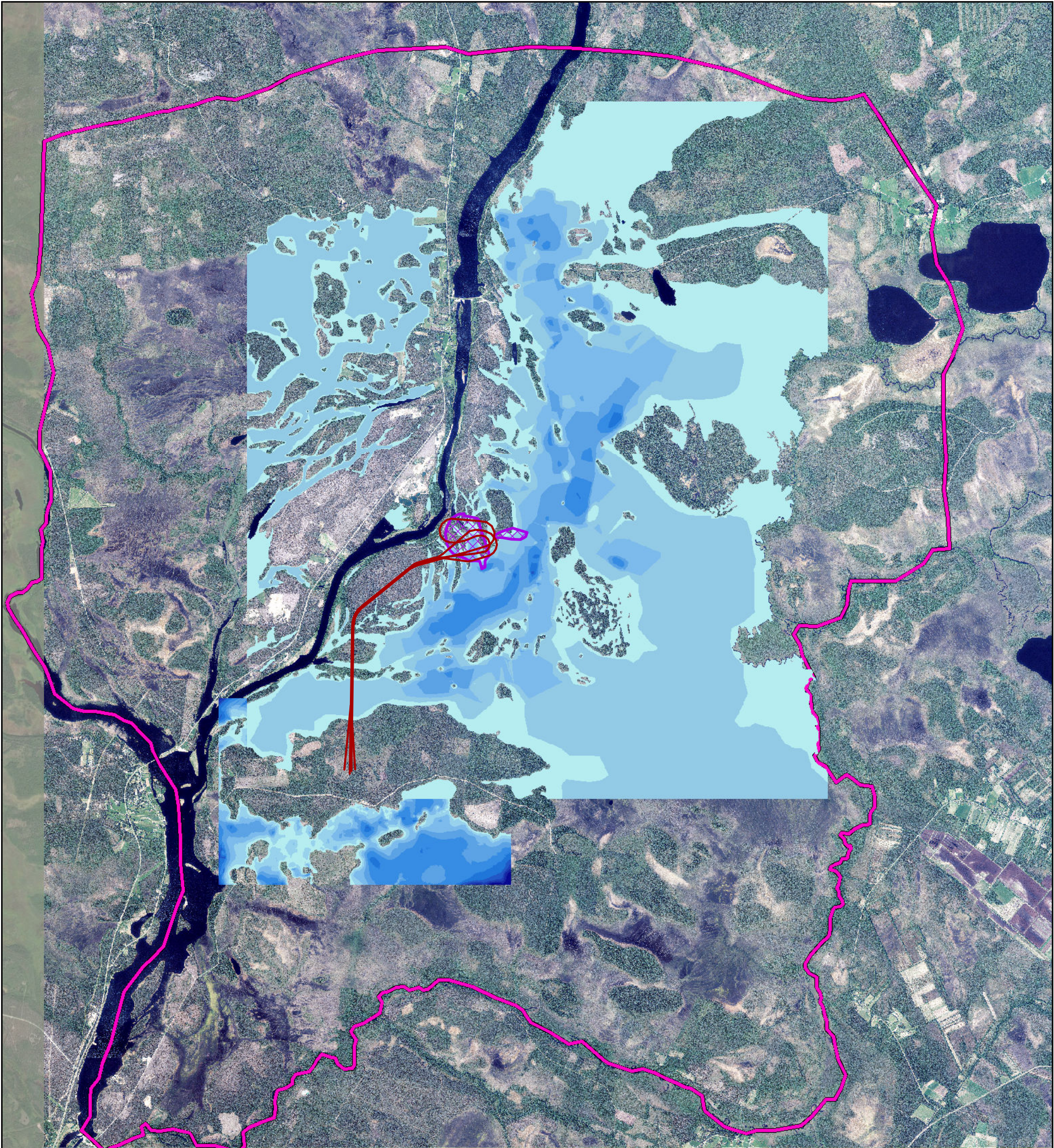
Geologisten mallien alueet

Matalan vyöhykkeen malli

Sakatin ja TBM tunnelin malli

Kuusivaaran malli

 0 1,250 2,500 Metriä	PROJECT NO.	4064	 ITASCA Denver, Inc.	Geologisten 3D-mallien laajuus hydrologisella tutkimusalueella	
	BY	SBM			
	CHECKED	HL		CLIENT:	Sakatti Mine
	DRAWN	NP		FIGURE NO.	
	DRAWING NAME	GeoModels			
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022				
REVISION DATE	May. 24, 2022				



Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- 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



0 1,250 2,500 Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Peat
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 24, 2022



ITASCA
Denver, Inc.

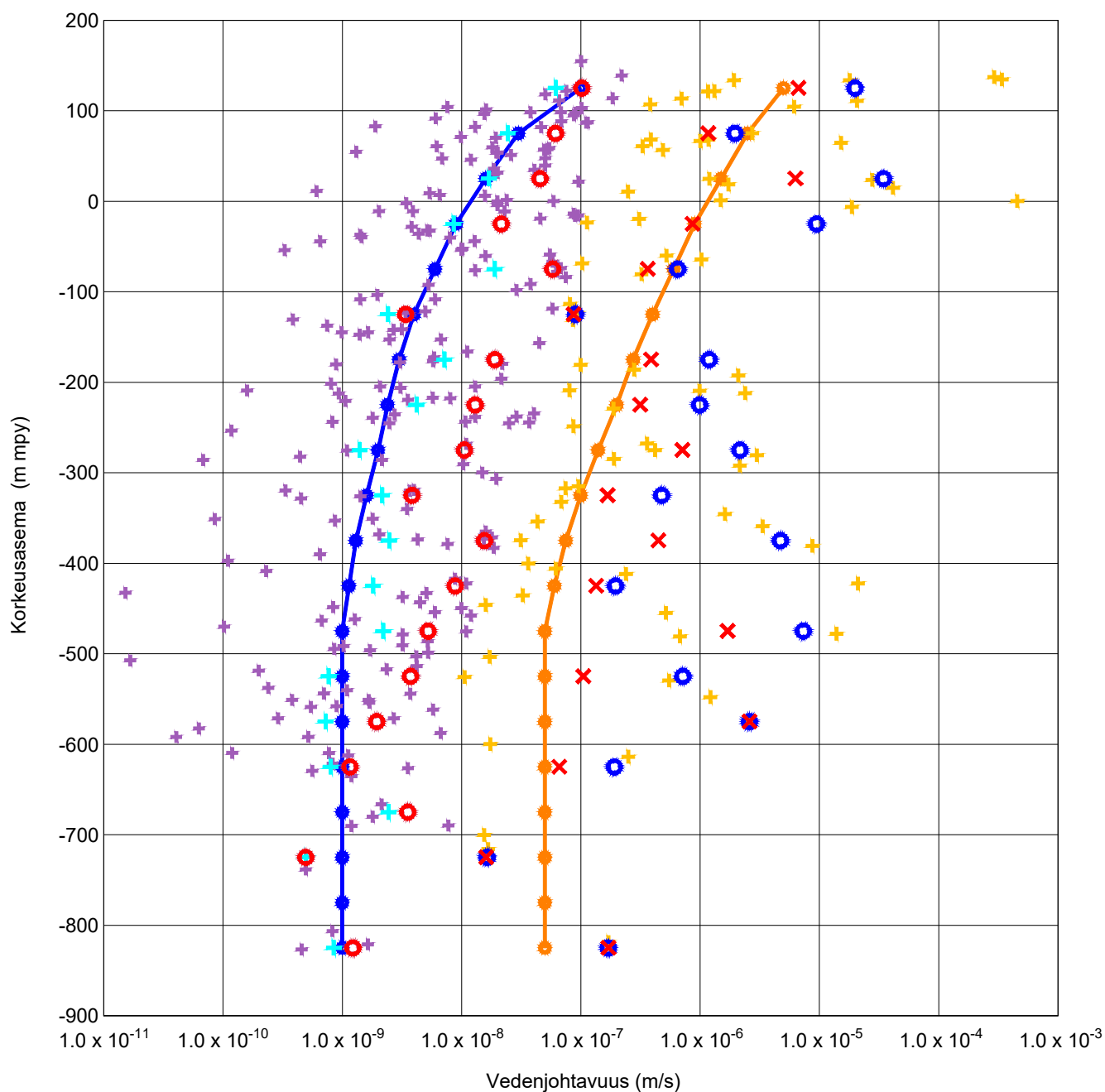
Arvioitu turvekerroksen
paksuus kaivostoimintojen
alueella

CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

3-6



Huom: Yhden vesihävikikokeen tulosta, jonka arvo on alle 1×10^{-11} ei näytetä.

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PACKER
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022

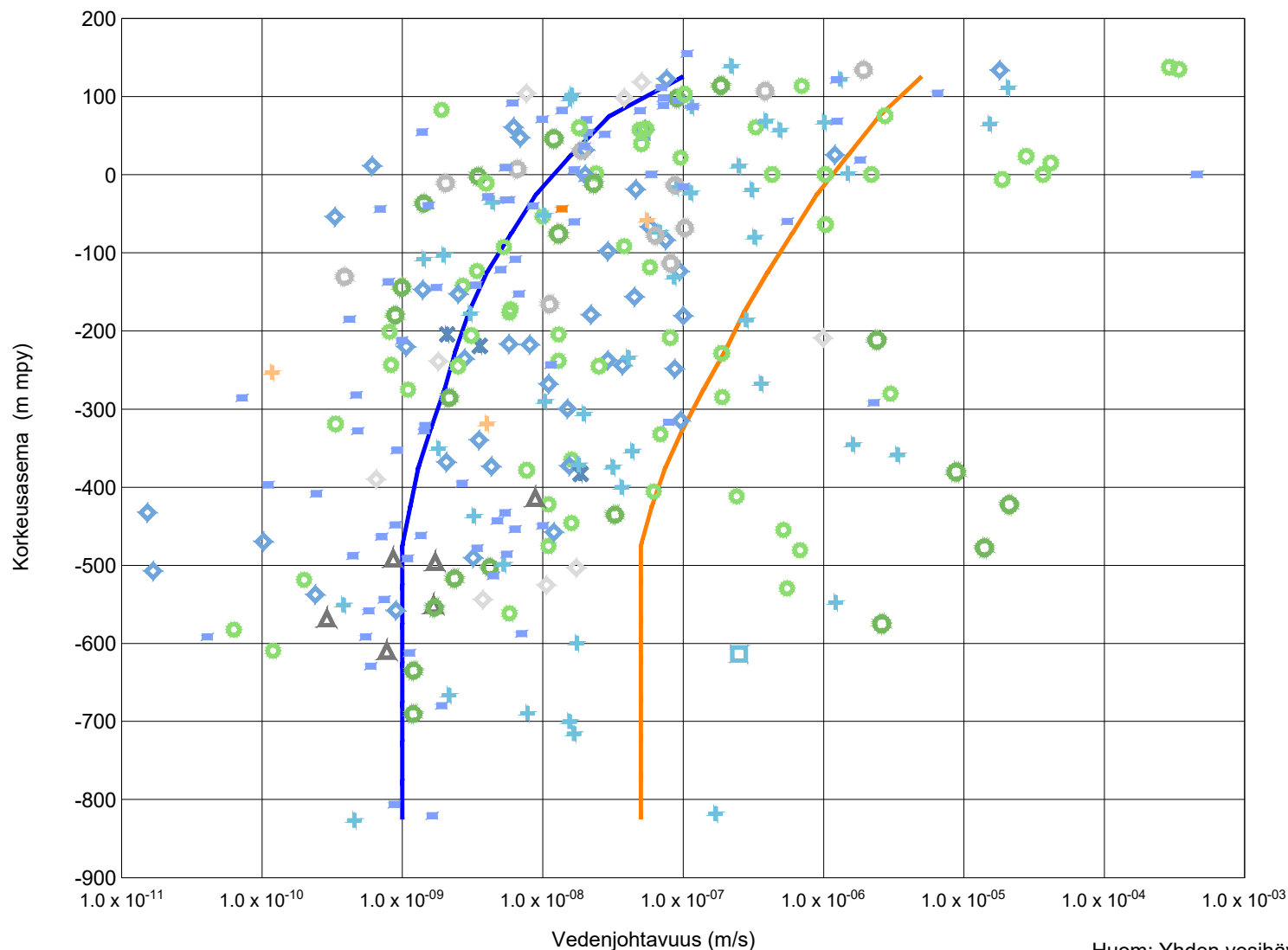


ITASCATM
Denver, Inc.

Vesihävikikokeilla mitattujen
vedenjohtavuuksien arvot

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-7



- Dolomiitti
- Skapoliitti-kiille -kivi
- ◇ Mafinen vulkaniitti
- Afaniittinen ultramafinen kivilaji
- △ Peridotiitti
- × Serpentiiniitti
- + Kattopuolen klastinen vulkaniitti
- Muuttunut ultramafinen kivilaji
- Metasedimentti
- + Mafinen tuffiitti
- ◇ Skapoliitti
- Kallion vedenjohtavuuden geometrisen keskiarvon trendiviiva
- Rakoilleen kallion vedenjohtavuuden geometrisen keskiarvon trendiviiva

Huom: Yhden vesihävikikokeen arvoa alle 1×10^{-11} ei näytetä.

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	GEO
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022

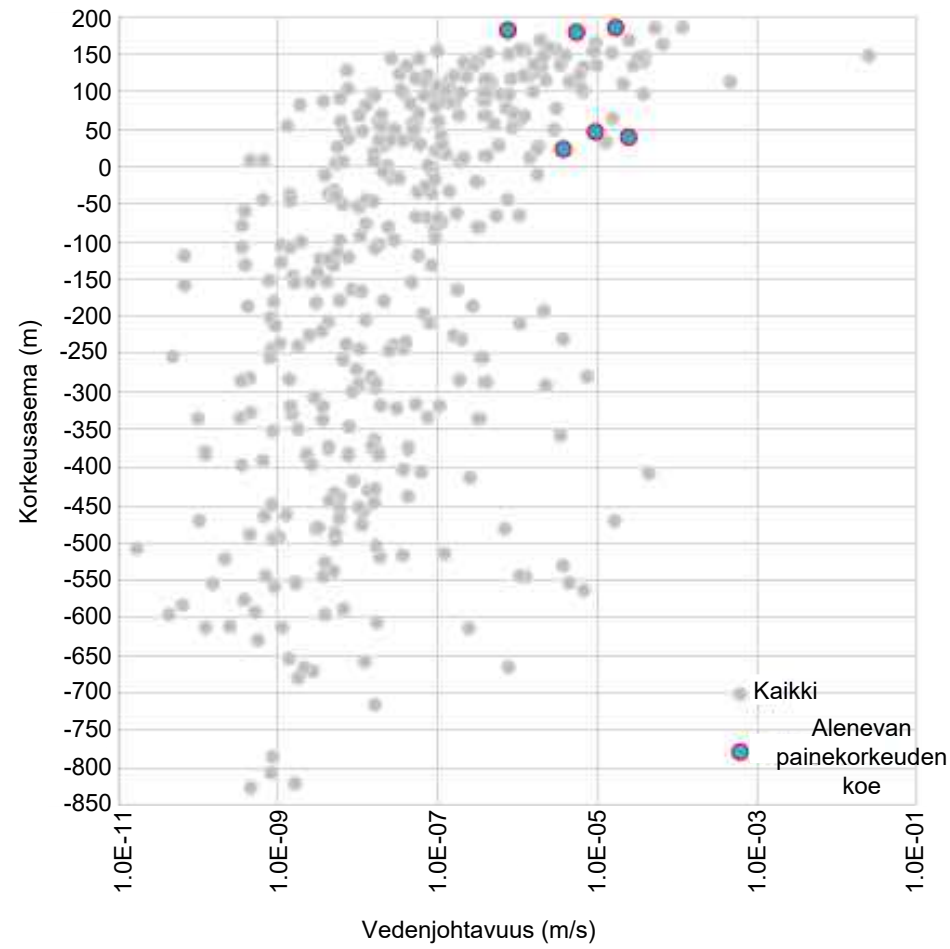


Vesihävikikokeilla mitatut
vedenjohtavuudet kivilajeittain
esitettyinä

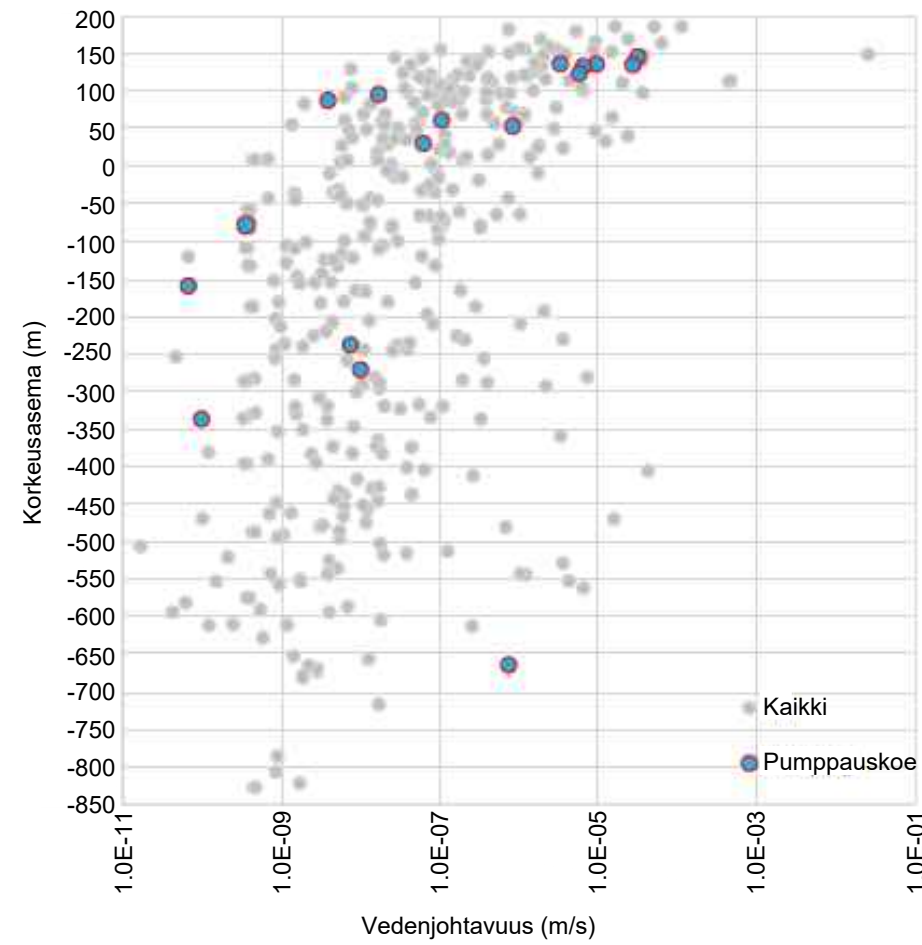
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-8

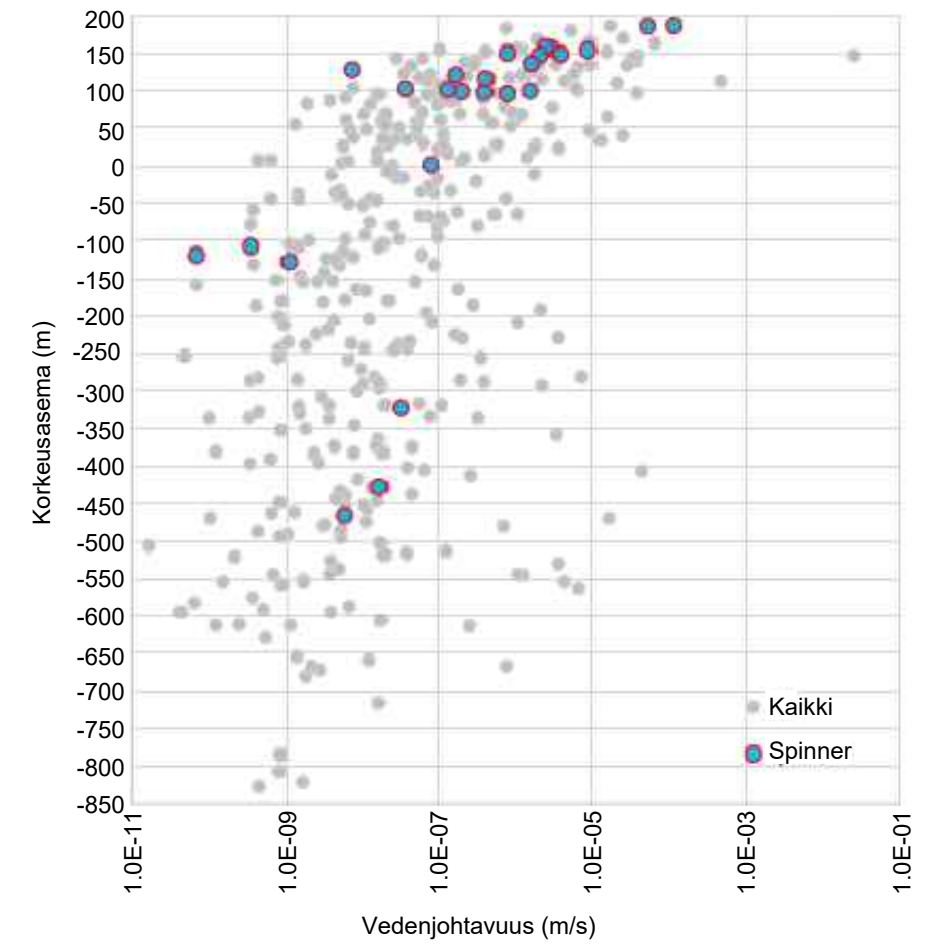
a) Alenevan painekorkeuden kokeilla mitatut vedenjohtavuudet



b) Pumppauskokeilla mitatut vedenjohtavuudet



c) Spinnerimittauksilla mitatut vedenjohtavuudet



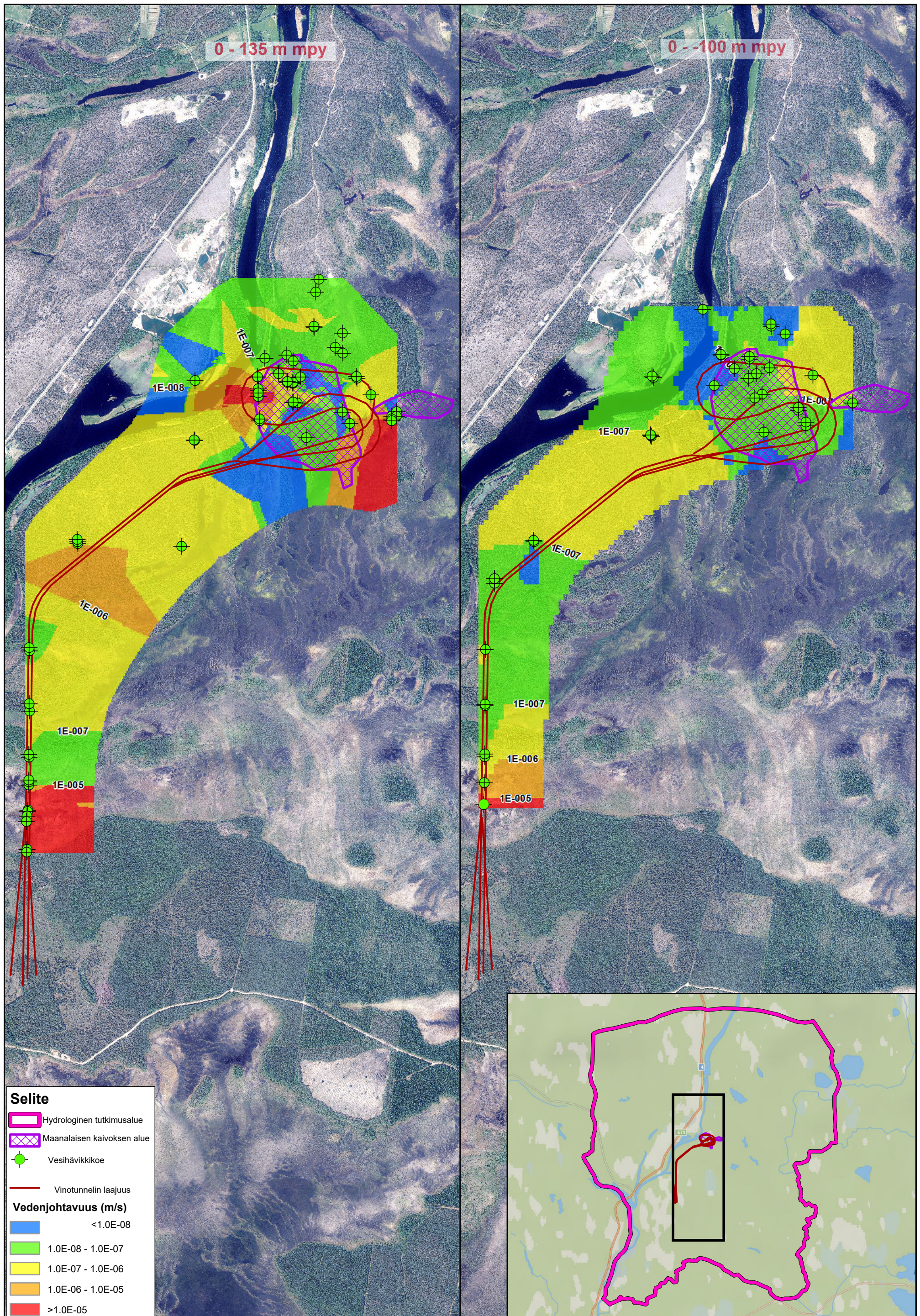
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	TESTS
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022

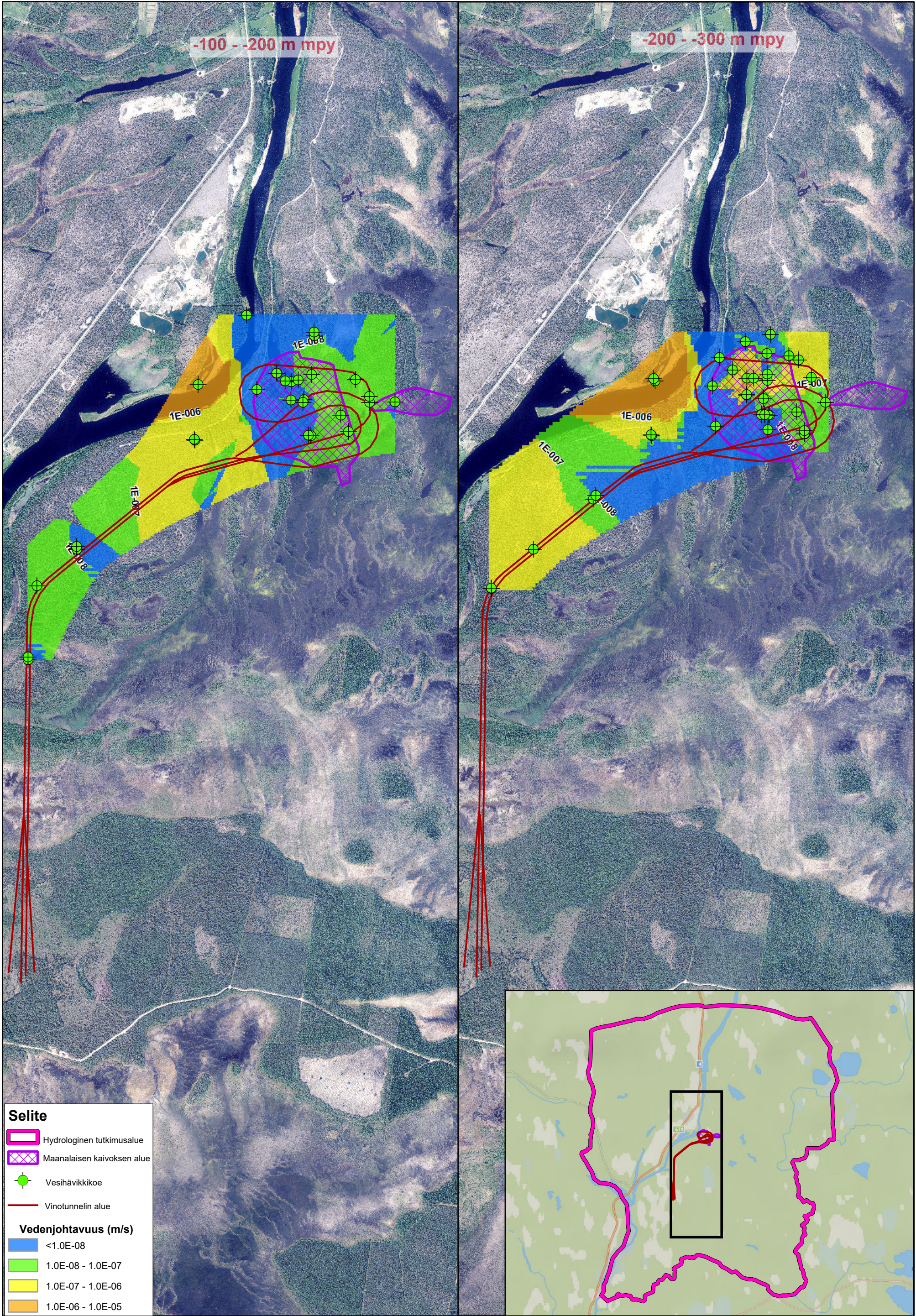


Pumppauskokeilla, spinnerimittauksella ja alenevan painekorkeuden kokeilla mitatut vedenjohtavuudet verrattuna vesihävikkikokeiden tuloksiin

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-9





Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Maanalaisen kaivoksen alue

Vesihävikkikoe

Vintunnelin alue

Vedenjohtavuus (m/s)

<1.0E-08

1.0E-08 - 1.0E-07

1.0E-07 - 1.0E-06

1.0E-06 - 1.0E-05

N

0490980

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	EHC_2
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Feb. 10, 2023

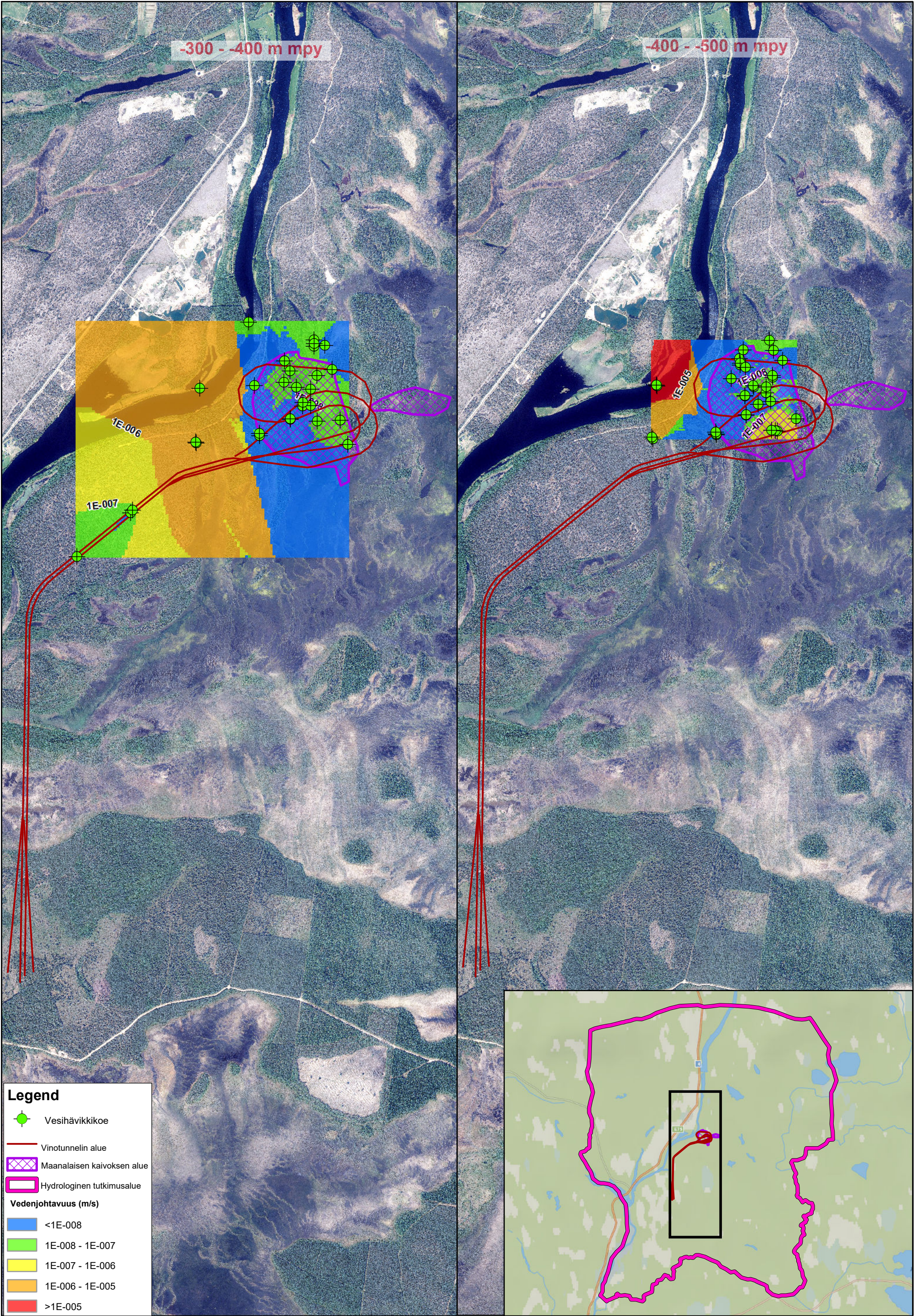
ITASCA
Denver, Inc.

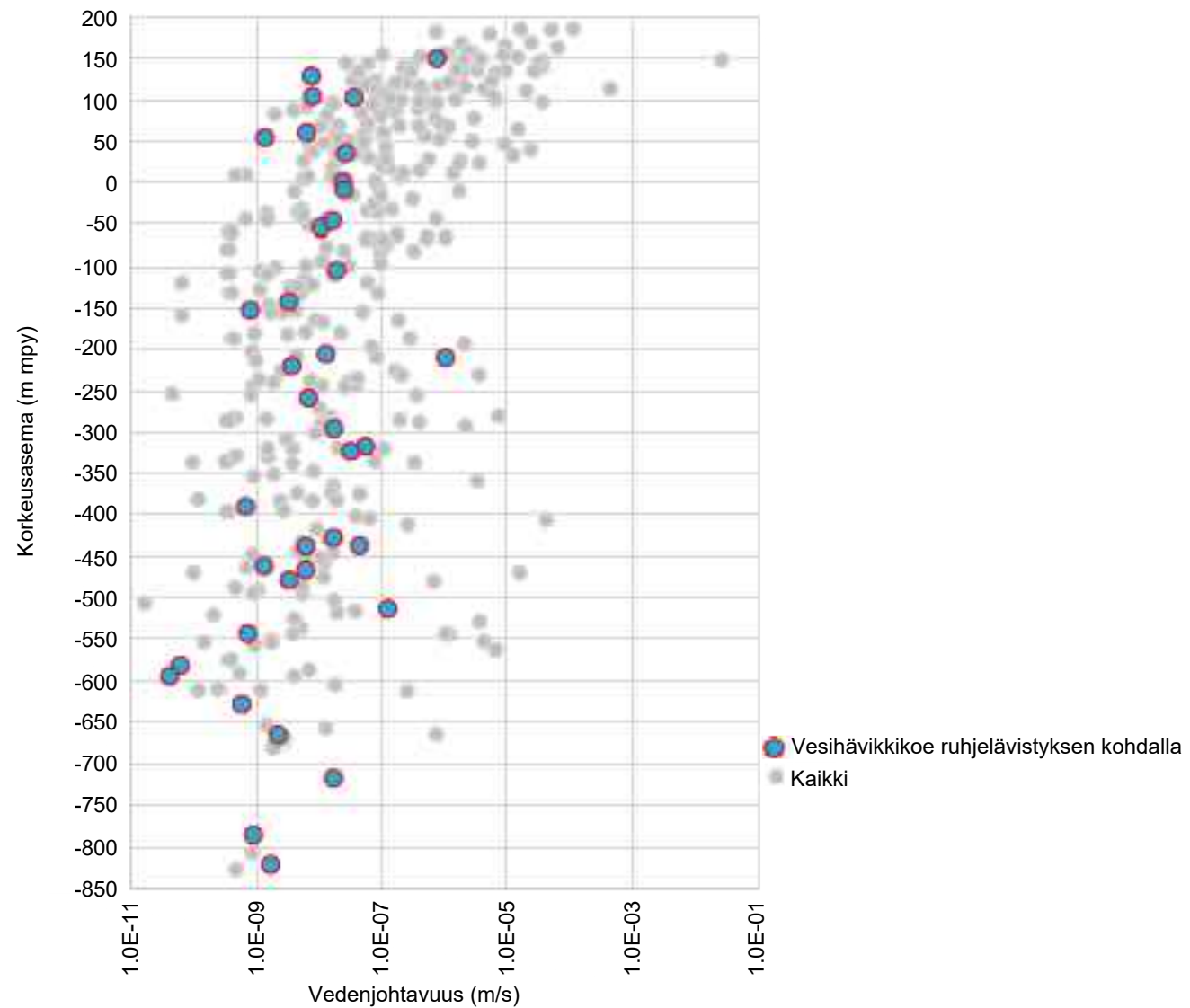
Vesihävikkikokeilla mitatut
vedenjohtavuudet tasoilla -100...-200 m
mpy ja -200...-300 m mpy

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-11

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\EHC_2.mxd





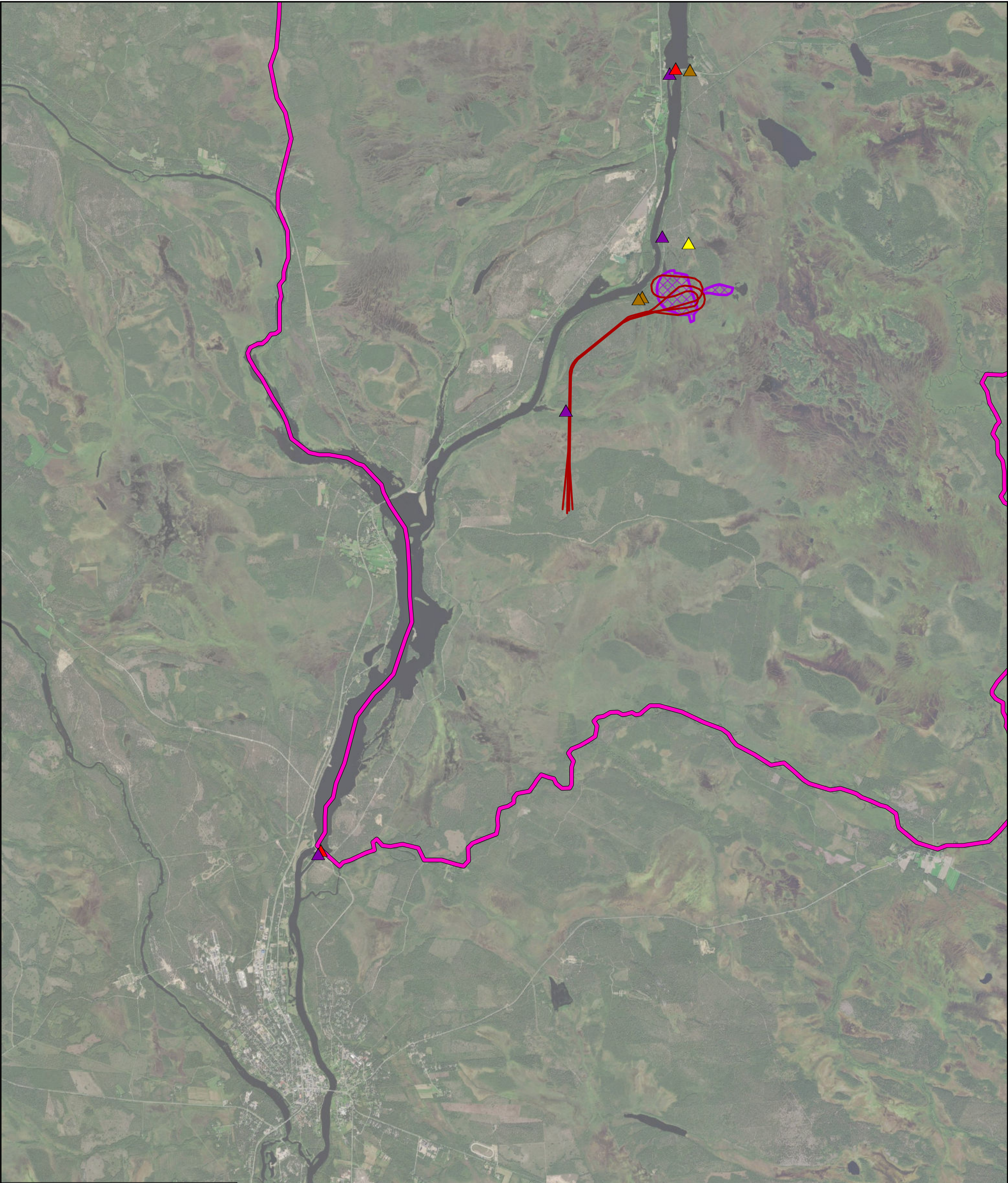
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	FAULT
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022



Ruhjeista
vesihävikikokeilla mitatut
vedenjohtavuudet

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-13



Selite

Mittausasema

Virtaama

Virtaama ja vedenpinta

Routa

Meteorologinen mittaus

Pannuhaihdunta

Maaperän kosteus

Vedenpinta

Vinotunnelin alue

Maanalaisen kaivoksen alue

Hydrologinen tutkimusalue

N

0

1,250

2,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	MetLocs
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jun. 16, 2022

ITASCATM
Denver, Inc.

CLIENT:

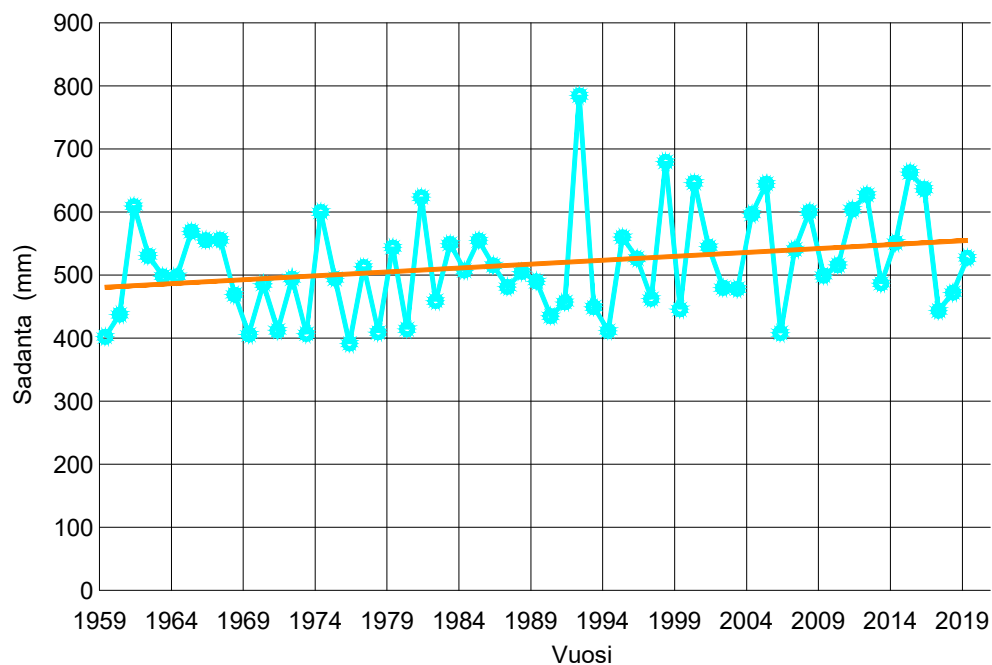
Sakatti Mine

FIGURE NO.

3-14

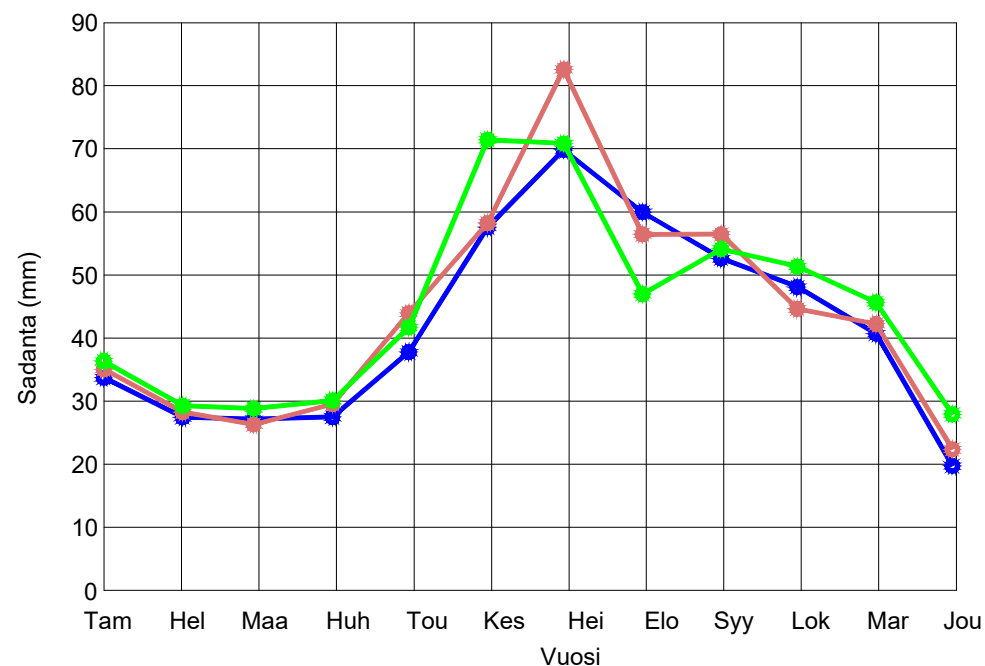
G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\MetLocs.mxd

a) Mitattu vuotuinen sadanta



—●— Mitattu vuotuinen sadanta
— Sadannan trendiviiva (1959–2020)

b) Kuukauden keskisadanta



—●— Kuukauden keskisadanta (1959–2020)
—●— Kuukauden keskisadanta (2001–2020)
—●— Kuukauden keskisadanta (2011–2020)

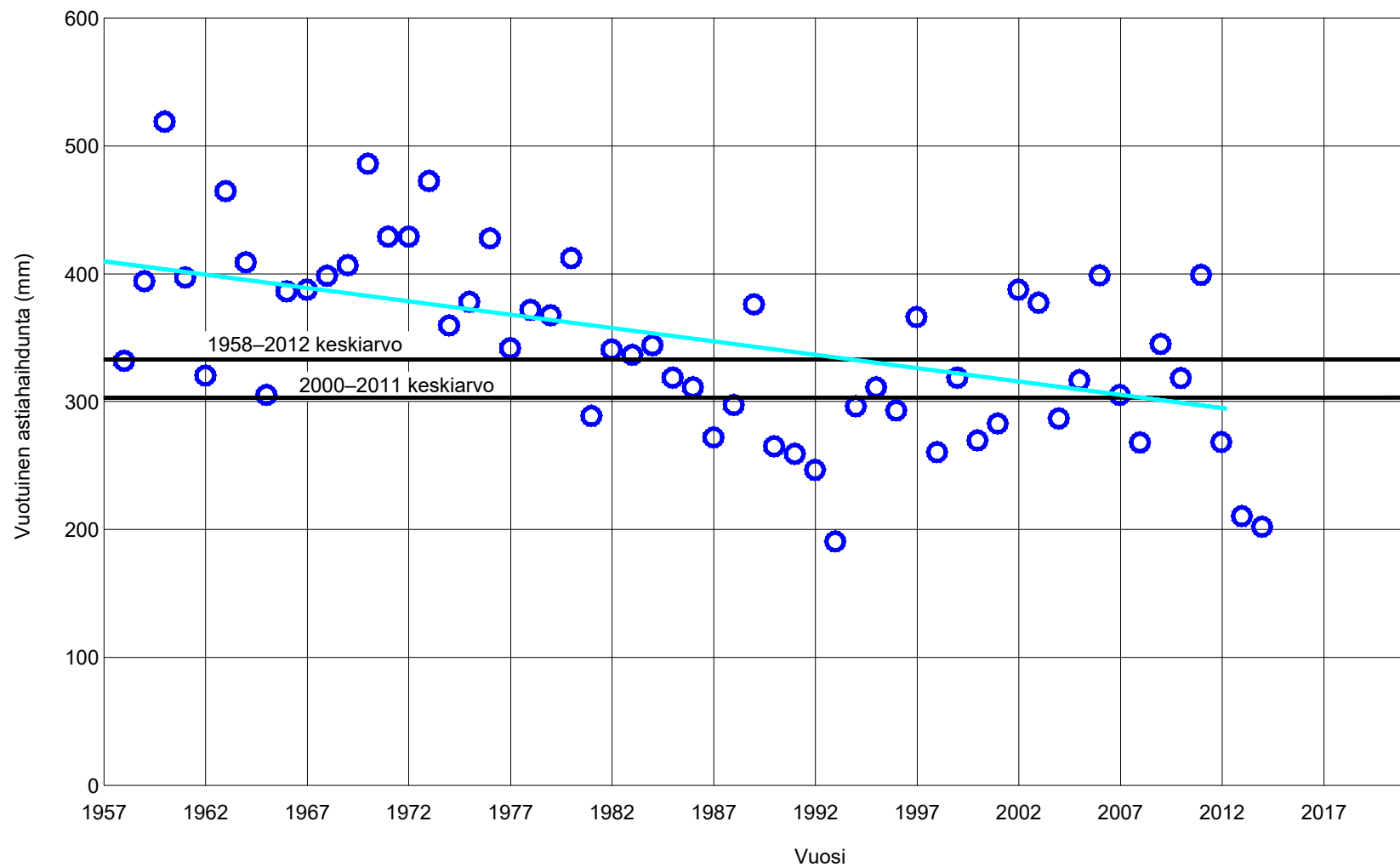
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRECIP
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	



Mitatut vuotuiset ja kuukausittaiset
sademäärät Sodankylän Tähtelän
sääasemalla

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-15



— Laskettu astiahaidunnan keskiarvo — Mitatun astiahaiduntadatan trendiviiva ○ Mitattu astiahaidunta

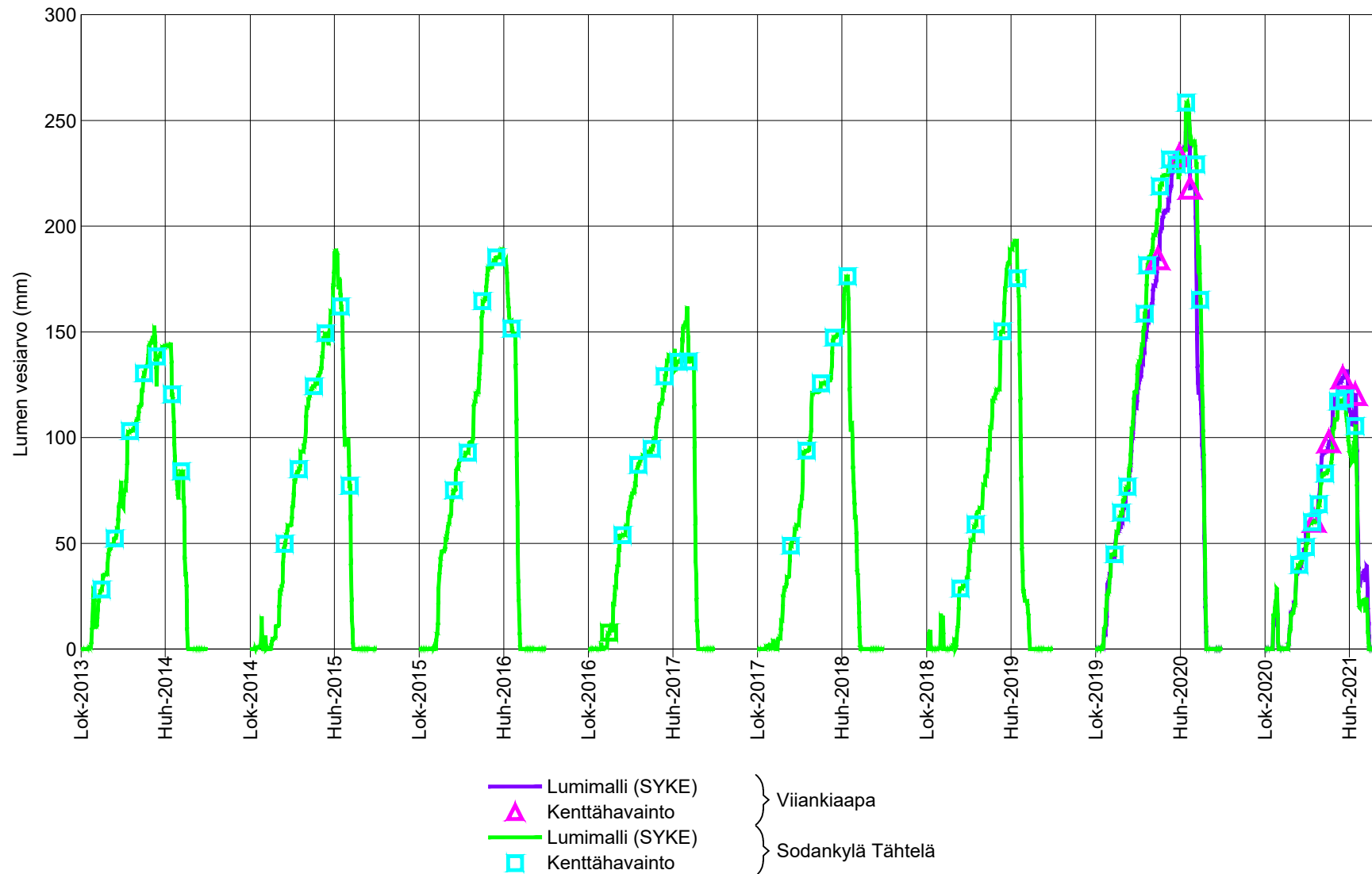
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PAN
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022



Mitatut pannuhaidunta-arvot
Sodankylän Tähtelän sääasemalla

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-16



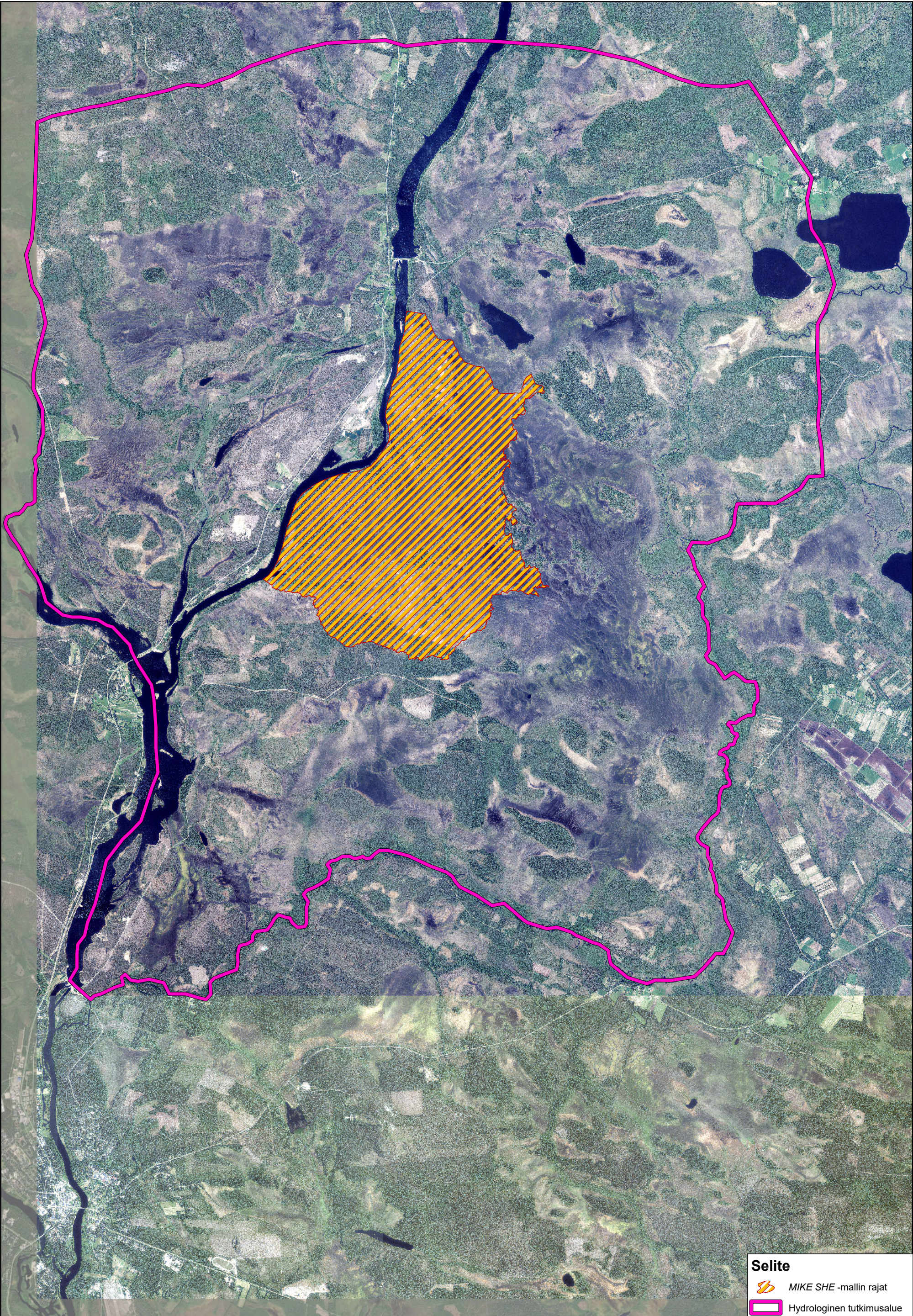
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SNOW
DRAWING DATE	15 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022



Mitatut ja lasketut lumen
vesiarvot

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-17



Selite

MIKE SHE -mallin rajat

Hydrologinen tutkimusalue

N

0

1,250

2,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	MIKESHE
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	May. 27, 2022

ITASCA

Denver, Inc.

MIKE SHE -mallin ja hydrologisen tutkimusalueen rajautuminen

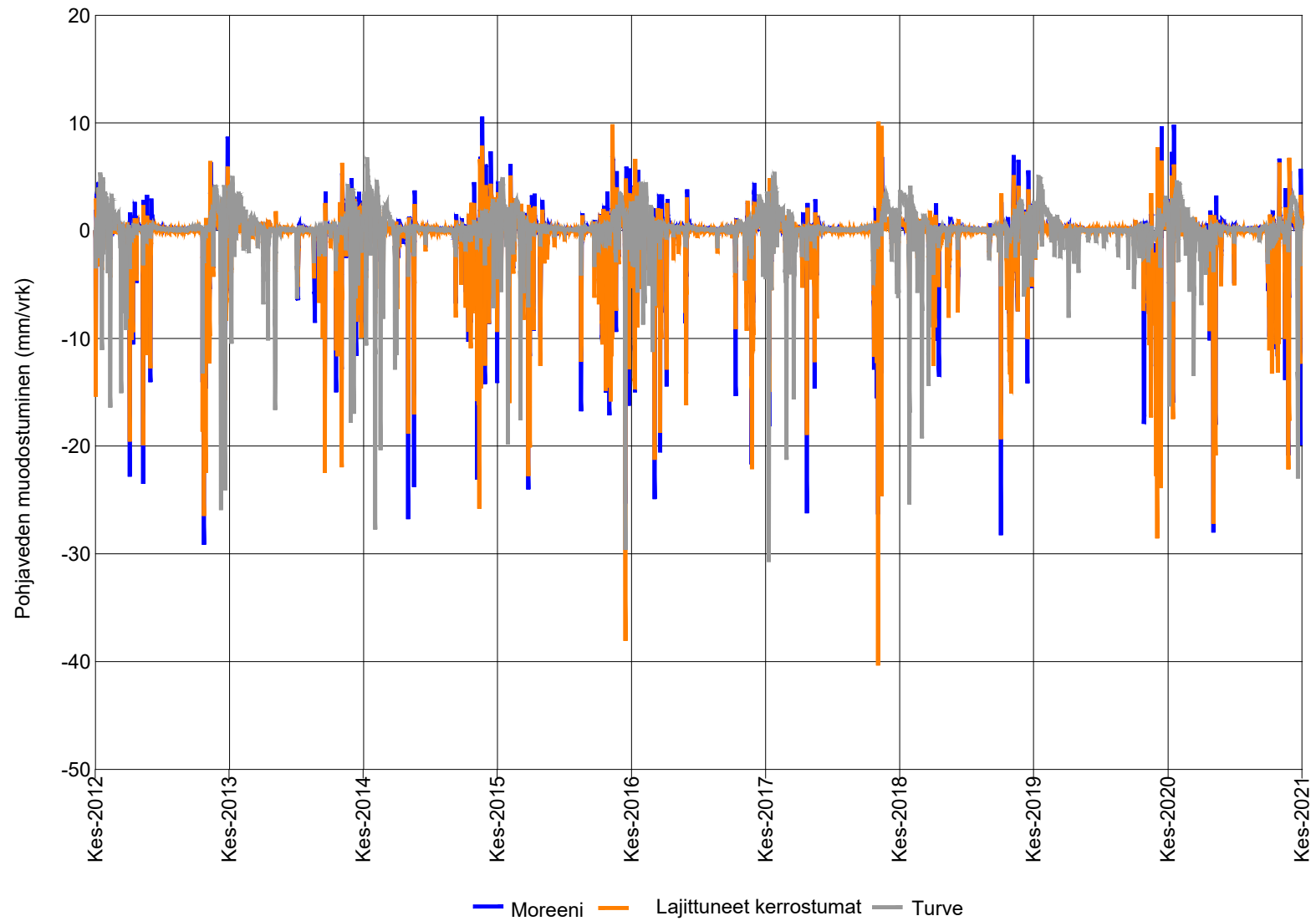
CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

3-18

G:\ARC\GIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\MIKESHE.mxd



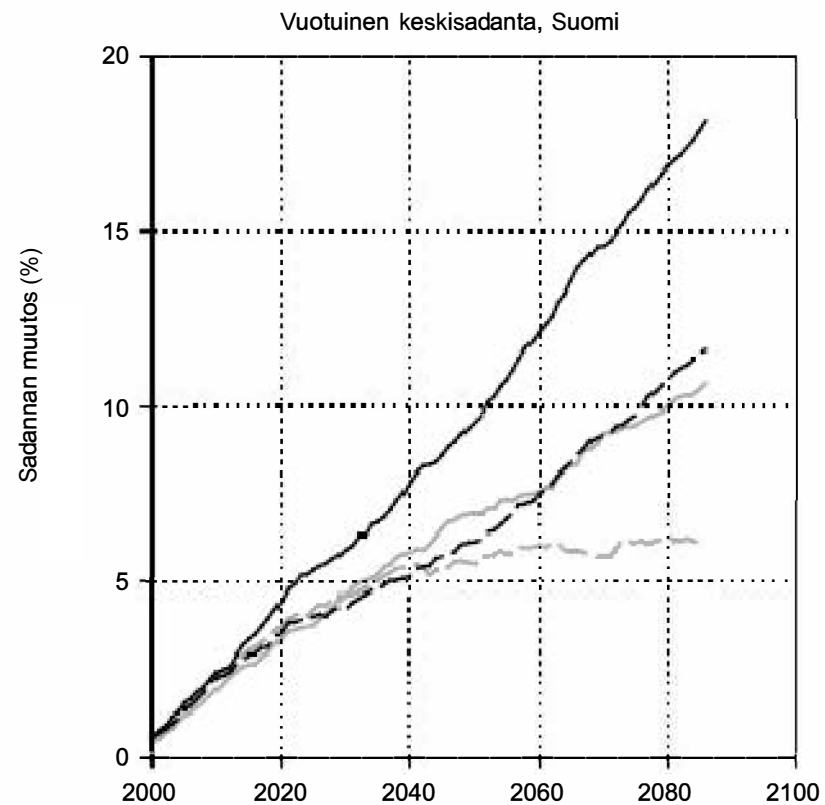
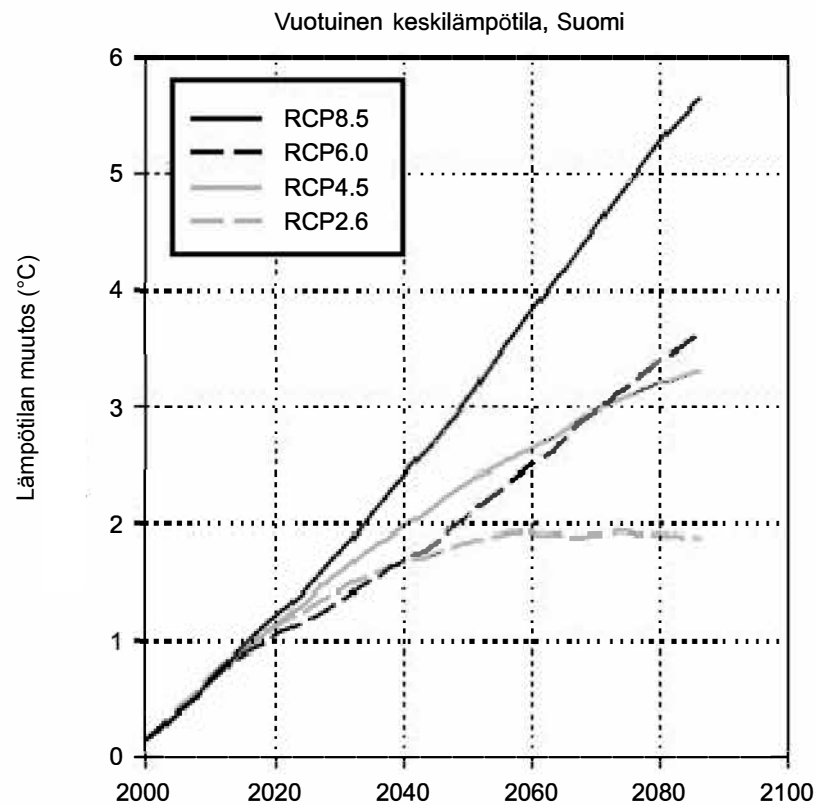
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECHARGE
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022



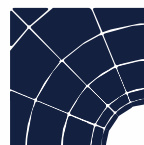
Pohjaveden arvioidut
muodostumismäärät MIKE SHE
–mallin mukaan

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-19



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	FUTURE
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	



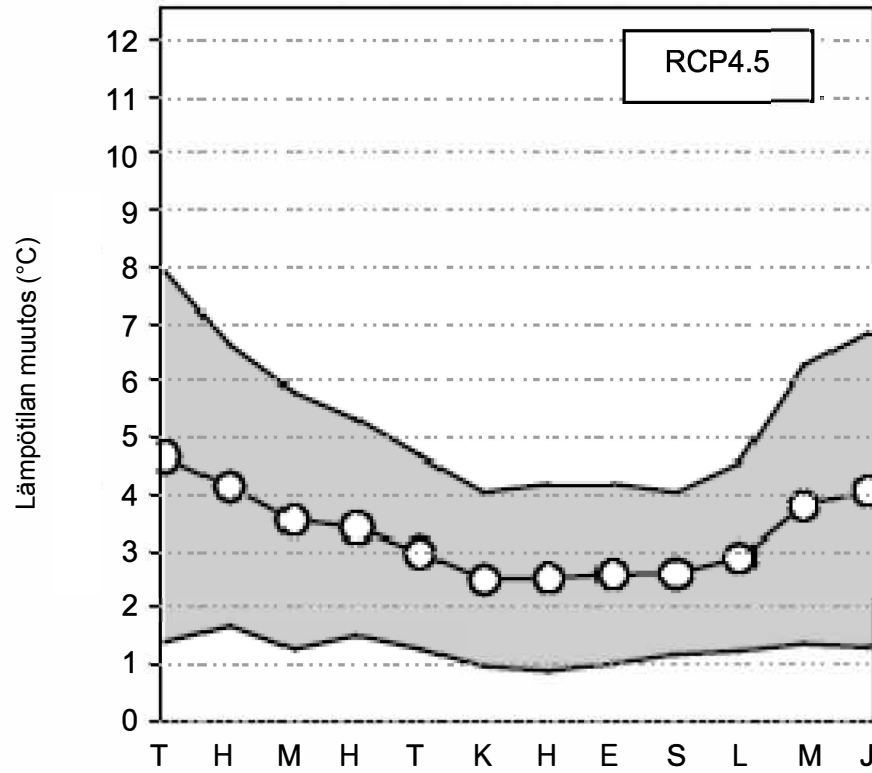
ITASCATM
Denver, Inc.

Lämpötila ja sadanta Suomessa eri
kasviuonekaasuskenaarioissa

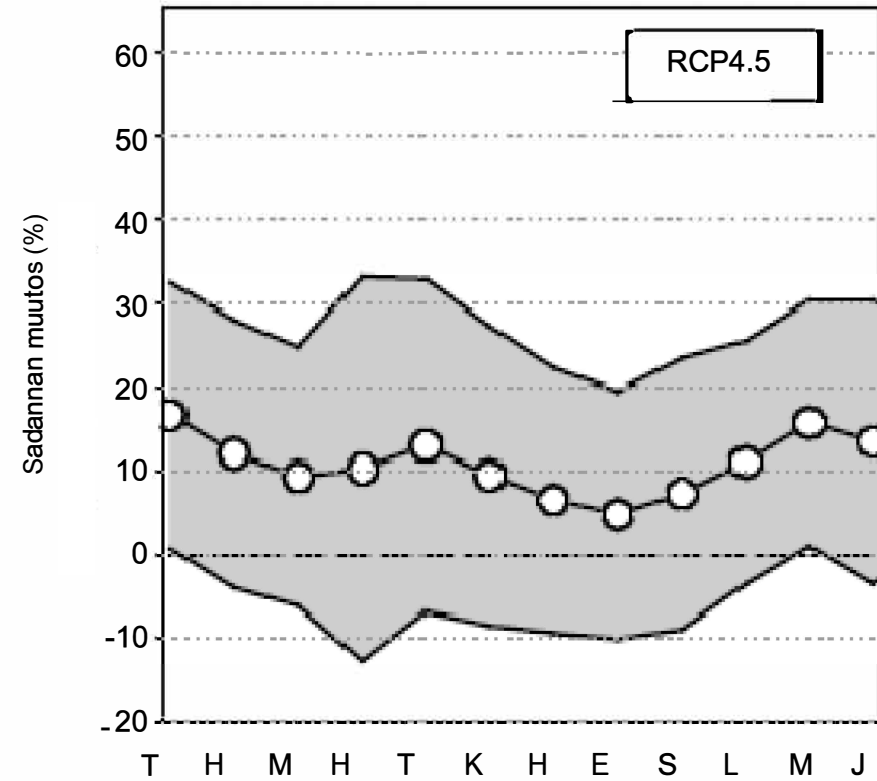
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-20

Lämpötila 2070-2099



Sadanta 2070-2099



Lähde: Ruosteenoja ym. 2016

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	FUTURE
DRAWING DATE	15 JUN 2022
REVISION DATE	



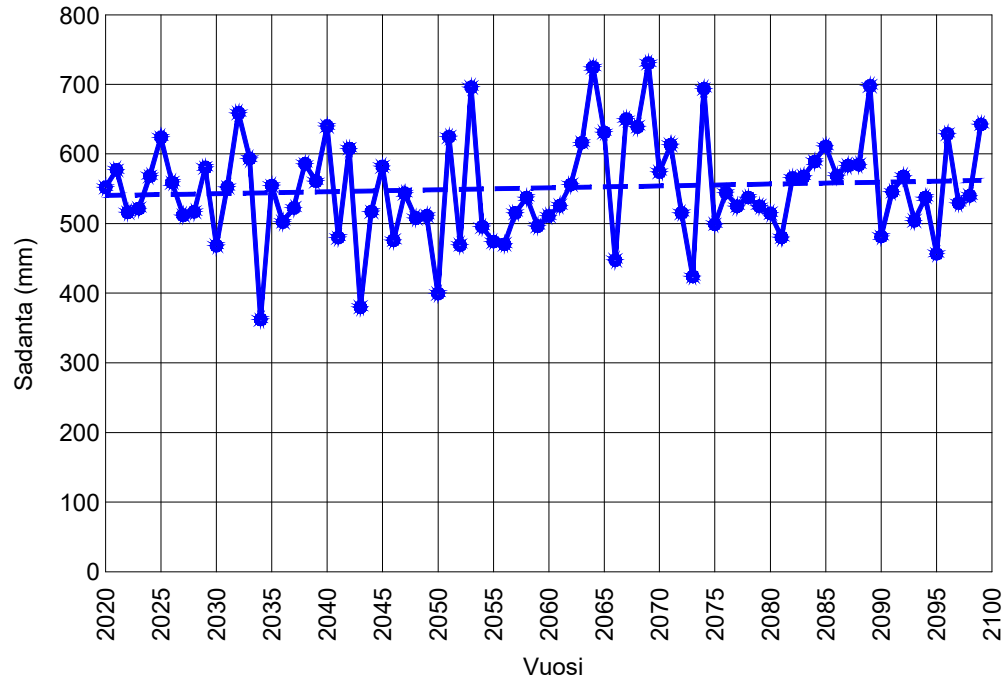
ITASCATM
Denver, Inc.

