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



ITASCA
Denver, Inc.

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 Rikkonainen 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 Yhteenveto hydraulisista kokeista 15
3.1.3.2 Yhteenveto hydraulisten kokeiden tuloksista 16
3.1.4 Yhteenveto 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)

Sivu

3.5 SAKATTI-HANKKEEN KAIVOSSUUNNITELMA 32

4.0 POHJAVEDEN VIRTAUSMALLI 35

4.1 POHJAVEDEN VIRTAUSMALLIN MALLINNUSKOODI 35
4.2 POHJAVEDEN VIRTAUSMALLIN LASKENTAVERKKO 35
4.3 SIMULOIDUT HYDROGEOLOGISET YKSIKÖT 36
4.4 MALLIN REUNAEHDOT 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

ITASCA
Denver, Inc.

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 Vesihävikkikokeilla mitattujen vedenjohtavuuksien arvot

Kuva 3-8 Vesihävikkikokeilla mitatut vedenjohtavuudet kivilajeittain esitettynä

Kuva 3-9 Mitatut vedenjohtavuudet pumppaus-, spinner- ja muuttuvan painekorkeuden testeistä verrattuna vesihävikkiokeiden tuloksiin

Kuva 3-10 Vesihävikkikokeilla mitatut vedenjohtavuudet tasoilla 135...0 m mpy ja 0...–100 m mpy

Kuva 3-11 Vesihävikkikokeilla mitatut vedenjohtavuudet tasoilla -100...-200 m mpy ja -200...-300 m mpy

Kuva 3-12 Vesihävikkikokeilla mitatut vedenjohtavuudet tasoilla -300...-400 m mpy ja -400...-500 m mpy

Kuva 3-13 Ruhjeiden vesihävikkikokeilla 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 *MIKE SHE* –mallin ja hydrologisen tutkimusalueen rajautuminen

Kuva 3-19 Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät *MIKE SHE* –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 *MIKE SHE* -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

ITASCA
Denver, Inc.

LUETTELO TAULUKOISTA

Taulukko 3-1 Yhteenveto tärkeimpien hydrogeologisten yksiköiden mitatuista vedenjohtavuuden arvoista tutkimusalueella

Taulukko 3-2 Yhteenveto vesihävikkikokeilla 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 parametreistä 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
K	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 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),	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. 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 tarvekivilouhoksen 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.	ilman lieventämistoimenpiteitä sekä erilaisilla lieventämistoimenpiteillä, jotta saadaan arvio pohjaveden pinnankorkeuksien vaihteluväleistä eri tilanteissa.
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 ilmastonmuutosskenaariosta on sovittu ELY-keskuksen kanssa ja skenaarioksi on valittu RCP4.5-skenaario.	Mallinnuksen ilmastonmuutosskenaarioiden ajantasaisuutta tulee tarkastella ja laskea pohjavesimallilla käyttäen uusimpia ilmastonmuutosskenaarion 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 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.

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). 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 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 tarvekivilouhoksen 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 maanalaiseen 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 ilmastonmuutosskenaariosta on sovittu ELY-keskuksen kanssa ja skenaarioksi on valittu RCP4.5-skenaario.	Mallinnuksen ilmastonmuutosskenaarioiden ajantasaisuutta tulee tarkastella ja laskea pohjavesimallilla käyttäen uusimpia ilmastonmuutosskenaarion 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 sisältääkaivostoiminnan
4. Kalibroida pohjaveden virtausmalli pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihteluihin
5. Laatia ennusteet maanalaisen kaivoksen vuotovesimääristä ja pohjaveden pinnakorkeuden mahdollisesta alenemasta eri tilanteissa
6. Suorittaa luotettava herkkyystarkastelu pohjaveden virtausmallin keskeisistä parametreistä
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).

ITASCA
Denver, Inc.

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, huurresammallähteet, 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 tiiviistä 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 x10^{-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 x 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-siirrokset, 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 maanalaiseen 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 rajaus 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 pinnakorkeuksien 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 vuotovesimääriäja ja pohjaveden pinnankorkeuden mahdollista alenemaa. Seuraavassa on esitetty tulokset ja johtopäätökset 80% tiivistysskenaariolle:

1. Maanalaisen kaivokseen tulevan vuotovesimäärän ennustetaan olevan suurimmillaan kaivostoiminnan toisen vuoden puolessa 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 m^3/h – 110 m^3/h (2 400–2 640 m^3/vrk).
2. Vettä johtavan pohjaruhjeen vuoksi matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnakorkeuden aleneman ennustetaan olevan suurempaa vinotunnelien lähettyvillä kuin muilla alueilla. Pohjaruhjeen korkeamman vedenjohtavuuden johdosta paineen alentuminen ulottuu syvästä kallioperästä matalan vyöhykkeen pohjavesikerroksiin 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 m^3/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 puolessa välissä. Tällöin vinotunnelit on rakennettu lähes kokonaan, ja maanalaisen louhoksen louhiminen on aloitettu. Vuotovesimäärä on suurimmillaan noin 122 m^3/h (noin 2 930 m^3/vrk). Saavutettuaan huippunsa vuotovesimäärä laskee kaivoksen elinkaaren aikana vähitellen arvoon 107 m^3/h – 118 m^3/h (2 570–2 830 m^3/vrk).
2. Vettä johtavan pohjaruhjeen vuoksi matalan vyöhykkeen pohjaveden pinnakorkeuden aleneman ennustetaan olevan suurempaa vinotunnelien lähettyvillä kuin muilla alueilla. Koska vedenjohtavuus on pohjaruhjeen kohdalla suurempi, paineen alentuminen ulottuu syvästä kallioperästä matalan vyöhykkeen pohjavesikerroksiin 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 m^3/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 syvemmällä 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 m^3/h 80% tiivistysskenaariossa ilman NE-satelliittiesiintymää ja arvoon 100–105 m^3/h 65% tiivistysskenaariossa ilman NE-satelliittiesiintymää. Vähennys on noin 5–10 m^3/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. Herkkyysanalyysin tuloksista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

1. Mahdollisella ilmastonmuutoksella 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. Vesihävikkikokeiden 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 vaihtele. Tutkimuksissa on havaittu, että vedenjohtavuudet vaihtelevat turpeen sisällä, turpeen alaosassa vedenjohtavuus ovat alhaisempi sekä usein paikoin turpeen pohjalla esiintyy veden liikettä pidätttävä 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 tietoaineistoa on rajatummin 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 pohjakerros ja turve on vain osittain hydraulisesti yhteydessä matalan vyöhykkeen pohjaveteen. Tästä johtuen todellinen maastossa turpeessa havaittu alenema tulisi olemaan pienempi kuin pohjaveden virtausmallin ennustama alenema.
6. Alenemaennusteissa ei ole huomioitu pohjaveden runsaampaa muodostumista, joka seuraa vedenpinnan korkeuden laskemisesta kaivostoiminnasta johtuen. Pohjaveden runsaampi muodostuminen vähentää pohjaveden pinnankorkeuden ennustettua alenemaa.

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 sisältääkaivostoiminnan
4. Kalibroida pohjaveden virtausmalli pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihteluihin
5. Laatia ennusteet maanalaisen kaivoksen vuotovesimääristä ja pohjaveden pinnakorkeuden mahdollisesta alenemasta eri tilanteissa
6. Suorittaa luotettava herkkyystarkastelu pohjaveden virtausmallin keskeisistä parametreistä
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 (km^2) 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 km^2, ja sen keskus sijaitsee 600 metriä itään Kitisestä. NE satelliittiesiintymän koko on noin

0,07 km^2, 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 km^2 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 näyttävät kasvavan). Turveyksikön 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 paineenvaihtelu) (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 glasiaalisten 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 $x10^{-6}$ metriä sekunnissa [m/s]). Rikkonaisen/rapautuneen kallioperän vedenjohtavuudet ovat korkeampia kuin ehjän kallioperän, jonka vedenjohtavuudet ovat matalia: ehjän kallioperän mitattu vedenjohtavuuden mediaani on 1 x 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-siirrokset, 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 kairarei'istä 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 tietoaineistoista, 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. Vesihävikkikokeista saadut hydrauliset tiedot
3. Ilmastotiedot, kuten sadanta, kokonaishaihdunta ja arviot ilmastonmuutoksesta
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 siirrosten välillä on yhtäläisyyksiä. Yhtäläisyydet on vahvistettu kairauksilla. HTA:n kallioperään on kohdistunut kaksi merkittävää rakenteellista tapahtumaa (Luukas 2017). Ensimmäinen pohjois-eteläsuuntainen puristus johtui kohoamisesta ja ylityönnöstä pohjoisen suunnasta ja hiertovyöhykkeiden kehittymisestä suoraan malmikerrostumien ylä- ja alapuolelle. Toinen tapahtuma synnytti hauraat kaakkois-luoteissuuntaiset ruhjeet, jotka johtivat aikaisempien ruhjeiden deformaatioon. Kuten kuvasta 3-4 nähdään, maanalaisen kaivoksen alue ulottuu useiden ruhjeiden alueelle. 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 uusin 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 -suojelualuetta 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 x 10^{-7} – 2,4 x 10^{-4} metriä sekunnissa (m/s) keskiarvon ollessa 1,0 x 10^{-5} m/s. Lisämittauksissa turpeen vedenjohtavuus vaihteli välillä 9,8 x 10^{-6} – 1,0 x 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 x 10^{-8} – 4,0 x 10^{-3} m/s, ja niiden keskiarvo oli noin 3,0 x 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 Stroeven 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 x 10^{-5} m/s vedenjohtavuuksien vaihdellessa välillä 1,0 x 10^{-7} m/s – 1,0 x 10^{-4} m/s. Rikkonaisen kallioperän alemman osan vedenjohtavuuksien keskiarvo on 5,0 x 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 x 10^{-12} – 3,4 x 10^{-5} m/s, ja niiden keskiarvo oli noin 1,0 x 10^{-8} m/s (AASM Oy 2021; SRK 2019). Ehjän kallioperän vedenjohtavuudet paikallisten rakovyöhykkeiden (joita käsitellään jäljempänä) ulkopuolella vaihtelevat välillä 1,0 x 10^{-12} – 1,0 x 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 x 10^{-8} – 3,4 x 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). Vesihävikkikokeiden 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 x 10^{-11} m/s – 1,3 x 10^{-7} m/s (AASM Oy 2021). Suoraan ruhjeissa tehtyjen vesihävikkikokeiden 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 soramaisia 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 x 10^{-7} – 9,6 x 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 kenttämittausohjelman, jossa litologisten yksiköiden ja geologisten ruhjeiden vedenjohtavuuksia on selvitetty useilla hydraulisilla testausmenetelmillä.

Vedenjohtavuutta on mitattu vesihävikkikokeilla, 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 vesihävikkikokeista vuosilta 2016–2021 syvyyden mukaan (281 onnistunutta testiä 57 kairareiästä). Kuvassa on myös trendiviiva vesihävikkikokeiden 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 vesihävikkikokeessa 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 vesihävikkikokeiden tulostiedoissa asetettiin arvoon 1,0 x 10^{-8} m/s kallioperässä ja arvoon 1,0 x 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 vesihävikkikokeiden tiedoista on esitetty taulukossa 3-2.

Vesihävikkikokeiden 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 x 10^{-9} – 1.0 x 10^{-7} m/s. Alemman kallioperän (-100 m mpy) vedenjohtavuuden tausta-arvot vaihtelevat välillä 1,0 x 10^{-11} – 1,0 x 10^{-7} m/s, kun useimmat mitatut arvot ovat alle 1.0 x 10^{-8} m/s.

Kun vesihävikkikokeet osuivat kallioperän rikkonaisiin kohtiin, näiden paikallisten kohtien vedenjohtavuudet olivat suurempia kuin ehjästä kalliosta mitatut vedenjohtavuudet. Rikkonaisissa

kohdissa tehdyissä vesihävikkikokeissa mitatut vedenjohtavuudet vaihtelivat välillä 1,0 x 10^{-8} – 1,0 x 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 vedenjohtavuude*t* kaikista laatutarkistetuista vesihävikkikokeiden tuloksista. Mittauksia on yhteensä 281 vuosilta 2016–2021, ja ne on luokiteltu kivilajin mukaan. Kuten kuvasta 3-8 voidaan nähdä, vesihävikkikokeiden 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 pienentymisestä syvemmälle mentäessä. Kuvassa 3-9 on esitetty vesihävikkikokeilla mitatut vedenjohtavuudet yhdessä kaatokokeen (kuva 3-9a), pumppaustestien (kuva 3-9b) ja spinner-testien tulosten kanssa (25 mittausta, kuva 3-9c). Vesihävikkikokeiden lisäksi muista kaivostoimintojen alueella tehdyistä hydraulisista testeistä on saatu samankaltaisia vedenjohtavuuden mittaustuloksia. Useimmat spinner-testit tehtiin ehjän kallioperän yläosassa ja rakojen lävistyskohdissa. Yhteenvedot arvioiduista vedenjohtavuuksista, jotka saatiin kaatokokeista (kolme mittausta), pumppaustesteistä (19 mittausta) ja ilmanostotesteistä (yhdeksän mittausta), on esitetty taulukoissa 3-3, 3-4 ja 3-5.

Kuvissa 3-10, 3-11 ja 3-12 on esitetty vesihävikkikokeista 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 vesihävikkikokeiden sijainnit on merkitty kuvaan vihreillä

symboleilla. Vuoden 2016–2021 vesihävikkikokeiden 281:stä mittauksesta laadituista kaaviokuvista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

1. Ehjän kallioperän vedenjohtavuudet syvyydellä alle 0 m mpy ovat tyypillisesti alhaisia: 1,0 x 10^{-11} – 1,0 x 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 vesihävikkikokeilla geologisen mallin ruhjeista (2016–2019) tai ruhjeiden leikkauspisteistä 2020–2021 (31 mittausta) 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 vesihävikkimittausten 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-siirrokset, 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 vesiarvoa. 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. Taulukkossa 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 analyysissa, 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 mittauspaikassa, 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 vesiarvon mittauksia käytettiin vesiarvon kalibrointiin SYKE:n mallissa, jota käytettiin kaivostoimintojen alueella. Kalibroidut lumen vesiarvot on merkitty kuvaan 3-17 yhtenäisillä viivoilla. Yleensä lunta alkaa kertyä lokakuun lopulla, ja se sulaa nopeasti huhtikuussa. Mitattu lumen vesiarvo on vaihdellut vuodesta 2013 lähtien välillä 120–260 mm. Kalibroidut lumen vesiarvon mittaukset vastaavat hyvin mitattuja lumen vesiarvotietoja. Havaittuja lumen vesiarvotietoja käytettiin myös *MIKE SHE* -mallissa havaintopisteinä, jotta voidaan verrata havaittuja lumen vesiarvoja *MIKE SHE* -mallilla simuloituihin lumen vesiarvoihin ja arvioida pohjaveden mahdollisia muodostumismääriä.

3.2.4 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 diffuusioaaltomenetelmää (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: turveyksikkö, 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 erillisille hydrogeologiselle yksikölle: lajittuneille kerrostumille, moreenille ja turpeelle. Seuraavassa on esitetty yhteenveto *MIKE SHE* -mallilla arvioiduista pohjaveden muodostumismääristä:

1. **Turve**: Pohjaveden arvioitu päivittäinen purkautumismäärä vaihtelee välillä 0–8 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 esitetyt 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-skenaarion tiedot ovat peräisin Copernicus Climate Storesta (2022). Potentiaalinen haihdunta laskettiin Romanenko-menetelmällä käyttäen RPC4.5-skenaarion lämpötilatietoja ja kuukausittaista keskimääräistä ilmankosteutta 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 lähdettä, jotka AASM Oy on tunnistanut HTA:lla. Lähteiden vaikutuksen vuotovesimääriin maanalaiseen 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 2×10^{-8} – 1×10^{-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 Botswanassa, 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

maanalaisen kaivoksen yläpuolelle. Alueellisissa verkoissa maanalaisen kaivoksen alueen ulkopuolella on 28 pystysuuntaista kerrosta.

4.3 SIMULOIDUT HYDROGEOLOGISET YKSIKÖT

Kuvassa 4-1 on esitetty mallin ylimmän kerroksen hydrogeologiset yksiköt, jotka muodostuvat erilaisista jäätikkö- ja jokikerrostumista. Kuvassa 4-2 on esitetty hydrogeologisten yksiköiden poikkileikkaus maanalaisen kaivoksen alueella. Maanalaisen 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. Rikkonainen 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 hydraulisista parametreistä. 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 käytetiin 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. Vesihävikkikokeiden 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 vesihävikkikokeiden 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 vesihävikkikokeiden perusteella

saatujen vedenjohtavuuksien analyysissa ei näy viitteitä korkeammista vedenjohtavuuksista ruhjeissa.

6. Kalibroidut vedenjohtavuudet ovat mitattujen vedenjohtavuuksien, kirjallisuuteen perustuvien vedenjohtavuuksien ja globaalisti käytettyjen vedenjohtavuuksien vaihteluvälien rajoissa.
7. Alueellisia ruhjeita ei huomioitu pohjaveden virtausmallissa, koska niiden hydraulisista ominaisuuksista ei ole saatavilla tietoja.

4.4 MALLIN REUNAEHDOT

Pohjaveden virtausmallin rajaus valittiin siten, että se noudattaa luonnollisia vedenjakajia ja virtausreittejä. Numeerisen pohjaveden virtausmallin rajaus 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 rajaus valittiin siten, että kaivoksen kuivatuksen ja mallin reunojen välillä ei tapahdu vuorovaikutusta. Samoja reunaehtoja 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 reunaehtoa käytettiin transient- ja ennustemallisimulaatioissa kuvaamaan pohjaveden vuorovaikutusta pohjaveden virtausmallin alueen reunaehtojen ja virtausmallin ulkopuolisen alueen välillä. Pohjaveden virtausmallin ulkoreunan solmukohdille 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 yhteenveto 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 parametrivyöhykkeisiin, jotta mallin laskemat ja mitatut pohjaveden pinnankorkeudet vastaisivat tarkemmin toisiaan.
3. Moreeni on jaettu kahteen pohjaveden muodostumisalueen parametrivyöhykkeeseen, 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 kalibrointitulos. Malli kalibroitiin pohjaveden pinnankorkeuden luonnontilaan (ilman kaivostoimintaa) ja pohjaveden pinnankorkeuden luontaiseen vaihteluun.

Pohjaveden virtausmallin toimivuutta voidaan arvioida kvantitatiivisesti tilastollisen parametrianalyysin avulla (ASTM 2008; Barnett ym. 2012; BLM 2008; NDEP 2018b). Sekä steady state että transient-mallin kalibroinnin arvioinnissa käytettiin useita yleisesti käytössä olevia

tilastollisia tunnuslukuja, joiden avulla voidaan verrata mitattujen pinnankorkeuksien ja mallin laskemien pinnankorkeuksien vastaavuutta. Käytetyt tunnusluvut olivat keskineliövirheen neliöjuuri (RMSE), absoluuttinen keskivirhe (MAE), keskivirhe (ME) ja 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 selitysasteeksi, 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 +/-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 kalibroitiin 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 kalibrointijakson 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 käytetiin transient-mallin kalibroinnissa. Transient-mallin kalibroinnissa käytettiin yhteensä 98 pohjaveden havaintopistettä. Itascan kokemusten perusteella pohjaveden havaintopisteiden määrä on huomattava verrattuna muihin vastaavissa vaiheissa oleviin hankkeisiin.

4.8.2 Transient-mallin kalibrointi

Liitteessä 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. Korrelaatiosuorat 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 reunaehtojen 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 (2×10^{-9} 10 – 1×10^{-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 suotopintareunaehtoja 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 vuotovesiääriä 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 x 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 x 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 Itascan 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 herkkyystarkasteluilla. 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 m^3/h (2 830 kuutiometriä vuorokaudessa [m^3/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 m^3/h (2 400 m^3/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 m^3/h (2 400 m^3/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 110 m^3/h (2 640 m^3/vrk) vuoden 10 jälkeen ja pysyy suhteellisen tasaisena kaivoksen elinkaaren loppuun asti.
4. Ennustettu vuotovesimäärä (100–120 m^3/h) vastaa maanalaisen kaivoksen alueen (noin 1 km^2) pohjaveden kokonaismuodostumista, joka vaihtelee vuodenajoittain välillä 0–100 m^3/h (kuvat 4-16 ja 4-17).
5. Kaivoksen elinkaaren aikana maanalaisista louhoksista poistetaan vettä yhteensä noin 20 miljoonaa m^3.

Seuraavat havainnot voidaan tehdä pohjaveden tulevista vuotovesimääristä 65% tiivistyskenaariossa (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 m^3/h (2 930 m^3/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 m^3/h (2 570 m^3/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 m^3/h (2 540 m^3/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 m^3/h (2 830 m^3/vrk) vuoden 10 jälkeen ja pysyy suhteellisen tasaisena kaivoksen elinkaaren loppuun asti.
4. Ennustettu vuotovesimäärä (107–122 m^3/h) vastaa maanalaisen kaivoksen alueen (noin 1 km^2) pohjaveden kokonaismuodostumista, joka vaihtelee vuodenajoittain välillä 0–100 m^3/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 pinnakorkeuden 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 (0–10 m maanpinnan alapuolelta). Jokaisesta hypoteettisestä 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 0,01–0,4 m.
2. Aleneman vuodenaikaisvaihtelu on suurempaa pohjaveden havaintopisteessä 1 johtuen ohuemmasta kerrostumasta ja siitä, että pohjavettä muodostuu alhaisemman vedenjohtavuuden omaavaan kallioperään.

3. Pohjaveden 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 simuloiduista 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 Itascan 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 kalibrointiajanjakson 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 simuloiduilla 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 m^3/h. Tämä vastaa noin 4–6 % mallin laskemasta pohjaveden kokonaispurkautumisesta Kitiseen (mallin laskema pohjaveden kokonaispurkautuminen on 300–420 m^3/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 LISÄLIEVENNYSTOIMET YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTIA VARTEN

Osiossa 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 liittyi 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 m^3/h (2 830 m^3/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 m^3/h (2 400 m^3/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 m^3/h (2 280–2 400 m^3/vrk) 6. vuodesta 22. vuoteen.
4. Kaivoksen elinkaaren aikana maanalaisista louhoksista poistetaan vettä yhteensä noin 18,3 miljoonaa m^3. Tämä on 1,6 miljoonaa m^3 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 m^3/h (2 930 m^3/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 m^3/h (2 570 m^3/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 m^3/h (2 400–2 520 m^3/vrk) 6. vuodesta 22. vuoteen.
4. Kaivoksen elinkaaren aikana maanalaisista louhoksista poistetaan vettä yhteensä noin 19,5 miljoonaa m^3. Tämä on 1,5 miljoonaa m^3 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% tiivistämisskenaariossa 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 m^3/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 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 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 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 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 tietoaineistoja, 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.Vesihävikkikokeiden 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 vaihtele. 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 oleellisimmissa 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 lisääntynyttä 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 ilmastonmuutosskenaarion, 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 tutkimuksiin 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 puolessa välissä. Vuotovesimäärä on suurimmillaan noin 118 m^3/h. Saavutettuaan huippunsa vuotovesimäärä laskee kaivoksen elinkaaren aikana vähitellen arvoon 100 m^3/h – 110 m^3/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 m^3/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 syvemmällä 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 puolessa välissä. Vuotovesimäärä on suurimmillaan noin 122 m^3/h. Saavutettuaan huippunsa vuotovesimäärä laskee kaivoksen elinkaaren aikana vähitellen arvoon 107 m^3/h – 118 m^3/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 lumn 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 m^3/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 m^3/h 80% tiivistystehokkuuden skenaariossa ilman NE-satelliittiesiintymää ja arvoon 100–105 m^3/h 65% tiivistystehokkuuden skenaariossa ilman NE-satelliittiesiintymää. Vähennys on noin 5–10 m^3/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 Sondankyla: 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. Koskiaho, 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 kaivoshankkeen pohjavesivaikutusten mallinnus. Stantecin Anglo American Sakatti Mining Oy:lle laatima raportti.

Suonperä, E. 2016. Holocene paleohydrology of Viiankiaapa mire, Sodankylä, Finnish Lapland. Pro gradu -tutkielma, Geotieteiden ja maantieteen osasto, Helsingin yliopisto

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.

Maanalaisen kaivoksen alue

Kuusivaaran alue

Hiivanahaara

Ylijoki

Kelujoki

Pääesiintymä

NE-satelliitti-esiintymä

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

ITASCA™ Denver, Inc.

Sakatti-projektin hydrologinen tutkimusalue

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 2-1

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

Hiivanahaara

Ylijoki

Kelujoki

Selite

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

N

0 1,250 2,500 Metriä

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

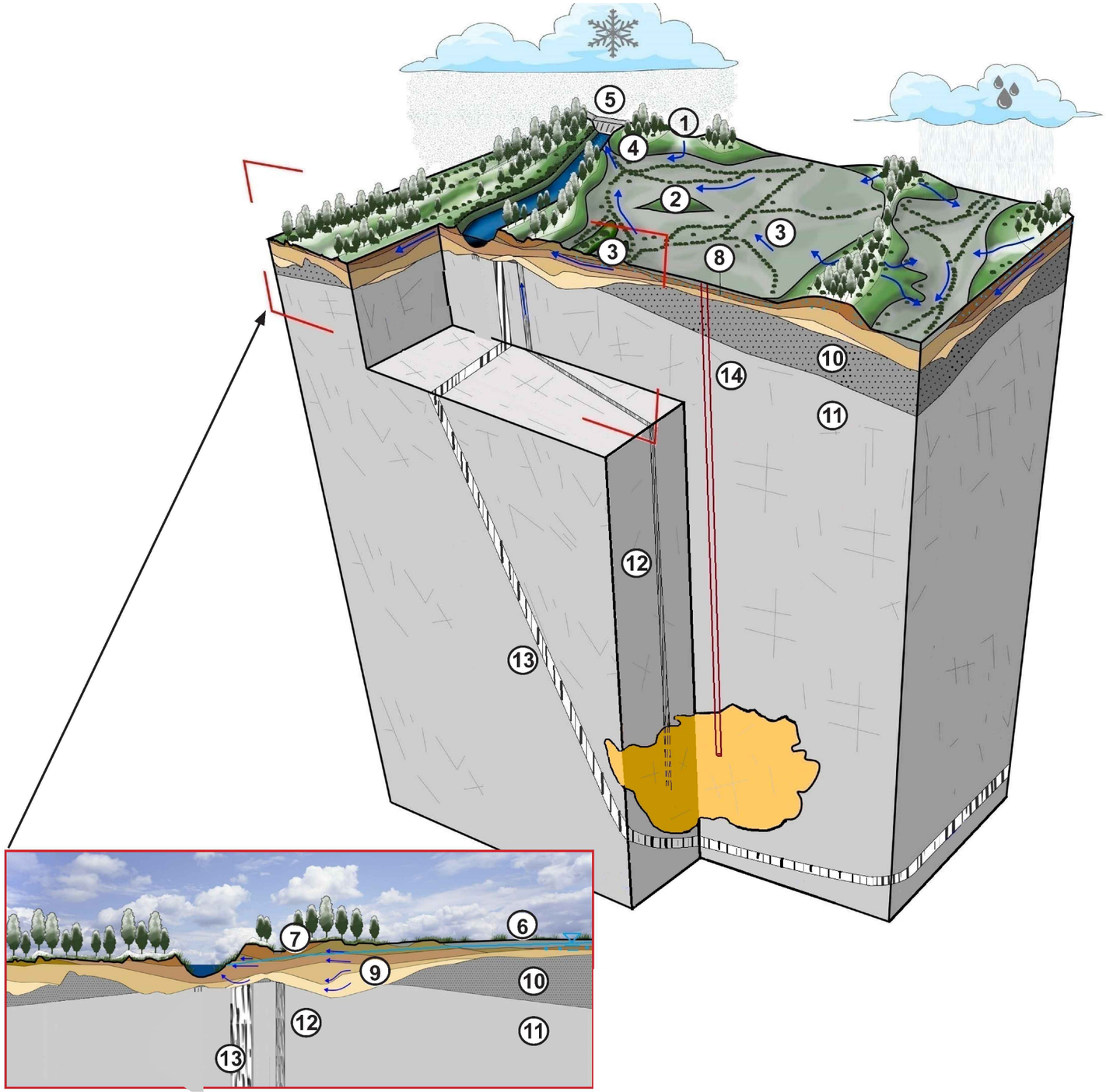
ITASCA™ Denver, Inc.

Viiankiaavan suoalue hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 2-2

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



SELITE

- Pohjaveden virtaussuunta
- Maastonmuodot
- Suo/kosteikko
- Kitinen
- Turve
- Lajittuneet pintakerrostumat
- Ylin moreeni
- Keskimmäiset lajitttuneet kerrostumat
- Alemmat lajittuneet kerrostumat
- Alempi moreeni
- Alimmat sorat ja hiekat
- Rikkonainen kallio
- Ehjä kallio
- Ruhjeet
- Pohjaruhje
- Malmiesiintymä

(1) to (14) Konseptuaalisen hydrologisen mallin pääpiirteet

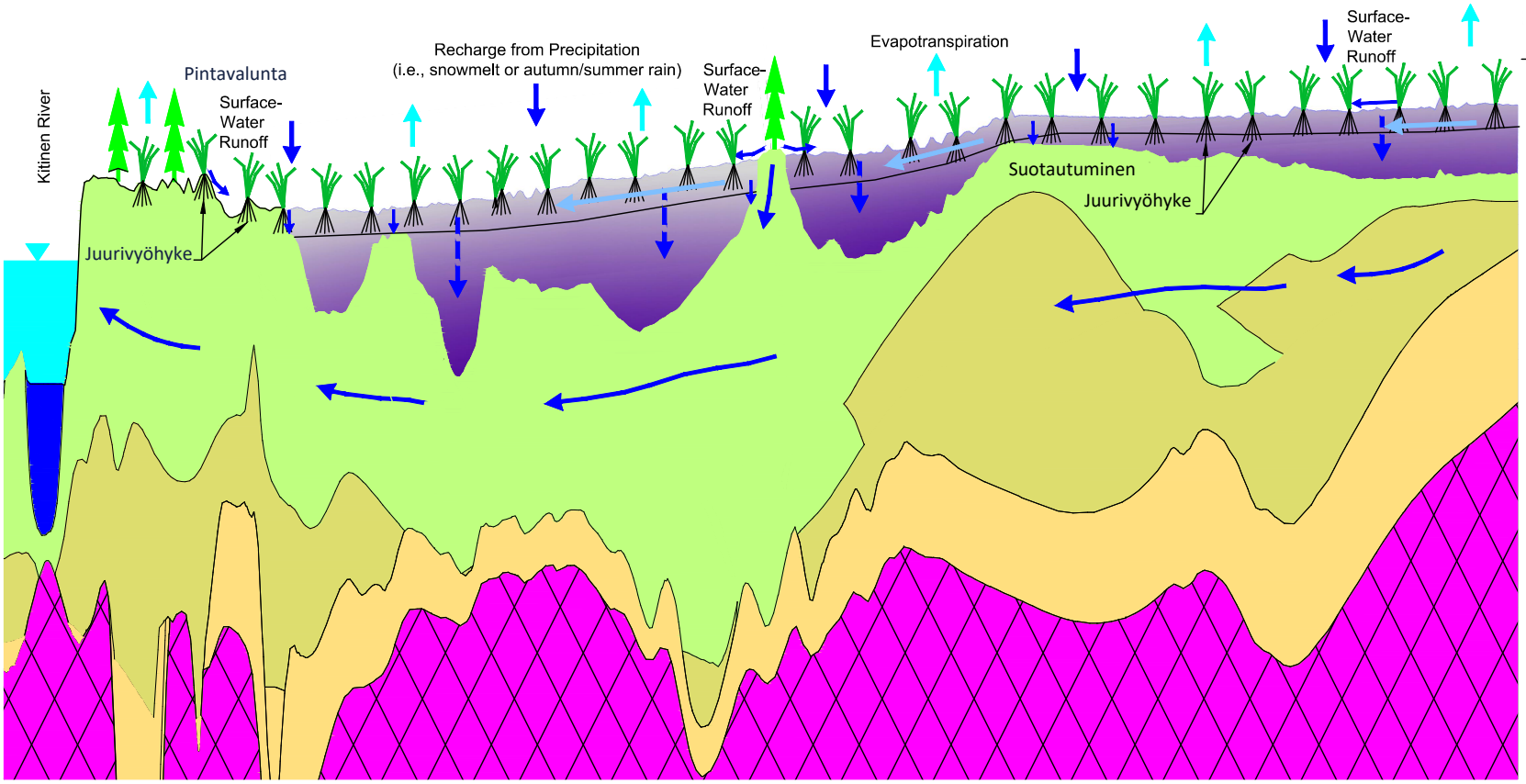
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CONCEPT
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	

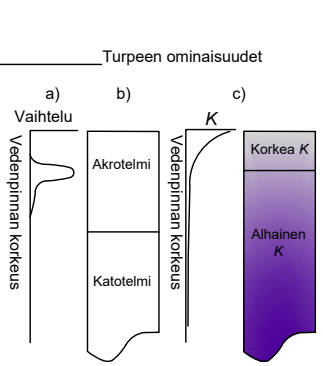
ITASCA™ Denver, Inc.

Konseptuaalinen hydrogeologinen malli

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 2-3





Selite

- Turve
- Joki- ja jäätikkökerrostumat
- Moreeni
- Rapautunut kallio
- Rikkonainen kallio
- Kitisen pohjakerrostumat
- Turpeen yläosassa virtaava vesi
- Maaperäpohjaveden virtaus
- Turpeen huokosveden suotautuminen

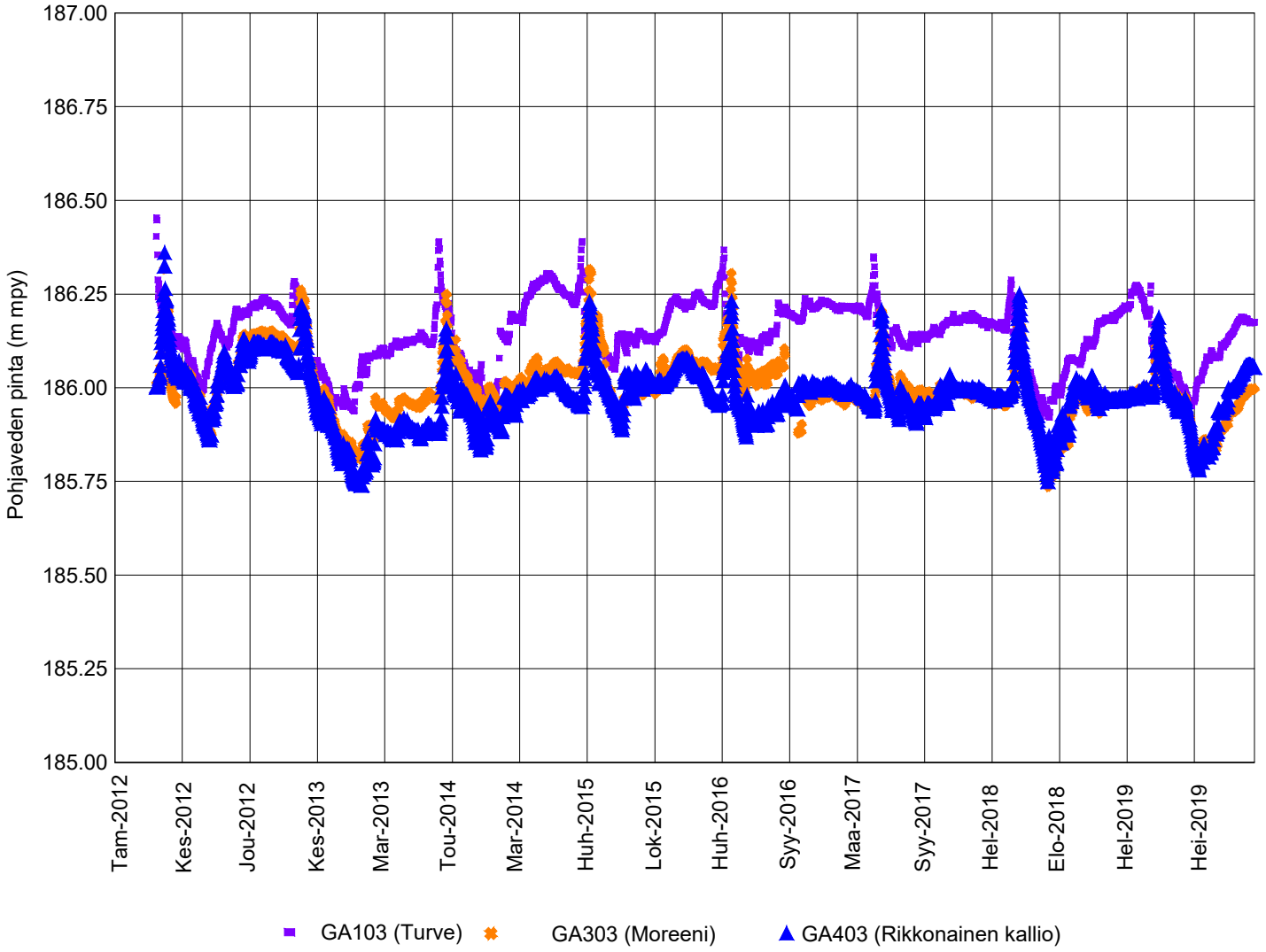
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	XSEC100
DRAWING DATE	13 MAR 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

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	

ITASCA™ Denver, Inc.

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)

N

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

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

Selite

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

Kallioperän yksiköt

- Kvartsiitti
- Kiilleliuske
- Gneissi

} Alempi Sodankylä-ryhmä

- Ultramafinen vulkaniitti
- Mafinen vulkaaninen tuffiitti
- Peridotiitit
- Gabro

} Ylempi Savukoski-ryhmä

N

0 1,250 2,500 Metriä

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

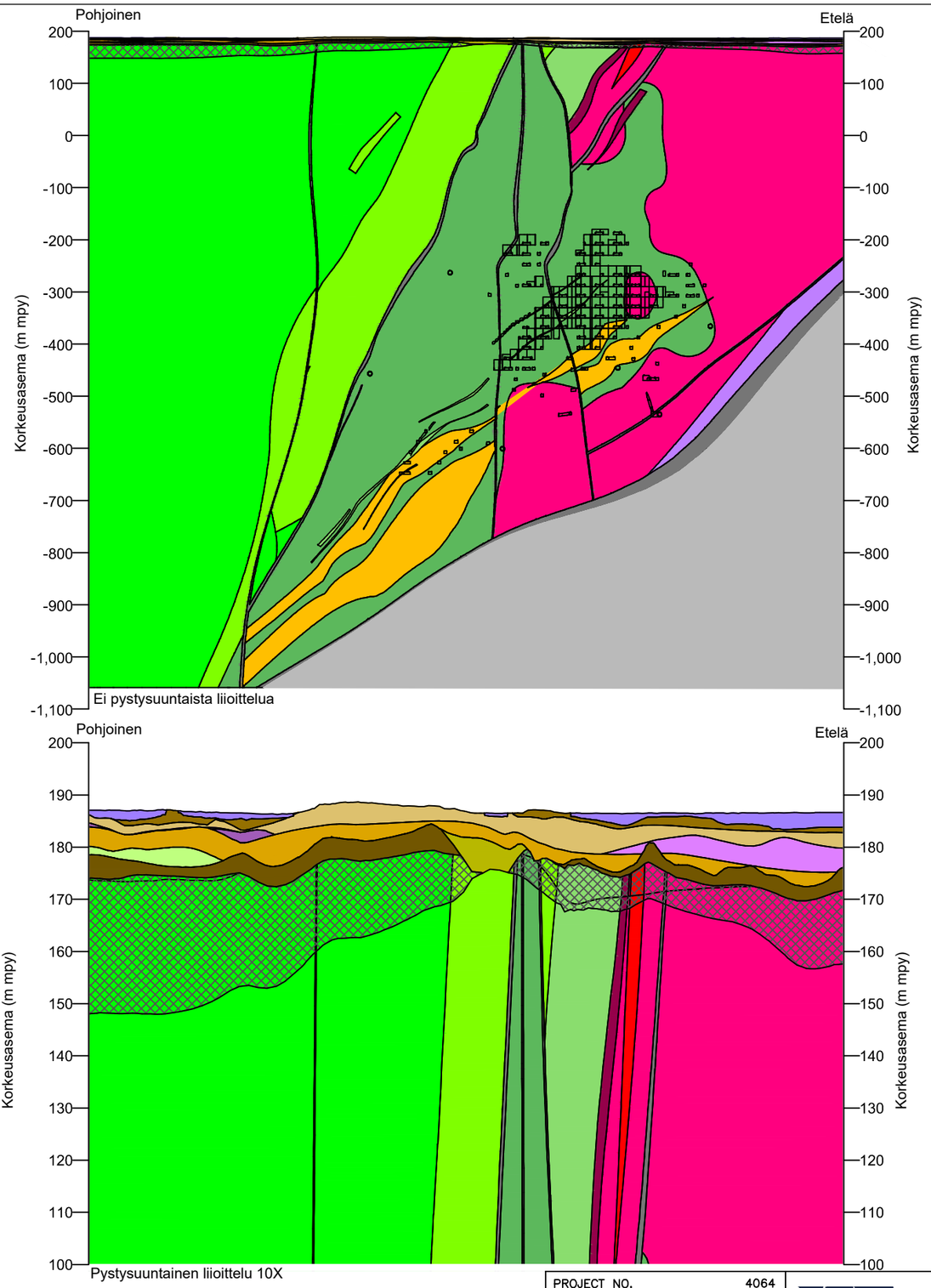
ITASCA™ Denver, Inc.

Kallioperäyksiköiden geologinen kartta hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-2

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



Kallioperä

Matala vyöhyke

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

Huom: Ks. leikkauksen sijainti Kuva 3-2

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

ITASCA™ Denver, Inc.

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

N

0 1,250 2,500 Metriä

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

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

Matalan vyöhykkeen malli

Vinotunnelin ja malmiesiintymän malli

Kuusivaaran malli

Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Vinotunnelin alue
- Maanalaisen kaivoksen alue

Geologisten mallien alueet

- Matalan vyöhykkeen malli
- Sakatin ja TBM tunnelin malli
- Kuusivaaran malli

N

0 1,250 2,500 Metriä

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

ITASCA™ Denver, Inc.

Geologisten 3D-mallien laajuus hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-5

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

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

N

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

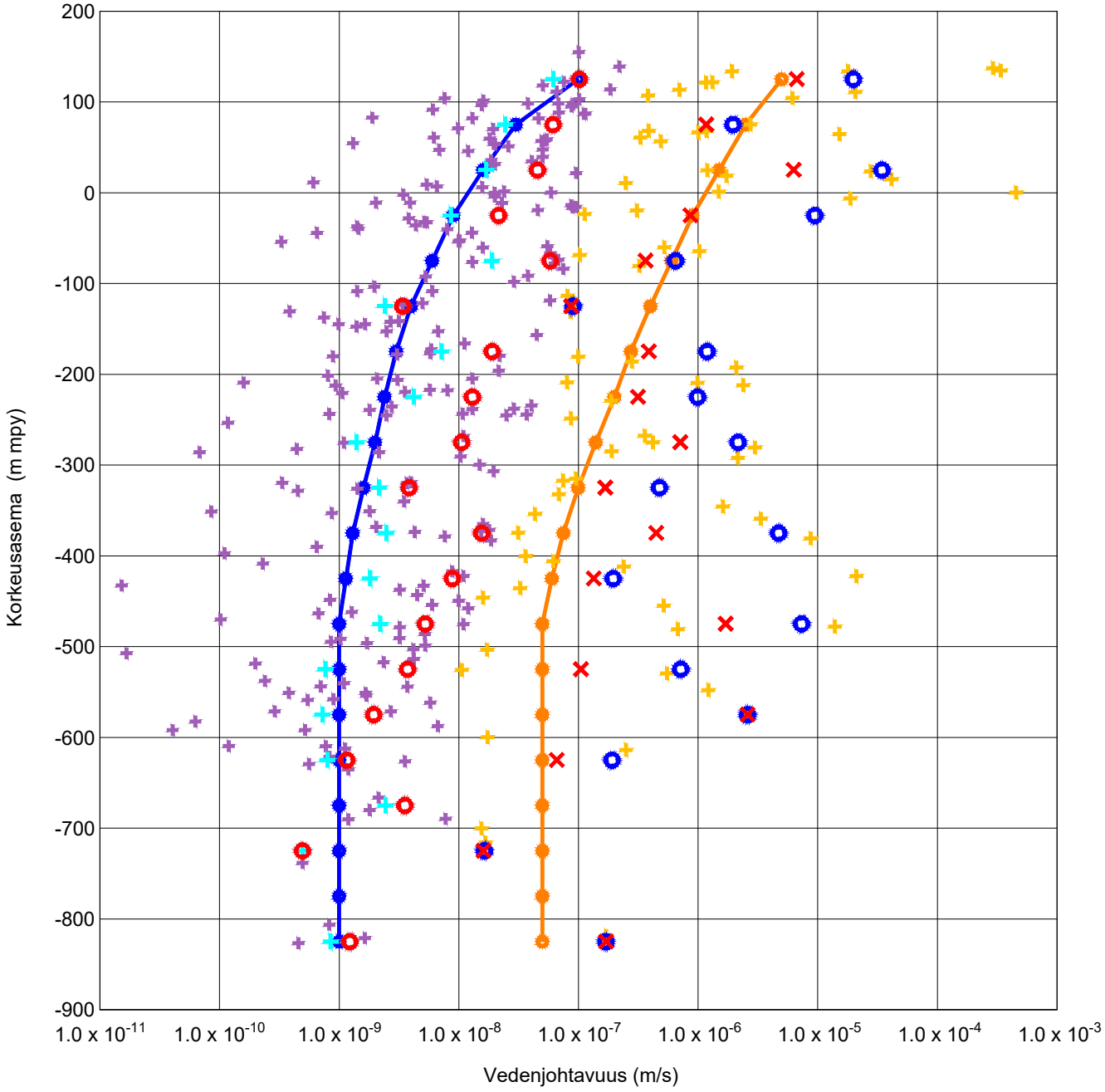
ITASCA™ Denver, Inc.

Arvioitu turvekerroksen paksuus kaivostoimintojen alueella

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-6

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



K-arvot vesihävikkikokeista

- Kallio
- Raot

Vesihävikkikokeiden tulosten tunnuslukuja

- Rakojen K arvon 75. prosenttipiste 50 m syvyystasoilla
- Kallion K arvon 75. prosenttipiste 50 m syvyystasoilla
- Rakojen K arvon geometrinen keskiarvo 50 m syvyystasoilla
- Kallion K arvon geometrinen keskiarvo 50 m syvyystasoilla
- Kallion K arvojen geometrisen keskiarvon trendiviiva
- Rakojen K arvojen geometrisen keskiarvon trendiviiva

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

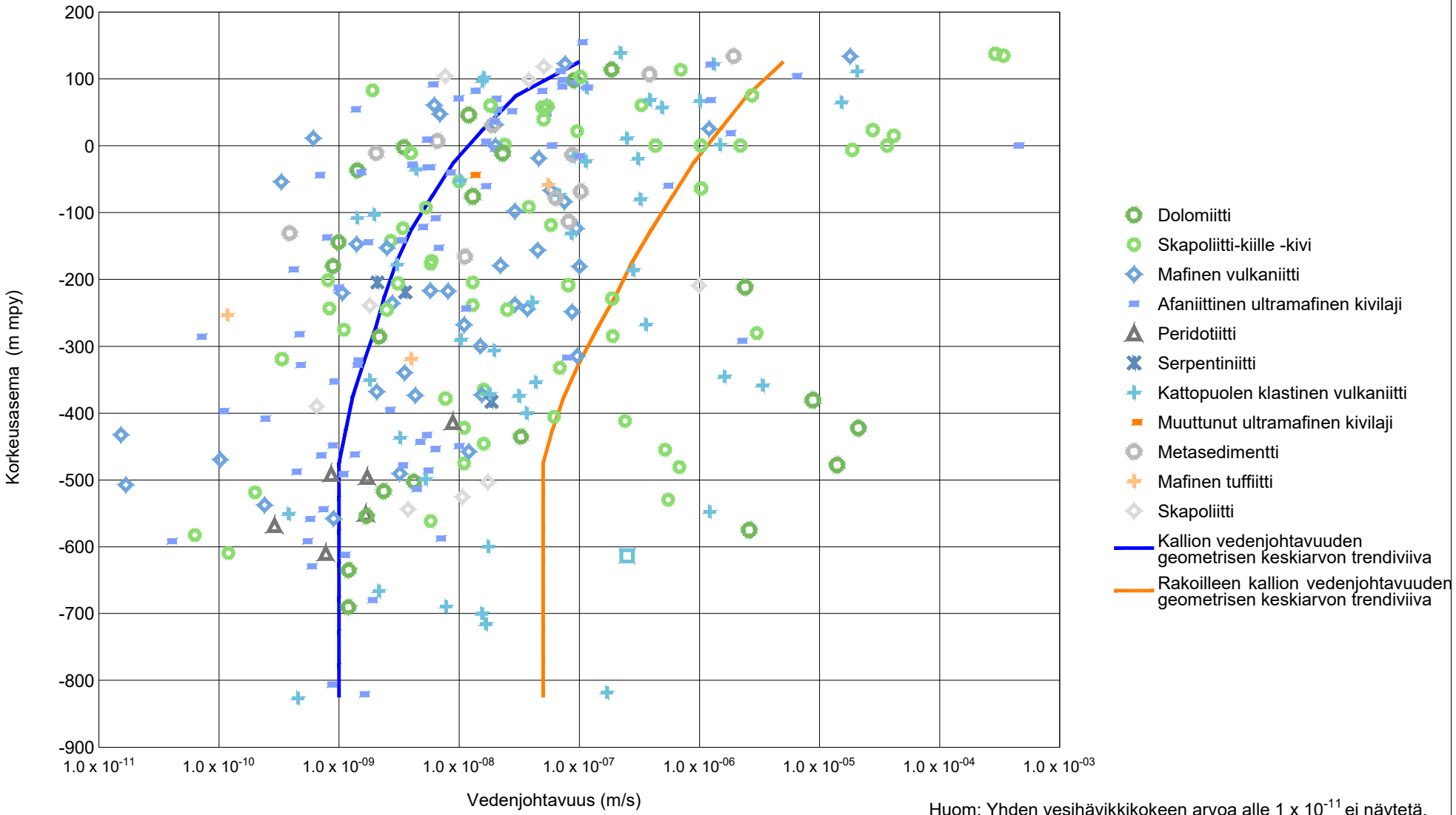
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PACKER
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

Vesihävikkikokeilla mitattujen vedenjohtavuuksien arvot

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-7



Huom: Yhden vesihävikkikokeen arvoa alle 1 x 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

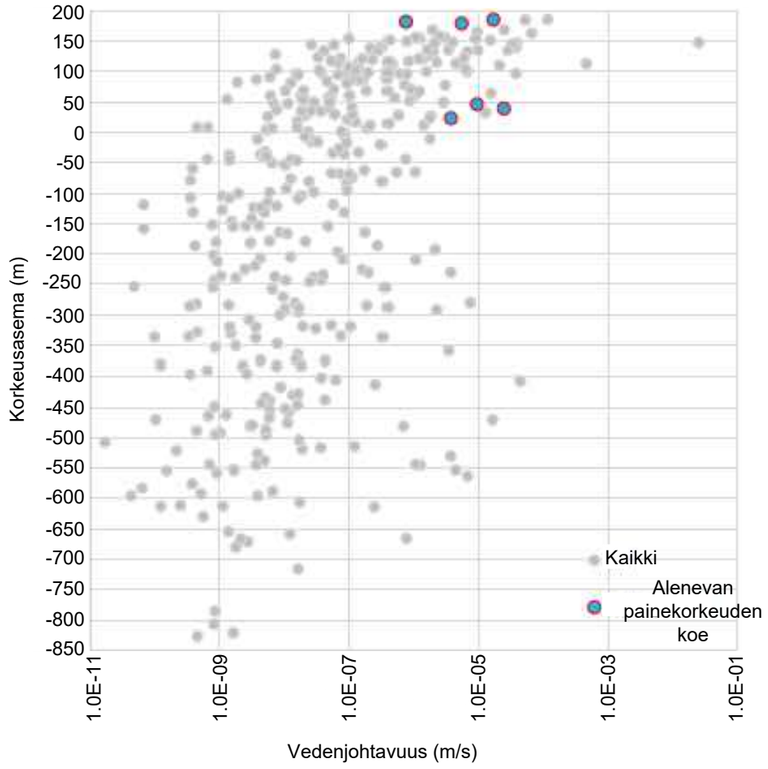
ITASCA™ Denver, Inc.

Vesihävikkikokeilla mitatut vedenjohtavuudet kivilajeittain esitettynä

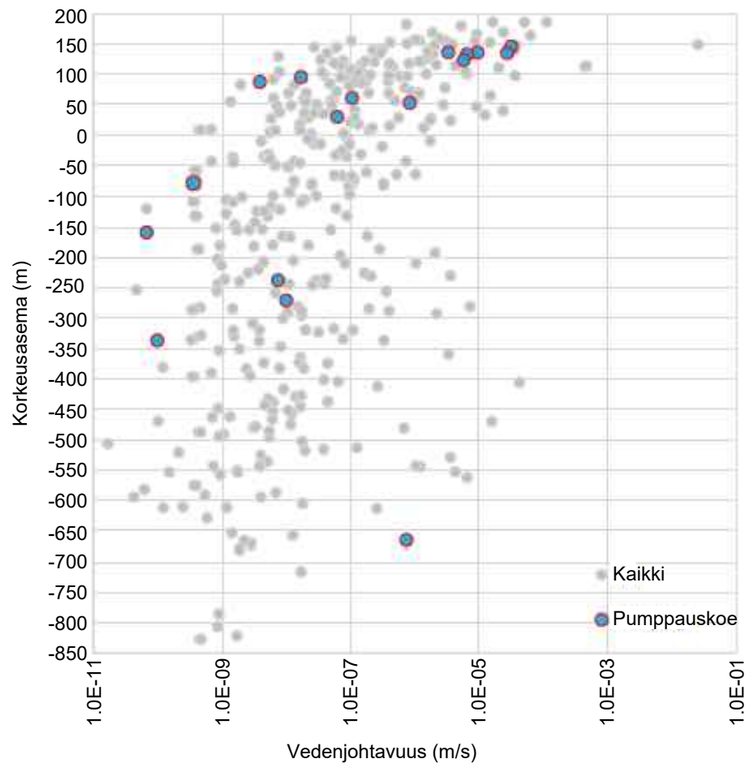
CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-8

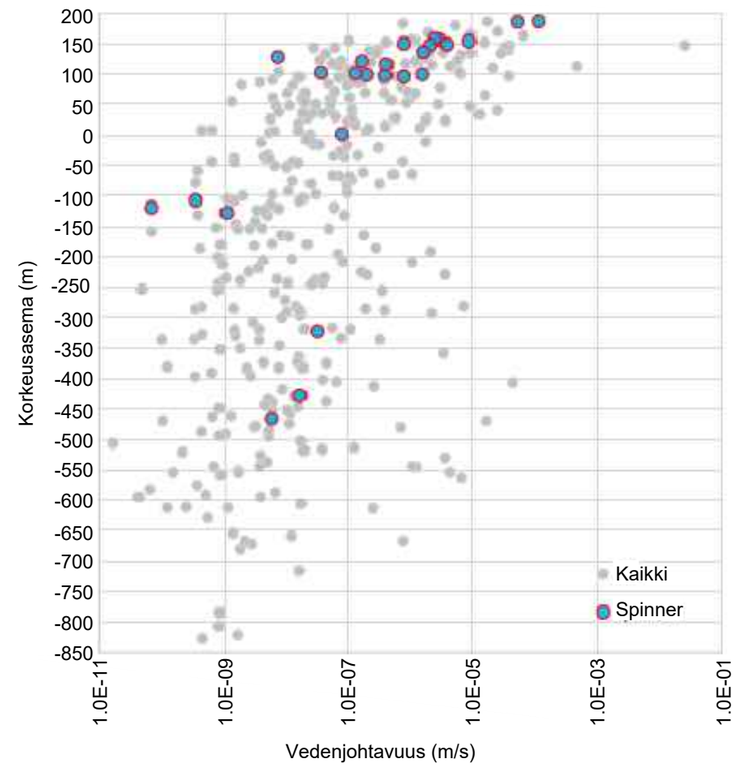
a) Alenevan painekorkeuden kokeilla mitatut vedenjohtavuudet



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

ITASCA™ Denver, Inc.

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

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-9

0 - 135 m mpy

0 - -100 m mpy

1E-008
1E-007
1E-006
1E-005

Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Maanalaisen kaivoksen alue
- Vesihävikkikoe
- Vinotunnelin laajuus

Vedenjohtavuus (m/s)

- <1.0E-08
- 1.0E-08 - 1.0E-07
- 1.0E-07 - 1.0E-06
- 1.0E-06 - 1.0E-05
- >1.0E-05

N

0 490 980 Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	EHC_1
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Feb. 10, 2023

ITASCA™ Denver, Inc.

Vesihävikkikokeilla mitatut vedenjohtavuudet tasoilla 135...0 m mpy ja 0...–100 m mpy

CLIENT: Sakatti Mine

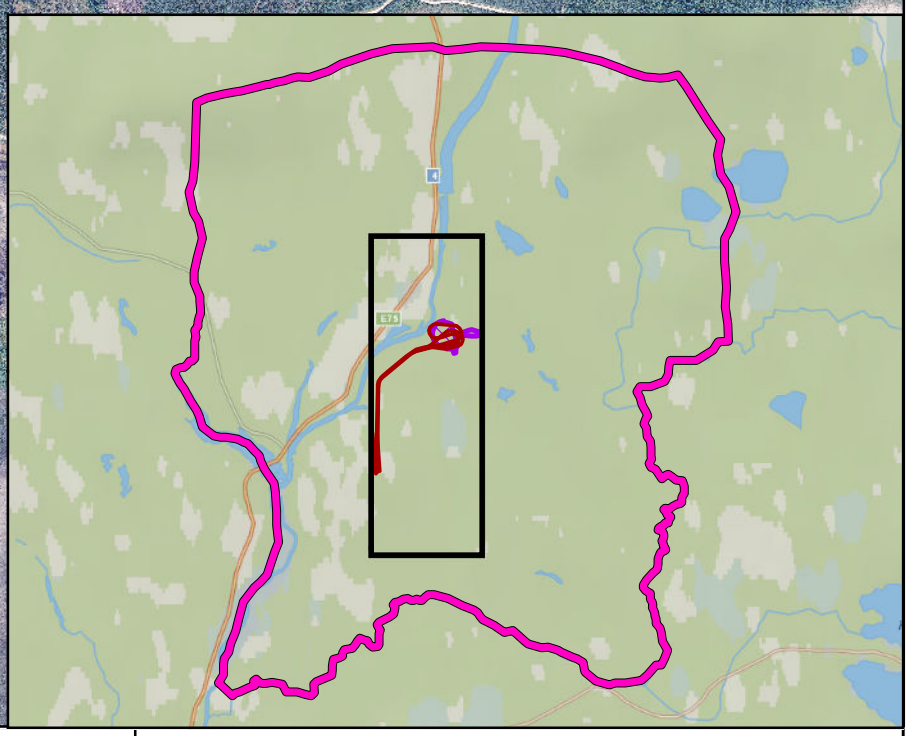
FIGURE NO. 3-10

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\EHC_1.mxd

-100 - -200 m mpy

-200 - -300 m mpy

1E-008
1E-006
1E-007
1E-008



Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Maanalaisen kaivoksen alue
- Vesihävikkikoe
- Vinotunnelin 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

0 490 980 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

-300 - -400 m mpy

-400 - -500 m mpy

1E-006

1E-007

1E-005

1E-008

1E-007

Legend

- Vesihävikkikoe
- Vinotunnelin alue
- Maanalaisen kaivoksen alue
- Hydrologinen tutkimusalue

Vedenjohtavuus (m/s)

- <1E-008
- 1E-008 - 1E-007
- 1E-007 - 1E-006
- 1E-006 - 1E-005
- >1E-005

N

0 490 980 Metriä

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	EHC_3
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Feb. 10, 2023

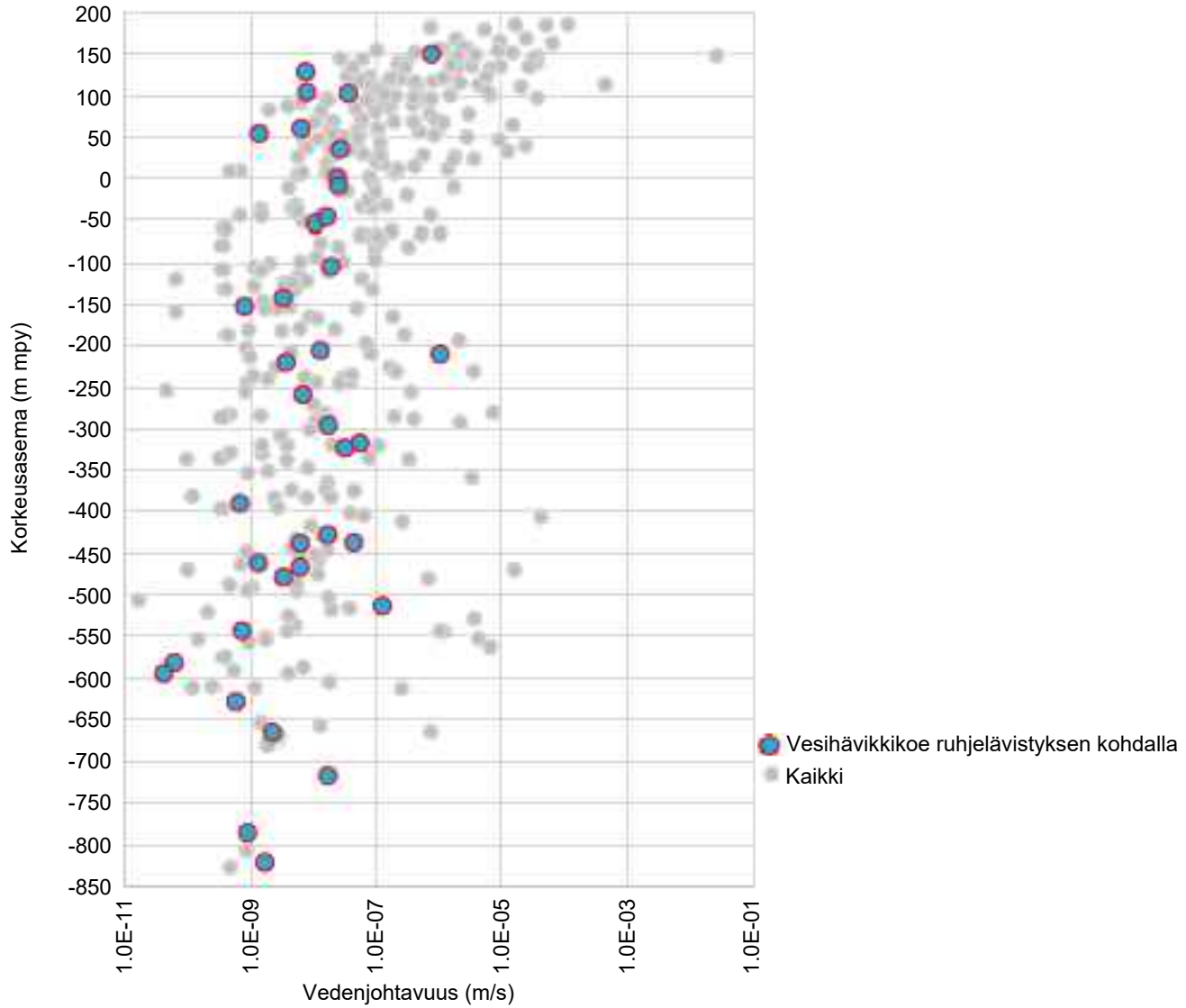
ITASCA™ Denver, Inc.

Vesihävikkikokeilla mitatut vedenjohtavuudet tasoilla -300...-400 m mpy ja -400...-500 m mpy

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-12

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\EHC_3.mxd



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

ITASCA™ Denver, Inc.

Ruhjeista vesihävikkikokeilla 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

ITASCA™ Denver, Inc.

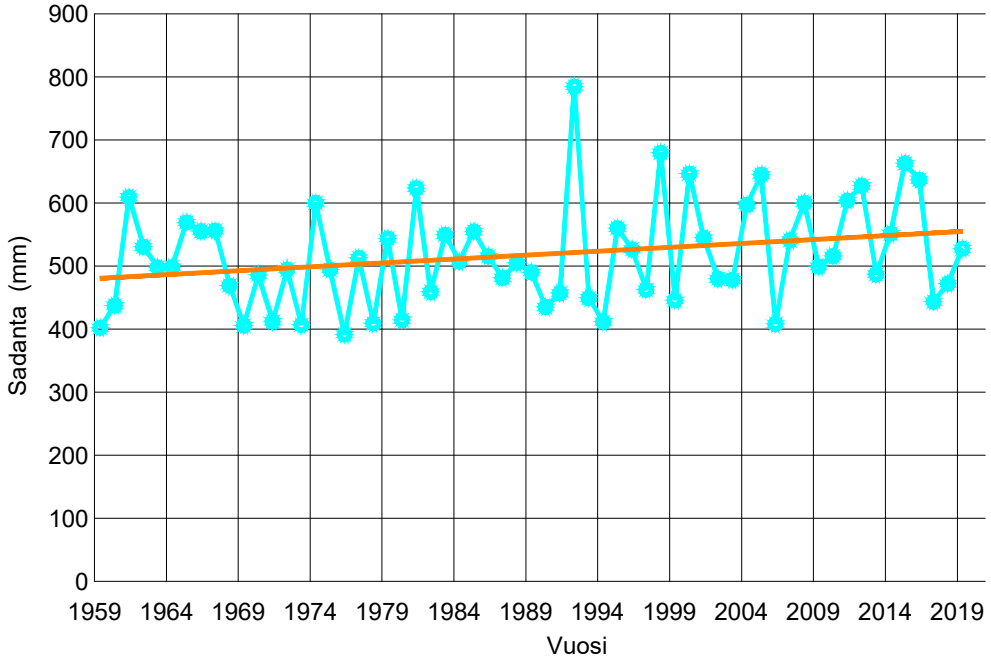
Meteorologisten ja hydrologisten mittausasemien sijainti

CLIENT: Sakatti Mine

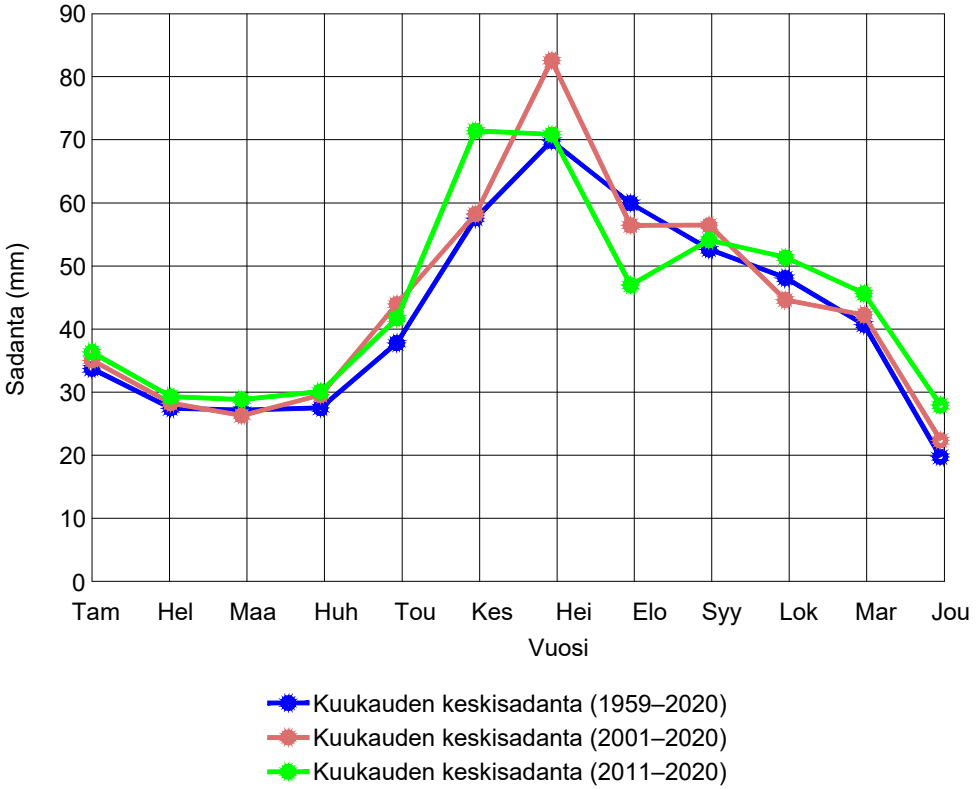
FIGURE NO. 3-14

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

a) Mitattu vuotuinen sadanta



b) Kuukauden keskisadanta



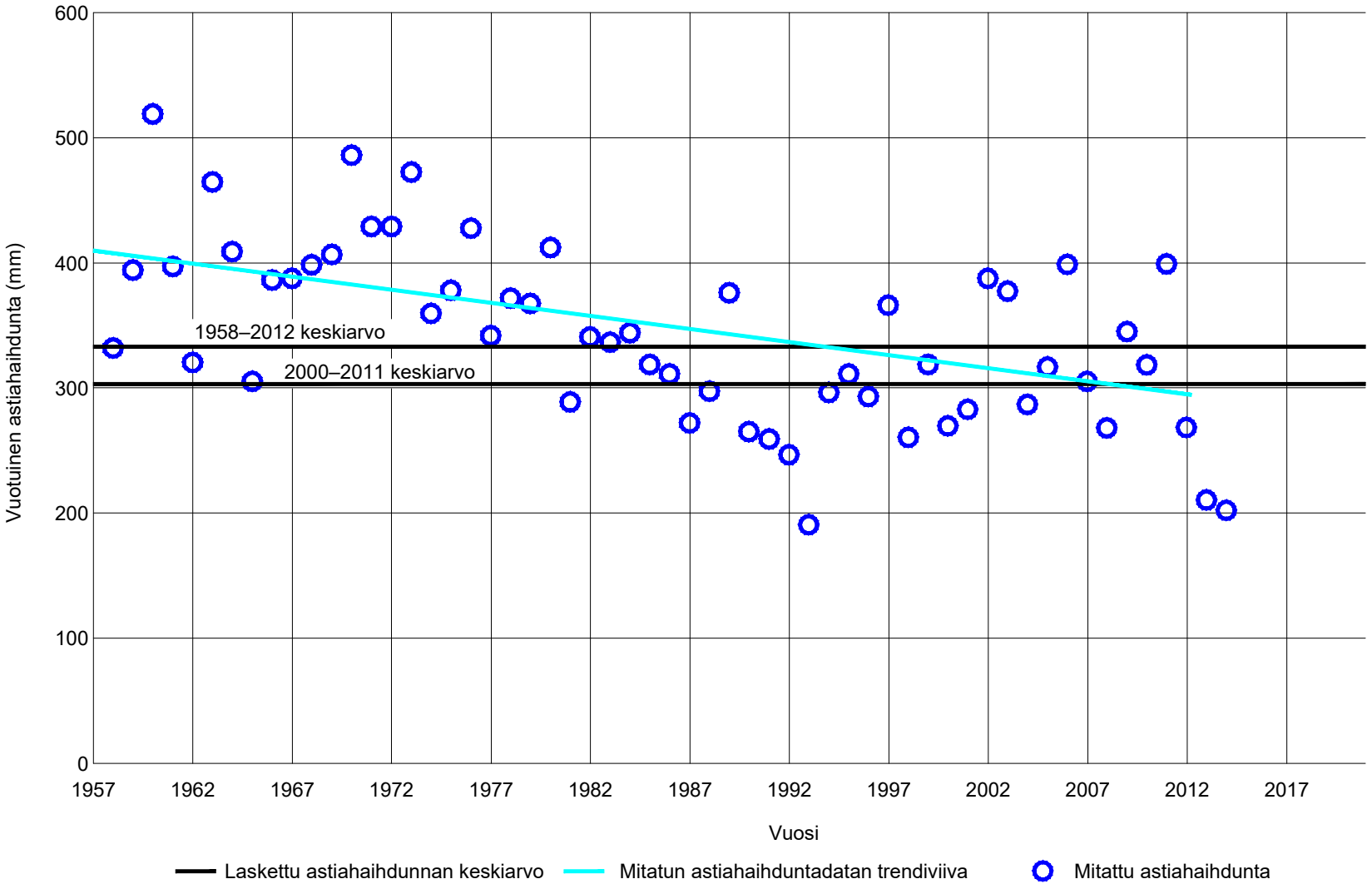
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRECIP
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Mitatut vuotuiset ja kuukausittaiset sademäärät Sodankylän Tähtelän sääasemalla

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-15



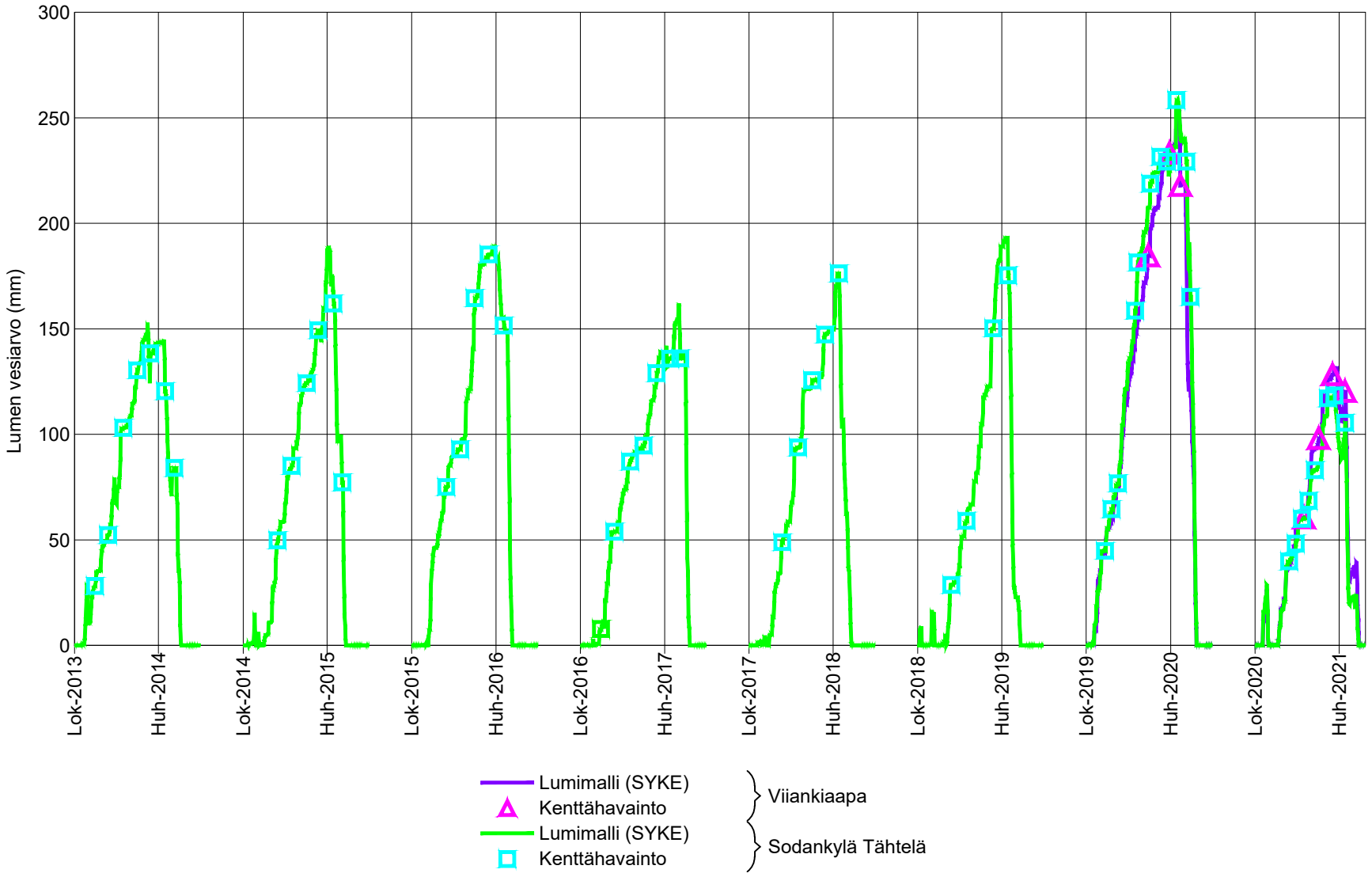
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PAN
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

Mitatut pannuhaihdunta-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

ITASCA™ Denver, Inc.

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

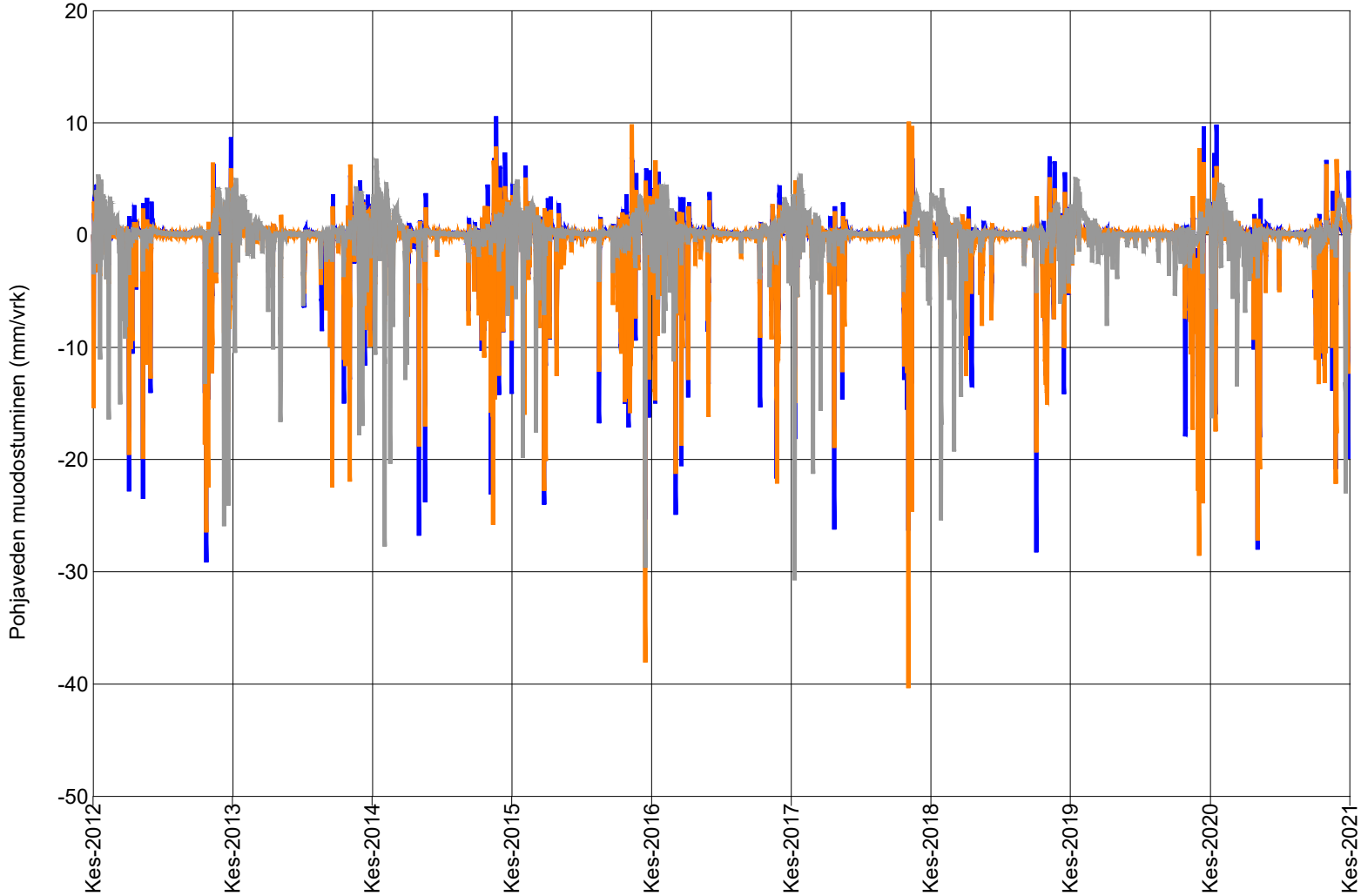
ITASCA™ Denver, Inc.

MIKE SHE -mallin ja hydrologisen tutkimusalueen rajautuminen

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-18

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



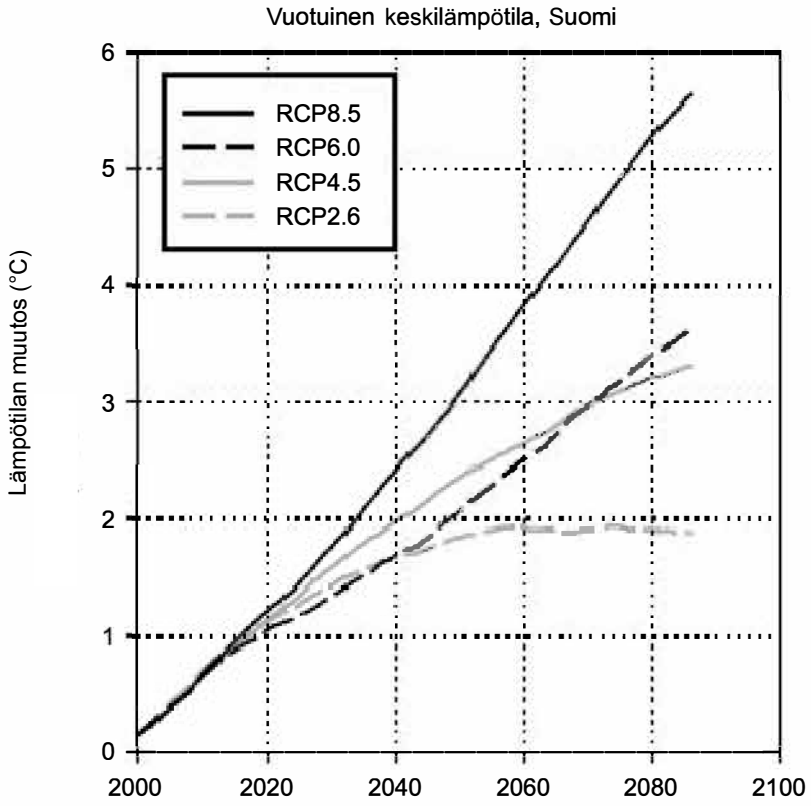
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECHARGE
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022

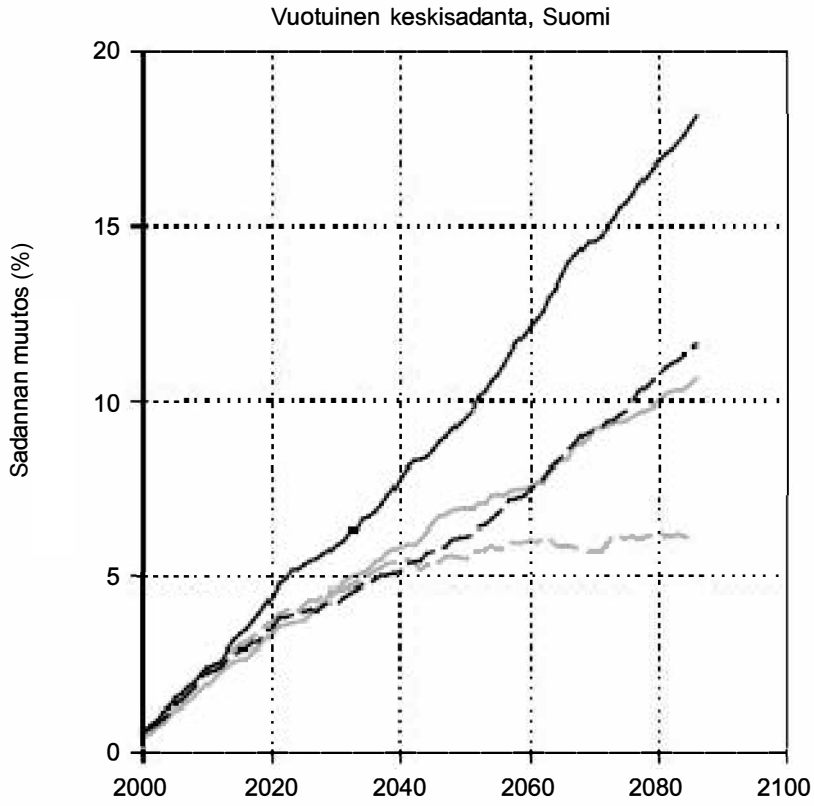
ITASCA™ Denver, Inc.

Pohjaveden arvioidut muodostumismäärät MIKE SHE –mallin mukaan

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-19





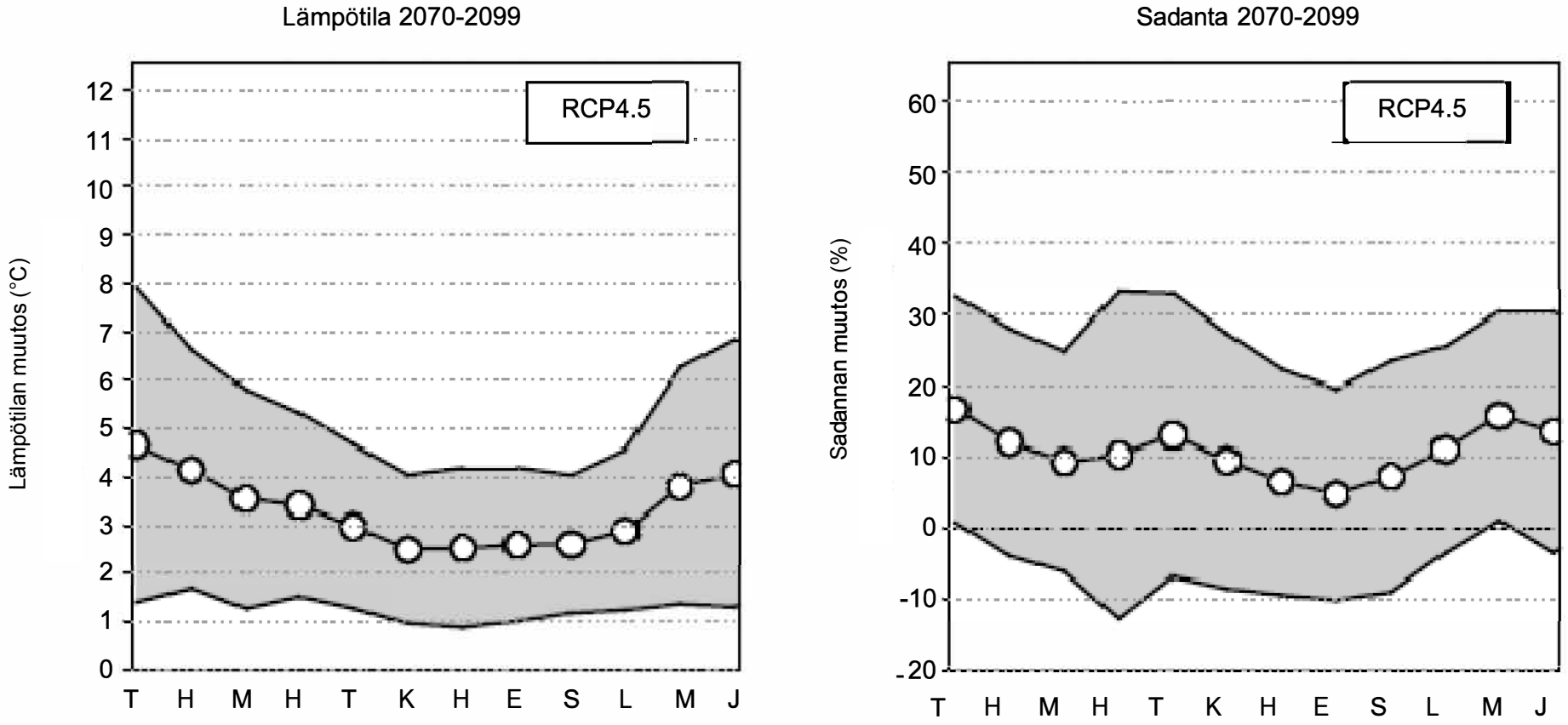
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	FUTURE
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Lämpötila ja sadanta Suomessa eri kasvihuonekaasuskenaarioissa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-20



Lähde: Ruosteenoja ym. 2016

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

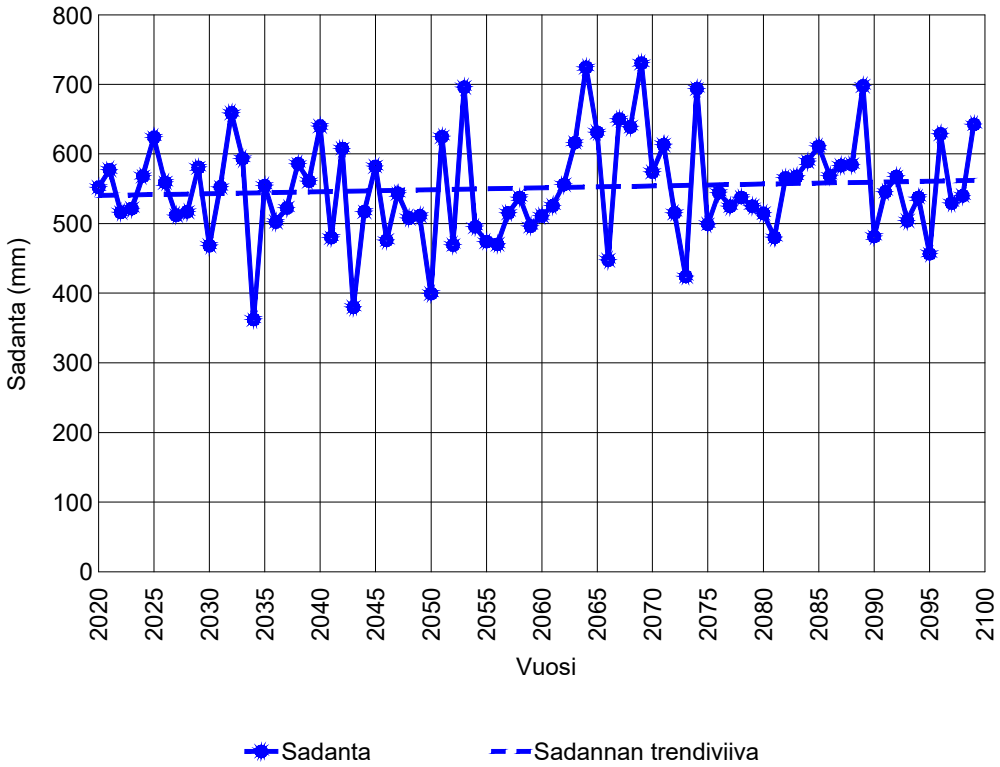
ITASCA™ Denver, Inc.

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

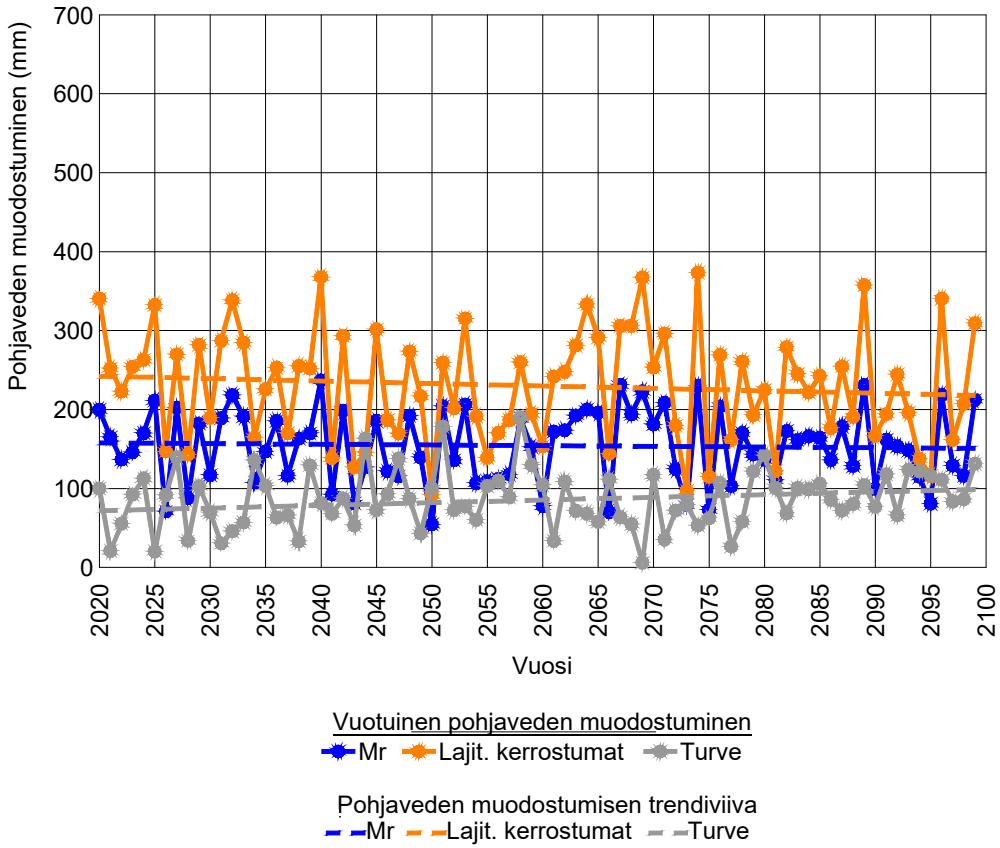
CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-21

a) Ennustettu tulevaisuuden vuosittainen sadanta



b) Tulevaisuuden mallinnettu vuosittainen pohjaveden muodostuminen



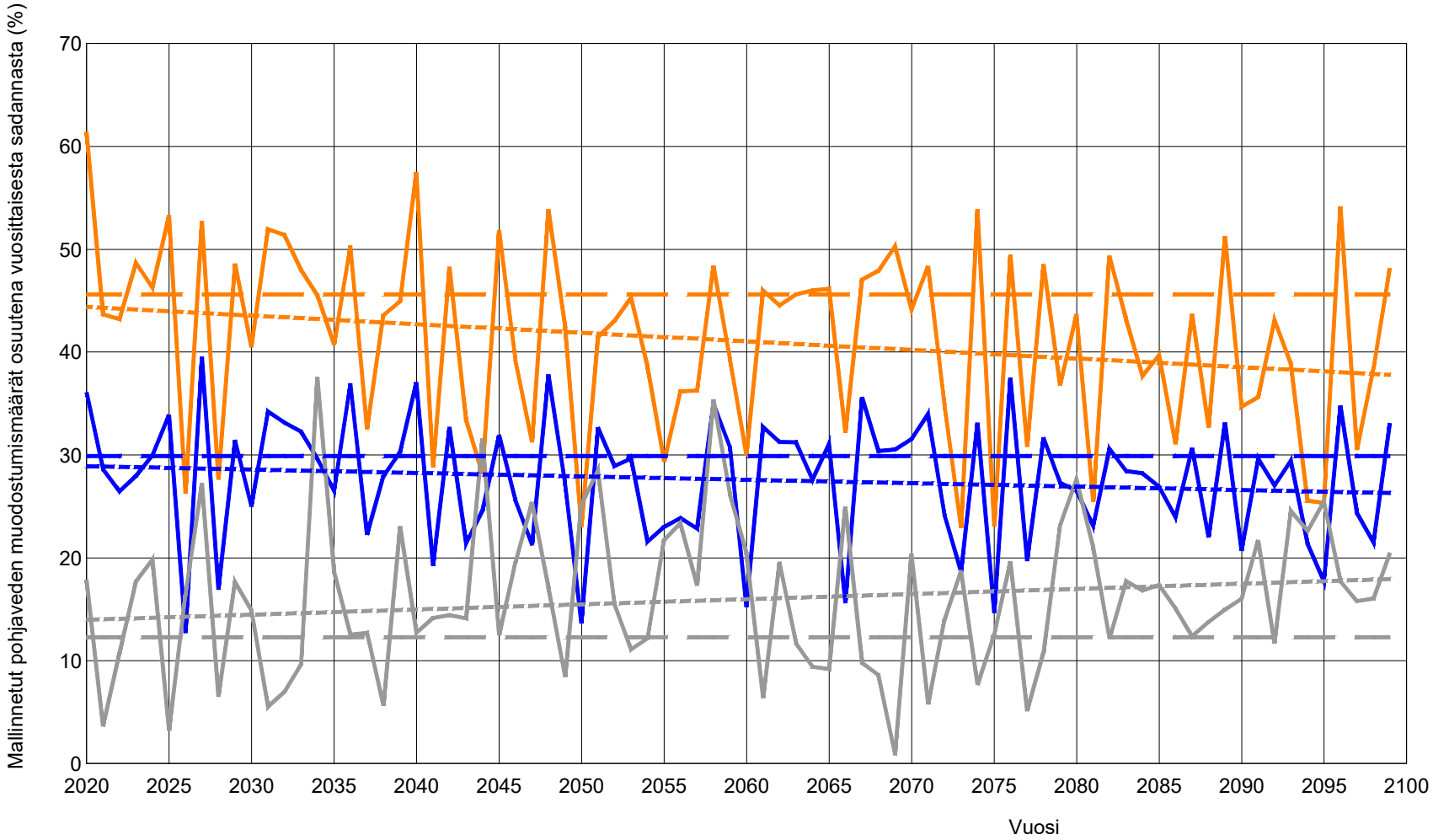
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	ANNUAL
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

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)

Mr — Lajitt. kerrostumat — Turve

Lineaarinen trendiviiva tulevaisuuden pohjaveden muodostumiselle

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

ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustetut pohjaveden muodostumismäärät prosenttina vuotuisesta sadannasta

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-23

Hiivanahaara

Ylijoki

Kelujoki

Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Maanalaisen kaivoksen alue
- Vinotunnelin alue
- Viiankiaavan Natura 2000 -alue
- Joki
- Kitinen
- Järvet
- Lammikot
- Pintaveden virtaussuunnat
- Maanpinnan korkeuskäyrä (2 m)

Virtavesien seuranta-asemat

- Virtaama
- Virtaama ja vedenpinnan korkeus
- Vedenpinnan korkeus

Kartoitetut lähteet

- Alueellisesti kartoitetut (Maanmittauslaitos)
- Pohjavesiriippuvaiset lajit
- Pohjaveden purkautuminen

N

0 1,250 2,500 Metriä

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

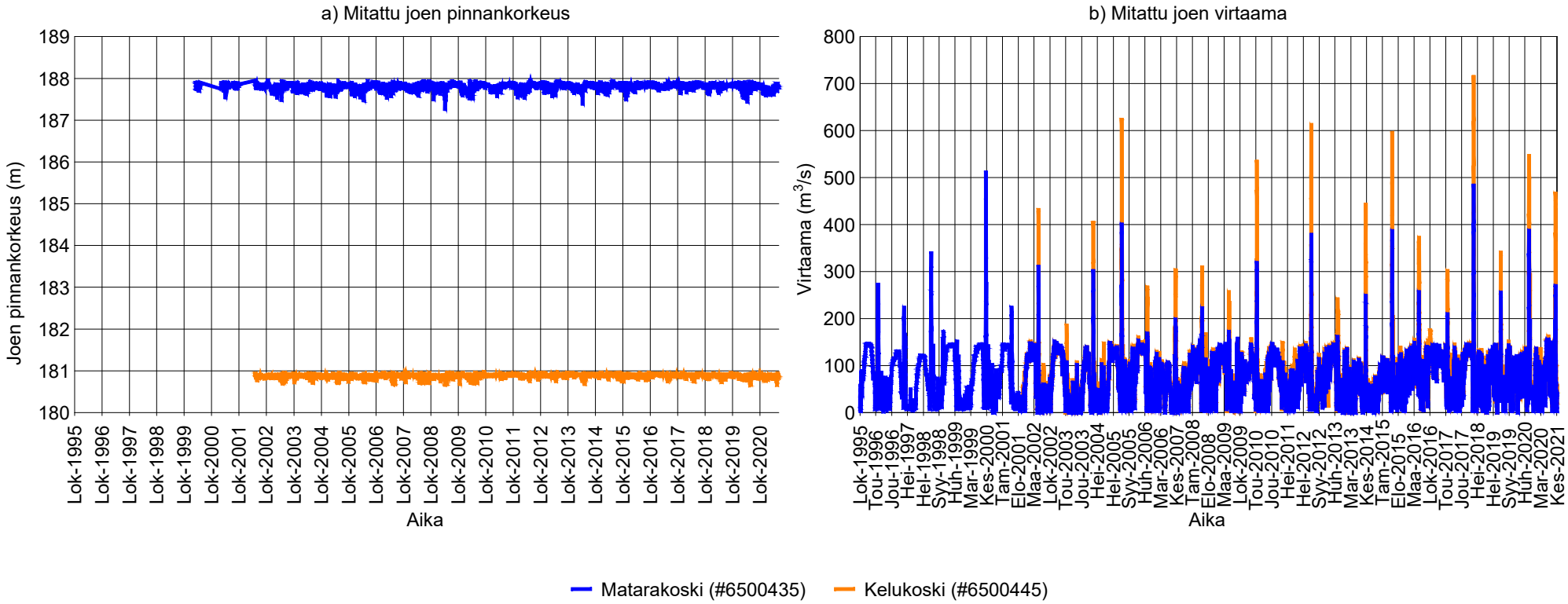
ITASCA™ Denver, Inc.

Vesistöt hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-24

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



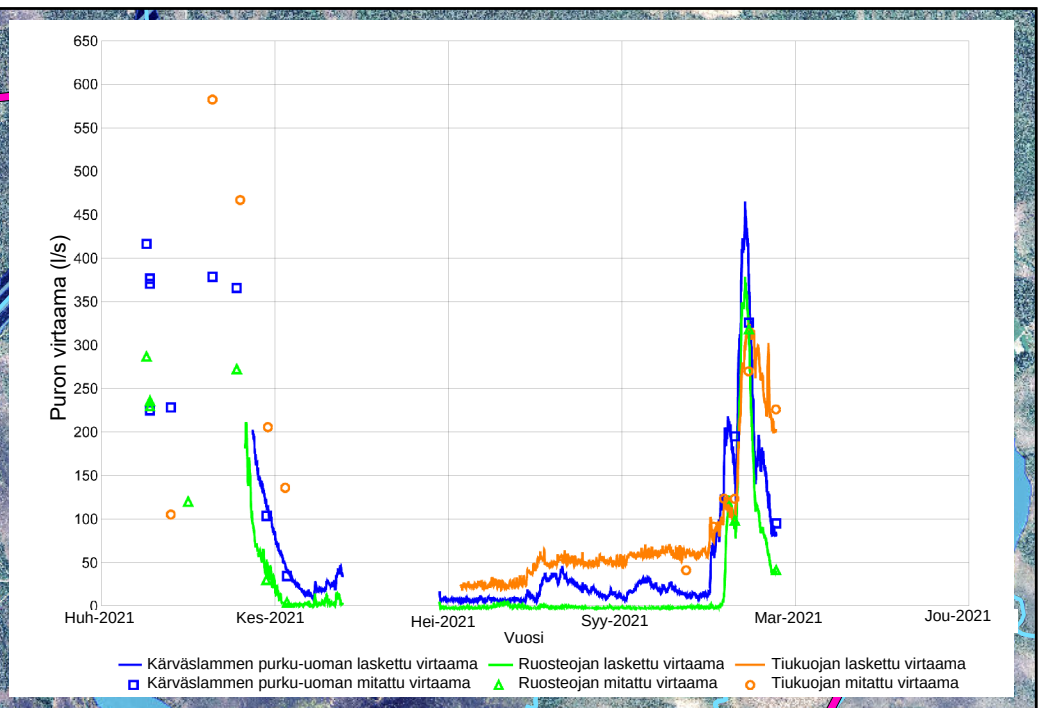
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RIVER
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Kitisen mitatut joen pinnankorkeudet ja virtaamat

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-25



Tiukuoja

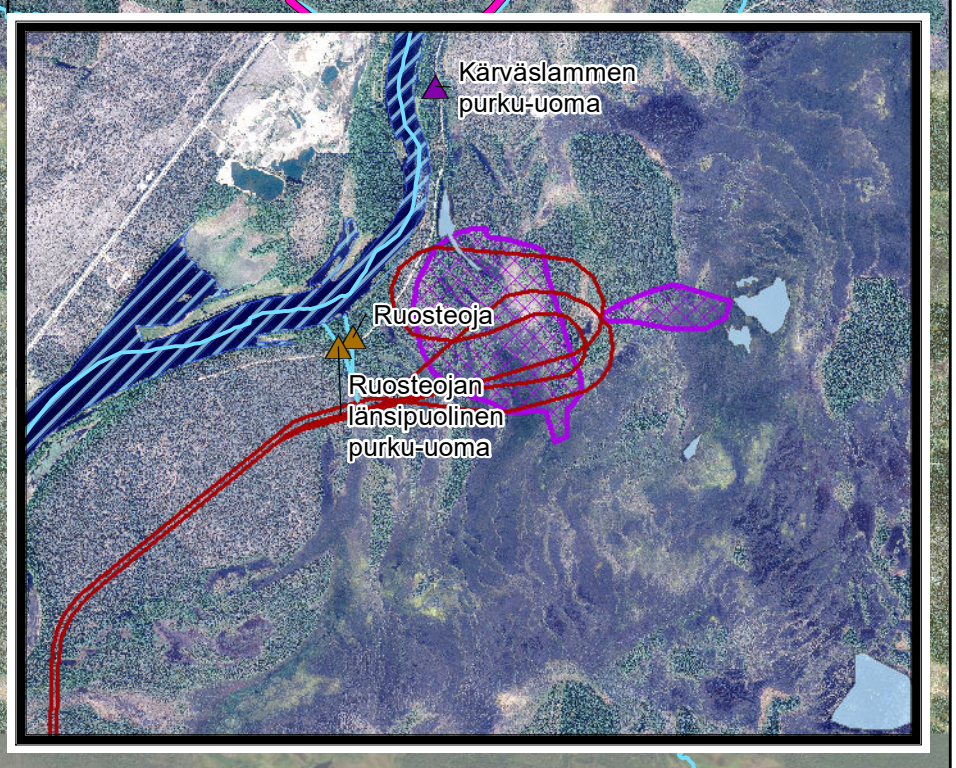
Matarakoski

Kärväslammen purku-uoma

Ruosteoja

Sakattioja

Kelukoski



Selite

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

Virtavesien seuranta-asemat

- Virtaama
- Virtaama ja pinnankorkeus

N

0 1,250 2,500 Metriä

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

ITASCA™ Denver, Inc.

Purojen ja ojien mitatut ja lasketut virtaamat maanalaisen kaivoksen alueella

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-26

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

17HYD012
17HYD007
17HYD002
17HYD004
17HYD015
17HYD019
17HYD020
17HYD021
17HYD022
17HYD018
17HYD016
17HYD006
17HYD008
17HYD009
17HYD010
17HYD014
20MOS8247
21HYD047
18MOS8232
21KUU026
21HYD046
21KUU027
21KUU028
20KUU025
17HYD005
19KUU017
20KUU024
18KUU001
19KUU019
18HYD030
19KUU023
20GT030
19KUU022
19KUU015
19KUU020
18KUU003
19KUU021
18HYD028
20GT031
20HYD044
19KUU005
18KUU002
18HYD033
20HYD045
20GT038
20GT028
20GT037
18HYD027
18HYD025
17HYD001
18HYD026
17HYD003
20GT036
20GT032A

Selite

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

Pohjavesikaivo

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

GA200
20HYD041
20HYD042
20HYD043
17HYD017
17HYD013
GA201
GA400
18MOS8205
18MOS8207
13MOS8120
11MOS8049
20MOS8249
18MOS8228
18HYD024
21HYD048
GA203
GA305
GA300
GA405
13MOS8125
20MOS8248
18HYD036
18HYD035
GA202
17MOS8193
18HYD037
GA401
GA101
17HYD023B
17MOS8198
GA402
GA103
GA302
GA102
GA301
GA205
GA404
GA304
GA403
GA303
GA204
GA104
18HYD040
18MOS8229
18HYD039
18HYD038
20MOS8246
21MOS8264

N

0 1,250 2,500 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.

Pohjavesikaivot hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-27

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

17HYD012
17HYD007
17HYD002
17HYD004
17HYD015
17HYD019
17HYD020
17HYD021
17HYD022
17HYD018
17HYD016
17HYD006
17HYD008
17HYD009
17HYD010
17HYD014
20MOS8247
21HYD047
18MOS8232
21HYD046
21KUU026
21KUU027
21KUU028
20KUU025
17HYD005
19KUU017
20KUU024
18KUU001
19KUU019
18HYD030
19KUU023
20GT030
19KUU022
19KUU015
19KUU020
18KUU003
18HYD028
19KUU021
20GT031
19KUU005
18KUU002
20HYD044
18HYD033
20HYD045
20GT038
20GT028
20GT037
18HYD027
18HYD025
17HYD001
18HYD026
17HYD003
20GT036
20GT032A

GA200
20HYD041
20HYD042
20HYD043
17HYD017
17HYD013
GA201
GA400
18MOS8205
18MOS8207
13MOS8120
11MOS8049
20MOS8249
18MOS8228
18HYD024
21HYD048
GA203
GA305
GA300
GA405
13MOS8125
20MOS8248
18HYD036
18HYD035
GA202
17MOS8193
18HYD037
GA401
GA101
17HYD023B
17MOS8198
GA402
GA302
GA103
GA102
GA301
GA205
GA404
GA304
GA403
GA303
GA204
GA104
18HYD040
18MOS8229
18HYD039
18HYD038
20MOS8246
21MOS8264

Selite

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

Pohjavesikaivo hydrologisen yksikön mukaan

- Syvä kallio
- Turve
- Kivennäismaalajit
- Ylempi kallio

N

0 1,250 2,500 Metriä

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

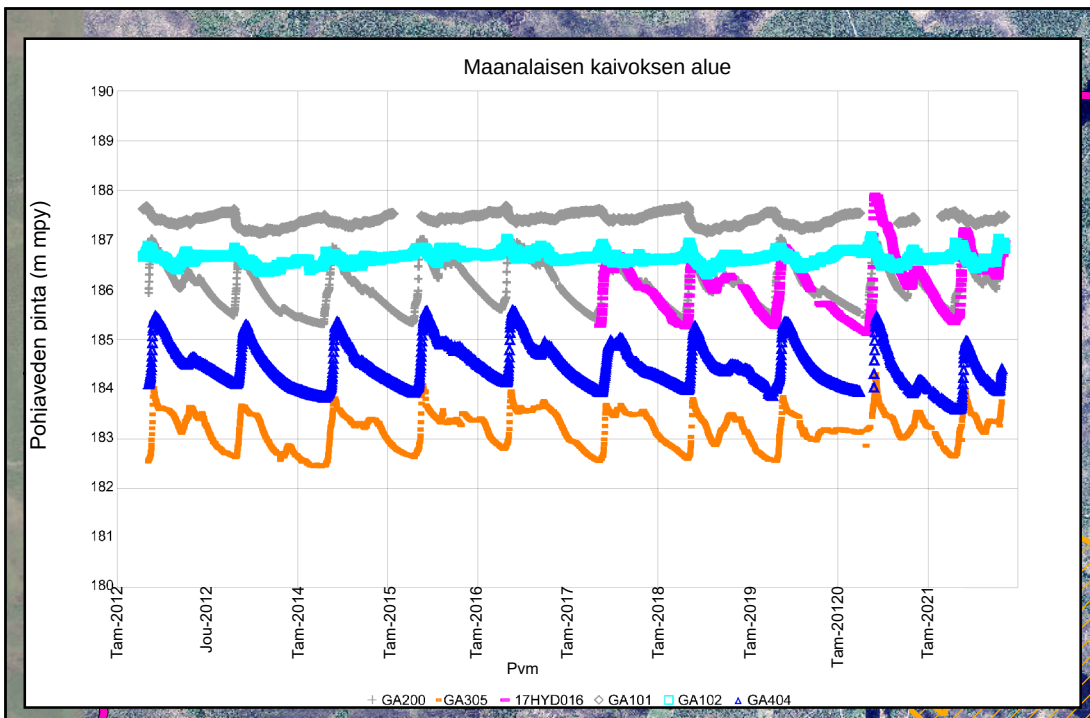
ITASCA™ Denver, Inc.

Pohjavesikaivot hydrologisella tutkimusalueella jaoteltuna hydrogeologisen yksikön mukaan

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-28

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



17HYD016

GA200

GA305

GA101

GA102

GA404

Selite

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

Pohjavesikaivo hydrologisen yksikön mukaan

- Turve
- Kivennäismaalajit
- Ylempi kallio

N

0 1,250 2,500 Metriä

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

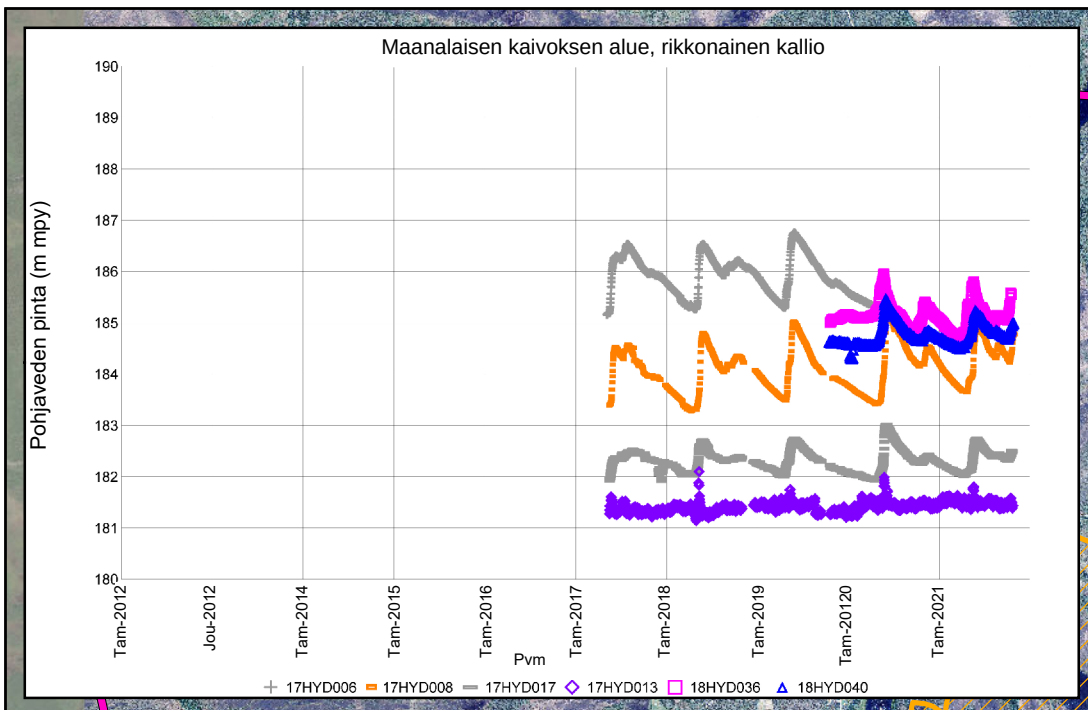
ITASCA™ Denver, Inc.

Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet kaivostoimintojen alueelta

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-29a

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



Selite

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

Pohjavesikaivo hydrologisen yksikön mukaan

- Ylempi kallio

N

0 1,250 2,500 Metriä

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

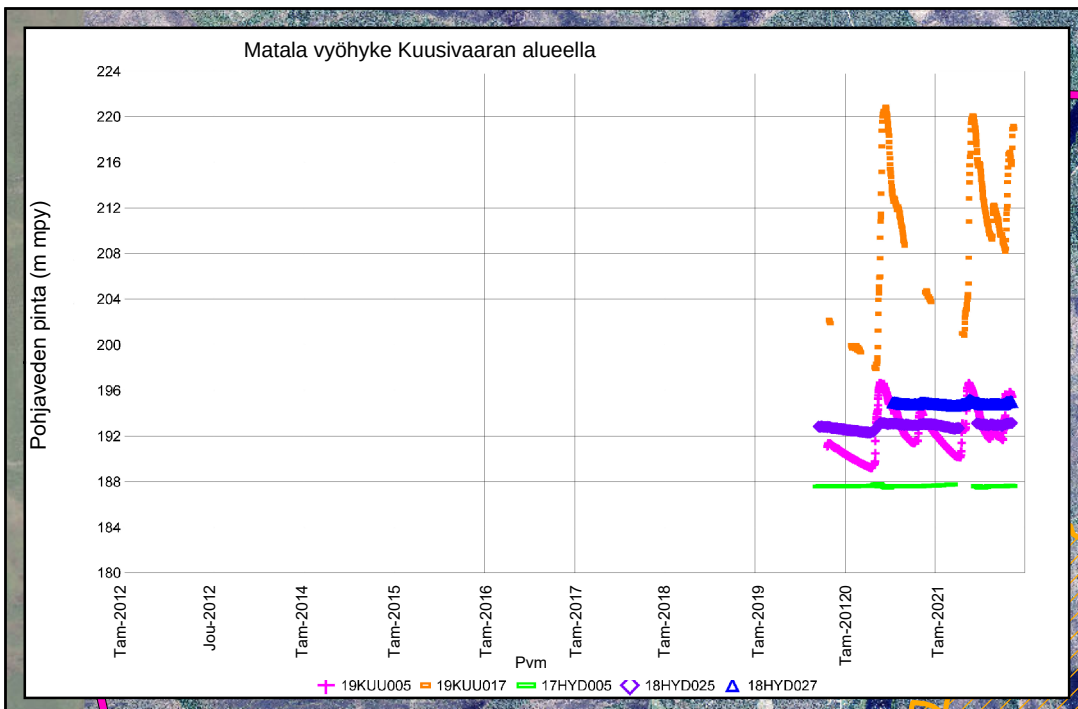
ITASCA™ Denver, Inc.

Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet kaivostoimintojen alueelta

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-29b

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



17HYD005

19KUU017

19KUU005

18HYD027

18HYD025

Selite

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

Pohjavesikaivo hydrologisen yksikön mukaan

- Kivennäismaalajit
- Ylempi kallio

N

0 1,250 2,500 Metriä

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

ITASCA™ Denver, Inc.

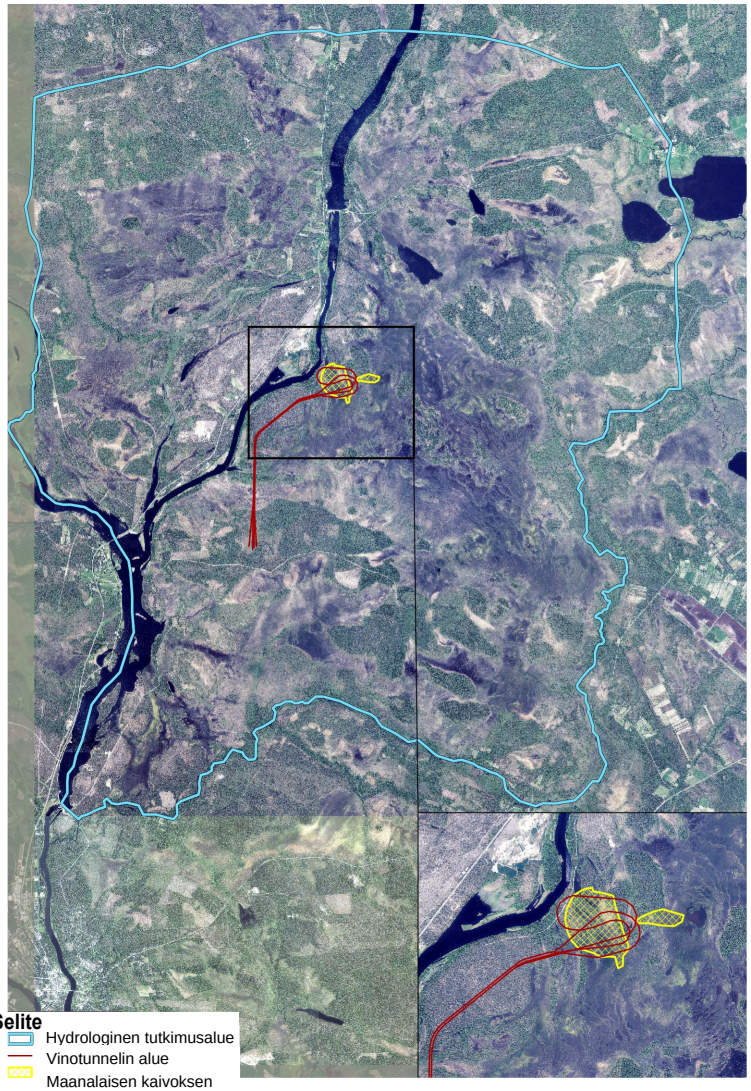
Mitatut pohjaveden pinnankorkeudet kaivostoimintojen alueelta

CLIENT: Sakatti Mine

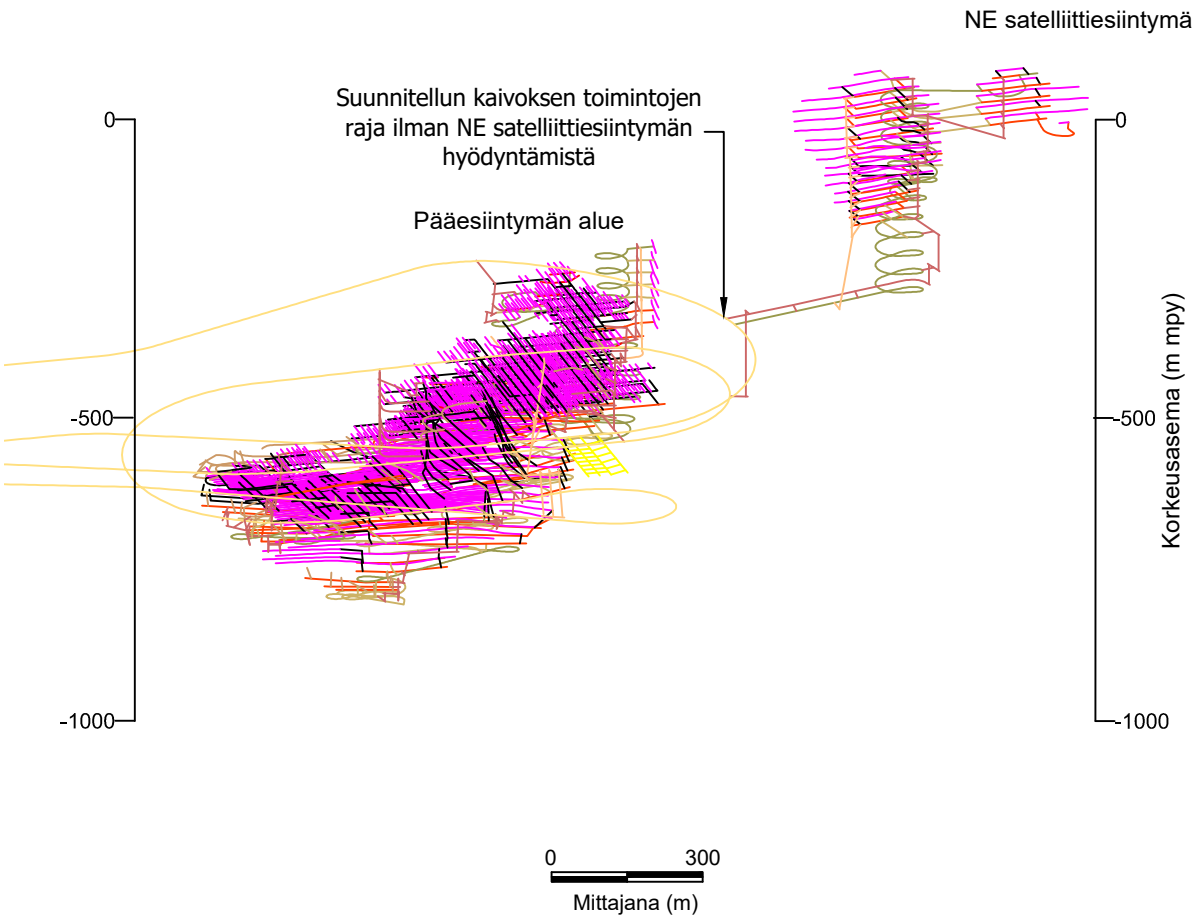
FIGURE NO. 3-29c

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

a) Tasokartta



b) Vinotunneli ja louhintavyöhykkeet



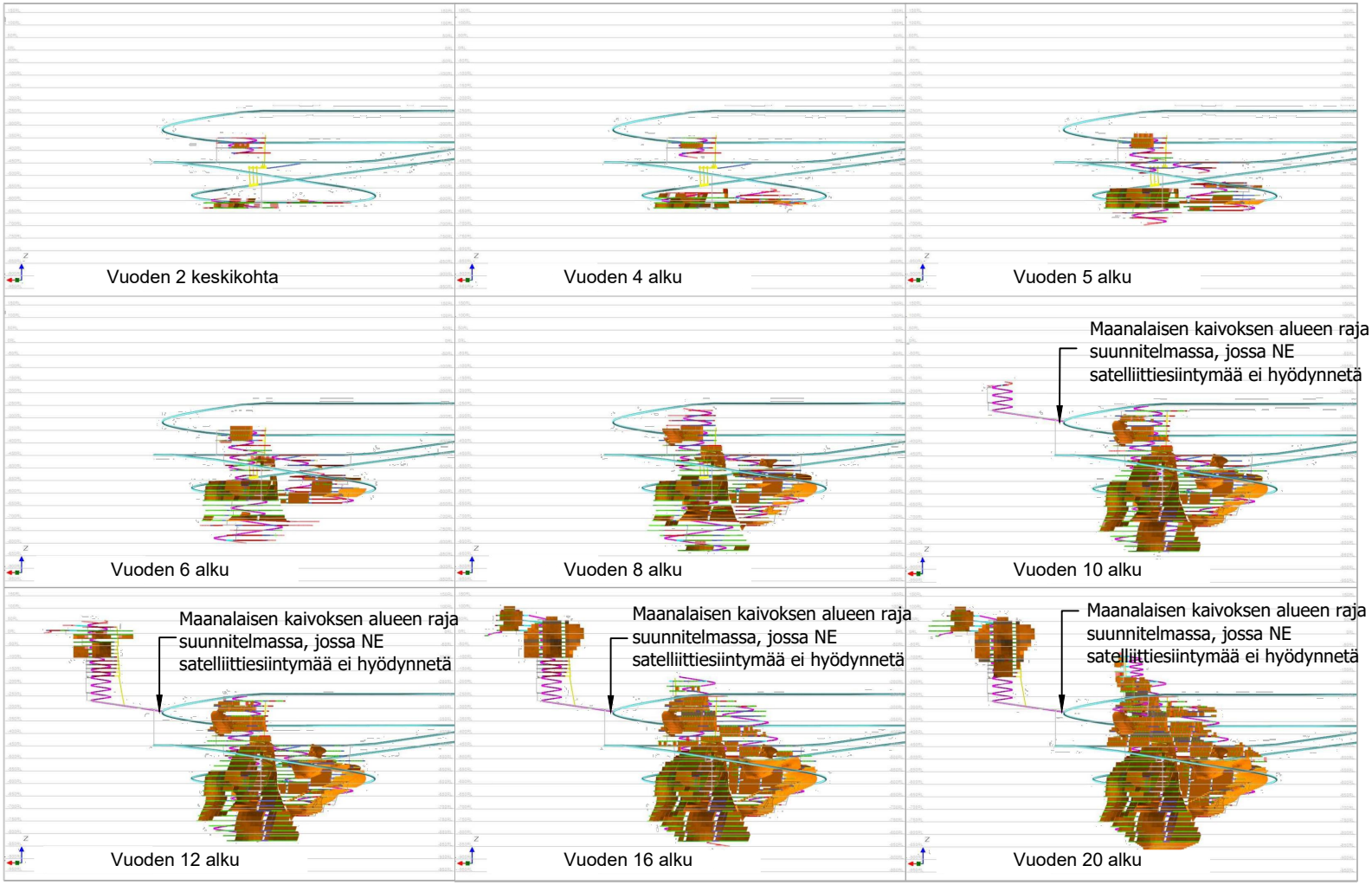
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MINEPLAN
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Maanalaisen kaivoksen poikkileikkauskuva

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-30a



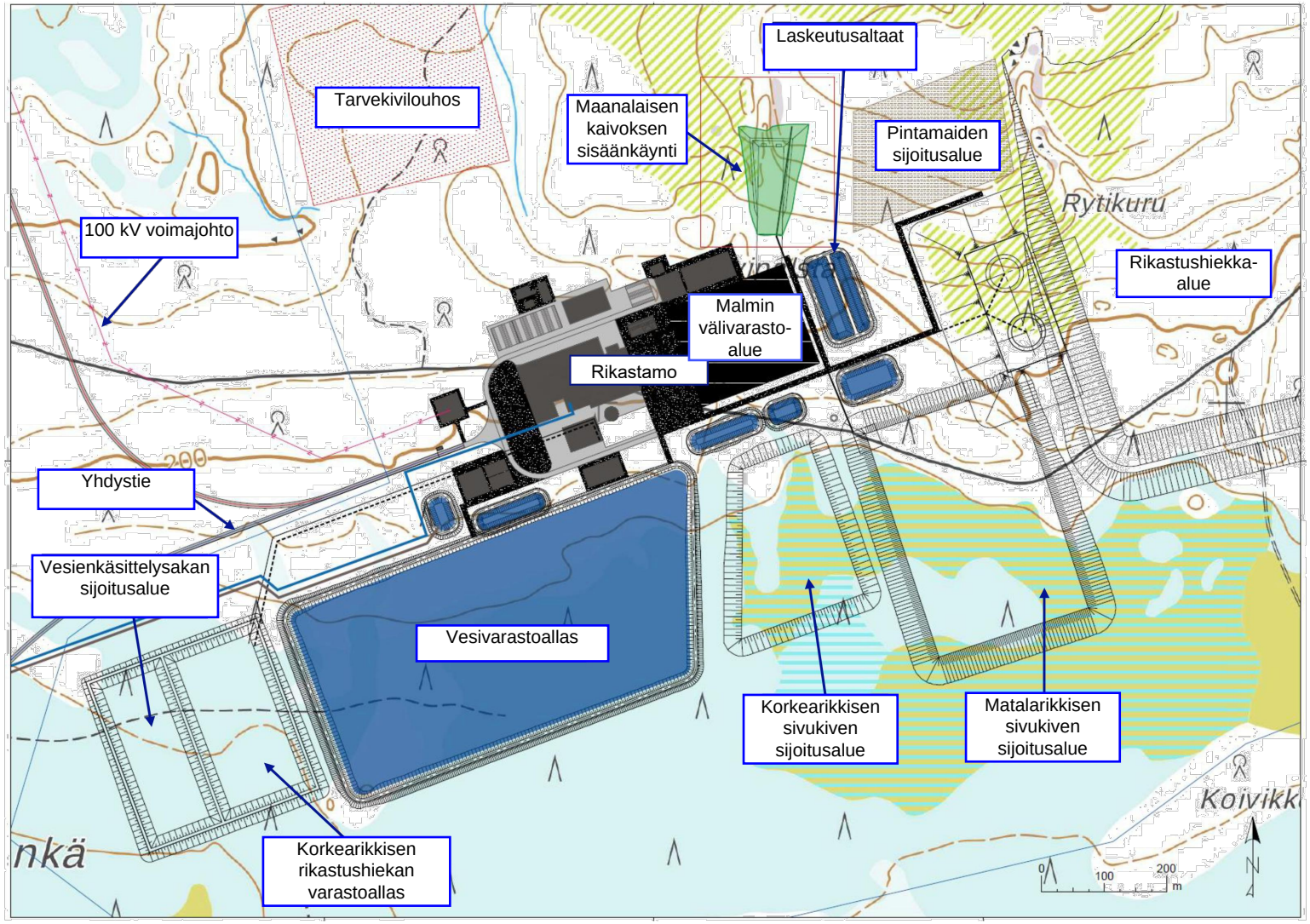
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MINEPLAN
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

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	

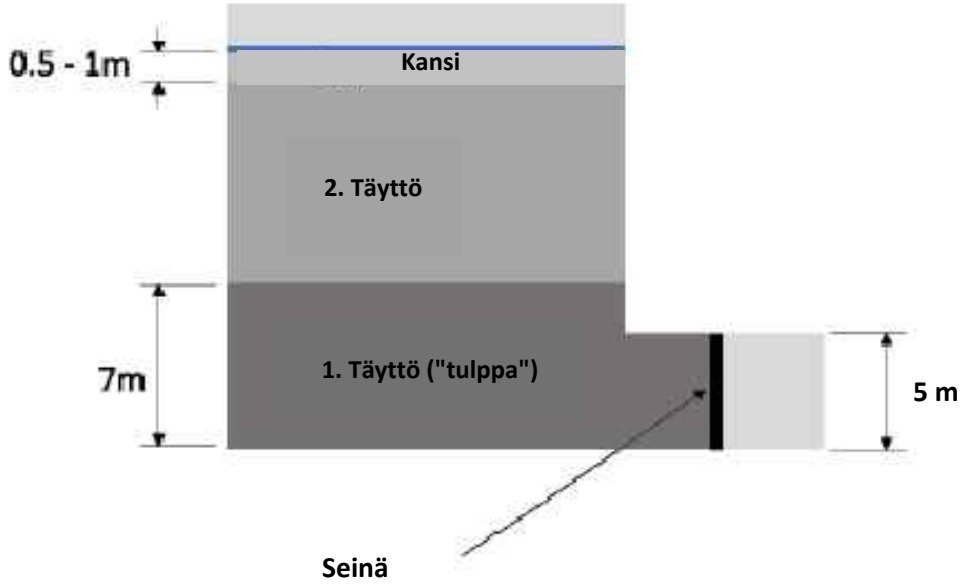
ITASCA™ Denver, Inc.

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	

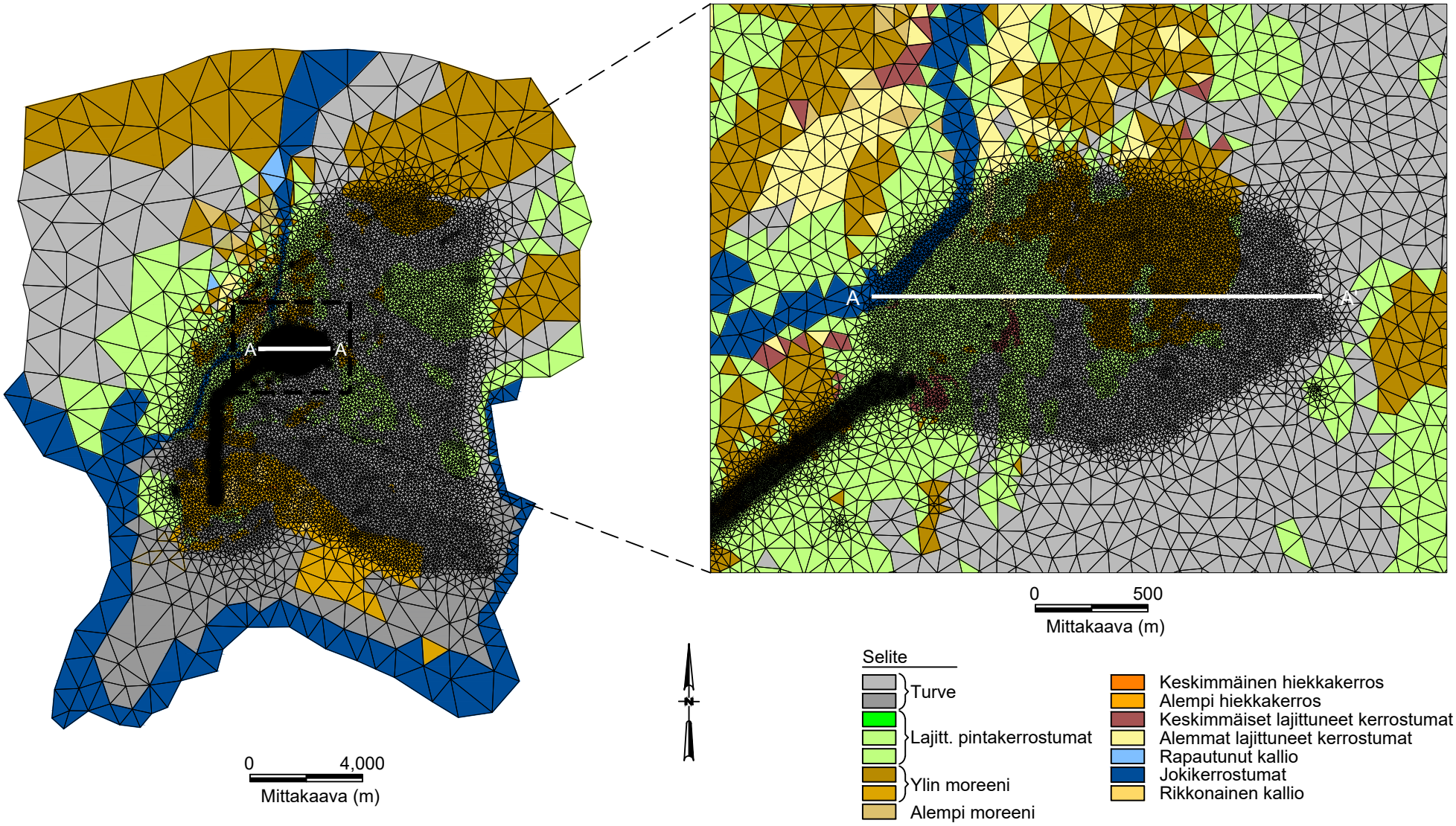
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	BACKFILL
DRAWING DATE	17 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Kaivostäytön havainnekuva ja arvioidut vedenjohtavuudet

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-32



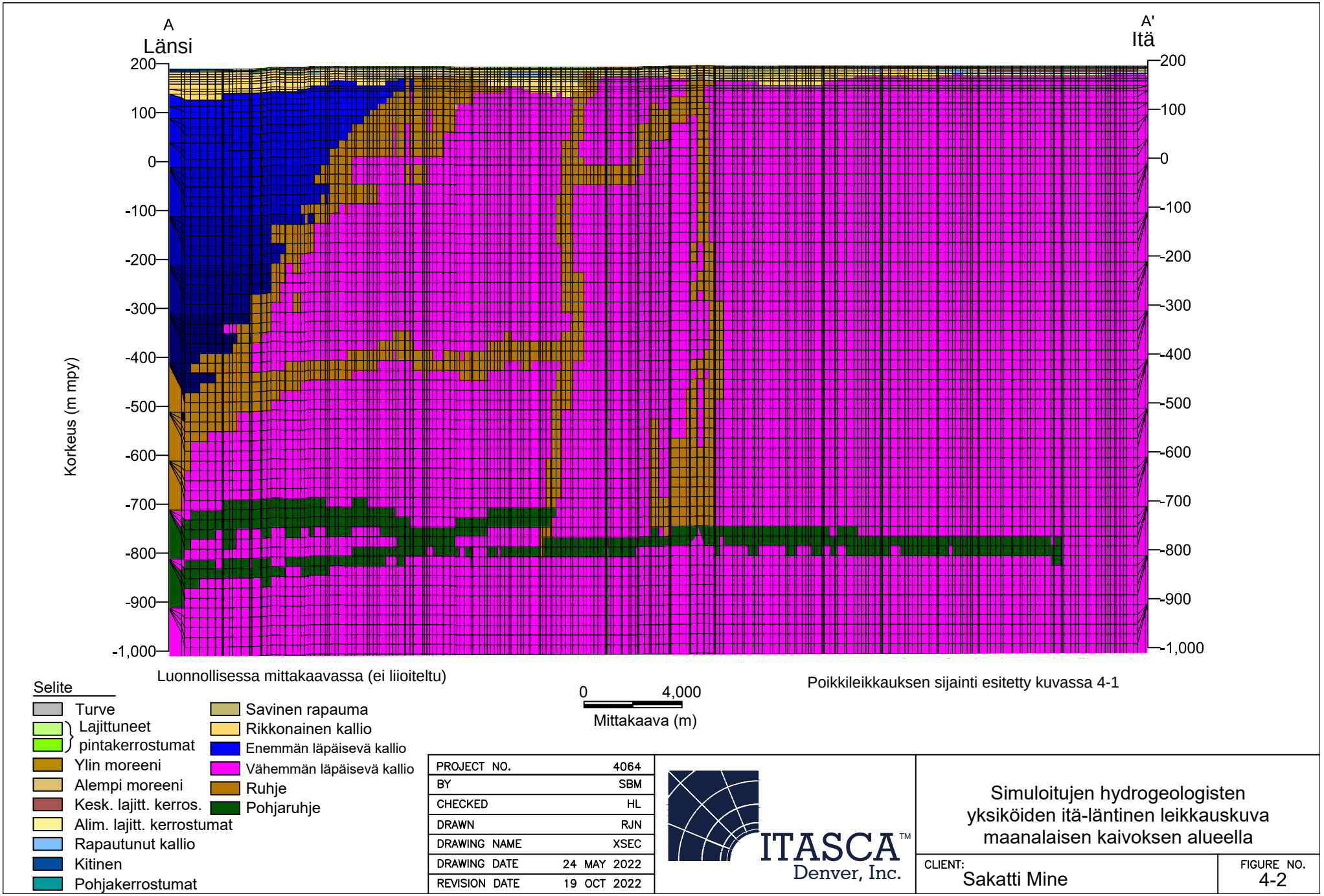
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MODEL
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

Simuloitujen hydrogeologisten yksiköiden tasokuva mallikerroksessa 1

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-1



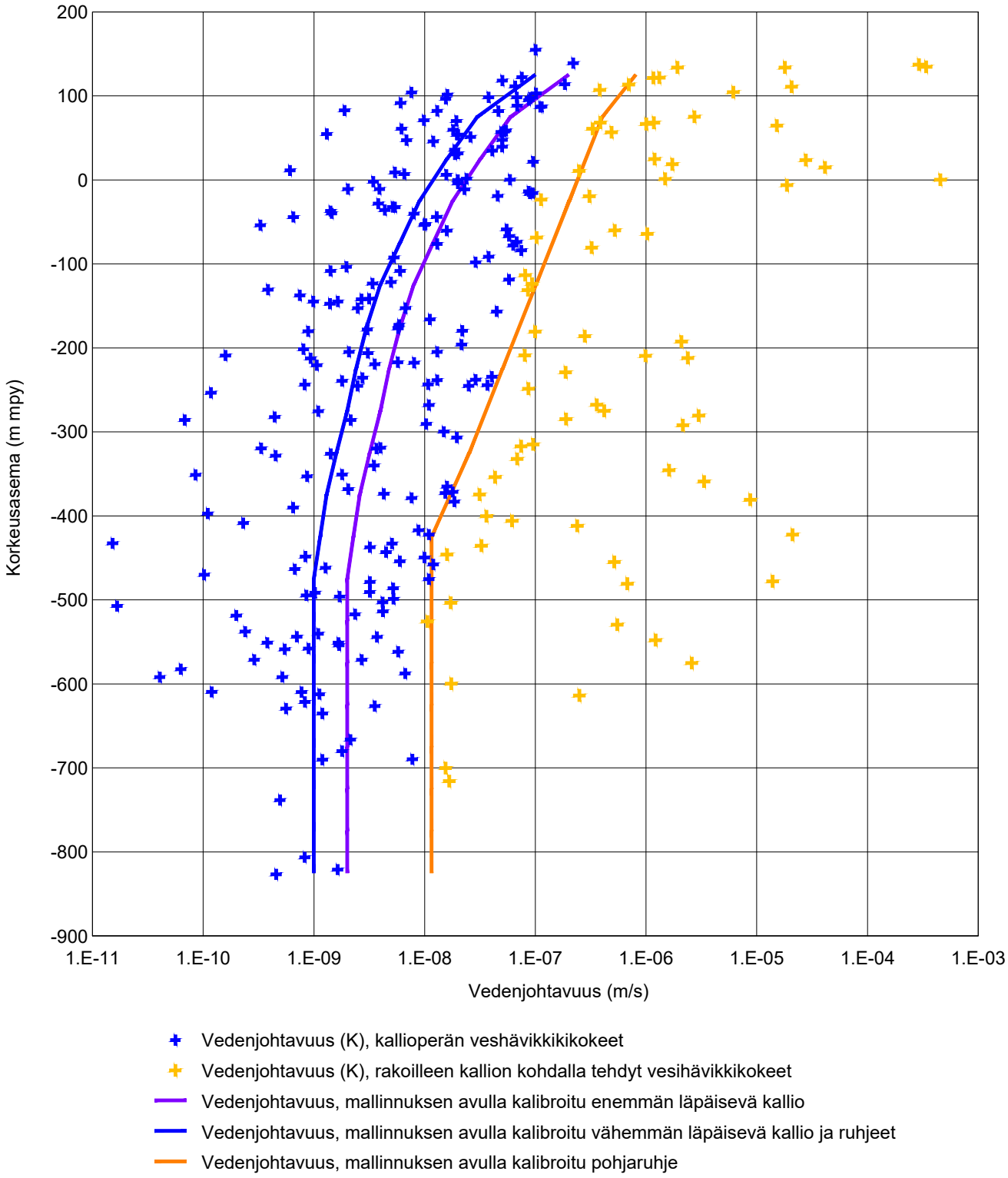
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	XSEC
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

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

ITASCA™ Denver, Inc.

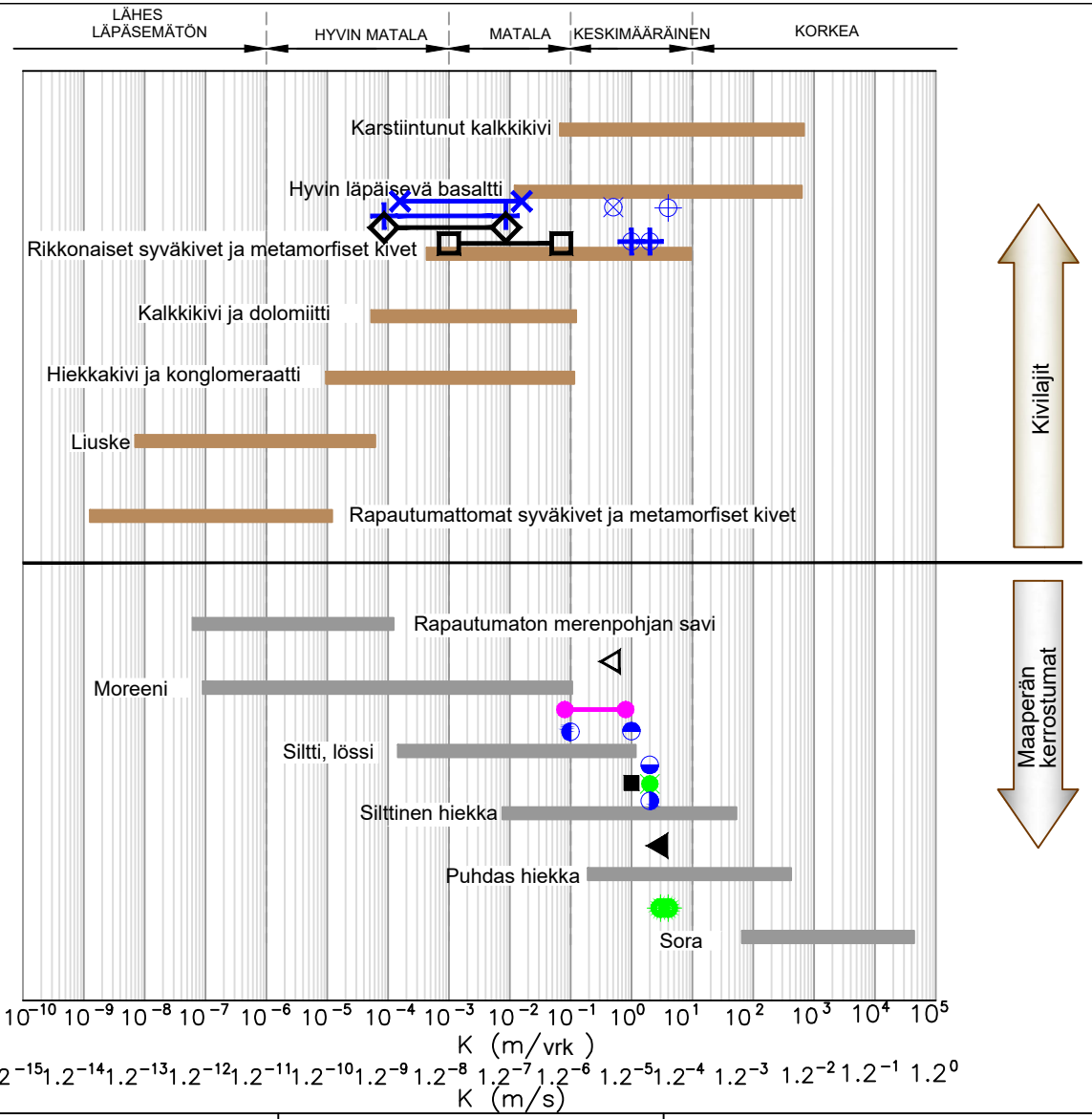
Pohjaveden virtausmallin simuloidut vedenjohtavuudet verrattuna vesihävikkikokeilla mitattuihin vedenjohtavuuksiin

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

ITASCA™ Denver, Inc.

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

0 1,250 2,500 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

Rikkonaisen 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

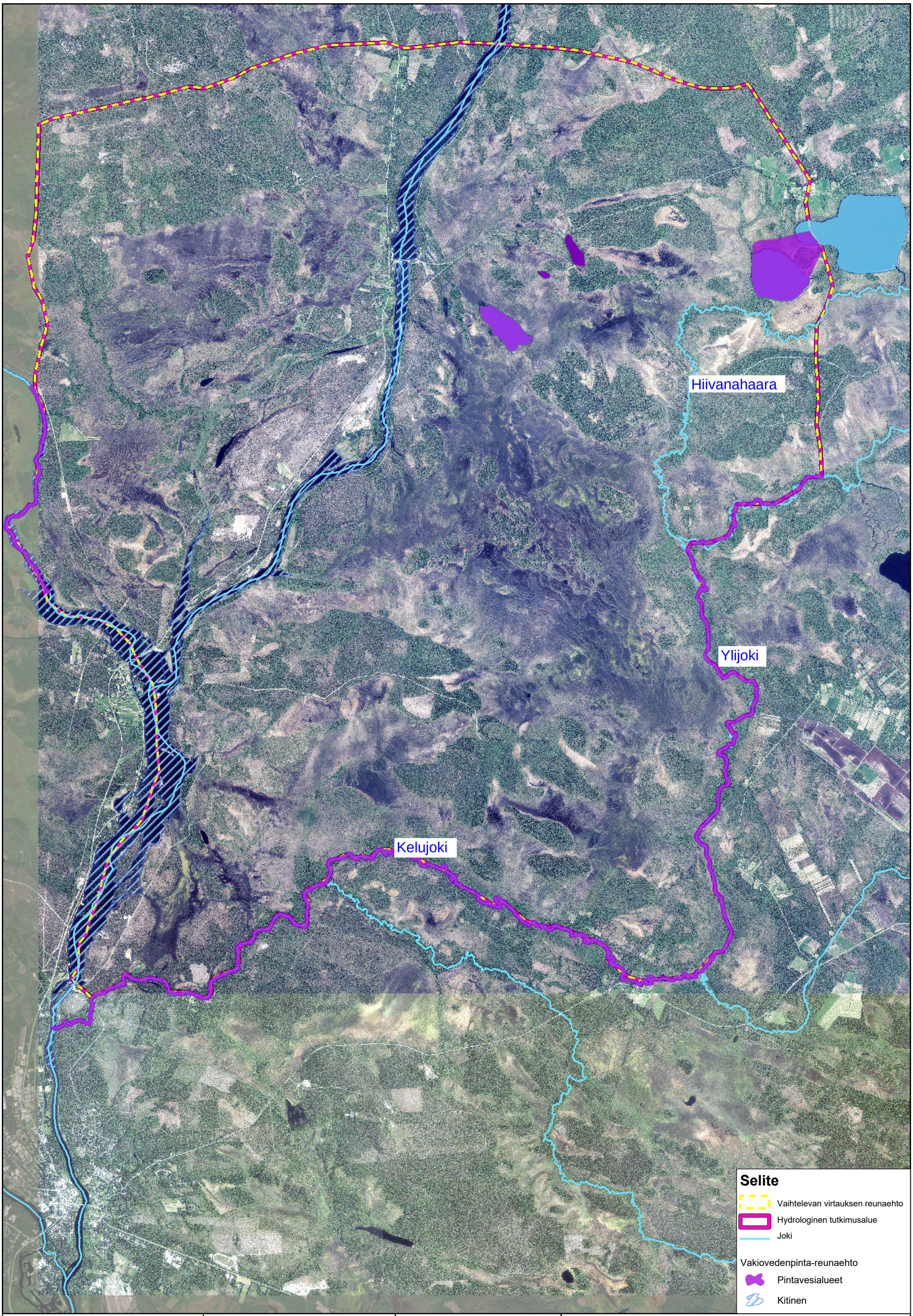
ITASCA™ Denver, Inc.

Rikkonaisten kallioperän yksiköiden alueellinen laajuus

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-6

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



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

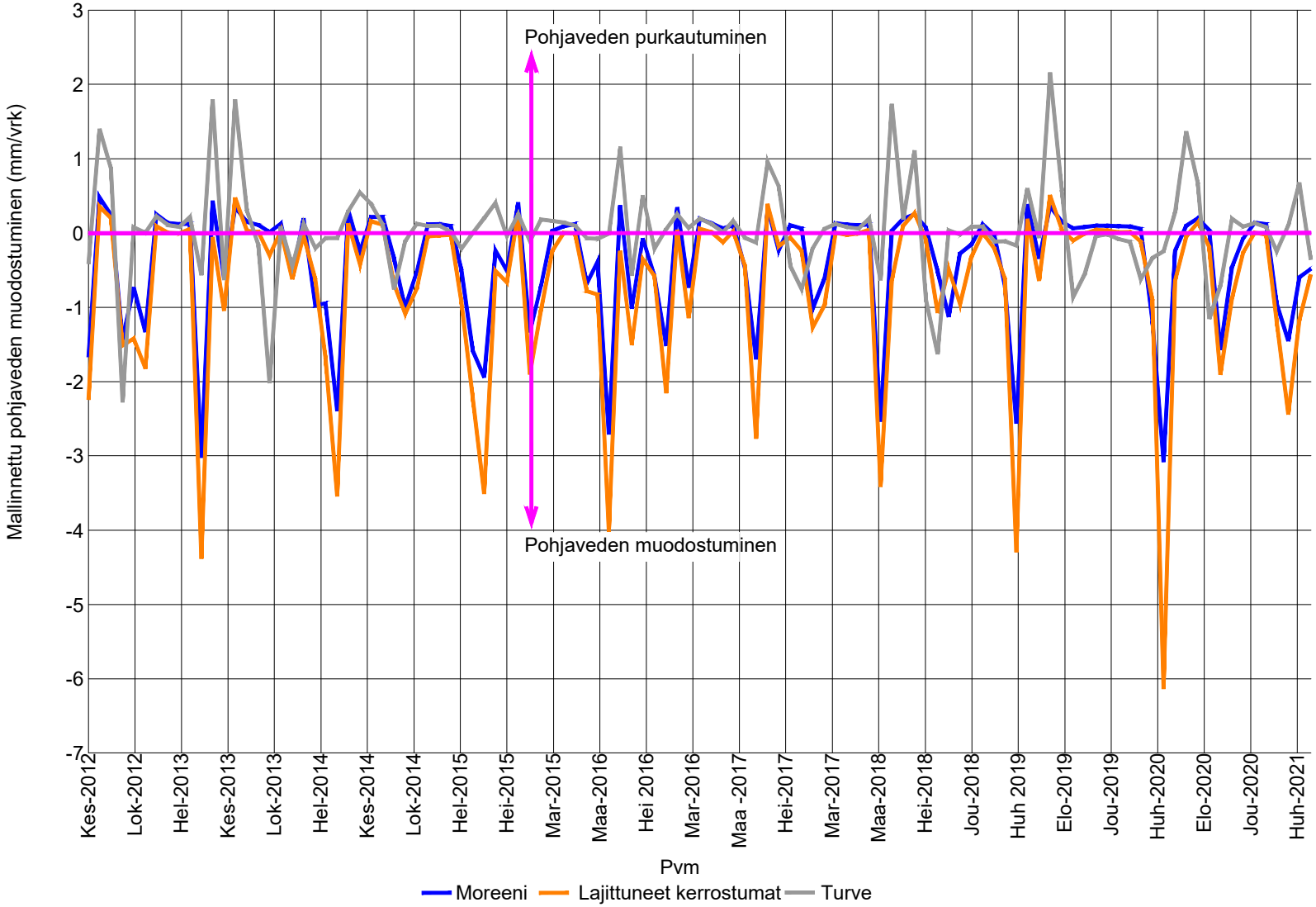
ITASCA™ Denver, Inc.

Pohjaveden virtausmallin simuloidut reunaehdot

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-7

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



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

ITASCA™ Denver, Inc.

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

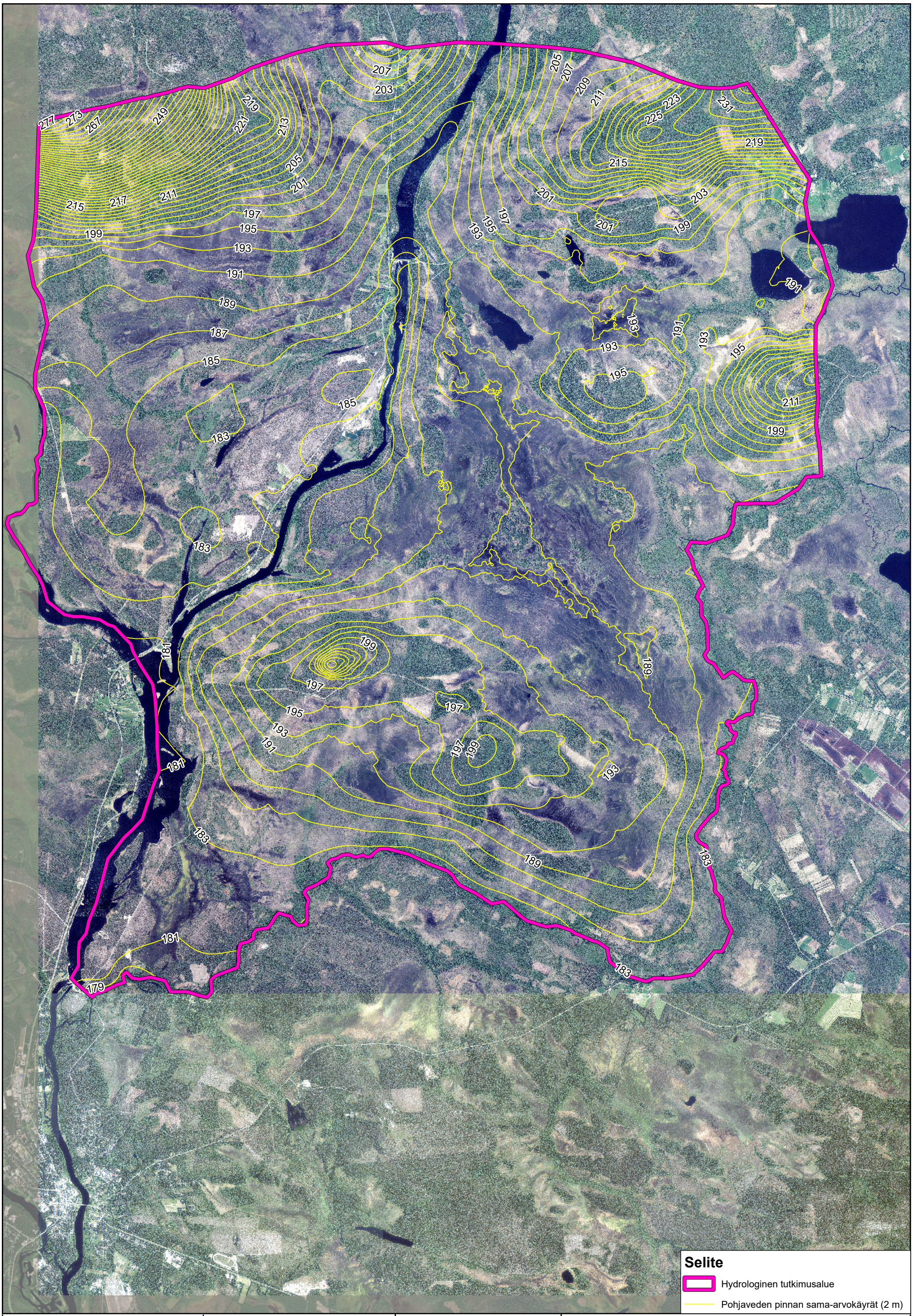
ITASCA™ Denver, Inc.

Pohjaveden muodostumisalueiden simuloitu alueellinen laajuus pohjaveden virtausmallissa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-9

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



N

0 1,250 2,500 Metriä

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

ITASCA™ Denver, Inc.

Simuloidut steady state - pohjaveden pinnankorkeudet hydrologisella tutkimusalueella

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-10

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\SS_GW.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

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

Yijoki

Kelujoki

Selite

- Hydrologinen tutkimusalue
- Joki
- Kitinen
- Järvet
- Lammikot

Simuloidut purkautumisalueet

- Purkautumisalue
- Muodostumisalue

N

0 1,300 2,600 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.

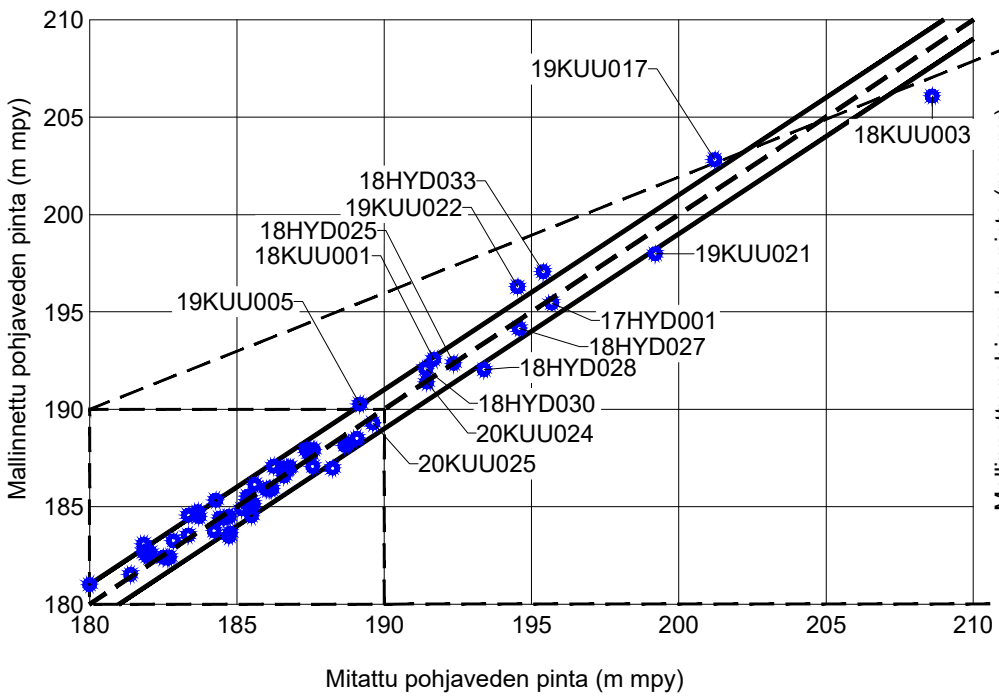
Simuloidut pohjaveden purkautumisen ja muodostumisen alueet steady state -mallissa

CLIENT: Sakatti Mine

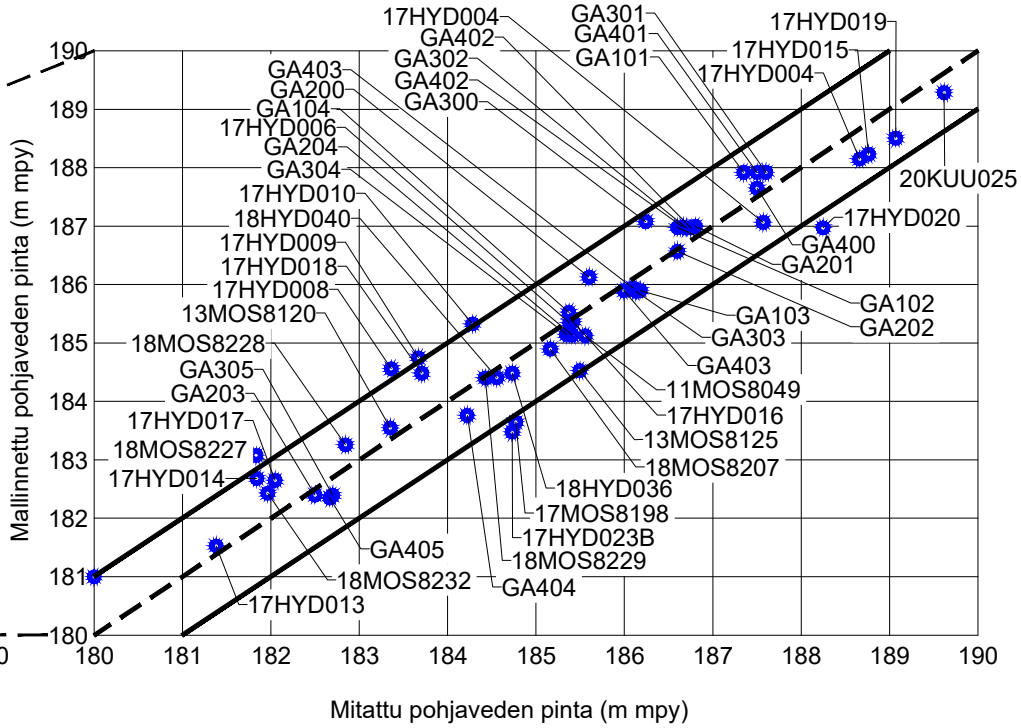
FIGURE NO. 4-12

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

a) Koko mallin kalibrointi



b) Mallin kalibrointi 180–190 m mpy välillä



Huomio: havaintojen mittausajankohta on esitetty taulukossa 4-3.

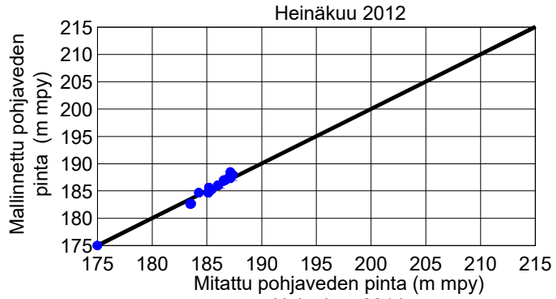
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SS
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	

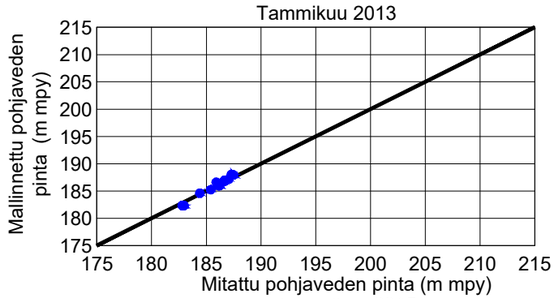
ITASCA™ Denver, Inc.

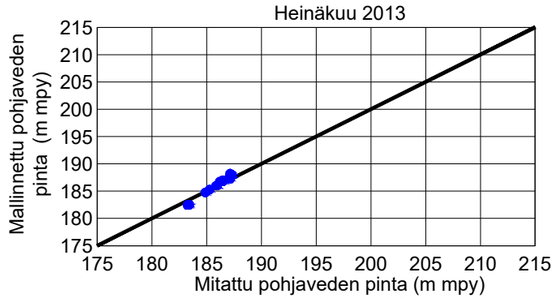
Steady state -mallin kalibroinnin hajontakuvio

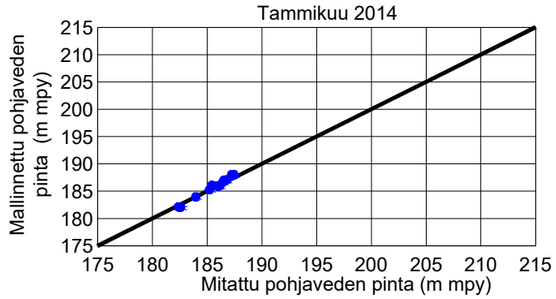
CLIENT: Sakatti Mine

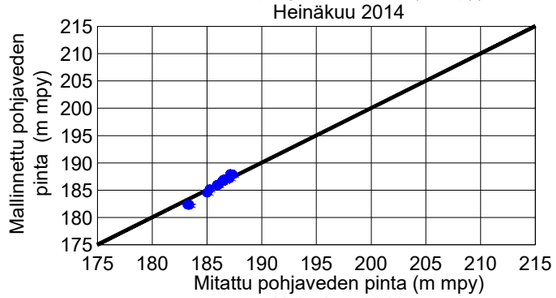
FIGURE NO. 4-13

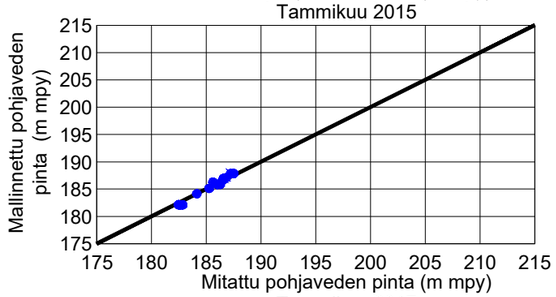


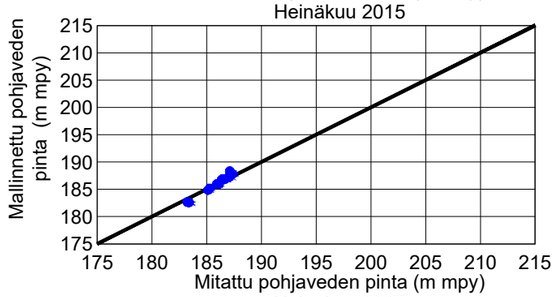


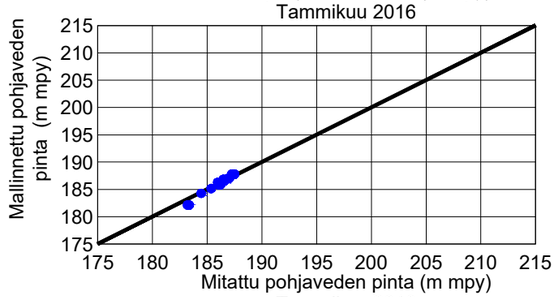


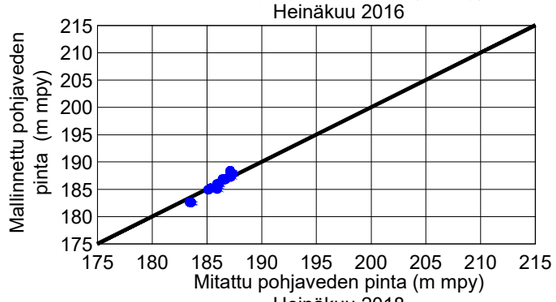


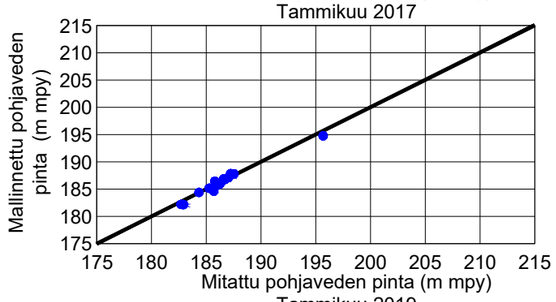


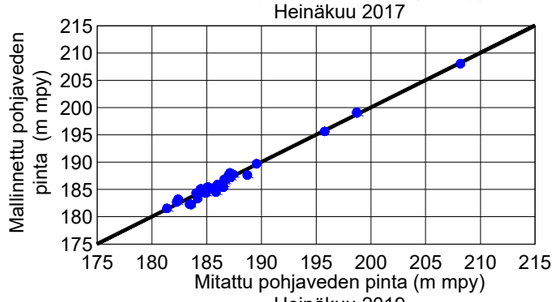


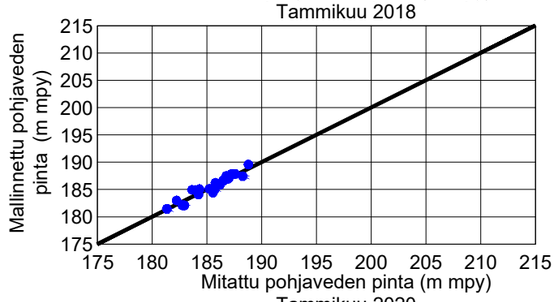


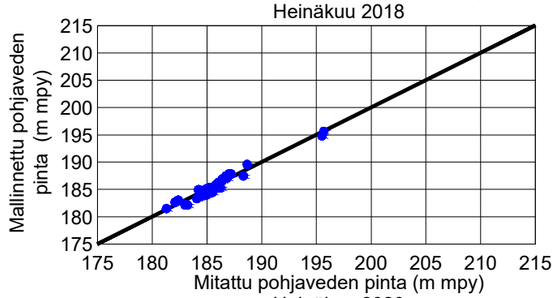


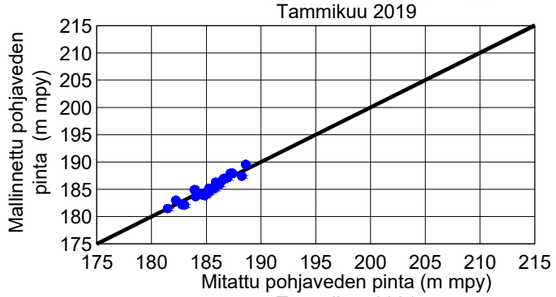


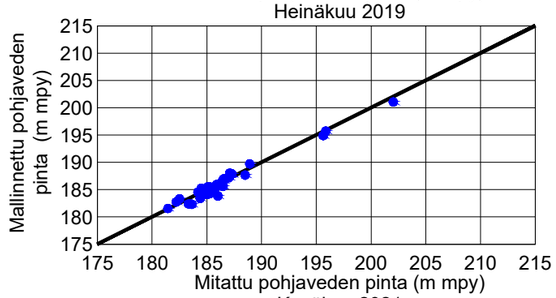


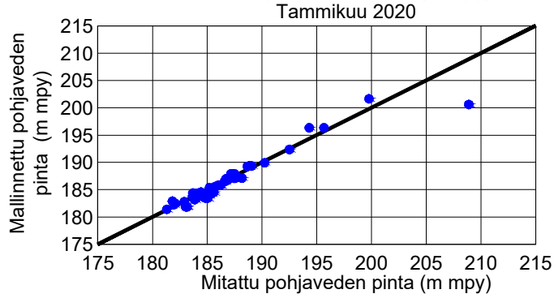


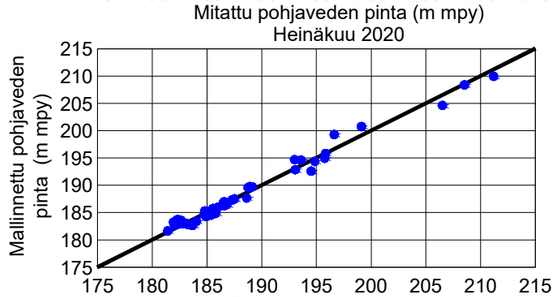


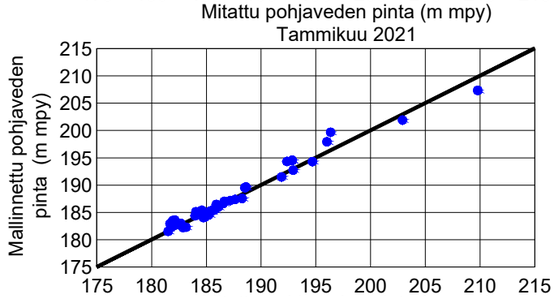


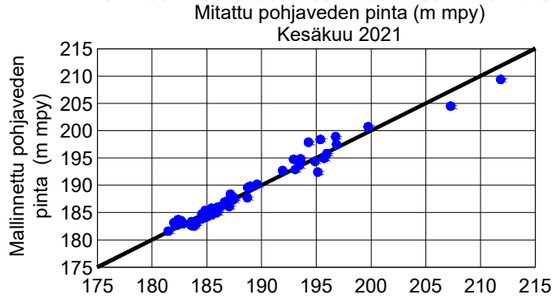


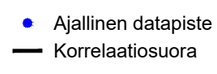












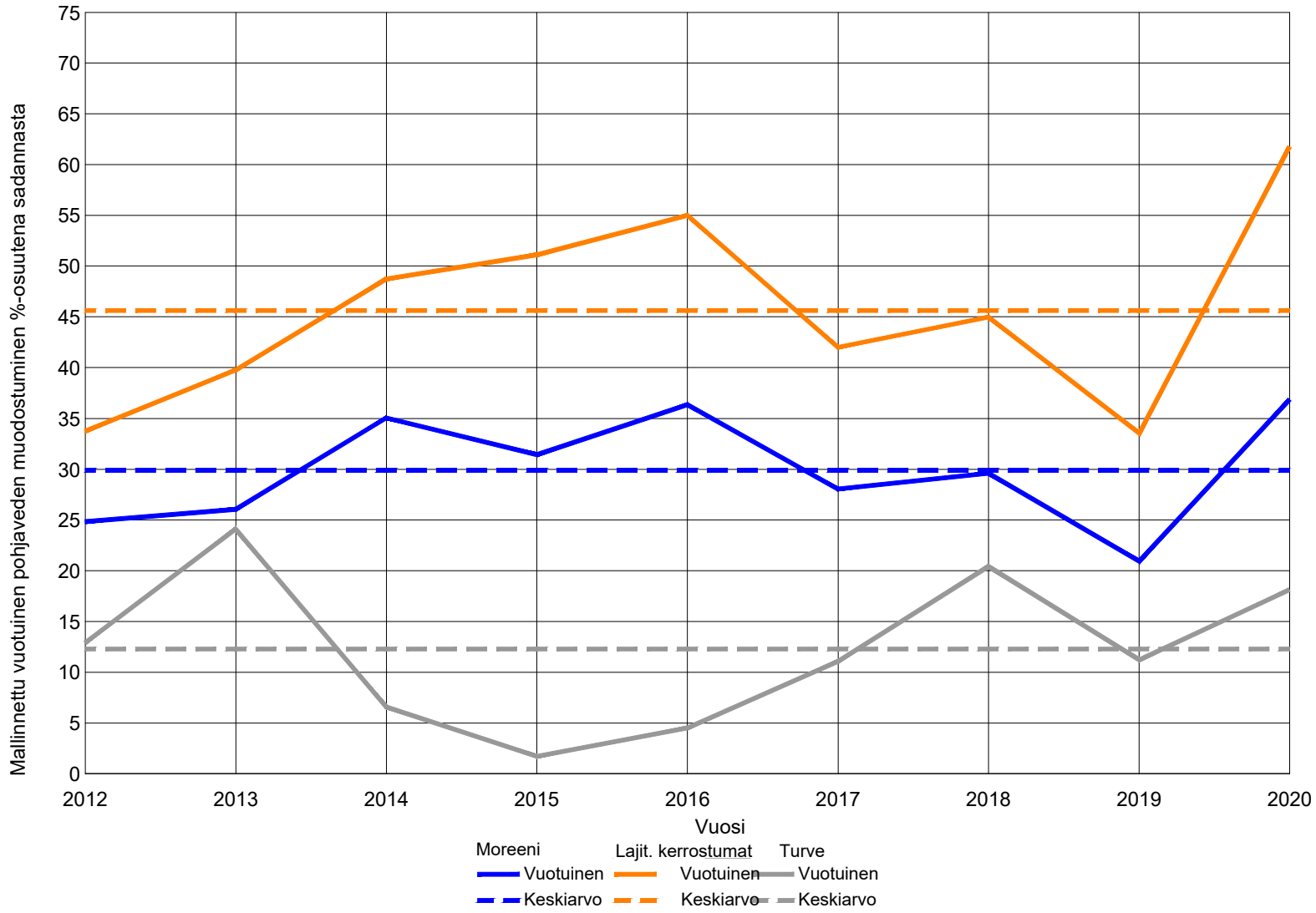
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	TEMP
DRAWING DATE	16 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Virtausmallin transient -kalibroinnin hajontakuviot

CLIENT: Sakatti Mine

APPENDIX NO. 4-14



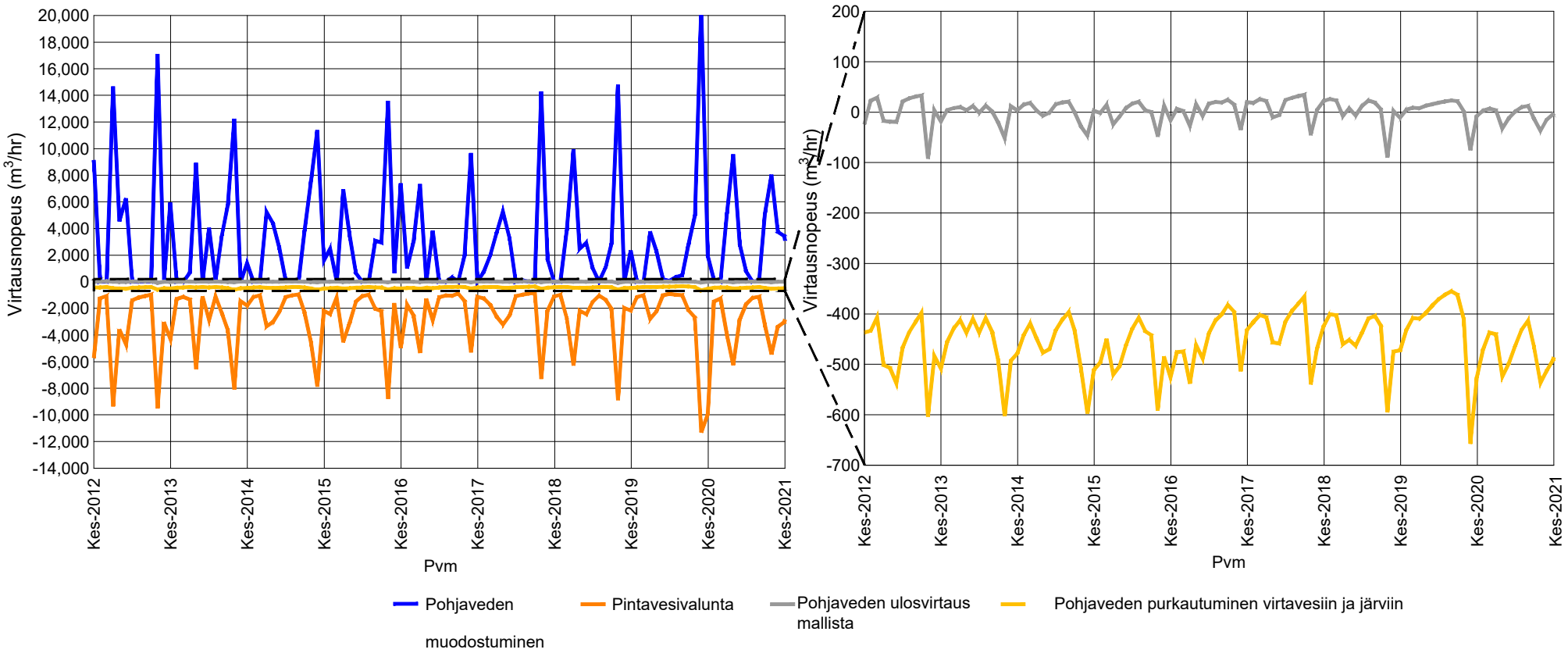
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CAL
DRAWING DATE	16 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Mallinnettu vuotuinen pohjaveden muodostuminen osuutena sadannasta

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-15



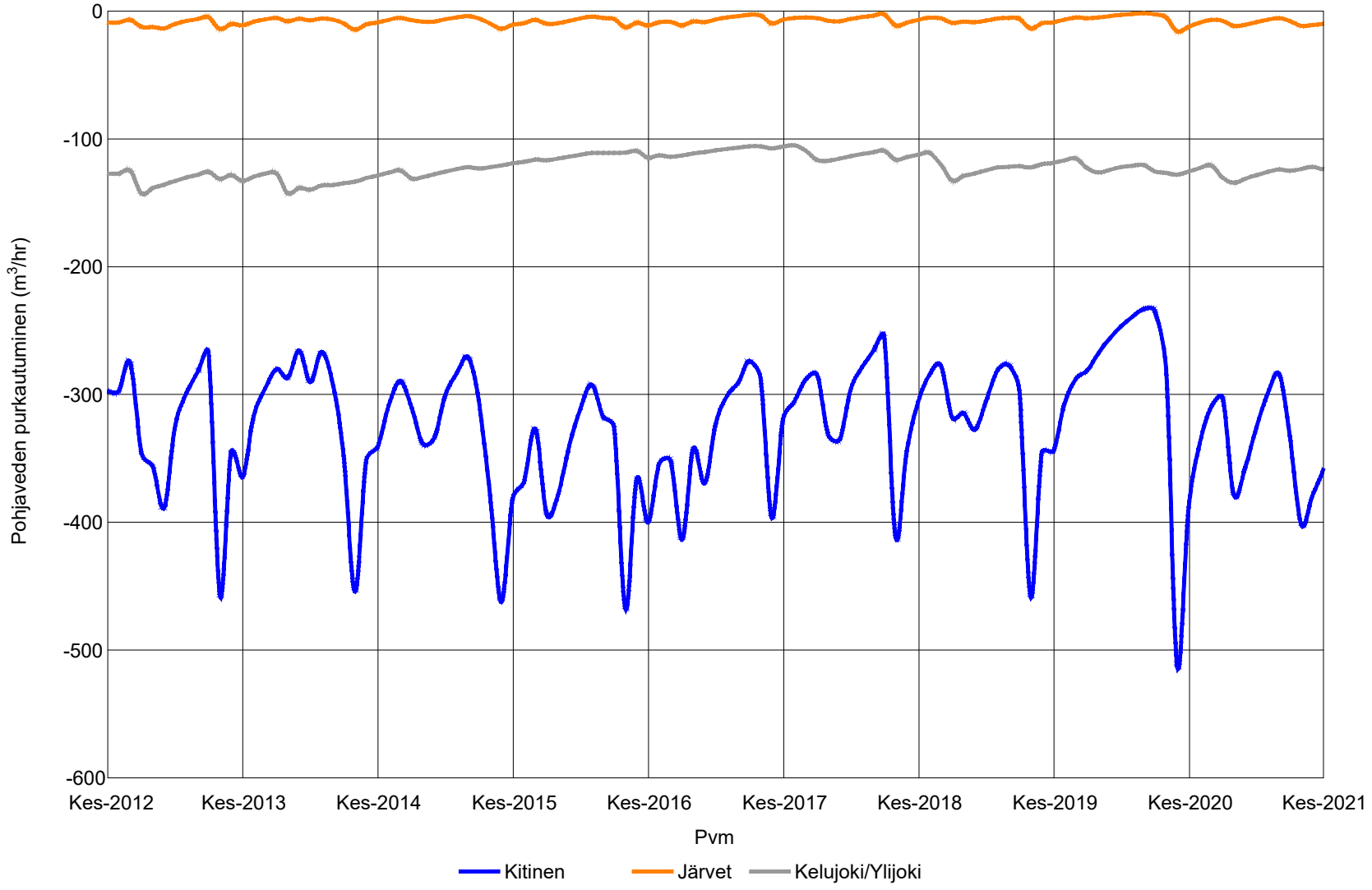
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CAL
DRAWING DATE	14 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Pohjaveden virtausmallin kalibroitu vesitase

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-16



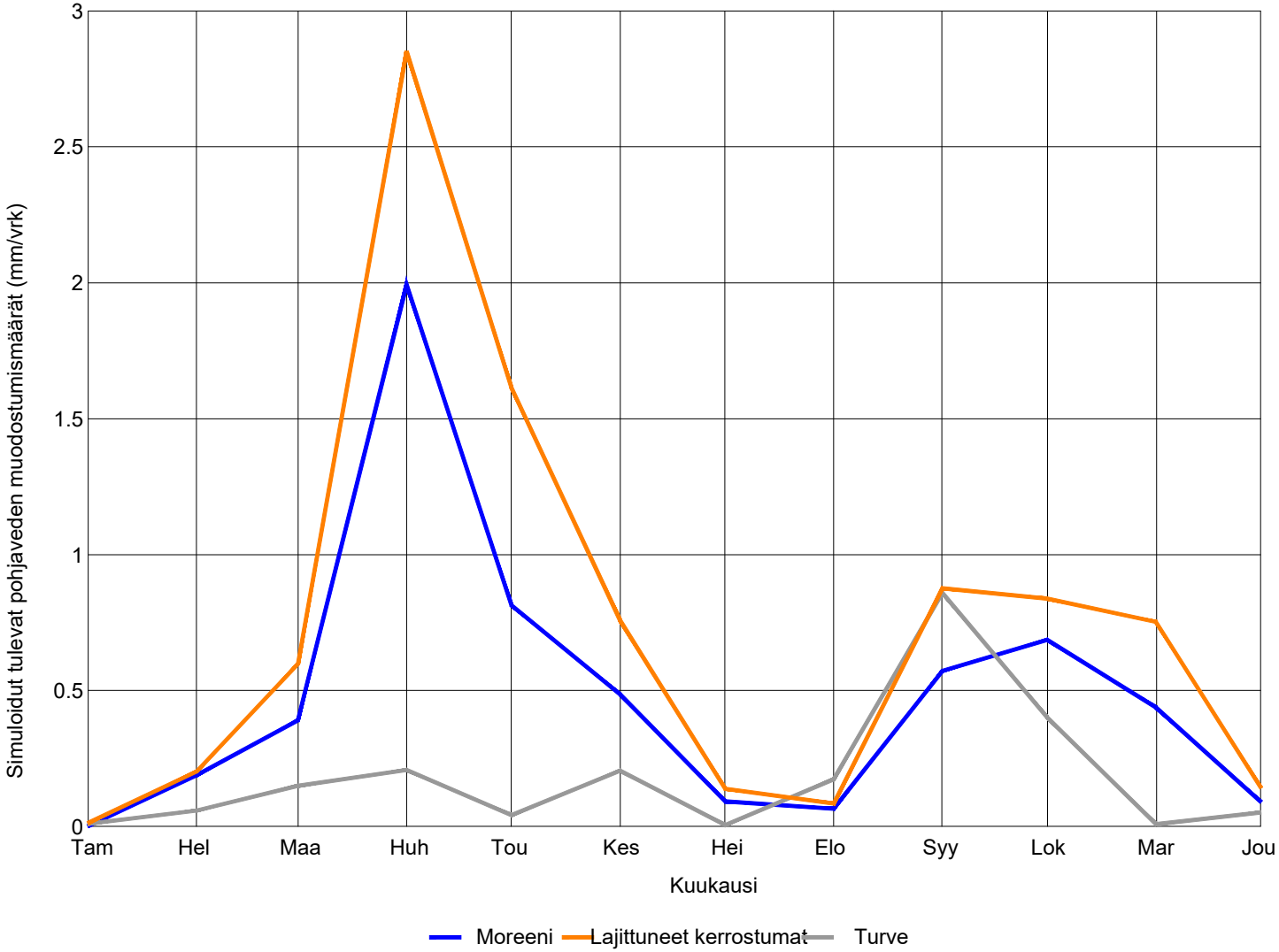
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CAL
DRAWING DATE	14 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Pohjaveden virtausmallissa kalibroitu pohjaveden purkautuminen suurimpiin virtavesiin ja järviin

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-17



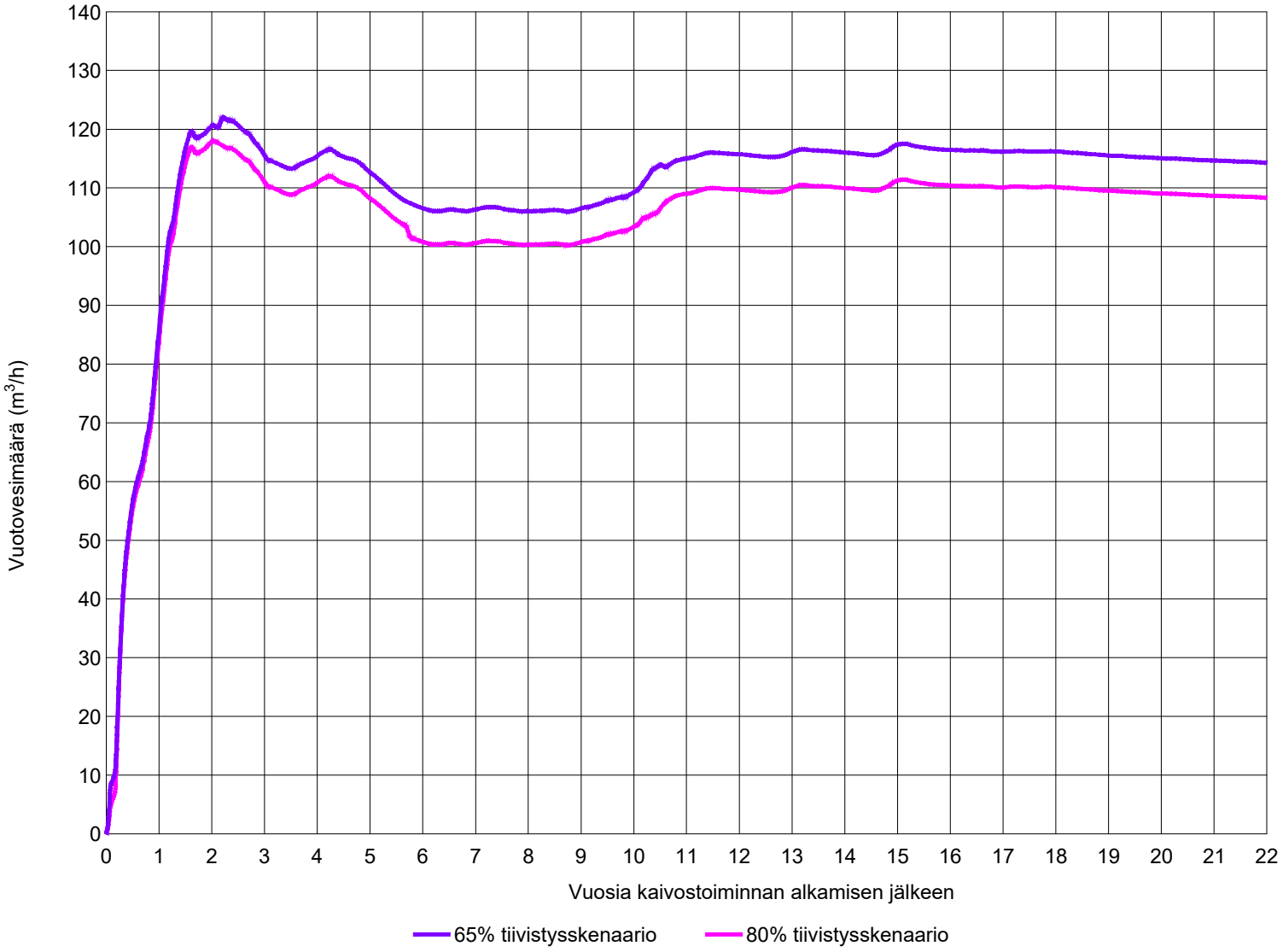
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECHARGE
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Simuloidut tulevat pohjaveden muodostumismäärät

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-1



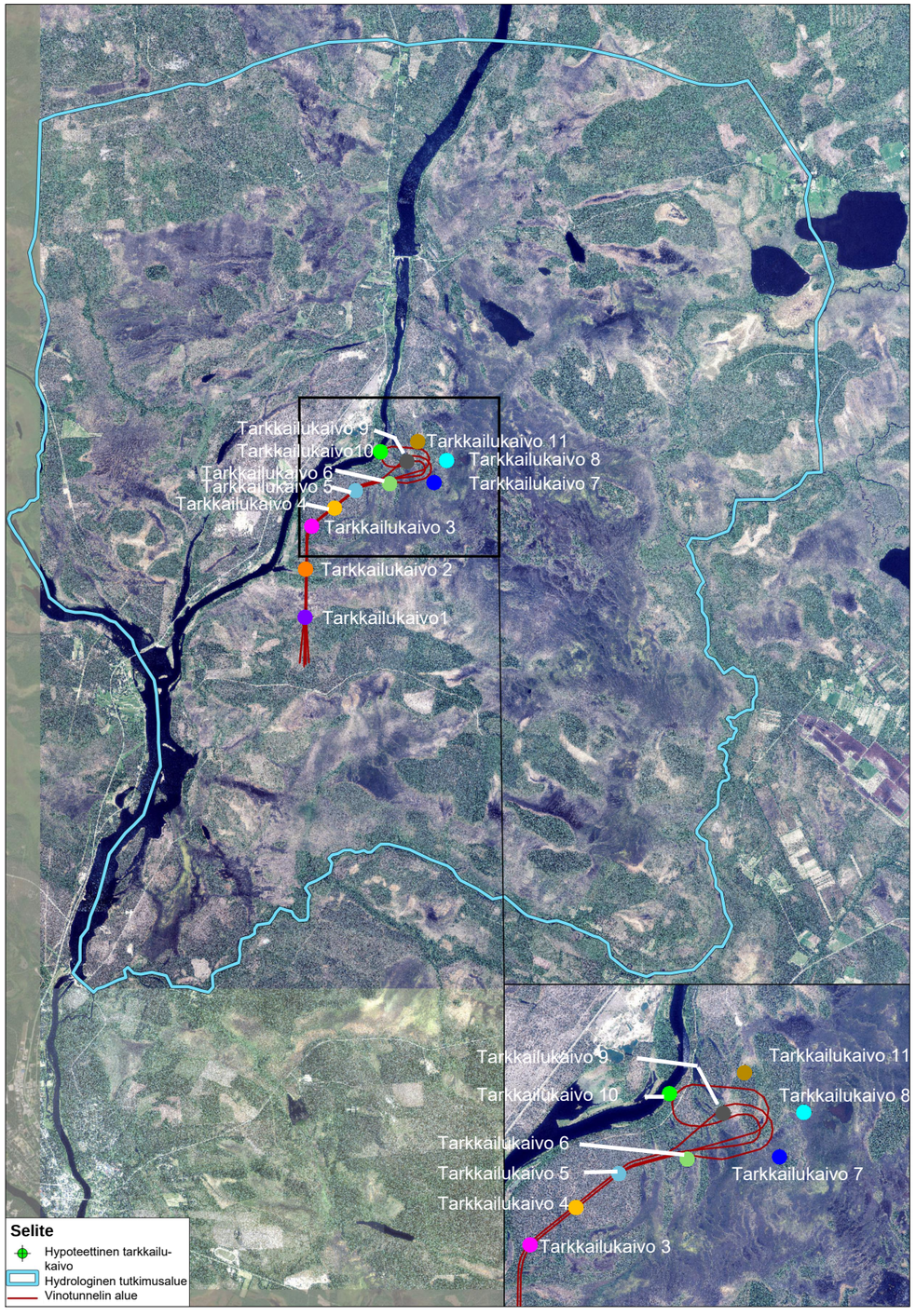
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

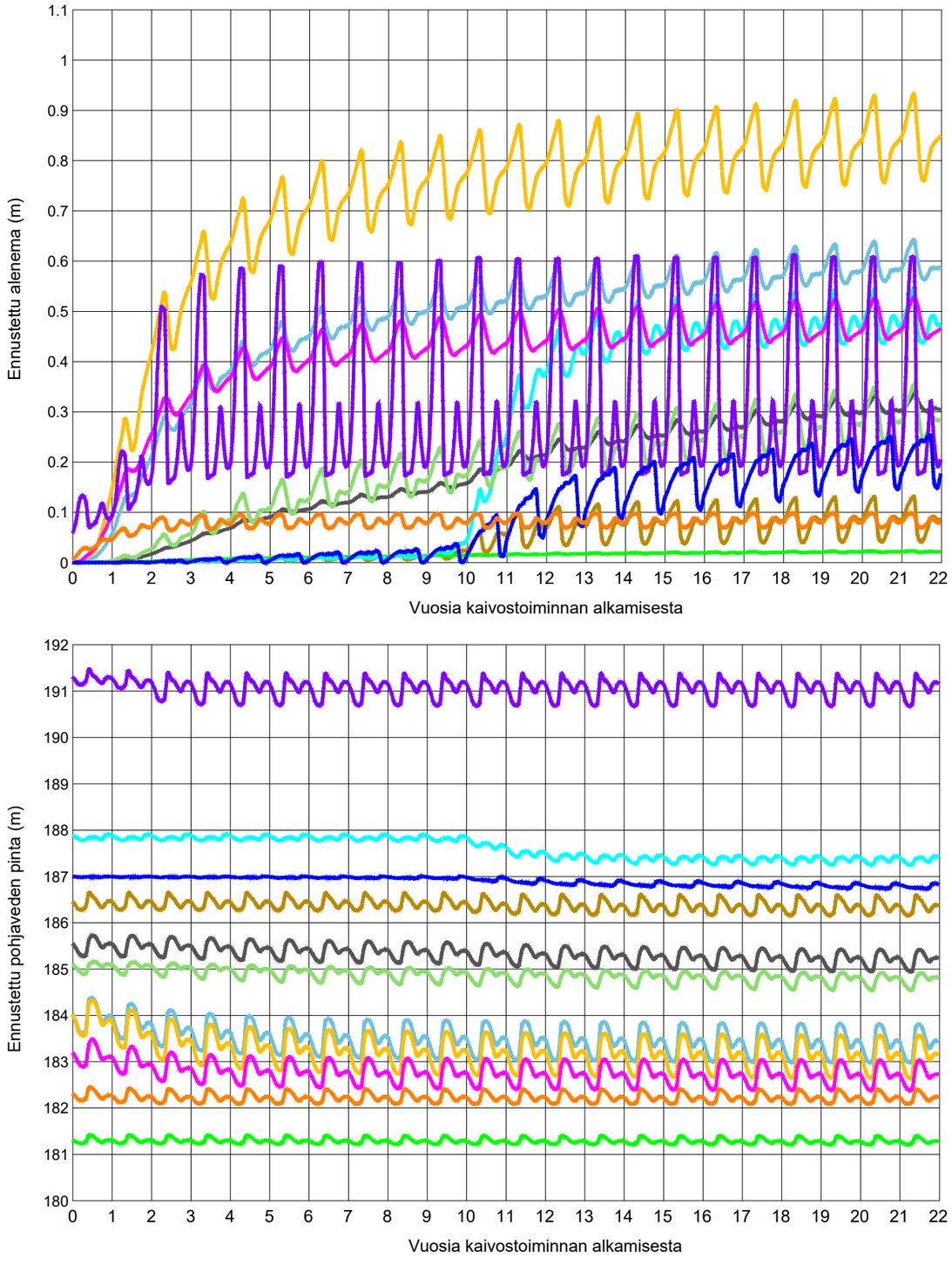
ITASCA™ Denver, Inc.

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

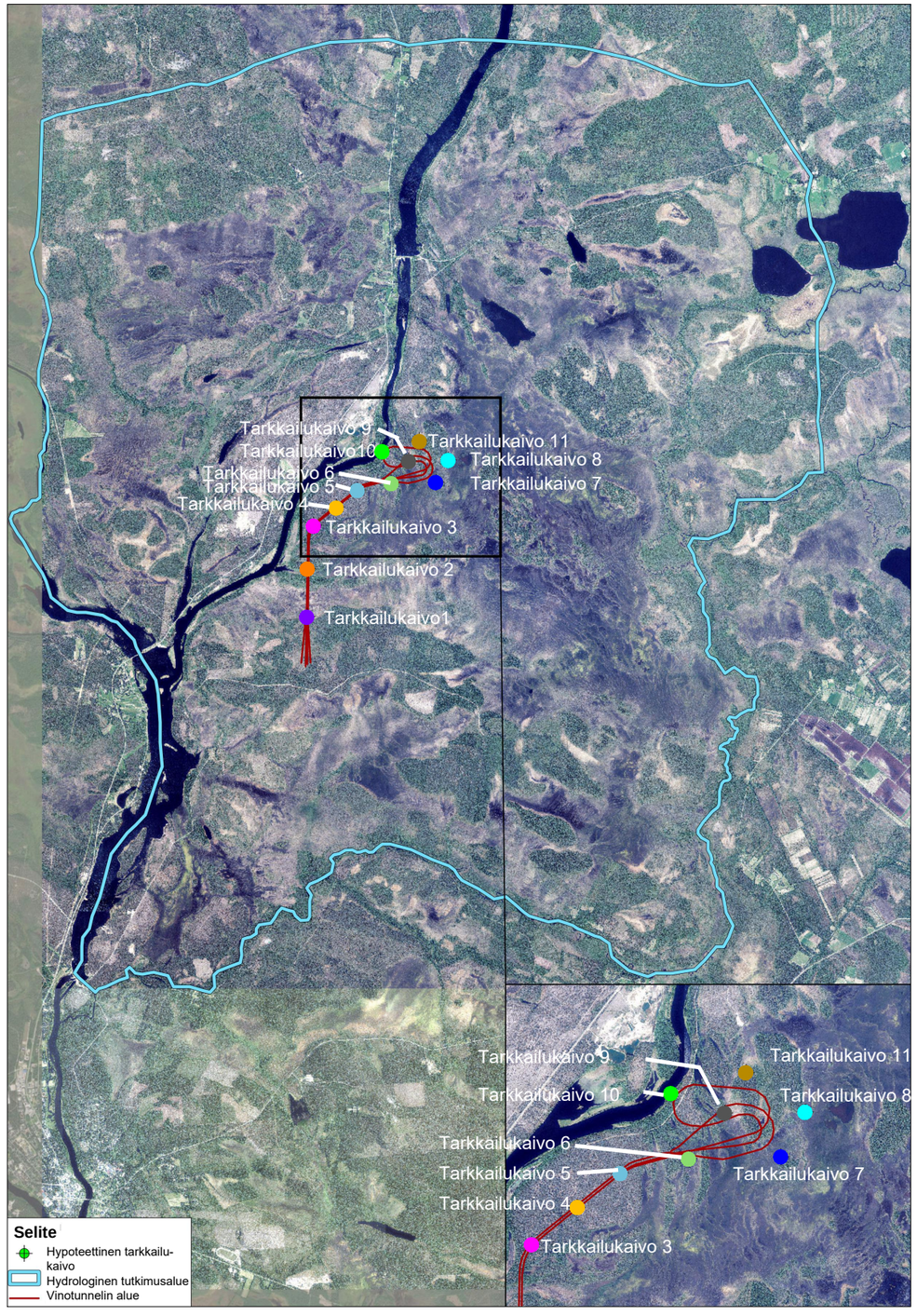
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	

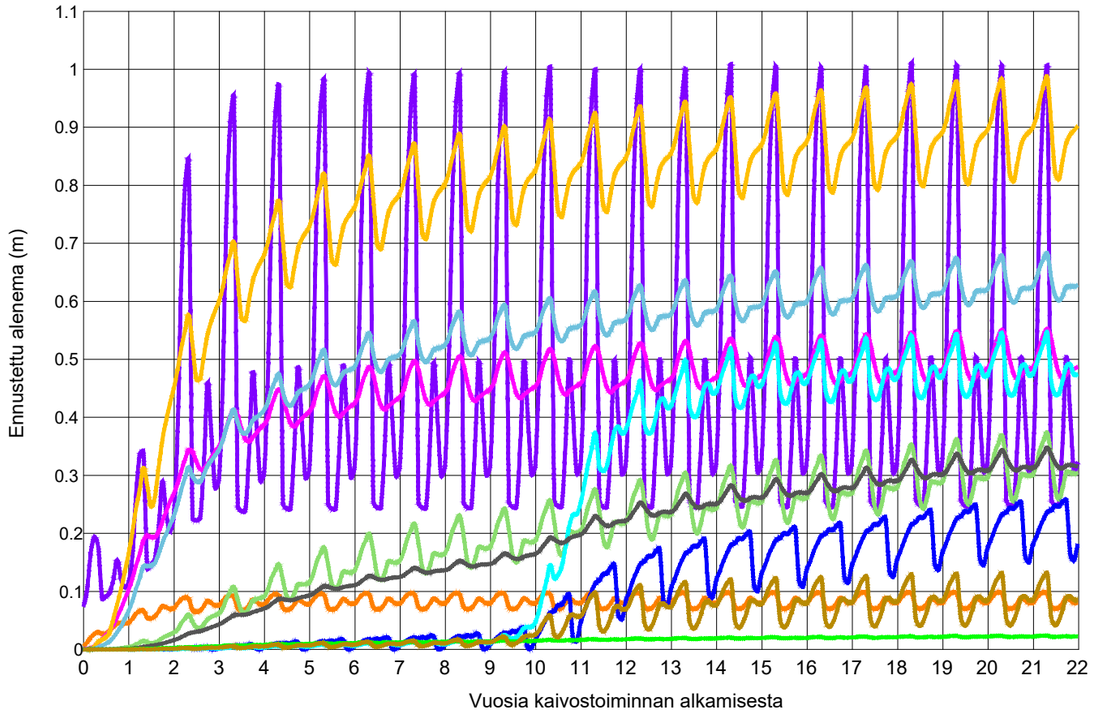
ITASCA™ Denver, Inc.

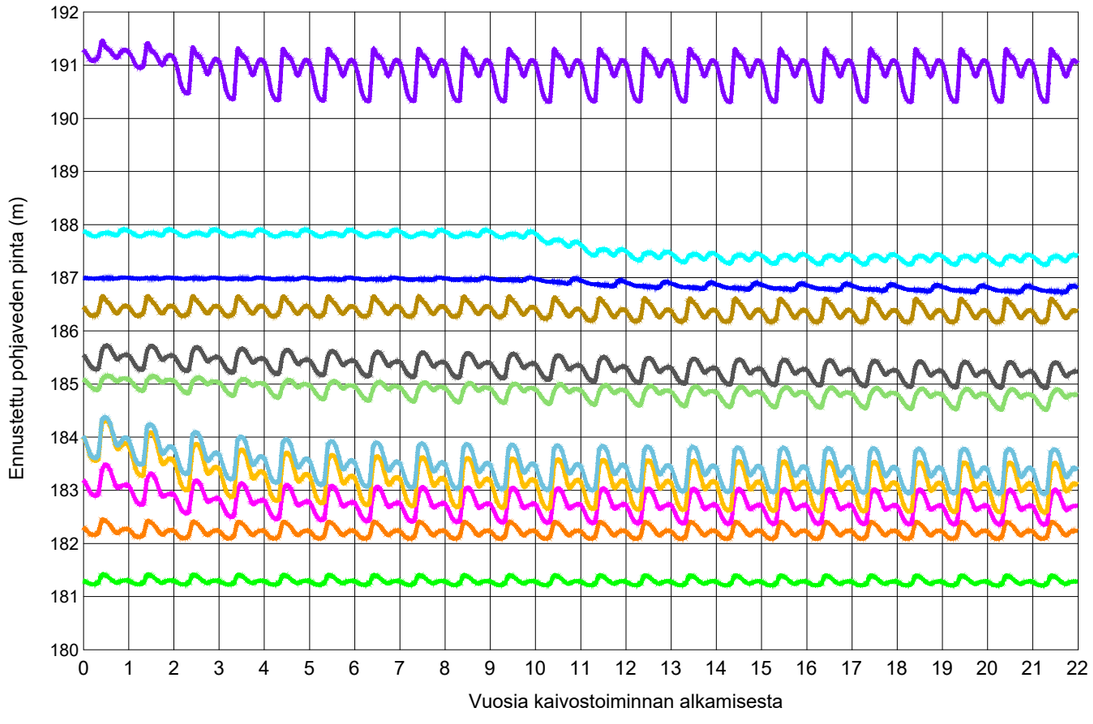
Ennustettu alenema kaivostoiminnan elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistysskenaarioissa

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

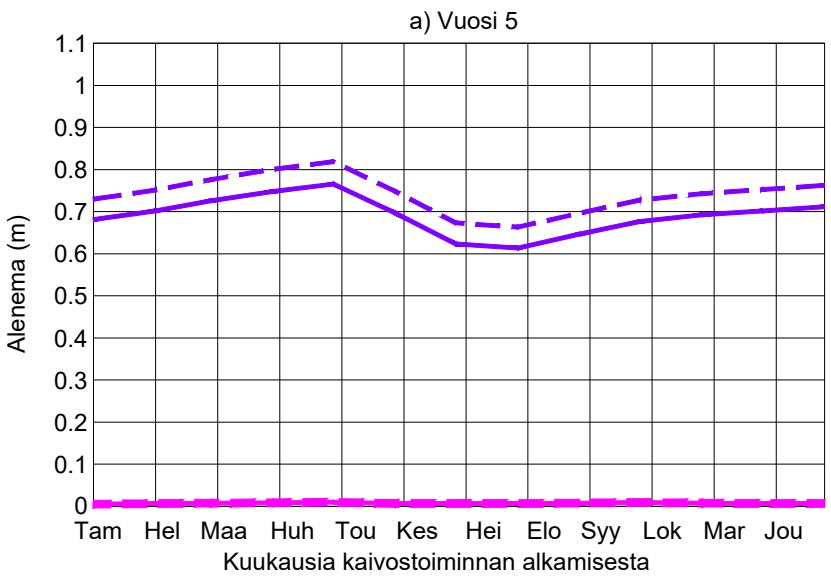
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	

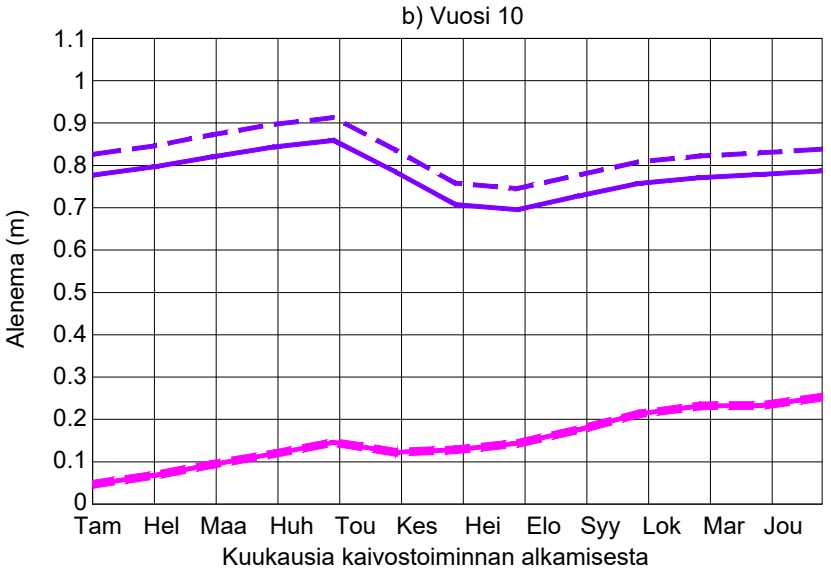
ITASCA™ Denver, Inc.

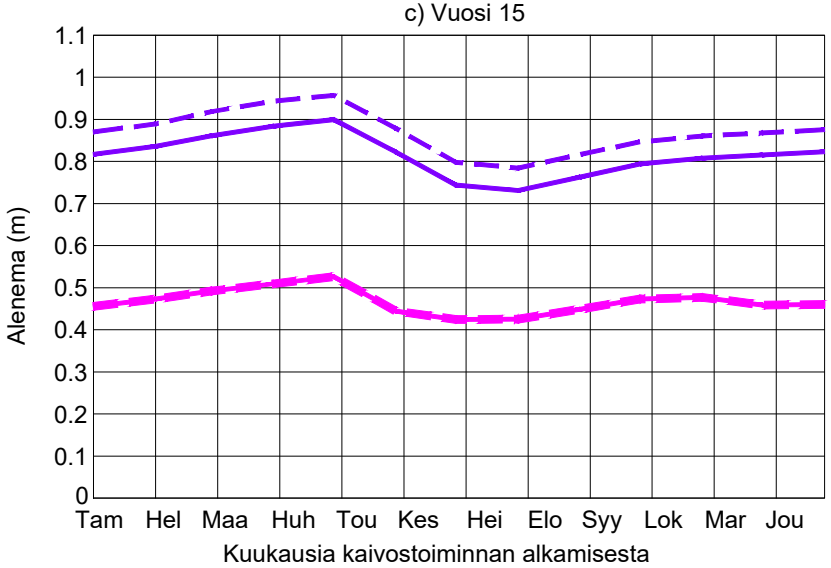
Ennustettu alenema kaivostoiminnan elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65% tiivistysskenaarioissa

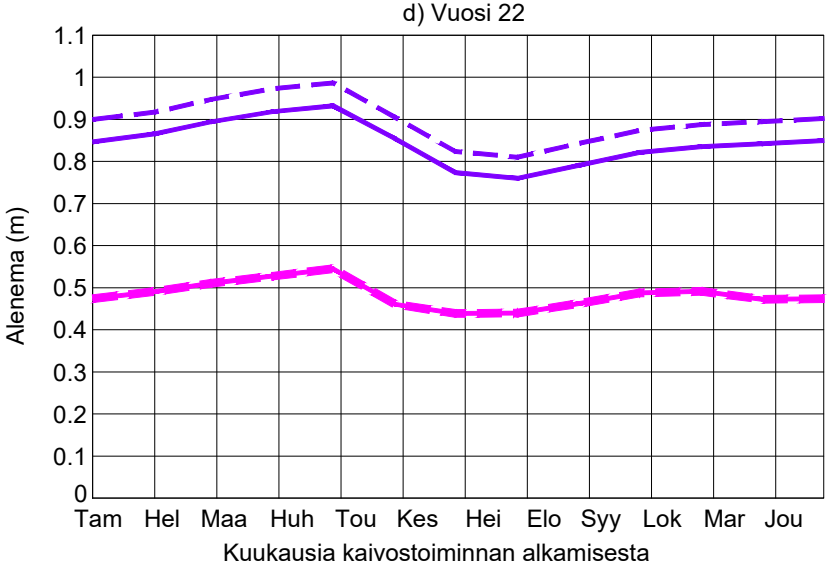
CLIENT: Sakatti Mine

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	

ITASCA™ 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

0 1,250 2,500 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

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

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
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jan. 13, 2023

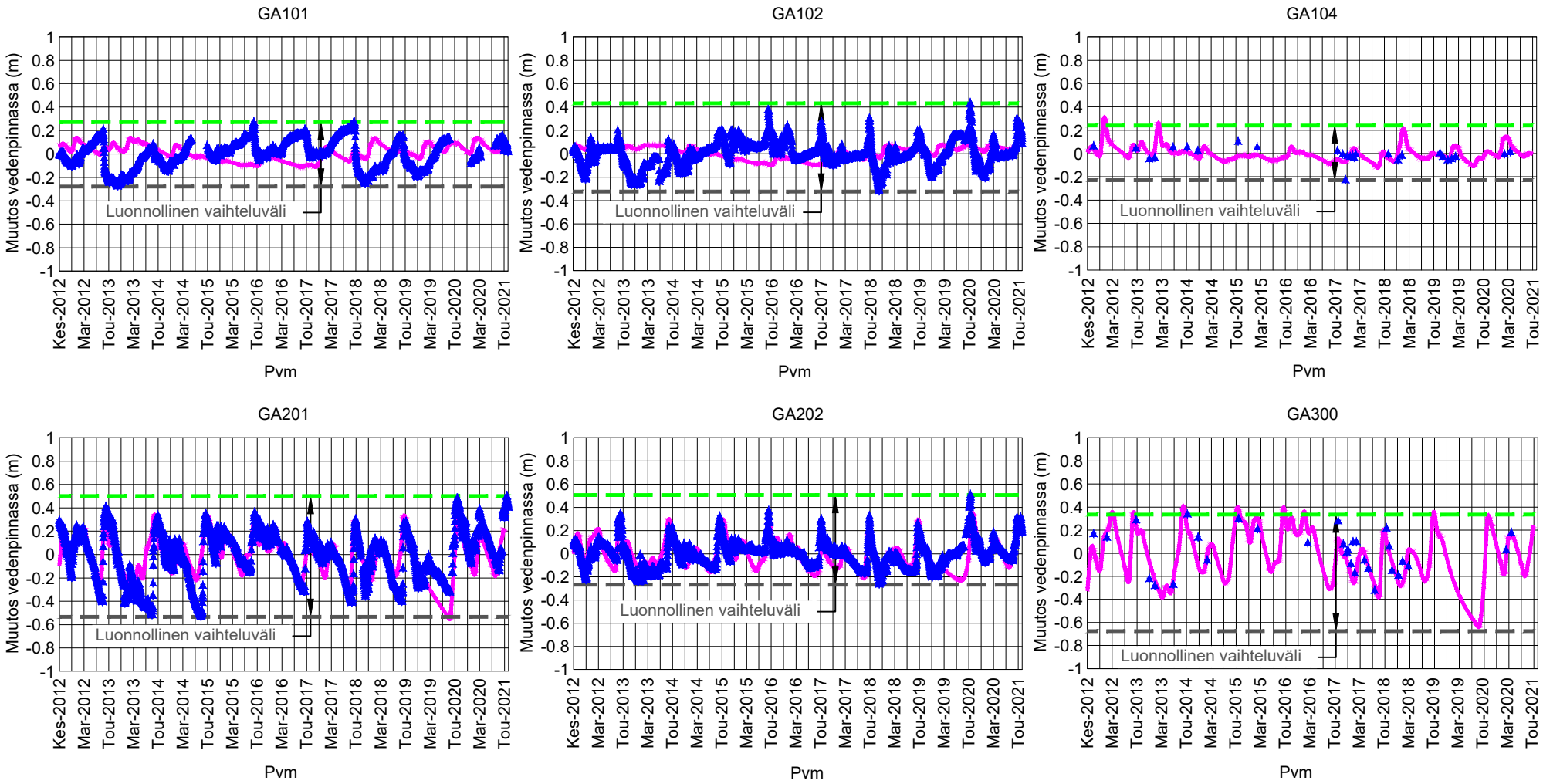
ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 65% tiivistysskenaarioissa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-5b

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



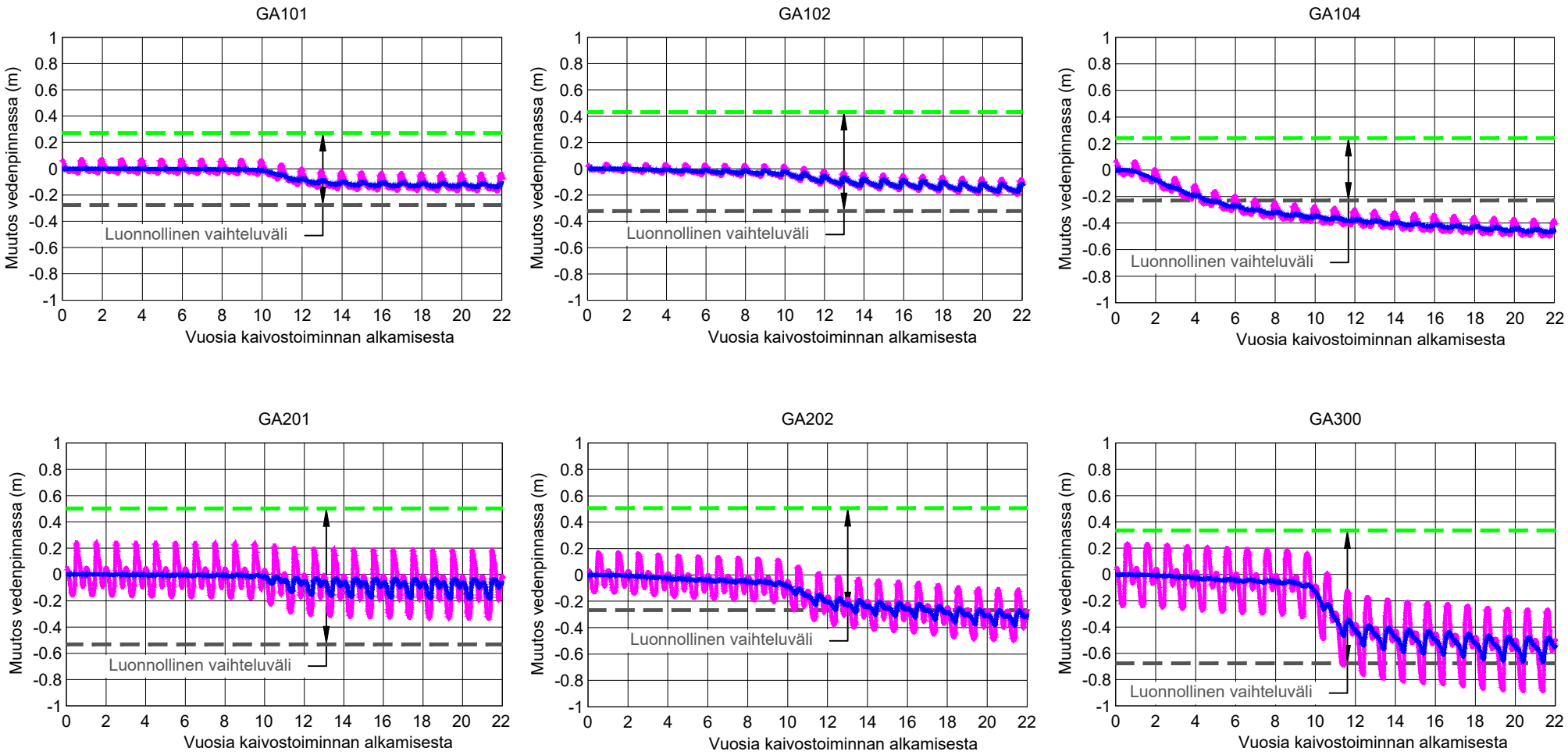
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Mitattujen ja simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien vuodenaikaisvaihtelu

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-6



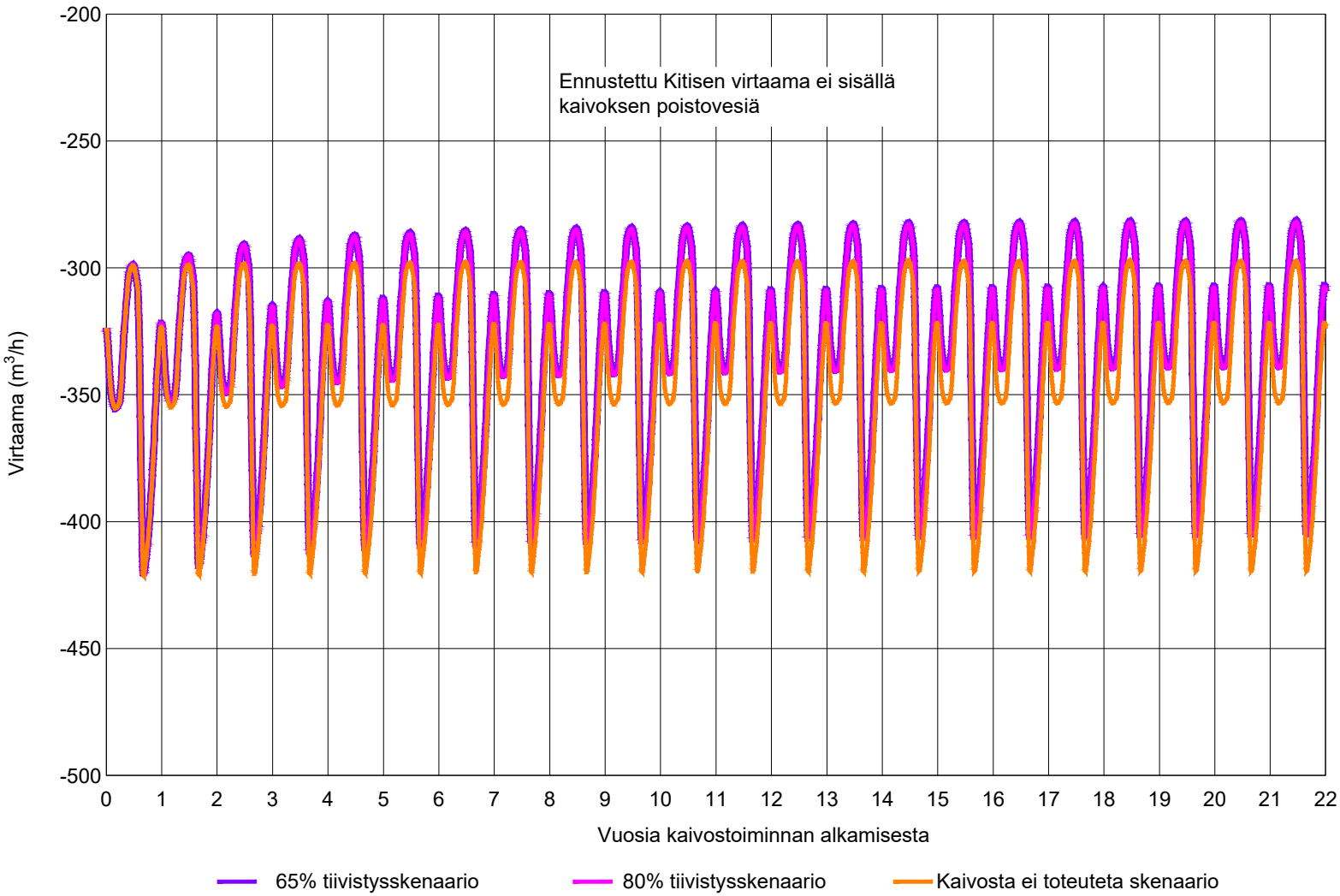
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Pohjaveden pinnankorkeuden ennustetut vuodenaikaisvaihtelut 80% tiivistysskenaariossa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-7



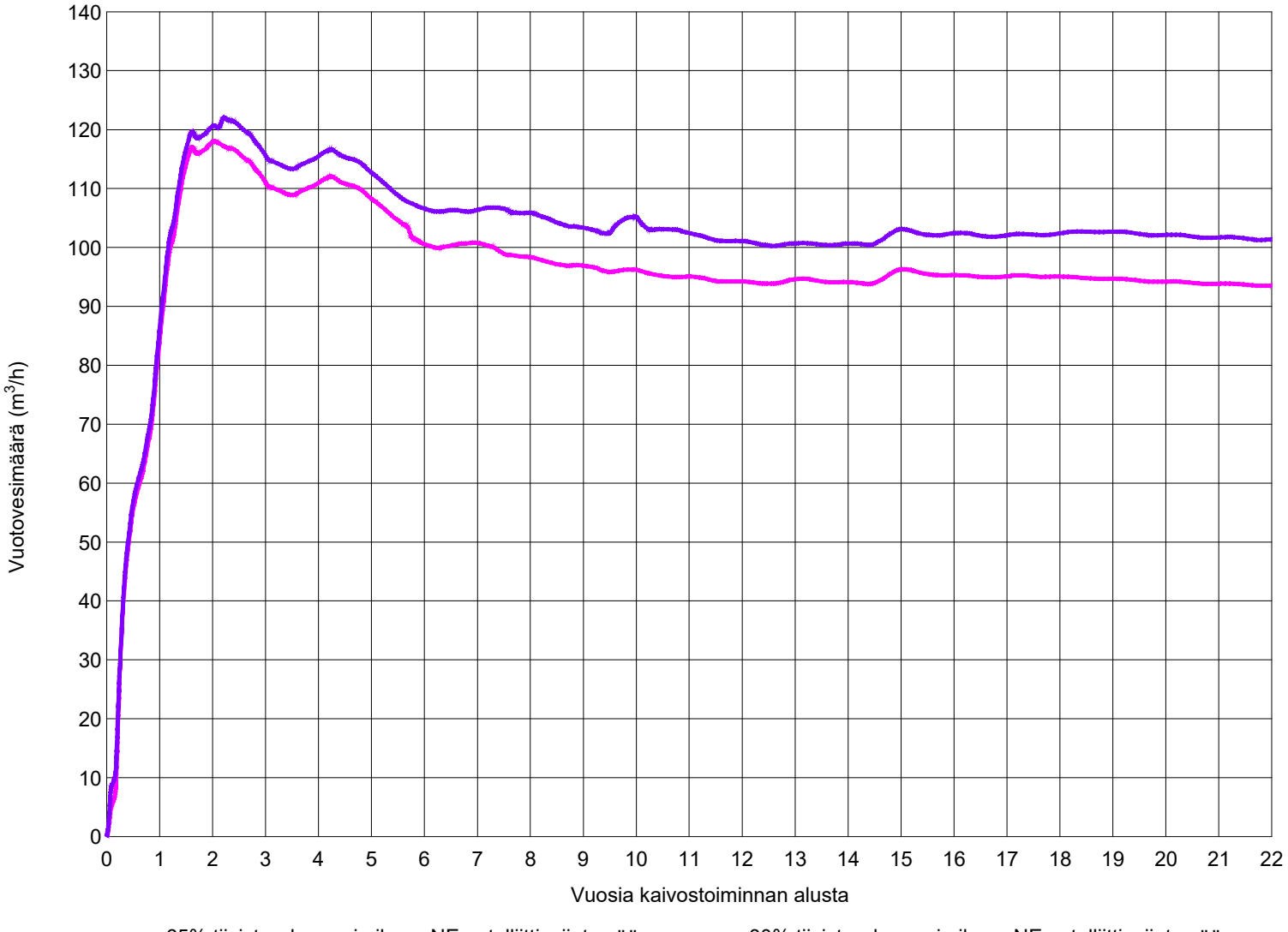
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-8



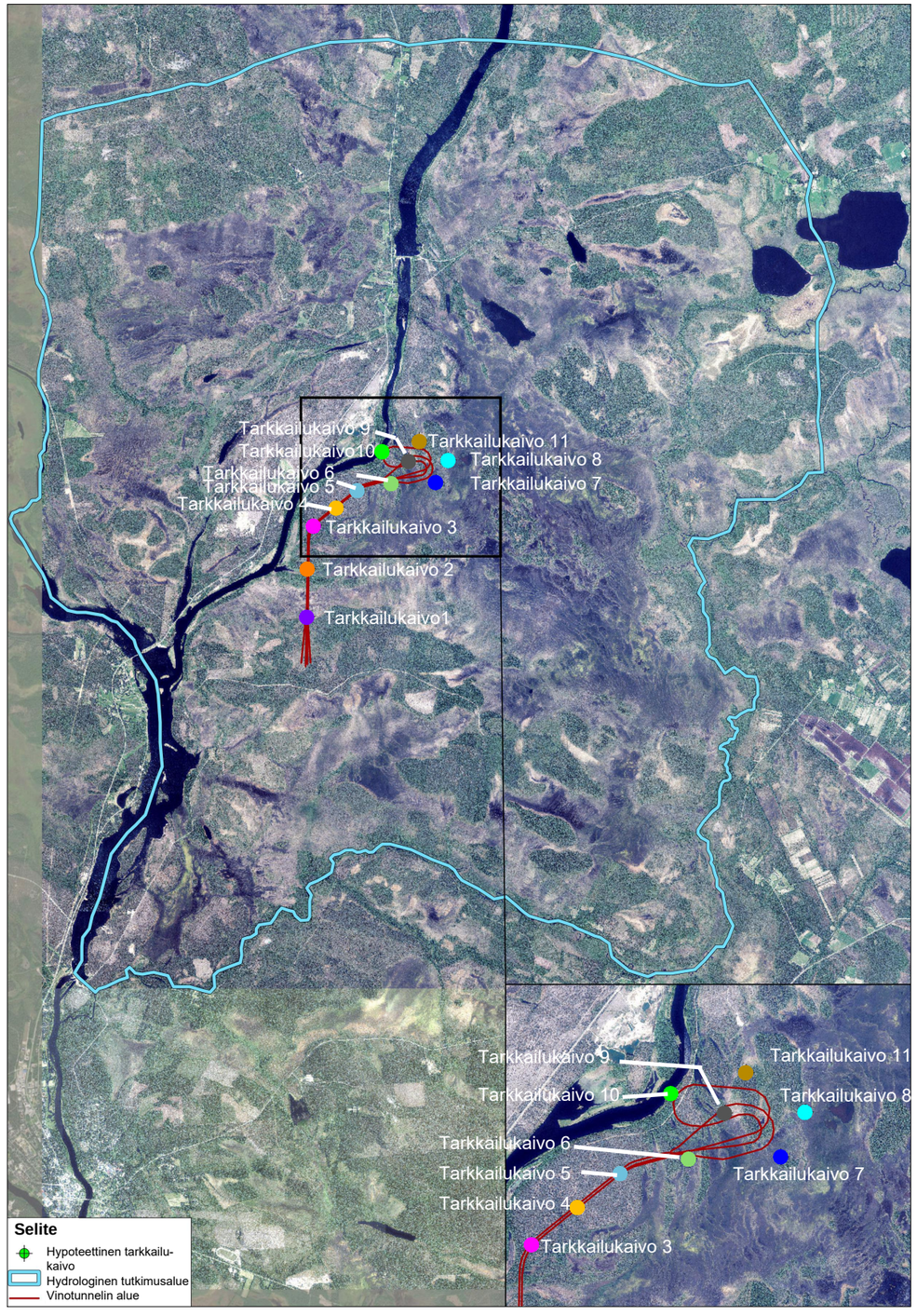
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

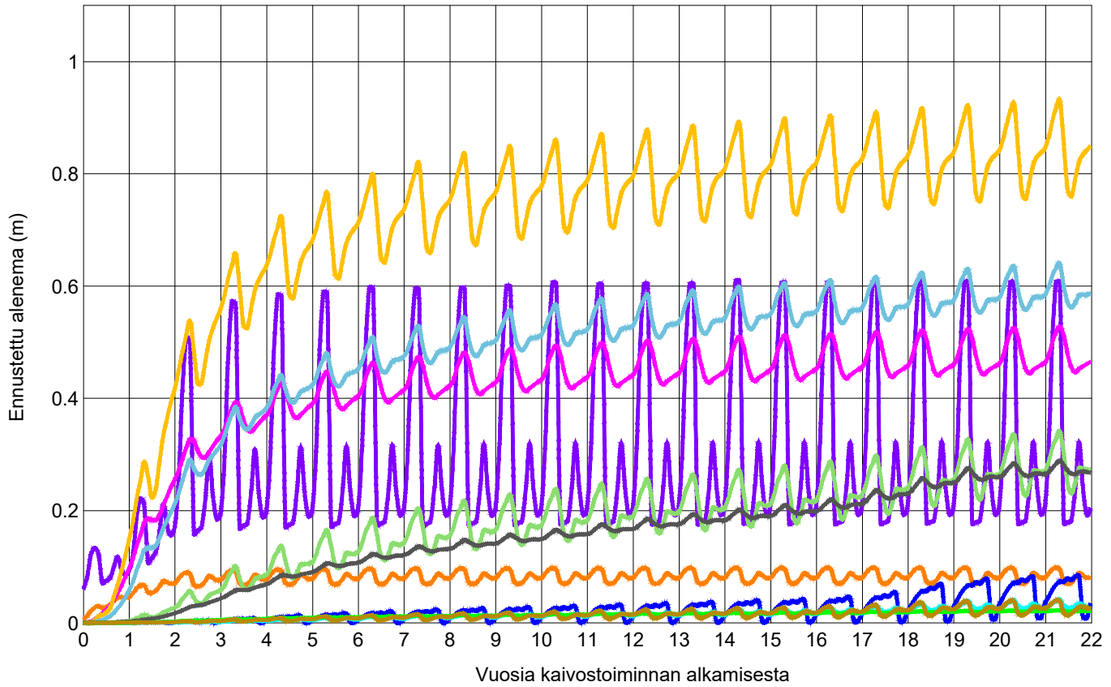
ITASCA™ Denver, Inc.

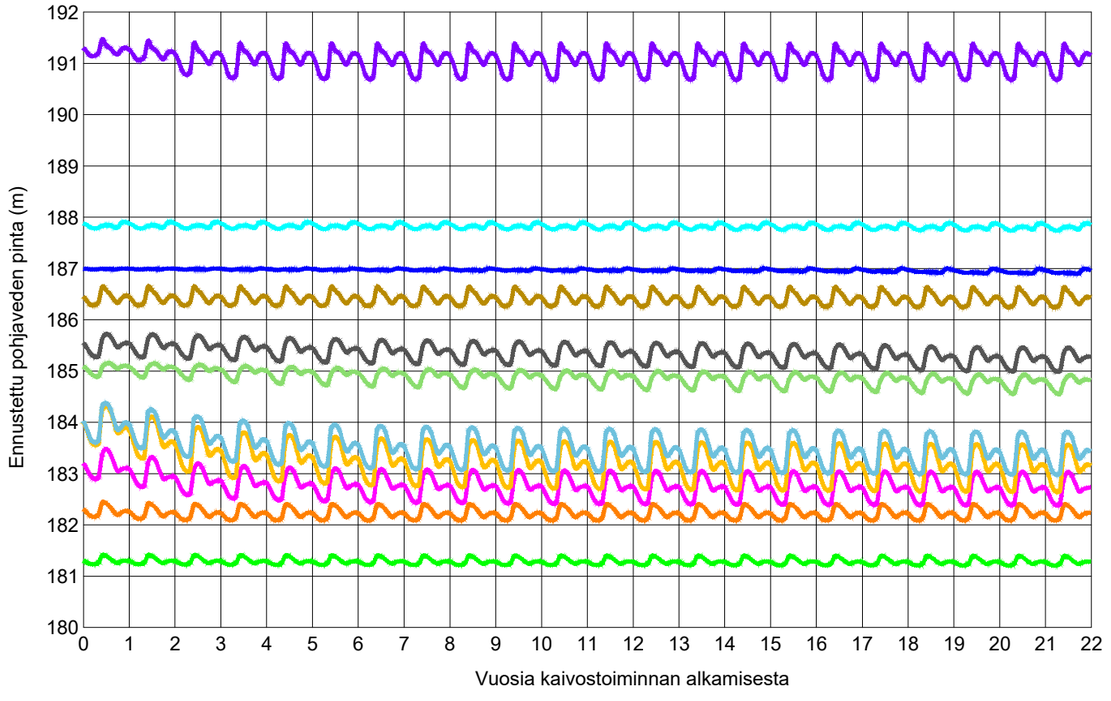
Ennustettu pohjaveden vuotovesimäärä 65% ja 80% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää

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

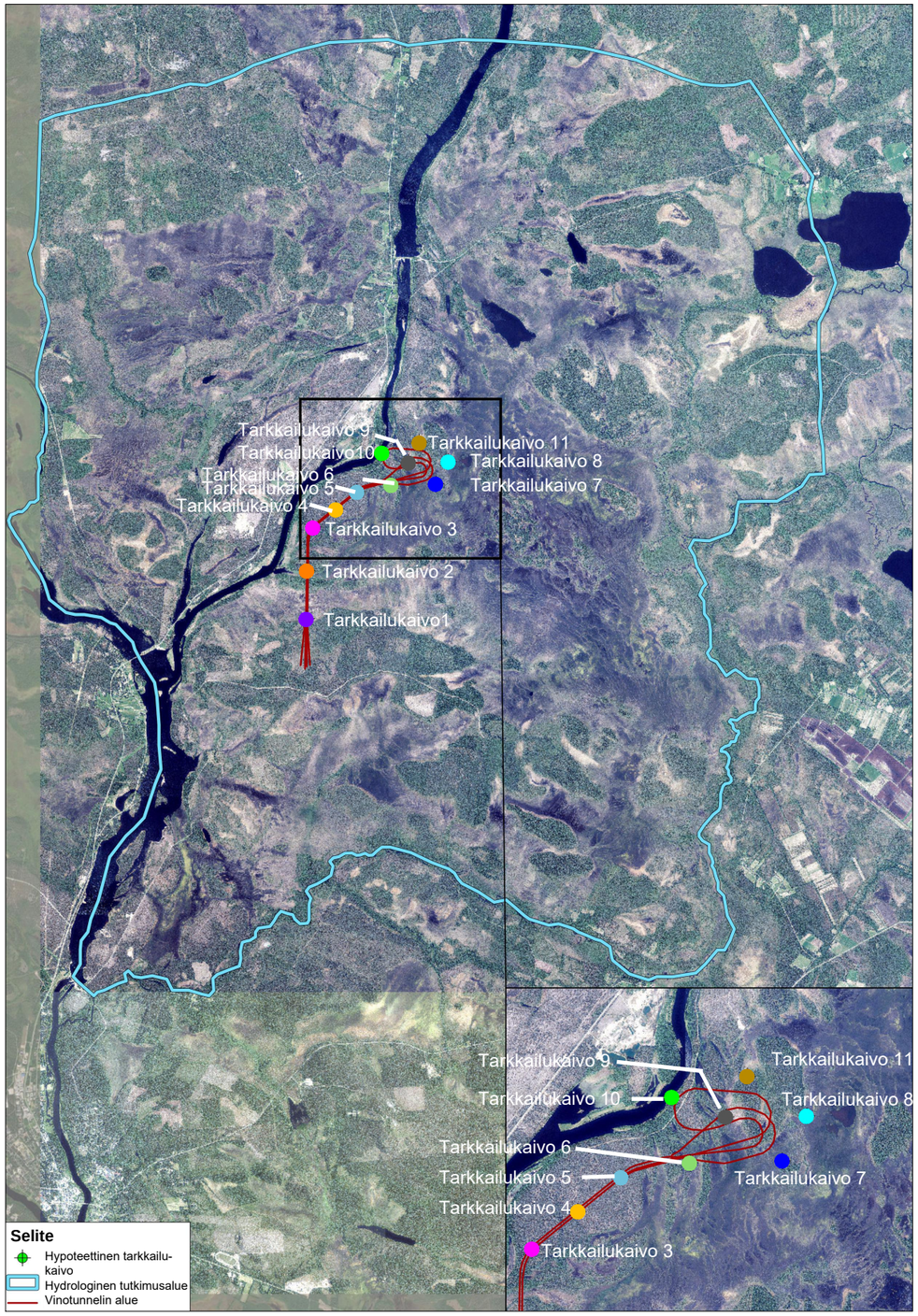
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

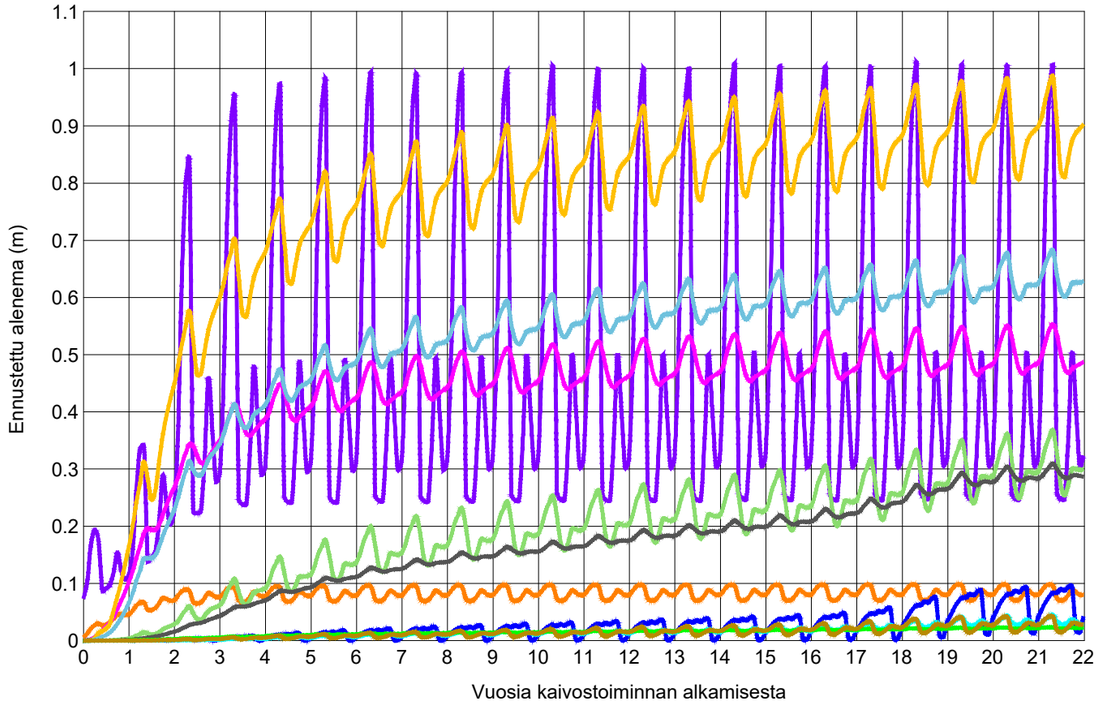
ITASCA™ Denver, Inc.

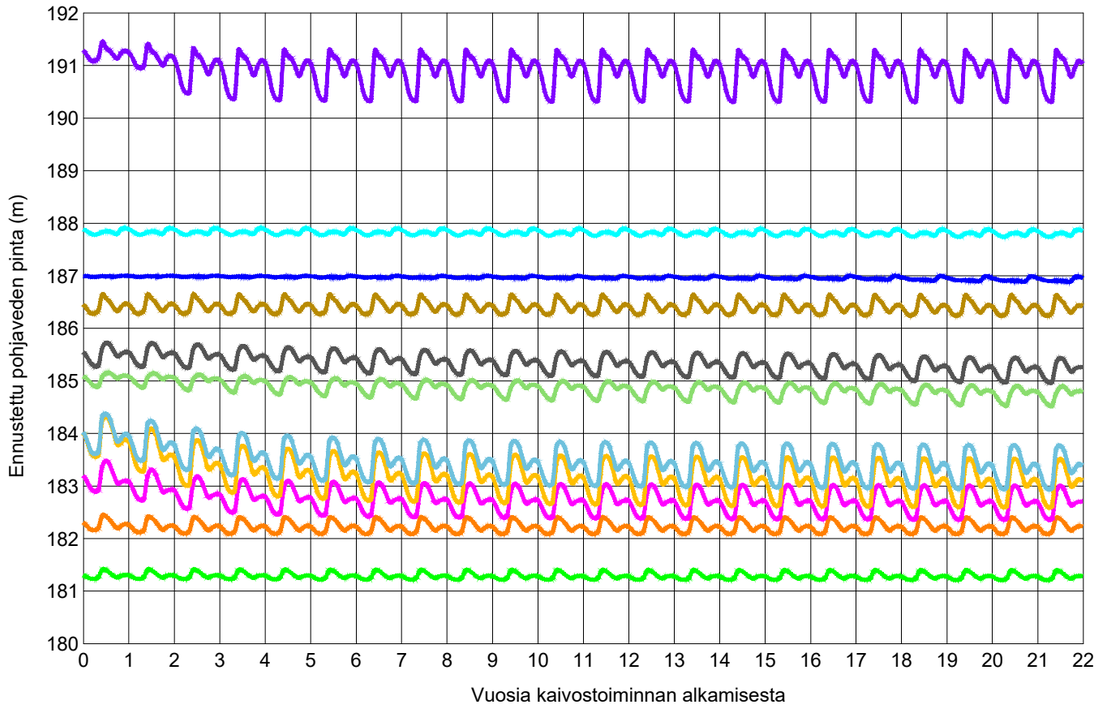
Ennustettu alenema kaivostoiminnan elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää

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

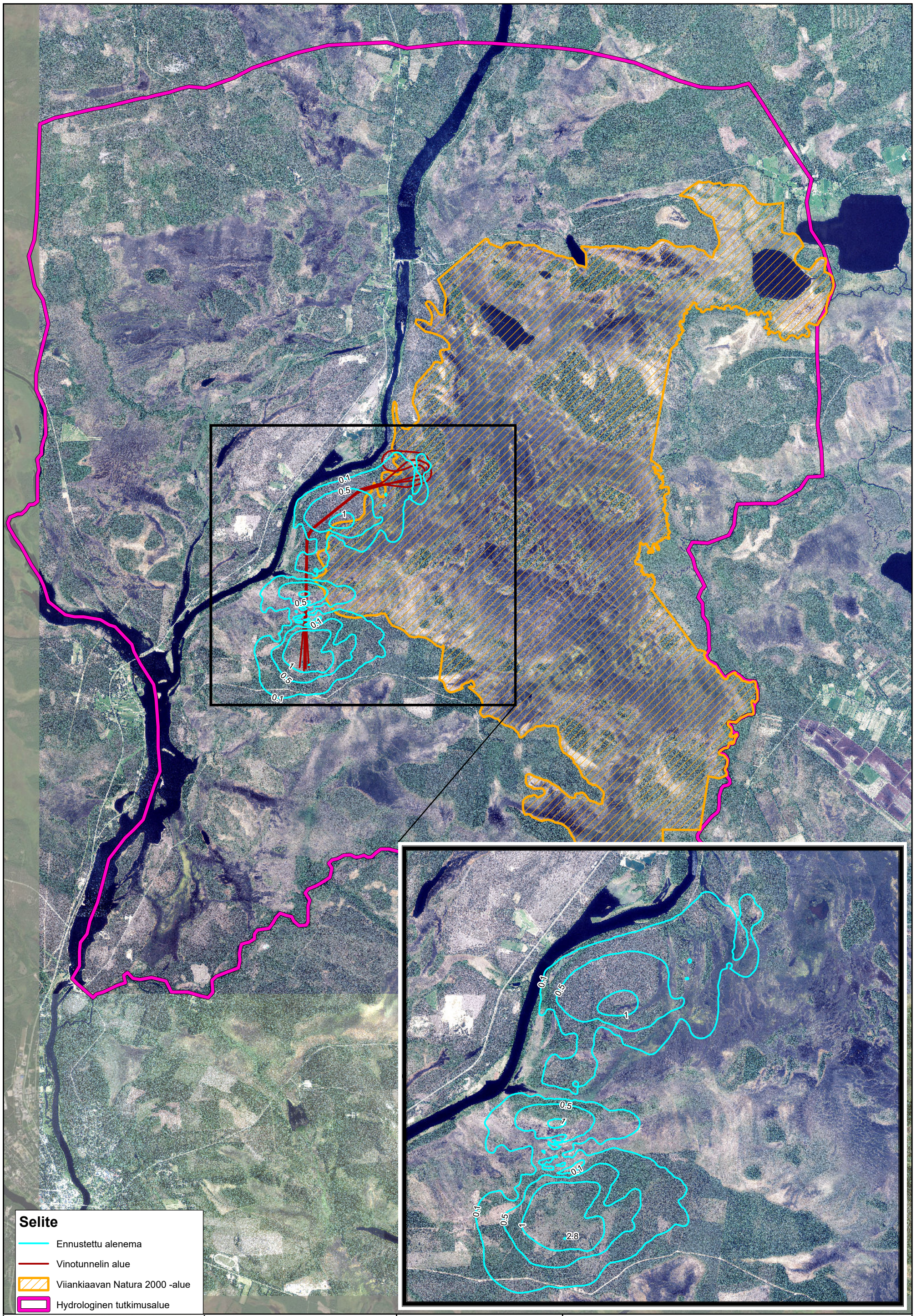
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

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

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-10b



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

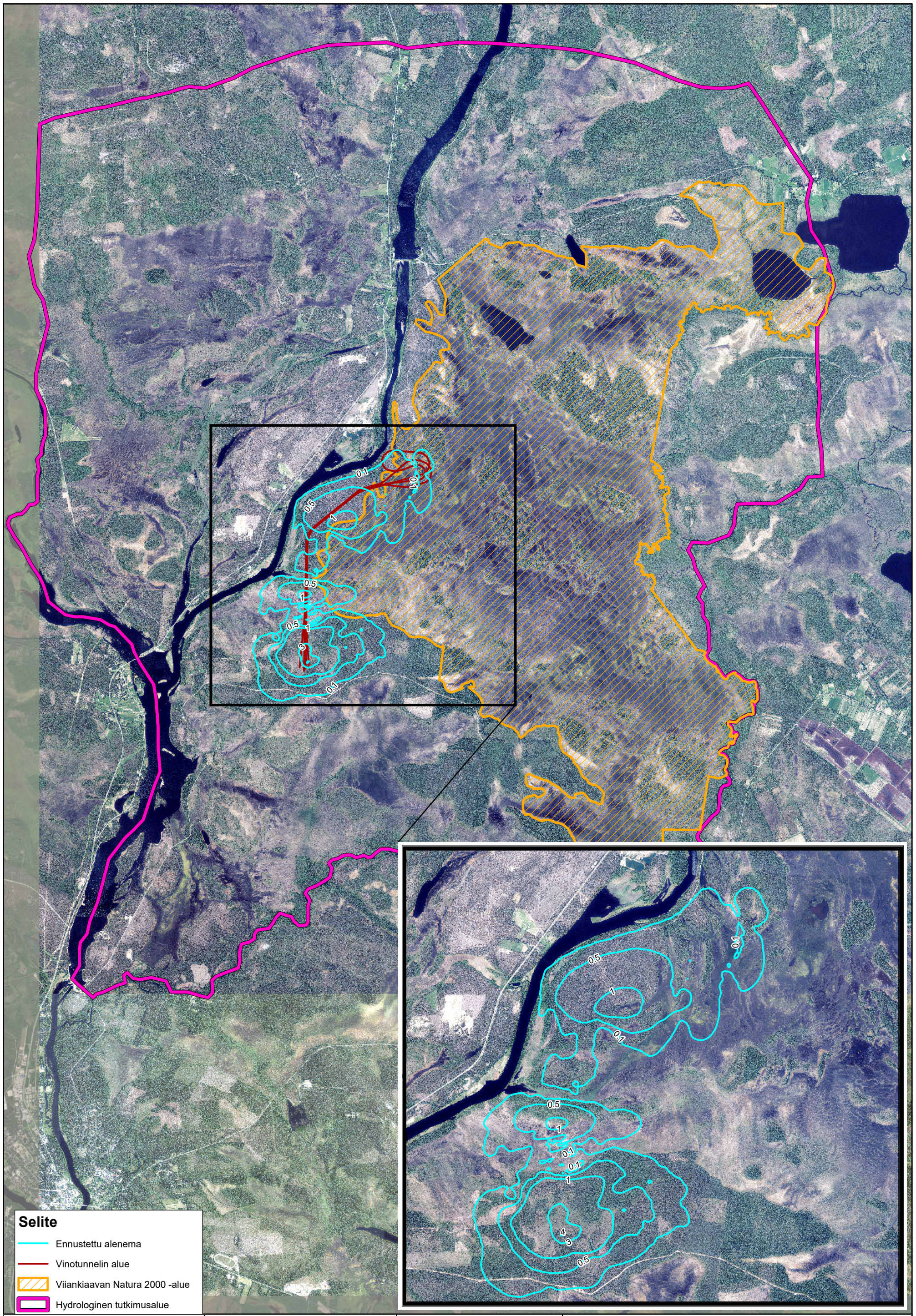
ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 80% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-11a

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



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

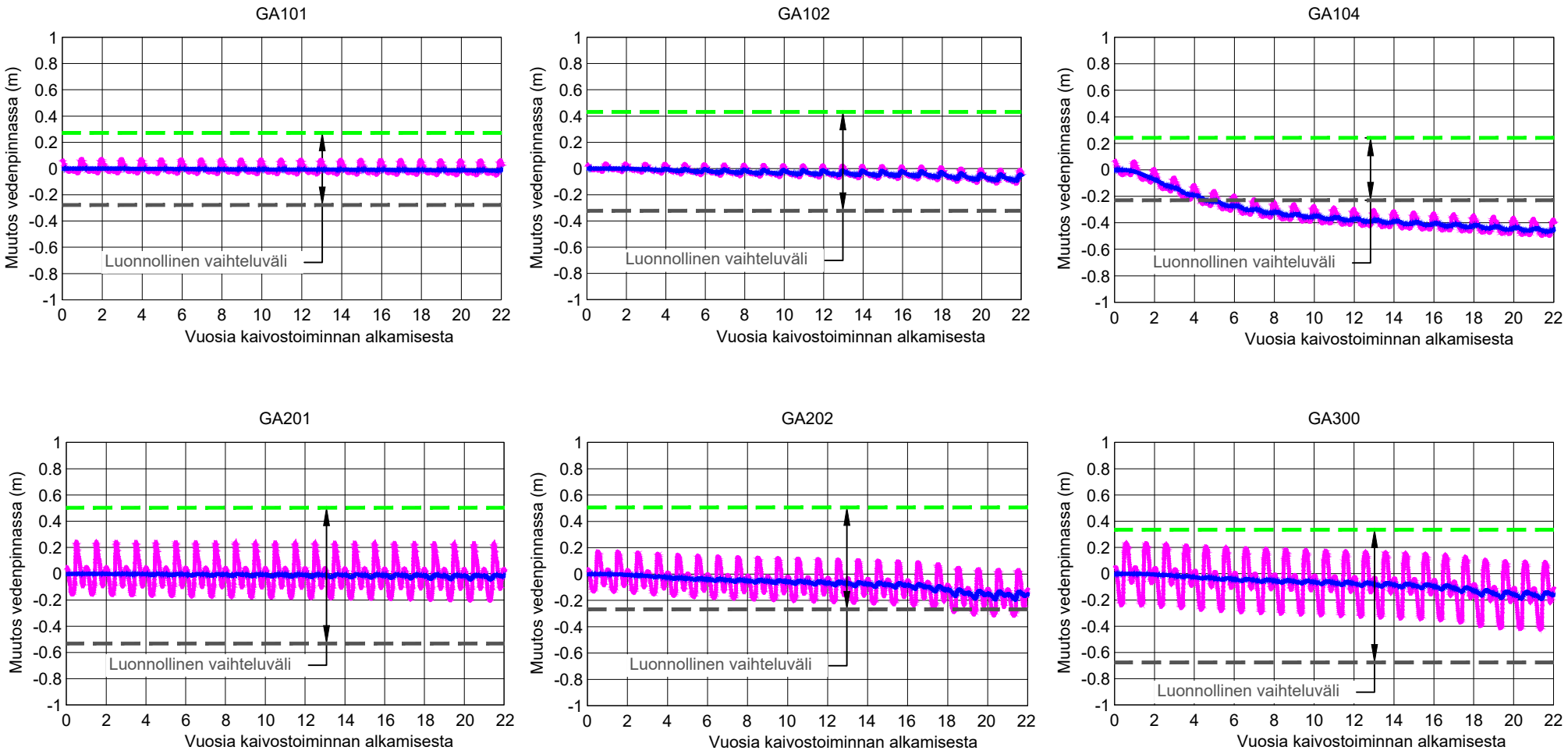
ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 65% tiivistysskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-11b

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



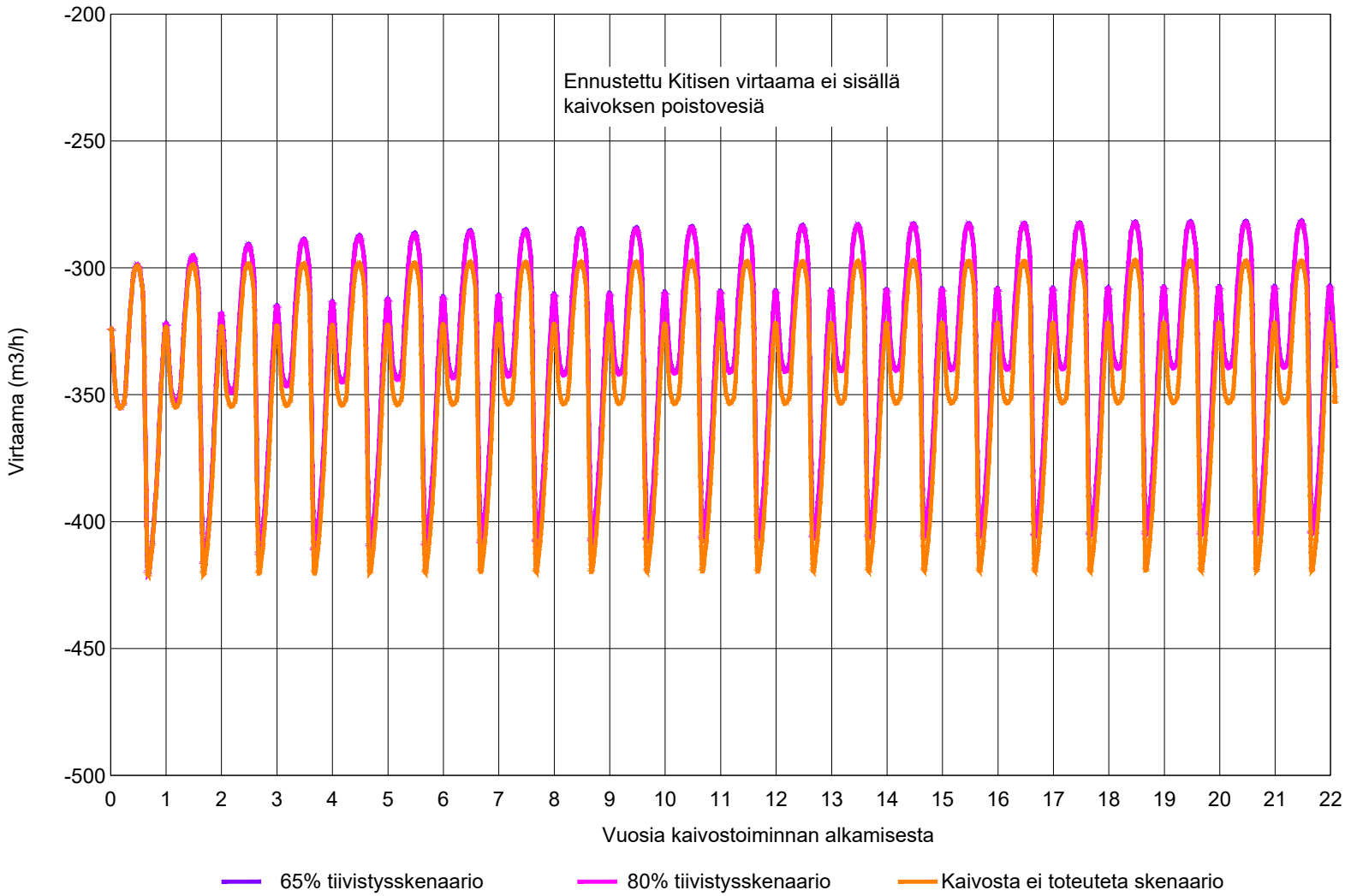
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Pohjaveden pinnankorkeuden ennustetut vuodenaikaisvaihtelut 80% tiivistysskenaariossa ilman NE satelliittiesiintymää

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-12



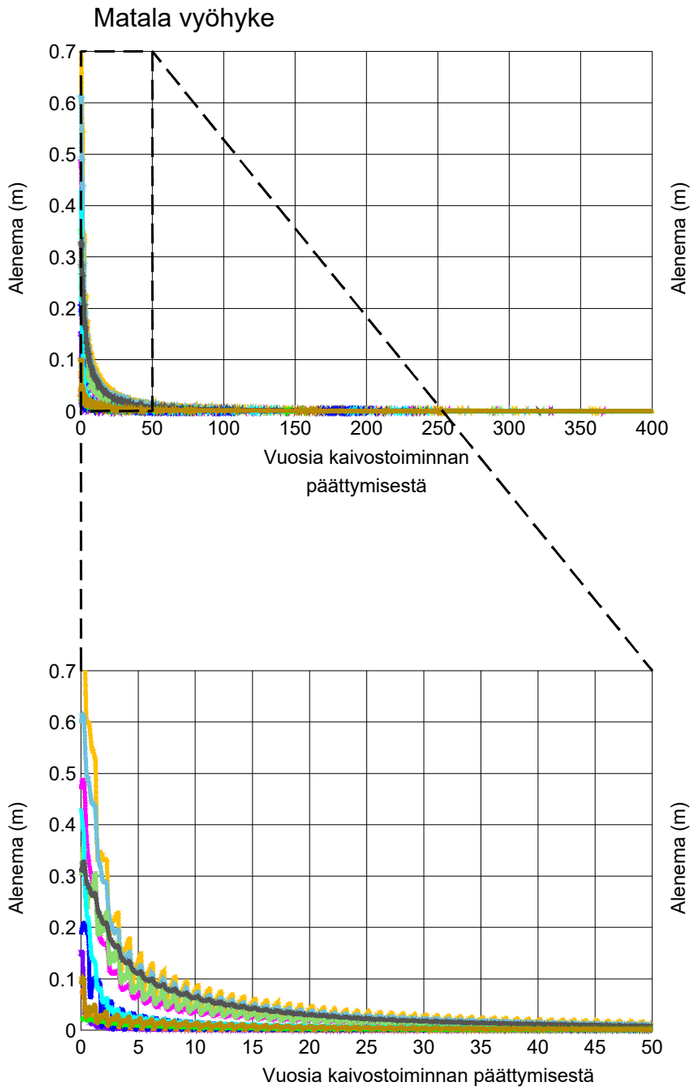
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

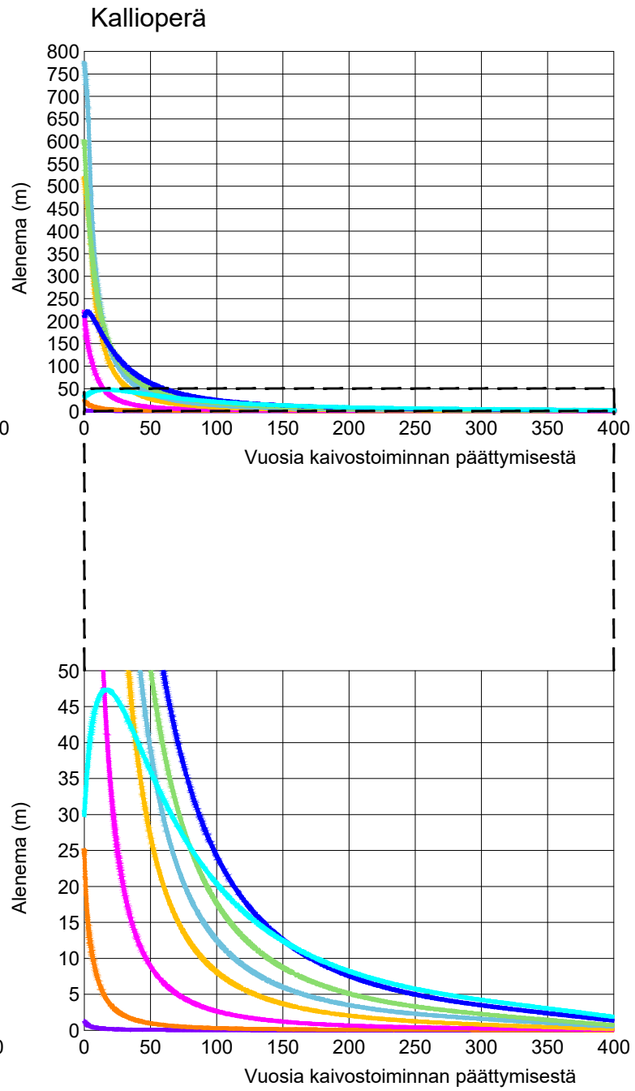
ITASCA™ Denver, Inc.