Ennustetut keskimääräiset
kuukausilämpötilat ja -sadannat
kasvihuonekaasuskenaario RCP4.5:n
mukaan 2070–2099

CLIENT:
Sakatti Mine

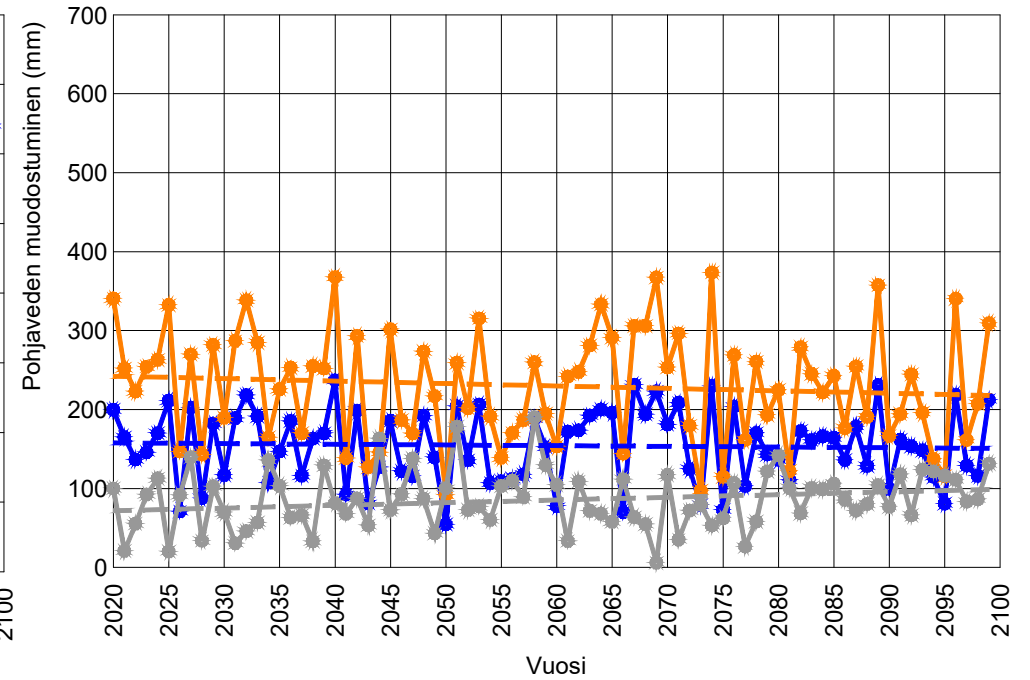
FIGURE NO.
3-21

a) Ennustettu tulevaisuuden vuosittainen sadanta



★ Sadanta - - - Sadannan trendiviiva

b) Tulevaisuuden mallinnettu vuosittainen pohjaveden muodostuminen



Vuotuinen pohjaveden muodostuminen

★ Mr ★ Lajit. kerrostumat ★ Turve

Pohjaveden muodostumisen trendiviiva

- - - Mr - - - Lajit. kerrostumat - - - Turve

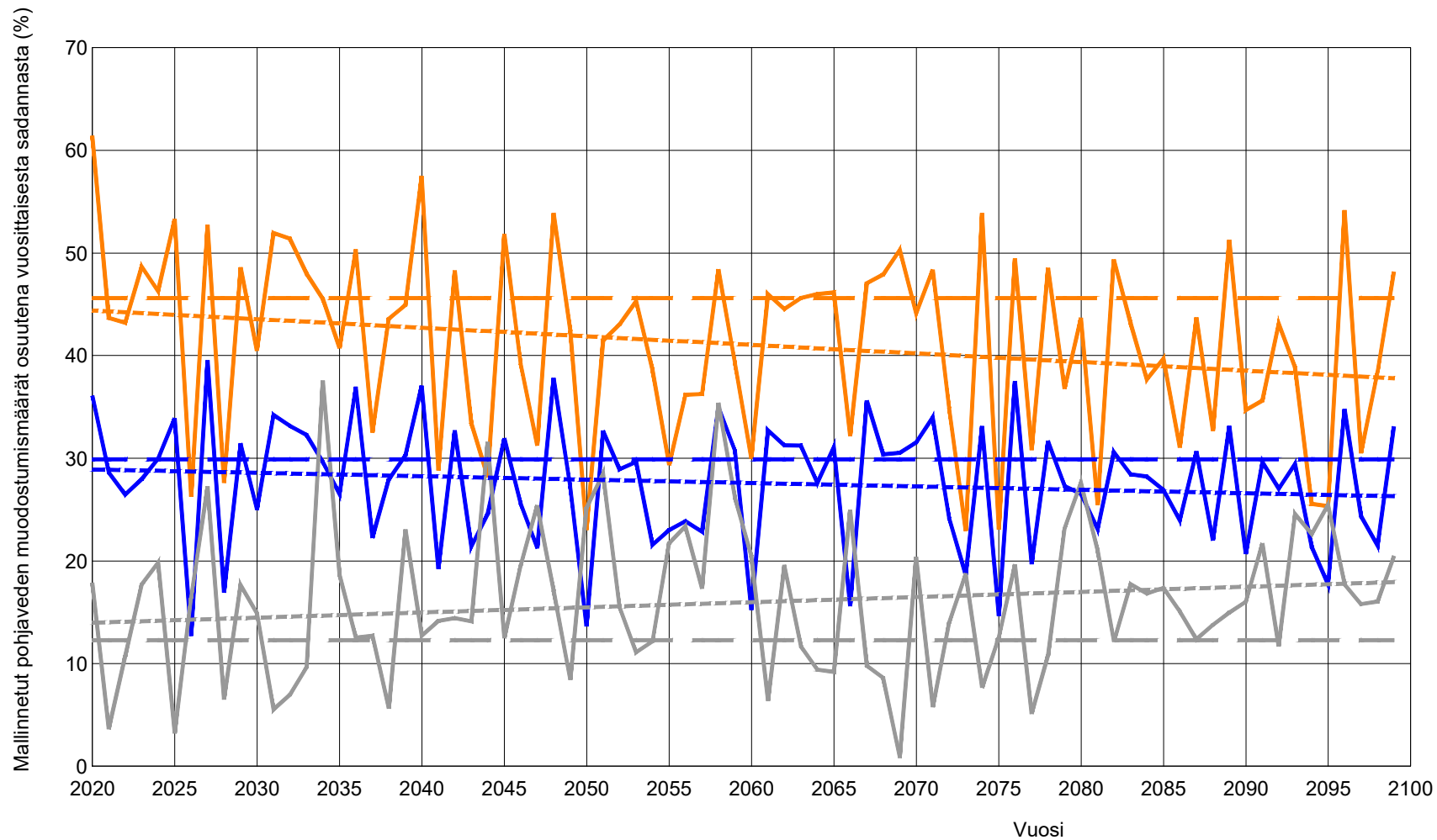
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	ANNUAL
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022



Arvioitu tuleva vuotuinen sadanta ja
pohjaveden muodostumismäärät

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-22



Tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen

— Mr — Lajitt. kerrostumat — Turve

Nykyinen keskiarvo pohjaveden muodostuminen (2012–2021) Lineaarinen trendiviiva tulevaisuuden pohjaveden muodostumiselle

— Mr — Lajitt. kerrostumat — Turve — Mr — Lajitt. kerrostumat — Turve

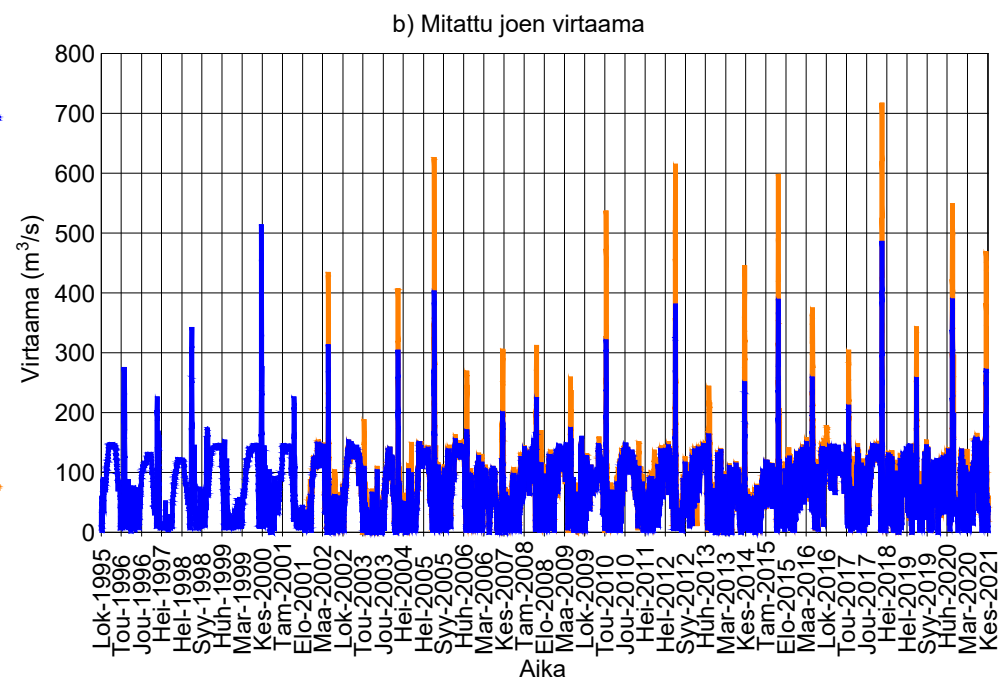
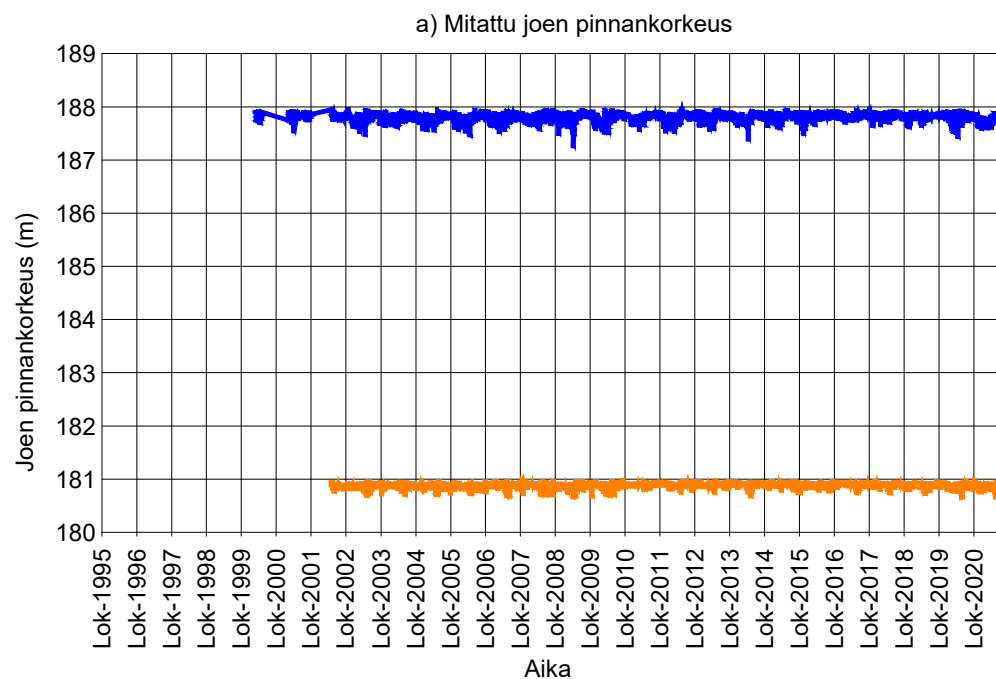
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	ANNUAL
DRAWING DATE	16 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022



Ennustetut pohjaveden
muodostumismäärät prosenttina
vuotuisesta sadannasta

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-23



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

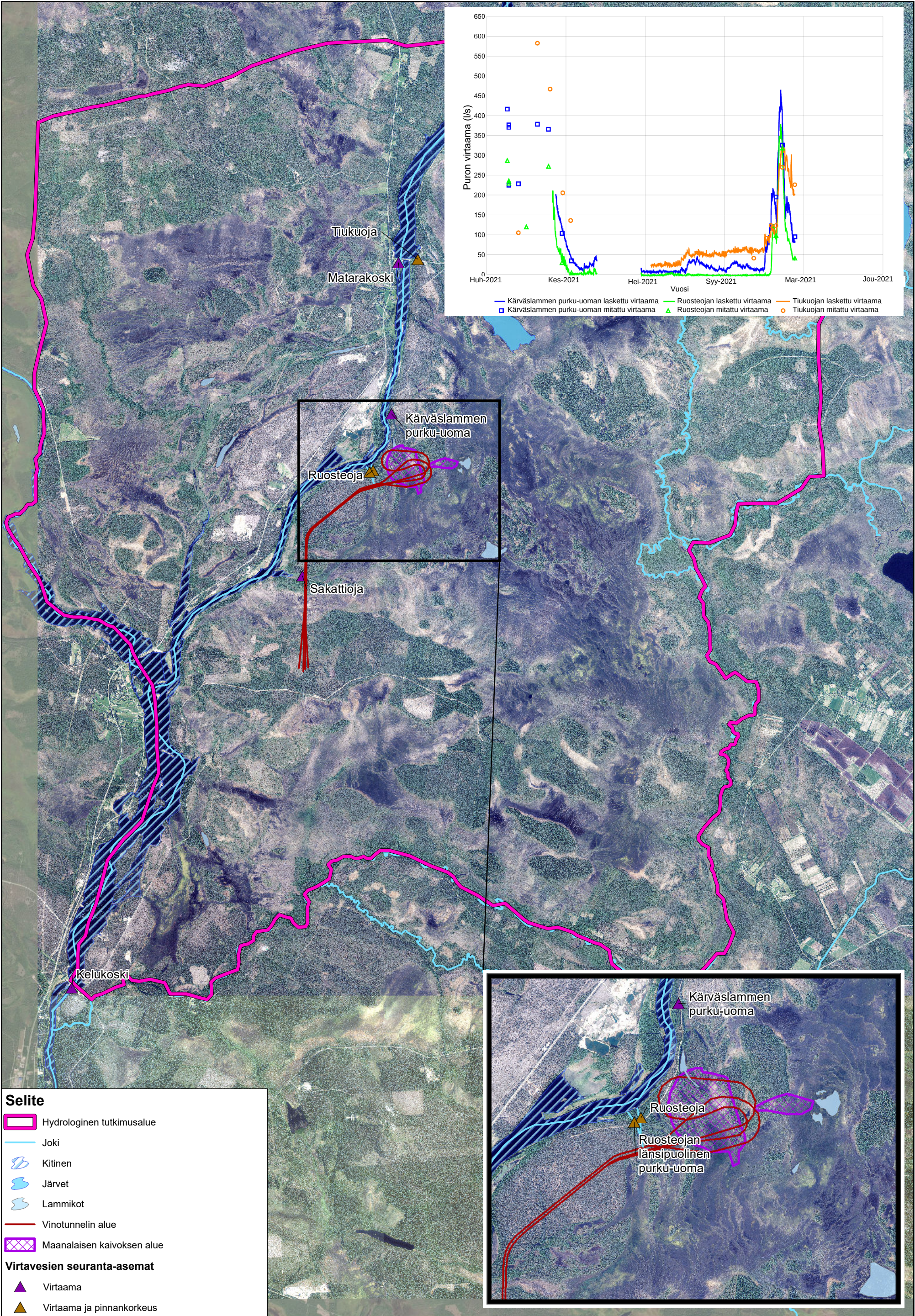
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RIVER
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	



Kitisen mitatut joen
pinnankorkeudet ja virtaamat

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-25



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Joki

Kitinen

Järvet

Lammikot

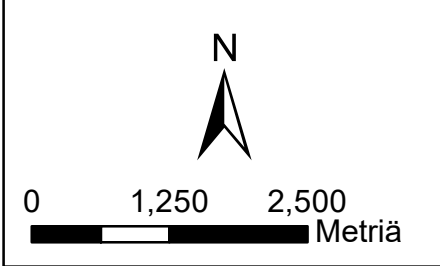
Vinotunnelin alue

Maanalaisen kaivoksen alue

Virtavesien seuranta-asemat

Virtaama

Virtaama ja pinnankorkeus



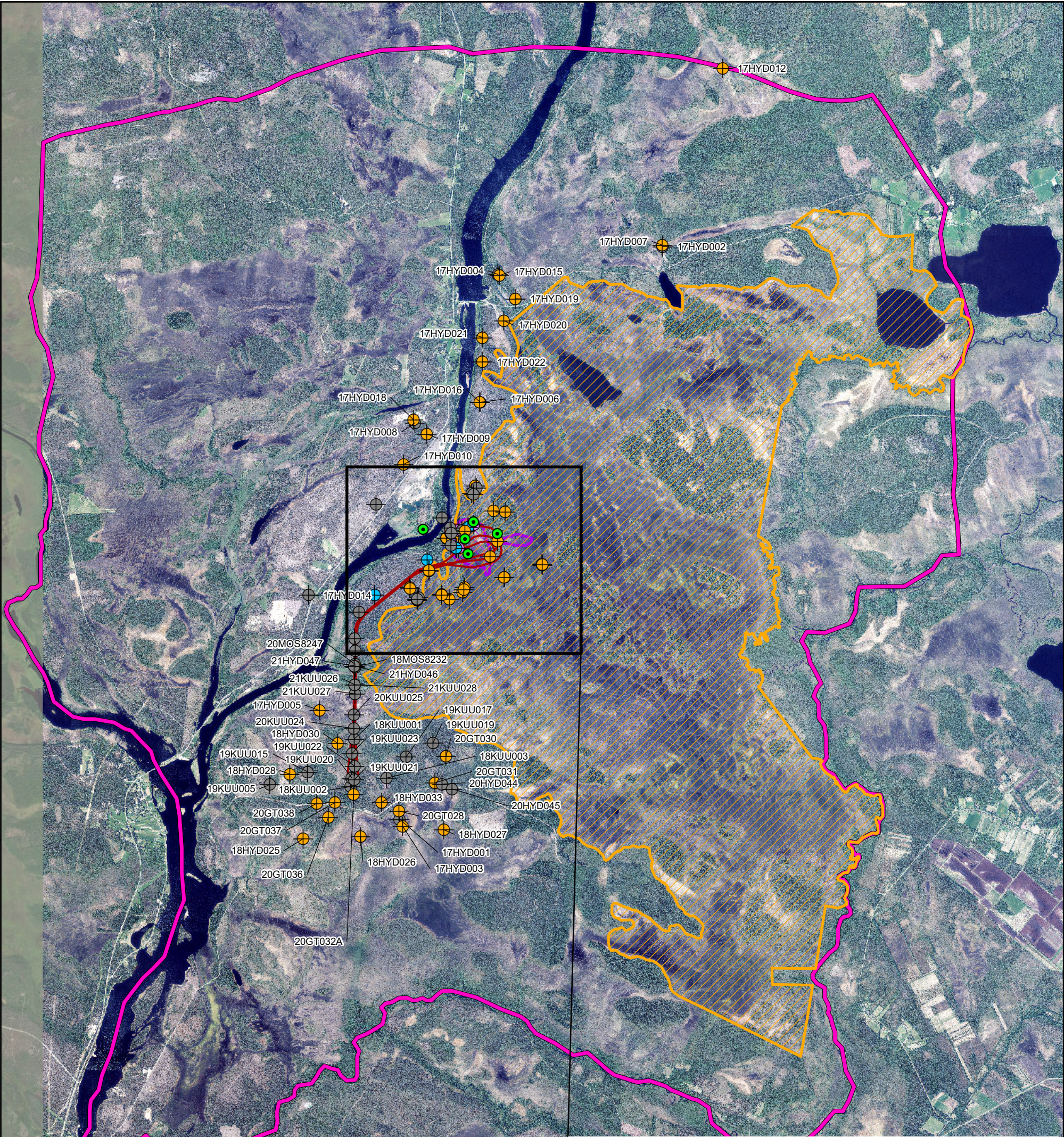
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Streamflow
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Feb. 10, 2023



Purojen ja ojien mitatut ja lasketut virtaamat maanalaisen kaivoksen alueella

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-26

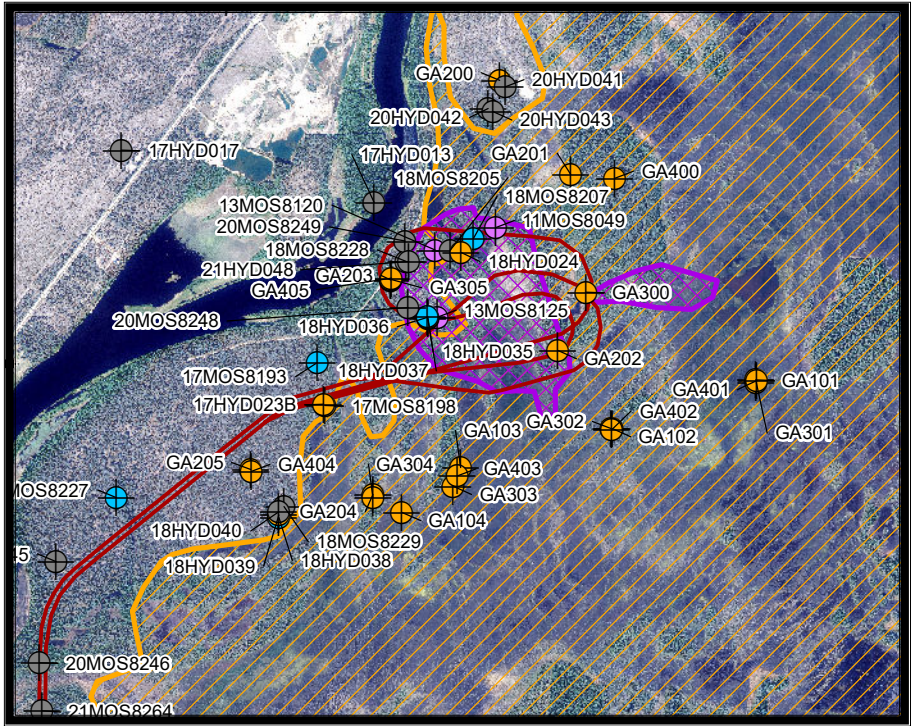


Selite

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

Pohjavesikaivo

- Kallion pohjavesikaivo
- Kallion pumppauskaivo
- Kivennäismaan pohjavesikaivo
- Smartwell-kaivo



N

01,2502,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	MonLoc_HSA
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Oct. 17, 2022

ITASCA

Denver, Inc.

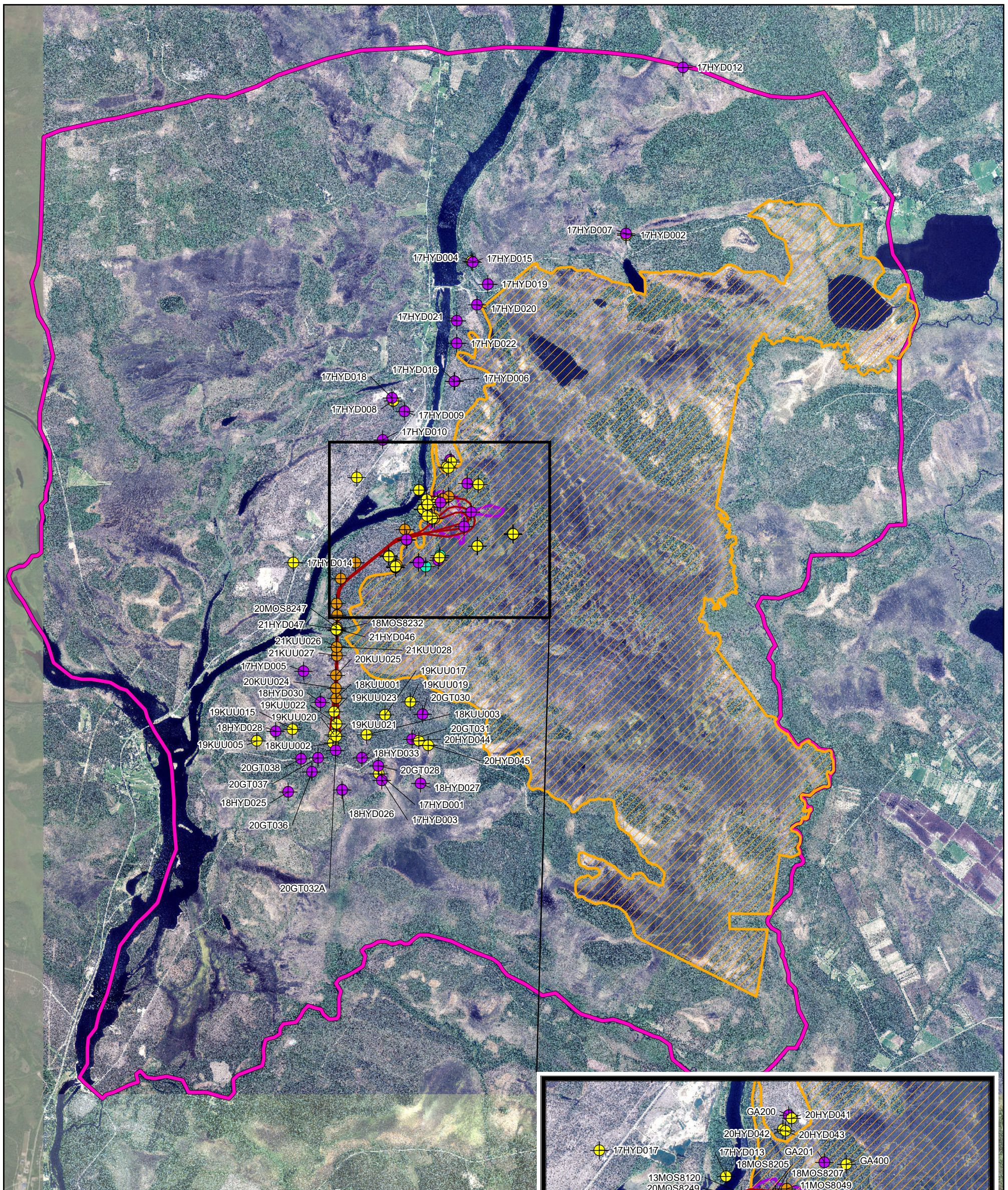
CLIENT:

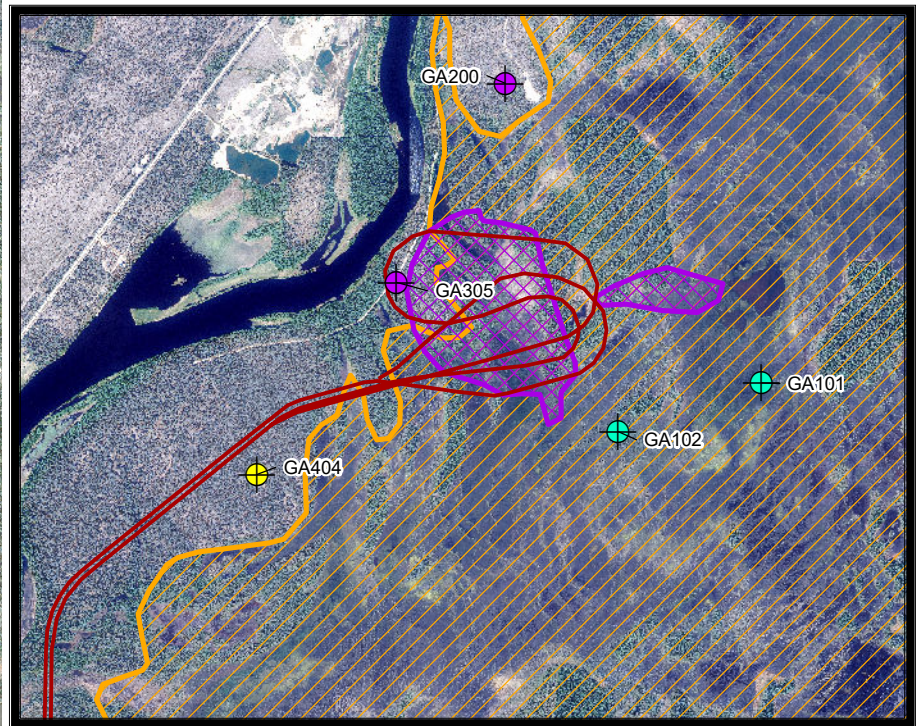
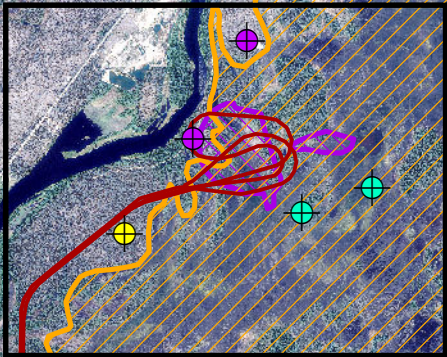
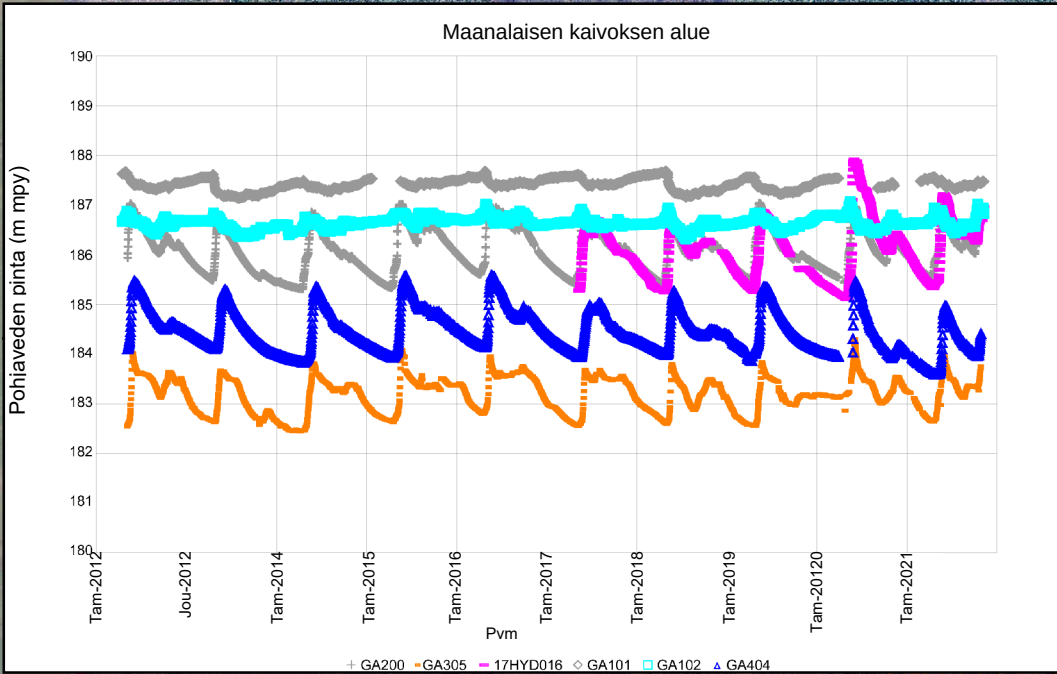
Sakatti Mine

FIGURE NO.

3-27

G:\ARC\GIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\MonLoc_HSA.mxd



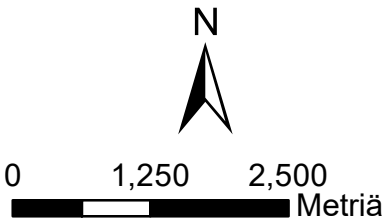


Selite

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

Pohjavesikaivo hydrologisen 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. 24, 2022

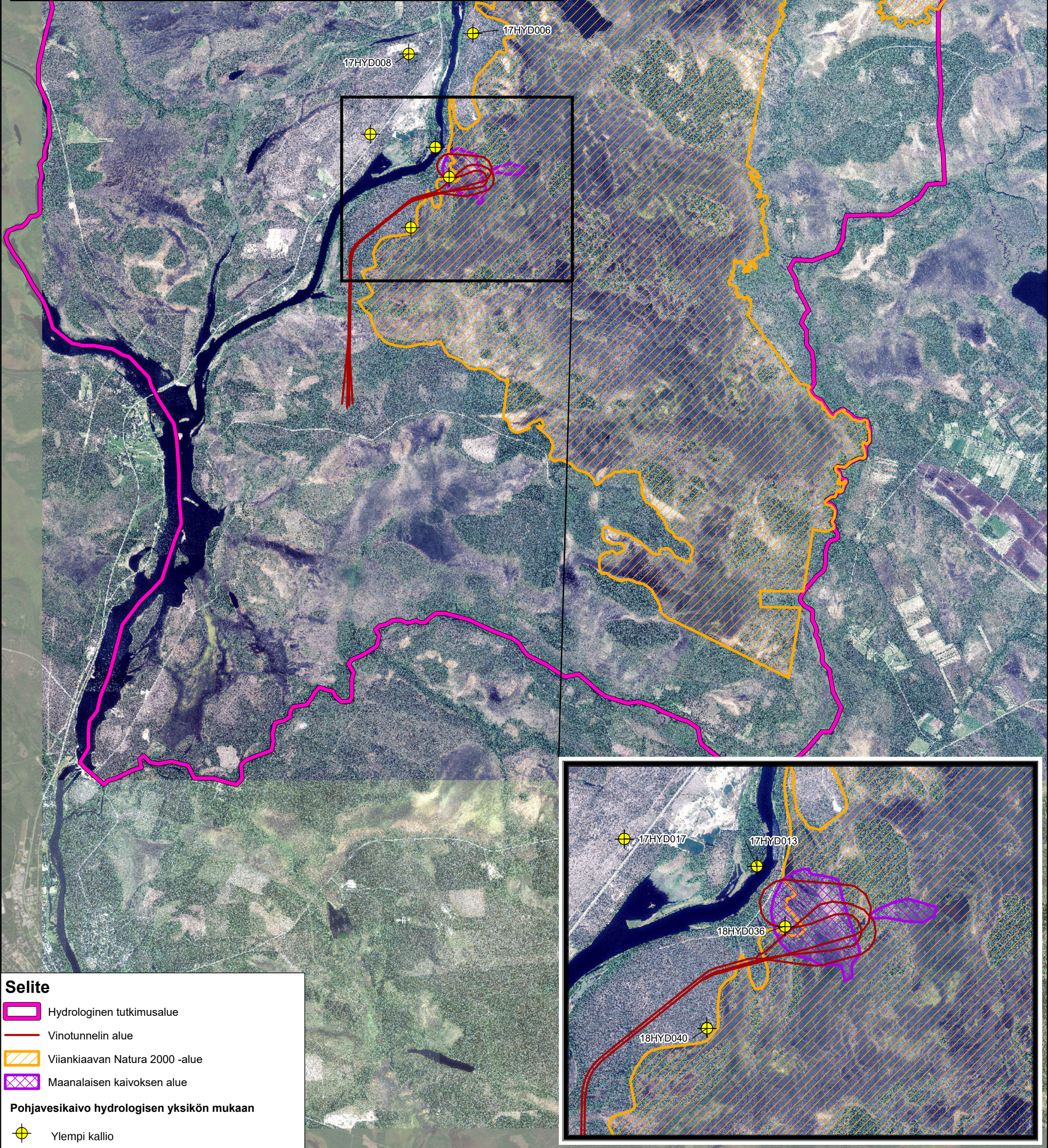
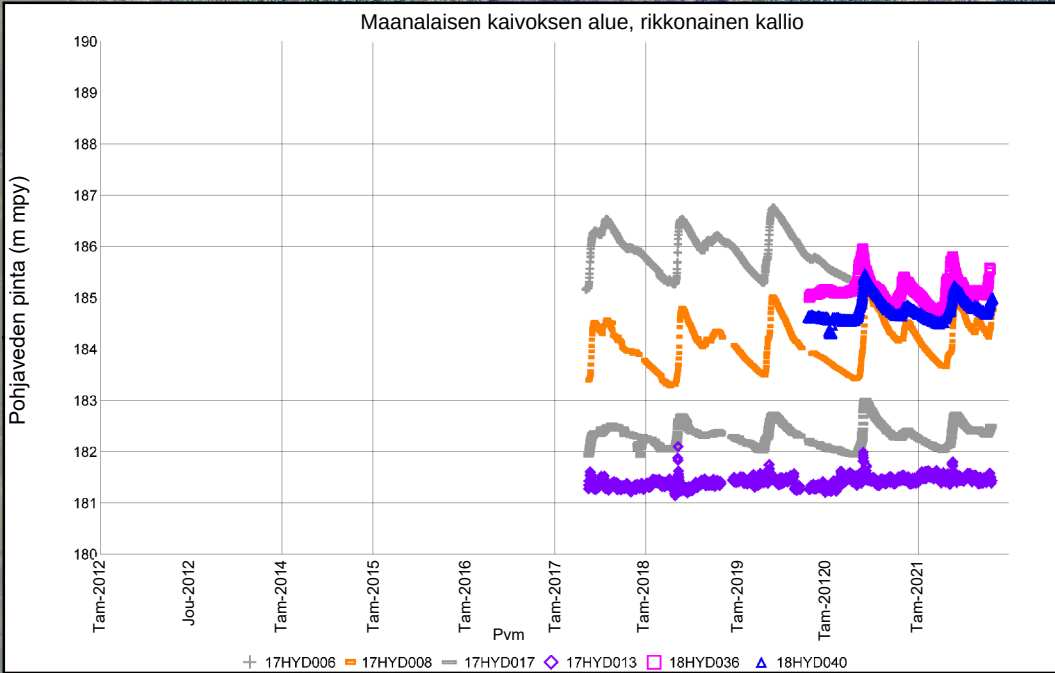


ITASCA
Denver, Inc.

Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet
kaivostoimintojen alueelta

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-29a



Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Viiankaaavan Natura 2000 -alue
- Maanalaisen kaivoksen alue

Pohjavesikaivo hydrologisen yksikön mukaan

- Ylempi kallio

0 1,250 2,500 Metriä

N

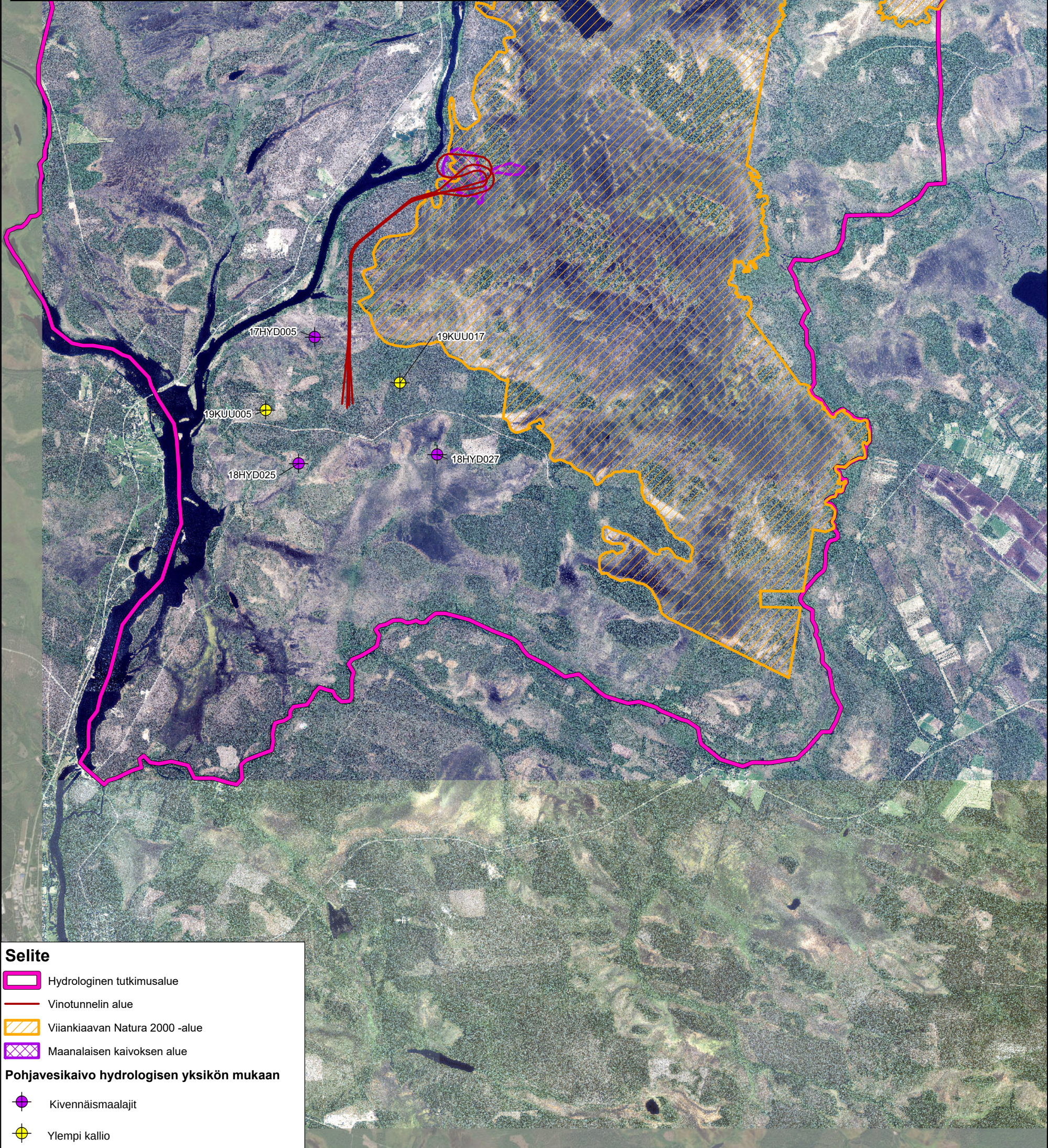
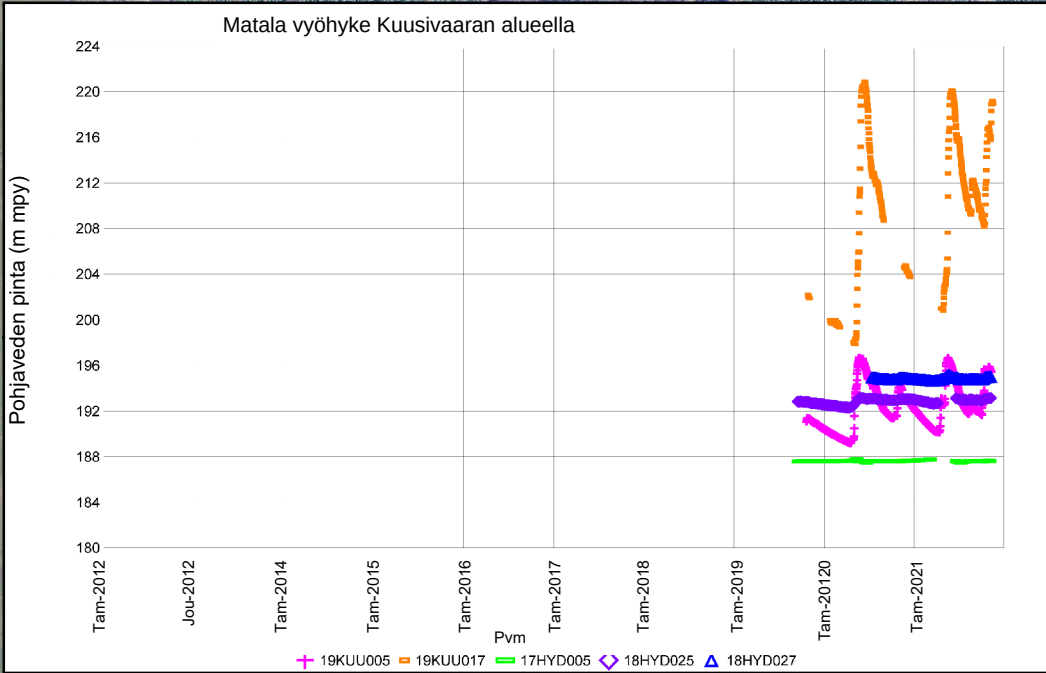
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	GW_Siteb
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 19, 2022

ITASCA
Denver, Inc.

Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet
kaivostoimintojen alueelta

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-29b



Selite

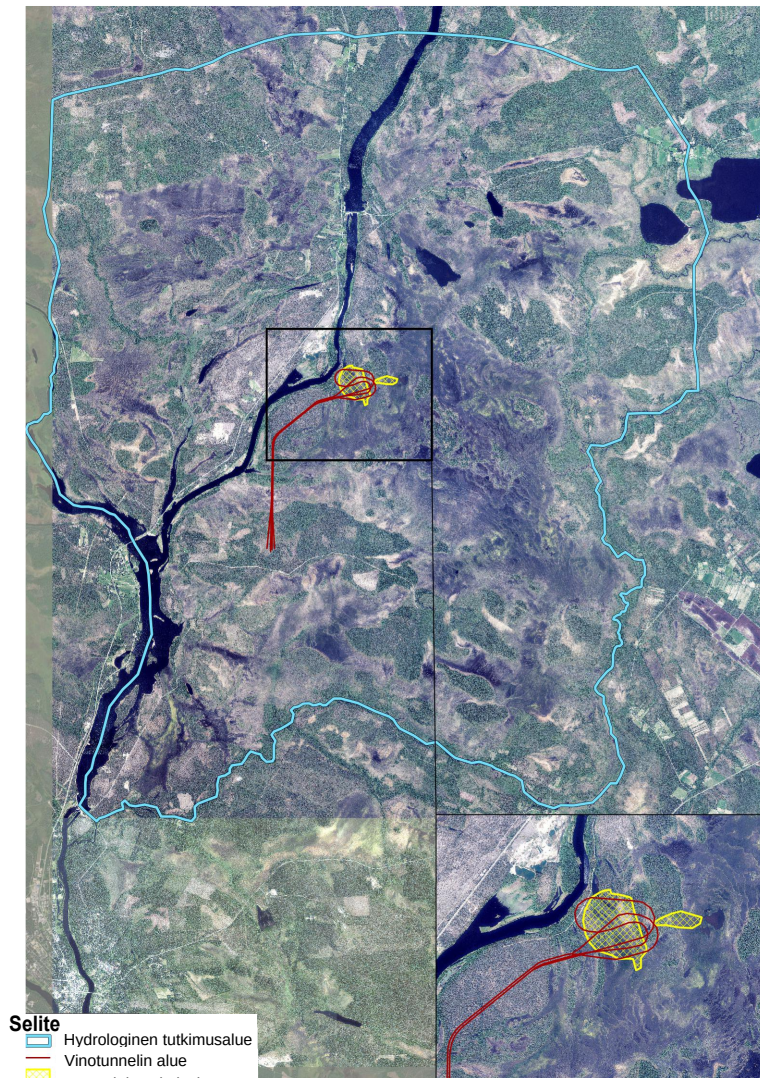
- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Viiankiaavan Natura 2000 -alue
- Maanalaisen kaivoksen alue

Pohjavesikaivo hydrologisen yksikön mukaan

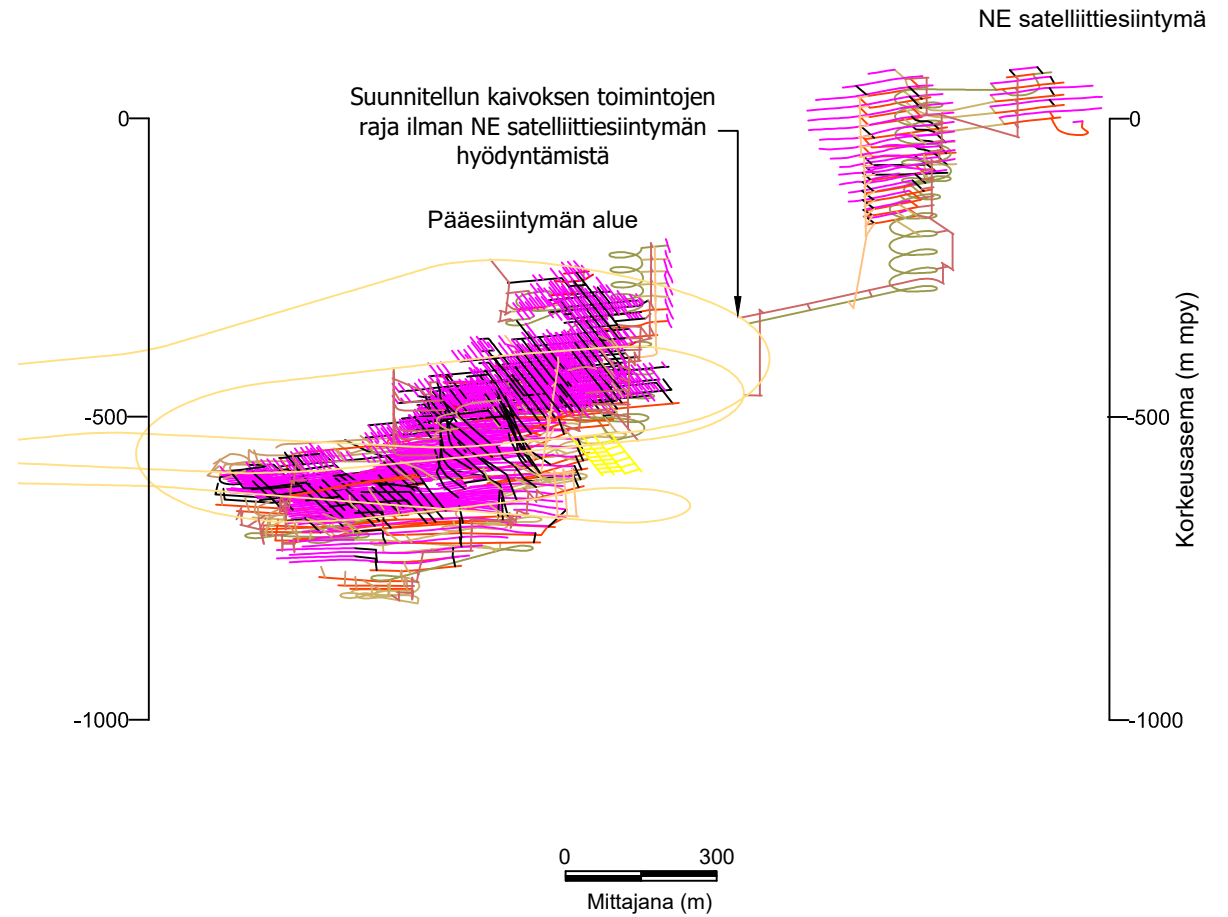
- Kivennäismaalajit
- Ylempi kallio

	PROJECT NO.	4064		Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet kaivostoimintojen alueelta	
	BY	SBM			
	CHECKED	HL			
	DRAWN	NP		CLIENT:	Sakatti Mine
	DRAWING NAME	GW_Sitec		FIGURE NO.	3-29c
	DRAWING DATE	Apr. 25, 2022			
REVISION DATE	Oct. 17, 2022				

a) Tasokartta



b) Vinotunneli ja louhintavyöhykkeet



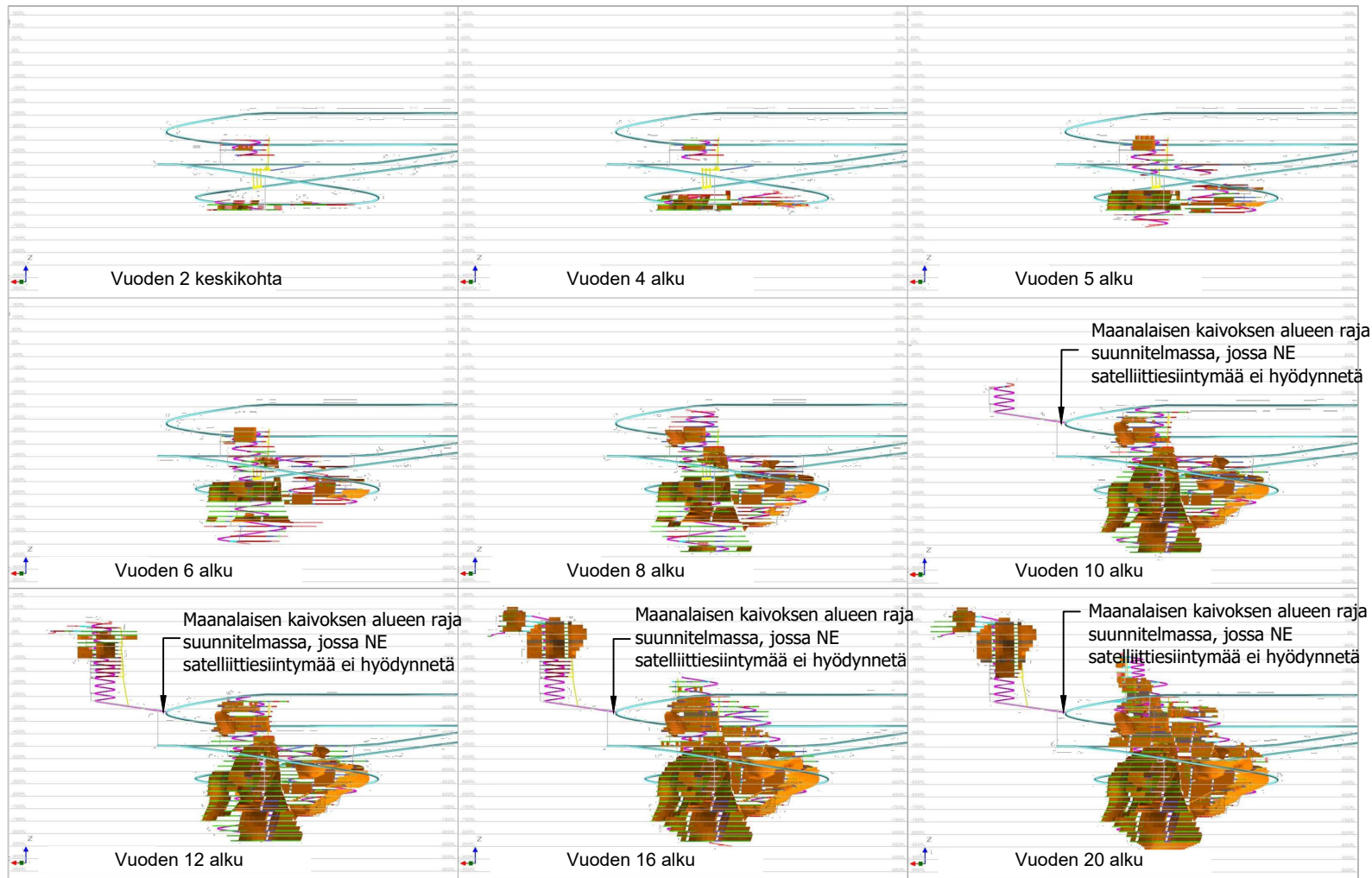
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MINEPLAN
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	



Maanalaisen kaivoksen
poikkileikkauskuva

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-30a



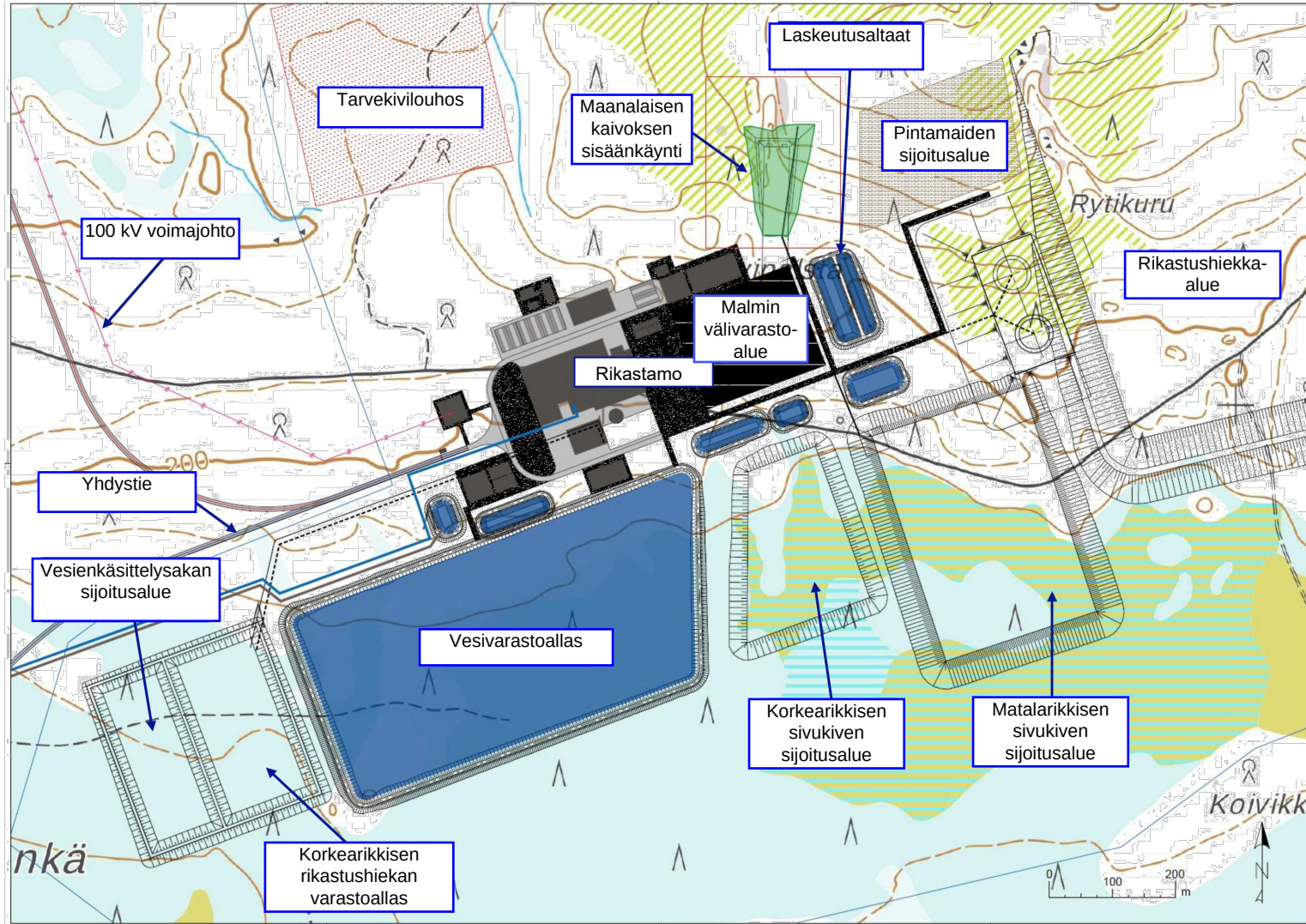
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MINEPLAN
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	



Maanalaisten kaivostoimintojen
eteneminen

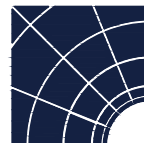
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-30b



AFRY Finland Oy 2020

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SURFACE
DRAWING DATE	17 JUN 2022
REVISION DATE	



ITASCATM
Denver, Inc.

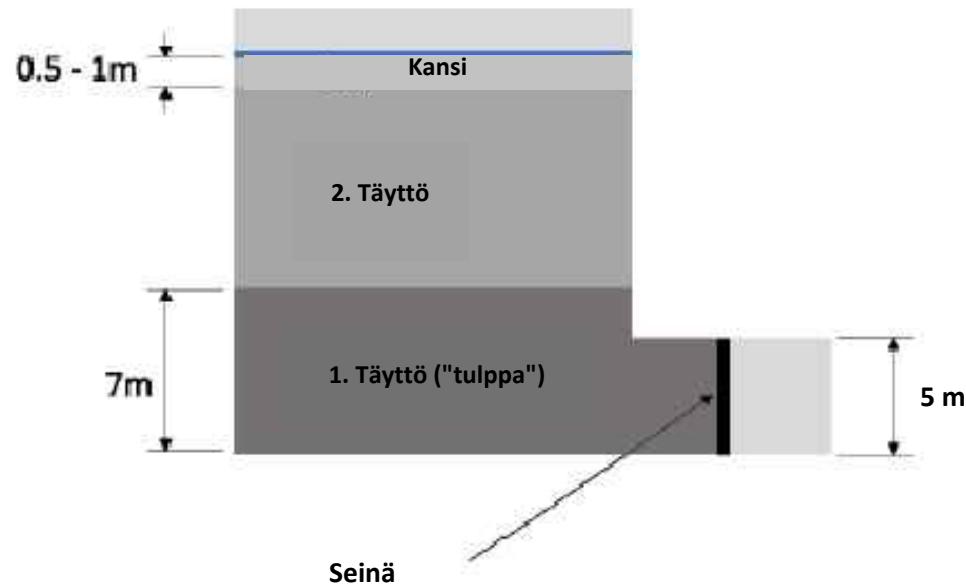
Kuusivaaran tehdasalueelle sijoittuvat
toiminnot vaihtoehdossa VE1a

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-31

a) Kaivostäytön periaate (Patterson & Cooke, 2021)

b) Kaivostäytön arvioidut vedenjohtavuudet



Täytön hydrauliset ominaisuudet	K arvo (m/s)	S_y
Korkea	1.00E-07	Ei saatavilla
Keski	5.00E-08	
Alhainen	2.00E-08	

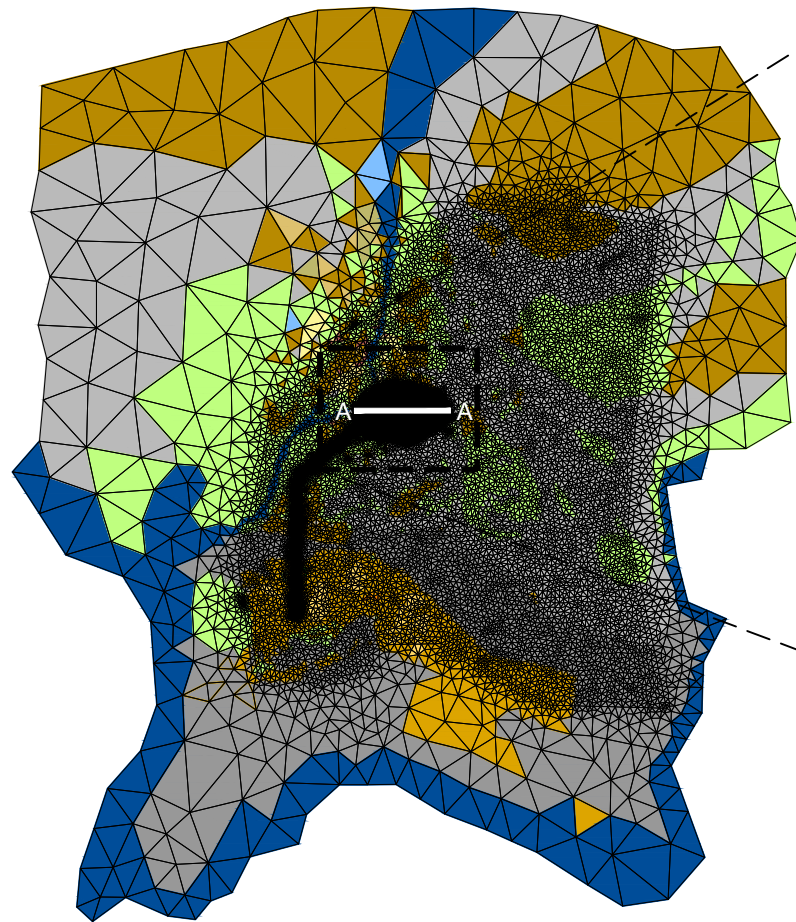
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	BACKFILL
DRAWING DATE	17 JUN 2022
REVISION DATE	



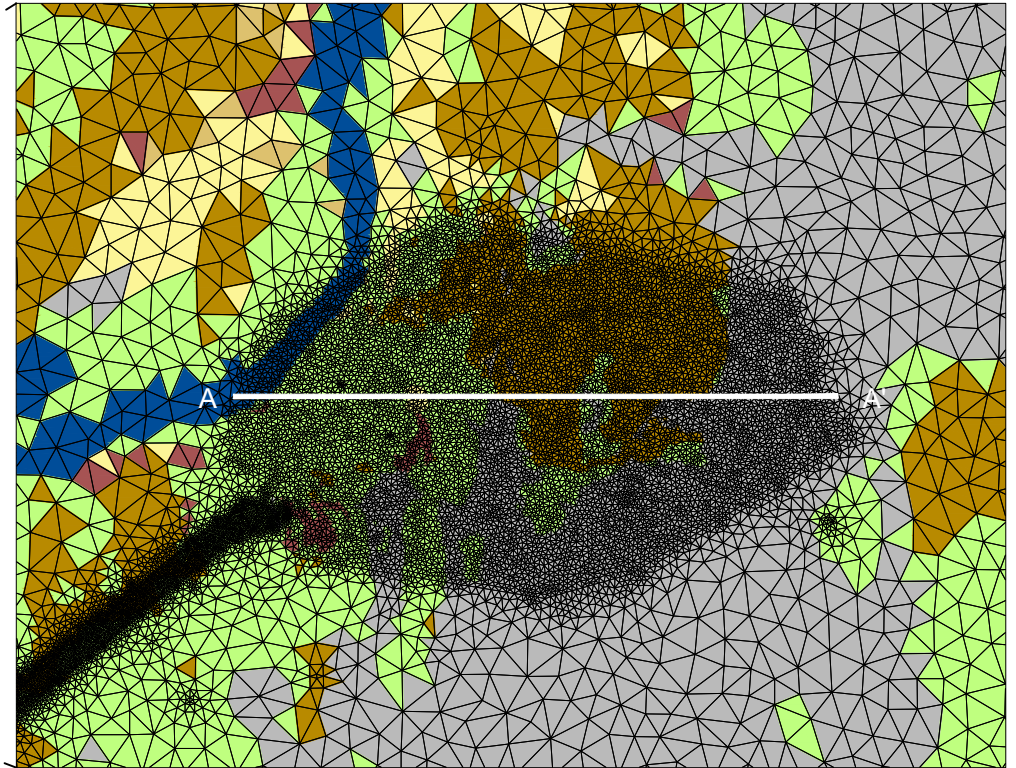
Kaivostäytön havainnekuva
ja arvioidut vedenjohtavuudet

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
3-32



0 4,000
Mittakaava (m)



0 500
Mittakaava (m)

Selite

Turve

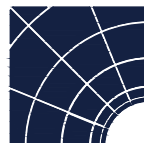
Lajitt. pintakerrostumat

Ylin moreeni

Alempi moreeni

Keskimmäinen hiekkakerros
Alempi hiekkakerros
Keskimmäiset lajittuneet kerrostumat
Alempat lajittuneet kerrostumat
Rapautunut kallio
Jokikerrostumat
Rikkinainen kallio

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MODEL
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022

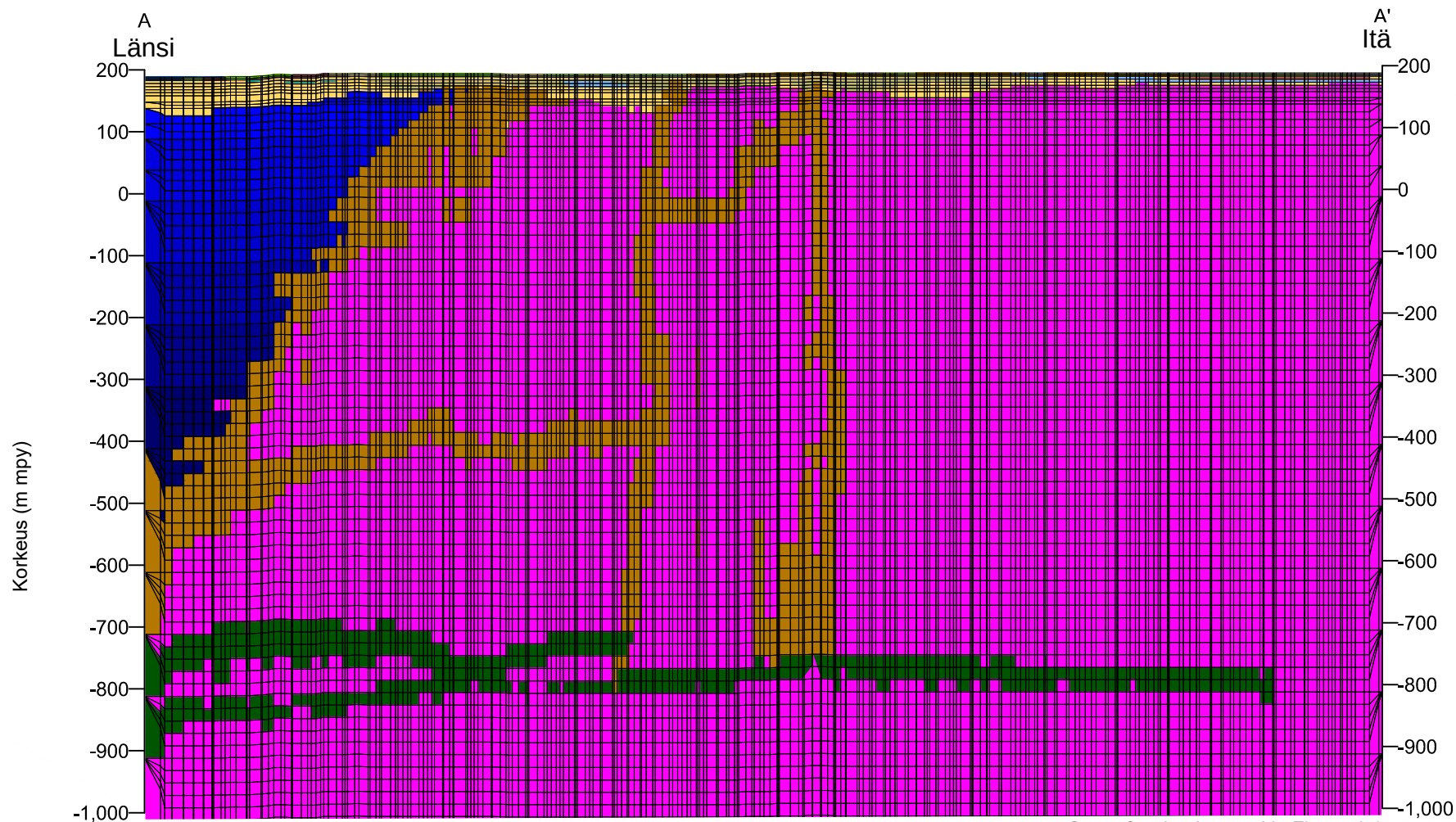


ITASCA
Denver, Inc.

Simuloitujen hydrogeologisten
yksiköiden tasokuva mallikerroksessa 1

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
4-1



Selite

Turve	Savinen rapauma
Lajittuneet	Rikkinainen kallio
Lajittuneet pintakerrostumat	Enemmän läpäisevä kallio
Ylin moreeni	Vähemmän läpäisevä kallio
Alempi moreeni	Ruhje
Kesk. lajitt. kerros.	Pohjaruhje
Alim. lajitt. kerrostumat	
Rapautunut kallio	
Kitinen	
Pohjakerrostumat	

Luonnollisessa mittakaavassa (ei liioiteltu)

0 4,000
Mittakaava (m)

Poikkileikkauksen sijainti esitetty kuvassa 4-1

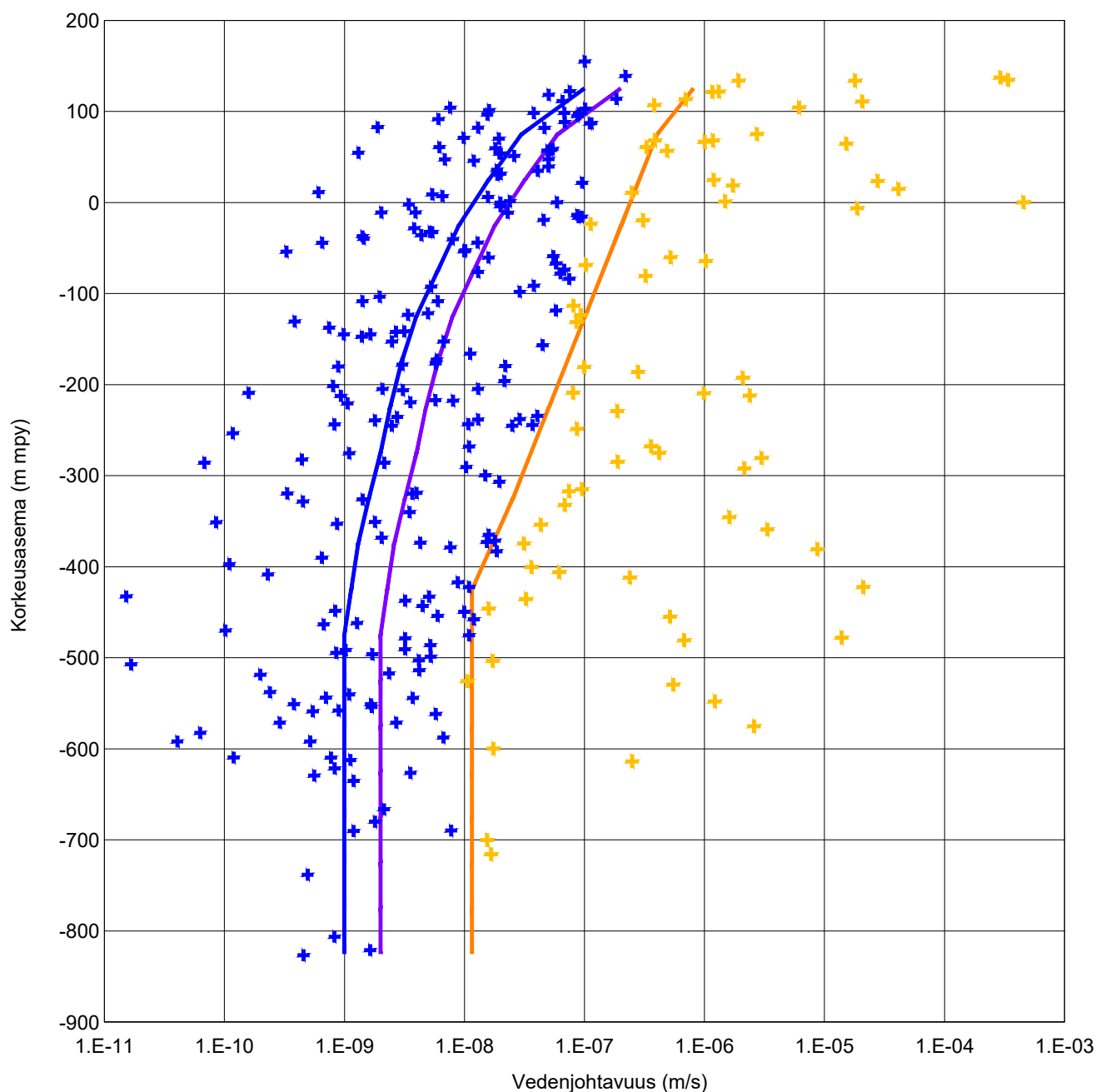
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	XSEC
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022



Simuloitujen hydrogeologisten
yksiköiden itä-läntinen leikkauskuva
maanalaisen kaivoksen alueella

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
4-2



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SIM
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022



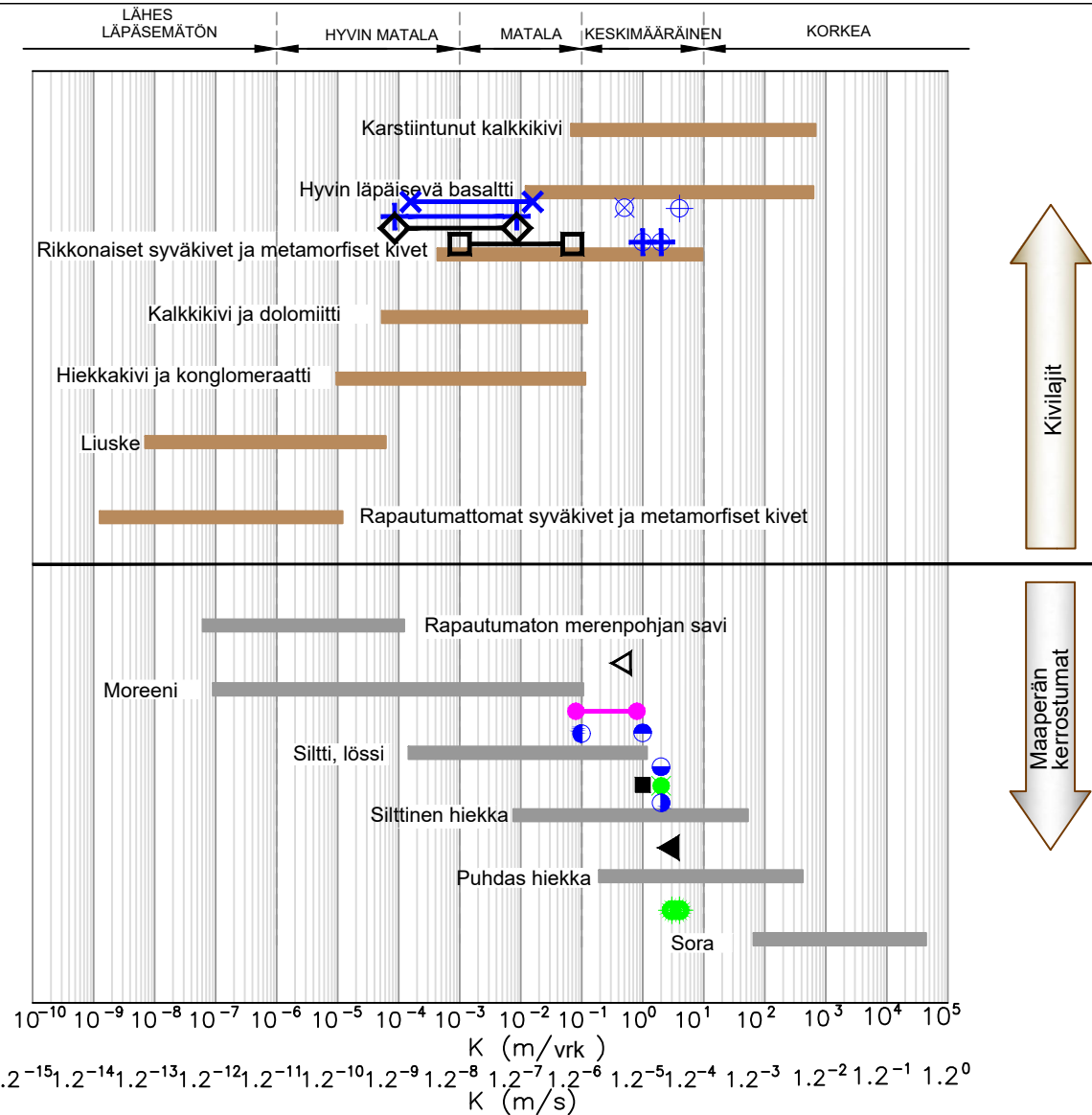
Pohjaveden virtausmallin
simuloidut vedenjohtavuudet
verrattuna vesihävikikokeilla
mitattuihin vedenjohtavuuksiin

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
4-3

SELITE

- ◀ Lajittuneet kerrostumat (Kuusivaaran alue)
- ◁ Moreeni
- ⊕ Lajittuneet pintakerrostumat
- Keskimmäiset ja alemmat lajittuneet kerrostumat
- Hiekka
- Savinen rapauma
- Rapautunut kallio
- Pohjakerrostumat
- Kitisen jokikerrostumat
- Turve
- ⊕ Jokivarren rikkonainen kallio
- ⊗ Rikkonainen kallio maanalaisen kaivoksen alueella
- ⊕ Rikkonainen kallio vinotunnelin lähellä
- ⊕ Jokivarren kallio
- ⊗ Kallio maanalaisen kaivoksen alueella
- Pohjaruhje
- ◊ Ruhjeet maanalaisen kaivoksen alueella



PERUSTUU FREEZE AND CHERRY, 1979
HUOM: ARVOT EDUSTAVAT K-ARVOJA

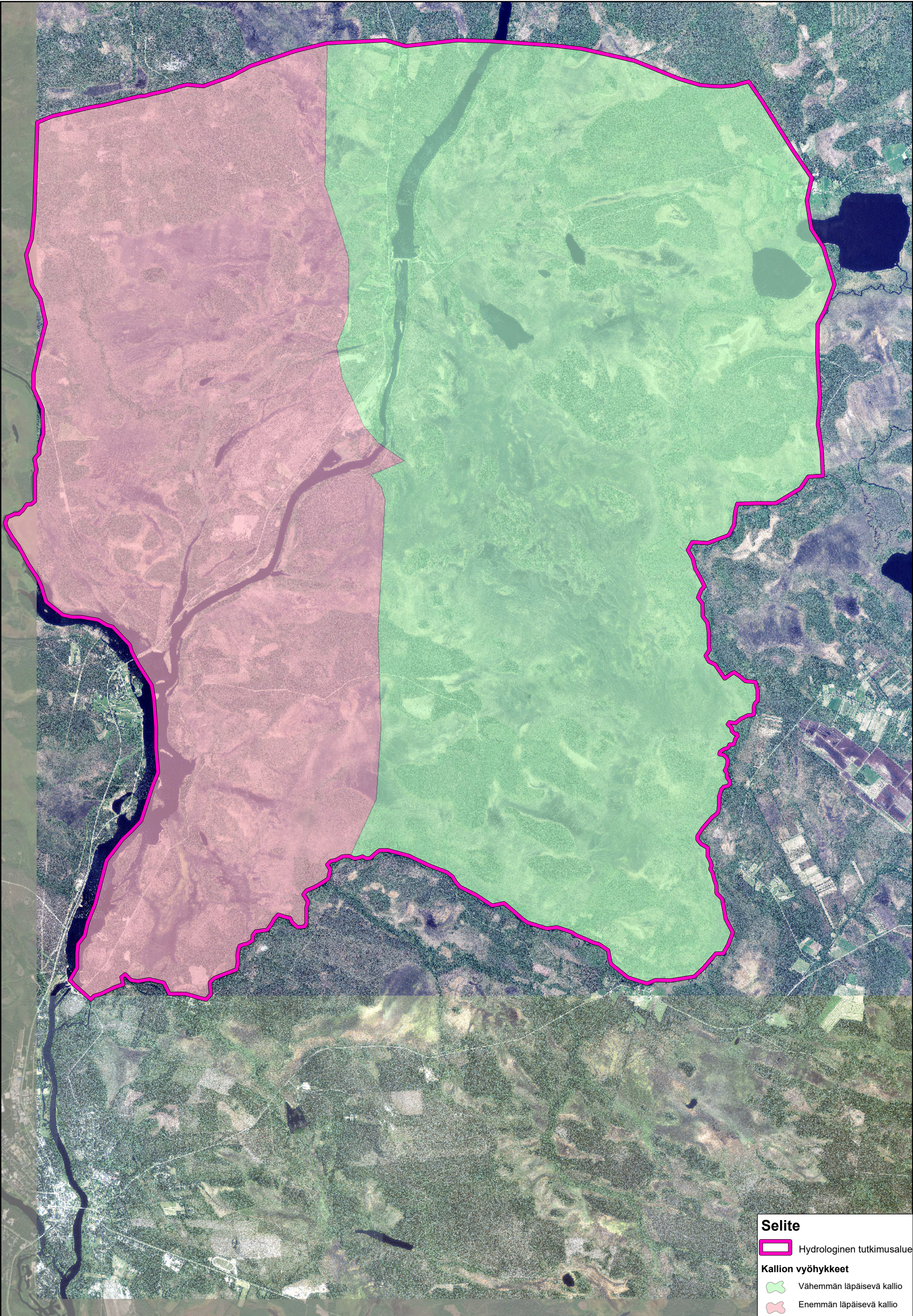
PROJECT NO.	1999
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KVALUES
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022



Sakatin kaivoksen 2022
pohjaveden virtausmallissa
käytetyt vedenjohtavuuden arvot

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
4-4



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Kallion vyöhykkeet

Vähemmän läpäisevä kallio

Enemmän läpäisevä kallio

N

01,2502,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	PermBR
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	May. 24, 2022

ITASCA

Denver, Inc.

Eri kallioperän yksiköiden
simuloidut laajuudet

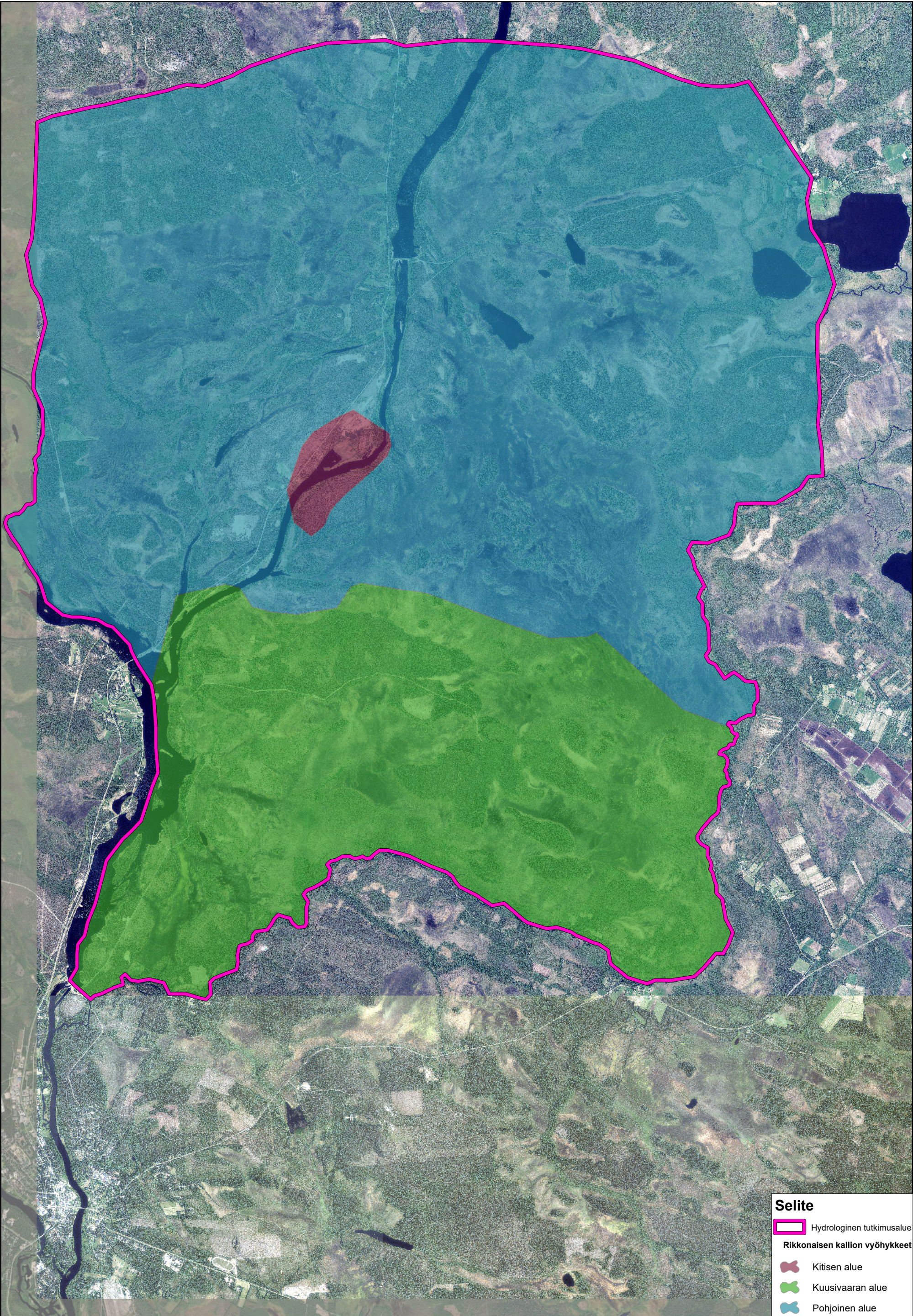
CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

4-5

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\PermBR.mxd



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Rikkonaisten kallion vyöhykkeet

Kitisen alue

Kuusivaaran alue

Pohjoinen alue

N

0

1,300

2,600

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	FracBR
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Feb. 10, 2023

ITASCATM

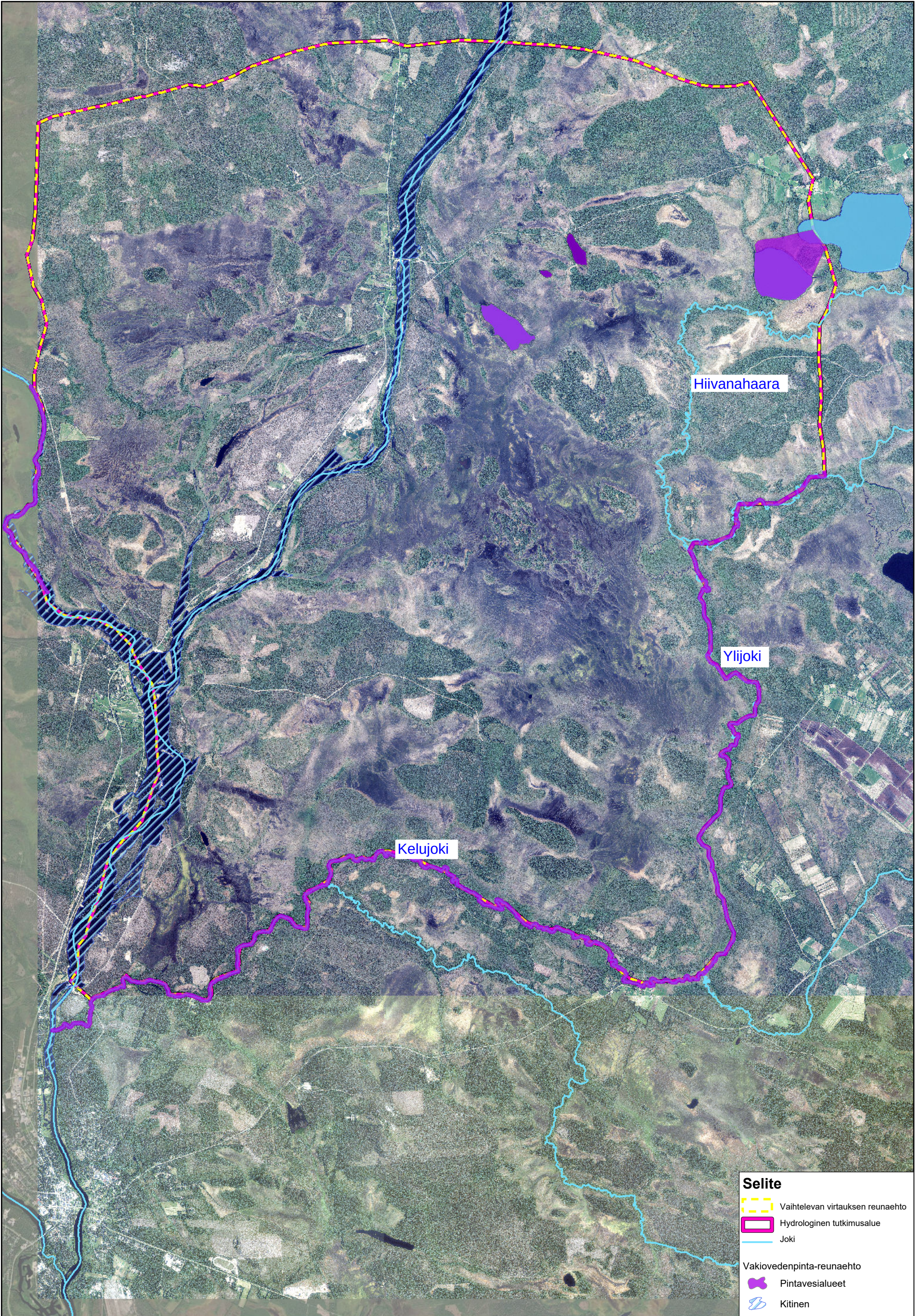
Denver, Inc.

Rikkonaisten kallioperän yksiköiden alueellinen laajuus

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-6

G:\ARC\GIS\4064_Sakatti\MXD\Working\FracBR.mxd



Selite

Vaihtelevan virtauksen reunaehto

Hydrologinen tutkimusalue

Joki

Vakiovedenpinta-reunaehto

Pintavesialueet

Kitinen

N

0

1,250

2,500

Metriä

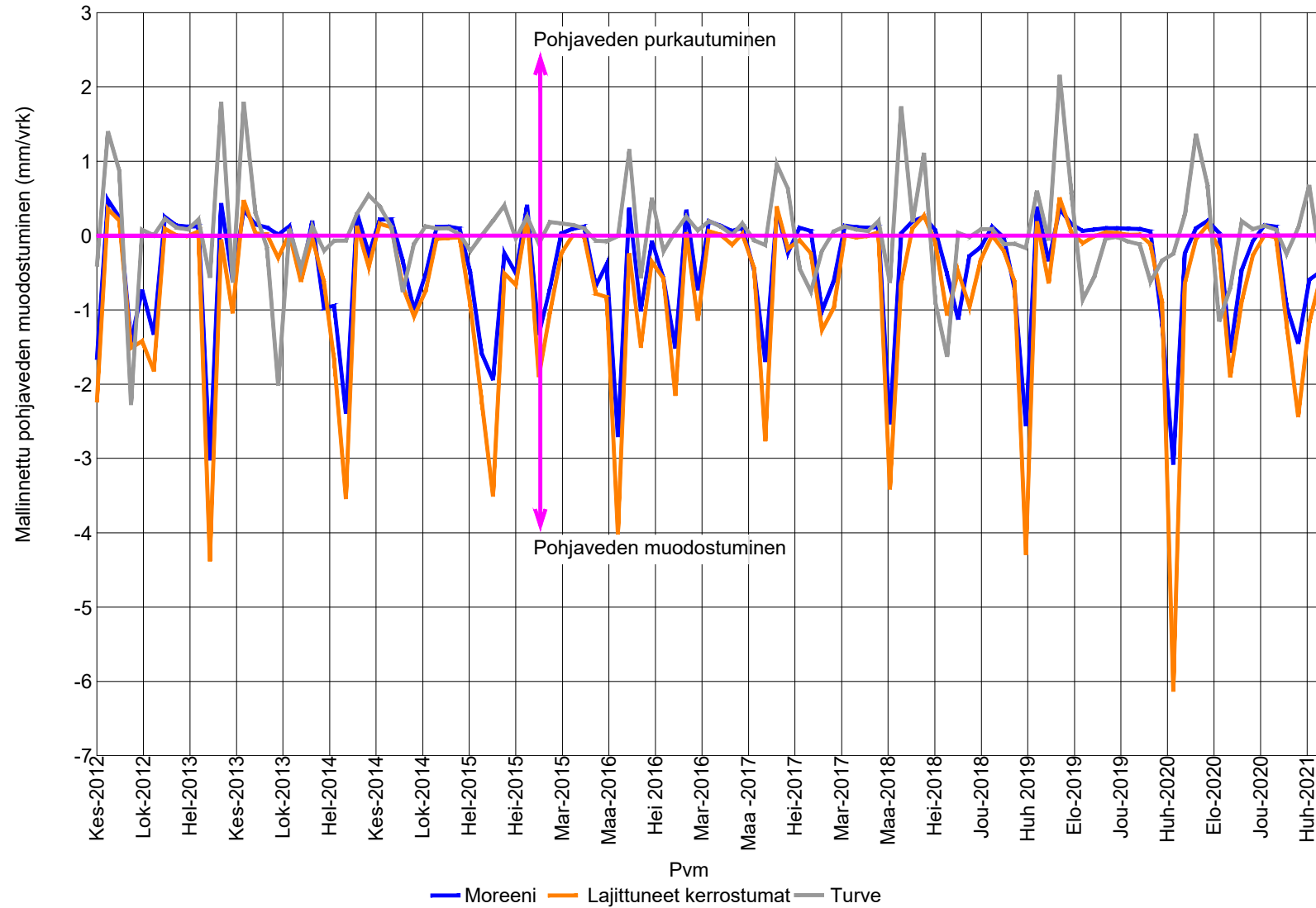
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	SimBoundCon
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jun. 14, 2022

ITASCA™
Denver, Inc.