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

CLIENT: Sakatti Mine

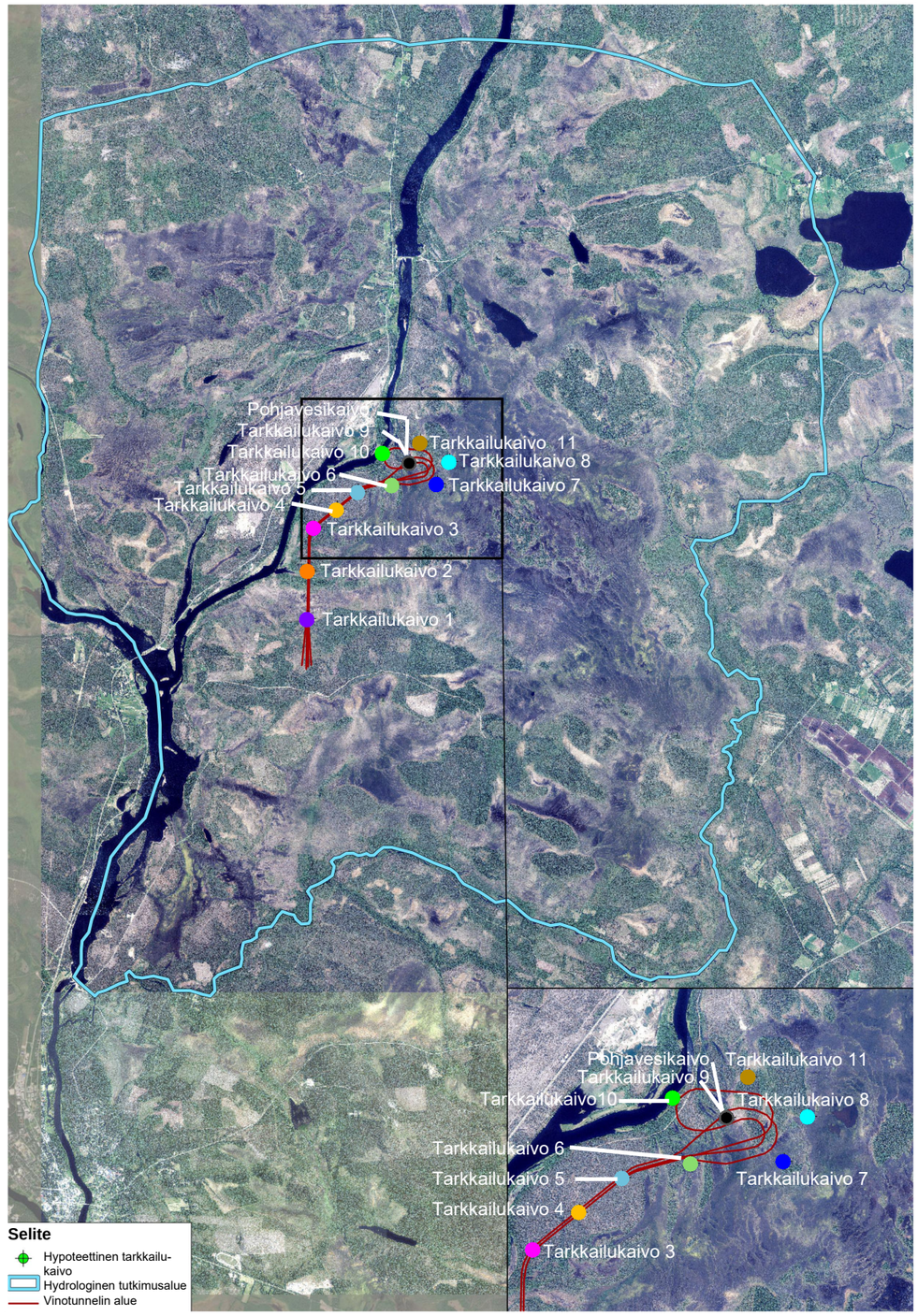
FIGURE NO. 5-13





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



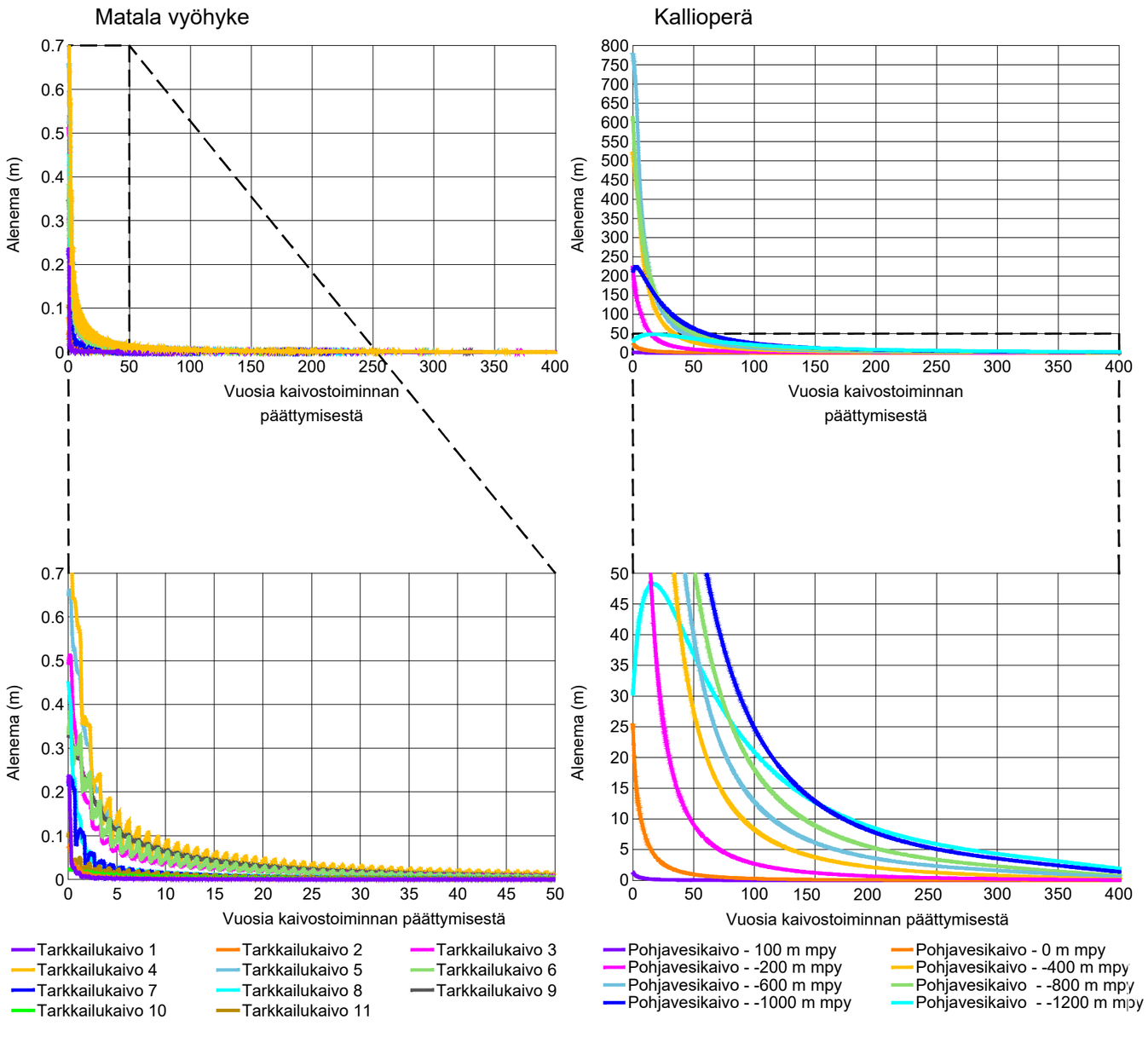
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	

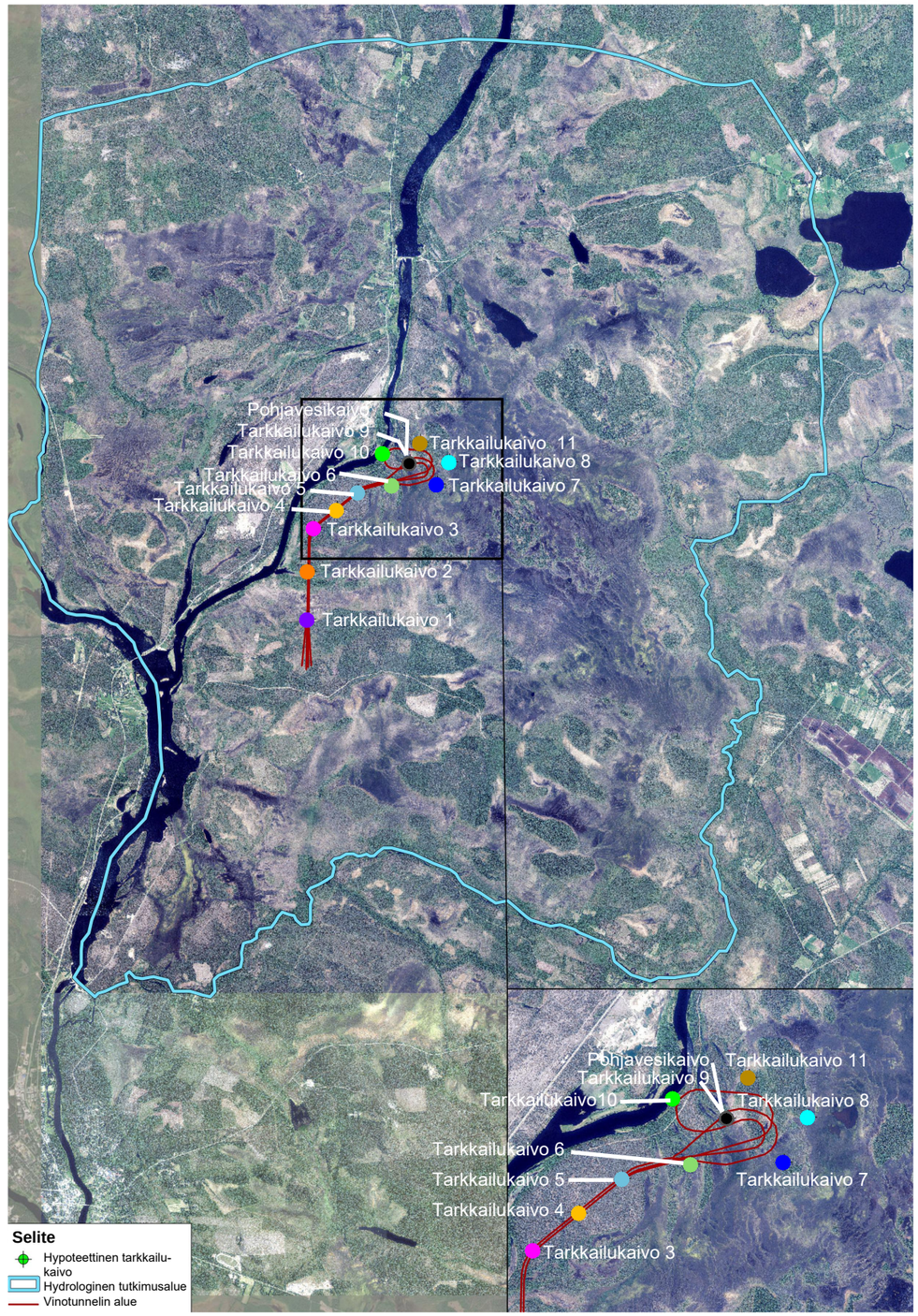
ITASCA™ Denver, Inc.

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

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-14a





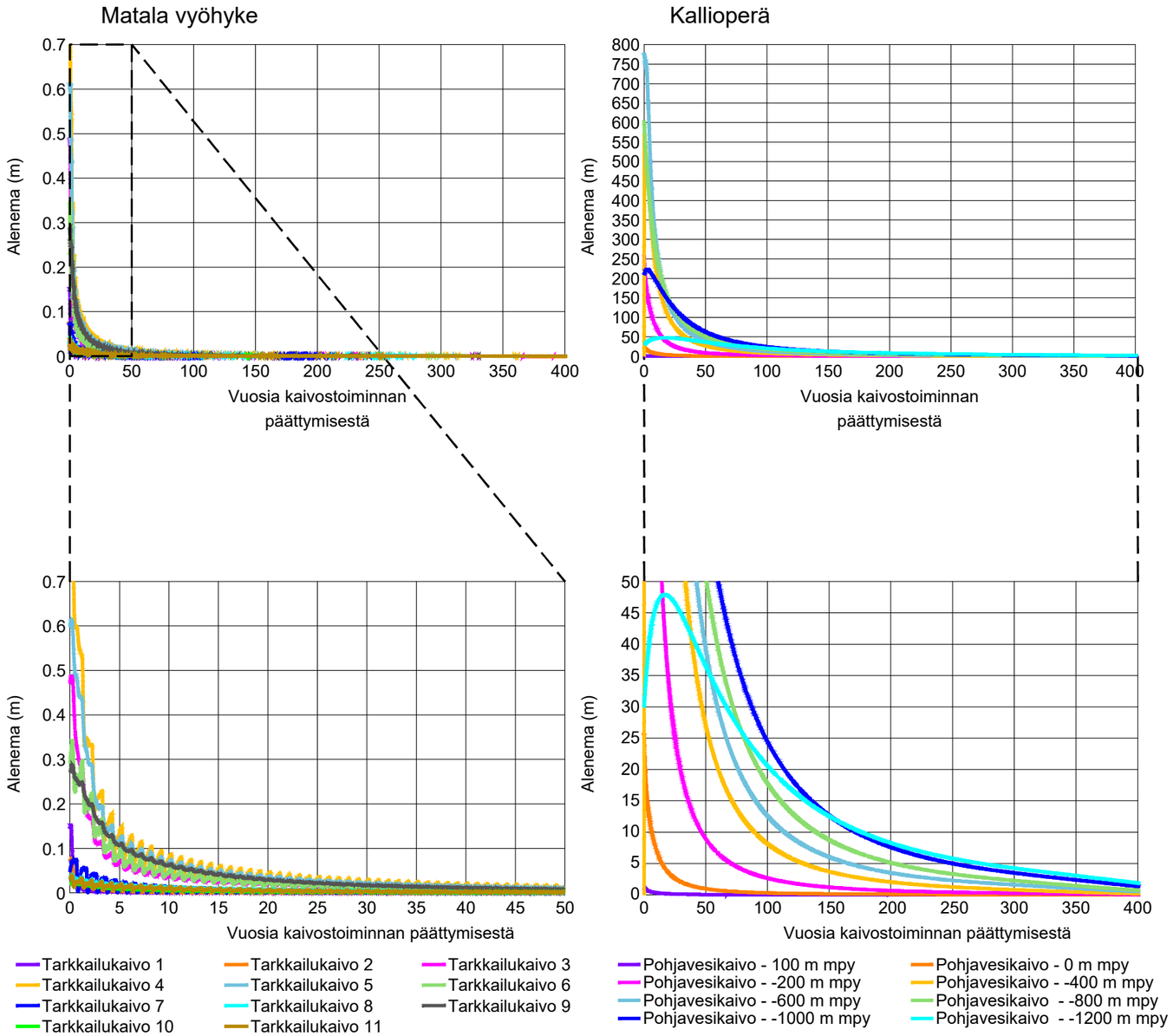
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	

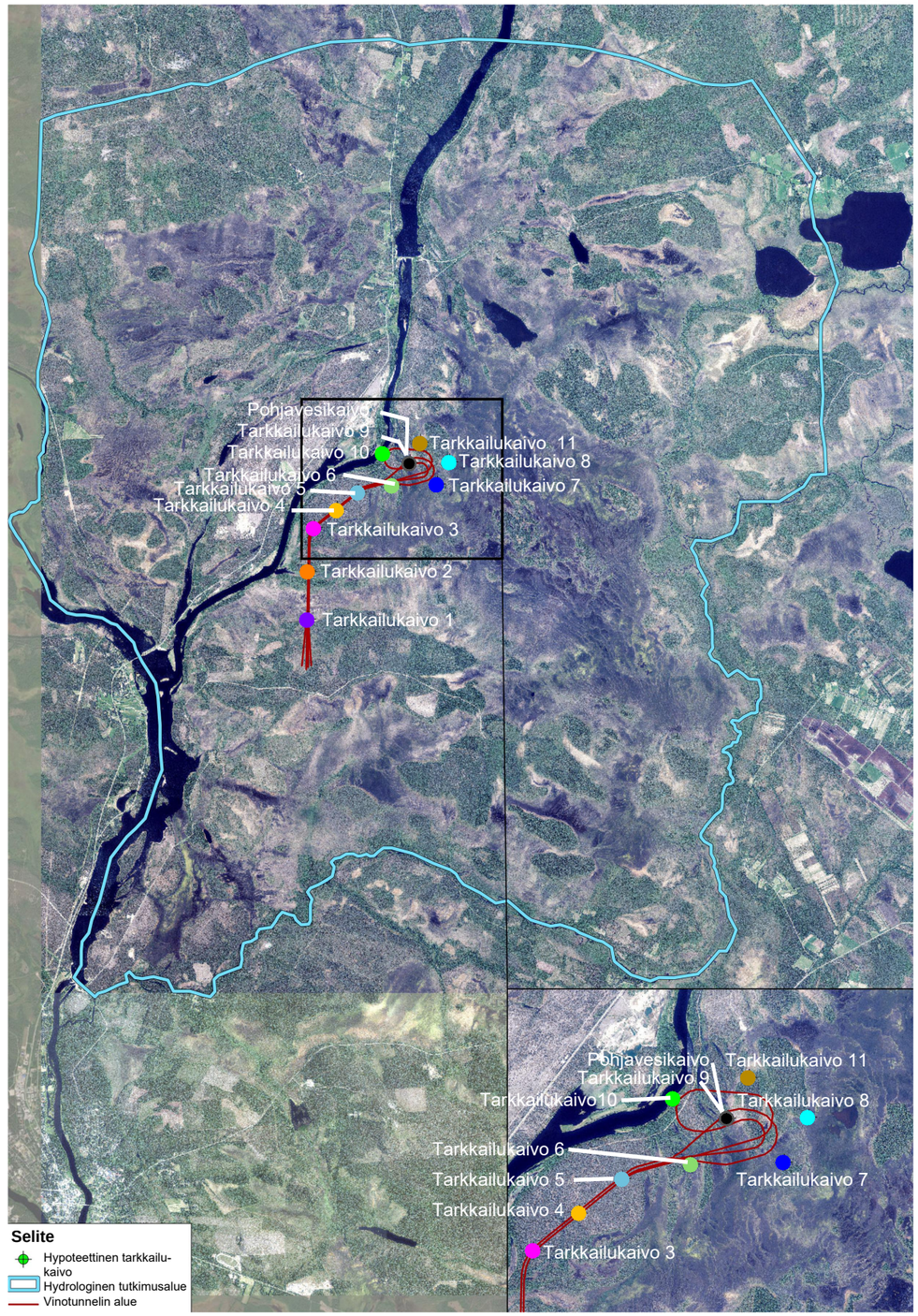
ITASCA™ Denver, Inc.

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

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-14b





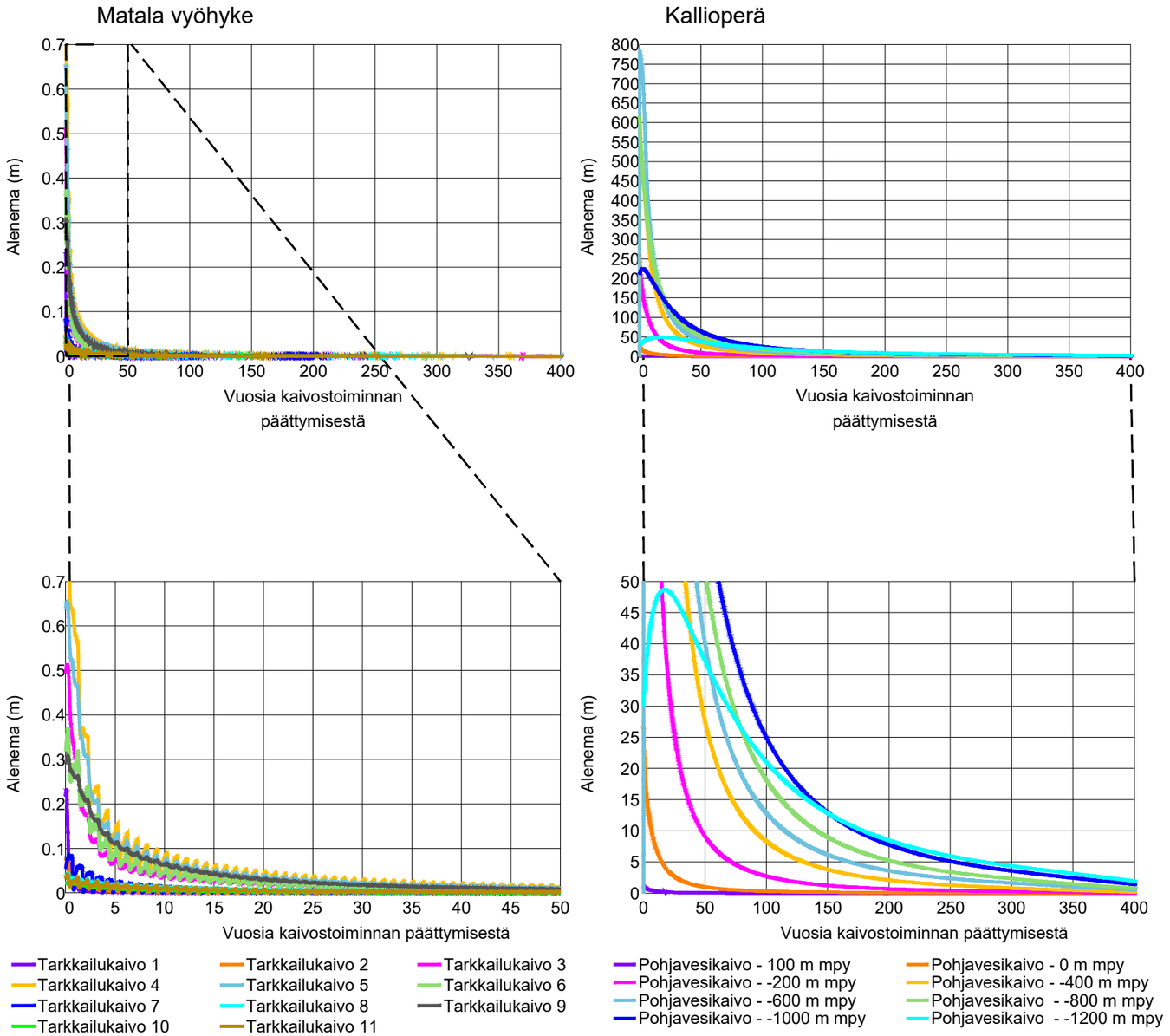
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	

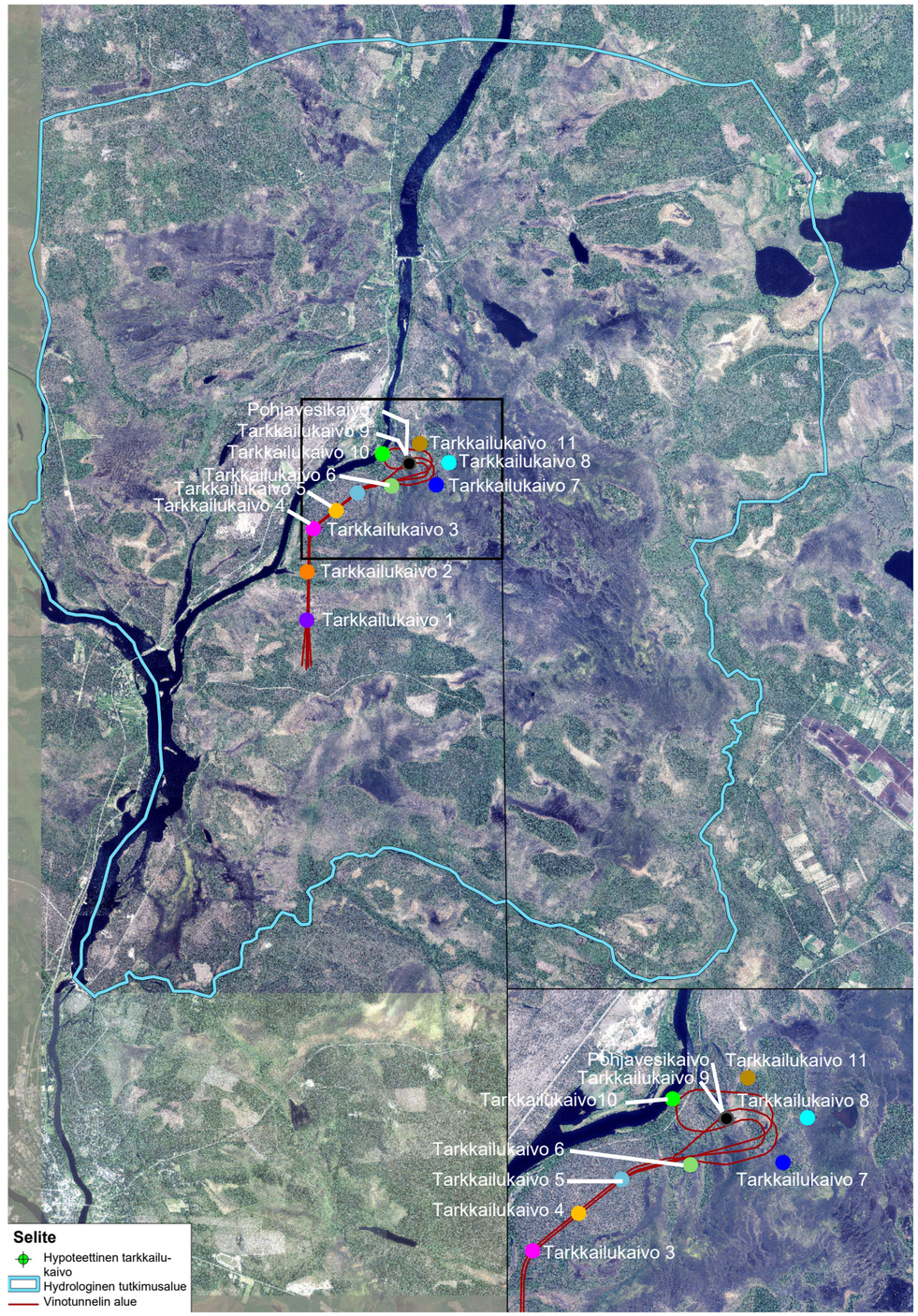
ITASCA™ Denver, Inc.

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

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-15a





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

ITASCA™ Denver, Inc.

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

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 vesihävikkikokeet, alustavien hydrogeologisten parametrien tuottaminen. Alustavan hydrogeologisen tietokannnan 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

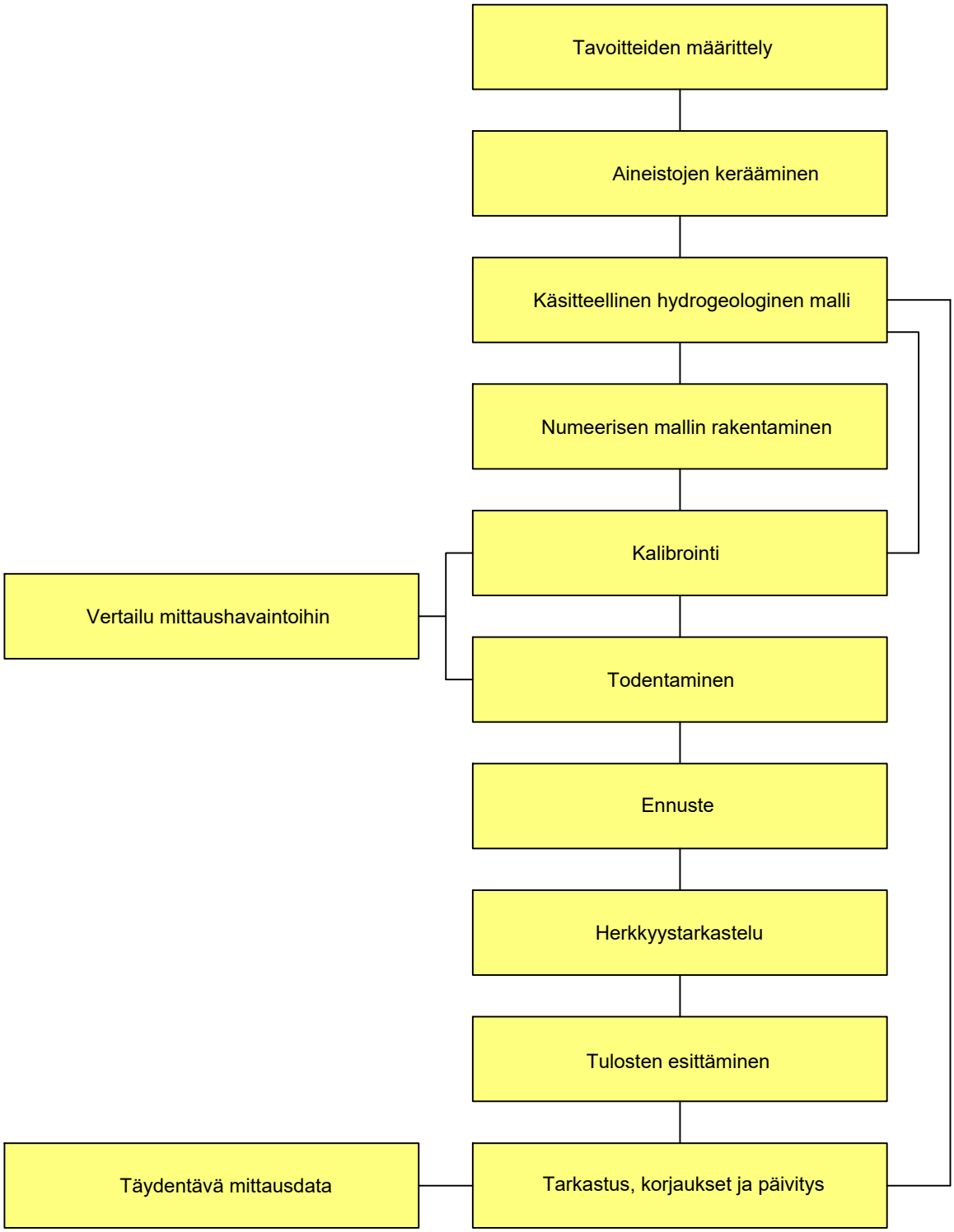
ITASCA™ Denver, Inc.

Hydrogeologisten selvitysten vaatimukset hankkeen eri vaiheissa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 6-1

Pohjaveden virtausmallinnuksen vaiheet



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

ITASCA™ Denver, Inc.

Pohjaveden virtausmallinnuksen vaiheet

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 6-2

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 vesihävikkikokeilla 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 vesihävikkikokeilla 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
17MOS8170	Testi 1	3 490 083	7 495 602	83	1.90E-09
	Testi 2	3 490 085	7 495 632	11	6.10E-10
	Test3	3 490 086	7 495 653	-54	3.30E-10
	Testi 4	3 490 087	7 495 683	-153	2.50E-09
17MOS8174	Testi 2	3 489 700	7 495 630	60	6.20E-09
	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
17MOS8178	Testi 10	3 489 565	7 495 625	-558	9.00E-10
	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
17MOS8180	Testi 2	3 490 049	7 495 568	134	1.80E-05
	Testi 3	3 490 049	7 495 582	122	7.60E-08
	Testi 4	3 490 049	7 495 602	47	6.90E-09
17MOS8183	Testi 3	3 489 903	7 495 752	25	1.20E-06
	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 vesihävikkikokeilla 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
	Testi 9	3 489 406	7 495 750	-496	1.71E-09
18MOS8208	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 vesihävikkikokeilla 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
	Testi 9	3 487 833	7 494 596	-268	3.60E-07
18MOS8228	Testi 1	3 489 102	7 495 765	111	2.06E-05
	Testi 2	3 489 101	7 495 740	64	1.52E-05
18MOS8229	Testi 1	3 488 558	7 494 674	68	3.87E-07

TAULUKKO 3-2

Yhteenveto vesihävikkikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
(Sivu 5 / 7)

Kairareiän 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
19MOS8242	Testi 1	3 489 799	7 495 883	91	6.09E-09
	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
20HYD041	Testi 1	3 489 533	7 496 574	39	5.03E-08
20HYD043	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 vesihävikkikokeilla 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 vesihävikkikokeilla mitatuista vedenjohtavuuden arvoista
(Sivu 7 / 7)

Kairareiän 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* (m²/vrk)	*T* (m²/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 soramoreeni, 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	Nostepumppauksen 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)

Kairareikätunnus	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)

Kairareikätunnus	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)

Kairareikätunnus	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)

Kairareikätunnus	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)

Kairareikätunnus	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	5.0×10^{-8} – 4.3×10^{-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			3.5×10^{-5} - 4.6×10^{-5}	3.5×10^{-6} - 4.6×10^{-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		1.0×10^{-7} – 1.0×10^{-5}	9.3×10^{-7} - 9.3×10^{-6}	9.3×10^{-8} - 9.3×10^{-7}	10	1.0×10^{-6}	0.1 - 0.25	
Rikkonainen kallio	Joen varrella	8.1×10^{-8} – 1.4×10^{-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		1.0×10^{-5} - 4.7×10^{-5}	1.0×10^{-6} - 4.7×10^{-6}	10	5.0×10^{-6}	0.01	
Ehjä kallio	Joen varrella	1.0×10^{-12} – 3.4×10^{-5}	2.0×10^{-9} - 2.0×10^{-7}	2.0×10^{-10} - 2.0×10^{-8}	10	5.0×10^{-6}	0.005	Vedenjohtavuusarvot (K) pienenevät syvyyden suhteen vesihävikkikokeiden mittaustulosten perusteella; ks. Kuva 4-3.
	Kaivoksen lähialue		1.0×10^{-9} - 1.0×10^{-7}	1.0×10^{-10} - 1.0×10^{-8}	10	5.0×10^{-6}	0.005	
Pohjaruhje		5.9×10^{-7} – 9.6×10^{-7}	1.2×10^{-8} - 8.1×10^{-7}	1.2×10^{-8} - 8.1×10^{-7}	1	5.0×10^{-6}	0.005	
Muut ruhjeet		4.3×10^{-11} – 1.0×10^{-6}	1.0×10^{-9} - 1.0×10^{-7}	1.0×10^{-9} - 1.0×10^{-7}	1	5.0×10^{-6}	0.005	

Huom:

1. Olettaen että vaakasuora vedenjohtavuus X-suunnassa (Kx) on sama kuin vaakasuora vedenjohtavuus Y-suunnassa (Ky).
2. Anisotropia vedenjohtavuuksien Kh ja Kv 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) syvyystaso (m)	TBM tiivistysskenaario (%)	Ruhjeiden tiivistysskenaario (%)	*Louhos- ja tunnelitäytön vedenjohtavuus K* (m/s)	Huomautus
80% tiivistysskenaario	150	80	80	5.0×10^{-8}	Todennäköisin
65% tiivistysskenaario	150	65	65	1.0×10^{-7}	

TAULUKKO 5-2

ITASCA Denver, Inc.

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

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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 kokonaismäärista malliskenaarioissa, joissa on mukana NE satelliittiesiintymä
(Sivu 2 / 7)

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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

ITASCA Denver, Inc.

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

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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

ITASCA Denver, Inc.

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

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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

ITASCA Denver, Inc.

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

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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

ITASCA Denver, Inc.

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

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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 kokona malliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 1 / 7)

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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 kokona malliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 2 / 7)

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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 kokona malliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 3 / 7)

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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 kokona malliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 4 / 7)

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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 kokona malliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 5 / 7)

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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 kokona malliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 6 / 7)

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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 kokona malliskenaarioissa ilman NE satelliittiesiintymää
(Sivu 7 / 7)

Vuosia kaivostoiminnan alkamisesta	Vuotovesimäärä (m^3/h)		Kumulatiivinen vuotovesimäärä (m^3)	
	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario	80% tiivistysskenaario	65% tiivistysskenaario
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

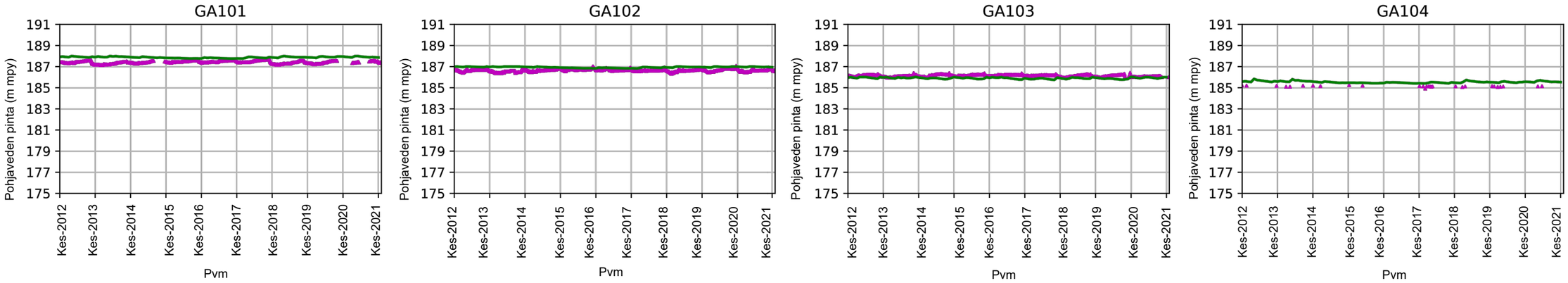
Yhteenveto mallin keskeisistä parametreistä ja epävarmuuksista

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 ruhjevyöhykkeistä. 2. Vedenjohtavuusarvoja (K) ei tunneta alueellisista ruhjeista.	Keskitasoinen	1. Alueellisten maanalaista 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 pohjavesivyöhykkeessä	AA Sakatti Mining Oy on mitannut pohjaveden pinnankorkeuksia kaivostoimintojen alueella vuodesta 2012. Seurannan tarkoituksena on ollut selvittää vuodenaikaisvaihtelun vaikutusta imeyntään eri matalan vyöhykkeen 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 pietsometreistä (VWP) yli 200 m syvyystasolla 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 tilanteessa 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 ilmastonmuutoksen 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



Simuloitu

Mitattu

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

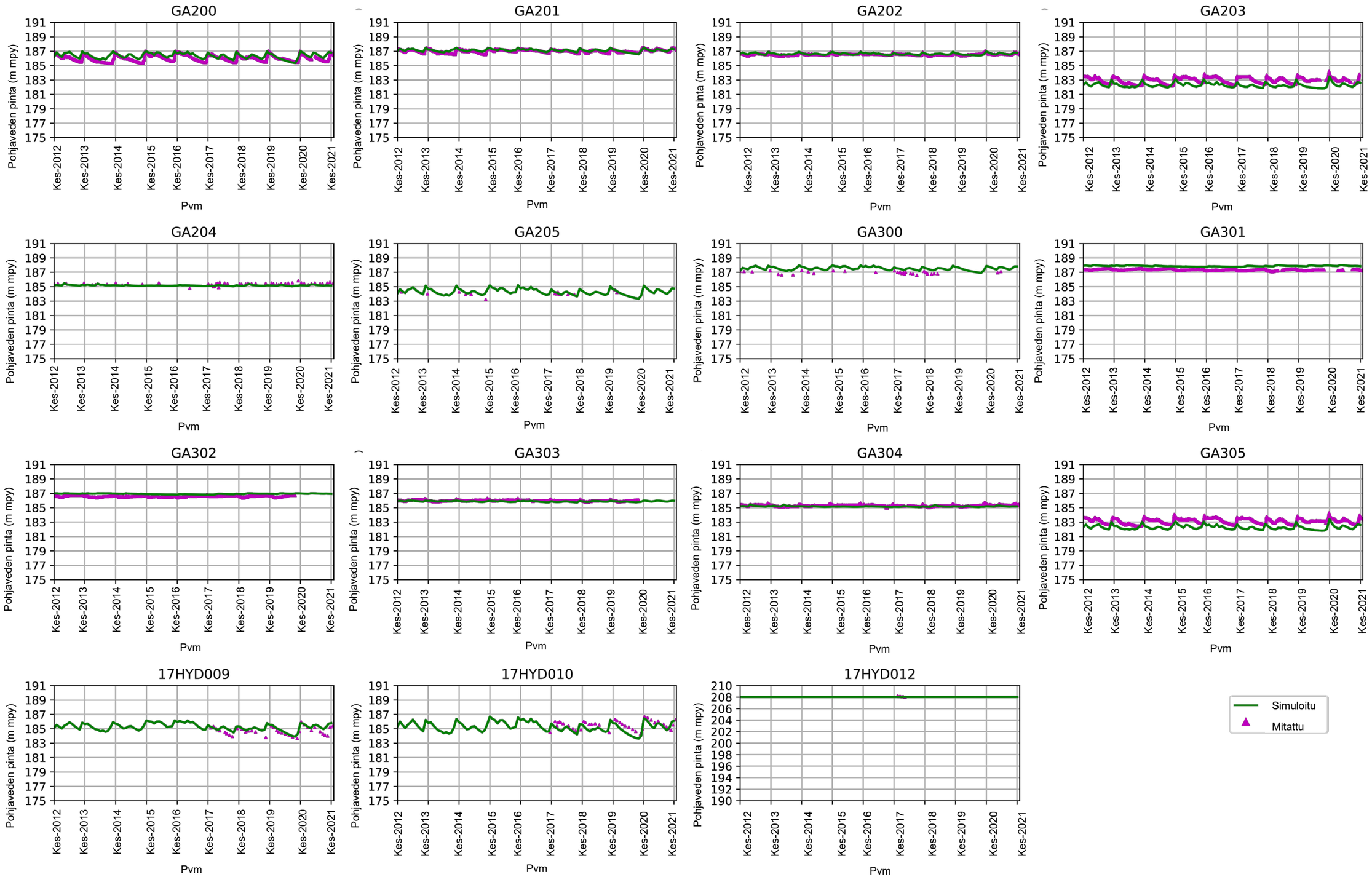
ITASCA™ Denver, Inc.

Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat

CLIENT: Sakatti Mine

APPENDIX NO. A1

Pohjavesipinnat kivennäismaalajeissa



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

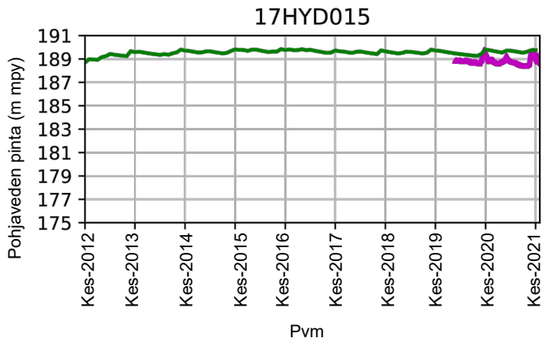
ITASCA™ Denver, Inc.

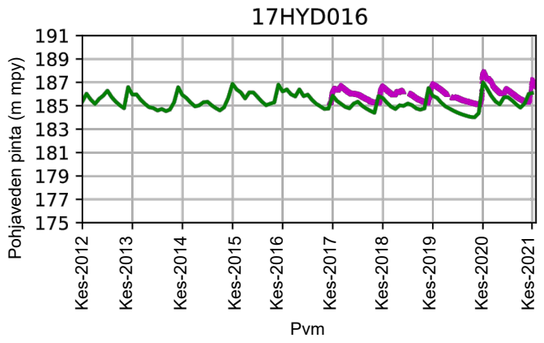
Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat

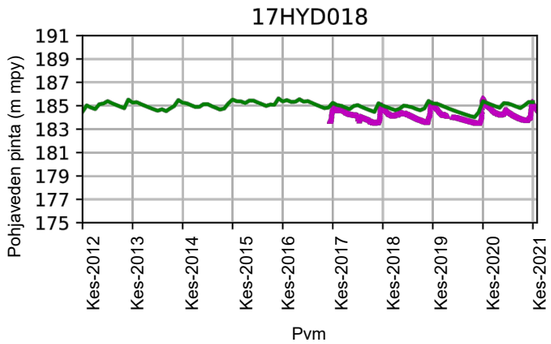
CLIENT: Sakatti Mine

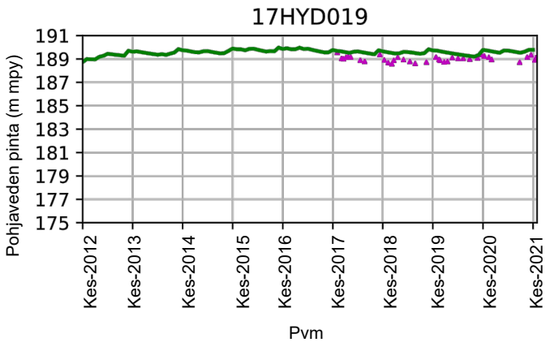
APPENDIX NO. A2

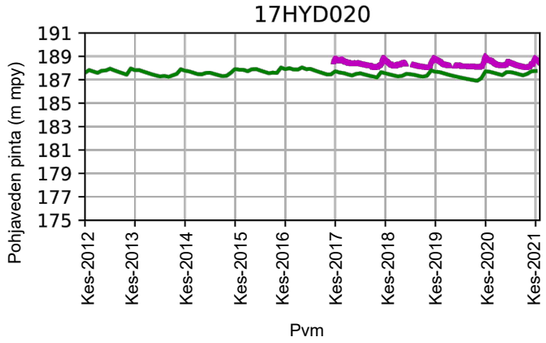
Pohjavesipinnat kivennäismaalajeissa

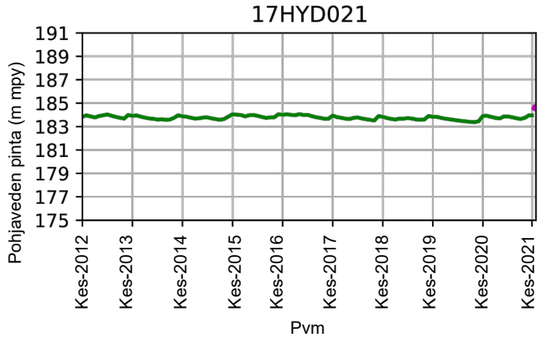


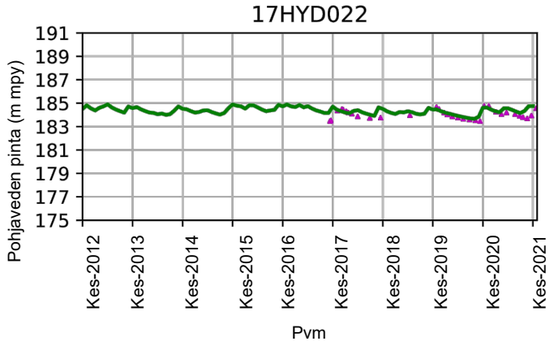


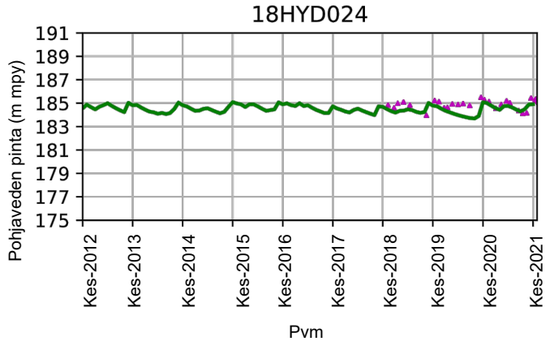


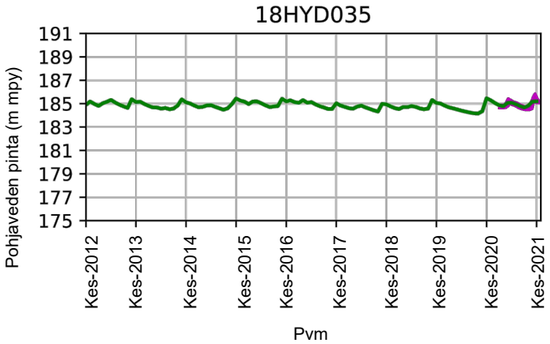


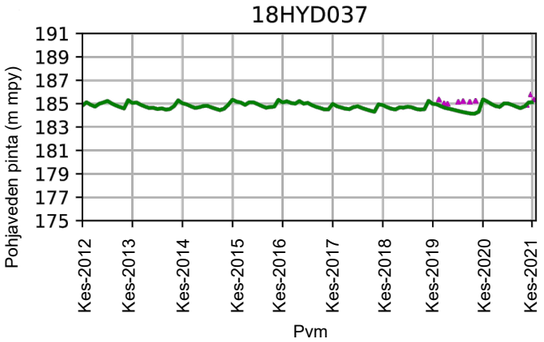


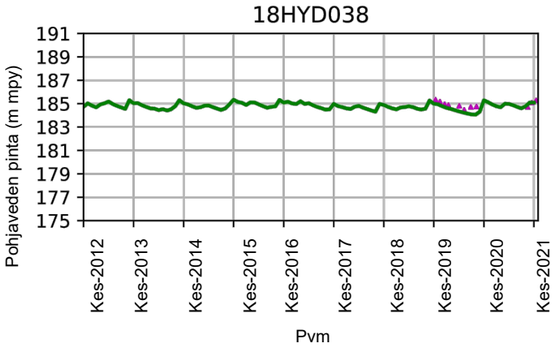


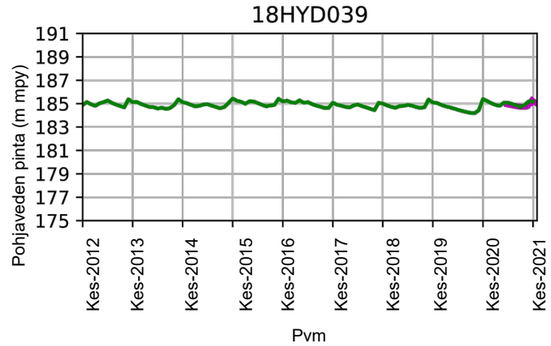


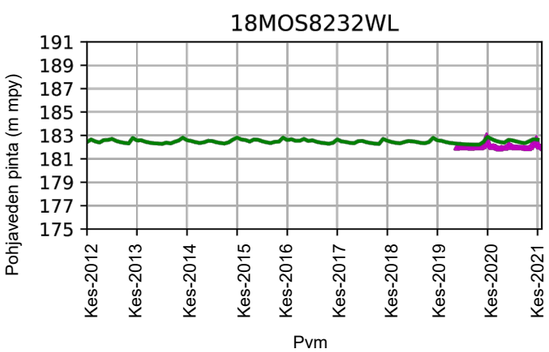


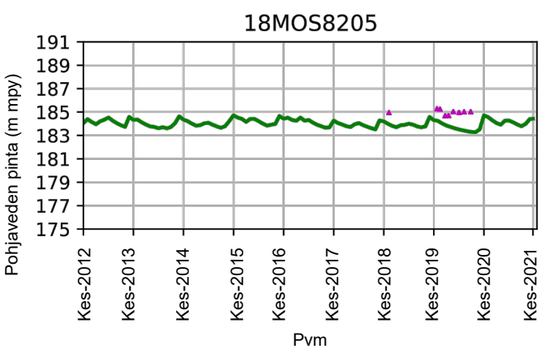


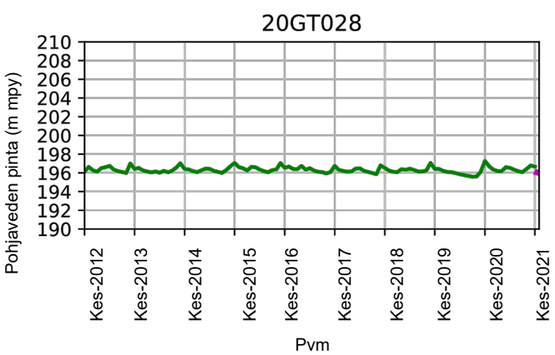














PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	

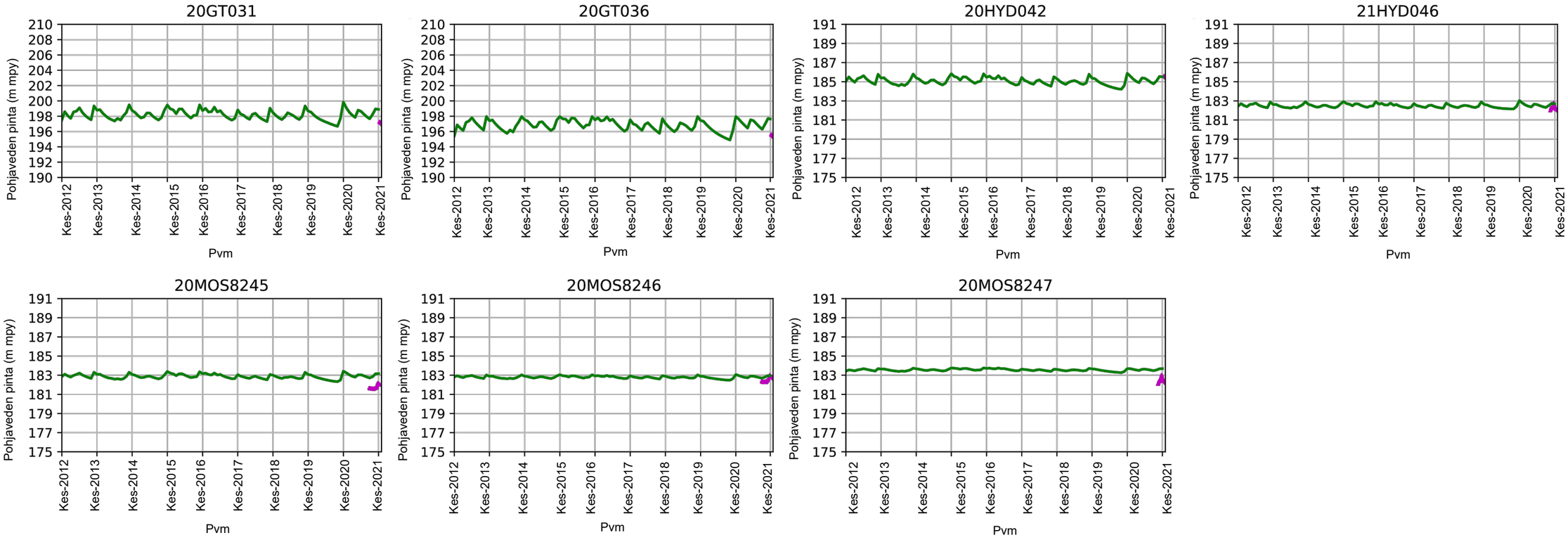
ITASCA™ Denver, Inc.

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	

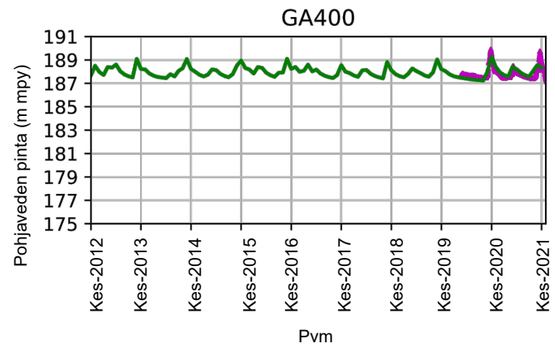
ITASCA™ Denver, Inc.

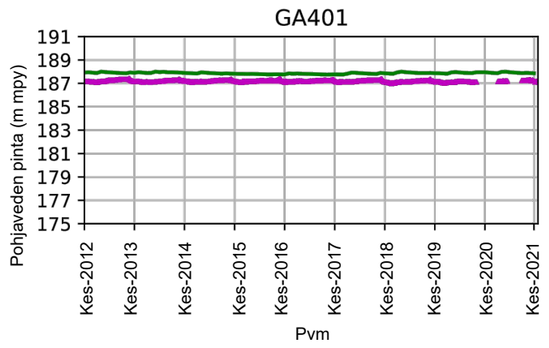
Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat

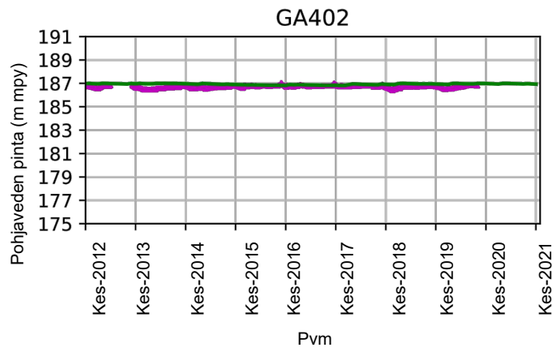
CLIENT: Sakatti Mine

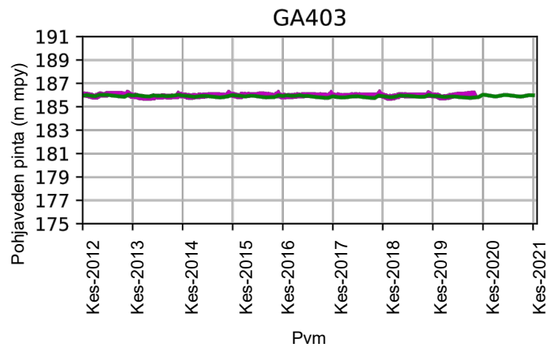
APPENDIX NO. A4

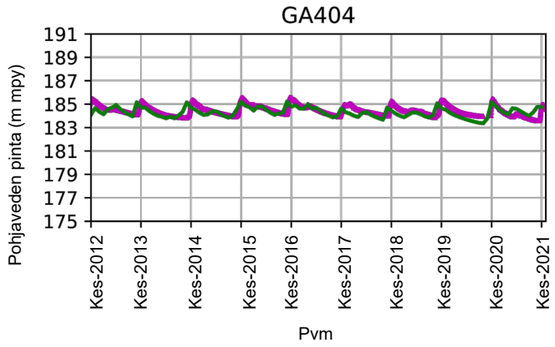
Pohjavesipinnat kallioperässä

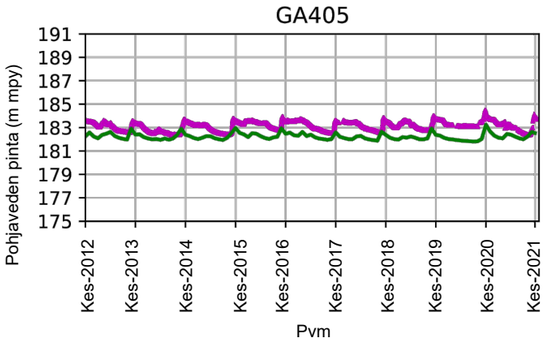


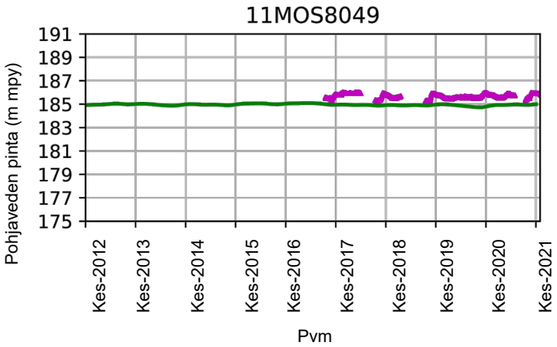


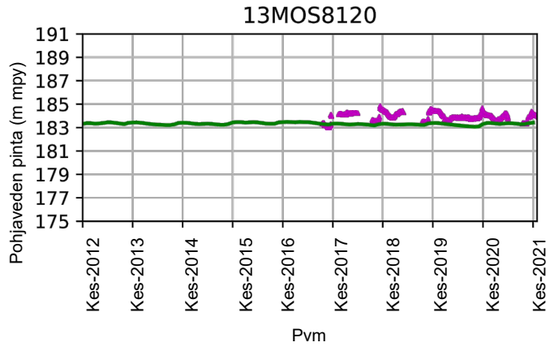


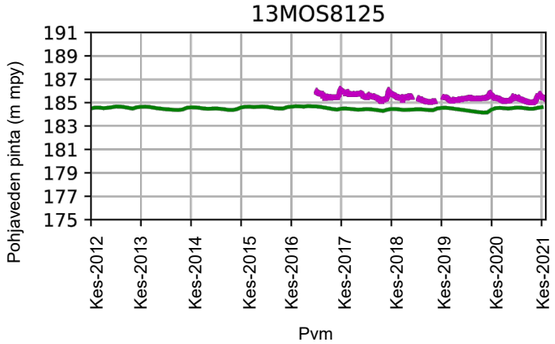


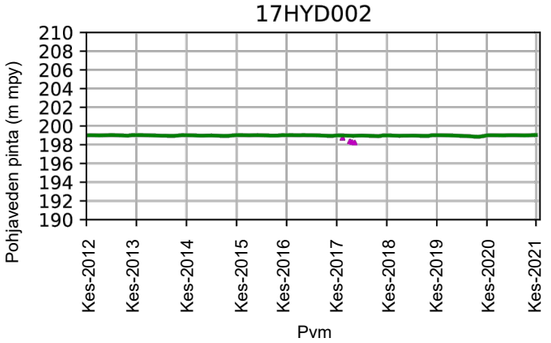


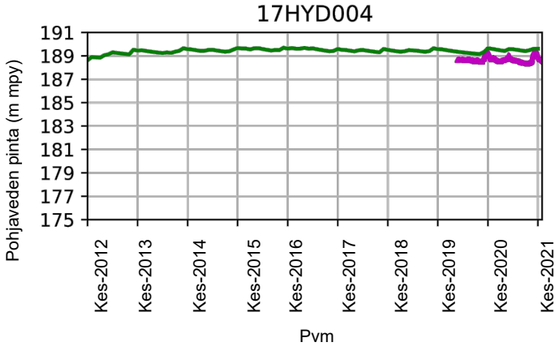


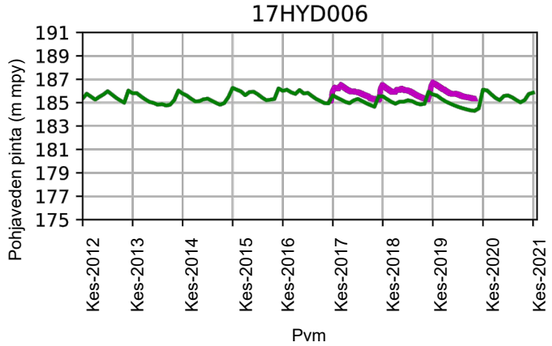


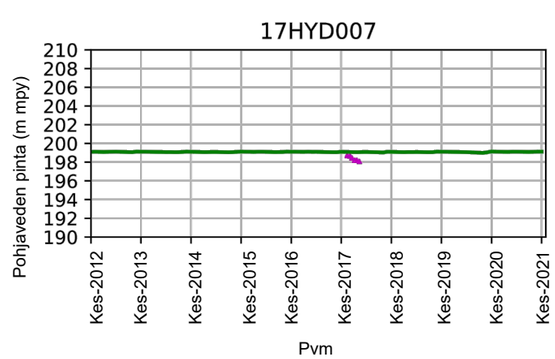


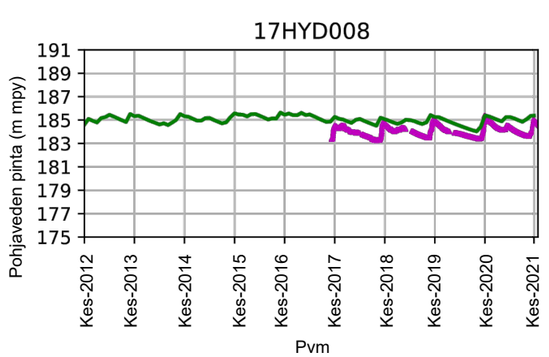


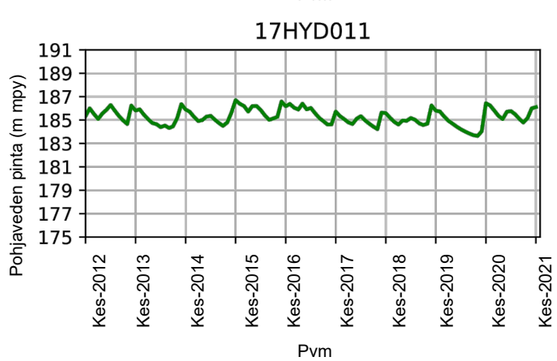














PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	

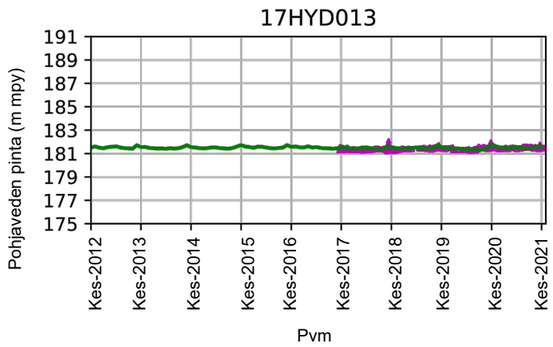
ITASCA™ Denver, Inc.

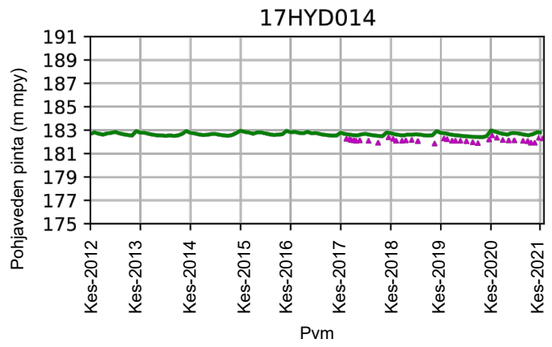
Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat

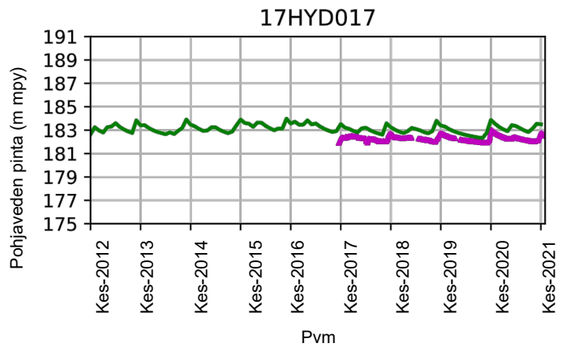
CLIENT: Sakatti Mine

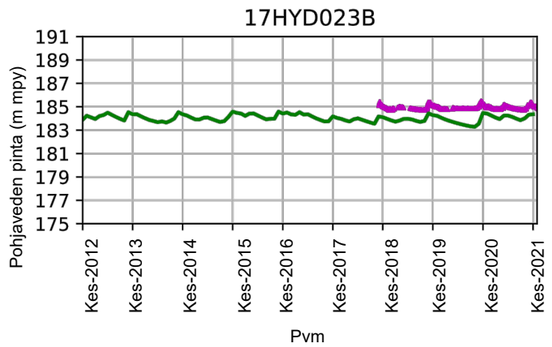
APPENDIX NO. A5

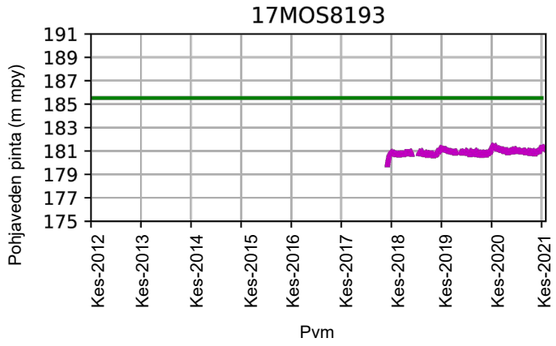
Pohjavesipinnat kallioperässä

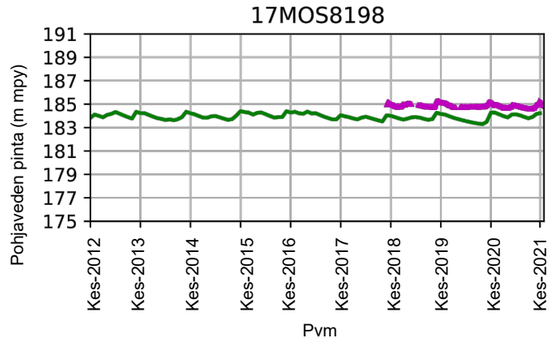


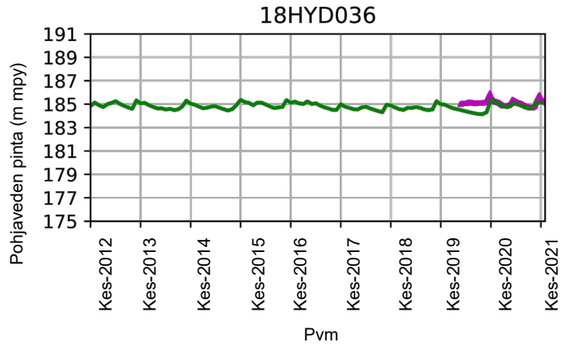


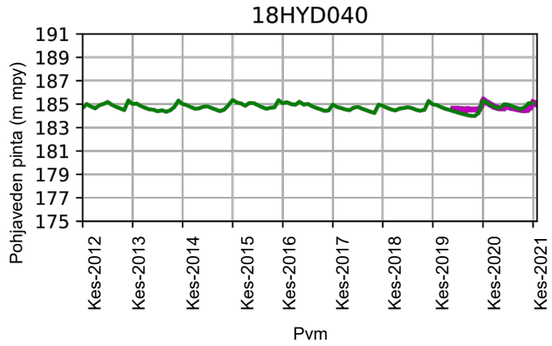


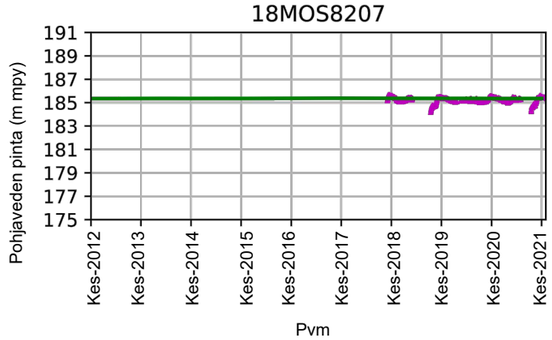


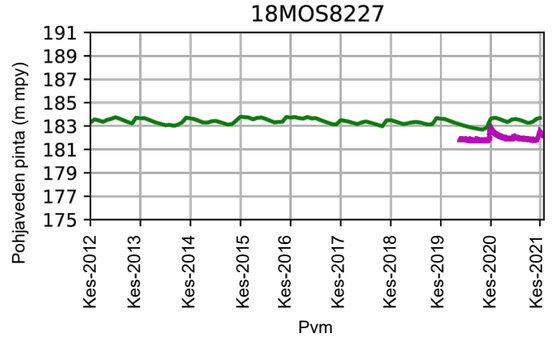


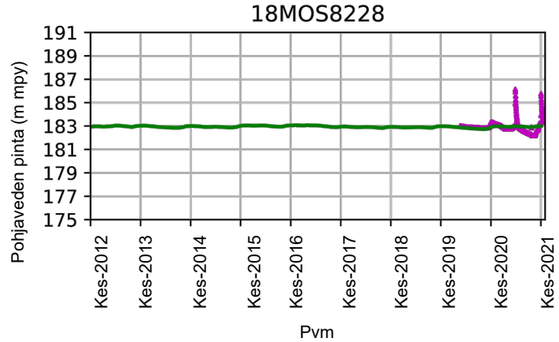


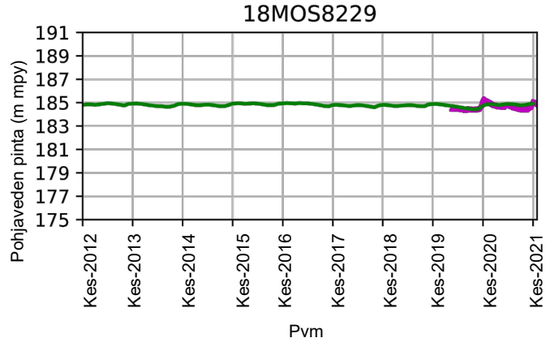


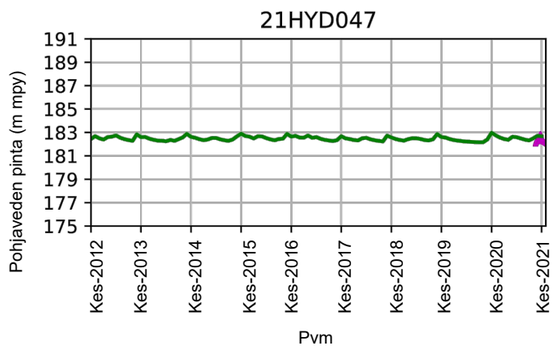


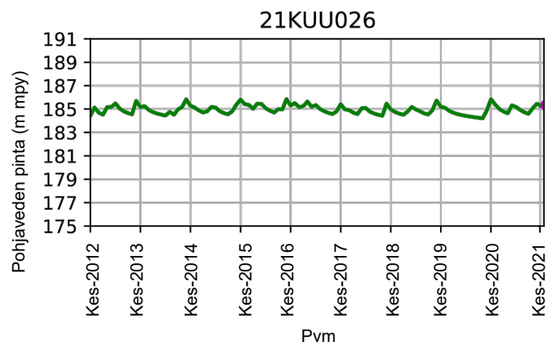


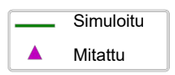












PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	

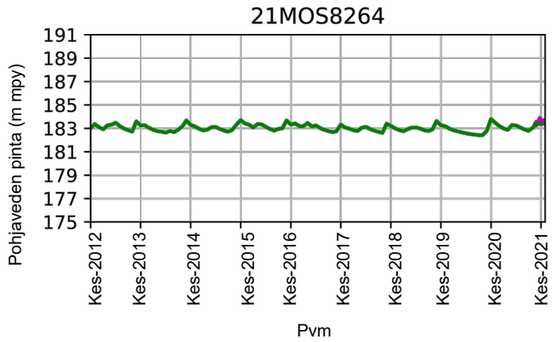
ITASCA™ Denver, Inc.

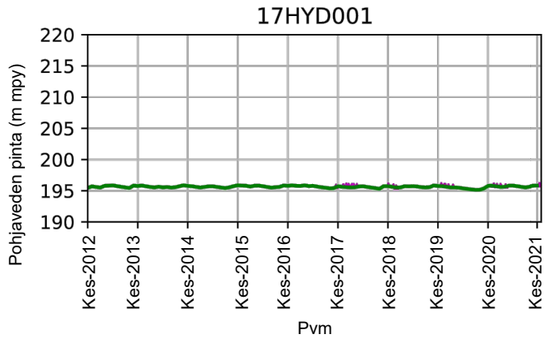
Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat

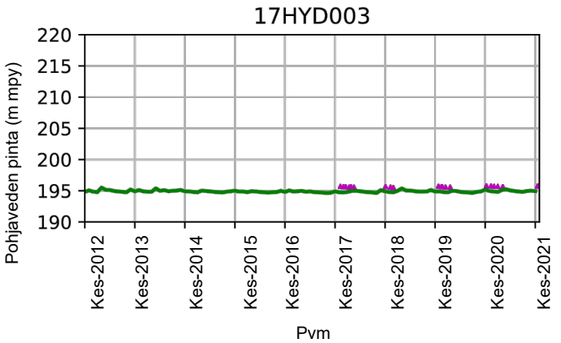
CLIENT: Sakatti Mine

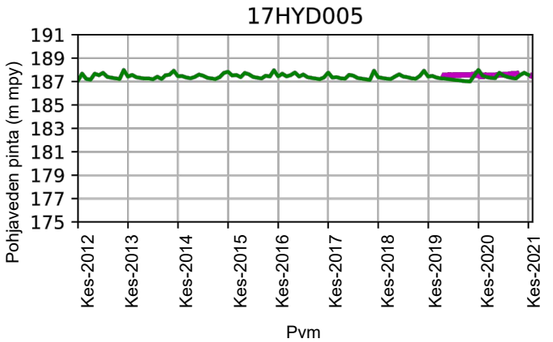
APPENDIX NO. A6

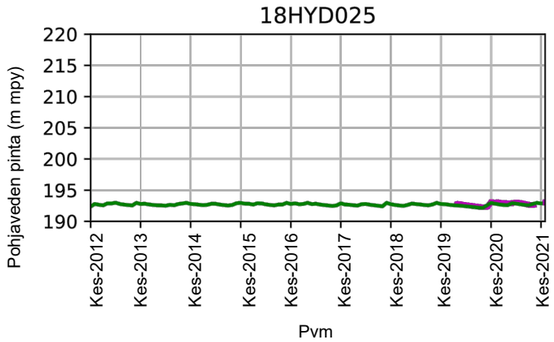
Pohjavesipinnat Kuusivaaran alueella

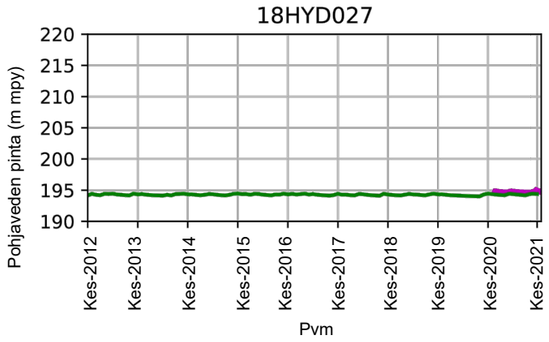


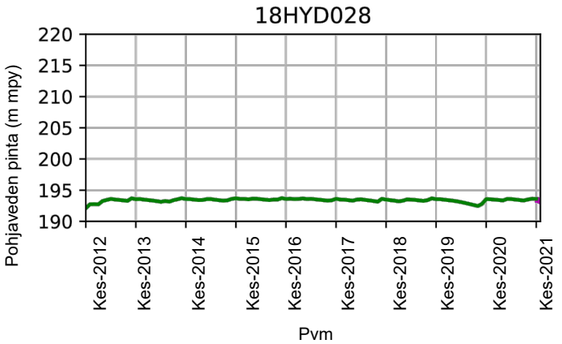


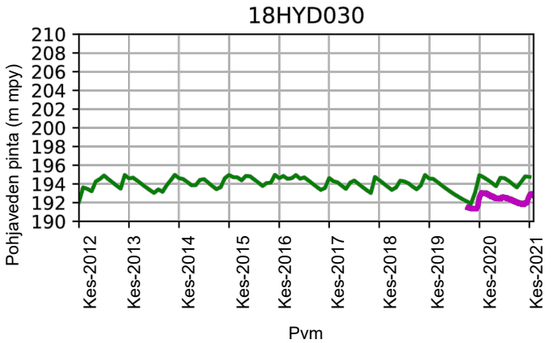


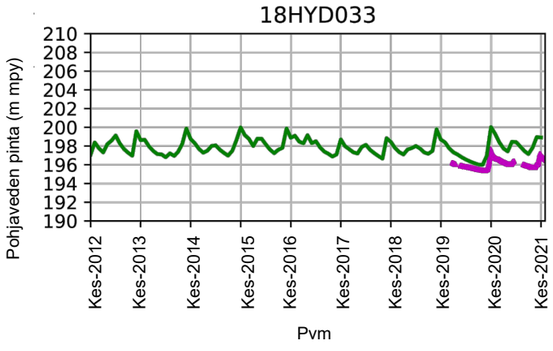


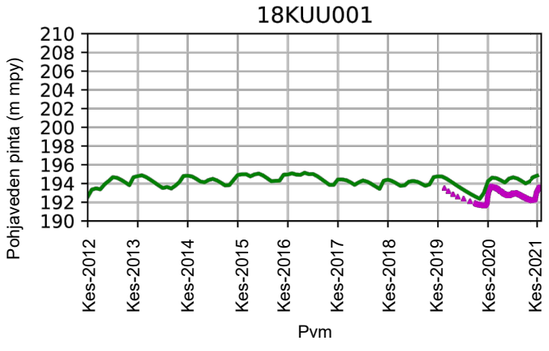


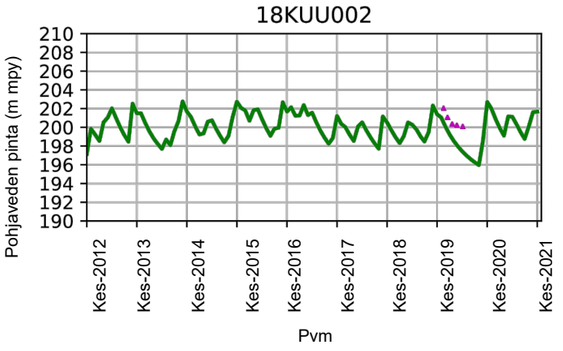


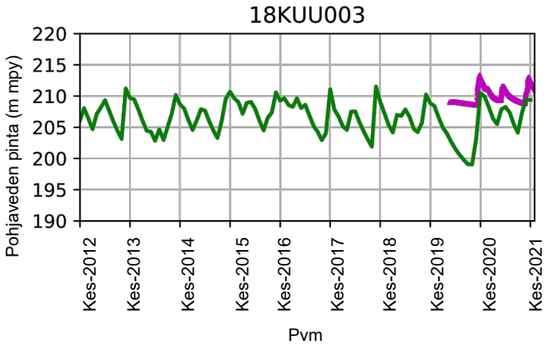


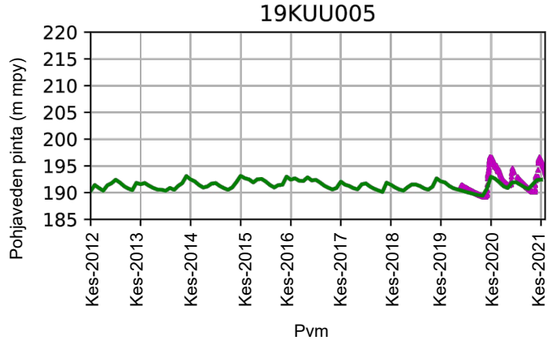


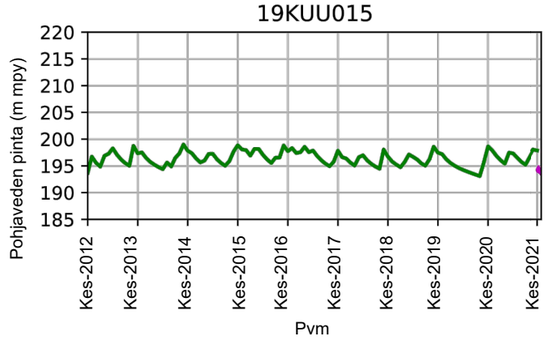


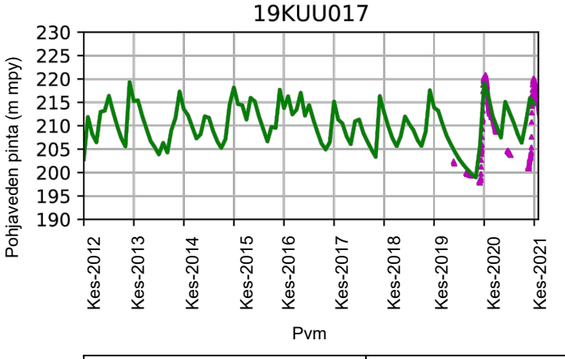


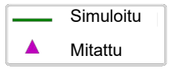












PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	

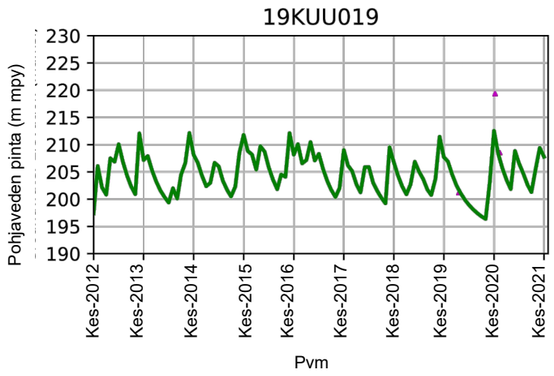
ITASCA™ Denver, Inc.

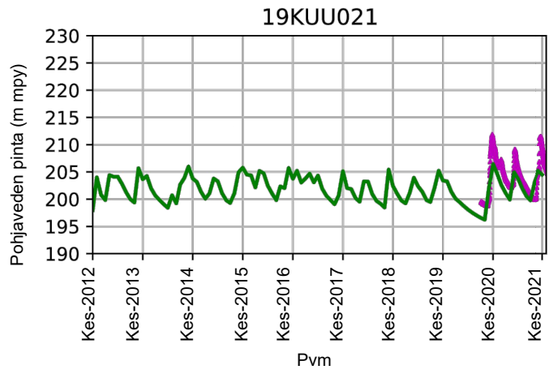
Transient-mallin kalibroinnin mitattujen ja mallilla simuloitujen pohjaveden pinnankorkeuksien kuvaajat

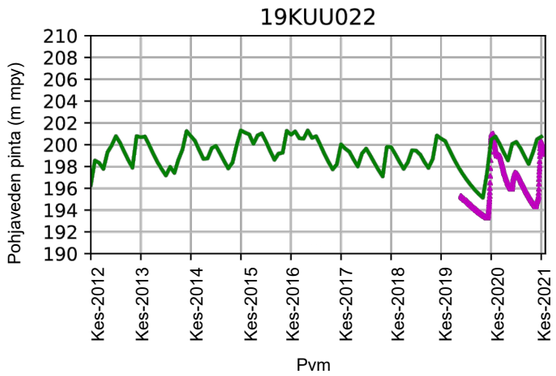
CLIENT: Sakatti Mine

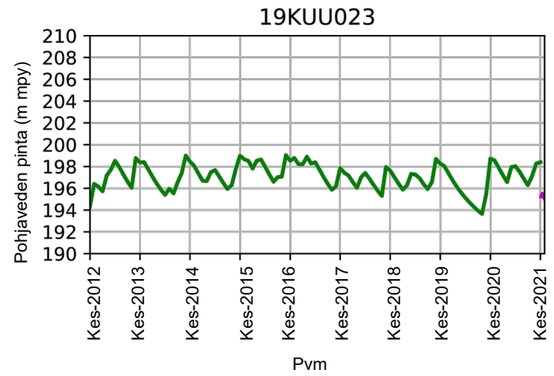
APPENDIX NO. A7

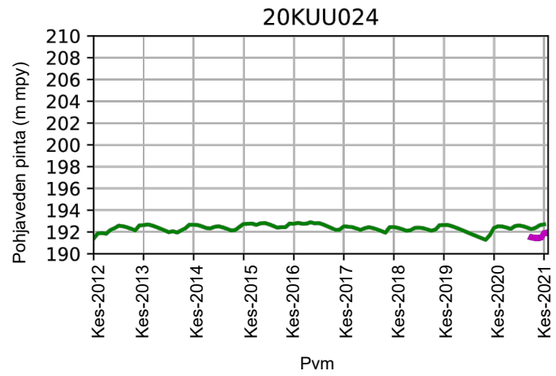
Pohjavesipinnat Kuusivaaran alueella

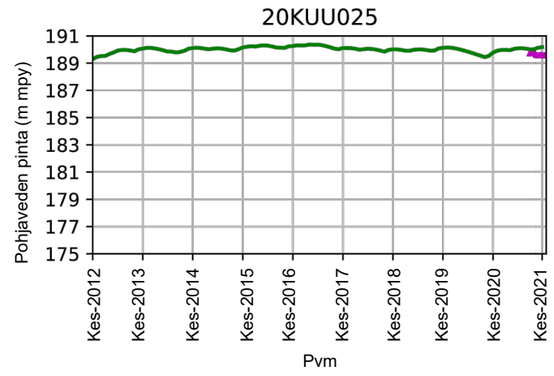


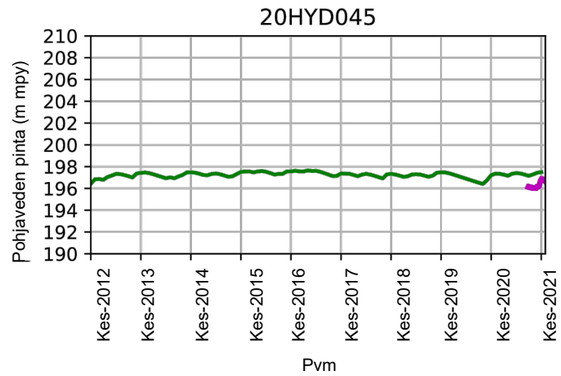


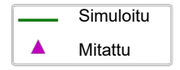












PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

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 herkkyysanalyysia 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 suotopintareunaehtoja 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 % solmukohdista) 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 x 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 x 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 HERKKYYSSKENAARIOISSA

Ennustetut vuotovesimäärät

Kuvassa B-1 on esitetty ennustetut vuotovesimäärät herkkyysskenaarioissa ja 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa. Kuvaaja sisältää kaikki kaivostoiminnan muuttujiin liittyvät herkkyysskenaariot. Ilmastonmuutosskenaario 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 herkkyysskenaariossa 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 herkkyysskenaarioissa. 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 herkkyysskenaarioissa, 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa ja skenaariossa ilman kaivostoimintaa. 80% ja 65% tiivistysskenaarioiden tapaan kaikki herkkyysskenaariot ennustavat, että pohjaveden virtaus Kitiseen voi laskea enintään 20 m^3/h. Herkkyystarkastelun perusteella ennustettuun pohjaveden purkautumisen vähentymiseen eivät vaikuta parametrit, joita herkkyysanalyyseissa käytettiin.

KAIVOSTOIMINNAN AIKAISET ENNUSTEET ILMASTOSKENAARIOISSA

Tulevaisuuden vaihteleva ilmasto vaikuttaa todennäköisesti sateiden olomuotoon (sataako lunta vai vettä), lumen syvyyteen ja lumen sulannan ajankohtaan. Jotta ilmastonmuutoksen 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 ilmastomuutosskenaarioihin. 80% ja 65% tiivistysskenaarioissa on käytetty pohjaveden keskimääräisiä tulevia muodostumismääriä ja ovatkuvailtu 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 vuotovesimääristä 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 (imastoskenaariot) 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 ilmastosmuutoskenaarioissa. 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 m^3/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 ilmastosmuutoskenaarion 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 ilmastomuutosskenaarioissa 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 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 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.

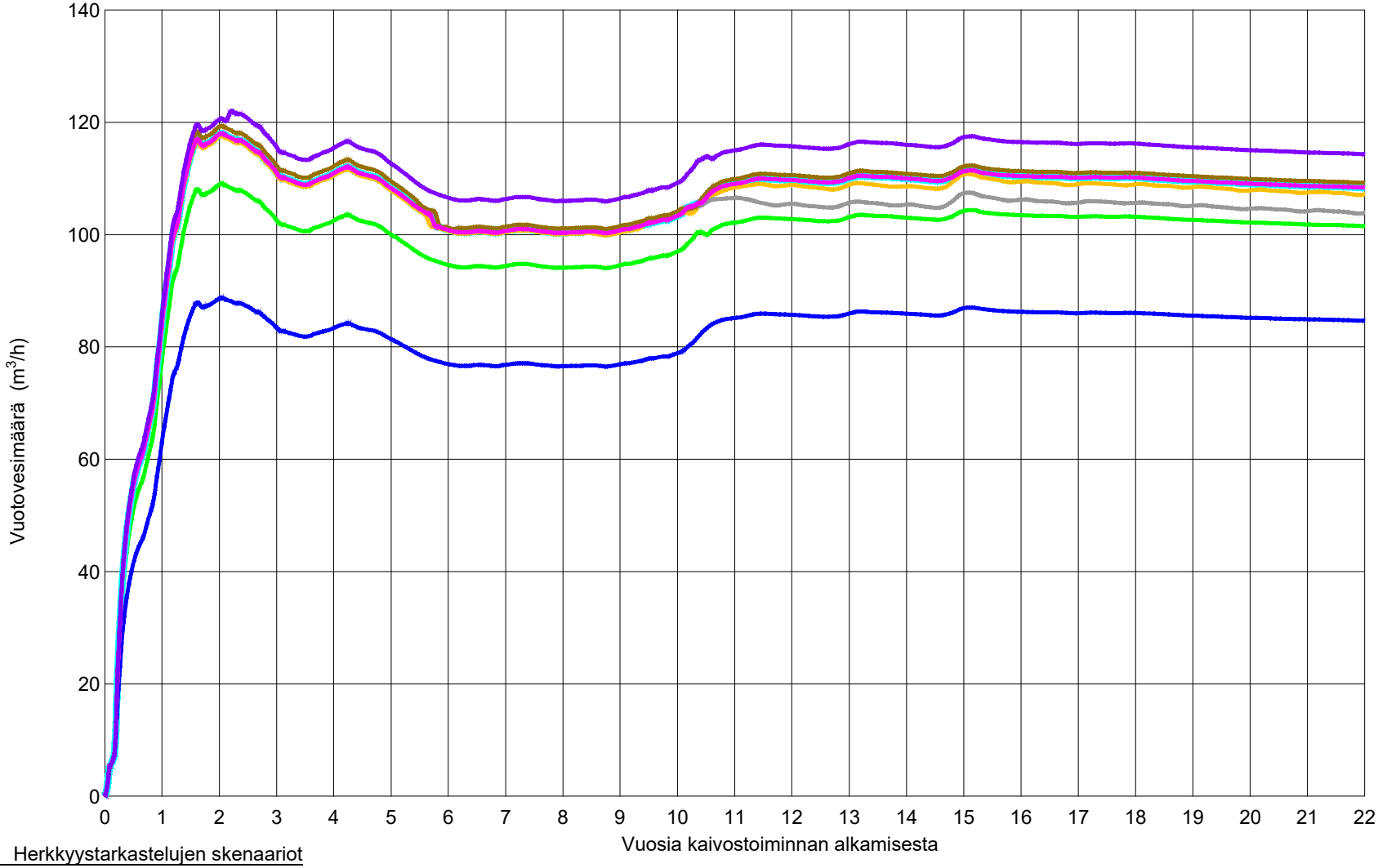
Liitteet:

Kuva B-1 – Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät eri herkkyystarkasteluiden vaihtoehdoille

Kuva B-2a – Ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa herkkyystarkastelun vaihtoehtojen mukaan

Kuva B-2b	–	Ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa herkkyystarkastelun 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 herkkyystarkastelujen vaihtoehtojen mukaan
Kuva B-5	–	Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät ilmastonmuutosskenaarioissa
Kuva B-6a	–	Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutosskenaariossa
Kuva B-6b	–	Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutosskenaariossa
Kuva B-6c	–	Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65% tiivistystehokkuudella ilmastomuutosskenaariossa
Kuva B-6d	–	Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa 65% tiivistystehokkuudella ilmastomuutosskenaariossa
Kuva B-7a -		Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutosskenaariossa
Kuva B-7b	–	Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 65% tiivistystehokkuudella ilmastomuutosskenaariossa
Kuva B-8	–	Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen ilmastomuutosskenaariossa
Kuva B-9a	–	Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutosskenaariossa

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



Herkkyystarkastelujen skenaariot

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

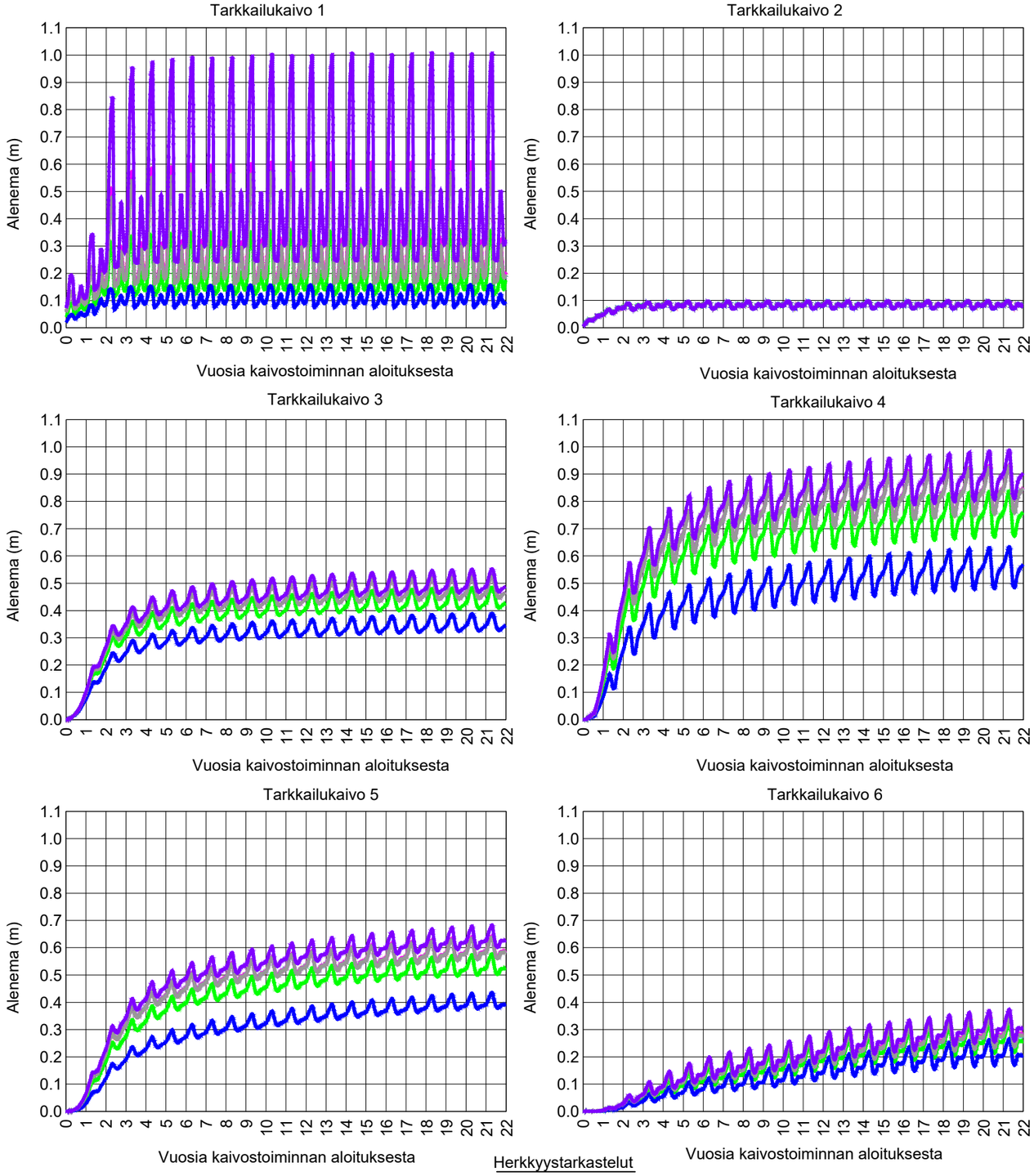
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SENS
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

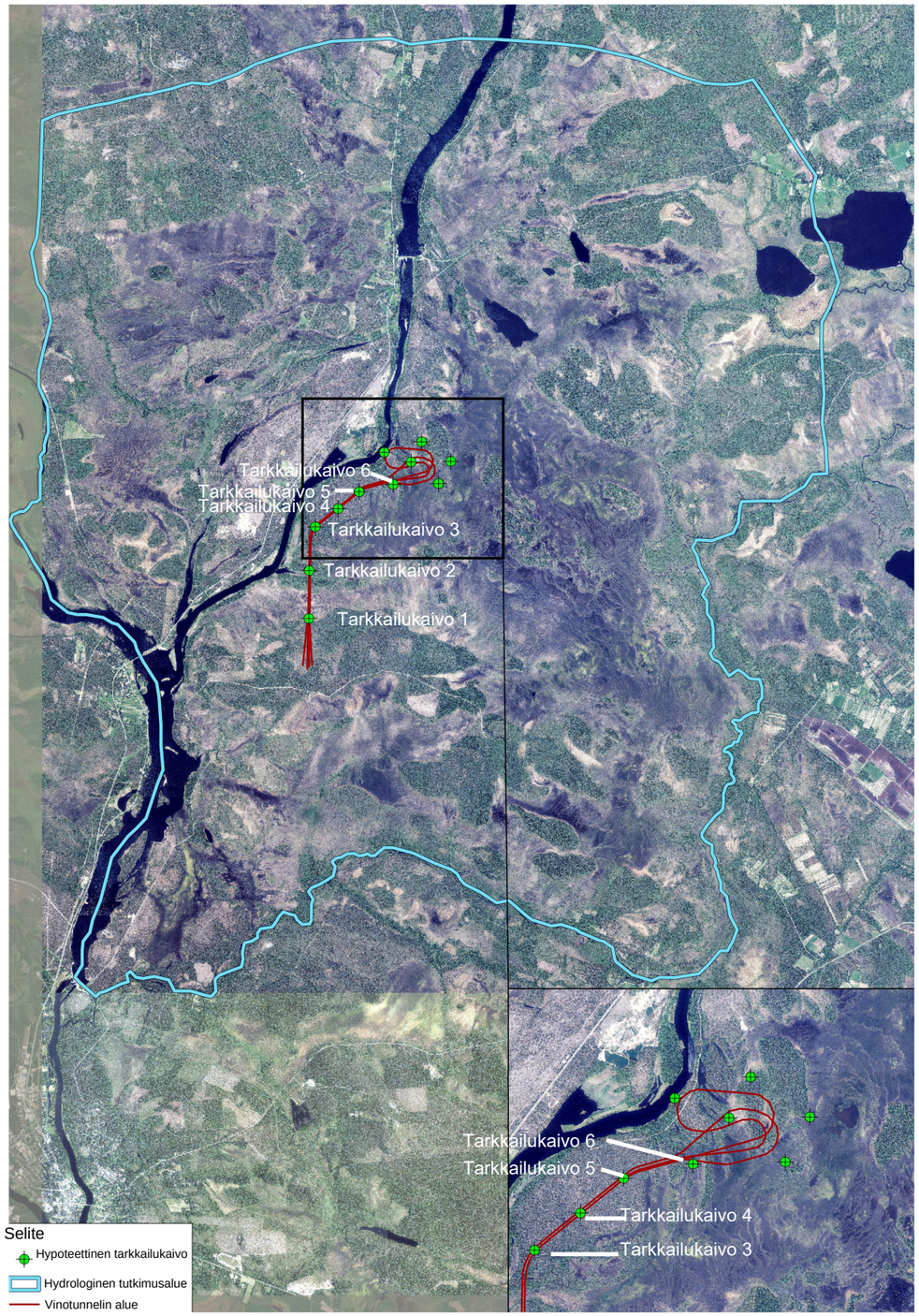
ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät eri herkkyystarkasteluiden vaihtoehdoille

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%

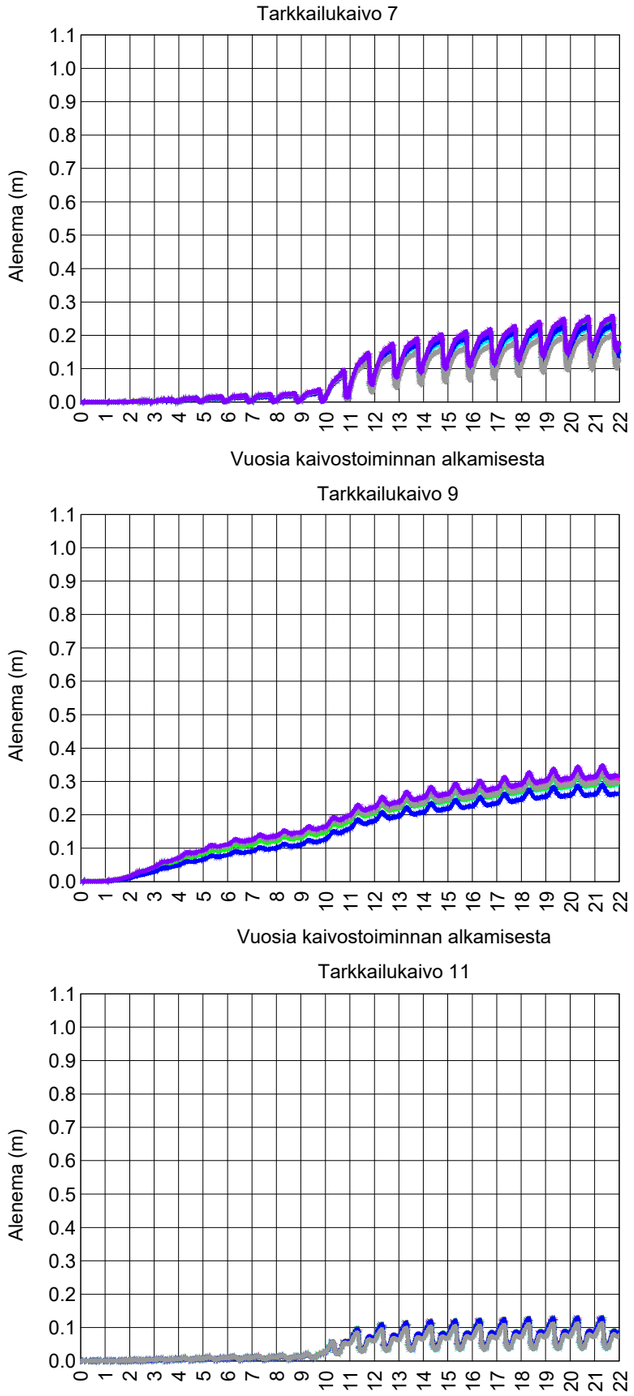
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

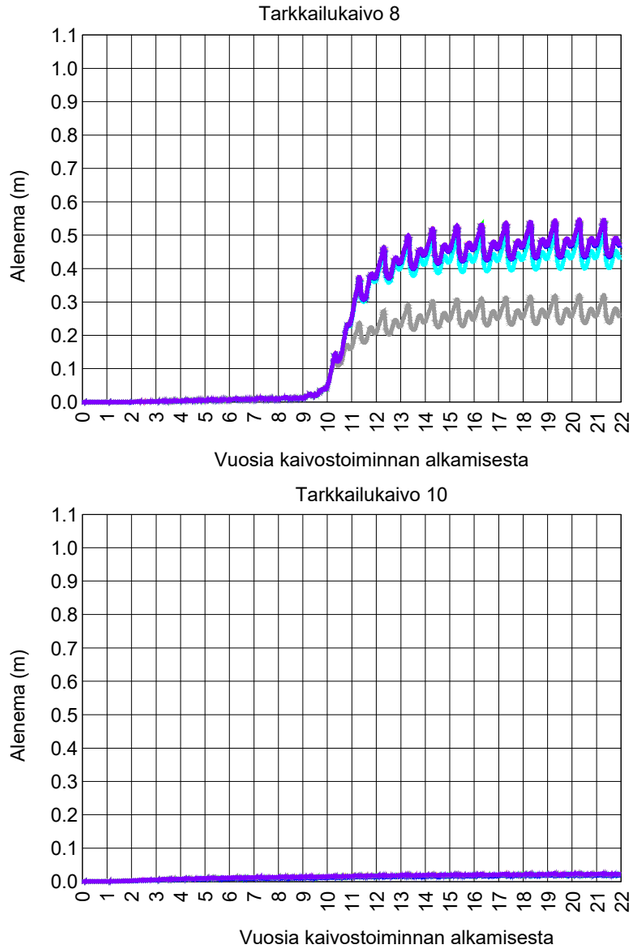
ITASCA™ Denver, Inc.

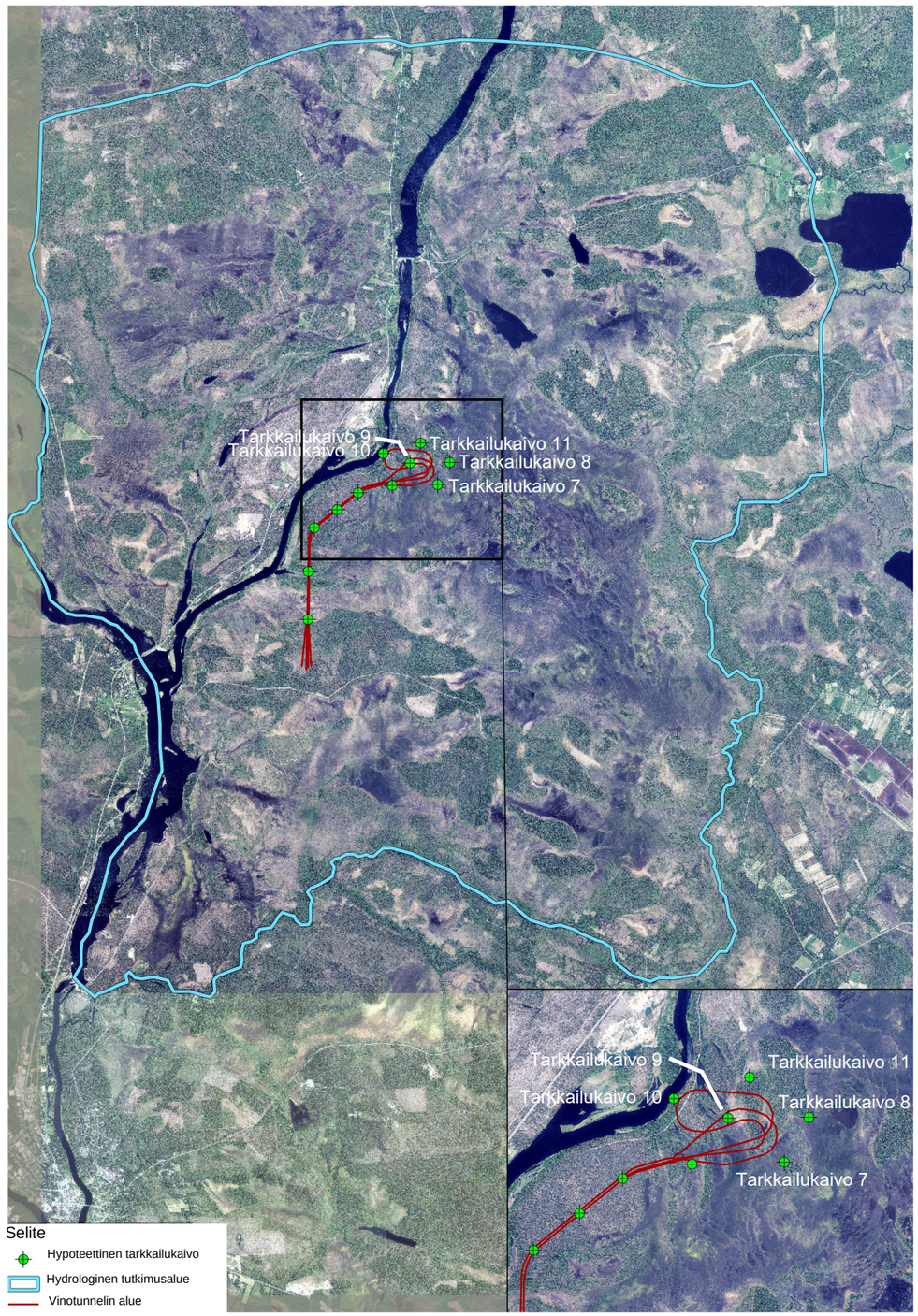
Ennustettu alenema kaivoksen elinkaaren aikana keskeisimmissä sijainneissa herkkyystarkastelujen vaihtoehtojen mukaan

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	

ITASCA™ Denver, Inc.

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

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working_Appendix\Draw_SSS_Base.mxd

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_100b
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Jan. 12, 2023

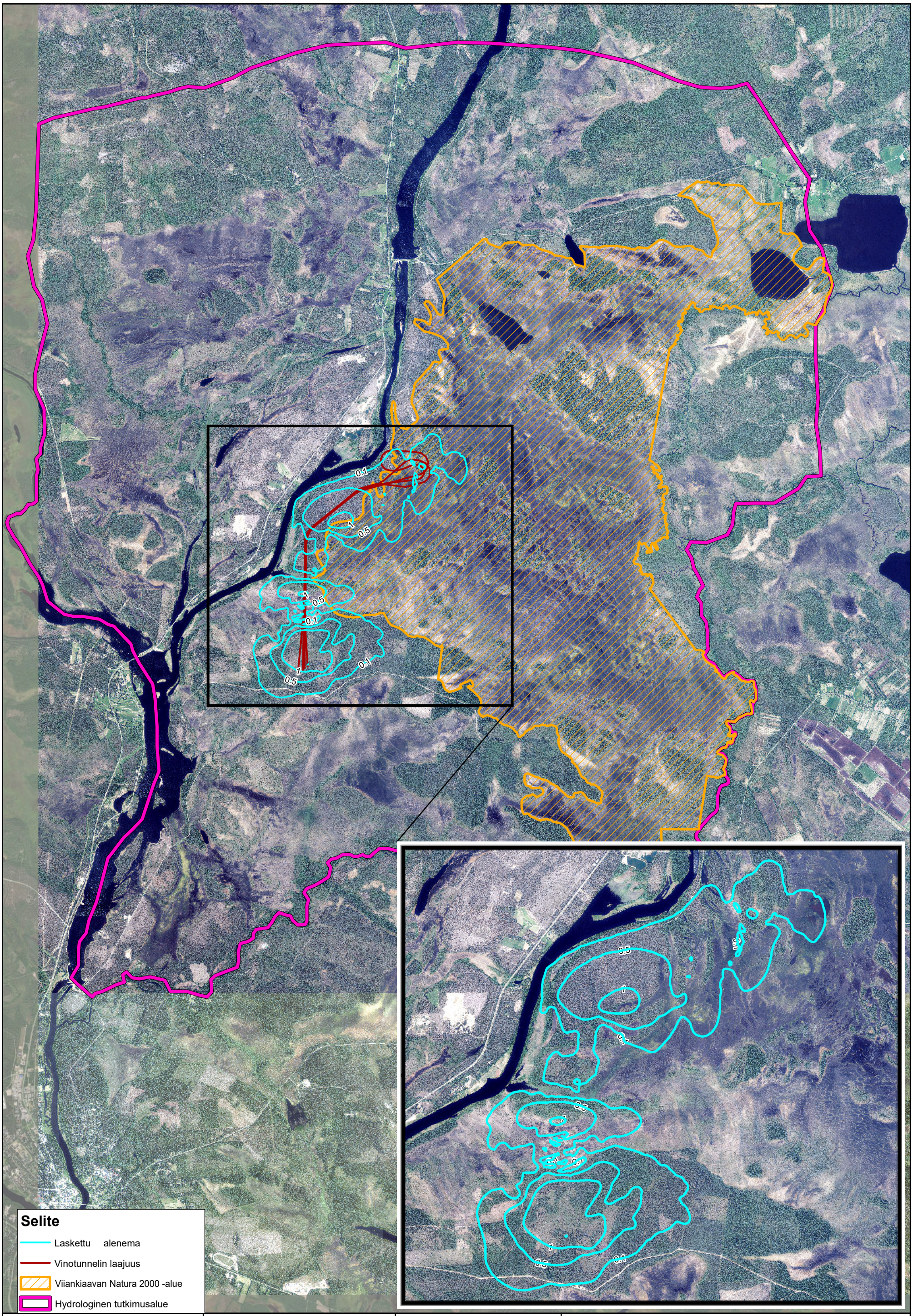
ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 100% tiivistysskenaariossa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-3b

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working_Appendix\Draw_SSS_100b.mxd



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

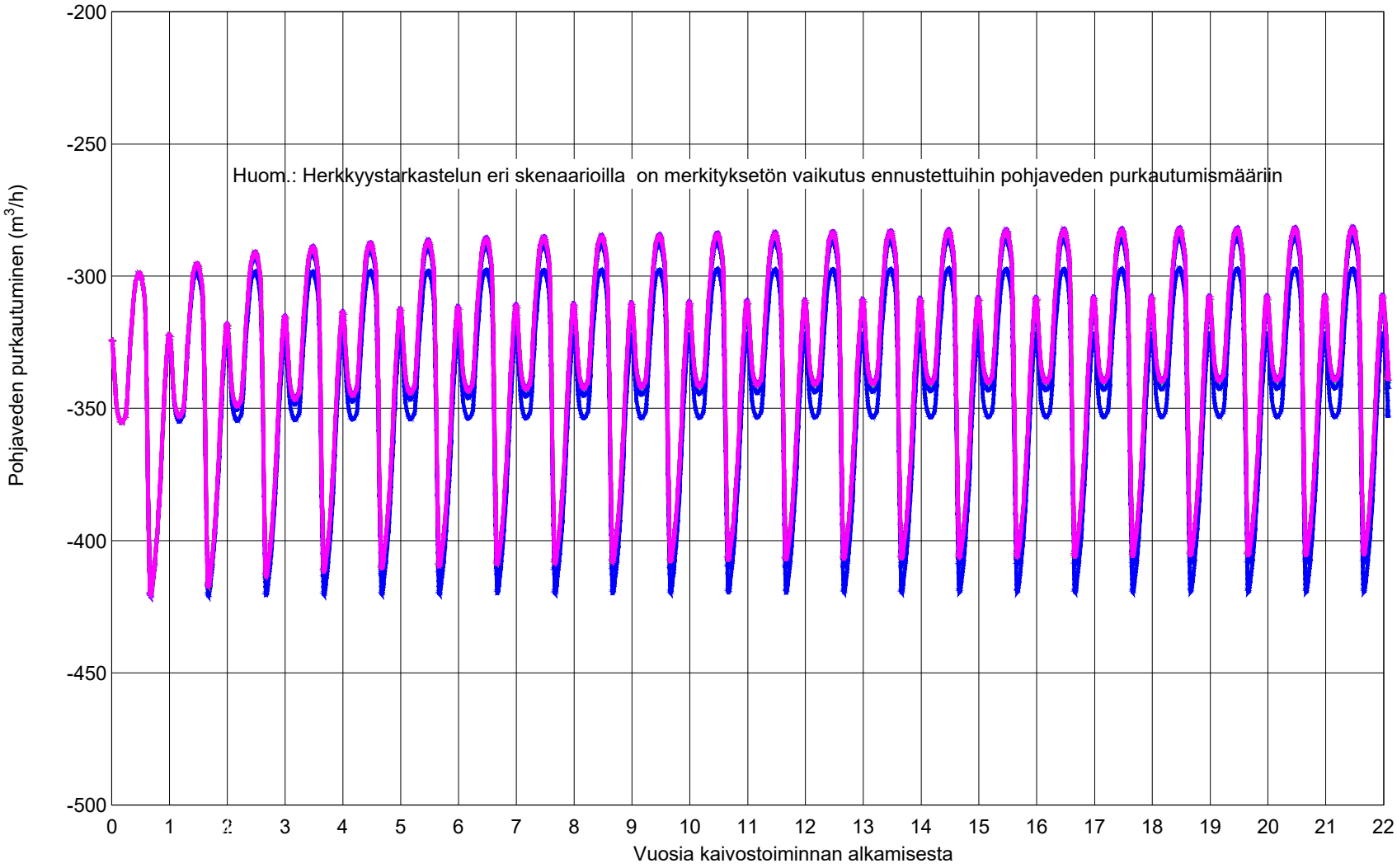
ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa vaihtoehtoisessa kaivossuunnitelmassa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-3c

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working_Appendix\Draw_SSSc_Alt.mxd



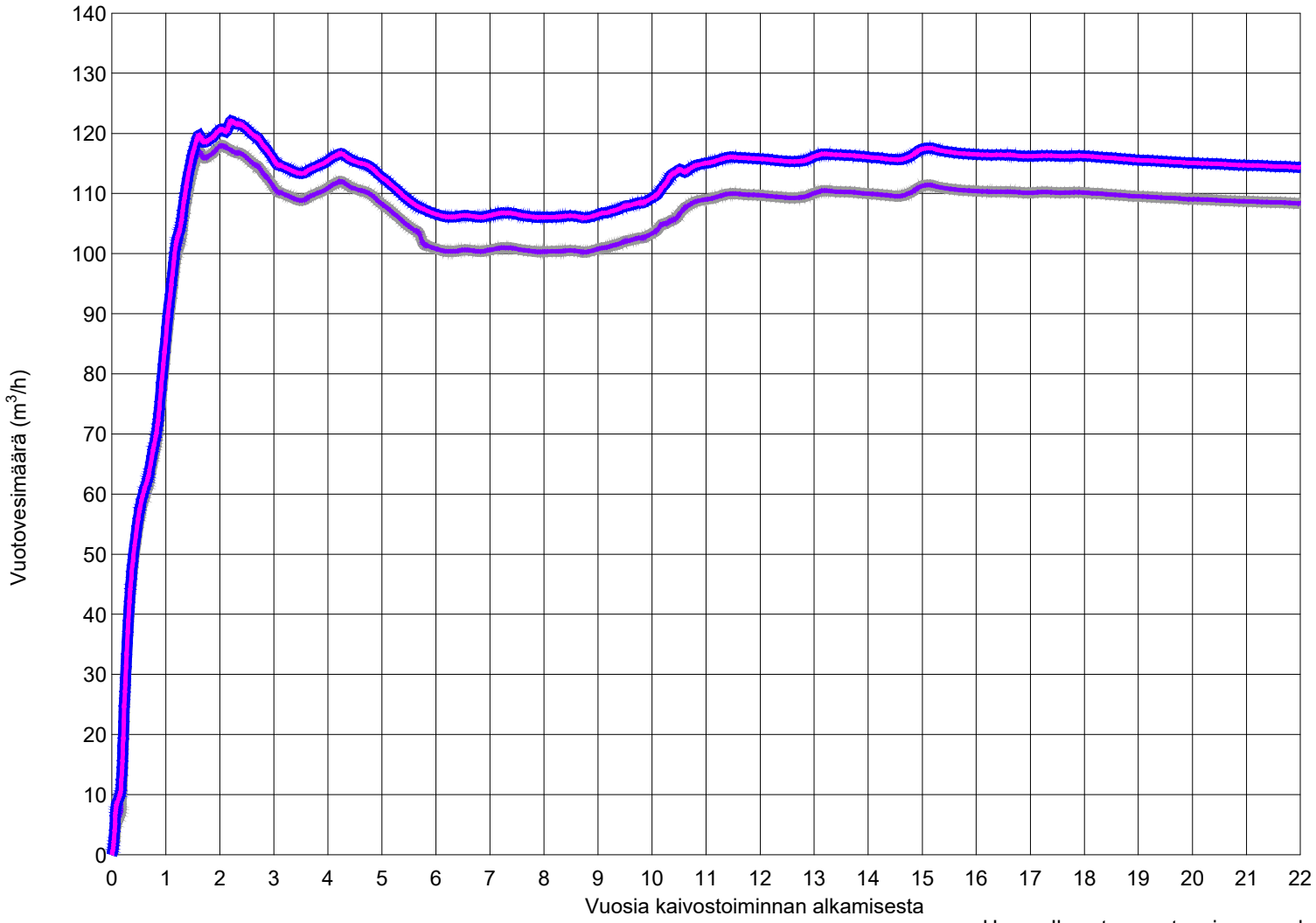
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SENS
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen herkkyystarkastelujen vaihtoehtojen mukaan

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-4



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

Perusskenaariot
- 65% tiivistysskenaario
- 80% tiivistysskenaario

Ilmastonmuutosskenaariot
- 65% tiivistysskenaario
- 80% tiivistysskenaario

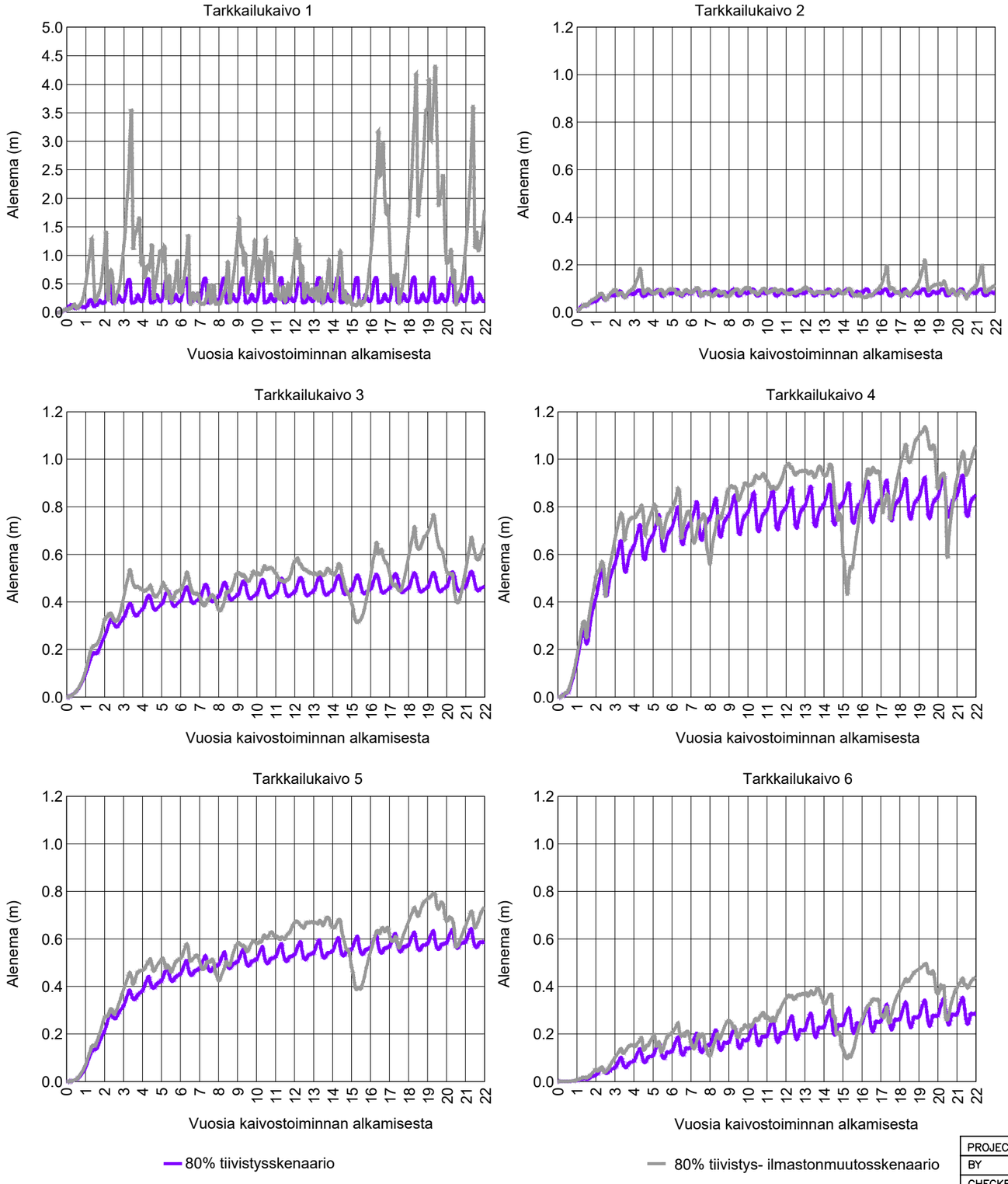
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CLIMATE
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

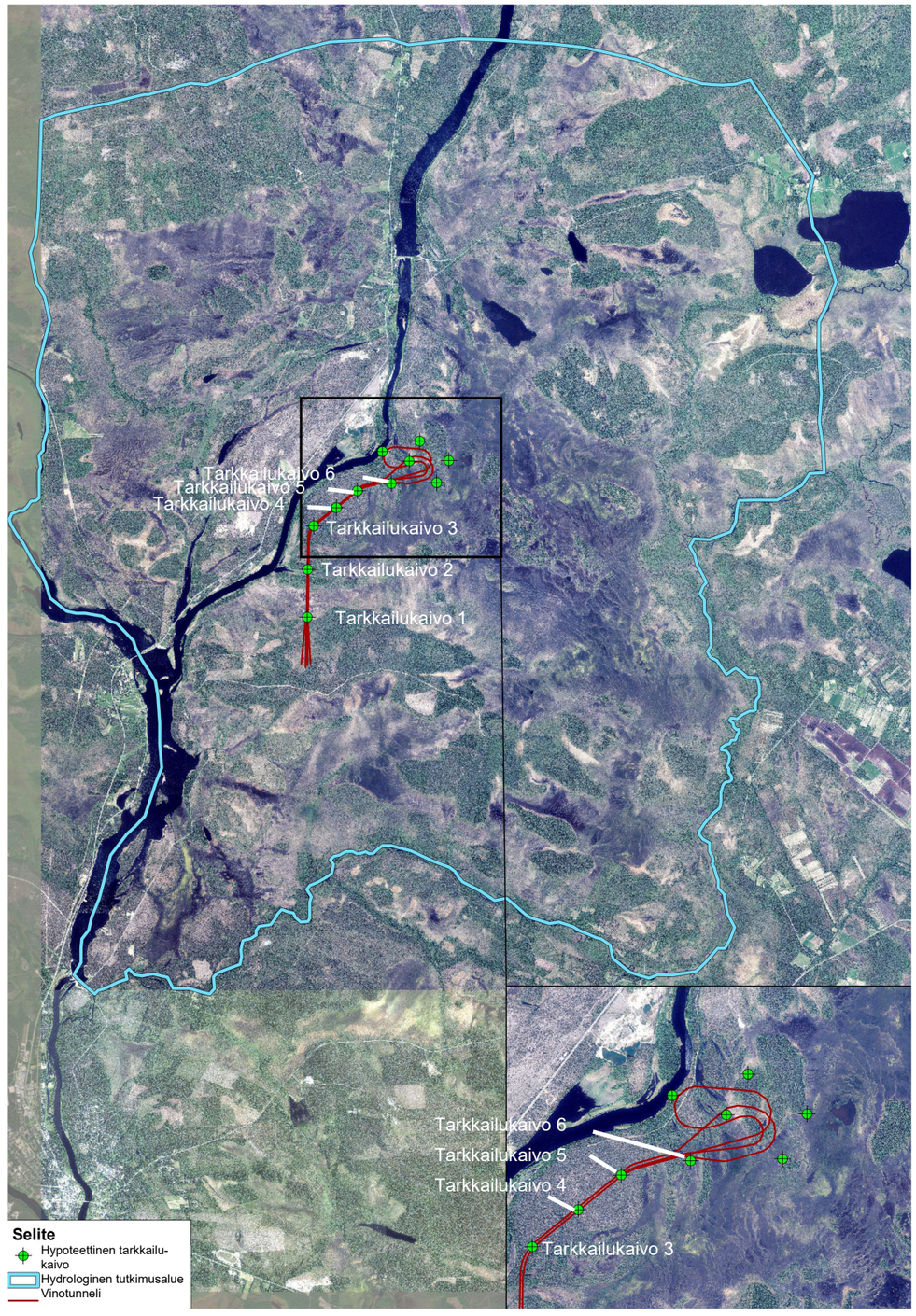
ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustetut pohjaveden vuotovesimäärät ilmastomuutosskenaarioissa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-5





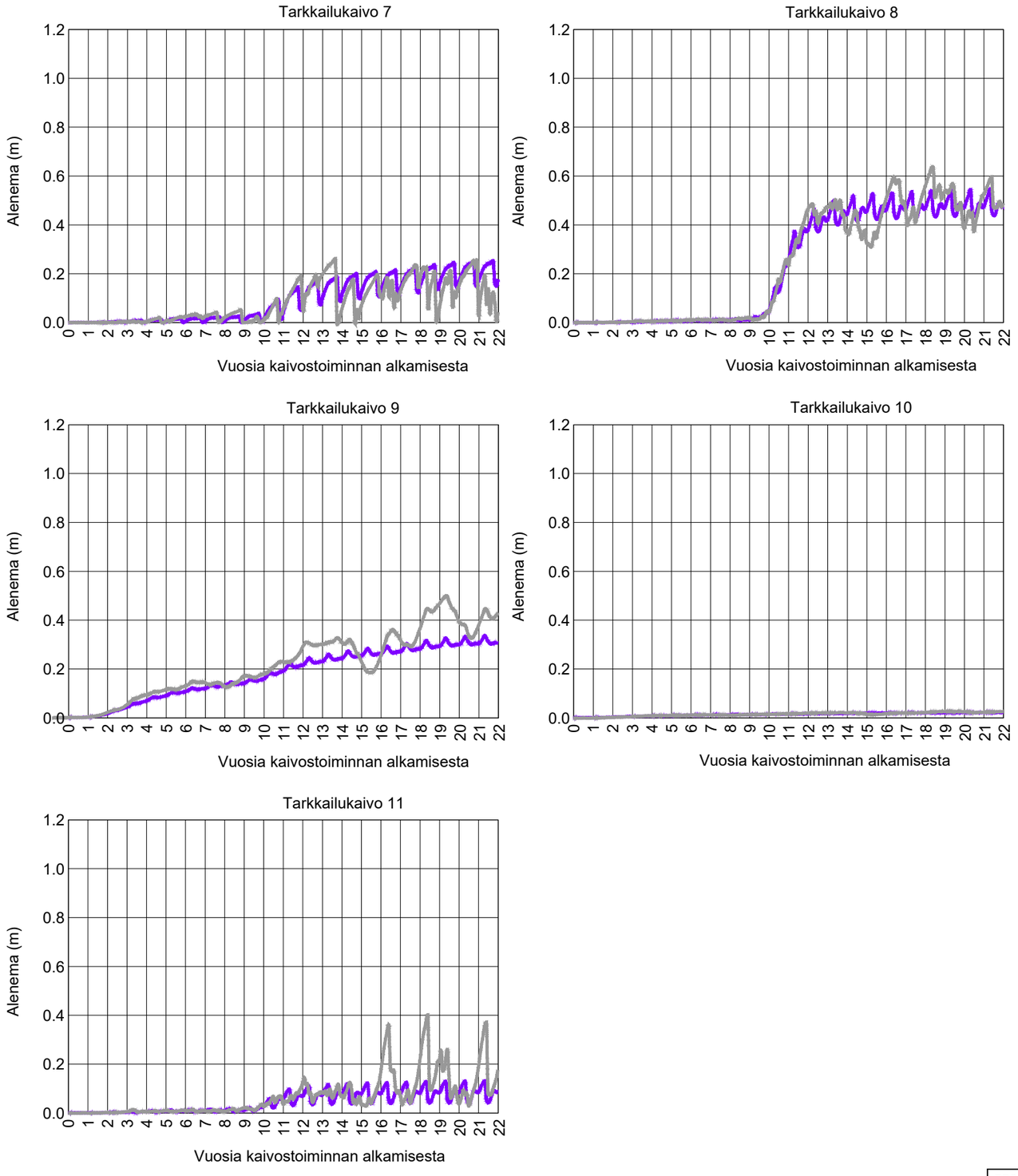
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

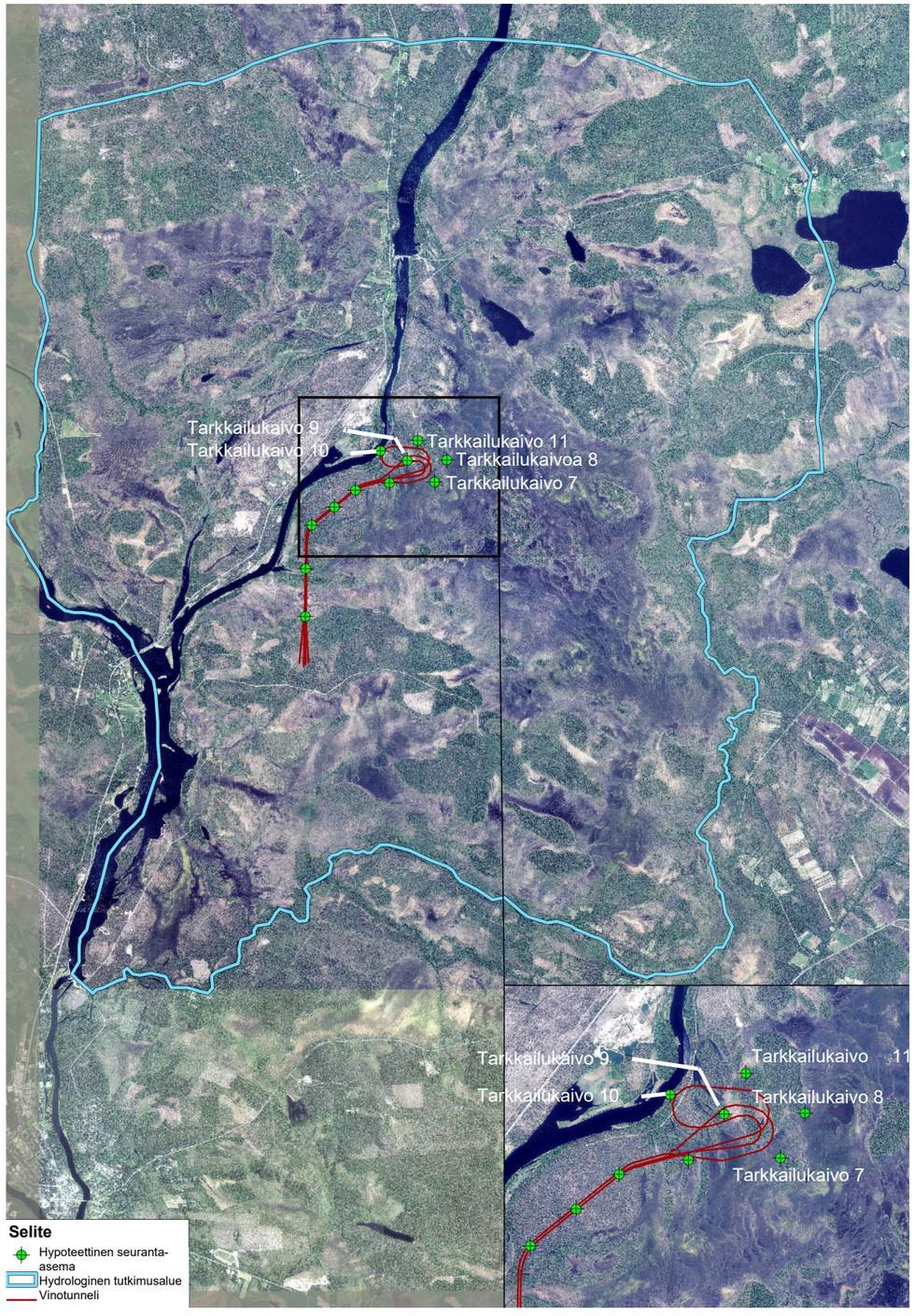
ITASCA™ Denver, Inc.

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

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-6a





80% tiivistysskenaario

80%tiivistys- ilmastonmuutosskenaario

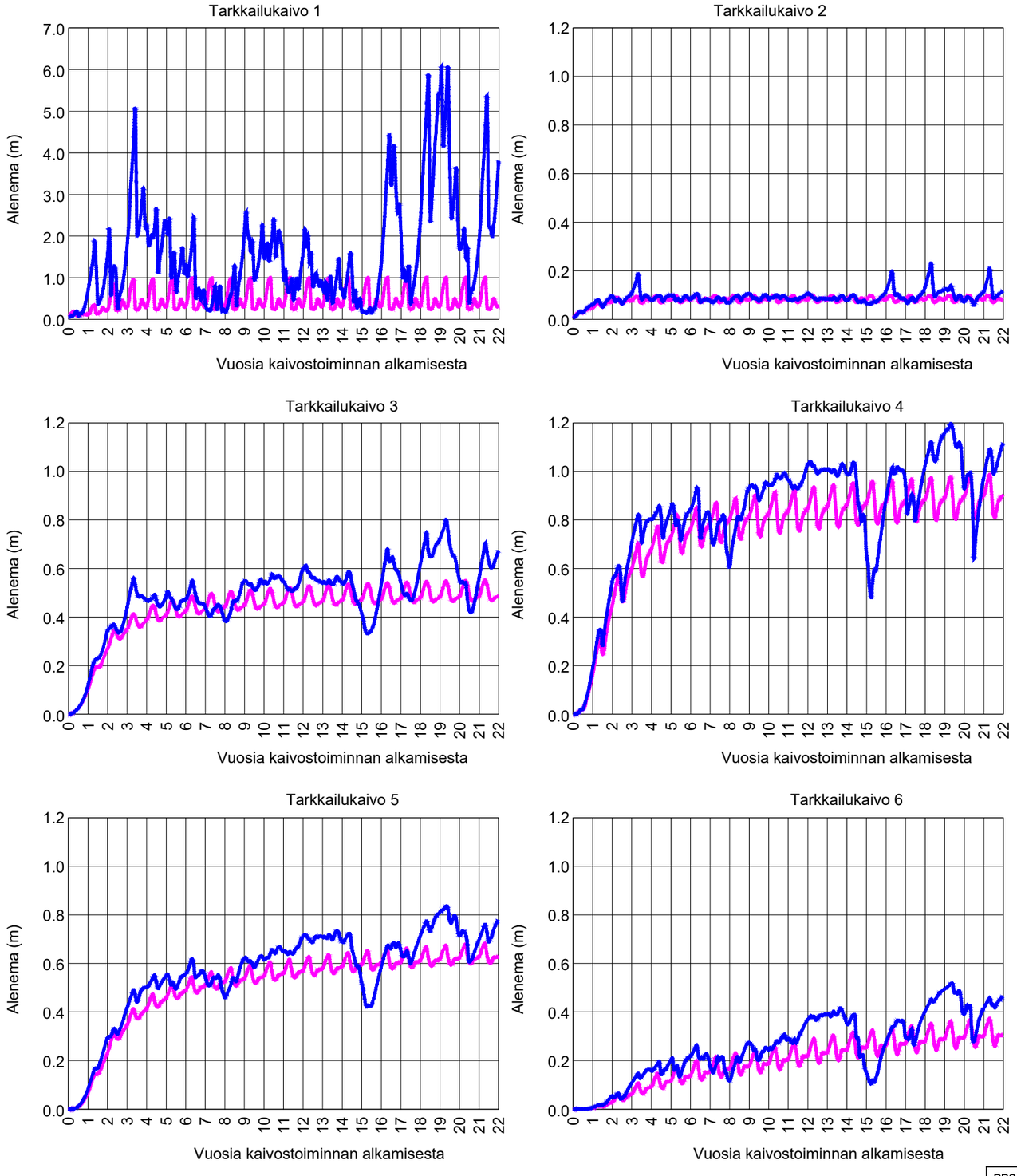
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

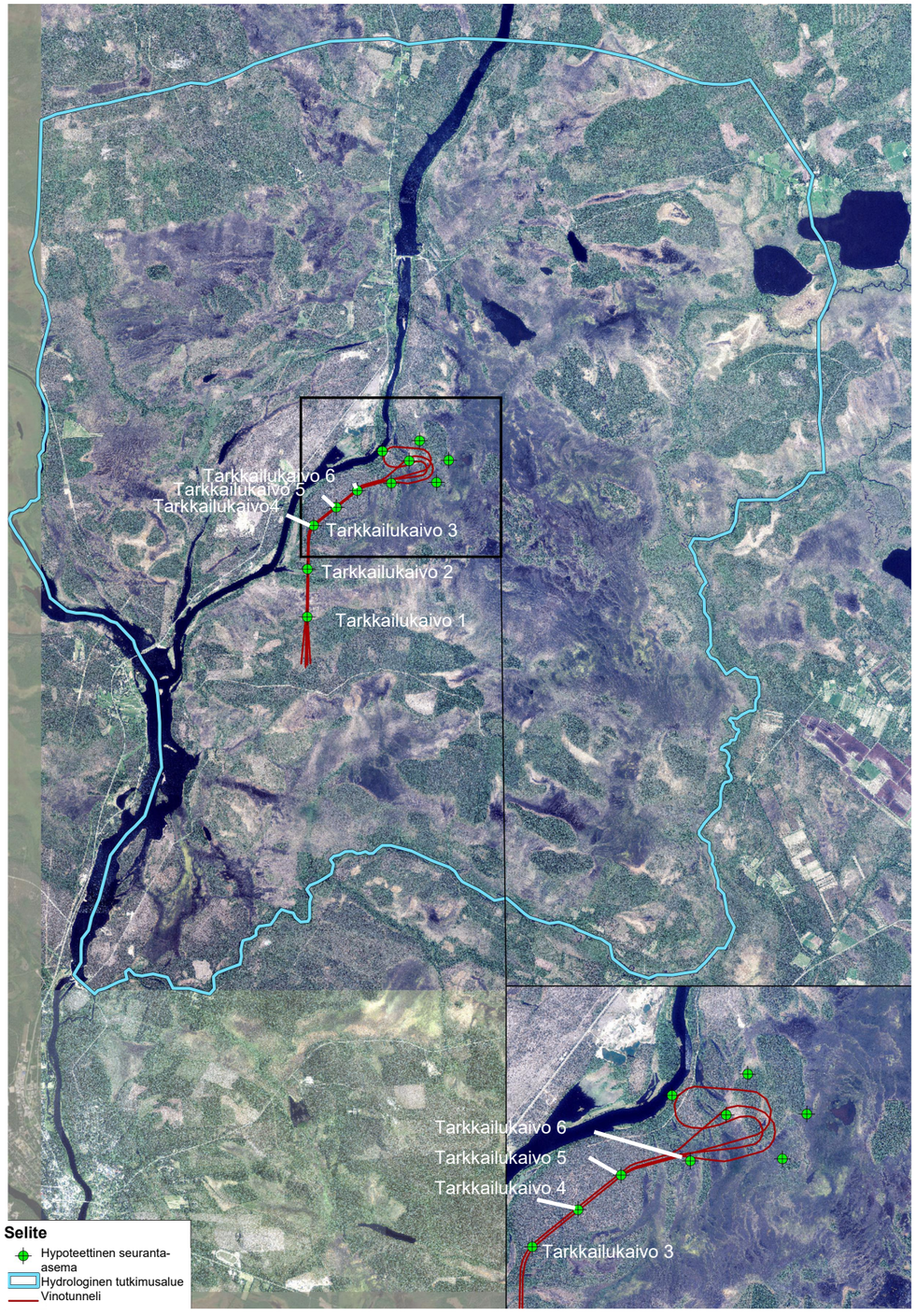
ITASCA™ Denver, Inc.

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

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-6b





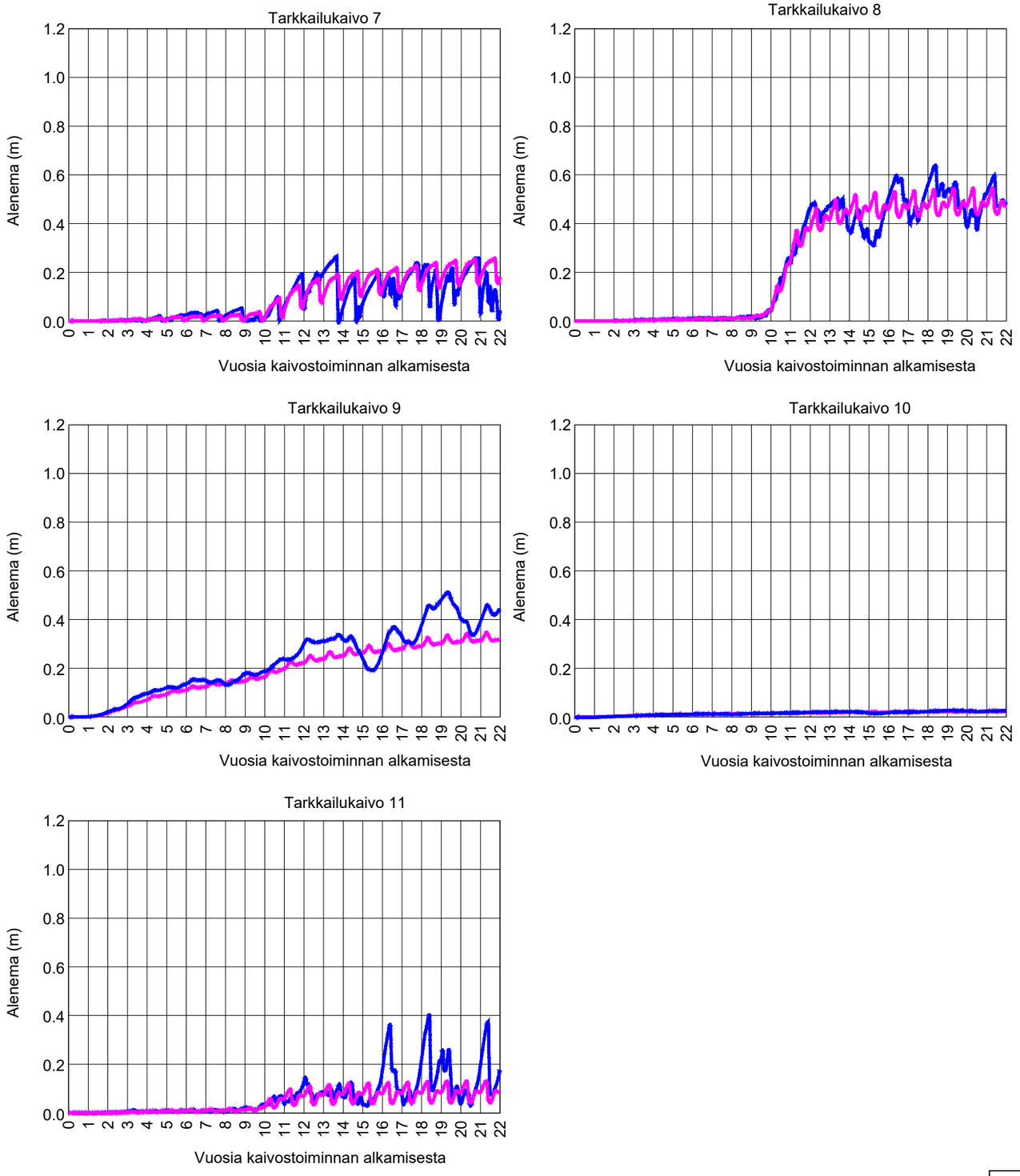
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

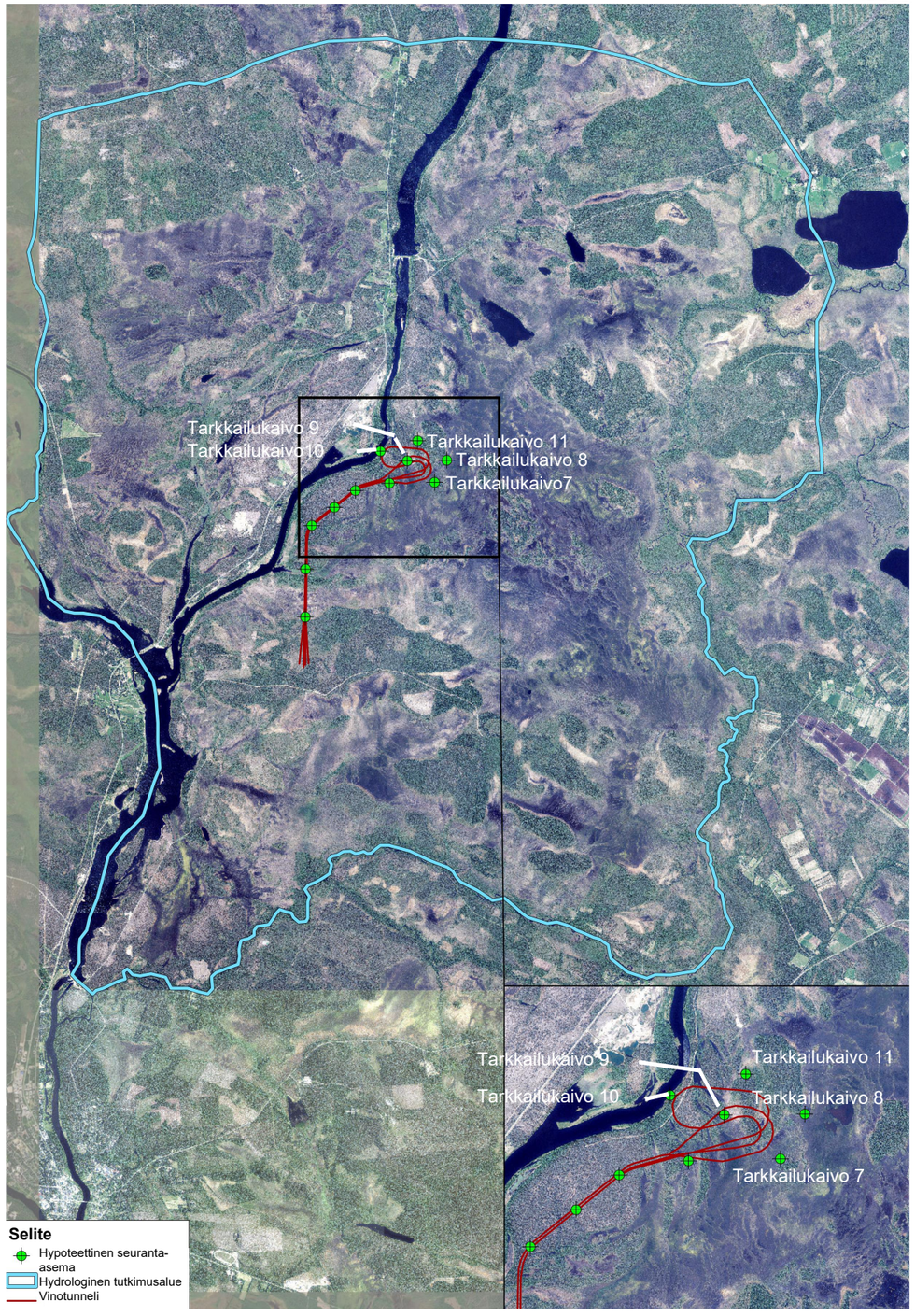
ITASCA™ Denver, Inc.

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

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-6c





65% tiivistysskenaario

65% tiivistys- ilmastonmuutosskenaario

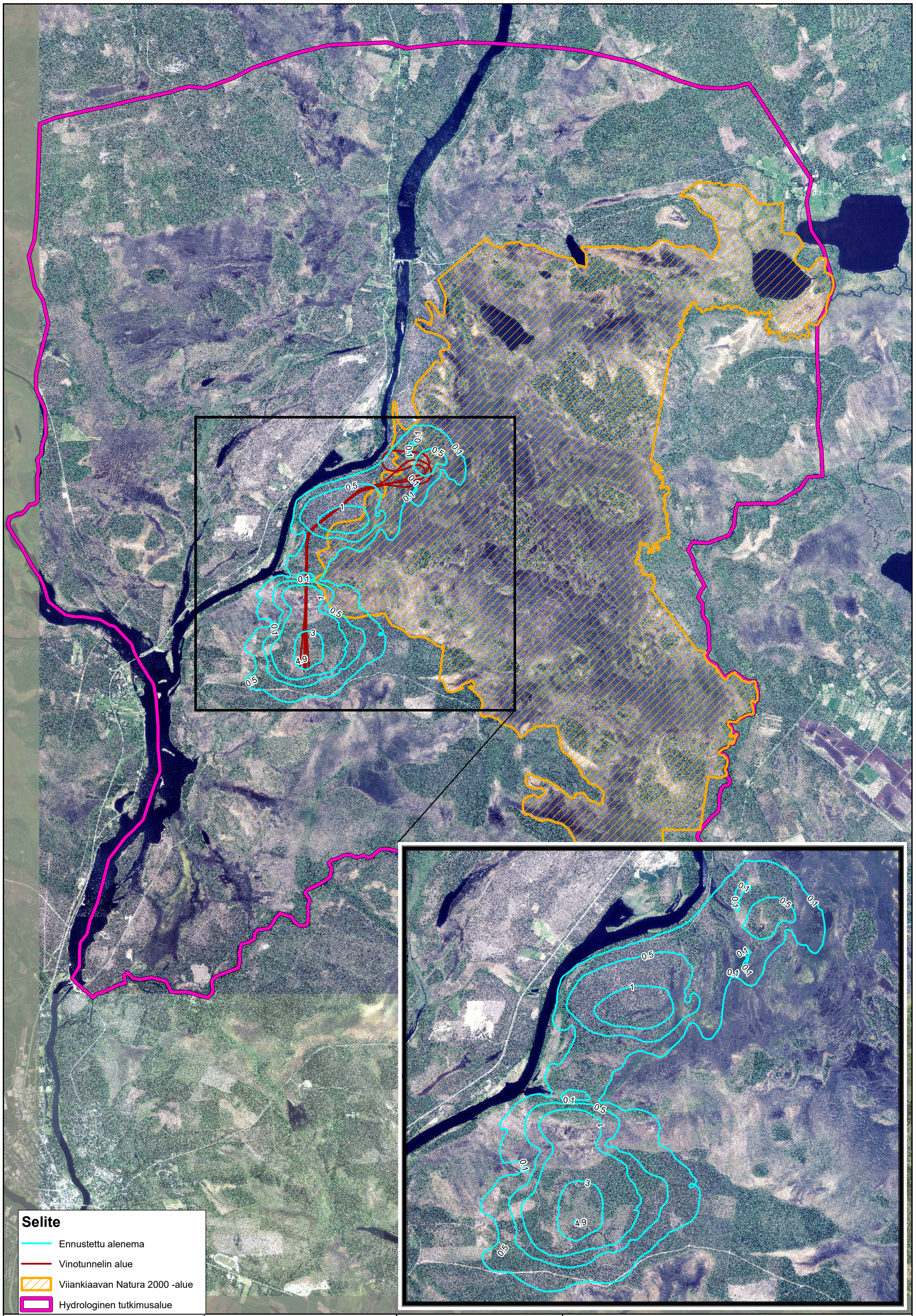
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

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

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-6d



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

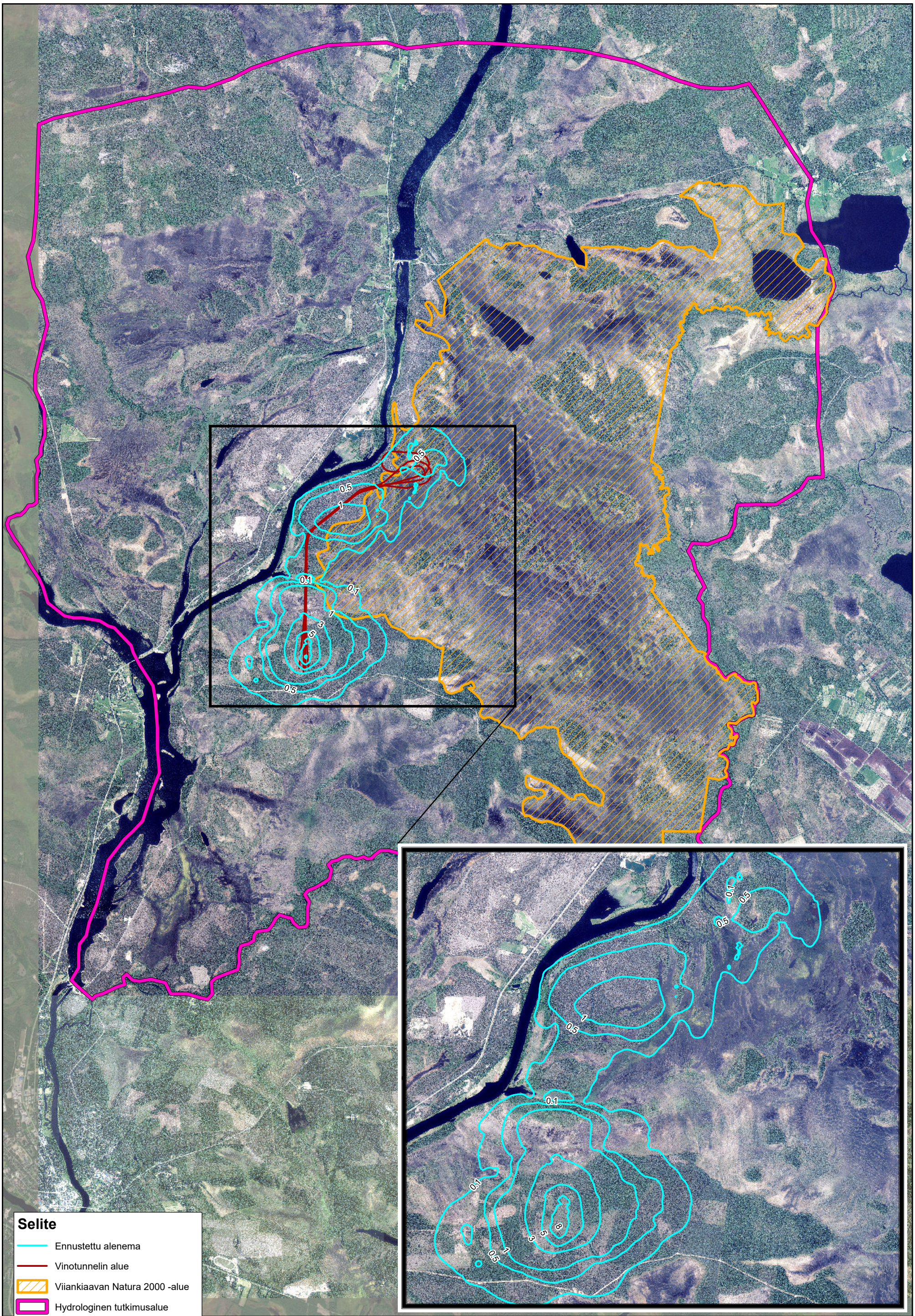
ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutosskenaariossa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-7a

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working_Appendix\Draw_Climate80.mxd



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

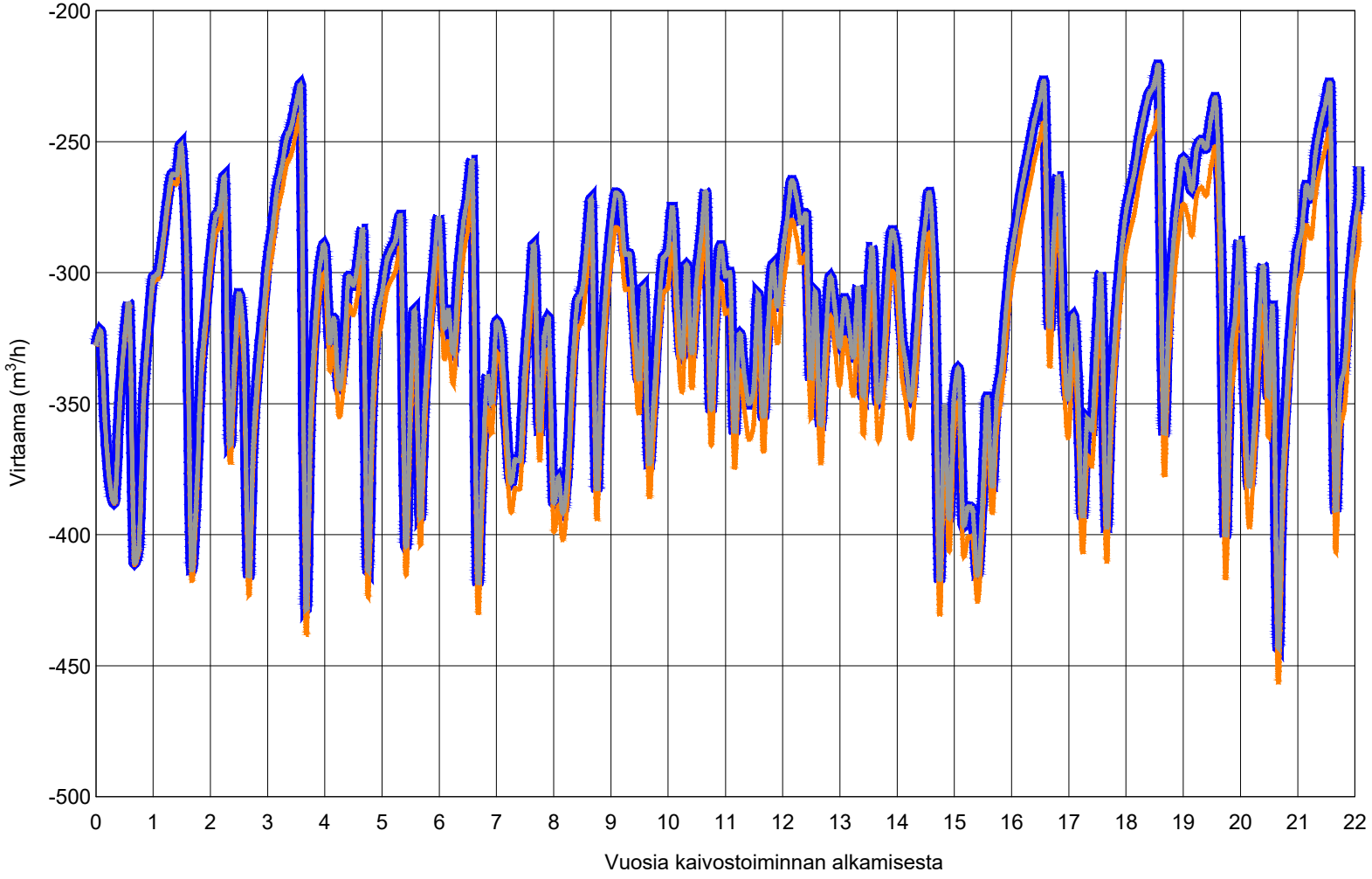
ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustettu alenema kaivostoiminnan lopussa 65% tiivistystehokkuudella ilmastomuutosskenaariossa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-7b

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working_Appendix\Draw_Climate65.mxd



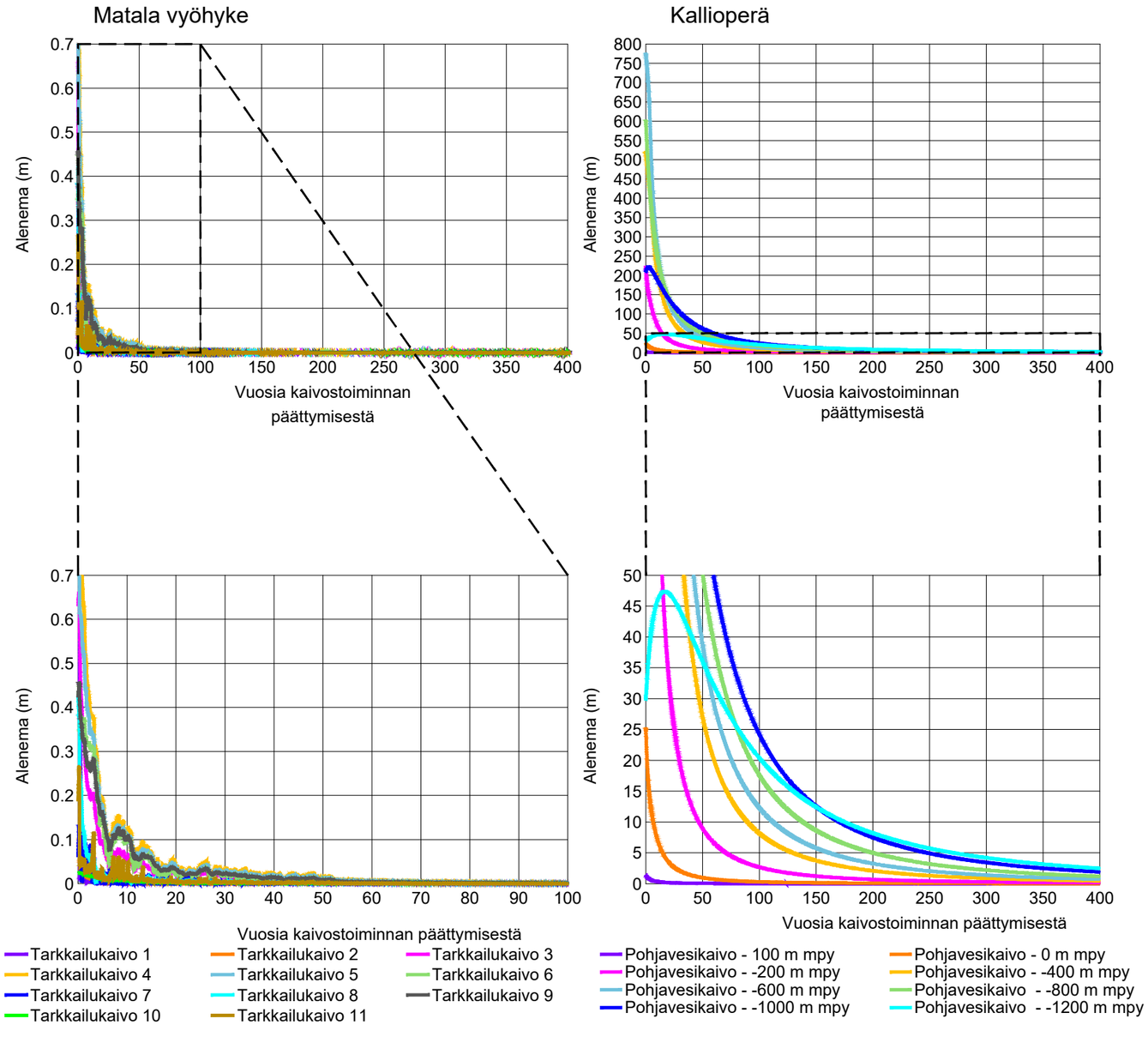
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CLIMATE
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

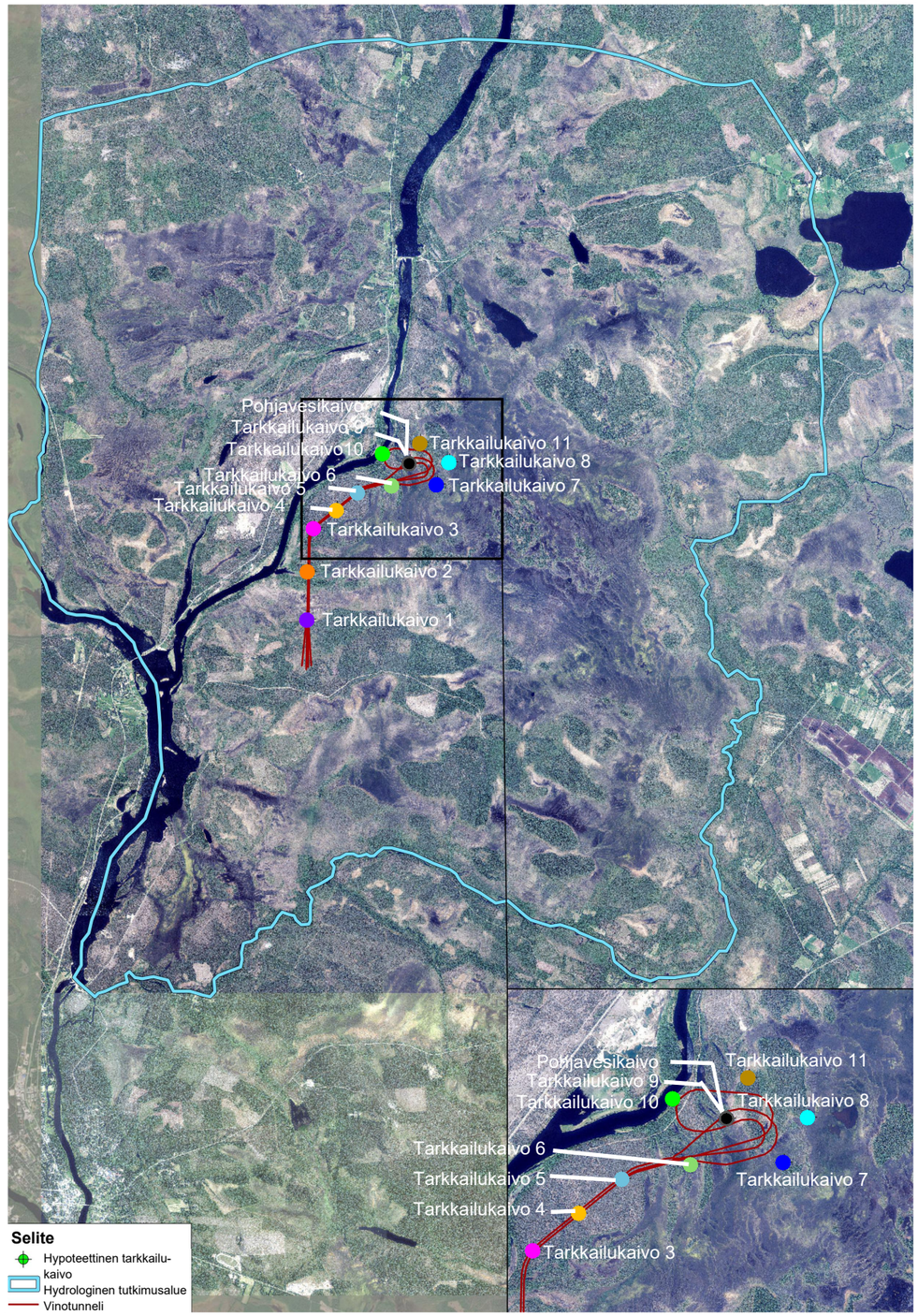
ITASCA™ Denver, Inc.

Ennustettu pohjaveden purkautuminen Kitiseen ilmastomuutosskenaariossa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-8





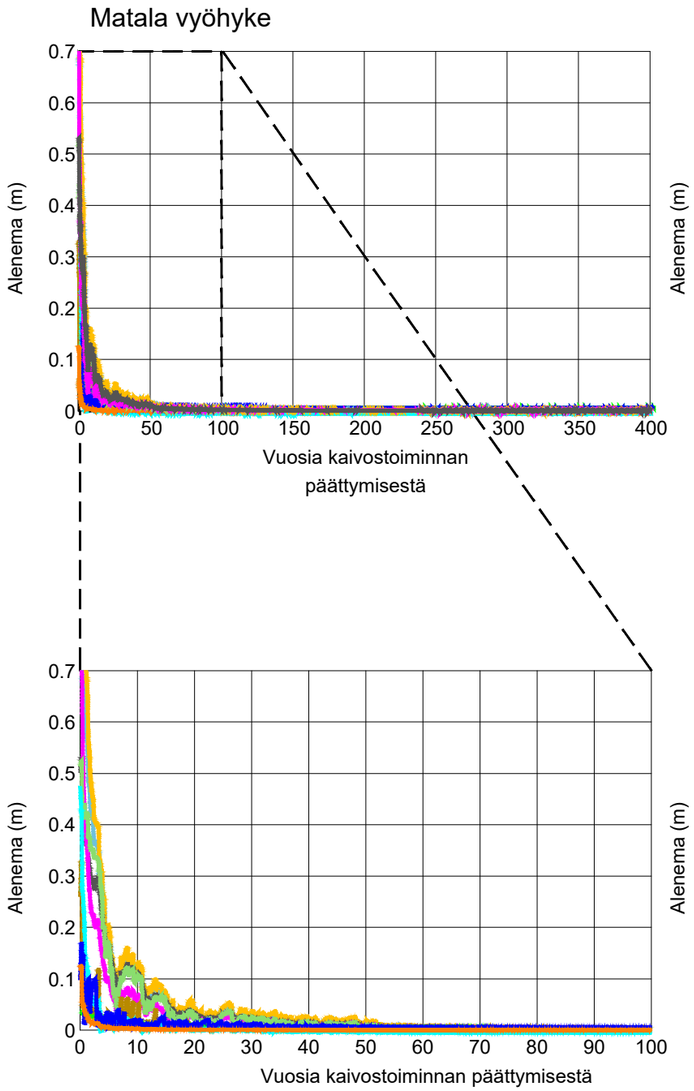
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

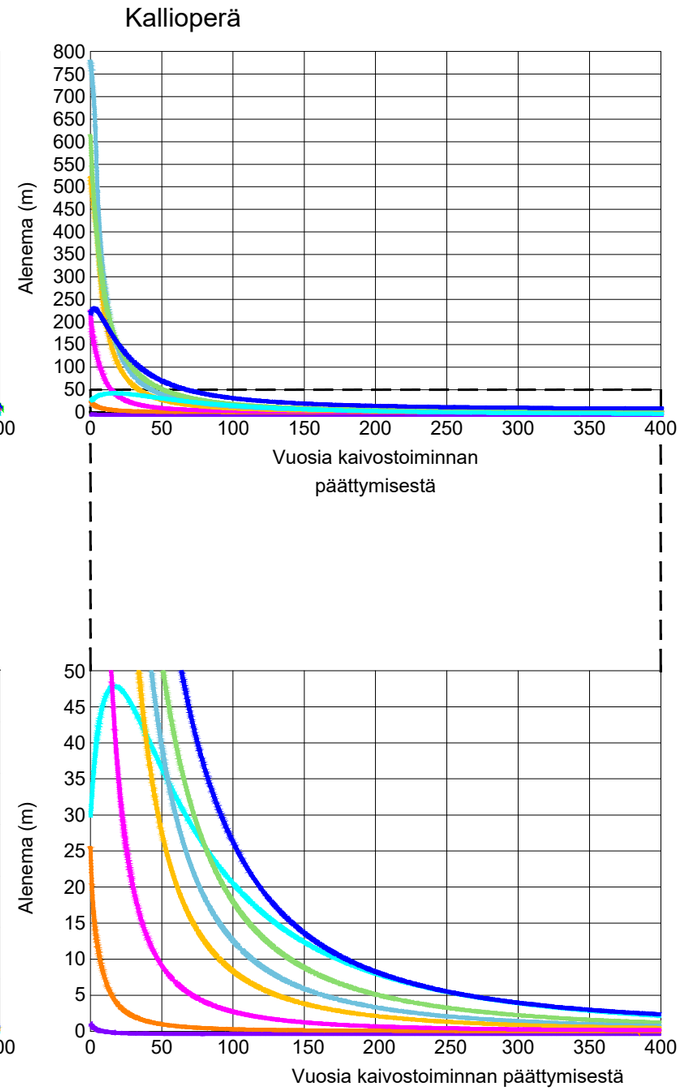
ITASCA™ Denver, Inc.

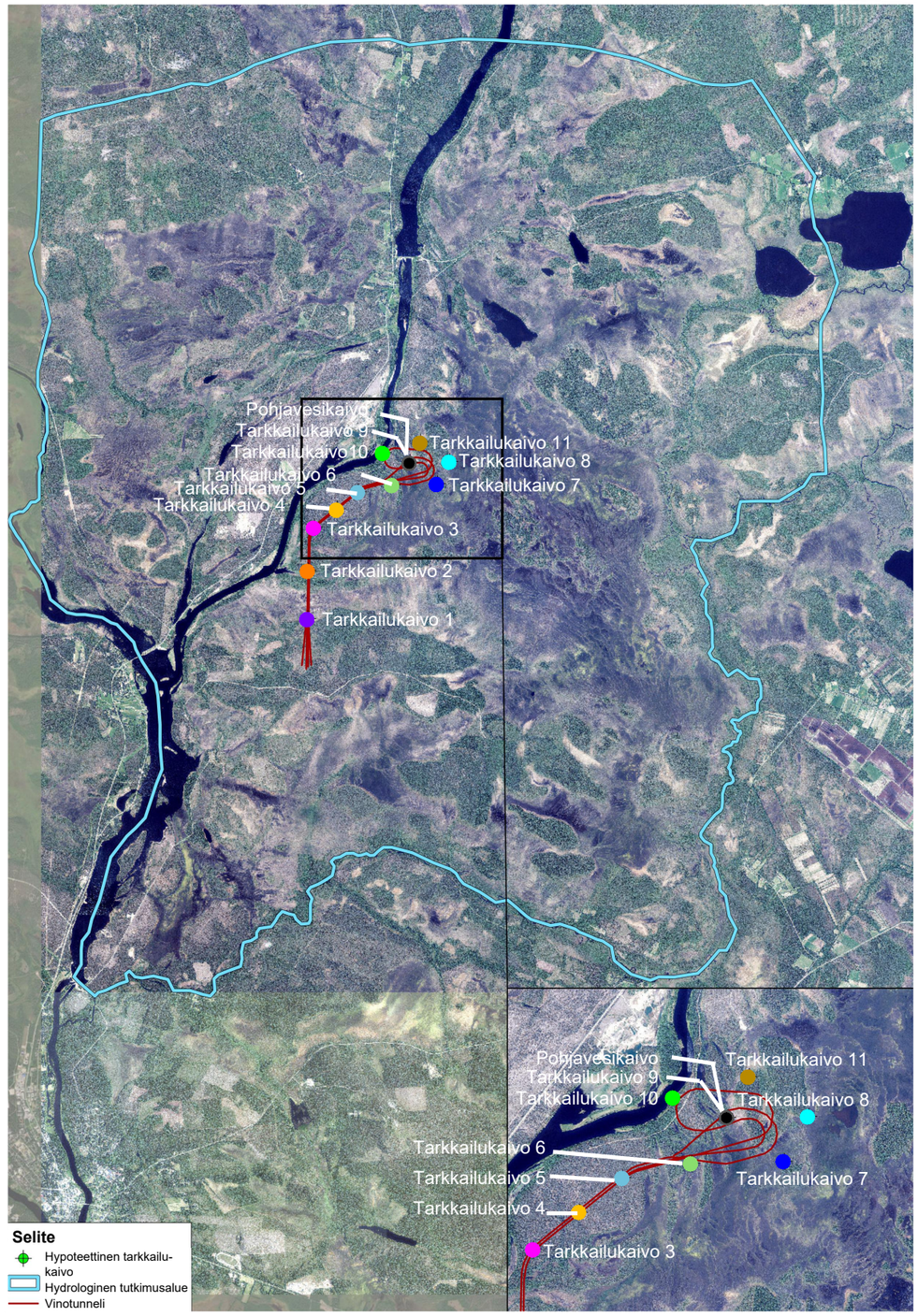
Ennustettu pohjaveden palautuminen kaivostoiminnan jälkeen kaivostoimintojen alueen keskeisimmissä sijainneissa 80% tiivistystehokkuudella ilmastomuutosskenaariossa

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-9a







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

ITASCA™ Denver, Inc.

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

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-9b

Prediction of Drawdown and Groundwater Inflow Rates over the Life of the Sakatti Project

Prepared
for
Sakatti Project

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

#4064

March 2023



TABLE OF CONTENTS

Page

TABLE OF CONTENTS ii
LIST OF FIGURES v
LIST OF TABLES viii
LIST OF APPENDICES ix
LIST OF ABBREVIATIONS x
EXECUTIVE SUMMARY xii
1.0 INTRODUCTION 1
1.1 DISCUSSION OF TERMINOLOGY 2
2.0 CONCEPTUAL HYDROGEOLOGIC MODEL 3
2.1 HYDROLOGIC STUDY AREA 3
2.2 KEY COMPONENTS OF THE CONCEPTUAL HYDROGEOLOGIC MODEL 4
3.0 KEY HYDROGEOLOGIC DATA 9
3.1 GEOLOGIC SETTING 9
3.1.1 Geologic Units 10
3.1.1.1 The Mire 11
3.1.1.2 Glacial and Fluvial Sediments 12
3.1.1.3 Fractured Bedrock 13
3.1.1.4 Unfractured Bedrock 14
3.1.2 Geologic Structures 14
3.1.3 Hydraulic Testing at the Project Site 15
3.1.3.1 Summary of Hydraulic Testing 15
3.1.3.2 Summary of Hydraulic Test Results 15
3.1.4 Summary of Hydrogeology Setting 18
3.2 METEOROLOGIC DATA 20
3.2.1 Precipitation 20
3.2.2 Pan Evaporation 21
3.2.3 Snow Depth and Snowmelt 21
3.2.4 Recharge from Snowmelt and Precipitation 22
3.2.5 Future Climate 24
3.3 SURFACE WATER 27
3.4 GROUNDWATER 28
3.4.1 Monitoring Network 28
3.4.2 Measured Groundwater Levels 29

TABLE OF CONTENTS
(continued)

Page

3.5 PROPOSED MINING AT THE SAKATTI PROJECT 31

4.0 GROUNDWATER FLOW MODEL 34

4.1 GROUNDWATER FLOW MODEL CODE 34
4.2 GROUNDWATER FLOW MODEL GRID 34
4.3 SIMULATED HYDROGEOLOGIC UNITS 35
4.4 SIMULATED MODEL BOUNDARY CONDITIONS 37

4.4.1 Simulation of Constant Heads 37
4.4.2 Variable-Flux Boundary 38
4.4.3 No-Flow Boundary Conditions 38

4.5 SIMULATED RECHARGE TO THE GROUNDWATER SYSTEM 38
4.6 GROUNDWATER FLOW MODEL CALIBRATION 39
4.7 STEADY-STATE MODEL CALIBRATION 40

4.7.1 Steady-State Model Targets 41
4.7.2 Steady-State Model Calibration 41

4.8 TRANSIENT MODEL CALIBRATION 42

4.8.1 Transient Model Targets 42
4.8.2 Transient Model Calibration 43

5.0 PREDICTIVE GROUNDWATER FLOW MODEL 46

5.1 PREDICTIVE GROUNDWATER FLOW MODEL SETUP 46

5.1.1 Simulated Boundary Conditions 46
5.1.2 Simulated Mining Operation 46
5.1.3 Predictive Model Simulations for Environmental Assessment 48

5.2 PREDICTIVE RESULTS DURING MINING FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT 49

5.2.1 Predicted Groundwater Inflow Rates 49
5.2.2 Predicted Drawdown 51
5.2.3 Predicted Baseflow to the Kitinen River 56

5.3 PREDICTIVE RESULTS WITH ADDITIONAL MITIGATION FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT 56

5.3.1 Predicted Groundwater Inflow Rates 57
5.3.2 Predicted Drawdown 59
5.3.3 Predicted Baseflow to the Kitinen River 62

5.4 PREDICTIVE RESULTS OF GROUNDWATER RECOVERY AFTER MINING 62

TABLE OF CONTENTS
(continued)

Page

5.4.1 Predicted Groundwater Recovery for Mine Plan with the NE Deposit.....63
5.4.2 Predicted Groundwater Recovery for Mine Plan without the NE Deposit.....65

6.0 SUMMARY OF KEY MODEL UNCERTAINTIES.....69
7.0 CONCLUSIONS.....74
8.0 REFERENCES.....78

FIGURES
TABLES
APPENDICES

LIST OF FIGURES

Figure 2-1 Hydrologic Study Area of the Sakatti Project

Figure 2-2 Viiankiaapa Mire Area within the Hydrologic Study Area

Figure 2-3 Conceptual Hydrogeologic Model

Figure 2-4 Conceptual Hydrogeologic Model of the Mire

Figure 3-1 Surficial Deposits within the Hydrologic Study Area

Figure 3-2 Geologic Map of Bedrock Units within the Hydrologic Study Area

Figure 3-3 North-South Cross Section of Geologic Units across the Mining Area

Figure 3-4 Local and Regional-Scale Faults in the Hydrologic Study Area

Figure 3-5 Extent of the Geologic Block Models within the Hydrologic Study Area

Figure 3-6 Estimated Thickness of the Peat Layer at the Project Site

Figure 3-7 Measured Hydraulic Conductivities from Packer Tests

Figure 3-8 Measured Hydraulic Conductivities from Packer Testing by Rock Type

Figure 3-9 Measured Hydraulic Conductivities from Pumping, Spinner Log, and Falling Head Tests versus Packer Tests

Figure 3-10 Measured Hydraulic Conductivities from Packer Tests at Elevation Ranges of 135 to 0 mamsl and 0 to -100 mamsl

Figure 3-11 Measured Hydraulic Conductivities from Packer Tests at Elevation Ranges of -100 to -200 mamsl and -200 to -300 mamsl

Figure 3-12 Measured Hydraulic Conductivities from Packer Tests at Elevation Ranges of -300 to -400 mamsl and -400 to -500 mamsl

Figure 3-13 Measured Hydraulic Conductivities of Faults from Packer Tests

Figure 3-14 Meteorological Monitoring Locations Used by the Project Site

Figure 3-15 Measured Annual and Monthly Precipitation at the Sodankylä Tähtelä Station

Figure 3-16 Measured Pan Evaporation Rate at the Sodankylä Tähtelä Station

Figure 3-17 Measured and Calculated Snow Water-Equivalent Depths

Figure 3-18 *MIKE SHE* and Hydrologic Study Area Boundaries

Figure 3-19 Estimated Recharge Rates from the *MIKE SHE* Model

Figure 3-20 Future Temperature and Precipitation in Finland under Various Greenhouse Gas Scenarios

Figure 3-21 Future Average Monthly Temperature and Precipitation for the Greenhouse Gas Case RCP4.5 for 2070 to 2099
Figure 3-22 Estimated Future Annual Precipitation and Recharge Rates
Figure 3-23 Future Applied Recharge Rates as a Percentage of Annual Precipitation
Figure 3-24 Surface-Water Bodies in the Hydrologic Study Area
Figure 3-25 Measured River Stages and Discharge Rates from Dams along the Kitinen River
Figure 3-26 Measured and Calculated Streamflow Discharge Rates from the Mine Area
Figure 3-27 Monitoring Locations in the Hydrologic Study Area
Figure 3-28 Monitoring Locations by Hydrogeologic Unit in the Hydrologic Study Area
Figure 3-29 Measured Groundwater Levels across the Project Site
Figure 3-30 Future Spatial and Vertical Extent of Decline and Mine Workings
Figure 3-31 Surface Locations of Future Mine Infrastructure
Figure 3-32 Backfilling Plans and Estimated Hydraulic Conductivities
Figure 4-1 Plan View of Simulated Hydrogeologic Units in Model Layer 1
Figure 4-2 West-East Cross Section of Simulated Hydrogeologic Units in the Mine Area
Figure 4-3 Simulated Hydraulic Conductivities in Groundwater Flow Model versus Measured Hydraulic Conductivities from Packer Tests
Figure 4-4 Values of Hydraulic Conductivity Used in the 2022 Sakatti Mine Groundwater Flow Model
Figure 4-5 Simulated Spatial Extents of the More and Less Permeable Bedrock Units
Figure 4-6 Simulated Spatial Extents of the Fractured Bedrock Units
Figure 4-7 Simulated Boundary Conditions in the Groundwater Flow Model
Figure 4-8 Simulated Recharge Rates in the Groundwater Flow Model Based on the *MIKE SHE* Model
Figure 4-9 Simulated Spatial Extent of Recharge Zones in the Groundwater Flow Model
Figure 4-10 Simulated Steady-State Groundwater Levels within the Hydrologic Study Area
Figure 4-11 Simulated Depth to Groundwater under Steady-State Conditions
Figure 4-12 Simulated Areas of Discharge and Recharge under Steady-State Conditions
Figure 4-13 Quality Line of Steady-State Model Calibration
Figure 4-14 Temporal Quality Lines of Transient Model Calibration
Figure 4-15 Simulated Annual Recharge Rates as a Percentage of Precipitation

Figure 4-16 Calibrated Water Budget for the Groundwater Flow Model

Figure 4-17 Calibrated Groundwater Outflow Rate to Key Streams and Lakes

Figure 5-1 Simulated Future Recharge Rates

Figure 5-2 Predicted Groundwater Inflow for the 65% and 80% Success in Grouting Scenarios

Figure 5-3 Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the 65% and 80% Success in Grouting Scenarios

Figure 5-4 Monitoring Location Drawdown for Selected Years over the Life of Mine

Figure 5-5 Predicted Drawdown at the End of Mining for the 65% and 80% Success in Grouting Scenarios

Figure 5-6 Comparison of Measured versus Simulated Seasonal Groundwater-Level Changes

Figure 5-7 Predictions of Seasonal Groundwater-Level Changes for the 80% Success in Grouting with the NE Deposit Scenario

Figure 5-8 Predicted Baseflow to the Kitinen River for the 65% and 80% Success in Grouting with the NE Deposit Scenarios

Figure 5-9 Predicted Groundwater Inflow for the 65% and 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios

Figure 5-10 Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the 65% and 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios

Figure 5-11 Predicted Drawdown at the End of Mining for the 65% and 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios

Figure 5-12 Predictions of Seasonal Groundwater-Level Changes for the 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario

Figure 5-13 Predicted Baseflow to the Kitinen River for the 65% and 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios

Figure 5-14 Predicted Groundwater Recovery after Mining at Key Locations around the Mine Area for the 65% and 80% Success in Grouting Scenarios

Figure 5-15 Predicted Groundwater Recovery after Mining at Key Locations around the Mine Area for the 65% and 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios

Figure 6-1 Levels of Hydrogeologic Effort at Different Project Stages

Figure 6-2 Evolution of a Groundwater Flow Model

LIST OF TABLES

Table 3-1 Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values of the Primary Hydrogeologic Units within the Hydrologic Study Area

Table 3-2 Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Packer Tests

Table 3-3 Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Falling Head Tests

Table 3-4 Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Pump Tests

Table 3-5 Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Air-Lift Tests

Table 3-6 Measured Hydraulic Conductivity Values at Fault Structures

Table 3-7 Measured Annual Precipitation Data at the Sodankylä Tähtelä Station

Table 3-8 Average Monthly and Daily Precipitation Rates at the Sodankylä Tähtelä Station

Table 3-9 Measured Annual Pan Evaporation Data at the Sodankylä Tähtelä Station

Table 3-10 Estimated Future Recharge Rates to Hydrogeologic Units for the Climate Case RCP4.5

Table 3-11 Summary of Details on Groundwater Monitoring Network at the Project Site

Table 4-1 Simulated Hydraulic Properties of the Hydrogeologic Units in the Sakatti Mine Groundwater Flow Model

Table 4-2 Simulated Recharge Rates for the Hydrogeologic Units in the Groundwater Flow Model

Table 4-3 Monitoring Locations Used in the Steady-State Groundwater Flow Model Calibration

Table 4-4 Calculated Statistics of the Steady-State Groundwater Flow Model Calibration

Table 4-5 Monitoring Locations Used in the Transient Groundwater Flow Model Calibration

Table 4-6 Summary of Calculated Statistics of the Transient Groundwater Flow Model Calibration

Table 5-1 Summary of Simulated Model Scenarios

Table 5-2 Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios with the NE Deposit

Table 5-3 Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios without the NE Deposit

Table 6-1 Summary of Key Model Parameters and Uncertainties

LIST OF APPENDICES

A Measured versus Simulated Hydrographs of the Transient Groundwater Flow Model Calibration

B Predictive Results for Sensitivity Model Scenarios

LIST OF ABBREVIATIONS

%	percent
3-D	three-dimensional
°C	degrees Celsius
AASM Oy	AA Sakatti Mining Oy
ET	evapotranspiration
HSA	hydrologic study area
K	hydraulic conductivity
km	kilometers
km^2	square kilometers
LAI	leaf area index
LOM	life of mine
m	meters
mm	millimeters
m/s	meters per second
m^3/day	cubic meters per day
m^3/s	cubic meters per second
m^3/hr	cubic meters per hour
mm/day	millimeters per day
mm/yr	millimeters per year
mm/month	millimeters per month
mamsl	meters above mean sea level
MAE	mean absolute error
mbgs	meters below ground surface
ME	mean error
NE	northeast
OL	overland flow
r^2	coefficient of determination

RMSE	root mean square error
RQD	rock quality designation
S_s	specific storage
S_y	Specific yield
SZ	saturated zone
TBM	tunnel bore machine
UZ	unsaturated zone
VWP	vibrating-wire piezometer

EXECUTIVE SUMMARY

BACKGROUND AND OBJECTIVES

The Sakatti Project is a proposed copper-nickel-platinum group element mine located in the northern part of Finland, approximately 16 kilometers (km) northeast of Sodankylä in the Finnish Lapland. Anglo American's subsidiary AA Sakatti Mining Oy (AASM Oy), who owns and will operate the proposed Sakatti Project Site (referred to hereafter as the "Project Site"), tasked Itasca Denver, Inc. (Itasca) with the following objectives:

1. Review available hydrogeologic data that have been collected at the Project Site;
2. Review and update the conceptual hydrogeologic model based on the recently collected hydrogeologic data, including groundwater levels, geologic data, and mine plan data;
3. Develop a groundwater flow model that is representative of the conceptual hydrogeologic model and focuses on the mining operation;
4. Calibrate the groundwater flow model to seasonal changes in groundwater levels;
5. Predict the future groundwater inflow rates to the Mine Workings and potential drawdown in the groundwater system using different scenarios;
6. Conduct a robust sensitivity analysis of the key model parameters within the groundwater flow model;
7. Provide an assessment of the overall groundwater flow model uncertainty;
8. Assess the effect of climate change on the future groundwater conditions; and
9. Provide guidance and recommendations on the future dewatering and groundwater monitoring at the Project Site.

CONCEPTUAL HYDROGEOLOGIC MODEL

A hydrologic study area (HSA) was defined for the project. The HSA is much larger than the proposed mining area to minimize potential hydraulic stresses at the HSA boundaries. A key area within the HSA is the Viiankiaapa Mire (the Mire). The Mire is a part of the national Mire Conservation Programme and is part of the European Union's Natura 2000 network. The Mire consists of Natura-

protected aapa mires and other protected habitats and has several protected plant species. The proposed underground mining is located directly east of the Kitinen River in the corner of the Mire and partly beneath the Mire in the HSA.

The groundwater system and primary hydrogeology within the HSA can be described by the following:

1. A Shallow Groundwater System in the shallow alluvial and fluvial deposits,
2. A Fractured Bedrock in the Shallow Groundwater System in the upper portion of the bedrock consisting of preglacial weathered bedrock and fractured bedrock, and
3. A Deep Groundwater System in the Unfractured Bedrock in the lower portion of the bedrock underneath the Fractured Bedrock that has not been weathered.

The conceptual hydrogeologic model is a description of the major components that affect the Shallow and Deep Groundwater Systems, interactions between the Shallow and Deep Groundwater Systems, the future groundwater inflows into the Mine Workings, and the potential drawdown associated with underground mining within the HSA. The following are the key components of the conceptual hydrogeologic model of the HSA and Project Site:

1. **Precipitation and Evapotranspiration** – Precipitation at the Project Site varies throughout the year. Precipitation occurs as rain during the summer/autumn months and snow in the winter months. During the winter months, snow accumulates on the ground surface, resulting in snowpack of varying depths each winter. The groundwater system is recharged by the spring snowmelt and the summer/autumn rainfall events.

   Evapotranspiration, which occurs primarily in the summer, is approximately 300 millimeters per year.
2. **Snowmelt and Spring Thaw** – As the ambient temperature warms in the spring, the snowpack begins to melt, with approximately 50 percent (%) of yearly surface-water runoff occurring during the spring snowmelt. It is during this snowmelt that recharge to the Shallow Groundwater System (peat, glacial and fluvial, and Fractured Bedrock) occurs.

EXECUTIVE SUMMARY
(continued)

3. **Recharge from Snowmelt and Precipitation** – The HSA is characterized by long winters and accumulations of snow. Recharge to groundwater, especially in areas dominated by alluvial sediments and shallow aquifers, primarily occurs due to snowmelt during the spring thaw. Recharge is greatest in the late spring or early summer after the snowpack has melted and then again during the summer/autumn months during periods of higher rainfall. Recharge to the groundwater system varies depending on the hydrogeologic conditions and geologic setting.
4. **Future Climate** – Numerous studies have been conducted on the future climate of Finland. Studies indicate that there are likely to be increasing temperatures and precipitation in the HSA. Due to the projections in temperature changes, it is likely that the precipitation type (rain or snow) and snowmelt timing may change. Changes to these variables are likely to affect seasonal changes in groundwater levels and recharge to the groundwater system.
5. **The Mire** – The Mire is described as aapa mires and raised bogs, rich fens, petrifying springs, bog woodland, and western taiga and is the key environmentally sensitive area within the HSA, with many types of vegetation and animals that are assigned with threatened status. The peat is a saturated hydrogeologic unit within the Mire that stores a significant amount of water that is used by the Mire ecosystem. Water within the peat is partially perched, with a leaky base of compacted peat with low hydraulic conductivity (*K*) values that separates the peat from the underlying glacial and fluvial sediments. This low-*K*-value zone is not present everywhere in the peat, which results in localized hydraulic connection between the peat and the glacial and fluvial sediments. Surface-water runoff occurs across the Mire during the snowmelt, with areas of the Mire retaining water during the summer months due to the lakes, strings, and flark features.
6. **Groundwater Levels and Groundwater Quality** – Measured groundwater levels within the Shallow Groundwater System hydrogeologic units show seasonal changes in groundwater levels due to seasonal recharge. Similar measured groundwater-level responses occur within the Fractured Bedrock. Measured groundwater levels in the bedrock show less seasonal response, which indicates limited hydraulic connection between the overlying Shallow Groundwater System and the Deep Groundwater System.

   Groundwater in the Fractured Bedrock unit communicates with groundwater in the overlying glacial and fluvial sediments, as evidenced by similar water chemistry. The available data suggest that the Unfractured Bedrock has a distinct groundwater chemistry with higher dissolved solids concentrations and contrasting characteristics from the water chemistry found in the glacial/fluvial sediments and Fractured Bedrock. These water-chemistry data suggest limited hydrologic interchange between the Unfractured Bedrock of the Deep Groundwater System and the Shallow Groundwater System hydrogeologic units.

EXECUTIVE SUMMARY
(continued)

7. **Surface Water** – Surface-water runoff over the ground surface above the underground mining zone occurs primarily during the spring melt season, when over 50% of the yearly runoff occurs. Surface water drains across the ground surface above the underground mining zone through a series of channels and drainages. Surface-water runoff in channels results in recharging along channel areas (i.e., losing streams) and discharging of surface water to the primary rivers. The primary rivers within the HSA are the Kitinen, Kelujoki, Hiivanahaara, and Ylijoki Rivers. The Kitinen River flows through the center of the HSA and is regulated by hydroelectric dams. The other two primary rivers drain the eastern and southern sides of the HSA and eventually flow into the Kitinen River at the southern boundary of the HSA.

8. **Geologic Setting** – The hydrogeologic setting of the Project Site can be characterized by Shallow and Deep Groundwater Systems with distinct hydrogeologic units. The Shallow Groundwater System is primarily sediment deposits of fluvial and glacial origins and underlain by the Fractured Bedrock. Below the Fractured Bedrock, within the Deep Groundwater system, is an Unfractured Bedrock that is primarily mafic and ultramafic volcanic bedrock.

   The fluvial and glacial sediment deposits have moderate to high *K* values (> 1 x 10^{-6} meters per second [m/s]). The Fractured Bedrock has higher *K* values than the underlying Unfractured Bedrock, which has low *K* values, with a median measured *K* value of 1 x 10^{-8} m/s. Groundwater flow is primarily limited to localized fractures within the Unfractured Bedrock.

9. **Local and Regional Geologic Faults** – The Project Site comprises the following primary faults in the vicinity of the Mine Workings: the Basal Thrust, East, East-West, SENW1 and SENW2, East-West Central, and Hanging Wall Shear Faults. In addition, there are regional faults. The primary fault that is encountered by the underground mining zone is the Basal Thrust. Measured *K*-value data from hydraulic testing indicate that the Basal Thrust has increased *K* values compared to the surrounding bedrock, while other faults have similar *K* values to the Unfractured Bedrock.

10. **Mine, Decline, and Underground Working Development** – Exploration drilling before 2017 at the Project Site has resulted in open boreholes that intercept the mineralized area and may have hydraulic connection with groundwater in the overlying hydrogeologic units during the operational stage. AASM Oy is in the process of sealing the boreholes that could potentially be intercepted by the underground mining operation. According to current plans by AASM Oy, all boreholes within the underground mine footprint and within a 50-meter (m) buffer zone from the underground mine footprint will be sealed during the construction phase.

EXECUTIVE SUMMARY
(continued)

Four Declines will be developed from the ground surface in the Kuusivaara area to the primary Mine Workings that are located in the Deep Groundwater System underneath the Mire. The Mine Workings will be within the Deep Groundwater System. The construction of the Declines and underground workings is likely to affect the groundwater system in the Deep Groundwater System and, depending on the hydraulic properties of the bedrock and structures, there may be localized hydraulic connection between the Deep and Shallow Groundwater Systems.

Groundwater inflow will occur at the Mine Workings depending on the hydraulic parameters of the geologic setting and geologic structures. In places where large groundwater inflow is occurring that could affect the operation or induce large drawdown of groundwater levels, AASM Oy plans to use mitigation methods such as grouting water-bearing faults.

Due to the emplacement of the underground workings in the low-*K*-value bedrock in the Deep Groundwater System, the potential effect of the mining on the Shallow Groundwater System and water table is likely to be limited.

GROUNDWATER FLOW MODEL

The groundwater flow model used in this study was constructed using the finite-element code *MINEDW* (Itasca 2012), which solves three-dimensional (3-D) groundwater flow problems using the finite-element method. The following are the key components of the groundwater flow model:

1. The groundwater flow model boundaries were selected to follow natural hydrologic divides and flow paths, such as ground-surface divides and surface-water rivers.
2. The groundwater flow model simulates surface-water rivers at the boundaries with constant heads and regional groundwater flow with a variable-flux boundary.
3. Recharge was applied to the groundwater system based on data from a *MIKE SHE* model for the till, sorted sediments, and peat hydrogeologic units.
4. The hydrogeologic units were based on the geologic models that were provided by AASM Oy. Hydraulic parameters of the hydrogeologic units were defined based on the groundwater flow model calibration and the field data collected at the Project Site.

The groundwater flow model was calibrated to measured steady-state groundwater levels and measured transient groundwater-level data within the groundwater systems from June 2012

EXECUTIVE SUMMARY
(continued)

through June 2021. A groundwater flow model calibration is the process of varying model input parameters over measured or likely ranges of values in a systematic way until a satisfactory match between simulated and measured data is obtained. Statistical measures (mean error, mean absolute error, root mean square error, normalized root mean square error, and coefficient of determination) were used to evaluate the groundwater flow model calibration. The following is a summary of the groundwater flow model calibration:

1. The simulated steady-state groundwater-level contours follow the ground-surface topography within the HSA. Simulated steady-state groundwater levels indicate that groundwater drains toward the primary rivers that are within the HSA. The simulated steady-state groundwater levels closely agree with measured values at the Project Site.
2. The mean error (ME), mean absolute error (MAE), and root mean square error (RMSE) for the steady-state groundwater flow model calibration are 0.1 m, 0.6 m, and 0.8 m, respectively. Overall, the simulated steady-state groundwater levels are well calibrated to the measured groundwater levels. Calculated model statistics of ME, MAE, and RMSE are within normal ranges of well-calibrated values as defined by various references (Anderson and Woessner 1992; ESI 2017; Spitz and Moreno 1996). Definition of these statistical terms is presented in the main text. The mass balance error for the entire steady-state groundwater flow model is less than 0.001%, which is much lower than the maximum global mass balance acceptance level of 0.5% recommended by Reilly and Harbaugh (2004).
3. An examination of measured versus simulated groundwater level transient hydrographs from June 2012 through June 2021 shows that the simulated groundwater levels in monitoring wells are well calibrated (Hill 1998) to the measured groundwater levels with respect to seasonal changes in groundwater levels and groundwater-level magnitude.
4. The transient groundwater flow model is well calibrated to trends and magnitudes of the measured groundwater levels near the future Mine Workings, along the Declines, and within the Mire.
5. Across the HSA, the transient groundwater flow model is well calibrated to trends and magnitudes of measured groundwater levels within the Shallow and Deep Groundwater System, Fractured Bedrock, and Unfractured Bedrock.
6. Overall, the simulated transient groundwater levels are well calibrated to the measured groundwater levels. Calculated transient model statistics of ME, MAE, RMSE, and the coefficient of determination (r^2) are within normal ranges of a well-calibrated groundwater flow model as defined by various references (Anderson and Woessner 1992; ESI 2017; Spitz

and Moreno 1996) and within the assumed measurement error of +/- 1.0 m. The ME, MAE, and RMSE are typically less than 1.0 m and r^2 is typically greater than 0.95 over the entire transient calibration time period.

PREDICTIVE MODEL SIMULATIONS AND SENSITIVITY ANALYSIS

The calibrated groundwater flow model was used to provide predictions of future groundwater inflow rates into the proposed Mine Workings and potential drawdown in the groundwater system. The following are the conclusions from the 80% Success in Grouting predictive model simulation:

1. The predicted peak groundwater inflow rate to the Mine Workings occurs by mid-Year 2, which is in the later stage of the construction phase. At this point in time, the Declines are almost completely constructed and the underground mine development has started. The peak groundwater inflow rate is approximately 118 cubic meters per hour (m^3/hr) (approximately 2,830 cubic meters per day [m^3/day]). After reaching a peak groundwater inflow rate, the groundwater inflow rate gradually decreases to a range between 100 m^3/hr and 110 m^3/hr (2,400 to 2,640 m^3/day) over the life of the mine.
2. Predicted drawdown in the Shallow Groundwater System along the Declines is predicted to be larger than at other locations due to the presence of the permeable Basal Thrust. Due to the higher permeability of the Basal Thrust, depressurization propagates from the Unfractured Bedrock in the Deep Groundwater System to the Shallow Groundwater System, resulting in drawdown in the water table. Peak drawdown values along the Declines are approximately 0.93 and 0.75 m in the winter and summer seasons, respectively, in Year 22 of mining.
3. Peak drawdown over the primary mining area is approximately 0.6 m at the end of mining, or Year 22.
4. The largest drawdown is associated with the shallow Decline and portal area, where the Mine Workings are shallower than 150 meters below ground surface [mbgs]). Along this section of the Declines, drawdown at the end of mining is less than 2.8 m.
5. Predicted drawdown varies seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal peak drawdown rates are predicted to occur prior to snowmelt in the spring.
6. Predicted drawdown at the end of mining of 0.6 m or less is within the seasonal variation of 0.5 to 2 m in measured groundwater levels over the primary mining area.

EXECUTIVE SUMMARY
(continued)

7. Predicted drawdown at the end of mining of 2.8 m or less is within the seasonal variation of 1 to 20 m in measured groundwater levels in the Kuusivaara area.
8. It is predicted that the groundwater discharge to the Kitinen River may decrease by up to 20 m^3/hr, which equates to approximately 4% to 6% of total simulated groundwater discharge to the Kitinen River. The total decrease in simulated discharge is a negligible change (approximately a 0.01% change) in the total measured river flow rate (SYKE 2022). The predicted decrease in the groundwater discharge to the Kitinen River does not incorporate the planned discharge of treated mine water to the Kitinen River. It is likely that if treated water from the groundwater inflow from the Mine Workings and other site water is discharged to the Kitinen River, the amount of the treated water from the Mine Workings would be greater than the predicted reduction of the groundwater discharge to the Kitinen River.
9. Groundwater levels within the Shallow Groundwater System begin to recover after mining ends. Within 5 years after the mine closure, groundwater levels within the Shallow Groundwater System have recovered to within 0.1 m of the pre-mining condition. The Shallow Groundwater System is predicted to recover to less than 0.01 m of the pre-mining condition 75 years after mining ends.
10. Due to the low *K* values of the Unfractured Bedrock, deeper monitoring locations require a longer time to recover than shallower monitoring locations. By 400 years after mining, all monitoring locations within the Unfractured Bedrock have drawdown less than 1 m.

The following are the conclusions from the 65% Success in Grouting predictive simulations:

1. The predicted peak groundwater inflow rate to the Mine Workings occurs by mid-Year 2, which is in the later stage of the construction phase. At this point in time, the Declines are almost completely constructed, and the underground mine development has started. The peak groundwater inflow rate is approximately 122 m^3/hr (approximately 2,930 m^3/day). After reaching a peak groundwater inflow rate, the groundwater inflow rate gradually decreases to a range between 107 m^3/hr and 118 m^3/hr (2,570 to 2,830 m^3/day) over the life of the mine.
2. Predicted drawdown in the Shallow Groundwater System along the Declines is predicted to be larger than at other locations due to the presence of the permeable Basal Thrust. Due to the higher permeability of the Basal Thrust, depressurization propagates from the Unfractured Bedrock in the Deep Groundwater System to the Shallow Groundwater System, resulting in drawdown in the water table. Peak drawdown values along the Declines are

approximately 1.0 and 0.8 m in the winter and summer seasons, respectively, in Year 22 of mining.

3. Peak drawdown over the primary mining area is approximately 0.6 m at the end of mining, or Year 22.
4. The largest drawdown is associated with the shallow Decline and portal area, where the Mine Workings are shallower than 150 mbgs. Along this section of the Declines, drawdown at the end of mining is less than 4.0 m.
5. Predicted drawdown varies seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal peak drawdown rates are predicted to occur prior to snowmelt in the spring.
6. Predicted drawdown at the end of mining of 0.6 m or less is within the seasonal variation of 0.5 to 2 m in measured groundwater levels over the primary mining area.
7. Predicted drawdown at the end of mining of 4.0 m or less is within the seasonal variation of 1 to 20 m in measured groundwater levels within the Kuusivaara area.
8. It is predicted that the groundwater discharge to the Kitinen River may decrease by up to 20 m^3/hr, which equates to approximately 4% to 6% of total groundwater discharge to the Kitinen River. The total decrease in discharge is a negligible change (approximately a 0.01% change) in the total river flow rate (SYKE 2022). The predicted decrease in the groundwater discharge to the Kitinen River does not incorporate the planned discharge of treated mine water to the Kitinen River. It is likely that, if treated water from the groundwater inflow from the Mine Workings and other site water is discharged to the Kitinen River, the amount of the treated water from the Mine Workings would be greater than the predicted reduction of the baseflow of the Kitinen River.
9. Groundwater levels within the Shallow Groundwater System begin to recover after mining ends. Within 10 years after the mine closure, groundwater levels within the Shallow Groundwater System have recovered to within 0.1 m of the pre-mining condition. The Shallow Groundwater System is predicted to recover to less than 0.01 m of the pre-mining condition 75 years after mining ends.
10. Due to the low *K* values of the Unfractured Bedrock, deeper monitoring locations require a longer time to recover than shallower monitoring locations. By 400 years after mining, all monitoring locations within the Unfractured Bedrock have drawdown less than 2.5 m.

The following are conclusions regarding the potential effects on the model predictions of future groundwater inflow and drawdown with the removal of the NE deposit from the mine plan:

EXECUTIVE SUMMARY
(continued)

1. There is a long-term reduction in groundwater inflow as compared to the model scenarios with the NE deposit described above. After Year 6 of mining, groundwater inflows reduce to 95 to 100 m^3/hr and 100 to 105 m^3/hr for the 80% and 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios, respectively. This is a reduction of approximately 5 to 10 m^3/hr for each model scenario.
2. The peak drawdown over the primary mining area is reduced to approximately 0.2 m. This is a reduction of up to 0.4 m from the mine plan including the NE deposit.
3. Predicted drawdown of 0.2 m or less at the end of mining is less than the seasonal variation of 0.5 to 2 m in measured groundwater levels over the primary mining area.
4. There are limited to no effects on the predicted reduction in the baseflow to the Kitinen River.
5. There are limited to no effects on the predicted groundwater recovery with the removal of the NE deposit from the mine plan. This is because for the Shallow and Deep Groundwater Systems, the predicted drawdown from mining occurs over the main deposit and along the Decline, which remains unchanged between the two mining plans. Consequently, the groundwater recovery times remain unchanged between the mining plans with and without the NE deposit.

Sensitivity analyses were conducted to assess the effect of the key mining parameters and climate on the predicted groundwater conditions. The results from the sensitivity analyses indicate the following:

1. Potential climate change has the following effects on the groundwater flow model predictions:
    a. There are negligible differences in the predicted groundwater inflow rates into the Mine Workings. This is because the Mine Workings are not directly connected to the Shallow Groundwater System. The predicted groundwater inflow rates into the Mine Workings are related to the removal of groundwater storage in the Unfractured Bedrock.
    b. The predicted drawdown is highly sensitive to annual precipitation and recharge rates. In drier years, the predicted drawdown rate is increased. In wetter years, the predicted drawdown rate is decreased.

c. Predicted long-term drawdown trends indicate that there is increased drawdown in a varying climate in monitoring locations that are near sorted sediments and tills, as the future predicted recharge rates are declining in these hydrogeologic units.

d. Long-term trends indicate decreased or similar drawdown in monitoring locations that are within or near peat, as the future predicted recharge rates are increasing in this hydrogeologic unit.

2. An increase in grout efficiency is likely to decrease the groundwater inflow rates and drawdown along permeable fault structures. As such, successful implementation of grouting to reduce groundwater inflows from water-bearing structures is crucial.
3. A reduction in *K* values of the backfill has negligible effect on the overall results, as the *K* value of the backfill is more permeable than the surrounding bedrock.

KEY ASSUMPTIONS AND UNCERTAINTIES ASSOCIATED WITH THE GROUNDWATER FLOW MODEL

The following is a summary of the key assumptions in the groundwater flow model and the uncertainties:

1. Site-specific hydraulic parameters were available over the primary area of the proposed Mine Workings. The following is a summary of the assumptions in the conceptual and numerical models:
    a. The bedrock along the Decline and Kitinen River area was assigned to be more permeable than the bedrock in the mining area based on *K*-value data. However, there are less measured *K*-value data in this area when compared to the extensive *K*-value dataset in the mining area.
    b. Packer-testing data indicate that faults in the proposed mining area have similar *K* values to the bedrock around the faults because the fractures are generally filled and are characterized as mylonitic faults.
    c. The peat is simulated as one hydrogeologic unit with no spatial variation in *K* values. Studies of the peat indicate that there is a distribution of *K* values within the peat, with a lower *K* value at the base of the peat. This low-*K*-value zone can impede water seepage to underlying units and separate the peat from the underlying glacial and fluvial sediments in many areas. A reduction in peat *K* values with depth may limit hydraulic connection with the underlying hydrogeologic units. A discussion of the peat conceptual model is provided in the main text of this report.

EXECUTIVE SUMMARY
(continued)

   d. The *K* values of all Unfractured Bedrock and faults were assumed to decrease with depth based on measured *K*-value data.

2. The groundwater flow model is well calibrated to the available transient groundwater-level data. The groundwater flow model is calibrated primarily to monitoring locations within the fluvial and glacial deposits, Fractured Bedrock, and shallow Unfractured Bedrock. There are less available data about groundwater levels in the Deep Groundwater System (greater than 200 mbgs) than those of the shallower hydrogeologic units.
3. Recharge to the Shallow Groundwater System is a key component of the water balance and results in fluctuations of the groundwater levels seasonally. A *MIKE SHE* model was used to estimate the recharge to the Shallow Groundwater System.
   a. It is likely that recharge varies at a smaller spatial scale than assumed for the three hydrogeologic units (i.e., sorted sediments, till, and peat) due to the complexity of the hydrogeologic units and climate. There are extensive monitoring data available in the Mine Workings area; however, less data are available to measure/estimate the variation in recharge rates across the HSA and boundaries of the HSA.
   b. No data are available on future recharge rates for the HSA. Average recharge rates and estimates of recharge for a future climate were used in the groundwater flow model predictions. The estimated recharge rates are sensitive to the assigned meteorological parameters.
4. The predicted drawdown does not consider the effects of dense vegetation, the suction effect of roots, and the large storage of the shallow surficial composed materials. These effects will reduce the predicted drawdown of the groundwater table.
5. The peat drawdown is predicted based on the assumption that the peat is hydraulically connected to the Shallow Groundwater System and behaves as porous media. Based on the available data, it is reasonable to assume that the peat unit within the Mire system in many areas has low-*K*-value zones and is only partially hydraulically connected to the Shallow Groundwater System. Consequently, the predicted drawdown from the groundwater flow model is likely to be higher than the actual field-observed drawdown in the peat.
6. The predicted drawdown does not consider the increased recharge that will occur as the result of lowering of the water table induced by the mining operation. The increased recharge will reduce the predicted drawdown of the groundwater table.

1.0 INTRODUCTION

The Sakatti Project is a proposed copper-nickel-platinum group element mine located in the northern part of Finland, approximately 16 kilometers (km) northeast of Sodankylä in the Finnish Lapland. Anglo American's subsidiary AA Sakatti Mining Oy (AASM Oy), who owns and will operate the Sakatti Project, requested that Itasca Denver, Inc. (Itasca) review the available hydrogeologic data that have been collected at the Sakatti Project (referred to hereafter as the "Project Site"), review and update the conceptual hydrogeologic model, develop and calibrate a groundwater flow model that focuses on the future mining operation, and provide predictions of future groundwater conditions over the life of the mine (LOM). The following are the primary objectives of this study and are presented in this report:

1. Review available hydrogeologic data that have been collected at the Project Site;
2. Review and update the conceptual hydrogeologic model based on the recently collected hydrogeologic data, including groundwater levels, geologic data, and mine plan data;
3. Develop a groundwater flow model that is representative of the conceptual hydrogeologic model and focuses on the mining operation;
4. Calibrate the groundwater flow model to seasonal changes in groundwater levels;
5. Predict the future groundwater inflow rates to the Mine Workings and potential drawdown in the groundwater system using different sensitivity scenarios;
6. Conduct a robust sensitivity analysis of the key model parameters within the groundwater flow model;
7. Provide an assessment of the overall groundwater flow model uncertainty;
8. Assess the effect of climate change on the future groundwater conditions; and
9. Provide guidance and recommendations on the future dewatering and groundwater monitoring at the Project Site.

The purpose of this report is to provide a summary of the completed work described above.

1.1 DISCUSSION OF TERMINOLOGY

For brevity, the following terminology is used throughout the report:

1. AASM Oy – This refers to hydrogeologists, scientists, and engineers at the Sakatti Project.
2. The Project Site – This refers to the Sakatti Project entity, including the main and satellite ore deposits, Mine Workings, and surface infrastructure.
3. Mine Workings – This refers to the proposed underground workings around the ore bodies and stopes.
4. Declines – This refers to the underground workings that are constructed by the tunnel bore machine in the construction phase of mining.
5. Groundwater inflow – This refers to seepage into the Mine Workings.
6. Fractured Bedrock – This refers to the upper portion of the bedrock that has been weathered and fractured due to metamorphic processes, faulting, tectonic stresses, and preglacial weathering.
7. Unfractured Bedrock – This refers to the lower portion of the bedrock underneath the Fractured Bedrock that has not been weathered or fractured.
8. Deep Groundwater System – This refers to the groundwater system in the local pores or localized fractured network of the Deep Bedrock.
9. Shallow Groundwater System – This refers to the groundwater system in the shallow alluvial, glacial, and fluvial deposits and Fractured Bedrock.
10. The Mire – This refers to the Viiankiaapa Mire.

2.0 CONCEPTUAL HYDROGEOLOGIC MODEL

2.1 HYDROLOGIC STUDY AREA

Figure 2-1 shows the hydrologic study area (HSA) that was defined for this study. The HSA is much larger than the planned mining zone to minimize the propagation of hydraulic stresses from mine dewatering to the HSA boundaries. The boundaries of the HSA were chosen to align with surface-water bodies (western, southern, and eastern boundaries), topographic divides (northern), and flow path lines for groundwater (northern, northwestern, and northeastern) for ease of boundary condition assignment under pre-mining, transient, and future groundwater conditions. The HSA is much larger than in previous studies (Stantec 2020) to include all available hydrogeologic data into the conceptual and numerical models. The following are the key advantages of the larger HSA domain:

1. The entire Viiankiaapa area (the Mire) is located within the HSA;
2. All Mine Workings (i.e., underground workings and stopes) and the Declines are included within the HSA;
3. The HSA boundary is a significant distance away from potential mining-induced hydraulic stresses to minimize any potential boundary effects on model predictions.

The area of the HSA is approximately 235 square kilometers (km^2). Ground-surface elevations within the HSA range from 180 to 300 meters above mean sea level (mamsl). The ground-surface elevation grades from higher elevations at the northern boundary to lower ground-surface elevations at the southern boundary. Ground-surface elevations near the primary area of the Mine Workings range from 185 to 188 mamsl.

The Project Site is located directly east of the Kitinen River, the largest upper branch of the Kemijoki River (Figure 2-1; the Kemijoki River is approximately 60 km south of the HSA and is not shown). The Project Site will have two primary Mine Workings areas, a main deposit and a northeast (NE) deposit. The locations of the deposits are shown in the inset in Figure 2-1. The main deposit is approximately

0.45 km^2, and the center of the main deposit is located 600 meters (m) east of the Kitinen River. The NE deposit is approximately 0.07 km^2, and the center of the NE deposit is 1,400 m east of the Kitinen River. The two deposits will be accessed from the ground surface by four Declines that extend southwest from the main deposit for 2 km then an additional 3 km south (red line in Figure 2-1). The four Declines will have portals at the ground surface in the Kuusivaara area. The Kuusivaara area is approximately 10 km northeast of Sodankylä.

Figure 2-2 shows the location of the Viiankiaapa Mire (referred to herein as "the Mire") and Natura 2000 area within the HSA. The Mire covers approximately 66 km^2 of the HSA. The Mire is located on the eastern half of the HSA. The Mire can be described by "aapa mires and raised bogs, rich fens, petrifying springs, bog woodland and western taiga" according to the Finnish government (National Parks 2022). The Mire area is the key environmentally sensitive area within the HSA, with many types of vegetation and animals that are assigned with threatened status (National Parks 2022). The Mire is a part of the national Mire Conservation Programme and is part of the European Union's Natura 2000 network. The proposed underground mining at the Project Site is located directly east of the Kitinen River in the corner of the Mire and partly beneath the Mire in the HSA. The main and NE deposits of the Project Site are located at depth beneath the Mire. The shallowest levels of main and NE deposits are approximately 255 and 80 meters below ground surface (mbgs) underneath the Mire, respectively.

2.2 KEY COMPONENTS OF THE CONCEPTUAL HYDROGEOLOGIC MODEL

Figure 2-3 presents the main components of the conceptual hydrogeologic model along a northwest-facing isometric view of the ore deposit. Figure 2-4 shows the conceptual hydrogeologic model of the Mire system. The conceptual hydrogeologic model is a schematic presentation of the major components that affect the Shallow and Deep Groundwater Systems, interactions between the Shallow and Deep Groundwater Systems, the future groundwater inflows into the Mine Workings, and the potential drawdown associated with underground mining. Numbers that are

shown in Figure 2-3 (such as #1 to #14) are presented below as part of the primary components of the conceptual hydrogeologic model, which are as follows:

1. **Precipitation and Evapotranspiration** – Precipitation at the Project Site varies throughout the year (#1 in Figure 2-3). Precipitation occurs as rain during the summer/autumn months and snow in the winter months. During the winter months, snow accumulates on the ground surface, resulting in snowpack of varying depths each winter. The groundwater system is recharged by spring snowmelt and summer/autumn rainfall events.

   Evapotranspiration (ET), which occurs primarily in the summer, is approximately 300 millimeters (mm) per year (#1).

2. **Snowmelt and Spring Thaw** – As the ambient temperature warms in the spring, the snowpack begins to melt, with approximately 50 percent (%) of yearly surface-water runoff occurring during the spring snowmelt (#1). It is during this snowmelt that recharge to the Shallow Groundwater System (peat, glacial and fluvial, and Fractured Bedrock) occurs.

3. **Recharge from Snowmelt and Precipitation** – The HSA region is characterized by long winters and accumulations of snow (#1). Recharge to groundwater, especially in areas dominated by alluvial sediments and shallow aquifers, primarily occurs due to snowmelt during the spring thaw. Recharge is greatest in the late spring or early summer after the snowpack has melted and then again during the summer/autumn months during periods of higher rainfall. Recharge to the groundwater system varies depending on the hydrogeologic condition and geologic setting.

4. **Future Climate** – Numerous studies have been conducted on the future climate of the Project Site. Studies indicate that there are likely to be increasing temperatures and precipitation in the HSA. Due to the projections in temperature changes, it is likely that the precipitation type (rain or snow) and snowmelt timing may change. Changes to these variables are likely to affect seasonal changes in groundwater levels and recharge to the groundwater system.

5. **The Mire** – The Mire is described as aapa mires and raised bogs, rich fens, petrifying springs, bog woodland, and western taiga and is the key environmentally sensitive area within the HSA, with many types of vegetation and animals that are assigned with threatened status. Figures 2-4a and 2-4b show a conceptual illustration of the hydrogeologic units, vegetation, and groundwater system and flow paths through the Mire area. The peat within the Mire is a saturated hydrogeologic unit that stores a significant amount of water that is used by the Mire ecosystem and vegetation. The peat has a variable thickness where the thickness of the peat unit increases with the increasing degree of decomposition. Water in the peat is partially perched, with a leaky base of compacted peat with low hydraulic conductivity (*K*) values that separates the peat from the underlying glacial and fluvial sediments (Korkka-Niemi et al. 2017; Salonen et al. 2016; Turtiainen 2020). This low-*K*-value zone is not present

everywhere in the peat and may be absent in mire/peat margins, which results in localized hydraulic connection between the peat and the glacial and fluvial sediments, as evidenced by similar water chemistry. Groundwater flow within the peat is primarily horizontal in the uppermost part of the peat due to the larger horizontal *K* values. There is a limited vertical groundwater flow component within the peat due to decreasing *K* values with depth.

The GTK peat survey (1965, unpublished) revealed that the degree of decomposition of the peat increases as the peat thickness increases and the degree of peat decomposition varies mainly between Von Post´s classes H2–H8 in Viiankiaapa. The *K* values of peat have been observed to decrease as Von Post's decomposition rate increases (Morris et al. 2021; Päivänen 1973). The thickness and *K* values of the decomposed peat at Viiankiaapa can be described as follows:

a. The weakly decomposed (H2–4) peat has a median thickness of 1 m and a maximum thickness of 4.5 m,

b. The medium decomposed (H5–6) peat has a median thickness of 0.5 m and a maximum thickness of 2.4 m, and

c. The well-decomposed (H7–8) peat has a median thickness of 0.3 m and a maximum thickness of 2.0 m (GTK 1965, unpublished).

d. Generally, the increase in the degree of peat decomposition is steady, but also sharp or alternating changes exist in places. Based on in-situ measurements and the *K*-value calculations by Päivänen (1973), the *K* values can vary from 3×10^{-6} to 2×10^{-5} meters per second (m/s) for weakly decomposed peat, 1×10^{-6} to 2×10^{-5} m/s for medium decomposed peat, and 1×10^{-7} to 3×10^{-6} m/s for well-decomposed peat.

Surface-water runoff occurs across the Mire during the snowmelt, with areas of the Mire retaining water during the summer months due to the lakes, strings, and flark features. The suction of the roots is likely to prevent the drawdown of the groundwater levels of the peat layer as the result of the underdrain induced by mining.

Figure 2-4b presents representative hydrographs of groundwater levels within the Mire and beneath the Mire. Within the mine area, the peat has a thickness that ranges from less than 0.5 m to 7 m. Measured porewater pressures within the Mire at monitoring wells installed into the peat show increasing trends in groundwater levels during the winter months as snow depth increases and an ice gap forms on top of the well (i.e., snow depth increases porewater pressure on the peat, resulting in seemingly increasing porewater levels). Measured groundwater levels beneath the peat unit, at GA303 and GA403 (Figure 2-4b), do not have similar responses to pressure increases from snow depth. A comparison of the responses (groundwater and porewater pressure fluctuations) to increased snow depth (GA103 versus GA303/GA403) provides evidence that the peat and underlying sediments may not be hydraulically connected in all areas.

6. **Groundwater Levels and Groundwater Quality** – Measured groundwater levels within the Shallow Groundwater System hydrogeologic units show seasonal changes in groundwater levels due to seasonal recharge (#7). Measured groundwater levels in the Unfractured Bedrock show less seasonal response, which indicates limited hydraulic connection between the overlying Shallow Groundwater System and the Deep Groundwater System.

   Groundwater in the Fractured Bedrock unit communicates with groundwater in the overlying glacial and fluvial sediments, as evidenced by similar water chemistry (#9). The available data suggest that the Unfractured Bedrock has a distinct groundwater chemistry with higher dissolved solids concentrations and contrasting characteristics from the water chemistry found in the glacial/fluvial sediments and Fractured Bedrock. These water-chemistry data suggest limited hydrologic interchange between the Unfractured Bedrock and the Shallow Groundwater System hydrogeologic units.

7. **Surface Water** – Surface-water runoff over the ground surface above the underground mining zone occurs primarily during the spring melt season, when over 50% of the yearly runoff occurs (#3). Surface water drains across the ground surface above the underground mining zone through a series of channels and drainages. Surface-water runoff through these channels within the HSA contributes to recharge in shallow sediments and discharge of water to the primary rivers. The primary rivers within the HSA are the Kitinen, Kelujoki, Hiivanahaara, and Ylijoki Rivers.

   The Kitinen River flows through the center of the HSA and is regulated by hydroelectric dams (#4 and #5). The other two primary rivers drain the eastern and southern sides of the HSA and eventually flow into the Kitinen River at the southern boundary of the HSA.

8. **Geologic Setting** – The hydrogeologic setting of the Project Site can be characterized by Shallow and Deep Groundwater Systems with distinct hydrogeologic units. The Shallow Groundwater System (#8) is primarily sediment deposits of fluvial and glacial origins and underlain by the Fractured Bedrock unit (#10). Below the Fractured Bedrock unit (#10) is Unfractured Bedrock in the Deep Groundwater System that is primarily mafic and ultramafic volcanic bedrock (#11).

   The fluvial and glacial sediment deposits have moderate to high *K* values (> 1 x10^{-6} m/s). The Fractured Bedrock has higher *K* values than the underlying Unfractured Bedrock, which has low *K* values, with a median measured *K* value of 1 x 10^{-8} m/s. Groundwater flow is primarily limited to localized fractures within the Unfractured Bedrock.

   The *K* values of the geologic units control the groundwater flow and the potential connection between the Shallow and Deep Groundwater Systems.

9. **Local and Regional Geologic Faults** – The Project Site comprises the following primary faults that intersect the main ore body area: the Basal Thrust (#13), East, East-West, SENW1 and SENW2, East-West Central, and Hanging Wall Shear Faults (#12). In addition, there are regional faults. The most significant fault across the Decline and mining area is the Basal

Thrust. Measured *K*-value data from hydraulic testing indicate that the Basal Thrust has increased *K* values compared to the surrounding Unfractured Bedrock, while other faults have similar *K* values to the bedrock.

Local and regional geologic faults could be water conductive or could be barriers to groundwater flow (#12 and #13); either of these conditions would influence the groundwater inflow rates, drawdown, and groundwater recovery.

10. **Mine, Decline, and Underground Working Development** – Exploration drilling before 2017 at the Project Site has resulted in open boreholes that intercept the mineralized area and may have hydraulic connection with water in the overlying hydrogeologic units during the operational stage. AASM Oy is in the process of sealing the boreholes that could potentially be intercepted by the underground mining operation. A majority of these boreholes will be sealed during the construction phase (#14).

    Four Declines will be developed from the ground surface in the Kuusivaara area to the primary Mine Workings that are located in the Deep Groundwater System underneath the Mire. The Mine Workings will be within the Deep Groundwater System. The construction of the Declines and Mine Workings is likely to affect the groundwater system in the Deep Groundwater System and, depending on the hydraulic properties of the Unfractured Bedrock and faults, there may be connection between the Deep and Shallow Groundwater Systems. Groundwater inflow will occur at the Mine Workings depending on the hydraulic parameters of the geologic setting and faults. In places where high groundwater inflow is occurring that could affect the operation or induce a large groundwater drawdown, AASM Oy plans to use mitigation methods such as grouting water-bearing faults.

3.0 KEY HYDROGEOLOGIC DATA

The following sections provide an overview of the key hydrogeologic data that were used to support the development of the conceptual hydrogeologic model described in Section 2.0 and to support the development and calibration of a regional groundwater flow model that is described in Section 4.0. The following are the key data used in the development of the conceptual and numerical groundwater flow models and discussed below:

1. Geologic models, including geologic units and faults;
2. Hydraulic data from packer testing;
3. Climate data, including precipitation, ET, and future estimates of climate change; and
4. Proposed mine plans.

3.1 GEOLOGIC SETTING

Figure 3-1 and Figure 3-2 show the surficial geologic maps of the shallow deposits and bedrock in the HSA. The surficial geology map is a compilation of 1:20,000, 1:50,000, and 1:200,000 scale maps from the Geological Survey of Finland (2022). Figure 3-3 shows a north-south cross section of the geologic units in the mining area and the extent of the Mine Workings. Geologic data from the cross section are from geologic block models provided by AASM Oy. A discussion of the available geologic models is provided below. The geology of the Project Site consists of the peat overlying glacial and fluvial sediments. Beneath the glacial and fluvial sediments is Paleoproterozoic bedrock of the Central Lapland Greenstone Belt (Eilu et al. 2012; Pulkkinen 1983; Tyrväinen 1983). The upper portion of the bedrock is mainly preglacially weathered (Hall et al. 2015) and fractured from repeated periods of metamorphic processes, faulting, tectonic stresses, and glacial advancement. The weathered unit is preserved due to relatively weak glacial erosion. The upper portion of the bedrock is referred to herein as the Fractured Bedrock. Below the Fractured Bedrock is referred to as the Unfractured Bedrock. The ore deposit is located at a contact zone between the Lower Sodankylä Group and the Upper Savukoski Group geologic units (Luukas 2017). The Sodankylä Group

consists mainly of mica schists, metasiltstones, and quartzites, with locally abundant metavolcanic and occasional dolomitic rocks. The overlying Savukoski Group comprises ultramafic volcanic rocks and schists. The ore deposit is hosted by ultramafic volcanics, ultramafic cumulates consisting of peridotites and dunites, mafic volcanics, and volcanic tuffs.

Figure 3-4 shows the primary geologic faults in the HSA based on data from AASM Oy, the Geological Survey of Finland (2022), and Luukas (2017). The primary faults in the HSA are shown in pink, while regionally mapped faults are shown in green (Geological Survey of Finland 2022) and yellow and black (Luukas 2017). Regional mapped faults from the Geological Survey of Finland (2022) and Luukas (2017) are based on airborne geophysical data interpretations. Mapped faults between the different data sources have some degree of overlap, and there is coincidence between the most detailed three-dimensional (3-D) model faults and semi-regional faults mapped in 2017. This coincidence has been confirmed by drilling. The bedrock within the HSA has been subjected to two primary structural events (Luukas 2017). The first north-south compression was caused by uplift and thrusting from the north and the development of shear zones directly below and above ore deposits. The second event resulted in the development of southeast-northwest trending faults that deformed the earlier faults. As shown in Figure 3-4, the Mine Workings intercept with several faults. The primary faults at the Project Site are included in the numerical and conceptual models.

3.1.1 Geologic Units

Figure 3-5 shows the extent of three geologic block models provided by AASM Oy. Geologic models were used directly in the groundwater flow model. The following is a summary of these geologic block models:

1. **Shallow System Geologic Model**: The shallow system geologic model covers the Project Site and the Mire area. The shallow system geologic model includes detailed representation of the shallow system geologic unit of the tills, sands, sediments, and peat and a representation of the Fractured Bedrock unit. Details of the shallow system are presented in Åberg et al. (2021).

2. **2021 Tunnel Bore Machine and Deposit Model**: The tunnel bore machine (TBM) line and deposit model is the latest iteration of geologic data that have been compiled by AASM Oy in 2021. The geologic model provides detailed information of the local faults and geologic units in the mine deposit area and along the TBM line.
3. **Kuusivaara Model**: The Kuusivaara model is a shallow system geologic model that provides detailed representation of the shallow geologic units of the Kuusivaara area. Details of the model are presented in Puumalainen (2021).

The geology of the Project Site can be divided into four main stratigraphic units:

1. The Mire,
2. Glacial and fluvial sediments that underlie the Mire,
3. Fractured Bedrock, and
4. Unfractured Bedrock.

Provided below is a summary of the primary stratigraphic units within the HSA.

3.1.1.1 The Mire

The Mire began as a post-glacial lake starting with the end of the last major glacial advance in Finland (Salonen et al. 2016). As discussed above, the Mire is a Natura 2000 protected area consisting of a wetland peat environment with sensitive and threatened plant and animal species. The Mire contains water bodies and patterned bogs with string and flark patterns (Korkka-Niemi et al. 2017). Figure 3-1 shows the mapped areas of peat within the HSA.

Figure 3-6 shows a map of the peat thickness within the HSA that is based on Åberg et al. (2021). Geological coring (Lappalainen and Pajunen 1982) indicates that the peat is up to 7.8 m thick with an average thickness of 2.3 m. Other Mire studies (Korkka-Niemi et al. 2017) estimated the average peat thickness at approximately 1.9 m. The shallow system geologic model contains the most up-to-date mapping of peat thickness, which is included in the conceptual and numerical models.

The peat becomes more compact with depth and, consequently, has decreasing *K* values with depth (i.e., limited connection between the peat and underlying units). The decreasing *K* values with depth result in perched water zones within areas of the Mire. Golder (2015) estimated the *K* values of the peat to have a range from 1.0 x 10^{-7} to 2.4 x 10^{-4} meters per second (m/s) with an average of 1.0 x 10^{-5} m/s. Additional *K*-value measurements of the peat ranged from approximately 9.8 x 10^{-6} to 1.0 x 10^{-5} m/s (Korkka-Niemi et al. 2017; Korkka-Niemi and Turtiainen 2020). Table 3-1 provides a summary of the measured *K*-value data for hydrogeologic units within the HSA.

Because the peat unit is considered a partially perched unit (Figure 2-4) that is separated from the underlying glacial and fluvial sediments and rock mass, the predicted drawdown from the groundwater flow model should be considered as drawdown in the glacial and fluvial sediments and rock mass below the peat unit. The drawdown in the peat unit could be significantly smaller than the drawdown in the glacial and fluvial sediments and rock mass due to a limited connection between the peat and underlying units. This statement is supported by the peat conceptual model, as discussed in Section 2.0.

3.1.1.2 Glacial and Fluvial Sediments

The glacial and fluvial hydrogeologic units of the Shallow Groundwater System comprise tills, sands, and gravels (Åberg et al. 2017; Åberg et al. 2021). There are three major till deposits, an upper till, a middle till, and a lower till (Åberg et al. 2020; Salonen et al. 2016). The most continuous sorted sediments above the upper till are top deposits originating from fluvial outwash sediments formed as part of a typical river morphology. Top deposits consist of fluvial sands and gravels, fine-grained flood plain deposits, and aeolian sands. Figure 3-1 shows the locations of the mapped gravel deposits within the HSA. The till deposits are intermixed with sand and gravel zones that generally have limited extents (Åberg et al. 2021; Salonen et al. 2014; Salonen et al. 2016). As shown in Figure 3-1, the gravel areas dominate along the Kitinen River, while tills typically represent areas of higher ground-surface elevations.

The lower till contains a mixture of moderate- and low-*K*-value units with a compacted lower *K* value than other till deposits (Åberg et al. 2020). As such, the lower till has the potential to isolate the overlying glacial and fluvial sediments from the underlying bedrock. However, the lower till is not continuous across the HSA. The shallow glacial and fluvial deposits that are located in the main and NE deposit areas are primarily the upper and lower tills and sorted sediments.

Hydraulic testing by Golder (2015) measured a range of *K* values for the fluvial and glacial deposits from 38 test holes. The *K* values range from 5.0×10^{-8} to 4.0×10^{-3} m/s with a mean value around 3.0×10^{-6} m/s (Golder 2015).

3.1.1.3 Fractured Bedrock

The Fractured Bedrock that lies beneath the fluvial and glacial deposits was formed from preglacial weathering (Hall et al. 2015) metamorphic processes, faulting, tectonic stresses, and glacial advancement (Helmens et al. 2000; Hättestrand and Stroeven 2002; Helmens et al. 2007; Hall et al. 2015; Sarala et al. 2015). The Fractured Bedrock comprises variable thicknesses of upper bedrock (top), reaching a maximum thickness of 150 to 200 m in places. Figure 3-3 along a north-south cross section through the Project Site shows the estimated Fractured Bedrock thickness. Table 3-1 provides a summary of the measured *K* values of the Fractured Bedrock. The thickness of the Fractured Bedrock is highly variable across the HSA. The proposed Mine Workings are located below the Fractured Bedrock by 20 to 200 m in the NE deposit and main deposit areas.

Previous studies (AASM Oy 2021; SRK 2019,) have shown that the Fractured Bedrock has *K* values that are considerably higher than the Unfractured Bedrock. The estimated average *K* value for the upper 50 m of the Fractured Bedrock is approximately 5.0×10^{-5} m/s with a range of *K* values from 1.0×10^{-7} m/s to 1.0×10^{-4} m/s. The lower section of the Fractured Bedrock has an average *K* value of 5.0×10^{-6} (AASM Oy 2021).

3.1.1.4 Unfractured Bedrock

Beneath the Fractured Bedrock is a mixture of mafic and ultramafic volcanic rocks that host the ore deposit. The rock mass of the Unfractured Bedrock is generally characterized as unfractured/unaltered bedrock. The Unfractured Bedrock typically has low *K* values. The *K* values of all Unfractured Bedrock data range from 1.0×10^{-12} to 3.4×10^{-5} m/s with a mean value around 1.0×10^{-8} m/s (AASM Oy 2021; SRK 2019). Unfractured bedrock *K* values that are not associated with localized fractures (discussed below) range from 1.0×10^{-12} to 1.0×10^{-7} m/s.

There are localized fractures within the rock mass of the Unfractured Bedrock. These fractures are small and localized as compared to the Fractured Bedrock, which has large-scale fracturing and weathering. Localized fractures within the Unfractured Bedrock have higher *K* values that are at a maximum of two orders of magnitude larger than the surrounding rock mass. In comparison to the measured *K* values of the Unfractured Bedrock, the measured *K* values of the localized fractures range from 1.0×10^{-8} to 3.4×10^{-5} m/s and are not continuous (as shown in spatial maps of measured *K* values in Section 3.1.3). Spatial distributions of *K* values within the Unfractured Bedrock are discussed below in Section 3.1.3. Table 3-1 provides a summary of the measured *K* values of the Unfractured Bedrock (AASM Oy 2021).

3.1.2 Geologic Structures

As shown in Figure 3-4, there are many interpreted faults from geophysical data within the HSA. The primary faults in the Project Site area have been characterized, while some regional faults outside of the Project Site area have unknown hydrogeologic characteristics. As shown in Figure 3-4, there is overlap in geologic structures between the regional faults and the local faults interpreted from several sources (AASM Oy 2021; GTK 2022; Luukas 2017). The geological fault model encompasses the known faults that will intercept the proposed Mine Workings and have been characterized, which include the Basal Thrust, East, East-West, SENW1 and SENW2, East-West Central, and Hanging Wall Shear Faults. These seven primary faults have both regional and local characteristics and

present the latest interpretation of faults at the Project Site, which is based on extensive drilling and geotechnical studies. Faults occur within both the Fractured and Unfractured Bedrock units but do not intercept the overlying glacial and fluvial sediments (Figure 3-3). Packer-testing data indicate that, at some intercepts of faults, there are increased *K* values (discussed below). However, the increased *K* values are typically localized and discontinuous. The estimated *K* values of the characterized faults within the 3-D geologic models range from 4.3×10^{-11} m/s to 1.3×10^{-7} m/s (AASM Oy 2021). Packer-testing data that were directly collected from the faults indicate that there is no distinct increase in *K* values at fault structures. Table 3-1 provides a summary of the measured *K* values of the faults.

The lowermost shear zone is a set of thrust faults and is referred to as the Basal Thrust. The Basal Thrust is a broken rock zone with extensive gravel-like fault breccia zones. The Basal Thrust zone has been known for difficult drilling, with deep exploration holes at the Project Site typically terminating. The Basal Thrust has estimated *K* values ranging from 5.9×10^{-7} to 9.6×10^{-7} m/s, which are higher than other faults and the Unfractured Bedrock.

3.1.3 Hydraulic Testing at the Project Site

3.1.3.1 Summary of Hydraulic Testing

AASM Oy has conducted an extensive field-testing program with multiple hydraulic testing methods to obtain *K* values of specific lithology types and geological faults. The methods included packer testing, pumping tests, falling head tests, spinner logging, and air-lift testing. Provided below is a summary of the hydraulic testing and an overview of the measured *K* values in the vicinity of the Project Site.

3.1.3.2 Summary of Hydraulic Test Results

Figure 3-7 shows the measured *K* values of all packer tests from 2016–2021 by depth (281 successful tests from 57 boreholes). The figure also shows the delineation of packer-testing data where, based

on rock quality designation (RQD) value distribution within packer interval, bedrock fractures were intercepted (orange) and Unfractured Bedrock (purple) (AASM Oy 2021). To delineate between bedrock fractures and Unfractured Bedrock, a criterion of a RQD <25% class within packer interval was used to indicate bedrock fractures. Due to heterogeneity of fracturing, not all of these occurrences are associated with fault descriptions of the site geologic model. An approximate division between elevated and background *K* values in the packer data was placed at 1.0 x 10^{-8} m/s in the bedrock and at 1.0 x 10^{-7} m/s in the upper part above -100 mamsl. In addition to all measured *K*-value data, the estimated geometric means and 75th percentile of the bedrock and fractures are shown as well as representative trend lines separately for both the background values and the low-RQD-indicating intervals. A summary of the packer-testing data is provided in Table 3-2. The packer-testing data in Figure 3-7 indicate that the *K* values of the bedrock decrease with depth. The upper bedrock is more permeable than the deeper bedrock. The measured *K* values in the upper bedrock, from -100 to 100 mamsl, range from 1.0 x 10^{-9} to 1.0 x 10^{-7} m/s. The lower bedrock, beneath -100 mamsl, has background *K* values that range from 1.0 x 10^{-11} to 1.0 x 10^{-7} m/s, with most measured values below 1.0 x 10^{-8} m/s. Where packer testing intercepted fractures within the bedrock, the measured *K* values of these localized intervals are higher than the measured *K* values in the bedrock that does not intercept fractures. The *K* values of packer testing for intervals containing fractures range from 1.0 x 10^{-8} to 1.0 x 10^{-4} m/s. In general, where fractures are intercepted, the *K* values are typically one to two orders of magnitude larger than the surrounding bedrock. Similar to the measured *K* values of the rock mass, the measured *K* values of the fault intervals intercepted by the Fractured Bedrock also show a large degree of variability. In addition, localized bedrock fractures also suggest a decreasing *K* value trend with depth.

Figure 3-8 shows the measured *K*-value data from all acceptable packer tests, with 281 measurements from 2016–2021 that are categorized by rock type. As shown in Figure 3-8, packer-test data do not indicate any trend based on the rock type. Though the ranges of measured *K* values in some lithological intervals (e.g., in scapolite-mica rock or dolomite) are greater than those in other rock types, the mean *K* values for all rock types are similar. All rock types show a similar trend of

decreasing *K* values with depth. Figure 3-9 shows the measured *K*-value data of the packer tests in conjunction with falling head tests (Figure 3-9a), pumping tests (Figure 3-9b), and spinner log tests, with 25 measurements (Figure 3-9c). In addition to the packer testing, all other hydraulic testing at the Project Site indicates similar *K* values to those from the packer testing. Most spinner log tests were conducted on the upper part of the Unfractured Bedrock and at fracture intercepts. A summary of estimated *K* values from falling head tests (three measurements), pumping tests (19 measurements), and air-lift tests (nine measurements) is provided in Tables 3-3, 3-4, and 3-5, respectively.

Figures 3-10, 3-11, and 3-12 show spatial plots of the interpolated measured *K* values from the packer tests. The purpose of these spatial plots is to show spatial trends in *K* values at specified depth intervals. Interpolated *K* values on each plot are shown with a kriged surface and a color range. Locations of measured packer-testing data that were used to support the kriged surfaces are shown by green symbols. Based on the spatial plots of 2016–2021 packer-testing data of 281 measurements, the following can be concluded:

1. The Unfractured Bedrock, below 0 mamsl, typically has low *K* values ranging from 1.0×10^{-11} to 1.0×10^{-7} m/s.
2. Measured *K* values of the Unfractured Bedrock decrease with depth.
3. At some locations, the measured *K* values are higher along faults at the Project Site or at fault convergence. However, the higher *K* values are localized and discontinuous.
4. Measured *K*-value data indicate that there are increased bedrock *K* values closer to the Kitinen River and along the Declines. The potential reasons for increased *K* values are as follows:
    a. Increased *K* values along the Declines may be related to the Basal Thrust Fault.
    b. Increased *K* values near the Kitinen River may be due to the presence of the river channel.

Figure 3-13 shows the measured *K* values from packer-testing data at faults of the geological model (from 2016–2019) or fault intercepts from 2020–2021 (31 measurements). Table 3-6 provides a

summary of the measured *K* values along the fault structures. As shown in the figure and table, there are no distinct or continuous trends of increased *K* values at geologic model faults in comparison with the measured *K* values of the Unfractured Bedrock, suggesting that the *K* values of the faults are similar to the Unfractured Bedrock. However, as described above, there are elevated *K* values that are discontinuous associated with low-RQD occurrences at packer intervals.

3.1.4 Summary of Hydrogeology Setting

The hydrogeologic setting of the Project Site can be characterized by a Shallow and a Deep Groundwater System with distinct hydrogeologic units. The Shallow Groundwater System is primarily fluvial and glacial sediment deposits underlain by the Fractured Bedrock. Below the Fractured Bedrock, the Deep Groundwater System is an Unfractured Bedrock that is primarily mafic and ultramafic volcanics. The following is a summary of the key geologic setting components at the Project Site from shallow to deep:

1. The fluvial and glacial deposits have the following characteristics:
    a. The primary units within the Shallow Groundwater System are sands, gravels, tills, and a peat layer.
    b. The fluvial and glacial deposits have moderate to high *K* values ranging from 5.0 x 10^{-8} to 4.3 x 10^{-3} m/s.
    c. Due to the heterogeneity of sediment units and, therefore, compartmentalization, the Shallow Groundwater System across the Project Site is not hydraulically connected.
    d. The thickness of the Shallow Groundwater System varies between 5 and 50 m with a median thickness of 13 m.
2. The Fractured Bedrock has the following characteristics:
    a. The Fractured Bedrock has higher *K* values (ranging from 1.0 x 10^{-7} to 1.0 x 10^{-5} m/s) than the underlying Unfractured Bedrock (ranging from 1.0 x 10^{-11} to 1.0 x 10^{-7} m/s) due to multiple periods of weathering and fracturing.
    b. Groundwater in the Fractured Bedrock unit is hydraulically connected with groundwater in the overlying glacial and fluvial sediments based on groundwater levels and water chemistry (discussed below).

   c. The thickness of the Fractured Bedrock ranges from 0 to 200 m and is highly variable in thickness. Median thickness of very poor rock quality is on the order of 10 m, though thicknesses exceeding 100 m are found occasionally, partly associated with bedrock interception of fault zones. In the area where there is no Fractured Bedrock, there is a direct contact between the overburden and the Unfractured Bedrock. Contact between the Unfractured Bedrock and Fractured Bedrock can be sharp or gradational.

3. The Unfractured Bedrock has the following characteristics:
   a. The Unfractured Bedrock has low *K* values ranging from 1.0×10^{-11} to 1.0×10^{-7} m/s.
   b. Groundwater movement in the Unfractured Bedrock is primarily limited to local fractures.
   c. The *K*-value data of the Unfractured Bedrock show a decreasing trend with depth.
   d. There are no trends in the *K* values with respect to geologic unit within the Unfractured Bedrock.

The following is a summary of the geologic faults at the Project Site:

1. 3-D modeled faults at the Project Site include the Basal Thrust, East, East-West, SENW1 and SENW2, East-West Central, and Hanging Wall Shear Faults. In addition, there are regional faults presented as surface lines (GTK 2022; Luukas 2017).
2. Hydraulic testing during drilling indicates that faults that intersect the Project Site have limited hydraulic connectivity, are isolated from overlying formations, and have low storage.
3. The *K* values of faults intersecting the ore body are highly variable. Spatial distribution of *K*-value data indicates that most *K* values along the faults are similar to the *K* values of the Unfractured Bedrock ranging from 1.0×10^{-11} to 1.0×10^{-7} m/s. However, in isolated areas, the measured *K* values are higher than the measured *K* values of the Unfractured Bedrock.
4. The *K*-value data indicate increased *K* values were encountered at localized segments of some fractures. However, these increased *K* values are not continuous. At these locations, the measured *K* values can be up to one to two orders of magnitude larger than the *K* values of the Unfractured Bedrock. However, there are no large-scale trends of increasing *K* values along seven modeled faults in the geologic model.
5. The Basal Thrust is the most significant structure that has been identified at the Project Site. The Basal Thrust is associated with broken ground, and its thickness varies considerably across the Project Site (approximately 5 to 30 m in the Decline area). Hydraulic testing indicates that the Basal Thrust has moderate to slightly elevated *K* values and significant groundwater storage. The Basal Thrust is expected to be intercepted during construction of

the Declines but not during mining. The main ore body is above the Basal Thrust. AASM Oy plans to not mine near the Basal Thrust with a minimum offset distance of 50 m from the Mine Workings to the Basal Thrust.

6. In addition to the local and regional structures at the Project Site, regional geologic mapping indicates the presence of other large-scale faults within the HSA. The hydrogeologic characteristics of these regional faults are unknown. However, these regional structures do not intercept the Mine Workings. Though limited data are available on faults outside of the Project Site, data from the Project Site indicate that these faults are not likely to be hydraulically connected to faults within the Project Site because Project Site faults have limited connection and continuity and have low-*K*-value characteristics.

3.2 METEOROLOGIC DATA

Figure 3-14 shows a map of the meteorological and hydrological data collection locations for the Project Site. These meteorological sites include measurement locations for precipitation, evaporation, frost, discharge, soil moisture, snow depth, and water content. The primary data collection sites are 20 km south of the HSA at Sodankylä Tähtelä and within the HSA around the Mire and Project Site. Data from these monitoring sites are used by AASM Oy to understand the climatic condition and potential trends in climate across the HSA. Data from these sites are discussed below.

3.2.1 Precipitation

Figure 3-15a shows measured annual precipitation data between 1959 and 2020 for the Sodankylä Tähtelä station and a trend line of the measured annual precipitation. Table 3-7 provides a summary of the measured annual precipitation rates. Annual measured precipitation rates range from 390 to 785 mm with an average of 518 mm between 1959 and 2020. A trend line of the measured precipitation data indicates that measured annual precipitation rates have been increasing since 1959. The average precipitation rates for the last 10 and 20 years are approximately 553 mm and 548 mm, respectively. Precipitation within the HSA is in the form of snow over the winter season and rain during the summer season. Snow during the winter results in an increasing snowpack depth until spring.

Figure 3-15b shows the average monthly precipitation rate for the entire measured precipitation dataset (1959 through 2020), the last 20 years (2001 through 2020), and the last 10 years (2011 through 2020). Table 3-8 provides a summary of the average total monthly and daily precipitation rates for each month for the entire dataset, the last 20 years, and the last 10 years. The monthly average precipitation rate ranges from approximately 20 to 82 millimeters per month (mm/month). Daily precipitation rates for each month range from 1 to 2.7 millimeters per day (mm/day). Peak monthly and daily precipitation rates are in the summer months (May through October). Average monthly precipitation rates show increasing trends over the last 20 and 10 years of precipitation data.

3.2.2 Pan Evaporation

Figure 3-16 shows the measured pan evaporation rate at the Sodankylä Tähtelä station. Table 3-9 provides a summary of the measured annual evaporation data. Data from 2012 through 2015 are not used in the analysis, as pan evaporation data are incomplete. Pan evaporation rates range from 260 to 510 millimeters per year (mm/yr) with an average of 349 mm/yr from 1958 through 2011. A trend line of the measured pan evaporation rate shows that the pan evaporation rate has trended downward since 1957. The average pan evaporation rate from 2000 to 2011 is approximately 329 mm/yr. A recent study by Moroizumi et al. (2014) indicates that as pan evaporation decreases, there is relatively increasing actual ET. This is due to increases in soil moisture (i.e., increasing precipitation; Figure 3-15). Pan evaporation is usually larger than the potential evaporation (Brutsaert 1982). Pan evaporation data are used to estimate the potential ET (i.e., the amount of water consumed from evaporation and plant transpiration). SRK (2019) estimated the total annual average ET to be approximately 269 mm. ET primarily occurs from March through October.

3.2.3 Snow Depth and Snowmelt

Within the HSA, from approximately late October through early April, precipitation primarily falls as snow. It is during this time period that snow accumulates on the ground surface, resulting in

increasing snow depth. Beginning in April, as the ambient temperature warms, the snowpack begins to melt. Approximately 50% of yearly surface-water runoff occurs during the spring snowmelt. It is during this snowmelt time period that recharge to the Shallow Groundwater System (peat, glacial and fluvial, and Fractured Bedrock) occurs.

Figure 3-17 shows the measured and simulated snow water equivalents for two measurement locations, Viiankiaapa and Sodankylä Tähtelä. Simulated snow water equivalents are from a SYKE model provided by AASM Oy. Snow water equivalent measurements are periodically available over the winter seasons. Snow water equivalent data are available since 2019 and 2013 for the Viiankiaapa and Sodankylä Tähtelä measurement locations, respectively. Snow water equivalent measurements were used to calibrate a snow water equivalent in the SYKE model that was used for the Project Site. The calibrated snow water equivalent values are shown in Figure 3-17 with solid lines. In general, snow begins to accumulate in late October and quickly melts in April. Since 2013, measured peak snow water equivalents have ranged from 120 to 260 mm. The calibrated snow water equivalent measurements fit the measured snow water equivalent data well. Observed snow water equivalent data were used in a *MIKE SHE* model as observation points to compare the observed snow water equivalent to the simulated snow water equivalent and to estimate potential recharge rates to the groundwater system.

3.2.4 Recharge from Snowmelt and Precipitation

The HSA region is characterized by long winters and accumulations of snow. Recharge to groundwater, especially in areas dominated by alluvial sediments and shallow aquifers, primarily occurs during the snowmelt. Recharge occurs during the spring melt of snowpack and again during the summer/autumn months during periods of higher rainfall.

For the Project Site, a *MIKE SHE* model has been constructed by using the meteorological variables to estimate potential recharge to the groundwater system seasonally. Figure 3-18 shows the HSA

boundary, which is also the boundary of the groundwater flow model discussed in Section 4.0, and the boundary of the *MIKE SHE* model. The following is a summary of the *MIKE SHE* model:

1. The *MIKE SHE* model area covers the entire main deposit and NE deposit areas and parts of the Mire area. The *MIKE SHE* model domain was delineated based on sub-catchment areas with the ArcMap Hydrogeology tool. The *MIKE SHE* model domain is smaller than the HSA and groundwater flow model developed in this study.
2. The primary climate input variables of the *MIKE SHE* model include precipitation, temperatures, potential evaporation, and leaf area index (LAI). Snowmelt was simulated with the snowmelt module. LAI and potential evaporation were based on MODIS satellite data (2022). LAI and potential evaporation were used to calculate actual ET in the *MIKE SHE* model.
3. Overland flow (OL), unsaturated zone (UZ), and saturated zone (SZ) modules were used to estimate groundwater recharge. OL was calculated with diffusive wave approximation of the Saint-Venant equations, and UZ was calculated with Richard's equation (DHI 2017). SZ was calculated with the 3-D Darcy's equation with the PCG groundwater solver based on a preconditioned conjugate gradient solution technique (DHI 2017).
4. The simulated hydrogeologic units were based on the simplified shallow system geologic model that consisted of seven layers. The following hydrogeologic units were assigned in the model: a peat unit, sorted sediments unit (top deposits, middle and lower sorted, lowest sands and gravels), and till unit (upper till and lower till). A simplified Fractured Bedrock layer was simulated at the base of the *MIKE SHE* model with a constant thickness of 10 m.
5. A uniform *K* value was defined for the hydrogeologic units.
6. Boundary conditions of the *MIKE SHE* model were defined as follows: the Kitinen River was presented as a constant head, and other areas were no-flow boundaries.
7. The *K* values in the sorted sediments, tills, and Fractured Bedrock units were calibrated to groundwater-head observations in the SZ module of the *MIKE SHE* model.
8. The *MIKE SHE* model was used to provide predictions of recharge to the shallow system hydrogeologic units used in the groundwater flow model described in Section 4.0.

Figure 3-19 shows the estimated daily recharge (negative values) and discharge rates (positive values) from June 2012 through June 2021 from the *MIKE SHE* model developed by AASM Oy and Stantec. Positive rates are discharge from the groundwater system to the surface-water system, and negative rates are recharge rates to the groundwater system. Recharge rates are summarized for

the three distinct hydrogeologic units in the Shallow Groundwater System: the sorted sediments, till, and peat. The following is a summary of the estimated recharge rates from the *MIKE SHE* model:

1. **Peat**: The estimated daily discharge and recharge rates range from 0 to 8 mm and 0 to 25 mm, respectively. The average recharge rate for the peat hydrogeologic units is approximately 12% of the measured annual precipitation rate.
2. **Sorted Sediments**: The estimated daily discharge and recharge rates range from 0 to 10 mm and 0 to 40 mm, respectively. The average recharge rate for the sorted sediments hydrogeologic unit is approximately 46% of the measured annual precipitation rate.
3. **Till**: The estimated daily discharge and recharge rates range from 0 to 12 mm and 0 to 29 mm, respectively. The average recharge rate for the till hydrogeologic units is approximately 30% of the measured annual precipitation rate.

Estimated recharge rates to the groundwater system from the *MIKE SHE* model are used directly in the groundwater flow model, as discussed in Section 4.0.

3.2.5 Future Climate

Multiple papers and studies have been conducted to understand the potential impacts of a varying climate on groundwater levels and meteorological variables in Finland (Luoma et al. 2013; Mikkonen et al. 2015; Okkonen et al. 2010; Ruosteenoja et al. 2016). Climate projections for Finland show a likelihood of increasing temperatures and precipitation through the year 2100. These changes to temperature may affect how precipitation falls (i.e., snow versus rain) and when accumulated snow melts (Ruosteenoja et al. 2016).

Figure 3-20 shows the mean annual temperature and the mean annual precipitation rates for four climate scenarios (Ruosteenoja et al. 2016). The primary climate scenario that is evaluated in this study is the representation concentration pathway 4.5 (RCP4.5) case. Based on projections for the RCP4.5 case, from 2020 to 2090, the mean annual temperature and precipitation rate in Finland are predicted to increase by 2.5 degrees Celsius (°C) and 11%, respectively.