Pohjaveden virtausmallin
simuloidut reunaehdot

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
4-7



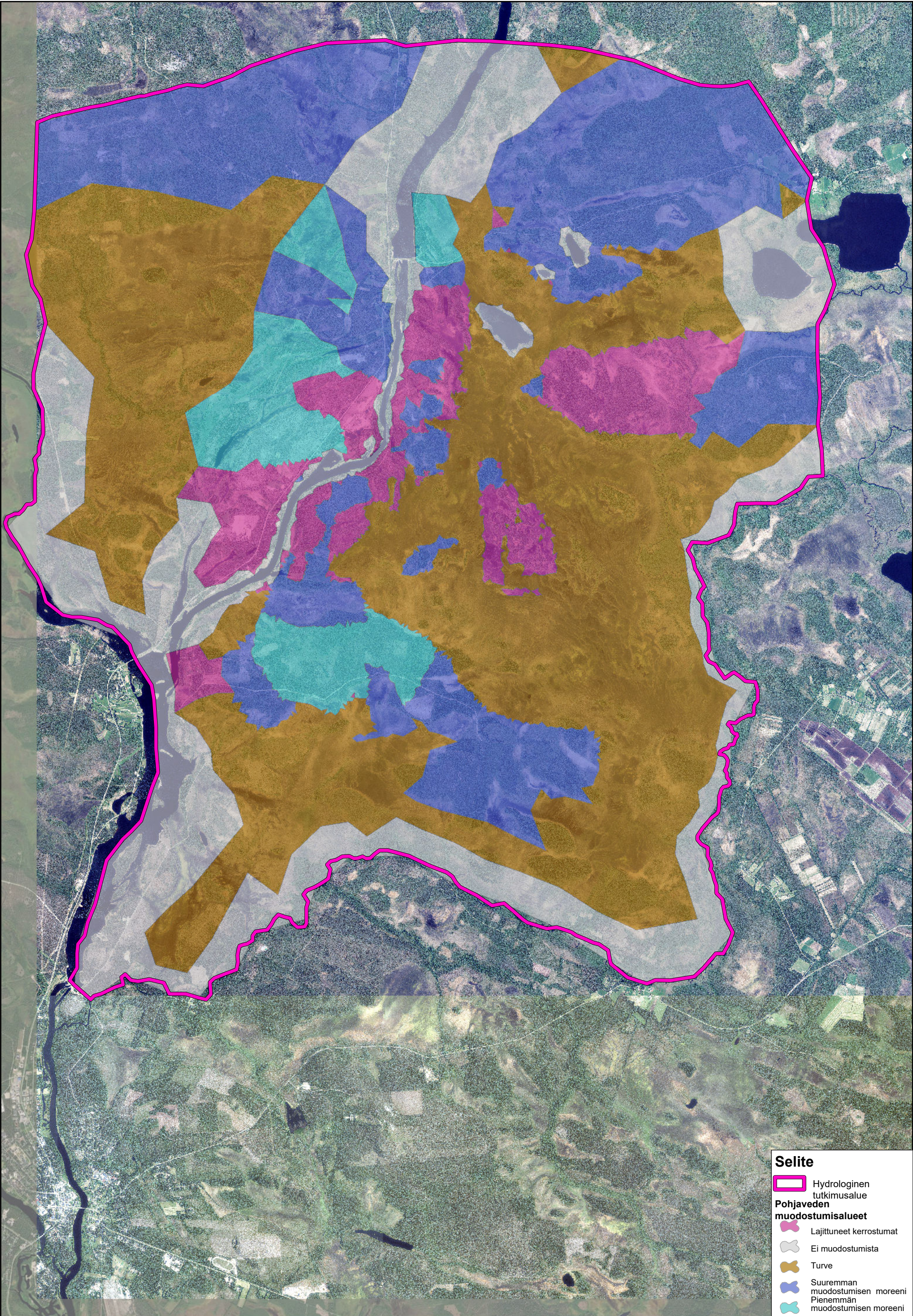
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECHARGE
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022



MIKE SHE -malliin perustuvat
simuloidut pohjaveden
muodostumisen arvot pohjaveden
virtausmallissa

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
4-8



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Pohjaveden muodostumisalueet

Lajittuneet kerrostumat

Ei muodostumista

Turve

Suuremman muodostumisen moreeni

Pienemmän muodostumisen moreeni

N

0

1,250

2,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	SimRecharge
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Aug. 31, 2022

ITASCATM
Denver, Inc.

Pohjaveden muodostumisalueiden
simuloitu alueellinen laajuus
pohjaveden virtausmallissa

CLIENT:

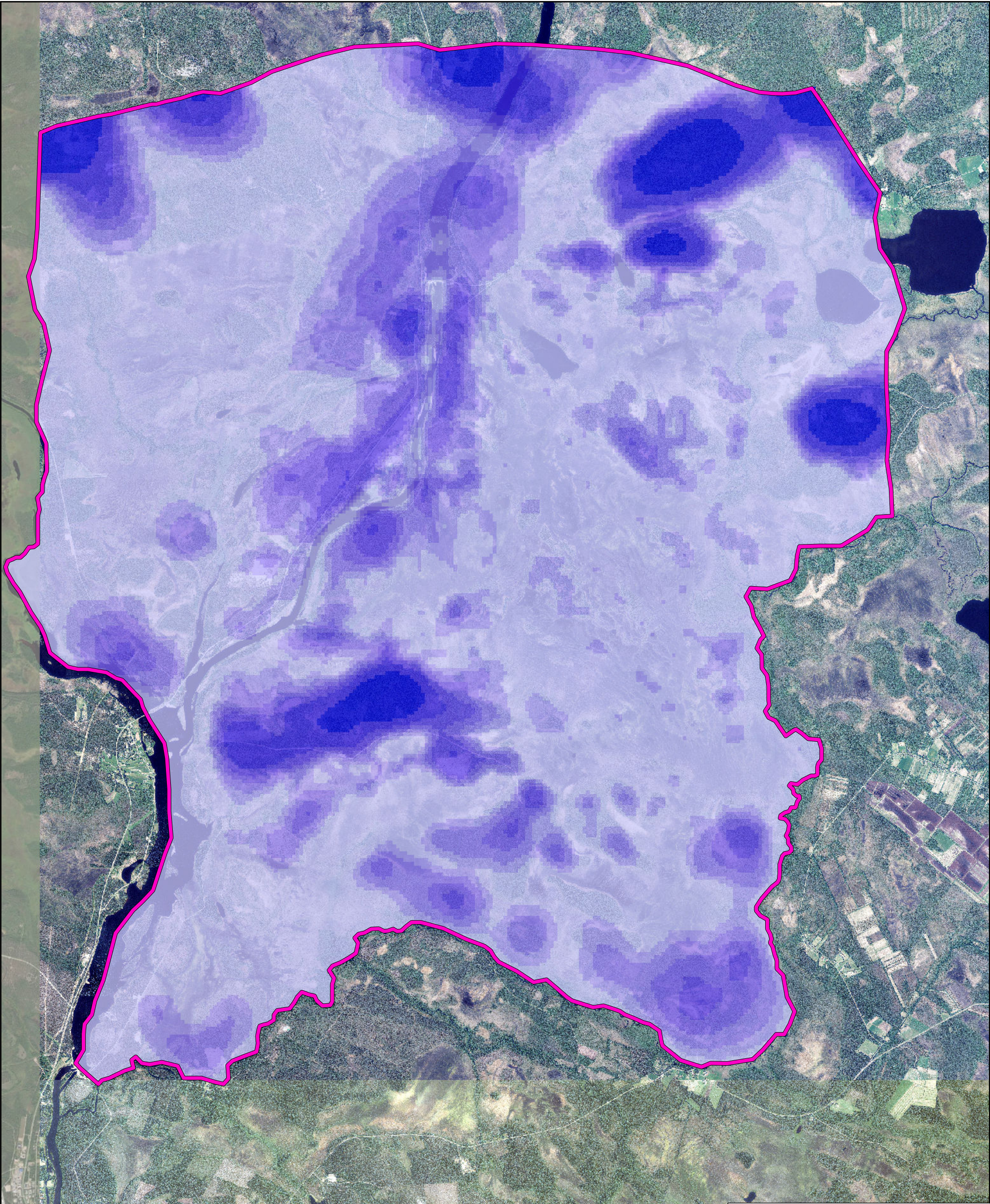
Sakatti Mine

FIGURE NO.

4-9

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\SimRecharge.mxd





Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Mallinnettu pohjaveden pinnan syvyys (m maanpinnasta)

0–0.5

0.5–1

1–2

2–3

3–5

5–10

10+

N

0

1,300

2,600

Metriä

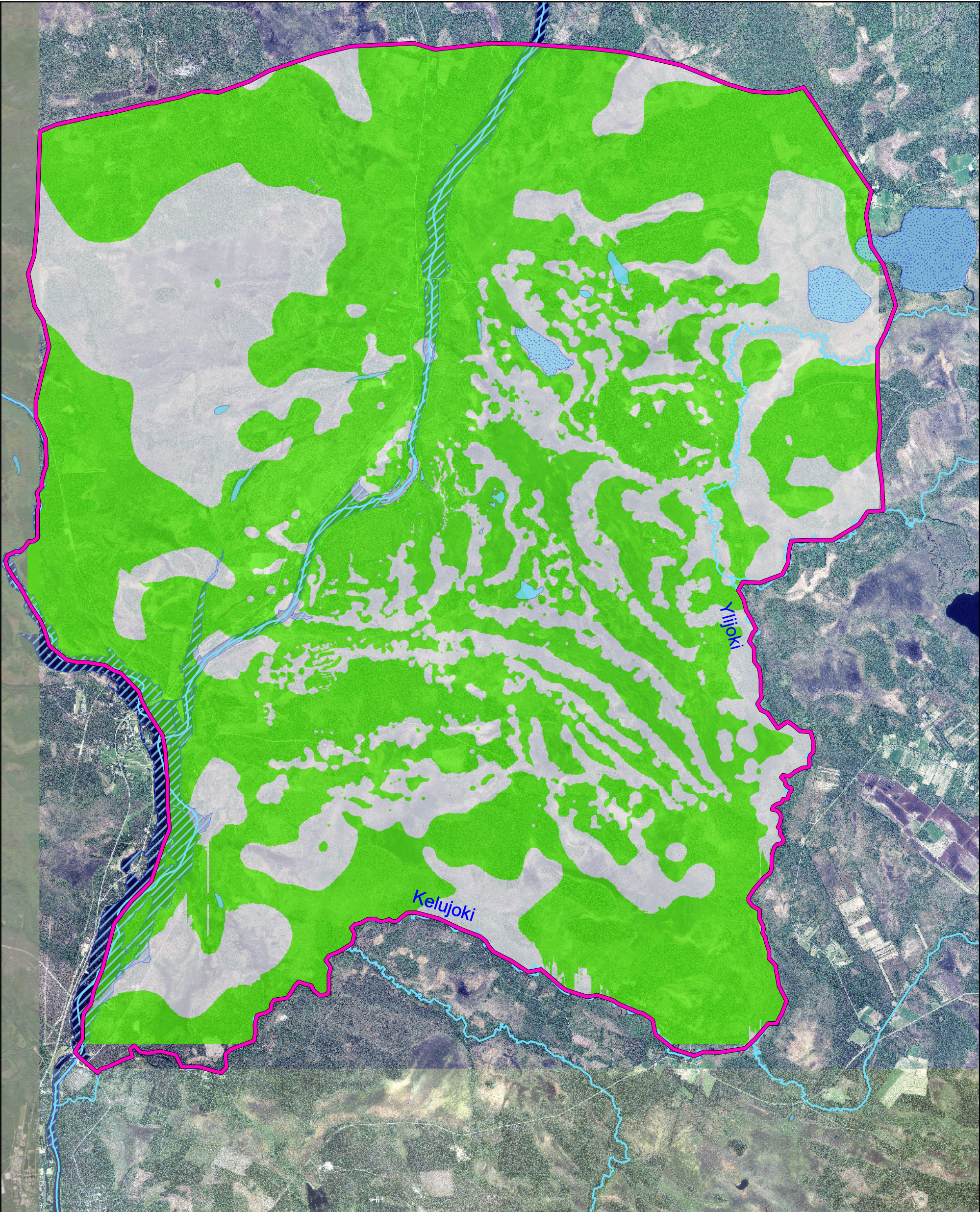
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	SimDepth
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	May. 24, 2022

ITASCA™
Denver, Inc.

Simuloidut pohjaveden syvyydet steady state - mallissa

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
4-11



Selite

Hydrologinen tutkimusalue

Joki

Kitinen

Järvet

Lammikot

Simuloidut purkautumisalueet

Purkautumisalue

Muodostumisalue

N

01,3002,600

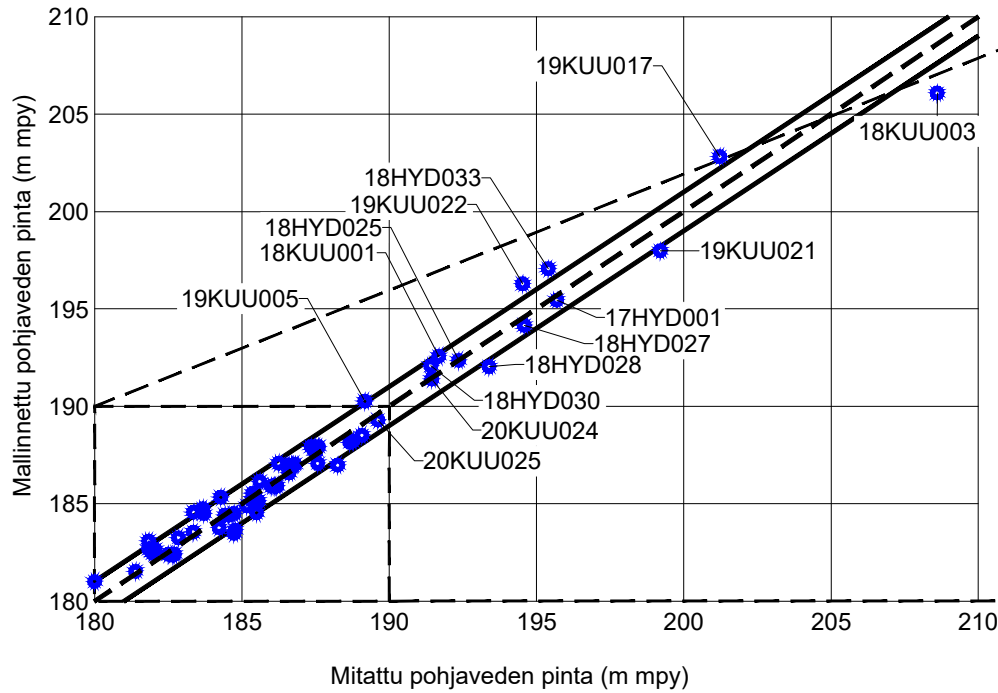
Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Discharge
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	May. 24, 2022

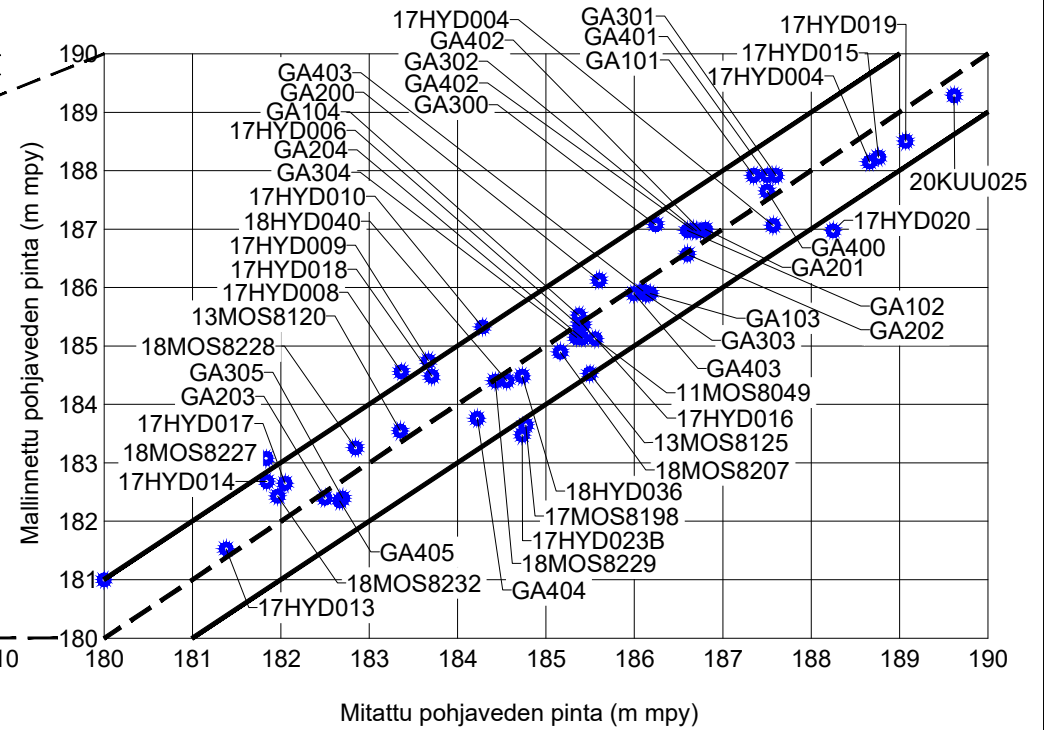
ITASCA
Denver, Inc.

Simuloidut pohjaveden purkautumisen ja muodostumisen alueet steady state -mallissa	
CLIENT: Sakatti Mine	FIGURE NO. 4-12

a) Koko mallin kalibrointi



b) Mallin kalibrointi 180–190 m mpy välillä



Huomio: havaintojen mittausajankohta on esitetty taulukossa 4-3.

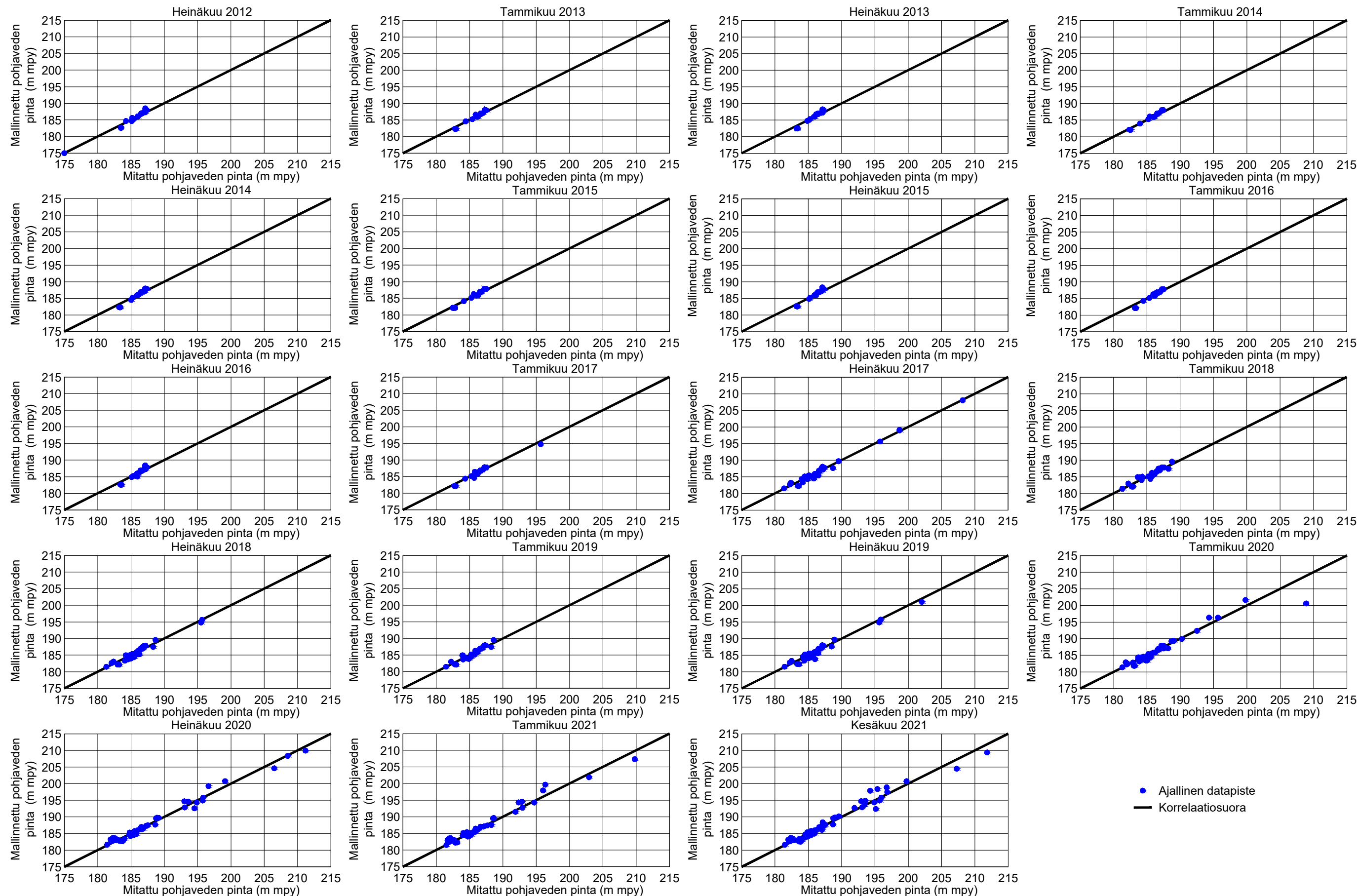
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SS
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	



Steady state -mallin
kalibroinnin hajontakuvi

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
4-13



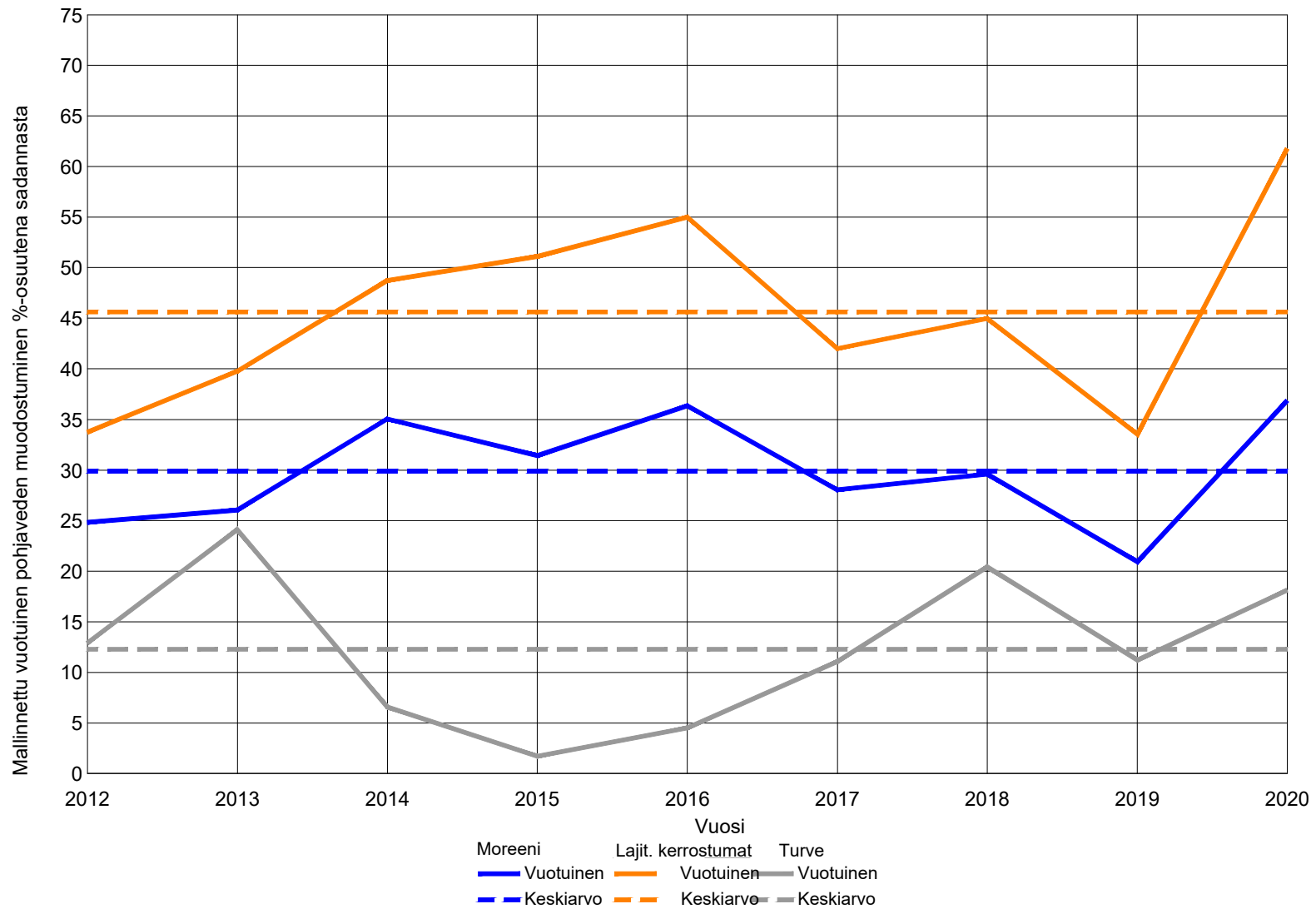
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	TEMP
DRAWING DATE	16 JUN 2022
REVISION DATE	



Virtausmallin transient -kalibroinnin
hajontakuviot

CLIENT:
Sakatti Mine

APPENDIX NO.
4-14



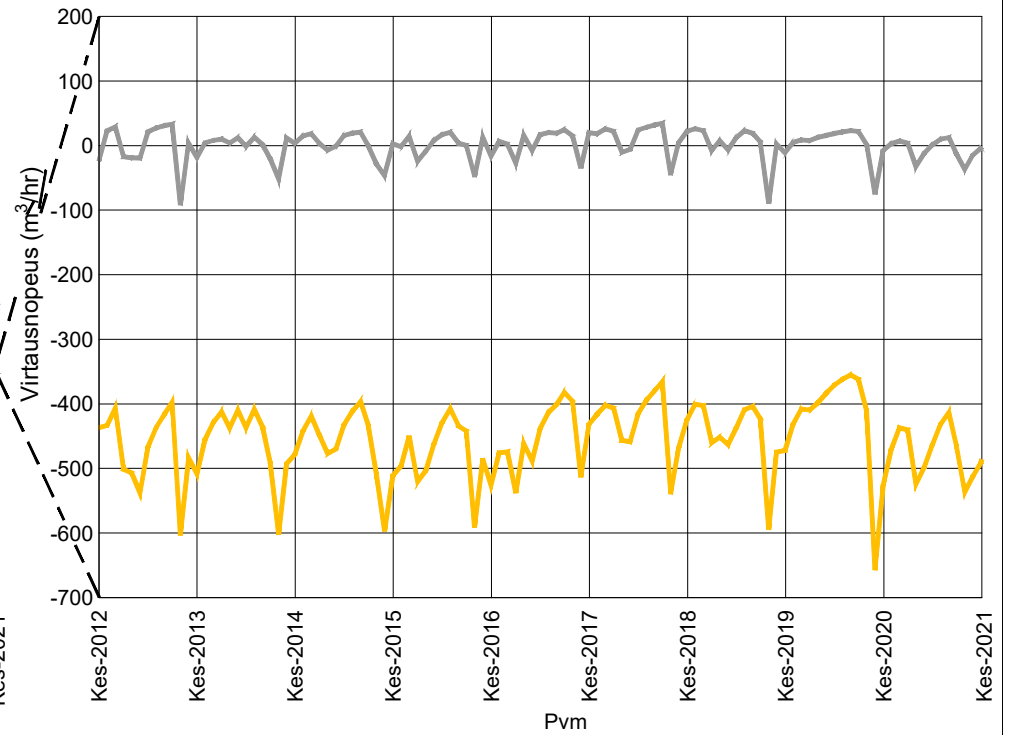
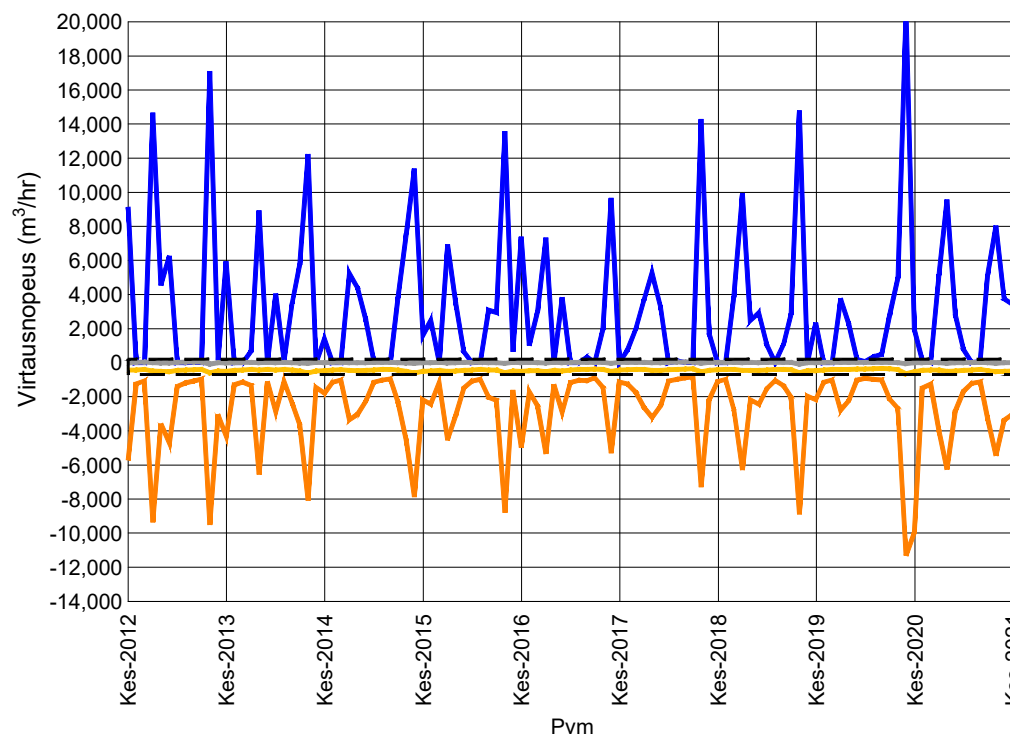
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CAL
DRAWING DATE	16 JUN 2022
REVISION DATE	



Mallinnettu vuotuinen pohjaveden muodostuminen osuutena sadannasta

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
4-15



— Pohjaveden muodostuminen
 — Pintavesivalunta
 — Pohjaveden ulosvirtaus mallista
 — Pohjaveden purkautuminen virtavesiin ja järviin

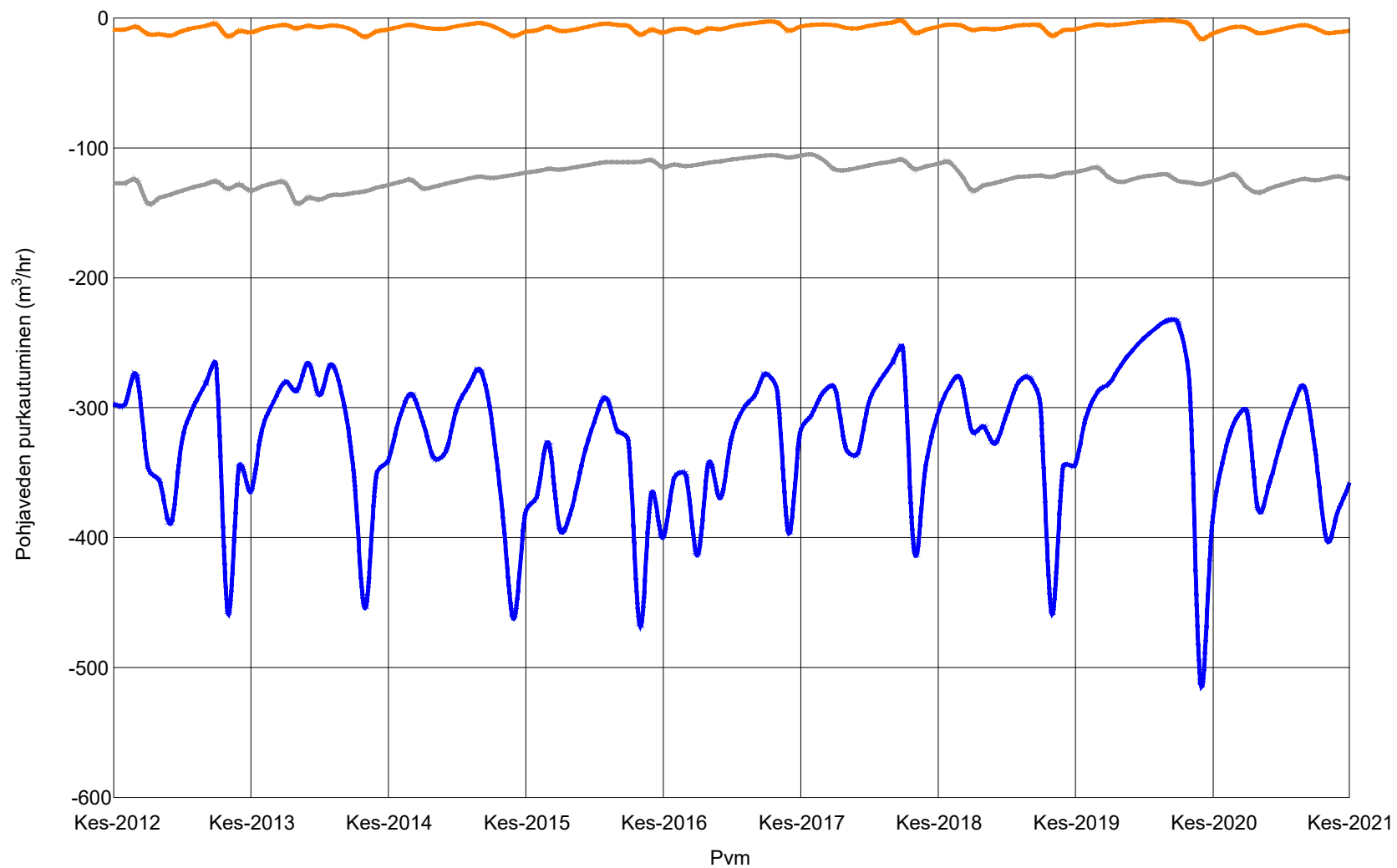
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CAL
DRAWING DATE	14 JUN 2022
REVISION DATE	



Pohjaveden virtausmallin
kalibroitu vesitase

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
4-16



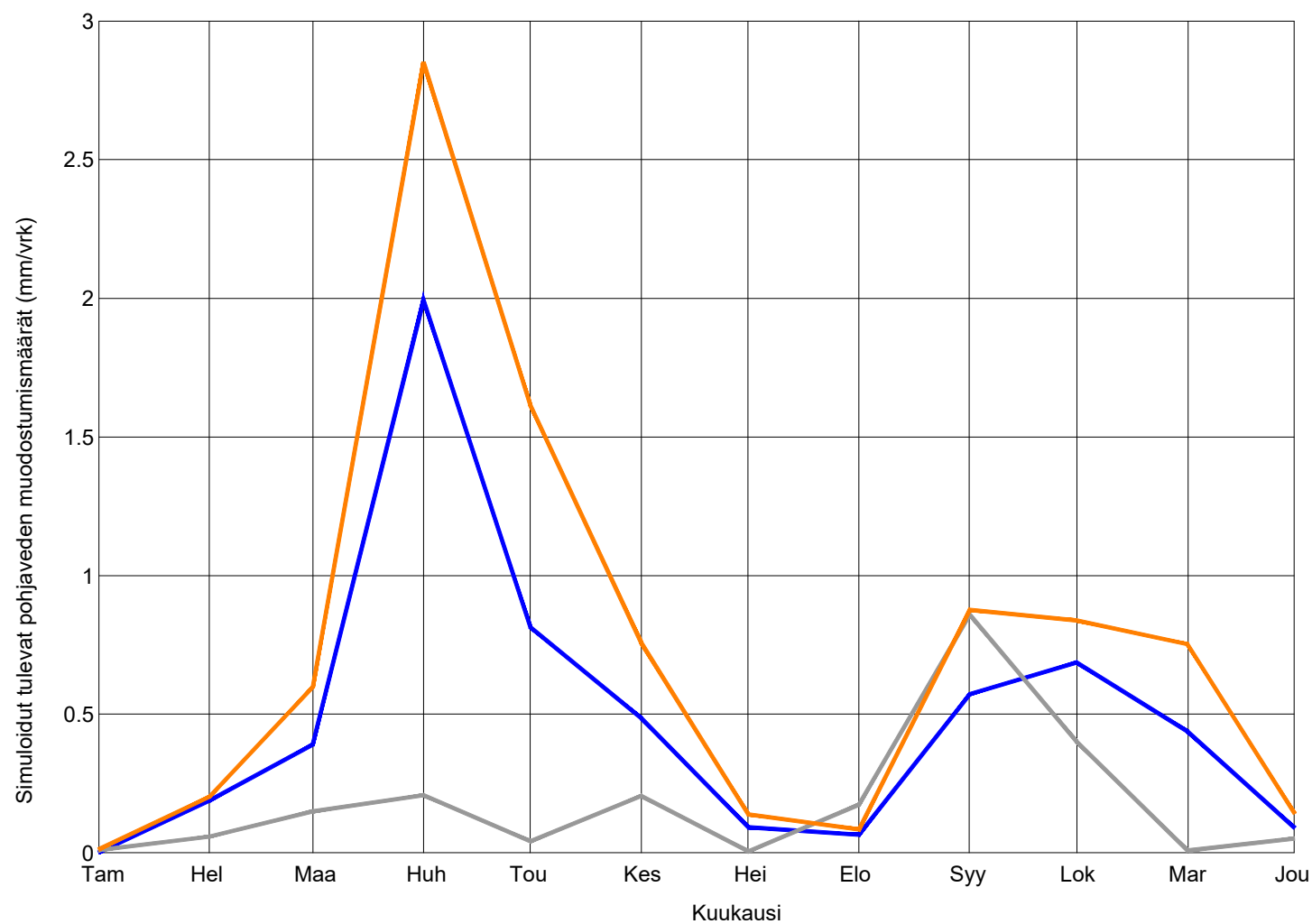
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CAL
DRAWING DATE	14 JUN 2022
REVISION DATE	



Pohjaveden virtausmallissa kalibroitu
pohjaveden purkautuminen suurimpiin
virtavesiin ja järviin

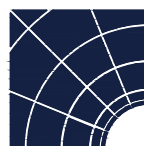
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
4-17



— Moreeni — Lajittuneet kerrostumat — Turve

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECHARGE
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	

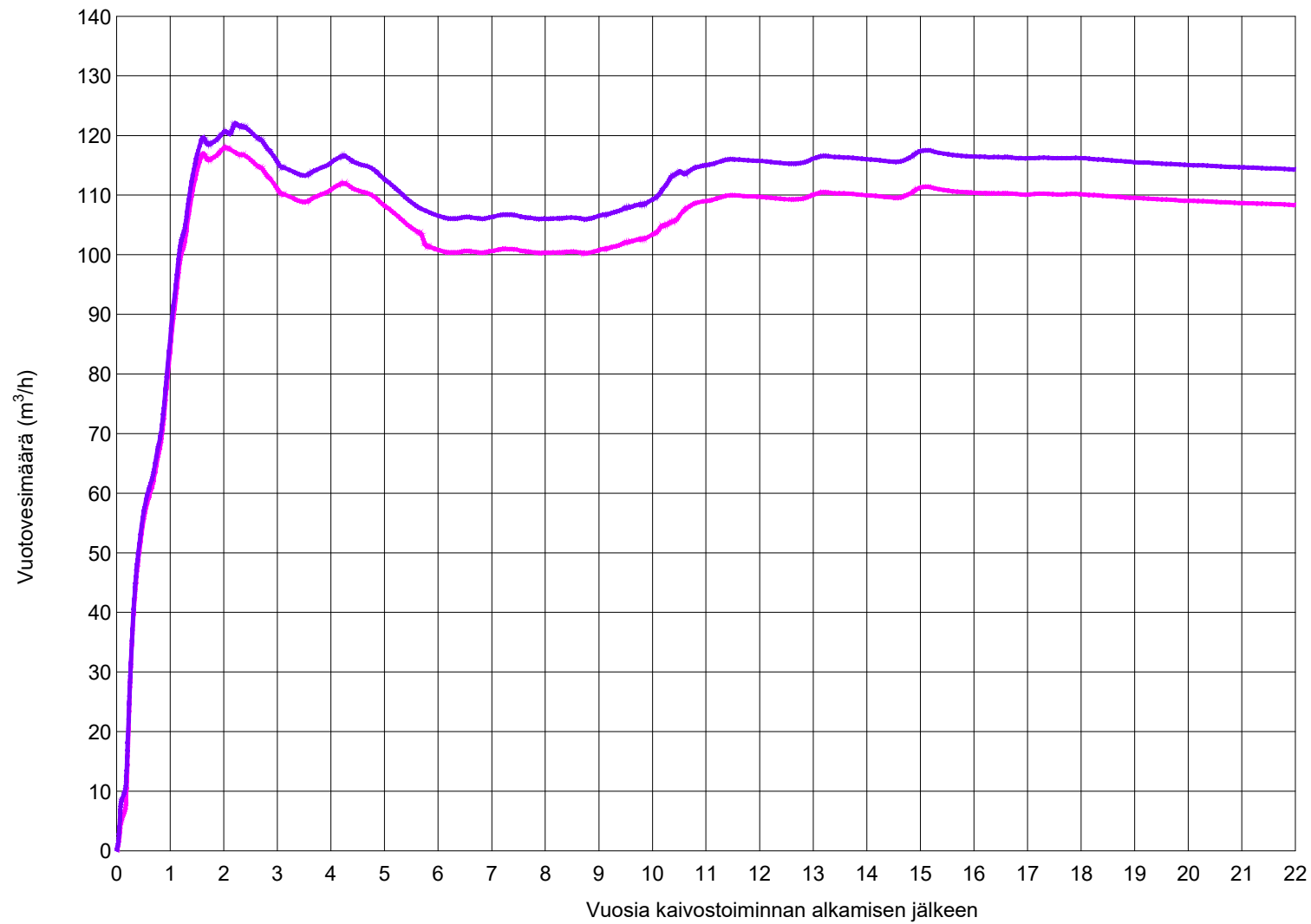


ITASCATM
Denver, Inc.

Simuloidut tulevat pohjaveden
muodostumismäärät

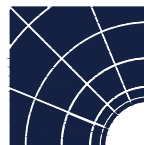
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-1



— 65% tiivistysskenaario — 80% tiivistysskenaario

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

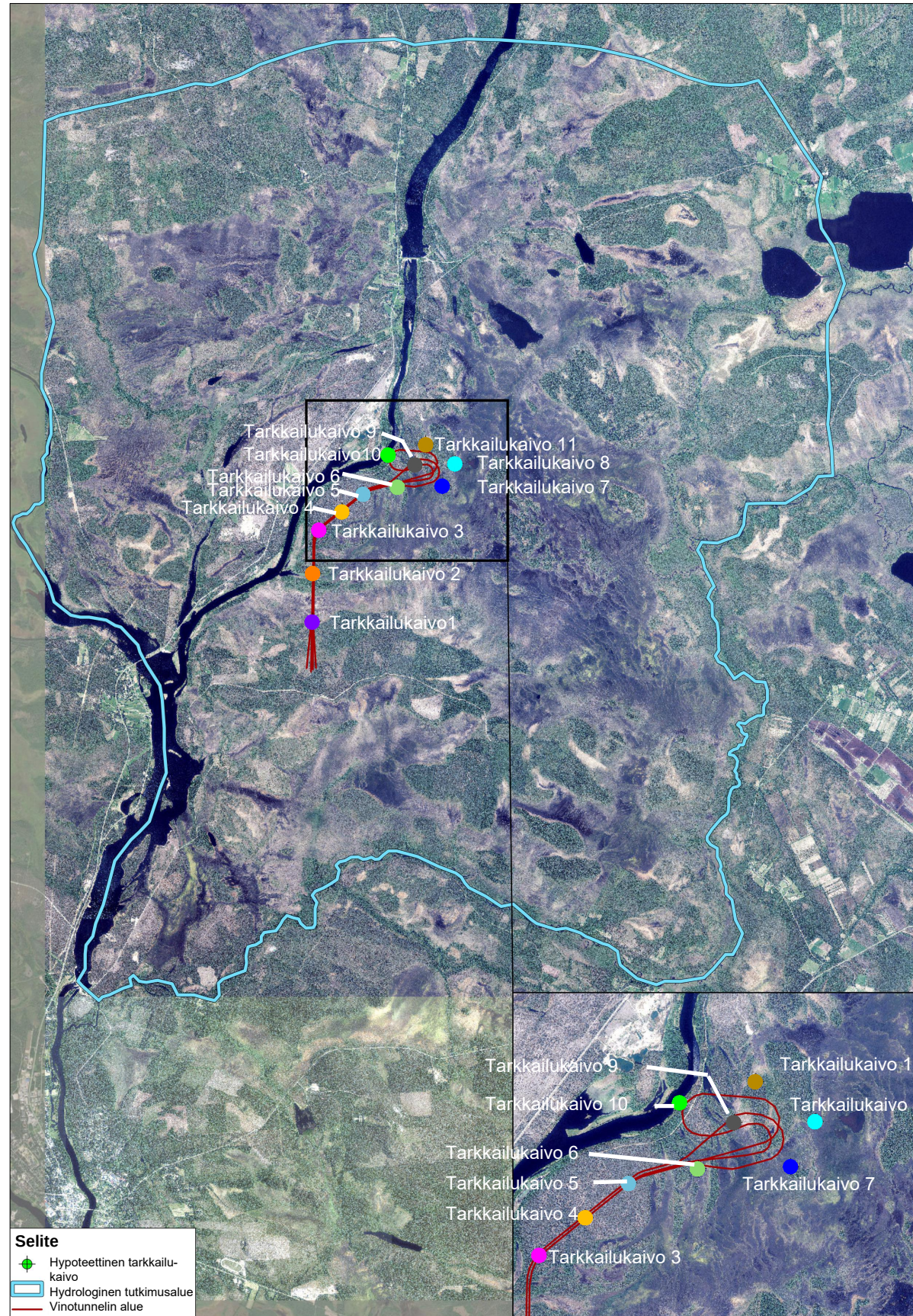


ITASCA
Denver, Inc.

Ennustettu pohjaveden vuotovesimäärä
65% ja 80% tiivistysskenaarioissa

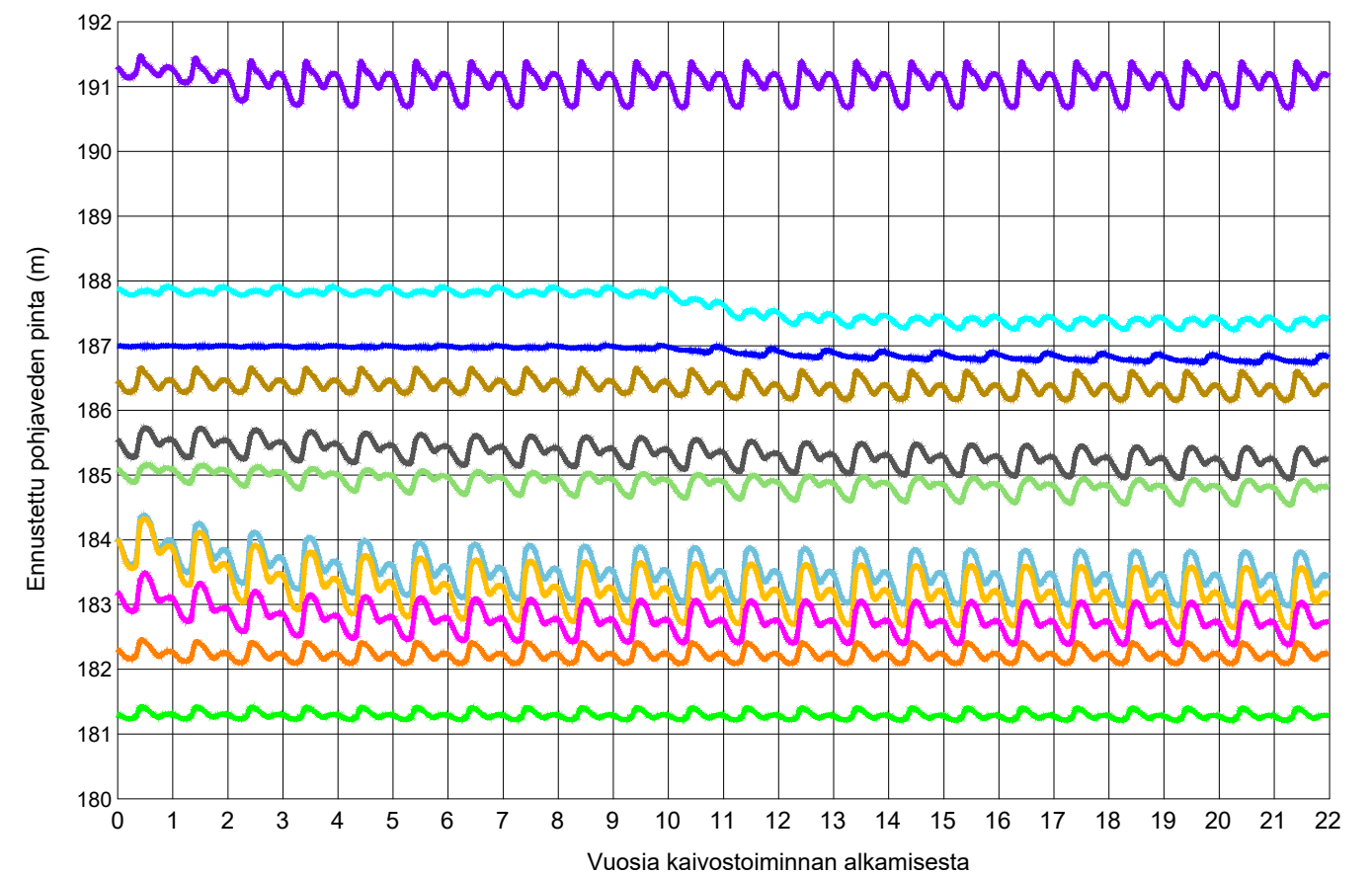
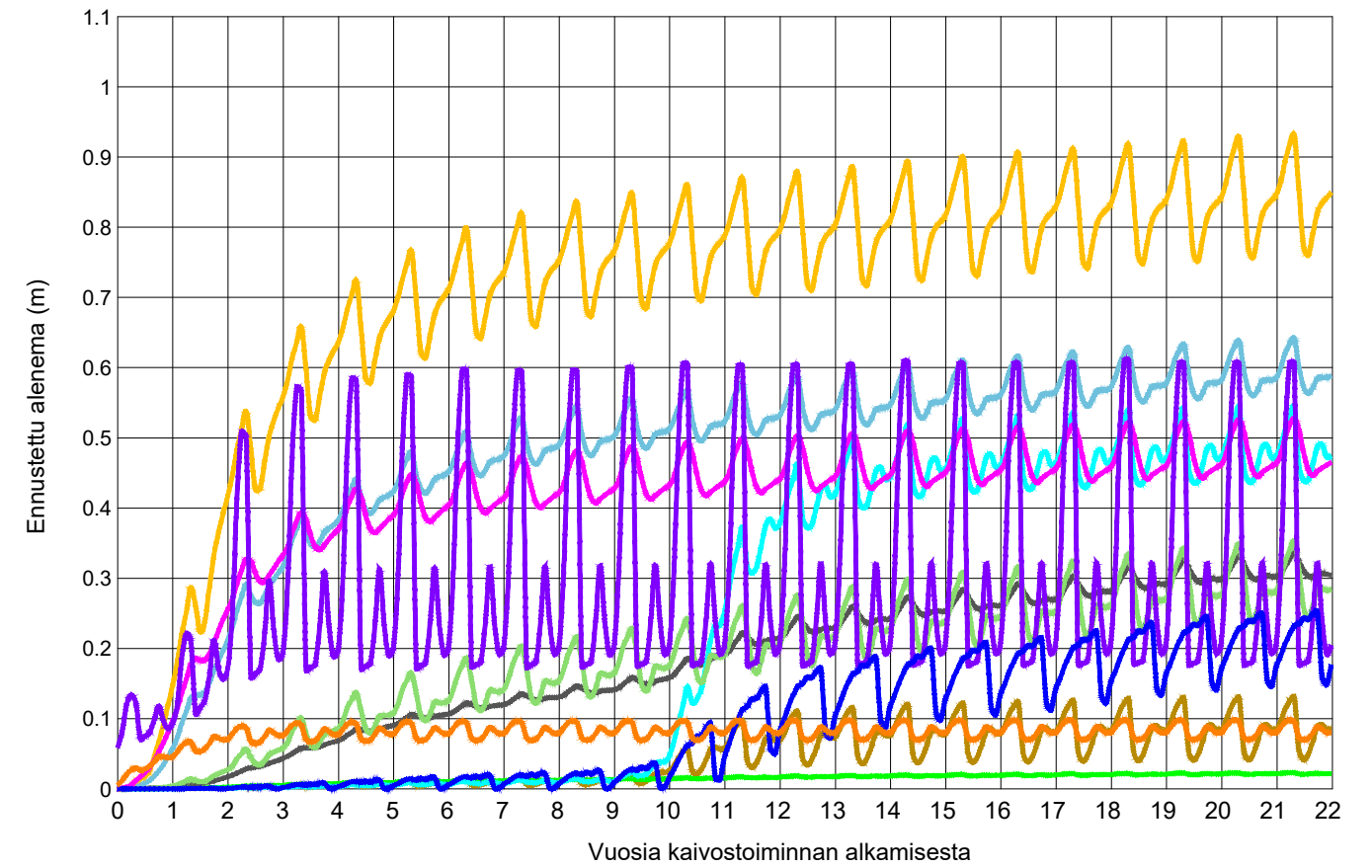
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-2



Hypoteettiset tarkkailukaivot

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



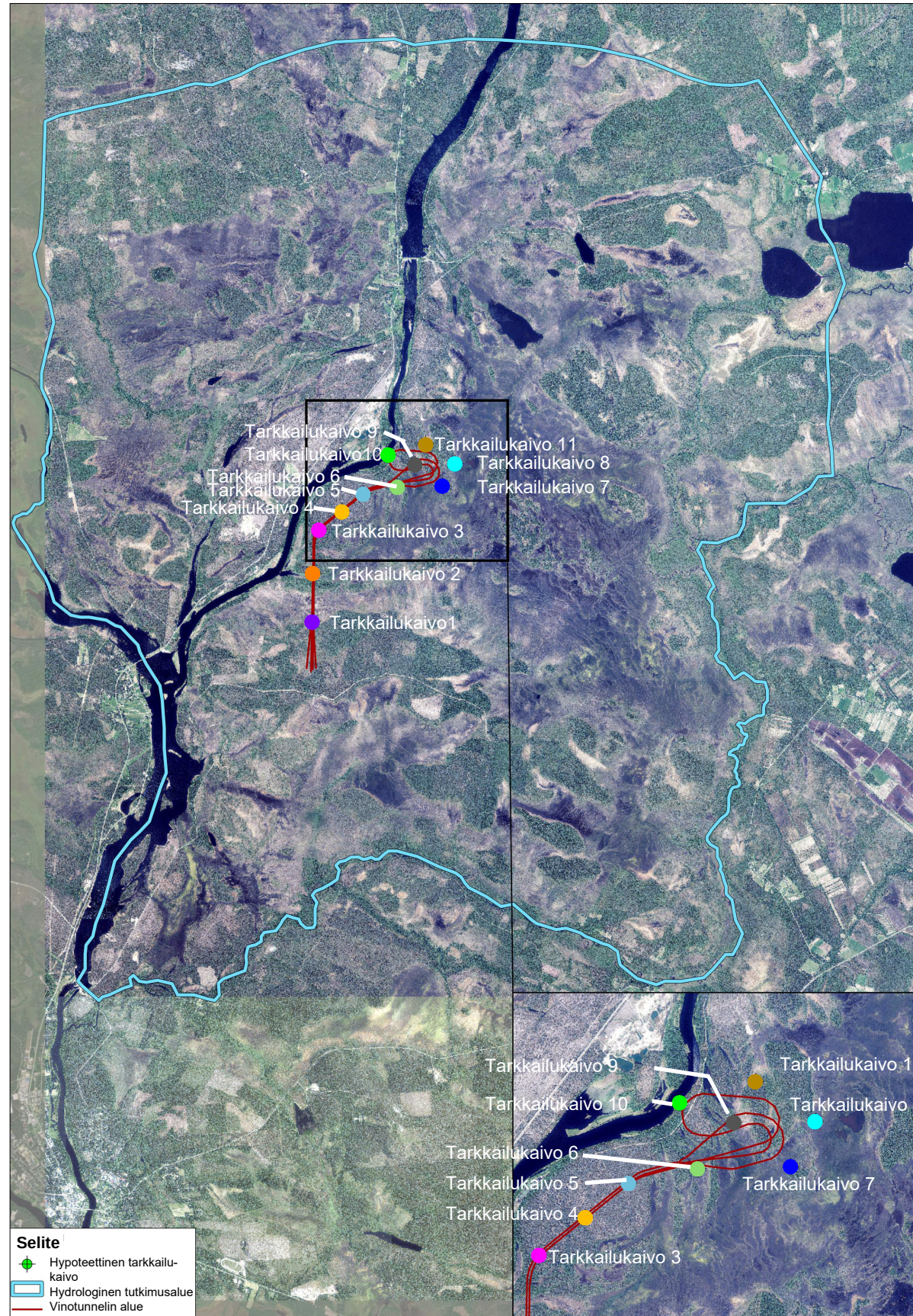
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	



Ennustettu alenema kaivostoiminnan elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistysskenaarioissa

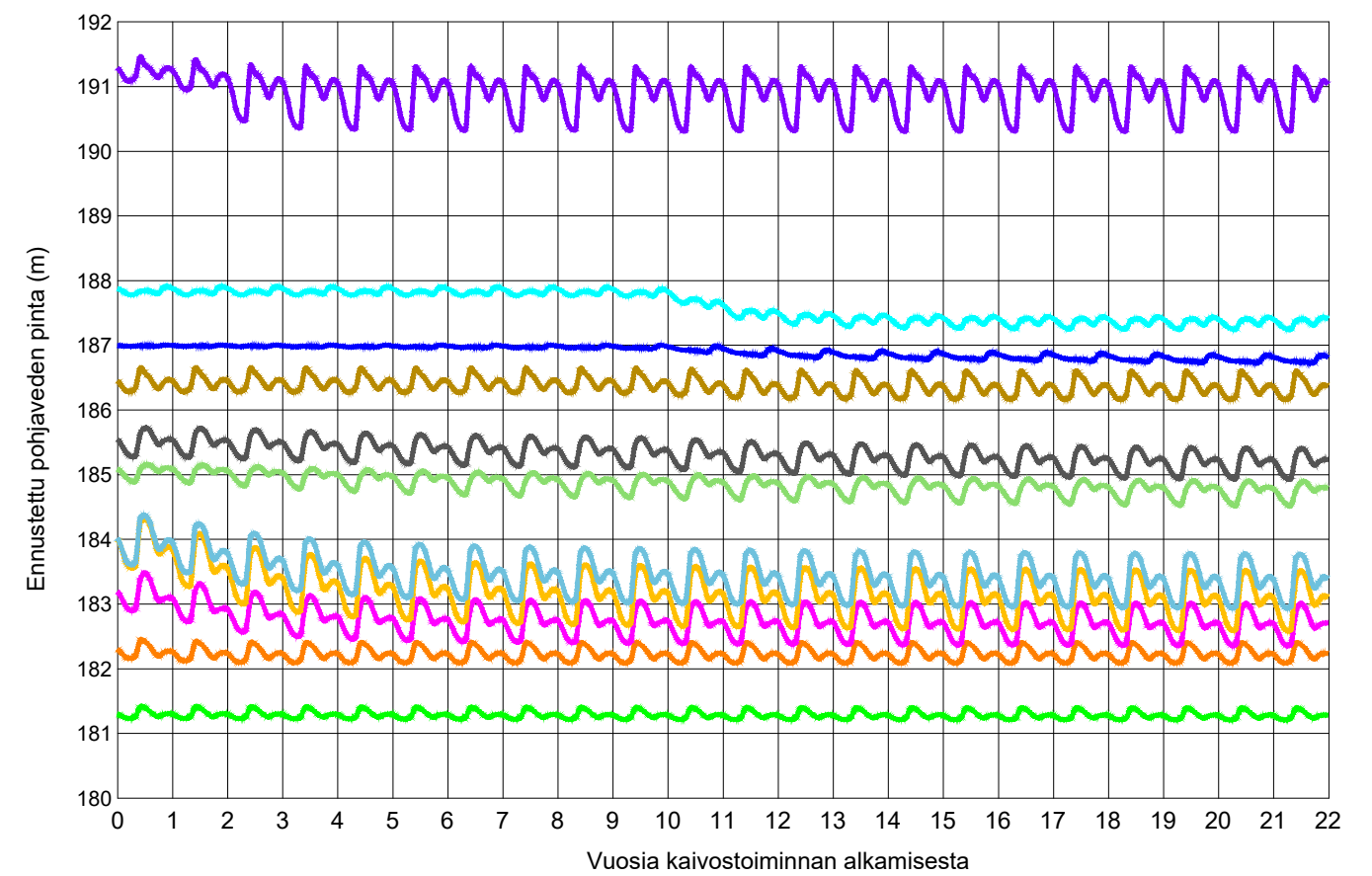
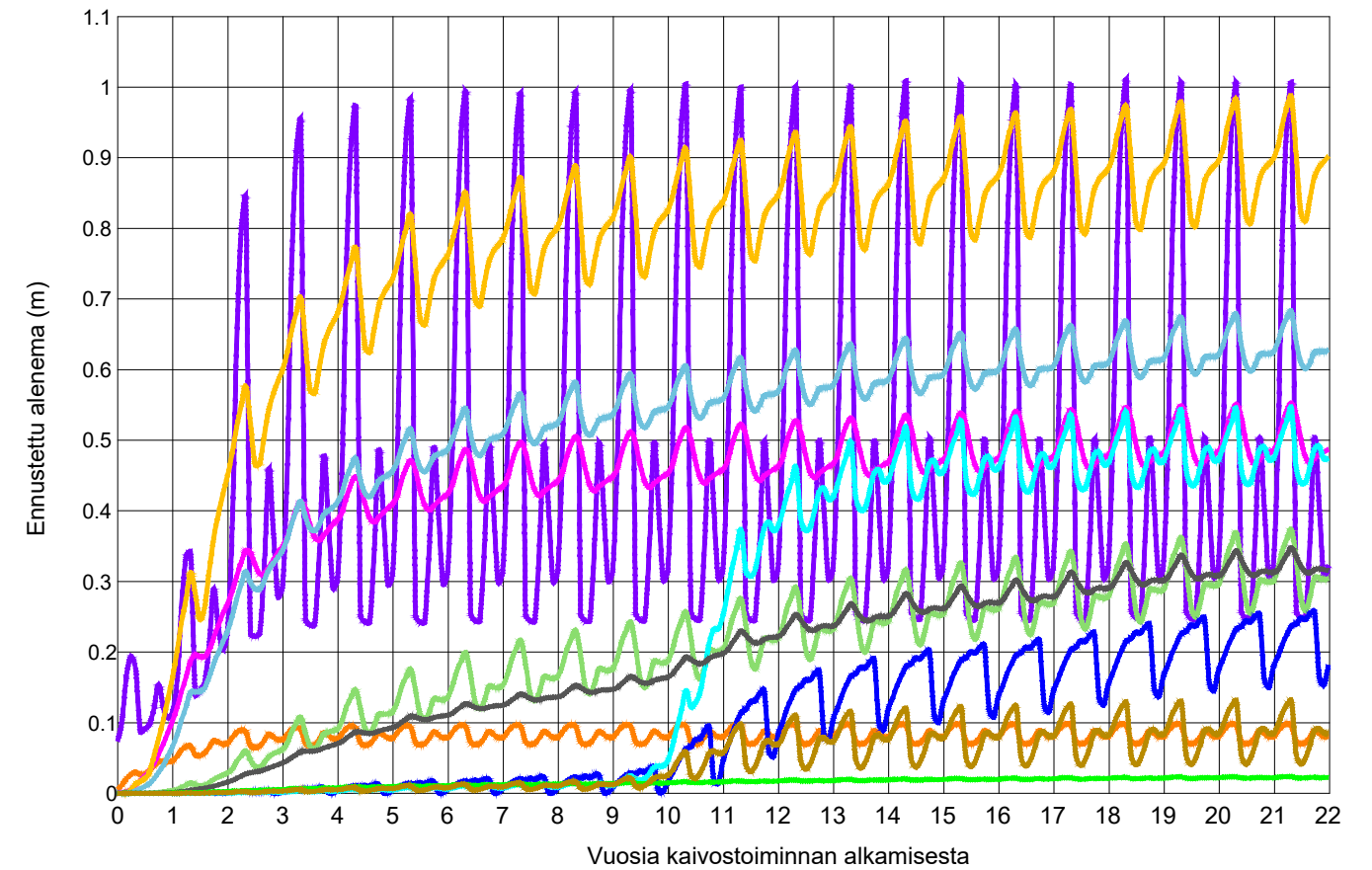
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-3a



Hypoteettiset tarkkailukaivot

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



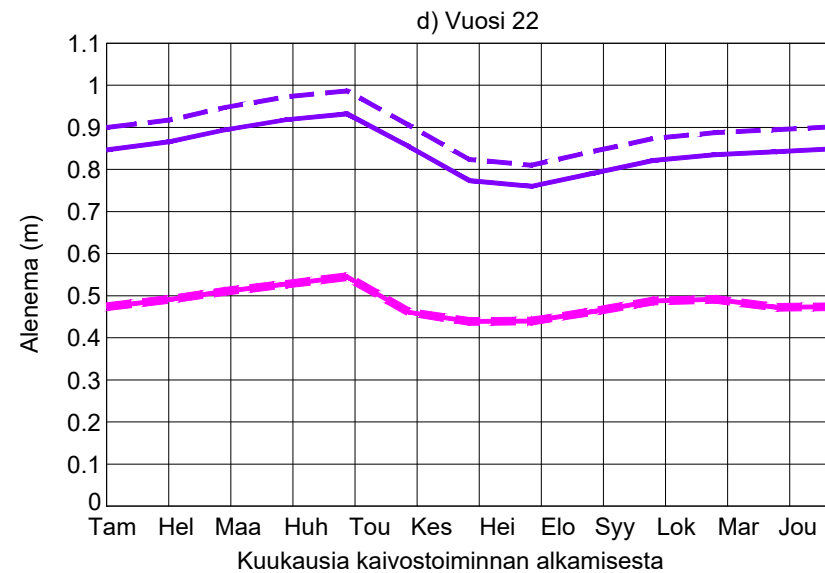
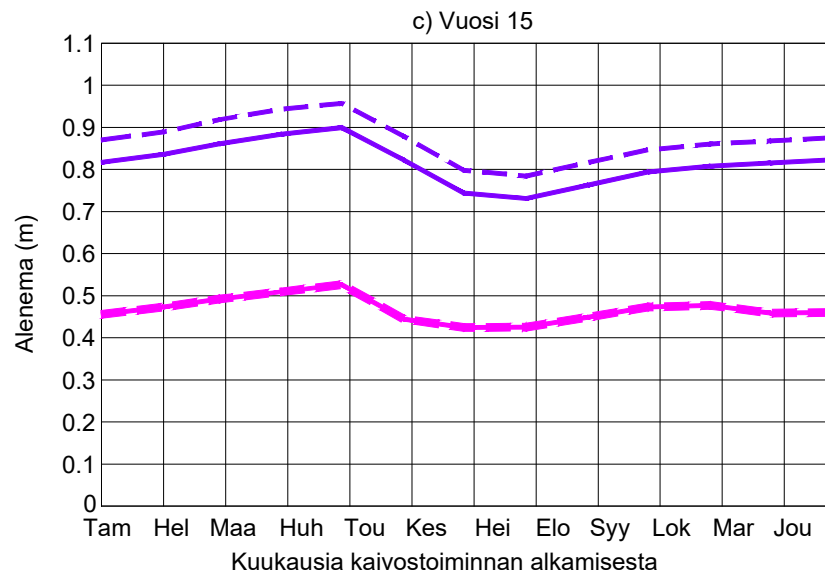
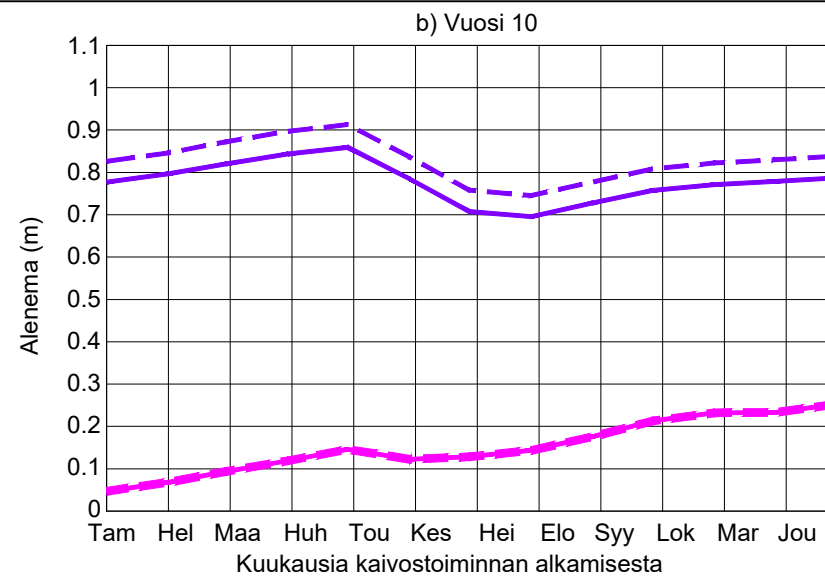
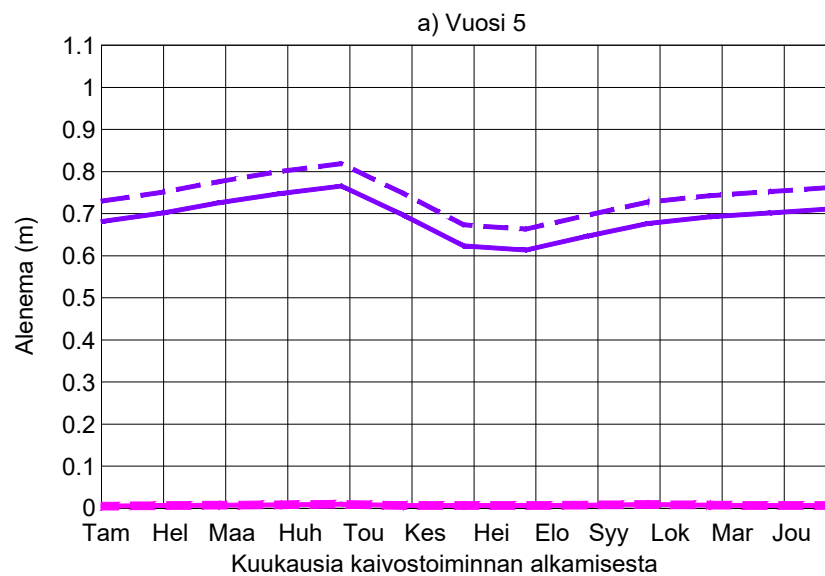
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	



Ennustettu alenema kaivostoiminnan elinkaaren aikana keskeisimmässä sijainneissa 65% tiivistysskenaarioissa

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-3b



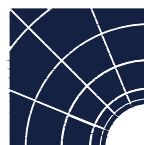
Tarkkailukaivo 4

- 65% tiivistysskenaario
- 80% tiivistysskenaario

Tarkkailukaivo 8

- 65% tiivistysskenaario
- 80% tiivistysskenaario

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	YEAR
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	

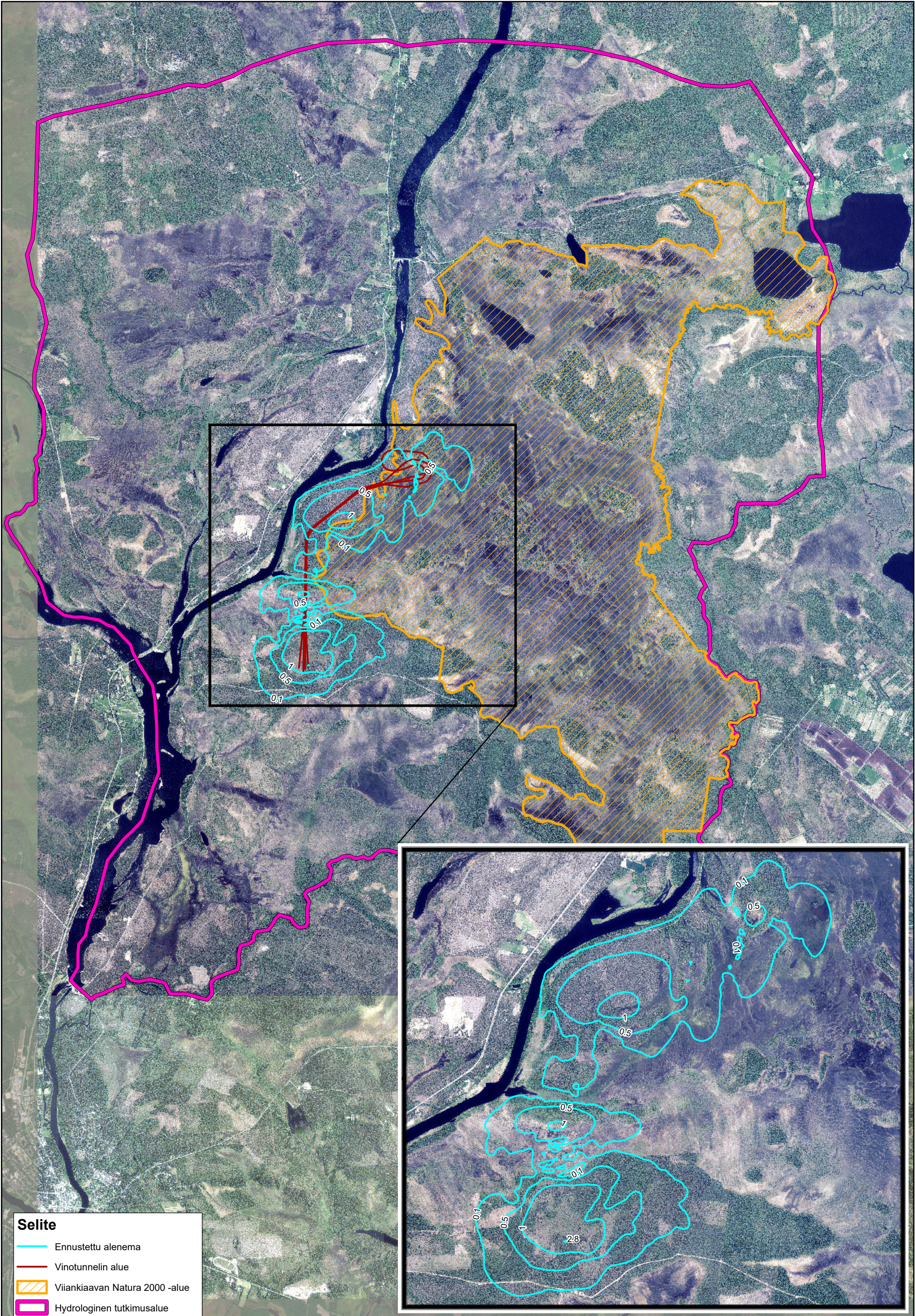


ITASCATM
Denver, Inc.

Havaintopaikkojen alenemat
kaivoksen elinkaaren aikana

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-4



Selite

Ennustettu alenema

Vinotunnelin alue

Viiankiaavan Natura 2000 -alue

Hydrologinen tutkimusalue

N

01,2502,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_Prac
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jan. 12, 2023



ITASCA
Denver, Inc.

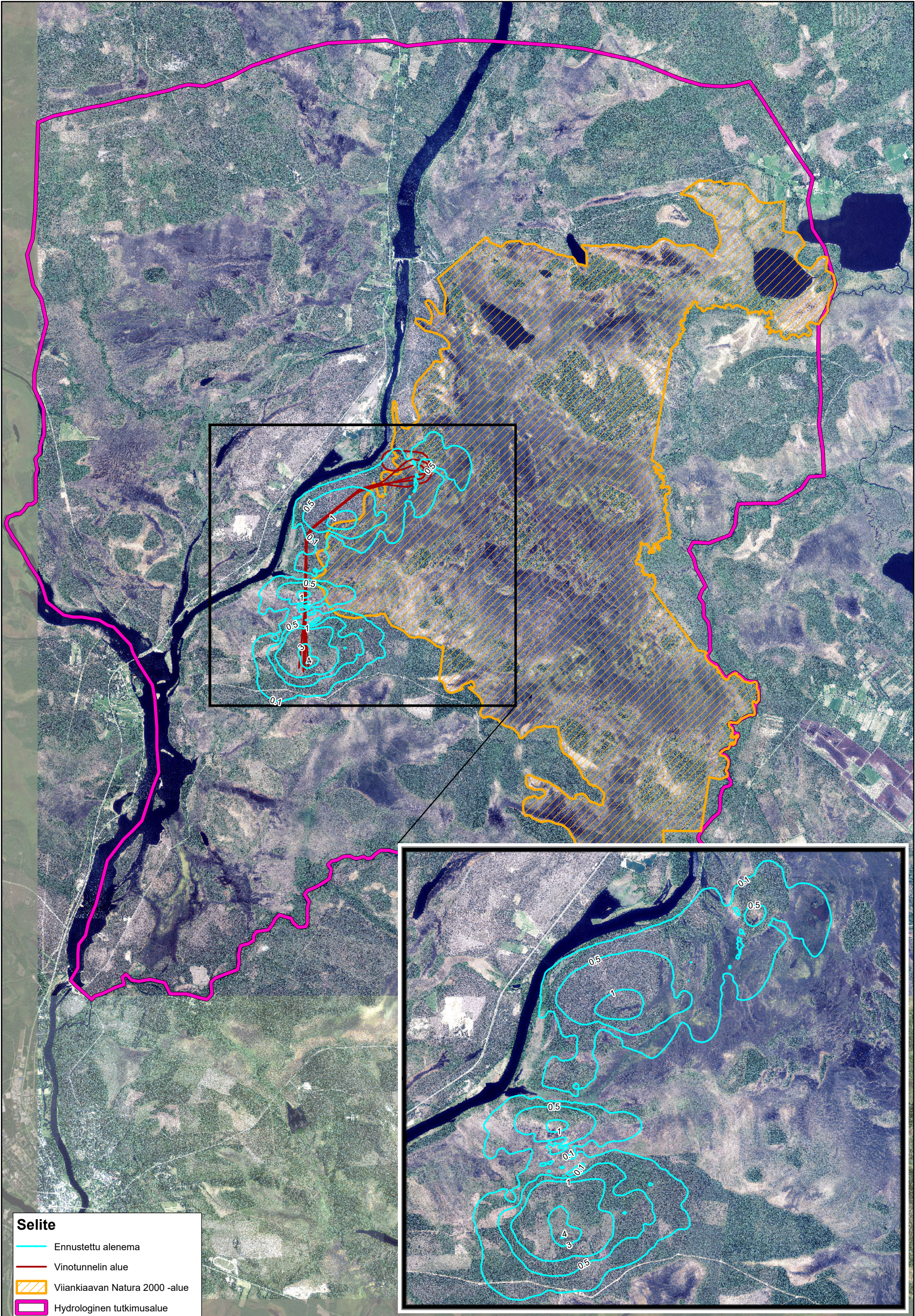
Ennustettu alenema kaivostoiminnan
lopussa 80% tiivistysskenaarioissa

CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

5-5a



Selite

Ennustettu alenema

Vinotunnelin alue

Viiankiaavan Natura 2000 -alue

Hydrologinen tutkimusalue

N

01,2502,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_Challenge
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jan. 13, 2023



ITASCA

Denver, Inc.

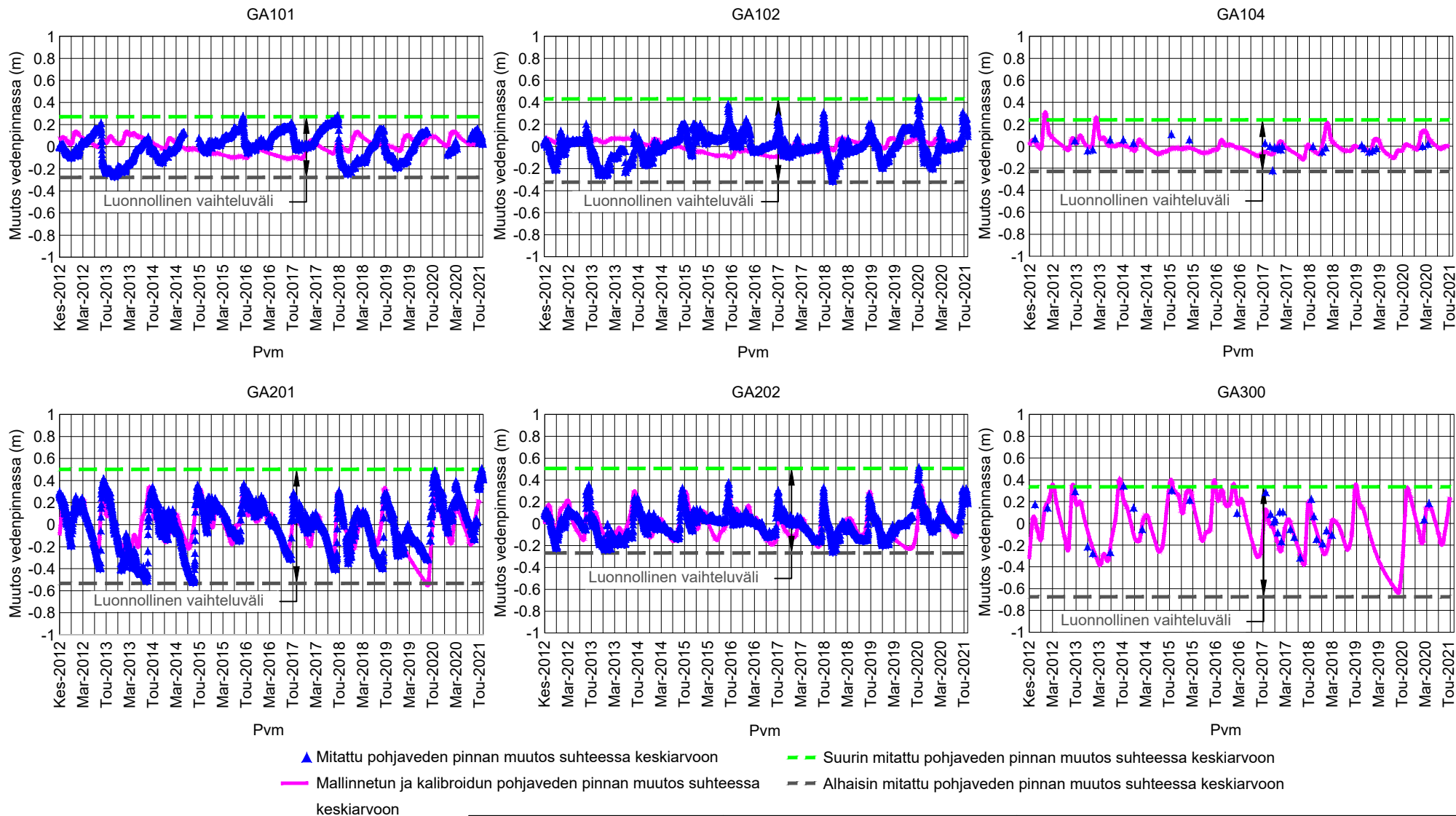
Ennustettu alenema kaivostoiminnan
lopussa 65% tiivistysskenaarioissa

CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

5-5b



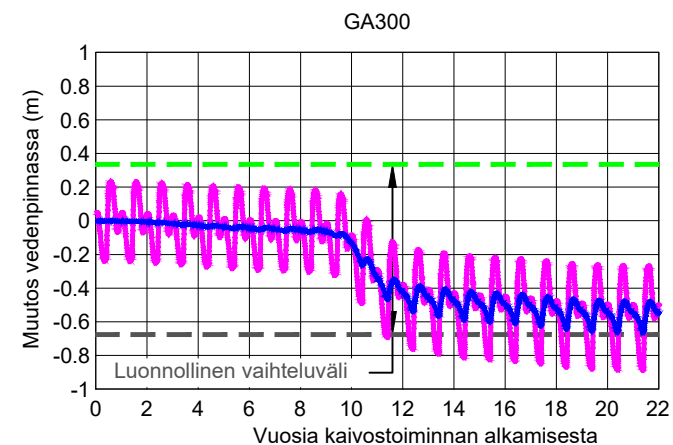
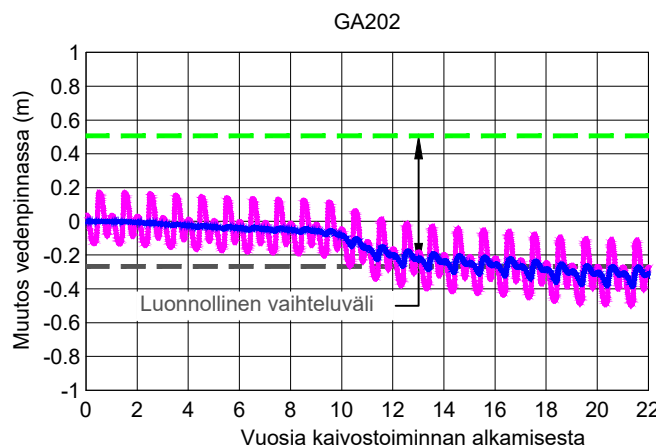
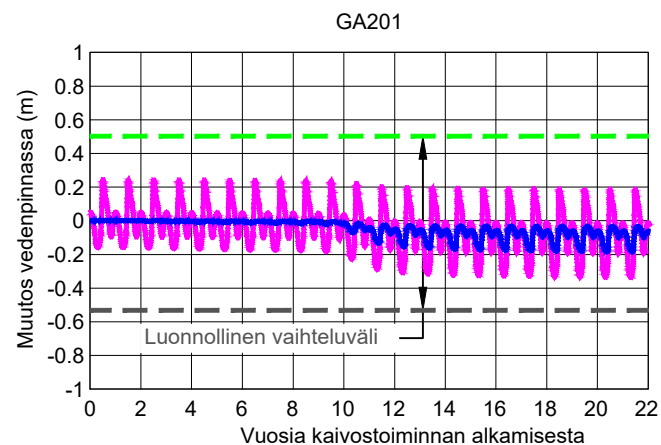
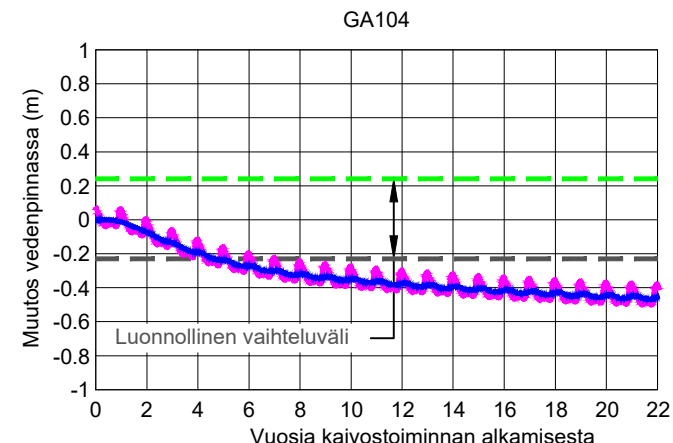
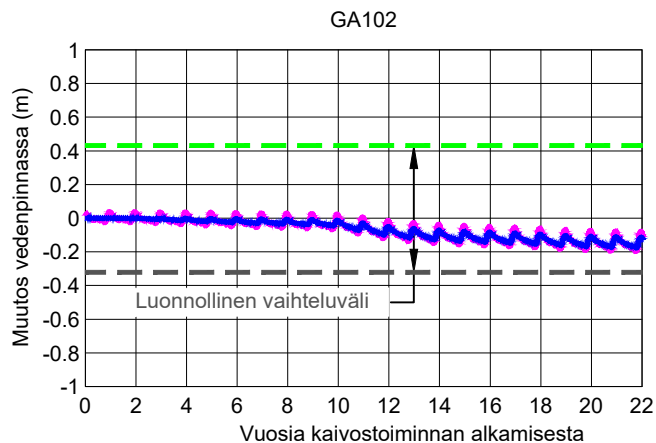
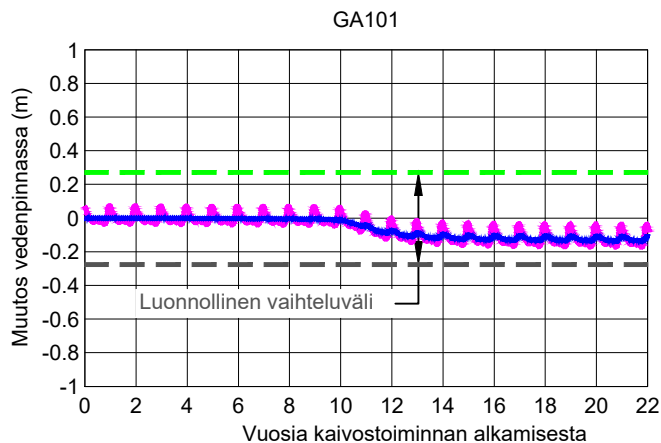
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	



Mitattujen ja simuloitujen
pohjaveden pinnankorkeuksien
vuodenaikaisvaihtelu

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-6



— Ennustettu alenema
— Ennustettu pohjaveden pinnan muutos suhteessa keskiarvoon

— Suurin pohjaveden pinnanmuutos suhteessa keskiarvoon vuosilta 2012-2021
— Alhaisin pohjaveden pinnanmuutos suhteessa keskiarvoon vuosilta 2012-2021

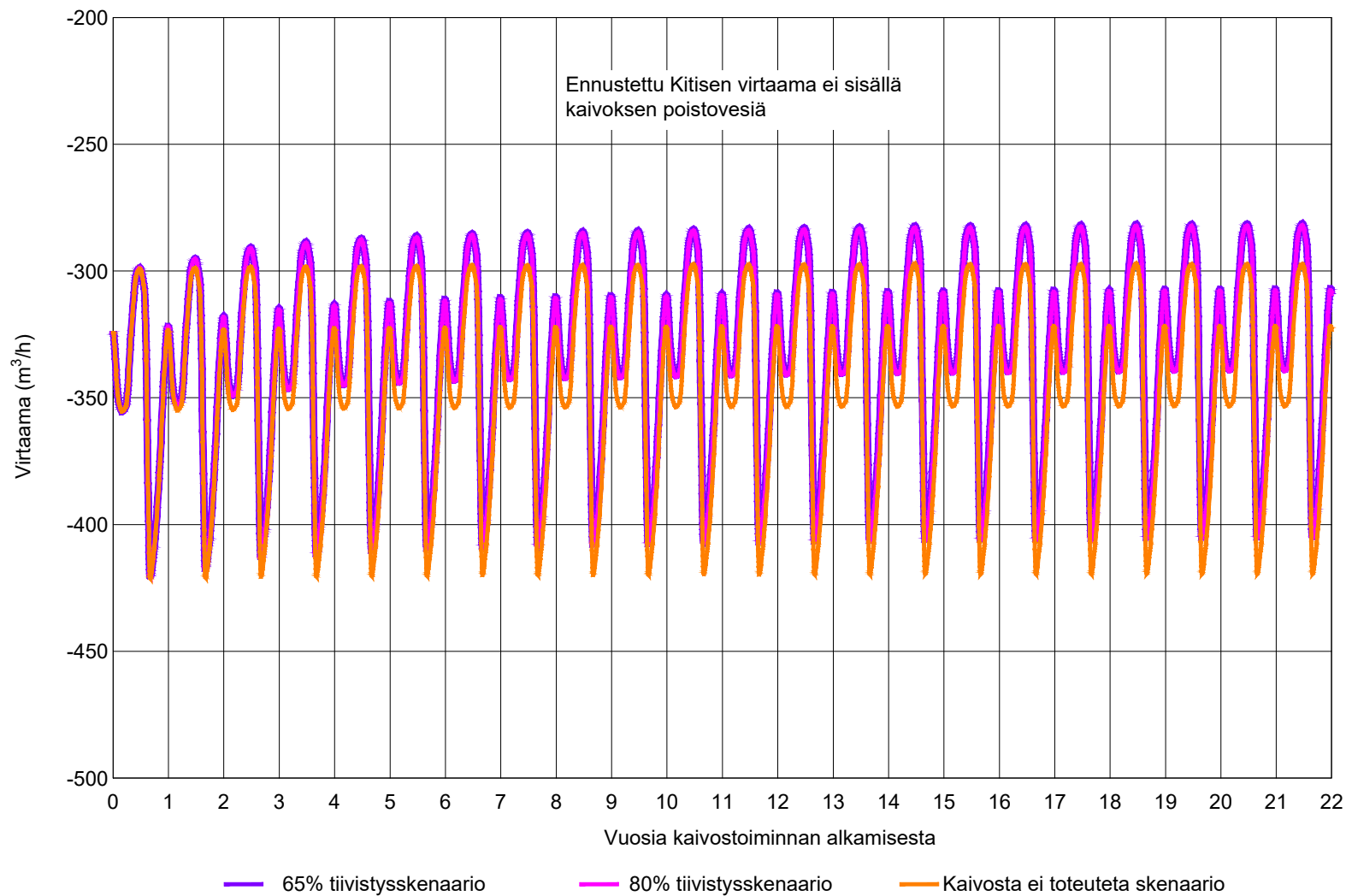
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	



Pohjaveden pinnankorkeuden
ennustetut vuodenaikaisvaihtelut
80% tiivistysskenaariossa

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-7



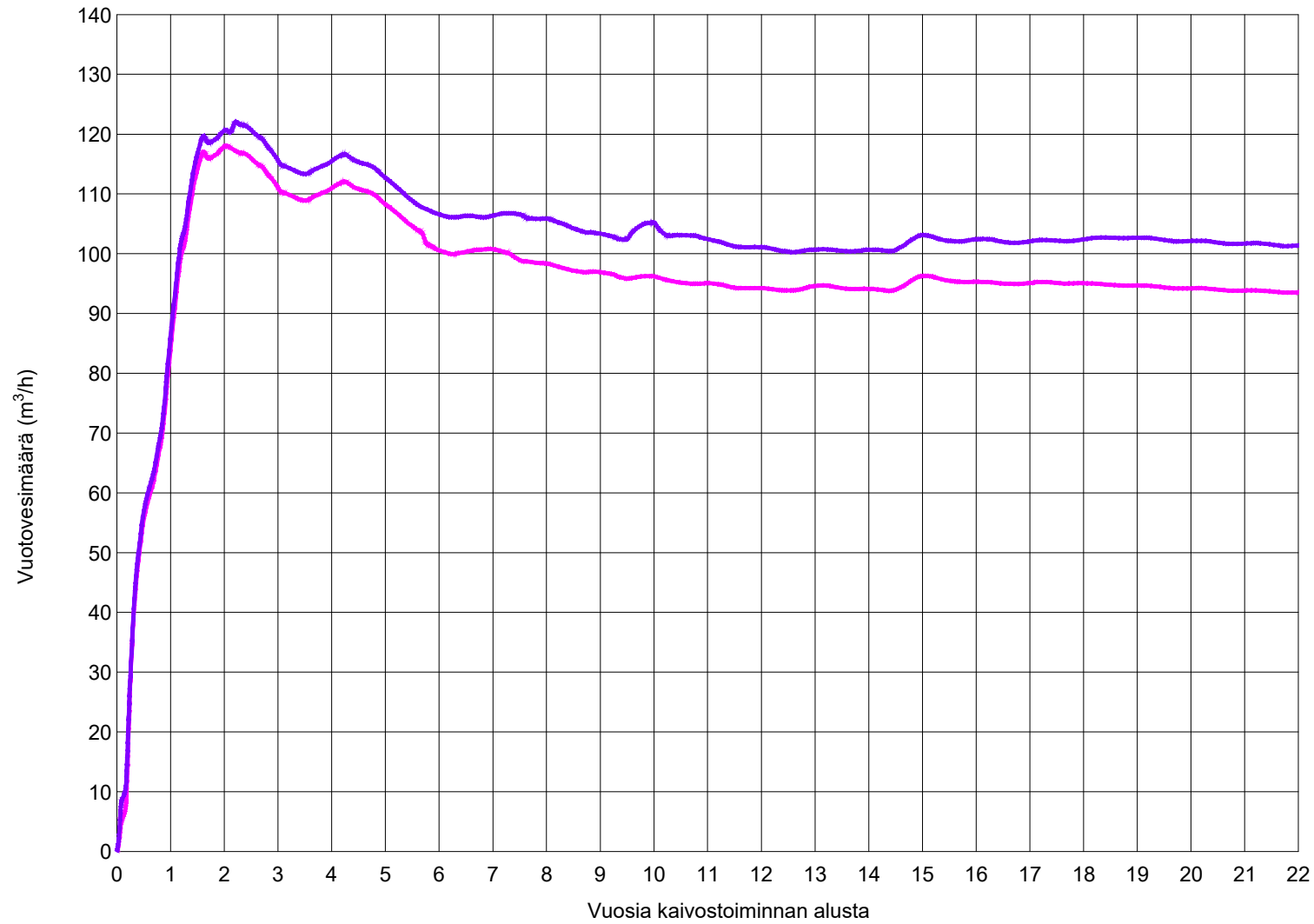
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	



Ennustettu pohjaveden purkautuminen
Kitiseen 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa

CLIENT:
Sakatti Mine

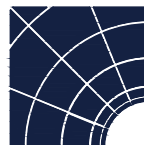
FIGURE NO.
5-8



— 65% tiivistysskenaario ilman NE-satelliittiesiintymää

— 80% tiivistysskenaario ilman NE-satelliittiesiintymää

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

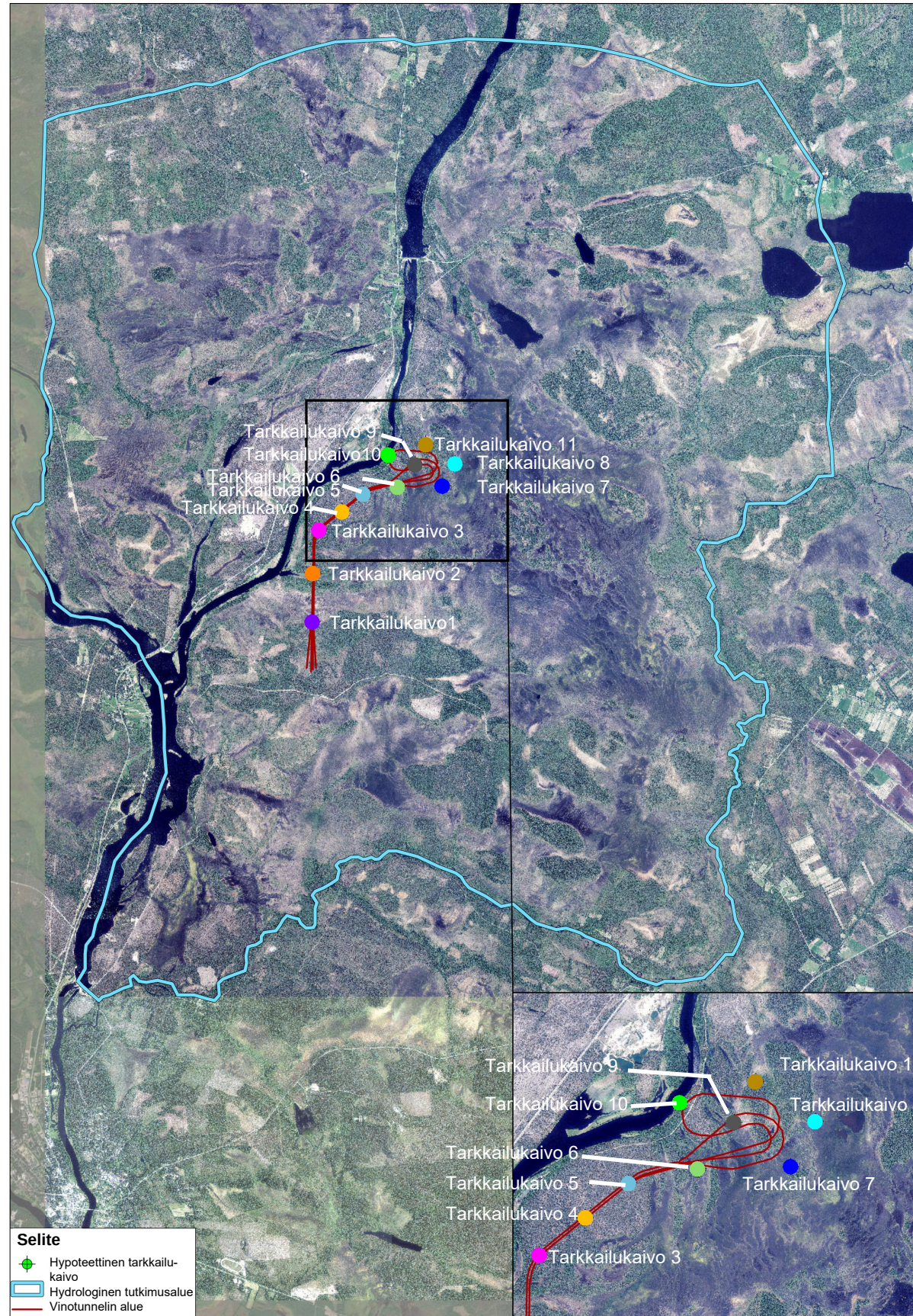


ITASCATM
Denver, Inc.

Ennustettu pohjaveden vuotovesimäärä 65%
ja 80% tiivistysskenaarioissa ilman NE
satelliittiesiintymää

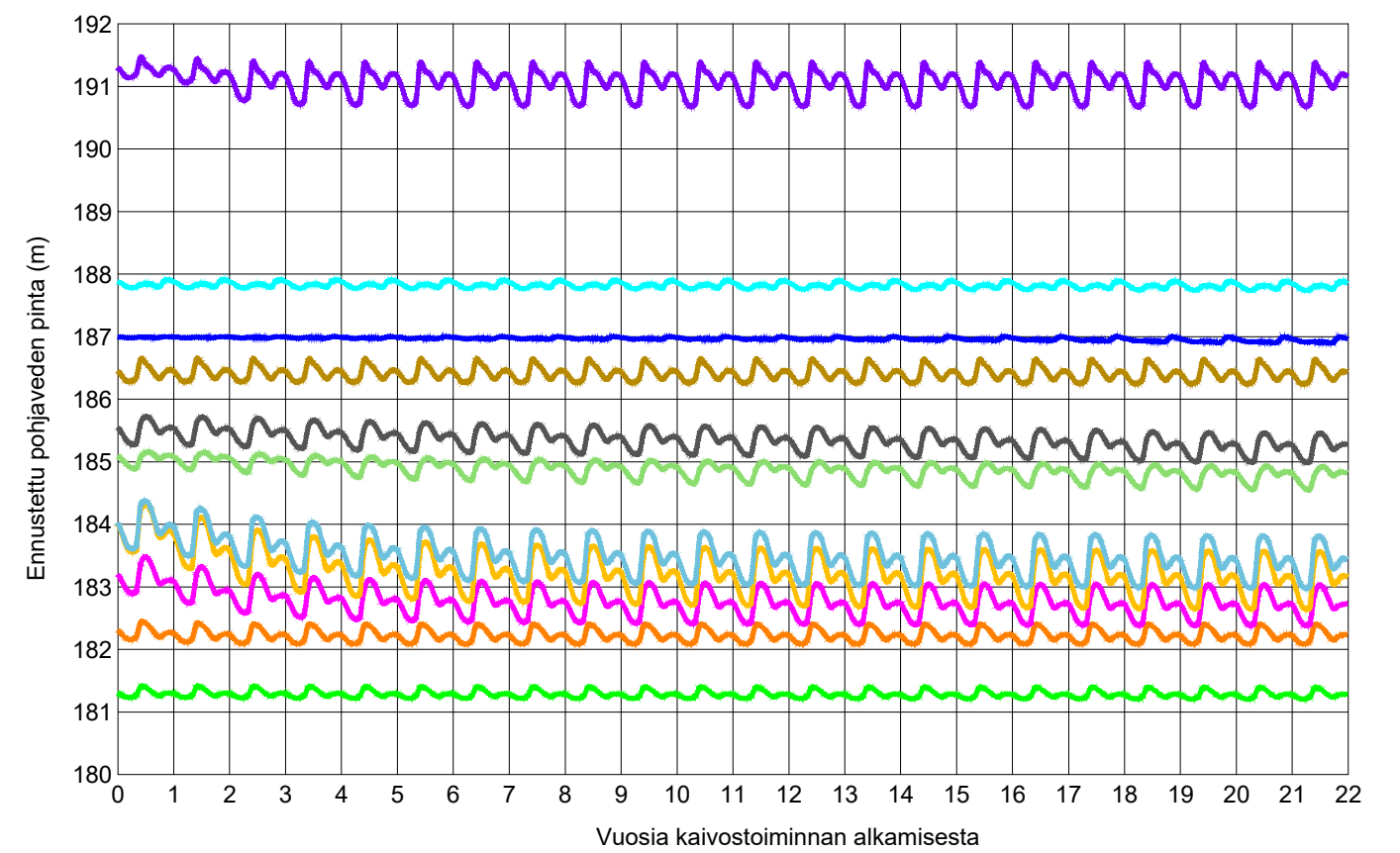
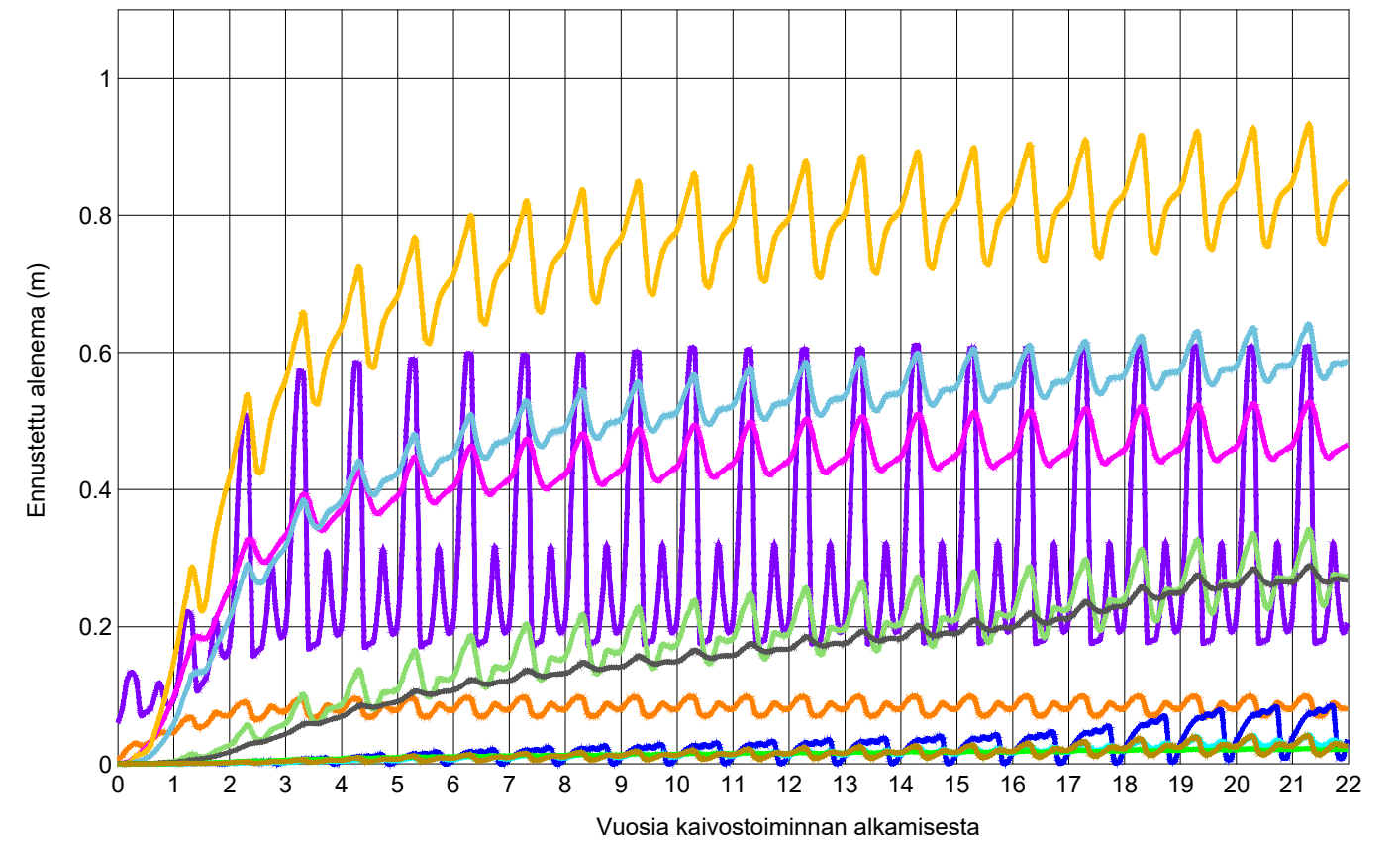
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-9



Hypoteettiset tarkkailukaivot

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



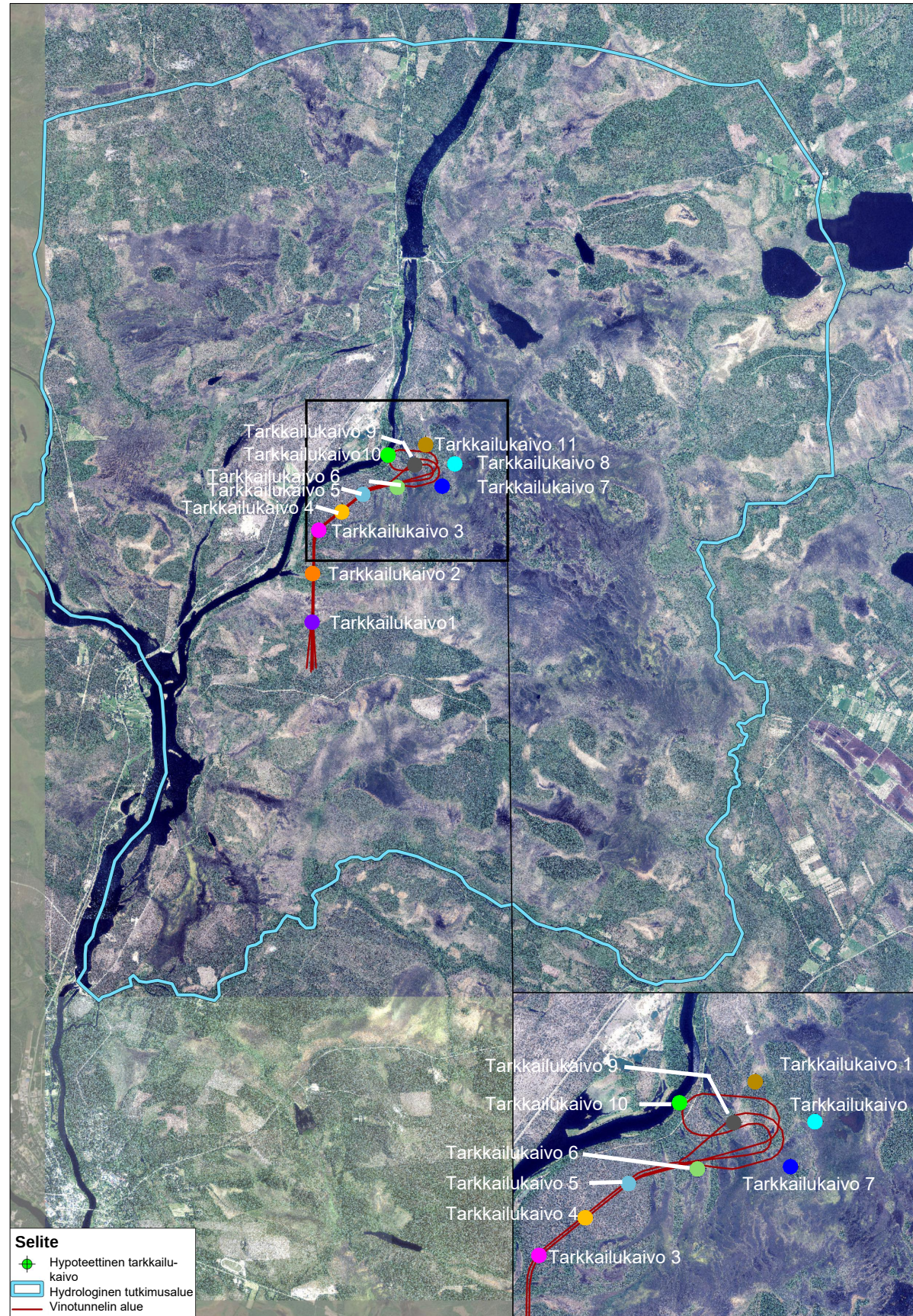
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	



Ennustettu alenema kaivostoiminnan elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää

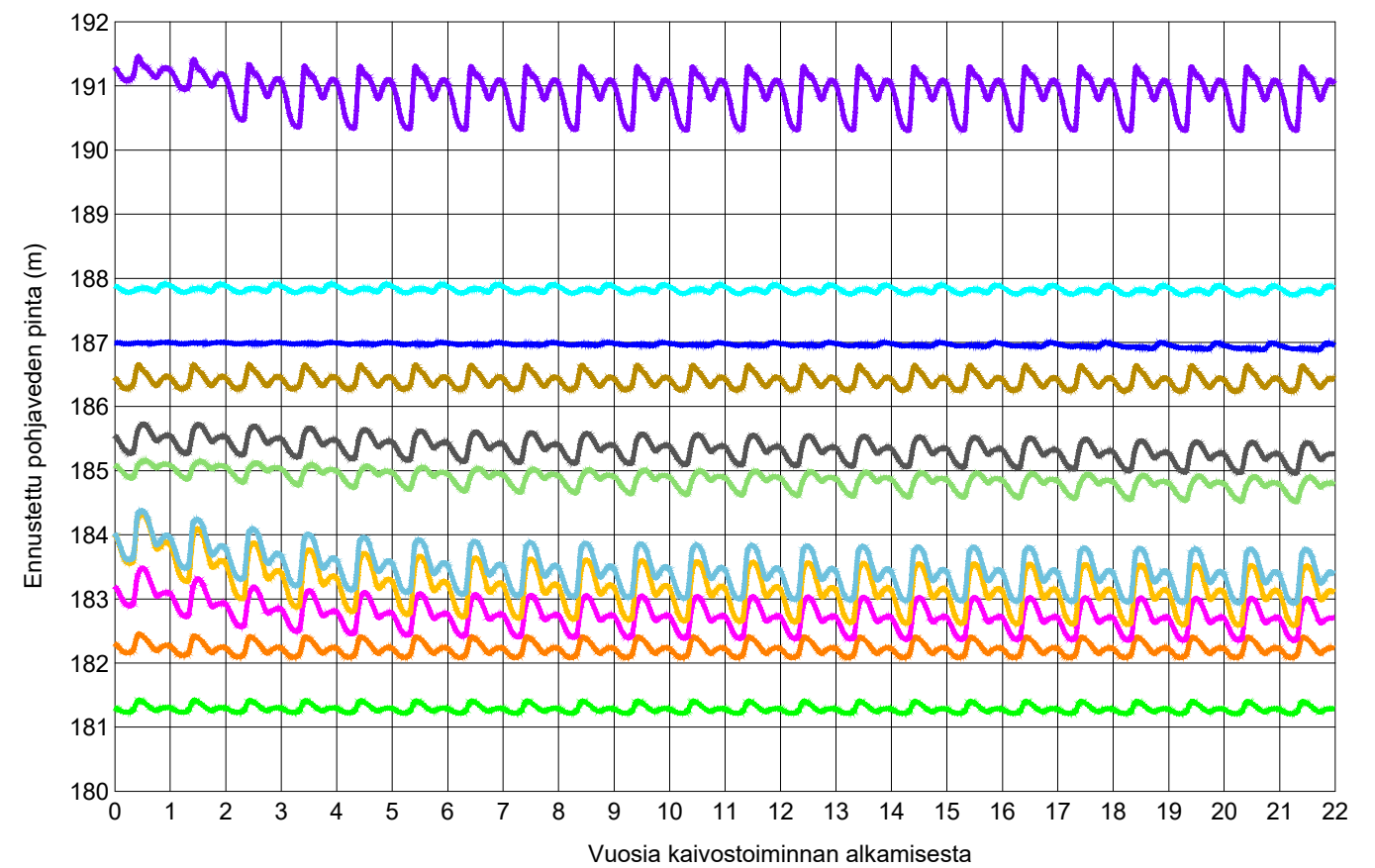
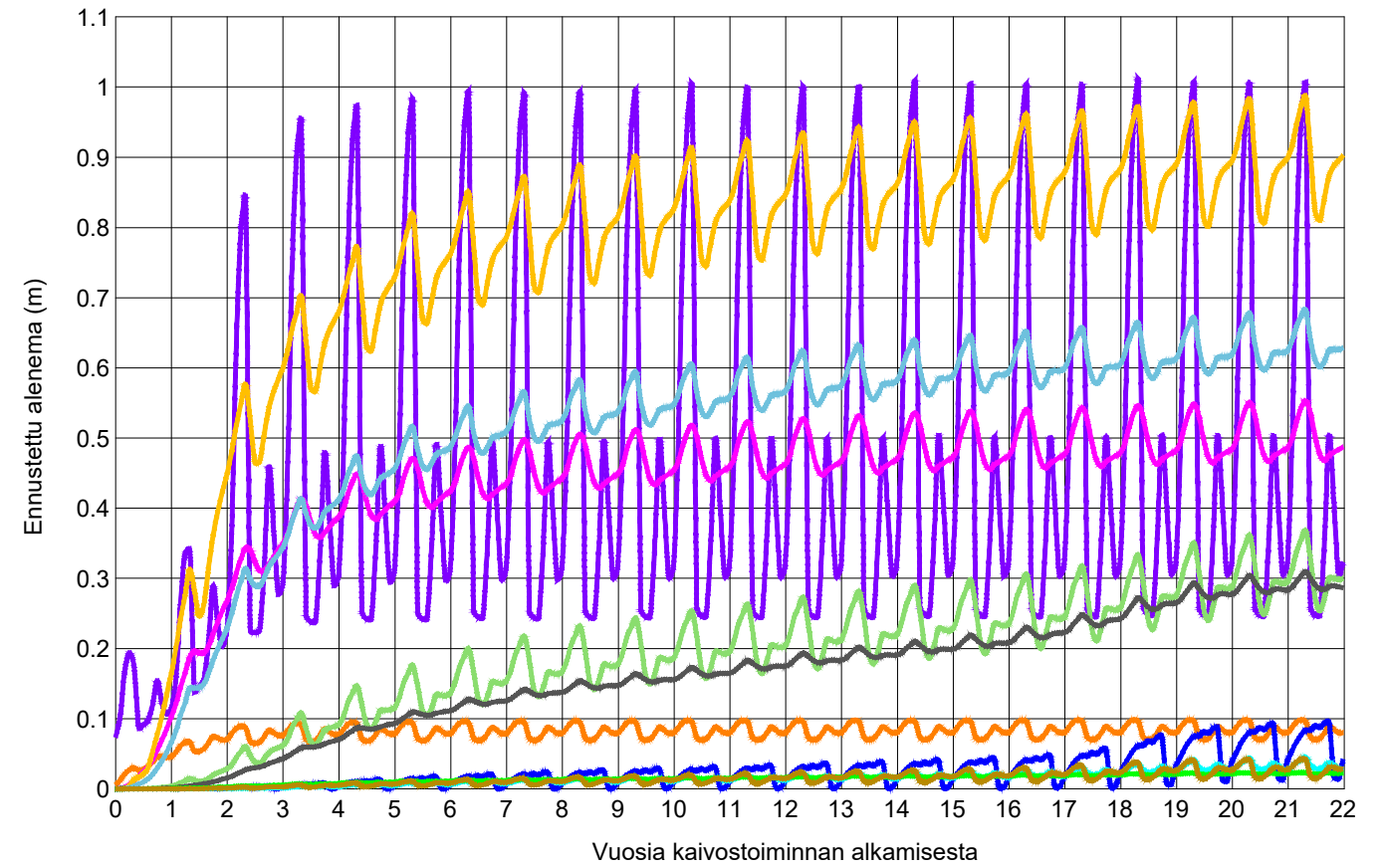
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-10a



Hypoteettiset tarkkailukaivot

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



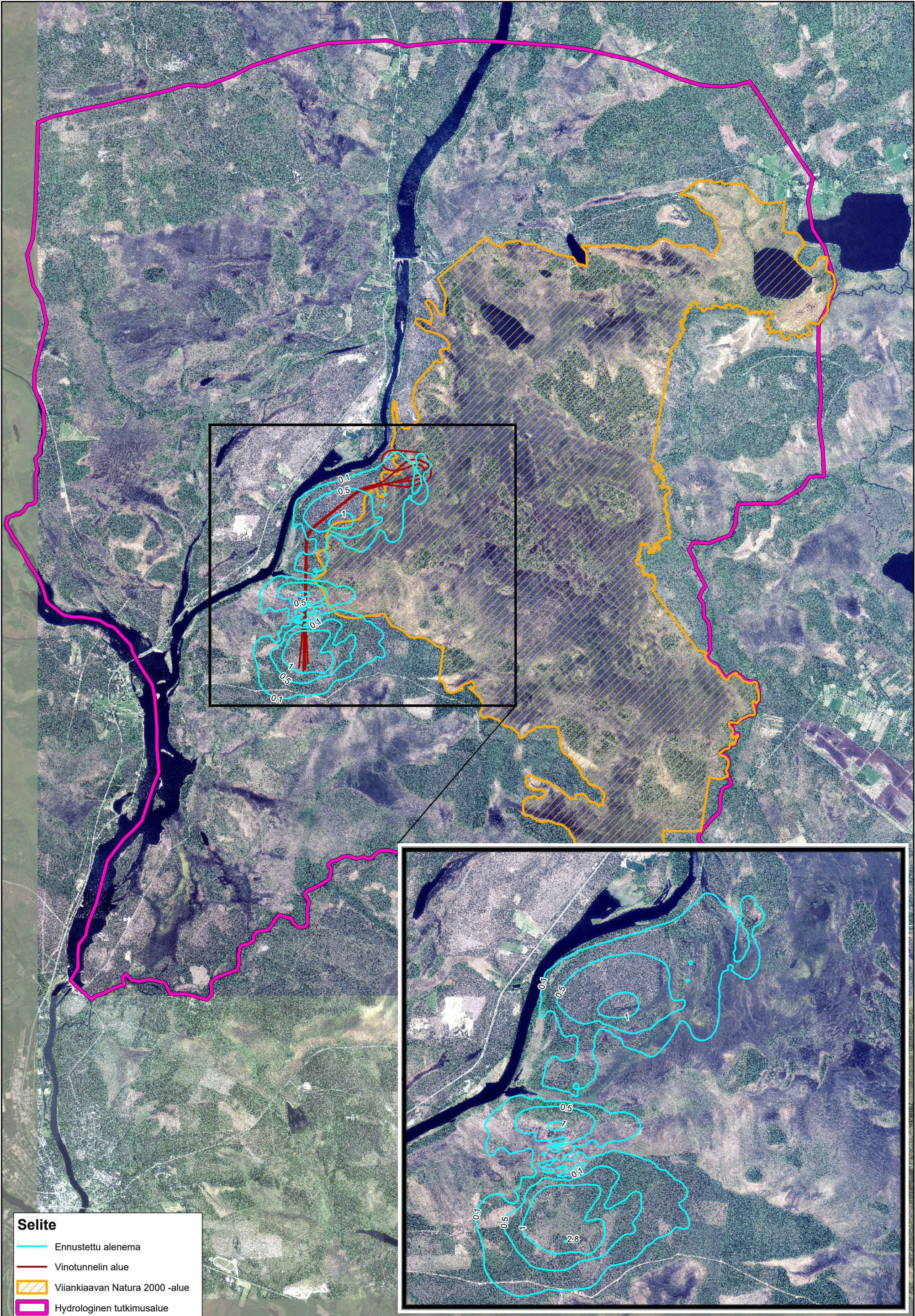
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	



Ennustettu alenema kaivostoiminnan elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-10b



Selite

Ennustettu alenema

Vinotunnelin alue

Viiankiaavan Natura 2000 -alue

Hydrologinen tutkimusalue

N

01,2502,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_Prac_woNE
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jan. 12, 2023



ITASCA
Denver, Inc.

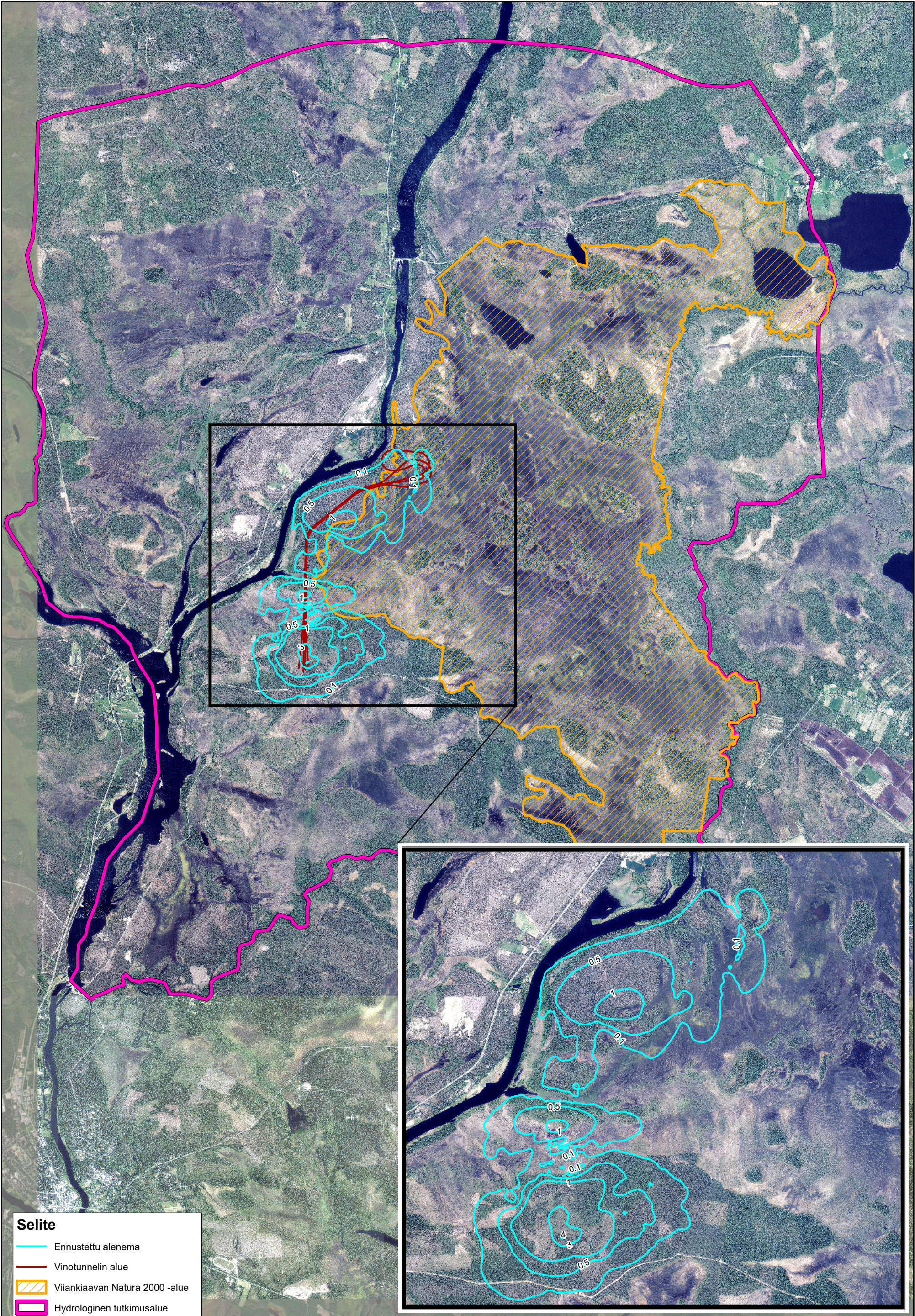
Ennustettu alenema
kaivostoiminnan lopussa 80%
tiivistysskenaarioissa ilman NE
satelliittiesiintymää

CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

5-11a



Selite

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

N

0 1,250 2,500 Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_Challenge_woNE
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jan. 12, 2023



ITASCA
Denver, Inc.

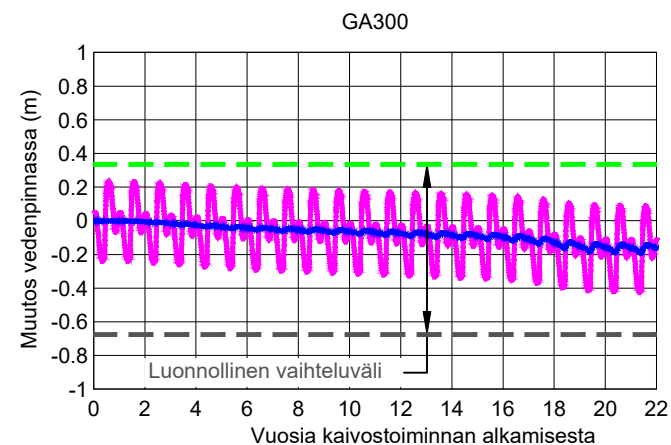
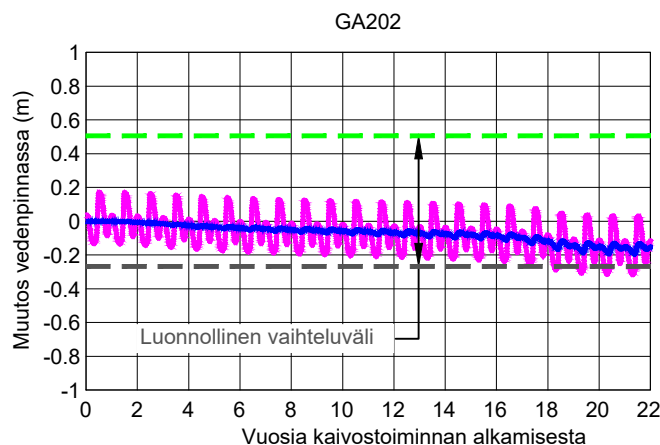
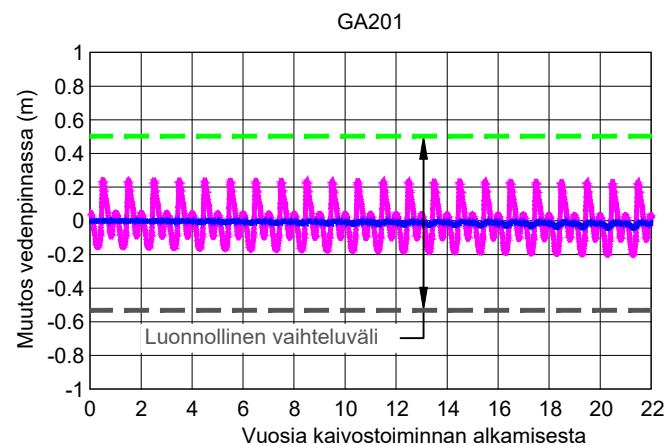
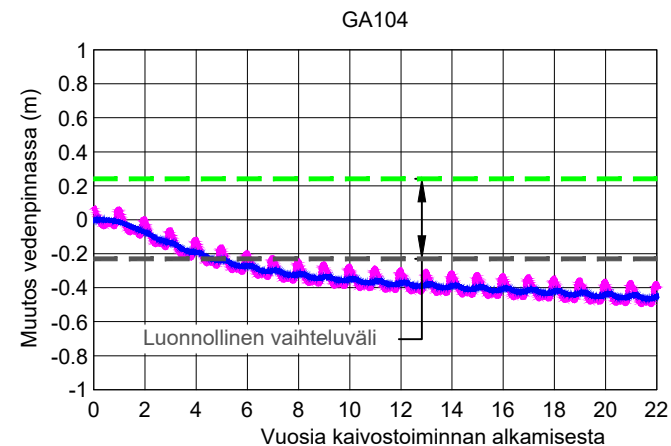
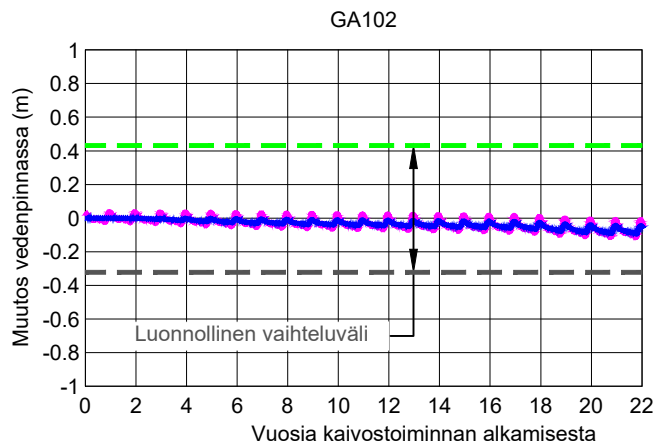
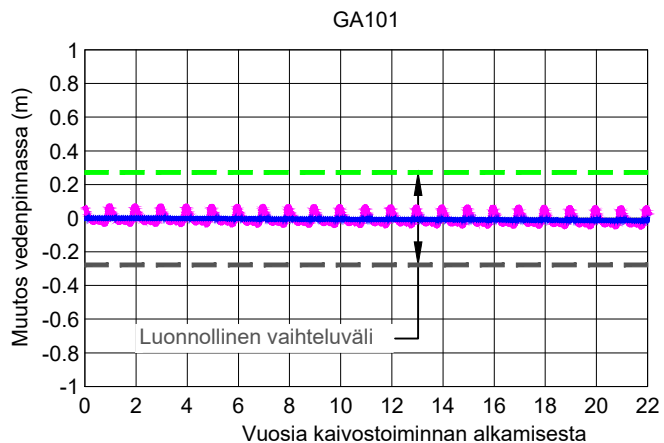
Ennustettu alenema
kaivostoiminnan lopussa 65%
tiivistysskenaarioissa ilman NE
satelliittiesiintymää

CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

5-11b



— Ennustettu alenema
— Ennustettu pohjaveden pinnan muutos suhteessa keskiarvoon

— Suurin pohjaveden pinnanmuutos suhteessa keskiarvoon vuosilta 2012-2021
— Alhaisin pohjaveden pinnanmuutos suhteessa keskiarvoon vuosilta 2012-2021

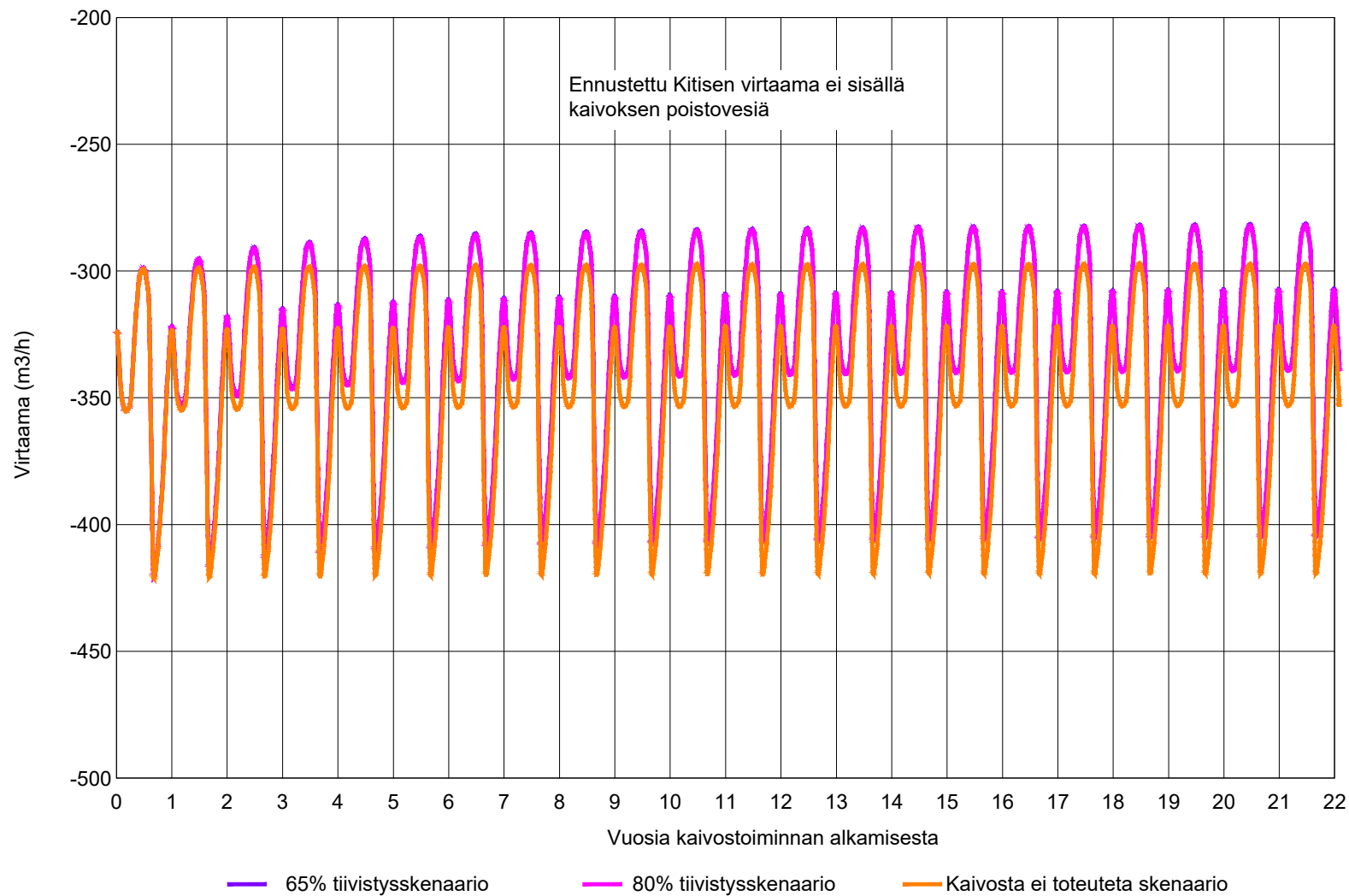
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	



Pohjaveden pinnankorkeuden
ennustetut vuodenaikaisvaihtelut
80% tiivistysskenaariossa ilman NE
satelliittiesiintymää

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-12



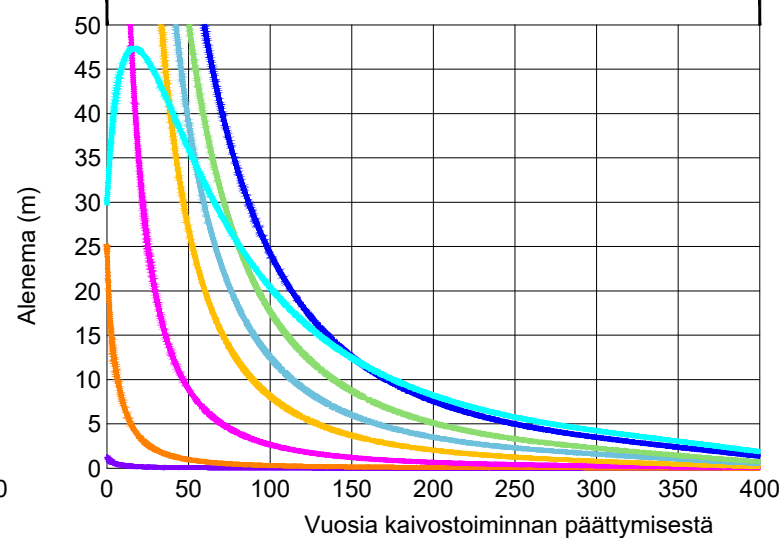
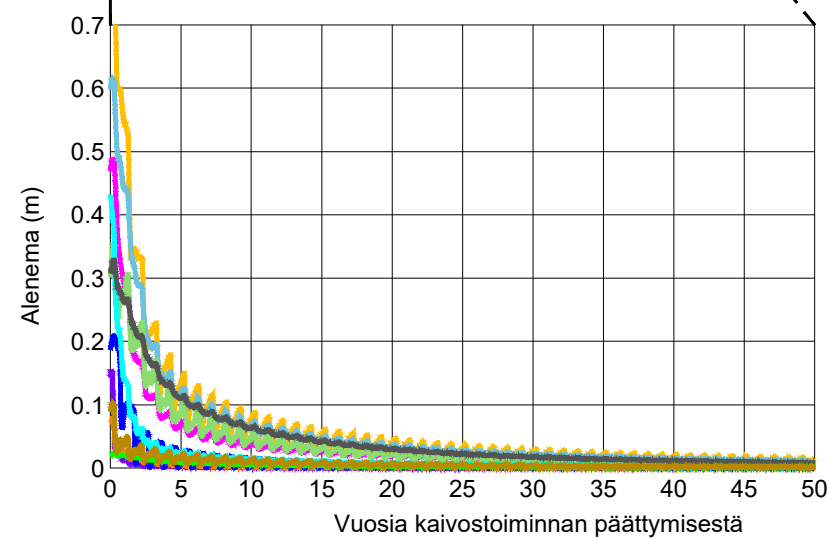
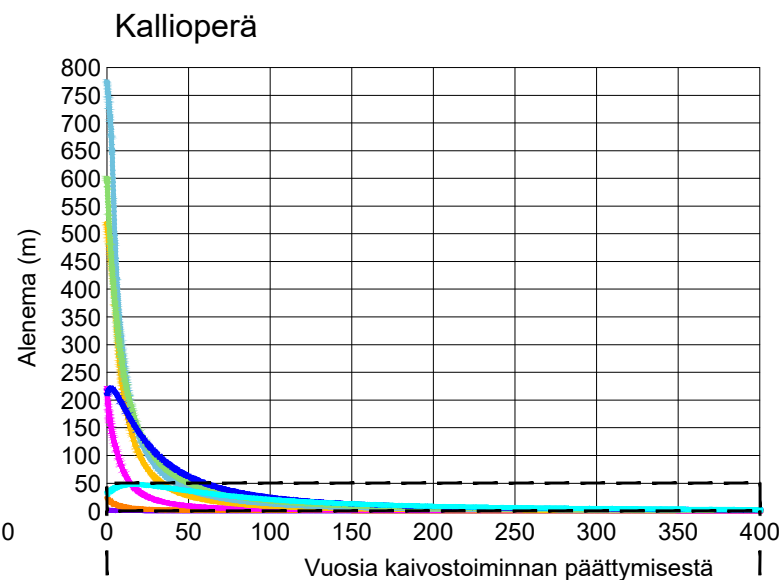
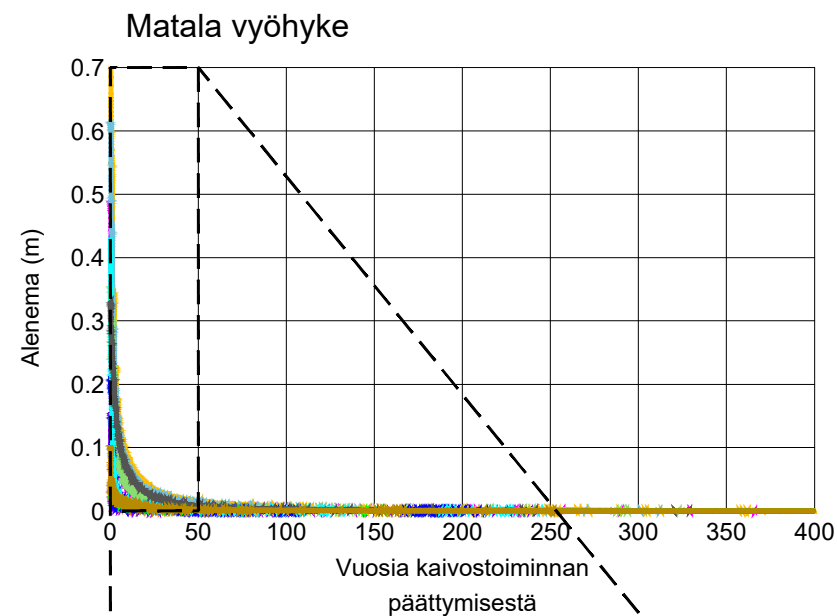
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	



Ennustettu pohjaveden purkautuminen
Kitiseen 65% ja 80%
tiivistysskenaarioissa ilman NE
satelliittiesiintymää

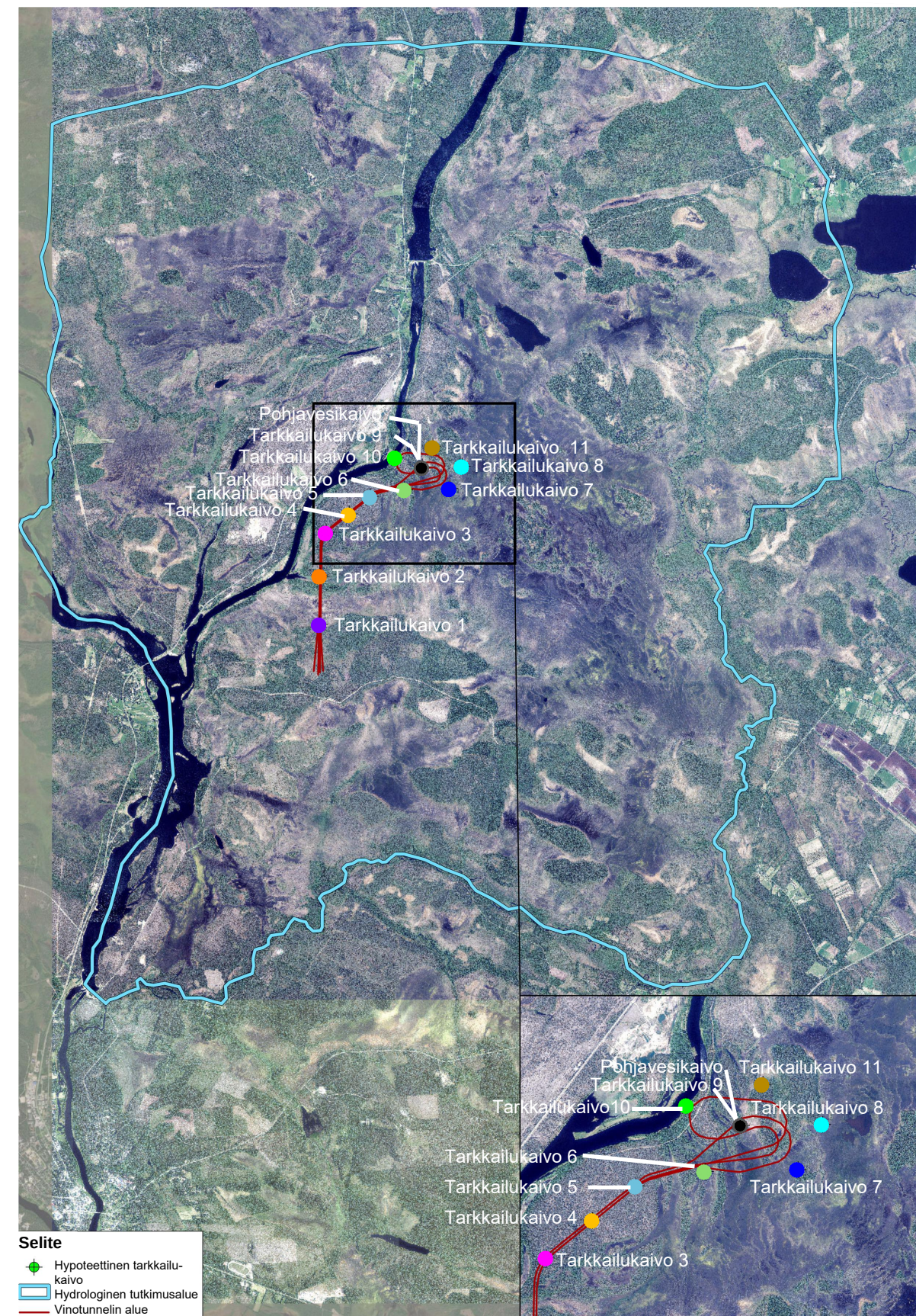
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-13



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

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



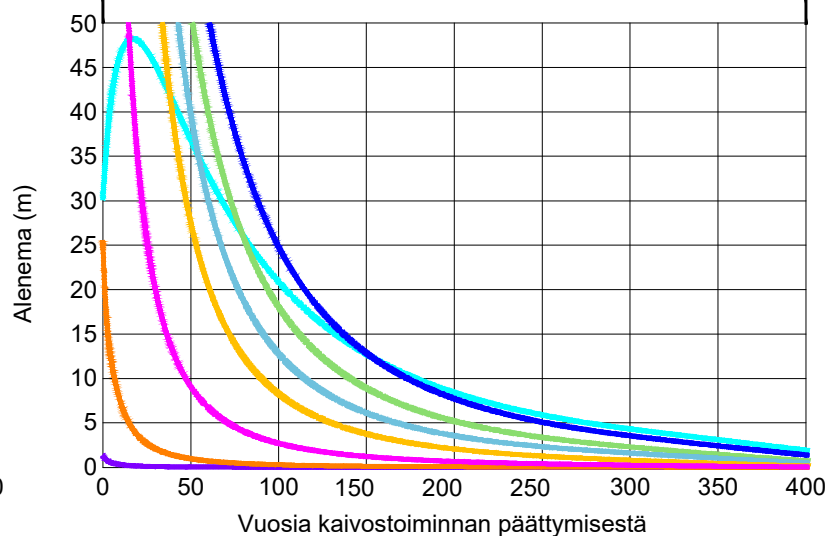
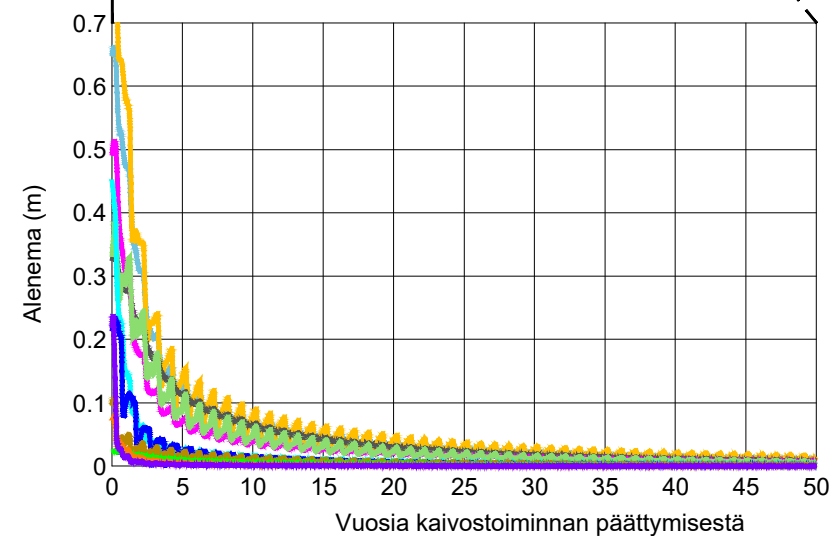
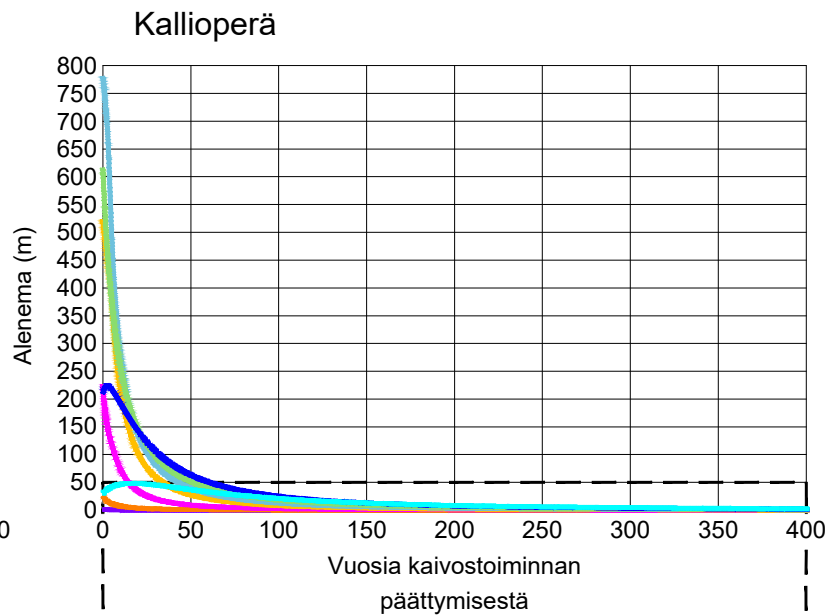
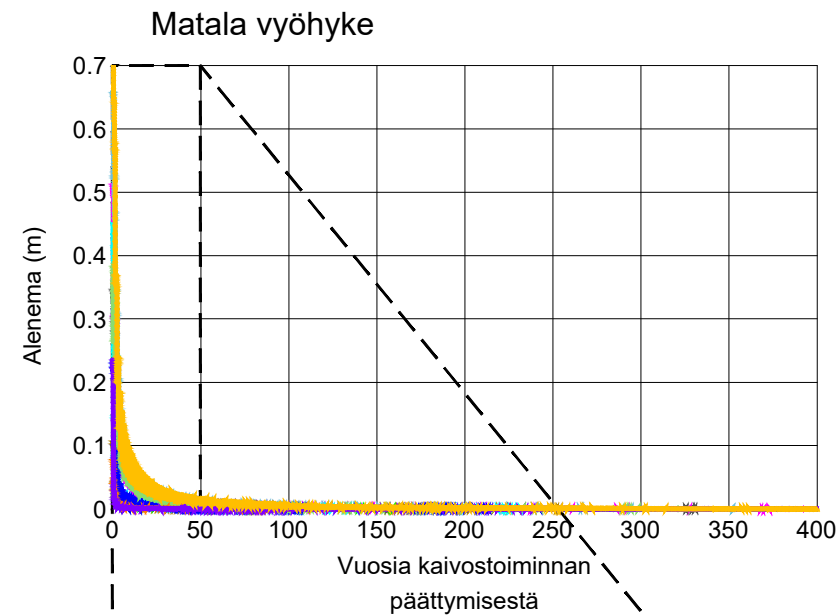
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	



Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistysskenaarioissa

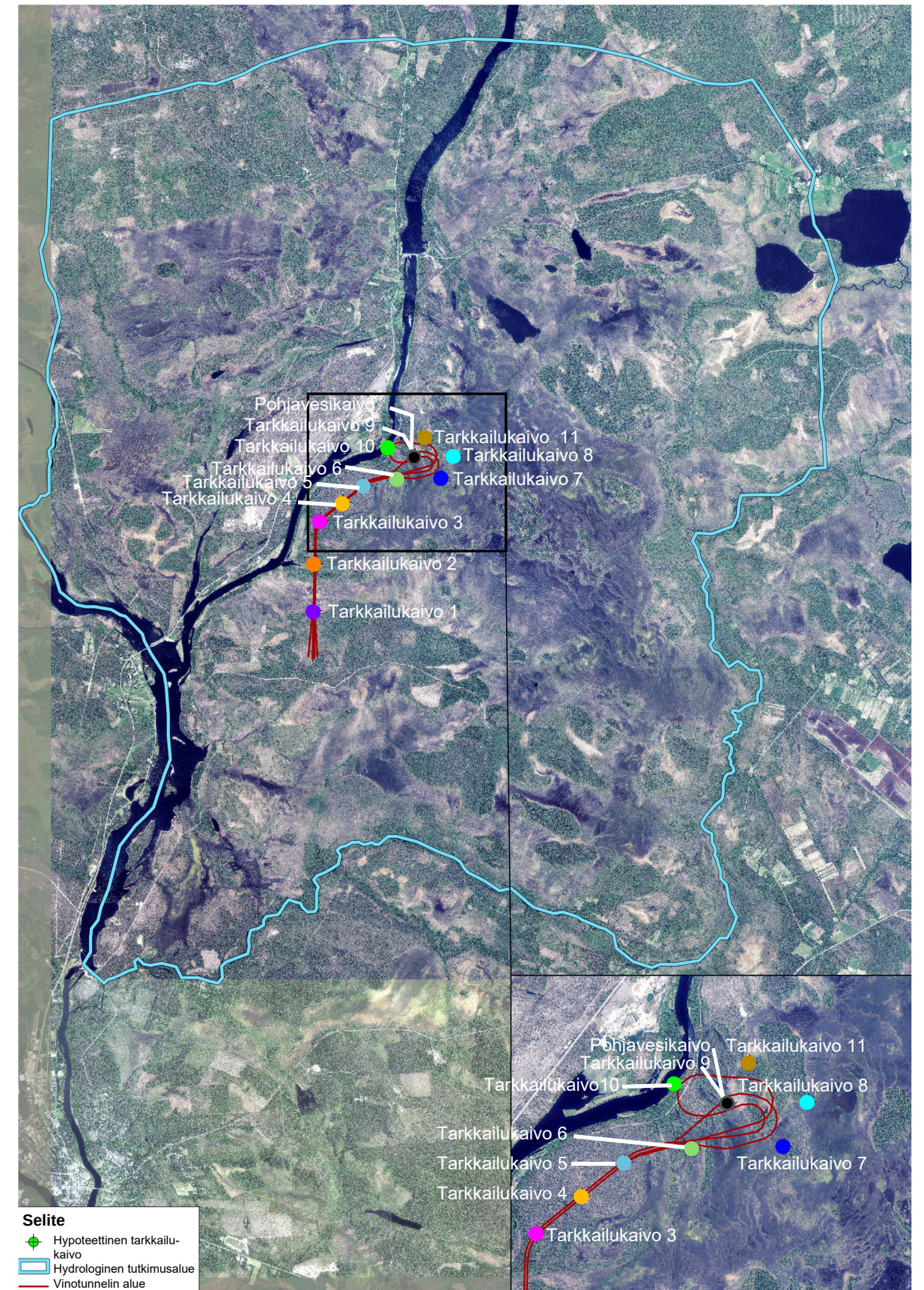
CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-14a



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

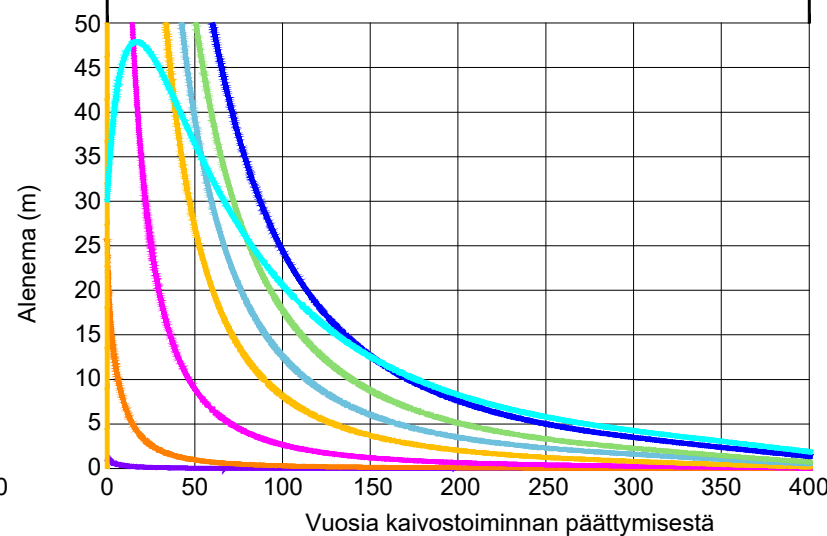
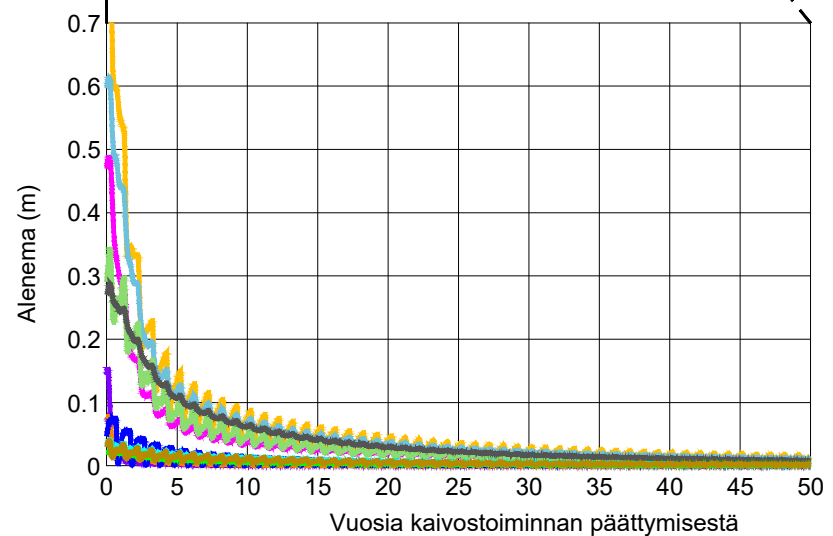
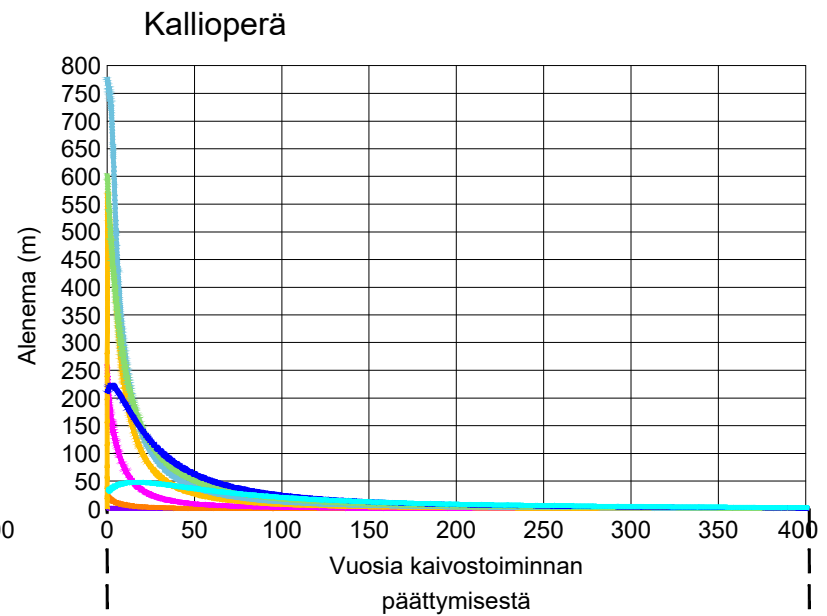
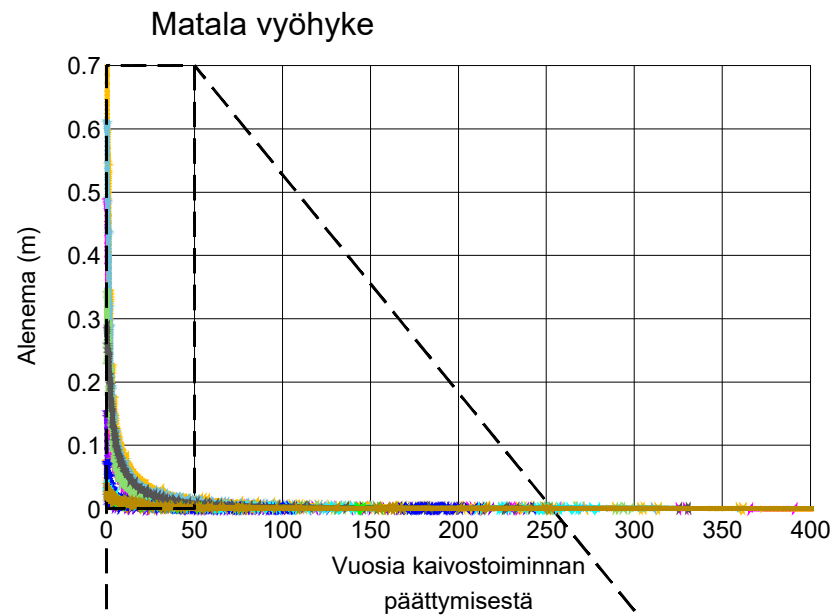
Pohjavesikaivo - 100 m mpy
 Pohjavesikaivo - -200 m mpy
 Pohjavesikaivo - -600 m mpy
 Pohjavesikaivo - -1000 m mpy
 Pohjavesikaivo - 0 m mpy
 Pohjavesikaivo - -400 m mpy
 Pohjavesikaivo - -800 m mpy
 Pohjavesikaivo - -1200 m mpy



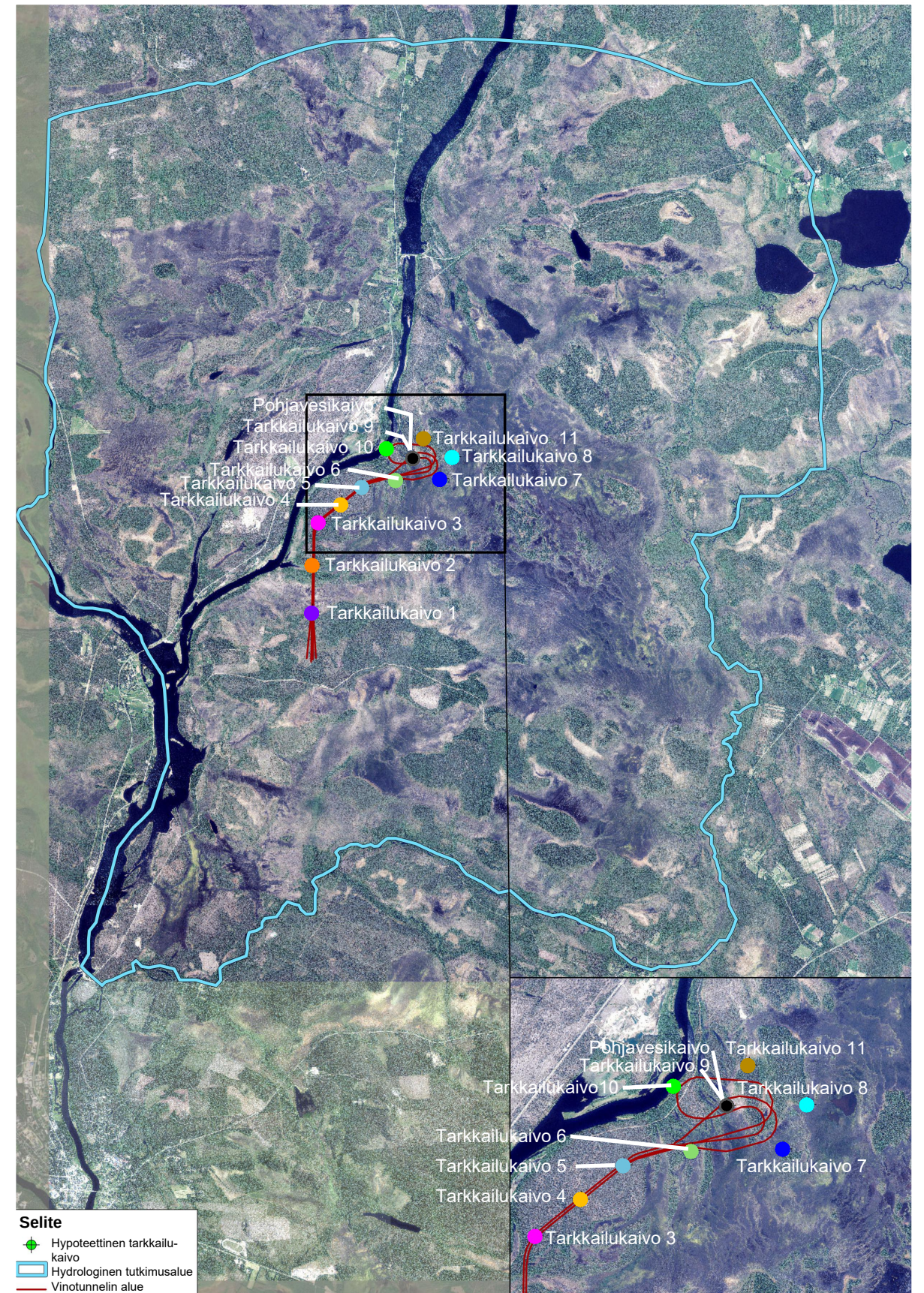
PROJECI NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	



Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 65% tiivistysskenaarioissa	
CLIENT: Sakatti Mine	FIGURE NO. 5-14b



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



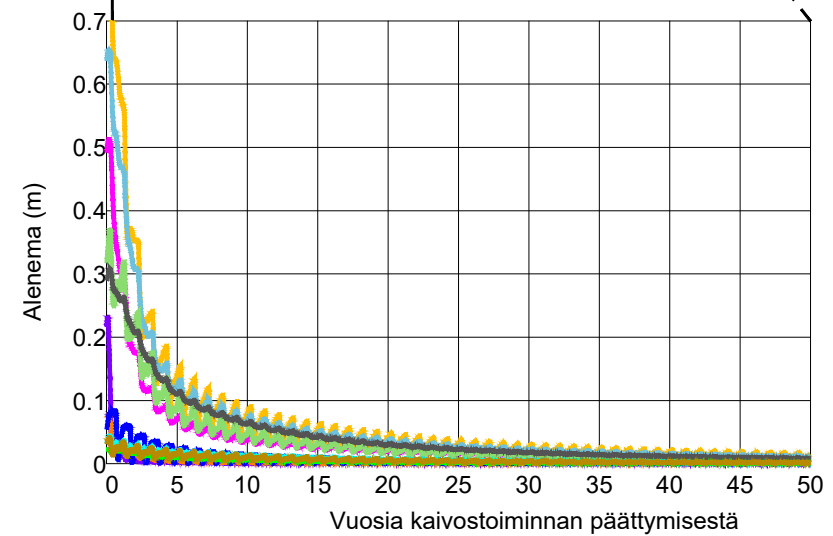
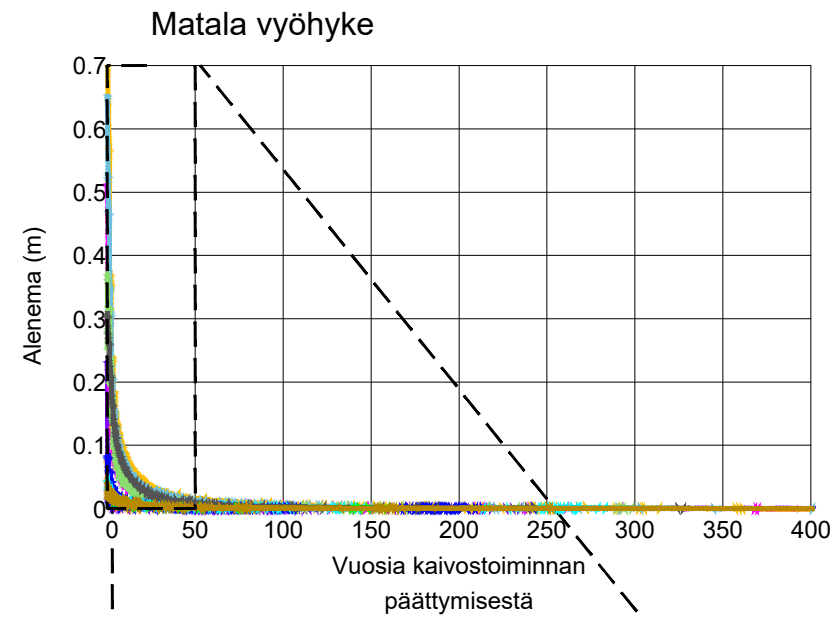
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	



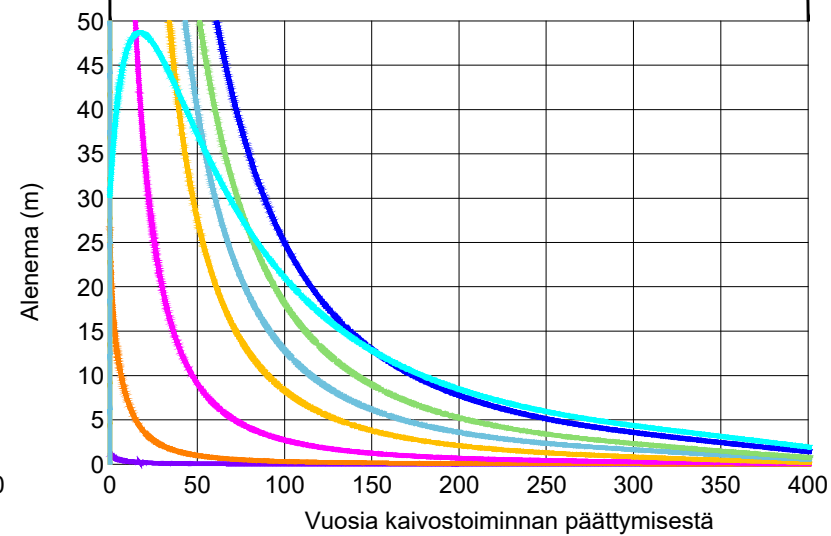
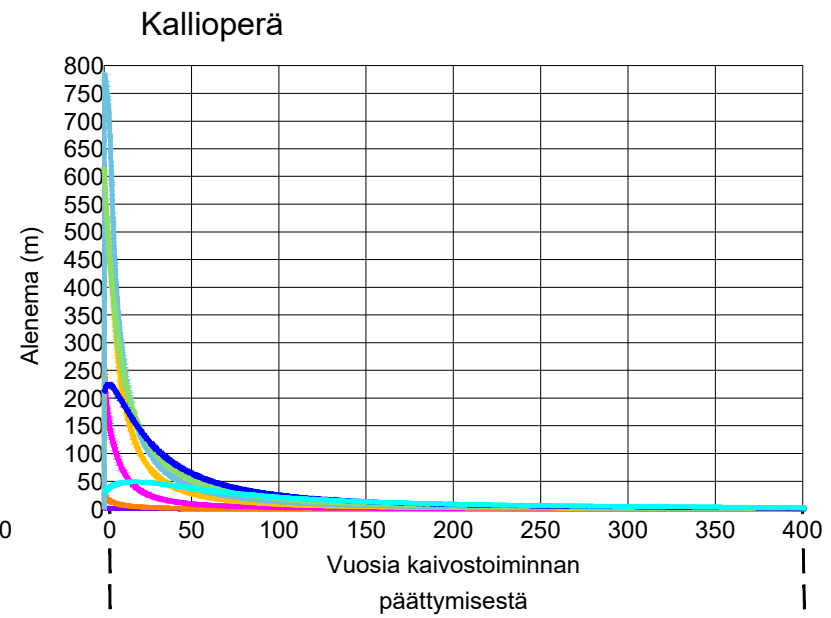
Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittisiintymää

CLIENT:
Sakatti Mine

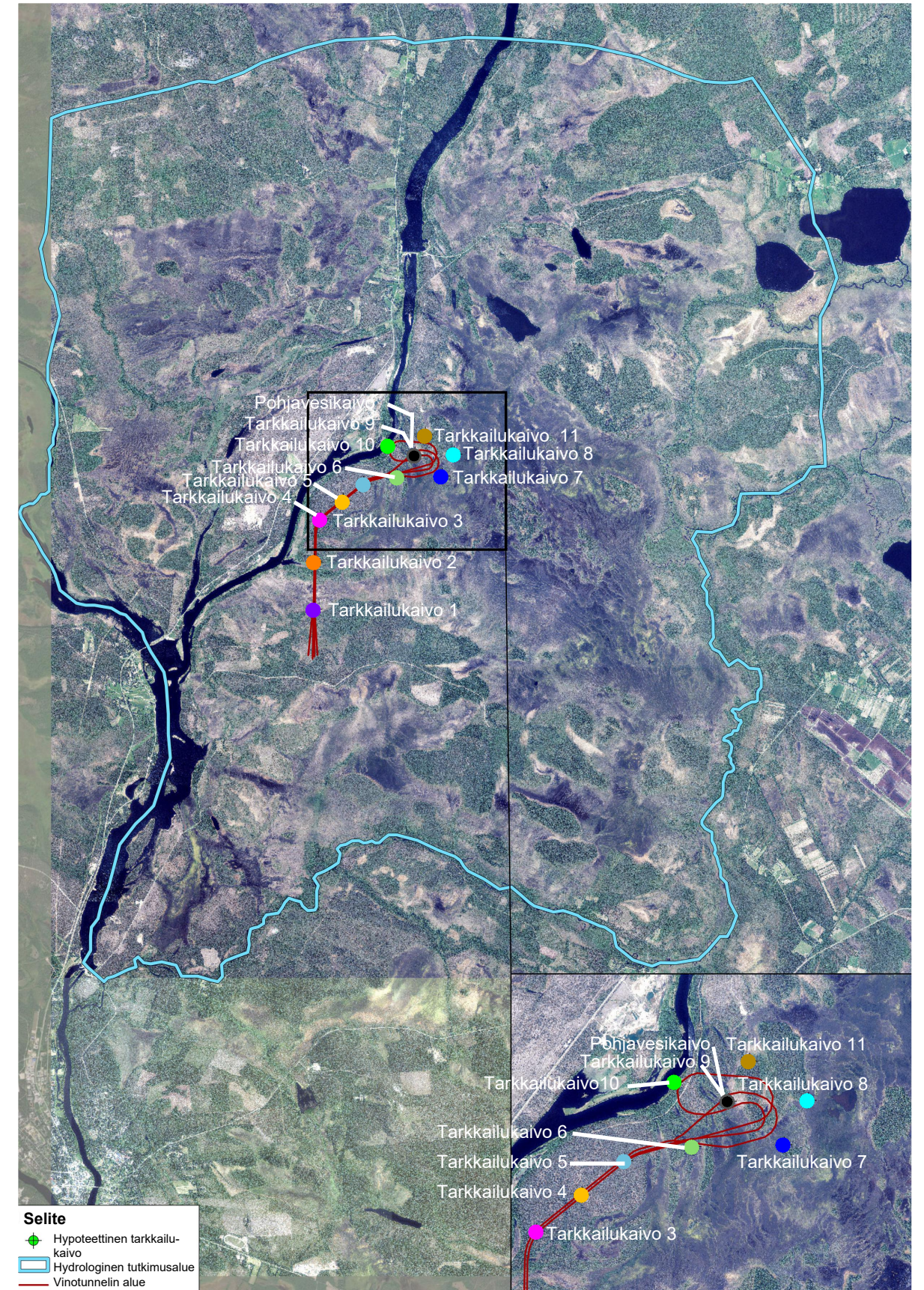
FIGURE NO.
5-15a



- 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	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	



Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 65% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittisiintymää

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
5-15b

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	Kaivoksen mittakaavan nostepumppaus, pumppauskoe-, ja vesihävikikokeet, alustavien hydrogeologisten parametrien tuottaminen. Alustavan hydrogeologisen tietokannan ja mallin luominen	Kohdennetut pumppauskokeet ja nostepumppaukset, parannettu hydrogeologinen tietokanta ja 3D malli; paineen poiston ja kuivatusvaatimusten alustava arviointi; veden syötön ja palautumisnopeuden tarkastelut	Pohjavesikaivojen asentaminen, kuivatus- tai vedensyöttökaivojen poraus, hydrogeologisen tietokannan ja 3D mallin tarkentaminen; paineen poiston ja kuivatusten vaatimukset; palautumisen ja veden syötön vaatimukset	Jatkuva pohjavesikaivo- ja vedenpoisto-verkoston ylläpito; vedensyöttömäärien ja reikätiheyden optimointi, jatkuva hydrogeologisen tietokannan ja 3D mallin parantaminen

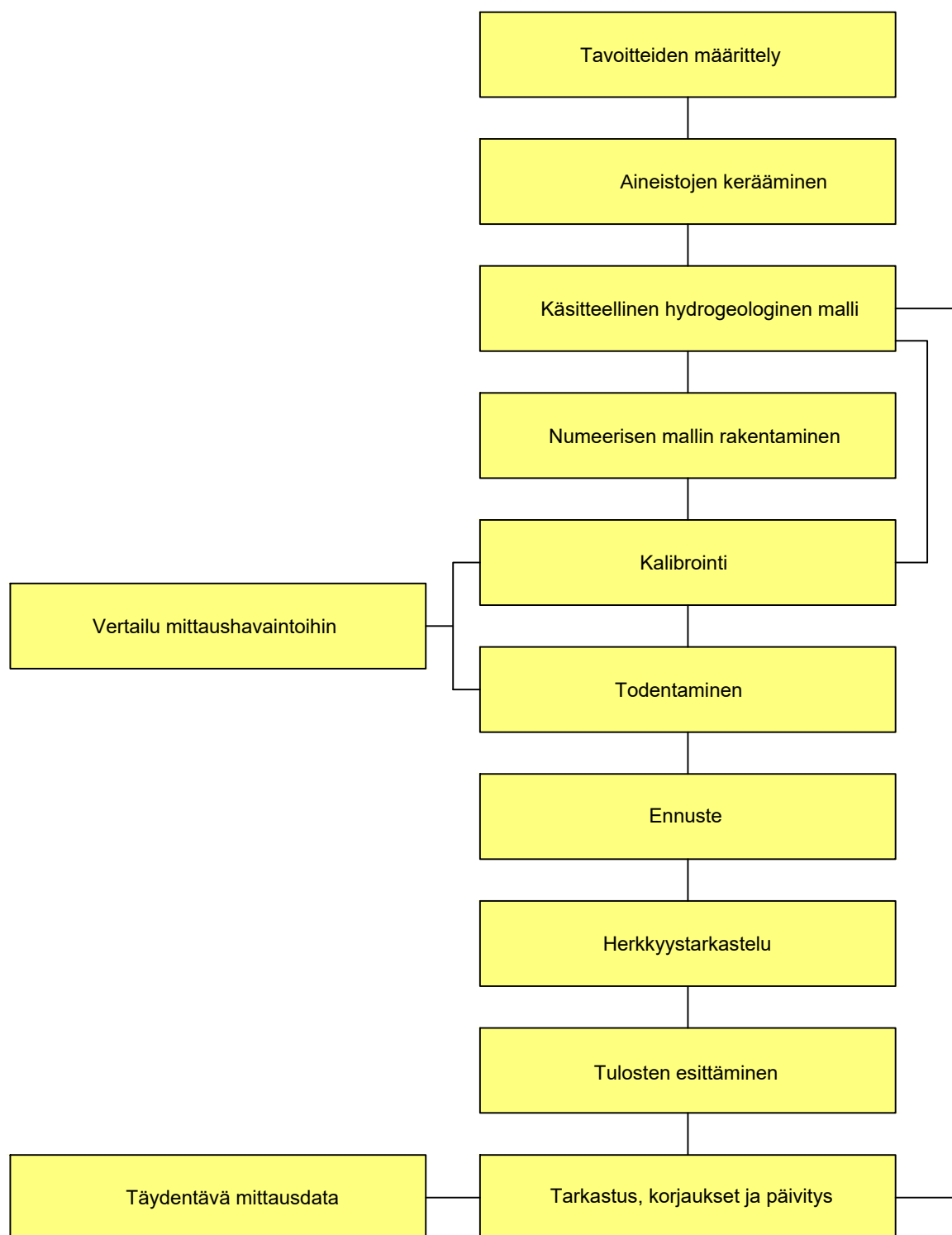
Lähde: Read ja Stacey, 2009

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	STAGES
DRAWING DATE	25 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022



Hydrogeologisten selvitysten vaatimukset hankkeen eri vaiheissa	
CLIENT:	FIGURE NO.
Sakatti Mine	6-1

Pohjaveden virtausmallinnuksen vaiheet



PROJECT NO.	4064	 ITASCA TM Denver, Inc.	Pohjaveden virtausmallinnuksen vaiheet	
BY	SBM			
CHECKED	HL		CLIENT: Sakatti Mine	FIGURE NO. 6-2
DRAWN	RJN			
DRAWING NAME	FLOW			
DRAWING DATE	25 MAY 2022			
REVISION DATE				

TAULUKKO 3-1

Yhteenveto tärkeimpien hydrogeologisten yksiköiden mitatuista vedenjohtavuuden arvoista tutkimusalueella

Hydrogeologinen yksikkö	Mitattujen vaakasuuntaisten vedenjohtavuuksien vaihteluvälit (m/s)	Lähteet
Turve	$1.0 \times 10^{-7} - 1.0 \times 10^{-5}$	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
Ehjä kallioperä	$1.0 \times 10^{-12} - 1.0 \times 10^{-5}$	AASM Oy 2021
Pohjaruhje	$5.9 \times 10^{-7} - 9.6 \times 10^{-7}$	AASM Oy 2021
Muut ruhjeet	$4.3 \times 10^{-11} - 1.0 \times 10^{-6}$	AASM Oy 2021

TAULUKKO 3-2

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
(Sivu 1 / 7)

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

TAULUKKO 3-2

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
(Sivu 2 / 7)

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

TAULUKKO 3-2

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
 (Sivu 3 / 7)

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

TAULUKKO 3-2

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
(Sivu 4 / 7)

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

TAULUKKO 3-2

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
(Sivu 5 / 7)

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

TAULUKKO 3-2

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
(Sivu 6 / 7)

Kairareiän tunnus	Testin tunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
20MOS8245	Testi 1	3 487 544	7 494 406	-11	3.94E-09
	Testi 2	3 487 544	7 494 406	-11	2.04E-09
	Testi 3	3 487 543	7 494 374	-78	6.34E-08
	Testi 4	3 487 543	7 494 374	-114	8.14E-08
	Testi 5	3 487 537	7 494 319	-209	8.07E-08
	Testi 6	3 487 536	7 494 315	-229	1.88E-07
20MOS8246	Testi 1	3 487 475	7 493 958	30	1.89E-08
	Testi 2	3 487 478	7 493 935	7	6.59E-09
	Testi 3	3 487 480	7 493 903	-69	1.03E-07
	Testi 4	3 487 481	7 493 868	-131	3.88E-10
	Testi 5	3 487 481	7 493 852	-166	1.12E-08
20MOS8247	Testi 1	3 487 476	7 493 558	134	1.93E-06
	Testi 2	3 487 476	7 493 560	107	3.83E-07
	Testi 3	3 487 477	7 493 514	-14	8.74E-08
	Testi 4	3 487 478	7 493 504	-59	5.52E-08
20MOS8249	Testi 1	3 489 098	7 495 881	87	1.11E-07
	Testi 2	3 489 098	7 495 879	68	1.18E-06
	Testi 1	3 489 095	7 495 798	-329	4.54E-10
20MOS8250	Testi 1	3 489 102	7 495 796	104	6.16E-06
	Testi 2	3 489 104	7 495 785	18	1.73E-06
	Testi 3	3 489 105	7 495 778	-40	1.45E-09
	Testi 4	3 489 106	7 495 769	-142	3.16E-09
	Testi 5	3 489 106	7 495 754	-213	9.37E-10
20MOS8253	Testi 1	3 489 150	7 496 014	95	8.77E-08
	Testi 2	3 489 150	7 496 011	82	1.30E-08
	Testi 3	3 489 151	7 495 998	-29	3.84E-09
	Testi 4	3 489 151	7 495 994	-40	8.04E-09
	Testi 5	3 489 155	7 495 954	-282	4.44E-10
	Testi 6	3 489 150	7 495 876	-514	4.21E-09
	Testi 7	3 489 145	7 495 828	-680	1.80E-09
20MOS8254	Testi 1	3 489 247	7 495 901	54	1.31E-09
	Testi 2	3 489 248	7 495 896	-32	5.16E-09
	Testi 3	3 489 248	7 495 887	-109	6.03E-09
	Testi 4	3 489 249	7 495 885	-145	1.65E-09
	Testi 5	3 489 250	7 495 870	-286	6.83E-11
20MOS8255	Testi 1	3 489 349	7 495 839	111	6.60E-08
	Testi 2	3 489 349	7 495 838	98	6.84E-08
	Testi 3	3 489 349	7 495 836	51	2.61E-08
	Testi 4	3 489 349	7 495 830	-61	1.59E-08
	Testi 5	3 489 350	7 495 824	-138	7.51E-10
	Testi 6	3 489 351	7 495 811	-292	2.16E-06

TAULUKKO 3-2

Yhteenveto vesihävikikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
(Sivu 7 / 7)

Kairareian tunnus	Testin tunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Mittausvälin keskikohta (m mpy)	Vedenjohtavuus (m/s)
20MOS8258	Testi 1	3 489 340	7 496 070	-244	1.08E-08
21KUU026	Testi 1	3 487 472	7 493 215	155	1.01E-07
	Testi 2	3 487 472	7 493 198	88	6.88E-08
	Testi 3	3 487 474	7 493 178	36	1.87E-08
	Testi 4	3 487 475	7 493 162	-16	9.49E-08
	Testi 5	3 487 475	7 493 143	-60	5.23E-07
21KUU027	Testi 1	3 487 473	7 493 016	82	4.66E-08
	Testi 2	3 487 473	7 493 002	48	5.05E-08
	Testi 3	3 487 473	7 492 981	6	1.58E-08
	Testi 4	3 487 472	7 492 958	-33	5.42E-09
21MOS8245B	Testi 1	3 489 248	7 495 806	-443	4.50E-09
21MOS8256	Testi 1	3 489 306	7 496 035	54	1.97E-08
	Testi 2	3 489 312	7 495 917	-448	8.41E-10
	Testi 3	3 489 311	7 495 904	-479	3.22E-09
21MOS8256B	Testi 1	3 489 310	7 495 972	-353	8.70E-10
	Testi 2	3 489 305	7 495 949	-492	1.03E-09
21MOS8257C	Testi 1	3 489 547	7 496 007	-454	6.00E-09
	Testi 2	3 489 547	7 495 958	-630	5.62E-10
21MOS8258B	Testi 1	3 489 333	7 496 011	-486	5.24E-09
	Testi 4	3 489 344	7 495 930	-806	8.28E-10
21MOS8259	Testi 1	3 489 608	7 496 144	-44	6.55E-10
	Testi 2	3 489 601	7 495 800	-592	5.19E-10
21MOS8259B	Testi 1	3 489 613	7 495 935	-462	1.28E-09
	Testi 2	3 489 609	7 495 895	-588	6.69E-09
21MOS8260	Testi 1	3 489 539	7 495 868	-317	7.47E-08
	Testi 2	3 489 553	7 495 719	-540	1.10E-09
	Testi 3	3 489 553	7 495 715	-571	2.90E-10
21MOS8260B	Testi 1	3 489 540	7 495 827	-417	8.83E-09
	Testi 2	3 489 542	7 495 815	-495	8.59E-10
21MOS8261	Testi 1	3 489 701	7 496 193	98	3.80E-08
	Testi 2	3 489 697	7 495 980	-544	3.74E-09
21MOS8262	Testi 1	3 489 704	7 496 047	118	5.05E-08
	Testi 3	3 489 718	7 495 937	-210	9.93E-07
	Testi 4	3 489 698	7 495 727	-526	1.06E-08
21MOS8263	Testi 1	3 489 650	7 496 090	104	7.63E-09
	Testi 2	3 489 649	7 495 969	-239	1.80E-09
	Testi 3	3 489 648	7 495 913	-390	6.51E-10
	Testi 4	3 489 647	7 495 871	-504	1.73E-08

Huom:

1. Koordinaattijärjestelmä on KKJ3.

TAULUKKO 3-3

Yhteenveto muuttuvan painekorkeuden testeillä mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikä	Reikä- pituus (m)	Yläpinta	Alapinta	Mittausvälin pituus (m)	Tutkittu muodostuma	Mittauspäivä	Vedenjohtavuusmittauksen tulkinta					
							Tulkinta- menetelmä	K (m/vrk)	K (m/s)	T (m ² /vrk)	T (m ² /s)	Huomiot
11MOS8049	914.01	159.00	177.00	18.00	Kattopuolen klastiset vulkaniitit	5.2.2017	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	3.2.2017	Bouwer Rice	2.09E+00	2.42E-05	6.47E+01	7.49E-04	Alenevan painekorkeuden testi. Kattopuolen klastisten vulkaniittien ja breksian kontaktissa (146 m). Heikko kalliolaatu 151 - 154 m.
13MOS8125	820.80	126.00	157.00	31.00	Breksia	3.2.2017	Bouwer Rice	7.94E-01	9.19E-06	2.46E+01	2.85E-04	Alenevan painekorkeuden testi. Muuttuneen ultramafisen kivilajin ja breksian kontakti (137 m). Heikko kalliolaatu kapeilla reikäväleillä 130.2 - 130.6 m ja 150.6 - 151.7 m.

TAULUKKO 3-4

Yhteenveto pumppaustesteillä mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikä	Tutkittu muodostuma	Pumppauskokeen tulkinta		
		Tulkintamenetelmä	T (m ² /d)	K (m/s)
17MOS8193	Kallioperä - Pohjaruhje	Theis palautuminen	2.36E+01	9.59E-07
		Cooper-Jacob	1.46E+01	5.93E-07
		Papadopoulos-Cooper	1.66E+01	6.74E-07
18MOS8207	Kallioperä - SE-NW ruhje	Theis palautuminen	4.06E-03	9.96E-11
18MOS8205	Kallioperä	Cooper-Jacob	2.67E-01	1.67E-08
17HYD001	Ylempi kallio	Cooper-Jacob	1.42E+02	3.25E-05
17HYD002	Ylempi kallio	Theis	1.76E+02	2.79E-05
17HYD014	Ylempi kallio	Neuman rajoittamaton vesivarasto	1.05E-02	3.76E-09
17HYD004	Ylempi kallio	MLU monikerroksinen vesivarasto	7.43E+01	9.51E-06
17HYD006	Ylempi kallio	MLU monikerroksinen vesivarasto	2.62E+01	3.33E-06
17HYD008	Ylempi kallio	MLU läpäisevä vesivarasto	5.20E+01	6.56E-06
17MOS8169	Ylempi kallio	Cooper-Jacob (alenema ja palautuminen)	1.84E+00	8.06E-08
11MOS8054	Ks. Spinner-testin kuvaus	Bouwer-Rice	1.03E-01	1.11E-09
13MOS8123	Ks. Spinner-testin kuvaus	Theis palautuminen	7.71E-01	9.74E-09
16MOS8161	Ks. Spinner-testin kuvaus	Cooper-Jacob (alenema ja palautuminen)	5.66E-01	7.40E-09
12MOS8096	Ks. Spinner-testin kuvaus	Cooper-Jacob (vain palautuminen)	1.72E+00	6.11E-08
17HYD013	Ks. Spinner-testin kuvaus	Cooper-Jacob	1.72E+00	1.04E-07
17HYD017	Ks. Spinner-testin kuvaus	Cooper-Jacob (vain palautuminen)	2.94E+01	5.81E-06
17MOS8174	Ks. Spinner-testin kuvaus	Cooper-Jacob (vain palautuminen)	5.57E-01	9.32E-09
17HYD016	Jäätikkökerrostuma, sorainen hiekkamoreeni ja silttinen hiekkamoreeni	MLU monikerroksinen vesivarasto	2.93E+01	1.16E-04
17HYD015	Jäätikkökerrostuma, hiekkainen soraamoreeni, silttimoreeni ja hiekkainen silttimoreeni	MLU monikerroksinen vesivarasto	1.31E+01	5.21E-05

TAULUKKO 3-5

Yhteenveto paineilman avulla tehdyissä antoisuuskokeissa mitatuista vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikä	Syvyys (m)	Mitattu vesipinnan syvyys (m)	Saturoituneen vesivaraston paksuus (m)	Testipäivä	Nostepumpkauksen tulkinta			
					Tulkinta- menetelmä	T (m ² /d)	K (m/d)	K (m/s)
17HYD003	12.09	1.19	10.90	1.5.2017	Theis palautuminen	75.78	6.952	8.05E-05
17HYD005	9.55	0.05	9.50	2.5.2017	Theis palautuminen	57.33	6.035	6.98E-05
17HYD007	16.00	1.54	14.46	24.4.2017	Theis palautuminen	0.81	0.056	6.48E-07
17HYD009	8.60	4.68	3.92	21.4.2017	Theis palautuminen	0.017	0.004	5.02E-08
17HYD011	12.74	0.10	12.64	30.4.2017	Theis palautuminen	10.24	0.810	9.38E-06
17HYD012	8.40	0.09	8.31	22.4.2017	Theis palautuminen	30.43	3.662	4.24E-05
17HYD015	11.50	0.70	10.80	30.4.2017	Theis palautuminen	33	3.056	3.54E-05
17HYD018	9.51	5.94	2.09	8.3.2017	Cooper-Jacob rajoittamaton	0.677	0.324	3.75E-06
17HYD016	10.75	5.53	2.49	7.3.2017	Bouwer-Rice rajoittamaton	0.041085	0.0165	1.91E-07

TAULUKKO 3-6

Yhteenveto ruhjeiden vedenjohtavuuden arvoista

Kairareikä	Testin tyyppi	Reikäpituus (m)		Ruhjerakenne	Mitattu vedenjohtavuus (m/s)
		Yläpinta	Alapinta		
16MOS8160	Pakkeri	380.4	480.4	HW Shear Central	1.26E-08
16MOS8160	Pakkeri	795.35	893.1	SENW1	6.31E-11
16MOS8163	Pakkeri	167.4	215.4	EW	2.37E-08
16MOS8163	Pakkeri	215.4	281.75	EW	1.05E-08
17MOS8174	Pakkeri	100.95	158.4	EW Central	6.17E-09
17MOS8174	Pakkeri	158.4	242.4	EW Central	2.44E-08
17MOS8178	Pakkeri	606.65	705.45	SENW1	6.04E-09
17MOS8184	Pakkeri	477.25	572.2	SENW1	1.69E-08
17MOS8199	Pakkeri	209.1	391.2	EW	1.87E-08
17MOS8200	Pakkeri	396.15	496.15	EW	6.58E-09
17MOS8200	Pakkeri	716.4	851.1	Lower Thrust 1	4.26E-11
17MOS8201	Pakkeri	1039.25	1042	Lower Thrust 2	1.63E-09
17MOS8207	Pakkeri	382.25	455.5	HW Shear Central, SENW1	3.56E-09
18MOS8208	Pakkeri	858.35	930.8	HW Shear Central	2.14E-09
18MOS8208	Pakkeri	930.8	1105.5	Lower Thrust 2	8.58E-10
18MOS8226	Pakkeri	865.2	950	Lower Thrust 2	1.67E-08
18MOS8231	Pakkeri	588.35	683.5	HW Shear Central	4.34E-08
20MOS8248	Pakkeri	744.9	780	Ei vielä 2020 mallissa	7.04E-10
20MOS8250	Pakkeri	271.9	389.6	Ei vielä 2020 mallissa	3.15E-09
20MOS8253	Pakkeri	708.9	730.9	Ei vielä 2020 mallissa	1.24E-07
20MOS8254	Pakkeri	115.1	148.4	Ei vielä 2020 mallissa	1.31E-09
20MOS8255	Pakkeri	122.5	182.8	Ei vielä 2020 mallissa	2.61E-08
20MOS8255	Pakkeri	186.2	282.9	Ei vielä 2020 mallissa	1.59E-08
20MOS8255	Pakkeri	311.8	368.8	Ei vielä 2020 mallissa	7.69E-10
20MOS8256	Pakkeri	671.55	703.8	Ei vielä 2020 mallissa	3.22E-09
21MOS8257C	Pakkeri	789.9	903	Ei vielä 2020 mallissa	5.62E-10
21MOS8259B	Pakkeri	684.6	734.8	Ei vielä 2020 mallissa	1.28E-09
21MOS8260	Pakkeri	486.5	593.4	Ei vielä 2020 mallissa	5.41E-08
21MOS8262	Pakkeri	363.9	485.4	Ei vielä 2020 mallissa	1.04E-06
21MOS8263	Pakkeri	30.4	139.5	Ei vielä 2020 mallissa	7.63E-09
21MOS8263	Pakkeri	573.2	647.2	Ei vielä 2020 mallissa	6.51E-10
13MOS8123	Spinneri	312.6	316.66	Myloniittinen hierto	3.54E-08
16MOS8161	Spinneri	64.16	104.16	Myloniittinen hierto	7.40E-09
17HYD013	Spinneri	28.75	35.75	Rikkonainen kairanäyte	7.59E-07
17MOS8174	Spinneri	508.15	512.55	Rikkonainen kairanäyte	3.11E-08
17MOS8174	Spinneri	600.95	629.15	Erittäin rikkonainen näyte	1.67E-08
17MOS8174	Spinneri	653.35	654.75	Voimakkaasti muuttunut	5.90E-09

TAULUKKO 3-7

**Mitatut vuotuiset sadantatiedot Sodankylän Tähtelän asemalla
(Sivu 1 / 2)**

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
1995	560.1
1996	526.6

TAULUKKO 3-7

Mitatut vuotuiset sadantatiedot Sodankylän Tähtelän asemalla
(Sivu 2 / 2)

Vuosi	Mitattu vuosisadanta (mm)
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 ¹	170.9
Aritmeettinen keskiarvo (1959 - 2020)	518
Aritmeettinen keskiarvo (2000 - 2020)	548
Aritmeettinen keskiarvo (2010 - 2020)	553

Huom:

1. Vuotta 2021 ei ole sisällytetty aritmeettiseen keskiarvoon koska vuoden aineisto oli epätäydellinen.

TAULUKKO 3-8

Keskimääräiset kuukausittaiset ja päivittäiset sadannat Sodankylän Tähtelän asemalla

Kuukausi	Koko mittaushistoria (1959 – 2020)		Viimeisimmät 20 vuotta (2000 – 2020)		Viimeisimmät 10 vuotta (2011 – 2020)	
	Päivittäinen sadanta (mm/vrk)	Kuukausittainen kokonaissadanta (mm)	Päivittäinen sadanta (mm/vrk)	Kuukausittainen kokonaissadanta (mm)	Päivittäinen sadanta (mm/vrk)	Kuukausittainen kokonaissadanta (mm)
Tammikuu	1.1	33.7	1.2	36.3	1.1	35.0
Helmikuu	1.0	27.4	1.0	29.3	1.0	28.2
Maaliskuu	0.9	27.1	0.9	28.8	0.8	26.3
Huhtikuu	0.9	27.4	1.0	30.1	1.0	29.5
Toukokuu	1.2	37.7	1.3	41.7	1.4	43.9
Kesäkuu	1.9	57.5	2.4	71.4	1.9	58.2
Heinäkuu	2.3	69.8	2.3	70.8	2.7	82.6
Elokuu	1.9	59.9	1.5	47.0	1.8	56.4
Syyskuu	1.8	52.6	1.8	54.1	1.9	56.4
Lokakuu	1.6	48.1	1.7	51.4	1.4	44.6
Marraskuu	1.4	40.7	1.5	45.6	1.4	42.2
Joulukuu	1.2	19.7	1.6	27.9	1.3	22.3

TAULUKKO 3-9

Mitatut vuotuiset astiahaihduntatiedot Sodankylän Tähtelän asemalla
 (Sivu 1 / 2)

Vuosi	Pannuhaihdunta (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
1993	190.7
1994	296.2

TAULUKKO 3-9

Mitatut vuotuiset astiahaihduntatiedot Sodankylän Tähtelän asemalla
 (Sivu 2 / 2)

Vuosi	Pannuhaihdunta (mm)
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 to 2011)	329

Huom:

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

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä RCP4.5-ilmastoskenaariossa (mm/vrk)
 (Sivu 1 / 10)

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.7.2021	0.4	0.5	0.4
1.8.2021	0.9	1.3	0.0
1.9.2021	0.4	0.8	0.0
1.10.2021	0.0	0.0	0.0
1.11.2021	0.5	0.6	0.0
1.12.2021	0.0	0.0	0.0
1.1.2022	0.0	0.0	0.0
1.2.2022	0.1	0.5	0.1
1.3.2022	0.0	0.0	0.0
1.4.2022	0.9	1.3	0.3
1.5.2022	1.4	2.5	0.0
1.6.2022	0.4	0.5	0.6
1.7.2022	0.0	0.0	0.0
1.8.2022	0.0	0.0	0.0
1.9.2022	0.0	0.3	0.8
1.10.2022	1.3	1.4	0.1
1.11.2022	0.3	0.6	0.0
1.12.2022	0.1	0.2	0.0
1.1.2023	0.0	0.0	0.0
1.2.2023	0.2	0.4	0.1
1.3.2023	0.0	0.1	0.0
1.4.2023	0.6	0.9	0.2
1.5.2023	2.4	5.0	0.0
1.6.2023	0.0	0.0	0.0
1.7.2023	0.0	0.1	0.4
1.8.2023	0.0	0.0	0.0
1.9.2023	0.0	0.0	0.0
1.10.2023	0.0	0.1	1.1
1.11.2023	0.0	0.0	0.0
1.12.2023	1.5	1.6	1.2
1.1.2024	0.0	0.0	0.0
1.2.2024	0.0	0.0	0.0
1.3.2024	0.3	0.8	0.2
1.4.2024	1.1	1.6	0.2
1.5.2024	0.8	1.4	0.0
1.6.2024	0.0	0.0	0.0
1.7.2024	0.0	0.0	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä RCP4.5-ilmastoskenaariossa (mm/vrk)
 (Sivu 2 / 10)

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.8.2024	2.0	2.4	3.3
1.9.2024	0.0	0.2	0.0
1.10.2024	0.6	0.8	0.0
1.11.2024	0.6	1.0	0.0
1.12.2024	0.1	0.3	0.0
1.1.2025	0.4	0.7	0.0
1.2.2025	0.0	0.0	0.0
1.3.2025	0.0	0.2	0.0
1.4.2025	2.5	4.0	0.0
1.5.2025	0.4	0.5	0.0
1.6.2025	0.3	0.8	0.0
1.7.2025	0.0	0.0	0.0
1.8.2025	0.0	0.2	0.5
1.9.2025	0.5	0.5	0.0
1.10.2025	1.1	1.4	0.1
1.11.2025	0.9	1.4	0.0
1.12.2025	0.9	1.2	0.0
1.1.2026	0.0	0.0	0.0
1.2.2026	0.0	0.0	0.0
1.3.2026	0.0	0.2	0.0
1.4.2026	2.4	3.2	0.3
1.5.2026	0.0	1.1	0.0
1.6.2026	0.0	0.0	0.0
1.7.2026	0.0	0.0	0.0
1.8.2026	0.0	0.0	0.0
1.9.2026	0.0	0.2	1.7
1.10.2026	0.0	0.1	0.9
1.11.2026	0.0	0.0	0.1
1.12.2026	0.0	0.0	0.0
1.1.2027	0.1	0.2	0.3
1.2.2027	0.0	0.0	0.0
1.3.2027	1.6	1.2	0.4
1.4.2027	2.1	3.5	0.3
1.5.2027	0.3	1.0	0.0
1.6.2027	0.0	0.0	0.0
1.7.2027	0.0	0.1	0.5
1.8.2027	0.0	0.0	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä RCP4.5-ilmastoskenaariossa (mm/vrk)
 (Sivu 3 / 10)

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.9.2027	0.0	0.0	0.0
1.10.2027	0.0	0.1	1.3
1.11.2027	0.0	0.0	0.6
1.12.2027	2.5	2.8	1.1
1.1.2028	0.0	0.1	0.0
1.2.2028	0.0	0.0	0.0
1.3.2028	0.5	1.0	0.2
1.4.2028	2.2	3.3	0.1
1.5.2028	0.0	0.0	0.0
1.6.2028	0.0	0.1	0.0
1.7.2028	0.1	0.2	0.2
1.8.2028	0.0	0.0	0.0
1.9.2028	0.0	0.0	0.3
1.10.2028	0.0	0.0	0.0
1.11.2028	0.0	0.0	0.3
1.12.2028	0.0	0.0	0.0
1.1.2029	0.0	0.0	0.5
1.2.2029	0.0	0.0	0.0
1.3.2029	0.0	0.0	0.0
1.4.2029	3.3	5.5	1.0
1.5.2029	0.0	0.0	0.0
1.6.2029	0.0	0.0	0.0
1.7.2029	0.0	0.0	0.6
1.8.2029	0.1	0.2	1.0
1.9.2029	1.5	1.4	0.1
1.10.2029	0.1	0.3	0.0
1.11.2029	0.9	1.4	0.1
1.12.2029	0.2	0.5	0.0
1.1.2030	0.0	0.0	0.0
1.2.2030	0.4	0.5	0.0
1.3.2030	0.0	0.3	0.0
1.4.2030	0.1	0.2	0.0
1.5.2030	2.3	4.0	0.0
1.6.2030	0.0	0.0	0.0
1.7.2030	0.0	0.0	0.0
1.8.2030	0.0	0.2	1.8
1.9.2030	0.1	0.2	0.4

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä RCP4.5-ilmastoskenaariossa (mm/vrk)
 (Sivu 4 / 10)

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.10.2030	0.4	0.4	0.1
1.11.2030	0.6	0.3	0.0
1.12.2030	0.0	0.0	0.0
1.1.2031	2.3	3.7	0.4
1.2.2031	0.0	0.0	0.0
1.3.2031	0.0	0.0	0.0
1.4.2031	1.7	2.7	0.0
1.5.2031	0.0	0.1	0.0
1.6.2031	0.0	0.0	0.0
1.7.2031	0.0	0.0	0.0
1.8.2031	0.0	0.0	0.1
1.9.2031	1.4	1.4	0.4
1.10.2031	0.1	0.3	0.0
1.11.2031	0.8	1.1	0.1
1.12.2031	0.0	0.0	0.0
1.1.2032	0.0	0.0	0.0
1.2.2032	0.0	0.1	0.1
1.3.2032	0.0	0.0	0.0
1.4.2032	3.1	4.6	0.4
1.5.2032	0.4	0.6	0.0
1.6.2032	0.0	0.1	0.0
1.7.2032	0.8	1.0	0.5
1.8.2032	0.0	0.0	0.0
1.9.2032	0.2	0.7	0.4
1.10.2032	1.1	1.5	0.1
1.11.2032	1.1	1.6	0.0
1.12.2032	0.5	0.9	0.0
1.1.2033	0.7	1.1	0.0
1.2.2033	0.0	0.0	0.0
1.3.2033	0.0	0.0	0.0
1.4.2033	0.0	0.0	0.0
1.5.2033	1.6	2.2	0.1
1.6.2033	0.0	0.0	0.0
1.7.2033	0.0	0.3	1.5
1.8.2033	2.1	2.6	0.3
1.9.2033	0.5	0.8	0.0
1.10.2033	1.0	1.5	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä RCP4.5-ilmastoskenaariossa (mm/vrk)
 (Sivu 5 / 10)

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.11.2033	0.3	0.7	0.0
1.12.2033	0.0	0.0	0.0
1.1.2034	0.0	0.0	0.0
1.2.2034	0.2	0.4	0.0
1.3.2034	0.0	0.1	0.0
1.4.2034	0.0	0.0	0.0
1.5.2034	2.1	3.3	0.0
1.6.2034	0.0	0.0	0.0
1.7.2034	0.0	0.0	0.0
1.8.2034	0.0	0.0	0.0
1.9.2034	0.0	0.0	0.0
1.10.2034	0.0	0.1	2.1
1.11.2034	0.0	0.9	1.1
1.12.2034	1.1	0.7	1.2
1.1.2035	0.4	0.9	0.4
1.2.2035	0.8	1.4	0.1
1.3.2035	0.0	0.0	0.0
1.4.2035	1.6	2.3	0.2
1.5.2035	0.3	0.5	0.0
1.6.2035	0.0	0.0	0.0
1.7.2035	0.0	0.0	0.0
1.8.2035	0.0	0.2	1.9
1.9.2035	0.0	0.1	0.4
1.10.2035	1.5	1.2	0.3
1.11.2035	0.2	0.9	0.0
1.12.2035	0.0	0.0	0.0
1.1.2036	1.0	1.4	0.2
1.2.2036	0.0	0.0	0.0
1.3.2036	0.0	0.1	0.0
1.4.2036	0.0	0.0	0.0
1.5.2036	1.6	2.5	0.0
1.6.2036	0.0	0.0	0.0
1.7.2036	0.0	0.0	0.2
1.8.2036	0.6	0.6	1.2
1.9.2036	0.6	0.5	0.1
1.10.2036	1.5	2.1	0.2
1.11.2036	0.0	0.0	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä RCP4.5-ilmastoskenaariossa (mm/vrk)
 (Sivu 6 / 10)

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.12.2036	0.9	1.0	0.1
1.1.2037	0.6	1.1	0.0
1.2.2037	0.1	0.8	0.0
1.3.2037	0.0	0.0	0.0
1.4.2037	1.2	1.8	0.0
1.5.2037	0.0	0.0	0.0
1.6.2037	0.0	0.0	0.0
1.7.2037	0.8	0.9	0.0
1.8.2037	0.0	0.0	0.0
1.9.2037	0.0	0.0	0.4
1.10.2037	0.0	0.0	0.2
1.11.2037	0.0	0.3	1.4
1.12.2037	1.0	0.7	0.2
1.1.2038	0.0	0.2	0.0
1.2.2038	1.3	2.2	0.3
1.3.2038	0.0	0.1	0.0
1.4.2038	1.5	2.0	0.0
1.5.2038	0.2	0.1	0.0
1.6.2038	0.0	0.0	0.0
1.7.2038	0.6	0.8	0.0
1.8.2038	0.5	0.9	0.7
1.9.2038	0.1	0.3	0.0
1.10.2038	0.6	0.8	0.0
1.11.2038	0.6	1.0	0.0
1.12.2038	0.0	0.1	0.0
1.1.2039	1.2	1.7	0.0
1.2.2039	0.0	0.0	0.0
1.3.2039	0.0	0.0	0.0
1.4.2039	1.5	2.0	0.3
1.5.2039	0.2	0.6	0.0
1.6.2039	0.0	0.0	0.0
1.7.2039	0.0	0.0	0.0
1.8.2039	0.0	0.3	2.8
1.9.2039	1.5	1.4	1.0
1.10.2039	0.5	0.8	0.0
1.11.2039	0.7	1.2	0.0
1.12.2039	0.0	0.3	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä RCP4.5-ilmastoskenaariossa (mm/vrk)
 (Sivu 7 / 10)

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.1.2040	0.0	0.0	0.0
1.2.2040	0.0	0.0	0.0
1.3.2040	0.0	0.1	0.0
1.4.2040	1.1	1.3	0.3
1.5.2040	1.8	3.6	0.0
1.6.2040	0.0	0.0	0.0
1.7.2040	1.3	1.9	1.8
1.8.2040	0.0	0.0	0.0
1.9.2040	0.3	0.4	0.6
1.10.2040	1.7	2.4	0.0
1.11.2040	0.7	1.0	0.0
1.12.2040	0.9	1.2	0.0
1.1.2041	1.0	1.8	0.0
1.2.2041	0.3	0.7	0.0
1.3.2041	0.0	0.0	0.0
1.4.2041	1.4	1.6	0.1
1.5.2041	0.0	0.0	0.0
1.6.2041	0.4	0.4	0.0
1.7.2041	0.0	0.0	0.0
1.8.2041	0.0	0.0	0.1
1.9.2041	0.0	0.1	0.3
1.10.2041	0.0	0.0	0.8
1.11.2041	0.0	0.0	0.5
1.12.2041	0.0	0.0	0.4
1.1.2042	0.0	0.0	0.0
1.2.2042	0.0	0.0	0.0
1.3.2042	0.0	0.0	0.0
1.4.2042	1.5	2.5	1.0
1.5.2042	0.0	0.0	0.0
1.6.2042	0.0	0.0	0.2
1.7.2042	1.5	1.8	1.1
1.8.2042	0.6	1.4	0.0
1.9.2042	0.0	0.2	0.4
1.10.2042	1.0	1.3	0.2
1.11.2042	1.9	2.4	0.0
1.12.2042	0.0	0.1	0.0
1.1.2043	0.7	1.1	0.0

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä RCP4.5-ilmastoskenaariossa (mm/vrk)
 (Sivu 8 / 10)

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.2.2043	0.0	0.0	0.0
1.3.2043	0.0	0.0	0.0
1.4.2043	2.0	3.1	0.3
1.5.2043	0.0	0.0	0.0
1.6.2043	0.0	0.0	0.0
1.7.2043	0.0	0.0	0.0
1.8.2043	0.0	0.0	0.0
1.9.2043	0.0	0.0	0.5
1.10.2043	0.0	0.0	0.9
1.11.2043	0.0	0.0	0.0
1.12.2043	0.0	0.0	0.0
1.1.2044	0.0	0.0	0.1
1.2.2044	0.0	0.1	0.4
1.3.2044	0.0	0.0	0.3
1.4.2044	2.9	3.7	1.6
1.5.2044	0.0	0.0	0.0
1.6.2044	0.0	0.0	0.0
1.7.2044	0.0	0.0	0.0
1.8.2044	0.0	0.0	0.1
1.9.2044	0.0	0.2	2.5
1.10.2044	0.2	0.6	0.4
1.11.2044	0.0	0.1	0.0
1.12.2044	1.0	0.2	0.1
1.1.2045	0.0	0.0	0.0
1.2.2045	0.0	0.0	0.0
1.3.2045	0.0	0.1	0.1
1.4.2045	1.2	1.6	0.5
1.5.2045	1.7	3.6	0.0
1.6.2045	0.0	0.0	0.0
1.7.2045	0.1	0.2	1.3
1.8.2045	0.0	0.0	0.1
1.9.2045	1.6	2.0	0.4
1.10.2045	1.2	1.8	0.0
1.11.2045	0.2	0.5	0.0
1.12.2045	0.0	0.0	0.0
1.1.2046	0.0	0.0	0.0
1.2.2046	1.3	1.8	0.3

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä RCP4.5-ilmastoskenaariossa (mm/vrk)
 (Sivu 9 / 10)

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.3.2046	0.0	0.0	0.0
1.4.2046	2.9	4.3	0.0
1.5.2046	0.0	0.0	0.0
1.6.2046	0.0	0.0	0.0
1.7.2046	0.0	0.0	0.0
1.8.2046	0.0	0.0	0.0
1.9.2046	0.0	0.1	0.7
1.10.2046	0.0	0.0	0.0
1.11.2046	0.0	0.2	2.0
1.12.2046	0.0	0.0	0.2
1.1.2047	0.0	0.0	0.0
1.2.2047	0.0	0.0	0.0
1.3.2047	0.0	0.0	0.0
1.4.2047	3.3	4.3	1.3
1.5.2047	0.0	0.1	0.0
1.6.2047	0.5	0.6	1.0
1.7.2047	0.0	0.0	0.0
1.8.2047	0.0	0.0	0.0
1.9.2047	0.0	0.0	0.6
1.10.2047	0.0	0.2	1.4
1.11.2047	0.0	0.1	0.1
1.12.2047	0.0	0.2	0.1
1.1.2048	0.0	0.0	0.0
1.2.2048	0.0	0.0	0.0
1.3.2048	0.1	0.3	0.1
1.4.2048	4.1	5.8	0.7
1.5.2048	0.0	0.0	0.0
1.6.2048	0.0	0.0	0.0
1.7.2048	0.0	0.2	0.7
1.8.2048	0.4	0.4	0.4
1.9.2048	0.4	0.5	0.7
1.10.2048	1.1	1.5	0.2
1.11.2048	0.0	0.0	0.0
1.12.2048	0.3	0.5	0.0
1.1.2049	0.0	0.0	0.0
1.2.2049	0.0	0.0	0.0
1.3.2049	0.3	0.5	0.1

TAULUKKO 3-10

Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät hydrogeologisissa yksiköissä RCP4.5-ilmastoskenaariossa (mm/vrk)
 (Sivu 10 / 10)

Päivämäärä	Arvioitu tulevaisuuden pohjaveden muodostuminen RCP4.5-skenaariossa (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.4.2049	0.7	1.0	0.2
1.5.2049	1.5	2.7	0.0
1.6.2049	0.0	0.0	0.0
1.7.2049	0.0	0.1	0.4
1.8.2049	0.4	0.5	0.5
1.9.2049	1.1	1.2	0.1
1.10.2049	0.1	0.5	0.0
1.11.2049	0.0	0.2	0.0
1.12.2049	0.5	0.4	0.0
1.1.2050	0.0	0.0	0.0
1.2.2050	0.0	0.0	0.0
1.3.2050	0.0	0.0	0.0
1.4.2050	1.2	2.1	0.3
1.5.2050	0.6	0.7	0.0
1.6.2050	0.0	0.0	0.0
1.7.2050	0.0	0.0	0.0
1.8.2050	0.0	0.0	0.4
1.9.2050	0.0	0.0	0.4
1.10.2050	0.0	0.0	0.5
1.11.2050	0.0	0.1	1.4
1.12.2050	0.0	0.0	0.3

TAULUKKO 3-11

Yhteenveto pohjaveden seurantaverkostosta kaivostoimintojen alueella
(Sivu 1 / 5)

Kairareikätkunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Maanpinnan korkeusasema (m mpy)	Asennusvuosi	Reiän syvyys (m)	Siiviläosuuden / Avoimen osuuden pituus (m)	Reiän suunta	Reiän kaltevuus	Pohjavesipintojen mittauksen aikaväli	Mittausten tyyppi	Pohjavesikaivon tyyppi	Hydrogeologinen yksikkö
11MOS8049	3 489 500	7 495 950	185.44	2016	200	180–195	175	75	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Smartwell-pohjavesikaivo	Syvä kallio
13MOS8120	3 489 230	7 495 850	185.6	2017	175	141–171	89	70	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Smartwell-pohjavesikaivo	Syvä kallio
13MOS8125	3 489 240	7 495 550	187.19	2017	160	127–157	93	85	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Smartwell-pohjavesikaivo	Syvä kallio
16MOS8158	3 488 634	7 495 872	182.49	2017	605	NA	132	75	2017–2021	Jatkuva	Tärylankapietsometri	Syvä kallio
16MOS8160	3 489 493	7 495 998	186.15	2017	823	NA	178	68	2017–2021	Jatkuva	Tärylankapietsometri	Syvä kallio
16MOS8163	3 489 401	7 495 450	186.33	2017	727	NA	87	75	2017–2021	Jatkuva	Tärylankapietsometri	Syvä kallio
17MOS8178	3 489 350	7 495 703	185.95	2017	760	NA	108	72	2017–2021	Jatkuva	Tärylankapietsometri	Syvä kallio
17MOS8183	3 489 900	7 495 796	188.14	2017	545	NA	177	69	2017–2021	Lopetettu	Tärylankapietsometri	Syvä kallio
17HYD001	3 488 233	7 490 930	195.66	2017	76	27.7–75.7	0	90	2017–2021	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
17HYD002	3 492 710	7 500 683	198.43	2017	100	26–100	0	90	2017	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
17HYD003	3 488 285	7 490 807	195.60	2017	11	2–8	0	90	2017–2021	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Lajittuneet kerrostumat
17HYD004	3 489 912	7 500 204	190.12	2017	100	32.8–99.8	0	90	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
17HYD005	3 486 872	7 492 778	187.46	2017	10	3–5	0	90	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Lajittuneet kerrostumat
17HYD006	3 489 607	7 498 030	190.67	2017	100	30–99	0	90	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
17HYD007	3 492 706	7 500 704	198.47	2017	16	2.8–12.8	0	90	2017	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
17HYD008	3 488 494	7 497 684	189.07	2017	102	30–102	0	90	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
17HYD009	3 488 700	7 497 492	188.31	2017	7	2.6–6.6	0	90	2017–2021	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
17HYD010	3 488 301	7 496 974	188.39	2017	7	1.4–3.4	0	90	2017–2021	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
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	Lajittuneet kerrostumat
17HYD012	3 493 737	7 503 711	208.07	2017	8.2	4.3–7.8	0	90	2017	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Lajittuneet kerrostumat
17HYD013	3 488 959	7 496 061	182.72	2017	251	29–251	54	76	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
17HYD014	3 486 683	7 494 747	183.20	2017	112	22–112	0	90	2017–2021	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
17HYD015	3 489 934	7 500 186	190.17	2017	11	3–5; 7–9	0	90	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
17HYD016	3 489 597	7 498 032	190.75	2017	11	3–7	0	90	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
17HYD017	3 487 834	7 496 295	188.01	2017	94.4	36.3–94.3	0	90	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
17HYD018	3 488 469	7 497 725	189.35	2017	10.6	4.35–8.35	0	90	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni

TAULUKKO 3-11

Yhteenveto pohjaveden seurantaverkostosta kaivostoimintojen alueella
 (Sivu 2 / 5)

Kairareikätkunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Maanpinnan korkeusasema (m mpy)	Asennusvuosi	Reiän syvyys (m)	Siiviläosuuden / Avoimen osuuden pituus (m)	Reiän suunta	Reiän kaltevuus	Pohjavesipintojen mittauksen aikaväli	Mittausten tyyppi	Pohjavesikaivon tyyppi	Hydrogeologinen yksikkö
17HYD019	3 490 206	7 499 792	189.73	2017	9	1.2–3.2; 5.2–7.2	0	90	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
17HYD020	3 490 009	7 499 416	191.29	2017	10	4–8	0	90	2017–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
17HYD021	3 489 642	7 499 133	189.69	2017	13.7	8–12	0	90	2017–2021	Ilmanpaineen Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
17HYD022	3 489 644	7 498 721	190.20	2017	14.4	8.25–12.25	0	90	2017–2021	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
17MOS8193	3 488 704	7 495 348	185.41	2017	1032	721.9–1006.9	155	80	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pumppauskaivo	Syvä kallio
17MOS8198	3 488 740	7 495 158	186.06	2017	125	32.5–122.5	164	62	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
17HYD023B	3 488 733	7 495 163	186.20	2018	15	2–14	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
18MOS8207	3 489 400	7 495 902	185.36	2018	902.5	284–774	174	76	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pumppauskaivo	Syvä kallio
18MOS8205	3 489 298	7 495 850	185.9	2018	185.3	12.9–182.9	86	79	2019	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
18HYD024	3 489 347	7 495 838	187.93	2018	7.3	6–7	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
18HYD025	3 486 594	7 490 597	192.87	2018	6.5	2.45–4.45	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
18HYD026	3 487 568	7 490 638	195.73	2018	14.4	2.8–4.8	0	90	2018	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
18HYD027	3 488 989	7 490 751	194.29	2018	6.4	2.3–4.3	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
18HYD028	3 486 369	7 491 695	193.54	2018	5.5	3.75–5.75	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
18HYD030	3 487 176	7 492 225	195.65	2018	9.3	7.9–9.9	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
18HYD033	3 487 929	7 491 219	200.02	2018	8.3	5.15–7.15	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
GA101	3 490 657	7 495 272	187.15	2012	5.1	3–5	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Turve
GA102	3 490 019	7 495 056	186.67	2012	3.3	1–3	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Turve
GA103	3 489 344	7 494 882	185.032	2012	2	1–2	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Turve
GA104	3 489 083	7 494 682	185.47	2012	3.7	2–4	0	90	2012–2021	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Turve
GA200	3 489 519	7 496 606	186.98	2012	6.4	4.5–6.5	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Lajittuneet kerrostumat
GA201	3 489 834	7 496 186	187.49	2012	5	3–5	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
GA202	3 489 776	7 495 403	186.64	2012	5	4–5	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
GA203	3 489 033	7 495 716	187.54	2012	5.4	3.5–5.5	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Lajittuneet kerrostumat
GA204	3 488 953	7 494 762	186.51	2012	4	2–4.5	0	90	2012–2021	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
GA205	3 488 408	7 494 872	187.75	2012	4	2–4	0	90	2012–2021	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Lajittuneet kerrostumat

TAULUKKO 3-11

**Yhteenveto pohjaveden seurantaverkostosta kaivostoimintojen alueella
(Sivu 3 / 5)**

Kairareikätkunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Maanpinnan korkeusasema (m mpy)	Asennusvuosi	Reiän syvyys (m)	Siiviläosuuden / Avoimen osuuden pituus (m)	Reiän suunta	Reiän kaltevuus	Pohjavesipintojen mittauksen aikaväli	Mittausten tyyppi	Pohjavesikaivon tyyppi	Hydrogeologinen yksikkö
GA300	3 489 902	7 495 662	187.51	2012	3.5	2.5–3.5	0	90	2012–2021	Manuaalinen	Maaperän pohjavesikaivo	Lajittuneet kerrostumat
GA301	3 490 661	7 495 260	187.22	2012	9.7	7.5–9.5	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Lajittuneet kerrostumat
GA302	3 490 014	7 495 054	186.58	2012	10	8–10	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Lajittuneet kerrostumat
GA303	3 489 310	7 494 800	186.06	2012	12.3	10.5–12.5	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Lajittuneet kerrostumat
GA304	3 488 954	7 494 748	186.53	2012	14.2	12–14	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
GA305	3 489 034	7 495 720	187.44	2012	10	8–10	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
GA400	3 490 031	7 496 168	190.54	2012	6.9	5–7	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Ylemmän kallion pohjavesikaivo	Ylempi kallio
GA401	3 490 663	7 495 268	187.22	2012	12.5	9.5–12.5	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Ylemmän kallion pohjavesikaivo	Ylempi kallio
GA402	3 490 016	7 495 050	186.65	2012	13	11–13	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Ylemmän kallion pohjavesikaivo	Ylempi kallio
GA403	3 489 329	7 494 844	186.04	2012	16.8	15–17	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Ylemmän kallion pohjavesikaivo	Ylempi kallio
GA404	3 488 412	7 494 864	188.39	2012	10.4	8.5–10.5	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Ylemmän kallion pohjavesikaivo	Ylempi kallio
GA405	3 489 035	7 495 723	187.41	2012	13.4	11.5–13.5	0	90	2012–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Ylemmän kallion pohjavesikaivo	Ylempi kallio
18MOS8232	3 487 479	7 493 522	183.14	2018	158	20–65.5	180	69	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
18KUU001	3 487 464	7 492 301	196.62	2018	150	72–150	180	70	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
18KUU002	3 487 398	7 491 488	205.62	2018	70	13–70	43	60	2019, 2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
18KUU003	3 488 012	7 491 630	216.7	2018	60	23–60	65	60	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
18MOS8228	3 489 102	7 495 800	186.66	2018	197	162–178	180	60	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
18HYD035	3 489 199	7 495 546	186.83	2018	10	4–8	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
18HYD036	3 489 198	7 495 550	186.73	2018	22	15–21	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
18HYD037	3 489 196	7 495 554	186.8	2018	57	13–57	0	76	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pumppauskaivo	Ylempi kallio
18MOS8227	3 487 811	7 494 748	185.37	2018	250	50–250	171	71	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pumppauskaivo	Syvä kallio
18MOS8229	3 488 557	7 494 708	186.66	2018	158	138–160	179	70	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
18HYD038	3 488 534	7 494 660	186.95	2018	57	18–54	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pumppauskaivo	Ylempi kallio
18HYD039	3 488 534	7 494 670	186.67	2018	15	5–12.5	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
18HYD040	3 488 534	7 494 684	186.73	2018	30	24–30	0	90	2018–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
19KUU005	3 486 022	7 491 524	197.00	2019	50	20–50	1	60	2019–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio

TAULUKKO 3-11

Yhteenveto pohjaveden seurantaverkostosta kaivostoimintojen alueella
(Sivu 4 / 5)

Kairareikätkunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Maanpinnan korkeusasema (m mpy)	Asennusvuosi	Reiän syvyys (m)	Siiviläosuuden / Avoimen osuuden pituus (m)	Reiän suunta	Reiän kaltevuus	Pohjavesipintojen mittauksen aikaväli	Mittausten tyyppi	Pohjavesikaivon tyyppi	Hydrogeologinen yksikkö
19KUU015	3 486 669	7 491 734	201.15	2019	15	9–15	1	60	2019–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
19KUU017	3 488 342	7 491 994	226.67	2019	51	0–50	360	60	2019–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
19KUU019	3 488 803	7 492 230	226.23	2019	51	20–50	1	60	2019–2021	Manuaalinen	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
19KUU020	3 487 418	7 491 640	211.73	2019	70	50–55	71	60	Ei	Ei mittausta	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
19KUU021	3 487 462	7 491 606	214.79	2019	60	7–60	288	60	2019–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
19KUU022	3 487 468	7 491 834	210.75	2019	100	80–100	319	60	2019–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
19KUU023	3 487 425	7 492 047	200.53	2019	53	33–50	30	60	2019–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
20MOS8245	3 487 543	7 494 463	184.6	2020	291	25–270	179	69	2020–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
20MOS8246	3 487 468	7 494 011	183.56	2020	403	30–350	172	65	2020–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
20MOS8247	3 487 476	7 493 572	184.57	2020	283	80–260	179	70	2020–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
20KUU025	3 487 455	7 492 708	190.24	2020	203	100–200	4	60	2020–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
20KUU024	3 487 457	7 492 474	192.23	2020	200	20–190	1	65	2020–2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
20GT028	3 488 222	7 491 067	198.71	2020	4.6	2.5–4.5	0	90	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
20GT030	3 489 021	7 492 001	210.98	2020	5.6	3.5–5.5	0	90	2021	Lopetettu	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
20GT031	3 488 837	7 491 551	199.44	2020	4.7	2.5–4.5	0	90	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
20GT032A	3 487 451	7 491 353	203.08	2020	2.8	0.8–2.8	0	90	2021	Lopetettu	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
20GT036	3 487 024	7 490 962	197.84	2020	4.6	1.5–4.5	0	90	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
20GT037	3 487 131	7 491 215	203.54	2020	4.0	3–5	0	90	2021	Lopetettu	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
20GT038	3 486 826	7 491 204	203.75	2020	2.6	0.5–2.5	0	90	2021	Lopetettu	Maaperän pohjavesikaivo	Moreeni
20HYD041	3 489 543	7 496 576	186.95	2020	201	145–195	276	85	Ei	Ei mittausta	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
20HYD042	3 489 466	7 496 479	187.06	2020	50	38–50	55	60	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
20HYD043	3 489 490	7 496 466	187	2020	216	25–120	49	64	Ei	Ei mittausta	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
20HYD044	3 488 961	7 491 529	197.33	2020	122	16–32; 60–76; 108–112	231	60	Ei	Ei mittausta	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
20HYD045	3 489 130	7 491 445	196.52	2020	123	25–260	0	60	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
20MOS8248	3 489 110	7 495 595	186.31	2020	156	25–140	174	73	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
20MOS8249	3 489 097	7 495 889	188.19	2020	120	80–110	177	86	Ei	Ei mittausta	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio

TAULUKKO 3-11

Yhteenveto pohjaveden seurantaverkostosta kaivostoimintojen alueella
(Sivu 5 /5)

Kairareikäkunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Maanpinnan korkeusasema (m mpy)	Asennusvuosi	Reiän syvyys (m)	Siiviläosuuden / Avoimen osuuden pituus (m)	Reiän suunta	Reiän kaltevuus	Pohjavesipintojen mittauksen aikaväli	Mittausten tyyppi	Pohjavesikaivon tyyppi	Hydrogeologinen yksikkö
21KUU026	3 487 471	7 493 221	187.60	2021	285	20–282.5	178	70	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
21KUU027	3 487 475	7 493 067	188.28	2021	280	20–280	183	59	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
21HYD046	3 487 472	7 493 542	183.65	2021	9	4–8	0	90	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Maaperän pohjavesikaivo	Lajittuneet kerrostumat
21HYD047	3 487 465	7 493 543	183.93	2021	51	12–48	0	90	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
21HYD048	3 489 113	7 495 800	186.7	2021	110	38–108	180	70	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Ylempi kallio
21KUU028	3 487 467	7 493 221	187.66	2021	455	20–440	0	60	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio
21MOS8264	3 487 479	7 493 797	185.15	2021	339	109–329	177	68	2021	Manuaalinen + Jatkuva	Kallioperän pohjavesikaivo	Syvä kallio

Huom:

1. Koordinaattijärjestelmä on KKJ3.

TAULUKKO 4-1

Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut hydrauliset ominaisuudet Sakatin maanalaisen kaivoksen pohjaveden virtausmallissa

Hydrogeologinen yksikkö		Vedenjohtavuuden mitattu vaihteluväli (m/s)	Mallinnuksen avulla 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	Ylempi Kuusivaara	$5.0 \times 10^{-8} - 4.3 \times 10^{-3}$	3.5×10^{-5}	3.5×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.025	
	Ylempi		5.8×10^{-6}	2.9×10^{-6}	2	1.0×10^{-6}	0.05	
	Keski							
	Keskimääräinen							
	Alempi							
Lajittuneet pintakerrostumat			$3.5 \times 10^{-5} - 4.6 \times 10^{-5}$	$3.5 \times 10^{-6} - 4.6 \times 10^{-6}$	10	1.0×10^{-6}	0.15	
Lajittunut	Keski		2.3×10^{-5}	5.8×10^{-6}	4	1.0×10^{-6}	0.05	
	Alempi							
Hiekka	Ylempi		1.2×10^{-5}	1.2×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.05	
	Keski							
	Alempi							
Savinen rapauma			1.2×10^{-6}	1.2×10^{-7}	10	1.0×10^{-6}	0.05	
Rapautunut kallio			2.3×10^{-5}	2.3×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.05	
Pohjakerrostumat			1.2×10^{-5}	1.2×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.05	
Kitinen, jokikerrostumat			2.3×10^{-5}	2.3×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.25	
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	Joen varrella	$8.1 \times 10^{-8} - 1.4 \times 10^{-4}$	2.3×10^{-5}	2.3×10^{-6}	10	5.0×10^{-6}	0.01	
	Päämallinnusalue		5.8×10^{-6}	5.8×10^{-7}	10	5.0×10^{-6}	0.01	
	Kuusivaaran alue		$1.0 \times 10^{-5} - 4.7 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-6} - 4.7 \times 10^{-6}$	10	5.0×10^{-6}	0.01	
Ehjä kallio	Joen varrella	$1.0 \times 10^{-12} - 3.4 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-9} - 2.0 \times 10^{-7}$	$2.0 \times 10^{-10} - 2.0 \times 10^{-8}$	10	5.0×10^{-6}	0.005	Vedenjohtavuusarvot (K) pienenevät syvyyden suhteen vesihävikikokeiden mittaustulosten perusteella; ks. Kuva 4-3.
	Kaivoksen lähialue		$1.0 \times 10^{-9} - 1.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-10} - 1.0 \times 10^{-8}$	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	
Muut ruhjeet		$4.3 \times 10^{-11} - 1.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-9} - 1.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-9} - 1.0 \times 10^{-7}$	1	5.0×10^{-6}	0.005	

Huom:

- 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
 (Sivu 1 / 3)

Päivämäärä	Arvioitu pohjaveden muodostuminen (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.6.2012	1.7	2.2	0.4
1.7.2012	0.0	0.0	0.0
1.8.2012	0.0	0.0	0.0
1.9.2012	1.4	1.5	2.3
1.10.2012	0.7	1.4	0.0
1.11.2012	1.3	1.8	0.0
1.12.2012	0.0	0.0	0.0
1.1.2013	0.0	0.0	0.0
1.2.2013	0.0	0.0	0.0
1.3.2013	0.0	0.0	0.0
1.4.2013	3.0	4.4	0.6
1.5.2013	0.0	0.1	0.0
1.6.2013	0.6	1.0	0.6
1.7.2013	0.0	0.0	0.0
1.8.2013	0.0	0.0	0.0
1.9.2013	0.0	0.0	0.2
1.10.2013	0.0	0.3	2.0
1.11.2013	0.0	0.0	0.0
1.12.2013	0.6	0.6	0.4
1.1.2014	0.0	0.0	0.0
1.2.2014	1.0	0.6	0.2
1.3.2014	0.9	1.7	0.1
1.4.2014	2.4	3.5	0.1
1.5.2014	0.0	0.0	0.0
1.6.2014	0.3	0.4	0.0
1.7.2014	0.0	0.0	0.0
1.8.2014	0.0	0.0	0.0
1.9.2014	0.3	0.7	0.8
1.10.2014	1.0	1.1	0.1
1.11.2014	0.5	0.7	0.0
1.12.2014	0.0	0.0	0.0
1.1.2015	0.0	0.0	0.0
1.2.2015	0.0	0.0	0.0
1.3.2015	0.5	0.9	0.2
1.4.2015	1.6	2.2	0.0
1.5.2015	1.9	3.5	0.0
1.6.2015	0.2	0.5	0.0

TAULUKKO 4-2

Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut pohjaveden muodostumismäärät pohjaveden virtausmallissa
 (Sivu 2 / 3)

Päivämäärä	Arvioitu pohjaveden muodostuminen (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.7.2015	0.5	0.7	0.0
1.8.2015	0.0	0.0	0.0
1.9.2015	1.3	1.9	0.1
1.10.2015	0.7	1.0	0.0
1.11.2015	0.0	0.2	0.0
1.12.2015	0.0	0.0	0.0
1.1.2016	0.0	0.0	0.0
1.2.2016	0.7	0.8	0.1
1.3.2016	0.4	0.8	0.1
1.4.2016	2.7	4.0	0.0
1.5.2016	0.0	0.2	0.0
1.6.2016	1.0	1.5	0.6
1.7.2016	0.1	0.4	0.0
1.8.2016	0.6	0.6	0.2
1.9.2016	1.5	2.2	0.0
1.10.2016	0.0	0.0	0.0
1.11.2016	0.7	1.1	0.0
1.12.2016	0.0	0.0	0.0
1.1.2017	0.0	0.0	0.0
1.2.2017	0.0	0.1	0.0
1.3.2017	0.0	0.0	0.0
1.4.2017	0.5	0.4	0.1
1.5.2017	1.7	2.8	0.1
1.6.2017	0.0	0.0	0.0
1.7.2017	0.2	0.2	0.0
1.8.2017	0.0	0.1	0.4
1.9.2017	0.0	0.2	0.8
1.10.2017	1.0	1.3	0.2
1.11.2017	0.6	1.0	0.0
1.12.2017	0.0	0.0	0.0
1.1.2018	0.0	0.0	0.0
1.2.2018	0.0	0.0	0.0
1.3.2018	0.0	0.0	0.0
1.4.2018	2.5	3.4	0.6
1.5.2018	0.0	0.6	0.0
1.6.2018	0.0	0.0	0.0
1.7.2018	0.0	0.0	0.0

TAULUKKO 4-2

Hydrogeologisten yksiköiden simuloidut pohjaveden muodostumismäärät pohjaveden virtausmallissa
 (Sivu 3 / 3)

Päivämäärä	Arvioitu pohjaveden muodostuminen (mm/vrk)		
	Moreeni	Lajittuneet kerrostumat	Turve
1.8.2018	0.0	0.1	0.9
1.9.2018	0.5	1.1	1.6
1.10.2018	1.1	0.5	0.0
1.11.2018	0.3	1.0	0.0
1.12.2018	0.2	0.3	0.0
1.1.2019	0.0	0.0	0.0
1.2.2019	0.0	0.2	0.1
1.3.2019	0.7	0.6	0.1
1.4.2019	2.6	4.3	0.2
1.5.2019	0.0	0.0	0.0
1.6.2019	0.3	0.6	0.1
1.7.2019	0.0	0.0	0.0
1.8.2019	0.0	0.0	0.0
1.9.2019	0.0	0.1	0.9
1.10.2019	0.0	0.0	0.6
1.11.2019	0.0	0.0	0.0
1.12.2019	0.0	0.0	0.0
1.1.2020	0.0	0.0	0.1
1.2.2020	0.0	0.0	0.1
1.3.2020	0.0	0.1	0.6
1.4.2020	1.2	0.9	0.3
1.5.2020	3.1	6.1	0.2
1.6.2020	0.2	0.6	0.0
1.7.2020	0.0	0.0	0.0
1.8.2020	0.0	0.0	0.0
1.9.2020	0.0	0.2	1.2
1.10.2020	1.6	1.9	0.7
1.11.2020	0.5	0.9	0.0
1.12.2020	0.1	0.3	0.0
1.1.2021	0.0	0.0	0.0
1.2.2021	0.0	0.0	0.0
1.3.2021	1.0	1.2	0.2
1.4.2021	1.5	2.4	0.0
1.5.2021	0.6	1.2	0.0
1.6.2021	0.5	0.6	0.4

TAULUKKO 4-3

Pohjaveden steady state -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet
 (Sivu 1 / 3)

Havaintopisteen tunnus	Itä (m)	Pohjoinen (m)	Maanpinnan korkeusasema (m mpy)	Siiviläosuuden korkeusasema (m mpy)		Hydrogeologinen yksikkö	Pohjaveden pinnankorkeuden mittausajankohta	Mitattu pohjavesipinta (m mpy)	Mallinnettu pohjavesipinta (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	187.9	0.32
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	185.9	-0.28
GA200	3 489 519	7 496 606	187.0	182.5	180.5	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2013	185.6	186.1	0.52
GA201	3 489 834	7 496 186	187.5	184.5	182.5	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2013	186.8	187.0	0.20
GA202	3 489 776	7 495 403	186.6	182.6	181.6	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2013	186.6	186.6	-0.03
GA203	3 489 033	7 495 716	187.5	184.0	182.0	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2013	182.5	182.4	-0.10
GA301	3 490 661	7 495 260	187.2	179.7	177.7	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2013	187.5	187.9	0.42
GA302	3 490 014	7 495 054	186.6	178.6	176.6	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2013	186.7	187.0	0.27
GA303	3 489 310	7 494 800	186.1	175.6	173.6	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2013	186.1	185.9	-0.24
GA304	3 488 954	7 494 748	186.5	174.5	172.5	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2013	185.3	185.1	-0.20
GA305	3 489 034	7 495 720	187.4	179.4	177.4	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2013	182.7	182.4	-0.31
GA401	3 490 663	7 495 268	187.2	177.7	174.7	Ylempi kallio	Maaliskuu 2013	187.3	187.9	0.57
GA402	3 490 016	7 495 050	186.7	175.7	173.7	Ylempi kallio	Maaliskuu 2014	186.7	187.0	0.32
GA403	3 489 329	7 494 844	186.0	171.0	169.0	Ylempi kallio	Maaliskuu 2014	186.1	185.9	-0.15
GA404	3 488 412	7 494 864	188.4	179.9	177.9	Ylempi kallio	Maaliskuu 2013	184.2	183.8	-0.46
GA405	3 489 035	7 495 723	187.4	175.9	173.9	Ylempi kallio	Maaliskuu 2013	182.7	182.3	-0.32
11MOS8049	3 489 500	7 495 950	185.4	5.4	-9.6	Syvä kallio	Maaliskuu 2017	185.6	185.1	-0.43
13MOS8120	3 489 230	7 495 850	185.6	44.6	14.6	Syvä kallio	Maaliskuu 2017	183.4	183.5	0.19
13MOS8125	3 489 240	7 495 550	187.2	60.2	30.2	Syvä kallio	Maaliskuu 2017	185.5	184.5	-0.96
17HYD004	3 489 912	7 500 204	190.1	157.3	90.3	Ylempi kallio	Maaliskuu 2020	188.7	188.1	-0.52

TAULUKKO 4-3

Pohjaveden steady state -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet
 (Sivu 2 / 3)

Havaintopisteen tunnus	Itä (m)	Pohjoinen (m)	Maanpinnan korkeusasema (m mpy)	Siiviläosuuden korkeusasema (m mpy)		Hydrogeologinen yksikkö	Pohjaveden pinnankorkeuden mittausajankohta	Mitattu pohjavesipinta (m mpy)	Mallinnettu pohjavesipinta (m mpy)	Mallin jäännösero (m)
				Yläpinta	Alapinta					
17HYD006	3 489 607	7 498 030	190.7	160.7	91.6	Ylempi kallio	Maaliskuu 2018	185.4	185.3	-0.03
17HYD008	3 488 494	7 497 684	189.1	158.6	86.9	Ylempi kallio	Maaliskuu 2018	183.4	184.6	1.20
17HYD013	3 488 959	7 496 061	182.7	153.4	-68.7	Syvä kallio	Maaliskuu 2018	181.4	181.5	0.15
17HYD015	3 489 934	7 500 186	190.2	187.1	181.1	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2018	188.8	188.2	-0.53
17HYD016	3 489 597	7 498 032	190.7	187.7	183.7	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2018	185.4	185.4	-0.05
17HYD017	3 487 834	7 496 295	188.0	151.7	93.7	Ylempi kallio	Maaliskuu 2018	182.0	182.7	0.60
17HYD018	3 488 469	7 497 725	189.3	185.0	181.0	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2018	183.7	184.5	0.78
17HYD020	3 490 009	7 499 416	191.3	187.3	183.3	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2018	188.2	187.0	-1.27
17HYD023B	3 488 733	7 495 163	186.2	184.2	172.2	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2019	184.7	183.5	-1.26
17MOS8198	3 488 740	7 495 158	186.1	153.6	63.6	Ylempi kallio	Maaliskuu 2019	184.8	183.6	-1.13
18HYD036	3 489 198	7 495 550	186.7	171.7	165.7	Ylempi kallio	Maaliskuu 2021	184.7	184.5	-0.25
18HYD040	3 488 534	7 494 684	186.7	162.7	156.7	Ylempi kallio	Maaliskuu 2021	184.6	184.4	-0.15
18MOS8207	3 489 400	7 495 902	185.4	-98.6	-588.6	Syvä kallio	Maaliskuu 2020	185.2	184.9	-0.26
18MOS8227	3 487 811	7 494 748	185.4	135.4	-64.6	Syvä kallio	Maaliskuu 2021	181.8	183.1	1.25
18MOS8228	3 489 102	7 495 800	186.7	24.7	8.7	Syvä kallio	Maaliskuu 2020	182.8	183.3	0.41
18MOS8229	3 488 557	7 494 708	186.7	48.7	26.7	Syvä kallio	Maaliskuu 2020	184.4	184.4	-0.02
18MOS8232	3 487 479	7 493 522	183.1	163.1	117.6	Ylempi kallio	Maaliskuu 2020	182.0	182.4	0.46
GA400	3 490 031	7 496 168	190.5	185.5	183.5	Ylempi kallio	Maaliskuu 2020	187.5	187.7	0.15
GA402	3 490 016	7 495 050	186.7	175.7	173.7	Ylempi kallio	Maaliskuu 2021	186.7	187.0	0.22
GA403	3 489 329	7 494 844	186.0	171.0	169.0	Ylempi kallio	Maaliskuu 2021	186.0	185.9	-0.10
17HYD005	3 486 872	7 492 778	187.5	184.5	182.5	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2020	187.6	187.1	-0.50

TAULUKKO 4-3

Pohjaveden steady state -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet
 (Sivu 3 / 3)

Havaintopisteen tunnus	Itä (m)	Pohjoinen (m)	Maanpinnan korkeusasema (m mpy)	Siiviläosuuden korkeusasema (m mpy)		Hydrogeologinen yksikkö	Pohjaveden pinnankorkeuden mittausajankohta	Mitattu pohjavesipinta (m mpy)	Mallinnettu pohjavesipinta (m mpy)	Mallin jäännösero (m)
				Yläpinta	Alapinta					
18HYD025	3 486 594	7 490 597	192.9	190.4	188.4	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2020	192.4	192.4	0.01
18HYD027	3 488 989	7 490 751	194.3	192.0	190.0	Kivennäismaalaji	Maaliskuu 2021	194.6	194.2	-0.44
18HYD028	3 486 369	7 491 695	193.5	189.8	187.8	Kivennäismaalaji	Kesäkuu 2021	193.4	192.0	-1.35
18HYD030	3 487 176	7 492 225	195.6	187.7	185.7	Kivennäismaalaji	Huhtikuu 2020	191.4	192.1	0.68
18HYD033	3 487 929	7 491 219	200.0	194.9	192.9	Kivennäismaalaji	Huhtikuu 2020	195.4	197.1	1.67
18KUU001	3 487 464	7 492 301	196.6	124.6	46.6	Syvä kallio	Huhtikuu 2020	191.7	192.6	0.89
18KUU003	3 488 012	7 491 630	216.7	193.7	156.7	Ylempi kallio	Huhtikuu 2020	208.6	206.1	-2.53
19KUU005	3 486 022	7 491 524	197.0	177.0	147.0	Ylempi kallio	Huhtikuu 2020	189.2	190.3	1.08
19KUU017	3 488 342	7 491 994	226.7	226.7	176.7	Ylempi kallio	Huhtikuu 2021	201.2	202.8	1.59
19KUU021	3 487 462	7 491 606	214.8	207.8	154.8	Ylempi kallio	Huhtikuu 2021	199.2	198.0	-1.22
19KUU022	3 487 468	7 491 834	210.7	130.7	110.7	Ylempi kallio	Huhtikuu 2021	194.5	196.3	1.76
20KUU024	3 487 457	7 492 474	192.2	172.2	2.2	Syvä kallio	Huhtikuu 2021	191.5	191.4	-0.06
20KUU025	3 487 455	7 492 709	190.2	90.2	-9.8	Syvä kallio	Huhtikuu 2021	189.6	189.3	-0.33
17HYD001	3 487 467	7 493 221	195.7	168.0	120.0	Ylempi kallio	Toukokuu 2017	195.7	195.4	-0.24
17HYD009	3 488 700	7 497 492	188.3	185.7	181.7	Kivennäismaalaji	Huhtikuu 2020	183.7	184.7	1.07
17HYD010	3 488 301	7 496 974	188.4	187.0	185.0	Kivennäismaalaji	Huhtikuu 2020	184.3	185.3	1.04
17HYD014	3 486 683	7 494 747	183.2	161.2	70.9	Kivennäismaalaji	Huhtikuu 2019	181.8	182.7	0.84
17HYD019	3 490 206	7 499 792	189.7	188.5	182.5	Kivennäismaalaji	Huhtikuu 2020	189.1	188.5	-0.56
GA104	3 489 083	7 494 682	185.5	183.5	181.5	Turve	Huhtikuu 2012	185.4	185.5	0.15
GA204	3 488 953	7 494 762	186.5	184.5	182.0	Kivennäismaalaji	Huhtikuu 2012	185.4	185.1	-0.27
GA300	3 489 902	7 495 662	187.5	185.0	184.0	Kivennäismaalaji	Huhtikuu 2012	186.2	187.1	0.84