Figure 3-21 shows the predicted changes to the monthly precipitation and temperature from 2070 to 2099 for the RCP4.5 case. The following is an overview of potential long-term changes for the RCP4.5 case:

1. The projected temperature changes due to climate changes are most prominent in winter. The temperature in the winter is estimated to increase by 1 to 8 °C from the current temperature, whereas the summer temperature is estimated to change by 1 to 4 °C from its current temperature. The 90% certainty range is plus or minus 3 °C.
2. Precipitation rates are expected to increase from 5% to 20%, with the largest increases in precipitation occurring during the winter months. The 90% certainty range is plus or minus 15% to 20%.

The potential impacts of estimated temperature and precipitation changes on the groundwater system within the HSA are unknown. Based on the predicted temperature and precipitation increases, the following may occur:

1. Increasing temperatures in the winter may decrease snowpack.
2. Increasing temperatures may increase the rain to snow ratios.
3. Increasing temperatures may result in earlier snowpack melt times.
4. Increasing temperatures in the summer months may increase the overall ET rates. Increases in ET may also reduce surface-water runoff because the amount of the ET increases is higher than the amount of the precipitation increases.
5. Increasing precipitation, especially in the form of rainfall, could lead to flooding during periods of heavy rain and increased recharge in the summer months.
6. Increasing rainfall in the summer months and winter months may result in more surface-water runoff during rainfall events.

The AASM Oy-developed *MIKE SHE* model described in Section 3.2.4 was used to estimate the future recharge rates into the groundwater system for the RCP4.5 climate case. Data for the RCP4.5 climate case are from Copernicus Climate Store (2022). Potential evaporation was calculated with the Romanenko method based on the RPC 4.5 case temperature and monthly average of relative humidity from 1990–2020 (FMI open data, Sodankylä Tähtelä station). Estimated potential

evaporation was fitted to satellite evaporation data and was used in the *MIKE SHE* model for the period between 2012 and 2021. Figure 3-22 shows the future estimated annual precipitation rates and future annual recharge rates for the till, sorted sediments, and peat. Data are only shown through 2100, which is the sufficient time period of mining operation at the Project Site and groundwater recovery. Table 3-10 provides a summary of the future predicted recharge rates. The following is a summary of the potential changes to climate based on the *MIKE SHE* model results for the RCP4.5 case:

1. Precipitation rates range from 365 to 730 mm/yr. Precipitation rates are relatively constant from 2020 through 2030. However, after 2040, annual precipitation rates show more variability.
2. Long-term trends in precipitation indicate a slight increase in the annual precipitation. The trend line in the figure shows a slight increase in precipitation rate over the time period from 2020 to 2100.
3. Recharge rates for the sorted sediments range from approximately 100 to 375 mm annually. There is a slight decrease in the recharge rate to the sorted sediments through time. It is likely that decreases in recharge to the sorted sediments are due to decreases in snow depth and spring thaw recharge and an increase in ET.
4. Recharge rates for the till range from approximately 55 to 235 mm annually. There is a slight decrease in the recharge rate to the till through time. It is likely that decreases in recharge to the till are due to the decreases in snow depth and spring thaw recharge and an increase in ET.
5. Recharge rates for the peat range from approximately 20 to 165 mm annually. There is an increase in the recharge rate to the peat through time. The reason for increasing recharge in the peat is due to decreased surface-water runoff resulting in increased recharge into the peat. Based on the *MIKE SHE* model from AASM Oy, the overall balance of water (recharge and discharge) from the peat is still a net gaining water from precipitation.

Figure 3-23 shows the estimated recharge rates as a function of the total precipitation rate through time for the till, sorted sediments, and peat. The average recharge rate during the current time period (2012 through 2021) is also shown with a dashed line, while the trend of the estimated recharge rates is shown with a solid line. Recharge rates for the till, sorted sediments, and peat range from 13% to 37%, 27% to 58%, and 1% to 38% of the mean annual precipitation, respectively. Trend

lines of the future recharge rates versus the average recharge rate of the current time period indicate that future recharge rates are expected to increase for the peat and decrease for the till and sorted sediments, as discussed above. The estimated change to the average recharge rates for the till, sorted sediments, and peat from 2020 to 2100 is approximately -3%, -7%, and 3%, respectively. The estimated increase of ET from the *MIKE SHE* model was relatively higher than the estimated increase of precipitation, which leads to the predicted decrease in recharge rate to groundwater from precipitation in the future.

3.3 SURFACE WATER

Figure 3-24 shows the primary rivers and streams and springs that are located within the HSA and general surface-water flow directions. The primary rivers are the Kitinen, Hiivanahaara, Ylijoki, and Kelujoki Rivers. The Kitinen River flows through the center of the HSA and along the southwestern boundary. The Hiivanahaara and Ylijoki Rivers flow along the eastern HSA boundary, and the Kelujoki River flows along the southern boundary. All surface water within the HSA eventually drains to the Kitinen River. The following is a summary of surface-water drainage within the HSA:

1. In general, surface water within the HSA drains toward the Kitinen River through a series of channels, streams, or primary rivers.
2. There is a surface-water divide in the Mire area. The surface-water divide is east of the Project Site. The surface-water divide results in surface water from the Mire flowing west across the Project Site toward the Kitinen River and east toward the Ylijoki River.
3. The Kelujoki River flows west along the southern boundary of the HSA into the Kitinen River.
4. In addition to surface-water runoff that reaches the Kitinen River, there are lowland areas that surface water drains to instead of flowing to the Kitinen River. It is in these lowland areas that water seeps into the ground and recharges the permeable sand/gravels.
5. Groundwater discharge occurs as seepage, individual springs, and a series of springs mapped in 2006–2021 (Salonen et al. 2016). Figure 3-24 shows the locations of 88 springs that have been identified by AASM Oy within the HSA. Because of their shallow locations, the effects of springs on the groundwater inflow to the Mine Workings are considered to be minor in comparison to the volume of recharge from precipitation. Consequently, the springs are not included in the model calibration or sensitivity analysis presented in this report.

6. Large areas of the Mire remain inundated with water during the summer months long after the thaw because of the micro-relief of the Mire, which traps runoff in pools (flarks) isolated by shallow, vegetated peat ridges (strings).

The Kitinen River is a hydroelectric dam-controlled river that has been regulated since the late 1970s. Within the HSA, there are hydroelectric dams located upgradient (Matarakoski) and downgradient (Kelukoski) of the Project Site. The upstream stage and the downstream discharge are measured at both locations. Figure 3-25 shows the measured stage upgradient of each dam and the discharge downstream of the dam. The upstream and downstream locations have relatively constant water levels at 187.8 and 180.9 mamsl, respectively. Discharge from the hydroelectric dams varies seasonally due to snowmelt surface-water runoff. Discharge from the dams ranges from 0 to 700 cubic meters per second (m^3/s) at the upstream and downstream locations (SYKE 2022).

In addition to the primary rivers, there are many streams and creeks that have seasonal surface-water flow that migrates to the primary rivers. These include streams such as the Kärväslammen purku-uoma, Ruosteoja, Tiukuoja, and Sakattioja. Stream discharge data at these locations are only available for 2021. Figure 3-26 shows the measured discharge rates for the Kärväslammen purku-uoma, Ruosteoja, and Tiukuoja streams for 2021. Discharge rates from streams that drain the Mire area have measured streamflow rates that range from 0 to 0.6 m^3/s. High streamflow primarily occurs during the spring melt time period and during heavy rainstorms (e.g., October 2021).

3.4 GROUNDWATER

3.4.1 Monitoring Network

Figure 3-27 shows the monitoring locations that have been installed across the Project Site over the winter fields seasons. In total, AASM Oy has installed 111 groundwater monitoring locations at the Project Site. Table 3-11 provides summary details on the monitoring locations, including locations, construction details, and monitored hydrogeologic units. At the Project Site, 106 monitoring wells and five vibrating-wire piezometers (VWPs) have been installed. The groundwater levels are

measured manually and with data loggers in 82 observation wells and manual measurement in 12 observation wells (2021). The groundwater monitoring was initiated in 2012 with 21 observation wells, and the monitoring has been extended between 2016 and 2021. The installed monitoring network is focused on the Kuusivaara area (i.e., proposed location of infrastructure and the Declines) and the mine area. Additional monitoring locations have been installed north of the Project Site, outside of the Mire, and along the Kitinen River.

Figure 3-28 shows the monitoring locations categorized by hydrogeologic units across the HSA. Of the monitoring locations at the Project Site, AASM Oy has installed four, 42, 42, and 23 monitoring locations within the peat, shallow fluvial and glacial sediments, shallow bedrock, and deep bedrock, respectively. The purpose of the groundwater monitoring network is to measure the seasonal variation of groundwater-level response in the various hydrogeologic units.

3.4.2 Measured Groundwater Levels

Figure 3-29 shows a spatial map of monitoring locations around the Project Site with hydrographs of measured groundwater levels at selected monitoring locations that are representative of measured groundwater levels in the shallow monitoring locations (Figure 3-29a), fractured and shallow bedrock (Figure 3-29b), and the Kuusivaara area (Figure 3-29c). The following can be observed regarding the groundwater levels across the Project Site:

1. Groundwater levels in the Shallow Groundwater System range from 182 to 188 mamsl across the Project Site. Groundwater levels are higher farther away from the Kitinen River. As such, groundwater from the western part of the Mire flows toward the Kitinen River during the spring snowmelt thaw.
2. Groundwater levels in the Shallow Groundwater System have a seasonal trend that corresponds to the snowmelt. Seasonal rise in groundwater levels is 0.5 to 2 m. Groundwater levels have a much larger seasonal water-level response near the Kitinen River as compared to the Mire area.
3. Groundwater hydrographs in the Fractured Bedrock also have seasonal groundwater levels that correspond to the snowmelt. Seasonal rise in groundwater levels is 0.5 to 2 m. Piezometers in the shallow bedrock have similar or slightly lower groundwater levels than

the shallow sediment system. The deep bedrock system groundwater levels have strongly attenuated seasonal patterns, as illustrated in representative groundwater levels at 17HYD013.

4. Monitoring wells (i.e., 18HYD030 and 18HYD033) in the shallow sediment near the Kuusivaara area show variation in the rise of groundwater levels due to snowmelt, as illustrated in representative groundwater levels in Appendix A.
5. Monitoring wells in the Fractured Bedrock in the Kuusivaara area show responses to seasonal snowmelt up to 20 m, as illustrated in representative groundwater levels at 19KUU017. There are larger seasonal changes in groundwater levels in the Kuusivaara area as compared to the mine area. The larger seasonal changes in the Kuusivaara area are a result of the topographic effects and the thin layer of sediments and low-*K*-value bedrock.
6. Because of the snowpack on the peat surface and ice caps in GA101, GA102, and GA103 monitoring wells, porewater levels rise during the winter months and decrease in the spring months. Porewater levels in these wells typically are rising from October to April and declining from April through May. Porewater-level rises within the peat range from 0.2 to 0.5 m.

   It was concluded that the measured pressure increases are not accurately representing the actual porewater levels in these monitoring wells. The unseasonal variation of the measured porewater levels in these monitoring wells contradicts the actual seasonal variation of groundwater levels outside of the peat areas.
7. Monitored groundwater levels in the bedrock, as illustrated in representative groundwater levels at 17HYD013, have shown limited response during drilling, aquifer testing, and the spring snowmelt. This suggests a limited connection between the groundwater in the fresh bedrock and groundwater in the overlying units.
8. The responses of groundwater levels in the peat indicate responses to increases in snow depth. Transmission of the pressure responses from the peat to monitoring wells in other sediment types indicates that the groundwater conditions in the peat are partially separated from the other groundwater systems.

AASM Oy installed multi-level VWPs at the Project Site. Due to technical difficulties in installation, measured pressure data have high uncertainty (i.e., groundwater levels are continuously rising/falling or indicate artesian conditions), and as such, the VWP data are not presented.

Many studies have been conducted to understand the groundwater chemistry of the peat, shallow system geologic units, and the bedrock (Bigler 2019; Korkka-Niemi et al. 2017; Lahtinen 2017; Suonperä 2016; Turtiainen 2020). The following is a summary of those studies:

1. The upper three hydrostratigraphic units, the peat, the glacial and fluvial sediments, and the Fractured Bedrock, have a similar groundwater chemistry, suggesting that these three units have similar sources of water, mainly from recharge.
2. Water quality in the Fractured Bedrock is dominated by calcium-magnesium bicarbonate and is similar to the water quality in the overlying glacial and fluvial sediments.
3. Water quality in the Unfractured Bedrock have distinctly higher concentrations of dissolved solids, high in chloride and sulfate, and contains elevated metals derived from the mineralized zones. Water quality in the Unfractured Bedrock is very distinct from that in the overlying Fractured Bedrock, suggesting limited hydrologic interaction between the two zones of the bedrock.
4. Groundwater flow in the Deep Bedrock is not understood at a detailed level due to the compartmentalization and diverse nature of groundwater flow in crystallized rock environments. Korkka-Niemi et al. (2020) conducted age dating of the Unfractured Bedrock groundwater. Age dating indicates groundwater within the Unfractured Bedrock is at least 32,000 years before present. Older-aged groundwater indicates that the Unfractured Bedrock is not recharged by the Shallow Groundwater System. The recharge source for the Unfractured Bedrock is not well understood.

3.5 PROPOSED MINING AT THE SAKATTI PROJECT

Figure 3-30a shows the spatial extent of the primary mining areas and the Declines and an isometric view of the proposed Mine Workings. Figure 3-30b shows a timelapse of the progression of the Declines and Mine Workings. The Mine Workings will be connected to the ground surface by four Declines from the Kuusivaara area. The following is a summary of the proposed Mine Workings:

1. **Declines**: Construction of the Declines is proposed to begin in Year 1. The elevations of the Declines/ramp range from 190 mamsl (at the portal in the Kuusivaara area) to -610 mamsl around the Mine Workings.
2. **Mine Workings**: The fully developed underground mine will have underground workings ranging from 112 mamsl to approximately -935 mamsl.

3. **Main Deposit Stope Area**: Stoping is proposed to begin in Year 2 at -390 mamsl, and stoping ends in Year 22. The stoping elevations range from approximately -935 mamsl to -65 mamsl.
4. **NE Deposit Stope Area**: The NE deposit area will begin with a ramp in Year 7 at -380 mamsl. Stoping will begin in approximately Year 10 at -95 mamsl. Stoping will be finished in Year 20. Stoping elevations will range from -170 mamsl to 112 mamsl.

The proposed Mine Workings will have a length of approximately 420 km, and approximately 11 million cubic meters of stopes will be backfilled.

Groundwater inflows to the Mine Workings will be collected at two pumping locations. The lower pump station will be at an elevation of -635 mamsl and will collect more saline groundwater inflow from production activities below a mine elevation of -420 mamsl. A second pump station will be located at an elevation of -435 mamsl to collect and transport less saline groundwater inflow coming from Mine Workings above -420 mamsl. Each pumping station will have two pumps and one pipeline to the surface. This will be a total of four pumps and two pipelines for the Mine Workings. Both pumping stations will pump water to the mine dewatering pond on the surface. If the water quality of the mine water is suitable, the water is pumped into internal water circulation. Mine water as a part of discharge water will eventually be discharged into the Kitinen River after treatment. Figure 3-31 shows the surface locations of the mine and dewatering infrastructure.

To reduce groundwater inflow into the Mine Workings and potential drawdown in the Shallow Groundwater System, AASM Oy's primary mitigation strategy is grouting the water-bearing faults that are intercepted by the Mine Workings. In addition, the mitigation plans include grouting the upper Declines until 150 mbgs. Potential water-bearing faults include the Basal Thrust, East, East-West, SENW1 and SENW2, East-West Central, and Hanging Wall Shear Faults.

Figure 3-32 shows a schematic of the backfilling conceptual designs. According to preliminary mining plans, stopes will be backfilled with paste or paste aggregate fill. The stopes will be backfilled in two stages. In the first stage, the so-called plug is made for the bottom of the stope. The bottom of the stope is backfilled and allowed to harden about 2 m above the barricade that is built in the lower

part of the stope. When the backfilling of the first stage has reached a sufficient hardness, the rest of the stope is backfilled and allowed to harden again. The backfilling of the stopes will likely reduce the amount of groundwater inflow that may occur directly from the stopes. Depending on how the backfill cures within a stope, it is likely to cause shrinking of the backfill. Shrinking of the backfill during curing will likely result in preferential pathways for groundwater flow around the exterior of the backfilled area. The potential *K* values of the backfill materials were previously estimated to range from 2×10^{-8} to 1×10^{-7} m/s. This range of potential backfill *K* values is used in the groundwater flow model to estimate the potential effects of backfill on the model predictions.

Due to the construction of underground workings (tunnels, stopes, and Declines) into the Unfractured Bedrock, it is expected that there will be groundwater inflow into the underground workings. Groundwater inflow is expected to be limited due to the low *K* values of the Unfractured Bedrock and AASM Oy's mitigation plan of grouting water-bearing faults.

Exploration surface drilling at the Project Site resulted in open boreholes that intercept the mineralized area. The open boreholes may have hydraulic connection to water in the overlying glacial and fluvial sediments during the LOM. Boreholes that may pose a risk for underground mining will be sealed through an ongoing program by AASM Oy during the construction phase. In the conceptual and numerical models, the sealed boreholes are assumed to have the same *K* value as the Unfractured Bedrock; therefore, they are treated as Unfractured Bedrock.

4.0 GROUNDWATER FLOW MODEL

4.1 GROUNDWATER FLOW MODEL CODE

The groundwater flow model used in this study was constructed using the finite-element code *MINEDW* (Itasca 2012), which solves 3-D groundwater flow problems using the finite-element method. *MINEDW* has several attributes that were specifically developed to address conditions that are often encountered in mine dewatering. This modeling code has been used and verified at more than 75 mine dewatering projects, both open pit and underground, throughout the world and is commercially available. *MINEDW* has been applied in diverse hydrogeologic and climatic conditions on projects from Botswana, North America to Siberia. The *MINEDW* code has also been extensively tested by the Sandia National Lab and approved for permitting use In Nevada (NDEP 2018a). The groundwater flow modeling code has been used worldwide in environmental impact assessments and permitting.

4.2 GROUNDWATER FLOW MODEL GRID

Figure 4-1 shows the finite-element grid for the groundwater flow model. The finite-element grid contains 1,351,533 nodes and 2,666,619 elements. The model grid has a higher density of nodal discretization in the vicinity of the Mine Workings areas. The model grid was finely discretized in these areas to allow for better representation of the geometry of the Mine Workings and hydrogeologic units. In the groundwater flow model, the model grid size was approximately 8 m, 20 m, and 1 km within the Declines, in the main and NE deposit areas, and in the regional zone, respectively. Figure 4-2 shows a west–east model cross section through the primary Mine Workings. The location of the cross section is presented in Figure 4-1. The finite-element grid was vertically discretized in adequate resolution so that it would incorporate the important hydrogeologic features of the area. Between 34 and 75 vertical layers were used to represent the various hydrostratigraphic units in the vicinity of the Mine Workings. Increasing quantities of layers were

used as the Declines progress deeper and over the mine area. For regional grids that are outside of the mine area, there are 28 vertical layers.

4.3 SIMULATED HYDROGEOLOGIC UNITS

Figure 4-1 shows the hydrogeologic units simulated in the uppermost layer of the model, which comprises various glacial and fluvial deposits. Figure 4-2 shows a cross section of the simulated hydrogeologic units in the Mine Workings elevations range. Below the Mine Workings elevation range, the bedrock is simulated as the "Less Permeable Bedrock" hydrogeologic unit. The simulated hydrogeologic units were based on the geologic models that were provided by AASM Oy. The following hydrogeologic units were simulated in the groundwater flow model:

1. Peat
2. Fluvial Deposits: Top deposits, sands, and gravels
3. Glacial Deposits: Upper, middle, and lower till
4. Weathered Deposits: Clay and grus
5. Fractured Bedrock
6. Unfractured Bedrock
7. Faults and Basal Thrust Fault

Figure 4-3 shows the calibrated *K* values used in the groundwater flow model compared with packer-testing data, and Figure 4-4 shows the simulated *K* values compared with the observed global ranges of *K* values from Freeze and Cherry (1979). Table 4-1 provides a summary of the calibrated hydraulic parameters of the hydrogeologic units. The simulated hydrogeologic units were derived with the following considerations and assumptions:

1. The *K* values and anisotropy of the Shallow Groundwater System were calibrated to seasonal groundwater-level changes in response to snowmelt and groundwater system discharge to the surface-water streams. The following is a summary of the distribution of simulated *K* values within the groundwater flow model:

a. Hydrogeologic units were simulated directly based on their distribution within the shallow system geologic model.

b. Regional hydrogeologic units were extended to the model boundaries. Data from regional surficial geology maps (Geological Survey of Finland 2022) were used to inform the assignment of regional surficial geologic units.

c. Hydrogeologic units were subdivided for the top deposits and peats spatially to provide a better match between the measured and simulated groundwater levels. The top deposits and peats were subdivided to represent the Kuusivaara and the Mire areas (Figure 4-1).

d. The *K* values of the sorted sediments encompassing top deposits are lower than the Freeze and Cherry (1979) range because the sorted sediments at the Project Site consist of multiple different sorted sediments, fluvial/glaciofluvial sediments, braid plain deposits, aeolian sands, and fine-grained flood plain sediments (Åberg et al. 2021).

2. Based on packer-testing data and spatial analysis of packer-testing results, the Unfractured Bedrock was subdivided into a more permeable bedrock along the Decline area and a less permeable bedrock in the Mine Workings areas. Figure 4-5 shows the spatial extent of the more and less permeable bedrock areas. In general, the more permeable bedrock along the Declines is simulated as two times more permeable than the less permeable bedrock (Figure 4-3). The *K* values of the more and less permeable bedrock zones are simulated to decrease with depth based on the packer-testing data (Figure 4-3). The anisotropy between the horizontal to vertical *K* values of the Unfractured Bedrock is assigned to be 10 based on the groundwater flow model calibration.

3. The Fractured Bedrock was subdivided into three hydrogeologic units. Figure 4-6 shows the spatial extent of three Fractured Bedrock zones. The three hydrogeologic zones were in the Kuusivaara area, along the Kitinen River, and in the main area. The three extents were based on the groundwater flow model calibration to seasonal fluctuation in groundwater levels.

4. Figure 4-3 shows the assigned *K* values of the Basal Thrust Fault. The upper *K* value of the Basal Thrust Fault was assigned based on the measured *K* value of the pump tests. Similar to the simulated *K* values along the depth for the Unfractured Bedrock, the Basal Thrust *K* values were assumed to decrease with depth.

5. The *K* values of faults within the Project Site are simulated to be equal to the Unfractured Bedrock *K* values. Spatial analysis of packer-testing data and measurements of *K* values at faults indicate no trends of increasing *K* values at faults.

6. Calibrated *K* values are within the ranges of the measured *K*-value data, literature values, and global ranges of *K* values.

7. Regional faults were not included in the groundwater flow model, as no data are available on the hydraulic properties.

4.4 SIMULATED MODEL BOUNDARY CONDITIONS

The groundwater flow model boundaries were selected to follow natural hydrologic divides and flow paths. The boundaries of the numerical groundwater flow model are the same as those of the HSA described in Section 2.0. The boundaries were chosen to limit the effect of the amount of groundwater and surface-water flow that naturally enters and exits the HSA on the predicted inflow and drawdown in the mining area. In addition, the locations of the boundaries were selected to minimize the potential for interactions between the boundaries and the mine dewatering stresses. The same HSA boundary conditions were used for all steady-state, transient, and predictive model simulations.

Topographic data were used to define the ground-surface elevations in the groundwater flow model. The bottom elevation of the groundwater flow model domain is approximately -2,700 mamsl.

Provided below is a summary of the model boundary conditions that were simulated for the HSA.

4.4.1 Simulation of Constant Heads

As described above, the eastern, western, and southern boundaries were defined by surface-water rivers. At each of these boundaries, constant heads are used in the first model layer to represent the river. In addition to the rivers, multiple large surface-water bodies are located within the HSA. Figure 4-7 shows the simulated constant-head boundaries that were used in the groundwater flow model at the rivers and lakes. The elevations of the constant-head boundaries were assigned based on the ground-surface elevation. The constant-head elevations were simulated as constant through time with no seasonal variations in elevation.

4.4.2 Variable-Flux Boundary

Simulated variable-flux boundary locations are shown in Figure 4-7. A variable-flux boundary is used in the transient and predictive model simulations to simulate the groundwater interaction between the simulated groundwater flow model domain boundaries and the regional groundwater system (i.e., beyond the groundwater flow model domain). All nodes along the outer boundary of the groundwater flow model except those with assigned constant-head boundary conditions were assigned with a variable-flux boundary condition. The variable-flux boundary condition is a special feature of *MINEDW* that simulates an essentially infinite aquifer of the same hydraulic properties as those assigned to elements at the groundwater flow model boundaries. This boundary condition allows groundwater flow into and out of the model domain boundary based on the groundwater level and hydraulic properties of the simulated hydrogeologic units.

4.4.3 No-Flow Boundary Conditions

The bottom of the groundwater flow model is at an elevation of approximately -2,700 mamsl, where it is reasonable to assume that there will be no significant amount of groundwater flow across the bottom of the groundwater flow model. Therefore, the nodes on the bottom of the groundwater flow model were assigned as no-flow boundary conditions during all simulations.

4.5 SIMULATED RECHARGE TO THE GROUNDWATER SYSTEM

Figure 4-8 shows the average monthly recharge rates from June 2012 through June 2021 for the hydrogeologic units in the Shallow Groundwater System. Table 4-2 provides the simulated recharge rates for the hydrogeologic units in the groundwater flow model. Figure 4-9 shows the locations of the applied recharge rates for the till, sorted sediments, and peat. The following is a summary of the simulated recharge rates under steady-state and transient conditions:

1. No recharge was applied at the constant-head boundaries.

2. Recharge rates in steady-state model were based on the average recharge rates from the *MIKE SHE* model (Figure 4-8). Average recharge rates were varied spatially within the till in some areas to provide a better match between the simulated and measured groundwater levels.
3. There are subdivided recharge zones within the till as shown by the blue areas.
4. The simulated steady-state recharge rates from the high till, low till, sorted sediments, and peat are 0.18, 0.1, 0.73, and 0.2 mm/day, respectively.
5. Under transient conditions, the recharge rates from the *MIKE SHE* model shown in Figure 4-8 were directly simulated in the groundwater flow model (negative values only from *MIKE SHE* model). Recharge rates were simulated at a monthly time scale.

4.6 GROUNDWATER FLOW MODEL CALIBRATION

Groundwater flow model calibration is the process of varying uncertain model input parameters over likely ranges of values until a satisfactory match between simulated and measured data is obtained (Spitz and Moreno 1996). In this study, K, anisotropy in K, specific yield (S_y), specific storage (S_s), and the distribution and rate of pre-mining recharge were adjusted within the ranges of measured values to achieve a satisfactory groundwater flow model calibration. The model was calibrated to measured pre-mining groundwater levels and groundwater-level responses to snowmelt.

Statistical parameter analyses provide a metric by which a groundwater flow model performance can be evaluated quantitatively (ASTM 2008; Barnett et al. 2012; BLM 2008; NDEP 2018b). Several common statistical measures for comparing observed hydraulic heads with simulated hydraulic heads were used to assess the calibration of the steady-state and transient groundwater flow models: root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), mean error (ME), and the coefficient of determination (r^2). Because these statistic parameters are well known and are defined elsewhere (e.g., Anderson and Woessner 1992; Davis 1986), their definitions are not repeated in this report. For perfect calibrations, the RMSE, MAE, and ME tend to 0, whereas r^2 tends to 1. The square of the correlation coefficient, r^2, which is also called the coefficient of determination, is a more sensitive indicator of the linear relationship between variables. The closer the r^2 is to 1.0, the

better the fit between the observed and modeled data. A well calibrated model can be defined by a minimization of calibrated model statistics (Hill 1998).

The quality of a groundwater flow model calibration and the acceptable statistics as measured by the statistical parameters described above depends on several factors (Spitz and Moreno 1996), including the following:

1. The size and discretization of the model domain;
2. The degree of natural heterogeneity or complexity of boundary conditions;
3. The location, number, and accuracy of measured groundwater elevations;
4. The range in measured groundwater elevations over the model domain; and
5. The purpose for which the groundwater flow model was developed.

These factors should be given due consideration when evaluating the calibration of this (or any) model. For an example, the normalized RMSE is a measure of the spread of residuals (differences between simulated and measured values); if the RMSE is small—typically less than 10% to 15%—compared to the overall range in groundwater levels then a "good" calibration is generally indicated (ESI 2017); the remaining error statistic values are considered to be a negligible part of the overall model response (Anderson and Woessner 1992).

4.7 STEADY-STATE MODEL CALIBRATION

Steady-state simulations are used to estimate groundwater-level distributions and groundwater fluxes during periods when the hydrologic system is at (or very near) equilibrium conditions. Under steady-state conditions, hydrologic inflows to the model domain are equal to the outflows without a net change in storage. Steady-state simulations serve as the starting point (i.e., initial groundwater level and flux conditions) for transient simulations. The transient simulations are required to simulate the time-varying stresses and/or physical changes (such as mining and pumping) to the groundwater system.

4.7.1 Steady-State Model Targets

As discussed in Section 3.4.2, there is an extensive number of monitoring wells located within the HSA. Table 4-3 provides a summary of the monitoring locations that were used in the steady-state model calibration. As groundwater-level data indicate, groundwater levels vary seasonally due to snowmelt. As such, the steady-state groundwater level for the monitoring locations was assumed to be the measured groundwater level prior to the onset of snowmelt. Table 4-3 provides a summary of the measured pre-mining groundwater levels at each of the monitoring locations used in the steady-state model calibration.

4.7.2 Steady-State Model Calibration

The simulated groundwater-level contours derived from the calibrated steady-state model are shown in Figure 4-10. The groundwater levels follow the ground-surface topography within the HSA. Simulated groundwater levels indicate that groundwater drains toward the primary rivers that are within the HSA, the Kitinen, Ylijoki, Hiivanahaara, and Kelujoki Rivers. The simulated groundwater levels are consistent with observations at the Project Site.

Figure 4-11 shows the simulated depth to groundwater in the steady-state calibration. Within the HSA, most simulated groundwater levels are within 1 m of the ground surface. In areas where the ground-surface elevation is higher, the depth to groundwater is deeper.

Figure 4-12 shows the simulated areas of discharge and recharge. Areas of discharge are defined as areas where the groundwater level is at the ground surface and water is discharging to ET or surface-water runoff. In areas of recharge, the groundwater level is typically below the ground surface and water is infiltrating into the hydrogeologic units. Within the HSA, most areas of discharge are along channels and drainages, while areas of recharge are at higher elevations. The simulated areas of recharge and discharge are consistent with the *MIKE SHE* model and site observations.

Figure 4-13 shows the simulated versus measured groundwater level quality line plot. Table 4-3 provides a summary of the measured and simulated groundwater levels and calculated model statistics. The statistical measures discussed in Section 4.1 were used to further evaluate the steady-state calibration of the groundwater flow model. The ME, MAE, and RMSE for the steady-state model are 0.1 m, 0.6 m, and 0.8 m, respectively. Table 4-4 provides a summary of the steady-state groundwater flow model calibration statistics. Overall, the simulated steady-state groundwater levels are well calibrated to the measured groundwater levels. Calculated model statistics are within normal ranges of a well-calibrated groundwater flow model. (Anderson and Woessner 1992; Barnett et al. 2012; Hill 1998; NDEP 2018b; Spitz and Moreno 1996). In addition, the calculated model statistics of ME, MAE, and RMSE are near zero, while the r^2 value of the model is near 1, all indicating a well-calibrated model. In addition, the ME, MAE, and RMSE are less than the assumed measurement error of +/- 1.0 m.

The mass balance error for the entire model at the end of the steady-state simulation is less than 0.001%, which is less than the 0.5% maximum global mass balance error threshold recommended by Reilly and Harbaugh (2004).

4.8 TRANSIENT MODEL CALIBRATION

4.8.1 Transient Model Targets

The primary purpose of the transient model calibration is to simulate the groundwater responses to the seasonal recharge rates that were estimated in the *MIKE SHE* model from June 2012 through June 2021. The groundwater flow model was calibrated to the measured seasonal changes in groundwater levels at monitoring locations within the HSA. Monitoring locations within the HSA that were used in the transient groundwater flow model calibration consist of locations with data loggers and manual measurements and represent continuous monitoring. Because some monitoring wells were only monitored outside of the calibration period, only a subset of the total monitoring locations that are within the monitoring period was used in the model calibration. The subset

includes monitoring locations in all hydrogeologic units and long-term measured groundwater levels that are representative of the seasonal changes in groundwater levels. Table 4-5 provides a summary of the monitoring locations that were used in the transient model calibration. In total, 98 monitoring locations were used in the transient model calibration. Based on Itasca's experience, the overall number of monitoring locations is adequate and extensive compared to other projects at similar stages.

4.8.2 Transient Model Calibration

Appendix A provides a summary of the measured and simulated groundwater level hydrographs from the transient groundwater flow model calibration. As shown in the hydrographs, the groundwater flow model is well calibrated to the seasonal changes in groundwater levels within the HSA. The following is a summary of the transient groundwater flow model calibration:

1. The model is well calibrated to the measured groundwater levels near the mine area, along the Declines, and within the Mire.
2. Across the HSA, the groundwater flow model is well calibrated to measured groundwater levels within the Shallow Groundwater System, Fractured Bedrock, and Unfractured Bedrock.
3. In the Kuusivaara area, the groundwater flow model is well calibrated to the measured groundwater levels, including both areas that have small (less than 1 m) and areas that have large seasonal changes in groundwater levels (greater than 10 m).

Table 4-6 shows the calculated transient model statistics at points in time over the transient groundwater flow model calibration. The points in time are every 6 months, including both summer and winter data points. Calculated statistics are shown for the ME, MAE, RMSE, normalized RMSE, and r^2 for each point in time. Figure 4-14 shows temporal quality line plots of measured versus simulated groundwater levels at each point in time. Based on these data, the following can be concluded regarding the model calibration:

1. Based on the calculated model statistics, the transient groundwater flow model is well calibrated throughout the entire time period of the transient model calibration.
2. Calculated model statistics are within literature ranges of a well-calibrated model (Anderson and Woessner 1992; Hall 1998; Spitz and Moreno 1996).
3. Quality lines show that there is no bias or trends in model error through time between measured and simulated groundwater levels.
4. The ME, MAE, and RMSE are typically less than 1.0 m.
5. The transient groundwater flow model is well calibrated to groundwater levels for both the summer and winter months.

Figure 4-15 shows the simulated recharge rates as a percentage of precipitation for the till, sorted sediments, and peat for each year and the average simulated recharge rate. The simulated recharge rates are based on the recharge rates from *MIKE SHE* (negative values on Figure 3-19). Recharge rates for the hydrogeologic units vary from 3% to 60% of the precipitation depending on the measured precipitation rate. The average recharge rate for the till, sorted sediments, and peat hydrogeologic units is approximately 30%, 46%, and 12% of the measured annual precipitation rate, respectively. Average recharge values are similar to the methods used in Åberg et al. (2019).

Figure 4-16 shows the simulated water budget for the groundwater flow model domain. Positive values are inflow to groundwater system while negative values are outflow from groundwater system. The following observations can be made regarding the simulated water budget:

1. Water-budget components within the groundwater flow model vary seasonally depending on the amount of applied recharge.
2. The applied recharge rate varies from 0 to 20,000 cubic meters per hour (m^3/hr). The applied recharge rate is highest during the snowmelt season.
3. Surface-water runoff varies from 1,000 to 11,000 m^3/hr.
4. The baseflow to rivers varies from 350 to 650 m^3/hr. The baseflow rate is the discharge rate from the groundwater system to the surface-water system.
5. Groundwater outflow from the model domain varies from 50 to 100 m^3/hr. Groundwater outflow occurs along the variable-flux boundary.

Figure 4-17 shows the simulated water budget for key surface-water bodies. This plot shows the delineation of the calculated baseflow to rivers water-budget components. The outflow in Figure 4-17 does not include surface-water runoff through channels into rivers; it only shows groundwater outflow to the rivers and lake boundaries (constant-head boundaries). The simulated negative value indicates water is leaving the groundwater system. The following can be concluded regarding the groundwater outflow into streams and lakes:

1. Groundwater outflow to lakes ranges from approximately 2 to 25 m^3/hr.
2. Groundwater outflow to the Kitinen River ranges from approximately 225 to 510 m^3/hr.
3. Groundwater outflow to the Kelujoki, Hiivanahaara, and Ylijoki Rivers ranges from approximately 105 to 150 m^3/hr.

5.0 PREDICTIVE GROUNDWATER FLOW MODEL

After the groundwater flow model was well calibrated to the seasonal changes in groundwater levels, the groundwater flow model was used to provide predictions of future groundwater inflows to the proposed Mine Workings and the potential drawdown in the groundwater system. This section of the report focuses on the predictive model simulations and the results.

5.1 PREDICTIVE GROUNDWATER FLOW MODEL SETUP

5.1.1 Simulated Boundary Conditions

As described above in Section 4.0, the following boundary conditions were used in the steady-state and transient models and were continued in the predictive groundwater flow model simulations:

1. Constant heads were assigned at the ground-surface elevations for the Kitinen River, Kelujoki, Hiivanahaara, and Ylijoki Rivers, and lakes within the HSA. It was assumed that the constant head elevations are unchanged over the LOM. Though there is seasonal variation in the water levels of these surface-water bodies, the effect of the seasonal variation on the predicted inflow to the Mine Workings and the groundwater-level drawdown is negligible.
2. The outer model boundary was treated as a variable flux that allows for interaction with the regional groundwater system as shown on Figure 4-7. The variable-flux boundary assumes an infinite aquifer to supply water to the model domain.

Figure 5-1 shows the future simulated daily recharge rates for the till, sorted sediments, and peat hydrogeologic units for each month. An average monthly recharge rate was estimated based on the monthly recharge rates from June 2012 through June 2021. The average monthly recharge rate is repeated annually over the entire model simulation. The effects of potential climate change on the simulated recharge rates were estimated in separate model sensitivity simulations.

5.1.2 Simulated Mining Operation

AASM Oy provided detailed LOM plans in the form of a .dxf file and a detailed LOM schedule in *DESWIK* format. The following is a summary of the simulated LOM mine operations:

1. Year 0 through Year 2: Four Declines are constructed from the Kuusivaara area to the main deposit. The initial Mine Working developments are constructed.
2. Year 3 through Year 8: Stoping begins and the Mine Workings are developed at deeper elevations below -400 mamsl. During this time period, stoping occurs at the deepest elevations.
3. Year 9 through Year 10: A ramp to the NE deposit is developed and stoping begins at elevations above -150 mamsl.
4. Year 11 through Year 22: Stoping continues at shallower elevations in the main deposit from -400 to -70 mamsl and in the NE deposit from -170 to 112 mamsl.

The following is a summary of the simulated boundary conditions for the predictive model simulations:

1. The Mine Workings are simulated as drain nodes based on the mining schedule provided in *DESWIK* and the elevations provided in the .dxf files. It is assumed that all Mine Workings with the exclusion of stopes remain open over the LOM based on the elevation of the tunnels, groundwater level, and the hydraulic properties of the in-situ bedrock.
2. Though backfill will be placed in all stoped areas, the effect of a completely sealed backfill on the groundwater inflow is not considered in the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios for the following reasons:
    a. As the paste backfill cures, it is likely that the backfill shrinks and results in preferential flow paths around the perimeter of the backfill. As such, stopes will likely drain freely over the LOM.
    b. A review of *K* values from different sites and material mixing suggests a range from 2×10^{-8} to 1×10^{-7} m/s (Figure 3-32). Because the *K* value of 1×10^{-7} m/s in the backfill is higher than the *K* value of the Unfractured Bedrock (2×10^{-9} to 1×10^{-7} m/s), it may not impede the groundwater inflow rate from the Unfractured Bedrock.
3. Based on AASM Oy's mitigation plans, the Mine Workings that intercept known water-bearing faults will be grouted and along the Declines to 150 mbgs. The following assumptions were made when simulating the grouting:
    a. The grout will be used to mitigate the potential water bearing in the Basal Thrust, East, East-West, SENW1 and SENW2, East-West Central, and Hanging Wall Shear faults.
    b. The simulation assumed that grouting of the Mine Workings that intercept known water-bearing faults is successful at reducing groundwater inflow into the Mine Workings. As such, selected drain nodes of the presumed mining zone and Mine

Workings are included in areas where grout is to be placed based on the grout efficiency. The effects of the grout efficiency on the model predictions are estimated in a sensitivity analysis.

Based on the LOM plans, the mine life is approximately 22 years. Due to the uncertainty in the mining start date, model predictions are presented as years after mining begins.

For the simulation of backfill scenarios, the lower *K* value of the in-situ rock mass in the stope is changed to the higher *K* value of the backfill in the groundwater flow model. Changes in *K* values will introduce additional groundwater flow as the result of numerical artifacts in the predicted groundwater inflow rate. Such a numerical artifact in predicted groundwater inflow rate, though very small, was adjusted proportionally based on the predicted inflow rate to the mining zone and the Mine Workings without any backfilling materials. The predicted groundwater inflow rate without backfilling materials is considered to be higher than that in any backfilling scenarios.

5.1.3 Predictive Model Simulations for Environmental Assessment

Based on the above description of the predictive model setup and assumptions, the following is a summary of the predictive model scenarios for the environmental assessment:

1. **80% Success in Grouting Scenario**: The 80% Success in Grouting Scenario assumes 80% effectiveness in grouting along fault structures and to a depth of 150 mbgs along the Declines, moderate-*K*-value backfill material (5.0×10^{-8} m/s), and free-draining stopes throughout the LOM. To simulate an 80% grouting efficiency, selected drain nodes (20% of nodes) are left open to drain in areas of grouting.
2. **65% Success in Grouting Scenario**: The 65% Success in Grouting Scenario assumes 65% effectiveness in grouting along fault structures and to a depth of 150 mbgs along the Declines, high-*K*-value backfill material (1.0×10^{-7} m/s), and free-draining stopes throughout the LOM. To simulate a 65% grouting efficiency, selected drain nodes (35% of nodes) are left open to drain in areas of grouting.

Table 5-1 provides a summary of the two model scenarios and simulated model parameters. Based on the Sakatti and Itasca team's mining and hydrogeology experience and the available technical

knowledge, the 80% Success in Grouting Scenario is considered to be the most likely scenario that can be achieved in the operation.

In addition to the two scenarios described above, one additional model scenario was simulated without mining to estimate future groundwater conditions based on average recharge to estimate the seasonal changes to the groundwater system as the result of recharge variation alone. The purpose of this model simulation was to have a baseline model of groundwater system variations so that comparison can be made with the mining scenarios to estimate net effects of mining on the groundwater system.

Additional sensitivity scenarios were conducted on key mining-simulated and climate parameters. The predictive model setup and results of these scenarios are provided in Appendix B.

5.2 PREDICTIVE RESULTS DURING MINING FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

5.2.1 Predicted Groundwater Inflow Rates

Figure 5-2 shows the predicted groundwater inflow rates for the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios. Table 5-2 provides a summary of the predicted groundwater inflow rates and cumulative volumes for the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios over time. The following observations can be made regarding the future groundwater inflow rates for the 80% Success in Grouting Scenario:

1. The groundwater inflow rates begin to increase in Year 1 of mining as the four Declines are constructed. By mid-Year 2, the groundwater inflow rates reach a peak groundwater inflow rate of 118 m^3/hr (2,830 cubic meters per day [m^3/day]) due to the presence of the permeable Basal Thrust. Peak groundwater inflow rates occur after the construction of the Declines and the shallow Mine Workings.
2. After reaching a peak groundwater inflow rate, the groundwater inflow rate decreases to approximately 100 m^3/hr (2,400 m^3/day) by Year 6 as mining is progressing in lower elevations that have lower bedrock *K* values. The groundwater inflow rate does not increase due to mining at the lower elevations due to the low *K* values of the bedrock.

3. Groundwater inflow rates remain relatively constant around 100 m^3/hr (2,400 m^3/day) through Year 10, at which point groundwater inflow rates begin to rise. Groundwater inflow rates begin to rise during Year 10 as the shallowest Mine Workings of the main deposit and the NE deposit are developed. Groundwater inflow rates increase to 110 m^3/hr after Year 10 (2,640 m^3/day) and remain relatively constant throughout the rest of the LOM.
4. The predicted groundwater inflow rate (100 to 120 m^3/hr) is similar to the overall recharge rate for the Mine Workings area (approximately 1 km^2), which ranges seasonally from 0 to 100 m^3/hr (Figures 4-16 and 4-17).
5. The total cumulative volume of water extracted from the underground workings over the LOM is approximately 20 million m^3.

The following observations can be made regarding the future groundwater inflow rates for the 65% Success in Grouting Scenario (Figure 5-2 and Table 5-2):

1. The groundwater inflow rates begin to increase in Year 1 of mining as the four Declines are constructed. By mid-Year 2, the groundwater inflow rates reach a peak groundwater inflow rate of 122 m^3/hr (2,930 m^3/day) due to the presence of the permeable Basal Thrust. Peak groundwater inflow rates occur after the construction of the Declines and the shallow Mine Workings.
2. After reaching a peak groundwater inflow rate, the groundwater inflow rate decreases to approximately 107 m^3/hr (2,570 m^3/day) by Year 6 as mining is progressing in lower elevations that have lower bedrock *K* values. The groundwater inflow rate does not increase due to mining at the lower elevations due to the low *K* values of the bedrock.
3. Groundwater inflow rates remain relatively constant around 107 m^3/hr (2,540 m^3/day) through Year 10, at which point groundwater inflow rates begin to rise. Groundwater inflow rates begin to rise during Year 10 as the shallowest Mine Workings of the main deposit and the NE deposit are developed. Groundwater inflow rates increase to 118 m^3/hr after Year 10 (2,830 m^3/day) and remain relatively constant throughout the rest of the LOM.
4. The predicted groundwater inflow rate (107 to 122 m^3/hr) is similar to the overall recharge rate for the Mine Workings area (approximately 1 km^2), which ranges seasonally from 0 to 100 m^3/hr (Figures 4-16 and 4-17).
5. The total cumulative volume of water extracted from the underground workings over the LOM is approximately 21 million m^3.

The predicted groundwater inflow rates for the 65% Success in Grouting Scenario follow the same pattern and timing over the LOM as the 80% Success in Grouting Scenario but with groundwater inflow rates that are 5% to 8% higher than in the 80% Success in Grouting Scenario.

5.2.2 Predicted Drawdown

Figure 5-3a and Figure 5-3b show drawdown hydrographs of 11 different hypothetical monitoring locations across the Project Site for the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios, respectively. The locations of these hypothetical monitoring locations are also shown in Figure 5-3a and Figure 5-3b. It is assumed that the hypothetical monitoring locations are screened within the Shallow Groundwater System (from 0 to 10 mbgs). For each hypothetical monitoring location, the predicted drawdown is shown over the LOM. The predicted drawdown associated with mining was estimated by comparing the model-predicted drawdown in the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios with the No-Mining Scenario. The following can be observed regarding the predicted drawdown across the Project Site for the 80% Success in Grouting Scenario (Figure 5-3a):

1. Predicted drawdown varies seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal peak drawdown rates are predicted to occur prior to snowmelt in the spring. Seasonal variations in drawdown range from 0.01 to 0.4 m.
2. Larger seasonal variations in drawdown occur at Monitoring Location 1 due to smaller thickness of shallow sediments and the effects of recharge on lower *K*-value bedrock.
3. Drawdown begins to occur at Monitoring Locations 1 through 5 as the Declines are constructed during the initial part of mining development (Year 1 through Year 2).
4. Drawdowns at Monitoring Locations 3, 4, and 5 are larger than at other locations due to the presence of the permeable Basal Thrust along the Declines. Peak drawdown rates along the Declines are approximately 0.93 and 0.75 m in the winter and summer seasons, respectively.
5. Drawdown at monitoring locations over the main deposit area slowly increases through time as underground mining progresses. Peak drawdown over the primary mining area is approximately 0.6 m in Year 22.
6. There is increased drawdown at Monitoring Locations 8, 9, and 10 in Year 10 as the shallow Mine Workings are developed at the main and NE deposits.

7. Predicted drawdown of 0.6 m or less at the end of mining is within the seasonal variation of 0.5 to 2 m in measured groundwater levels over the primary mining area.

The following can be observed regarding the predicted drawdown across the Project Site for the 65% Success in Grouting Scenario (Figure 5-3b):

1. Predicted drawdown patterns and timing are the same as in the 80% Success in Grouting Scenario with variations in the overall drawdown magnitude.
2. Seasonal variations in drawdown range from 0.01 to 0.8 m at the hypothetical monitoring locations.
3. Drawdowns at Monitoring Locations 1, 3, 4, and 5 are larger than at other locations due to the presence of the permeable Basal Thrust along the Declines and the shallow Declines. Peak drawdown rates along the Declines are approximately 1.0 and 0.8 m in the winter and summer seasons, respectively.
4. Drawdown at monitoring locations over the main deposit area slowly increases through time as underground mining progresses. Peak drawdown over the primary mining area is approximately 0.6 m in Year 22.
5. Predicted drawdown of 0.6 m or less at the end of mining is within the seasonal variation of 0.5 to 2 m in measured groundwater levels over the primary mining area.

Figure 5-4 shows a plot of monthly drawdown at 5-year intervals over the LOM (Year 5, 10, 15, and 22 after mining begins) at two monitoring locations (Monitoring Locations 4 and 8) for the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios. The following can be observed regarding the simulated seasonal drawdown at the monitoring locations:

1. Simulated drawdown decreases during the spring melt time period from May to July.
2. After the summer months, simulated drawdown increases over time throughout the rest of the year until the next year's spring melt.
3. Over the LOM (Year 5 to Year 22), the seasonal difference between the peak and minimum drawdown in a calendar year increases (up to 0.2 m).

Figure 5-5a and Figure 5-5b show the predicted drawdown contours associated with mining within the HSA at the end of mining in Year 22 for the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios,

respectively. The predicted drawdown is greater in the NE deposit area, along the Declines, and in the area of the shallow Declines. The peak drawdown at the end of mining is centered around the shallow Decline and portal area. The peak drawdown at the end of mining is 2.8 m and 4.0 m for the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios, respectively. The predicted peak drawdowns of 2.8 and 4.0 m or less at the end of mining for the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios, respectively, are within the seasonal variation of 1 to 20 m in measured groundwater levels in the Kuusivaara area.

It is likely that, as drawdown begins to occur within the Shallow Groundwater System, recharge to the groundwater system will increase. This increased recharge is not simulated in the groundwater flow model. An increase in recharge to the groundwater system would result in less drawdown in the Shallow Groundwater System than is currently predicted by the groundwater flow model.

Figure 5-5a and Figure 5-5b show predicted drawdown within the footprint of the Mire area. This drawdown is predicted based on the assumption that the peat is hydraulically connected to the Shallow Groundwater System and behaves as porous media. Based on the available data, it is reasonable to assume that the peat within the Mire system has low-*K*-value zones and, therefore, is only partially hydraulically connected to the Shallow Groundwater System. Consequently, the predicted drawdown from the groundwater flow model is likely to be higher than the actual field-observed drawdown in the peat based on Itasca's experience at other mines with similar overburden hydrogeologic settings.

Figure 5-6 shows a comparison of the measured and simulated change in groundwater levels from the average groundwater level during the groundwater flow model calibration time period. Data are shown for six monitoring locations located within the Mire. Also shown in Figure 5-6 are the minimum and maximum change in groundwater levels from the average measured groundwater level. The following approach was used to define groundwater-level changes:

1. The measured maximum and minimum groundwater-level changes are defined by the difference between the maximum/minimum measured groundwater level and the average measured groundwater levels over the period presented in the figure.
2. The difference between the minimum and maximum is the measured range of natural variation of groundwater levels. The range of natural variation in groundwater levels is dependent on the quantity of precipitation.
3. The simulated change in calibrated groundwater levels is the simulated groundwater level through time minus the average simulated water levels over the period presented in the figure.

Based on Figure 5-6, the following can be observed regarding the seasonal changes in measured and simulated groundwater levels:

1. Measured seasonal groundwater-level variations have the following ranges:
    a. Peat water levels (monitoring locations GA101, GA102, and GA104) range from -0.2 to +0.45 m from the average water level. Most of the year, peat water levels are +/- 0.1 m from the average water level with only larger increases at the end of the winter season in response to snow depth.
    b. Sediment groundwater levels (monitoring locations GA201, GA202, and GA300) range from -0.67 to +0.5 m from the average groundwater level.
2. The seasonal change in groundwater levels varies each year and is dependent on the quantity of precipitation.
3. For non-peat monitoring locations (GA201, GA202, and GA300), groundwater levels increase during the spring melt then slowly decline from the end of the spring melt through the winter. In some years, there are increases in groundwater levels during the summer/autumn precipitation events.
4. At peat monitoring locations (GA101, GA102, and GA104), measured changes in groundwater levels are a pressure response to increasing snow depth.
5. Simulated changes in groundwater levels are well matched to the measured changes in groundwater levels at monitoring wells within the sediment (GA201, GA202, and GA300).
6. As discussed in Section 4.0, the groundwater flow model is well calibrated to water-level magnitudes at monitoring locations within the peat (Appendix A). The groundwater flow model does not reflect the measured seasonal changes (GA 101, GA102, and GA104; Figure 5-6) in the peat, as measured seasonal peat groundwater levels are reflecting changes in pressure (increasing snowpack) and not actual water-level changes. The simulated groundwater-level variations at the peat monitoring locations during the calibration period

are +/- 0.1 m, which agrees reasonably well with a majority of the variation in the measured data.

Figure 5-7 shows the simulated change in groundwater levels for the predictive time period of Year 1 through Year 22 of mining for the 80% Success in Grouting Scenario with the NE Deposit. Also shown in the figure are the minimum and maximum measured groundwater levels from the 2012–2021 time period as defined in Figure 5-6, as well as the predicted drawdown at each monitoring location. The change in predicted groundwater levels from the average groundwater level is defined as the predicted groundwater level through time minus the average predicted water level. Predicted drawdown is determined by subtracting the predicted groundwater level under the mining condition from the predicted groundwater level without mining to estimate the change in groundwater level related to mining. Groundwater-level data are presented for the 80% Success in Grouting Scenario with the NE Deposit only, as the predictive drawdowns presented above demonstrate that there are limited differences between the predicted drawdowns in the mining area from the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios with the NE Deposit.

The following can be observed with regard to future changes in groundwater levels:

1. At monitoring locations GA101, GA102, and GA201, the predicted change in groundwater levels and the predicted drawdown are within the range of historically measured seasonal change in groundwater levels.
2. At monitoring location GA300, the predicted drawdown is within the range of historically measured seasonal change in groundwater levels. The predicted change in groundwater level is up to 0.2 m below the minimum measured groundwater level in the winter season.
3. At monitoring location GA202, the predicted drawdown is greater than the historically measured seasonal change in groundwater levels by 0.15 m. The predicted change in groundwater level is up to 0.23 m below the minimum measured groundwater level in the winter season.
4. At monitoring location GA104, the predicted drawdown is greater than the historically measured seasonal change in water levels by 0.23 m. The predicted change in groundwater level is up to 0.23 m below the minimum measured groundwater level in the winter season.

5.2.3 Predicted Baseflow to the Kitinen River

Figure 5-8 shows the predicted baseflow (i.e., groundwater discharge into the river) to the Kitinen River over the LOM for the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios and No-Mining Scenario. Due to mining, it is predicted that the groundwater discharge to the Kitinen River may decrease by up to 20 m^3/hr. This flow rate decrease equates to approximately 4% to 6% of total simulated groundwater discharge to the Kitinen River (total simulated groundwater discharge ranges from 300 to 420 m^3/hr). The total decrease in discharge is a negligible change in the total river flow rate (approximately a 0.01% change; SYKE 2022). The predicted decrease in the groundwater discharge to the Kitinen River does not incorporate the planned discharge of treated mine water to the Kitinen River. It is likely that, if treated water from the groundwater inflow from the Mine Workings and other site water is discharged to the Kitinen River, the amount of the treated water from the Mine Workings would be greater than the predicted reduction of the groundwater discharge of the Kitinen River.

5.3 PREDICTIVE RESULTS WITH ADDITIONAL MITIGATION FOR THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Drawdown predictions presented in Section 5.2 were used in preliminary analyses for the environmental and Natura 2000 assessment. The preliminary analyses indicated that there is potential for environmental effects in areas of the predicted drawdown of the Mire. Subsequently, AASM Oy plans to implement an additional mitigation strategy to minimize potential drawdown in the Mire area. This section of the report provides a summary of the additional mitigation strategy and the potential effects of this strategy on future drawdown and groundwater inflow rates. Comparisons will be made between the results within this section and the results from Section 5.2.

Drawdown in the Mire area was primarily due to the presence of the shallow underground workings associated with the NE deposit. To minimize the magnitude of drawdown in the Mire, AASM Oy plans to remove the NE deposit underground workings from the mine plan (areas of the NE deposit

are shown in Figure 3-30a). As such, the following two additional predictive groundwater flow model scenarios were simulated:

1. **80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario**: The 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario assumes 80% effectiveness in grouting along fault structures and to a depth of 150 mbgs along the Declines, moderate-*K*-value backfill material (5.0×10^{-8} m/s), and free-draining stopes throughout the LOM. To simulate an 80% grouting efficiency, selected drain nodes (20% of nodes) are left open to drain in areas of grouting. This scenario assumes all underground workings associated with the NE deposit are not included in the simulated mine plan.
2. **65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario**: The 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario assumes 65% effectiveness in grouting along fault structures and to a depth of 150 mbgs along the Declines, high-*K*-value backfill material (1.0×10^{-7} m/s), and free-draining stopes throughout the LOM. To simulate a 65% grouting efficiency, selected drain nodes (35% of nodes) are left open to drain in areas of grouting. This scenario assumes all underground workings associated with the NE deposit are not included in the simulated mine plan.

5.3.1 Predicted Groundwater Inflow Rates

Figure 5-9 shows the predicted groundwater inflow rates for the 80% and 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios. Table 5-3 provides a summary of the predicted groundwater inflow rates and cumulative volumes for the 80% and 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios over time. The following observations can be made regarding the future groundwater inflow rates for the 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario:

1. The groundwater inflow rates begin to increase in Year 1 of mining as the four Declines are constructed. By mid-Year 2, the groundwater inflow rates reach a peak groundwater inflow rate of 118 m^3/hr (2,830 m^3/day) due to the presence of the permeable Basal Thrust. Peak groundwater inflow rates occur after the construction of the Declines and the shallow Mine Workings.
2. After reaching a peak groundwater inflow rate, the groundwater inflow rate decreases to approximately 100 m^3/hr (2,400 m^3/day) by Year 6 as mining is progressing in lower elevations that have lower bedrock *K* values. The groundwater inflow rate does not increase due to mining at the lower elevations where the bedrock has low *K* values.

3. Groundwater inflow rates slowly decrease through time after Year 6 of mining. Groundwater inflow rates remain between 95 and 100 m^3/hr (2,280 to 2,400 m^3/day) from Year 6 through Year 22.
4. The total cumulative volume of water extracted from the underground workings over the LOM is approximately 18.3 million m^3. This is a reduction of 1.6 million m^3 from the scenario with the NE deposit.

The following observations can be made regarding the future groundwater inflow rates for the 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario (Figure 5-9 and Table 5-3):

1. The groundwater inflow rates begin to increase in Year 1 of mining as the four Declines are constructed. By mid-Year 2, the groundwater inflow rates reach a peak groundwater inflow rate of 122 m^3/hr (2,930 m^3/day) due to the presence of the permeable Basal Thrust. Peak groundwater inflow rates occur after the construction of the Declines and the shallow Mine Workings.
2. After reaching a peak groundwater inflow rate, the groundwater inflow rate decreases to approximately 107 m^3/hr (2,570 m^3/day) by Year 6 as mining is progressing in lower elevations that have lower bedrock *K* values. The groundwater inflow rate does not increase due to mining at the lower elevations where the bedrock has low *K* values.
3. Groundwater inflow rates slowly decrease through time after Year 6 of mining. Groundwater inflows rates remain between 100 and 105 m^3/hr (2,400 to 2,520 m^3/day) from Year 6 through Year 22.
4. The total cumulative volume of water extracted from the underground workings over the LOM is approximately 19.5 million m^3. This is a reduction of 1.5 million m^3 from the scenario with the NE deposit.

The predicted groundwater inflow rates for the 80% and 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios follow the same magnitude and timing patterns as the model scenarios with the NE Deposit described in Section 5.2 except groundwater inflow rates decrease over the LOM instead of increasing in Year 10 of mining.

5.3.2 Predicted Drawdown

Figure 5-10a and Figure 5-10b show drawdown hydrographs of 11 different hypothetical monitoring locations across the Project Site for the 80% and 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios, respectively. The locations of these hypothetical monitoring locations are also shown in Figure 5-10a and Figure 5-10b. It is assumed that the hypothetical monitoring locations are screened within the Shallow Groundwater System (from 0 to 10 mbgs). For each hypothetical monitoring location, the predicted drawdown is shown over the LOM. The predicted drawdown associated with mining was estimated by comparing the model-predicted drawdown in the 80% and 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios with the No-Mining Scenario. The following can be observed regarding the predicted drawdown across the Project Site for the 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario (Figure 5-10a):

1. Predicted drawdown varies seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal peak drawdown rates are predicted to occur prior to snowmelt in the spring. Seasonal variations in drawdown range from 0.01 to 0.4 m.
2. Larger seasonal variations in drawdown occur at Monitoring Location 1 due to the smaller thickness of shallow sediments and the effects of recharge on lower *K*-value bedrock.
3. Drawdown begins to occur at Monitoring Locations 1 through 5 as the Declines are constructed during the initial part of mining development (Year 1 through Year 2).
4. Drawdowns at Monitoring Locations 3, 4, and 5 are larger than those at other locations due to the presence of the permeable Basal Thrust along the Declines. Peak drawdown rates along the Declines are approximately 0.93 and 0.75 m in the winter and summer seasons, respectively.
5. Drawdown at monitoring locations over the main deposit area slowly increase through time as underground mining progresses. Peak drawdown over the primary mining area is approximately 0.3 m in Year 22. In comparison with the drawdown for the mine plan with the NE deposit, there is a reduction in drawdown in the primary mining area due to removing the NE deposit underground workings from the mine plan.
6. There is little drawdown at Monitoring Locations 8, 9, and 10 in Year 10 as the shallow Mine Workings are developed at the main deposit. In comparison with the drawdown for the mine plan with the NE deposit, there is less drawdown at these locations due to removing the NE deposit underground workings from the mine plan.

7. Predicted drawdown of 0.3 m or less at the end of mining is less than the seasonal variation of 0.5 to 2 m in measured groundwater levels over the primary mining area.

The following can be observed regarding the predicted drawdown across the Project Site for the 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario (Figure 5-10b):

1. Predicted drawdown patterns and timing are the same as in the 80% Success in Grouting Scenario without the NE deposit.
2. Seasonal variations in drawdown range from 0.01 to 0.8 m at the hypothetical monitoring locations.
3. Drawdowns at Monitoring Locations 1, 3, 4, and 5 are larger than those at other locations due to the presence of the permeable Basal Thrust along the Declines and the shallow Declines. Peak drawdown rates along the Declines are approximately 1.0 and 0.8 m in the winter and summer seasons, respectively.
4. Drawdown at monitoring locations over the main deposit area slowly increases through time as underground mining progresses. Peak drawdown over the primary mining area is approximately 0.3 m in Year 22. In comparison with the drawdown for the mine plan with the NE deposit, there is a reduction in drawdown in the primary mining area due to removing the NE deposit underground workings from the mine plan.
5. There is little drawdown at Monitoring Locations 8, 9, and 10 in Year 10 as the shallow Mine Workings are developed at the main deposit. In comparison with the drawdown for the mine plan with the NE deposit, there is less drawdown at these locations due to removing the NE deposit underground workings from the mine plan.
6. Predicted drawdown of 0.3 m or less at the end of mining is less than the seasonal variation of 0.5 to 2 m in measured groundwater levels over the primary mining area.

Figure 5-11a and Figure 5-11b show the predicted drawdown contours associated with mining within the HSA at the end of mining in Year 22 for the 80% and 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios, respectively. The predicted drawdown is greater along the Declines and in the area of the shallow Declines. The peak drawdown at the end of mining is centered around the shallow Decline and portal area. The peak drawdown at the end of mining is 2.8 m and 4.0 m for the 80% and 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios, respectively. There is less drawdown in the mining and NE deposit areas in these scenarios as compared to the simulated

scenarios with the NE deposit described in Section 5.2 due to removal of the NE deposit workings from the mine plan.

Similar to scenarios described in Section 5.2, it is likely that, as drawdown begins to occur within the Shallow Groundwater System, recharge to the groundwater system will increase. This increased recharge is not simulated in the groundwater flow model. An increase in recharge to the groundwater system would result in less drawdown in the Shallow Groundwater System than is currently predicted by the groundwater flow model.

Figure 5-10a and Figure 5-10b show predicted drawdown within the footprint of the Mire. This drawdown is predicted based on the assumption that the peat is hydraulically connected to the Shallow Groundwater System and behaves as porous media. Based on the available data, it is reasonable to assume that the peat within the Mire system is only partially hydraulically connected to the Shallow Groundwater System. Consequently, the predicted drawdown from the groundwater flow model is likely to be higher than the actual field-observed drawdown in the peat based on Itasca's experience at other mines with similar overburden hydrogeologic settings.

Figure 5-12 shows the simulated change in groundwater levels for the predictive time period of Year 1 through Year 22 of mining for the 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario. Also shown in the figure are the minimum and maximum measured groundwater levels from the 2012–2021 time period as defined in Figure 5-6, as well as the predicted drawdown at each monitoring location. The change in predicted groundwater levels from the average groundwater level is defined as the predicted groundwater level through time minus the average predicted water level. Predicted drawdown is determined by subtracting the predicted groundwater level under the mining condition from the predicted groundwater level without mining to estimate the change in groundwater level related to mining. Groundwater-level data are presented for the 80% Success in Grouting Scenarios only, as predictive drawdown data demonstrate that there are minimal differences in predicted drawdown in the mining area between the 80% and 65% Success in

Grouting without the NE Deposit Scenarios. The following can be observed regarding the predicted groundwater-level change at monitoring locations in the Mire for the predictive groundwater flow model simulations without the NE deposit:

1. At monitoring locations GA101, GA102, GA201, GA200, and GA300, the predicted change in groundwater levels and the predicted drawdown are within the range of historically measured seasonal change in groundwater levels.
2. At monitoring location GA104, the predicted drawdown is greater than the historically measured seasonal change by 0.23 m. The predicted change in groundwater level is up to 0.23 m below the minimum measured groundwater level in the winter season.
3. Predicted changes in groundwater levels without the NE deposit show less drawdown and change in groundwater levels in comparison to those presented in Section 5.2 for the with the NE deposit scenarios.

5.3.3 Predicted Baseflow to the Kitinen River

Figure 5-13 shows the predicted baseflow (i.e., groundwater discharge into the river) to the Kitinen River over the LOM for the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios without the NE Deposit and the No-Mining Scenario. Due to mining, it is predicted that the groundwater discharge to the Kitinen River may decrease by up to 20 m^3/hr. This flow rate decrease equates to approximately 4% to 6% of total simulated groundwater discharge to the Kitinen River. The total decrease in discharge is a negligible change in the total river flow rate (approximately a 0.01% change; SYKE 2022). There are little to no differences in the predicted Kitinen River baseflow in the model scenarios with and without the NE deposit.

5.4 PREDICTIVE RESULTS OF GROUNDWATER RECOVERY AFTER MINING

After mining ends, it is expected that the Shallow and Deep Groundwater Systems will begin to recover. The groundwater flow model was used to estimate the time for the groundwater recovery in the Shallow and Deep Groundwater Systems for the mine plan with and without the NE deposit scenarios described in Sections 5.2 and 5.3, respectively.

5.4.1 Predicted Groundwater Recovery for Mine Plan with the NE Deposit

Two model scenarios were conducted to predict the future groundwater recovery based on the simulated LOM scenarios with the NE deposit. The setup and assumptions for these two groundwater recovery model scenarios are as follows:

1. **80% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario**: The 80% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario used the same assumptions described in Section 5.2 during the mining operation. After mining, the groundwater system is allowed to naturally recover. The future recharge rates are based on the estimated average recharge shown in Figure 5-1. The average monthly recharge rate is repeated annually over the entire model simulation.
2. **65% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario:** The 65% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario used the same assumptions described in Section 5.2 during the mining operation. After mining, the groundwater system is allowed to naturally recover. The future recharge rates are based on the estimated average recharge shown in Figure 5-1. The average monthly recharge rate is repeated annually over the entire model simulation.

Based on the above assumptions, the groundwater flow model was simulated for 400 years after mining. A 400-yr time period for groundwater recovery is simulated due to the low *K* value of the Unfractured Bedrock.

Groundwater recovery in the groundwater system is demonstrated by showing drawdown at the key monitoring locations over time. In order to assess the groundwater recovery over time, the following hypothetical piezometers as shown in Figure 5-14 were used:

1. Eleven shallow piezometers were populated in the areas of predicted drawdown. These piezometers monitor the groundwater levels in the first saturated model layer.
2. One piezometer was populated from the ground surface to the deep mining zone. This piezometer was assumed to be equipped with multiple transducers at eight different elevations.

The groundwater system is considered to be recovered as drawdown at each monitoring location approaches 0 m of drawdown. Figure 5-14a shows drawdown hydrographs for the 80% Success in

Grouting Groundwater Recovery Scenario at 11 different hypothetical monitoring wells and one piezometer at the Project Site during groundwater recovery. The predicted drawdown associated with groundwater recovery was estimated by comparing the model-predicted drawdown in the 80% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario with the No-Mining Scenario. The following can be observed regarding the groundwater recovery for the 80% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario across the Project Site:

1. Groundwater levels within the Shallow Groundwater System begin to recover after mining ends. Groundwater recovery begins to occur as the Mine Workings stop draining groundwater.
2. Within the Shallow Groundwater System monitoring locations, predicted recovered groundwater levels vary seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal variations range from 0.01 to 0.15 m.
3. Within 5 years, groundwater levels within the Shallow Groundwater System have recovered to within 0.1 m in comparison to the pre-mining condition.
4. Monitoring locations within the Shallow Groundwater System indicate that the groundwater system has recovered to drawdown with less than 0.01 m difference (greater than 99% recovery) from the No-Mining Scenario at all monitoring locations 75 years after mining ends.
5. At piezometer locations within the Unfractured Bedrock, there is increasing drawdown in the shallow elevations of the Unfractured Bedrock for the first 20 years of recovery after mining ends as the Deep Groundwater System begins to recover.
6. Due to the low *K* values of the Unfractured Bedrock, deeper monitoring locations require a longer time to recover than shallower monitoring locations. By 400 years after mining, all monitoring locations within the Unfractured Bedrock have drawdown less than 1 m.

Figure 5-14b shows drawdown hydrographs for the 65% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario at 11 different hypothetical monitoring wells and one piezometer at the Project Site during groundwater recovery. The following can be observed regarding the groundwater recovery for the 65% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario across the Project Site:

1. Groundwater levels within the Shallow Groundwater System begin to recover after mining ends. Groundwater recovery begins to occur as the Mine Workings stop draining groundwater.
2. Within the Shallow Groundwater System monitoring locations, predicted recovered groundwater levels vary seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal variations range from 0.01 to 0.15 m.
3. Within 10 years, groundwater levels within the Shallow Groundwater System have recovered to within 0.1 m in comparison to the pre-mining condition.
4. Monitoring locations within the Shallow Groundwater System indicate that the groundwater system has recovered to drawdown with less than 0.01 m difference (greater than 99% recovery) from the No-Mining Scenario at all monitoring locations 75 years after mining ends.
5. At piezometer locations within the Unfractured Bedrock, there is increasing drawdown in the shallow elevations of the Unfractured Bedrock for the first 20 years of recovery after mining ends as the Deep Groundwater System begins to recover.
6. Due to the low *K* values of the Unfractured Bedrock, deeper monitoring locations require a longer time to recover than shallower monitoring locations. By 400 years after mining, all monitoring locations within the Unfractured Bedrock have drawdown less than 2.5 m.

5.4.2 Predicted Groundwater Recovery for Mine Plan without the NE Deposit

Two model scenarios were conducted to predict the future groundwater recovery based on the simulated LOM scenarios without the NE deposit. The setup and assumptions for these two groundwater recovery model scenarios are as follows:

1. **80% Success in Grouting without the NE Deposit Groundwater Recovery Scenario**: The 80% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario used the same assumptions described in Section 5.3 during the mining operation. After mining, the groundwater system is allowed to naturally recover. The future recharge rates are based on the estimated average recharge shown in Figure 5-1. The average monthly recharge rate is repeated annually over the entire model simulation.
2. **65% Success in Grouting without the NE Deposit Groundwater Recovery Scenario:** The 65% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario used the same assumptions described in Section 5.3 during the mining operation. After mining, the groundwater system is allowed to naturally recover. The future recharge rates are based on the estimated average recharge

shown in Figure 5-1. The average monthly recharge rate is repeated annually over the entire model simulation.

Based on the above assumptions, the groundwater flow model was simulated for 400 years after mining. A 400-yr time period for groundwater recovery is simulated due to the low *K* value of the Unfractured Bedrock.

Groundwater recovery in the groundwater system is demonstrated by showing drawdown at the key monitoring locations over time. In order to assess the groundwater recovery over time, the following hypothetical piezometers, as shown in Figure 5-15, were used:

1. Eleven shallow piezometers were populated in the areas of predicted drawdown. These piezometers monitor the groundwater levels in the first saturated model layer.
2. One piezometer was populated from the ground surface to the deep mining zone. This piezometer was assumed to be equipped with multiple transducers at eight different elevations.

The groundwater system is considered to be recovered as drawdown at each monitoring location approaches 0 m of drawdown. Figure 5-15a shows drawdown hydrographs for the 80% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario at 11 different hypothetical monitoring wells and one piezometer at the Project Site during groundwater recovery. The predicted drawdown associated with groundwater recovery was estimated by comparing the model-predicted drawdown in the 80% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario with the No-Mining Scenario. The following can be observed regarding the groundwater recovery for the 80% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario across the Project Site:

1. Groundwater levels within the Shallow Groundwater System begin to recover after mining ends. Groundwater recovery begins to occur as the Mine Workings stop draining groundwater.

2. Within the Shallow Groundwater System monitoring locations, predicted recovered groundwater levels vary seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal variations range from 0.01 to 0.15 m.
3. Within 5 years, groundwater levels within the Shallow Groundwater System have recovered to within 0.1 m in comparison to the pre-mining condition.
4. Monitoring locations within the Shallow Groundwater System indicate that the groundwater system has recovered to drawdown with less than 0.01 m difference (greater than 99% recovery) from the No-Mining Scenario at all monitoring locations 75 years after mining ends.
5. At piezometer locations within the Unfractured Bedrock, there is increasing drawdown in the shallow elevations of the Unfractured Bedrock for the first 20 years of recovery after mining ends as the Deep Groundwater System begins to recover.
6. Due to the low *K* values of the Unfractured Bedrock, deeper monitoring locations require a longer time to recover than shallower monitoring locations. By 400 years after mining, all monitoring locations within the Unfractured Bedrock have drawdown less than 1 m.

Figure 5-15b shows drawdown hydrographs for the 65% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario at 11 different hypothetical monitoring wells and one piezometer at the Project Site during groundwater recovery. The following can be observed regarding the groundwater recovery for the 65% Success in Grouting Groundwater Recovery Scenario across the Project Site:

1. Groundwater levels within the Shallow Groundwater System begin to recover after mining ends. Groundwater recovery begins to occur as the Mine Workings stop draining groundwater.
2. Within the Shallow Groundwater System monitoring locations, predicted recovered groundwater levels vary seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal variations range from 0.01 to 0.15 m.
3. Within 10 years, groundwater levels within the Shallow Groundwater System have recovered to within 0.1 m in comparison to the pre-mining condition.
4. Monitoring locations within the Shallow Groundwater System indicate that the groundwater system has recovered to drawdown with less than 0.01 m difference (greater than 99% recovery) from the No-Mining Scenario at all monitoring locations 75 years after mining ends.

5. At piezometer locations within the Unfractured Bedrock, there is increasing drawdown in the shallow elevations of the Unfractured Bedrock for the first 20 years of recovery after mining ends as the Deep Groundwater System begins to recover.
6. Due to the low *K* values of the Unfractured Bedrock, deeper monitoring locations require a longer time to recover than shallower monitoring locations. By 400 years after mining, all monitoring locations within the Unfractured Bedrock have drawdown less than 2.5 m.

Observations of groundwater recovery are the same for the mining plans with and without the NE Deposit groundwater recovery scenarios. This is because for the Shallow and Deep Groundwater Systems, the drawdown from mining occurs over the main deposit and along the Decline, which remains unchanged between the two mining plans. Consequently, the groundwater recovery times remain unchanged between the mine plans with and without the NE deposit.

6.0 SUMMARY OF KEY MODEL UNCERTAINTIES

As a part of the project, Itasca assessed each of the key data that were used in the conceptual hydrogeologic model and groundwater flow model. Based on the industrial practice, AASM Oy has conducted sufficient investigations at this project stage in comparison to the data requirements presented in Figure 6-1. There is always uncertainty related to the groundwater model. However, the confidence level of the model increases as the project advances. Therefore, for reducing the uncertainty there is a need for monitoring data and periodic update of the conceptual model and numerical groundwater flow model.

The evolution of a groundwater flow model is presented in Figure 6-2. The model requires periodic validation and update based on the monitoring data. This process will continuously improve the confidence level of the groundwater flow model by reducing the data uncertainty.

Table 6-1 provides a summary of the key data used and their respective uncertainties. The following is a summary of the key uncertainties associated with the groundwater flow model predictions:

1. Site-specific hydraulic parameters were available over the primary area of the Mine Workings. Based on these data, the following assumptions were made in the conceptual and numerical models:
    a. The bedrock along the Decline and Kitinen River area was assigned to be more permeable than the bedrock in the mining area based on *K*-value data. However, there are less measured *K*-value data in this area when compared to the extensive *K*-value dataset in the mining area.
    b. Packer-testing data indicate that *K* values of structures in the mining area have similar *K* values to the bedrock around the faults. As such, it is assumed in the model that the faults/fractures in the mining area have the same *K* values as the bedrock.
    c. The peat is simulated as one hydrogeologic unit with no spatial variation in K values. The simulated K values of the peat are in the middle to upper portion of the range of measured peat K values. The simulated approach of higher K values and no variation in K values of the peat in the groundwater flow model is a conservative approach to predict the potential drawdown in the peat area. Studies of the peat indicate that there is a distribution of K values within the peat, with a lower K value at the base of

the peat. This low-*K*-value zone can impede water seepage to underlying units and separate the peat from the underlying glacial and fluvial sediments in many areas. A reduction in peat K values with depth may limit hydraulic connection with the underlying hydrogeologic units and lower the predicted drawdown in the peat area.

d. The *K* values of all bedrock units were assumed to decrease with depth based on measured *K*-value data. This assumption is reasonable based on the available data and can be further validated as more monitoring data become available during the mining operation.

2. The groundwater flow model is well calibrated to the available transient groundwater-level data based on calculated model statistics (Spitz and Moreno 1996; Anderson and Woessner 1992; Barnett et al 2012). The groundwater flow model is calibrated primarily to monitoring locations within the fluvial and glacial deposits, Fractured Bedrock, and shallow Unfractured Bedrock. Few data are available about groundwater levels in the Deep Groundwater System (greater than 200 mbgs).

3. Recharge to the Shallow Groundwater System is the key component of the water balance and results in the seasonal fluctuations of the groundwater levels. A *MIKE SHE* model was used to estimate the recharge rate to the Shallow Groundwater System based on measured meteorological variables and calibration to the measured groundwater levels. The groundwater flow model presented in this report incorporated the *MIKE SHE* estimated recharge rates for the model calibration time period and used average recharge rates for predictive model simulations. The following are uncertainties in the simulated recharge rates:

    a. Recharge was estimated by using a *MIKE SHE* model for the three hydrogeologic units that are the most relevant across the Project Site (tills, sorted sediments, and peat). These three hydrogeologic units have been extensively studied and are well understood. Recharge may vary at a more complex local scale than the assumed three hydrogeologic units for the HSA; however, the recharge to the HSA is well represented based on the overall model calibration to seasonal changes in water levels.

    b. No data are available on future recharge rates for the HSA. Average recharge rates and estimates of recharge for a future climate were used in the groundwater flow model predictions. The estimated recharge rates are sensitive to the assigned meteorological parameters.

4. The predicted drawdown does not consider the effects of dense vegetation, the suction effect of roots, and the large storage of the shallow surficial composed materials. These effects will reduce the predicted drawdown of the groundwater table.

5. The peat drawdown is predicted based on the assumption that the peat is hydraulically connected to the Shallow Groundwater System and behaves as porous media. Based on the

available data, it is reasonable to assume that the peat within the Mire system has a low-*K*-value zone in many areas and is only partially hydraulically connected to the Shallow Groundwater System. Consequently, the predicted drawdown from the groundwater flow model is likely to be higher than the actual field-observed drawdown in the peat.

6. The predicted drawdown does not consider the increased recharge that will occur as the result of lowering of the water table induced by the mining operation. The increased recharge will reduce the predicted drawdown of the groundwater table.

As described in Figures 6-1 and 6-2, data collection is a long-term process. This process should be ongoing prior to, during, and after mining. Continued data collection is needed to validate and update the conceptual and numerical groundwater flow models. It is expected that over the LOM, the conceptual and numerical models are continually updated.

The geological and hydrogeological conditions in the vicinity of the Mine Workings and surrounding area have been extensively studied by AASM Oy. The developed conceptual hydrogeological model and groundwater flow model presented in this report were updated based on the most recent studies conducted by AASM Oy. The groundwater flow model code *MINEDW* has several attributes that were specifically developed to address mining environments, and the code has been applied in numerous projects for mines in different hydrogeological and meteorological conditions. The groundwater flow model described in this report has been significantly updated since the previously developed groundwater flow model. The following is an overview of the key strengths of the updated groundwater flow model:

1. The groundwater flow model domain boundary (the HSA) was chosen to represent a groundwater system area that is much larger than the Sakatti Project Site. The boundary is a significant distance away from the potential mining-induced hydraulic stresses to minimize any potential boundary effects. The model incorporates all Mine Workings. In addition, the model includes the entire environmentally sensitive area of the Viiankiaapa Mire. The predicted drawdown is located entirely within the model domain, and the model domain is not affecting the predicted results.
2. The model uses a considerable and reasonable amount of model layers and active elements to accurately represent the geological data and the Mine Workings.

3. The model simulates the effects of key surface-water bodies on the groundwater system and the effects of mining on the baseflow of the key surface-water bodies.
4. The description and application of groundwater recharge in the groundwater flow model is more precise and robust. Groundwater recharge was modeled with *MIKE SHE* to predict time-variable groundwater recharge rates for different hydrogeological units. These time-variable groundwater recharge rates are used directly in the groundwater flow model.
5. The groundwater flow model directly uses the most recent geologic and structure models that have been developed for the Sakatti Project Site for the Shallow and Deep Groundwater Systems. The calibrated *K* values of the geologic units are within the measured and literature ranges of *K* values.
6. The groundwater flow model was calibrated to 9 years of measured groundwater-level data from the Shallow and Deep Groundwater Systems. The groundwater flow model was well calibrated in all hydrogeologic units in the Main and NE deposit areas as well as the Kuusivaara area. The groundwater flow model is well calibrated to seasonal water-level changes in all hydrogeologic units. The differences between the measured and simulated groundwater levels were examined with well-known and used statistical indicators to assess the quality of the groundwater flow model calibration. Based on the key statistics, both steady-state and transient situation models are well calibrated.

The groundwater flow model can be used to accurately predict the location and magnitude of drawdown for the Sakatti Project. Predictive model results always have some level of uncertainty, as described above. However, the magnitude of the uncertainty depends on an understanding of local conditions. As described in Section 3 of the report, there have been extensive studies conducted at the Project Site in relation to the phase of the project (Figure 6-1), and as such, there is a high level of understanding of the Sakatti Project Site conditions. As a result, the uncertainties have been minimized based on the available data. Overall, the groundwater flow model predictions are considered conservative for the following reasons:

1. The simulated *K* values of the hydrogeologic units are at the middle or higher end of *K*-value ranges when compared with the measured *K*-value ranges. *K* values at the lower end of the measurement range were not applied.
2. The peat has been conservatively simulated as more water conducting than available measured data suggest. Based on previous studies and measurements, there exist compacted well-decomposed layers that result in low *K* values, which likely limit drawdown.

3. The assigned hydraulic properties of the faults were conservative and are simulated as more continuous zones in the groundwater model than available data suggest. The measured data suggest that the faults are not continuous, with varying hydraulic properties. Model representation of hydraulically interconnected faults led to overprediction of the inflow rate and groundwater-level drawdown.
4. The Basal Thrust is the most significant fault of deep bedrock that has measured higher *K* values when compared to surrounding deep bedrock. However, based on drilling, it is known that the Basal Thrust has areas that are clay filled where groundwater flow is limited. Therefore, the model predictions associated with the assumption of the Basal Thrust being hydraulically conductive led to overprediction of the inflow rate and groundwater-level drawdown.
5. The groundwater flow model does not account for the effects of lowering the groundwater level on groundwater recharge. When the groundwater level in the Shallow Groundwater System decreases, there will be a corresponding increase in the amount of water recharging the groundwater system. This will occur in the Sakatti Project area due to the abundance of available water (i.e., excess surface-water runoff) during the spring melt season.
6. The groundwater flow model does not incorporate the presence of saprolite at the bedrock depressions and along fault intersections, which restricts the propagation of drawdown to the Shallow Groundwater System.

7.0 CONCLUSIONS

A groundwater flow model was developed by Itasca based on the conceptual hydrogeologic model. The groundwater flow model was calibrated to the available groundwater-level data at the Project Site. Itasca considers the groundwater flow model to be reasonably constructed and calibrated to the available groundwater-level data. Based on the conceptual hydrogeologic model and numerical model development, the following are the conclusions regarding the predictions of future groundwater inflow and drawdown for the 80% Success in Grouting Scenario:

1. The predicted peak groundwater inflow rate to the Mine Workings occurs by mid-Year 2 of mining. The peak groundwater inflow rate is approximately 118 m^3/hr. After reaching a peak groundwater inflow rate, the groundwater inflow rate gradually decreases to a range between 100 m^3/hr and 110 m^3/hr over the LOM.
2. Shallow Groundwater System drawdown along the Declines is predicted to be larger than at other locations due to the presence of the permeable Basal Thrust. Peak drawdown values along the Declines are approximately 0.93 and 0.75 m in the winter and summer seasons, respectively, at the end of mining operations (Year 22).
3. Peak drawdown over the primary mining area is approximately 0.6 m.
4. The largest drawdown is associated with the shallow Decline and portal area (where Mine Workings are less than 150 mbgs). Along this section of the Decline, peak drawdown at the end of mining is 2.8 m.
5. Predicted drawdown varies seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal peak drawdown rates are predicted to occur prior to snowmelt in the spring.
6. Predicted drawdown of 0.6 m or less at the end of mining is within the seasonal variation of 0.5 to 2 m in measured groundwater levels over the primary mining area.
7. Predicted drawdown of 2.8 m or less at the end of mining is within the seasonal variation of 1 to 20 m in measured groundwater levels in the Kuusivaara area.
8. It is predicted that the groundwater discharge to the Kitinen River may decrease by up to 20 m^3/hr, which equates to approximately 4% to 6% of total groundwater discharge to the Kitinen River. The total decrease in discharge is a negligible change (approximately a 0.01% change) in the total river flow rate (SYKE 2022). The predicted decrease in the groundwater discharge to the Kitinen River does not incorporate the planned discharge of treated mine water to the Kitinen River. It is likely that, if treated water from the groundwater inflow from the Mine Workings and other site water is discharged to the Kitinen River, the amount of

the treated water from the Mine Workings would be greater than the predicted reduction of the baseflow of the Kitinen River.

9. Groundwater levels within the Shallow Groundwater System immediately begin to recover after mining ends. Within 5 years, groundwater levels within the Shallow Groundwater System have recovered to within 0.1 m of the pre-mining water level. The Shallow Groundwater System is predicted to recover 75 years after mining ends (within 0.01 m of the pre-mining water level).
10. Due to the low *K* values of the Unfractured Bedrock, deeper monitoring locations require a longer time to recover than shallower monitoring locations. By 400 years after mining, all monitoring locations within the Unfractured Bedrock have drawdown less than 1 m.

The following are the conclusions regarding the predictions of future groundwater inflow and drawdown for the 65% Success in Grouting Scenario:

1. The predicted peak groundwater inflow rate to the Mine Workings occurs by mid-Year 2 of mining. The peak groundwater inflow rate is approximately 122 m^3/hr. After reaching a peak groundwater inflow rate, the groundwater inflow rate gradually decreases to a range between 107 m^3/hr and 118 m^3/hr over the LOM.
2. Shallow Groundwater System drawdown along the Declines is predicted to be larger than at other locations due to the presence of the permeable Basal Thrust. Peak drawdown values along the Declines are approximately 1.0 and 0.8 m in the winter and summer seasons, respectively, at the end of mining operations (Year 22).
3. Peak drawdown over the primary mining area is approximately 0.6 m.
4. The largest drawdown is associated with the shallow Decline and portal area (where Mine Workings are less than 150 mbgs). Along this section of the Declines, peak drawdown at the end of mining is 4.0 m.
5. Predicted drawdown varies seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal peak drawdown rates are predicted to occur prior to snowmelt in the spring.
6. Predicted drawdown of 0.6 m or less at the end of mining is within the seasonal variation of 0.5 to 2 m in measured groundwater levels over the primary mining area.
7. Predicted drawdown of 4.0 m or less at the end of mining is within the seasonal variation of 1 to 20 m in measured groundwater levels in the Kuusivaara area.
8. It is predicted that the groundwater discharge to the Kitinen River may decrease by up to 20 m^3/hr, which equates to approximately 4% to 6% of total groundwater discharge to the Kitinen River. The total decrease in discharge is a negligible change (approximately a 0.01%

change) in the total river flow rate (SYKE 2022). The predicted decrease in the groundwater discharge to the Kitinen River does not incorporate the planned discharge of treated mine water to the Kitinen River. It is likely that, if treated water from the groundwater inflow from the Mine Workings and other site water is discharged to the Kitinen River, the amount of the treated water from the Mine Workings would be greater than the predicted reduction of the baseflow of the Kitinen River.

9. Groundwater levels within the Shallow Groundwater System immediately begin to recover after mining ends. Within 10 years, groundwater levels within the Shallow Groundwater System have recovered to within 0.1 m of the pre-mining water level. The Shallow Groundwater System is predicted to recover 75 years after mining ends (within 0.01 m of the pre-mining water level).
10. Due to the low *K* values of the Unfractured Bedrock, deeper monitoring locations require a longer time to recover than shallower monitoring locations. By 400 years after mining, all monitoring locations within the Unfractured Bedrock have drawdown less than 2.5 m.

The following are conclusions regarding the potential effects on the model predictions of future groundwater inflow and drawdown and groundwater recovery with the removal of the NE deposit from the mine plan:

1. There is a long-term reduction in groundwater inflow as compared to the model scenarios with the NE deposit. After Year 6 of mining, groundwater inflows reduce to 95 to 100 m^3/hr and 100 to 105 m^3/hr for the 80% and 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios, respectively. This is a reduction of approximately 5 to 10 m^3/hr for each model scenario.
2. The peak drawdown over the primary mining area is approximately 0.2 m. This is a reduction of up to 0.4 m from the mine plan including the NE deposit.
3. Predicted drawdown of 0.3 m or less at the end of mining is less than the seasonal variation of 0.5 to 2 m in measured groundwater levels over the primary mining area.
4. There are limited to no effects on the predicted reduction in baseflow to the Kitinen River.
5. There are limited to no effects on the predicted groundwater recovery with the removal of the NE deposit from the mine plan. This is because for the Shallow and Deep Groundwater Systems, the drawdown from mining occurs over the main deposit and along the decline, which remains unchanged between the two mining plans. Consequently, the groundwater recovery times remain unchanged between the mine plans with and without NE deposit.

It should be noted that these conclusions do not include the following effects, as discussed in Section 6.0:

1. The predicted drawdown does not consider the effects of dense vegetation, the suction effect of roots, and the large storage of the shallow surficial composed materials. These effects will reduce the predicted drawdown of the groundwater table.
2. The peat drawdown is predicted based on the assumption that the peat is hydraulically connected to the Shallow Groundwater System and behaves as porous media. Based on the available data, it is reasonable to assume that the peat within the Mire system is only partially hydraulically connected to the Shallow Groundwater System. Consequently, the predicted drawdown from the groundwater flow model is likely to be higher than the actual field-observed drawdown in the peat.
3. The predicted drawdown does not consider the increased recharge that will occur as the result of lowering of the water table induced by the mining operation. The increased recharge will reduce the predicted drawdown of the groundwater table.

8.0 REFERENCES

AASM Oy. 2021. Review report 2021: Review of Sakatti project bedrock hydrogeological testing data from 2016–2021. Internal report prepared by Eero Heikkinen for Anglo American Sakatti Mining Oy, October.

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 (April): 101044.

Åberg, S.C., K. Korkka-Niemi, A. Rautio, V.-P. Salonen, and A.K. Åberg. 2019. Groundwater recharge/discharge patterns and groundwater-surface water interactions in a sedimentary aquifer along River Kitinen near Sodankylä, Northern Finland. *Boreal Environment Research* 24: 155–87.

Åberg, A.K., S. Kultti, A. Kaakinen, K.O. Eskola, and V.-P. Salonen. 2020. Weichselian sedimentary record and ice-flow patterns in the Sodankylä area, central Finnish Lapland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 92 (2020): 77–98. https://doi.org/10.17741/bgsf/92.2.001.

Anderson, M.P., and W.W. Woessner. 1992. *Applied groundwater modeling— Simulation of flow and advective transport.* San Diego: Academic Press, Inc.

ASTM. 2008. ASTM Standard D5981-96(2008): Standard guide for calibrating a groundwater flow model application. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Barnett, B., L.R. Townley, V. Post, R.E. Evans, R.J. Hunt, L. Peeters, S. Richardson, A.D. Werner, A. Knapton, and A. Boronkay. 2012. Australian groundwater modelling guidelines. Waterlines Report Series No. 82. Canberra: National Water Commission.

Bigler, P. 2019. Hydrogeology and hydrogeochemistry of the western margin of the Viiankiaapa mire in Sondankyla: Factors affecting the distribution of endangered species. Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki, Helsinki.

BLM. 2008. Groundwater modeling guidance for mining activities. United States Bureau of Land Management, Reno, NV, Instructional Memorandum NV-2008-035.

Brutsaert, W. 1982. *Evaporation into the atmosphere: Theory, history, and applications*. Dordrecht, Netherlands: Springer.

Copernicus Climate Store. 2022. Data for RCP4.5 climate case. Accessed April 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.

Geological Survey of Finland. 2022. Mineral deposits and exploration. Accessed February, March, and May 2022. https://gtkdata.gtk.fi/mdae/index.html.

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

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. Accessed 28 October 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. Report prepared by the University of Helsinki for Anglo American Sakatti Mining Oy.

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. Report prepared by the University of Helsinki for Anglo American Sakatti Mining Oy.

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

Lahtinen T. 2017. Hydrogeochemical characterization of the Sakatti mine prospecting area, Sodankylä, Finnish Lapland. MSc, Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki.

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

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

Luukas, J. 2017. Updates of the Sakatti deposit fault and lithological 3D models in May 2017. Report conducted by the Geological Survey of Finland for Anglo American Sakatti Mining Oy.

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

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

Moroizumi, T., N. Ito, J. Koskiaho, and S. Tattari. 2014. Long-term trends of pan evaporation and an analysis of its causes in Finland. Research prepared by Okayama University.

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

National Parks. 2022. Accessed May 2022. https://www.nationalparks.fi/viiankiaapa.

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

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

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

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

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

Puumalainen, T. 2021. A 3D geological model and geochemical and hydrogeological properties of sediments in Kuusivaara, Sodankylä, Finland. Master's thesis. Department of Geosciences, University of Oulu.

Read, J., and P. Stacy. 2009. *Guidelines for open pit slope design*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Reilly, T.E., and A.W. Harbaugh. 2004. Guidelines for evaluating groundwater flow models. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report No. 2004-5038.

Ruosteenoja, K., K. Jylhä, and M. Kämäräinen. 2016. Climate projections for Finland under RCP forcing scenarios. *Geophysica* 51(1): 17–50.

Salonen, V.P., K. Korkka-Niemi, A. Rautio, A. Åberg, and S. Åberg. 2014. Recent geological history of the Sakatti area, Sodankylä and its hydro-environmental implications – A baseline study on existing surveys. Report prepared by the University of Helsinki for Anglo American Sakatti Mining Oy.

Salonen, V.-P., K. Korkka-Niemi, A. Rautio, E. Koivisto, A. Åberg, S. Åberg, J. Laakso, T. Lahtinen, and E. Suonperä. 2016. Sakatti geoenvironments: A baseline study on quaternary sediments, hydrogeological conditions, and groundwater-surface water interactions in Kersilö area, Sodankylä. Report prepared by the University of Helsinki for Anglo American Sakatti Mining Oy.

Sarala, P., J. Räisänen, P. Johansson, and K.O. Eskola. 2015. Aerial LiDAR analysis in geomorphological mapping and geochronological determination of surficial deposits in the Sodankylä region, northern Finland. *GFF Journal of the Geological Society of Sweden* 137 (4): 293–303.

Spitz, K., and J. Moreno. 1996. *A practical guide to groundwater and solute transport modeling*. New York: John Wiley and Sons.

SRK. 2019. A hydrological impact assessment for the Sakatti Cu-Ni-PGE-Au deposit, Northern Finland. Report prepared by SRK Consulting for Anglo American Sakatti Mining Oy, June.

Stantec. 2020. Groundwater modeling assessment of the proposed underground mine at the Sakatti Cu-Ni-PGE-Au Deposit. Report prepared by Stantec for Anglo American Sakatti Mining Oy, June.

Suonperä, E. 2016. Holocene paleohydrology of Viiankiaapa mire, Sodankylä, Finnish Lapland. MSc, Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki, Helsinki.

Turtiainen, H. 2020. Hydraulic properties of peat and hydrogeochemical characteristics of groundwater and porewater in Viiankiaapa mire. Master's thesis. Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki.

Tyrväinen. A. 1983. Suomen geologinen kartta 1:100 000: Lehdet 3713 ja 3714: odankylän ja sattasen kartta-alueiden kallioperä [Geological map of Finland 1:100,000, sheets 3713–3714: explanation to the bed rock maps of pre-Quaternary rocks]. Geological Survey of Finland, Espoo, Finland.

Mining Area

Kuusivaara Area

Hiivanahaara

Ylijoki River

Kelujoki River

Main Deposit

Northeast Deposit

Legend

- Hydrologic Study Area
- Decline Extent
- Mine-Workings Extent
- Ground-Surface Contour (2 m)
- River
- Kitinen River
- Lakes
- Ponds

N

0 1,300 2,600 Meters

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

ITASCA™ Denver, Inc.

Hydrologic Study Area of the Sakatti Project

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 2-1

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

Hiivanahaara

Ylijoki River

Kelujoki River

Legend

- Hydrologic Study Area
- Cross Section Line
- Decline Extent
- Viiankiaapa Extent (Natura 2000)
- Mine-Workings Extent
- River
- Kitinen River
- Lakes
- Ponds

N

0 1,250 2,500 Meters

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

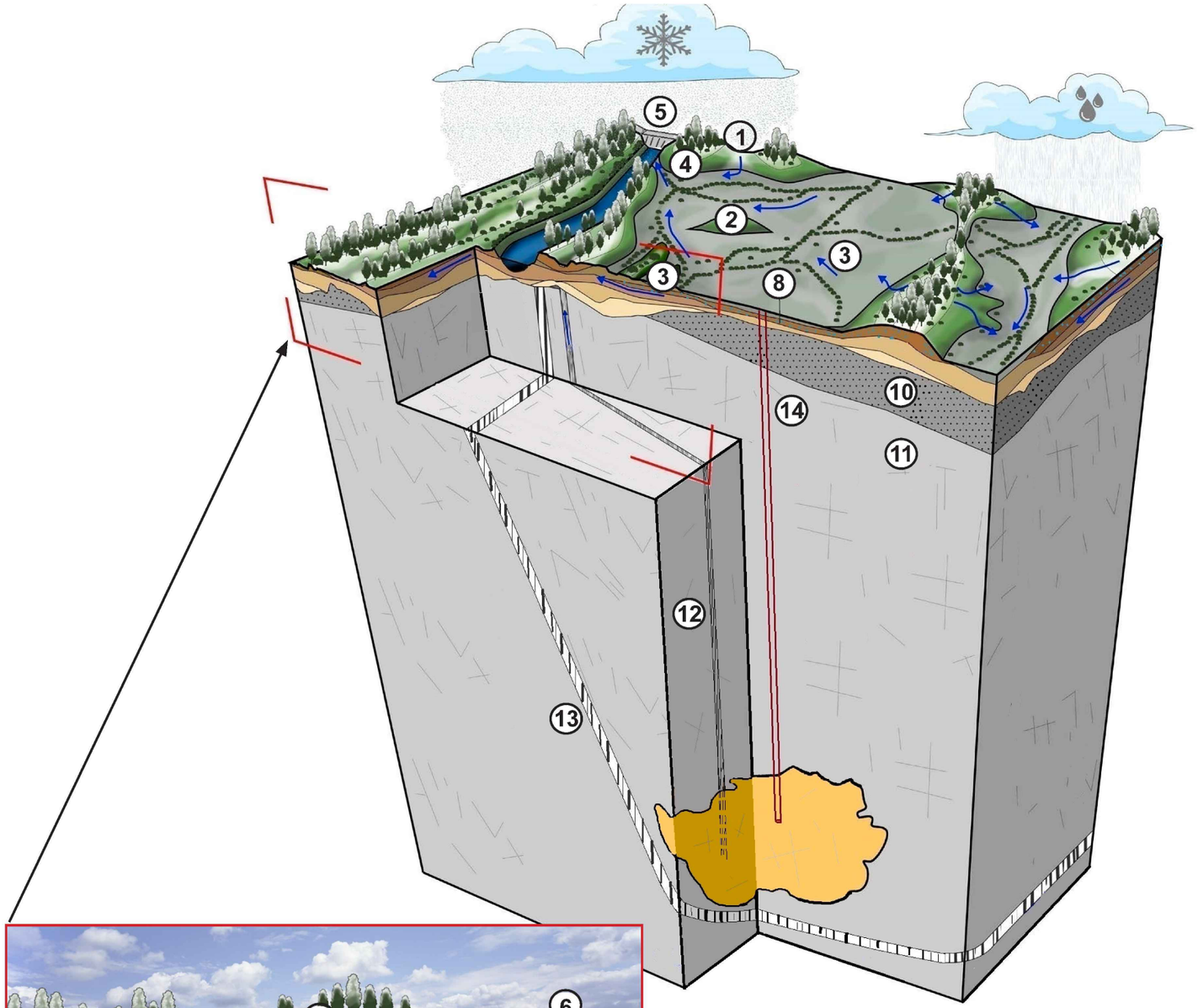
ITASCA™ Denver, Inc.

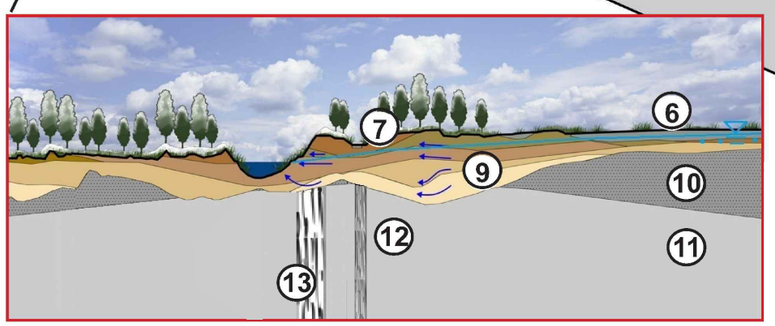
Viiankiaapa Mire Area in the Hydrologic Study Area

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 2-2

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





LEGEND

- Groundwater Flow Path
- Landforms
- Marsh/Wetland
- Kitinen River
- Peat
- Top Deposits
- Upper Till
- Middle Sorted Deposits
- Lower Sorted Deposits
- Lower Till assemblage
- Lowest Sands and Gravels
- Fractured Bedrock
- Unfractured Bedrock
- Faults
- Basal Thrust
- Ore Body

① to ⑭ Key Elements of Conceptual Hydrogeological Model

Source: A. Campgotto 4/15/2020

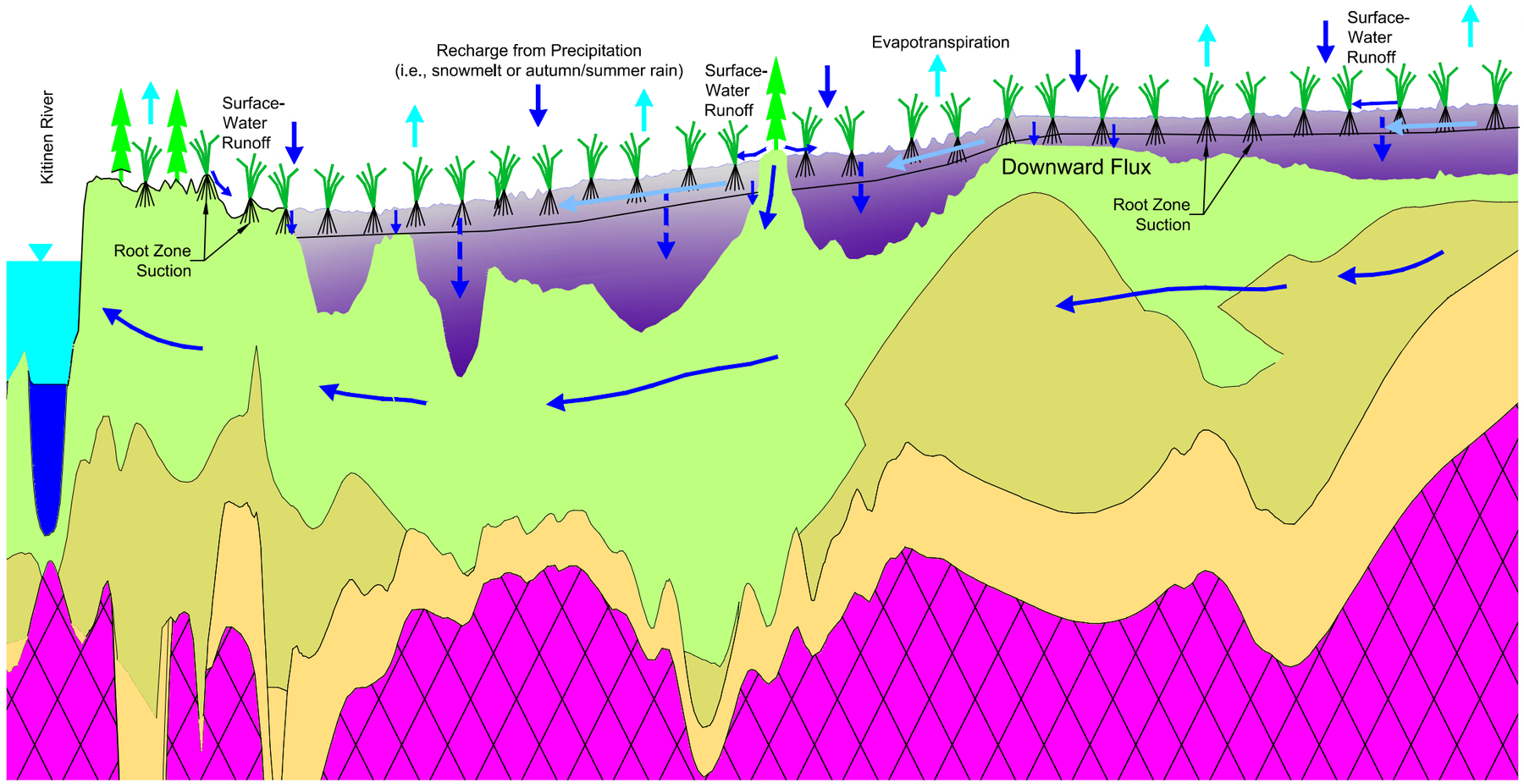
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CONCEPT
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	

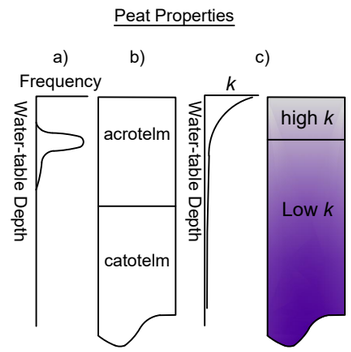
ITASCA™ Denver, Inc.

Conceptual Hydrogeologic Model

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 2-3





Explanation

- Peat
- Glacial/Fluvial Deposits
- Tills
- Weathered Bedrock
- Fractured Bedrock
- Bedrock
- River Sediments
- Horizontal Peat Flow
- Groundwater Flow
- Downward Peat Flow from Acrotelm to Catotelm

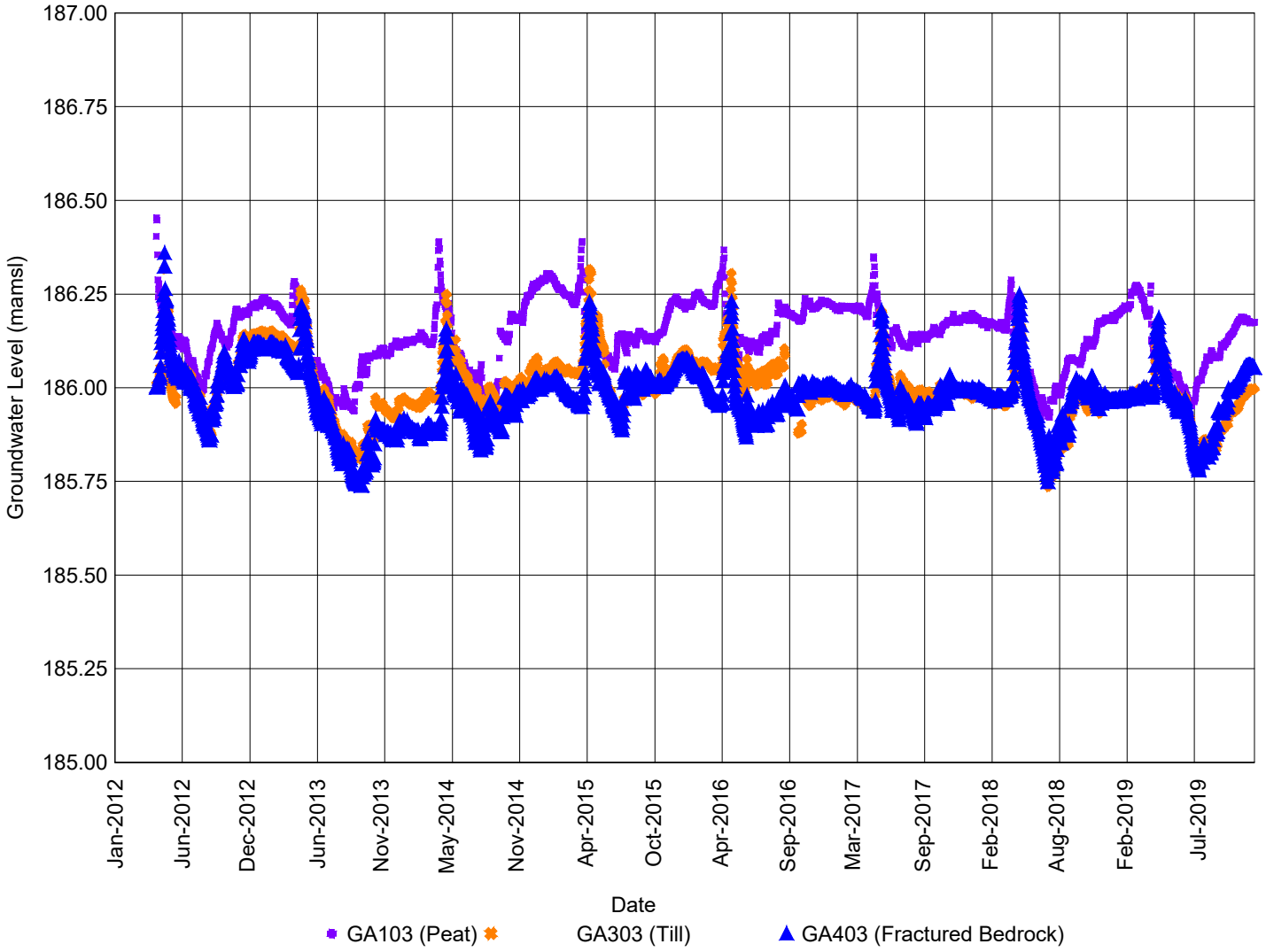
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	XSEC100
DRAWING DATE	13 MAR 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Conceptual Hydrogeologic Model of the Mire

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	

ITASCA™ Denver, Inc.

Conceptual Hydrogeologic Model of the Mire

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 2-4b

Legend

- River
- Decline Extent
- Kitinen River
- Lakes
- Ponds
- Mine-Workings Extent
- Hydrologic Study Area

Superficial deposits

- Bedrock outcrop (near surface and the outcrop)
- Weathered bedrock (RpKa)
- Gravel (Sr)
- Tills (sandy till, diamiction)
- Sand (Hk)
- Silt (Hs)
- Peat (sphagnum, carex, thick peat)

Surface sediment

- Thinly peat-covered area (< 0.3 m)
- Thin peat deposit (0.3-0.6 m)

Note: Surficial deposit map was based on the 20:000, 50:000, 200:000 data from Geological Survey of Finland (2022)

N

0 1,250 2,500 Meters

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.

Surficial Deposits within the Hydrologic Study Area

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-1

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

Legend

- Hydrologic Study Area
- Decline Extent
- Mine-Workings Extent
- Geologic Section Line

Bedrock Units

Lower Sodankylä Group
- Quartzite
- Phyllite
- Gneiss

Upper Savukoski Group
- Ultramafic Volcanics
- Mafic Volcanic Tuff
- Peridotites
- Gabro

N

0 1,250 2,500 Meters

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

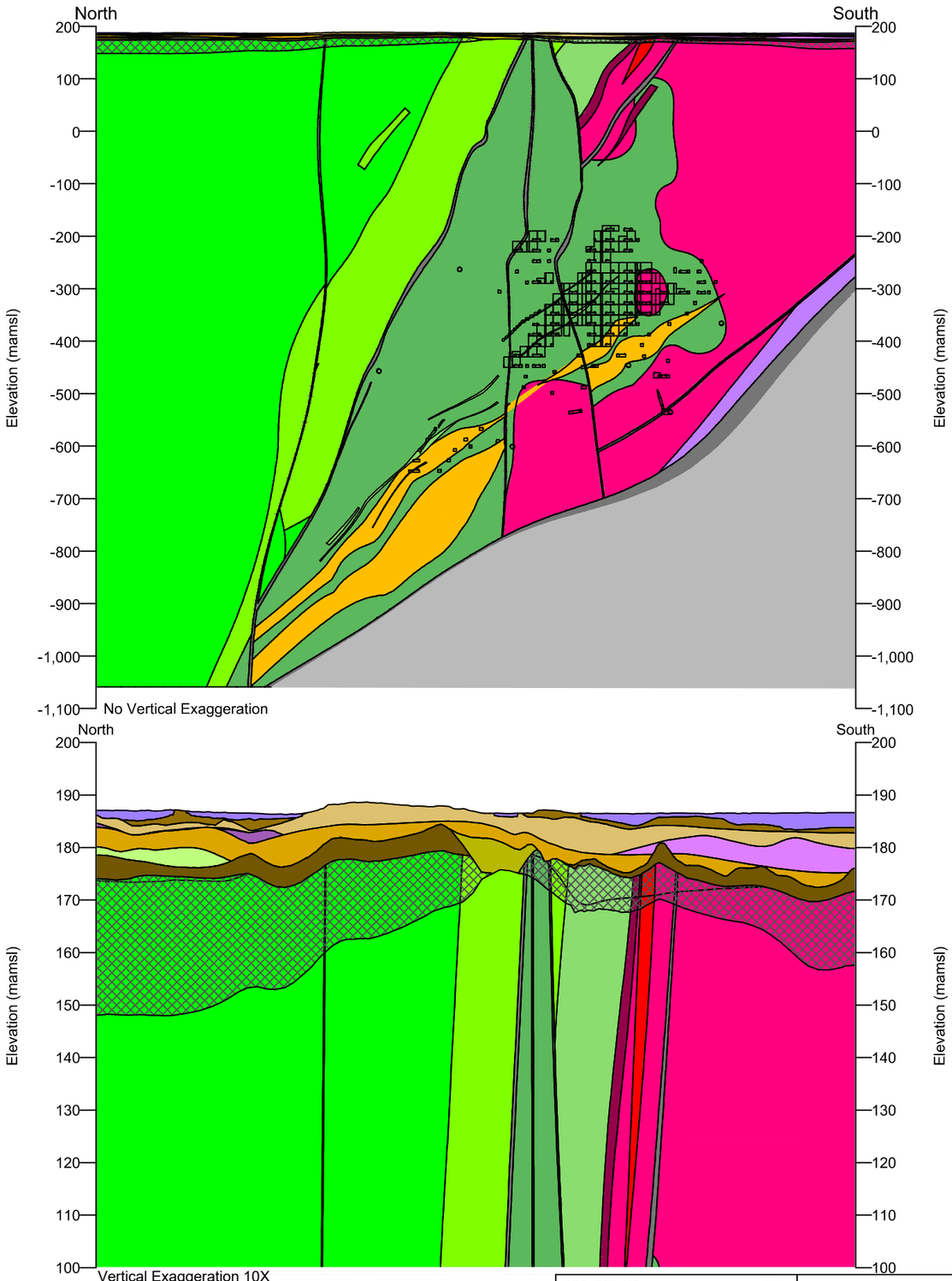
ITASCA™ Denver, Inc.

Geologic Map of Bedrock Units within the Hydrologic Study Area

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-2

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



0 200
SCALE (m)

Explanation

Bedrock Geology
- Aphanite
- Breccia
- Dunite
- Fault
- Mafic Rock
- Hanging Wall Volcaniclastics
- Mafic Volcanic Rock
- Peridotite
- Serpentine
- Shear Zone
- Basement Rock
- Fractured Bedrock Zone

Shallow Sediments
- Grus
- Lower Till
- Upper Till
- Lower Sand and Gravel
- Middle Sorted
- Lower Sorted
- Peat
- Clay Weathering
- Mine Working

Note: See Figure 3-2 for Location of Cross Section

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

ITASCA™ Denver, Inc.

North-South Cross Section of Geologic Units across the Mining Area

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-3

Legend

- Local Faults
- Thrust Faults (Luukas 2017)
- Regional-Scale Faults (Geological Survey of Finland 2022)
- Strike/Slip Faults (Luukas 2017)
- Decline Extent
- Mine-Workings Extent
- Hydrologic Study Area

N

0 1,250 2,500 Meters

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.

Local and Regional-Scale Faults in the Hydrologic Study Area

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-4

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

Shallow Groundwater System Model

Sakatti & TBM Model

Kuusivaara Model

Legend

- Hydrologic Study Area
- Decline Extent
- Mine-Workings Extent

Geologic Model Extent

- Shallow Groundwater System Model
- Sakatti & TBM Model
- Kuusivaara Model

N

0 1,250 2,500 Meters

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

ITASCA™ Denver, Inc.

Extent of the Geologic Block Models within the Hydrologic Study Area

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-5

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

Legend

- Hydrologic Study Area
- Decline Extent
- Mine-Workings Extent

Peat Thickness (m)

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

N

0 1,250 2,500 Meters

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

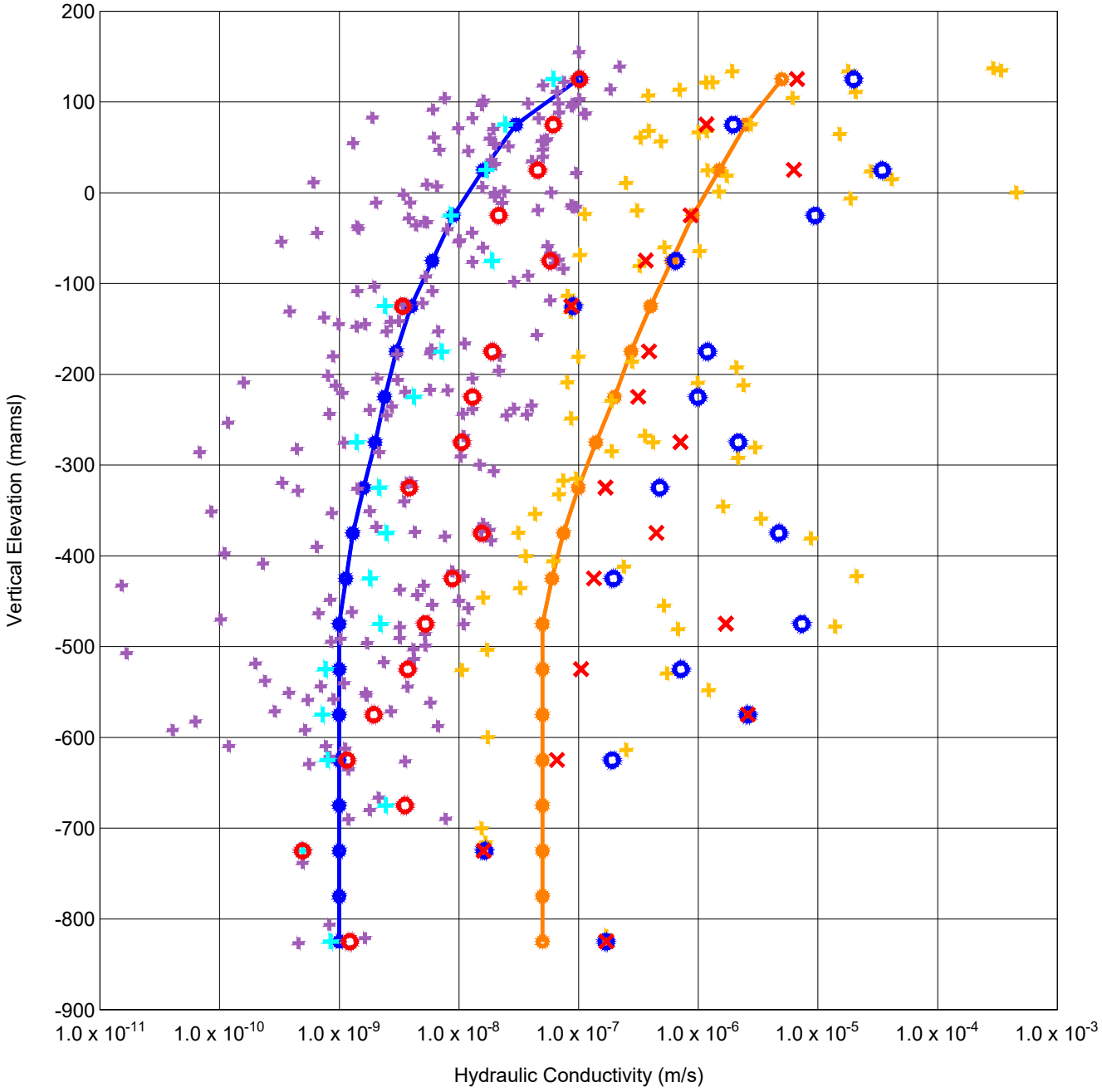
ITASCA™ Denver, Inc.

Estimated Thickness of the Peat Layer at the Project Site

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-6

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



K Values from Packer Testing

- Bedrock
- Fracture

Statistics of Packer Testing Data

- 75th Percentile Every 50 m for Fractures
- 75th Percentile Every 50 m for Bedrock
- Geometric Mean Every 50 m for Fractures
- Geometric Mean Every 50 m for Bedrock
- Representative Trend Line of Geometric Mean of Bedrock
- Representative Trend Line of Geometric Mean of Fractures

Note: One packer test data point below 1 x 10^{-11} is not shown.

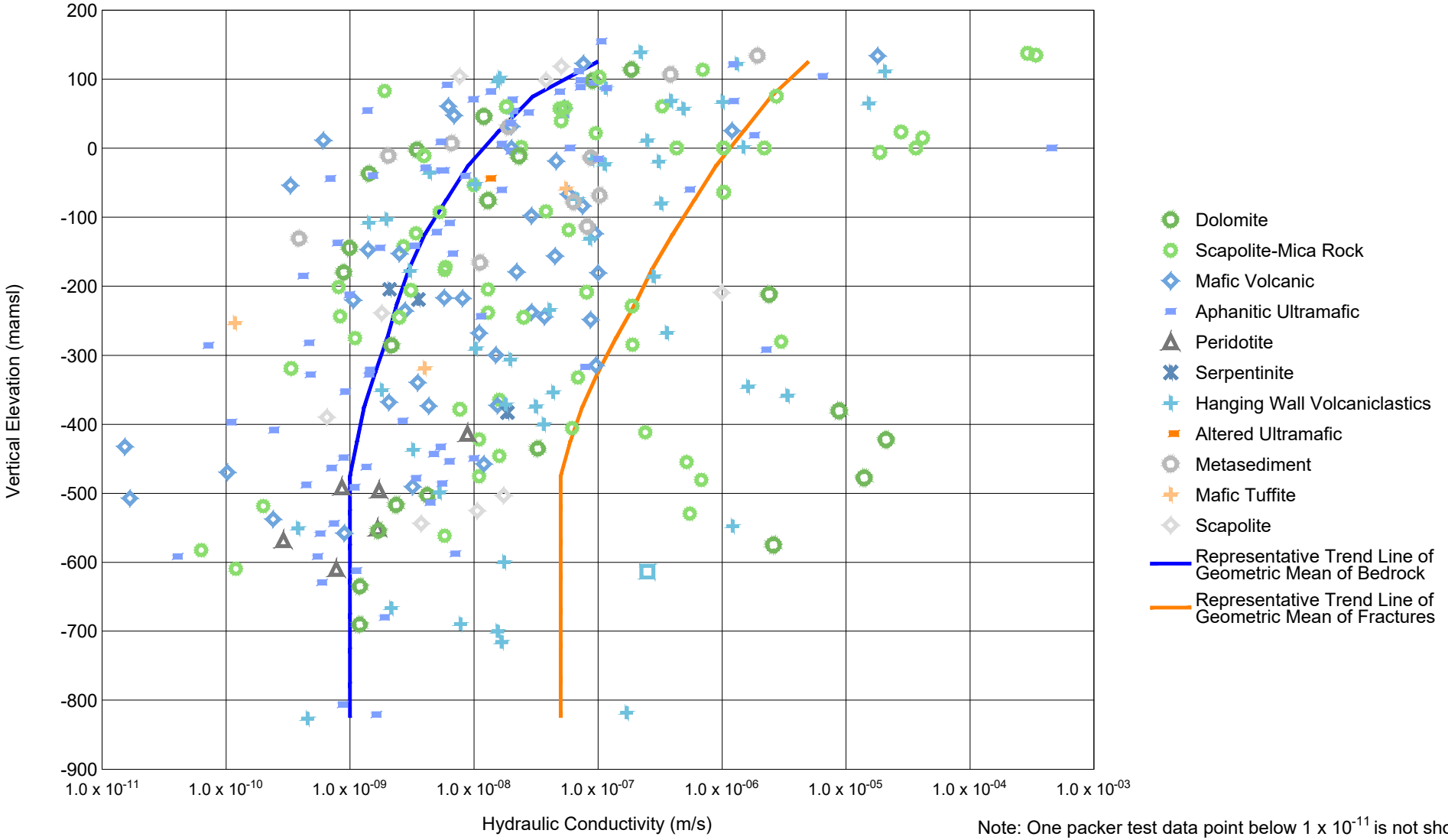
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PACKER
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

Measured Hydraulic Conductivities from Packer Tests

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-7



Note: One packer test data point below 1 x 10^{-11} is not shown.

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

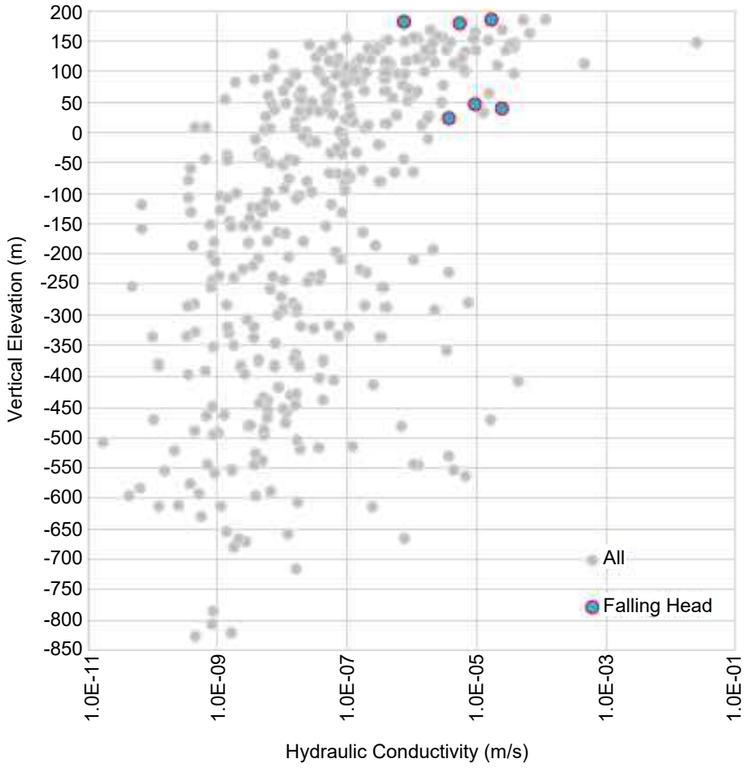
ITASCA™ Denver, Inc.

Measured Hydraulic Conductivities from Packer Testing by Rock Type

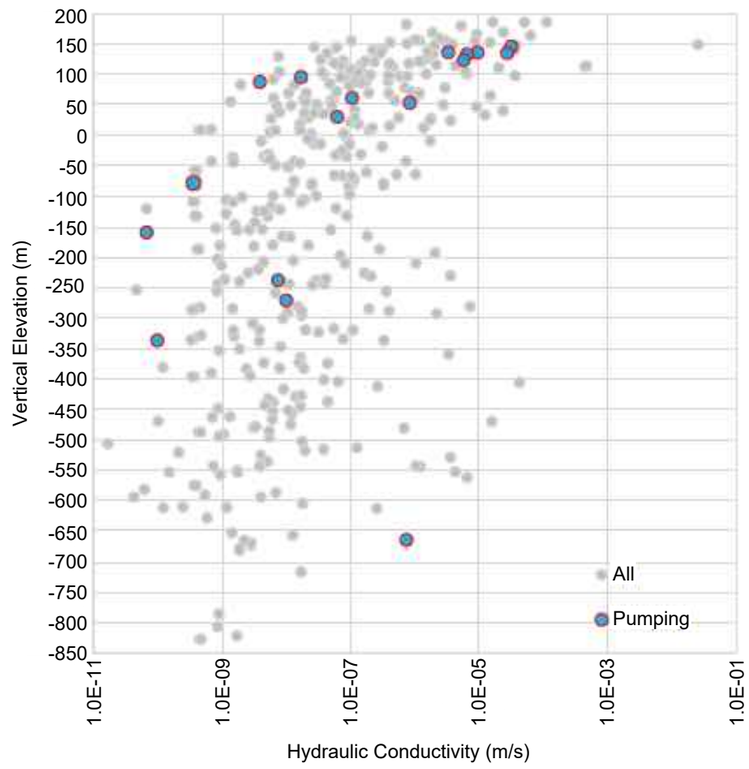
CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-8

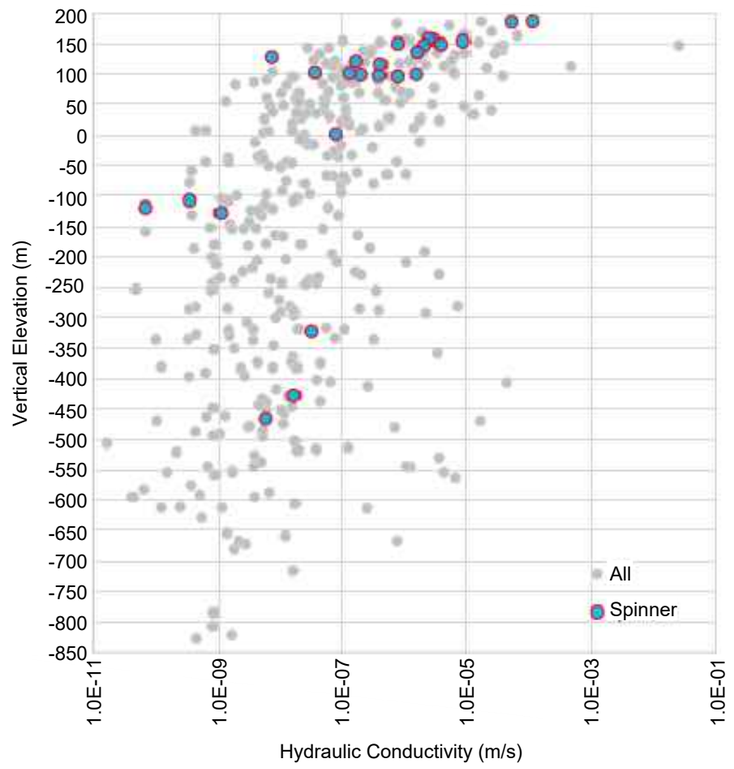
a) Measured Hydraulic Conductivities from Falling Head Tests



b) Measured Hydraulic Conductivities from Pump Tests



c) Measured Hydraulic Conductivities from Spinner Log Tests



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

ITASCA™ Denver, Inc.