Huom:

1. Koordinaattijärjestelmä on KKJ3.

TAULUKKO 4-4

Steady state -virtausmallin kalibroinnin lasketut tilastolliset tunnusluvut

Steady state -mallin tilastolliset tunnusluvut	
Keskivirhe (m)	0.1
Absoluuttinen keskivirhe (m)	0.6
Neliöllinen keskivirhe (m)	0.8
Korkein mitattu pohjaveden pinnan taso (m mpy)	208.6
Matalin mitattu pohjaveden pinnan taso (m mpy)	181.4
Mitattujen pohjaveden pinnankorkeuksien ero (m)	27.2
Normalisoitu neliöllinen keskivirhe (%)	3 %
Korrelaatiokerroin (r^2)	0.99
Jäännösvirheen suurin arvo (m)	1.8
Jäännösvirheen pienin arvo (m)	-2.5
Havaintojen määrä	69

TAULUKKO 4-5

Pohjaveden transient -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet
(Sivu 1 / 4)

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

TAULUKKO 4-5

Pohjaveden transient -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet
(Sivu 2 / 4)

Havaintopisteen tunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Pohjaveden pinnankorkeus (m mpy)	Hydrogeologinen yksikkö
17HYD020	3 490 009	7 499 416	191.3	Kivennäismaalaji
17HYD021	3 489 642	7 499 133	189.7	Kivennäismaalaji
17HYD022	3 489 644	7 498 721	190.2	Kivennäismaalaji
17HYD023B	3 488 733	7 495 163	186.2	Kivennäismaalaji
17MOS8178	3 489 350	7 495 703	186.0	Syvä kallio
17MOS8183	3 489 900	7 495 796	188.1	Syvä kallio
17MOS8198	3 488 740	7 495 158	186.1	Ylempi kallio
18HYD024	3 489 347	7 495 838	187.9	Kivennäismaalaji
18HYD025	3 486 594	7 490 597	192.9	Kivennäismaalaji
18HYD027	3 488 989	7 490 751	194.3	Kivennäismaalaji
18HYD028	3 486 369	7 491 695	193.5	Kivennäismaalaji
18HYD030	3 487 176	7 492 225	195.6	Kivennäismaalaji
18HYD033	3 487 929	7 491 219	200.0	Kivennäismaalaji
18HYD035	3 489 199	7 495 546	186.8	Kivennäismaalaji
18HYD036	3 489 198	7 495 550	186.7	Ylempi kallio
18HYD037	3 489 196	7 495 554	186.8	Ylempi kallio
18HYD038	3 488 534	7 494 660	187.0	Ylempi kallio
18HYD039	3 488 534	7 494 670	186.7	Kivennäismaalaji
18HYD040	3 488 534	7 494 684	186.7	Ylempi kallio
18KUU001	3 487 464	7 492 301	196.6	Syväkallio
18KUU002	3 487 398	7 491 488	205.6	Ylempi kallio
18KUU003	3 488 012	7 491 630	216.7	Ylempi kallio
18MOS8205	3 489 298	7 495 850	185.9	Ylempi kallio
18MOS8207	3 489 400	7 495 902	185.4	Syvä kallio
18MOS8227	3 487 811	7 494 748	185.4	Syvä kallio

TAULUKKO 4-5

Pohjaveden transient -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet
(Sivu 3 / 4)

Havaintopisteen tunnus	Itä (m) ¹	Pohjoinen (m) ¹	Pohjaveden pinnankorkeus (m mpy)	Hydrogeologinen yksikkö
18MOS8228	3 489 102	7 495 800	186.7	Syvä kallio
18MOS8229	3 488 557	7 494 708	186.7	Syvä kallio
18MOS8232	3 487 479	7 493 522	183.1	Ylempi kallio
19KUU005	3 486 022	7 491 524	197.0	Ylempi kallio
19KUU015	3 486 669	7 491 734	201.2	Ylempi kallio
19KUU017	3 488 342	7 491 994	226.7	Ylempi kallio
19KUU019	3 488 803	7 492 230	226.2	Ylempi kallio
19KUU021	3 487 462	7 491 606	214.8	Ylempi kallio
19KUU022	3 487 468	7 491 834	210.7	Ylempi kallio
19KUU023	3 487 425	7 492 047	200.5	Ylempi kallio
20HYD045	3 489 130	7 491 445	196.5	Ylempi kallio
20KUU024	3 487 457	7 492 474	192.2	Syvä kallio
20KUU025	3 487 455	7 492 708	190.2	Syvä kallio
20MOS8245	3 487 543	7 494 463	184.6	Syvä kallio
20MOS8246	3 487 468	7 494 011	183.6	Syvä kallio
20MOS8247	3 487 476	7 493 572	184.6	Syvä kallio
21HYD046	3 487 472	7 493 542	183.7	Kivennäismaalaji
21HYD047	3 487 465	7 493 543	183.9	Ylempi kallio
21KUU026	3 487 471	7 493 221	187.6	Syvä kallio
21MOS8264	3 487 479	7 493 797	185.2	Syvä kallio
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	Kivennäismaalaji

TAULUKKO 4-5

Pohjaveden transient -virtausmallin kalibroinnissa käytetyt havaintopisteet
(Sivu 4 / 4)

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

Huom:

1. Koordinaattijärjestelmä on KKJ3.

TAULUKKO 4-6
**Transient -virtausmallin kalibroinnin lasketut tilastolliset tunnusluvut
 (Sivu 1 /3)**

Lasketut tunnusluvut	Heinäkuu 2012	Tammikuu 2013	Heinäkuu 2013	Tammikuu 2014	Heinäkuu 2014	Tammikuu 2015	Heinäkuu 2015
Keskivirhe (m)	-0.14	-0.08	-0.18	-0.19	-0.04	-0.08	-0.11
Absoluuttinen keskivirhe (m)	0.45	0.37	0.48	0.35	0.45	0.35	0.41
Neliöllinen keskivirhe (m)	0.56	0.42	0.58	0.42	0.57	0.41	0.51
Normalisoitu neliöllinen keskivirhe (%)	14 %	9 %	14 %	8 %	14 %	8 %	12 %
Korrelaatiokerroin (r^2)	97 %	98 %	99 %	99 %	99 %	98 %	98 %
Alin mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	183.5	182.8	183.2	182.4	183.2	182.5	183.2
Korkein mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	187.4	187.5	187.3	187.5	187.3	187.5	187.4
Mitattujen pohjaveden pinnan korkeuksien vaihteluväli (m)	3.9	4.7	4.1	5.1	4.1	5.1	4.2
Pohjaveden pinnan korkeuden mittaushavaintojen määrä	22	17	18	18	18	18	18

TAULUKKO 4-6

 Transient -virtausmallin kalibroinnin lasketut tilastolliset tunnusluvut
 (Sivu 2 /3)

Lasketut tunnusluvut	Tammikuu 2016	Heinäkuu 2016	Tammikuu 2017	Heinäkuu 2017	Tammikuu 2018	Heinäkuu 2018	Tammikuu 2019
Keskivirhe (m)	0.12	-0.03	0.07	0.09	-0.06	0.10	0.00
Absoluuttinen keskivirhe (m)	0.41	0.44	0.39	0.46	0.51	0.57	0.52
Neliöllinen keskivirhe (m)	0.55	0.57	0.49	0.61	0.61	0.65	0.61
Normalisoitu neliöllinen keskivirhe (%)	13 %	14 %	10 %	2 %	8 %	5 %	9 %
Korrelaatiokerroin (r^2)	98 %	97 %	97 %	96 %	91 %	95 %	92 %
Alin mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	183.2	183.4	182.7	181.4	181.4	181.3	181.5
Korkein mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	187.5	187.4	187.5	216.7	188.8	195.7	188.6
Mitattujen pohjaveden pinnan korkeuksien vaihteluväli (m)	4.3	4.0	4.8	35.3	7.4	14.4	7.1
Pohjaveden pinnan korkeuden mittaushavaintojen määrä	18	19	20	39	30	42	30

TAULUKKO 4-6
**Transient -virtausmallin kalibroinnin lasketut tilastolliset tunnusluvut
 (Sivu 3 /3)**

Lasketut tunnusluvut	Heinäkuu 2019	Tammikuu 2020	Heinäkuu 2020	Tammikuu 2021	Heinäkuu 2021
Keskivirhe (m)	0.16	0.31	-0.13	-0.31	-0.09
Absoluuttinen keskivirhe (m)	0.54	0.75	0.69	0.77	0.77
Neliöllinen keskivirhe (m)	0.68	1.33	0.99	1.03	1.09
Normalisoitu neliöllinen keskivirhe (%)	3 %	5 %	3 %	4 %	3 %
Korrelaatiokerroin (r^2)	96 %	91 %	98 %	97 %	97 %
Alin mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	181.4	181.3	181.4	181.5	181.5
Korkein mitattu pohjaveden pinnan korkeus (m mpy)	202.0	208.9	212.7	209.8	217.1
Mitattujen pohjaveden pinnan korkeuksien vaihteluväli (m)	20.6	27.6	31.2	28.3	35.7
Pohjaveden pinnan korkeuden mittaushavaintojen määrä	49	59	55	46	72

TAULUKKO 5-1

Yhteenveto simuloiduista malliskenaarioista

Skenaario	Tunneliporauslaitteen (TBM) syvyytaso (m)	TBM tiivistyskenaario (%)	Ruhjeiden tiivistyskenaario (%)	<i>Louhos- ja tunnelitäytön vedenjohtavuus K (m/s)</i>	Huomautus
80% tiivistyskenaario	150	80	80	5.0×10^{-8}	Todennäköisin
65% tiivistyskenaario	150	65	65	1.0×10^{-7}	

TAULUKKO 5-2



**Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismäärästä
malliskenaarioissa, joissa on mukana NE satelliittiesiintymä
(Sivu 1 / 7)**

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
0.00	0.0	0.0	0	0
0.08	5.1	8.2	3 784	6 124
0.17	7.6	10.8	9 286	13 928
0.25	28.7	29.3	30 618	35 745
0.34	42.6	43.5	62 280	68 127
0.42	50.3	51.4	96 078	102 692
0.51	55.7	57.0	137 548	145 106
0.59	59.1	60.4	180 083	188 607
0.68	61.6	63.0	225 925	235 491
0.76	65.7	67.2	273 232	283 873
0.85	69.9	71.5	325 227	337 050
0.93	77.7	79.5	383 031	396 168
1.02	85.7	87.6	444 722	459 260
1.10	92.7	94.8	513 687	529 793
1.19	99.2	101.5	585 117	602 846
1.27	102.2	104.5	661 118	680 575
1.36	107.5	109.9	741 064	762 338
1.44	111.8	114.4	816 204	839 185
1.53	114.9	117.5	901 680	926 604
1.61	117.0	119.7	985 924	1 012 763
1.70	115.9	118.5	1 072 150	1 100 949
1.78	116.2	118.8	1 155 788	1 186 487
1.87	116.7	119.3	1 242 584	1 275 256
1.95	117.5	120.1	1 329 988	1 364 647
2.04	118.0	120.7	1 414 972	1 451 562
2.12	117.6	120.3	1 502 486	1 541 065
2.21	117.2	122.0	1 586 881	1 628 912
2.29	116.8	121.6	1 673 782	1 719 368
2.37	116.7	121.5	1 760 624	1 809 763
2.46	116.2	121.0	1 841 534	1 893 983
2.54	115.6	120.3	1 927 512	1 983 478
2.63	114.9	119.6	2 010 235	2 069 586
2.71	114.5	119.2	2 095 401	2 158 235
2.80	113.4	118.0	2 177 029	2 243 203
2.88	112.5	117.1	2 260 752	2 330 351
2.97	111.5	116.0	2 343 689	2 416 681
3.05	110.3	114.9	2 423 141	2 499 383
3.14	110.1	114.6	2 505 029	2 584 621
3.22	109.7	114.2	2 584 046	2 666 870
3.31	109.4	113.9	2 665 465	2 751 620

TAULUKKO 5-2



**Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismäärästä
malliskenaarioissa, joissa on mukana NE satelliittiesiintymä
(Sivu 2 / 7)**

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
3.39	109.1	113.5	2 746 611	2 836 086
3.48	108.9	113.3	2 819 773	2 912 241
3.56	108.9	113.4	2 900 828	2 996 612
3.65	109.4	113.9	2 979 602	3 078 608
3.73	109.8	114.3	3 061 265	3 163 612
3.82	110.1	114.6	3 140 542	3 246 133
3.90	110.4	114.9	3 222 667	3 331 617
3.99	110.8	115.4	3 305 119	3 417 442
4.07	111.4	115.9	3 385 299	3 500 902
4.16	111.7	116.3	3 468 428	3 587 432
4.24	112.1	116.6	3 549 107	3 671 411
4.33	111.6	116.2	3 632 163	3 757 865
4.41	111.1	115.7	3 714 828	3 843 912
4.50	110.8	115.3	3 789 292	3 921 422
4.58	110.6	115.1	3 871 544	4 007 039
4.66	110.4	114.9	3 951 015	4 089 761
4.75	110.1	114.6	4 032 919	4 175 016
4.83	109.6	114.1	4 111 814	4 257 138
4.92	108.8	113.3	4 192 788	4 341 424
5.00	108.2	112.6	4 273 293	4 425 223
5.09	107.7	112.1	4 350 816	4 505 917
5.17	107.0	111.4	4 430 443	4 588 801
5.26	106.4	110.8	4 507 051	4 668 544
5.34	105.7	110.0	4 585 703	4 750 413
5.43	105.0	109.3	4 663 848	4 831 755
5.51	104.5	108.8	4 734 056	4 904 835
5.60	103.9	108.2	4 811 371	4 985 313
5.68	103.5	107.7	4 885 891	5 062 882
5.77	101.6	107.4	4 961 481	5 142 775
5.85	101.3	107.1	5 034 410	5 219 854
5.94	101.0	106.7	5 109 547	5 299 269
6.02	100.7	106.5	5 184 499	5 378 487
6.11	100.5	106.3	5 256 882	5 454 991
6.19	100.4	106.1	5 331 573	5 533 933
6.28	100.4	106.1	5 403 848	5 610 323
6.36	100.4	106.1	5 478 543	5 689 270
6.45	100.5	106.3	5 553 336	5 768 320
6.53	100.6	106.3	5 623 364	5 842 334
6.62	100.5	106.3	5 698 170	5 921 399
6.70	100.5	106.2	5 770 509	5 997 855

TAULUKKO 5-2



**Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismäärästä
malliskenaarioissa, joissa on mukana NE satelliittiesiintymä
(Sivu 3 / 7)**

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
6.79	100.3	106.1	5 845 165	6 076 760
6.87	100.3	106.1	5 917 414	6 153 122
6.95	100.5	106.3	5 992 216	6 232 182
7.04	100.7	106.4	6 067 118	6 311 348
7.12	100.8	106.6	6 139 726	6 388 089
7.21	101.0	106.7	6 214 858	6 467 497
7.29	101.0	106.7	6 287 546	6 544 323
7.38	101.0	106.7	6 362 666	6 623 719
7.46	100.9	106.6	6 437 702	6 703 026
7.55	100.7	106.4	6 505 366	6 774 542
7.63	100.5	106.3	6 580 169	6 853 603
7.72	100.5	106.2	6 652 511	6 930 064
7.80	100.4	106.1	6 727 191	7 008 994
7.89	100.3	106.0	6 799 384	7 085 296
7.97	100.3	106.0	6 874 030	7 164 192
8.06	100.3	106.0	6 948 660	7 243 070
8.14	100.4	106.1	7 020 917	7 319 439
8.23	100.4	106.1	7 095 613	7 398 388
8.31	100.4	106.1	7 167 904	7 474 794
8.40	100.5	106.2	7 242 671	7 553 817
8.48	100.5	106.2	7 317 457	7 632 860
8.57	100.5	106.2	7 384 988	7 704 235
8.65	100.4	106.1	7 459 685	7 783 184
8.74	100.2	105.9	7 531 849	7 859 456
8.82	100.3	106.0	7 606 493	7 938 349
8.91	100.5	106.2	7 678 862	8 014 838
8.99	100.7	106.5	7 753 809	8 094 050
9.08	101.0	106.7	7 828 925	8 173 442
9.16	101.0	106.8	7 901 653	8 250 310
9.24	101.3	107.0	7 976 999	8 329 945
9.33	101.5	107.2	8 050 049	8 407 154
9.41	101.7	107.5	8 125 718	8 487 130
9.50	102.1	107.9	8 201 663	8 567 397
9.58	102.2	108.0	8 270 308	8 639 950
9.67	102.4	108.2	8 346 498	8 720 477
9.75	102.6	108.4	8 420 358	8 798 542
9.84	102.6	108.5	8 496 706	8 879 235
9.92	103.0	108.9	8 570 862	8 957 613
10.01	103.4	109.3	8 647 797	9 038 927
10.09	103.9	109.8	8 725 075	9 120 604

TAULUKKO 5-2



**Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismäärästä
malliskenaarioissa, joissa on mukana NE satelliittiesiintymä
(Sivu 4 / 7)**

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
10.18	104.9	110.8	8 800 586	9 200 413
10.26	105.0	111.8	8 878 706	9 283 573
10.35	105.5	113.0	8 954 666	9 364 957
10.43	105.7	113.5	9 033 342	9 449 401
10.52	106.7	114.0	9 112 731	9 534 217
10.60	107.6	113.5	9 187 613	9 613 226
10.69	108.1	114.0	9 268 024	9 698 069
10.77	108.5	114.5	9 346 172	9 780 524
10.86	108.8	114.8	9 427 094	9 865 906
10.94	109.0	115.0	9 505 540	9 948 676
11.03	109.1	115.1	9 586 675	10 034 283
11.11	109.2	115.2	9 667 910	10 119 996
11.20	109.4	115.4	9 746 688	10 203 116
11.28	109.6	115.7	9 828 268	10 289 192
11.37	109.9	115.9	9 907 384	10 372 669
11.45	110.0	116.0	9 989 204	10 458 999
11.53	110.0	116.0	10 071 011	10 545 315
11.62	109.9	116.0	10 144 868	10 623 243
11.70	109.8	115.9	10 226 592	10 709 471
11.79	109.8	115.9	10 305 651	10 792 888
11.87	109.8	115.8	10 387 320	10 879 059
11.96	109.7	115.8	10 466 333	10 962 427
12.04	109.7	115.7	10 547 947	11 048 538
12.13	109.6	115.7	10 629 496	11 134 583
12.21	109.5	115.6	10 708 368	11 217 802
12.30	109.5	115.5	10 789 812	11 303 735
12.38	109.4	115.4	10 868 576	11 386 840
12.47	109.3	115.3	10 949 908	11 472 655
12.55	109.3	115.3	11 031 221	11 558 450
12.64	109.3	115.3	11 104 649	11 635 926
12.72	109.3	115.3	11 185 985	11 721 745
12.81	109.4	115.4	11 264 758	11 804 860
12.89	109.6	115.7	11 346 329	11 890 926
12.98	110.0	116.0	11 425 518	11 974 480
13.06	110.2	116.3	11 507 528	12 061 010
13.15	110.5	116.5	11 589 703	12 147 714
13.23	110.5	116.6	11 669 252	12 231 648
13.32	110.4	116.5	11 751 387	12 318 310
13.40	110.3	116.4	11 830 822	12 402 124
13.49	110.3	116.4	11 912 886	12 488 711

TAULUKKO 5-2



**Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismäärästä
malliskenaarioissa, joissa on mukana NE satelliittiesiintymä
(Sivu 5 / 7)**

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
13.57	110.3	116.3	11 994 918	12 575 264
13.66	110.2	116.3	12 068 991	12 653 420
13.74	110.2	116.3	12 150 972	12 739 920
13.82	110.1	116.2	12 230 250	12 823 567
13.91	110.0	116.1	12 312 125	12 909 955
13.99	110.0	116.0	12 391 304	12 993 498
14.08	109.9	116.0	12 473 086	13 079 788
14.16	109.9	115.9	12 554 828	13 166 036
14.25	109.8	115.8	12 633 874	13 249 438
14.33	109.7	115.8	12 715 494	13 335 557
14.42	109.6	115.7	12 794 427	13 418 840
14.50	109.6	115.6	12 875 946	13 504 852
14.59	109.6	115.6	12 957 463	13 590 863
14.67	109.7	115.8	13 033 830	13 671 439
14.76	110.0	116.1	13 115 699	13 757 820
14.84	110.4	116.5	13 195 199	13 841 703
14.93	111.0	117.1	13 277 769	13 928 823
15.01	111.3	117.4	13 357 895	14 013 366
15.10	111.4	117.5	13 440 769	14 100 808
15.18	111.4	117.5	13 523 641	14 188 248
15.27	111.1	117.3	13 603 659	14 272 676
15.35	111.0	117.1	13 686 226	14 359 794
15.44	110.9	117.0	13 766 043	14 444 011
15.52	110.8	116.9	13 848 444	14 530 953
15.61	110.6	116.7	13 930 765	14 617 811
15.69	110.6	116.7	14 005 075	14 696 217
15.78	110.5	116.6	14 087 292	14 782 965
15.86	110.5	116.5	14 166 823	14 866 880
15.95	110.4	116.5	14 248 989	14 953 575
16.03	110.4	116.5	14 328 471	15 037 438
16.11	110.4	116.5	14 410 585	15 124 078
16.20	110.3	116.4	14 492 679	15 210 697
16.28	110.3	116.4	14 572 092	15 294 487
16.37	110.3	116.4	14 654 167	15 381 086
16.45	110.3	116.4	14 733 584	15 464 881
16.54	110.3	116.4	14 815 645	15 551 465
16.62	110.3	116.4	14 897 712	15 638 054
16.71	110.2	116.3	14 971 789	15 716 214
16.79	110.2	116.3	15 053 762	15 802 706
16.88	110.1	116.2	15 133 046	15 886 359

TAULUKKO 5-2



**Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismäärästä
malliskenaarioissa, joissa on mukana NE satelliittiesiintymä
(Sivu 6 / 7)**

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
16.96	110.1	116.2	15 214 958	15 972 786
17.05	110.1	116.2	15 294 252	16 056 451
17.13	110.2	116.2	15 376 223	16 142 940
17.22	110.2	116.3	15 458 223	16 229 460
17.30	110.2	116.3	15 537 584	16 313 195
17.39	110.2	116.3	15 619 570	16 399 701
17.47	110.2	116.2	15 698 887	16 483 389
17.56	110.1	116.2	15 780 824	16 569 842
17.64	110.1	116.2	15 862 764	16 656 298
17.73	110.1	116.2	15 936 779	16 734 393
17.81	110.2	116.3	16 018 752	16 820 885
17.90	110.2	116.3	16 098 094	16 904 599
17.98	110.2	116.2	16 180 053	16 991 076
18.07	110.1	116.2	16 259 337	17 074 730
18.15	110.0	116.1	16 341 213	17 161 119
18.24	110.0	116.1	16 423 046	17 247 462
18.32	109.9	116.0	16 502 207	17 330 987
18.40	109.9	116.0	16 583 970	17 417 256
18.49	109.8	115.9	16 663 056	17 500 701
18.57	109.8	115.8	16 744 741	17 586 888
18.66	109.7	115.8	16 826 381	17 673 028
18.74	109.7	115.7	16 902 711	17 753 565
18.83	109.6	115.6	16 984 259	17 839 608
18.91	109.6	115.6	17 063 139	17 922 836
19.00	109.5	115.5	17 144 617	18 008 805
19.08	109.5	115.5	17 223 443	18 091 976
19.17	109.4	115.5	17 304 873	18 177 894
19.25	109.4	115.4	17 386 274	18 263 781
19.34	109.4	115.4	17 465 019	18 346 867
19.42	109.3	115.4	17 546 357	18 432 688
19.51	109.3	115.3	17 625 041	18 515 709
19.59	109.2	115.3	17 706 320	18 601 468
19.68	109.2	115.2	17 787 567	18 687 193
19.76	109.2	115.2	17 860 921	18 764 590
19.85	109.1	115.1	17 942 100	18 850 243
19.93	109.1	115.1	18 020 632	18 933 104
20.02	109.0	115.1	18 101 761	19 018 704
20.10	109.0	115.0	18 180 255	19 101 525
20.19	109.0	115.0	18 261 349	19 187 089
20.27	109.0	115.0	18 342 421	19 272 630

TAULUKKO 5-2



**Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismäärästä
malliskenaarioissa, joissa on mukana NE satelliittiesiintymä
(Sivu 7 / 7)**

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
20.36	108.9	114.9	18 420 854	19 355 385
20.44	108.9	114.9	18 501 874	19 440 872
20.53	108.9	114.9	18 580 258	19 523 575
20.61	108.8	114.8	18 661 230	19 609 011
20.69	108.8	114.8	18 742 177	19 694 419
20.78	108.8	114.8	18 815 263	19 771 534
20.86	108.7	114.7	18 896 151	19 856 880
20.95	108.7	114.7	18 974 406	19 939 448
21.03	108.7	114.7	19 055 252	20 024 750
21.12	108.6	114.6	19 133 477	20 107 287
21.20	108.6	114.6	19 214 297	20 192 561
21.29	108.6	114.6	19 295 098	20 277 816
21.37	108.6	114.6	19 373 272	20 360 299
21.46	108.5	114.5	19 454 030	20 445 508
21.54	108.5	114.5	19 532 162	20 527 946
21.63	108.5	114.5	19 612 878	20 613 111
21.71	108.5	114.4	19 693 571	20 698 252
21.80	108.4	114.4	19 766 432	20 775 129
21.88	108.4	114.4	19 847 072	20 860 214
21.97	108.4	114.3	19 925 090	20 942 533
22.00	108.3	114.3	20 005 695	21 027 580

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismalliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
 (Sivu 1 / 7)

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
0.00	0.0	0.0	0	0
0.08	5.1	8.2	3 784	6 124
0.17	7.6	10.8	9 286	13 928
0.25	28.7	29.3	30 618	35 745
0.34	42.6	43.5	62 280	68 127
0.42	50.3	51.4	96 077	102 692
0.51	55.7	57.0	137 548	145 106
0.59	59.1	60.4	180 083	188 607
0.68	61.6	63.0	225 925	235 491
0.76	65.7	67.2	273 232	283 873
0.85	69.9	71.5	325 227	337 050
0.93	77.7	79.5	383 031	396 168
1.02	85.7	87.6	444 722	459 260
1.10	92.7	94.8	513 687	529 793
1.19	99.2	101.5	585 117	602 846
1.27	102.2	104.5	661 118	680 575
1.36	107.5	109.9	741 064	762 338
1.44	111.8	114.4	816 204	839 185
1.53	114.9	117.5	901 680	926 604
1.61	117.0	119.7	985 924	1 012 763
1.70	115.9	118.5	1 072 150	1 100 949
1.78	116.2	118.8	1 155 788	1 186 487
1.87	116.7	119.3	1 242 584	1 275 256
1.95	117.5	120.1	1 329 988	1 364 647
2.04	118.0	120.7	1 414 972	1 451 562
2.12	117.6	120.3	1 502 486	1 541 065
2.21	117.2	122.0	1 586 881	1 628 912
2.29	116.8	121.6	1 673 782	1 719 368
2.37	116.7	121.5	1 760 624	1 809 763
2.46	116.2	121.0	1 841 534	1 893 983
2.54	115.6	120.3	1 927 512	1 983 478
2.63	114.9	119.6	2 010 235	2 069 586
2.71	114.5	119.2	2 095 401	2 158 235
2.80	113.4	118.0	2 177 029	2 243 203
2.88	112.5	117.1	2 260 752	2 330 351
2.97	111.5	116.0	2 343 689	2 416 681
3.05	110.3	114.9	2 423 141	2 499 383
3.14	110.1	114.6	2 505 029	2 584 621
3.22	109.7	114.2	2 584 046	2 666 870
3.31	109.4	113.9	2 665 465	2 751 620

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismalliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 2 / 7)



Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
3.39	109.1	113.5	2 746 611	2 836 086
3.48	108.9	113.3	2 819 773	2 912 241
3.56	108.9	113.4	2 900 828	2 996 612
3.65	109.4	113.9	2 979 602	3 078 608
3.73	109.8	114.3	3 061 265	3 163 612
3.82	110.1	114.6	3 140 542	3 246 133
3.90	110.4	114.9	3 222 667	3 331 617
3.99	110.8	115.4	3 305 119	3 417 442
4.07	111.4	115.9	3 385 299	3 500 902
4.16	111.7	116.3	3 468 428	3 587 432
4.24	112.1	116.6	3 549 107	3 671 411
4.33	111.6	116.2	3 632 163	3 757 865
4.41	111.1	115.7	3 714 828	3 843 912
4.50	110.8	115.3	3 789 292	3 921 422
4.58	110.6	115.1	3 871 544	4 007 039
4.66	110.4	114.9	3 951 015	4 089 761
4.75	110.1	114.6	4 032 919	4 175 016
4.83	109.6	114.1	4 111 814	4 257 138
4.92	108.8	113.3	4 192 788	4 341 424
5.00	108.2	112.6	4 273 293	4 425 223
5.09	107.7	112.1	4 350 816	4 505 917
5.17	107.0	111.4	4 430 443	4 588 801
5.26	106.4	110.8	4 507 051	4 668 544
5.34	105.7	110.0	4 585 703	4 750 413
5.43	105.0	109.3	4 663 848	4 831 755
5.51	104.5	108.8	4 734 056	4 904 835
5.60	103.9	108.2	4 811 371	4 985 313
5.68	103.5	107.7	4 885 891	5 062 882
5.77	101.6	107.4	4 961 481	5 142 775
5.85	101.3	107.1	5 034 410	5 219 854
5.94	100.8	106.7	5 109 376	5 299 269
6.02	100.4	106.5	5 184 111	5 378 487
6.11	100.2	106.3	5 256 251	5 454 991
6.19	100.0	106.1	5 330 638	5 533 933
6.28	99.9	106.1	5 402 543	5 610 323
6.36	100.1	106.1	5 476 985	5 689 270
6.45	100.2	106.3	5 551 522	5 768 320
6.53	100.3	106.3	5 621 355	5 842 334
6.62	100.5	106.3	5 696 116	5 921 399
6.70	100.6	106.2	5 768 556	5 997 855

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismalliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 3 / 7)



Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
6.79	100.6	106.1	5 843 429	6 076 760
6.87	100.7	106.1	5 915 938	6 153 122
6.95	100.8	106.3	5 990 904	6 232 182
7.04	100.7	106.4	6 065 810	6 311 348
7.12	100.5	106.6	6 138 164	6 388 089
7.21	100.3	106.7	6 212 754	6 467 497
7.29	100.1	106.7	6 284 798	6 544 323
7.38	99.5	106.7	6 358 858	6 623 719
7.46	99.1	106.6	6 432 561	6 703 026
7.55	98.7	106.4	6 498 911	6 774 542
7.63	98.6	105.9	6 572 292	6 853 352
7.72	98.5	105.9	6 643 246	6 929 584
7.80	98.5	105.8	6 716 500	7 008 292
7.89	98.4	105.8	6 787 330	7 084 457
7.97	98.3	105.8	6 860 484	7 163 195
8.06	98.2	105.8	6 933 573	7 241 892
8.14	98.0	105.5	7 004 128	7 317 816
8.23	97.8	105.2	7 076 871	7 396 082
8.31	97.6	104.9	7 147 113	7 471 643
8.40	97.4	104.6	7 219 548	7 549 483
8.48	97.2	104.3	7 291 837	7 627 052
8.57	97.0	104.0	7 357 041	7 696 956
8.65	96.9	103.7	7 429 149	7 774 145
8.74	96.8	103.5	7 498 867	7 848 681
8.82	96.9	103.5	7 570 991	7 925 719
8.91	96.9	103.4	7 640 778	8 000 185
8.99	96.9	103.4	7 712 857	8 077 082
9.08	96.8	103.2	7 784 853	8 153 862
9.16	96.6	103.0	7 854 428	8 228 033
9.24	96.5	102.8	7 926 200	8 304 540
9.33	96.1	102.5	7 995 419	8 378 313
9.41	95.9	102.4	8 066 785	8 454 473
9.50	95.8	102.4	8 138 038	8 530 631
9.58	95.9	103.5	8 202 469	8 600 165
9.67	96.0	104.2	8 273 898	8 677 671
9.75	96.1	104.7	8 343 108	8 753 026
9.84	96.2	105.0	8 414 665	8 831 165
9.92	96.2	105.1	8 483 926	8 906 842
10.01	96.2	105.1	8 555 487	8 985 071
10.09	95.9	104.1	8 626 857	9 062 496

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismalliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 4 / 7)



Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
10.18	95.7	103.4	8 695 751	9 136 946
10.26	95.5	103.0	8 766 803	9 213 545
10.35	95.3	103.0	8 835 445	9 287 703
10.43	95.2	103.1	8 906 282	9 364 385
10.52	95.1	103.0	8 977 023	9 441 045
10.60	95.0	103.0	9 043 161	9 512 749
10.69	95.0	103.0	9 113 819	9 589 387
10.77	94.9	103.0	9 182 148	9 663 545
10.86	95.0	102.7	9 252 813	9 739 985
10.94	95.0	102.5	9 321 220	9 813 807
11.03	95.0	102.4	9 391 915	9 889 961
11.11	94.9	102.2	9 462 554	9 965 980
11.20	94.9	102.0	9 530 847	10 039 427
11.28	94.7	101.8	9 601 339	10 115 190
11.37	94.5	101.5	9 669 395	10 188 289
11.45	94.4	101.3	9 739 592	10 263 652
11.53	94.2	101.1	9 809 699	10 338 886
11.62	94.2	101.1	9 873 002	10 406 809
11.70	94.2	101.0	9 943 074	10 481 989
11.79	94.2	101.0	10 010 884	10 554 744
11.87	94.2	101.1	10 080 955	10 629 938
11.96	94.2	101.1	10 148 756	10 702 696
12.04	94.2	101.1	10 218 814	10 777 879
12.13	94.1	100.9	10 288 825	10 852 958
12.21	94.0	100.8	10 356 526	10 925 507
12.30	93.9	100.6	10 426 404	11 000 338
12.38	93.8	100.4	10 493 968	11 072 640
12.47	93.8	100.3	10 563 780	11 147 299
12.55	93.8	100.2	10 633 589	11 221 873
12.64	93.9	100.2	10 696 662	11 289 238
12.72	94.0	100.3	10 766 582	11 363 883
12.81	94.2	100.5	10 834 401	11 436 227
12.89	94.4	100.6	10 904 637	11 511 066
12.98	94.5	100.6	10 972 694	11 583 516
13.06	94.6	100.7	11 043 090	11 658 434
13.15	94.7	100.7	11 113 519	11 733 377
13.23	94.6	100.7	11 181 640	11 805 884
13.32	94.5	100.6	11 251 935	11 880 734
13.40	94.3	100.5	11 319 857	11 953 104
13.49	94.2	100.4	11 389 958	12 027 829

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismalliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
 (Sivu 5 / 7)

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
13.57	94.1	100.4	11 459 977	12 102 508
13.66	94.1	100.3	11 523 186	12 169 939
13.74	94.1	100.4	11 593 164	12 244 607
13.82	94.1	100.4	11 660 897	12 316 919
13.91	94.1	100.6	11 730 899	12 391 738
13.99	94.1	100.6	11 798 628	12 464 173
14.08	94.1	100.6	11 868 607	12 539 032
14.16	94.0	100.6	11 938 540	12 613 882
14.25	93.9	100.5	12 006 144	12 686 270
14.33	93.8	100.5	12 075 916	12 761 019
14.42	93.8	100.4	12 143 429	12 833 299
14.50	93.9	100.6	12 213 327	12 908 156
14.59	94.3	101.0	12 283 482	12 983 330
14.67	94.7	101.5	12 349 399	13 053 963
14.76	95.3	102.1	12 420 274	13 129 901
14.84	95.7	102.5	12 489 209	13 203 734
14.93	96.1	102.9	12 560 701	13 280 326
15.01	96.3	103.1	12 630 007	13 354 542
15.10	96.2	103.0	12 701 606	13 431 175
15.18	96.1	102.8	12 773 128	13 507 688
15.27	95.9	102.5	12 842 167	13 581 517
15.35	95.7	102.3	12 913 365	13 657 662
15.44	95.5	102.2	12 982 142	13 731 235
15.52	95.4	102.1	13 053 122	13 807 200
15.61	95.3	102.0	13 124 020	13 883 090
15.69	95.3	102.0	13 188 034	13 951 646
15.78	95.2	102.1	13 258 889	14 027 586
15.86	95.2	102.2	13 327 467	14 101 179
15.95	95.3	102.3	13 398 352	14 177 315
16.03	95.3	102.4	13 466 936	14 251 034
16.11	95.2	102.5	13 537 797	14 327 257
16.20	95.2	102.4	13 608 630	14 403 463
16.28	95.1	102.4	13 677 136	14 477 172
16.37	95.1	102.2	13 747 878	14 553 194
16.45	95.0	102.0	13 816 290	14 626 646
16.54	95.0	101.9	13 886 941	14 702 462
16.62	94.9	101.8	13 957 549	14 778 202
16.71	94.9	101.8	14 021 306	14 846 597
16.79	94.9	101.8	14 091 906	14 922 336
16.88	94.9	101.9	14 160 259	14 995 684

TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismalliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 6 / 7)



Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
16.96	95.0	102.0	14 230 954	15 071 570
17.05	95.1	102.1	14 299 424	15 145 089
17.13	95.2	102.2	14 370 241	15 221 145
17.22	95.2	102.2	14 441 070	15 297 216
17.30	95.2	102.3	14 509 605	15 370 840
17.39	95.1	102.2	14 580 392	15 446 901
17.47	95.1	102.2	14 648 848	15 520 462
17.56	95.0	102.1	14 719 542	15 596 430
17.64	95.0	102.0	14 790 205	15 672 350
17.73	95.0	102.1	14 854 036	15 740 943
17.81	95.0	102.1	14 924 716	15 816 925
17.90	95.0	102.2	14 993 133	15 890 527
17.98	95.0	102.3	15 063 831	15 966 670
18.07	95.0	102.5	15 132 241	16 040 438
18.15	95.0	102.6	15 202 912	16 116 757
18.24	94.9	102.7	15 273 553	16 193 135
18.32	94.9	102.7	15 341 876	16 267 073
18.40	94.8	102.7	15 412 424	16 343 462
18.49	94.8	102.6	15 480 644	16 417 358
18.57	94.7	102.6	15 551 104	16 493 692
18.66	94.6	102.6	15 621 522	16 569 994
18.74	94.6	102.6	15 687 376	16 641 376
18.83	94.6	102.6	15 757 762	16 717 690
18.91	94.6	102.6	15 825 884	16 791 570
19.00	94.6	102.6	15 896 288	16 867 936
19.08	94.6	102.6	15 964 413	16 941 841
19.17	94.6	102.7	16 034 809	17 018 219
19.25	94.6	102.6	16 105 162	17 094 541
19.34	94.5	102.5	16 173 195	17 168 331
19.42	94.4	102.4	16 243 430	17 244 492
19.51	94.3	102.2	16 311 334	17 318 106
19.59	94.2	102.1	16 381 446	17 394 098
19.68	94.2	102.0	16 451 498	17 470 008
19.76	94.1	102.0	16 514 755	17 538 559
19.85	94.1	102.0	16 584 783	17 614 457
19.93	94.1	102.0	16 652 562	17 687 931
20.02	94.2	102.1	16 722 615	17 763 885
20.10	94.2	102.1	16 790 411	17 837 403
20.19	94.2	102.1	16 860 477	17 913 395
20.27	94.1	102.1	16 930 512	17 989 344


TAULUKKO 5-3

Yhteenveto pohjaveden ennustetuista vuotovesimääristä ja kumulatiivista kokonaismalliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 7 / 7)

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m ³ /h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m ³)	
	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario	80% tiivistyskenaario	65% tiivistyskenaario
20.36	94.1	102.0	16 998 248	18 062 787
20.44	94.0	101.9	17 068 185	18 138 598
20.53	93.9	101.8	17 135 808	18 211 883
20.61	93.9	101.7	17 205 637	18 287 544
20.69	93.8	101.6	17 275 412	18 363 132
20.78	93.8	101.6	17 338 423	18 431 398
20.86	93.8	101.6	17 408 185	18 506 989
20.95	93.8	101.6	17 475 710	18 580 172
21.03	93.8	101.7	17 545 504	18 655 832
21.12	93.8	101.7	17 613 054	18 729 071
21.20	93.8	101.8	17 682 868	18 804 779
21.29	93.8	101.7	17 752 655	18 880 450
21.37	93.7	101.6	17 820 153	18 953 628
21.46	93.7	101.5	17 889 848	19 029 171
21.54	93.6	101.4	17 957 240	19 102 200
21.63	93.5	101.3	18 026 832	19 177 602
21.71	93.5	101.3	18 096 375	19 252 934
21.80	93.5	101.2	18 159 178	19 320 972
21.88	93.5	101.3	18 228 713	19 396 314
21.97	93.5	101.3	18 296 021	19 469 259
22.00	93.5	101.4	18 365 594	19 544 675

TAULUKKO 6-1

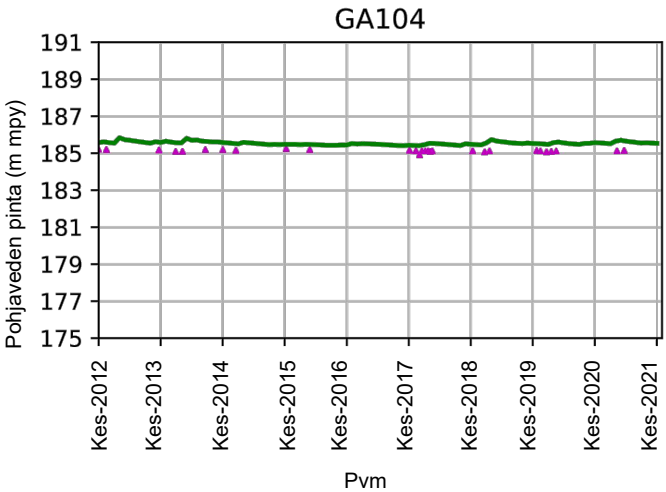
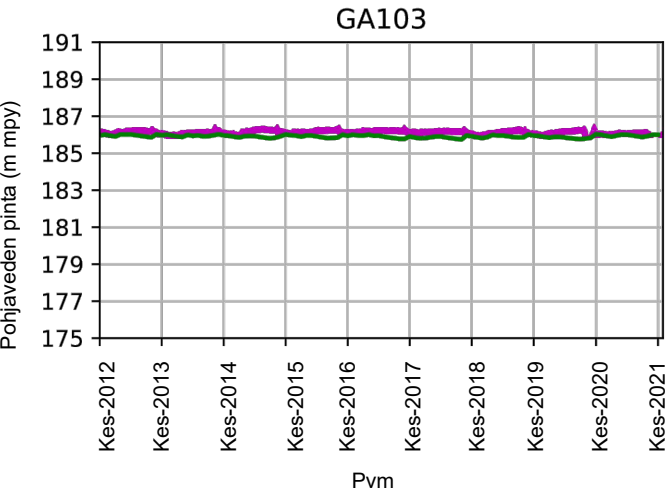
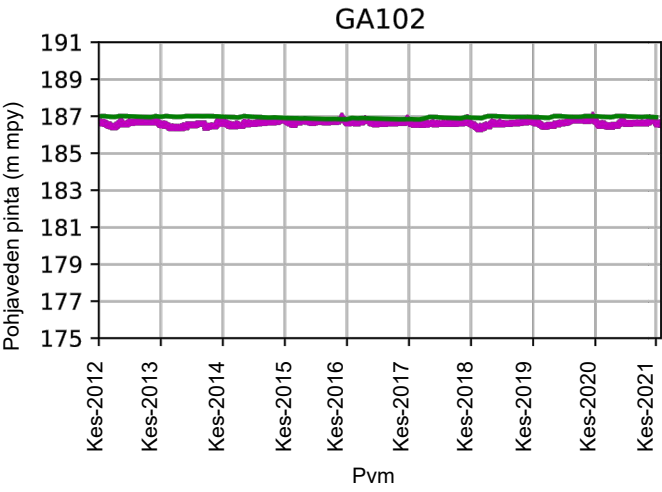
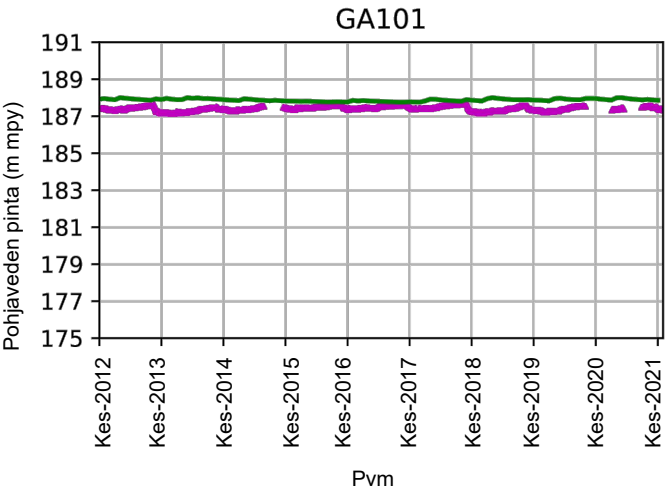
Yhteenveto mallin keskeisistä parametreista ja epävarmuuksista

Aihe	Parametri/Tekijä	Merkitys/Vaikutus	Aineistolähde	Aineiston vaihe	Aineiston luotettavuus	Tarvittavat toimet luotettavuuden parantamiseksi	Malliennusteen mahdollinen epävarmuus
1	Geologisten yksiköiden K_h ja K_v	1. Mallin kalibrointi pohjavesipintoihin 2. Mallinnetut vuotovesimäärät 3. Mallinnetut alenemat	AA Sakatti Mining Oy:n toimittamat, laajaan hydrauliseen testausohjelmaan perustuvat vedenjohtavuusarvot (K)	1. AA Sakatti Mining Oy on suorittanut kattavan hydraulisen testausohjelman. Tähän sisältyvät vesihävikkikokeet, pumppauskokeet, alenevan painekorkeuden testit ja nostepumppaukset. 2. Vedenjohtavuusarvoja (K) on saatavilla kallioperän geologisista yksiköistä eri syvyysväleiltä. 3. Vedenjohtavuusarvoja (K) on pääsääntöisesti saatavilla suunnitellun maanalaisen kaivoksen alueelta ja sen lähistöltä.	Korkea	Pohjavesikaivoihin suunniteltujen tärylankaa käyttävien pietsometrilaitteiden asentaminen keräämään kalliopohjaveden pinnankorkeustietoa	+/- 25%
2	Ruhjeiden K_h ja K_v	1. Mallin kalibrointi pohjavesipintoihin 2. Mallinnetut vuotovesimäärät 3. Mallinnetut alenemat	AA Sakatti Mining Oy:n toimittamat maanalaisen kaivoksen alueen ruhjeiden vedenjohtavuusarvot	1. Vedenjohtavuusarvoja (K) on saatavilla paikallisista ruhjevyydyhykkeistä. 2. Vedenjohtavuusarvoja (K) ei tunneta alueellisista ruhjeista.	Keskitasoinen	1. Alueellisten maanalaisista kaivosta tai muita rakenteita leikkaavien ruhjeiden tarkempi kuvaaminen. 2. Pohjaveden pinnankorkeuden seurantapisteiden asentaminen kaivostoiminnan aikaista seurantaa varten.	+/- 25%
3	Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet	Mallin kalibrointi	AA Sakatti Mining Oy:n toimittamat pohjaveden pinnankorkeudet matalassa pohjavesivyydyhykkeessä	AA Sakatti Mining Oy on mitannut pohjaveden pinnankorkeuksia kaivostoimintojen alueella vuodesta 2012. Seurannan tarkoituksena on ollut selvittää vuodenaikaisvaihtelun vaikutusta imeyntään eri matalan vyydyhykkeen hydrogeologisissa yksiköissä.	Korkea	1. Pohjaveden pinnankorkeuden havainnointia jatketaan. 2. Asennetaan pohjaveden pinnankorkeuden havaintopisteitä turvekerrokseen.	+/- 10%
4	Mitatut kalliopohjaveden pinnankorkeudet	Mallin kalibrointi	AA Sakatti Mining Oy:n toimittamat pohjaveden pinnankorkeudet pohjavesikaivoissa ja monitasopohjavesikaivoissa (VWP)	1. AA Sakatti Mining Oy on asentanut havaintokaivoja pääasiassa rikkonaiseen kallioon ja joitakin havaintokaivoja ehjään kallioon. 2. Kaikki data jota on saatavilla pietsometreista (VWP) yli 200 m syvyydellä maanpinnasta on laadultaan epävarmaa.	Keskitasoinen	Monitasoisten, reikään sementoiduilla paineantureilla (tärylanka, VWP) varustettujen pohjavesikaivojen asentaminen lähelle kaivoksen maanalaisia tiloja ja vinotunneleita.	+/- 10%
5	Pohjaveden muodostuminen ja ilmastotekijät	Pohjavesipintojen kalibrointi mallissa	AA Sakatti Mining 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%

APPENDIX A

**Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja
mallilla simuloitujen pohjaveden pinnan-
korkeuksien kuvaajat**

Vesipinnat turpeessa

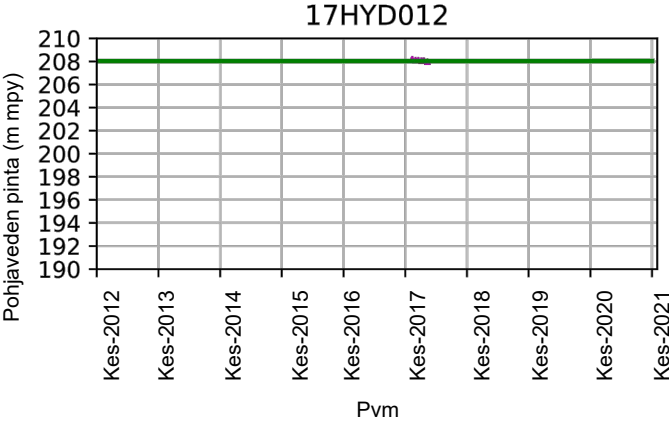
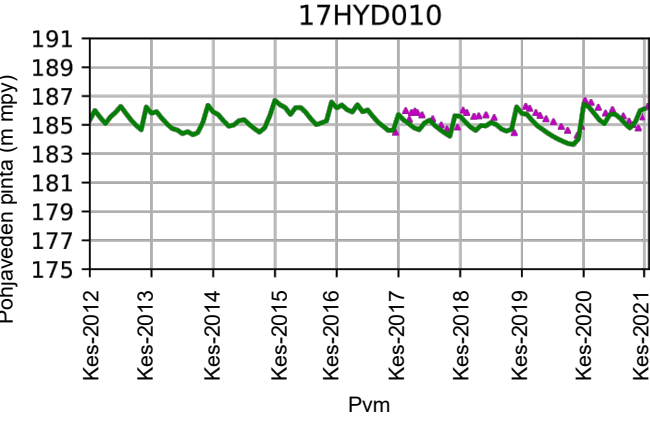
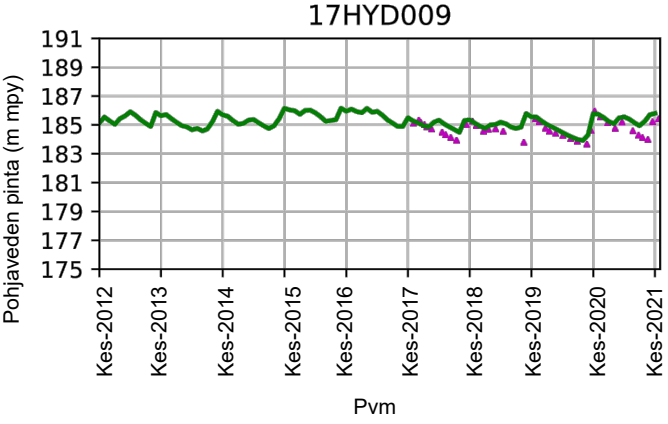
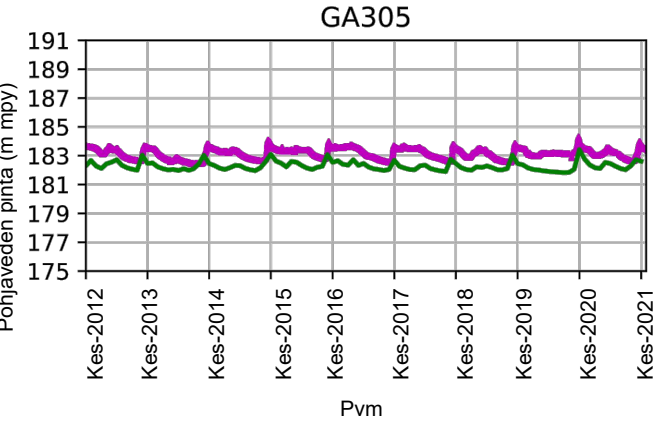
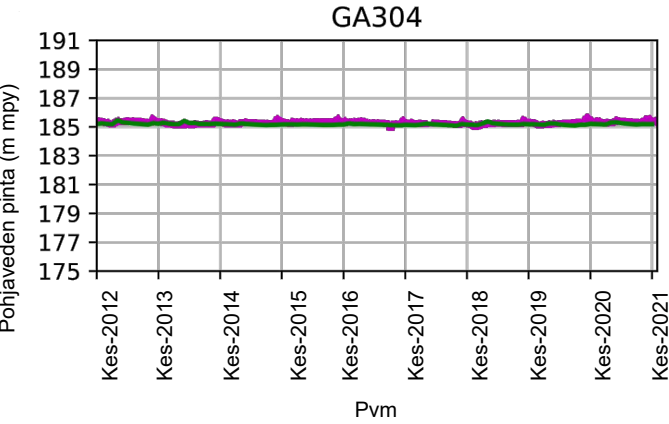
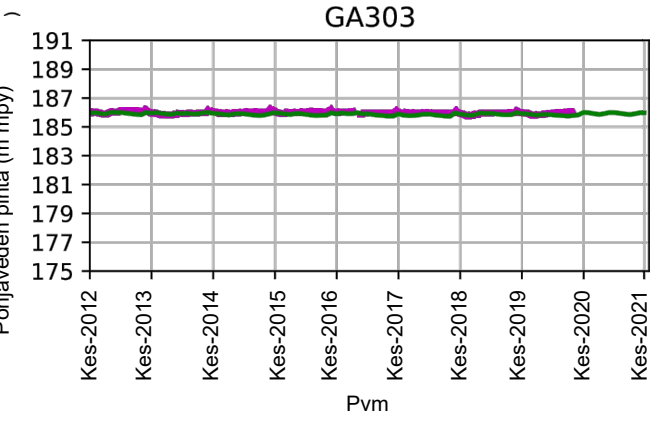
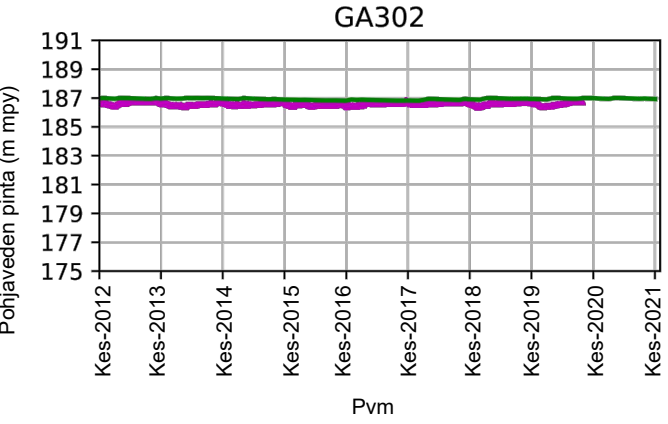
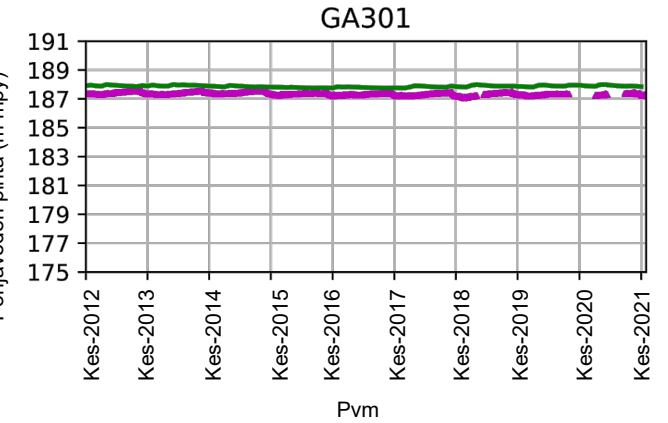
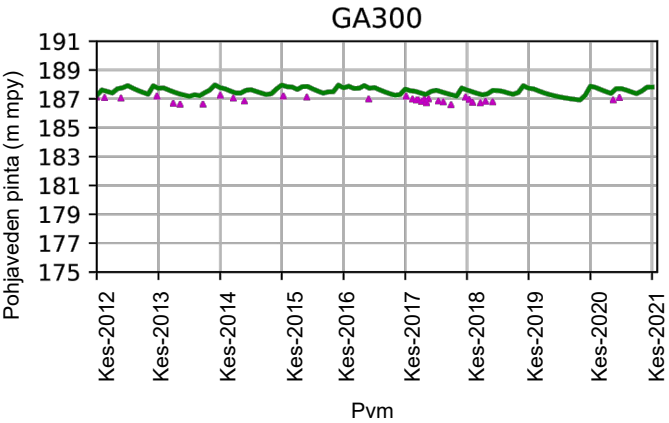
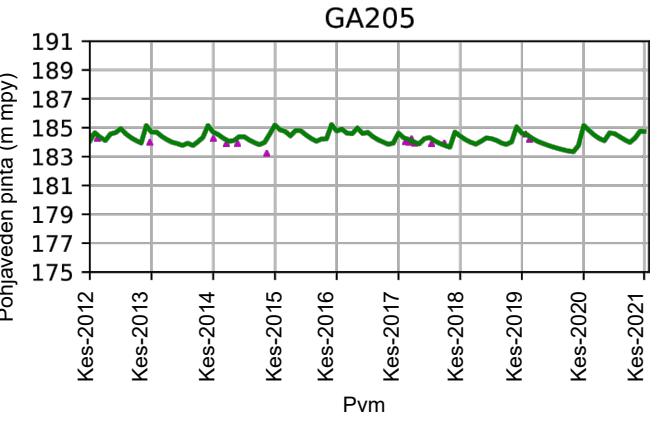
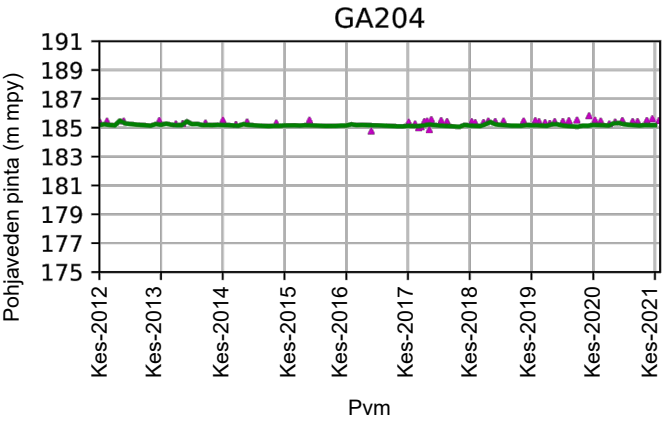
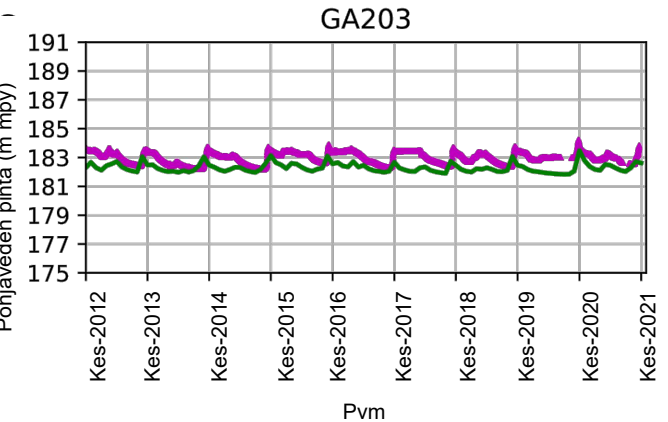
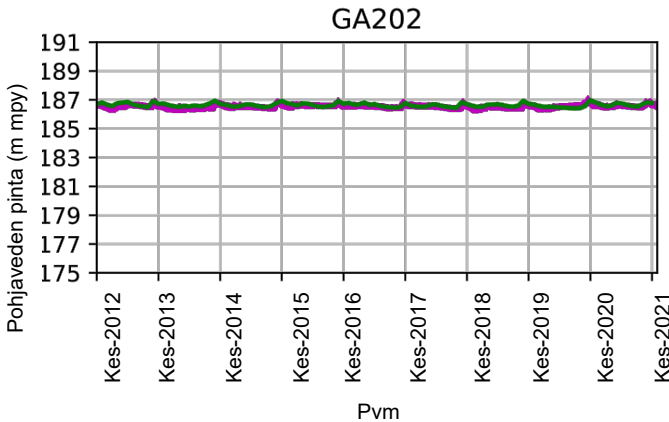
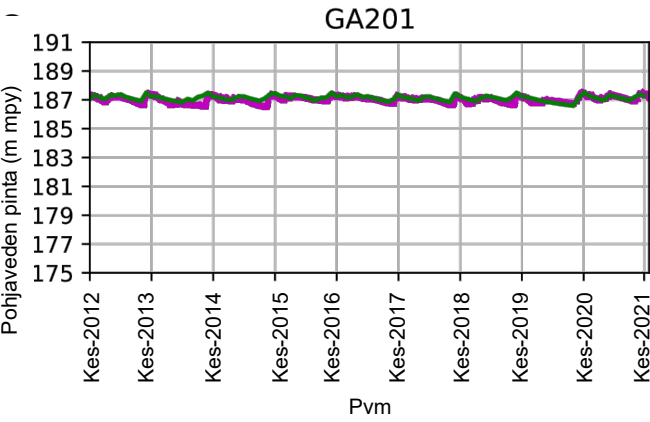
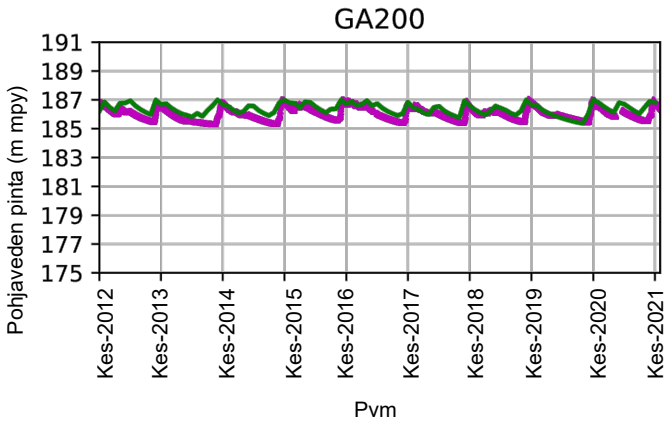


PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	



Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat	
CLIENT: Sakatti Mine	APPENDIX NO. A1

Pohjavesipinnat kivennäismaalajeissa



— Simuloitu
▲ Mitattu

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	

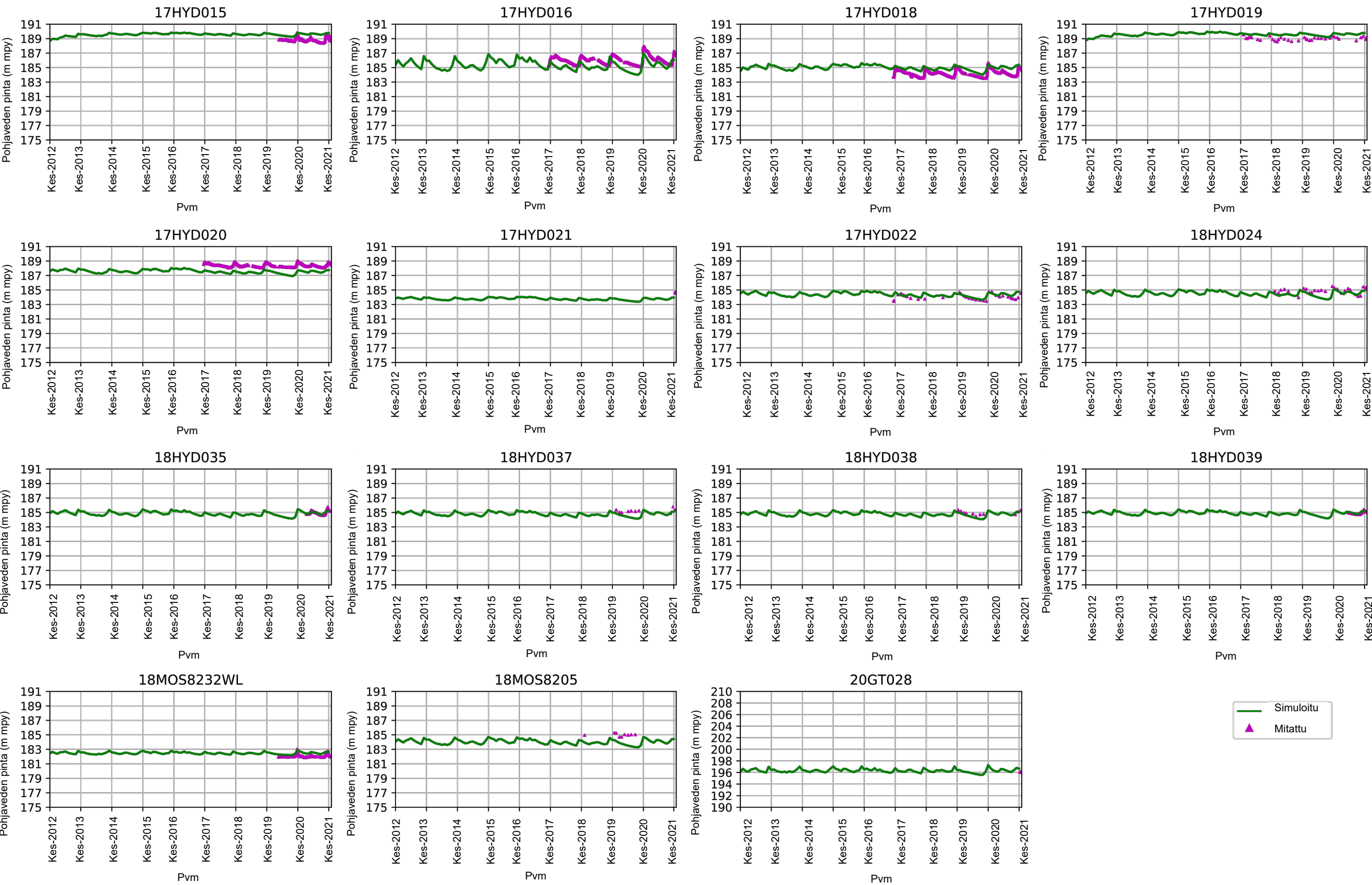


Transient-mallin kalibroinnin
mitattujen ja mallilla simuloitujen
pohjaveden pinnankorkeuksien
kuvaajat

CLIENT: Sakatti Mine

APPENDIX NO. A2

Pohjavesipinnat kivennäismaalajeissa

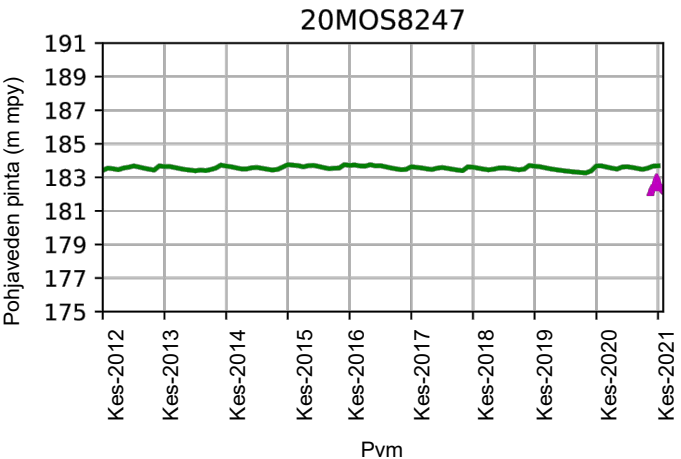
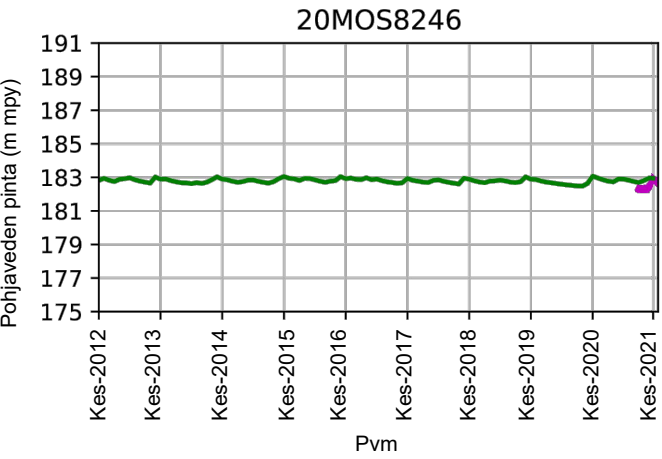
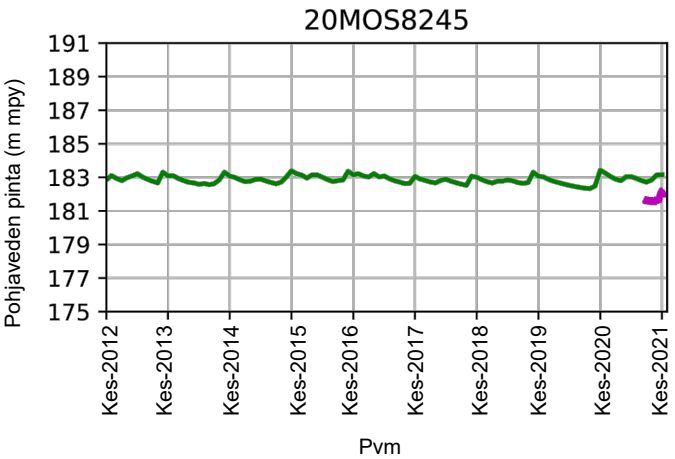
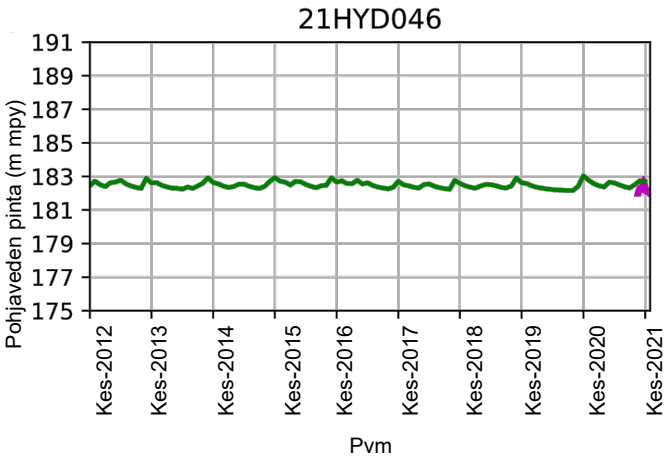
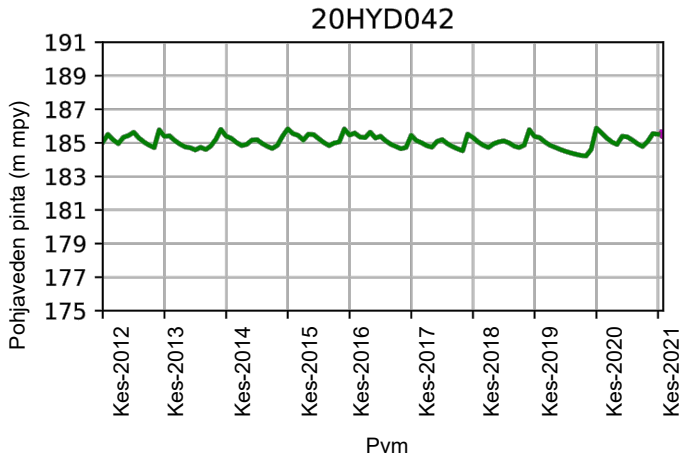
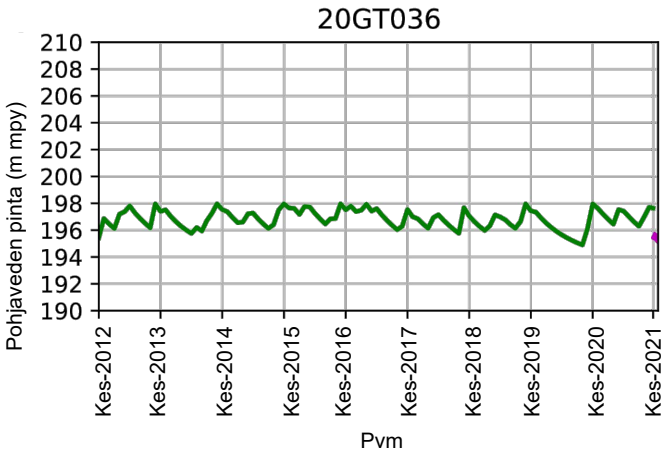
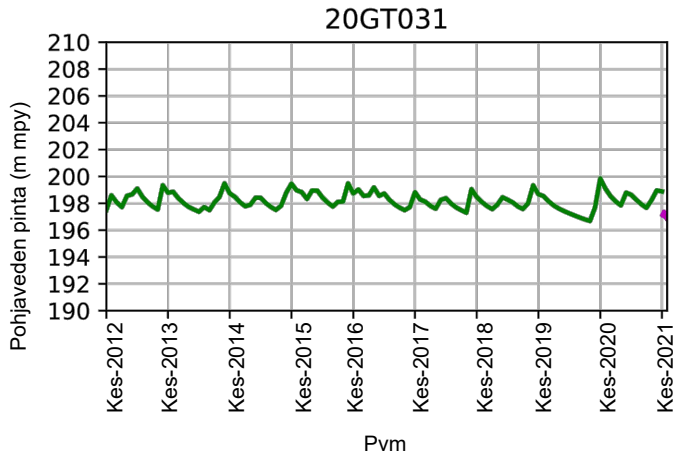


PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	



Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat	
CLIENT: Sakatti Mine	APPENDIX NO. A3

Pohjavesipinnat kivennäismaalajeissa

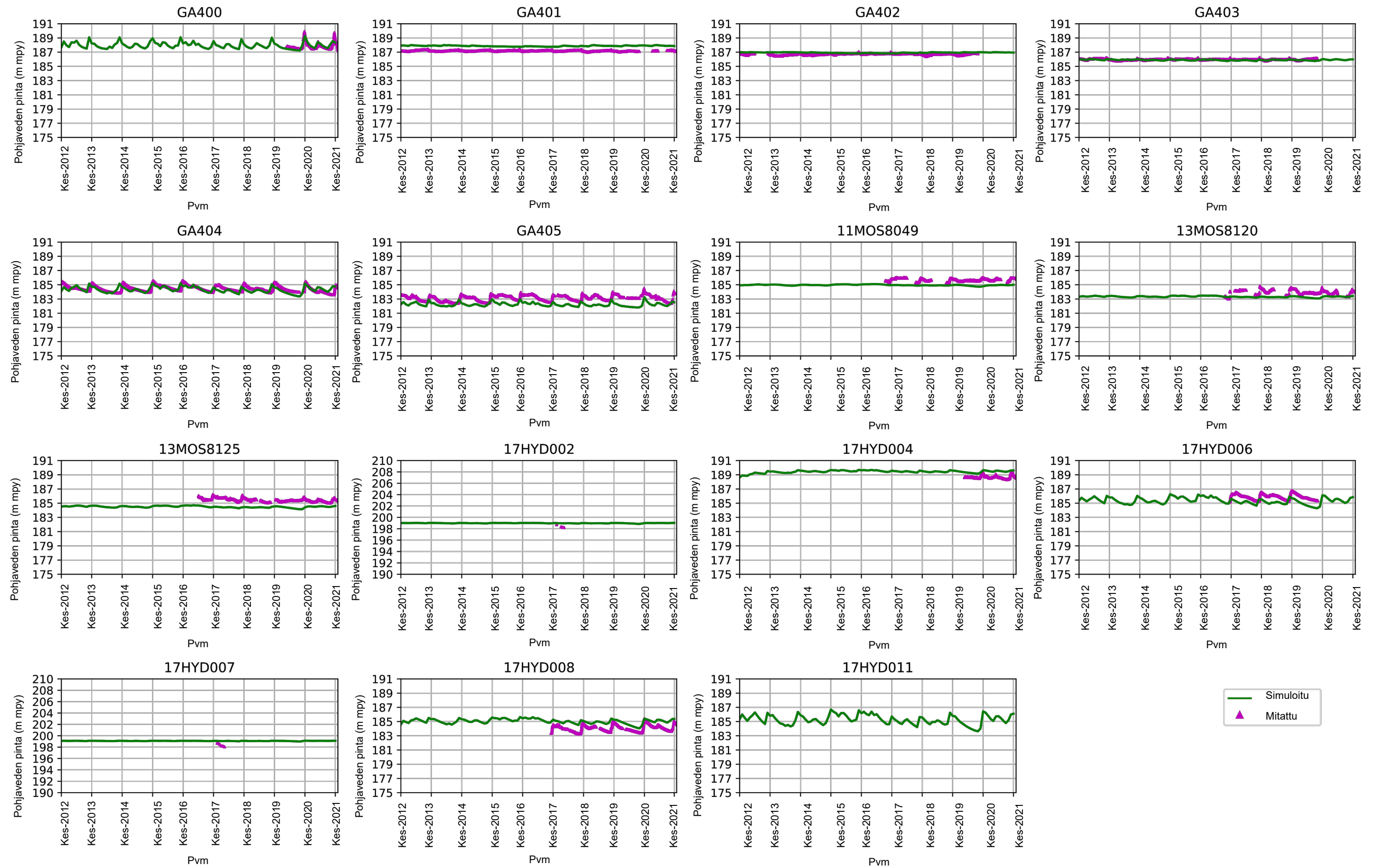


PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	



Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat	
CLIENT: Sakatti Mine	APPENDIX NO. A4

Pohjavesipinnat kallioperässä



— Simuloitu
▲ Mitattu

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	

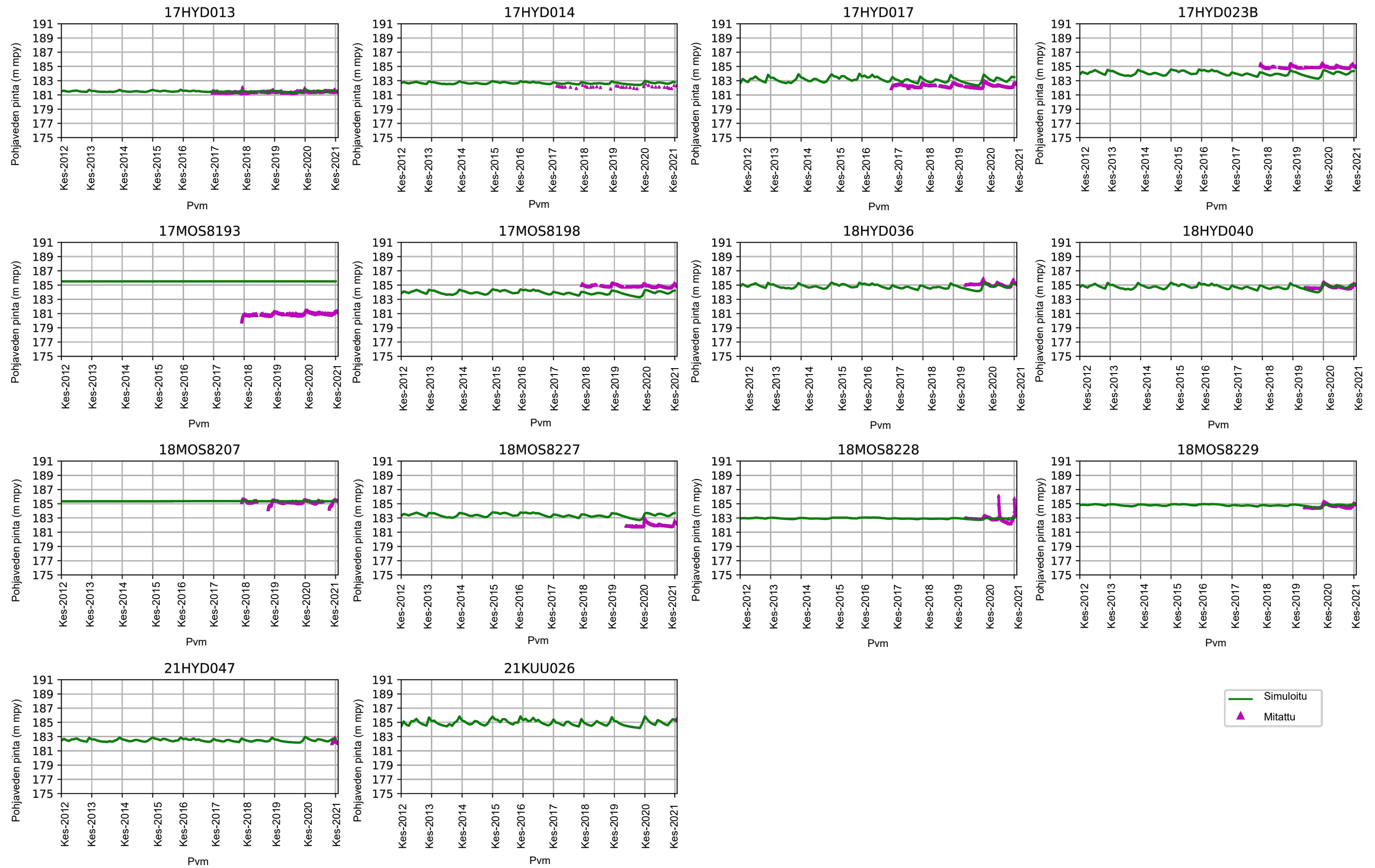


Transient-mallin kalibroinnin
mitattujen ja mallilla simuloitujen
pohjaveden pinnankorkeuksien
kuvaajat

CLIENT:
Sakatti Mine

APPENDIX NO.
A5

Pohjavesipinnat kallioperässä



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	

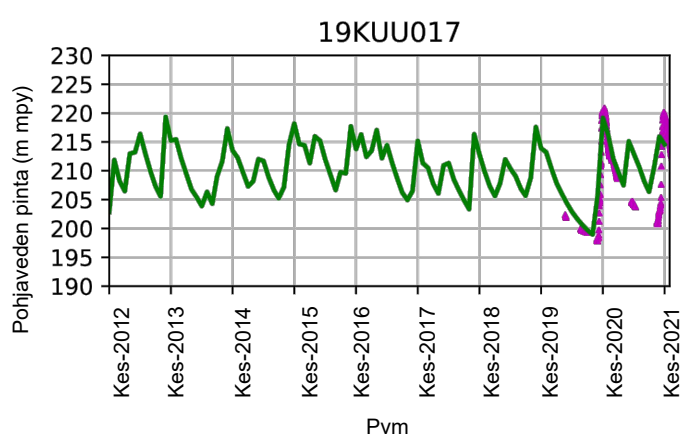
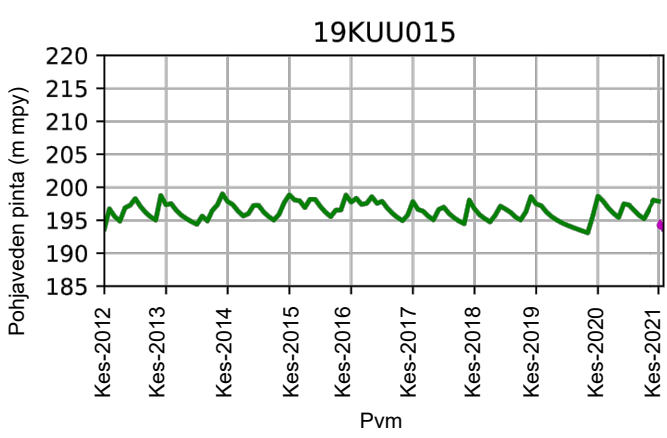
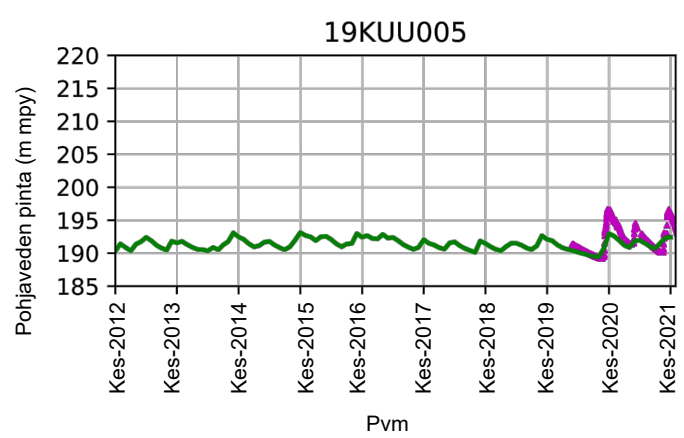
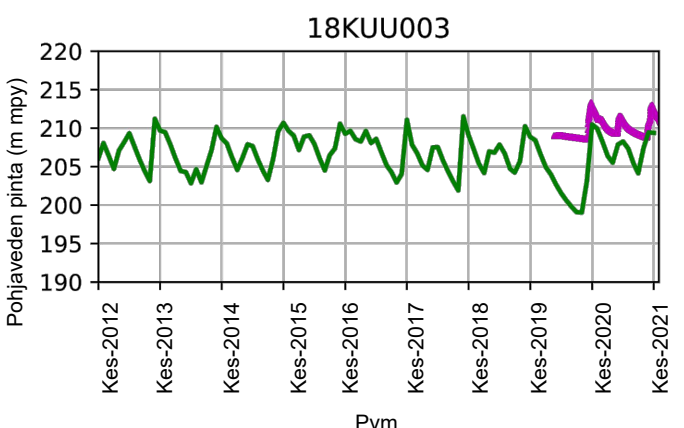
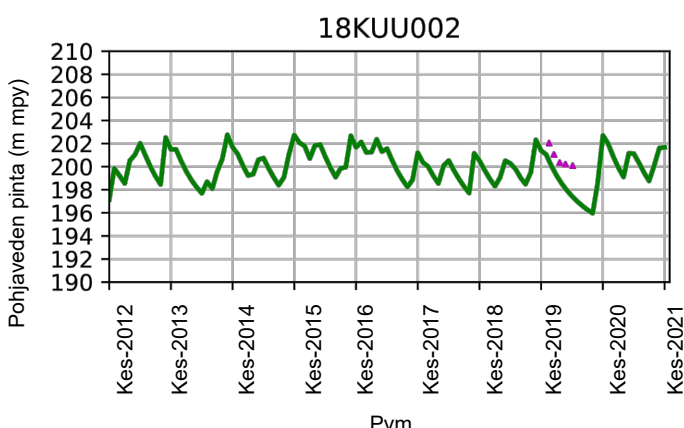
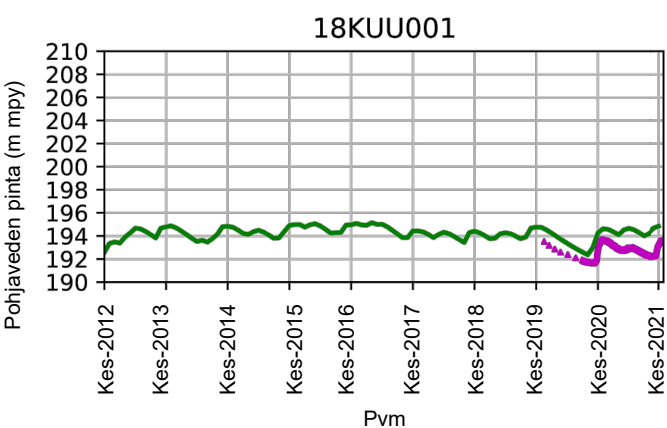
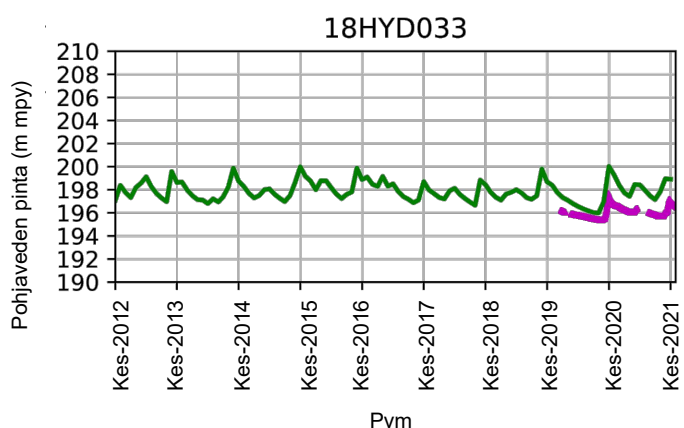
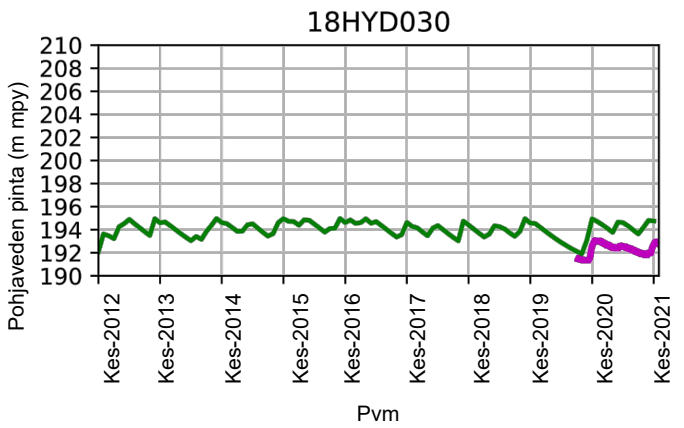
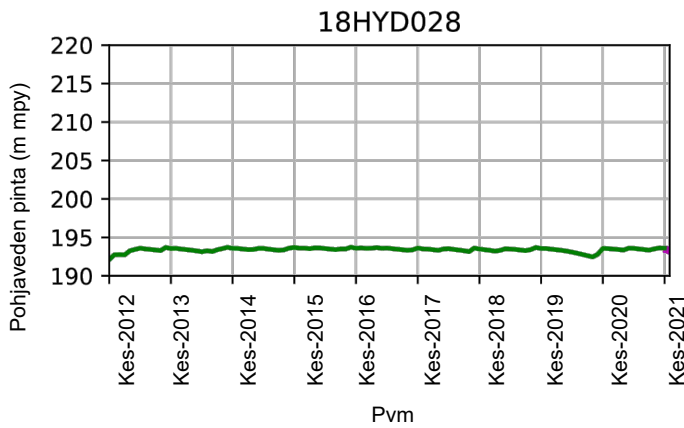
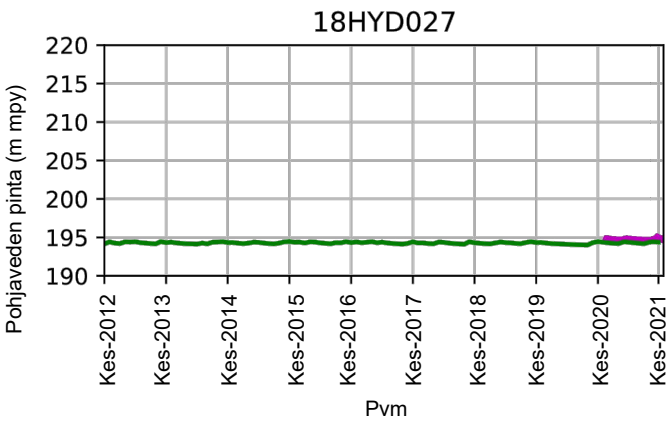
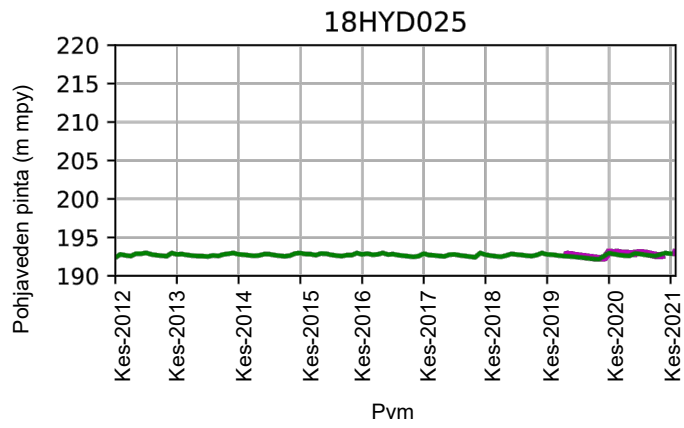
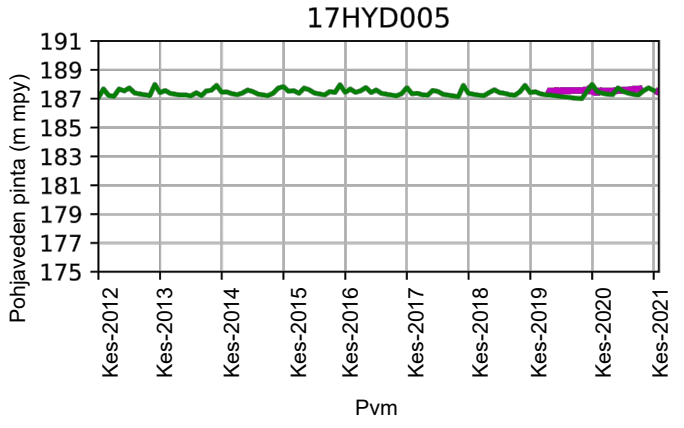
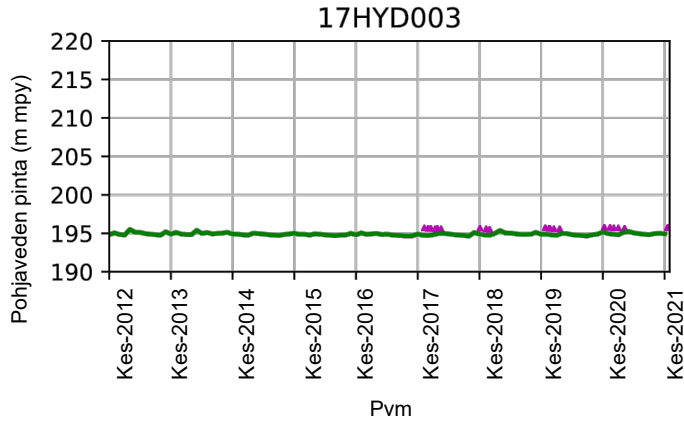
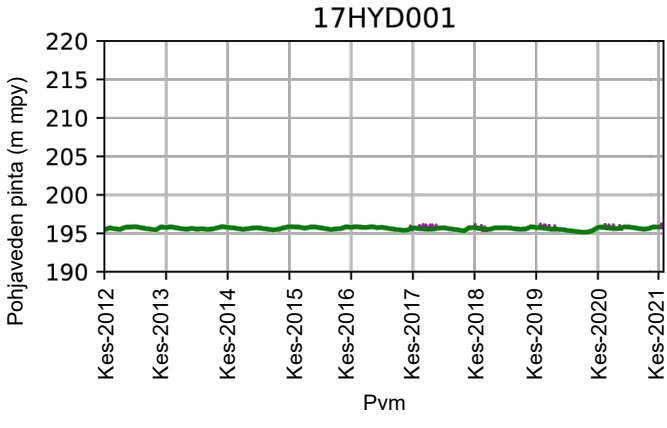
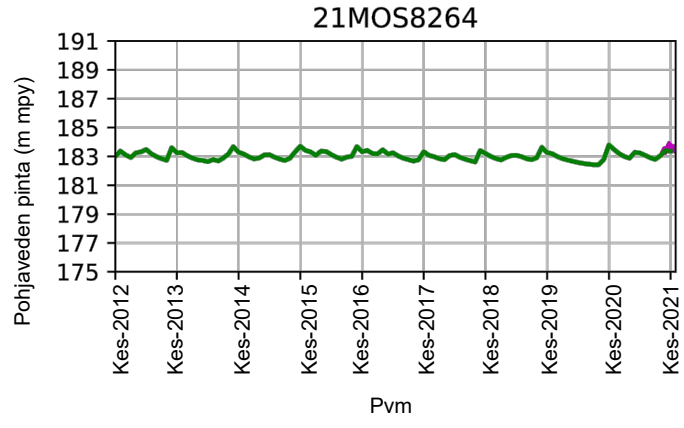


Transient-mallin kalibroinnin
mitattujen ja mallilla simuloitujen
pohjaveden pinnankorkeuksien
kuvaajat

CLIENT:
Sakatti Mine

APPENDIX NO.
A6

Pohjavesipinnat Kuusivaaran alueella



— Simuloitu
▲ Mitattu

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	

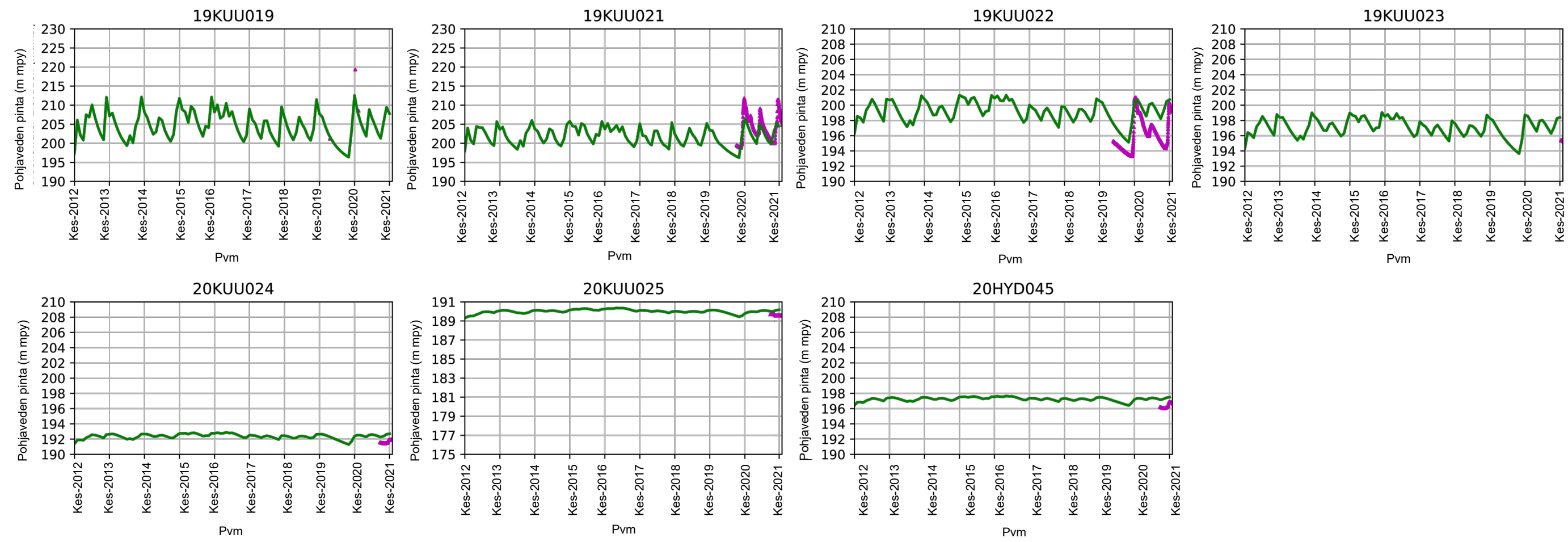


Transient-mallin kalibroinnin
mitattujen ja mallilla simuloitujen
pohjaveden pinnankorkeuksien
kuvaajat

CLIENT: Sakatti Mine

APPENDIX NO. A7

Pohjavesipinnat Kuusivaaran alueella



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	



Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat	
CLIENT: Sakatti Mine	APPENDIX NO. A8



Itasca Denver, Inc.
 143 Union Blvd., Suite 525
 Lakewood, Colorado 80228 USA
 Puh.: +1 303-969-8033 Faksi: +1 303-969-8357
 e-mail: itasca@itascadenver.com/www.itascadenver.com

LIITE B

Herkkyystarkasteluskenaarioiden ennustetulokset

ENNUSTAVAT MALLISIMULAATIOT HERKKYYSTARKASTELUA VARTEN

Ennustavalla pohjaveden virtausmallilla tehtiin lisäsimulaatioita, jotta voitiin arvioida tärkeimpien simuloitujen kaivosparametrien herkkyyttä. Ennustavan pohjaveden virtausmallin simulaatiot perustuivat raportissa kuvattuun kaivoksen elinkaarimalliin (Life of Mine, LOM). Seuraavassa on esitetty yhteenveto ennustavan mallin skenaarioista, jotka simuloitiin herkkyyksianalyysia varten:

1. **100% tiivistysskenaario:** Skenaario simuloi muuten kaikkia samoja 80% tiivistysskenaarion oletuksia, mutta tiivistyksen tehokkuudeksi oletetaan 100%. Skenaariossa oletetaan, että vinotunnelit injektoidaan 150 m syvyyteen maanpinnan tasosta ja kaikki merkittävästi vettä johtavat geologiset rakenteet injektoidaan. Koska skenaario simuloi 100 % tiivistystehokkuutta, mitään suotopintareunaehdota ei jätetä avoimiksi tiivistyksen alueilla. Tämän skenaarion tarkoituksena on osoittaa tiivistyksen tehokkuuden parantumisen vaikutukset.
2. **90% tiivistysskenaario:** Skenaariossa simuloi muuten kaikkia samoja 80% tiivistysskenaarion oletuksia, mutta tiivistystehokkuudeksi oletetaan 90% Skenaariossa oletetaan, että vinotunnelit injektoidaan 150 m syvyyteen maanpinnan tasosta ja kaikki merkittävästi vettä johtavat geologiset rakenteet injektoidaan. 90 % tiivistystehokkuutta simuloidaan jättämällä valitut suotopintareunaehdot (10 % solmukohdist) avoimiksi suotautumiselle tiivistyksen alueilla. Tämän skenaarion tarkoituksena on osoittaa tiivistyksen tehokkuuden parantumisen vaikutukset.
3. **Vaihtoehtoinen täyttöskenaario A:** Skenaariossa käytetään kaikkia 80% tiivistysskenaarion oletuksia, mutta täytön vedenjohtavuudeksi oletetaan matalampi arvo $2,0 \times 10^{-8}$ metriä sekunnissa (m/s). Tämän skenaarion tarkoituksena on selvittää täytön vedenjohtavuuden vaikutukset mallin ennusteisiin.
4. **Vaihtoehtoinen täyttöskenaario B:** Skenaariossa käytetään kaikkia 80% tiivistysskenaarion oletuksia, mutta täytön vedenjohtavuudeksi oletetaan korkeampi arvo $2,0 \times 10^{-6}$ m/s. Tämän skenaarion tarkoituksena on selvittää täytön vedenjohtavuuden vaikutukset mallin ennusteisiin.
5. **Suljetun louhoksen skenaario:** Skenaariossa käytetään 80% tiivistysskenaarion oletuksia, mutta lisäksi oletuksena on, että louhoksien kaivostäyttö on täysin tiivis ja täytettyjen louhoksien kautta tulevien vuotevesien määrä on merkityksetön. Mallin suotopintareunaehdot suljetaan suotautumiselta louhoksissa kuukauden kuluttua

louhimisesta. Tämän skenaarion tarkoituksena on selvittää täytettyjen louhosten vuotojen vaikutukset mallin ennusteisiin.

6. **Vaihtoehtoisen kaivossuunnitelman skenaario:** Vaihtoehtoisen kaivossuunnitelman skenaario: Kaivossuunnitelma sisältää NE satelliittiesiintymän alueen, jossa maanalainen kaivos on lähimpänä maanpintaa. Vaihtoehtoisen kaivossuunnitelman skenaariossa lähinnä maanpintaa oleva louhintataso (louhoksen katto) sijaitsee 52 m mpy, kun alkuperäisessä kaivossuunnitelmassa NE-satelliittiesiintymän ylin louhintataso (louhoksen katto) sijaitsee 112 m mpy. Tämä tarkoittaa NE-satelliittiesiintymän kolmen ylimmän louhintatason poistamista vaihtoehtoisesta kaivossuunnitelmasta. Tämän skenaarion tarkoituksena on arvioida lähellä maanpintaa olevien louhintatasojen vaikutuksia mallin ennusteisiin. Kaikki muut skenaarion oletukset ovat samat kuin 80% tiivistysskenaariossa.

Kaivostoiminnan parametreihin liittyvien herkkyysanalyysien lisäksi myös vaihtelevan ilmaston (eli pohjaveden vaihtelevien muodostumismäärien) vaikutusta arvioitiin herkkyystarkastellulla. Suomen ilmaston ennustetaan tulevaisuudessa muuttuvan; lämpötilojen ennustetaan kohoavan ja sadannan kasvavan. Sekä 80% että 65% tiivistysskenaariota simuloitiin siksi myös tulevaisuuden vaihtelevassa ilmastossa. Simuloituja tulevaisuuden ilmaston muuttujia käsiteltiin osiossa 3.2.5. RCP4.5-ilmastoskenaarion mukaisia pohjaveden tulevia muodostumismääriä simuloitiin suoraan pohjaveden virtausmallissa.

KAIVOSTOIMINNAN AIKAISET ENNUSTEET HERKKYYSKENAARIOISSA

Ennustetut vuotovesimäärät

Kuvassa B-1 on esitetty ennustetut vuotovesimäärät herkkyyskenaarioissa ja 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa. Kuvaaja sisältää kaikki kaivostoiminnan muuttujiin liittyvät herkkyyskenaariot. Ilmastonmuutoskenaario esitellään tämän liitteen seuraavassa osassa. Vuotovesimäärien herkkyydestä suhteessa 80% tiivistysskenaarion tuloksiin voidaan todeta seuraavaa:

1. Tiivistyksen tehokkuuden parantuessa 65%:sta 100%iin, kaivokseen tuleva vuotovesimäärä vähentyy. Ennusteet vuotovesimäärästä pienentyvät 15–25 % tiivistyksen tehokkuuden parantuessa.

2. Vaihtoehtoisissa täyttöskenaarioissa muutos täytön vedenjohtavuudessa vaikuttaa vain vähän pitkän aikavälin vuotovesimääriin (alle 2 kuutiometriä tunnissa [m^3/h]), koska täytön vedenjohtavuus on suurempi kuin ympäröivän kalliomassan. Suurin osa vuotovedestä on peräisin louhoksia ympäröivistä kaivostiloista.
3. Suljettujen louhosten skenaariossa täytetyt louhokset vähentävät vuotovesimäärän huippuarvoja ja vaikuttavat vain vähän pitkän aikavälin vuotovesimäärään (alle 2 m^3/h). Suurin osa vuotovedestä on peräisin louhoksia ympäröivistä kaivostiloista.
4. Vaihtoehtoisen kaivossuunnitelman skenaario vähentää pitkän aikavälin vuotovesimäärää alle 5 m^3/h .

Ennustettu pohjaveden pinnankorkeuden alenema

Kuvissa B-2a ja B-2b on esitetty kunkin malliskenaarion pohjaveden alenemakuvaajat 11 hypoteettisessa sijainnissa kaivostoimintojen alueella. Kuvat sisältävät kartan hypoteettisista havaintopisteistä. Kaivostoimintaan liittyvä ennustettu alenema arvioitiin vertaamalla mallin ennustamaa alenemaa kussakin herkkyyskenaariossa skenaarioon ilman kaivostoimintaa. Ennustetusta alenemasta kaivostoimintojen alueella voidaan todeta seuraavaa:

1. Ennustettu alenema vähenee tiivistyksen tehokkuuden parantuessa. Alenema vähenee erityisesti pohjaruhjeen ja lähellä maanpintaa olevan vinotunnelin läheisyydessä. Alenema vähenee 20–30 %:lla pohjaruhjeen alueella, kun tiivistystehokkuus nousee 65 %:sta 100 %:iin.
2. Kaivosalueella suljetun louhoksen skenaariossa (täysin tiiviis kaivostäyttö ilman vuotoa) alenema vähenee hieman (alle 0,05 m havaintopisteessä 8) NE satelliittiesiintymän alueella, koska suurin osa vuotovedestä on peräisin louhoksia ympäröivistä kaivostiloista.
3. Vaihtoehtoisen täytön skenaarioissa alenema ei juuri muutu. Koska kaivostäyttö on läpäisevämpää kuin sitä ympäröivä kallioperä, vettä tihkuu edelleen täyttömateriaalin läpi maanalaiseen kaivokseen.
4. Vaihtoehtoisen kaivossuunnitelman skenaario (jossa NE satelliittiesiintymän lähellä maanpintaa olevat ylimmät 3 louhostasoa poistetaan) johtaa aleneman vähenemiseen NE satelliittiesiintymän alueella 0,1–0,2 metrillä.

Kuvissa B-3a, B-3b ja B-3c on esitetty ennustetut pohjaveden pinnankorkeuden alenemakäyrät kaivostoiminnan lopussa valikoiduissa herkkyyskenaarioissa. Ennustettu alenema on esitetty vain sellaisista skenaarioista, jotka eroavat merkittävästi 80% tiivistysskenaariosta (ero yli 0,1 m). Tämän

vuoksi mukana ovat vain 100% ja 90% tiivistysskenaariot ja vaihtoehtoisen kaivossuunnitelman skenaario. Seuraavassa on esitetty yhteenveto ennustetusta alenemasta kaivostoiminnan lopussa valituissa malliskenaarioissa:

1. Tiivistysskenaariot johtavat pienempään alenemaan pohjaruhjeen alueella ja lähellä maanpintaa kulkevan vinotunnelin alueella injektointitehokkuuden parantuessa.
2. Vaihtoehtoinen kaivossuunnitelma vähentää pohjaveden alenemaa NE satelliittiesiintymän alueella.

Kitisen ennustettu vesitase

Kuvassa B-4 on esitetty ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen kaivoksen elinkaaren aikana herkkyyskenaarioissa, 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa ja skenaariossa ilman kaivostoimintaa. 80% ja 65% tiivistysskenaarioiden tapaan kaikki herkkyyskenaariot ennustavat, että pohjaveden virtaus Kitiseen voi laskea enintään 20 m³/h. Herkkyystarkastelun perusteella ennustettuun pohjaveden purkautumisen vähentymiseen eivät vaikuta parametrit, joita herkkyysanalyysissä käytettiin.

KAIVOSTOIMINNAN AIKAiset ENNUSTEET ILMASTOSKENAARIOISSA

Tulevaisuuden vaihteleva ilmasto vaikuttaa todennäköisesti sateiden olomuotoon (sataako lunta vai vettä), lumen syvyyteen ja lumen sulannan ajankohtaan. Jotta ilmastomuutoksen vaikutuksia ennustettuihin vuotovesimääriin ja alenemaan voitaisiin arvioida, AASM Oy teki *MIKE SHE* -mallilla lisäsimulaatioita. Näiden simulaatioiden tarkoituksena oli arvioida muutoksia pohjaveden kuukausittaisiin ja vuosittaisiin muodostumismääriin moreenissa, lajittuneissa kerrostumissa ja turpeessa RCP4.5-ilmastoskenaariossa. Näistä mallisimulaatioista saadut tiedot on esitetty raportin osiossa 3.2.5. Seuraavassa on esitetty yhteenveto raportissa esitellyistä ilmaston muutoksista RCP4.5-skenaariossa:

1. Vuotuinen sadanta ja pohjaveden muodostumismäärät vaihtelevat voimakkaammin.
2. Lajittuneissa kerrostumissa pohjaveden muodostumismäärät vähentyvät hieman ajan myötä. Tämä johtuu todennäköisesti lumipeitteen ohentumisesta ja pohjaveden

muodostumisen vähentymisestä kevättulvan aikana sekä kasvaneesta kokonaishaihdunnasta.

3. Moreenissa pohjaveden muodostumismäärät vähentyvät hieman ajan myötä. Tämä johtuu todennäköisesti lumipeitteen ohentumisesta ja pohjaveden muodostumisen vähentymisestä kevättulvan aikana sekä kasvaneesta kokonaishaihdunnasta.
4. Turpeessa pohjaveden muodostumismäärät kasvavat hieman ajan myötä. Tämä johtuu pintaveden valunnan vähentymisestä, mikä lisää pohjaveden muodostumista turpeeseen. AASM Oy:n *MIKE SHE* -mallin perusteella turpeen vesitase (veden muodostumisen ja purkautumisen suhde) on edelleen nettopositiivinen, kun vettä kertyy sateista.

Ennustavia pohjaveden virtausmallin simulaatioita ajettiin 80% ja 65% tiivistysskenaarioille muuttuvan ilmaston pohjaveden muodostumismäärillä. Näitä skenaarioita kutsutaan 80% ja 65% tiivistystehokkuuden ilmastomuutoskenaarioiksi. 80% ja 65% tiivistysskenaarioita verrataan 80% ja 65% tiivistystehokkuuden ilmastomuutoskenaarioihin. 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa on käytetty pohjaveden keskimääräisiä tulevia muodostumismääriä ja ovat kuvailtu raportissa.

Ennustetut vuotovesimäärät ilmastoskenaarioissa

Kuvassa B-5 on esitetty ennustetut vuotovesimäärät kaivoksessa 80% ja 65% tiivistyskenaarioissa ja sekä 80% ja 65% tiivistystehokkuuden ilmastomuutoskenaarioissa. Muuttuva ilmasto ei vaikuta ennusteeseen kaivokseen tulevasta vuotovesimäärästä. Tämä johtuu siitä, että kaivos ei ole suoraan yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjavesiin. Ennusteet maanalaisen kaivoksen vuotovesimäärästä liittyvät pohjavesivaraston purkautumiseen.

Ennustettu alenema ilmastoskenaarioissa

Kuvissa B-6a ja B-6b on esitetty 80% tiivistysskenaarion ja 80% tiivistystehokkuuden ilmastomuutoskenaarion alenemakuvaajat 11 hypoteettisessa sijainnissa kaivostoimintojen alueella. Kuvissa B-6c ja B-6d on esitetty 65% tiivistysskenaarion ja 65% tiivistystehokkuuden ilmastomuutoskenaarion pohjaveden alenemakuvaajat 11 hypoteettisessa sijainnissa kaivostoimintojen alueella. Kaivostoimintaan liittyvä ennustettu alenema arvioitiin vertaamalla mallin ennustamaa alenemaa 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa (perusskenaariot) sekä 80% ja 65%

tiivistystehokkuuden ilmastomuutoskenaarioissa (ilmastoskenaariot) ilman kaivostoimintaa. Ennustetusta alenemasta kaivostoimintojen alueella voidaan todeta seuraavaa:

1. Ennustettu alenema vaihtelee ilmastoskenaarioissa merkittävästi johtuen vuotuisen sadannan ja pohjaveden muodostumismäärien muutoksista. Kuivempina vuosina ennustettu alenema on suurempi ja kosteampina vuosina ennustettu alenema on pienempi.
2. Pitkän aikavälin trendit ennustavat aleneman kasvavan ilmastoskenaarioissa perusskenaarioihin verrattuna havaintopisteissä, jotka ovat lähellä lajittuneita sedimenttejä ja moreeneja, sillä pohjaveden muodostumisen ennustetaan vähentyvän näissä hydrogeologisissa yksiköissä.
3. Pitkän aikavälin trendit ennustavat aleneman laskevan tai pysyvän samana ilmastoskenaarioissa perusskenaarioihin verrattuna havaintopisteissä, jotka sijaitsevat turpeessa tai sen lähellä, sillä pohjaveden muodostumisen ennustetaan lisääntyvän tässä hydrogeologisessa yksikössä.
4. Aleneman vuodenaikaisvaihtelu on erilaista ilmastoskenaarioissa verrattuna perusskenaarioihin. Vuodenaikaisvaihtelun ja ajoituksen muutokset liittyvät muutoksiin pohjaveden muodostumisen ajoituksessa, kun sateen muoto muuttuu (sataako lunta vai vettä) ja lumi sulaa entistä aiemmin kohonneen lämpötilan vuoksi.

Kuvissa B-7a ja B-7b on esitetty kaivostoimintaan liittyvän ennustetun aleneman kuvaajat hydrologisella tutkimusalueella 80% ja 65% tiivistystehokkuudelle ilmastomuutoskenaarioissa. 80% ja 65% tiivistysskenaarioiden tapaan ennustettu alenema on suurempi NE satelliittiesiintymän ja vinotunnelien alueella. Ennustettu enimmäisalenema on 4,9 metriä (m) 80% tiivistystehokkuuden ilmastoskenaariossa ja 8,0 metriä (m) 65% tiivistystehokkuuden ilmastoskenaariossa kaivoksen sisäänkäyntien alueella. Ilmastoskenaarioiden perusteella alenema on todennäköisesti pienempi turpeen alueella ja suurempi moreenin ja lajittuneiden kerrostuminen alueilla, kun alenemaa verrataan perusskenaarioihin.

Kitisen ennustettu vesitase

Kuvassa B-8 on esitetty ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen kaivoksen elinkaaren aikana ilmastoskenaarioissa ja skenaariossa ilman kaivostoimintaa. Perusskenaarioiden tapaan

ilmastoskenaariot ennustavat, että pohjaveden valunta Kitiseen voi kaivostoiminnan vuoksi vähentyä enintään 20 m³/h.

Pohjaveden ennustettu palautuminen ilmastoskenaarioissa

Oletuksena on, että kaivostoiminnan jälkeen matalan vyöhykkeen ja syvän kallioperän pohjavedet alkavat palautua. Pohjaveden virtausmallin avulla arvioitiin, kuinka kauan matalan vyöhykkeen ja syvän kallioperän pohjavesien palautuminen kestää. Pohjavesien tulevaa palautumista ennustettiin kahdella malliskenaariolla. Nämä kaksi pohjaveden palautumisen malliskenaariota perustuvat seuraavalle tutkimusasetelmalle ja oletuksille:

1. **80% tiivistystehokkuuden ilmastomuutosskenaarion pohjaveden palautumisen:** Tässä skenaariossa oletetaan, että kaivostoiminta noudattaa 80% tiivistystehokkuuden ilmastomuutosskenaarion oletuksia, jotka on kuvattu edellä. Kaivostoiminnan jälkeen pohjavesien annetaan palautua luonnollisesti. Ennustetut pohjaveden muodostumismäärät perustuvat osiossa 3.2.5 esiteltyyn ilmastoskenaarioon. Muuttuvan ilmaston tulevat pohjaveden muodostumismäärät olivat saatavilla vain vuoteen 2100 asti. Vuoden 2100 jälkeen vuoden 2100 muodostumismäärä toistetaan vuosittain mallin simulointiajan loppuun asti.
2. **65% tiivistystehokkuuden ilmastomuutosskenaarion pohjaveden palautumisen:** Tässä skenaariossa oletetaan, että kaivostoiminta noudattaa 65% tiivistyksen tehokkuuden ilmastomuutosskenaarion oletuksia, jotka on kuvattu edellä. Kaivostoiminnan jälkeen pohjavesien annetaan palautua luonnollisesti. Ennustetut pohjaveden muodostumismäärät perustuvat raportin osiossa 3.2.5 esiteltyyn ilmastoskenaarioon. Muuttuvan ilmaston tulevat pohjaveden muodostumismäärät olivat saatavilla vain vuoteen 2100 asti. Vuoden 2100 jälkeen vuoden 2100 muodostumismäärä toistetaan vuosittain mallin simulointiajan loppuun asti.

Edeltävien oletusten pohjalta pohjaveden virtausmallin simulointi ulotettiin 400 vuoden päähän kaivostoiminnan päättymisestä. Pohjaveden palautumiselle simuloidaan 400 vuoden ajanjakso ehjän kallioperän alhaisen vedenjohtavuuden vuoksi.

Pohjaveden palautumista kuvaa aleneman suuruus keskeisimmissä havaintopisteissä ajan kuluessa. Pohjaveden palautumisajan arvioinnissa käytettiin seuraavia hypoteettisia havaintopisteitä, jotka on esitetty kuvassa B-9:

1. Ennustetun aleneman alueelle lisättiin yksitoista hypoteettista matalan pohjaveden havaintopistettä. Nämä pohjaveden havaintopisteet kuvaavat pohjaveden pinnankorkeuksia ylimmäisessä vedellä kyllästyneessä mallikerroksessa 184–194 m mpy.
2. Yksi hypoteettinen pohjaveden havaintopiste kuvaa pohjavettä aina maanpinnalta syvälle kaivosvyöhykkeelle saakka. Tässä pohjaveden havaintoputkessa oletettiin olevan mittauspisteitä kahdeksalla eri syvyydellä.

Kuvissa B-9a ja B-9b on esitetty pohjaveden aleneman kuvaajat 80% ja 65% tiivistystehokkuuden ilmastomuutoskenaarioissa 11:lle eri hypoteettiselle havaintopisteelle ja yhdelle syvälle havaintopisteelle kaivostoimintojen alueella pohjaveden palautumisen aikana. Pohjaveden palautumisesta kaivostoimintojen alueella voidaan tehdä seuraavat havainnot 80% tiivistystehokkuuden ilmastoskenaariossa (B-9a):

1. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päätyttyä. Pohjavesien palautuminen alkaa, kun vettä ei enää suotaudu maanalaiseen kaivokseen.
2. Yhdentoista vuoden kuluessa matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen.
3. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteissä ennustettu pohjaveden palautuminen vaihtelee vuodenajoittain lumen sulannan seurauksena. Vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,15 m.
4. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteissä havaitaan enemmän vuodenaikaisvaihtelua pohjaveden palautumisen aikana ilmastoskenaarioissa kuin perusskenaarioissa. Tämä on seurausta ilmastoskenaarion simuloituista pohjaveden muodostumismääristä.
5. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteiden perusteella pohjavesitasot ovat palautuneet siten, että alenema on alle 0,01 m (yli 99 % palautuminen) verrattuna skenaarioon ilman kaivostoimintaa, kaikissa havaintopisteissä 75 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä.
6. Ehjän kallioperän pohjaveden havaintopisteessä alenema kasvaa ehjän kallioperän yläosassa kaivostoimintaa seuraavien 20 vuoden aikana, kun syvän kallioperän pohjavedet alkavat palautua.
7. Ehjän kallion matalampien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa havaintopisteissä. 400 vuoden

kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän havaintopisteissä alle 2 m.

Pohjaveden palautumisesta kaivostoimintojen alueella voidaan tehdä seuraavat havainnot 65 % prosenttisen tiivistystehokkuuden ilmastoskenaariossa (kuva B9-b):

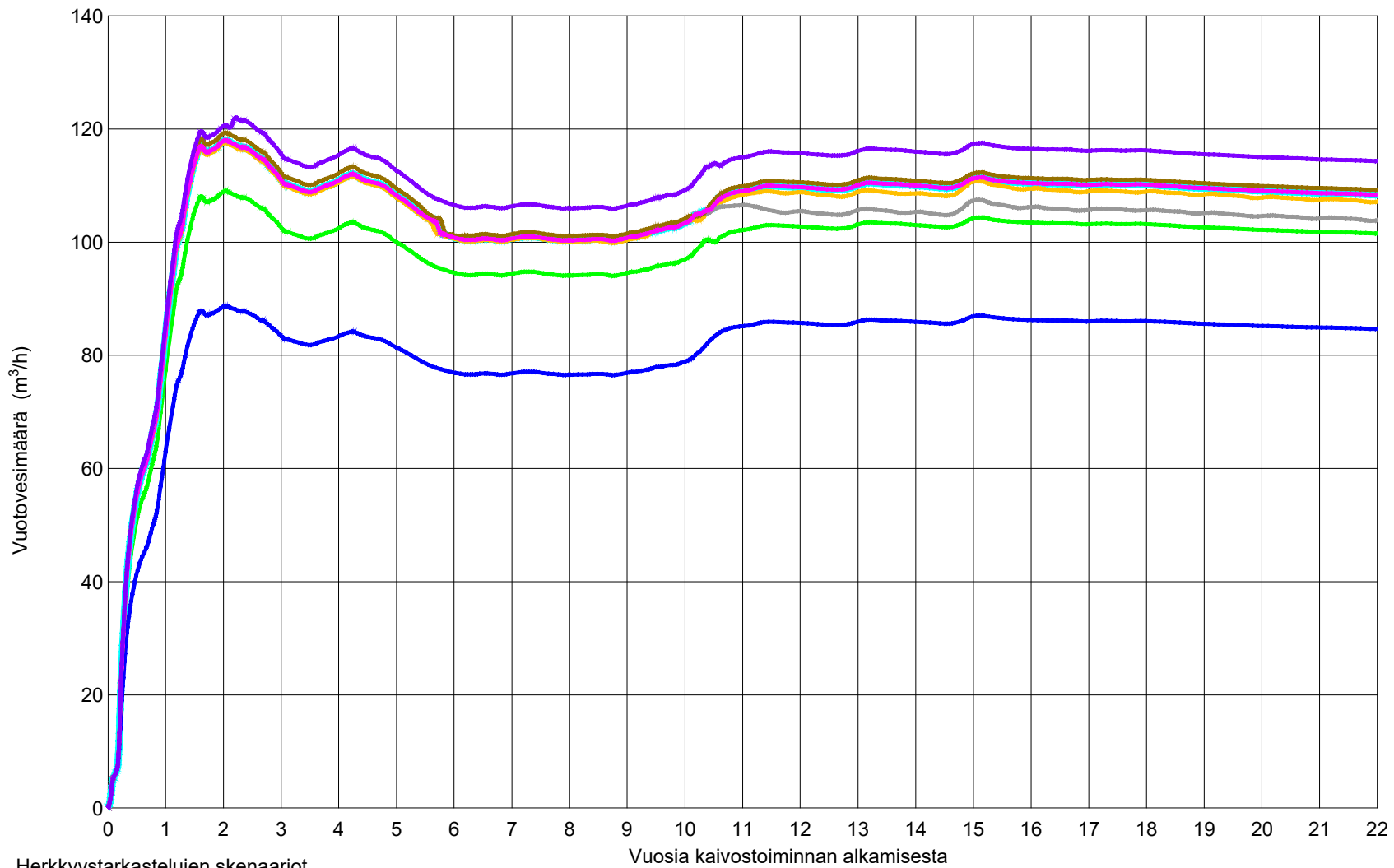
1. Matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeudet alkavat palautua kaivostoiminnan päätyttyä. Pohjavesien palautuminen alkaa, kun vettä ei enää suotaudu maanalaiseen kaivokseen.
2. Yhdentoista vuoden kuluessa matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnankorkeus on palautunut siten, että alenema on enintään 0,1 m verrattuna kaivostoimintaa edeltäneeseen tilanteeseen.
3. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteissä ennustettu pohjaveden palautuminen vaihtelee vuodenajoittain lumen sulannan seurauksena. Vuodenaikaisvaihtelu on 0,01–0,15 m.
4. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteissä havaitaan enemmän vuodenaikaisvaihtelua ilmastoskenaarioissa kuin perusskenaarioissa. Tämä on seurausta ilmastoskenaarion simuloiduista pohjaveden muodostumismääristä.
5. Matalan vyöhykkeen pohjaveden havaintopisteiden perusteella pohjavesitasot ovat palautuneet siten, että alenema on alle 0,01 m (yli 99 % palautuminen) verrattuna skenaarioon ilman kaivostoimintaa, kaikissa havaintopisteissä 75 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä.
6. Ehjän kallioperän pohjaveden havaintopisteen mittauspisteissä alenema kasvaa ehjän kallioperän yläosassa kaivostoimintaa seuraavien 20 vuoden aikana, kun syvän kallioperän pohjavedet alkavat palautua.
7. Ehjän kallion matalampien vedenjohtavuuksien vuoksi pohjaveden pinnankorkeuden palautuminen kestää pidempään syvemmällä olevissa havaintopisteissä. 400 vuoden kuluttua kaivostoiminnan päättymisestä alenema on kaikissa ehjän kallioperän pohjaveden havaintopisteen mittauspisteissä alle 2,5 m.

Liitteet:

Kuva B-1	–	Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät eri herkkyystarkasteluiden vaihtoehdolle
Kuva B-2a	–	Ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa herkkyystarkastelun vaihtoehtojen mukaan

Kuva B-2b	–	Ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa herkkystarkastelun vaihtoehtojen mukaan
Kuva B-3a	–	Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 90% tiivistysskenaariossa
Kuva B-3b	–	Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 100% tiivistysskenaariossa
Kuva B-3c	–	Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa vaihtoehtoisessa kaivossuunnitelmassa
Kuva B-4	–	Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen herkkystarkastelujen vaihtoehtojen mukaan
Kuva B-5	–	Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät ilmastomuutoskenaarioissa
Kuva B-6a	–	Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa
Kuva B-6b	–	Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa
Kuva B-6c	–	Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65% tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa
Kuva B-6d	–	Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65% tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa
Kuva B-7a -		Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa
Kuva B-7b	–	Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 65% tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa
Kuva B-8	–	Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen ilmastomuutoskenaariossa
Kuva B-9a	–	Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa

Kuva B-9b – Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen
kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 65%
tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa

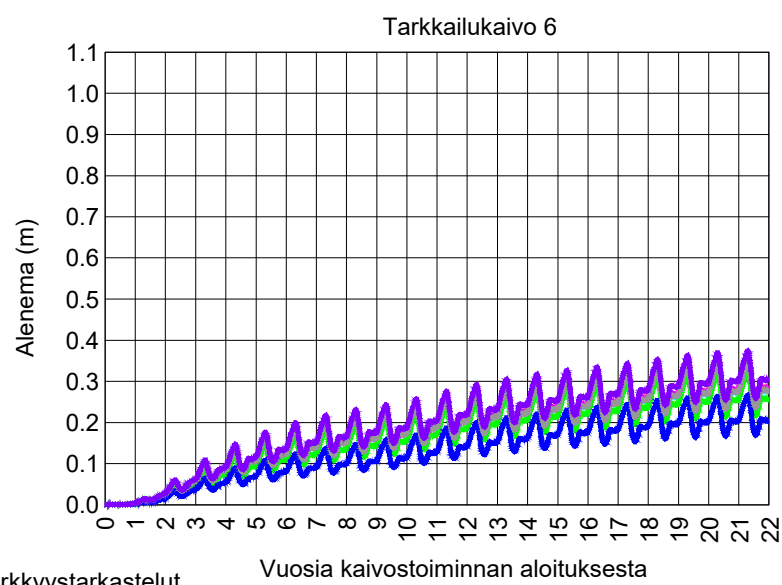
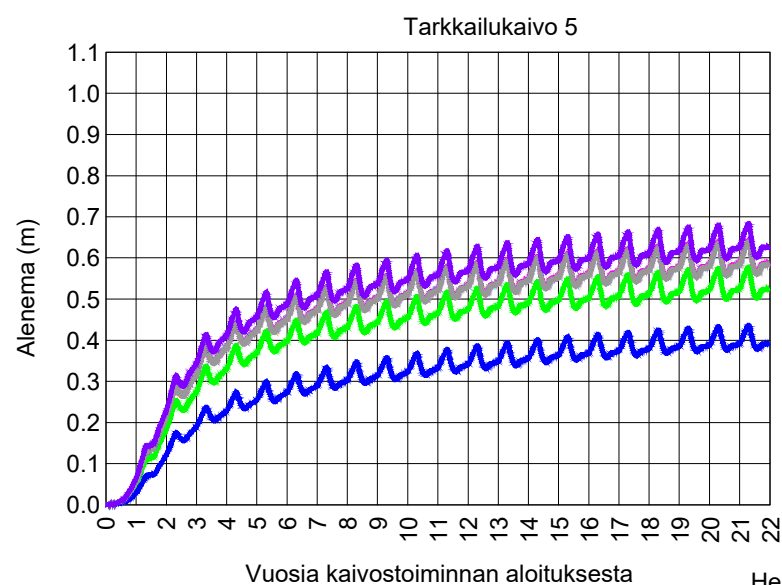
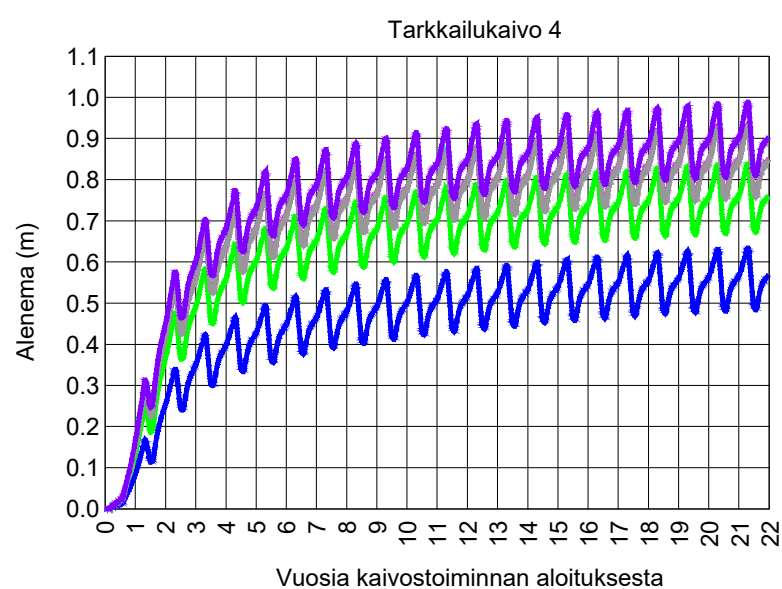
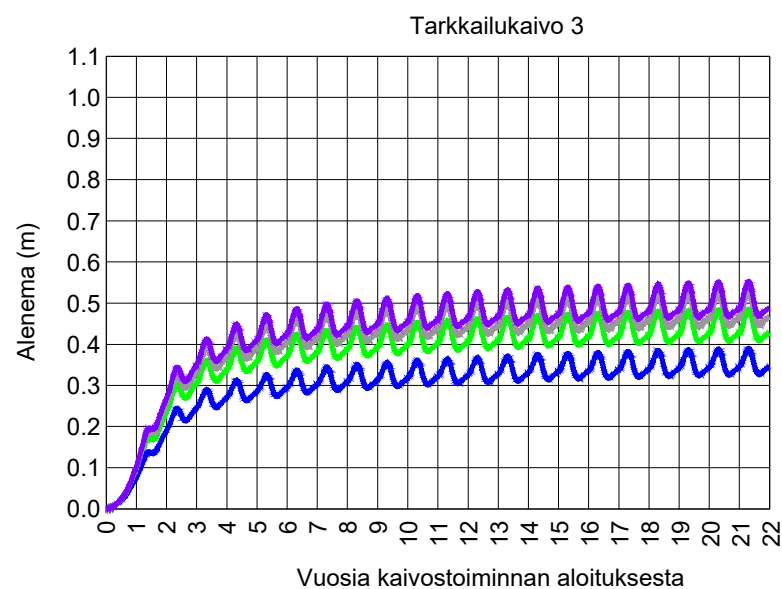
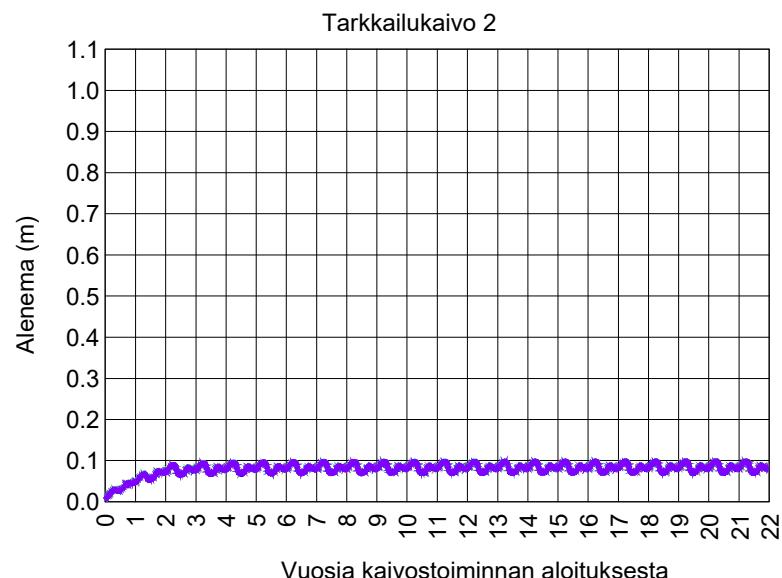
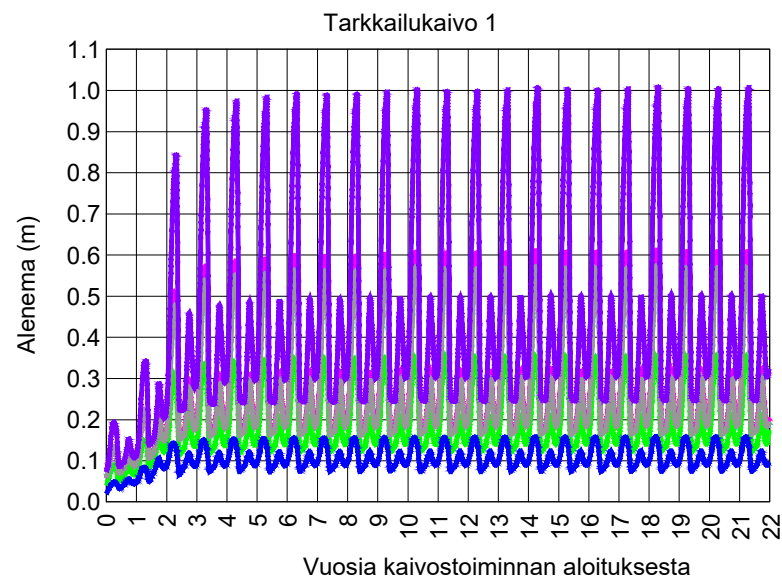


PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SENS
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	



CLIENT:
Sakatti Mine

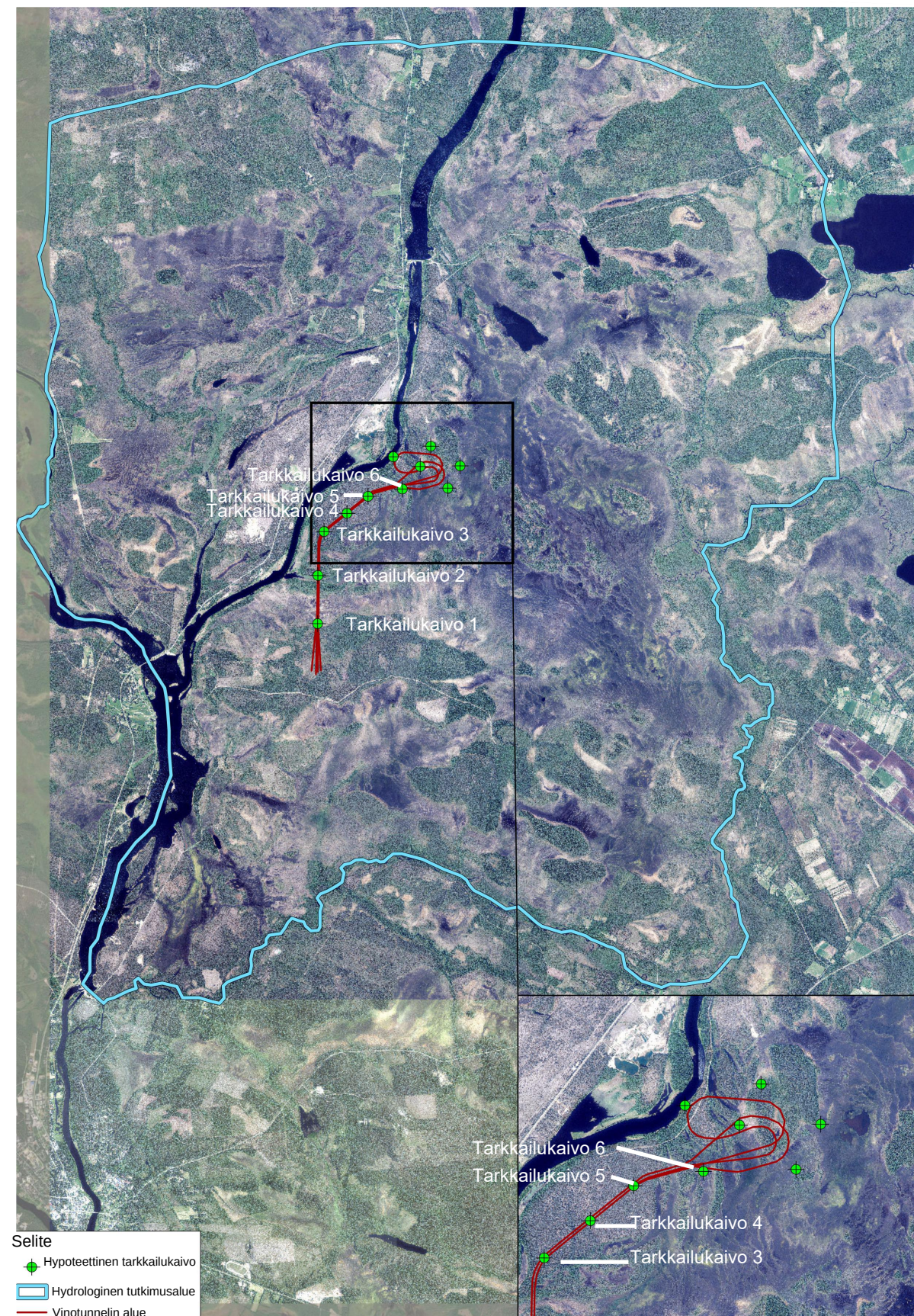
FIGURE NO.
B-1



Herkkyystarkastelut

- 65% tiivistysskenaario
- 80% tiivistysskenaario
- Vaihtoeht. kaivostäyttö: korkea K
- Vaihtoeht. kaivostäyttö: matala K
- Suljetut louhokset
- Vaihtoehtoinen kaivossuunnitelma
- 90% tiivistysskenaario
- 100% tiivistysskenaario

Huom: Herkkyystarkastelut joissa louhokset on suljettu, tai on käytetty vaihtoehtoisia täyttömenetelmiä, tuottavat merkityksettömät erot verrattuna vaihtoehtoon, jossa tiivistyksen tehokkuus on 80%



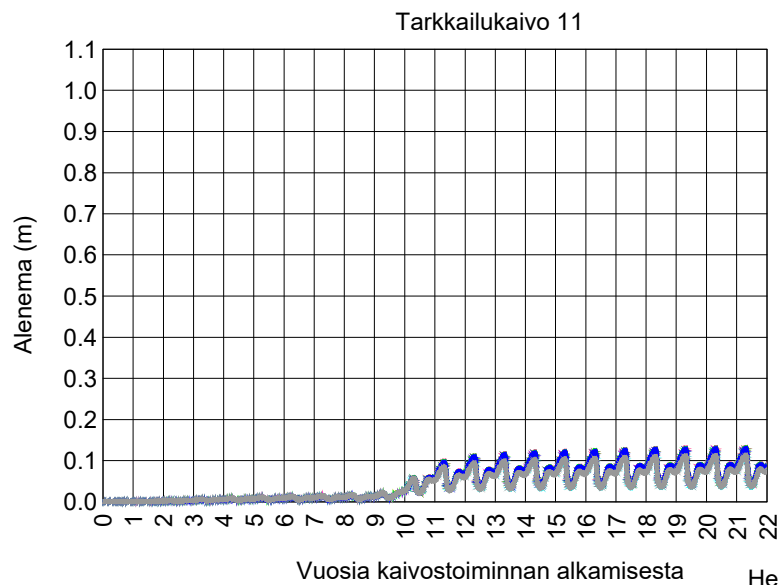
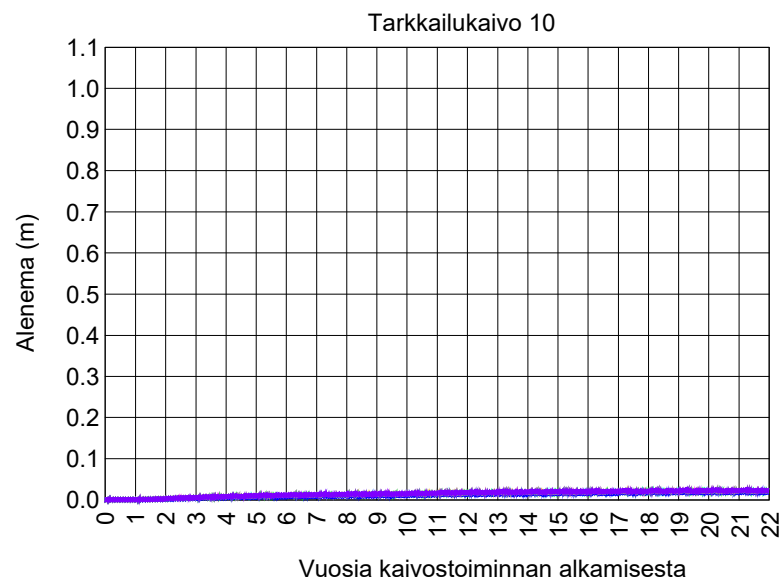
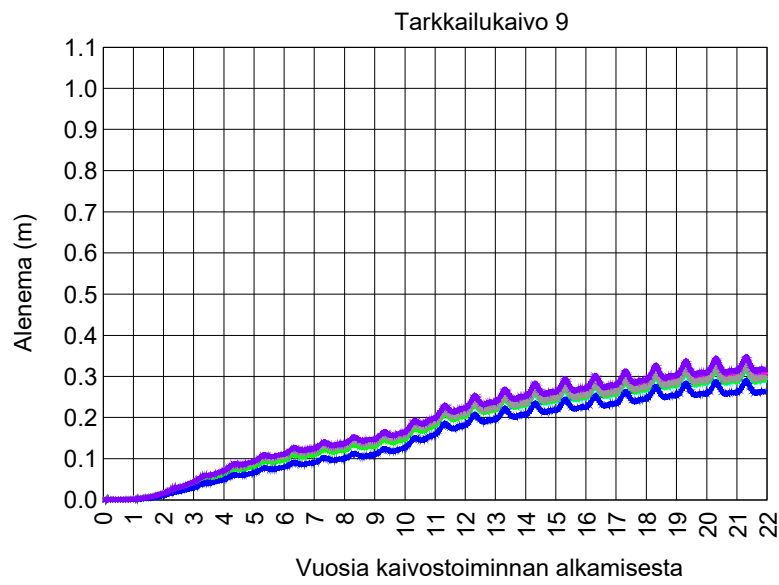
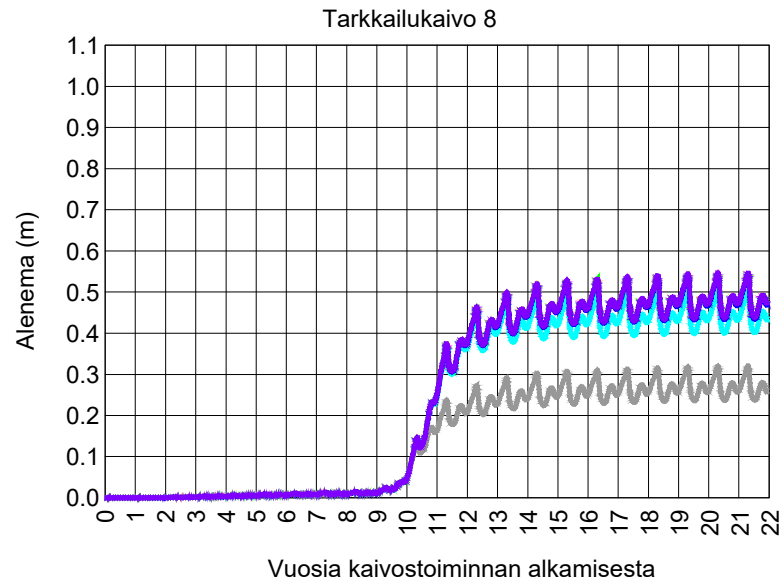
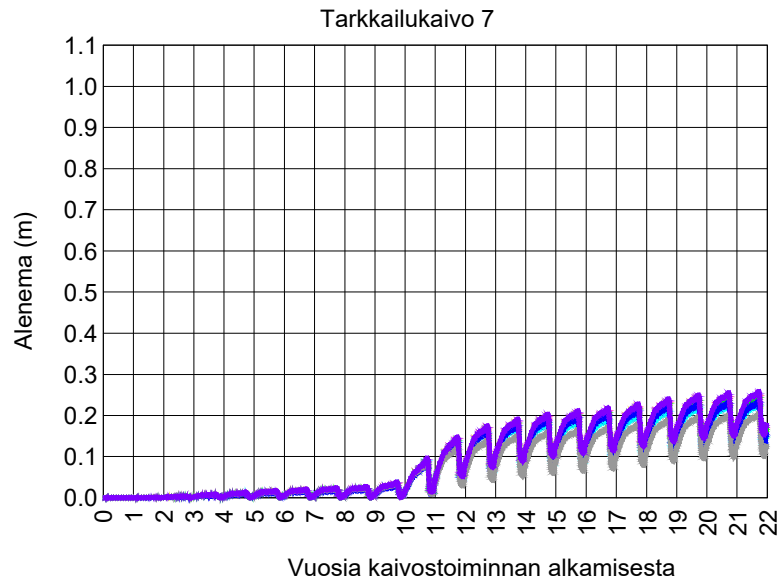
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	



Ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa herkkyystarkastelujen vaihtoehtojen mukaan

CLIENT: Sakatti Mine

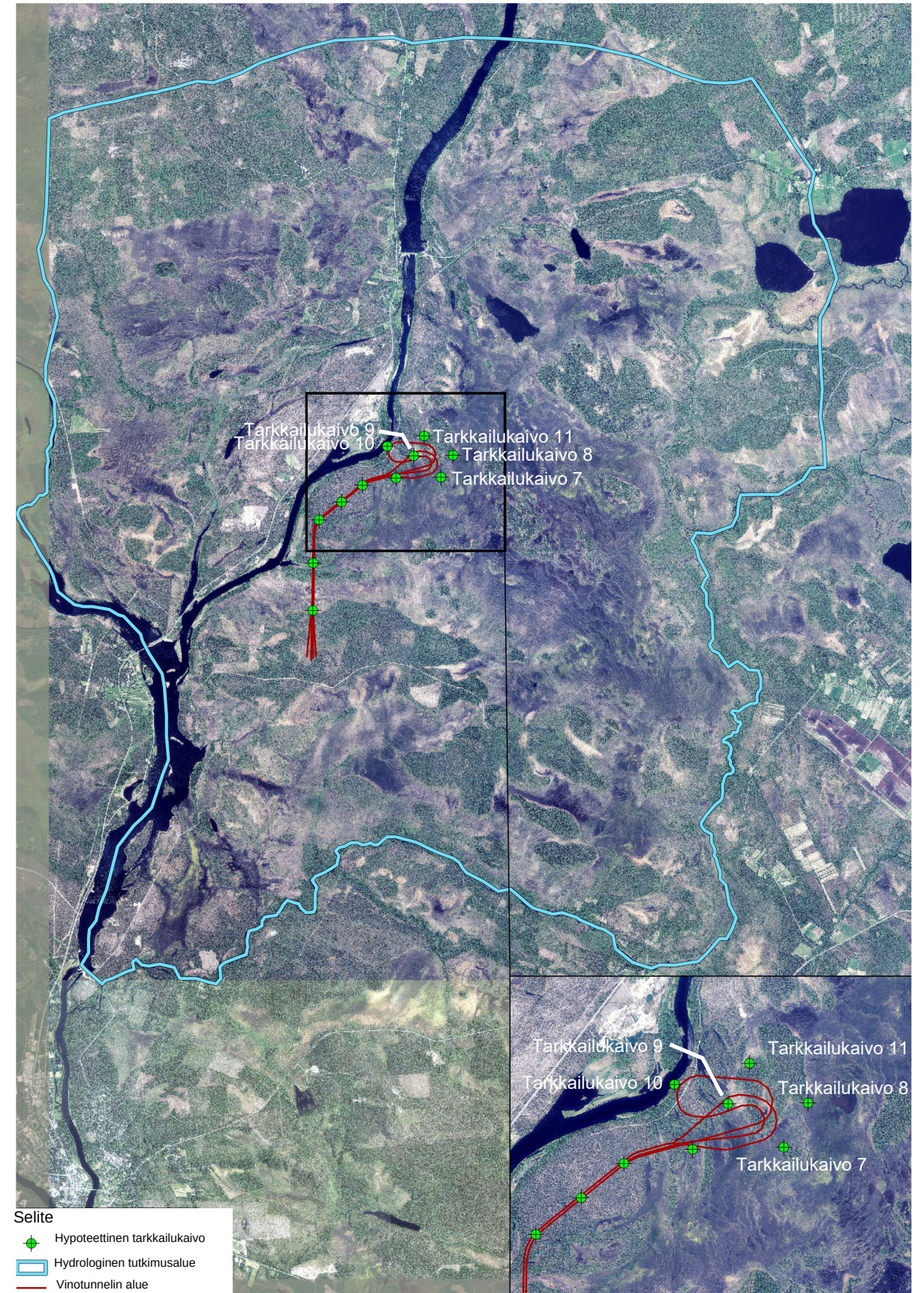
FIGURE NO. B-2a



Herkkyystarkastelun vaihtoehdot

- 65% tiivistysskenaario
- 80% tiivistysskenaario
- Vaihtoeht. kaivostäyttö: korkea K
- Vaihtoeht. kaivostäyttö: matala K
- Suljetut louhokset
- Vaihtoehtoinen kaivossuunnitelma
- 90% tiivistysskenaario
- 100% tiivistysskenaario

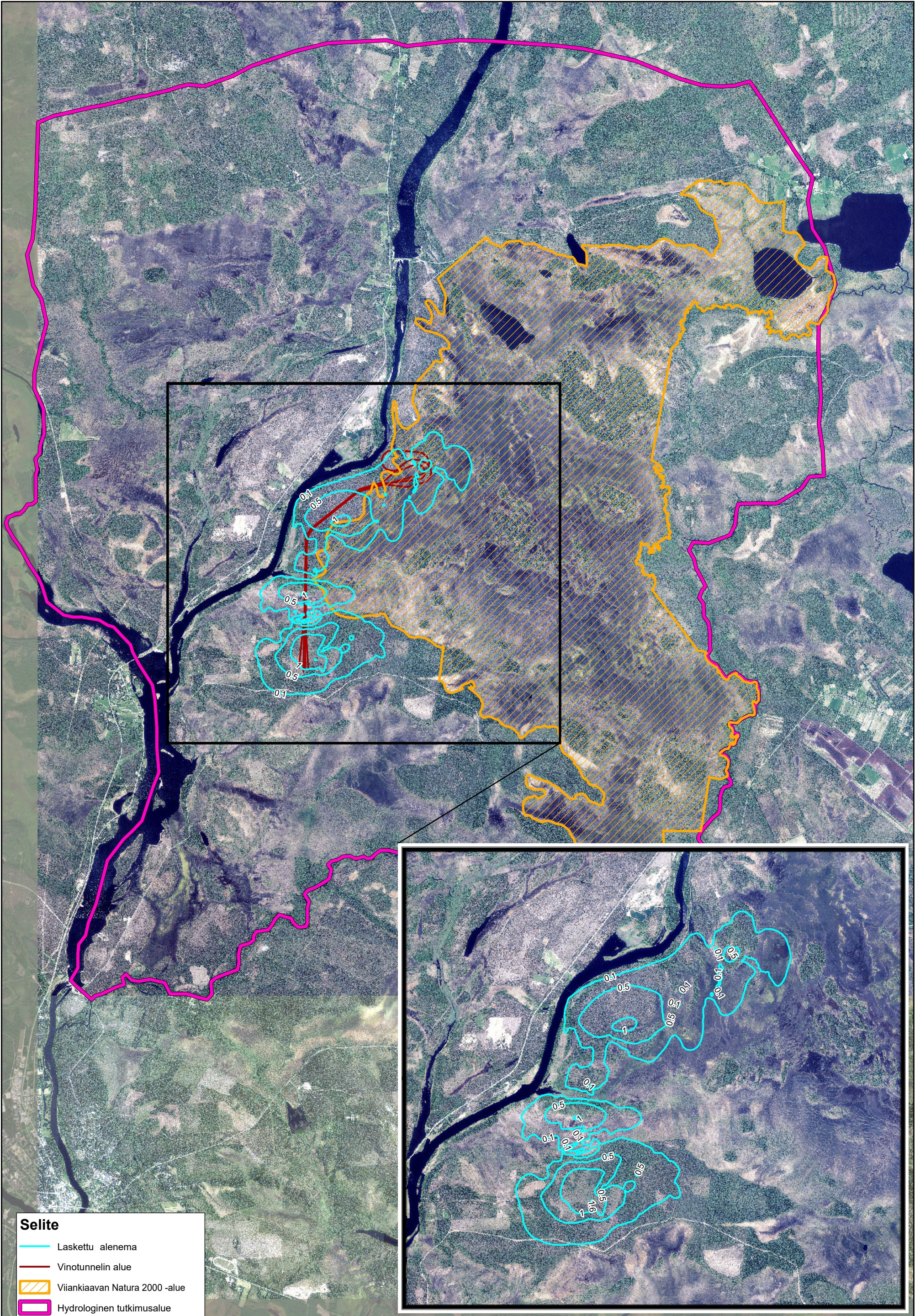
Huom: Herkkyystarkasteluissa, joissa louhokset on suljettu, tai on käytetty vaihtoehtoisia täyttömenetelmiä, ero 80% tiivistyksen tehokkuuden vaihtoehtoon on merkityksetön.



PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	



Ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa herkkyystarkastelujen vaihtoehtojen mukaan	
CLIENT: Sakatti Mine	FIGURE NO. B-2b



Selite

Laskettu alenema

Vinotunnelin alue

Viiankiaavan Natura 2000 -alue

Hydrologinen tutkimusalue

N

0

1,250

2,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_SSS_Base
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jan. 12, 2023



ITASCA™

Denver, Inc.

Ennustettu alenema

kaivostoiminnan lopussa 90%

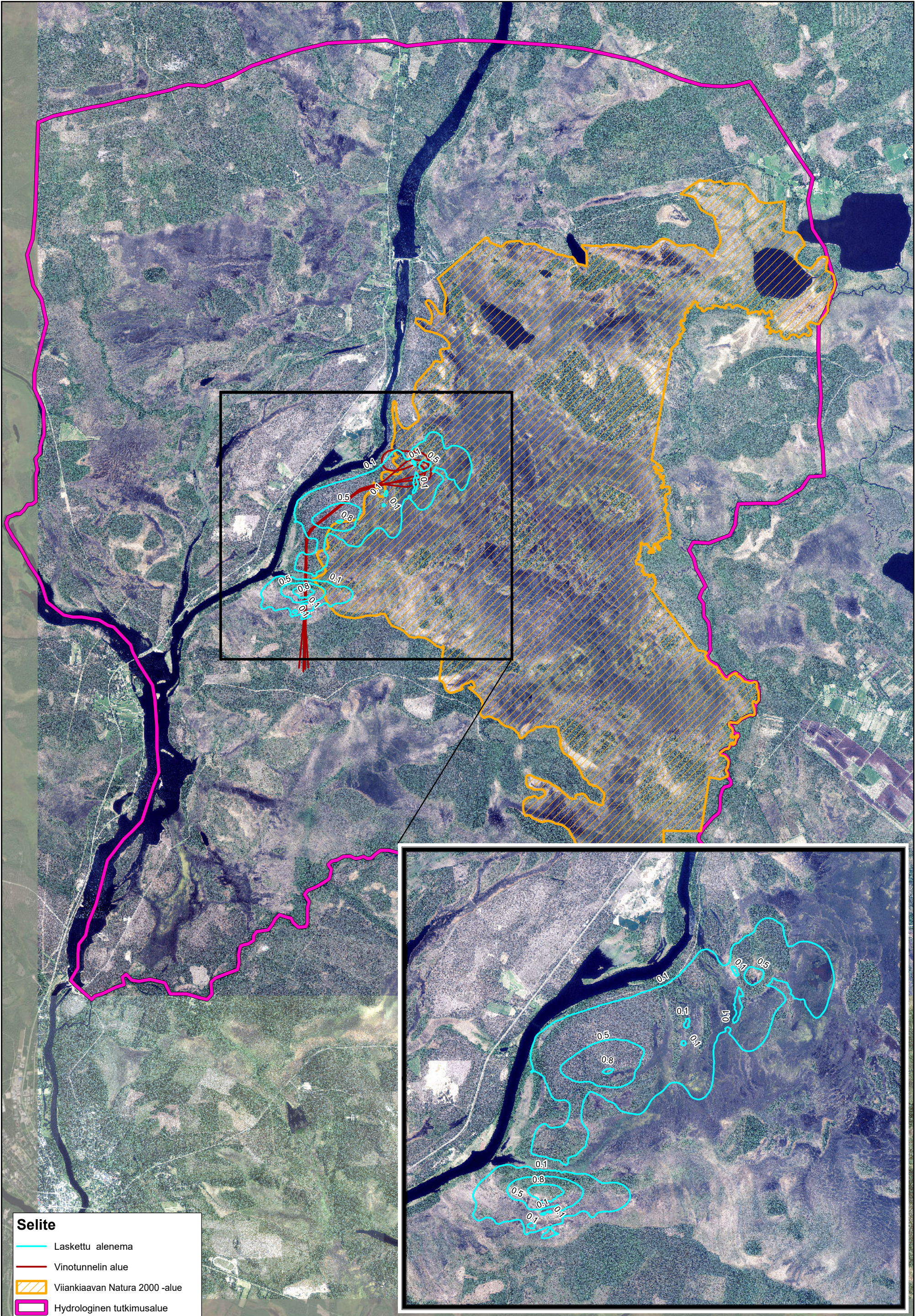
tiivistyskenaariossa

CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

B-3a



Selite

Laskettu alenema

Vinotunnelin alue

Viiankiaavan Natura 2000 -alue

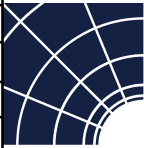
Hydrologinen tutkimusalue

N

01,2502,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_SSS_100b
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jan. 12, 2023



ITASCA
Denver, Inc.

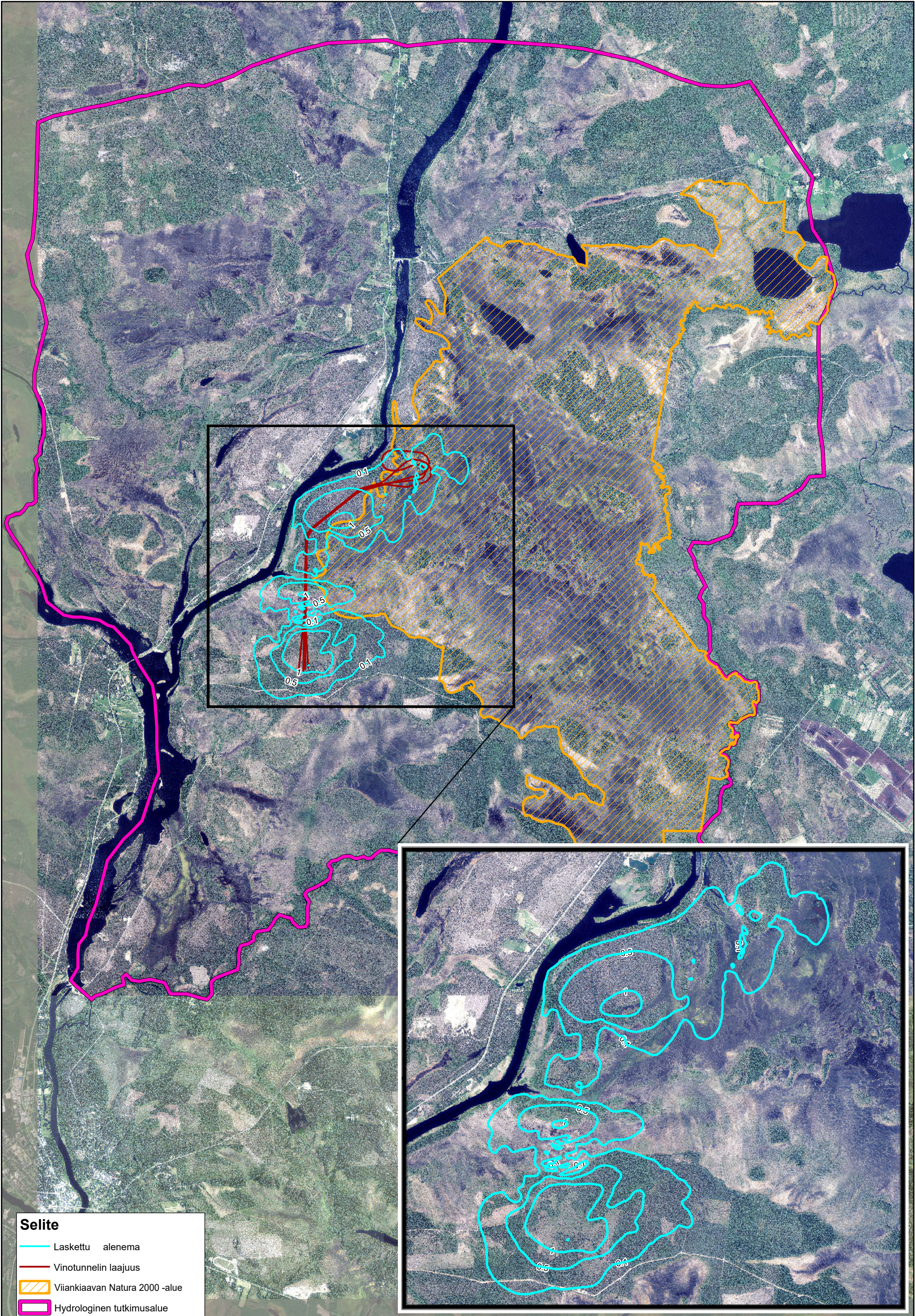
Ennustettu alenema
kaivostoiminnan lopussa 100%
tiivistysskenaariossa

CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

B-3b



Selite

Laskettu alenema

Vinotunnelin laajuus

Viiankiaavan Natura 2000 -alue

Hydrologinen tutkimusalue

N

0

1,250

2,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_SSSc_Alt
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jan. 12, 2023



ITASCA™

Denver, Inc.