Measured Hydraulic Conductivities from Pumping, Spinner Log, and Falling Head Tests versus Packer Tests

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-9

0 to 135 mamsl

0 to -100 mamsl

1E-008
1E-007
1E-006
1E-005

Legend

- Hydrologic Study Area
- Mine-Workings Extent
- Packer Testing Location
- Decline Extent

K Value Range (m/s)

- <1.0E-08
- 1.0E-08 to 1.0E-07
- 1.0E-07 to 1.0E-06
- 1.0E-06 to 1.0E-05
- >1.0E-05

N

0 490 980 Meters

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	EHC_1
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Feb. 10, 2023

ITASCA™ Denver, Inc.

Interpolated Hydraulic Conductivities from Packer Tests at Elevation Ranges of 135 to 0 mamsl and 0 to -100 mamsl

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-10

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\EHC_1.mxd

-100 to -200 mamsl

-200 to -300 mamsl

1E-008
1E-006
1E-007
1E-008

Legend

- Hydrologic Study Area
- Mine-Workings Extent
- Packer Testing Location
- Decline Extent

K Value Range (m/s)

- <1.0E-08
- 1.0E-08 to 1.0E-07
- 1.0E-07 to 1.0E-06
- 1.0E-06 to 1.0E-05

N

0 490 980 Meters

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.

Interpolated Hydraulic Conductivities from Packer Tests at Elevation Ranges of -100 to -200 mamsl and -200 to -300 mamsl

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-11

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

-300 to -400 mamsl

-400 to -500 mamsl

1E-006

1E-007

1E-005

1E-008

1E-007

Legend

- Packer Testing Location
- Decline Extent
- Mine-Workings Extent
- Hydrologic Study Area

K Value Range (m/s) L

- <1E-008
- 1E-008 to 1E-007
- 1E-007 to 1E-006
- 1E-006 to 1E-005
- >1E-005

N

0 490 980 Meters

PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	NP
DRAWING NAME	EHC_3
DRAWING DATE	Apr. 25, 2022
REVISION DATE	Feb. 10, 2023

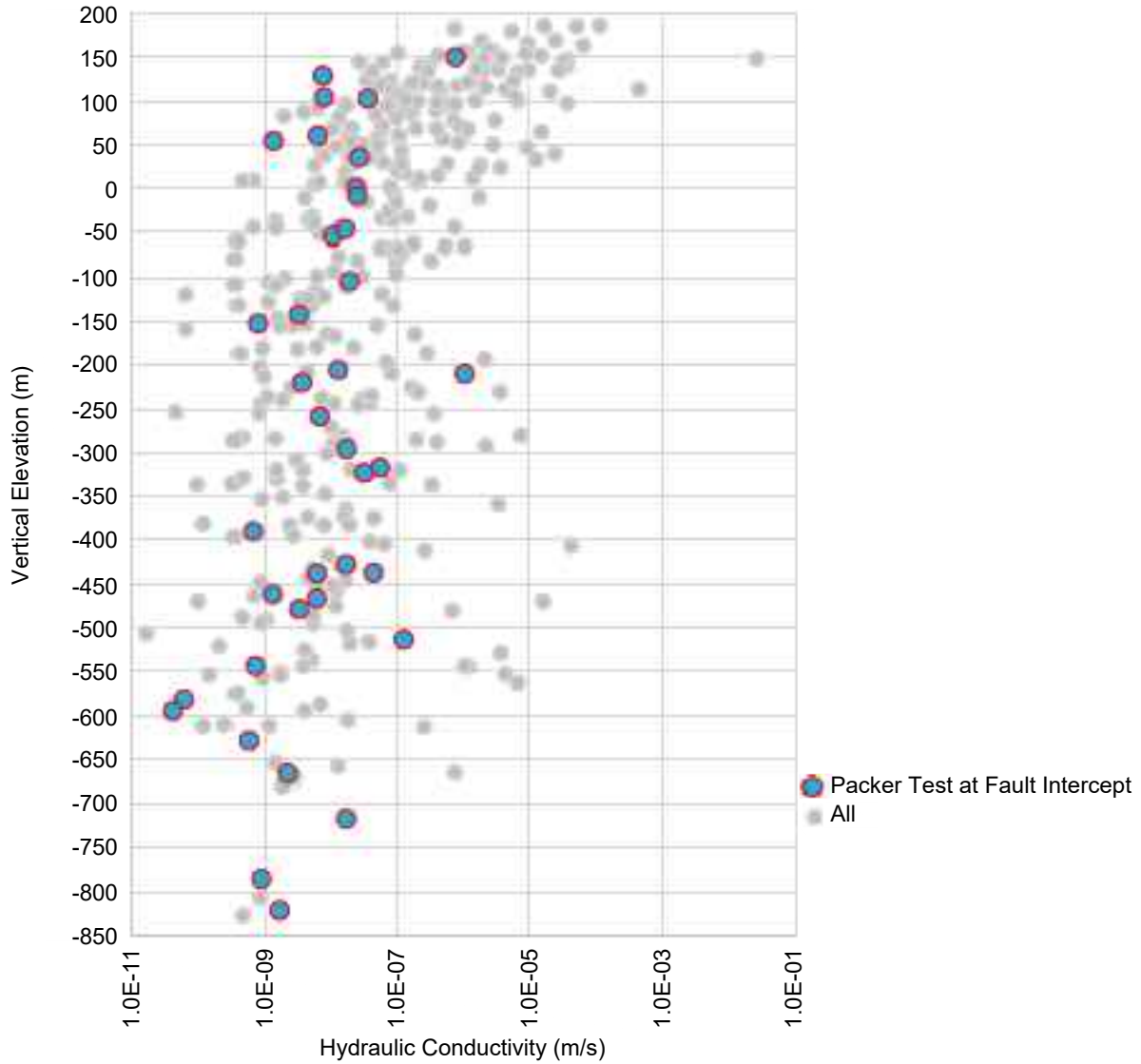
ITASCA™ Denver, Inc.

Interpolated Hydraulic Conductivities from Packer Tests at Elevation Ranges of -300 to -400 mamsl and -400 to -500 mamsl

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-12

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\EHC_3.mxd



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

ITASCA™ Denver, Inc.

Measured Hydraulic Conductivities of Faults from Packer Tests

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-13

Legend

Meteorological Stream Monitoring Locations

- Discharge
- Discharge and Stage
- Frost
- Meteorological
- Pan Evaporation
- Soil Moisture
- Stage
- Decline Extent
- Mine-Workings Extent
- Hydrologic Study Area

N

0 1,250 2,500 Meters

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

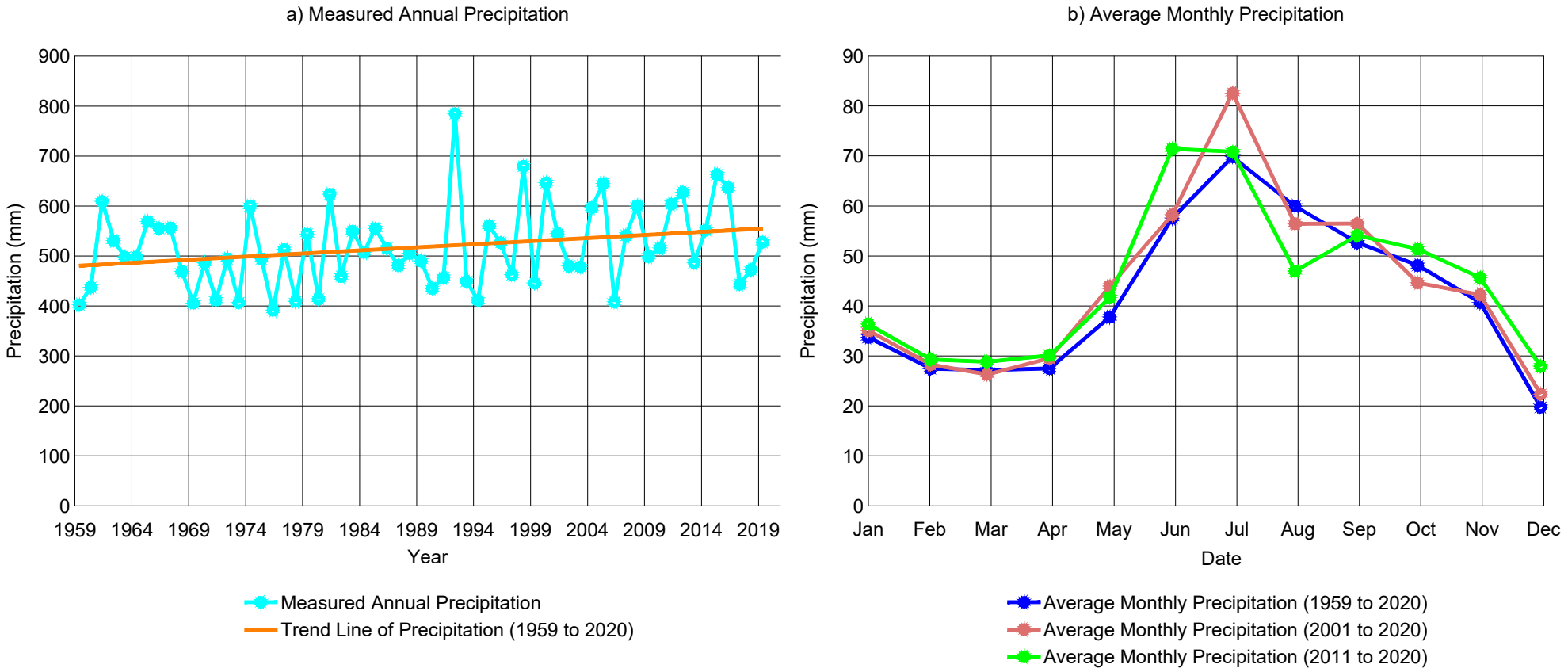
ITASCA™ Denver, Inc.

Meteorological Monitoring Locations Used by the Project Site

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-14

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



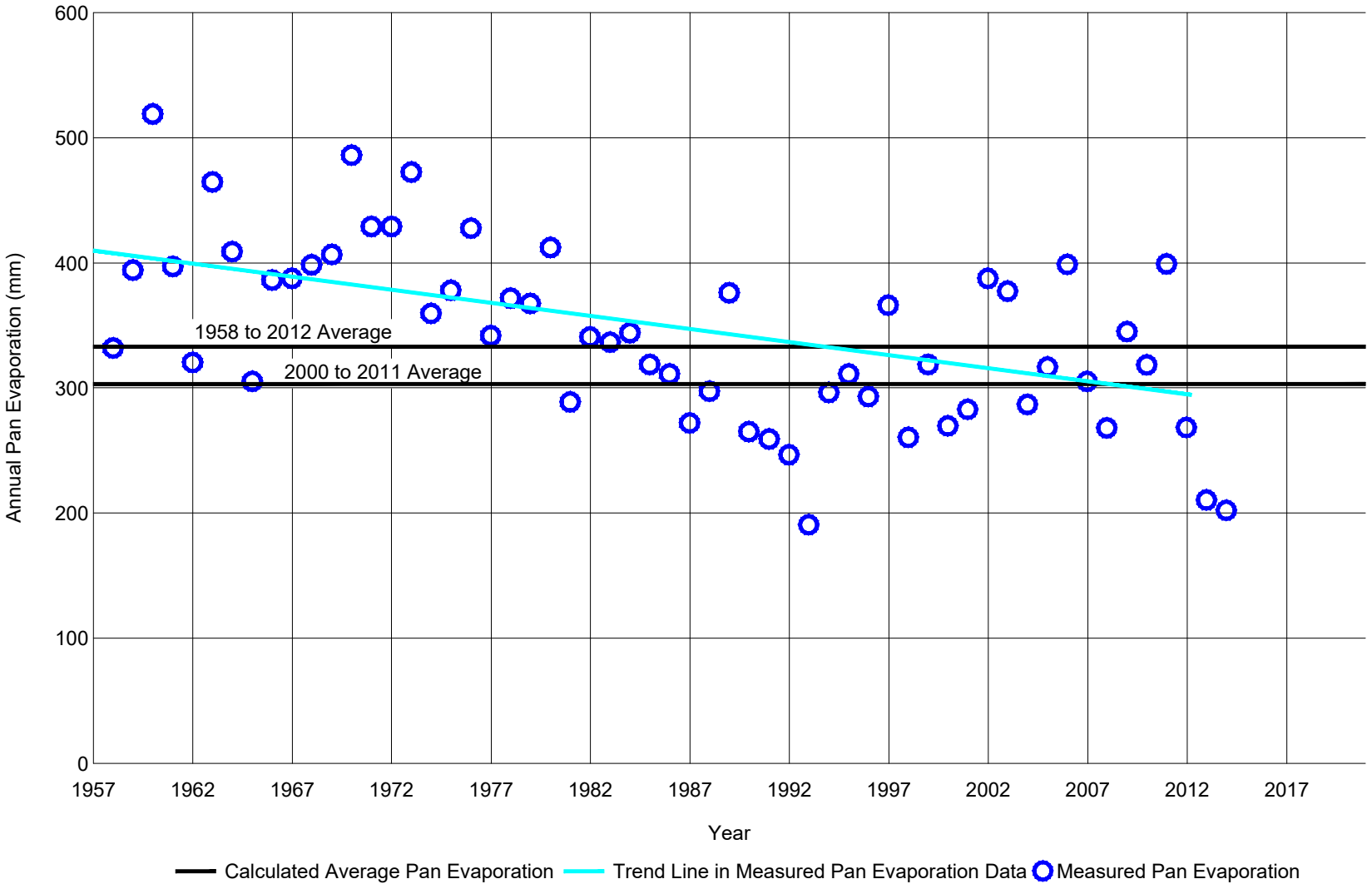
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRECIP
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Measured Annual and Monthly Precipitation at the Sodankylä Tähtelä Station

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-15



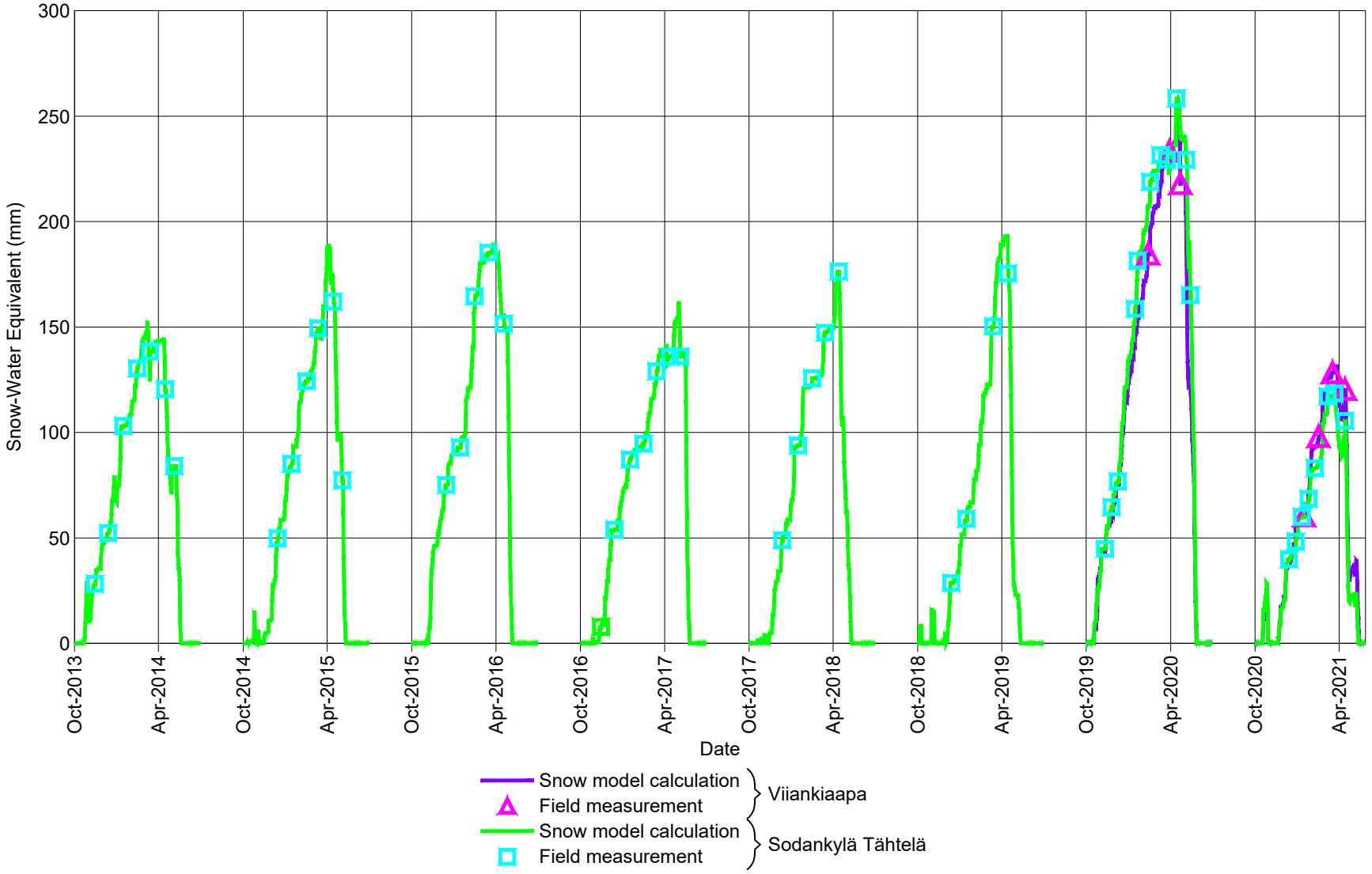
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PAN
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

Measured Pan Evaporation Rate at the Sodankylä Tähtelä Station

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-16



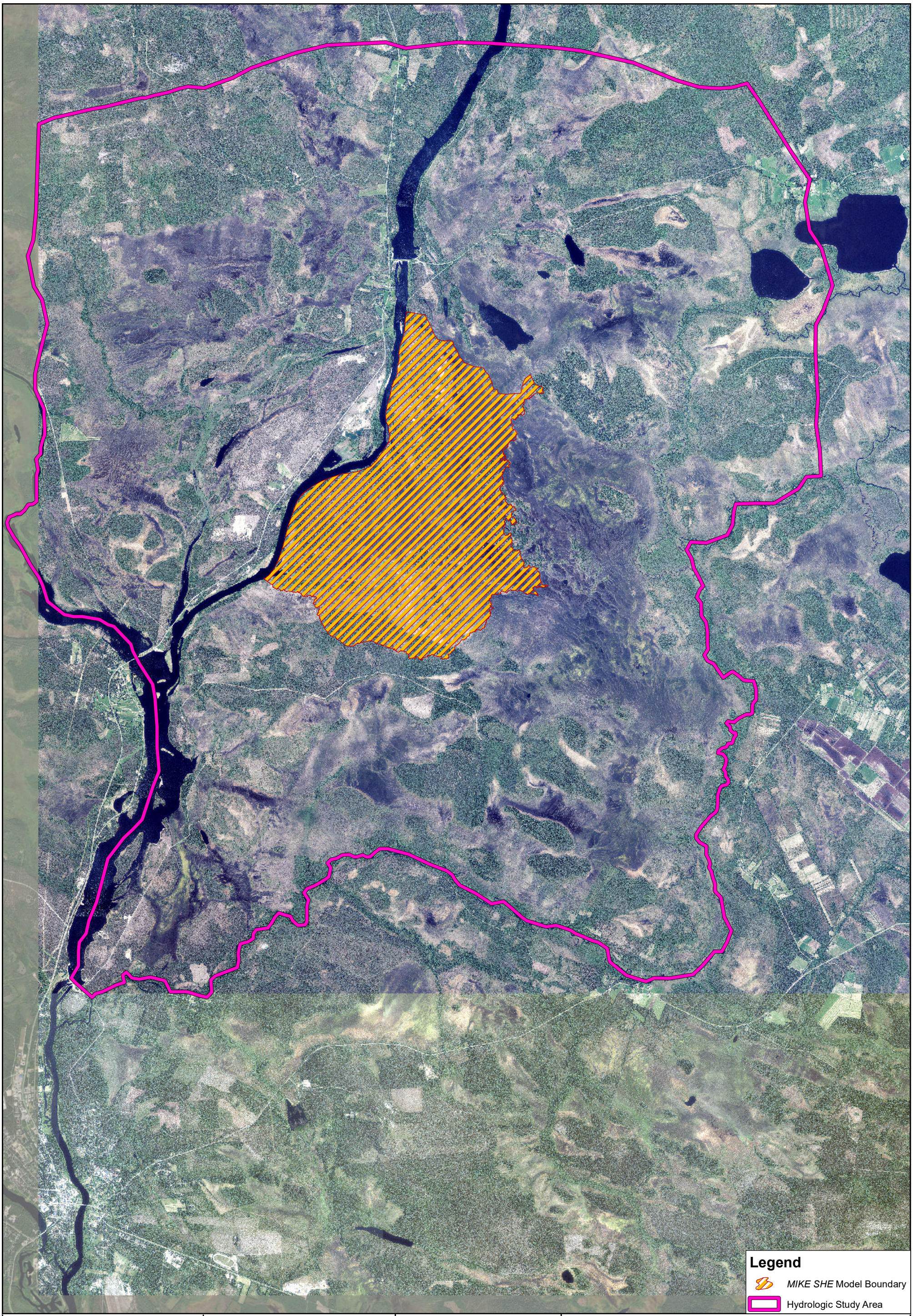
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SNOW
DRAWING DATE	15 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

Measured and Calculated Snow Water-Equivalent Depths

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-17



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

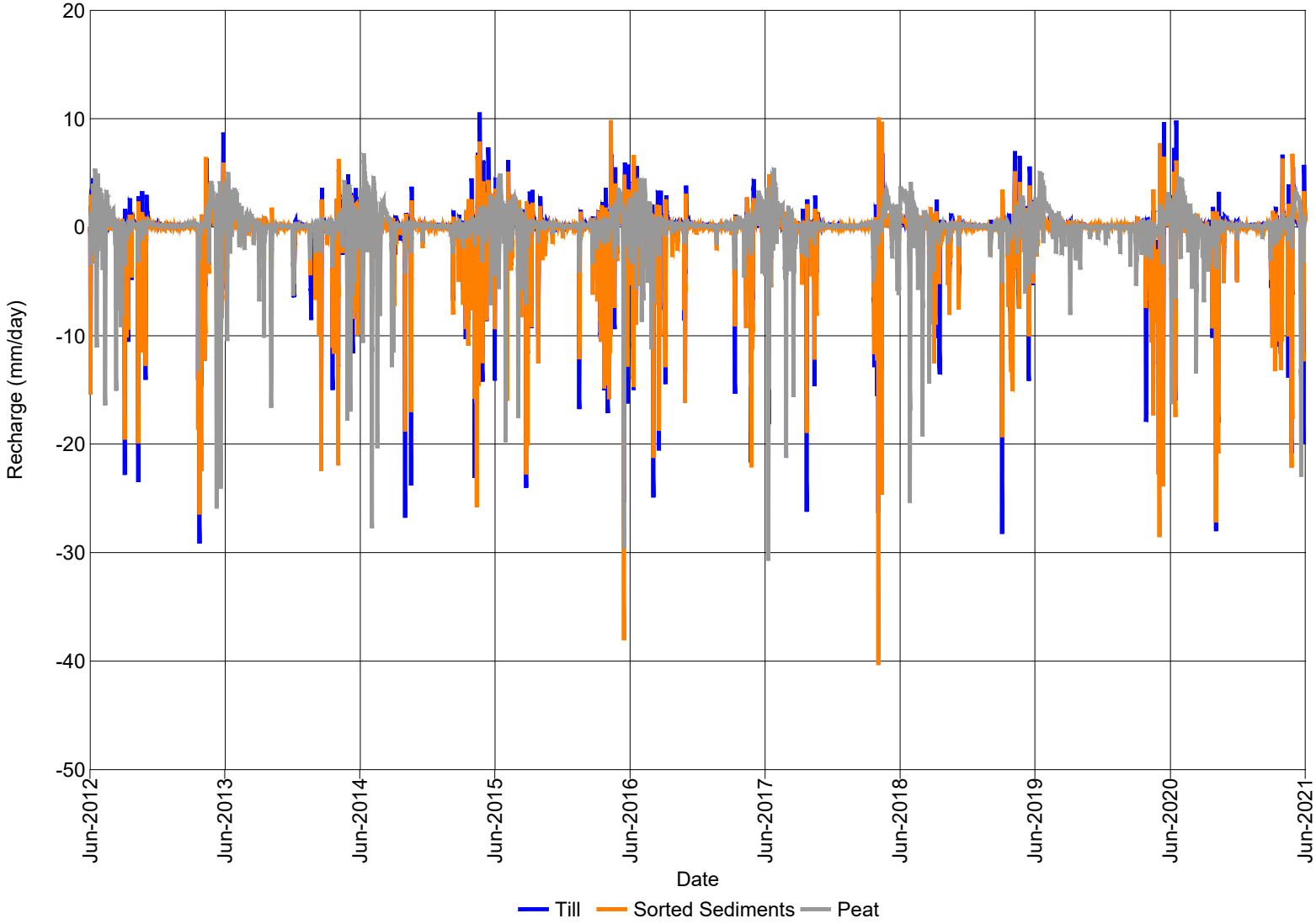
ITASCA™ Denver, Inc.

MIKE SHE and Hydrologic Study Area Boundaries

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-18

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



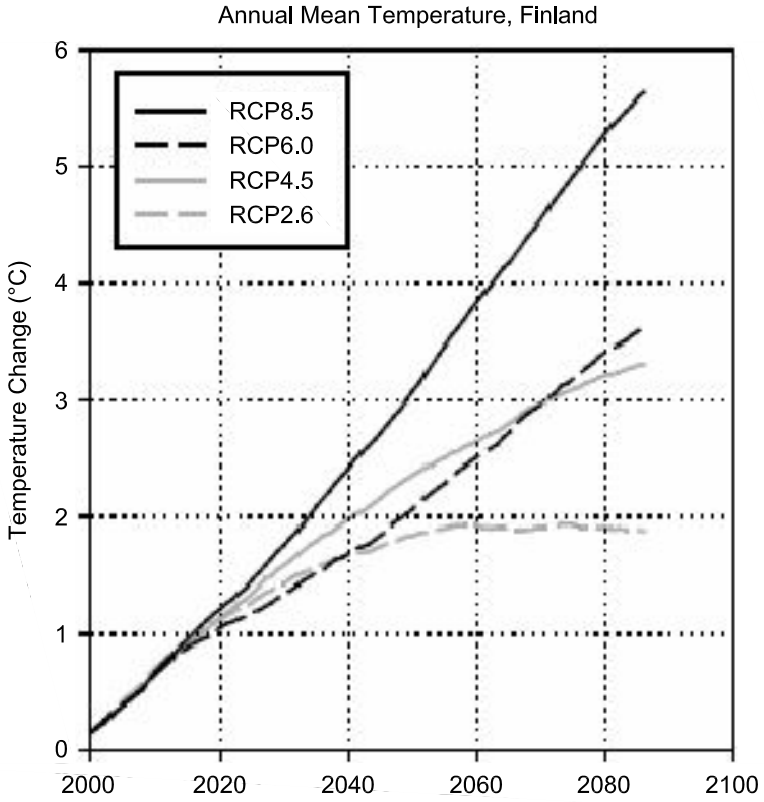
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECHARGE
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022

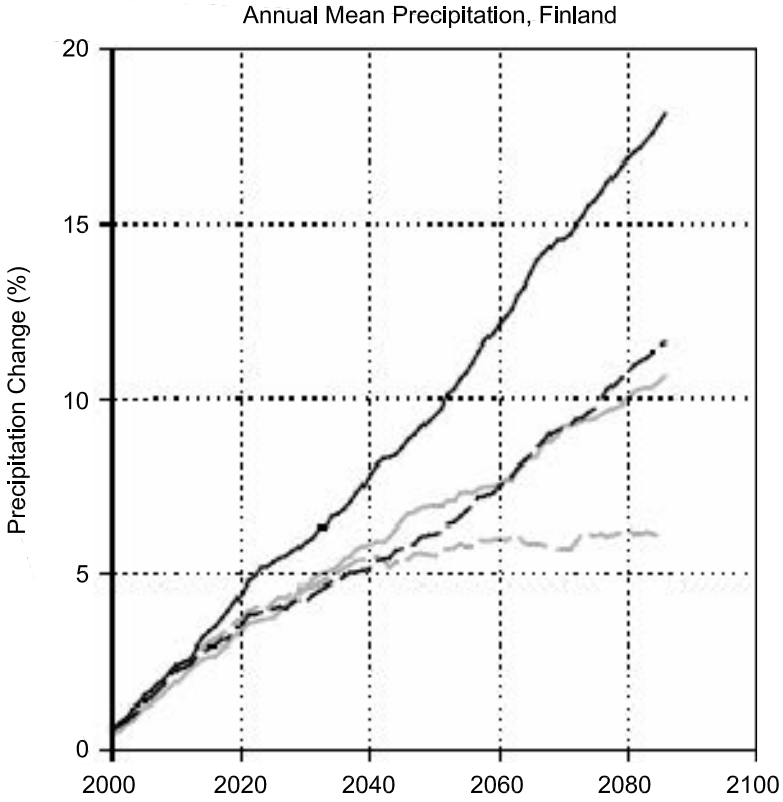
ITASCA™ Denver, Inc.

Estimated Recharge Rates from the *MIKE SHE* Model

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-19





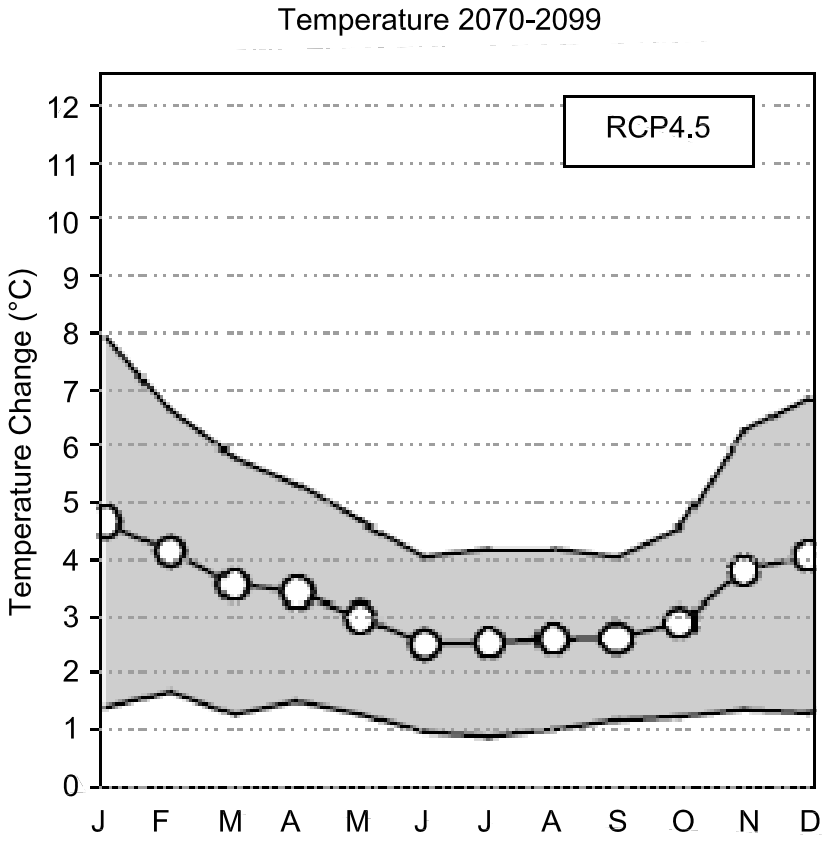
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	FUTURE
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	

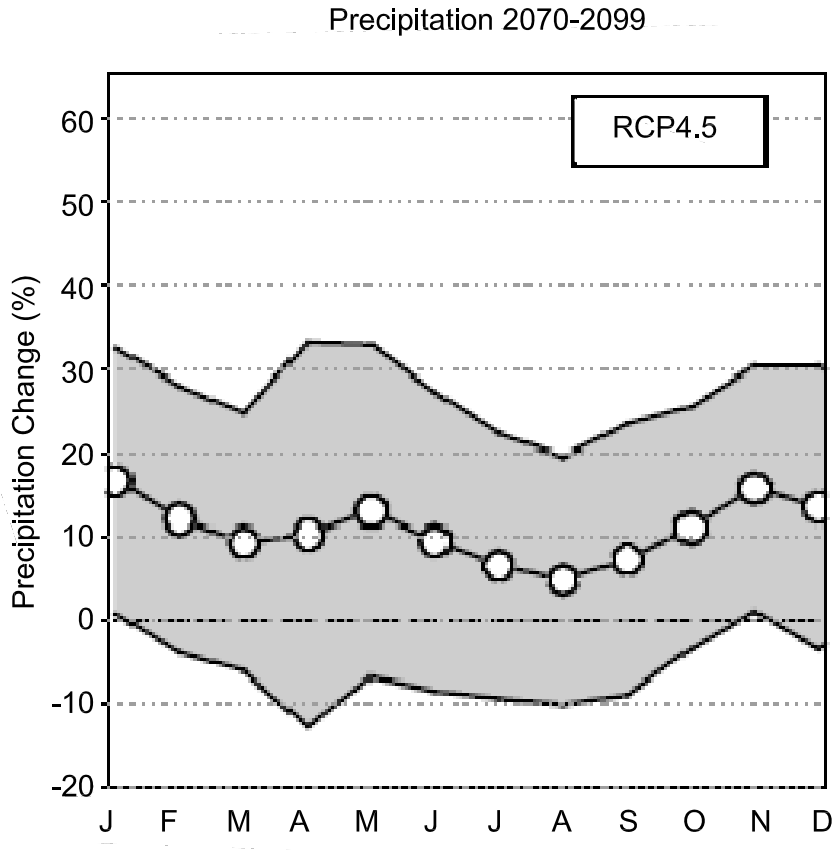
ITASCA™ Denver, Inc.

Future Temperature and Precipitation in Finland under Various Greenhouse Gas Scenarios

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-20





Source: Ruosteenoja et al. 2016

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

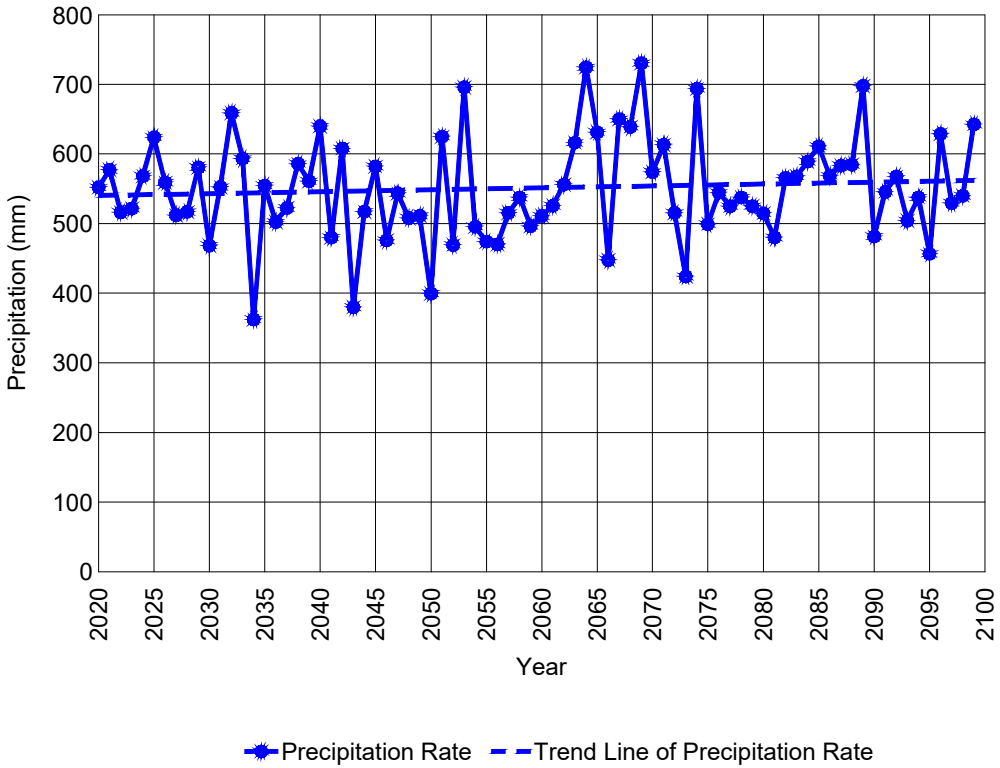
ITASCA™ Denver, Inc.

Future Average Monthly Temperature and Precipitation for the Greenhouse Gas Case RCP4.5 for 2070 to 2099

CLIENT: Sakatti Mine

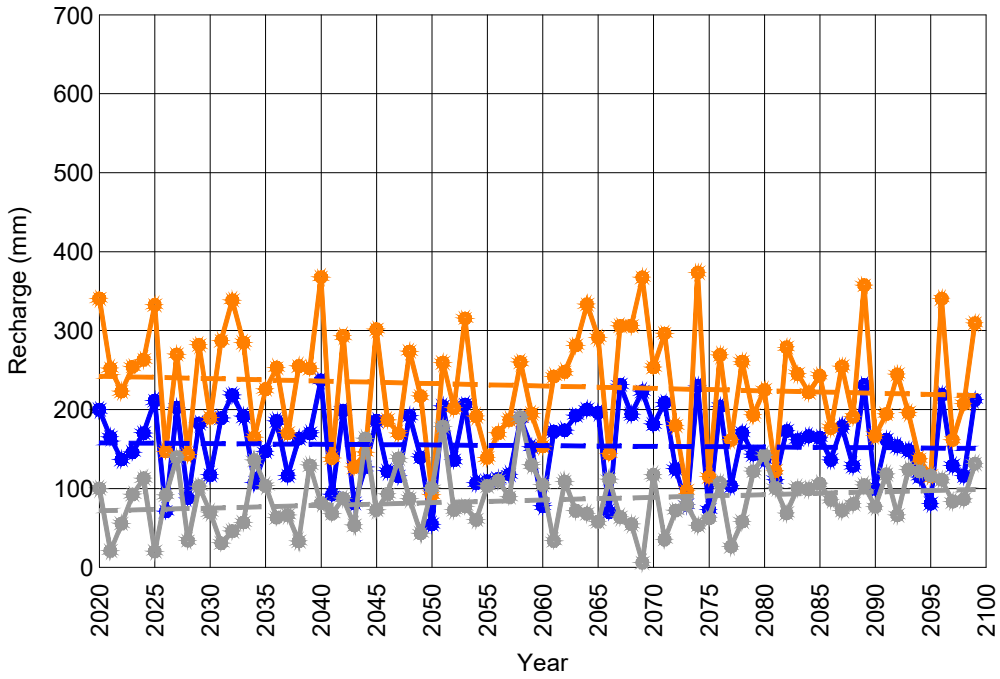
FIGURE NO. 3-21

a) Estimated Future Annual Precipitation Rates



Precipitation Rate Trend Line of Precipitation Rate

b) Future Applied Annual Recharge Rates



Annual Recharge Rate

Till Sorted Sediments Peat

Linear Trend Line of Recharge Rate

Till Sorted Sediments Peat

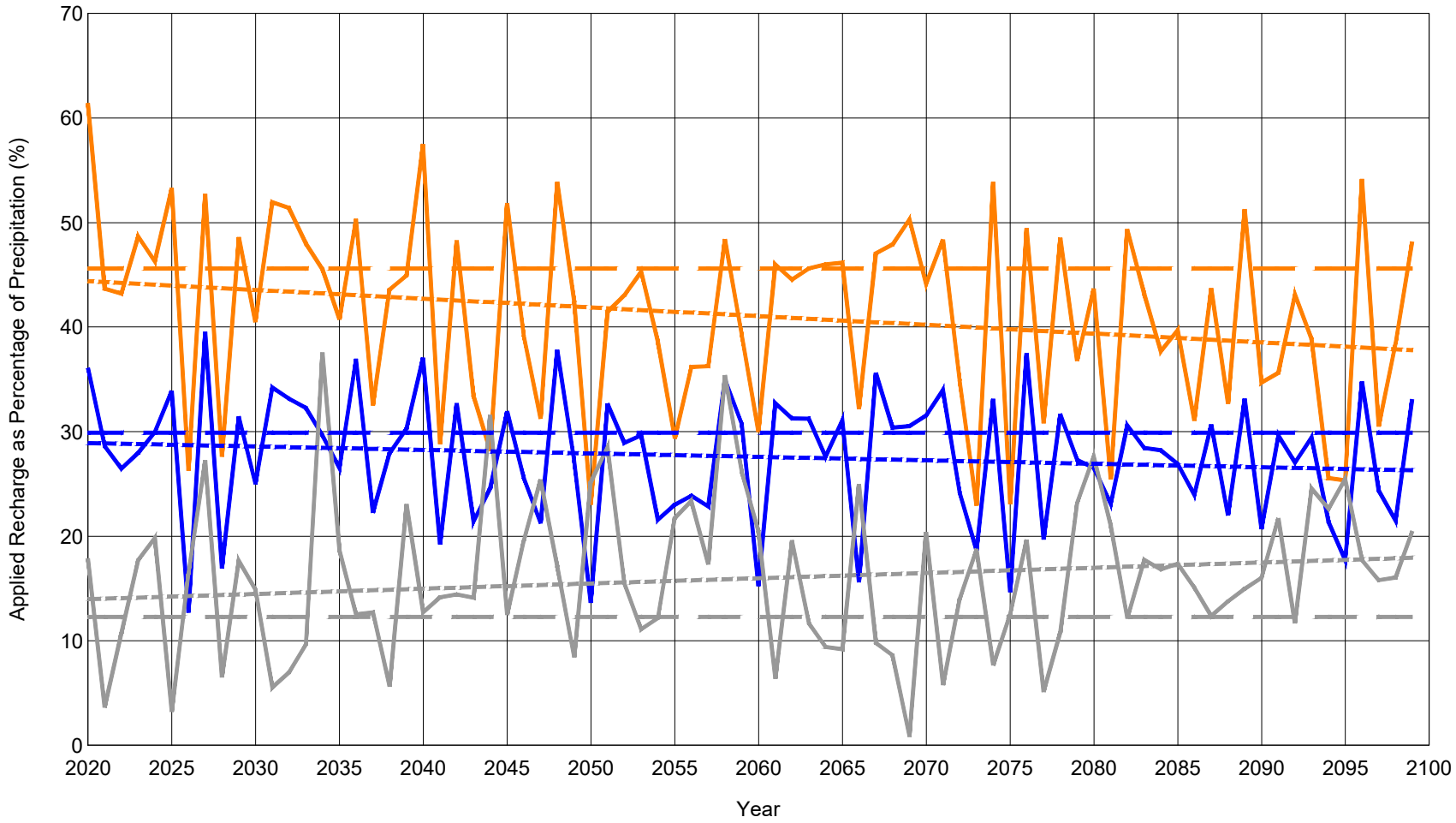
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	ANNUAL
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

Estimated Future Annual Precipitation and Recharge Rates

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-22



Future Recharge Rate — Till, Sorted Sediments, Peat

Current Average Recharge Rate (2012 through 2021) — Till, Sorted Sediments, Peat

Linear Trend Line of Future Recharge Rate — Till, Sorted Sediments, Peat

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

ITASCA™ Denver, Inc.

Future Applied Recharge Rates as a Percentage of Annual Precipitation

CLIENT: Sakatti Mine

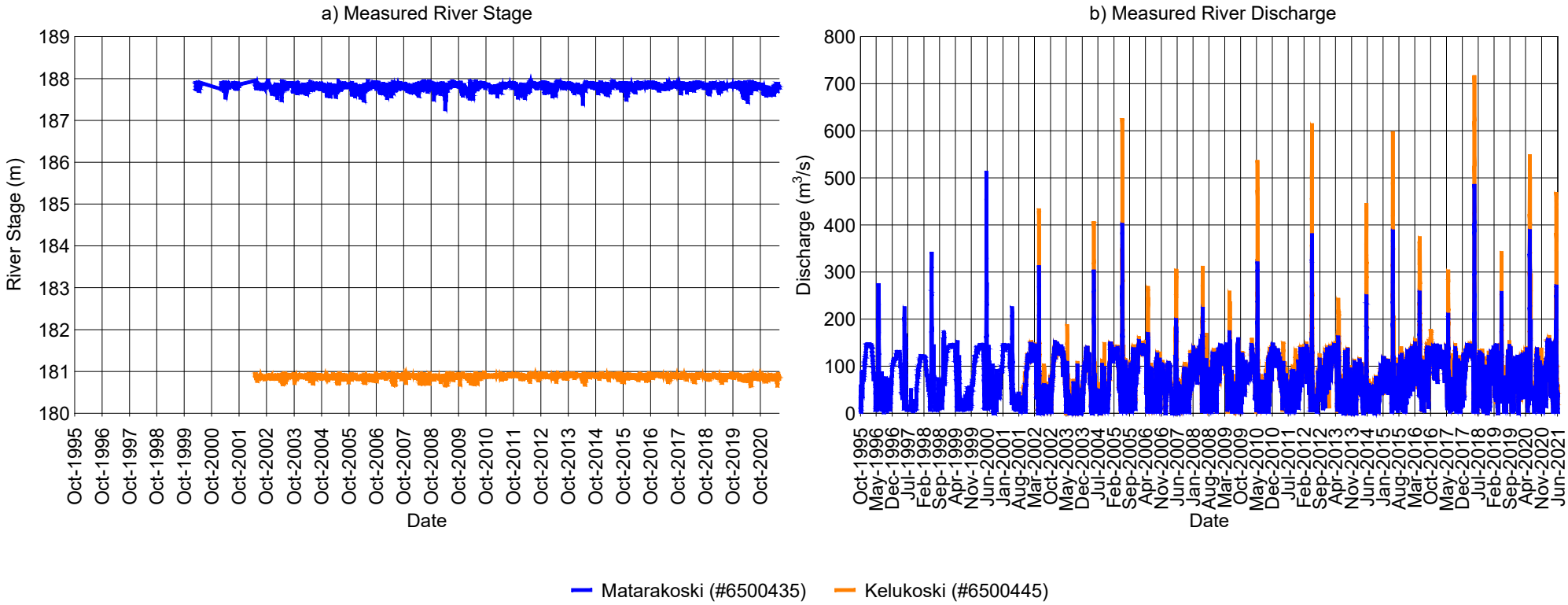
FIGURE NO. 3-23

Hiivanahaara

Yli Jokivesi

Yli Jokivesi

Yli Jokivesi



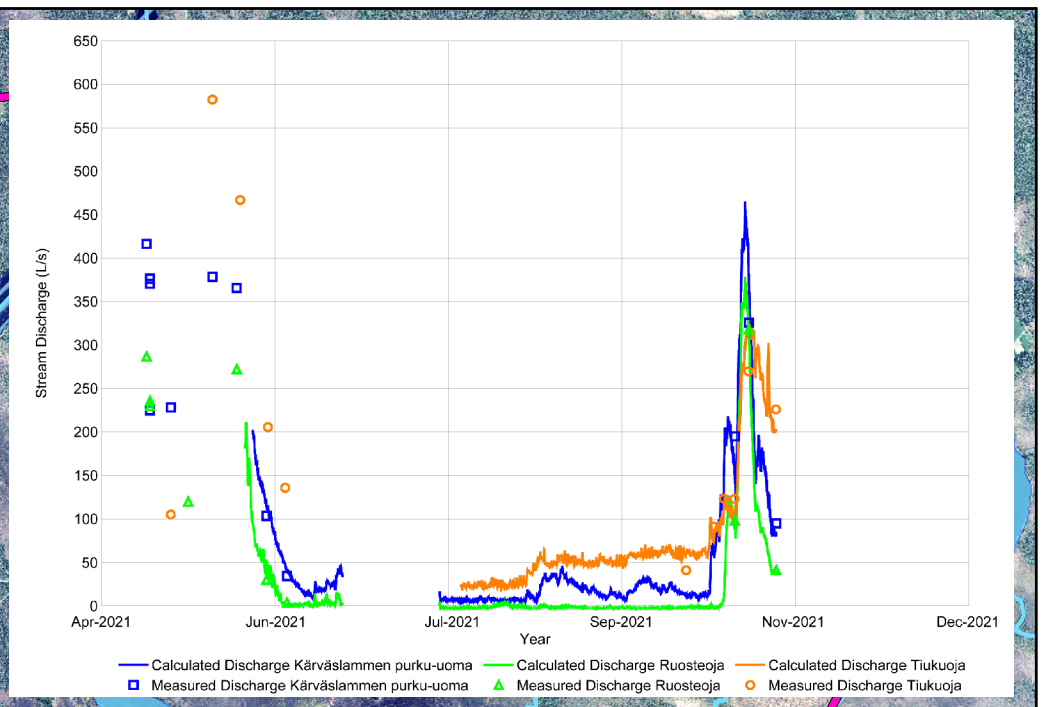
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RIVER
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Measured River Stages and Discharge Rates from Dams along the Kitinen River

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-25



Tiukuoja

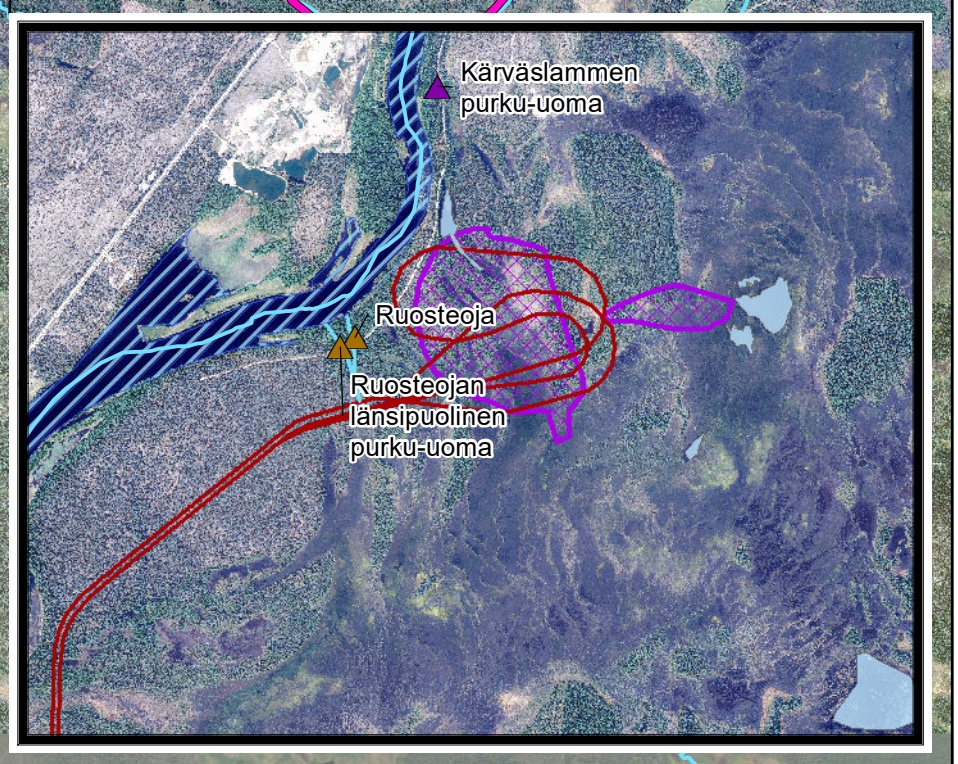
Matarakoski

Kärväslammen purku-uoma

Ruosteoja

Sakattioja

Kelukoski



Legend

- Hydrologic Study Area
- River
- Kitinen River
- Lakes
- Ponds
- Decline Extent
- Mine-Workings Extent

Meteorological Stream Monitoring Locations

- Discharge
- Discharge and Stage

N

0 1,250 2,500 Meters

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

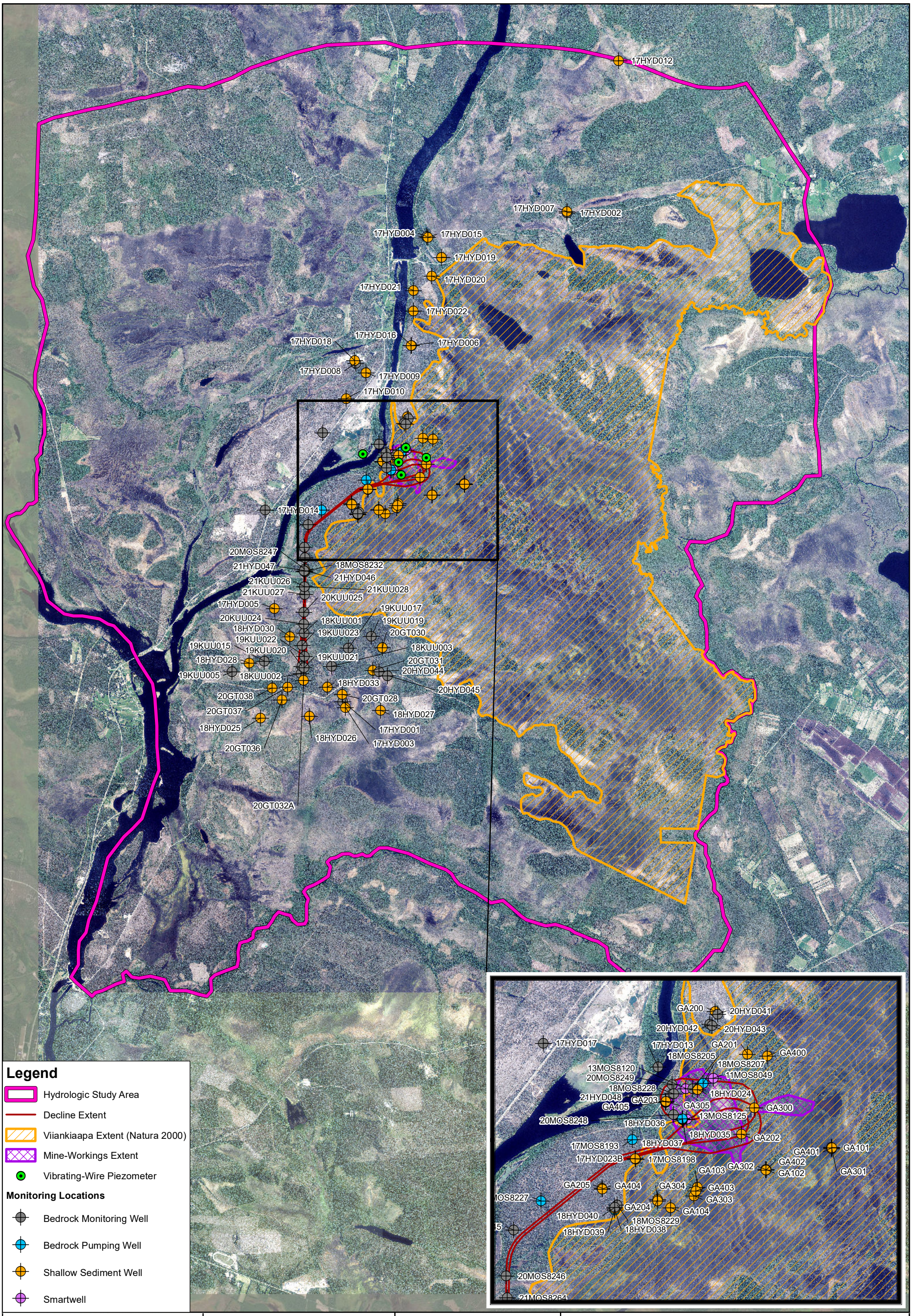
ITASCA™ Denver, Inc.

Measured and Calculated Streamflow Discharge Rates from the Mine Area

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-26

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



Legend

- Hydrologic Study Area
- Decline Extent
- Viiankiaapa Extent (Natura 2000)
- Mine-Workings Extent
- Vibrating-Wire Piezometer

Monitoring Locations

- Bedrock Monitoring Well
- Bedrock Pumping Well
- Shallow Sediment Well
- Smartwell

N

0 1,250 2,500 Meters

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

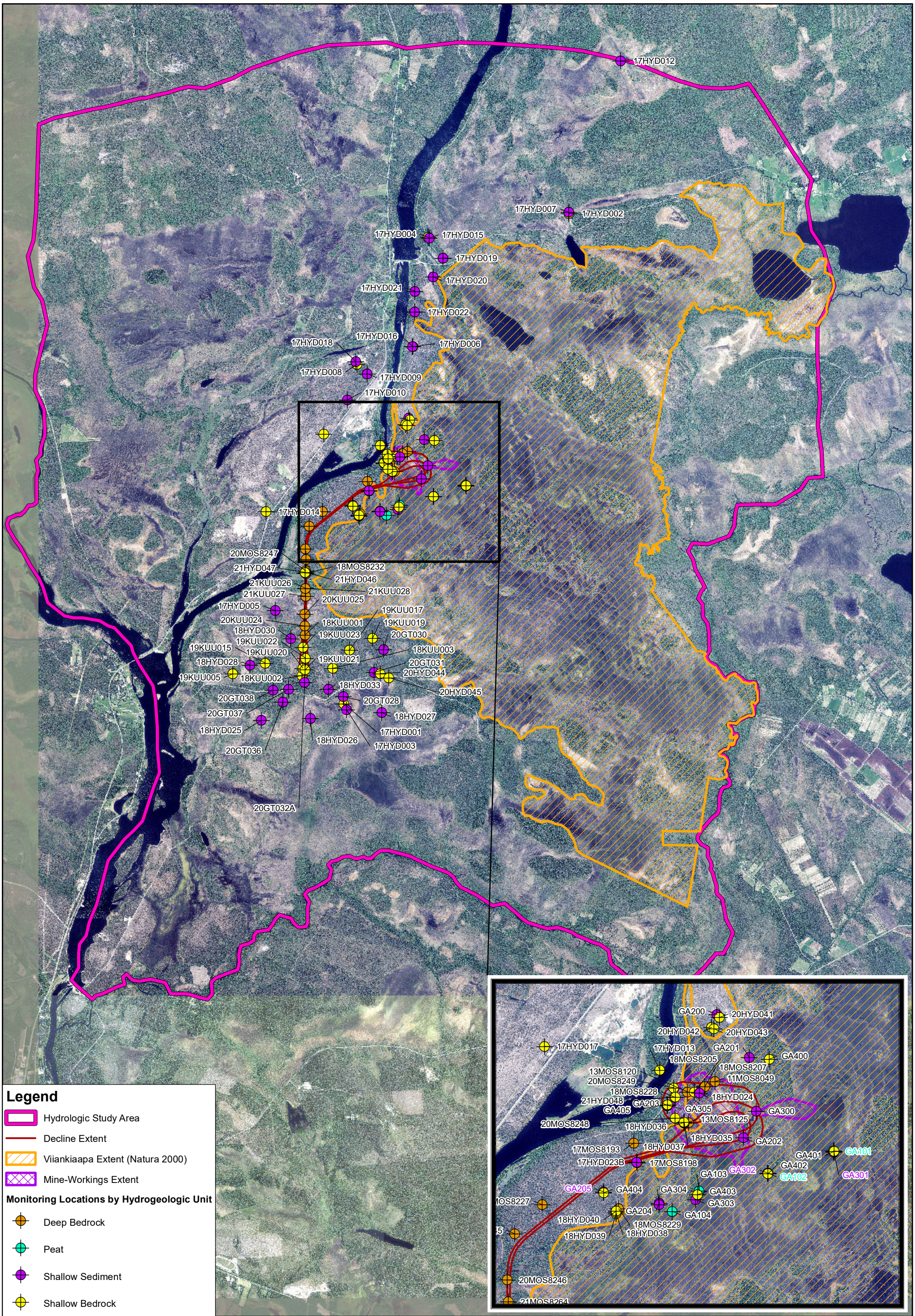
ITASCA™ Denver, Inc.

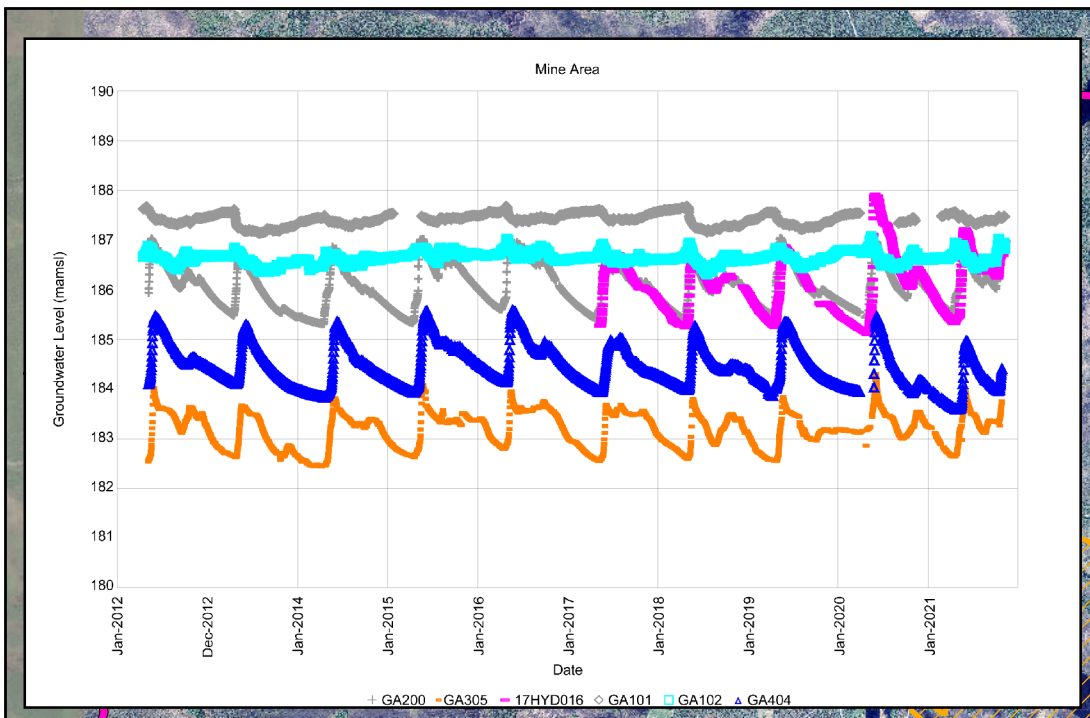
Monitoring Locations in the Hydrologic Study Area

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-27

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


17HYD012
17HYD007
17HYD002
17HYD004
17HYD015
17HYD019
17HYD020
17HYD021
17HYD022
17HYD018
17HYD016
17HYD006
17HYD008
17HYD009
17HYD010
17HYD014
20MOS8247
21HYD047
18MOS8232
21HYD046
21KUU026
21KUU027
21KUU028
20KUU025
17HYD005
19KUU017
20KUU024
18KUU001
19KUU019
18HYD030
19KUU023
20GT030
19KUU022
19KUU015
19KUU020
18KUU003
18HYD028
19KUU021
20GT031
19KUU005
18KUU002
20HYD044
18HYD033
20HYD045
20GT038
20GT028
20GT037
18HYD027
18HYD025
17HYD001
18HYD026
17HYD003
20GT036
20GT032A
GA200
20HYD041
20HYD042
20HYD043
17HYD017
17HYD013
GA201
GA400
18MOS8205
18MOS8207
13MOS8120
11MOS8049
20MOS8249
18MOS8228
18HYD024
21HYD048
GA203
GA305
GA300
GA405
13MOS8125
20MOS8248
18HYD036
18HYD035
GA202
17MOS8193
18HYD037
GA401
GA101
17HYD023B
17MOS8198
GA402
GA302
GA103
GA102
GA301
GA205
GA404
GA304
GA403
GA303
GA204
GA104
18HYD040
18MOS8229
18HYD039
18HYD038
20MOS8246
21MOS8264
Legend
Hydrologic Study Area
Decline Extent
Viiankiaapa Extent (Natura 2000)
Mine-Workings Extent
Monitoring Locations by Hydrogeologic Unit
Deep Bedrock
Peat
Shallow Sediment
Shallow Bedrock
N
0
1,250
2,500
Meters
PROJECT NO. 4064
BY SBM
CHECKED HL
DRAWN NP
DRAWING NAME MonLoc_Geo
DRAWING DATE Apr. 25, 2022
REVISION DATE Aug. 19, 2022
ITASCA™
Denver, Inc.
Monitoring Locations by Hydrogeologic Unit
in the Hydrologic Study Area
CLIENT:
Sakatti Mine
FIGURE NO.
3-28
G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working\MonLoc_Geo.mxd



17HYD016

GA200

GA305

GA101

GA102

GA404

Legend

- Hydrologic Study Area
- Decline Extent
- Viiankiaapa Extent (Natura 2000)
- Mine-Workings Extent

Monitoring Locations by Hydrogeologic Unit

- Peat
- Shallow Sediment
- Shallow Bedrock

N

0 1,250 2,500 Meters

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

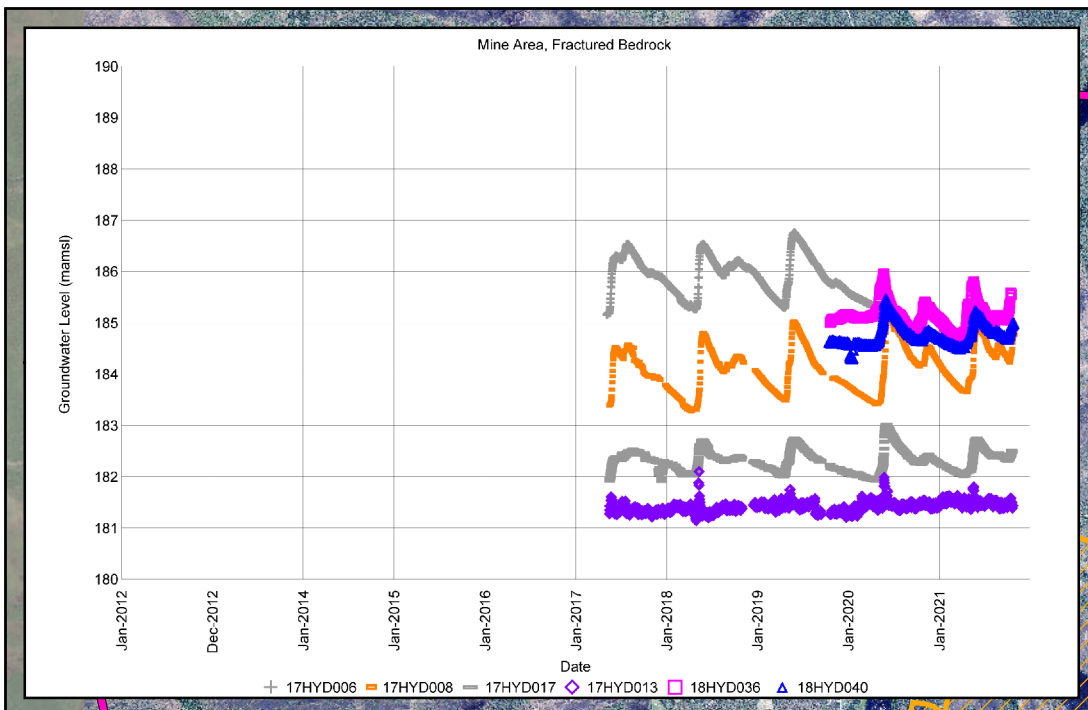
ITASCA™ Denver, Inc.

Measured Groundwater Levels across the Project Site

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-29a

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



17HYD006

17HYD008

17HYD017

17HYD013

18HYD036

18HYD040

Legend

- Hydrologic Study Area
- Decline Extent
- Viiankiaapa Extent (Natura 2000)
- Mine-Workings Extent

Monitoring Locations by Hydrogeologic Unit

- Shallow Bedrock

N

0 1,250 2,500 Meters

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

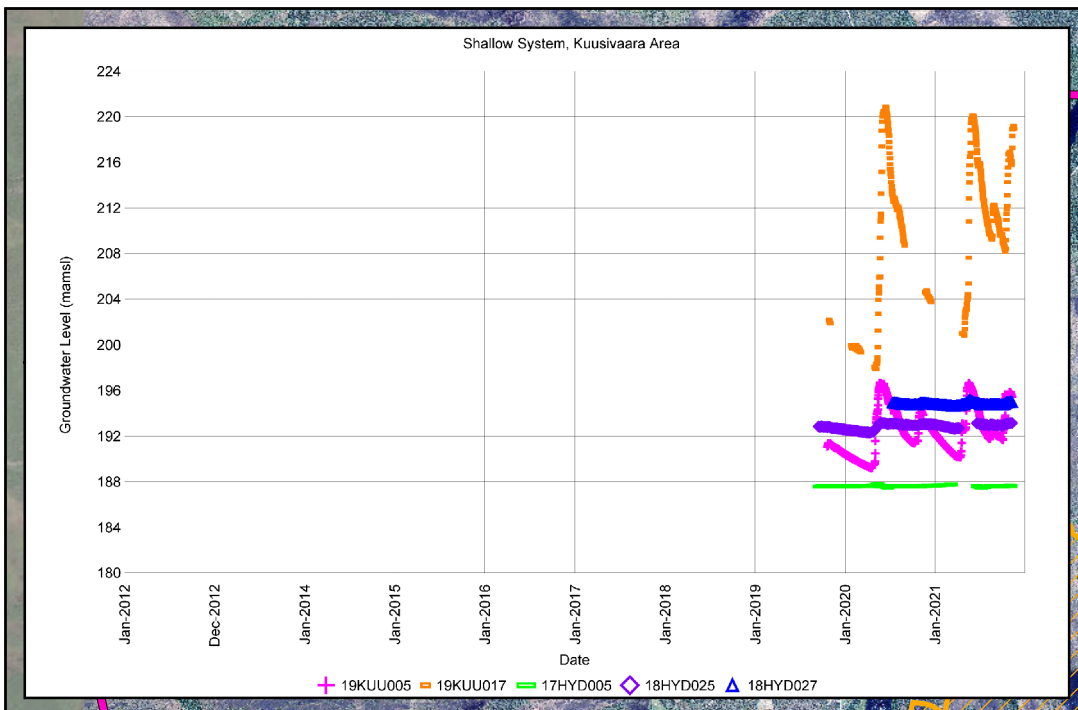
ITASCA™ Denver, Inc.

Measured Groundwater Levels across the Project Site

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-29b

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



17HYD005

19KUU017

19KUU005

18HYD027

18HYD025

Legend

- Hydrologic Study Area
- Decline Extent
- Viiankiaapa Extent (Natura 2000)
- Mine-Workings Extent

Monitoring Locations by Hydrogeologic Unit

- Shallow Sediment
- Shallow Bedrock

N

0 1,250 2,500 Meters

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

ITASCA™ Denver, Inc.

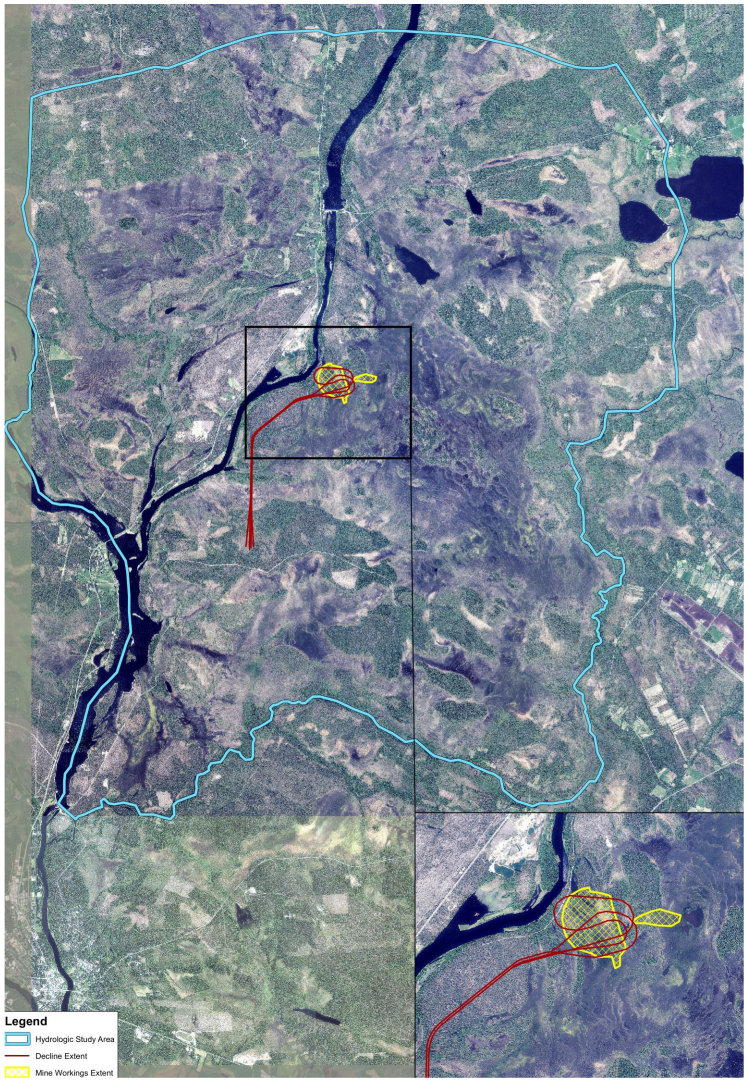
Measured Groundwater Levels across the Project Site

CLIENT: Sakatti Mine

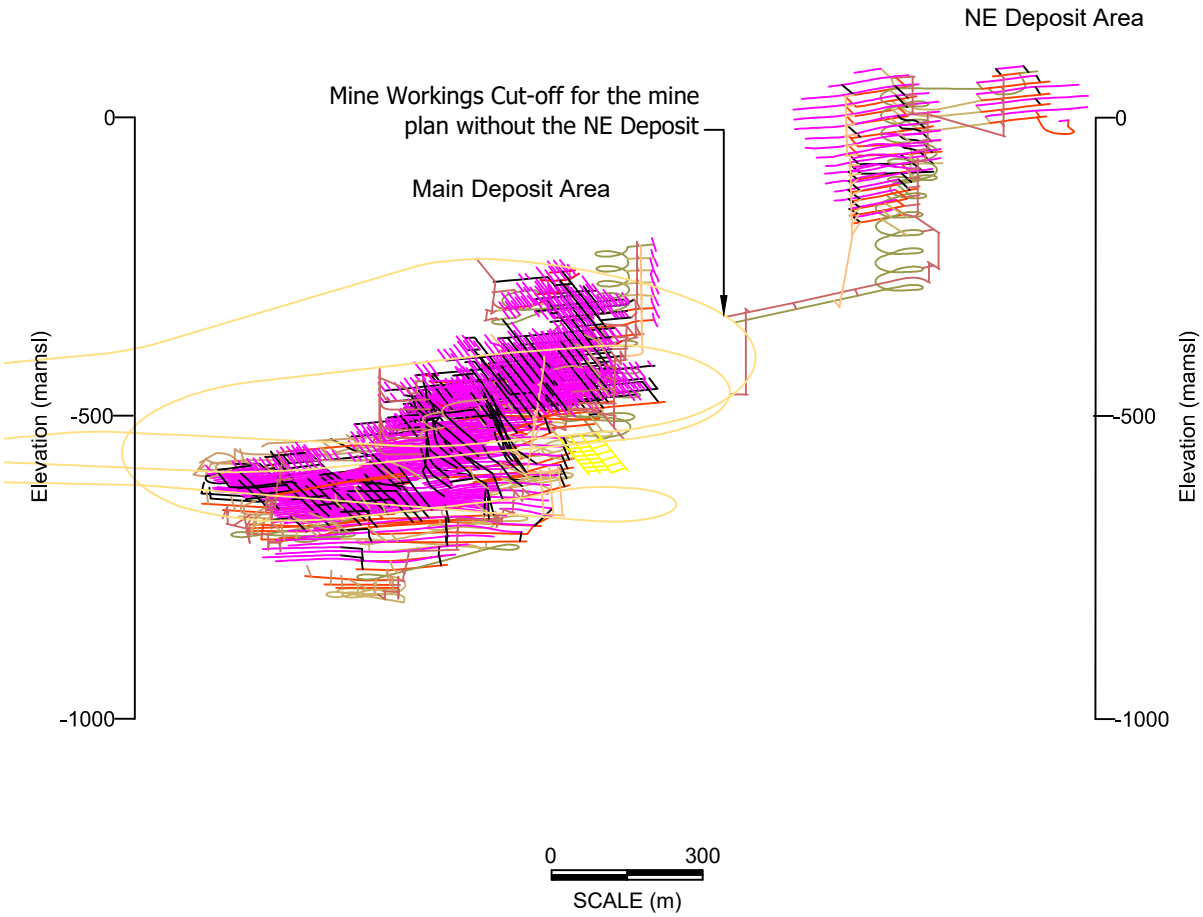
FIGURE NO. 3-29c

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

a) Plan View



b) Access Drift and Mining Zones



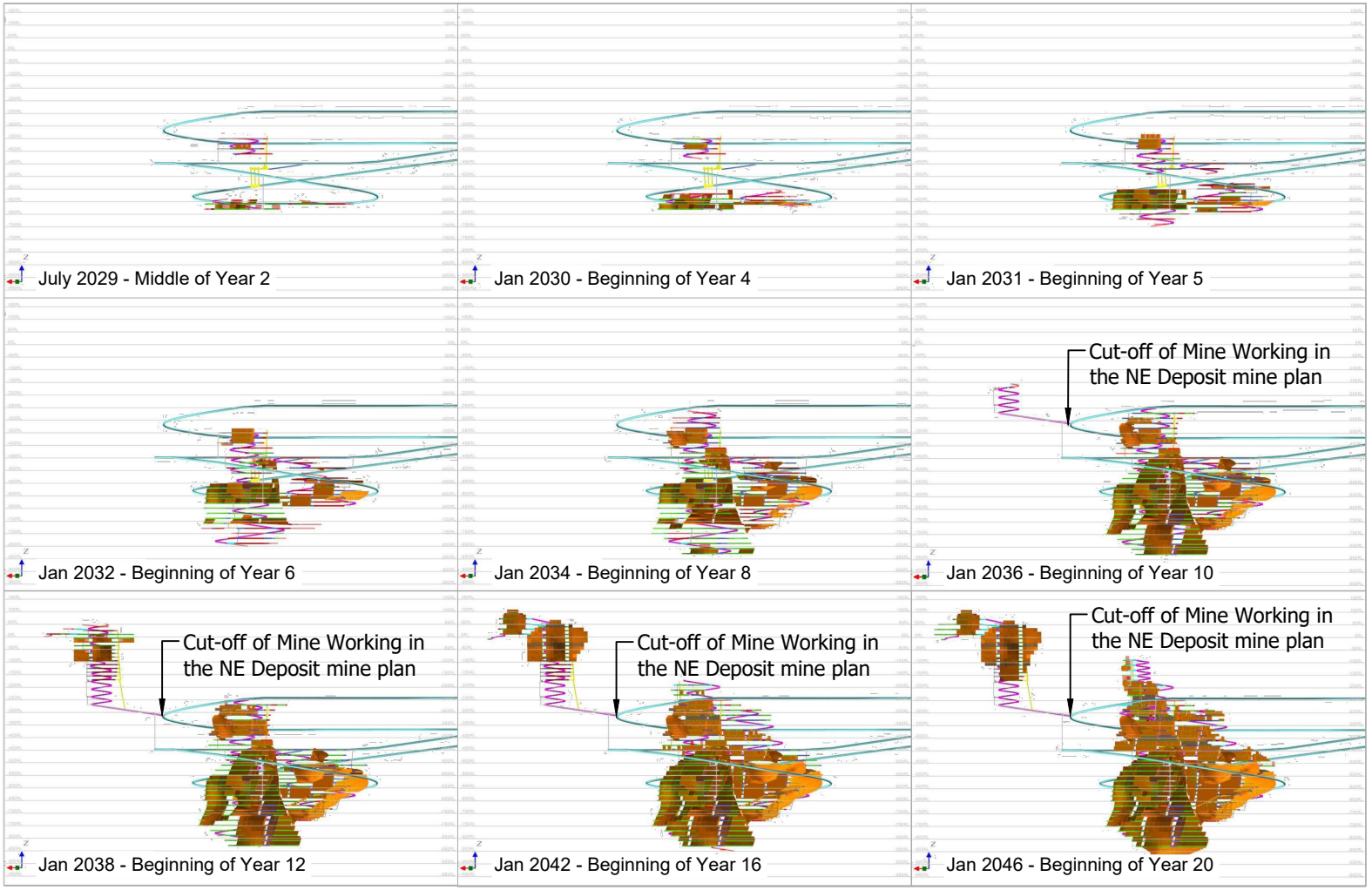
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MINEPLAN
DRAWING DATE	15 FEB 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Future Spatial and Vertical Extent of Decline and Mine Workings

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-30a



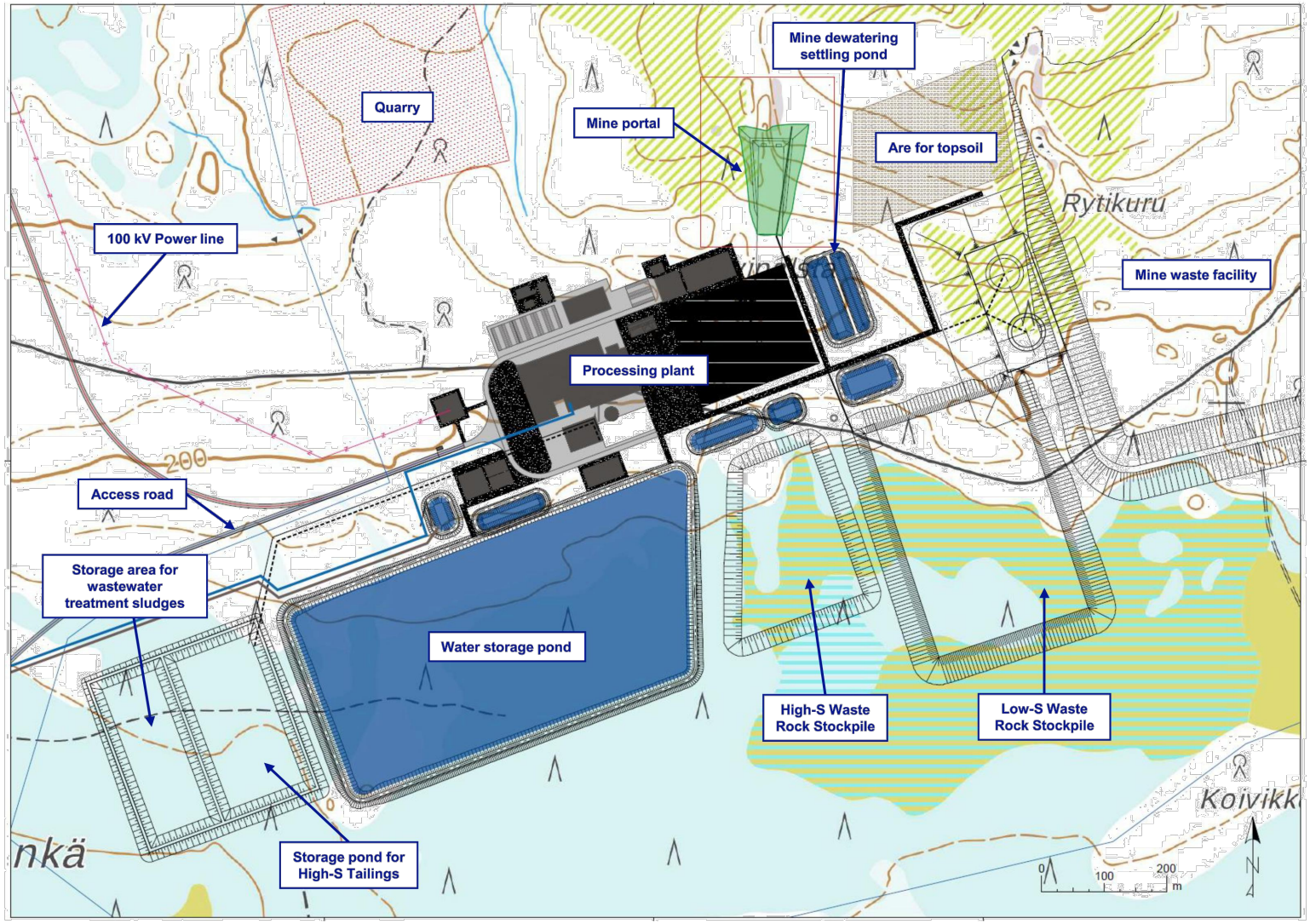
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MINEPLAN
DRAWING DATE	27 OCT 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Progression of Mine Plan over Time

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-30b



SOURCE: SRK

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

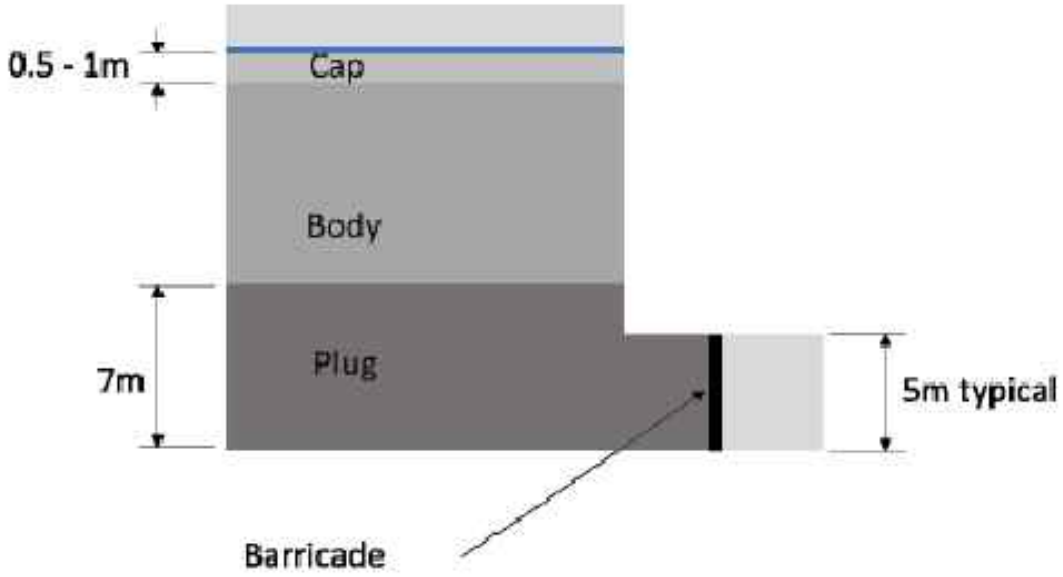
ITASCA™ Denver, Inc.

Surface Locations of Future Mine Infrastructure

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-31

a) Illustration of Backfill Designs by Patterson Cooke (2021)



b) Estimated Hydraulic Conductivities of Backfill

Backfilling Hydraulic Properties	*K* Value (m/s)	S_y
High	1.00E-07	Not Available
Nominal	5.00E-08	
Low	2.00E-08	

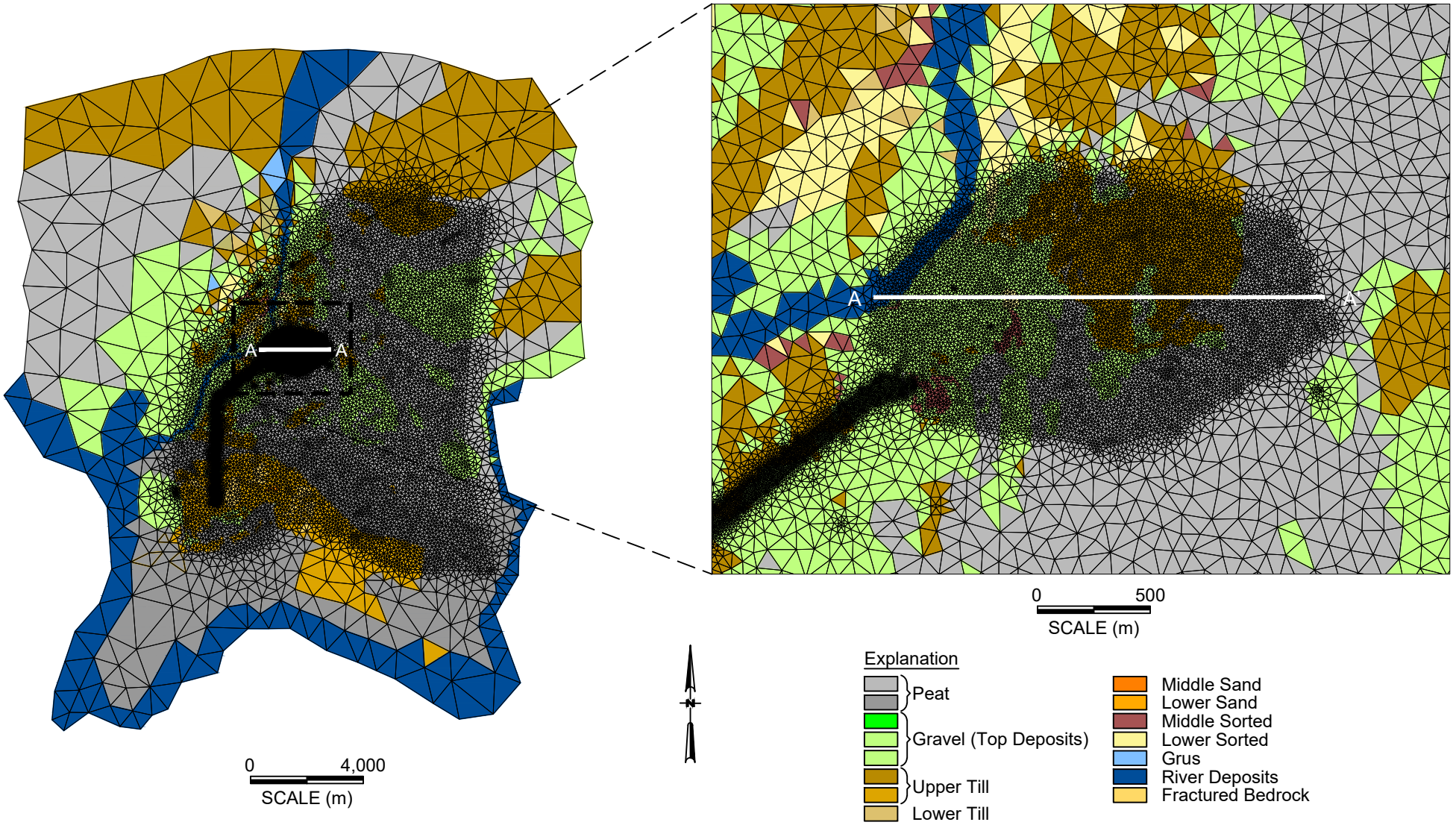
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	BACKFILL
DRAWING DATE	17 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Backfilling Plans and Estimated Hydraulic Conductivities

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 3-32



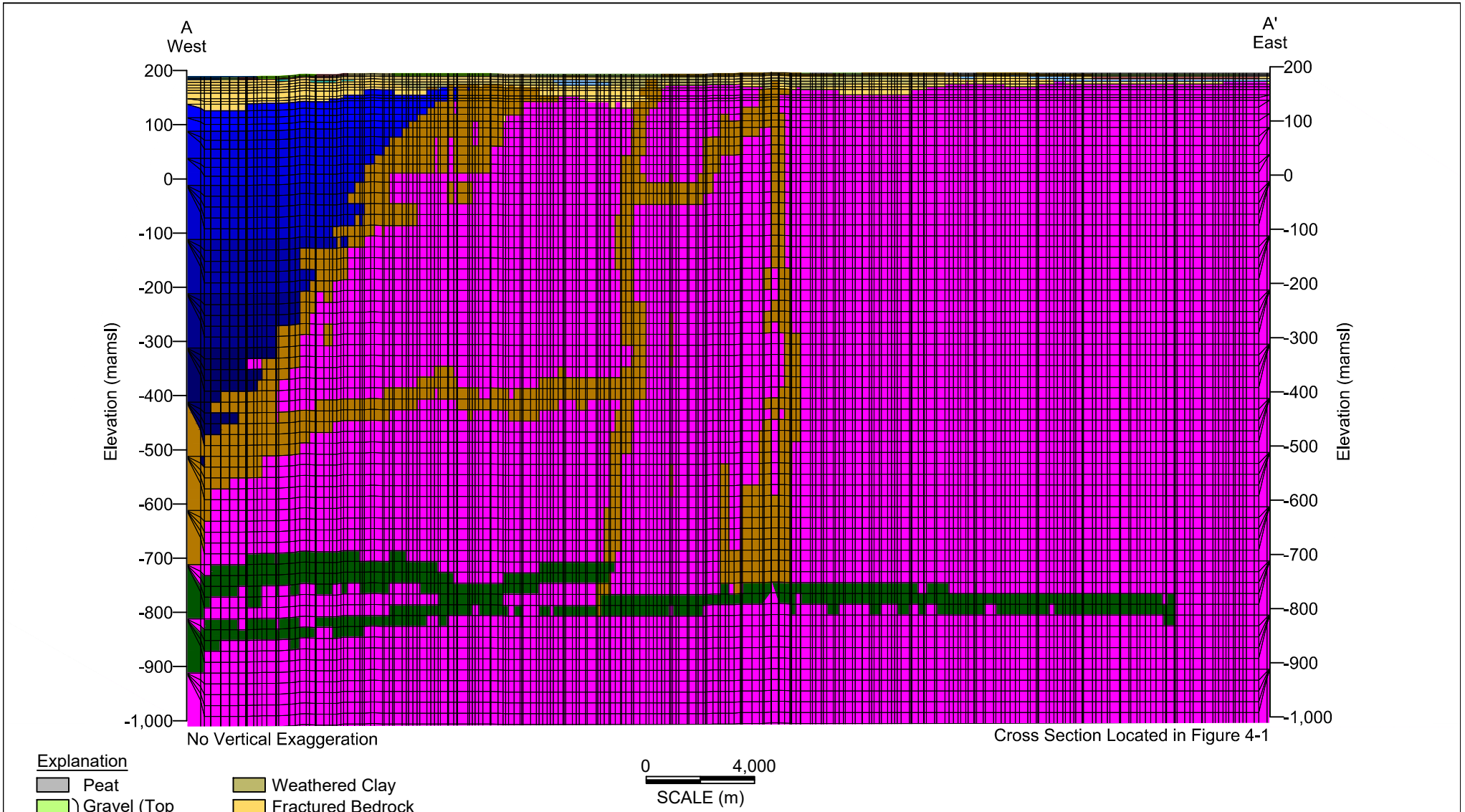
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	MODEL
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

Plan View of Simulated Hydrogeologic Units in Model Layer 1

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-1



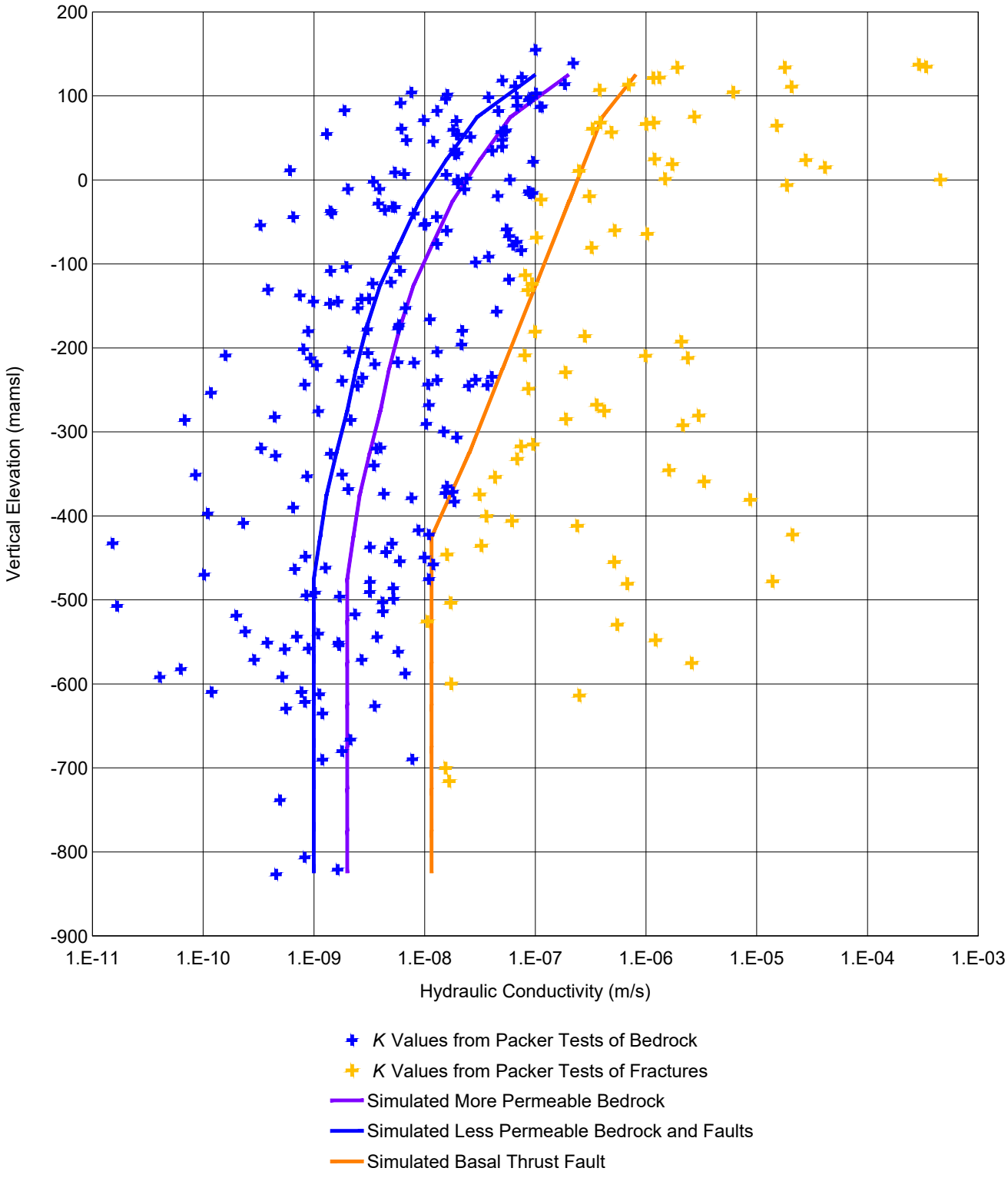
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	XSEC
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

West-East Cross Section of Simulated Hydrogeologic Units in the Mine Area

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-2



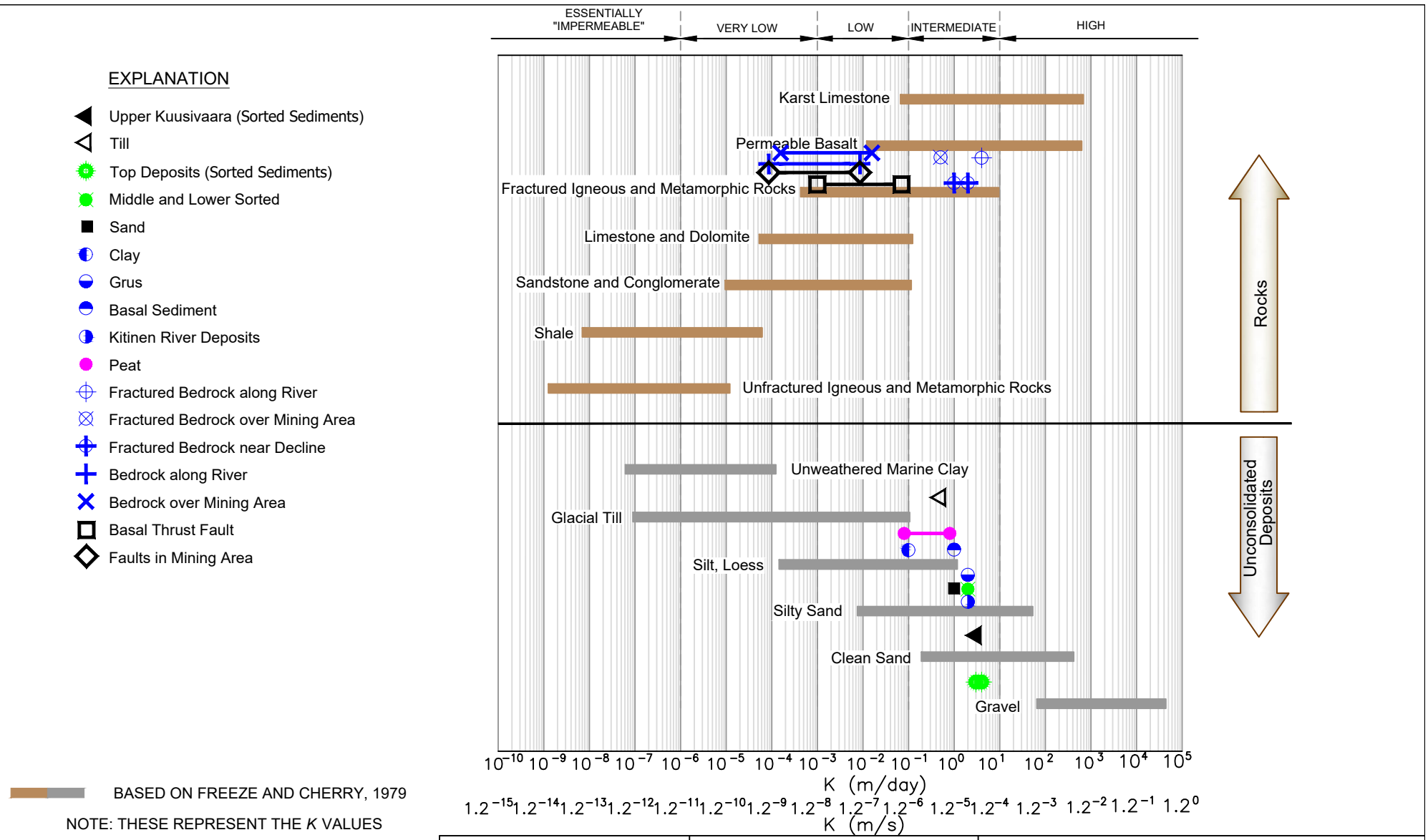
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SIM
DRAWING DATE	24 MAY 2022
REVISION DATE	19 OCT 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

Simulated Hydraulic Conductivities in Groundwater Flow Model versus Measured Hydraulic Conductivities from Packer Tests

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-3



BASED ON FREEZE AND CHERRY, 1979

NOTE: THESE REPRESENT THE *K* VALUES

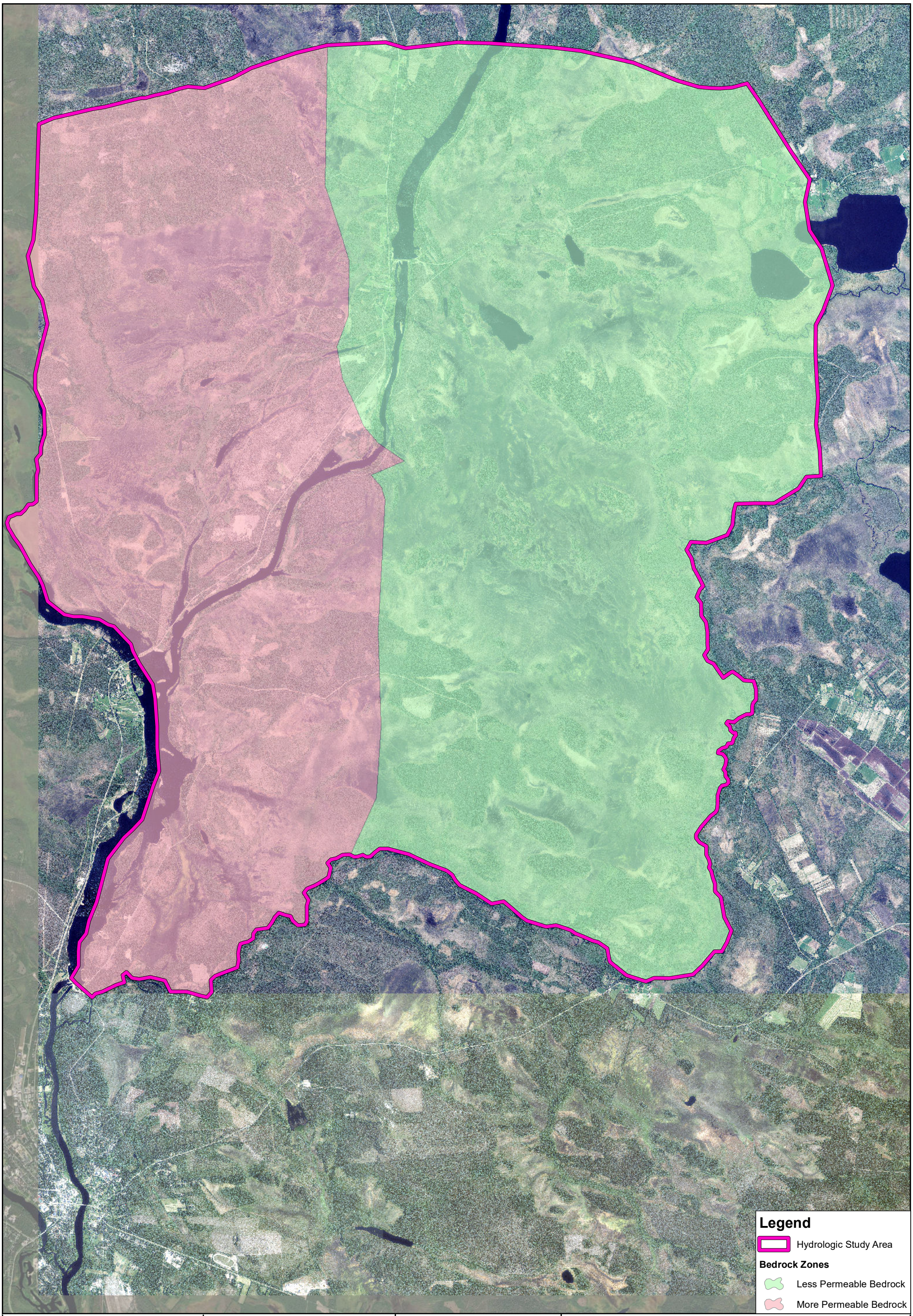
PROJECT NO.	1999
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KVALUES
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

Values of Hydraulic Conductivity Used in the 2022 Sakatti Mine Groundwater Flow Model

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-4



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.

Simulated Spatial Extents of the More and Less Permeable Bedrock Units

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-5

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

Legend

- Hydrologic Study Area

Fractured Bedrock Zones

- Along Kitinen River
- Kuusivaara Area
- Main Area

N

0 1,300 2,600 Meters

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

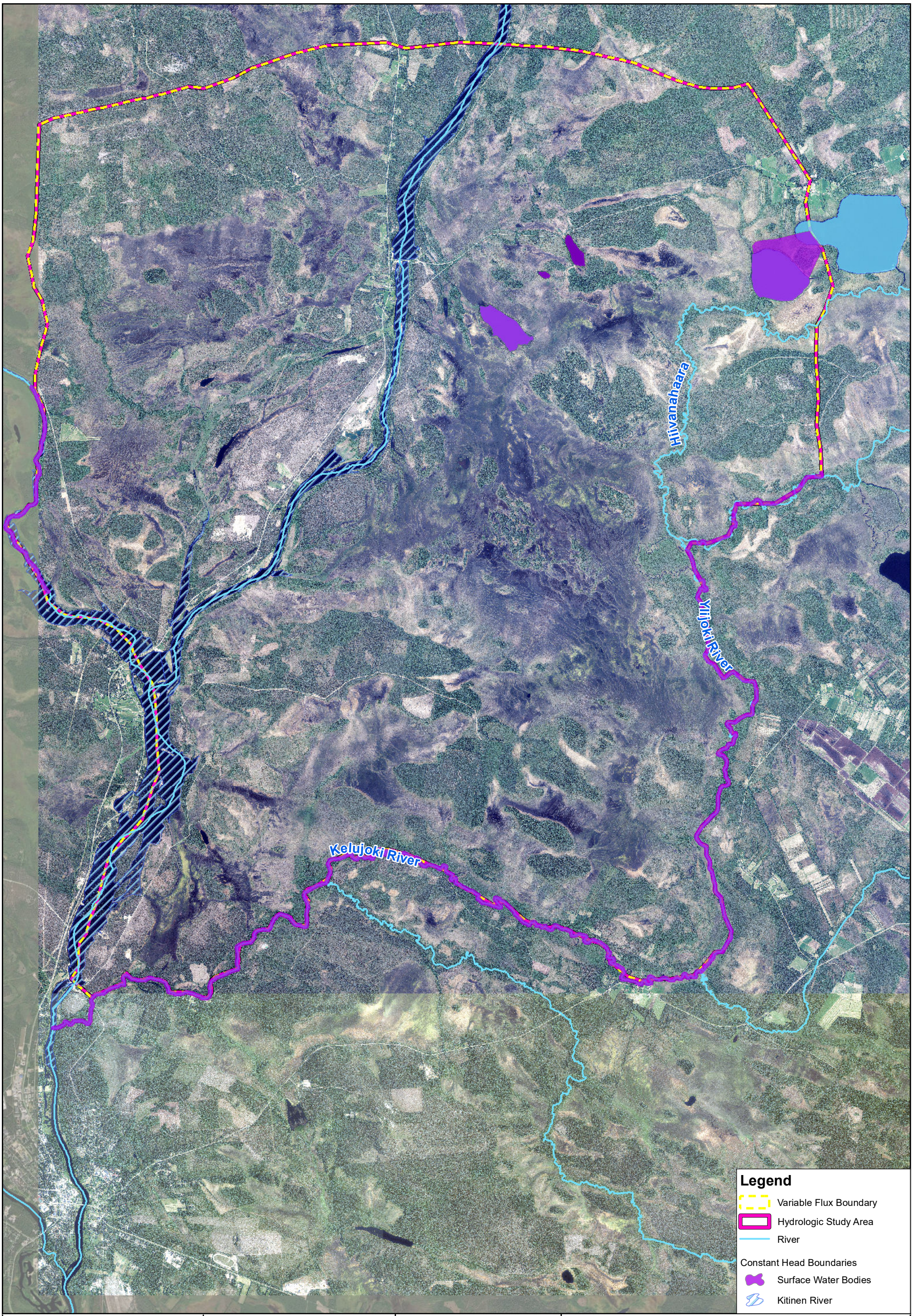
ITASCA™ Denver, Inc.

Simulated Spatial Extents of the Fractured Bedrock Units

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-6

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



N

0 1,250 2,500 Meters

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

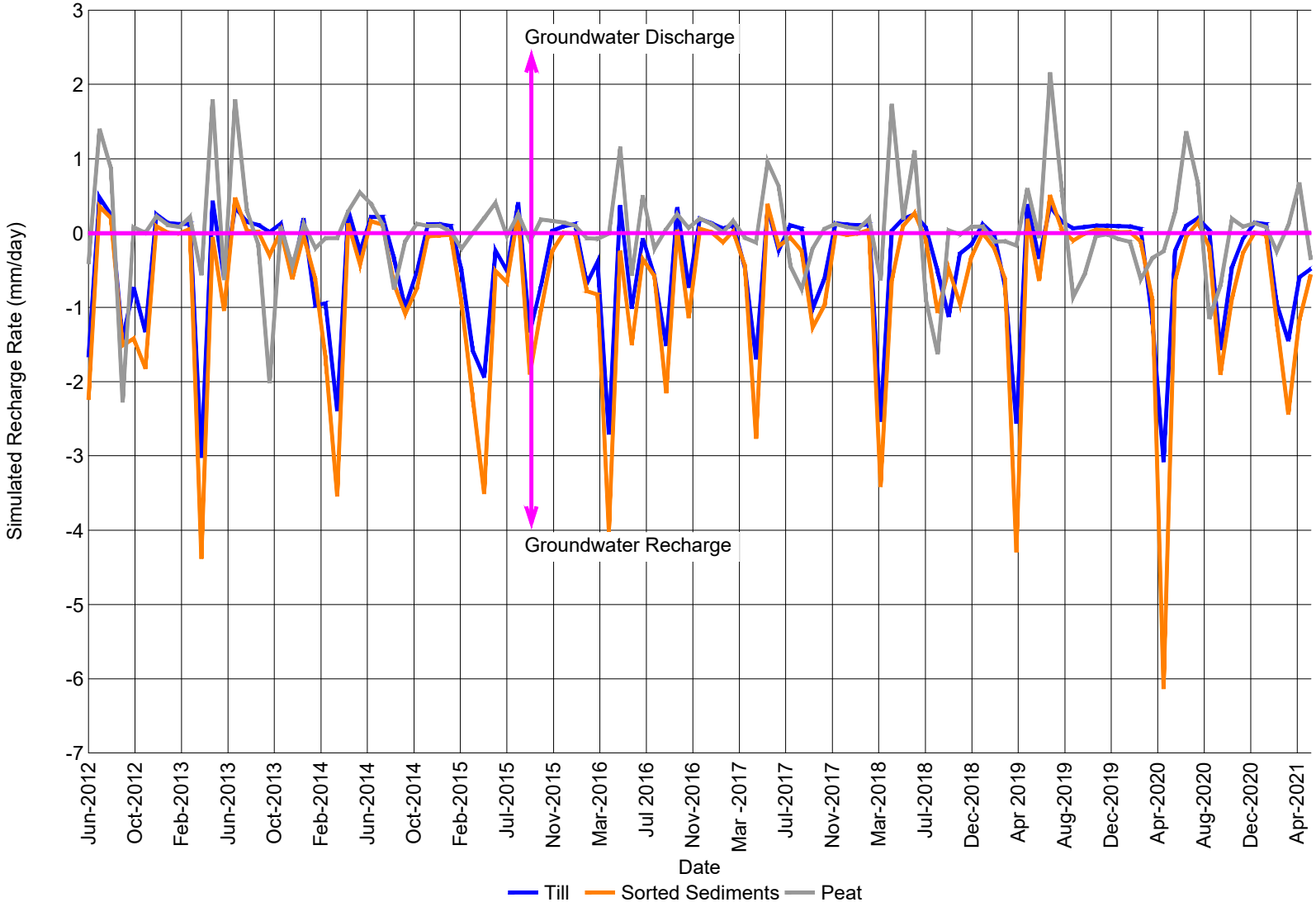
ITASCA™ Denver, Inc.

Simulated Boundary Conditions in the Groundwater Flow Model

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-7

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



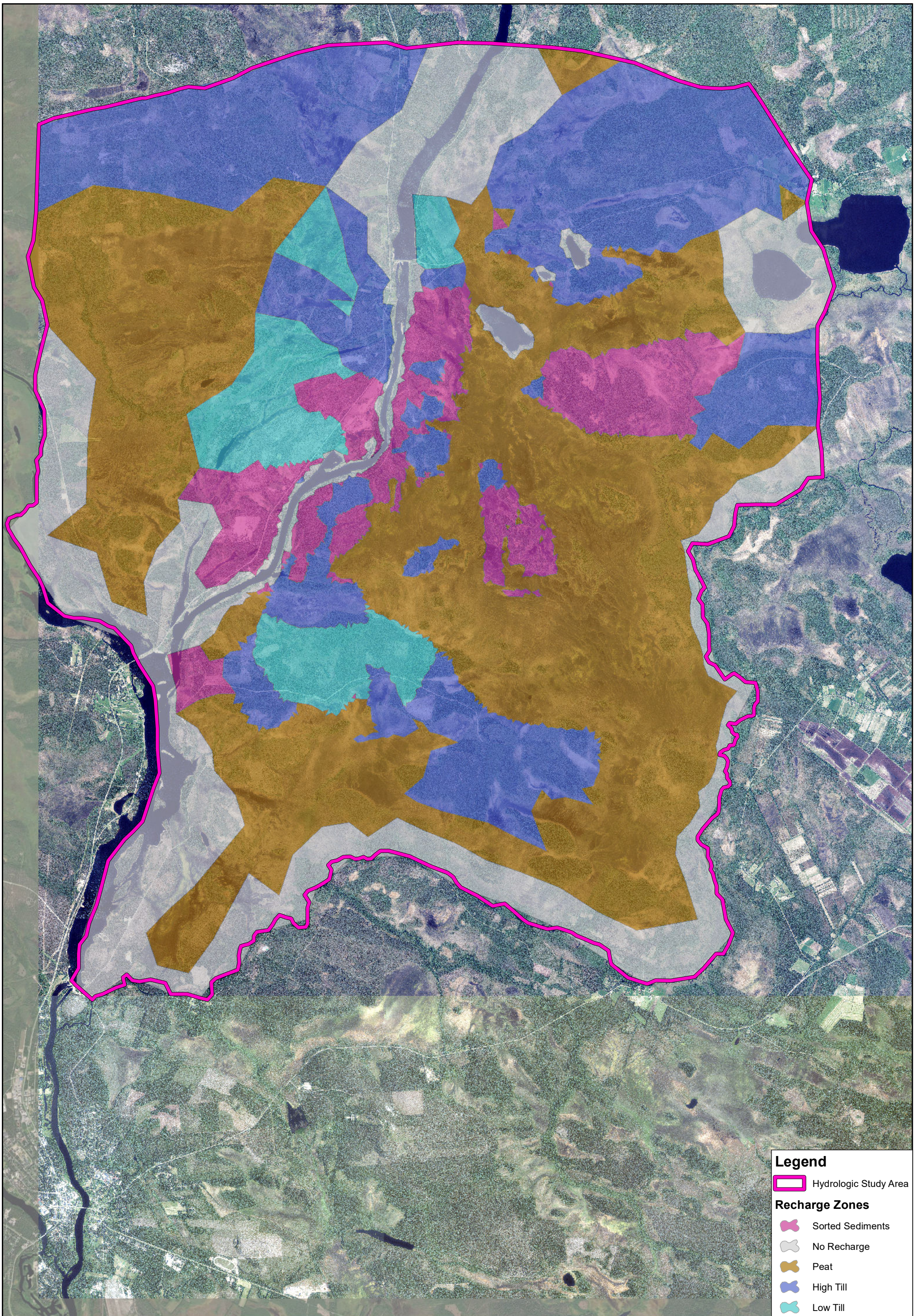
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECHARGE
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	5 AUG 2022

ITASCA™ Denver, Inc.

Simulated Recharge Rates in the Groundwater Flow Model Based on the *MIKE SHE* Model

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-8



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

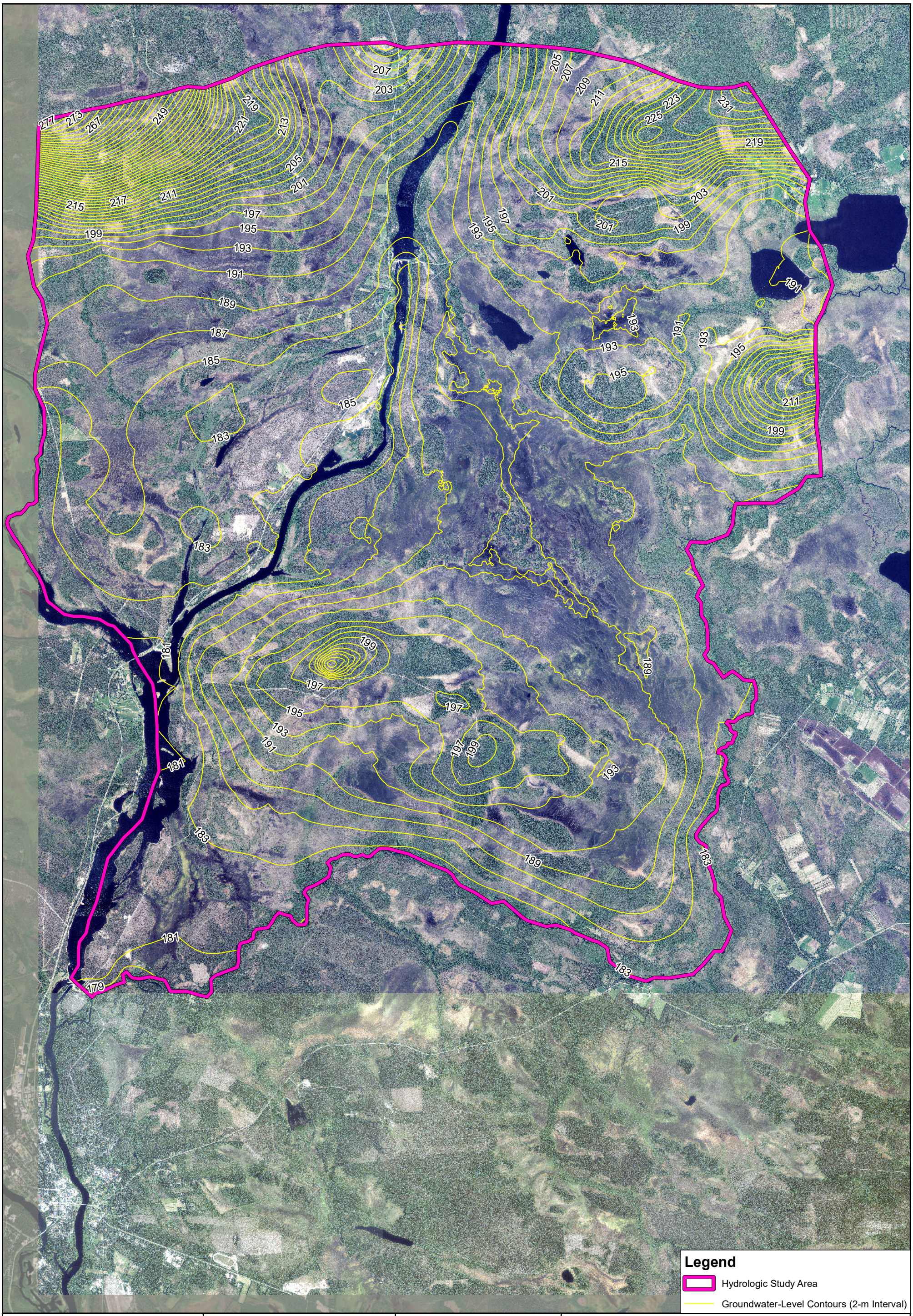
ITASCA™ Denver, Inc.

Simulated Spatial Extent of Recharge Zones in the Groundwater Flow Model

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-9

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



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

ITASCA™ Denver, Inc.

Simulated Steady-State Groundwater Levels within the Hydrologic Study Area

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-10

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

Legend

Hydrologic Study Area

Simulated Depth to Groundwater (mbgs)

- 0 to 0.5
- 0.5 to 1
- 1 to 2
- 2 to 3
- 3 to 5
- 5 to 10
- 10+

N

0 1,300 2,600 Meters

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.

Simulated Depth to Groundwater under Steady-State Conditions

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-11

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

Yllijoki River

Kelujoki River

Legend

- Hydrologic Study Area
- River
- Kitinen River
- Lakes
- Ponds

Simulated Areas of Discharge

- Areas of Discharge
- Areas of Recharge

N

0 1,300 2,600 Meters

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.

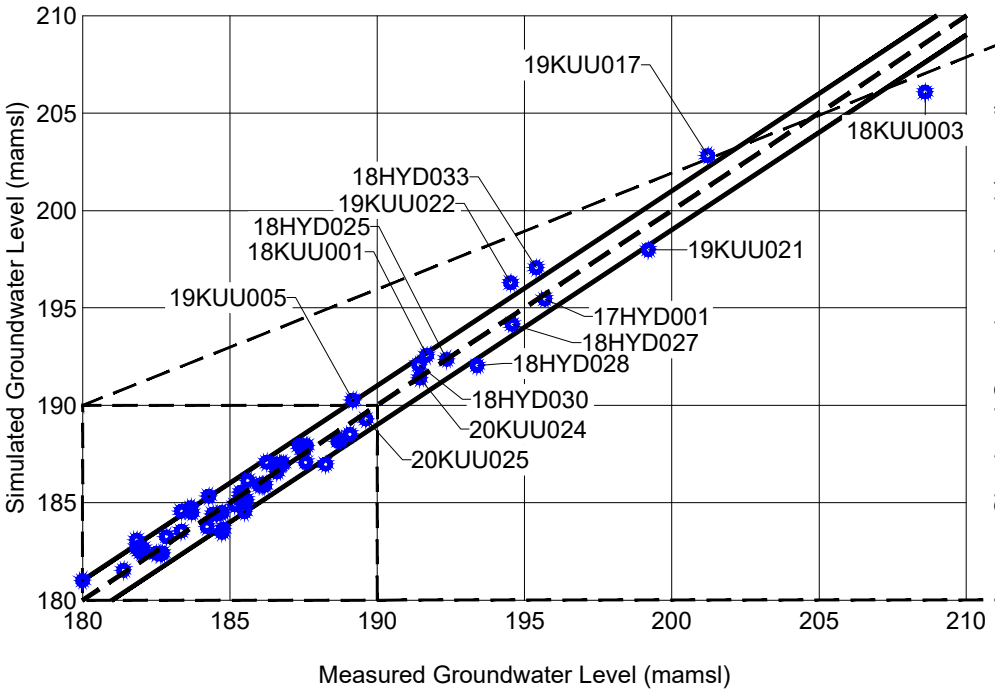
Simulated Areas of Discharge and Recharge under Steady-State Conditions

CLIENT: Sakatti Mine

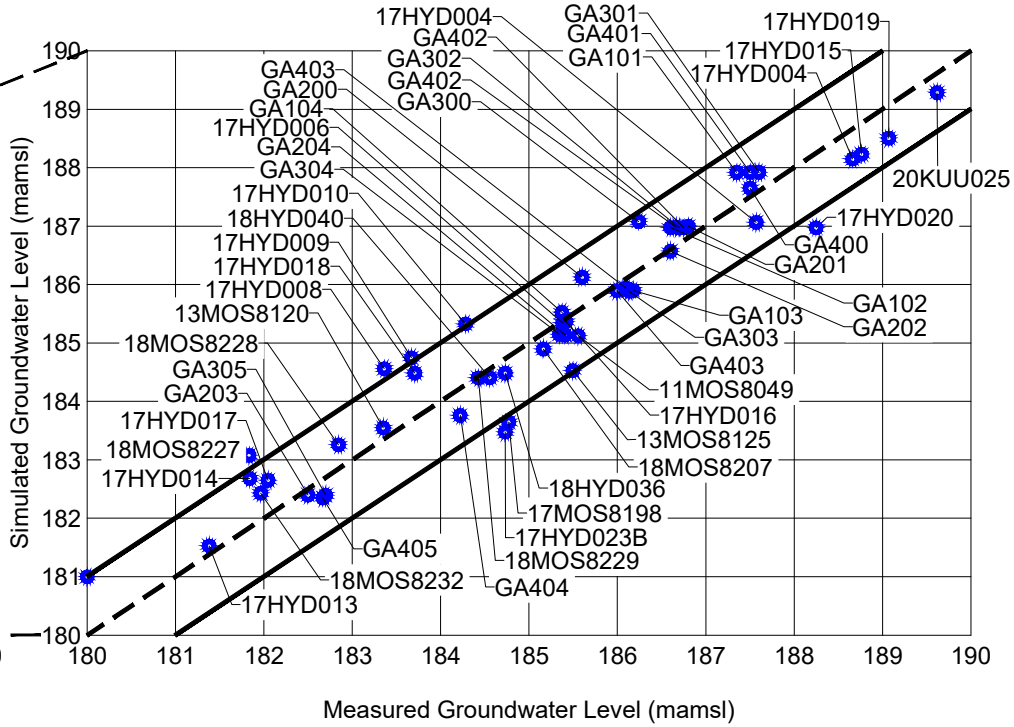
FIGURE NO. 4-12

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

a) Overall Model Calibration



b) Model Calibration from Range of 180 to 190 mamsl



Note: Measurement time of each data point is shown in Table 4-3.

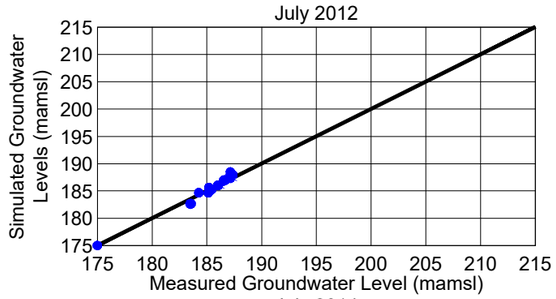
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SS
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	

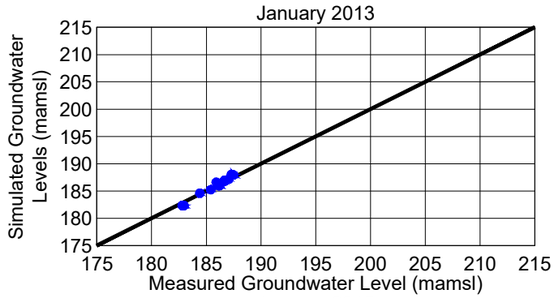
ITASCA™ Denver, Inc.

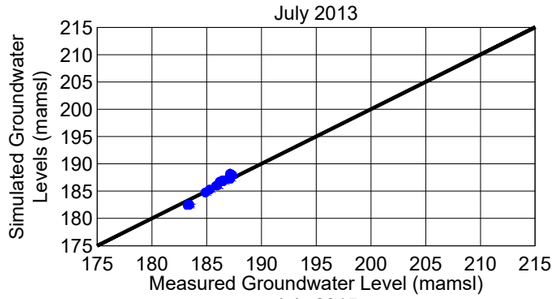
Quality Line of Steady-State Model Calibration

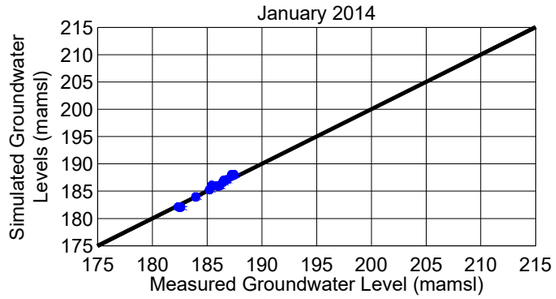
CLIENT: Sakatti Mine

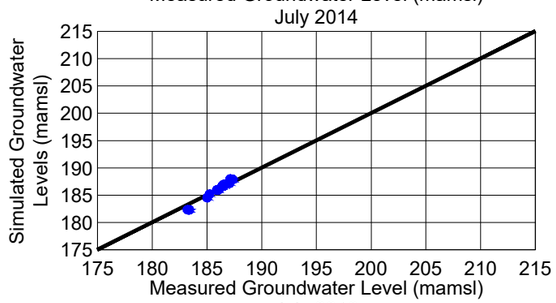
FIGURE NO. 4-13

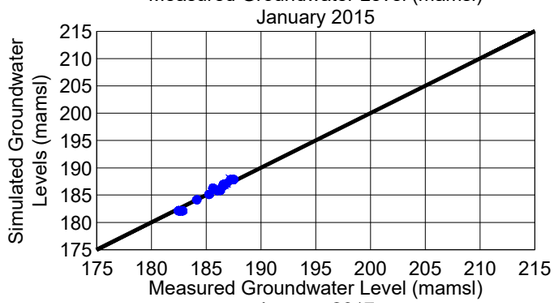


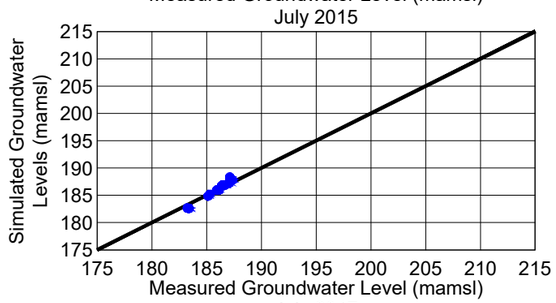


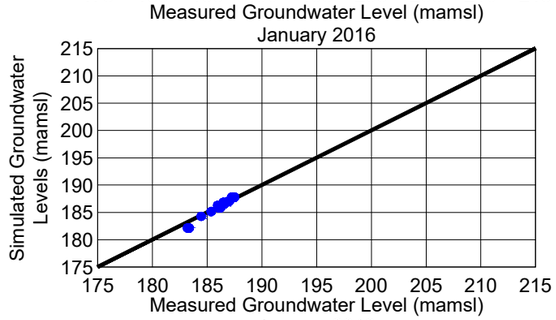


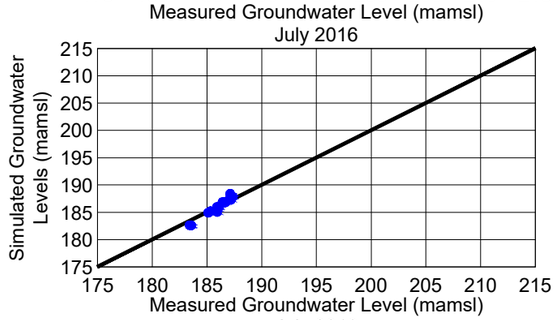


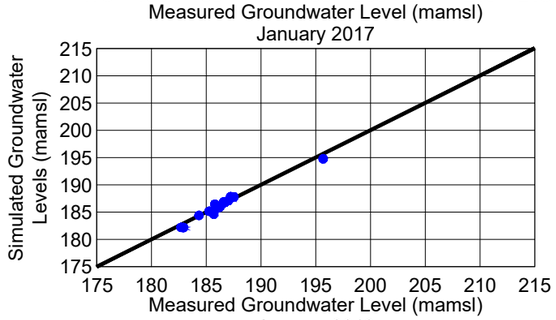


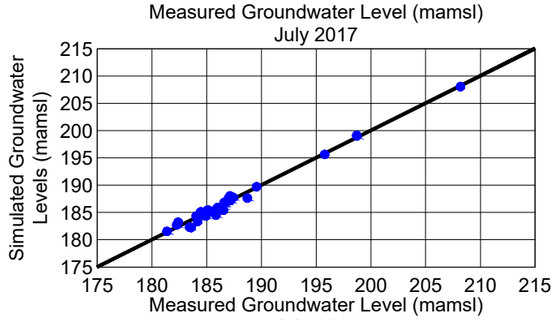


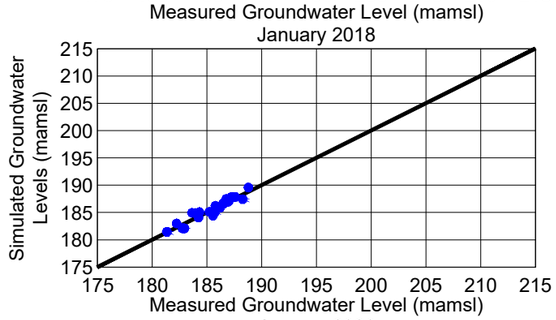


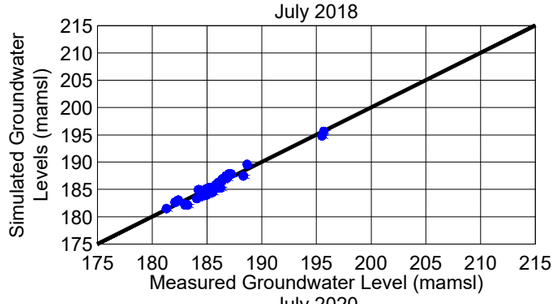


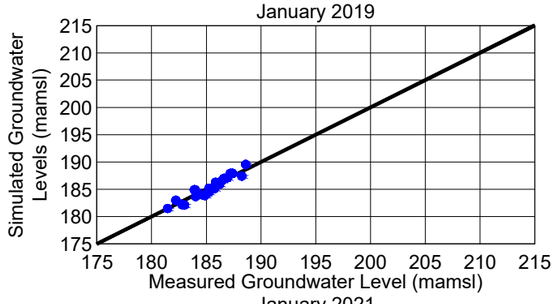


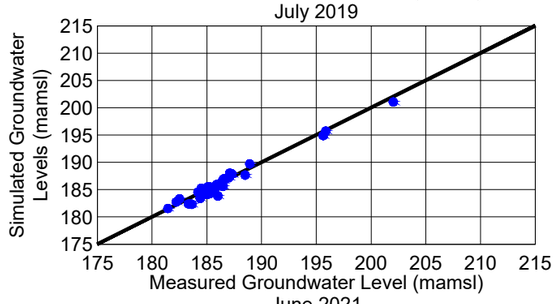


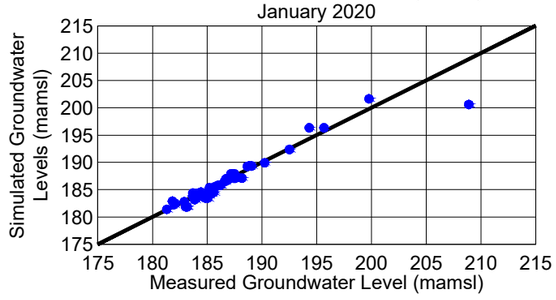


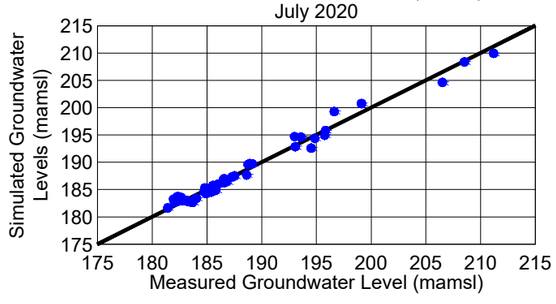


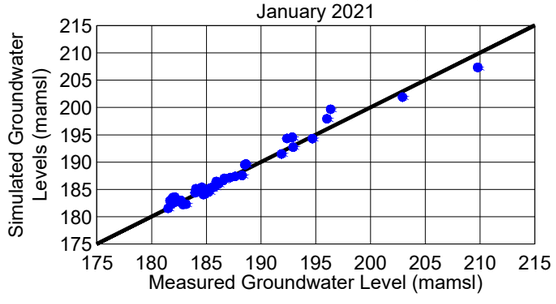


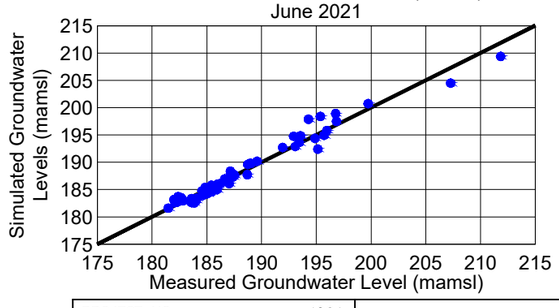












Temporal Data Point

One-to-One Correlation Line

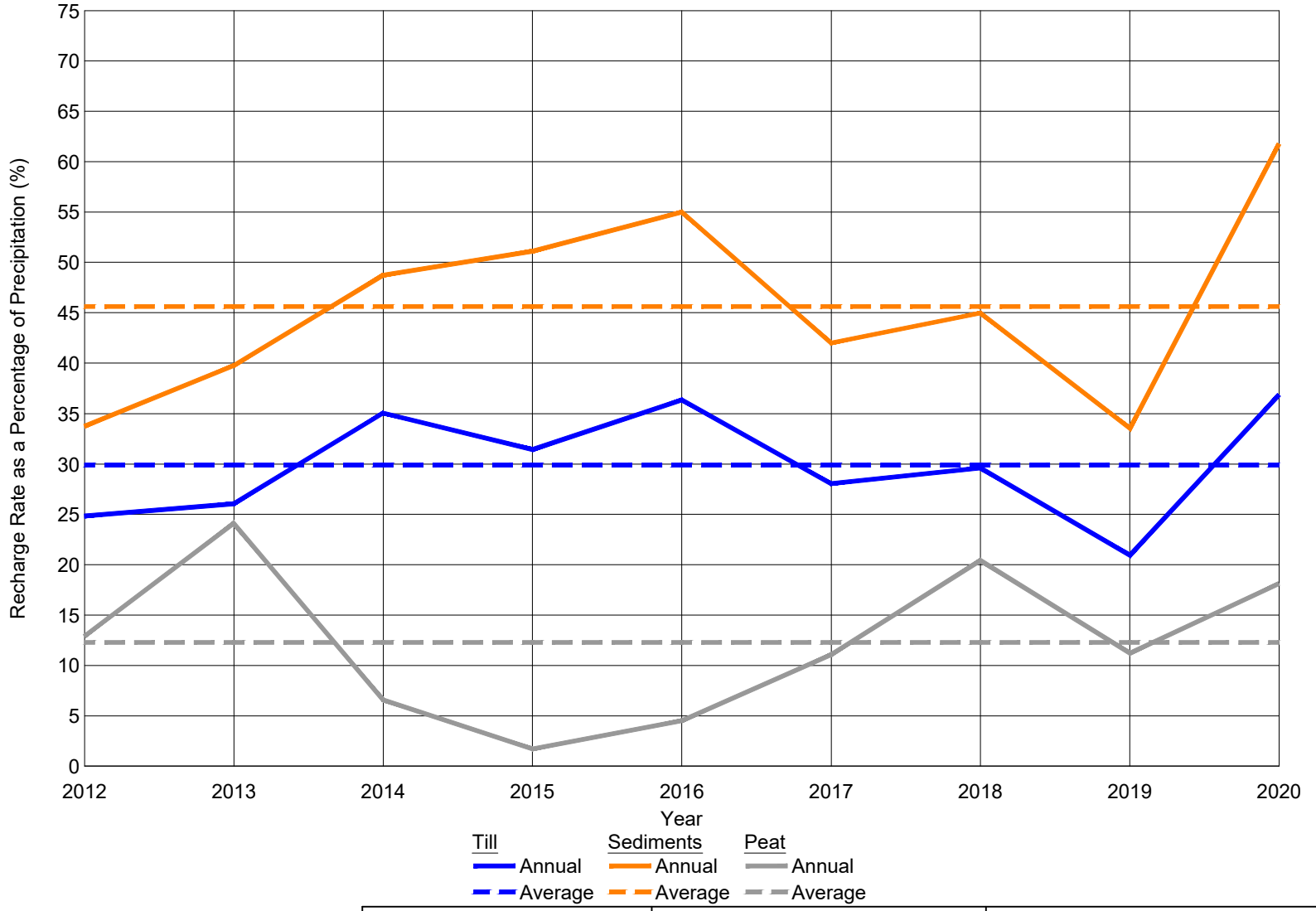
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	TEMP
DRAWING DATE	16 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Temporal Groundwater Flow Model Quality
Lines of Measured versus Simulated
Groundwater Levels

CLIENT: Sakatti Mine

APPENDIX NO. 4-14



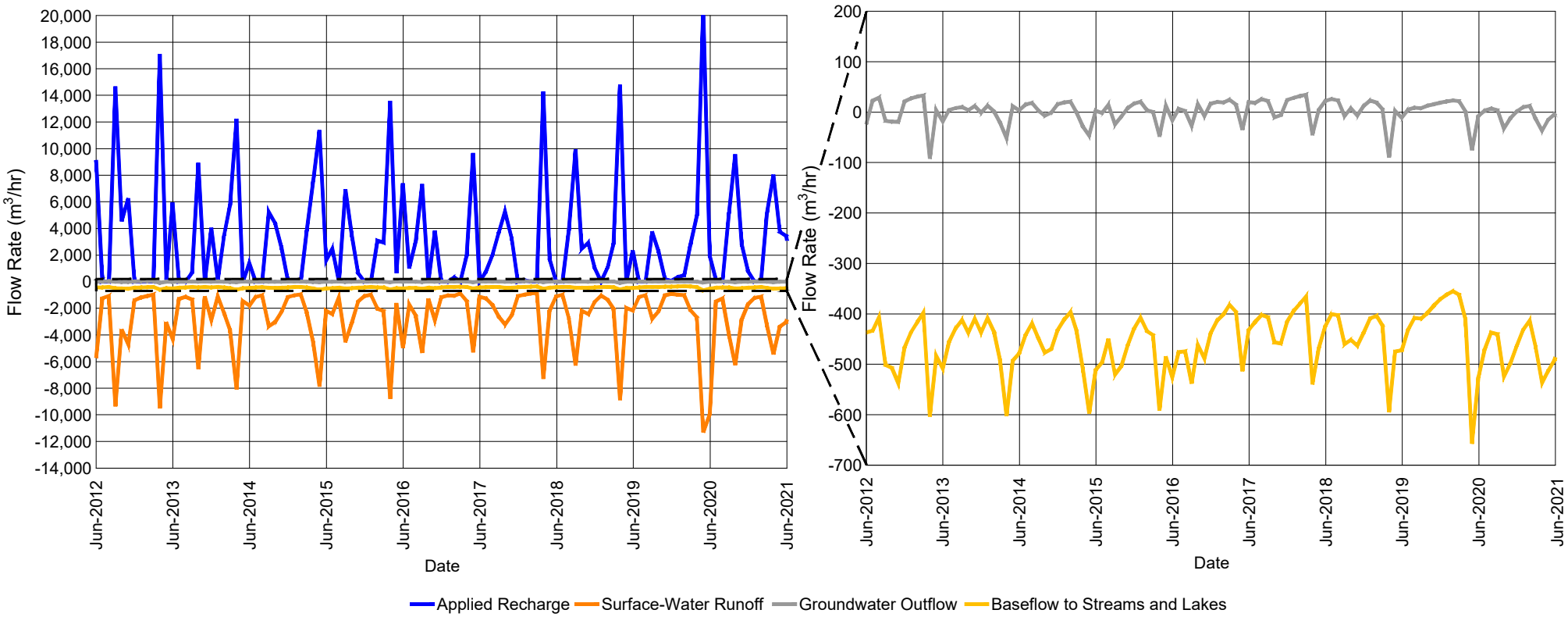
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CAL
DRAWING DATE	16 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Simulated Annual Recharge Rates as a Percentage of Precipitation

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-15



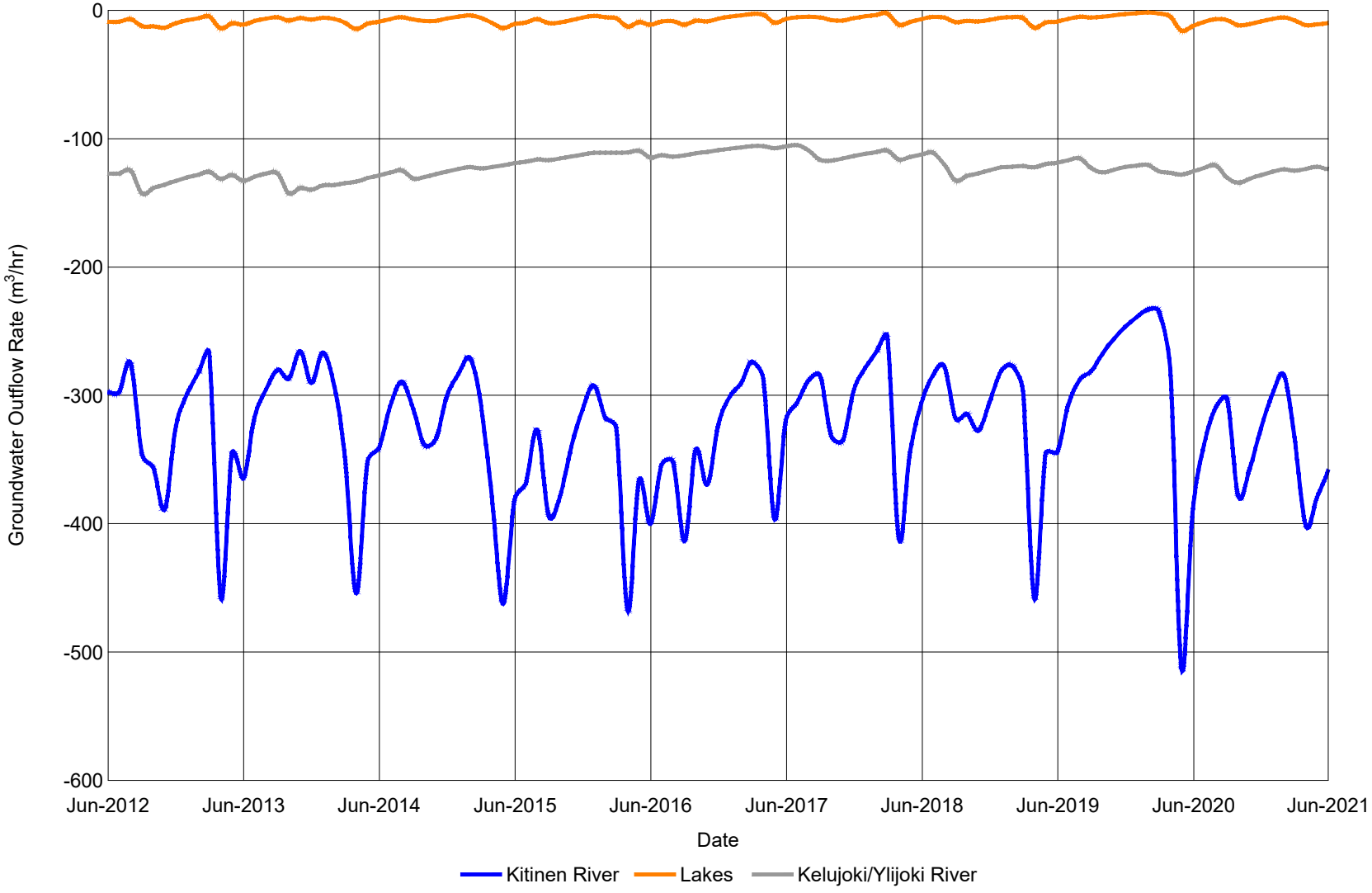
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CAL
DRAWING DATE	14 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Calibrated Water Budget for the Groundwater Flow Model

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-16



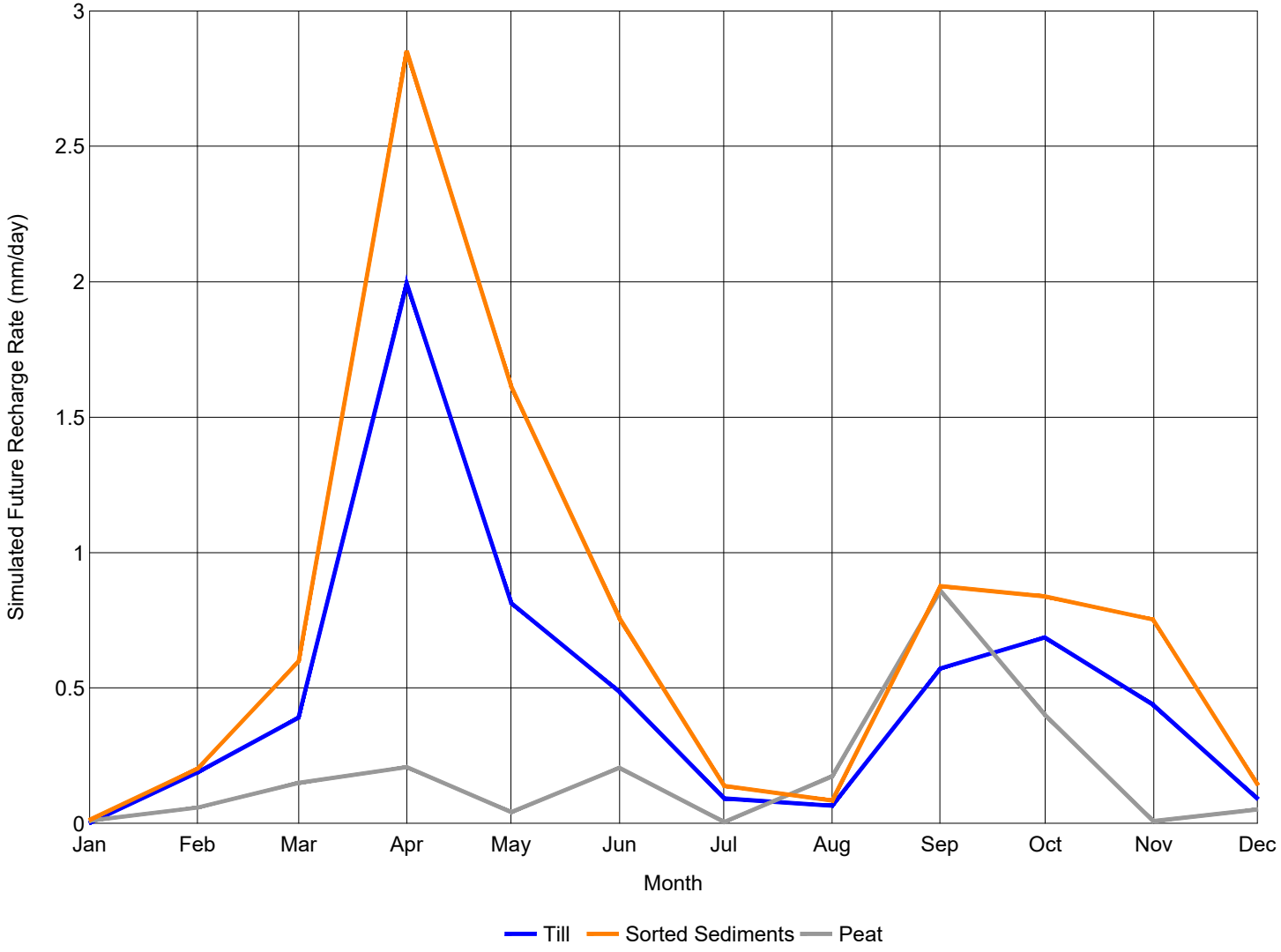
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CAL
DRAWING DATE	14 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Calibrated Groundwater Outflow Rate to Key Streams and Lakes

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 4-17



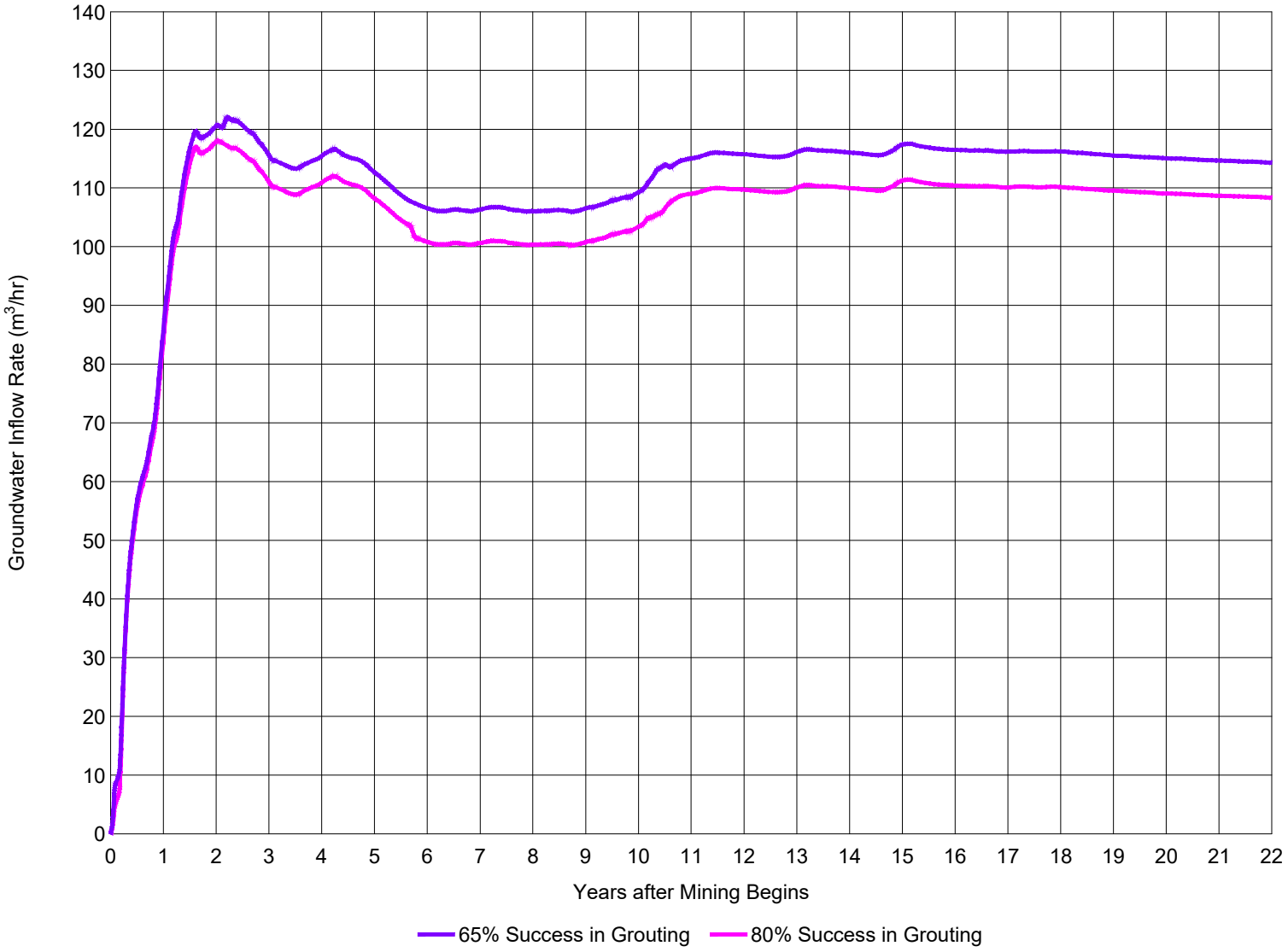
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECHARGE
DRAWING DATE	13 JUN 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Simulated Future Recharge Rates

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-1



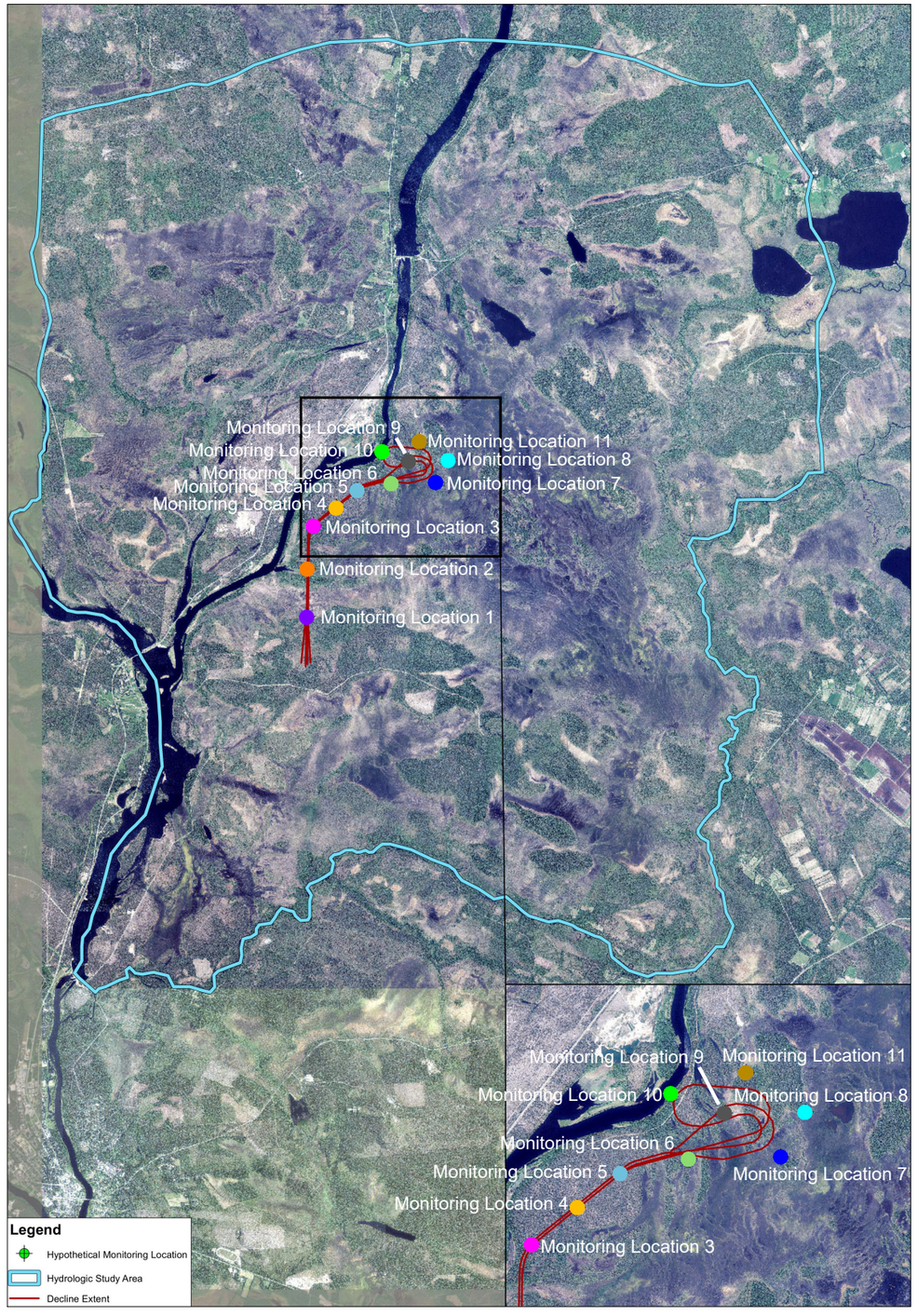
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

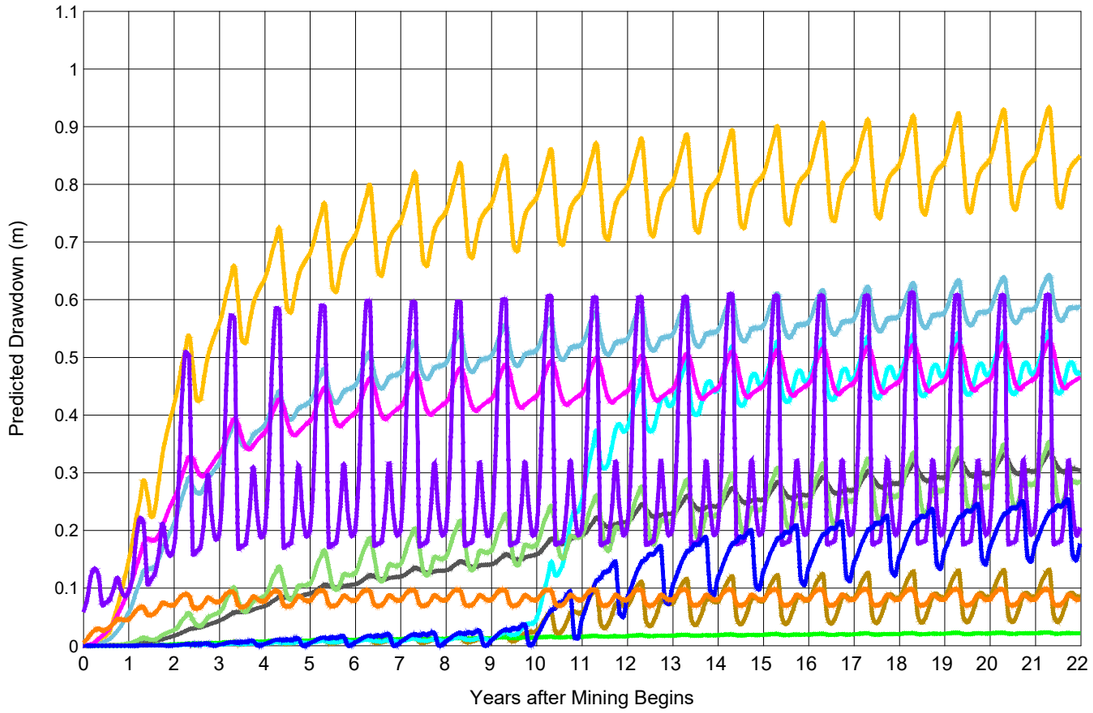
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Groundwater Inflow for the 65% and 80% Success in Grouting Scenarios

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-2





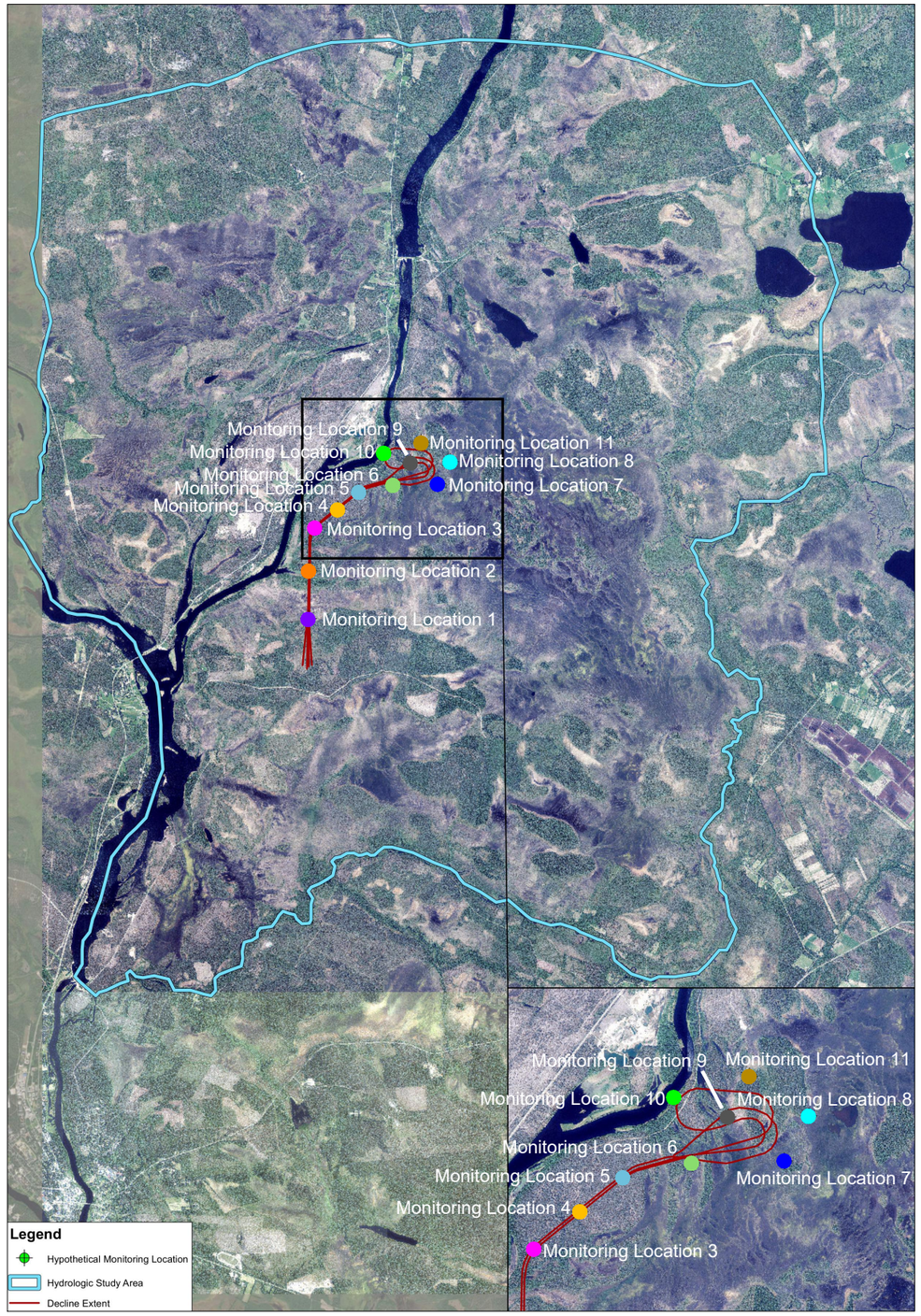
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	

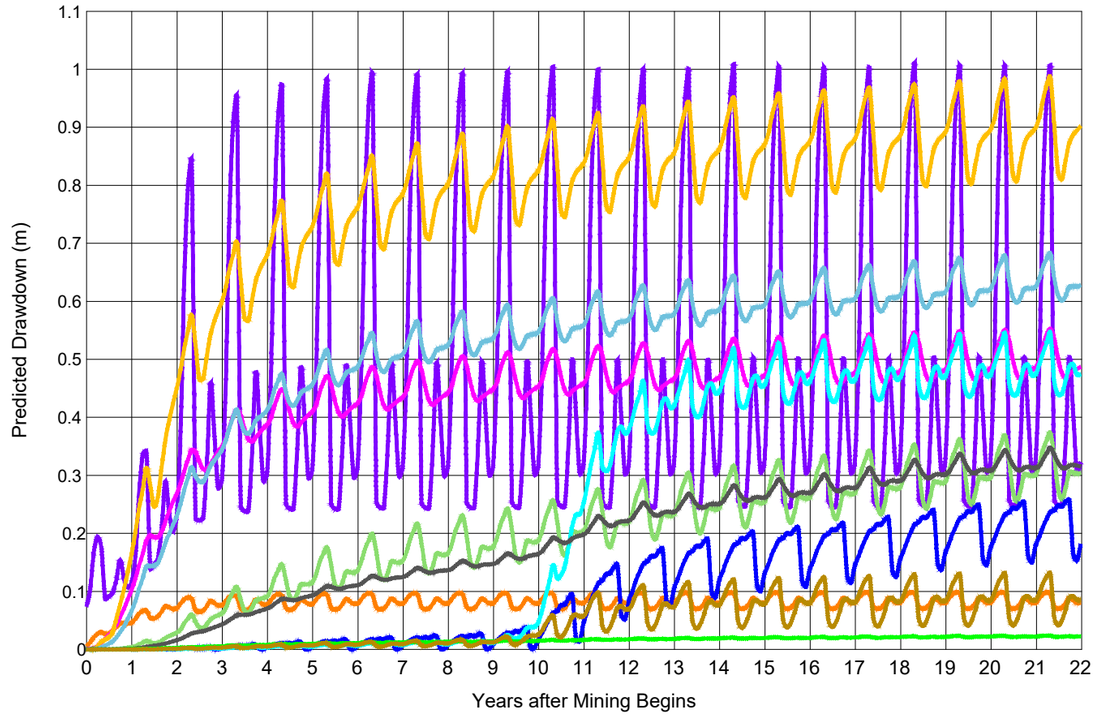
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the 80% Success in Grouting Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-3a





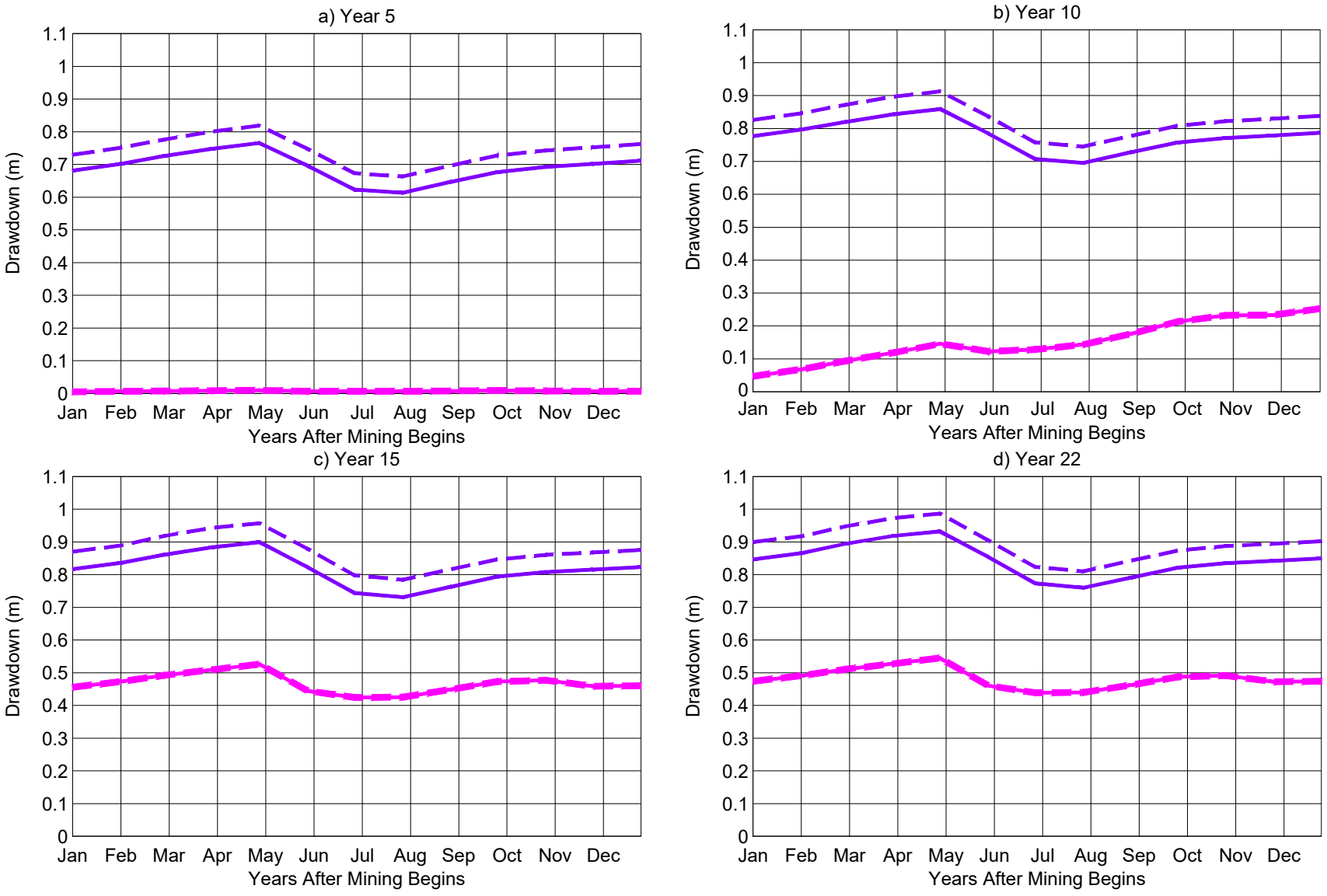
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the 65% Success in Grouting Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-3b



Monitoring Location 4
- 65% Success in Grouting
- 80% Success in Grouting

Monitoring Location 8
- 65% Success in Grouting
- 80% Success in Grouting

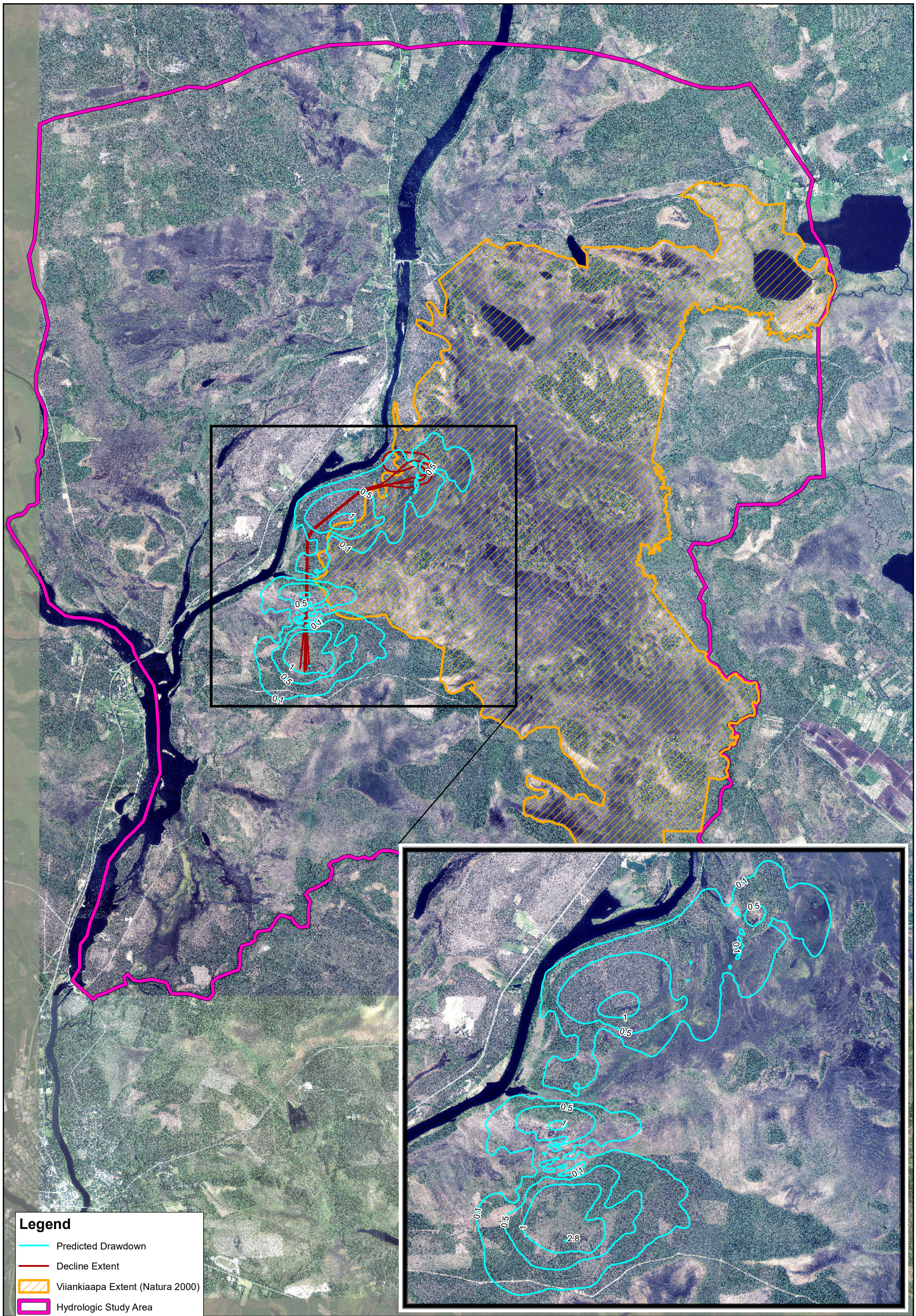
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	YEAR
DRAWING DATE	25 OCT 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Monitoring Location Drawdown for Selected Years over the Life of Mine

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-4



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

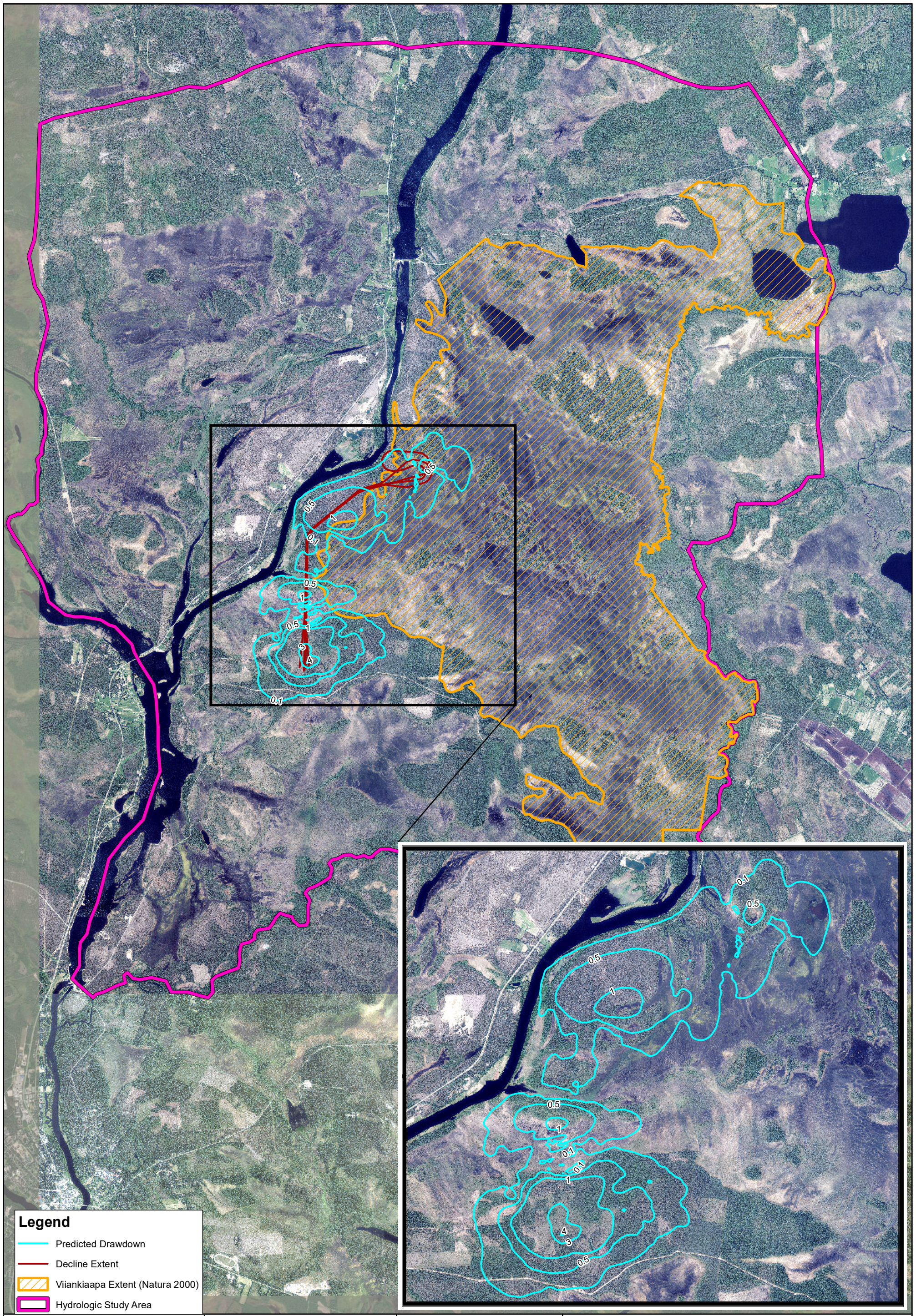
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown at the End of Mining for the 80% Success in Grouting Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-5a

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



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

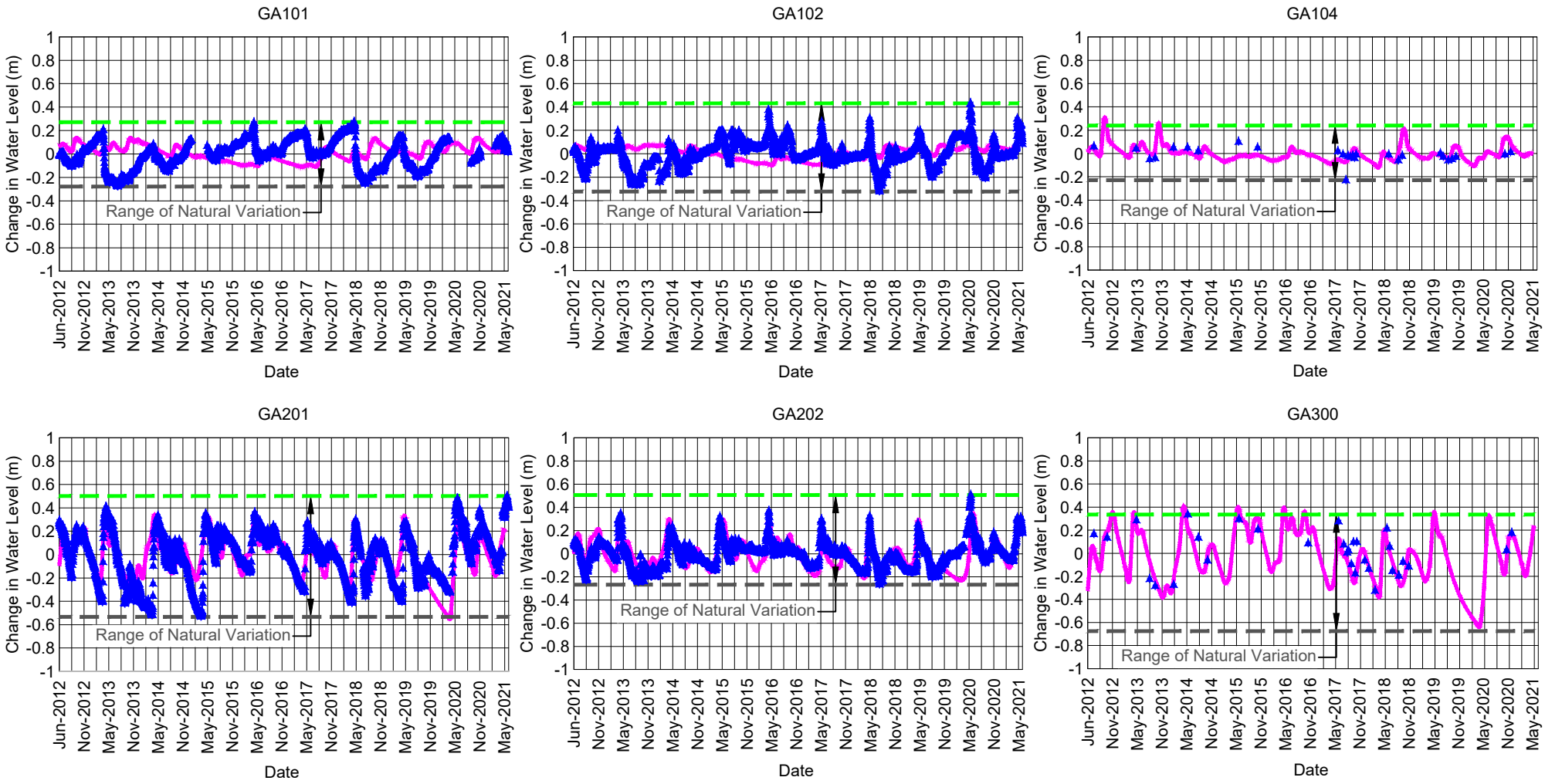
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown at the End of Mining for the 65% Success in Grouting Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-5b

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



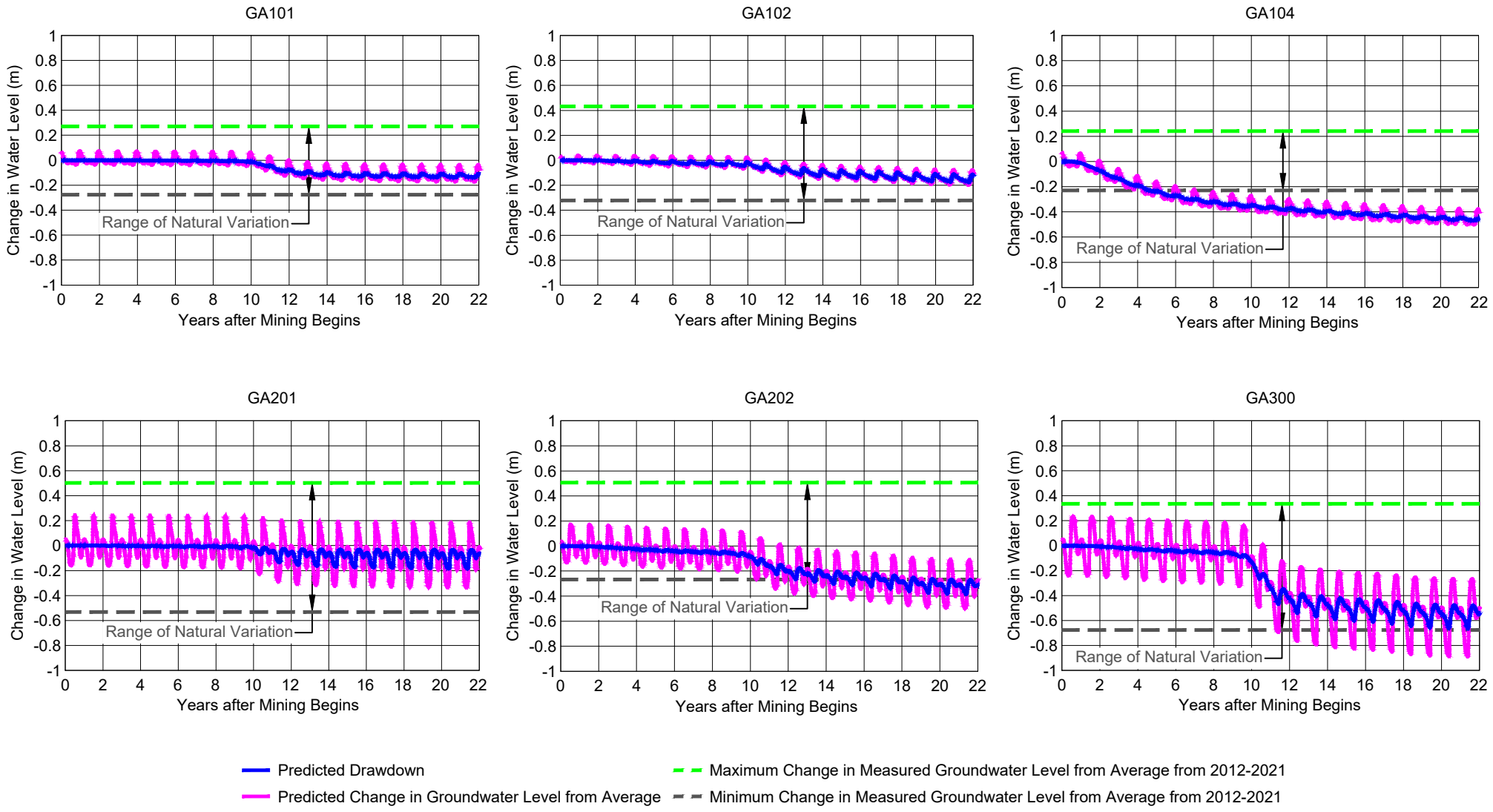
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Comparison of Measured versus Simulated Seasonal Groundwater-Level Changes

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-6



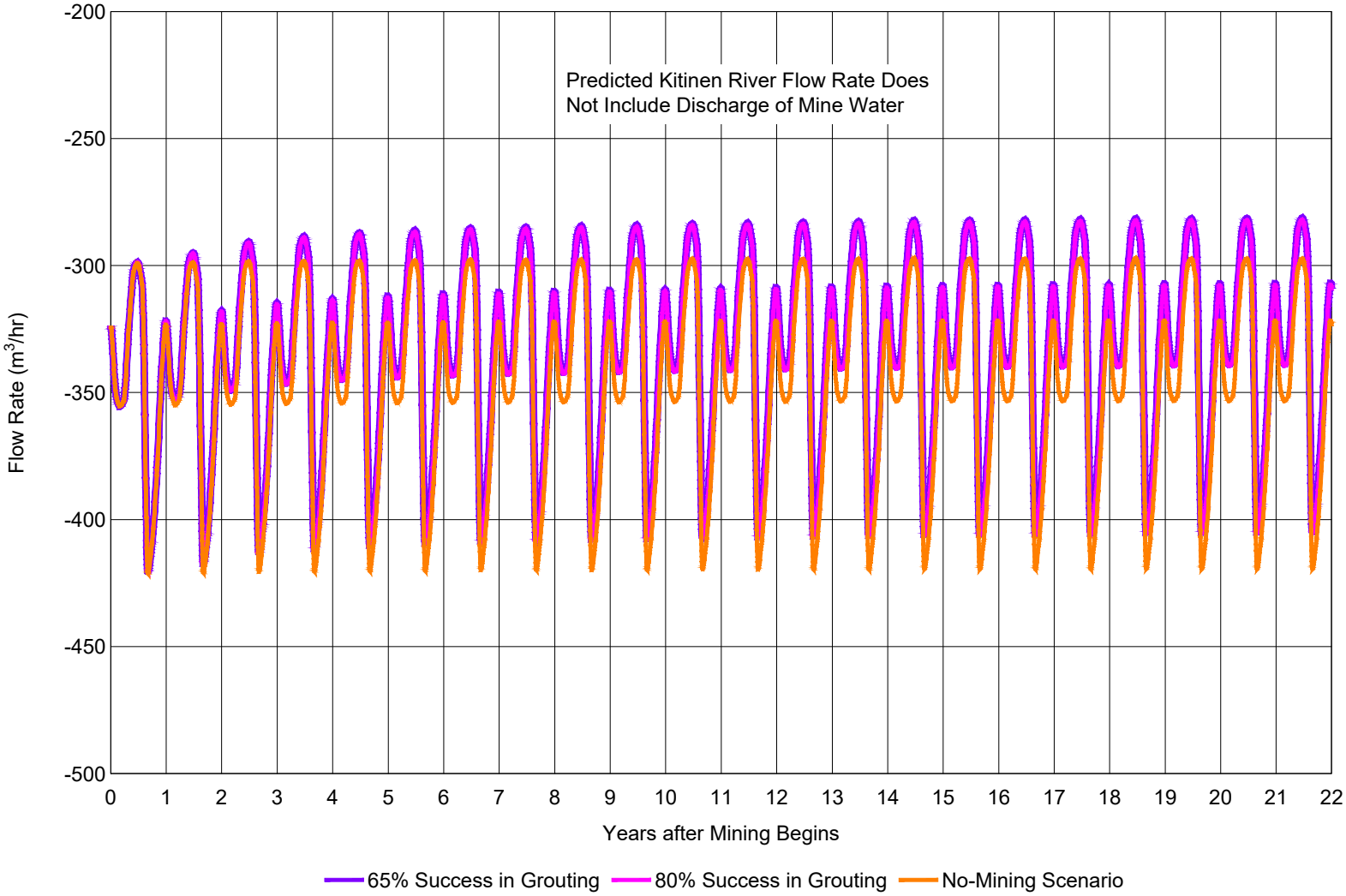
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Predictions of Seasonal Groundwater-Level Changes for the 80% Success in Grouting with the NE Deposit Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-7



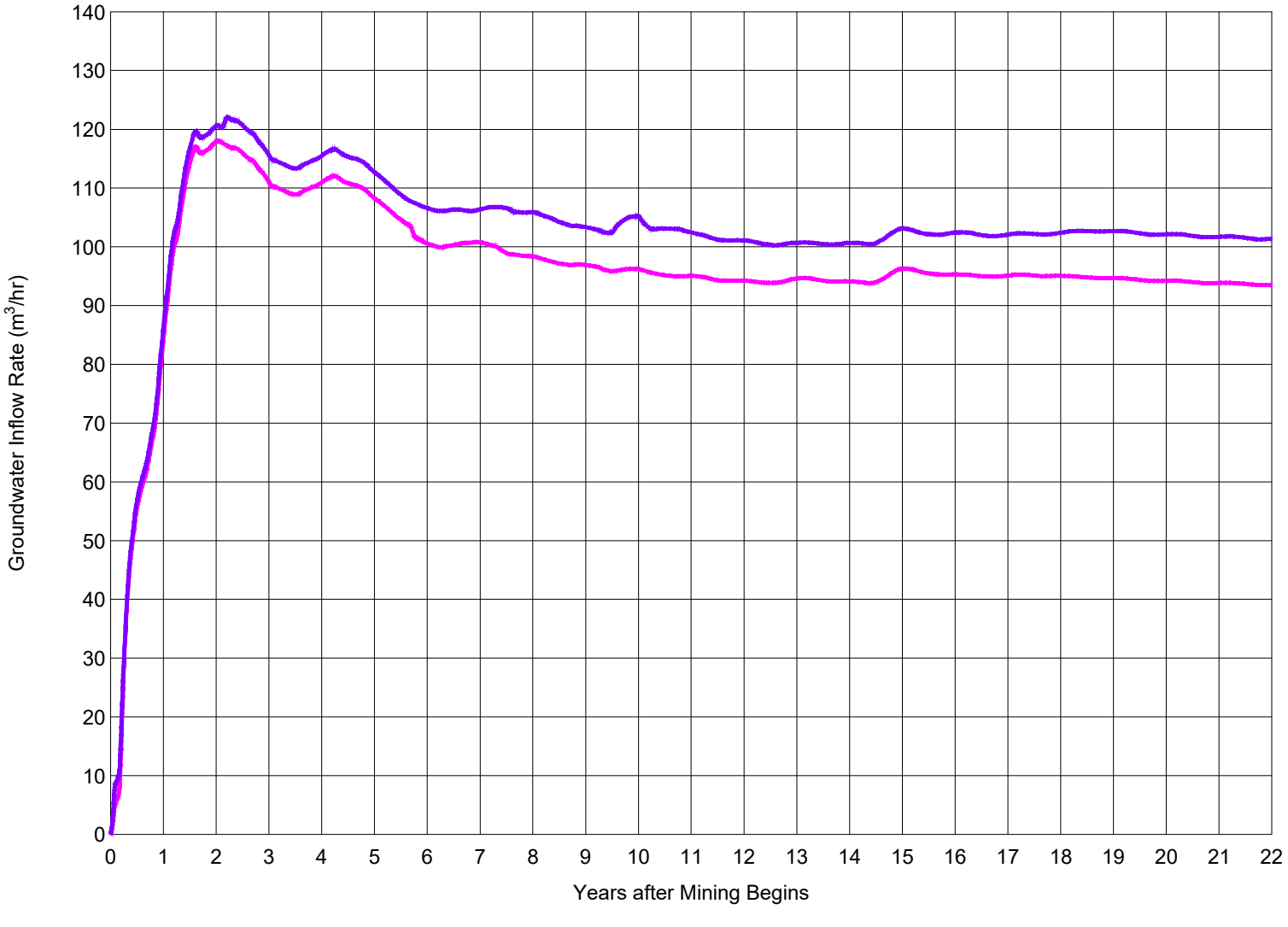
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Baseflow to the Kitinen River for the 65% and 80% Success in Grouting with NE Deposit Scenarios

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-8



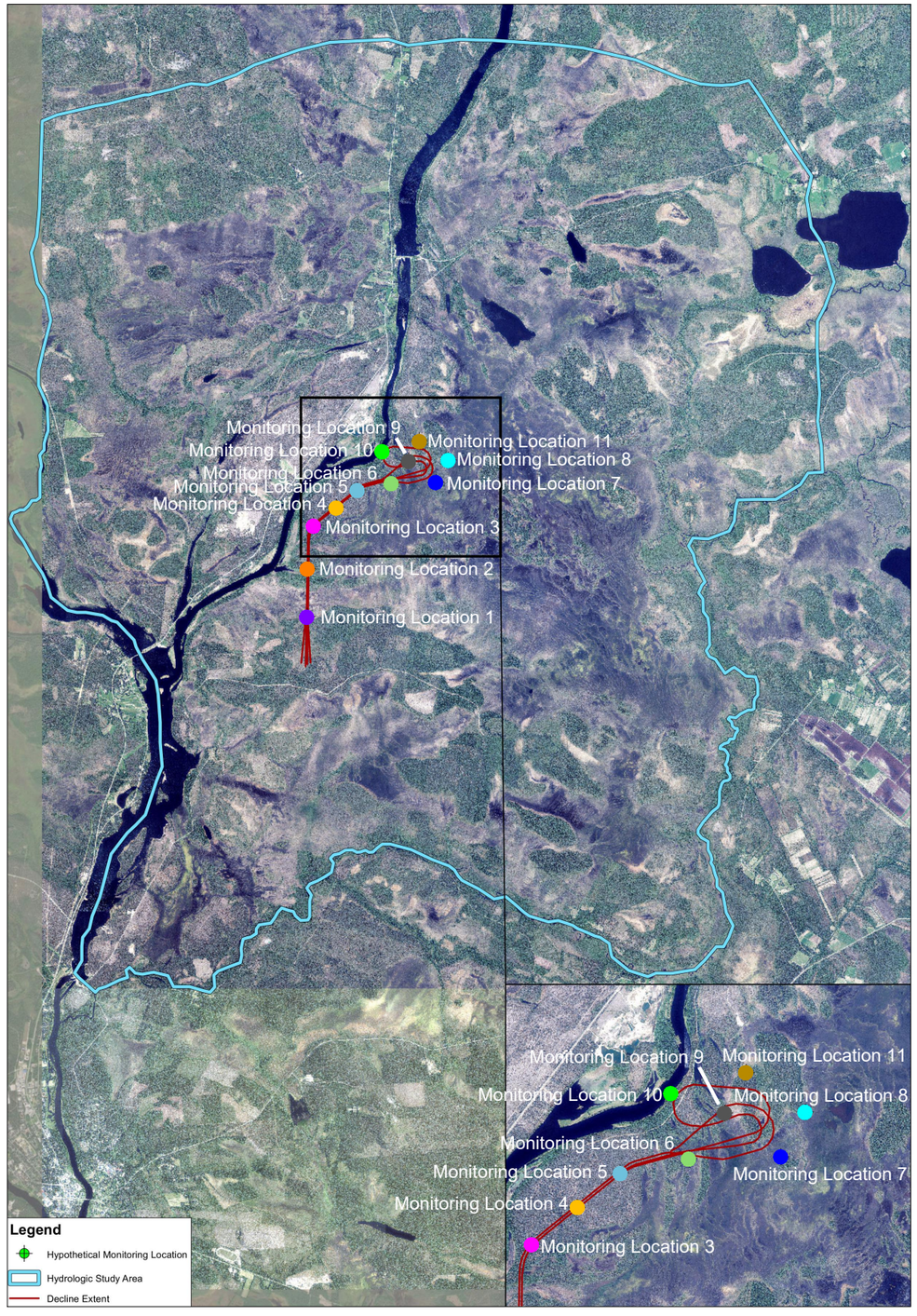
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

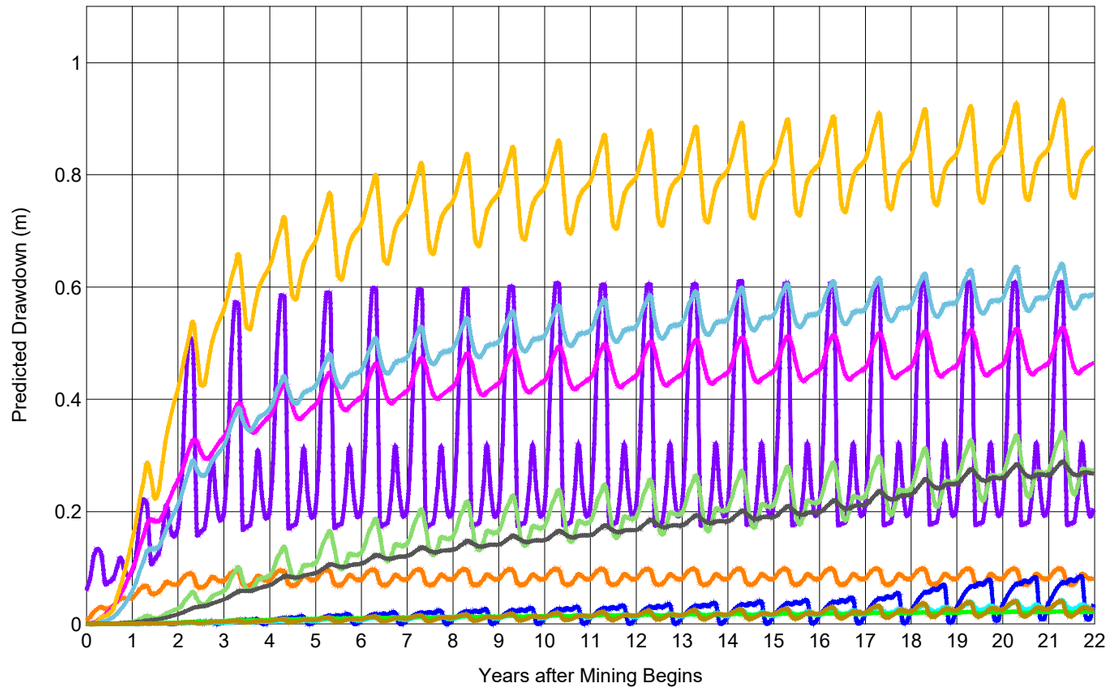
ITASCA™ Denver, Inc.

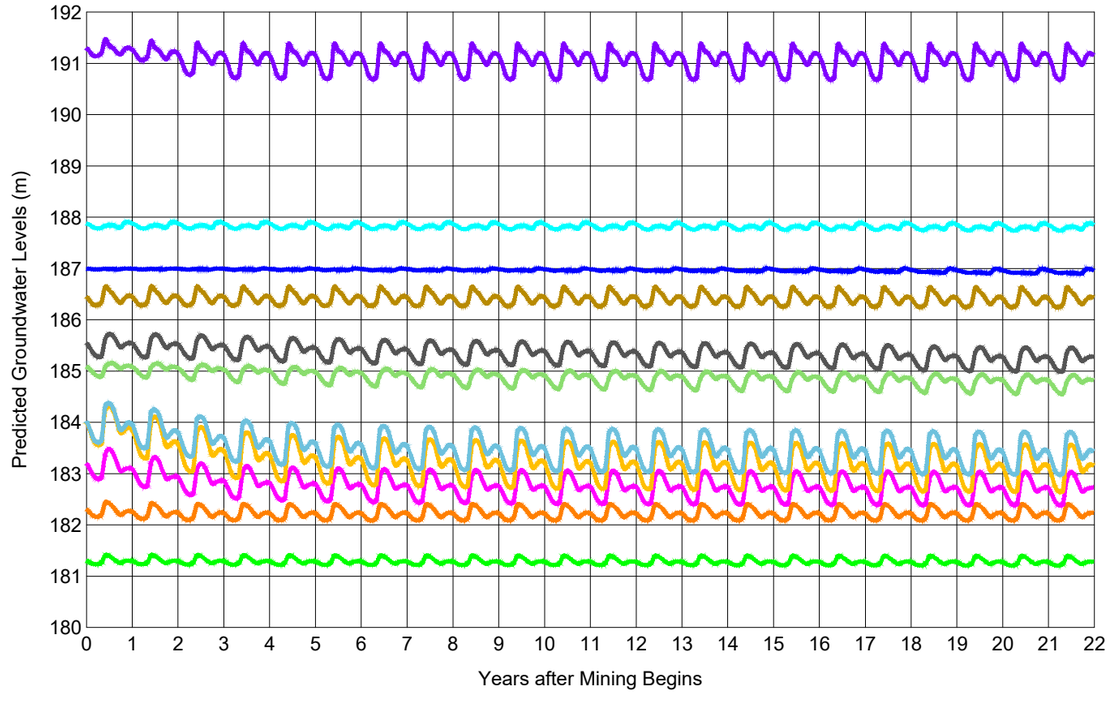
Predicted Groundwater Inflow for the 65% and 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-9







Monitoring Location 1 — Monitoring Location 2 — Monitoring Location 3 — Monitoring Location 4
Monitoring Location 5 — Monitoring Location 6 — Monitoring Location 7 — Monitoring Location 8
Monitoring Location 9 — Monitoring Location 10 — Monitoring Location 11

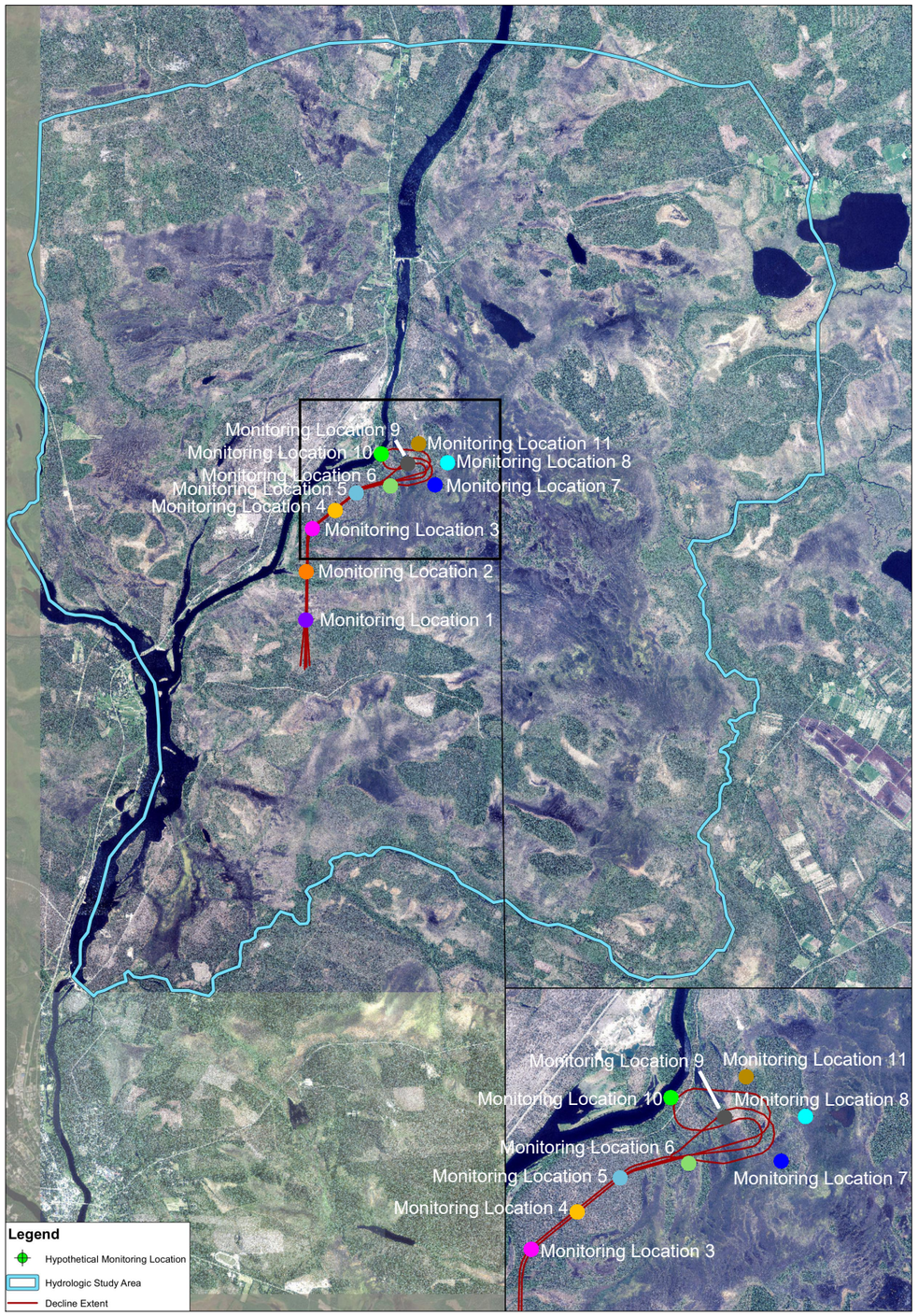
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

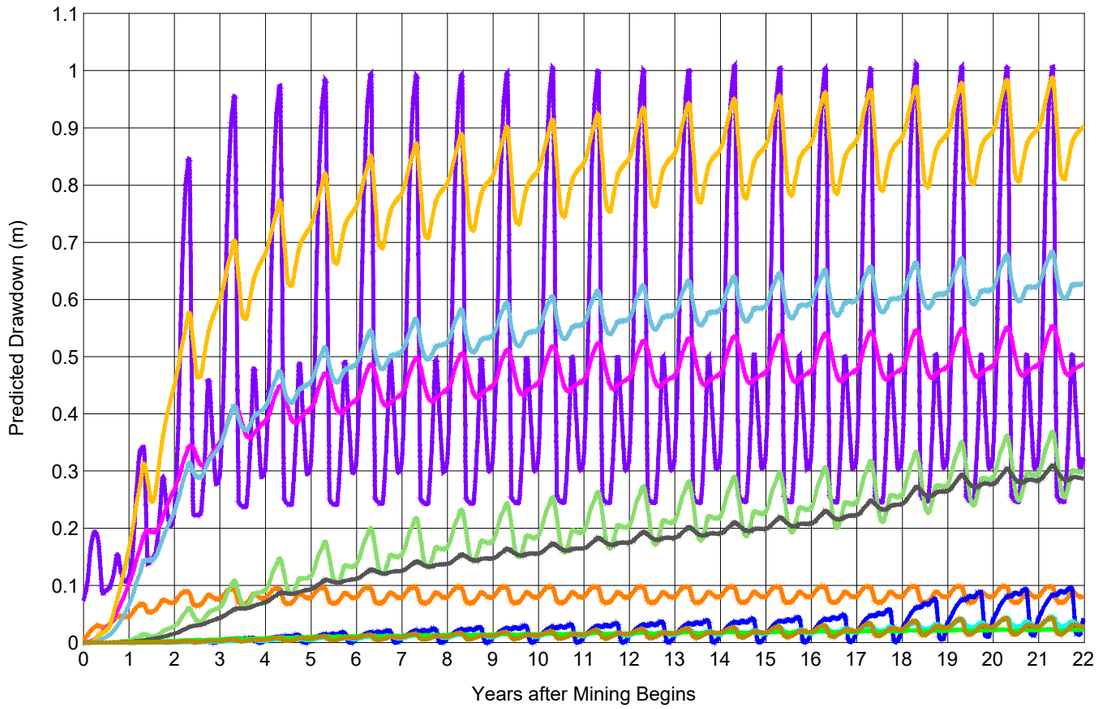
ITASCA™ Denver, Inc.

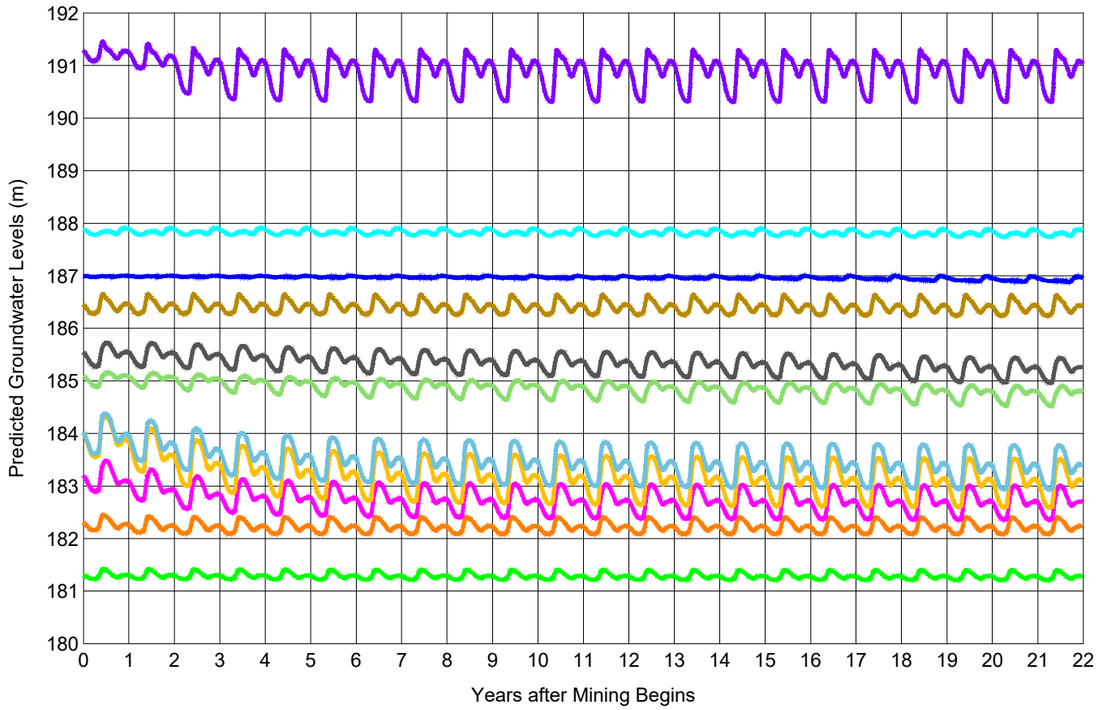
Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-10a







Monitoring Location 1 — Monitoring Location 2 — Monitoring Location 3 — Monitoring Location 4
Monitoring Location 5 — Monitoring Location 6 — Monitoring Location 7 — Monitoring Location 8
Monitoring Location 9 — Monitoring Location 10 — Monitoring Location 11

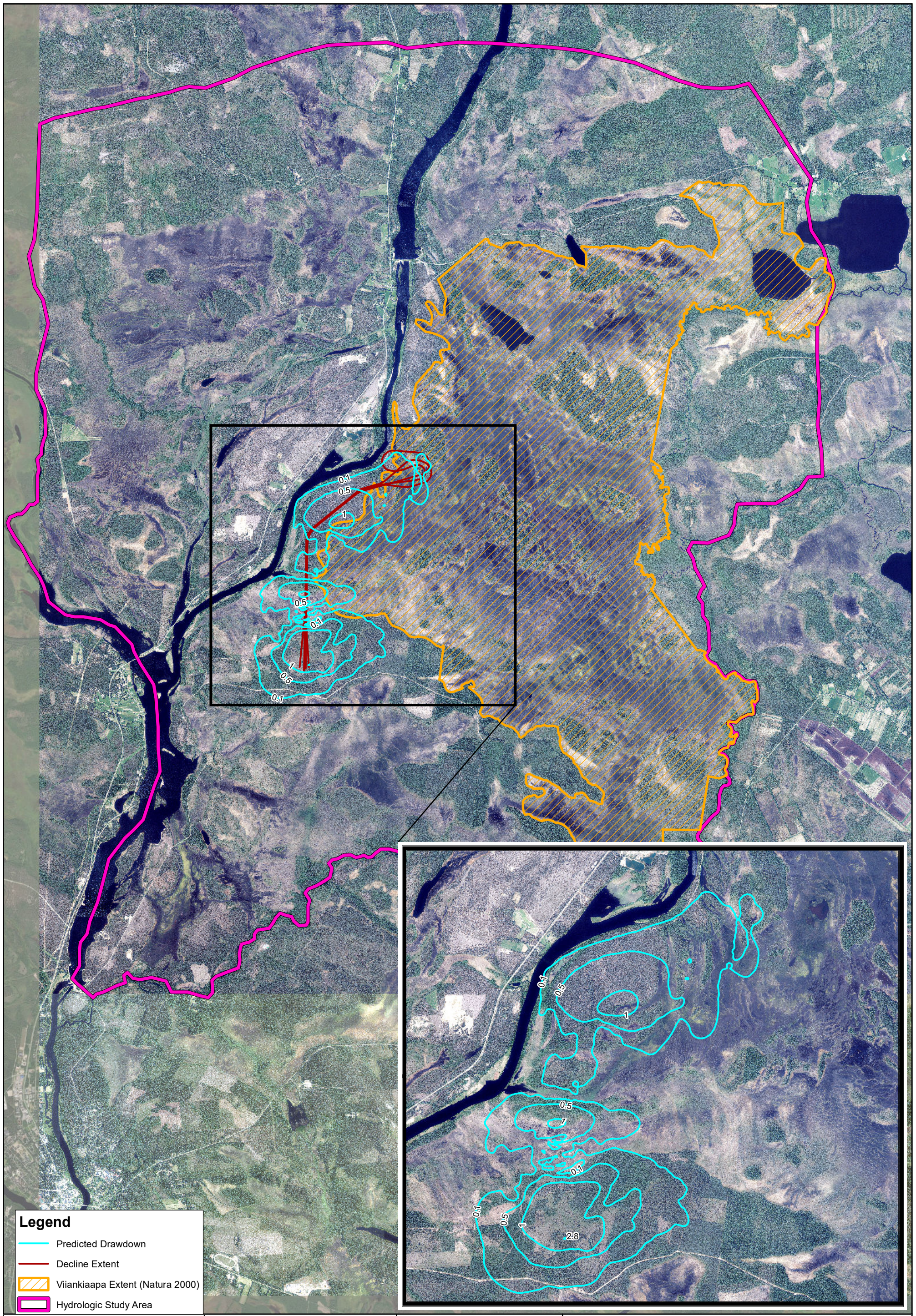
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	DD
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-10b



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.

Predicted Drawdown at the End of Mining for the 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-11a

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

Legend

- Predicted Drawdown
- Decline Extent
- Viiankiaapa Extent (Natura 2000)
- Hydrologic Study Area

N

0 1,250 2,500 Meters

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

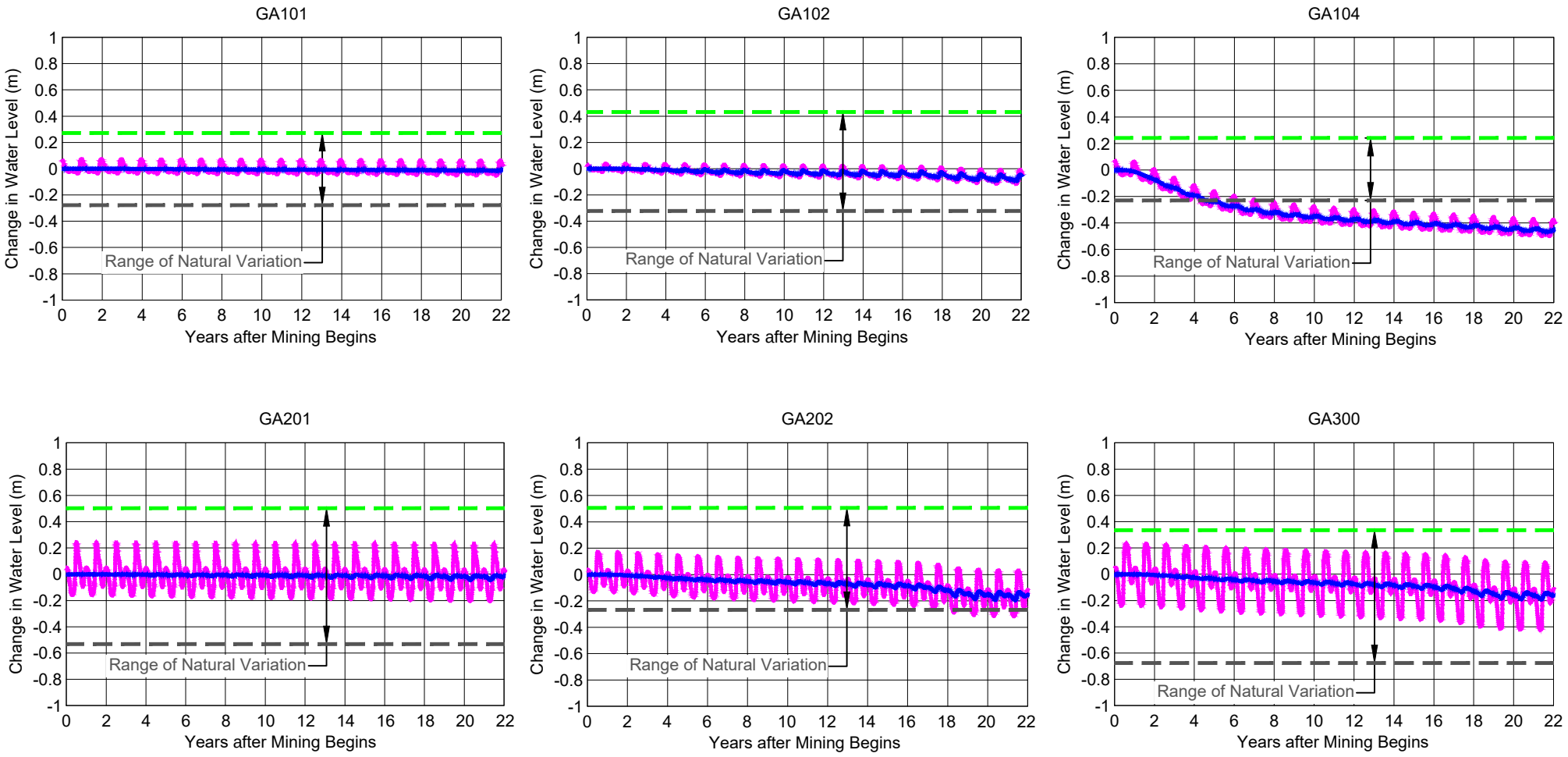
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown at the End of Mining for the 65% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-11b

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



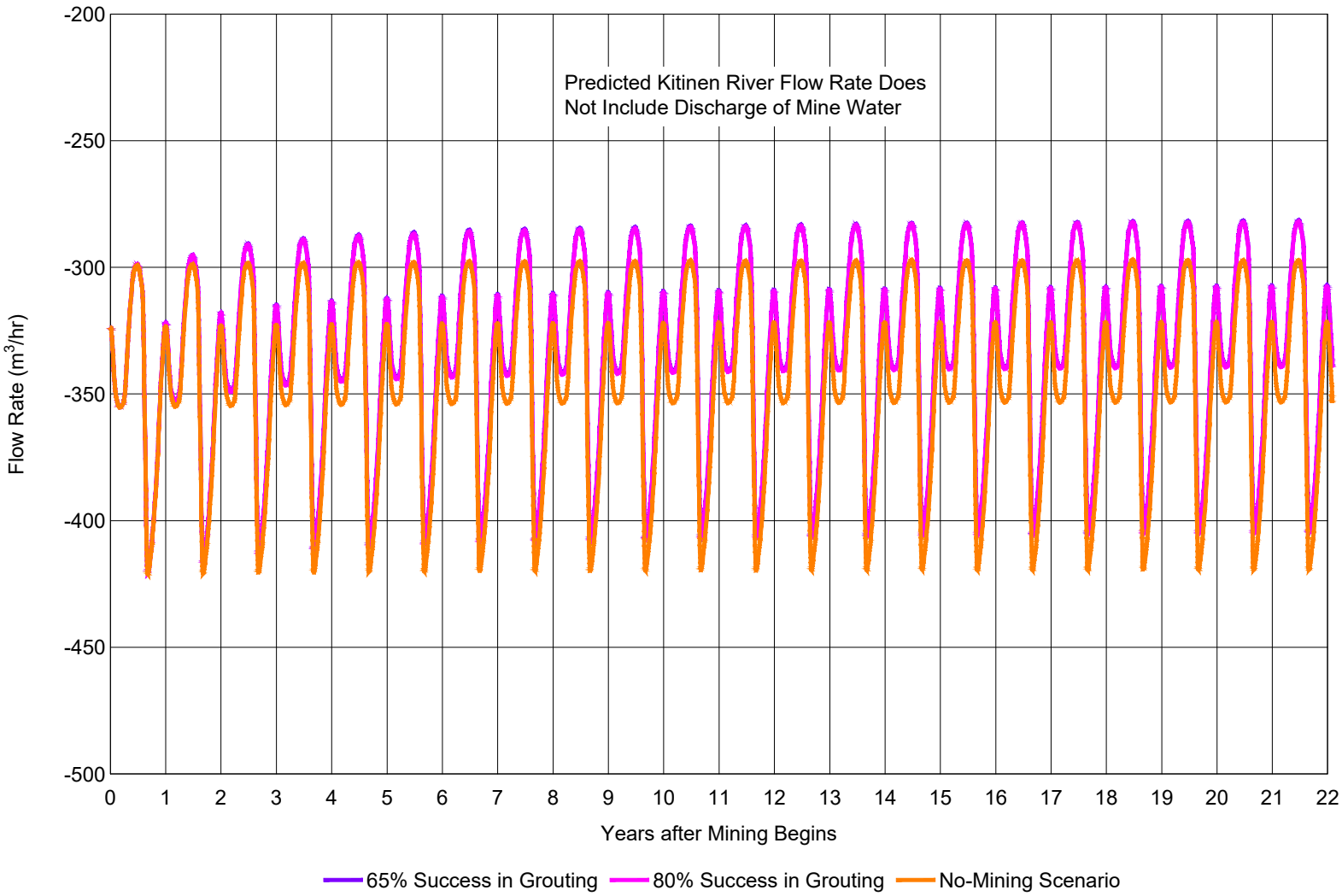
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	WLC
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Predictions of Seasonal Groundwater-Level Changes for the 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-12



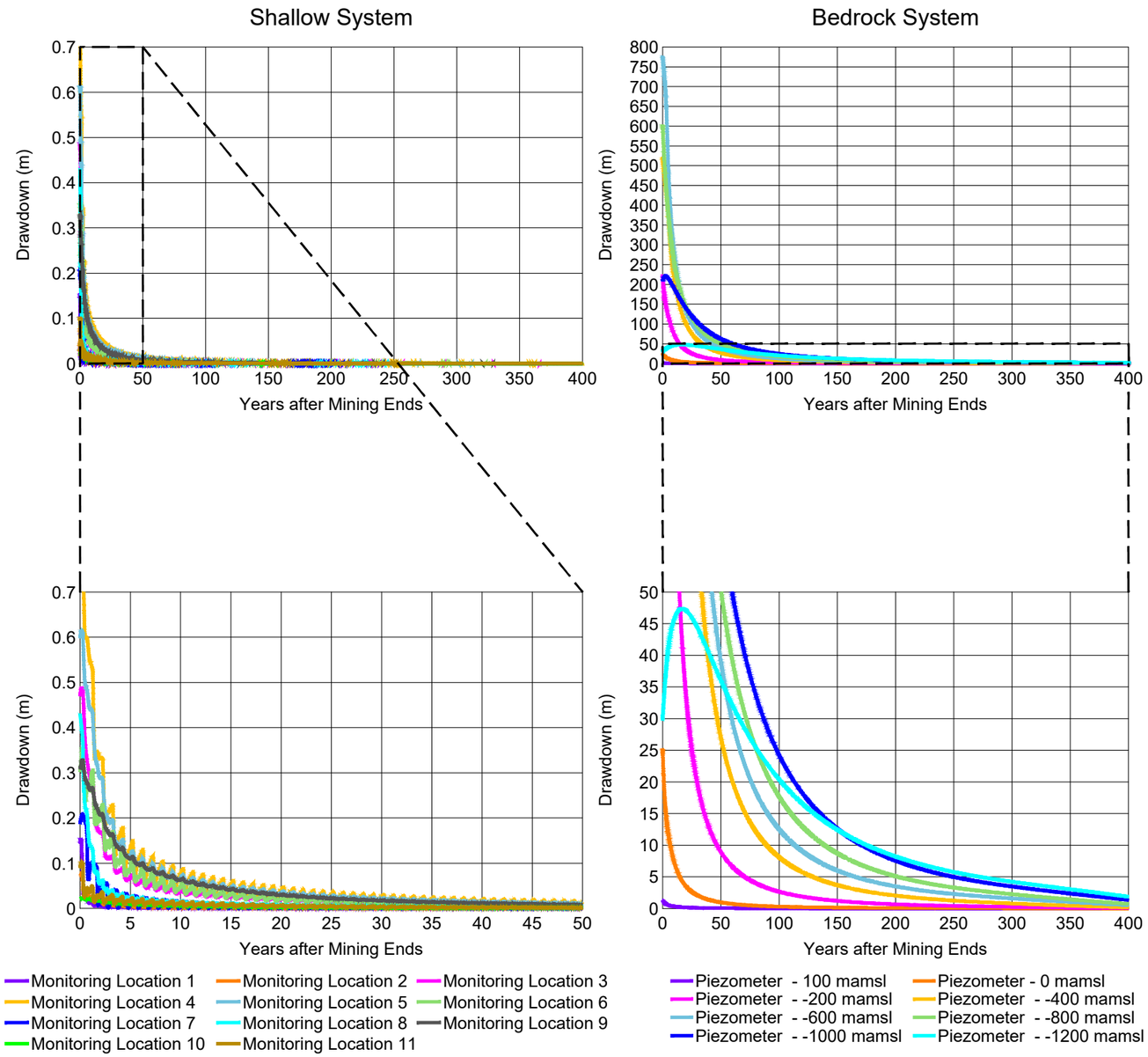
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	PRED
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

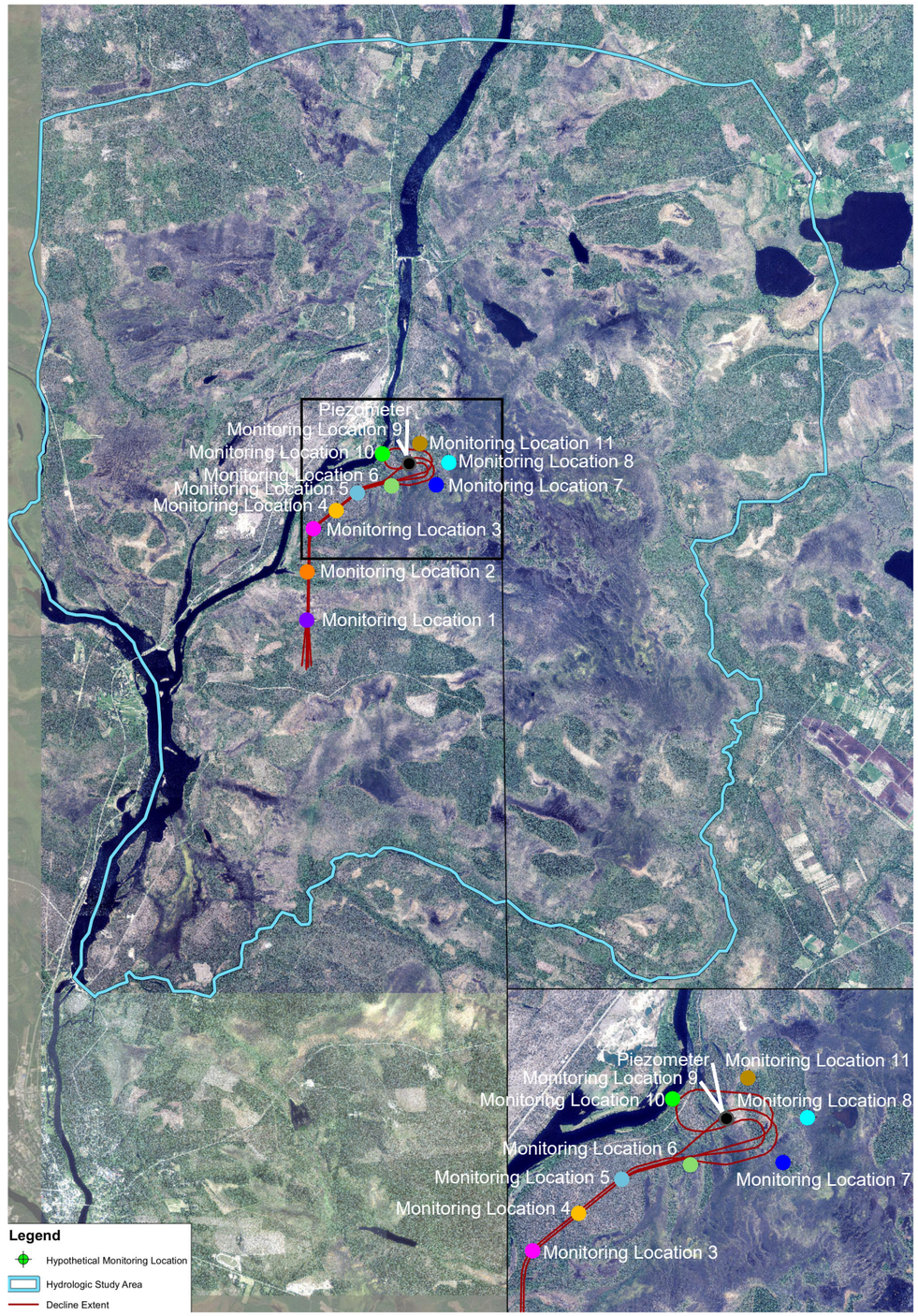
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Baseflow to the Kitinen River for the 65% and 80% Success in Grouting without the NE Deposit Scenarios

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-13





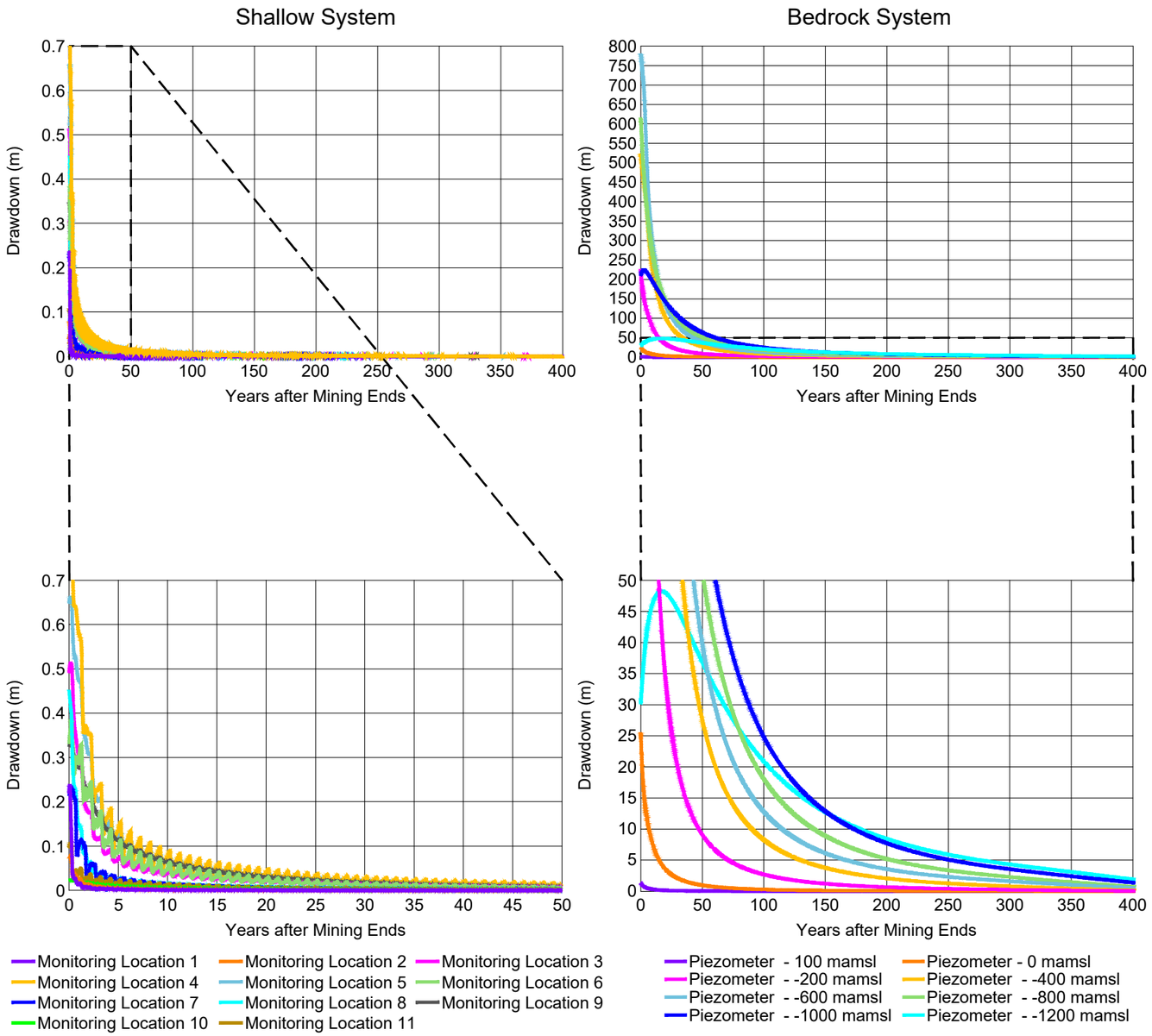
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	14 FEB 2023
REVISION DATE	

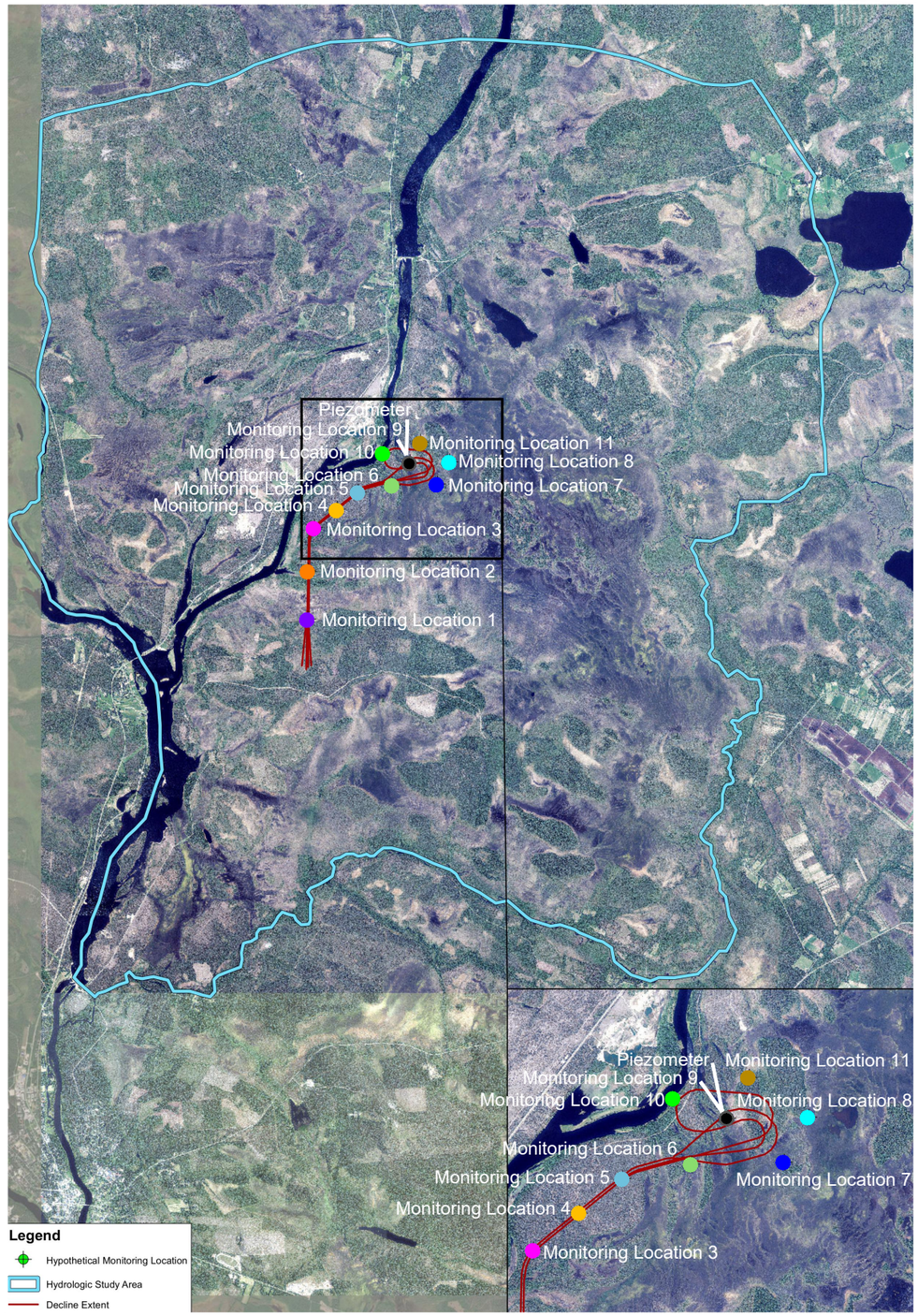
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Groundwater Recovery After Mining at Key Locations around the Mine Area for the 80% Success in Grouting with the NE Deposit Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-14a





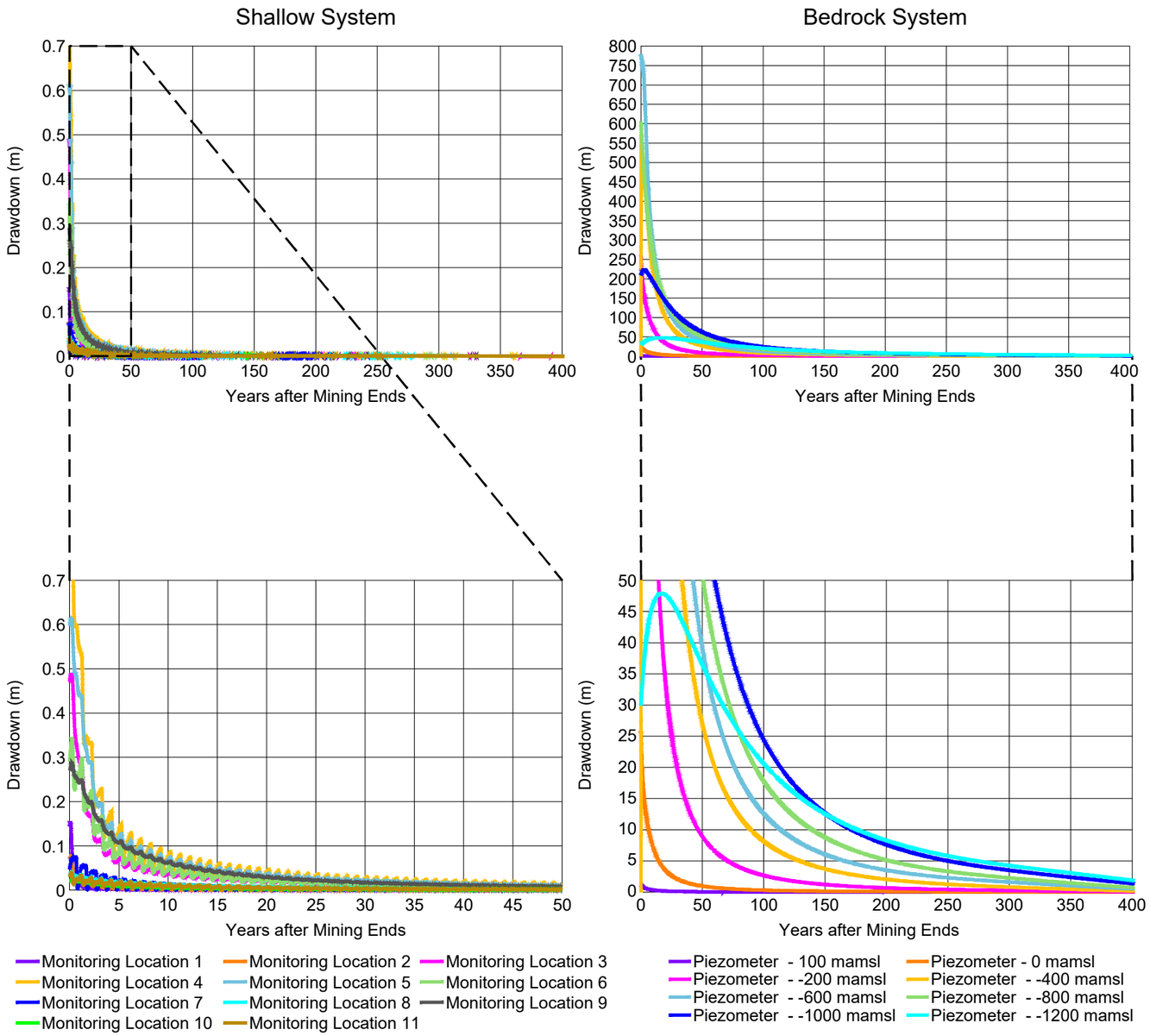
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	14 FEB 2023
REVISION DATE	

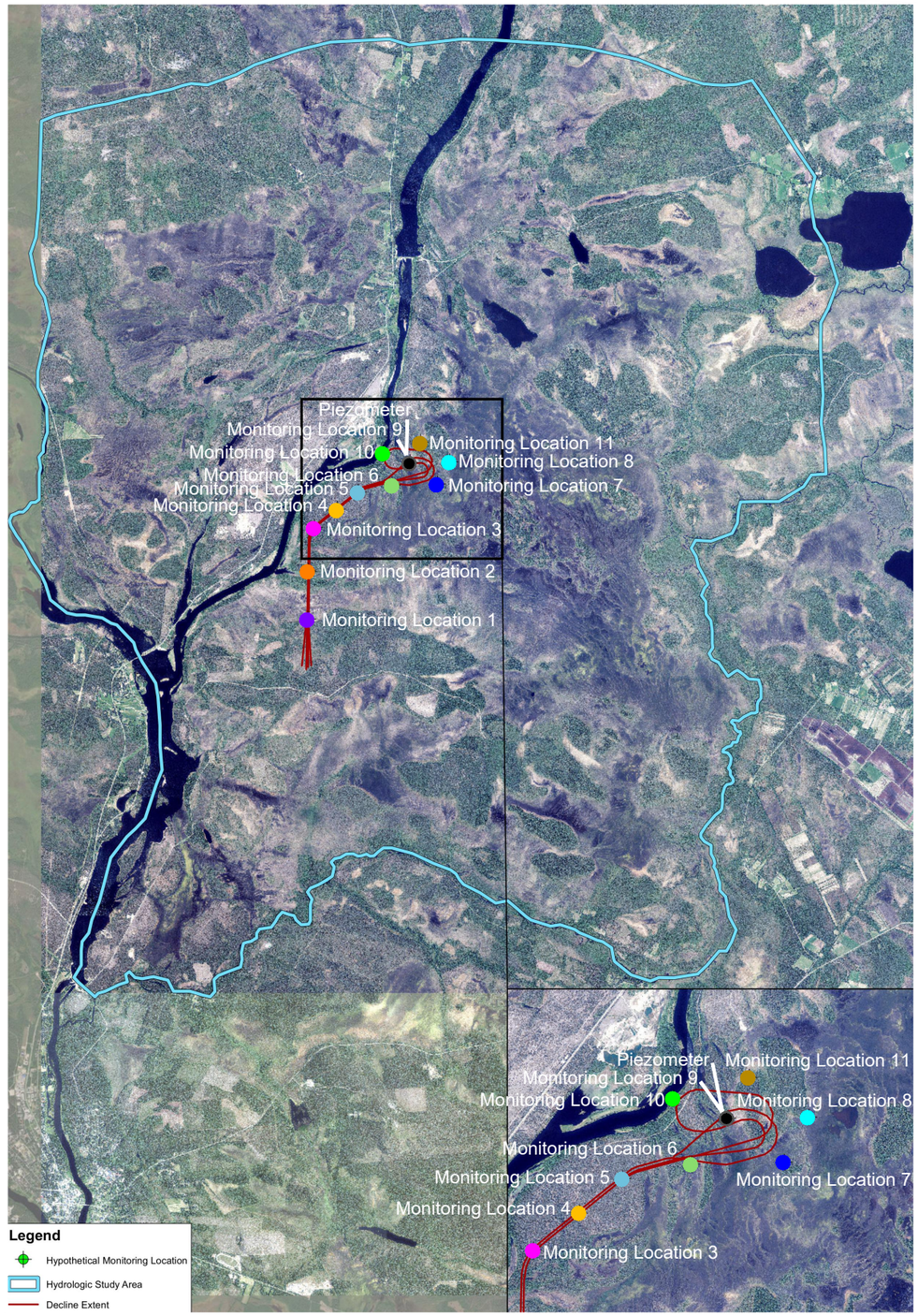
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Groundwater Recovery After Mining at Key Locations around the Mine Area for the 65% Success in Grouting with the NE Deposit Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-14b





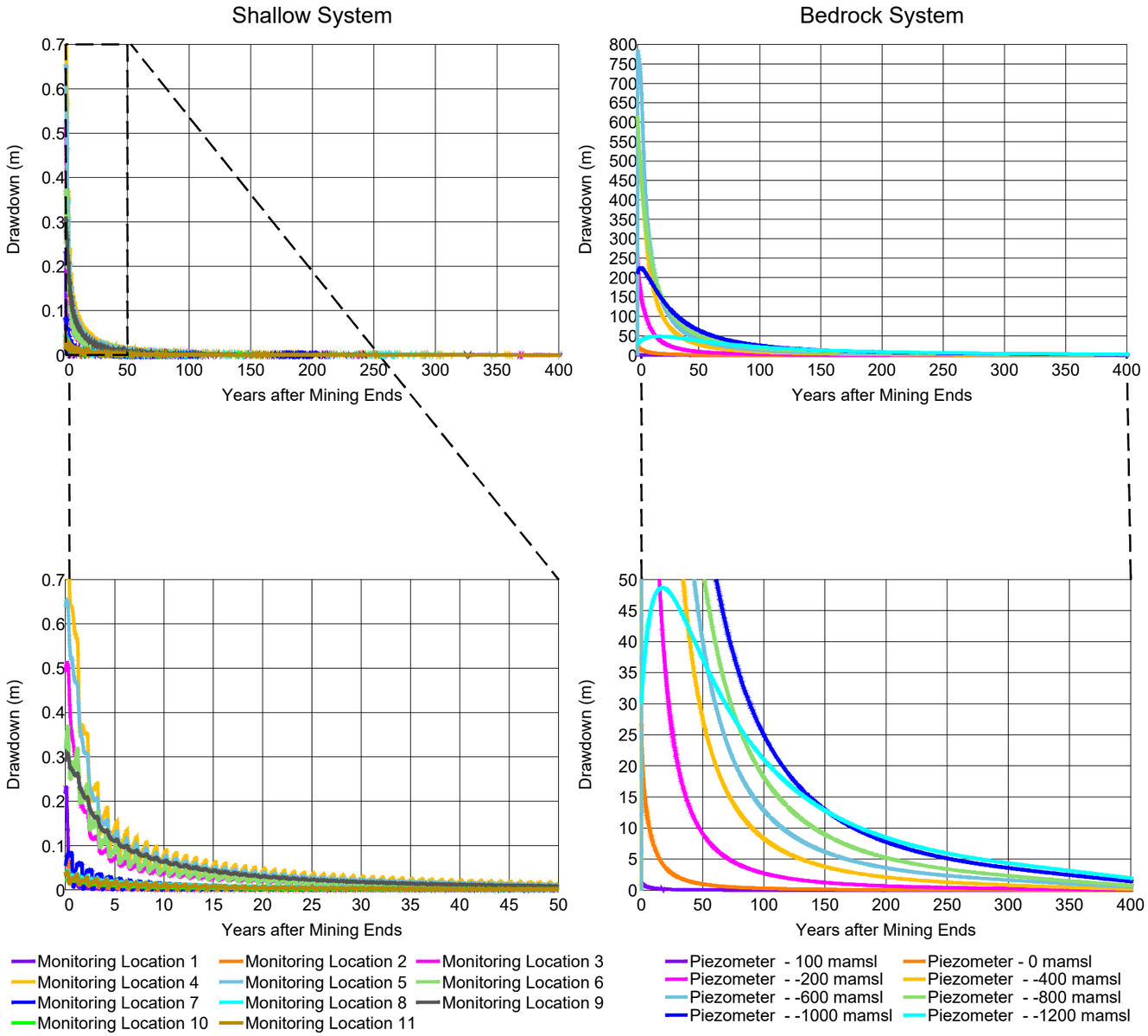
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	14 FEB 2023
REVISION DATE	

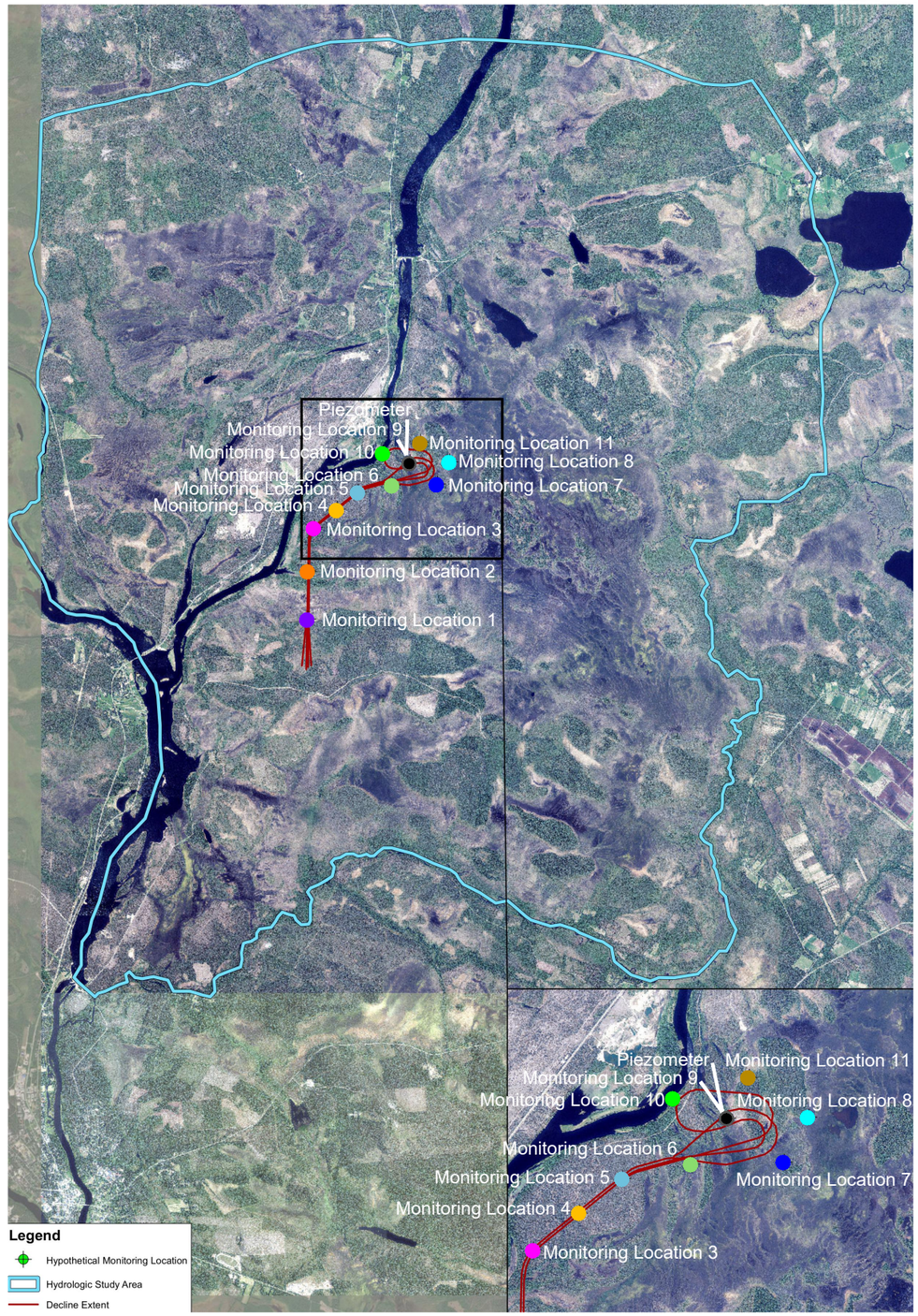
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Groundwater Recovery After Mining at Key Locations around the Mine Area for the 80% Success in Grouting with the NE Deposit Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-15a





PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	14 FEB 2023
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Groundwater Recovery After Mining at Key Locations around the Mine Area for the 65% Success in Grouting with the NE Deposit Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 5-15b

PROJECT STAGE					
Project Level Status	Conceptual	Pre-Feasibility	Feasibility	Design and Construction	Operations
Geotechnical Level Status	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Hydrogeologic Model	Regional groundwater survey	Mine scale airlift, pumping and packer testing to establish initial hydrogeological parameters; initial hydrogeological database and model established	Targeted pumping and airlift testing; enhancement of hydrogeological database and 3D model; initial assessment of depressurization and dewatering requirements; injection/ recovery rates	Installation of piezometers and dewatering or injection/recovery wells; refinement of hydrological database, 3D model, depressurization and dewatering requirements, recovery/injection requirements	Ongoing management of piezometer and dewatering well network; optimization of injection recovery rates and spacings; continued refinement of hydrogeological database and 3D model

Source: Read and Stacey, 2009

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

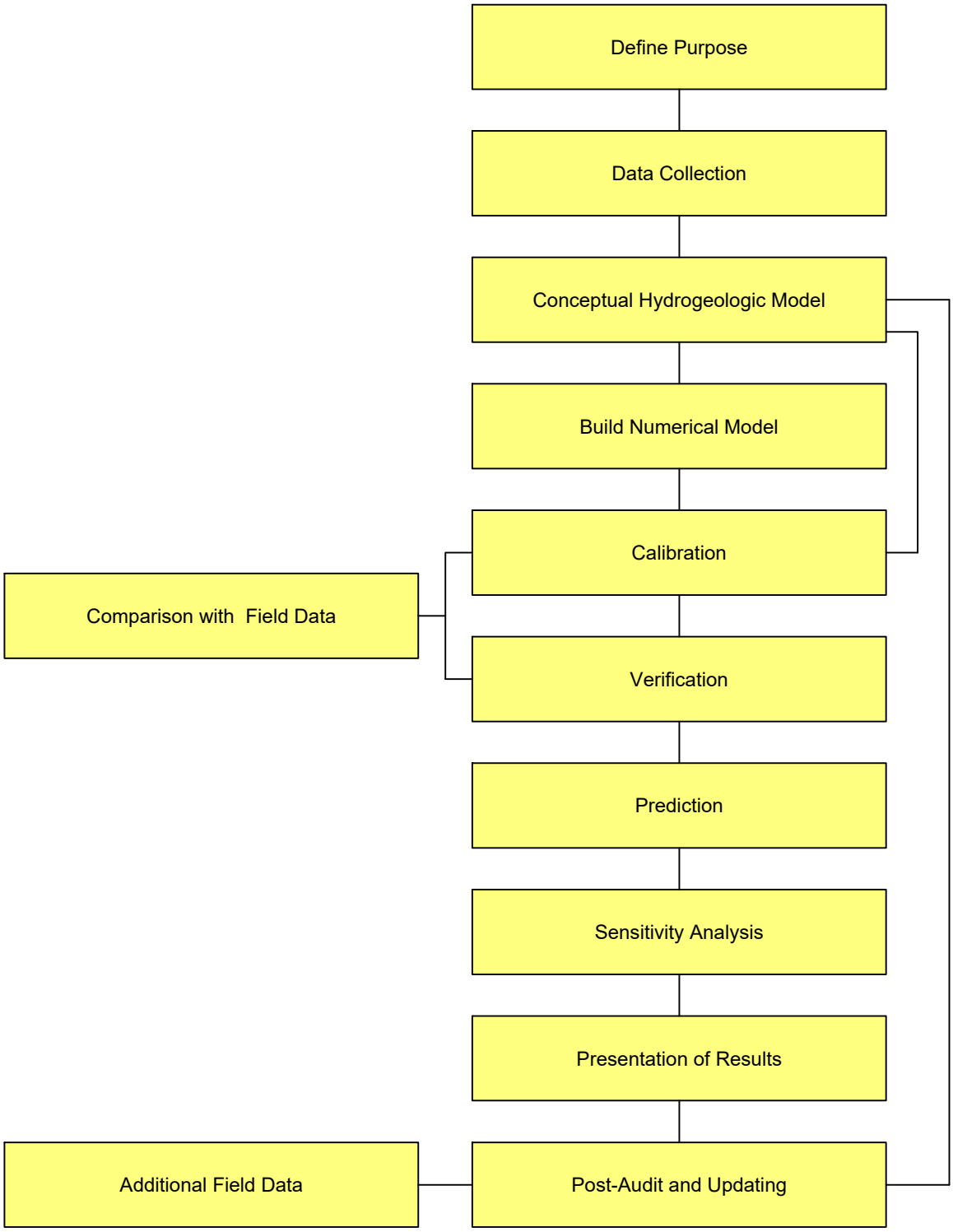
ITASCA™ Denver, Inc.

Levels of Hydrogeologic Effort at Different Project Stages

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 6-1

Groundwater Flow Modeling Procedure



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

ITASCA™ Denver, Inc.

Evolution of a Groundwater Flow Model

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. 6-2

TABLE 3-1

Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values of the Primary Hydrogeologic Units within the Hydrologic Study Area

Hydrogeologic Unit	Measured Range of Horizontal Hydraulic Conductivities (m/s)	Source(s)
Peat	1.0×10^{-7} to 1.0×10^{-5}	Golder 2015; Korkka-Niemi and Turtiainen 2020
Till	5.0×10^{-8} to 4.3×10^{-3}	Åberg et al. 2019; Åberg et al. 2021; Puumalainen 2021; Turtiainen 2020; SRK 2019
Sands / Gravels		
Fluvial and Glacial Sediments		
Fractured Bedrock	8.1×10^{-8} to 1.4×10^{-4}	AASM Oy 2021
Unfractured Bedrock	1.0×10^{-12} to 1.0×10^{-5}	AASM Oy 2021
Basal Thrust	5.9×10^{-7} to 9.6×10^{-7}	AASM Oy 2021
Other Faults	4.3×10^{-11} to 1.0×10^{-6}	AASM Oy 2021

TABLE 3-2

Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Packer Tests
(Page 1 of 7)

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

TABLE 3-2

Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Packer Tests
(Page 2 of 7)

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

TABLE 3-2

Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Packer Tests
(Page 3 of 7)

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

TABLE 3-2

Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Packer Tests
(Page 4 of 7)

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

TABLE 3-2

Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Packer Tests
(Page 5 of 7)

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

TABLE 3-2

Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Packer Tests
(Page 6 of 7)

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

TABLE 3-2

Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Packer Tests
(Page 7 of 7)

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

Note:
1. Coordinate System is KKJ3.

TABLE 3-3

Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Falling Head Tests

Well ID	Drilled Depth (mbgs)	Top	Bottom	Aquifer Thickness (m)	Tested Formation	Test Date	Pumping Test Analysis					
							Method	*K* (m/day)	*K* (m/s)	*T* (m^2/day)	*T* (m^2/s)	Comments
11MOS8049	914.01	159.00	177.00	18.00	Hanging Wall Volcaniclastics	2/5/2017	Bouwer Rice	3.15E-01	3.65E-06	5.67E+00	6.56E-05	Falling Head Test
13MOS8120	1060.90	140.00	171.00	31.00	Breccia	2/3/2017	Bouwer Rice	2.09E+00	2.42E-05	6.47E+01	7.49E-04	Falling Head Test. At contact of hanging wall volcaniclastics and breccia (146 m). Poor rock quality at 151 - 154 m.
13MOS8125	820.80	126.00	157.00	31.00	Breccia	2/3/2017	Bouwer Rice	7.94E-01	9.19E-06	2.46E+01	2.85E-04	Falling Head Test. At contact of altered ultramafic and breccia (137 m). Poor rock quality at narrow intervals 130.2 - 130.6 m and 150.6 - 151.7 m.

TABLE 3-4

Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Pump Tests

Well ID	Tested Formation	Pumping Test Analysis		
		Analysis Method	T (m^2/d)	K (m/s)
17MOS8193	Bedrock - Basal Thrust	Theis recovery	2.36E+01	9.59E-07
		Cooper-Jacob	1.46E+01	5.93E-07
		Papadopoulos-Cooper	1.66E+01	6.74E-07
18MOS8207	Bedrock - SE-NW Fault	Theis recovery	4.06E-03	9.96E-11
18MOS8205	Bedrock	Cooper-Jacob	2.67E-01	1.67E-08
17HYD001	Shallow Bedrock	Cooper-Jacob	1.42E+02	3.25E-05
17HYD002	Shallow Bedrock	Theis	1.76E+02	2.79E-05
17HYD014	Shallow Bedrock	Neuman unconfined	1.05E-02	3.76E-09
17HYD004	Shallow Bedrock	MLU multilayered aquifer	7.43E+01	9.51E-06
17HYD006	Shallow Bedrock	MLU multilayered aquifer	2.62E+01	3.33E-06
17HYD008	Shallow Bedrock	MLU with leaky aquifer	5.20E+01	6.56E-06
17MOS8169	Shallow Bedrock	Cooper-Jacob (drawdown and recovery)	1.84E+00	8.06E-08
11MOS8054	See spinner test log	Bouwer-Rice	1.03E-01	1.11E-09
13MOS8123	See spinner test log	Theis Recovery	7.71E-01	9.74E-09
16MOS8161	See spinner test log	Cooper-Jacob (drawdown and recovery)	5.66E-01	7.40E-09
12MOS8096	See spinner test log	Cooper-Jacob (recovery only)	1.72E+00	6.11E-08
17HYD013	See spinner test log	Cooper-Jacob	1.72E+00	1.04E-07
17HYD017	See spinner test log	Cooper-Jacob (recovery only)	2.94E+01	5.81E-06
17MOS8174	See spinner test log	Cooper-Jacob (recovery only)	5.57E-01	9.32E-09
17HYD016	Glacial (gravelly clayey sand)	MLU multilayered aquifer	2.93E+01	1.16E-04
17HYD015	Glacial (gravelly clayey sand)	MLU multilayered aquifer	1.31E+01	5.21E-05

TABLE 3-5

Summary of Measured Hydraulic Conductivity Values from Air-Lift Tests

Well ID	Depth (mbgs)	Measured Water Level (mbgs)	Saturated Aquifer Thickness (m)	Test Date	Airlift Test Analysis			
					Method	T (m^2/d)	K (m/d)	K (m/s)
17HYD003	12.09	1.19	10.90	5/1/2017	Theis recovery	75.78	6.952	8.05E-05
17HYD005	9.55	0.05	9.50	5/2/2017	Theis recovery	57.33	6.035	6.98E-05
17HYD007	16.00	1.54	14.46	4/24/2017	Theis recovery	0.81	0.056	6.48E-07
17HYD009	8.60	4.68	3.92	4/21/2017	Theis recovery	0.017	0.004	5.02E-08
17HYD011	12.74	0.10	12.64	4/30/2017	Theis recovery	10.24	0.810	9.38E-06
17HYD012	8.40	0.09	8.31	4/22/2017	Theis recovery	30.43	3.662	4.24E-05
17HYD015	11.50	0.70	10.80	4/30/2017	Theis recovery	33	3.056	3.54E-05
17HYD018	9.51	5.94	2.09	3/8/2017	Cooper-Jacob unconfined	0.677	0.324	3.75E-06
17HYD016	10.75	5.53	2.49	3/7/2017	Bouwer-Rice unconfined	0.041085	0.0165	1.91E-07

TABLE 3-6

Measured Hydraulic Conductivity Values at Fault Structures

Well ID	Test Type	Meters below Ground Surface (m)		Fault Structure	Measured Hydraulic Conductivity (m/s)
		From	To		
16MOS8160	Packer	380.4	480.4	HW Shear Central	1.26E-08
16MOS8160	Packer	795.35	893.1	SENW1	6.31E-11
16MOS8163	Packer	167.4	215.4	EW	2.37E-08
16MOS8163	Packer	215.4	281.75	EW	1.05E-08
17MOS8174	Packer	100.95	158.4	EW Central	6.17E-09
17MOS8174	Packer	158.4	242.4	EW Central	2.44E-08
17MOS8178	Packer	606.65	705.45	SENW1	6.04E-09
17MOS8184	Packer	477.25	572.2	SENW1	1.69E-08
17MOS8199	Packer	209.1	391.2	EW	1.87E-08
17MOS8200	Packer	396.15	496.15	EW	6.58E-09
17MOS8200	Packer	716.4	851.1	Lower Thrust 1	4.26E-11
17MOS8201	Packer	1039.25	1042	Lower Thrust 2	1.63E-09
17MOS8207	Packer	382.25	455.5	HW Shear Central, SENW1	3.56E-09
18MOS8208	Packer	858.35	930.8	HW Shear Central	2.14E-09
18MOS8208	Packer	930.8	1105.5	Lower Thrust 2	8.58E-10
18MOS8226	Packer	865.2	950	Lower Thrust 2	1.67E-08
18MOS8231	Packer	588.35	683.5	HW Shear Central	4.34E-08
20MOS8248	Packer	744.9	780	Not yet in model 2020	7.04E-10
20MOS8250	Packer	271.9	389.6	Not yet in model 2020	3.15E-09
20MOS8253	Packer	708.9	730.9	Not yet in model 2020	1.24E-07
20MOS8254	Packer	115.1	148.4	Not yet in model 2020	1.31E-09
20MOS8255	Packer	122.5	182.8	Not yet in model 2020	2.61E-08
20MOS8255	Packer	186.2	282.9	Not yet in model 2020	1.59E-08
20MOS8255	Packer	311.8	368.8	Not yet in model 2020	7.69E-10
20MOS8256	Packer	671.55	703.8	Not yet in model 2020	3.22E-09
21MOS8257C	Packer	789.9	903	Not yet in model 2020	5.62E-10
21MOS8259B	Packer	684.6	734.8	Not yet in model 2020	1.28E-09
21MOS8260	Packer	486.5	593.4	Not yet in model 2020	5.41E-08
21MOS8262	Packer	363.9	485.4	Not yet in model 2020	1.04E-06
21MOS8263	Packer	30.4	139.5	Not yet in model 2020	7.63E-09
21MOS8263	Packer	573.2	647.2	Not yet in model 2020	6.51E-10
13MOS8123	Spinner	312.6	316.66	Mylonitic shear	3.54E-08
16MOS8161	Spinner	64.16	104.16	Mylonitic Shear	7.40E-09
17HYD013	Spinner	28.75	35.75	Broken core	7.59E-07
17MOS8174	Spinner	508.15	512.55	Broken core	3.11E-08
17MOS8174	Spinner	600.95	629.15	Very broken	1.67E-08
17MOS8174	Spinner	653.35	654.75	Strongly altered	5.90E-09

TABLE 3-7

Measured Annual Precipitation Data at Sodankylä Tähtelä Station
(Page 1 of 2)

Year	Measured Annual Precipitation (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

TABLE 3-7

Measured Annual Precipitation Data at Sodankylä Tähtelä Station
(Page 2 of 2)

Year	Measured Annual Precipitation (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
Arithmetic Mean (1959 to 2020)	**518**
Arithmetic Mean (2000 to 2020)	**548**
Arithmetic Mean (2010 to 2020)	**553**

Note:
1. Year 2021 was not included in the geometric mean due to an incomplete dataset.