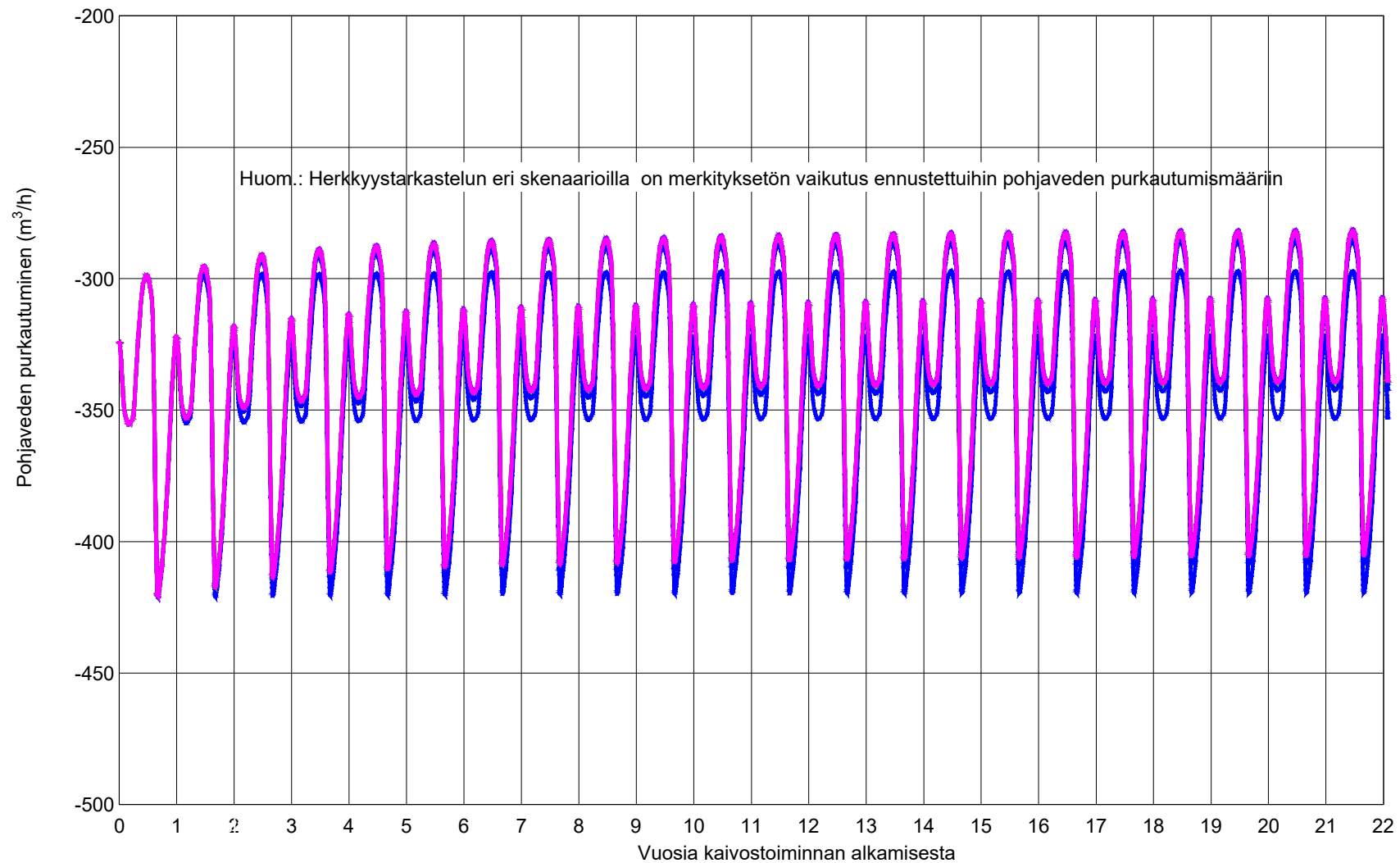
Ennustettu alenema kaivostoiminnan
lopussa vaihtoehtoisessa
kaivossuunnitelmassa

CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

B-3c



- 65% tiivistysskenaario
- 80% tiivistysskenaario
- Vaihtoeht. kaivostäyttö: korkea K
- Vaihtoeht. kaivostäyttö: matala K
- Louhokset suljetaan
- Vaihtoehtoinen kaivossuunnitelma
- Kaivosta ei toteuteta skenaario
- 90% tiivistysskenaario
- 100% tiivistysskenaario

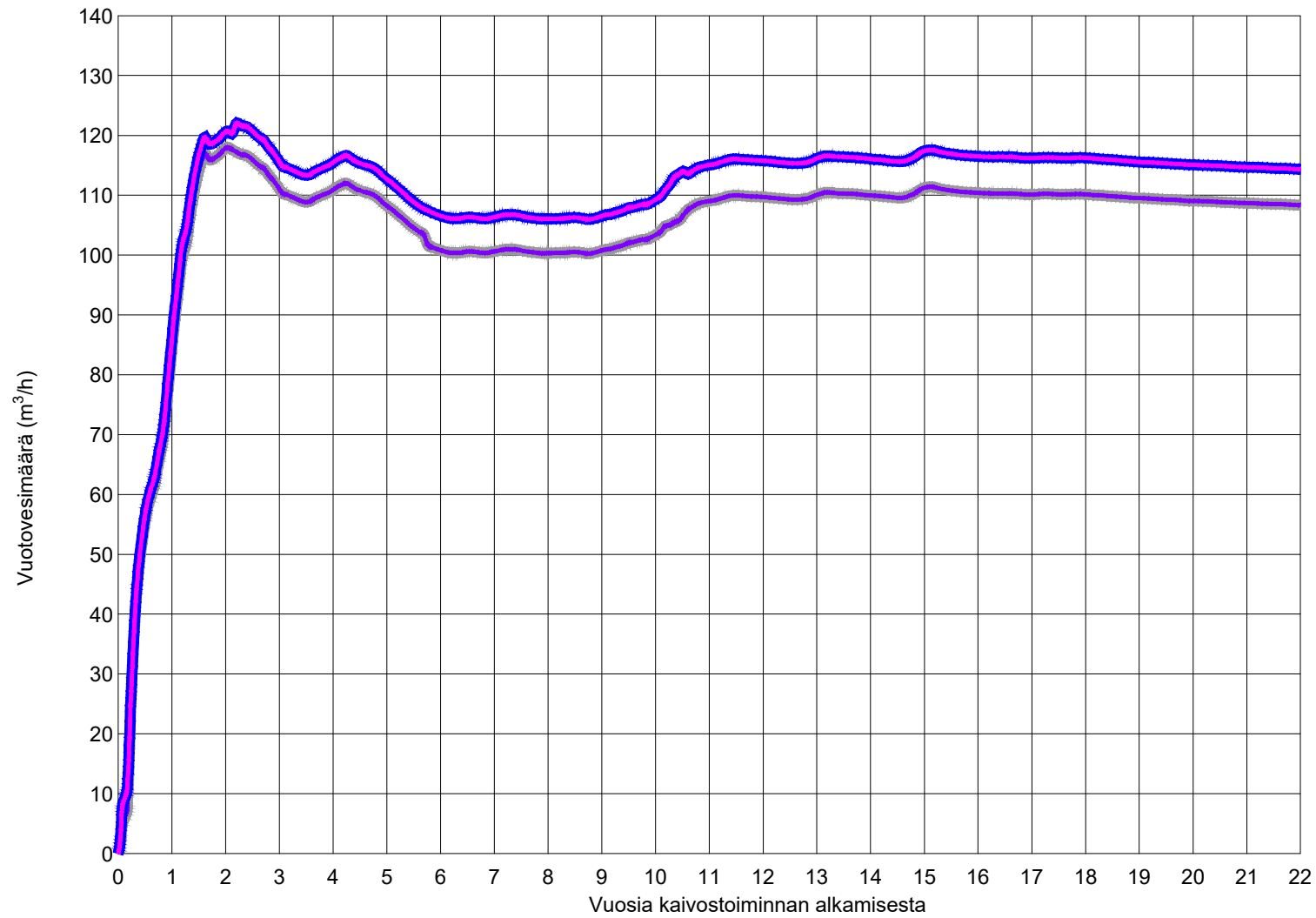
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SENS
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	



Ennustettu pohjaveden purkautuminen
Kitiseen herkkyystarkastelujen
vaihtoehtojen mukaan

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
B-4



Huom: Ilmastomuutos- ja perusskenaariot kuvautuvat päällekkäin, ja niiden väliset erot ovat merkityksettömiä

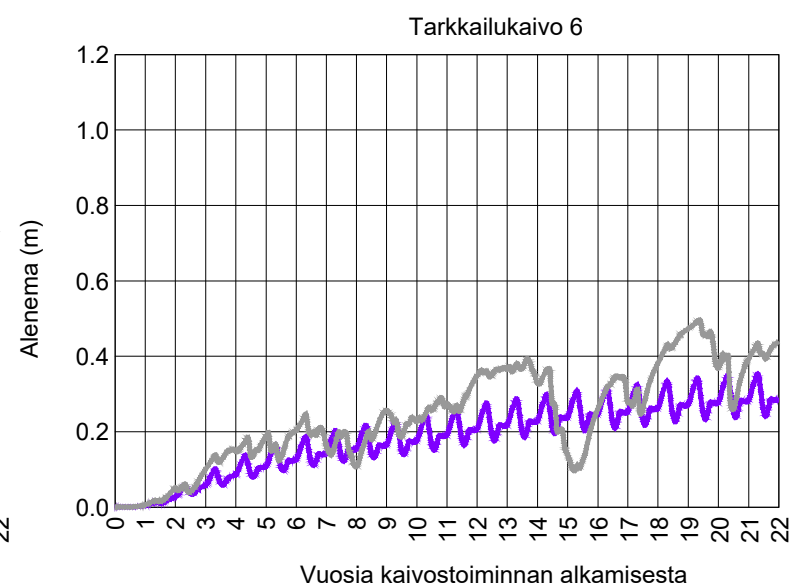
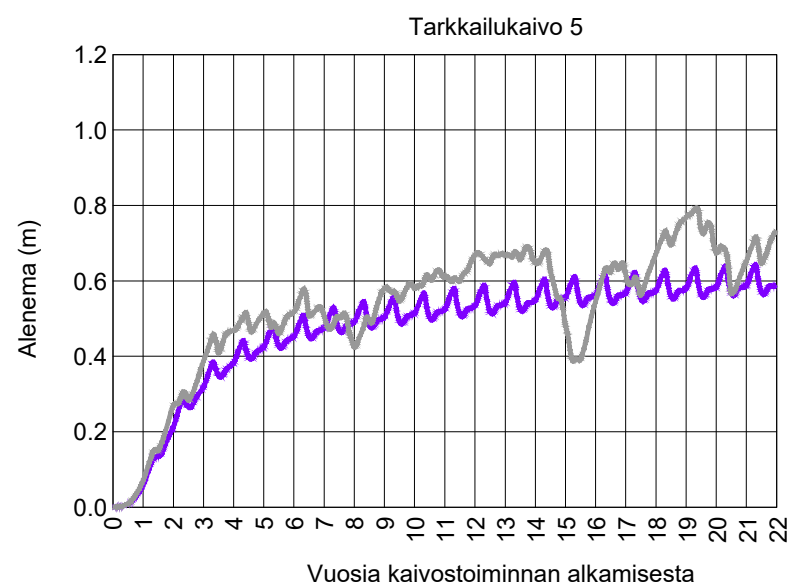
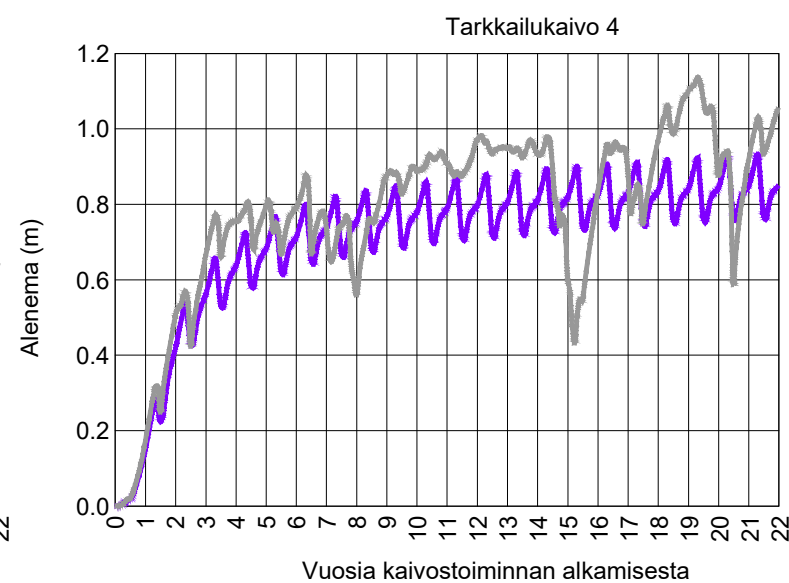
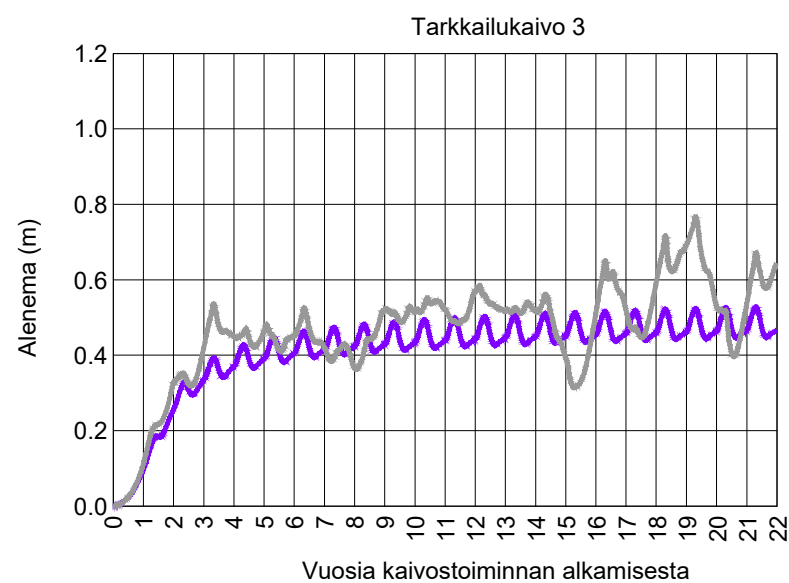
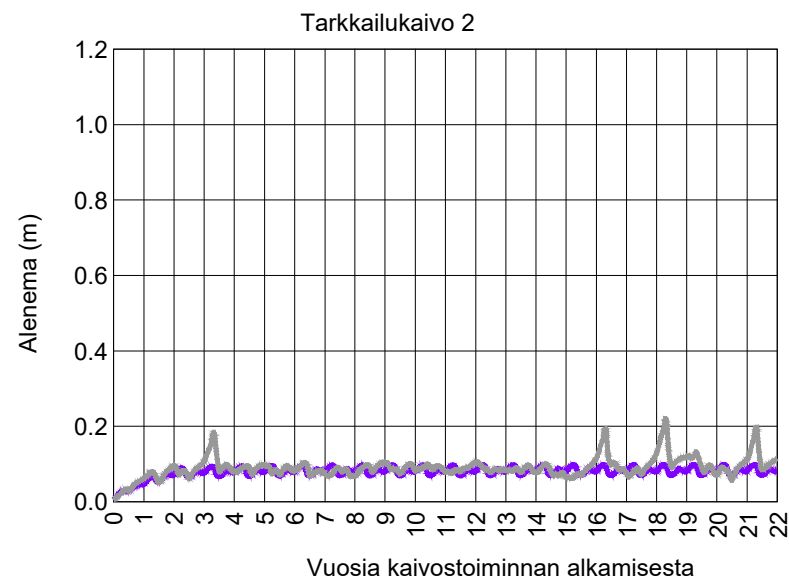
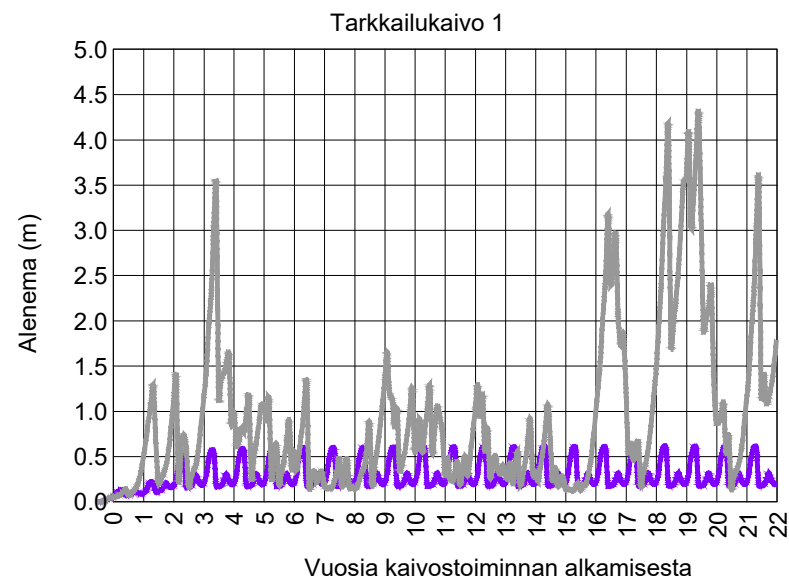
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CLIMATE
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	



Ennustetut pohjaveden
vuotovesimäärät
ilmastomuutosskenaarioissa

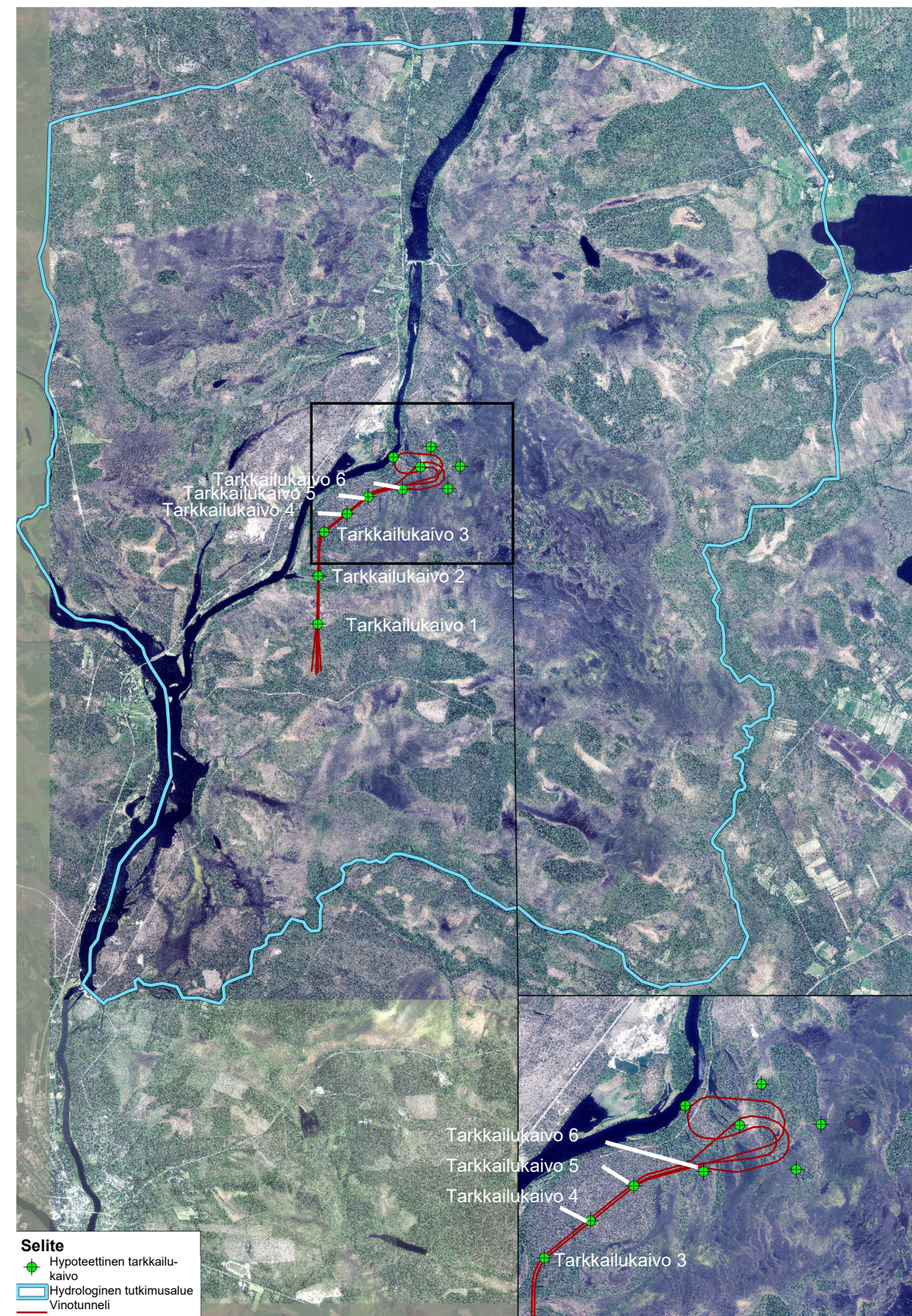
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
B-5



— 80% tiivistysskenaario

— 80% tiivistys- ilmastomuutoskenaario



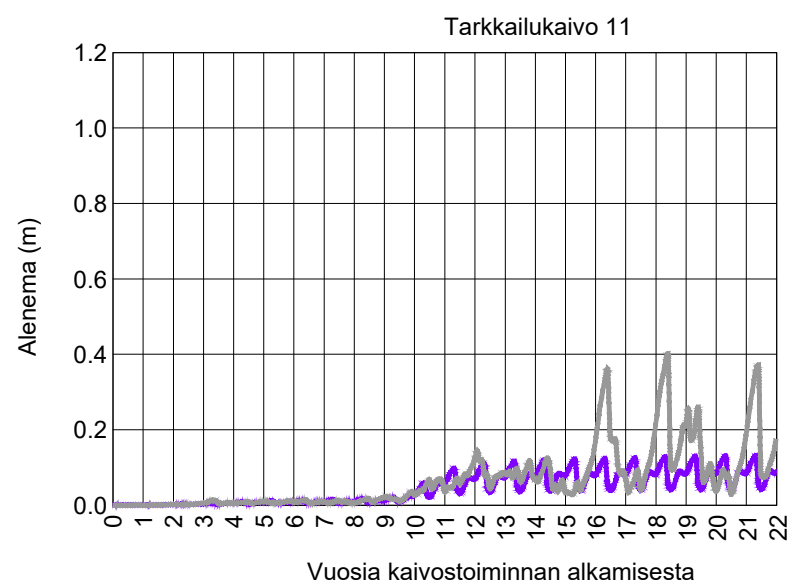
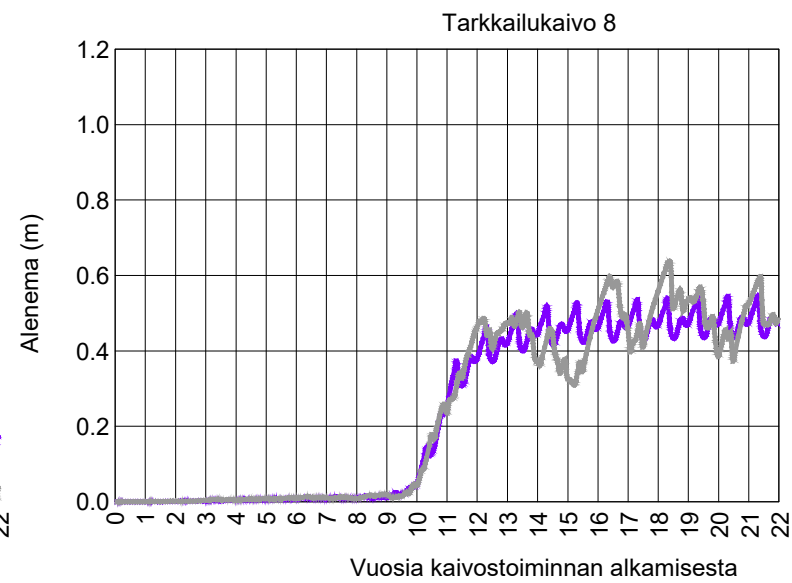
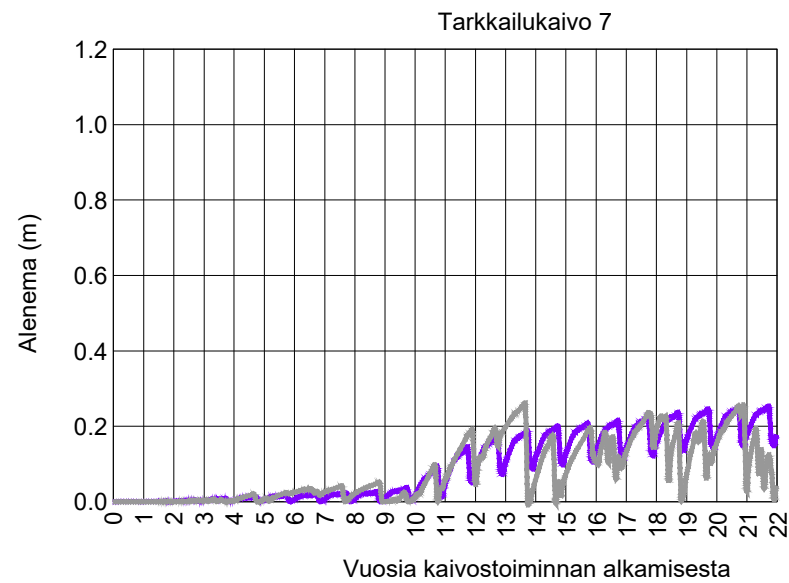
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	



Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa

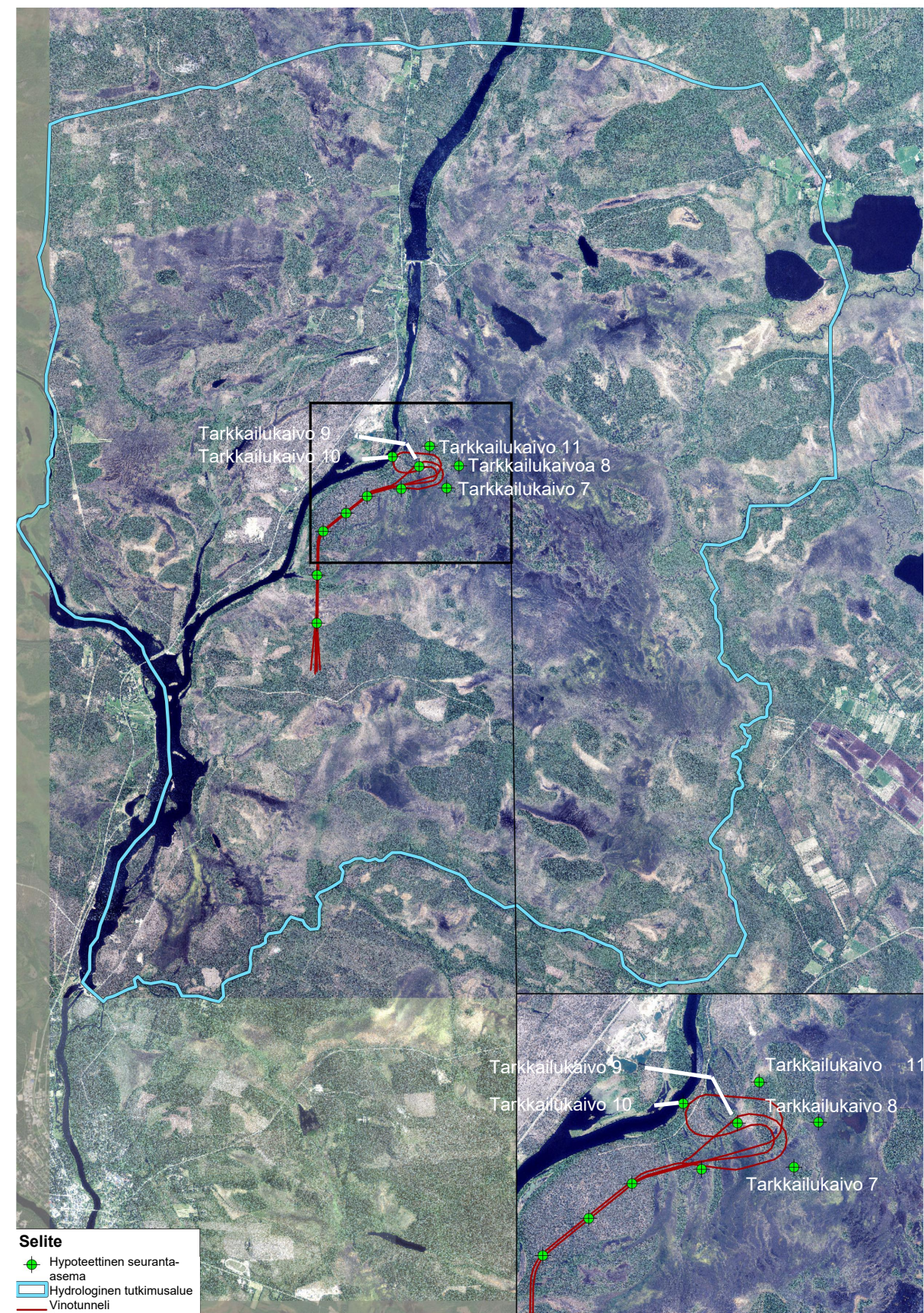
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
B-6a



— 80% tiivistysskenaario

— 80%tiivistys- ilmastomuutoskenaario



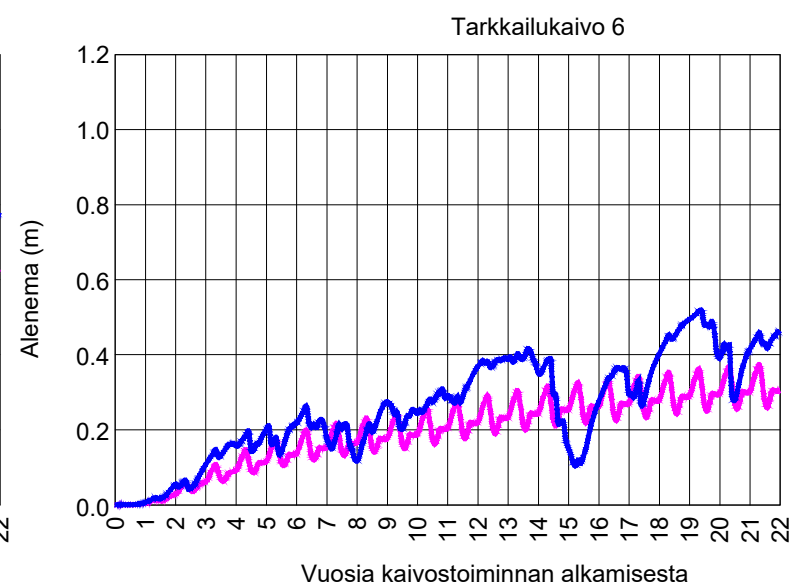
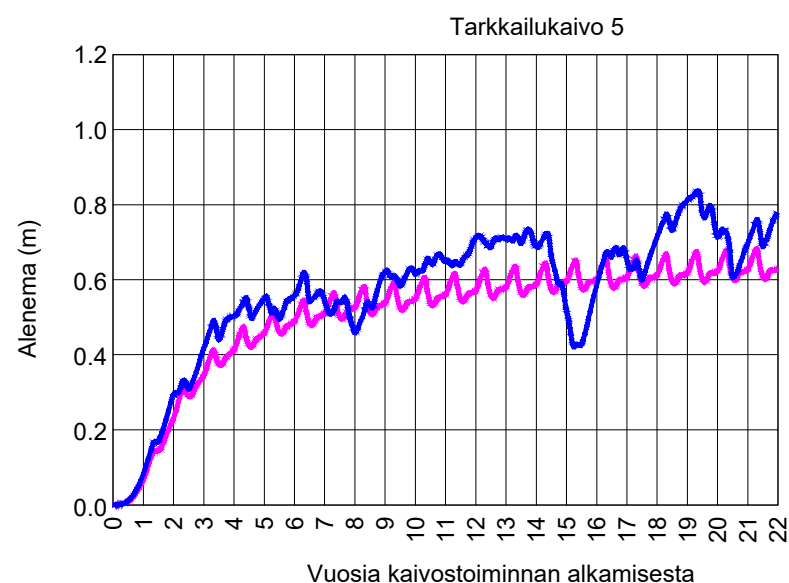
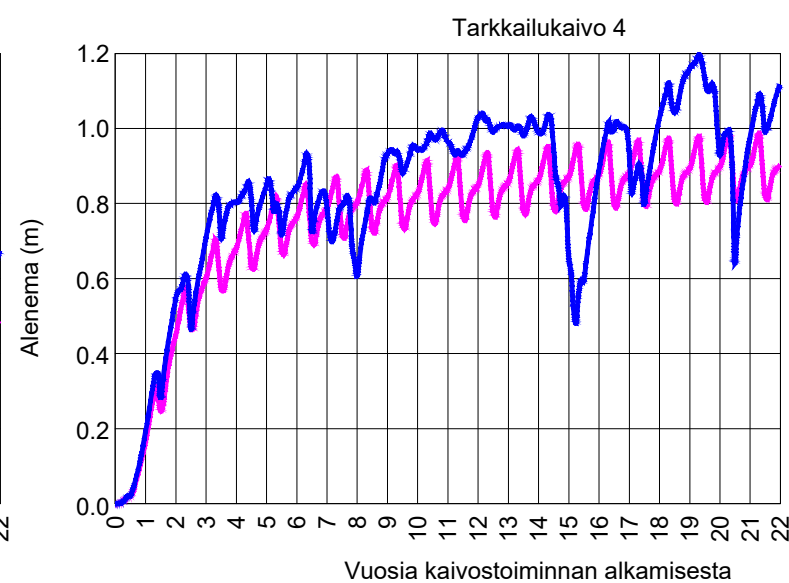
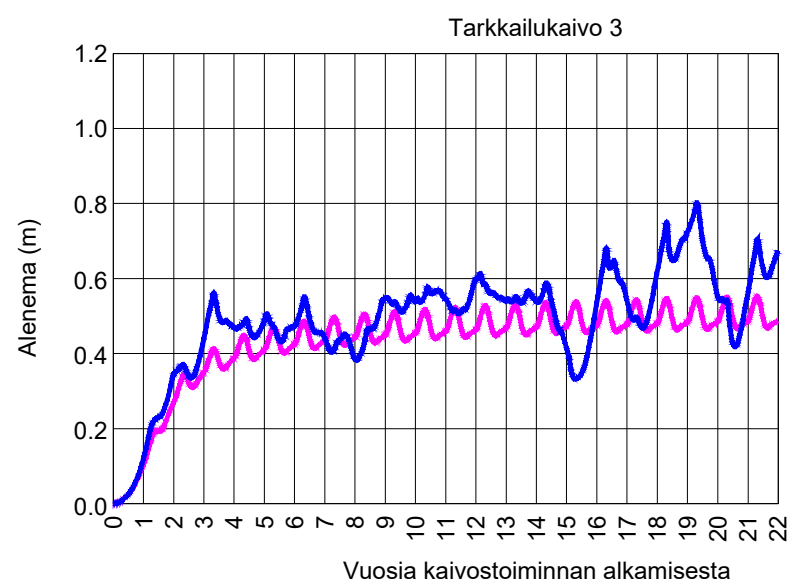
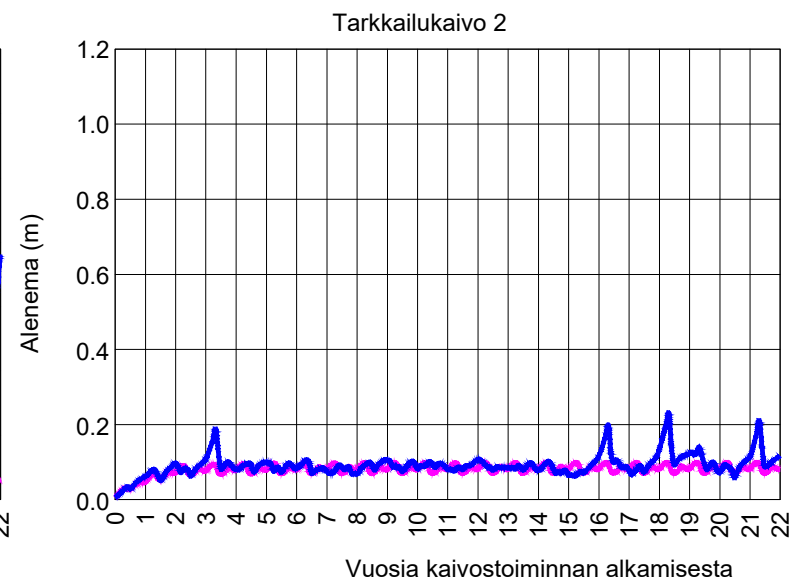
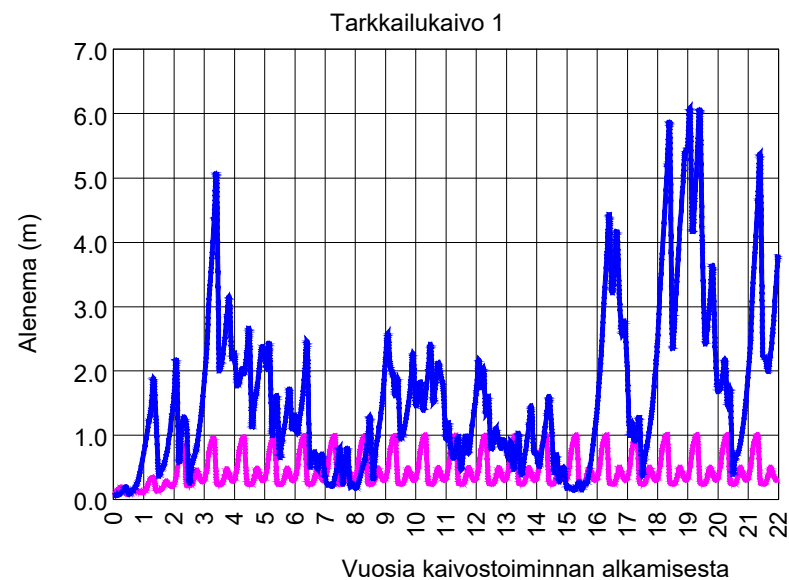
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	



Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa

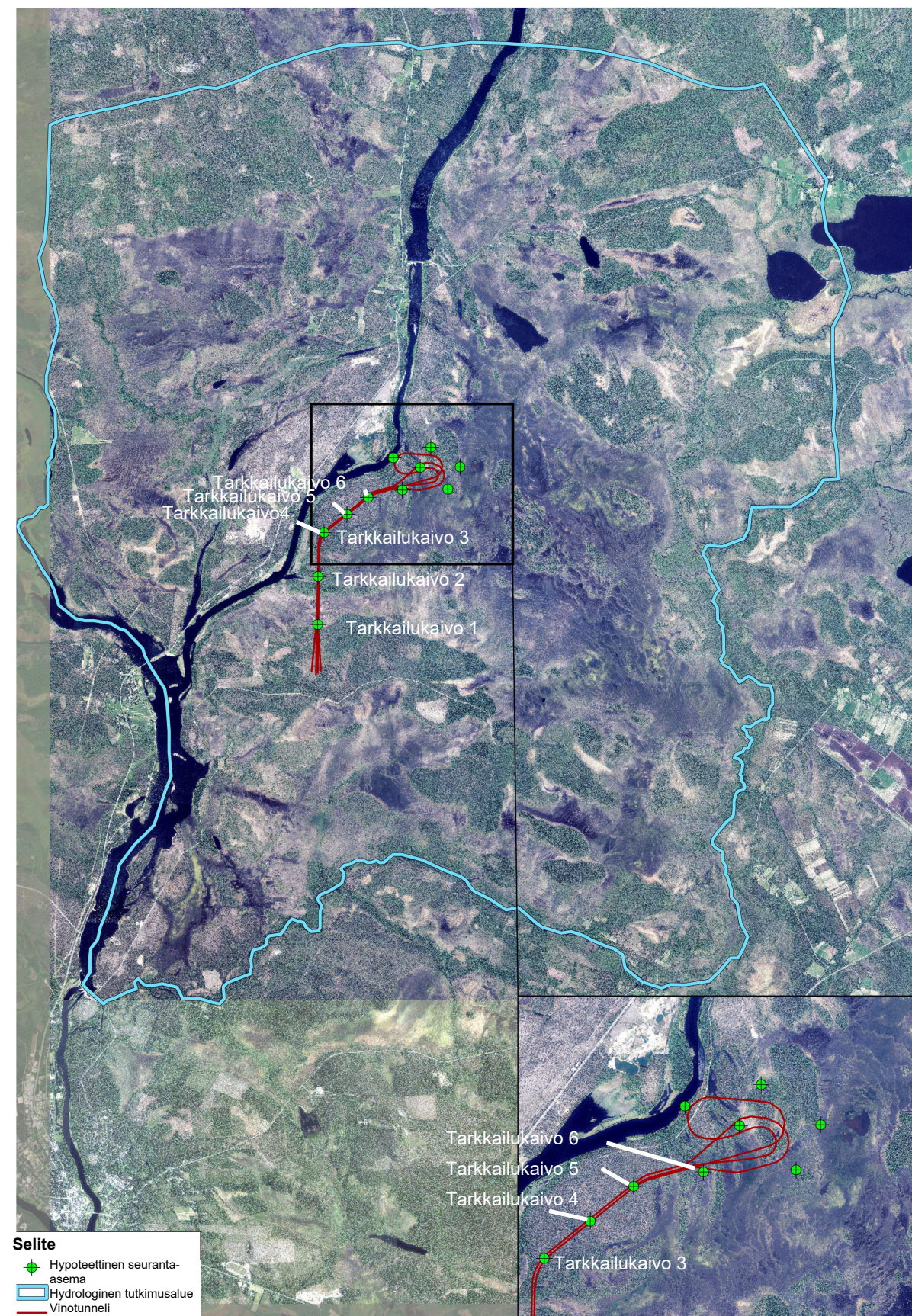
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
B-6b



— 65% tiivistysskenaario

— 65% tiivistys- ilmastonmuutoskenaario



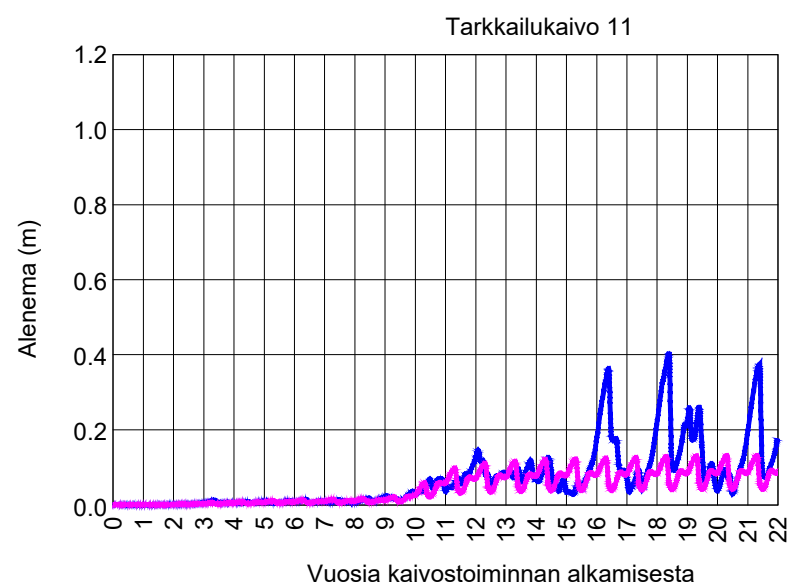
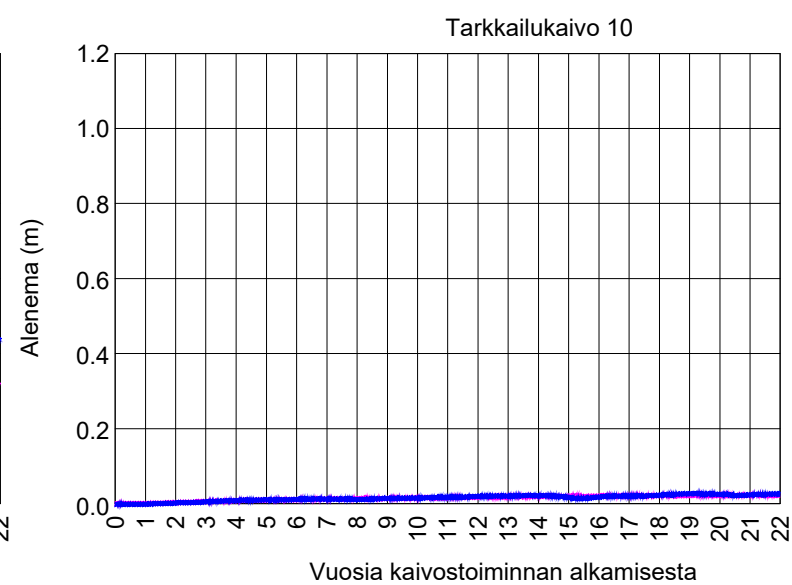
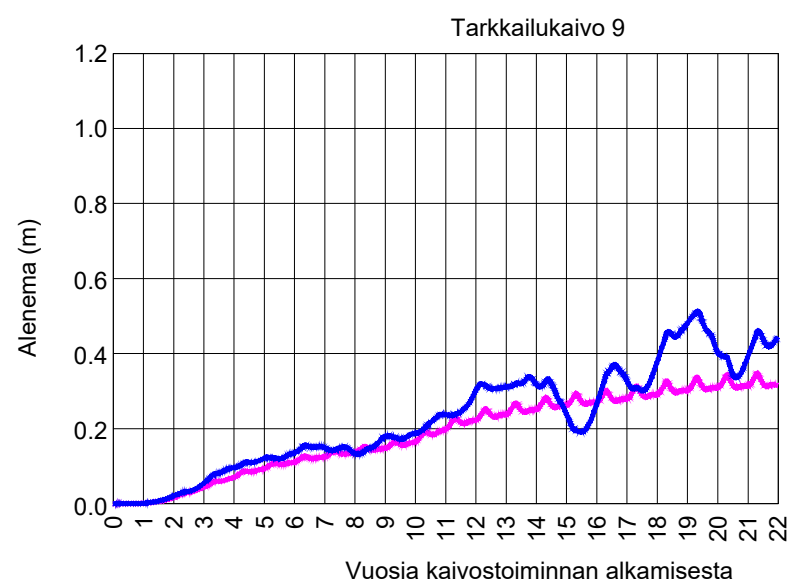
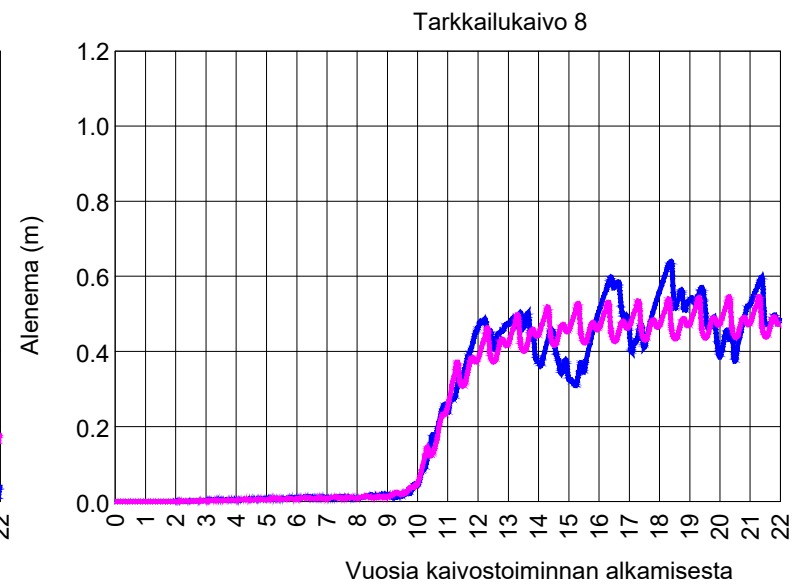
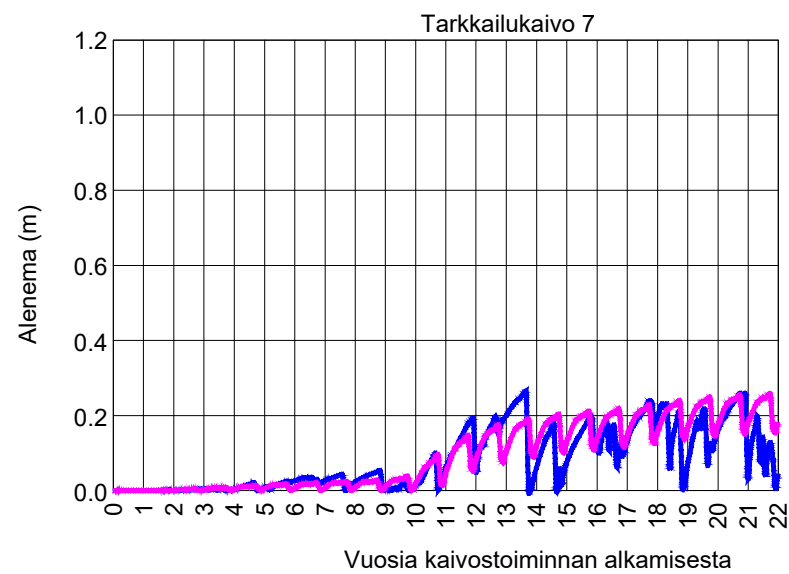
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	



Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65% tiivistystehokkuudella ilmastonmuutoskenaariossa

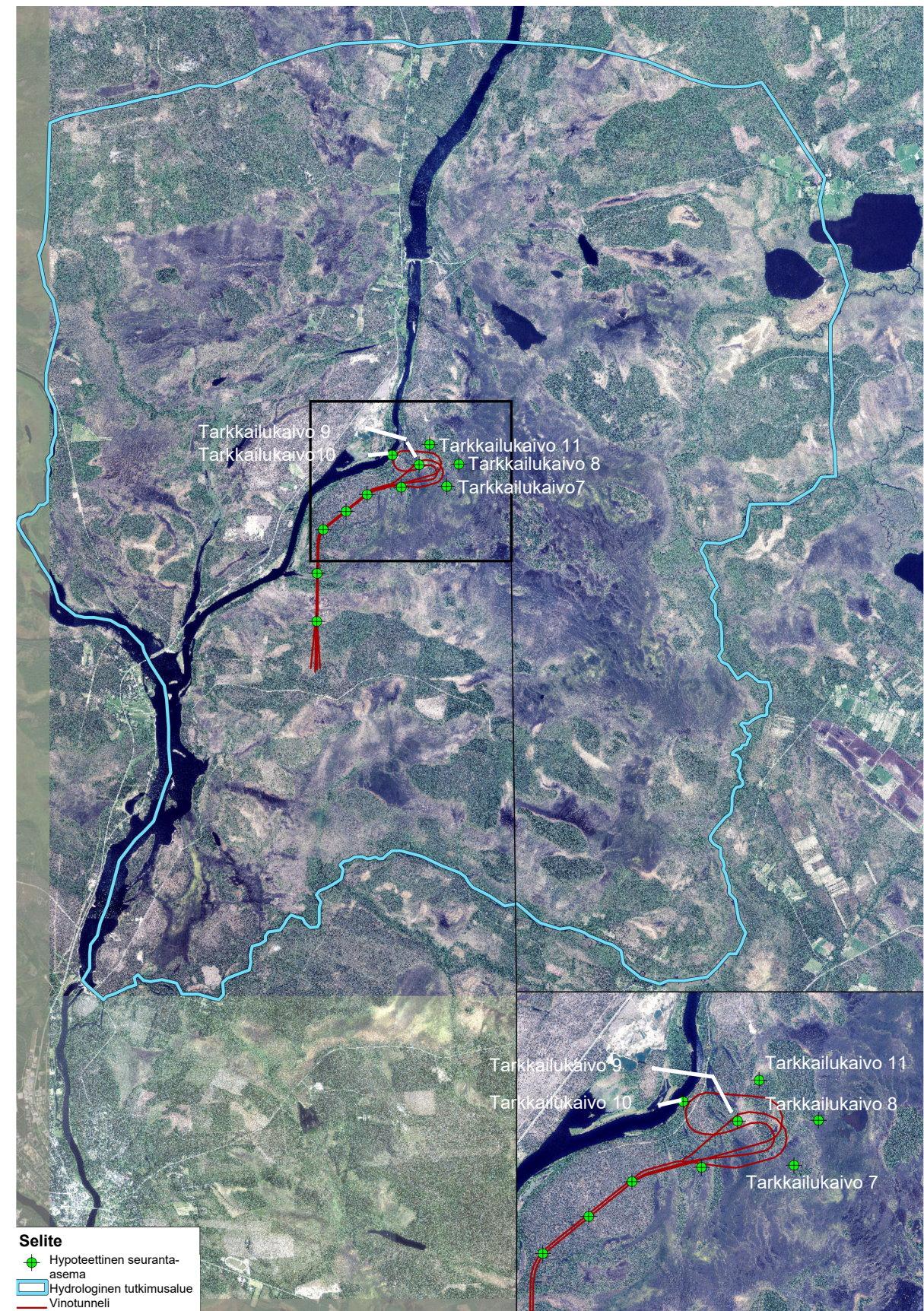
CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
B-6c



— 65% tiivistysskenaario

— 65% tiivistys- ilmastonmuutoskenaario



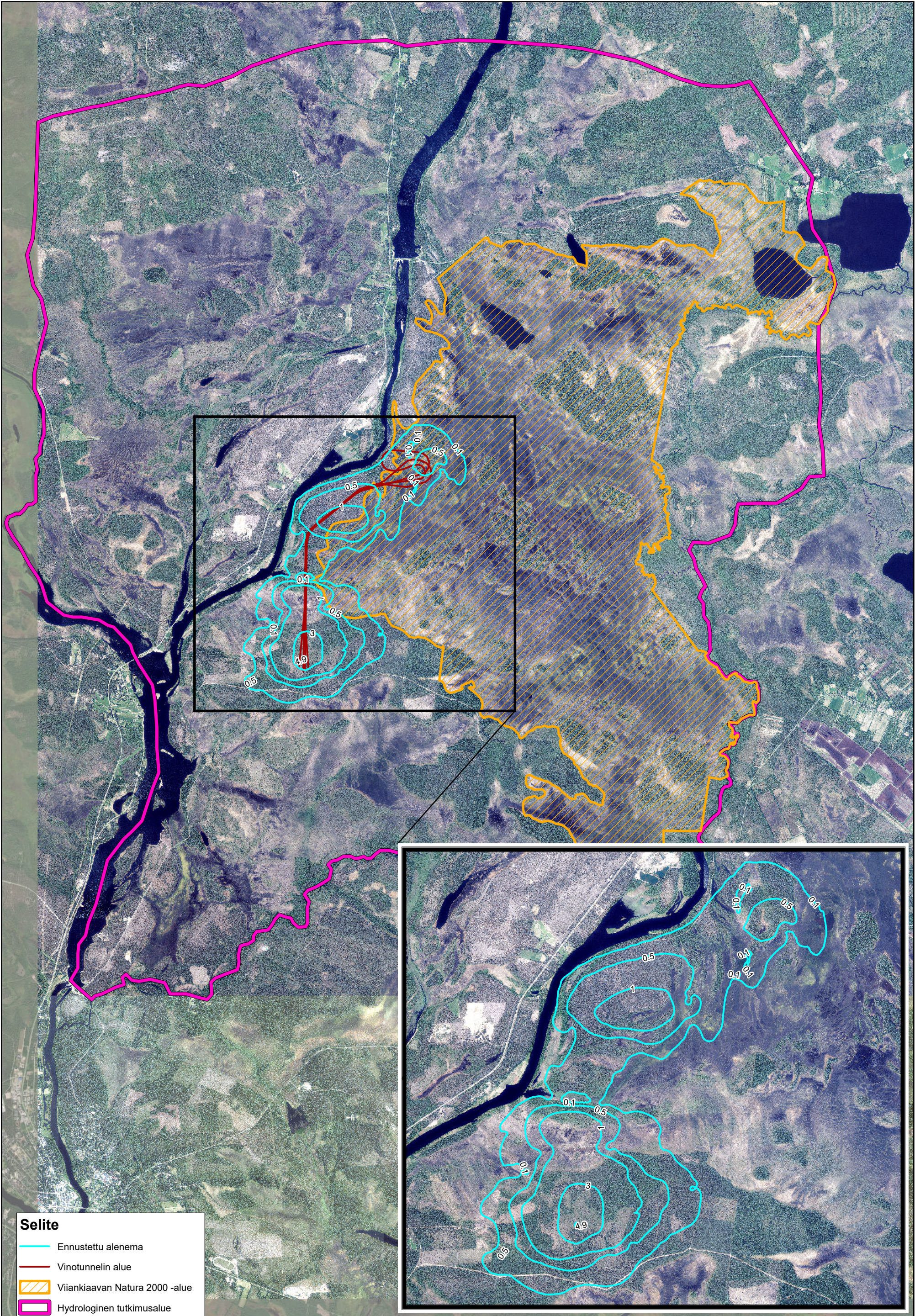
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	



Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65% tiivistystehokkuudella ilmastonmuutoskenaariossa

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
B-6d



Selite

Ennustettu alenema

Vinotunnelin alue

Viiankiaavan Natura 2000 -alue

Hydrologinen tutkimusalue

N

0

1,250

2,500

Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_Climate80
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jan. 12, 2023



ITASCA™

Denver, Inc.

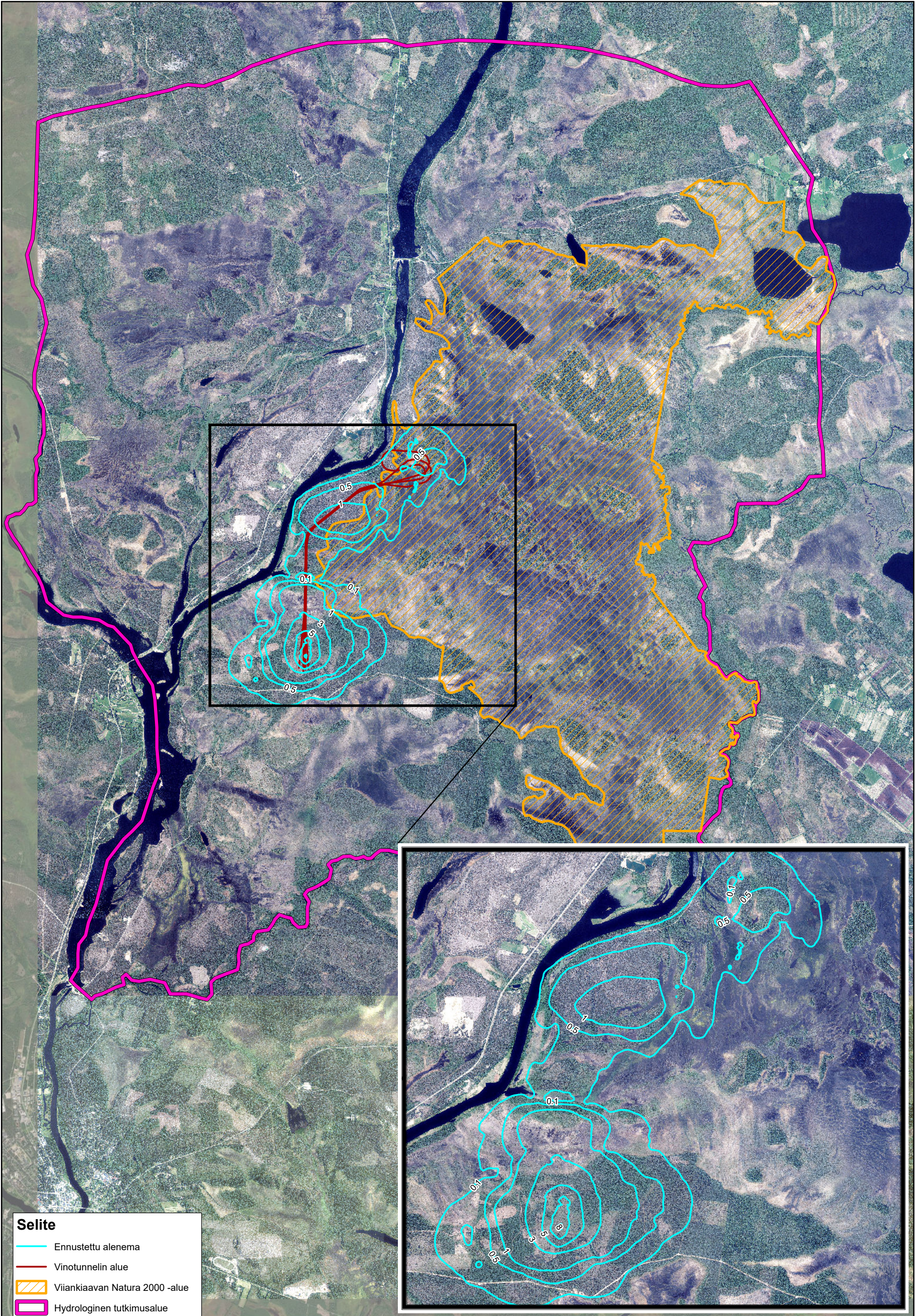
Ennustettu alenema kaivostoiminnan
lopussa 80% tiivistystehokkuudella
ilmastomuutoskenaariossa

CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

B-7a



Selite

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



0 1,250 2,500 Meters

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	Draw_Climate65
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jan. 12, 2023



ITASCA
Denver, Inc.

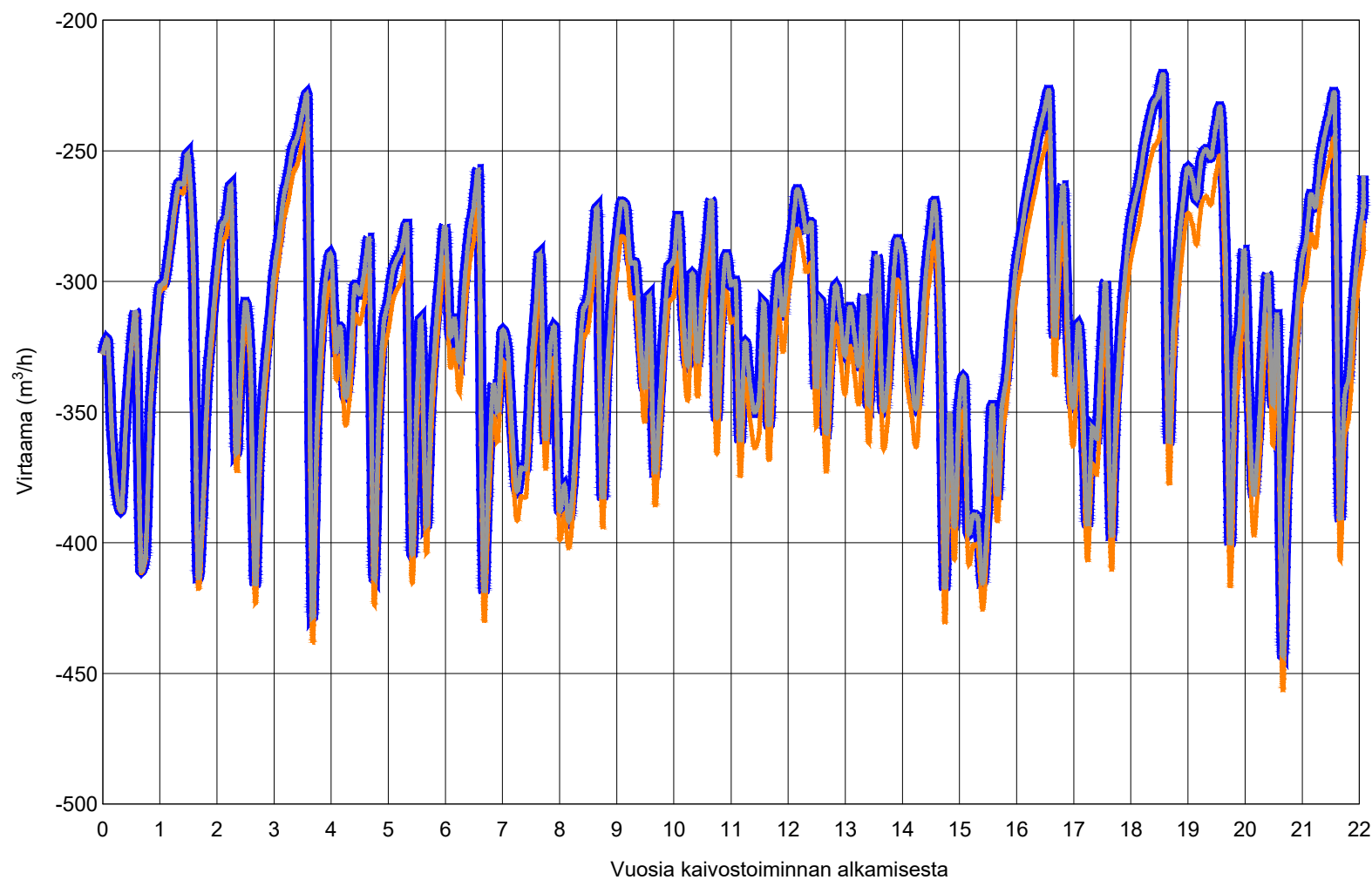
Ennustettu alenema kaivostoiminnan
lopussa 65% tiivistystehokkuudella
ilmastomuutoskenaariossa

CLIENT:

Sakatti Mine

FIGURE NO.

B-7b



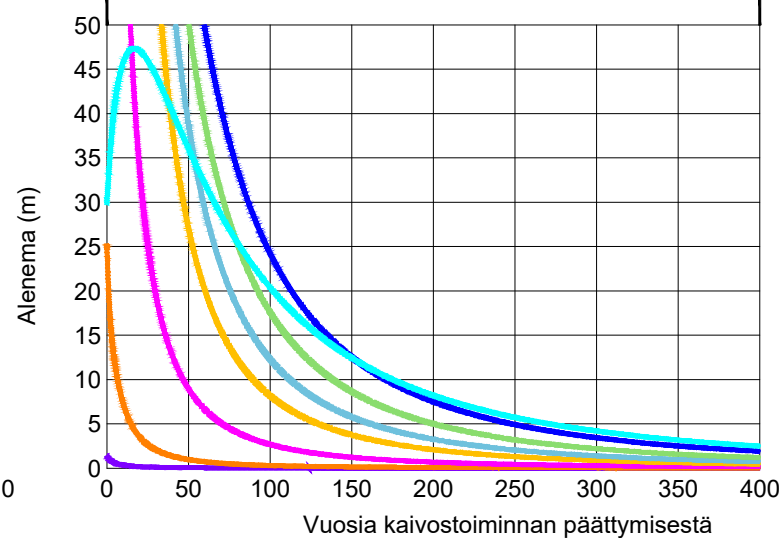
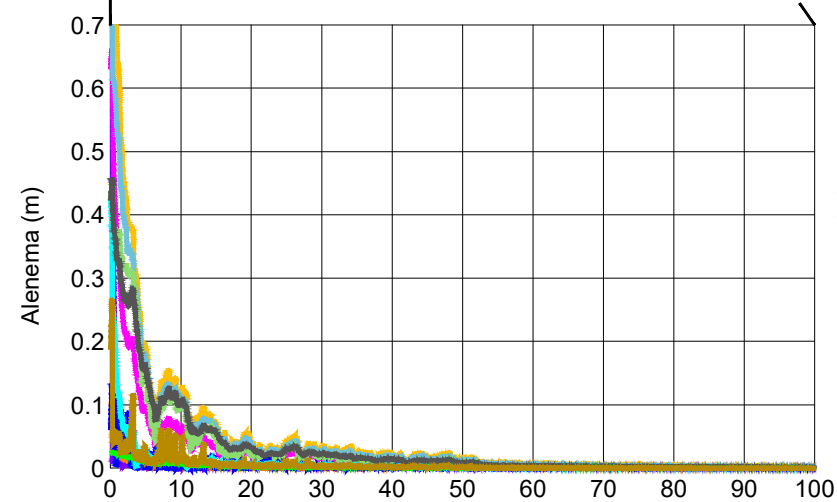
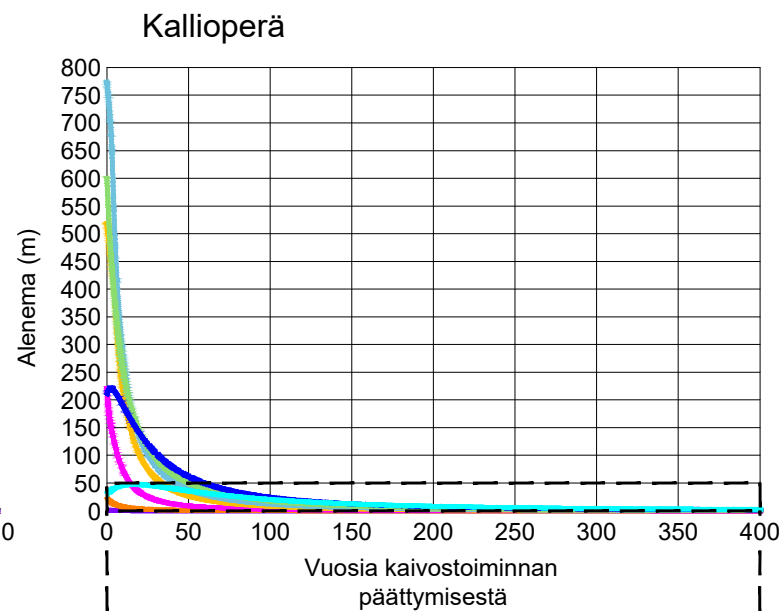
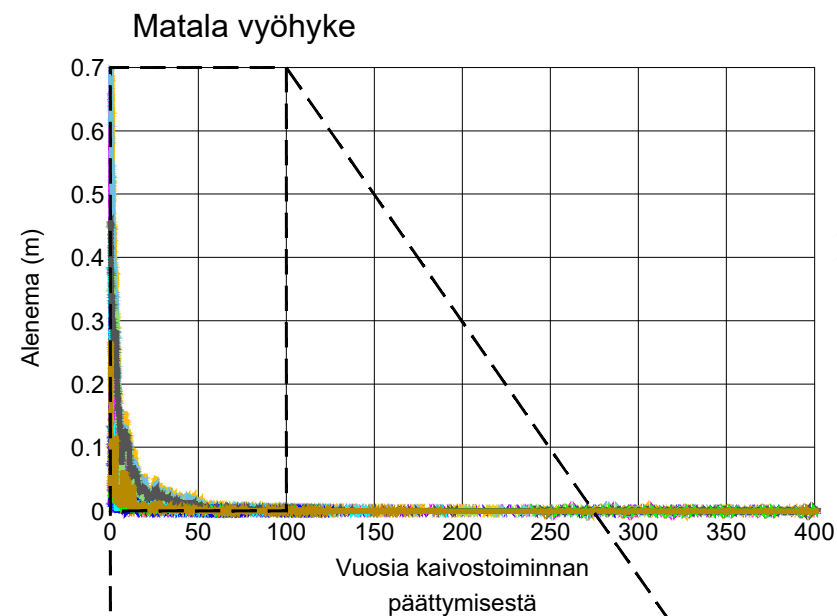
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CLIMATE
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	



Ennustettu pohjaveden
purkautuminen Kitiseen
ilmastomuutoskenaariossa

CLIENT:
Sakatti Mine

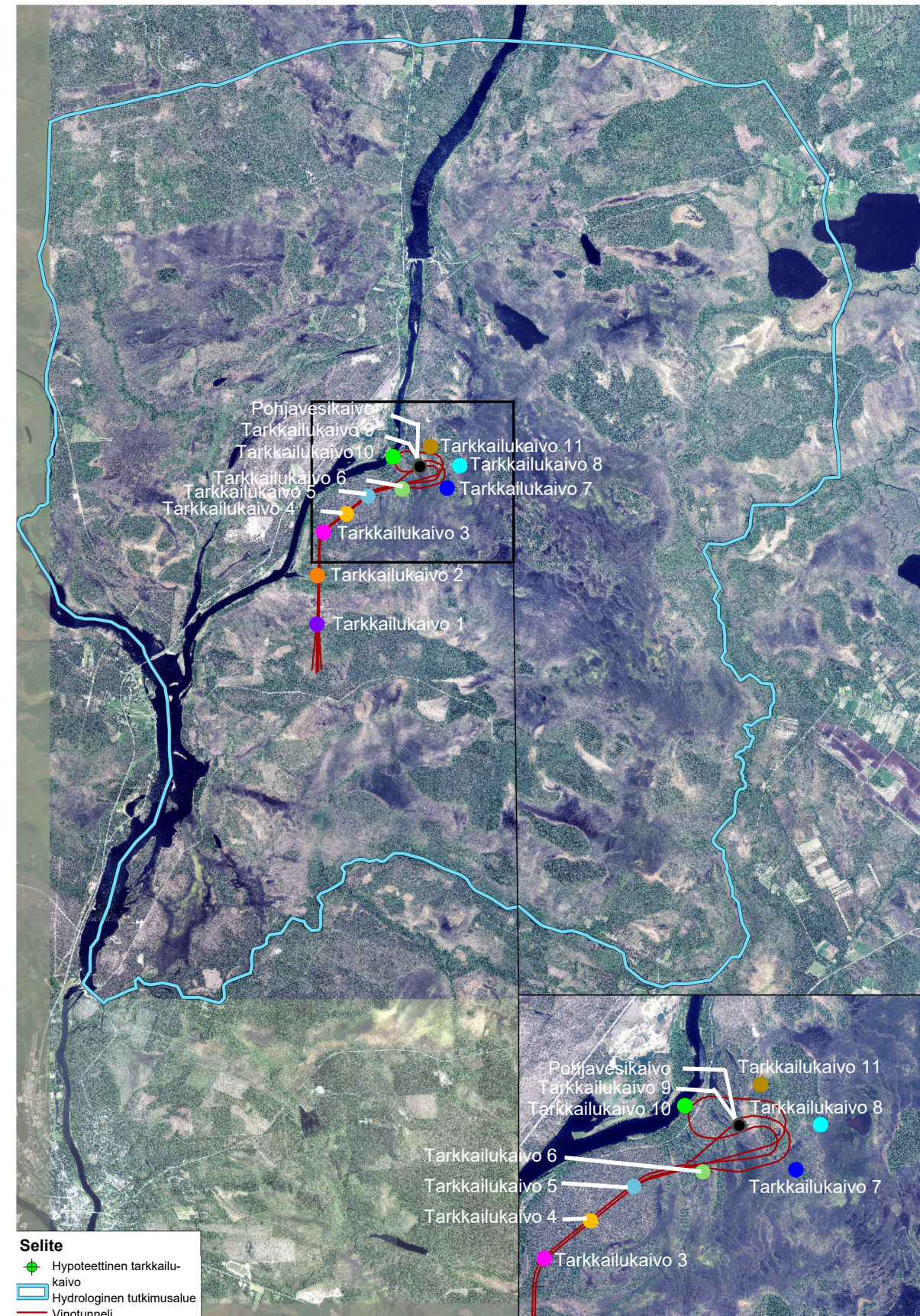
FIGURE NO.
B-8



Vuosia kaivostoiminnan päättymisestä

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



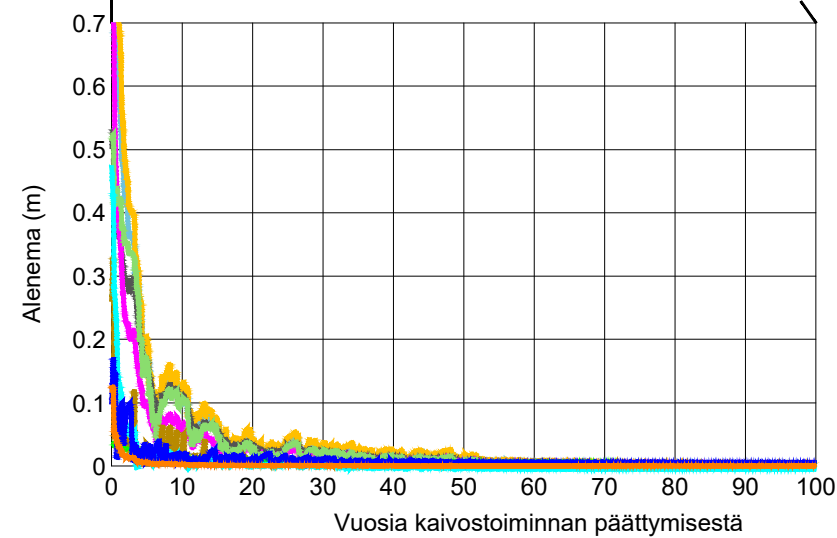
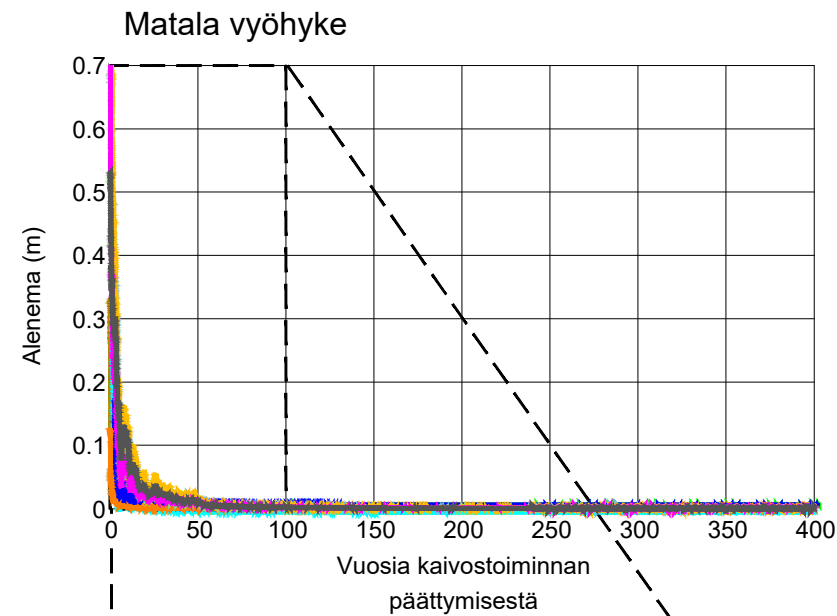
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	



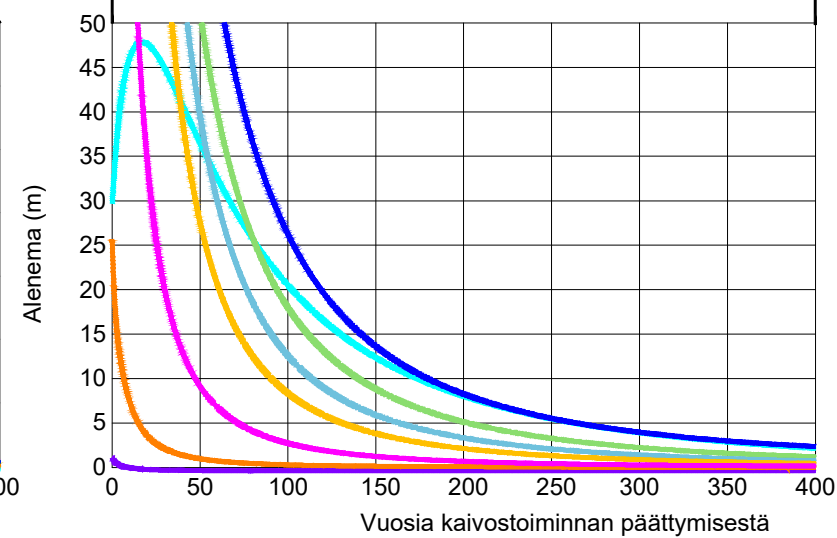
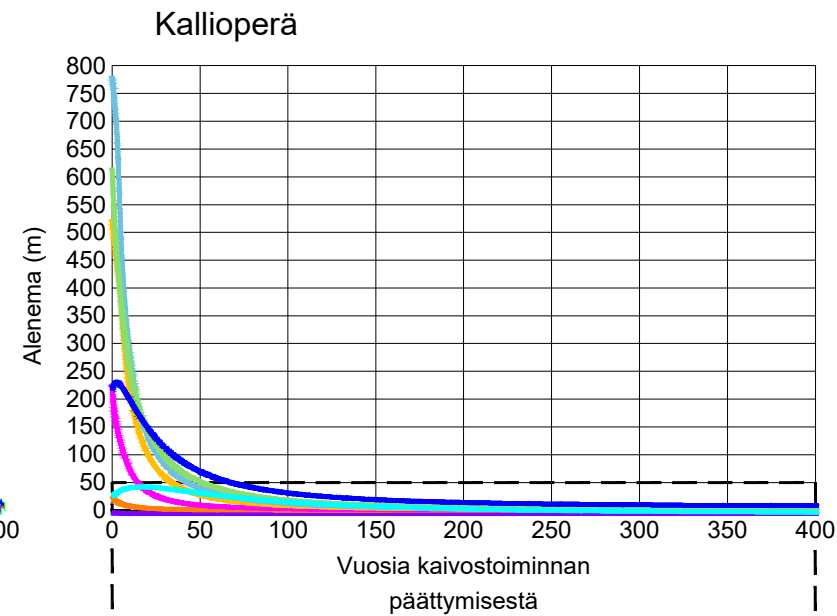
Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa

CLIENT:
Sakatti Mine

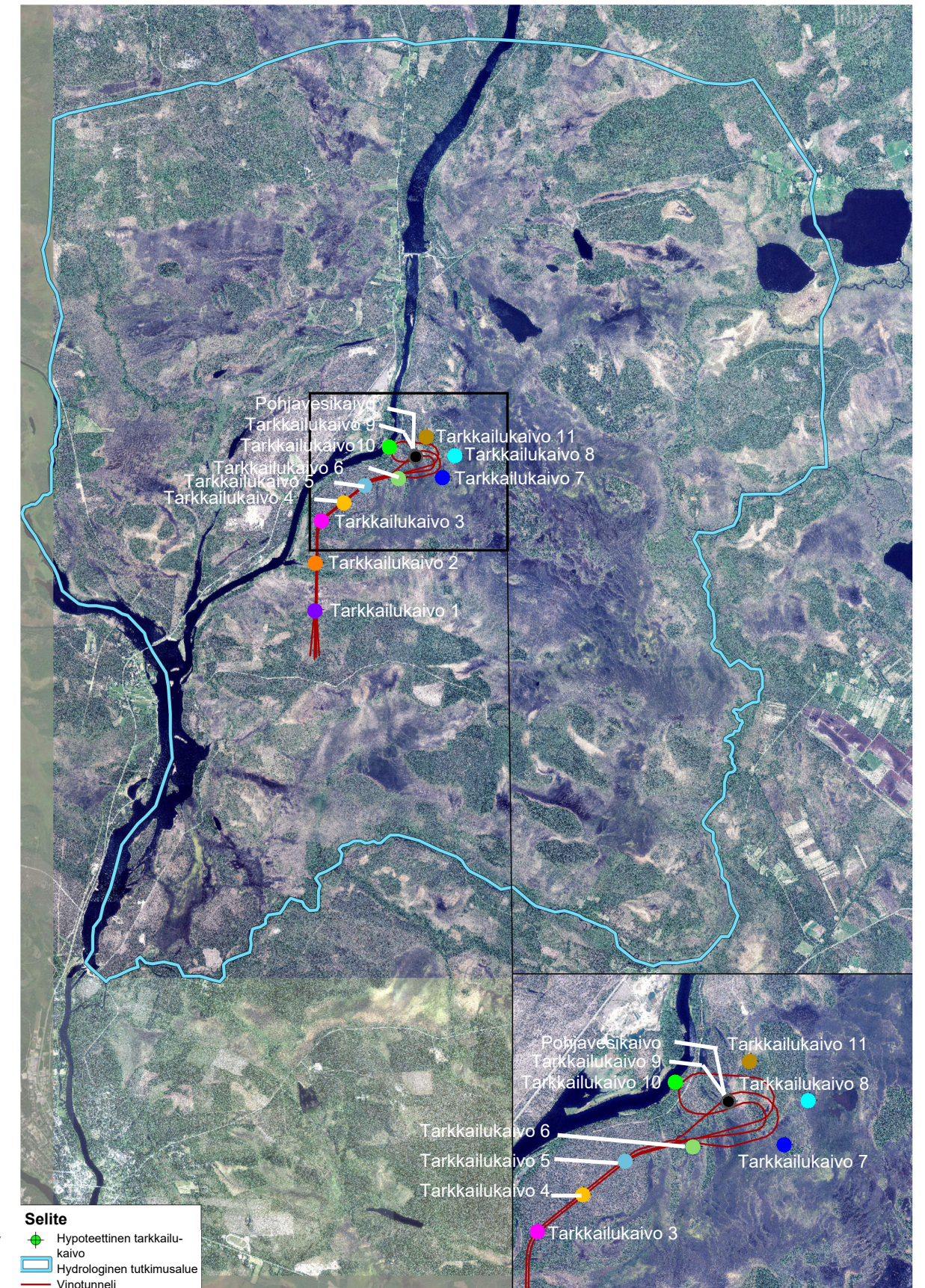
FIGURE NO.
B-9a



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



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	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	



Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 65% tiivistystehokkuudella ilmastomuutoskenaariossa

CLIENT:
Sakatti Mine

FIGURE NO.
B-9b