TABLE 3-8

Average Monthly and Daily Precipitation Rates at the Sodankylä Tähtelä Station

Month	Entire Record (1959 to 2020)		Last 20 Years (2000 to 2020)		Last 10 Years (2011 to 2020)	
	Daily Precipitation Rate (mm/day)	Total Monthly Precipitation (mm)	Daily Precipitation Rate (mm/day)	Total Monthly Precipitation (mm)	Daily Precipitation Rate (mm/day)	Total Monthly Precipitation (mm)
January	1.1	33.7	1.2	36.3	1.1	35.0
February	1.0	27.4	1.0	29.3	1.0	28.2
March	0.9	27.1	0.9	28.8	0.8	26.3
April	0.9	27.4	1.0	30.1	1.0	29.5
May	1.2	37.7	1.3	41.7	1.4	43.9
June	1.9	57.5	2.4	71.4	1.9	58.2
July	2.3	69.8	2.3	70.8	2.7	82.6
August	1.9	59.9	1.5	47.0	1.8	56.4
September	1.8	52.6	1.8	54.1	1.9	56.4
October	1.6	48.1	1.7	51.4	1.4	44.6
November	1.4	40.7	1.5	45.6	1.4	42.2
December	1.2	19.7	1.6	27.9	1.3	22.3

TABLE 3-9

Measured Annual Pan Evaporation Data at the Sodankylä Tähtelä Station
(Page 1 of 2)

Year	Pan Evaporation Rate (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

TABLE 3-9

Measured Annual Pan Evaporation Data at the Sodankylä Tähtelä Station
(Page 2 of 2)

Year	Pan Evaporation Rate (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
Arithmetic Mean (1958 to 2011)	**349**
Arithmetic Mean (2000 to 2011)	**329**

Note:

1. Data from 1957 and 2012 through 2015 are excluded from the datasets due to anomalously low measured data.

TABLE 3-10

Estimated Future Recharge Rates to Hydrogeologic Units for the Climate Case RCP4.5
(Page 1 of 10)

Date	Estimated Future Recharge Rate for RCP4.5 Case (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
7/1/2021	0.4	0.5	0.4
8/1/2021	0.9	1.3	0.0
9/1/2021	0.4	0.8	0.0
10/1/2021	0.0	0.0	0.0
11/1/2021	0.5	0.6	0.0
12/1/2021	0.0	0.0	0.0
1/1/2022	0.0	0.0	0.0
2/1/2022	0.1	0.5	0.1
3/1/2022	0.0	0.0	0.0
4/1/2022	0.9	1.3	0.3
5/1/2022	1.4	2.5	0.0
6/1/2022	0.4	0.5	0.6
7/1/2022	0.0	0.0	0.0
8/1/2022	0.0	0.0	0.0
9/1/2022	0.0	0.3	0.8
10/1/2022	1.3	1.4	0.1
11/1/2022	0.3	0.6	0.0
12/1/2022	0.1	0.2	0.0
1/1/2023	0.0	0.0	0.0
2/1/2023	0.2	0.4	0.1
3/1/2023	0.0	0.1	0.0
4/1/2023	0.6	0.9	0.2
5/1/2023	2.4	5.0	0.0
6/1/2023	0.0	0.0	0.0
7/1/2023	0.0	0.1	0.4
8/1/2023	0.0	0.0	0.0
9/1/2023	0.0	0.0	0.0
10/1/2023	0.0	0.1	1.1
11/1/2023	0.0	0.0	0.0
12/1/2023	1.5	1.6	1.2
1/1/2024	0.0	0.0	0.0
2/1/2024	0.0	0.0	0.0
3/1/2024	0.3	0.8	0.2
4/1/2024	1.1	1.6	0.2
5/1/2024	0.8	1.4	0.0
6/1/2024	0.0	0.0	0.0
7/1/2024	0.0	0.0	0.0

TABLE 3-10

Estimated Future Recharge Rates to Hydrogeologic Units for the Climate Case RCP4.5
(Page 2 of 10)

Date	Estimated Future Recharge Rate for RCP4.5 Case (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
8/1/2024	2.0	2.4	3.3
9/1/2024	0.0	0.2	0.0
10/1/2024	0.6	0.8	0.0
11/1/2024	0.6	1.0	0.0
12/1/2024	0.1	0.3	0.0
1/1/2025	0.4	0.7	0.0
2/1/2025	0.0	0.0	0.0
3/1/2025	0.0	0.2	0.0
4/1/2025	2.5	4.0	0.0
5/1/2025	0.4	0.5	0.0
6/1/2025	0.3	0.8	0.0
7/1/2025	0.0	0.0	0.0
8/1/2025	0.0	0.2	0.5
9/1/2025	0.5	0.5	0.0
10/1/2025	1.1	1.4	0.1
11/1/2025	0.9	1.4	0.0
12/1/2025	0.9	1.2	0.0
1/1/2026	0.0	0.0	0.0
2/1/2026	0.0	0.0	0.0
3/1/2026	0.0	0.2	0.0
4/1/2026	2.4	3.2	0.3
5/1/2026	0.0	1.1	0.0
6/1/2026	0.0	0.0	0.0
7/1/2026	0.0	0.0	0.0
8/1/2026	0.0	0.0	0.0
9/1/2026	0.0	0.2	1.7
10/1/2026	0.0	0.1	0.9
11/1/2026	0.0	0.0	0.1
12/1/2026	0.0	0.0	0.0
1/1/2027	0.1	0.2	0.3
2/1/2027	0.0	0.0	0.0
3/1/2027	1.6	1.2	0.4
4/1/2027	2.1	3.5	0.3
5/1/2027	0.3	1.0	0.0
6/1/2027	0.0	0.0	0.0
7/1/2027	0.0	0.1	0.5
8/1/2027	0.0	0.0	0.0

TABLE 3-10

Estimated Future Recharge Rates to Hydrogeologic Units for the Climate Case RCP4.5
(Page 3 of 10)

Date	Estimated Future Recharge Rate for RCP4.5 Case (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
9/1/2027	0.0	0.0	0.0
10/1/2027	0.0	0.1	1.3
11/1/2027	0.0	0.0	0.6
12/1/2027	2.5	2.8	1.1
1/1/2028	0.0	0.1	0.0
2/1/2028	0.0	0.0	0.0
3/1/2028	0.5	1.0	0.2
4/1/2028	2.2	3.3	0.1
5/1/2028	0.0	0.0	0.0
6/1/2028	0.0	0.1	0.0
7/1/2028	0.1	0.2	0.2
8/1/2028	0.0	0.0	0.0
9/1/2028	0.0	0.0	0.3
10/1/2028	0.0	0.0	0.0
11/1/2028	0.0	0.0	0.3
12/1/2028	0.0	0.0	0.0
1/1/2029	0.0	0.0	0.5
2/1/2029	0.0	0.0	0.0
3/1/2029	0.0	0.0	0.0
4/1/2029	3.3	5.5	1.0
5/1/2029	0.0	0.0	0.0
6/1/2029	0.0	0.0	0.0
7/1/2029	0.0	0.0	0.6
8/1/2029	0.1	0.2	1.0
9/1/2029	1.5	1.4	0.1
10/1/2029	0.1	0.3	0.0
11/1/2029	0.9	1.4	0.1
12/1/2029	0.2	0.5	0.0
1/1/2030	0.0	0.0	0.0
2/1/2030	0.4	0.5	0.0
3/1/2030	0.0	0.3	0.0
4/1/2030	0.1	0.2	0.0
5/1/2030	2.3	4.0	0.0
6/1/2030	0.0	0.0	0.0
7/1/2030	0.0	0.0	0.0
8/1/2030	0.0	0.2	1.8
9/1/2030	0.1	0.2	0.4

TABLE 3-10

Estimated Future Recharge Rates to Hydrogeologic Units for the Climate Case RCP4.5
(Page 4 of 10)

Date	Estimated Future Recharge Rate for RCP4.5 Case (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
10/1/2030	0.4	0.4	0.1
11/1/2030	0.6	0.3	0.0
12/1/2030	0.0	0.0	0.0
1/1/2031	2.3	3.7	0.4
2/1/2031	0.0	0.0	0.0
3/1/2031	0.0	0.0	0.0
4/1/2031	1.7	2.7	0.0
5/1/2031	0.0	0.1	0.0
6/1/2031	0.0	0.0	0.0
7/1/2031	0.0	0.0	0.0
8/1/2031	0.0	0.0	0.1
9/1/2031	1.4	1.4	0.4
10/1/2031	0.1	0.3	0.0
11/1/2031	0.8	1.1	0.1
12/1/2031	0.0	0.0	0.0
1/1/2032	0.0	0.0	0.0
2/1/2032	0.0	0.1	0.1
3/1/2032	0.0	0.0	0.0
4/1/2032	3.1	4.6	0.4
5/1/2032	0.4	0.6	0.0
6/1/2032	0.0	0.1	0.0
7/1/2032	0.8	1.0	0.5
8/1/2032	0.0	0.0	0.0
9/1/2032	0.2	0.7	0.4
10/1/2032	1.1	1.5	0.1
11/1/2032	1.1	1.6	0.0
12/1/2032	0.5	0.9	0.0
1/1/2033	0.7	1.1	0.0
2/1/2033	0.0	0.0	0.0
3/1/2033	0.0	0.0	0.0
4/1/2033	0.0	0.0	0.0
5/1/2033	1.6	2.2	0.1
6/1/2033	0.0	0.0	0.0
7/1/2033	0.0	0.3	1.5
8/1/2033	2.1	2.6	0.3
9/1/2033	0.5	0.8	0.0
10/1/2033	1.0	1.5	0.0

TABLE 3-10

Estimated Future Recharge Rates to Hydrogeologic Units for the Climate Case RCP4.5
(Page 5 of 10)

Date	Estimated Future Recharge Rate for RCP4.5 Case (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
11/1/2033	0.3	0.7	0.0
12/1/2033	0.0	0.0	0.0
1/1/2034	0.0	0.0	0.0
2/1/2034	0.2	0.4	0.0
3/1/2034	0.0	0.1	0.0
4/1/2034	0.0	0.0	0.0
5/1/2034	2.1	3.3	0.0
6/1/2034	0.0	0.0	0.0
7/1/2034	0.0	0.0	0.0
8/1/2034	0.0	0.0	0.0
9/1/2034	0.0	0.0	0.0
10/1/2034	0.0	0.1	2.1
11/1/2034	0.0	0.9	1.1
12/1/2034	1.1	0.7	1.2
1/1/2035	0.4	0.9	0.4
2/1/2035	0.8	1.4	0.1
3/1/2035	0.0	0.0	0.0
4/1/2035	1.6	2.3	0.2
5/1/2035	0.3	0.5	0.0
6/1/2035	0.0	0.0	0.0
7/1/2035	0.0	0.0	0.0
8/1/2035	0.0	0.2	1.9
9/1/2035	0.0	0.1	0.4
10/1/2035	1.5	1.2	0.3
11/1/2035	0.2	0.9	0.0
12/1/2035	0.0	0.0	0.0
1/1/2036	1.0	1.4	0.2
2/1/2036	0.0	0.0	0.0
3/1/2036	0.0	0.1	0.0
4/1/2036	0.0	0.0	0.0
5/1/2036	1.6	2.5	0.0
6/1/2036	0.0	0.0	0.0
7/1/2036	0.0	0.0	0.2
8/1/2036	0.6	0.6	1.2
9/1/2036	0.6	0.5	0.1
10/1/2036	1.5	2.1	0.2
11/1/2036	0.0	0.0	0.0

TABLE 3-10

Estimated Future Recharge Rates to Hydrogeologic Units for the Climate Case RCP4.5
(Page 6 of 10)

Date	Estimated Future Recharge Rate for RCP4.5 Case (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
12/1/2036	0.9	1.0	0.1
1/1/2037	0.6	1.1	0.0
2/1/2037	0.1	0.8	0.0
3/1/2037	0.0	0.0	0.0
4/1/2037	1.2	1.8	0.0
5/1/2037	0.0	0.0	0.0
6/1/2037	0.0	0.0	0.0
7/1/2037	0.8	0.9	0.0
8/1/2037	0.0	0.0	0.0
9/1/2037	0.0	0.0	0.4
10/1/2037	0.0	0.0	0.2
11/1/2037	0.0	0.3	1.4
12/1/2037	1.0	0.7	0.2
1/1/2038	0.0	0.2	0.0
2/1/2038	1.3	2.2	0.3
3/1/2038	0.0	0.1	0.0
4/1/2038	1.5	2.0	0.0
5/1/2038	0.2	0.1	0.0
6/1/2038	0.0	0.0	0.0
7/1/2038	0.6	0.8	0.0
8/1/2038	0.5	0.9	0.7
9/1/2038	0.1	0.3	0.0
10/1/2038	0.6	0.8	0.0
11/1/2038	0.6	1.0	0.0
12/1/2038	0.0	0.1	0.0
1/1/2039	1.2	1.7	0.0
2/1/2039	0.0	0.0	0.0
3/1/2039	0.0	0.0	0.0
4/1/2039	1.5	2.0	0.3
5/1/2039	0.2	0.6	0.0
6/1/2039	0.0	0.0	0.0
7/1/2039	0.0	0.0	0.0
8/1/2039	0.0	0.3	2.8
9/1/2039	1.5	1.4	1.0
10/1/2039	0.5	0.8	0.0
11/1/2039	0.7	1.2	0.0
12/1/2039	0.0	0.3	0.0

TABLE 3-10

Estimated Future Recharge Rates to Hydrogeologic Units for the Climate Case RCP4.5
(Page 7 of 10)

Date	Estimated Future Recharge Rate for RCP4.5 Case (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
1/1/2040	0.0	0.0	0.0
2/1/2040	0.0	0.0	0.0
3/1/2040	0.0	0.1	0.0
4/1/2040	1.1	1.3	0.3
5/1/2040	1.8	3.6	0.0
6/1/2040	0.0	0.0	0.0
7/1/2040	1.3	1.9	1.8
8/1/2040	0.0	0.0	0.0
9/1/2040	0.3	0.4	0.6
10/1/2040	1.7	2.4	0.0
11/1/2040	0.7	1.0	0.0
12/1/2040	0.9	1.2	0.0
1/1/2041	1.0	1.8	0.0
2/1/2041	0.3	0.7	0.0
3/1/2041	0.0	0.0	0.0
4/1/2041	1.4	1.6	0.1
5/1/2041	0.0	0.0	0.0
6/1/2041	0.4	0.4	0.0
7/1/2041	0.0	0.0	0.0
8/1/2041	0.0	0.0	0.1
9/1/2041	0.0	0.1	0.3
10/1/2041	0.0	0.0	0.8
11/1/2041	0.0	0.0	0.5
12/1/2041	0.0	0.0	0.4
1/1/2042	0.0	0.0	0.0
2/1/2042	0.0	0.0	0.0
3/1/2042	0.0	0.0	0.0
4/1/2042	1.5	2.5	1.0
5/1/2042	0.0	0.0	0.0
6/1/2042	0.0	0.0	0.2
7/1/2042	1.5	1.8	1.1
8/1/2042	0.6	1.4	0.0
9/1/2042	0.0	0.2	0.4
10/1/2042	1.0	1.3	0.2
11/1/2042	1.9	2.4	0.0
12/1/2042	0.0	0.1	0.0
1/1/2043	0.7	1.1	0.0

TABLE 3-10

Estimated Future Recharge Rates to Hydrogeologic Units for the Climate Case RCP4.5
(Page 8 of 10)

Date	Estimated Future Recharge Rate for RCP4.5 Case (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
2/1/2043	0.0	0.0	0.0
3/1/2043	0.0	0.0	0.0
4/1/2043	2.0	3.1	0.3
5/1/2043	0.0	0.0	0.0
6/1/2043	0.0	0.0	0.0
7/1/2043	0.0	0.0	0.0
8/1/2043	0.0	0.0	0.0
9/1/2043	0.0	0.0	0.5
10/1/2043	0.0	0.0	0.9
11/1/2043	0.0	0.0	0.0
12/1/2043	0.0	0.0	0.0
1/1/2044	0.0	0.0	0.1
2/1/2044	0.0	0.1	0.4
3/1/2044	0.0	0.0	0.3
4/1/2044	2.9	3.7	1.6
5/1/2044	0.0	0.0	0.0
6/1/2044	0.0	0.0	0.0
7/1/2044	0.0	0.0	0.0
8/1/2044	0.0	0.0	0.1
9/1/2044	0.0	0.2	2.5
10/1/2044	0.2	0.6	0.4
11/1/2044	0.0	0.1	0.0
12/1/2044	1.0	0.2	0.1
1/1/2045	0.0	0.0	0.0
2/1/2045	0.0	0.0	0.0
3/1/2045	0.0	0.1	0.1
4/1/2045	1.2	1.6	0.5
5/1/2045	1.7	3.6	0.0
6/1/2045	0.0	0.0	0.0
7/1/2045	0.1	0.2	1.3
8/1/2045	0.0	0.0	0.1
9/1/2045	1.6	2.0	0.4
10/1/2045	1.2	1.8	0.0
11/1/2045	0.2	0.5	0.0
12/1/2045	0.0	0.0	0.0
1/1/2046	0.0	0.0	0.0
2/1/2046	1.3	1.8	0.3

TABLE 3-10

Estimated Future Recharge Rates to Hydrogeologic Units for the Climate Case RCP4.5
(Page 9 of 10)

Date	Estimated Future Recharge Rate for RCP4.5 Case (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
3/1/2046	0.0	0.0	0.0
4/1/2046	2.9	4.3	0.0
5/1/2046	0.0	0.0	0.0
6/1/2046	0.0	0.0	0.0
7/1/2046	0.0	0.0	0.0
8/1/2046	0.0	0.0	0.0
9/1/2046	0.0	0.1	0.7
10/1/2046	0.0	0.0	0.0
11/1/2046	0.0	0.2	2.0
12/1/2046	0.0	0.0	0.2
1/1/2047	0.0	0.0	0.0
2/1/2047	0.0	0.0	0.0
3/1/2047	0.0	0.0	0.0
4/1/2047	3.3	4.3	1.3
5/1/2047	0.0	0.1	0.0
6/1/2047	0.5	0.6	1.0
7/1/2047	0.0	0.0	0.0
8/1/2047	0.0	0.0	0.0
9/1/2047	0.0	0.0	0.6
10/1/2047	0.0	0.2	1.4
11/1/2047	0.0	0.1	0.1
12/1/2047	0.0	0.2	0.1
1/1/2048	0.0	0.0	0.0
2/1/2048	0.0	0.0	0.0
3/1/2048	0.1	0.3	0.1
4/1/2048	4.1	5.8	0.7
5/1/2048	0.0	0.0	0.0
6/1/2048	0.0	0.0	0.0
7/1/2048	0.0	0.2	0.7
8/1/2048	0.4	0.4	0.4
9/1/2048	0.4	0.5	0.7
10/1/2048	1.1	1.5	0.2
11/1/2048	0.0	0.0	0.0
12/1/2048	0.3	0.5	0.0
1/1/2049	0.0	0.0	0.0
2/1/2049	0.0	0.0	0.0
3/1/2049	0.3	0.5	0.1

TABLE 3-10

Estimated Future Recharge Rates to Hydrogeologic Units for the Climate Case RCP4.5
(Page 10 of 10)

Date	Estimated Future Recharge Rate for RCP4.5 Case (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
4/1/2049	0.7	1.0	0.2
5/1/2049	1.5	2.7	0.0
6/1/2049	0.0	0.0	0.0
7/1/2049	0.0	0.1	0.4
8/1/2049	0.4	0.5	0.5
9/1/2049	1.1	1.2	0.1
10/1/2049	0.1	0.5	0.0
11/1/2049	0.0	0.2	0.0
12/1/2049	0.5	0.4	0.0
1/1/2050	0.0	0.0	0.0
2/1/2050	0.0	0.0	0.0
3/1/2050	0.0	0.0	0.0
4/1/2050	1.2	2.1	0.3
5/1/2050	0.6	0.7	0.0
6/1/2050	0.0	0.0	0.0
7/1/2050	0.0	0.0	0.0
8/1/2050	0.0	0.0	0.4
9/1/2050	0.0	0.0	0.4
10/1/2050	0.0	0.0	0.5
11/1/2050	0.0	0.1	1.4
12/1/2050	0.0	0.0	0.3

TABLE 3-11

Summary of Details on Groundwater Monitoring Network at the Project Site
(Page 1 of 4)

Well ID	Easting (m)[1]	Northing (m)[1]	Ground Surface Elevation (mamsl)	Installation Years	Well Depth (m)	Slotted/Open Interval (mbgs)	Azimuth	Dip	Time Period of Measured Groundwater Levels	Data Collection Type	Well Type	Hydrogeologic Unit
11MOS8049	3,489,500	7,495,950	185.44	2016	200	180–195	175	75	2017–2021	Manual + Data Logger	Smartwell	Deep Bedrock
13MOS8120	3,489,230	7,495,850	185.6	2017	175	141–171	89	70	2017–2021	Manual + Data Logger	Smartwell	Deep Bedrock
13MOS8125	3,489,240	7,495,550	187.19	2017	160	127–157	93	85	2017–2021	Manual + Data Logger	Smartwell	Deep Bedrock
16MOS8158	3,488,634	7,495,872	182.49	2017	605	NA	132	75	2017–2021	Continuous/Sensors	VWP	Deep Bedrock
16MOS8160	3,489,493	7,495,998	186.15	2017	823	NA	178	68	2017–2021	Continuous/Sensors	VWP	Deep Bedrock
16MOS8163	3,489,401	7,495,450	186.33	2017	727	NA	87	75	2017–2021	Continuous/Sensors	VWP	Deep Bedrock
17MOS8178	3,489,350	7,495,703	185.95	2017	760	NA	108	72	2017–2021	Continuous/Sensors	VWP	Deep Bedrock
17MOS8183	3,489,900	7,495,796	188.14	2017	545	NA	177	69	2017–2021	Terminated	VWP	Deep Bedrock
17HYD001	3,488,233	7,490,930	195.66	2017	76	27.7–75.7	0	90	2017–2021	Manual	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
17HYD002	3,492,710	7,500,683	198.43	2017	100	26–100	0	90	2017	Manual	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
17HYD003	3,488,285	7,490,807	195.60	2017	11	2–8	0	90	2017–2021	Manual	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD004	3,489,912	7,500,204	190.12	2017	100	32.8–99.8	0	90	2017–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
17HYD005	3,486,872	7,492,778	187.46	2017	10	3–5	0	90	2017–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD006	3,489,607	7,498,030	190.67	2017	100	30–99	0	90	2017–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
17HYD007	3,492,706	7,500,704	198.47	2017	16	2.8–12.8	0	90	2017	Manual	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD008	3,488,494	7,497,684	189.07	2017	102	30–102	0	90	2017–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
17HYD009	3,488,700	7,497,492	188.31	2017	7	2.6–6.6	0	90	2017–2021	Manual	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD010	3,488,301	7,496,974	188.39	2017	7	1.4–3.4	0	90	2017–2021	Manual	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD011	3,481,069	7,505,428	216.81	2017	12.8	2.7–4.7; 10.7–12.7	0	90	2017	Manual	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD012	3,493,737	7,503,711	208.07	2017	8.2	4.3–7.8	0	90	2017	Manual	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD013	3,488,959	7,496,061	182.72	2017	251	29–251	54	76	2017–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
17HYD014	3,486,683	7,494,747	183.20	2017	112	22–112	0	90	2017–2021	Manual	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
17HYD015	3,489,934	7,500,186	190.17	2017	11	3–5; 7–9	0	90	2017–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD016	3,489,597	7,498,032	190.75	2017	11	3–7	0	90	2017–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD017	3,487,834	7,496,295	188.01	2017	94.4	36.3–94.3	0	90	2017–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
17HYD018	3,488,469	7,497,725	189.35	2017	10.6	4.35–8.35	0	90	2017–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD019	3,490,206	7,499,792	189.73	2017	9	1.2–3.2; 5.2–7.2	0	90	2017–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD020	3,490,009	7,499,416	191.29	2017	10	4–8	0	90	2017–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
17HYD021	3,489,642	7,499,133	189.69	2017	13.7	8–12	0	90	2017–2021	Barometric Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment

TABLE 3-11

Summary of Details on Groundwater Monitoring Network at the Project Site
(Page 2 of 4)

Well ID	Easting (m)[1]	Northing (m)[1]	Ground Surface Elevation (mamsl)	Installation Years	Well Depth (m)	Slotted/Open Interval (mbgs)	Azimuth	Dip	Time Period of Measured Groundwater Levels	Data Collection Type	Well Type	Hydrogeologic Unit
17HYD022	3,489,644	7,498,721	190.20	2017	14.4	8.25–12.25	0	90	2017–2021	Manual	Shallow Sediment Well	Sediment
17MOS8193	3,488,704	7,495,348	185.41	2017	1032	721.9–1006.9	155	80	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Pumping Well	Deep Bedrock
17MOS8198	3,488,740	7,495,158	186.06	2017	125	32.5–122.5	164	62	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
17HYD023B	3,488,733	7,495,163	186.20	2018	15	2–14	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
18MOS8207	3,489,400	7,495,902	185.36	2018	902.5	284–774	174	76	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Pumping Well	Deep Bedrock
18MOS8205	3,489,298	7,495,850	185.9	2018	185.3	12.9–182.9	86	79	2019	Manual	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
18HYD024	3,489,347	7,495,838	187.93	2018	7.3	6–7	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
18HYD025	3,486,594	7,490,597	192.87	2018	6.5	2.45–4.45	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
18HYD026	3,487,568	7,490,638	195.73	2018	14.4	2.8–4.8	0	90	2018	Manual	Shallow Sediment Well	Sediment
18HYD027	3,488,989	7,490,751	194.29	2018	6.4	2.3–4.3	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
18HYD028	3,486,369	7,491,695	193.54	2018	5.5	3.75–5.75	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
18HYD030	3,487,176	7,492,225	195.65	2018	9.3	7.9–9.9	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
18HYD033	3,487,929	7,491,219	200.02	2018	8.3	5.15–7.15	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
GA101	3,490,657	7,495,272	187.15	2012	5.1	3–5	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Peat
GA102	3,490,019	7,495,056	186.67	2012	3.3	1–3	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Peat
GA103	3,489,344	7,494,882	185.032	2012	2	1–2	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Peat
GA104	3,489,083	7,494,682	185.47	2012	3.7	2–4	0	90	2012–2021	Manual	Shallow Sediment Well	Peat
GA200	3,489,519	7,496,606	186.98	2012	6.4	4.5–6.5	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
GA201	3,489,834	7,496,186	187.49	2012	5	3–5	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
GA202	3,489,776	7,495,403	186.64	2012	5	4–5	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
GA203	3,489,033	7,495,716	187.54	2012	5.4	3.5–5.5	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
GA204	3,488,953	7,494,762	186.51	2012	4	2–4.5	0	90	2012–2021	Manual	Shallow Sediment Well	Sediment
GA205	3,488,408	7,494,872	187.75	2012	4	2–4	0	90	2012–2021	Manual	Shallow Sediment Well	Sediment
GA300	3,489,902	7,495,662	187.51	2012	3.5	2.5–3.5	0	90	2012–2021	Manual	Shallow Sediment Well	Sediment
GA301	3,490,661	7,495,260	187.22	2012	9.7	7.5–9.5	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
GA302	3,490,014	7,495,054	186.58	2012	10	8–10	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
GA303	3,489,310	7,494,800	186.06	2012	12.3	10.5–12.5	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
GA304	3,488,954	7,494,748	186.53	2012	14.2	12–14	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment

TABLE 3-11

Summary of Details on Groundwater Monitoring Network at the Project Site
(Page 3 of 4)

Well ID	Easting (m)[1]	Northing (m)[1]	Ground Surface Elevation (mamsl)	Installation Years	Well Depth (m)	Slotted/Open Interval (mbgs)	Azimuth	Dip	Time Period of Measured Groundwater Levels	Data Collection Type	Well Type	Hydrogeologic Unit
GA305	3,489,034	7,495,720	187.44	2012	10	8–10	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
GA400	3,490,031	7,496,168	190.54	2012	6.9	5–7	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Bedrock Well	Shallow Bedrock
GA401	3,490,663	7,495,268	187.22	2012	12.5	9.5–12.5	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Bedrock Well	Shallow Bedrock
GA402	3,490,016	7,495,050	186.65	2012	13	11–13	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Bedrock Well	Shallow Bedrock
GA403	3,489,329	7,494,844	186.04	2012	16.8	15–17	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Bedrock Well	Shallow Bedrock
GA404	3,488,412	7,494,864	188.39	2012	10.4	8.5–10.5	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Bedrock Well	Shallow Bedrock
GA405	3,489,035	7,495,723	187.41	2012	13.4	11.5–13.5	0	90	2012–2021	Manual + Data Logger	Shallow Bedrock Well	Shallow Bedrock
18MOS8232	3,487,479	7,493,522	183.14	2018	158	20–65.5	180	69	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
18KUU001	3,487,464	7,492,301	196.62	2018	150	72–150	180	70	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
18KUU002	3,487,398	7,491,488	205.62	2018	70	13–70	43	60	2019, 2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
18KUU003	3,488,012	7,491,630	216.7	2018	60	23–60	65	60	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
18MOS8228	3,489,102	7,495,800	186.66	2018	197	162–178	180	60	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
18HYD035	3,489,199	7,495,546	186.83	2018	10	4–8	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Shallow Bedrock
18HYD036	3,489,198	7,495,550	186.73	2018	22	15–21	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
18HYD037	3,489,196	7,495,554	186.8	2018	57	13–57	0	76	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Pumping Well	Shallow Bedrock
18MOS8227	3,487,811	7,494,748	185.37	2018	250	50–250	171	71	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Pumping Well	Deep Bedrock
18MOS8229	3,488,557	7,494,708	186.66	2018	158	138–160	179	70	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
18HYD038	3,488,534	7,494,660	186.95	2018	57	18–54	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Pumping Well	Shallow Bedrock
18HYD039	3,488,534	7,494,670	186.67	2018	15	5–12.5	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Shallow Bedrock
18HYD040	3,488,534	7,494,684	186.73	2018	30	24–30	0	90	2018–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
19KUU005	3,486,022	7,491,524	197.00	2019	50	20–50	1	60	2019–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
19KUU015	3,486,669	7,491,734	201.15	2019	15	9–15	1	60	2019–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
19KUU017	3,488,342	7,491,994	226.67	2019	51	0–50	360	60	2019–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
19KUU019	3,488,803	7,492,230	226.23	2019	51	20–50	1	60	2019–2021	Manual	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
19KUU020	3,487,418	7,491,640	211.73	2019	70	50–55	71	60	No	No	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
19KUU021	3,487,462	7,491,606	214.79	2019	60	7–60	288	60	2019–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
19KUU022	3,487,468	7,491,834	210.75	2019	100	80–100	319	60	2019–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
19KUU023	3,487,425	7,492,047	200.53	2019	53	33–50	30	60	2019–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock

TABLE 3-11

Summary of Details on Groundwater Monitoring Network at the Project Site
(Page 4 of 4)

Well ID	Easting (m)[1]	Northing (m)[1]	Ground Surface Elevation (mamsl)	Installation Years	Well Depth (m)	Slotted/Open Interval (mbgs)	Azimuth	Dip	Time Period of Measured Groundwater Levels	Data Collection Type	Well Type	Hydrogeologic Unit
20MOS8245	3,487,543	7,494,463	184.6	2020	291	25–270	179	69	2020–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
20MOS8246	3,487,468	7,494,011	183.56	2020	403	30–350	172	65	2020–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
20MOS8247	3,487,476	7,493,572	184.57	2020	283	80–260	179	70	2020–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
20KUU025	3,487,455	7,492,708	190.24	2020	203	100–200	4	60	2020–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
20KUU024	3,487,457	7,492,474	192.23	2020	200	20–190	1	65	2020–2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
20GT028	3,488,222	7,491,067	198.71	2020	4.6	2.5–4.5	0	90	2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
20GT030	3,489,021	7,492,001	210.98	2020	5.6	3.5–5.5	0	90	2021	Terminated	Shallow Sediment Well	Sediment
20GT031	3,488,837	7,491,551	199.44	2020	4.7	2.5–4.5	0	90	2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
20GT032A	3,487,451	7,491,353	203.08	2020	2.8	0.8–2.8	0	90	2021	Terminated	Shallow Sediment Well	Sediment
20GT036	3,487,024	7,490,962	197.84	2020	4.6	1.5–4.5	0	90	2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
20GT037	3,487,131	7,491,215	203.54	2020	4.0	3–5	0	90	2021	Terminated	Shallow Sediment Well	Sediment
20GT038	3,486,826	7,491,204	203.75	2020	2.6	0.5–2.5	0	90	2021	Terminated	Shallow Sediment Well	Sediment
20HYD041	3,489,543	7,496,576	186.95	2020	201	145–195	276	85	No	No	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
20HYD042	3,489,466	7,496,479	187.06	2020	50	38–50	55	60	2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
20HYD043	3,489,490	7,496,466	187	2020	216	25–120	49	64	No	No	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
20HYD044	3,488,961	7,491,529	197.33	2020	122	16–32; 60–76; 108–112	231	60	No	No	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
20HYD045	3,489,130	7,491,445	196.52	2020	123	25–260	0	60	2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
20MOS8248	3,489,110	7,495,595	186.31	2020	156	25–140	174	73	2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
20MOS8249	3,489,097	7,495,889	188.19	2020	120	80–110	177	86	No	No	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
21KUU026	3,487,471	7,493,221	187.60	2021	285	20–282.5	178	70	2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
21KUU027	3,487,475	7,493,067	188.28	2021	280	20–280	183	59	2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
21HYD046	3,487,472	7,493,542	183.65	2021	9	4–8	0	90	2021	Manual + Data Logger	Shallow Sediment Well	Sediment
21HYD047	3,487,465	7,493,543	183.93	2021	51	12–48	0	90	2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
21HYD048	3,489,113	7,495,800	186.7	2021	110	38–108	180	70	2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Shallow Bedrock
21KUU028	3,487,467	7,493,221	187.66	2021	455	20–440	0	60	2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock
21MOS8264	3,487,479	7,493,797	185.15	2021	339	109–329	177	68	2021	Manual + Data Logger	Bedrock Monitoring Well	Deep Bedrock

Note:

1. Coordinate system is KKJ3.

TABLE 4-1

Simulated Hydraulic Properties of the Hydrogeologic Units in the Sakatti Mine Groundwater Flow Model

Hydrogeologic Unit		Measured Range of Hydraulic Conductivity (m/s)	Model-Calibrated Hydraulic Parameters					Comment
			K_h (m/s)[1]	K_v (m/s)	Anisotropy K_h/K_v[2]	S_s (m^{-1})	S_y	
Till	Upper Kuusivaara	5.0×10^{-8} to 4.3×10^{-3}	3.5×10^{-5}	3.5×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.025	
	Upper		5.8×10^{-6}	2.9×10^{-6}	2	1.0×10^{-6}	0.05	
	Middle							
	Intermediate							
	Lower							
Top Deposits (gravels)			3.5×10^{-5} 4.6×10^{-5}	3.5×10^{-6} 4.6×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.15	
Sorted	Middle		2.3×10^{-5}	5.8×10^{-6}	4	1.0×10^{-6}	0.05	
	Lower							
Sand	Upper		1.2×10^{-5}	1.2×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.05	
	Middle							
	Lower							
Clay			1.2×10^{-6}	1.2×10^{-7}	10	1.0×10^{-6}	0.05	
Grus			2.3×10^{-5}	2.3×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.05	
Basal Sediment			1.2×10^{-5}	1.2×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.05	
Kitinen River Deposits			2.3×10^{-5}	2.3×10^{-6}	10	1.0×10^{-6}	0.25	
Peat		1.0×10^{-7} to 1.0×10^{-5}	9.3×10^{-7} to 9.3×10^{-6}	9.3×10^{-8} to 9.3×10^{-7}	10	1.0×10^{-6}	0.1 to 0.25	
Fractured Bedrock	Along River	8.1×10^{-8} to 1.4×10^{-4}	2.3×10^{-5}	2.3×10^{-6}	10	5.0×10^{-6}	0.01	
	Main Area		5.8×10^{-6}	5.8×10^{-7}	10	5.0×10^{-6}	0.01	
	Kuusivaara Area		1.0×10^{-5} to 4.7×10^{-5}	1.0×10^{-6} to 4.7×10^{-6}	10	5.0×10^{-6}	0.01	
Unfractured Bedrock	Along River	1.0×10^{-12} to 3.4×10^{-5}	2.0×10^{-9} to 2.0×10^{-7}	2.0×10^{-10} to 2.0×10^{-8}	10	5.0×10^{-6}	0.005	K values decrease with depth based on the packer-testing data; see Figure 4-3.
	Over Mining Area		1.0×10^{-9} to 1.0×10^{-7}	1.0×10^{-10} to 1.0×10^{-8}	10	5.0×10^{-6}	0.005	
Basal Thrust Fault		5.9×10^{-7} to 9.6×10^{-7}	1.2×10^{-8} to 8.1×10^{-7}	1.2×10^{-8} to 8.1×10^{-7}	1	5.0×10^{-6}	0.005	
Other Faults		4.3×10^{-11} to 1.0×10^{-6}	1.0×10^{-9} to 1.0×10^{-7}	1.0×10^{-9} to 1.0×10^{-7}	1	5.0×10^{-6}	0.005	

Notes:

1. Assuming horizontal hydraulic conductivity in the x-direction (K_x) is equal to horizontal hydraulic conductivity in the y-direction (K_y).

2. Anisotropy between K_h and K_v was defined by the groundwater flow model calibration.

TABLE 4-2

Simulated Recharge Rates for the Hydrogeologic Units in the Groundwater Flow Model
(Page 1 of 3)

Date	Estimated Recharge Rate (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
6/1/2012	1.7	2.2	0.4
7/1/2012	0.0	0.0	0.0
8/1/2012	0.0	0.0	0.0
9/1/2012	1.4	1.5	2.3
10/1/2012	0.7	1.4	0.0
11/1/2012	1.3	1.8	0.0
12/1/2012	0.0	0.0	0.0
1/1/2013	0.0	0.0	0.0
2/1/2013	0.0	0.0	0.0
3/1/2013	0.0	0.0	0.0
4/1/2013	3.0	4.4	0.6
5/1/2013	0.0	0.1	0.0
6/1/2013	0.6	1.0	0.6
7/1/2013	0.0	0.0	0.0
8/1/2013	0.0	0.0	0.0
9/1/2013	0.0	0.0	0.2
10/1/2013	0.0	0.3	2.0
11/1/2013	0.0	0.0	0.0
12/1/2013	0.6	0.6	0.4
1/1/2014	0.0	0.0	0.0
2/1/2014	1.0	0.6	0.2
3/1/2014	0.9	1.7	0.1
4/1/2014	2.4	3.5	0.1
5/1/2014	0.0	0.0	0.0
6/1/2014	0.3	0.4	0.0
7/1/2014	0.0	0.0	0.0
8/1/2014	0.0	0.0	0.0
9/1/2014	0.3	0.7	0.8
10/1/2014	1.0	1.1	0.1
11/1/2014	0.5	0.7	0.0
12/1/2014	0.0	0.0	0.0
1/1/2015	0.0	0.0	0.0
2/1/2015	0.0	0.0	0.0
3/1/2015	0.5	0.9	0.2
4/1/2015	1.6	2.2	0.0
5/1/2015	1.9	3.5	0.0
6/1/2015	0.2	0.5	0.0

TABLE 4-2

Simulated Recharge Rates for the Hydrogeologic Units in the Groundwater Flow Model
(Page 2 of 3)

Date	Estimated Recharge Rate (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
7/1/2015	0.5	0.7	0.0
8/1/2015	0.0	0.0	0.0
9/1/2015	1.3	1.9	0.1
10/1/2015	0.7	1.0	0.0
11/1/2015	0.0	0.2	0.0
12/1/2015	0.0	0.0	0.0
1/1/2016	0.0	0.0	0.0
2/1/2016	0.7	0.8	0.1
3/1/2016	0.4	0.8	0.1
4/1/2016	2.7	4.0	0.0
5/1/2016	0.0	0.2	0.0
6/1/2016	1.0	1.5	0.6
7/1/2016	0.1	0.4	0.0
8/1/2016	0.6	0.6	0.2
9/1/2016	1.5	2.2	0.0
10/1/2016	0.0	0.0	0.0
11/1/2016	0.7	1.1	0.0
12/1/2016	0.0	0.0	0.0
1/1/2017	0.0	0.0	0.0
2/1/2017	0.0	0.1	0.0
3/1/2017	0.0	0.0	0.0
4/1/2017	0.5	0.4	0.1
5/1/2017	1.7	2.8	0.1
6/1/2017	0.0	0.0	0.0
7/1/2017	0.2	0.2	0.0
8/1/2017	0.0	0.1	0.4
9/1/2017	0.0	0.2	0.8
10/1/2017	1.0	1.3	0.2
11/1/2017	0.6	1.0	0.0
12/1/2017	0.0	0.0	0.0
1/1/2018	0.0	0.0	0.0
2/1/2018	0.0	0.0	0.0
3/1/2018	0.0	0.0	0.0
4/1/2018	2.5	3.4	0.6
5/1/2018	0.0	0.6	0.0
6/1/2018	0.0	0.0	0.0
7/1/2018	0.0	0.0	0.0

TABLE 4-2

Simulated Recharge Rates for the Hydrogeologic Units in the Groundwater Flow Model
(Page 3 of 3)

Date	Estimated Recharge Rate (mm/day)		
	Till	Sediment	Peat
8/1/2018	0.0	0.1	0.9
9/1/2018	0.5	1.1	1.6
10/1/2018	1.1	0.5	0.0
11/1/2018	0.3	1.0	0.0
12/1/2018	0.2	0.3	0.0
1/1/2019	0.0	0.0	0.0
2/1/2019	0.0	0.2	0.1
3/1/2019	0.7	0.6	0.1
4/1/2019	2.6	4.3	0.2
5/1/2019	0.0	0.0	0.0
6/1/2019	0.3	0.6	0.1
7/1/2019	0.0	0.0	0.0
8/1/2019	0.0	0.0	0.0
9/1/2019	0.0	0.1	0.9
10/1/2019	0.0	0.0	0.6
11/1/2019	0.0	0.0	0.0
12/1/2019	0.0	0.0	0.0
1/1/2020	0.0	0.0	0.1
2/1/2020	0.0	0.0	0.1
3/1/2020	0.0	0.1	0.6
4/1/2020	1.2	0.9	0.3
5/1/2020	3.1	6.1	0.2
6/1/2020	0.2	0.6	0.0
7/1/2020	0.0	0.0	0.0
8/1/2020	0.0	0.0	0.0
9/1/2020	0.0	0.2	1.2
10/1/2020	1.6	1.9	0.7
11/1/2020	0.5	0.9	0.0
12/1/2020	0.1	0.3	0.0
1/1/2021	0.0	0.0	0.0
2/1/2021	0.0	0.0	0.0
3/1/2021	1.0	1.2	0.2
4/1/2021	1.5	2.4	0.0
5/1/2021	0.6	1.2	0.0
6/1/2021	0.5	0.6	0.4

TABLE 4-3

Monitoring Locations Used in the Steady-State Groundwater Flow Model Calibration
(Page 1 of 3)

Well ID	Easting (m)	Northing (m)	Ground Surface Elevation (mamsl)	Screen Interval (mamsl)		Hydrogeologic Unit	Time of Sampled Measured Steady-State Groundwater Level	Measured Steady-State Groundwater Level (mamsl)	Simulated Steady-State Groundwater Level (mamsl)	Model Residual (m)
				Top	Bottom					
GA101	3,490,657	7,495,272	187.2	184.2	182.2	Peat	Mar-2013	187.6	187.9	0.32
GA102	3,490,019	7,495,056	186.7	185.7	183.7	Peat	Mar-2013	186.6	187.0	0.38
GA103	3,489,344	7,494,882	185.0	184.0	183.0	Peat	Mar-2013	186.2	185.9	-0.28
GA200	3,489,519	7,496,606	187.0	182.5	180.5	Sediment	Mar-2013	185.6	186.1	0.52
GA201	3,489,834	7,496,186	187.5	184.5	182.5	Sediment	Mar-2013	186.8	187.0	0.20
GA202	3,489,776	7,495,403	186.6	182.6	181.6	Sediment	Mar-2013	186.6	186.6	-0.03
GA203	3,489,033	7,495,716	187.5	184.0	182.0	Sediment	Mar-2013	182.5	182.4	-0.10
GA301	3,490,661	7,495,260	187.2	179.7	177.7	Sediment	Mar-2013	187.5	187.9	0.42
GA302	3,490,014	7,495,054	186.6	178.6	176.6	Sediment	Mar-2013	186.7	187.0	0.27
GA303	3,489,310	7,494,800	186.1	175.6	173.6	Sediment	Mar-2013	186.1	185.9	-0.24
GA304	3,488,954	7,494,748	186.5	174.5	172.5	Sediment	Mar-2013	185.3	185.1	-0.20
GA305	3,489,034	7,495,720	187.4	179.4	177.4	Sediment	Mar-2013	182.7	182.4	-0.31
GA401	3,490,663	7,495,268	187.2	177.7	174.7	Shallow Bedrock	Mar-2013	187.3	187.9	0.57
GA402	3,490,016	7,495,050	186.7	175.7	173.7	Shallow Bedrock	Mar-2014	186.7	187.0	0.32
GA403	3,489,329	7,494,844	186.0	171.0	169.0	Shallow Bedrock	Mar-2014	186.1	185.9	-0.15
GA404	3,488,412	7,494,864	188.4	179.9	177.9	Shallow Bedrock	Mar-2013	184.2	183.8	-0.46
GA405	3,489,035	7,495,723	187.4	175.9	173.9	Shallow Bedrock	Mar-2013	182.7	182.3	-0.32
11MOS8049	3,489,500	7,495,950	185.4	5.4	-9.6	Deep Bedrock	Mar-2017	185.6	185.1	-0.43
13MOS8120	3,489,230	7,495,850	185.6	44.6	14.6	Deep Bedrock	Mar-2017	183.4	183.5	0.19
13MOS8125	3,489,240	7,495,550	187.2	60.2	30.2	Deep Bedrock	Mar-2017	185.5	184.5	-0.96
17HYD004	3,489,912	7,500,204	190.1	157.3	90.3	Shallow Bedrock	Mar-2020	188.7	188.1	-0.52
17HYD006	3,489,607	7,498,030	190.7	160.7	91.6	Shallow Bedrock	Mar-2018	185.4	185.3	-0.03
17HYD008	3,488,494	7,497,684	189.1	158.6	86.9	Shallow Bedrock	Mar-2018	183.4	184.6	1.20
17HYD013	3,488,959	7,496,061	182.7	153.4	-68.7	Shallow Bedrock	Mar-2018	181.4	181.5	0.15

TABLE 4-3

Monitoring Locations Used in the Steady-State Groundwater Flow Model Calibration
(Page 2 of 3)

Well ID	Easting (m)	Northing (m)	Ground Surface Elevation (mamsl)	Screen Interval (mamsl)		Hydrogeologic Unit	Time of Sampled Measured Steady-State Groundwater Level	Measured Steady-State Groundwater Level (mamsl)	Simulated Steady-State Groundwater Level (mamsl)	Model Residual (m)
				Top	Bottom					
17HYD015	3,489,934	7,500,186	190.2	187.1	181.1	Sediment	Mar-2018	188.8	188.2	-0.53
17HYD016	3,489,597	7,498,032	190.7	187.7	183.7	Sediment	Mar-2018	185.4	185.4	-0.05
17HYD017	3,487,834	7,496,295	188.0	151.7	93.7	Shallow Bedrock	Mar-2018	182.0	182.7	0.60
17HYD018	3,488,469	7,497,725	189.3	185.0	181.0	Sediment	Mar-2018	183.7	184.5	0.78
17HYD020	3,490,009	7,499,416	191.3	187.3	183.3	Sediment	Mar-2018	188.2	187.0	-1.27
17HYD023B	3,488,733	7,495,163	186.2	184.2	172.2	Sediment	Mar-2019	184.7	183.5	-1.26
17MOS8198	3,488,740	7,495,158	186.1	153.6	63.6	Shallow Bedrock	Mar-2019	184.8	183.6	-1.13
18HYD036	3,489,198	7,495,550	186.7	171.7	165.7	Shallow Bedrock	Mar-2021	184.7	184.5	-0.25
18HYD040	3,488,534	7,494,684	186.7	162.7	156.7	Shallow Bedrock	Mar-2021	184.6	184.4	-0.15
18MOS8207	3,489,400	7,495,902	185.4	-98.6	-588.6	Deep Bedrock	Mar-2020	185.2	184.9	-0.26
18MOS8227	3,487,811	7,494,748	185.4	135.4	-64.6	Deep Bedrock	Mar-2021	181.8	183.1	1.25
18MOS8228	3,489,102	7,495,800	186.7	24.7	8.7	Deep Bedrock	Mar-2020	182.8	183.3	0.41
18MOS8229	3,488,557	7,494,708	186.7	48.7	26.7	Deep Bedrock	Mar-2020	184.4	184.4	-0.02
18MOS8232	3,487,479	7,493,522	183.1	163.1	117.6	Shallow Bedrock	Mar-2020	182.0	182.4	0.46
GA400	3,490,031	7,496,168	190.5	185.5	183.5	Shallow Bedrock	Mar-2020	187.5	187.7	0.15
GA402	3,490,016	7,495,050	186.7	175.7	173.7	Shallow Bedrock	Mar-2021	186.7	187.0	0.22
GA403	3,489,329	7,494,844	186.0	171.0	169.0	Shallow Bedrock	Mar-2021	186.0	185.9	-0.10
17HYD005	3,486,872	7,492,778	187.5	184.5	182.5	Sediment	Mar-2020	187.6	187.1	-0.50
18HYD025	3,486,594	7,490,597	192.9	190.4	188.4	Sediment	Mar-2020	192.4	192.4	0.01
18HYD027	3,488,989	7,490,751	194.3	192.0	190.0	Sediment	Mar-2021	194.6	194.2	-0.44
18HYD028	3,486,369	7,491,695	193.5	189.8	187.8	Sediment	Jun-2021	193.4	192.0	-1.35
18HYD030	3,487,176	7,492,225	195.6	187.7	185.7	Sediment	Apr-2020	191.4	192.1	0.68
18HYD033	3,487,929	7,491,219	200.0	194.9	192.9	Sediment	Apr-2020	195.4	197.1	1.67
18KUU001	3,487,464	7,492,301	196.6	124.6	46.6	Deep Bedrock	Apr-2020	191.7	192.6	0.89

TABLE 4-3

Monitoring Locations Used in the Steady-State Groundwater Flow Model Calibration
(Page 3 of 3)

Well ID	Easting (m)	Northing (m)	Ground Surface Elevation (mamsl)	Screen Interval (mamsl)		Hydrogeologic Unit	Time of Sampled Measured Steady-State Groundwater Level	Measured Steady-State Groundwater Level (mamsl)	Simulated Steady-State Groundwater Level (mamsl)	Model Residual (m)
				Top	Bottom					
18KUU003	3,488,012	7,491,630	216.7	193.7	156.7	Shallow Bedrock	Apr-2020	208.6	206.1	-2.53
19KUU005	3,486,022	7,491,524	197.0	177.0	147.0	Shallow Bedrock	Apr-2020	189.2	190.3	1.08
19KUU017	3,488,342	7,491,994	226.7	226.7	176.7	Shallow Bedrock	Apr-2021	201.2	202.8	1.59
19KUU021	3,487,462	7,491,606	214.8	207.8	154.8	Shallow Bedrock	Apr-2021	199.2	198.0	-1.22
19KUU022	3,487,468	7,491,834	210.7	130.7	110.7	Shallow Bedrock	Apr-2021	194.5	196.3	1.76
20KUU024	3,487,457	7,492,474	192.2	172.2	2.2	Deep Bedrock	Apr-2021	191.5	191.4	-0.06
20KUU025	3,487,455	7,492,709	190.2	90.2	-9.8	Deep Bedrock	Apr-2021	189.6	189.3	-0.33
17HYD001	3,487,467	7,493,221	195.7	168.0	120.0	Shallow Bedrock	May-2017	195.7	195.4	-0.24
17HYD009	3,488,700	7,497,492	188.3	185.7	181.7	Sediment	Apr-2020	183.7	184.7	1.07
17HYD010	3,488,301	7,496,974	188.4	187.0	185.0	Sediment	Apr-2020	184.3	185.3	1.04
17HYD014	3,486,683	7,494,747	183.2	161.2	70.9	Shallow Bedrock	Apr-2019	181.8	182.7	0.84
17HYD019	3,490,206	7,499,792	189.7	188.5	182.5	Sediment	Apr-2020	189.1	188.5	-0.56
GA104	3,489,083	7,494,682	185.5	183.5	181.5	Peat	Apr-2012	185.4	185.5	0.15
GA204	3,488,953	7,494,762	186.5	184.5	182.0	Sediment	Apr-2012	185.4	185.1	-0.27
GA300	3,489,902	7,495,662	187.5	185.0	184.0	Sediment	Apr-2012	186.2	187.1	0.84

Note:

1. Coordinate system is KKJ3.

TABLE 4-4

Calculated Statistics of the Steady-State Groundwater Flow Model Calibration

Calculated Steady-State Groundwater Flow Model Statistics	
Mean Error (m)	0.1
Mean Absolute Error (m)	0.6
Root Mean Square Error (m)	0.8
Maximum Measured Water Level (mamsl)	208.6
Minimum Measured Water Level (mamsl)	181.4
Range of Measured Water Levels (m)	27.2
Normalized Root Mean Square Error (%)	3%
Coefficient of Determination (r^2)	0.99
Maximum Residual (m)	1.8
Minimum Residual (m)	-2.5
Number of Observations	69

TABLE 4-5

Monitoring Locations Used in the Transient Groundwater Flow Model Calibration
(Page 1 of 4)

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

TABLE 4-5

Monitoring Locations Used in the Transient Groundwater Flow Model Calibration
(Page 2 of 4)

Well ID	Easting (m)[1]	Northing (m)[1]	Groundwater Surface Elevation (mamsl)	Hydrogeologic Unit
17HYD020	3,490,009	7,499,416	191.3	Sediment
17HYD021	3,489,642	7,499,133	189.7	Sediment
17HYD022	3,489,644	7,498,721	190.2	Sediment
17HYD023B	3,488,733	7,495,163	186.2	Sediment
17MOS8178	3,489,350	7,495,703	186.0	Deep Bedrock
17MOS8183	3,489,900	7,495,796	188.1	Deep Bedrock
17MOS8198	3,488,740	7,495,158	186.1	Shallow Bedrock
18HYD024	3,489,347	7,495,838	187.9	Sediment
18HYD025	3,486,594	7,490,597	192.9	Sediment
18HYD027	3,488,989	7,490,751	194.3	Sediment
18HYD028	3,486,369	7,491,695	193.5	Sediment
18HYD030	3,487,176	7,492,225	195.6	Sediment
18HYD033	3,487,929	7,491,219	200.0	Sediment
18HYD035	3,489,199	7,495,546	186.8	Shallow Bedrock
18HYD036	3,489,198	7,495,550	186.7	Shallow Bedrock
18HYD037	3,489,196	7,495,554	186.8	Shallow Bedrock
18HYD038	3,488,534	7,494,660	187.0	Shallow Bedrock
18HYD039	3,488,534	7,494,670	186.7	Shallow Bedrock
18HYD040	3,488,534	7,494,684	186.7	Shallow Bedrock
18KUU001	3,487,464	7,492,301	196.6	Deep Bedrock
18KUU002	3,487,398	7,491,488	205.6	Shallow Bedrock
18KUU003	3,488,012	7,491,630	216.7	Shallow Bedrock
18MOS8205	3,489,298	7,495,850	185.9	Shallow Bedrock
18MOS8207	3,489,400	7,495,902	185.4	Deep Bedrock
18MOS8227	3,487,811	7,494,748	185.4	Deep Bedrock

TABLE 4-5

Monitoring Locations Used in the Transient Groundwater Flow Model Calibration
(Page 3 of 4)

Well ID	Easting (m)[1]	Northing (m)[1]	Groundwater Surface Elevation (mamsl)	Hydrogeologic Unit
18MOS8228	3,489,102	7,495,800	186.7	Deep Bedrock
18MOS8229	3,488,557	7,494,708	186.7	Deep Bedrock
18MOS8232	3,487,479	7,493,522	183.1	Shallow Bedrock
19KUU005	3,486,022	7,491,524	197.0	Shallow Bedrock
19KUU015	3,486,669	7,491,734	201.2	Shallow Bedrock
19KUU017	3,488,342	7,491,994	226.7	Shallow Bedrock
19KUU019	3,488,803	7,492,230	226.2	Shallow Bedrock
19KUU021	3,487,462	7,491,606	214.8	Shallow Bedrock
19KUU022	3,487,468	7,491,834	210.7	Shallow Bedrock
19KUU023	3,487,425	7,492,047	200.5	Shallow Bedrock
20HYD045	3,489,130	7,491,445	196.5	Shallow Bedrock
20KUU024	3,487,457	7,492,474	192.2	Deep Bedrock
20KUU025	3,487,455	7,492,708	190.2	Deep Bedrock
20MOS8245	3,487,543	7,494,463	184.6	Deep Bedrock
20MOS8246	3,487,468	7,494,011	183.6	Deep Bedrock
20MOS8247	3,487,476	7,493,572	184.6	Deep Bedrock
21HYD046	3,487,472	7,493,542	183.7	Sediment
21HYD047	3,487,465	7,493,543	183.9	Shallow Bedrock
21KUU026	3,487,471	7,493,221	187.6	Deep Bedrock
21MOS8264	3,487,479	7,493,797	185.2	Deep Bedrock
GA101	3,490,657	7,495,272	187.2	Peat
GA102	3,490,019	7,495,056	186.7	Peat
GA103	3,489,344	7,494,882	185.0	Peat
GA104	3,489,083	7,494,682	185.5	Peat
GA200	3,489,519	7,496,606	187.0	Sediment

TABLE 4-5

Monitoring Locations Used in the Transient Groundwater Flow Model Calibration
(Page 4 of 4)

Well ID	Easting (m)[1]	Northing (m)[1]	Groundwater Surface Elevation (mamsl)	Hydrogeologic Unit
GA201	3,489,834	7,496,186	187.5	Sediment
GA202	3,489,776	7,495,403	186.6	Sediment
GA203	3,489,033	7,495,716	187.5	Sediment
GA204	3,488,953	7,494,762	186.5	Sediment
GA205	3,488,408	7,494,872	187.8	Sediment
GA300	3,489,902	7,495,662	187.5	Sediment
GA301	3,490,661	7,495,260	187.2	Sediment
GA302	3,490,014	7,495,054	186.6	Sediment
GA303	3,489,310	7,494,800	186.1	Sediment
GA304	3,488,954	7,494,748	186.5	Sediment
GA305	3,489,034	7,495,720	187.4	Sediment
GA400	3,490,031	7,496,168	190.5	Shallow Bedrock
GA401	3,490,663	7,495,268	187.2	Shallow Bedrock
GA402	3,490,016	7,495,050	186.7	Shallow Bedrock
GA403	3,489,329	7,494,844	186.0	Shallow Bedrock
GA404	3,488,412	7,494,864	188.4	Shallow Bedrock
GA405	3,489,035	7,495,723	187.4	Shallow Bedrock

Note:
1. Coordinate system is KKJ3.

TABLE 4-6

Summary of Calculated Statistics of the Transient Groundwater Flow Model Calibration
(Page 1 of 3)

Calculated Statistics	July 2012	January 2013	July 2013	January 2014	July 2014	January 2015	July 2015
Mean Error (m)	-0.14	-0.08	-0.18	-0.19	-0.04	-0.08	-0.11
Mean Absolute Error (m)	0.45	0.37	0.48	0.35	0.45	0.35	0.41
Root Mean Square Error (m)	0.56	0.42	0.58	0.42	0.57	0.41	0.51
Normalized Root Mean Square Error	14%	9%	14%	8%	14%	8%	12%
Coefficient of Determination (r^2)	97%	98%	99%	99%	99%	98%	98%
Maximum Measured Groundwater Level (mamsl)	183.5	182.8	183.2	182.4	183.2	182.5	183.2
Maximum Measured Groundwater Level (mamsl)	187.4	187.5	187.3	187.5	187.3	187.5	187.4
Range of Measured Water Levels	3.9	4.7	4.1	5.1	4.1	5.1	4.2
Count of Measured Groundwater Levels	22	17	18	18	18	18	18

TABLE 4-6

Summary of Calculated Statistics of the Transient Groundwater Flow Model Calibration
(Page 2 of 3)

Calculated Statistics	January 2016	July 2016	January 2017	July 2017	January 2018	July 2018	January 2019
Mean Error (m)	0.12	-0.03	0.07	0.09	-0.06	0.10	0.00
Mean Absolute Error (m)	0.41	0.44	0.39	0.46	0.51	0.57	0.52
Root Mean Square Error (m)	0.55	0.57	0.49	0.61	0.61	0.65	0.61
Normalized Root Mean Square Error	13%	14%	10%	2%	8%	5%	9%
Coefficient of Determination (r^2)	98%	97%	97%	96%	91%	95%	92%
Maximum Measured Groundwater Level (mamsl)	183.2	183.4	182.7	181.4	181.4	181.3	181.5
Maximum Measured Groundwater Level (mamsl)	187.5	187.4	187.5	216.7	188.8	195.7	188.6
Range of Measured Water Levels	4.3	4.0	4.8	35.3	7.4	14.4	7.1
Count of Measured Groundwater Levels	18	19	20	39	30	42	30

TABLE 4-6

Summary of Calculated Statistics of the Transient Groundwater Flow Model Calibration
(Page 3 of 3)

Calculated Statistics	July 2019	January 2020	July 2020	January 2021	July 2021
Mean Error (m)	0.16	0.31	-0.13	-0.31	-0.09
Mean Absolute Error (m)	0.54	0.75	0.69	0.77	0.77
Root Mean Square Error (m)	0.68	1.33	0.99	1.03	1.09
Normalized Root Mean Square Error	3%	5%	3%	4%	3%
Coefficient of Determination (r^2)	96%	91%	98%	97%	97%
Maximum Measured Groundwater Level (mamsl)	181.4	181.3	181.4	181.5	181.5
Maximum Measured Groundwater Level (mamsl)	202.0	208.9	212.7	209.8	217.1
Range of Measured Water Levels	20.6	27.6	31.2	28.3	35.7
Count of Measured Groundwater Levels	49	59	55	46	72

TABLE 5-1

Summary of Simulated Model Scenarios

Scenario Name	TBM Grouting Depth (mbgs)	TBM Grouting Efficiency (%)	Fault Grouting Efficiency (%)	*K* Value of Backfill (m/s)	Notes
80% Success in Grouting	150	80	80	5.0×10^{-8}	Most Likely
65% Success in Grouting	150	65	65	1.0×10^{-7}	

TABLE 5-2

ITASCA Denver, Inc.

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios with the NE Deposit
(Page 1 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Groundwater Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
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

TABLE 5-2

ITASCA Denver, Inc.

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios with the NE Deposit
(Page 2 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Groundwater Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
3.22	109.7	114.2	2,584,046	2,666,870
3.31	109.4	113.9	2,665,465	2,751,620
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

TABLE 5-2

ITASCA Denver, Inc.

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios with the NE Deposit
(Page 3 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Groundwater Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
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
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

TABLE 5-2

ITASCA Denver, Inc.

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios with the NE Deposit
(Page 4 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Groundwater Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
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
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

TABLE 5-2

ITASCA Denver, Inc.

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios with the NE Deposit
(Page 5 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Groundwater Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
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
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

TABLE 5-2

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios with the NE Deposit
(Page 6 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Groundwater Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
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
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

TABLE 5-2

ITASCA Denver, Inc.

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios with the NE Deposit
(Page 7 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Groundwater Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
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
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

TABLE 5-3

ITASCA Denver, Inc.

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios without the NE Deposit
(Page 1 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
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

TABLE 5-3

ITASCA Denver, Inc.

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios without the NE Deposit
(Page 2 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
3.31	109.4	113.9	2,665,465	2,751,620
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

TABLE 5-3

ITASCA Denver, Inc.

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios without the NE Deposit
(Page 3 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
6.62	100.5	106.3	5,696,116	5,921,399
6.70	100.6	106.2	5,768,556	5,997,855
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

TABLE 5-3

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios without the NE Deposit
(Page 4 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
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
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

TABLE 5-3

ITASCA Denver, Inc.

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios without the NE Deposit
(Page 5 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
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
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

TABLE 5-3

ITASCA Denver, Inc.

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios without the NE Deposit
(Page 6 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
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
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

TABLE 5-3

Summary of Predicted Groundwater Inflow Rates and Cumulative Volumes for Model Scenarios without the NE Deposit
(Page 7 of 7)

Years after Mining Begins	Groundwater Inflow Rate (m^3/hr)		Cumulative Volume of Inflow (m^3)	
	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting	80% Success in Grouting	65% Success in Grouting
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
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

TABLE 6-1

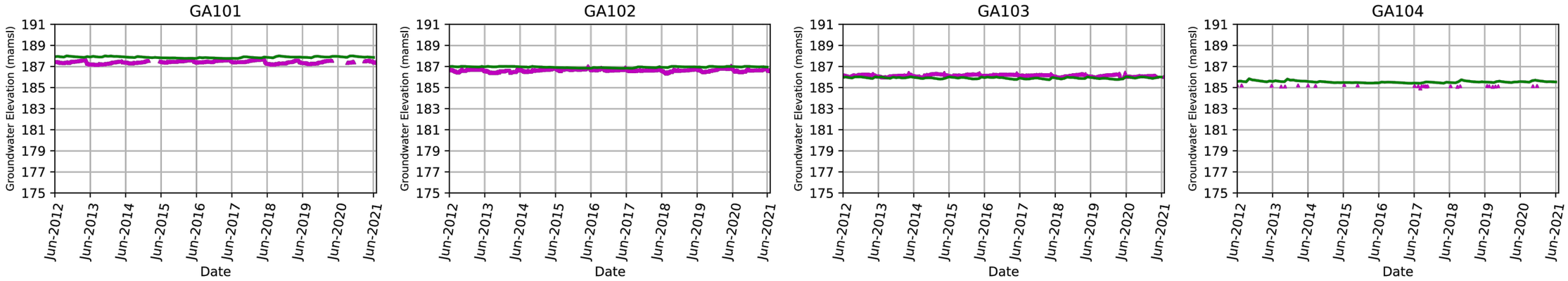
Summary of Key Model Parameters and Uncertainties

Item	Parameter/Factor	Effect/Influence	Source of Data	Data Status	Data Confidence	What Is Needed to Improve Confidence	Potential Uncertainty of Model Prediction
1	K_h and K_v of Geologic Units	1. Model calibration to groundwater levels 2. Predicted groundwater inflows 3. Predicted drawdown	The Mine provided *K* value data from an extensive hydraulic testing program.	1. The Mine has conducted a robust hydraulic testing program. This includes packer tests, pump tests, falling head, and air-lift test. 2. *K* value data are available for the bedrock geologic units at various depths. 3. *K* value data are primarily located around the future mine workings.	High	Installation of well-designed VWPS to collect groundwater levels in the bedrock.	+/- 25%
2	K_h and K_v of Faults	1. Model calibration to groundwater levels 2. Predicted groundwater inflows 3. Predicted drawdown	The Mine provided *K* value data for faults within the Mine area.	1. *K* value data are available for local fault structures. 2. *K* value data are unknown about regional structures.	Medium	1. Characterization of regional fault structures that intersect the Mine area or other local structures. 2. Installation of piezometers to monitor the water levels during the mining operation.	+/- 25%
3	Measured Groundwater Levels	Model calibration	The Mine provided groundwater levels at monitoring wells within the Shallow Groundwater System.	The Mine has been measuring groundwater levels at the Mine site since 2012. Data are collected to measure seasonal responses to recharge in various shallow system hydrogeologic units.	High	1. Continued water-level data collected. 2. Installation of a monitoring network within the peat.	+/- 10%
4	Measured Groundwater Levels in the Bedrock Groundwater System	Model calibration	The Mine provided groundwater levels at monitoring wells and VWPs.	1. The Mine has installed monitoring wells primarily within the fractured bedrock system and some monitoring wells within the unfractured bedrock. All data below 200 mbgs are questionable. 2. Data at VWPs are all questionable.	Medium	Installation of multi-level VWPs with grouted-in transducers near the future Mine Workings and Declines.	+/- 10%
5	Recharge and Climate	Model calibration of water levels	The Mine has provided estimates of recharge for the current and future time periods.	1. Recharge is estimated using a *MIKE SHE* model. 2. The model is sensitive to the applied recharge rates in the future.	Medium	1. Further work is needed to understand future effects to recharge due to a changing climate. 2. Further work is needed to understand how drawdown may affect recharge over the Mine area.	+/-20%

APPENDIX A

Measured versus Simulated Hydrographs of the Transient Groundwater Flow Model Calibration

Water Levels in the Peat



Simulated
Measured

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

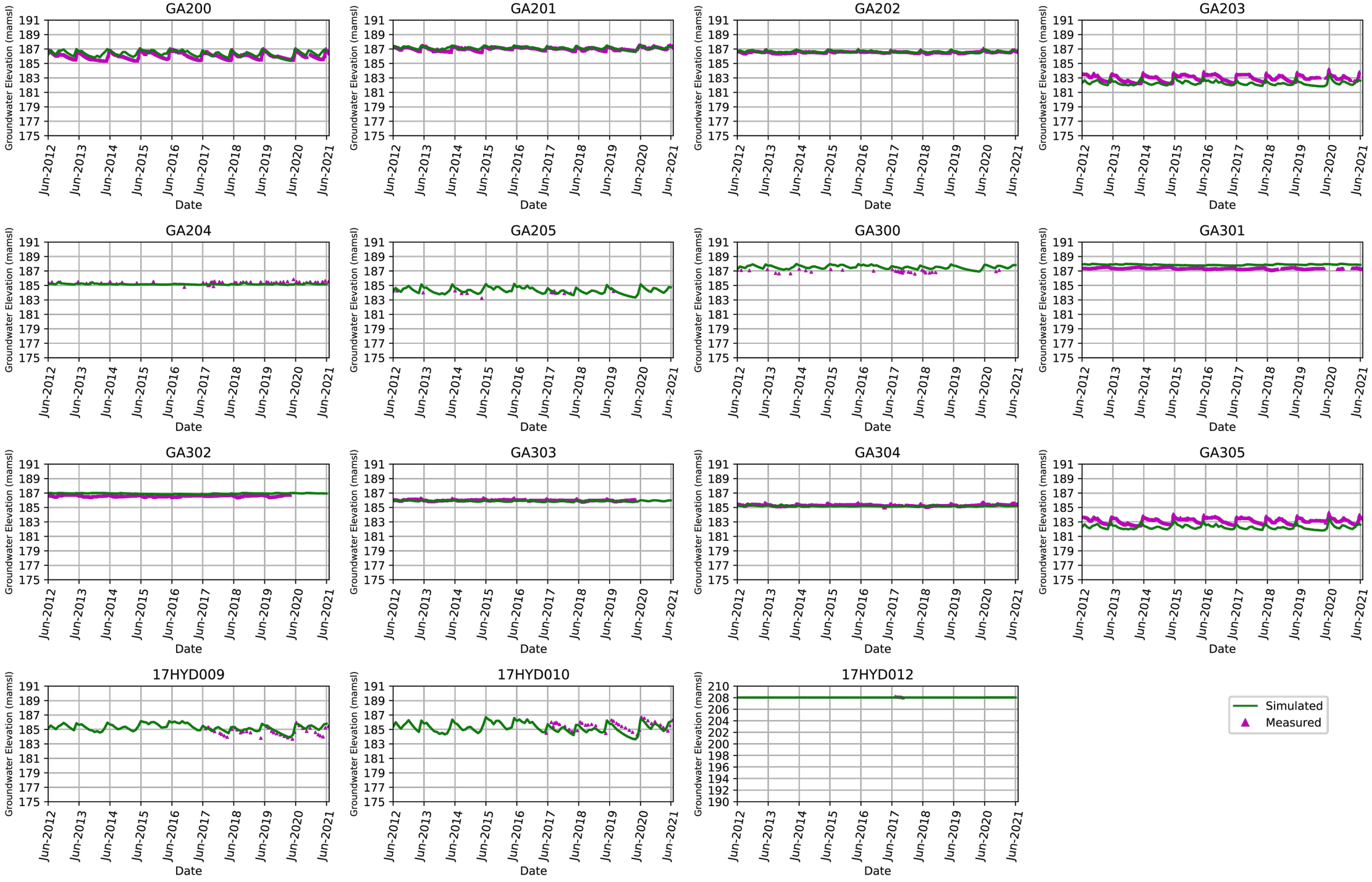
ITASCA™ Denver, Inc.

Measured versus Simulated Hydrographs of the Transient Groundwater Flow Model Calibration

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. A1

Groundwater Levels in Sediment



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

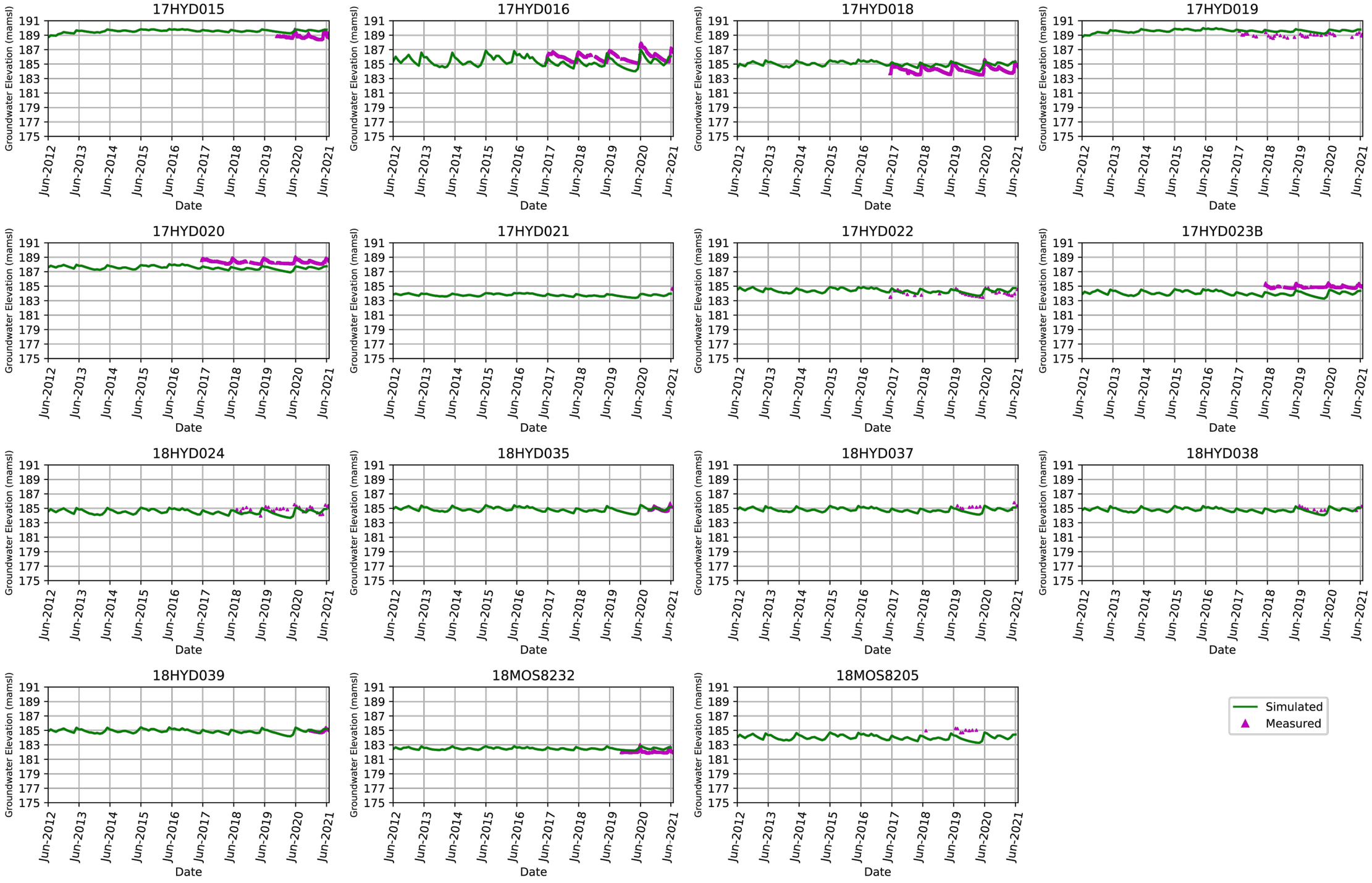
ITASCA™ Denver, Inc.

Measured versus Simulated Hydrographs of the Transient Groundwater Flow Model Calibration

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. A2

Groundwater Levels in Sediment



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

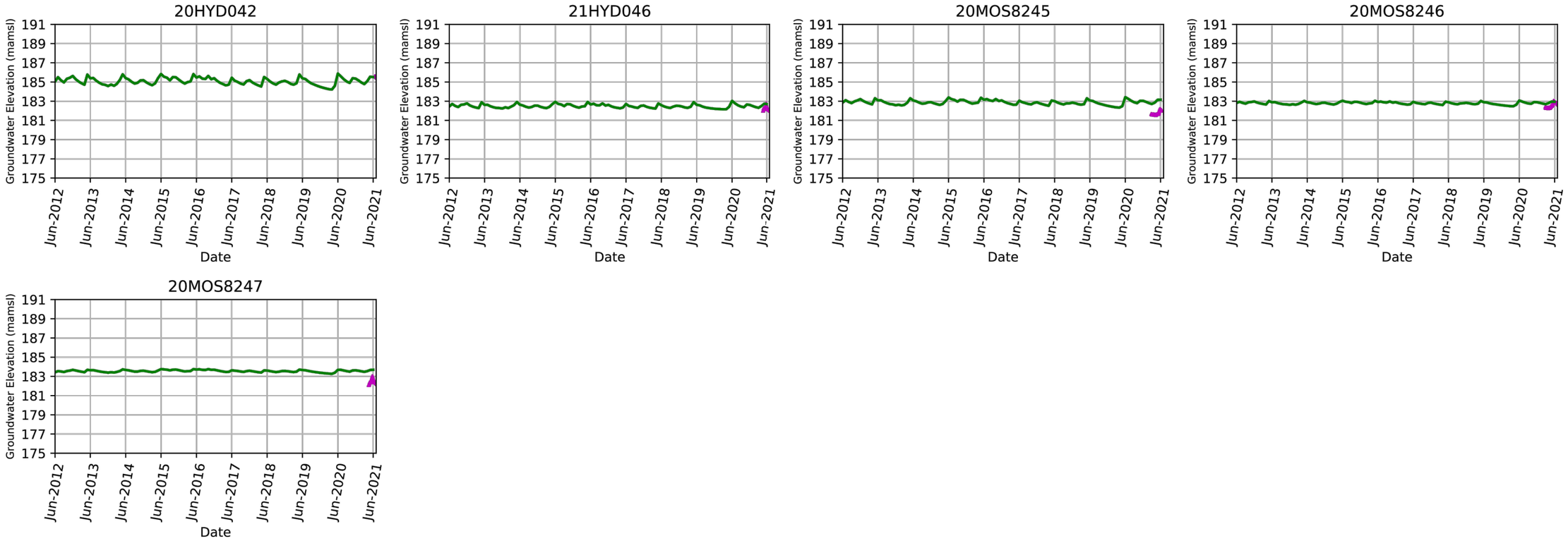
ITASCA™ Denver, Inc.

Measured versus Simulated Hydrographs of the Transient Groundwater Flow Model Calibration

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. A3

Groundwater Levels in Sediment



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

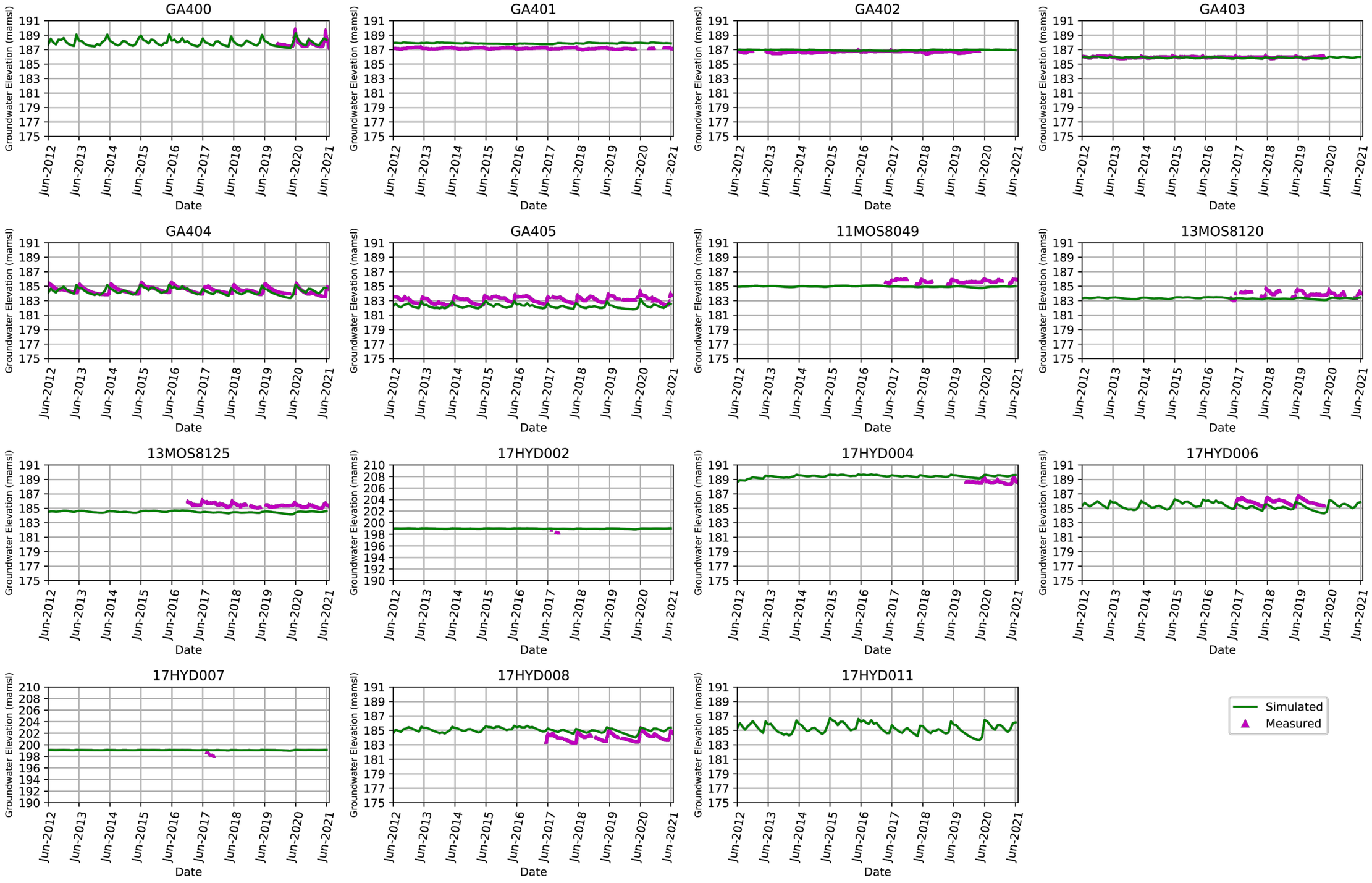
ITASCA™ Denver, Inc.

Measured versus Simulated Hydrographs of the Transient Groundwater Flow Model Calibration

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. A4

Groundwater Levels in Bedrock



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

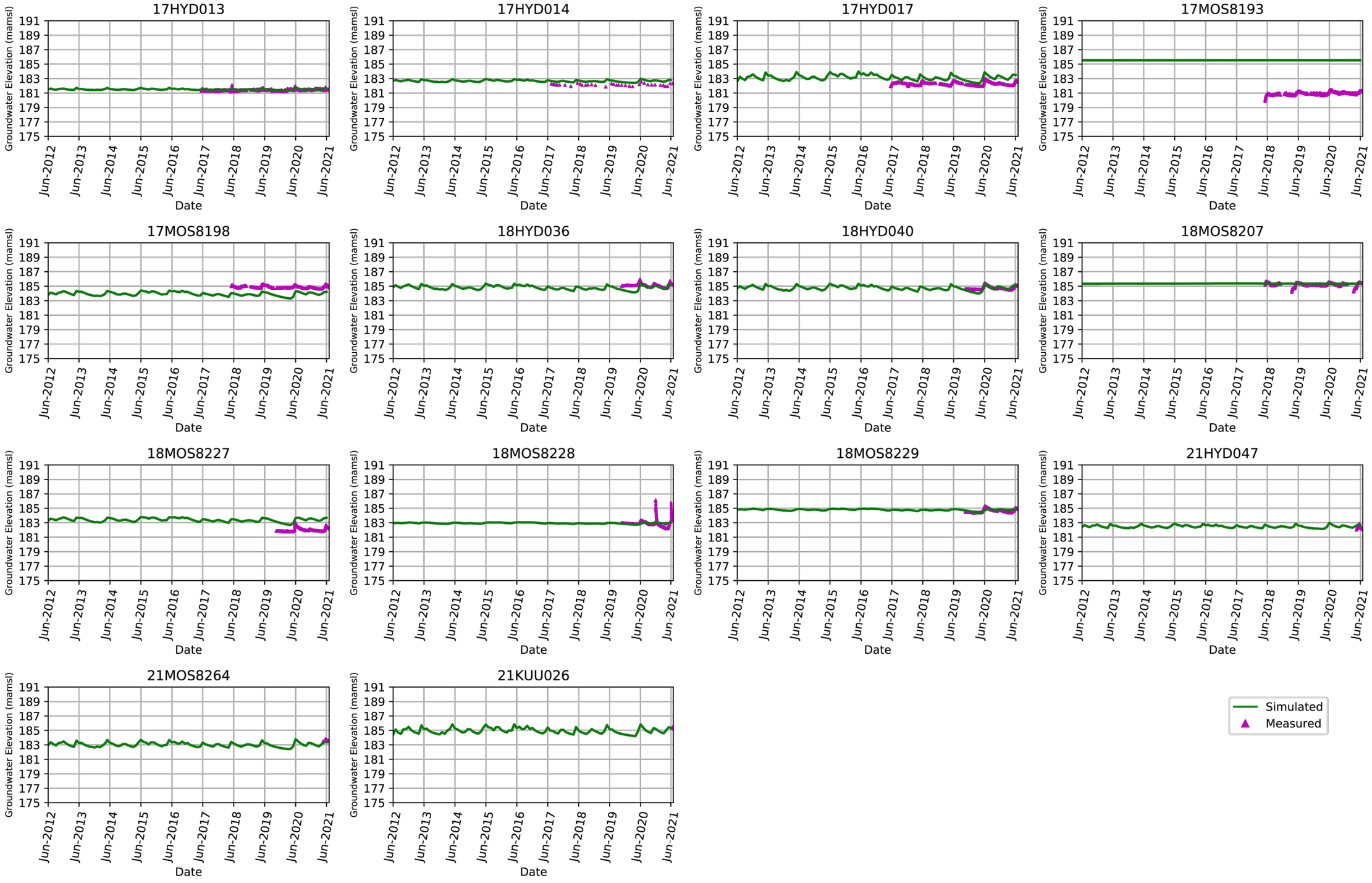
ITASCA™ Denver, Inc.

Measured versus Simulated Hydrographs of the Transient Groundwater Flow Model Calibration

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. A5

Groundwater Levels in Bedrock



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

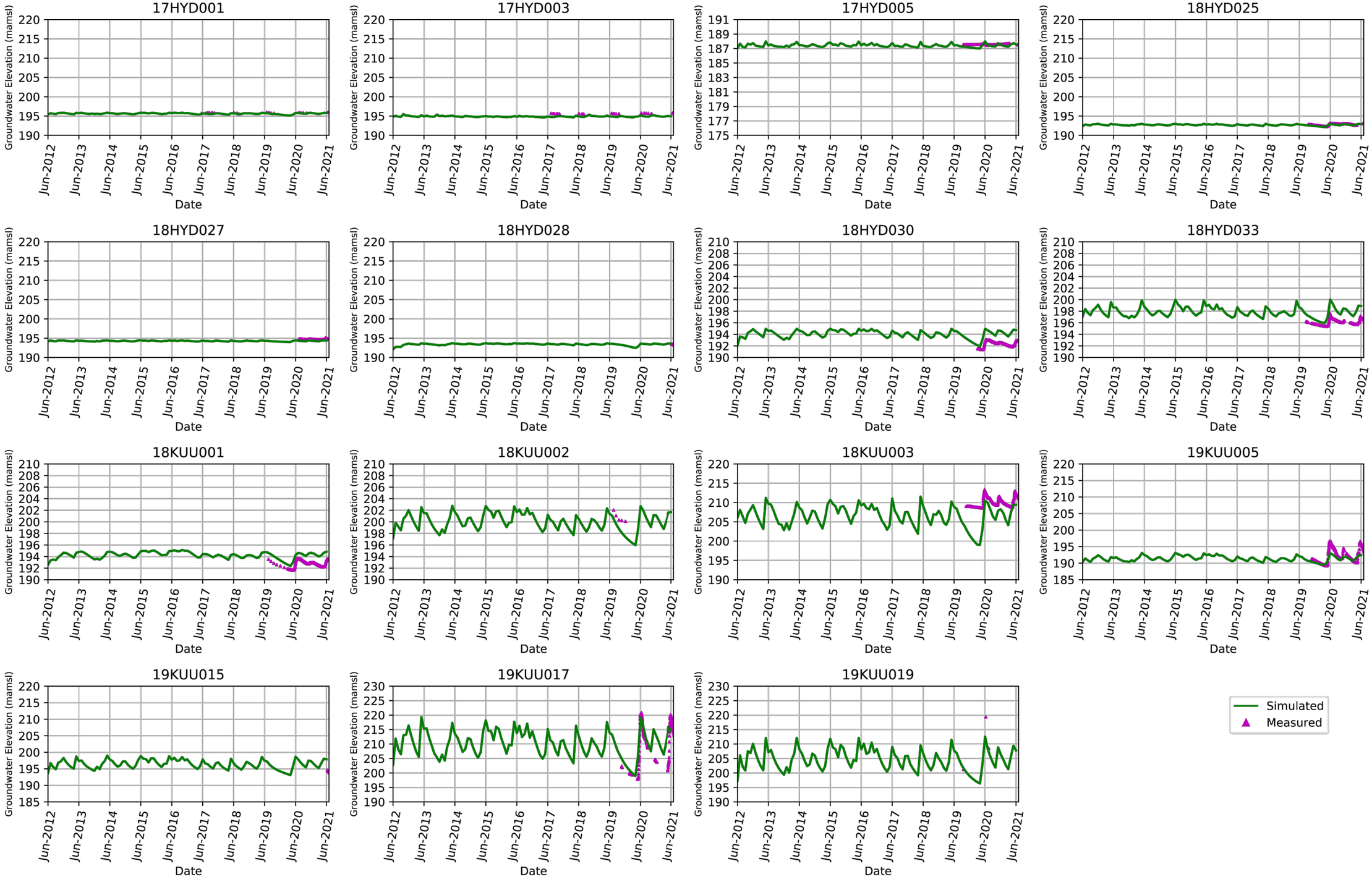
ITASCA™ Denver, Inc.

Measured versus Simulated Hydrographs of the Transient Groundwater Flow Model Calibration

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. A6

Groundwater Levels in Kuusivaara Area



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

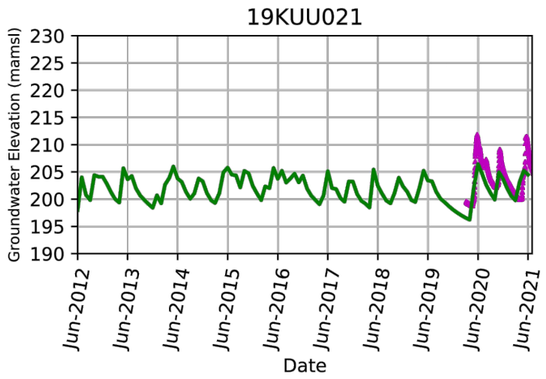
ITASCA™ Denver, Inc.

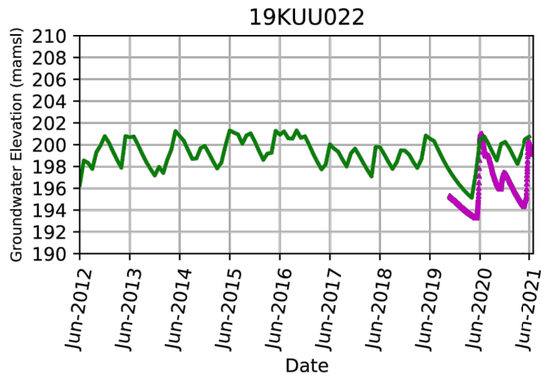
Measured versus Simulated Hydrographs of the Transient Groundwater Flow Model Calibration

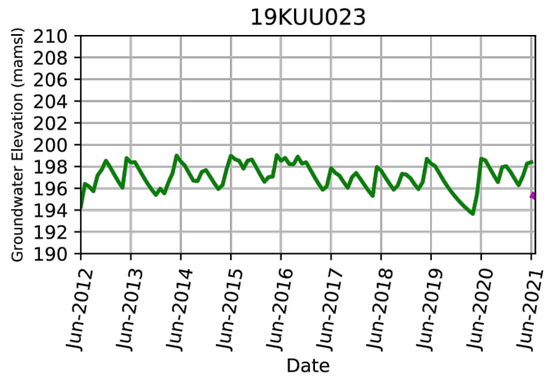
CLIENT: Sakatti Mine

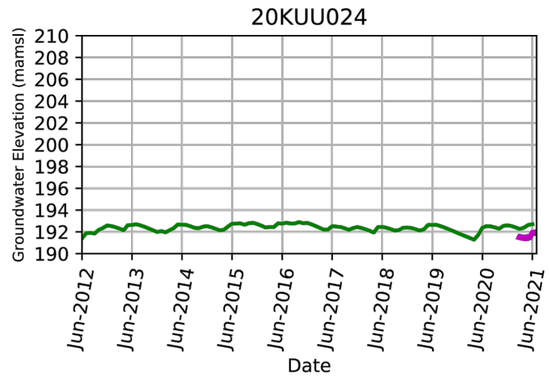
FIGURE NO. A7

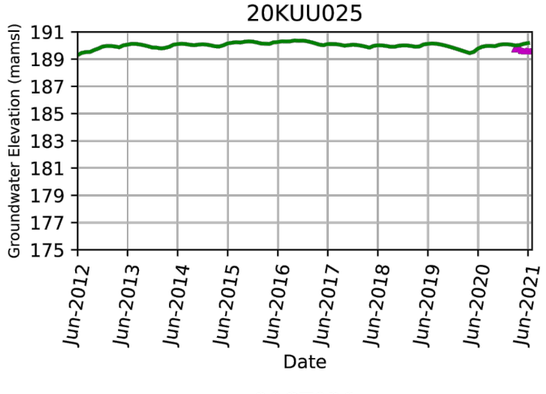
Groundwater Levels in Kuusivaara Area

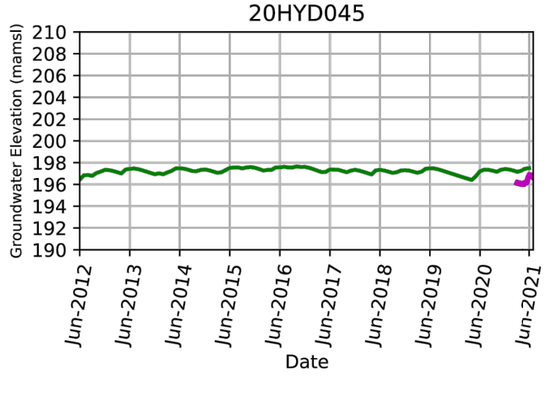


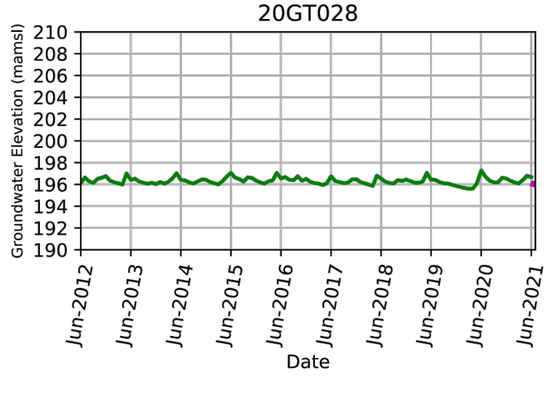


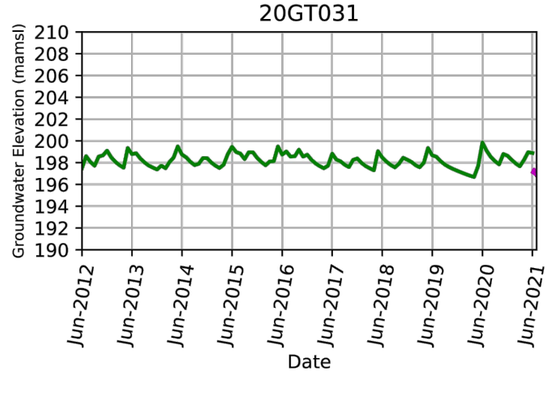


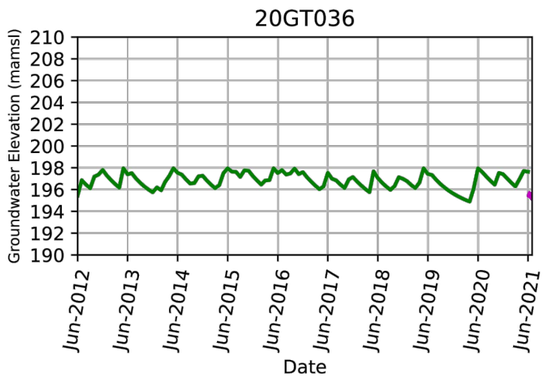


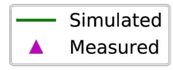












PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	APPENDIX
DRAWING DATE	27 Oct 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Measured versus Simulated Hydrographs of the Transient Groundwater Flow Model Calibration

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. A8

APPENDIX B

Predictive Results for Sensitivity Model Scenarios

ITASCA
Denver, Inc.

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

APPENDIX B
PREDICTIVE RESULTS FOR SENSITIVITY MODEL SCENARIOS

PREDICTIVE MODEL SIMULATIONS FOR SENSITIVITY ANALYSIS

Additional predictive groundwater flow model simulations were conducted to estimate the sensitivity of the key simulated mining parameters. The predictive groundwater flow model simulations were based on the life of mine (LOM) model setup described in the report. The following is a summary of the predictive model scenarios simulated for the sensitivity analyses:

1. **100% Success in Grouting Scenario**: This scenario simulates all components from the 80 percent (%) Success in Grouting Scenario but assumes grouting effectiveness is 100% along fault structures and to a depth of 150 mbgs along the Declines. To simulate a 100% grouting efficiency, no drain nodes are left open to freely drain in the grouting areas. The purpose of this scenario is to demonstrate the effects of increased grouting efficiency.
2. **90% Success in Grouting Scenario**: This scenario simulates all components from the 80% Success in Grouting Scenario but assumes grouting effectiveness is 90% along fault structures and to a depth of 150 mbgs along the Declines. To simulate a 90% grouting efficiency, selected drain nodes (10% of nodes) are left open to drain in areas of grouting. The purpose of this scenario is to demonstrate the effects of increased grouting efficiency.
3. **Alternative Backfill Scenario A:** This scenario simulates all components from the 80% Success in Grouting Scenario but assumes a low-*K*-value backfill of 2.0 x 10^{-8} meters per second (m/s). The purpose of this scenario is to determine the effects of the backfill *K* values on the model predictions.
4. **Alternative Backfill Scenario B:** This scenario simulates all components from the 80% Success in Grouting Scenario but assumes a high-*K*-value backfill of 2.0 x 10^{-6} m/s. The purpose of this scenario is to determine the effects of backfill *K* values on the model predictions.
5. **Closed Stope Scenario**: This scenario simulates all components from the 80% Success in Grouting Scenario but assumes the mined stopes are sufficiently backfilled and groundwater inflow from the mined stopes is negligible. Drains are turned off in previously mined stopes one month after mining. The purpose of this scenario is to determine the effects of leakage around backfilled stopes on the model predictions.
6. **Alternative Mine Plan Scenario:** As discussed above, the mine plan includes the NE deposit area with the shallowest Mine Workings. An alternative mine plan was simulated with the

shallowest mining elevation of 52 meters above mean sea level (mamsl) instead of the primary mine plan of 112 mamsl in the NE deposit area. This would include the removal of the three upper stope levels in the NE deposit. The purpose of this scenario is to estimate the effects of shallow Mine Workings on the model predictions. All other components of the scenario are the same as in the 80% Success in Grouting Scenario.

In addition to sensitivity analyses related to mining parameters, a sensitivity analysis was also conducted for a varying climate (i.e., varying recharge) in the future. The future climate in Finland is predicted to change, with warmer temperatures and more precipitation. As such, additional model scenarios were simulated for both the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios under a changing future climate. The simulated future climate variables were discussed in Section 3.2.5. Future recharge rates that were estimated under the RCP4.5 climate case were simulated directly in the groundwater flow model.

PREDICTIVE RESULTS DURING MINING FOR THE SENSITIVITY SCENARIO

Predicted Groundwater Inflow Rates

Figure B-1 shows the predicted groundwater inflow rates for the sensitivity model scenarios and the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios. Scenarios presented on the graph include all mining-related model sensitivity scenarios. The climate variation scenario is presented in the next section of the appendix. The following can be concluded regarding the sensitivity of the future groundwater inflow rates relative to the results from the 80% Success in Grouting Scenario:

1. For the grout efficiency from 65% to 100%, an increase in grout efficiency decreases the groundwater inflow rate into the Mine Workings. Predictions of groundwater inflow decrease by 15% to 25% with increasing grout efficiency.
2. In the alternative backfill scenarios, a change in the *K* value of the backfill has minor effects on long-term groundwater inflow rates (less than 2 cubic meters per hour [m^3/hr]) because the *K* value of the backfill is higher than that of the in-situ rock mass. Most of the groundwater inflow occurs in the Mine Workings that surround the mining area.
3. In the Closed Stopes Scenario, backfilled stopes reduce peak groundwater inflow rates and have minor effects on long-term groundwater inflow rates (less than 2 m^3/hr). Most of the groundwater inflow occurs in the Mine Workings that surround the mining area.

4. The Alternative Mine Plan Scenario results in a reduction of long-term groundwater inflow rates by less than 5 m^3/hr.

Predicted Drawdown

Figures B-2a and B-2b show drawdown hydrographs for each model scenario at 11 hypothetical locations across the Project Site. A spatial map of the hypothetical locations is shown in the figures. The predicted drawdown associated with mining was estimated by comparing the model-predicted drawdown in each specific sensitivity scenario with the No-Mining Scenario. The following can be observed regarding the predicted drawdown across the Project Site:

1. Predicted drawdown decreases as grout efficiency increases. The primary locations where drawdown decreases are near the Basal Thrust and the shallow decline. Drawdown decreases by 20% to 30% in the Basal Thrust area as grout efficiency is increased from 65% to 100%.
2. Over the mining area, in the Closed Stope Scenario (i.e., completely sealed stopes with backfill with no leakage), there is a small decrease in drawdown (less than 0.05 m at Monitoring location 8) in the NE deposit area because most of the groundwater inflow occurs in the Mine Workings that surround the mining area.
3. There is little difference in drawdown in the Alternative Backfill Scenarios. Because the backfill is more permeable than the surrounding bedrock, drainage through the backfill material to the Mine Workings still occurs.
4. The Alternative Mine Plan Scenario (i.e., removing shallow stopes from the NE deposit) results in a reduction in drawdown in the NE deposit area by 0.1 to 0.2 m.

Figure B-3a, Figure B-3b, and Figure B-3c show the predicted drawdown contours at the end of mining due to mining for selected sensitivity scenarios. Predicted drawdown is only shown for cases with significant variation from the 80% Success in Grouting Scenario (over 0.1 m change). As such, only the 100% and 90% Success in Grouting Scenarios and the Alternative Mine Plan Scenario are shown. The following is a summary of the predicted drawdown at the end of mining for the selected model scenarios:

1. The Grout Scenarios result in decreased drawdown along the Basal Thrust and the shallow decline area as grout efficiency increases.
2. The Alternative Mine Plan Scenario results in decreased drawdown in the NE deposit area.

Predicted Water Budget for the Kitinen River

Figure B-4 shows the predicted baseflow to the Kitinen River over the LOM for the sensitivity scenarios, 80% and 65% Success in Grouting Scenarios, and No-Mining Scenario. Similar to the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios, all sensitivity scenarios predicted that the groundwater outflow to the Kitinen River may decrease by up to 20 m^3/hr. The sensitivity analyses suggest that the reduction of the predicted baseflow is not sensitive to the parameters used in the sensitivity analyses.

PREDICTIVE RESULTS DURING MINING FOR THE CLIMATE SCENARIOS

A varying climate in the future is likely to affect the way precipitation occurs (either snow or rain), potential snow depths, and the timing of snowmelts. To assess the effect of the potential changes in a future climate on the predicted groundwater inflow rate and drawdown, AASM Oy conducted future simulations with the *MIKE SHE* model to estimate changes to monthly and annual recharge rates to the till, sorted sediments, and peat areas for the RCP4.5 climate case. Data from these model simulations were presented in Section 3.2.5 of the main report. The following is a summary of the high-level changes to the climate for the RCP4.5 case that were presented in the report:

1. Annual precipitation and recharge rates show more variability.
2. Recharge rates for the sorted sediments show a slight decrease through time. It is likely that decreases in recharge to the sorted sediments are due to decreases in snow depth and spring thaw recharge and an increase in evapotranspiration (ET).
3. Recharge rates for the till slightly decrease through time. It is likely that decreases in recharge to the till are due to the decreases in snow depth and spring thaw recharge and an increase in ET.
4. Recharge rates for the peat increase through time. The reason for increasing recharge in the peat is due to decreased surface-water runoff resulting in increased recharge into the peat.

Based on the *MIKE SHE* model from AASM Oy, the overall balance of water (recharge and discharge) from the peat is still a net gaining water from precipitation.

Predictive groundwater flow model simulations were simulated for the 80% and 65% Success in Grouting Scenarios with varying climate recharge rates. These will be referred to as the 80% and 65% Success in Grouting Climate Scenarios. Comparisons will be made between the 80% and 65% Success in Grouting Base Scenarios and the 80% and 65% Success in Grouting Climate Scenarios. The "Base Scenarios" are defined as predictive model scenarios with average future recharge rates. The Base Scenarios are described in the report.

Predicted Groundwater Inflow Rate for Climate Scenarios

Figure B-5 shows the predicted groundwater inflow rate over time for the Mine Workings for the Climate and Base Scenarios with 80% and 65% Success in Grouting. A varying climate does not affect the predicted groundwater inflow rate into the Mine Workings. This is because the Mine Workings are not directly connected to the Shallow Groundwater System. The predicted groundwater inflow rates into the Mine Workings are related to the removal of groundwater storage.

Predicted Drawdown for Climate Scenarios

Figure B-6a and Figure B-6b show drawdown hydrographs for the 80% Success in Grouting Base and Climate Scenarios at 11 hypothetical locations across the Project Site. Figure B-6c and Figure B-6d show drawdown hydrographs for the 65% Success in Grouting Base Scenario and Climate Scenarios at 11 hypothetical locations across the Project Site. The predicted drawdown associated with mining was estimated by comparing the model-predicted drawdown in the Base and Climate Scenarios with the No-Mining Scenarios. The following can be observed regarding the predicted drawdown across the Project Site:

1. Predicted drawdown in the Climate Scenarios is highly variable due to changes in annual precipitation and recharge rates. In drier years, the predicted drawdown rate is increased. In wetter years, the predicted drawdown rate is decreased.

2. Long-term trends indicate increased drawdown in the Climate Scenarios as compared to the Base Scenarios in monitoring locations that are near sorted sediments and tills, as the future predicted recharge rates are declining in these hydrogeologic units.
3. Long-term trends indicate decreased or similar drawdown in the Climate Scenarios as compared to the Base Scenarios in monitoring locations that are within or near peat, as the future predicted recharge rates are increasing in this hydrogeologic unit.
4. The seasonal signal of drawdown varies in the Climate Scenarios from the Base Scenarios. The seasonal signal and timing changes are related to changes when recharge occurs because precipitation is changing (either snow or rain) or the snowmelt is occurring sooner due to increasing temperature.

Figure B-7a and Figure B-7b show the predicted drawdown contours associated with mining within the HSA for the 80% Success in Grouting and 65% Success in Grouting Climate Scenarios, respectively. Similar to the Base Scenarios, the predicted drawdown is greater in the shallow deposit area and along the decline. The predicted peak drawdown in the 80% and 65% Success in Grouting Climate Scenarios is 4.9 and 8.0 meters (m) in the portal area, respectively. The Climate Scenarios indicate that there is likely to be less drawdown in areas of peat and more drawdown in areas dominated by till and sediments when compared with the Base Scenarios.

Predicted Water Budget for the Kitinen River

Figure B-8 shows the predicted baseflow to the Kitinen River over the LOM for the Climate Scenarios and No-Mining Scenario. Similar to the Base Scenarios, the Climate Scenarios indicate that the groundwater discharge to the Kitinen River may decrease by up to 20 m^3/hr.

Predicted Groundwater Recovery for Climate Scenarios

After mining ends, it is expected that the Shallow and Deep Groundwater Systems will begin to recover. The groundwater flow model was used to estimate the time for the groundwater recovery in the Shallow and Deep Groundwater Systems. Two model scenarios were conducted to predict the future groundwater recovery. The setup and assumptions for these two groundwater recovery model scenarios are as follows:

1. **80% Success in Grouting Climate Groundwater Recovery Scenario**: This scenario assumes mining occurs under the 80% Success in Grouting Climate Scenario assumptions described above. After mining, the groundwater system is allowed to naturally recover. The future recharge rates are based on the climate scenario presented in Section 3.2.5. Future recharge rates for the varying climate were only available through Year 2100. After 2100, recharge rates from Year 2100 are repeated annually over the rest of the model simulation time period.
2. **65% Success in Grouting Climate Groundwater Recovery Scenario**: This scenario assumes mining occurs under the 65% Success in Grouting Climate Scenario assumptions described above. After mining, the groundwater system is allowed to naturally recover. The future recharge rates are based on the climate scenario presented in Section 3.2.5 of the main report. Future recharge rates for the varying climate were only available through Year 2100. After 2100, recharge rates from Year 2100 are repeated annually over the rest of the model simulation time period.

Based on the above assumptions, the groundwater flow model was simulated for 400 years after mining. A 400-year time period for groundwater recovery is simulated due to the low *K* value of the Unfractured Bedrock.

Groundwater recovery in the groundwater system is demonstrated by showing drawdown at the key monitoring locations over time. In order to assess the groundwater recovery over time, the following hypothetical piezometers, as shown in Figure B-9, were used:

1. Eleven shallow piezometers were populated in the areas of predicted drawdown. These piezometers monitor the groundwater levels in the first saturated model layer with elevations ranging from approximately 184 to 194 mamsl.
2. One virtual piezometer was populated from the ground surface to the deep mining zone. This piezometer was assumed to be equipped with virtual multiple-level transducers at eight different elevations.

Figure B-9a and Figure B-9b show drawdown hydrographs for the 80% Success in Grouting and 65% Success in Grouting Climate Groundwater Recovery Scenarios, respectively, at 11 different hypothetical monitoring wells and one piezometer at the Project Site during groundwater recovery. The following can be observed regarding the groundwater recovery for the 80% Success in Grouting Climate Scenario across the Project Site (B-9a):

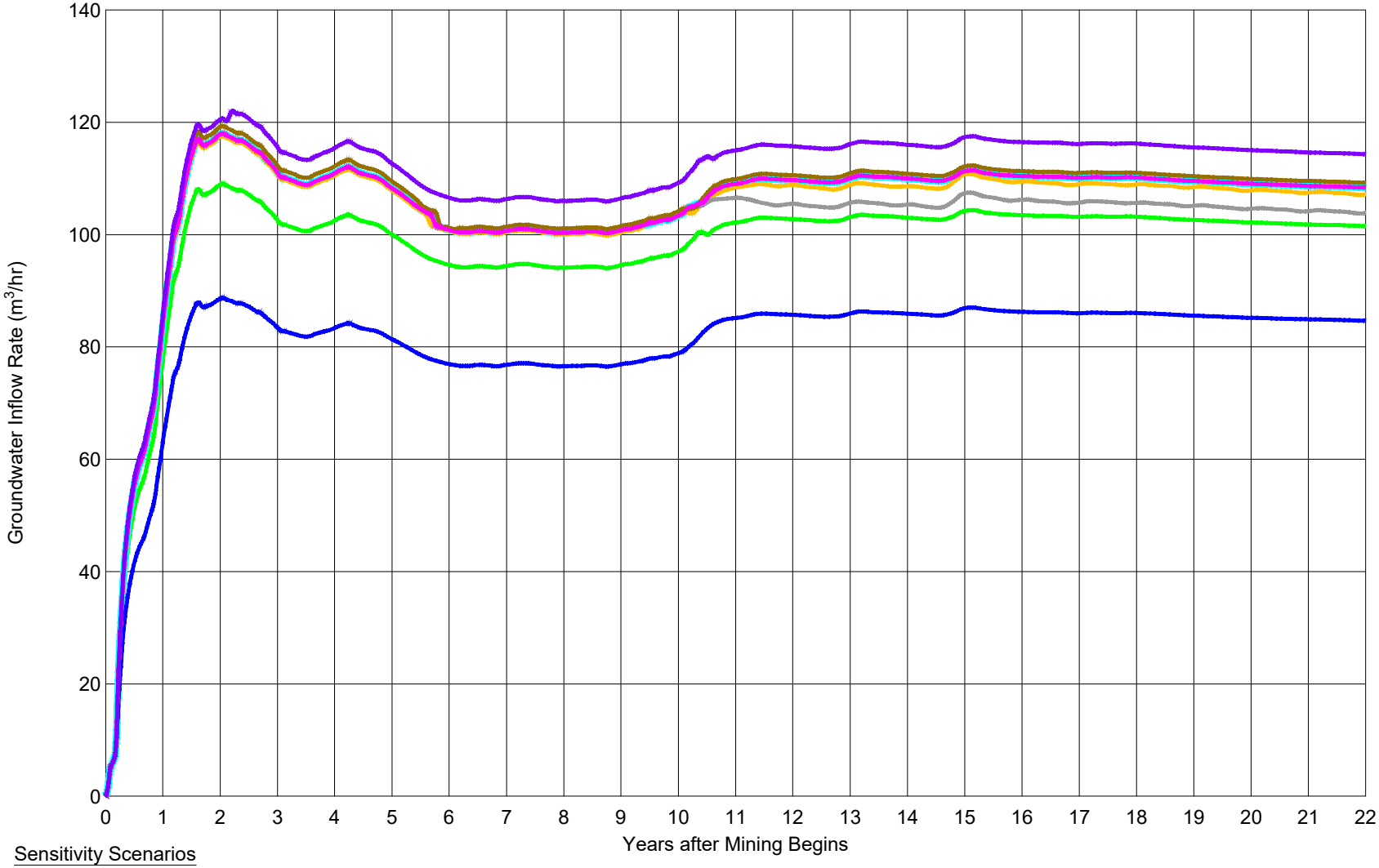
1. Groundwater levels within the Shallow Groundwater System begin to recover after mining ends. Groundwater recovery begins to occur as the Mine Workings stop draining.
2. Within 11 years, groundwater levels within the Shallow Groundwater System have recovered to within 0.1 m in comparison to the pre-mining condition.
3. Within the Shallow Groundwater System monitoring locations, predicted groundwater recovery varies seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal variations range from 0.01 to 0.15 m.
4. Shallow Groundwater System monitoring locations indicate more seasonal variation during groundwater recovery for the Climate Groundwater Recovery Scenario than in the Base Groundwater Recovery Scenario due to the simulated recharge rates for the Climate Scenario.
5. Monitoring locations within the Shallow Groundwater System indicate that the groundwater system has recovered to drawdown with less than 0.01 m difference (greater than 99% recovery) from the No-Mining Scenario at all monitoring locations 75 years after mining ends.
6. At piezometer locations within the Unfractured Bedrock, there is increasing drawdown in the shallow elevations of the Unfractured Bedrock for the first 20 years after mining ends as the Deep Groundwater System begins to recover.
7. Due to the low *K* values of the Unfractured Bedrock, deeper monitoring locations require a longer time to recover than shallower monitoring locations. By 400 years after mining, all monitoring locations within the Unfractured Bedrock have drawdown less than 2 m.

The following can be observed regarding the groundwater recovery for the 65% Success in Grouting Climate Scenarios (Figure B9-b) across the Project Site:

1. Groundwater levels within the Shallow Groundwater System begin to recover after mining ends. Groundwater recovery begins to occur as the Mine Workings stop draining.
2. Within 11 years, groundwater levels within the Shallow Groundwater System have recovered to within 0.1 m in comparison to the pre-mining condition.
3. Within the Shallow Groundwater System monitoring locations, predicted groundwater recovery varies seasonally due to the simulated seasonal recharge from snowmelt. Seasonal variations range from 0.01 to 0.15 m.
4. Shallow Groundwater System monitoring locations indicate more seasonal variation for the Climate Groundwater Recovery Scenario than in the Base Groundwater Recovery Scenario due to the simulated recharge rates for the Climate Scenario.

5. Monitoring locations within the Shallow Groundwater System indicate that the groundwater system has recovered to drawdown with less than 0.01 m difference (greater than 99% recovery) from the No-Mining Scenario at all monitoring locations 75 years after mining ends.
6. At piezometer locations within the Unfractured Bedrock, there is increasing drawdown in the shallow elevations of the Unfractured Bedrock for the first 20 years after mining ends as the Deep Groundwater System begins to recover.
7. Due to the low *K* values of the Unfractured Bedrock, deeper monitoring locations require a longer time to recover than shallower monitoring locations. By 400 years after mining, all monitoring locations within the Unfractured Bedrock have drawdown less than 2.5 m.

Attachments:
- Figure B-1 – Predicted Groundwater Inflows for the Sensitivity Scenarios
- Figure B-2 – Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the Sensitivity Scenarios
- Figure B-3 – Predicted Drawdown at the End of Mining for the Selected Sensitivity Scenarios
- Figure B-4 – Predicted Baseflow to the Kitinen River for the Sensitivity Scenarios
- Figure B-5 – Predicted Groundwater Inflows for the Climate Scenarios
- Figure B-6 – Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the Climate Scenarios
- Figure B-7 – Predicted Drawdown at the End of Mining for the Climate Scenarios
- Figure B-8 – Predicted Baseflow to the Kitinen River for the Climate Scenarios
- Figure B-9 – Predicted Groundwater Recovery after Mining at Key Locations around the Mine Area for the Climate Scenarios



Sensitivity Scenarios

- 65% Success in Grouting Scenario
- 80% Success in Grouting Scenario
- Alternative Backfill: High *K*
- Alternative Backfill: Low *K*
- Closed Stopes
- Alternative Mine Plan
- 90% Success in Grouting Scenario
- 100% Success in Grouting Scenario

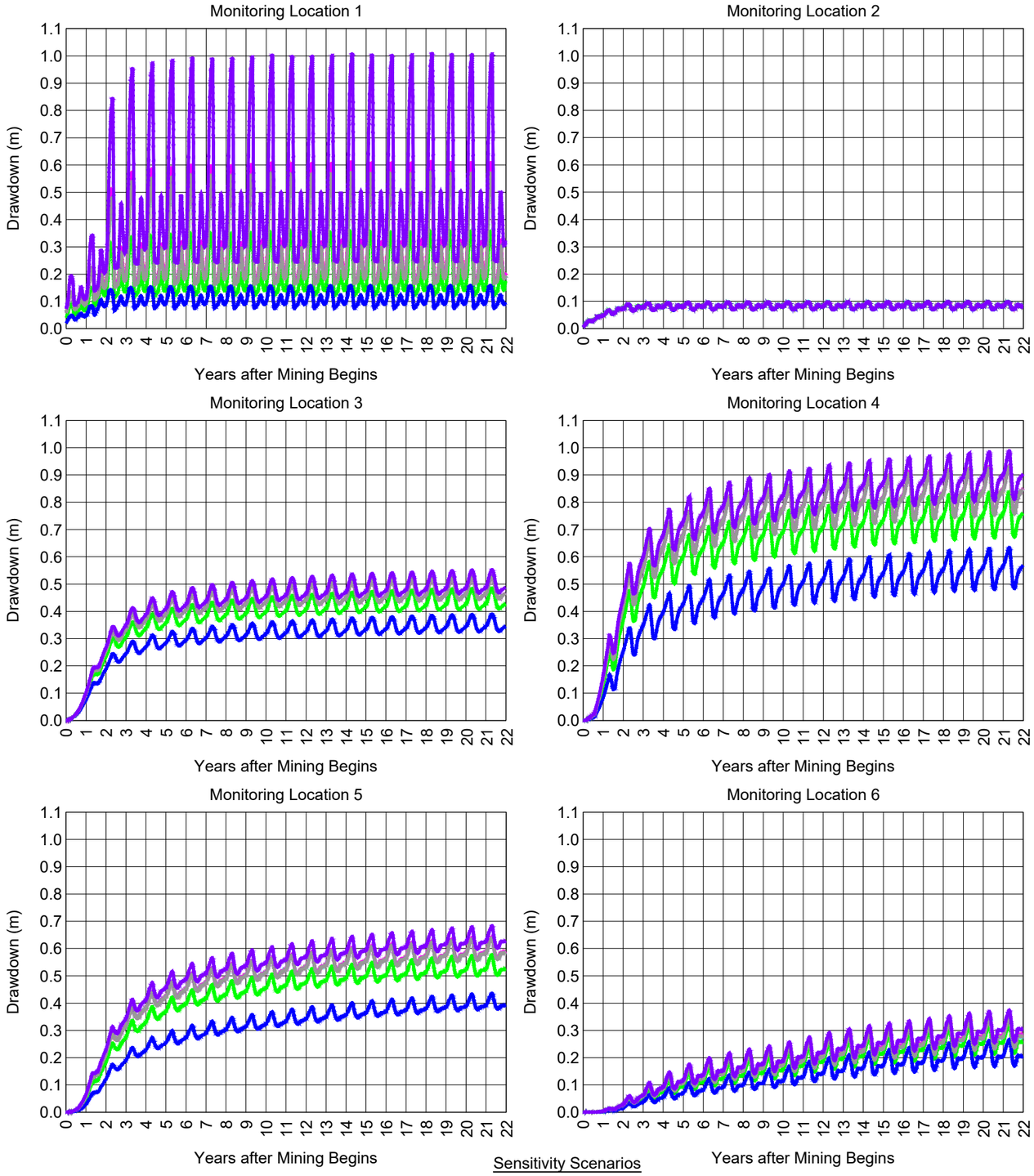
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SENS
DRAWING DATE	9 JAN 2023
REVISION DATE	

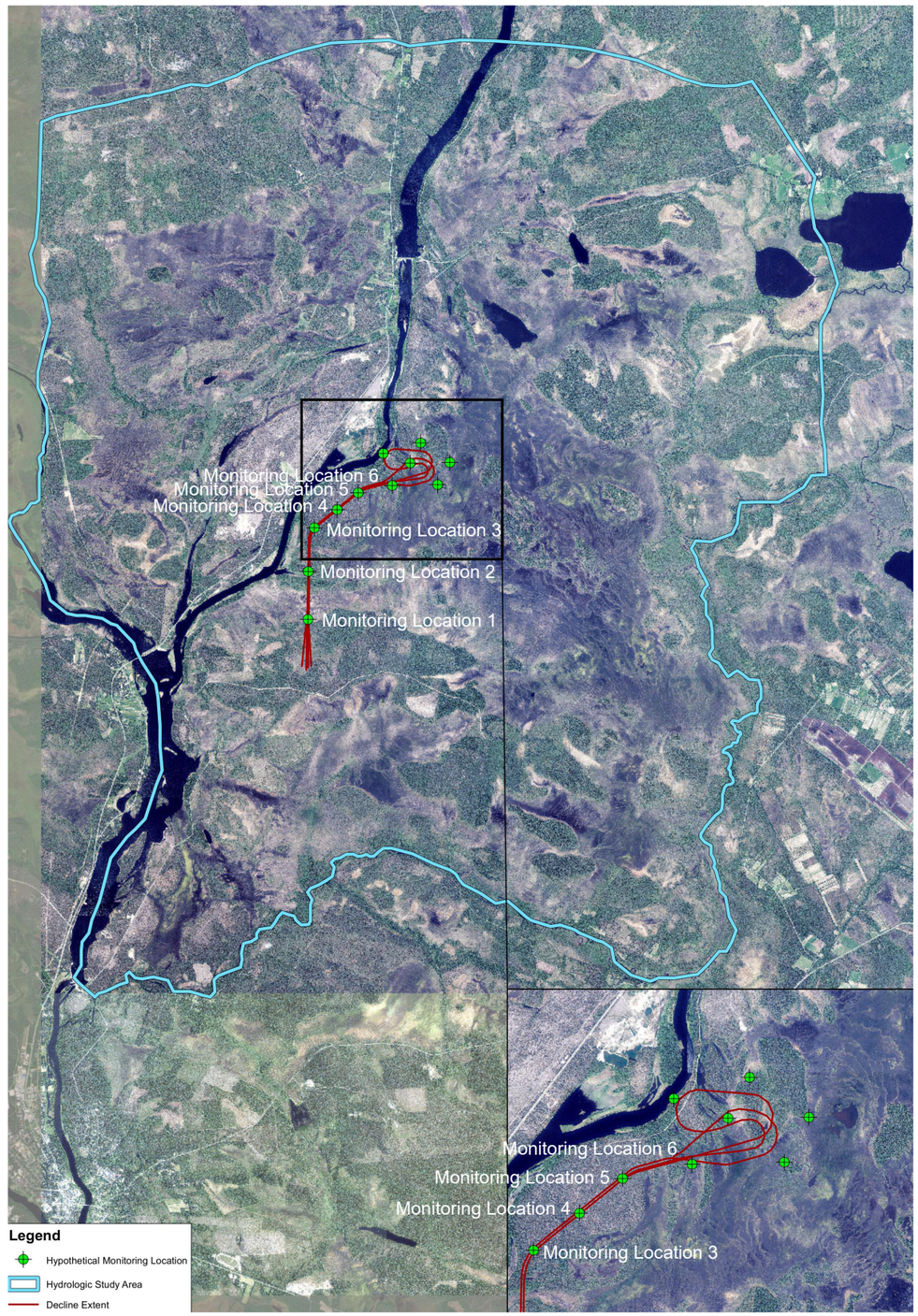
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Groundwater Inflows for the Sensitivity Scenarios

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-1





Note: Sensitivity Scenarios of Closed Stopes, Alternative Backfill, have negligible differences from 80% Success in Grouting Scenario

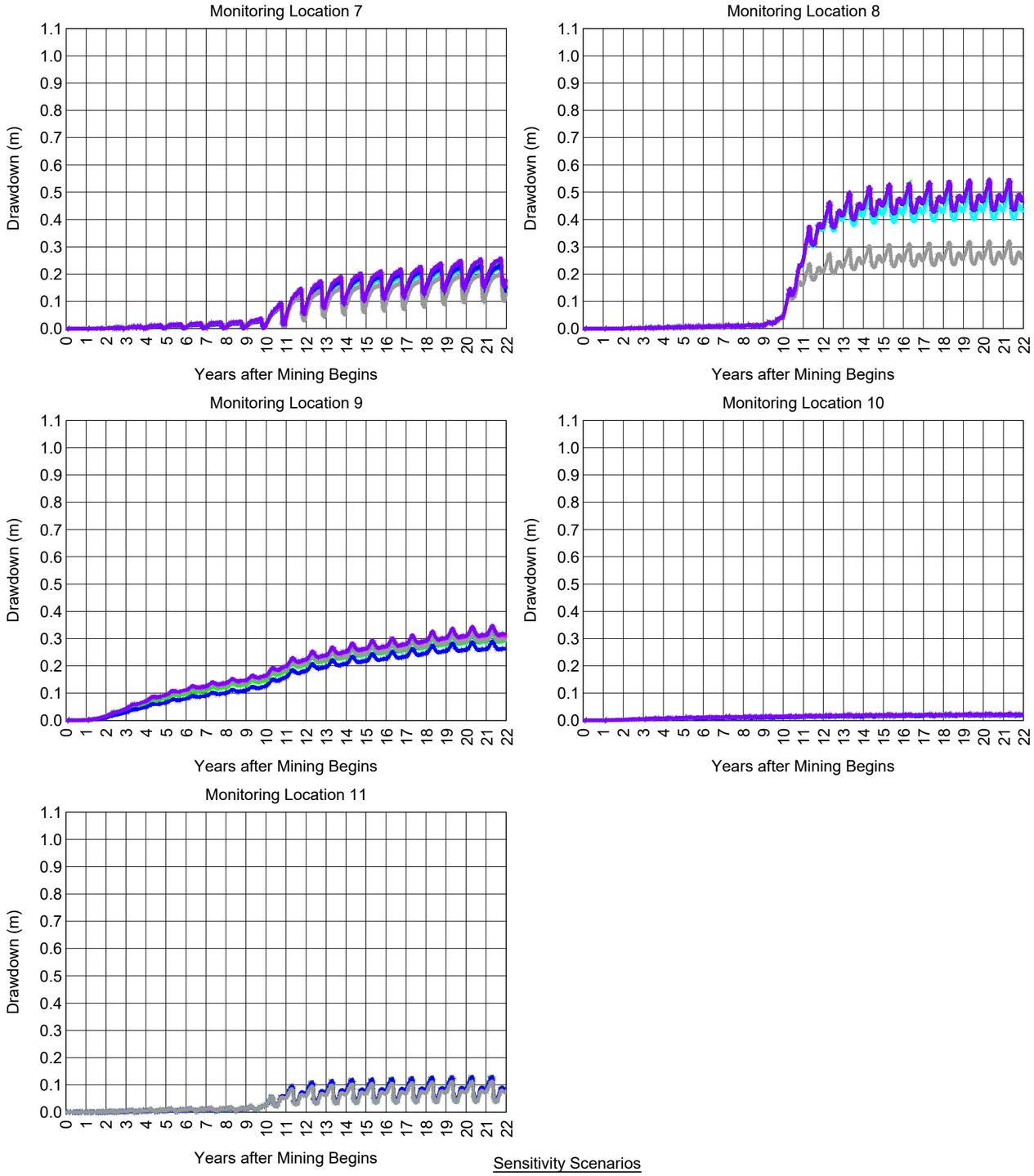
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

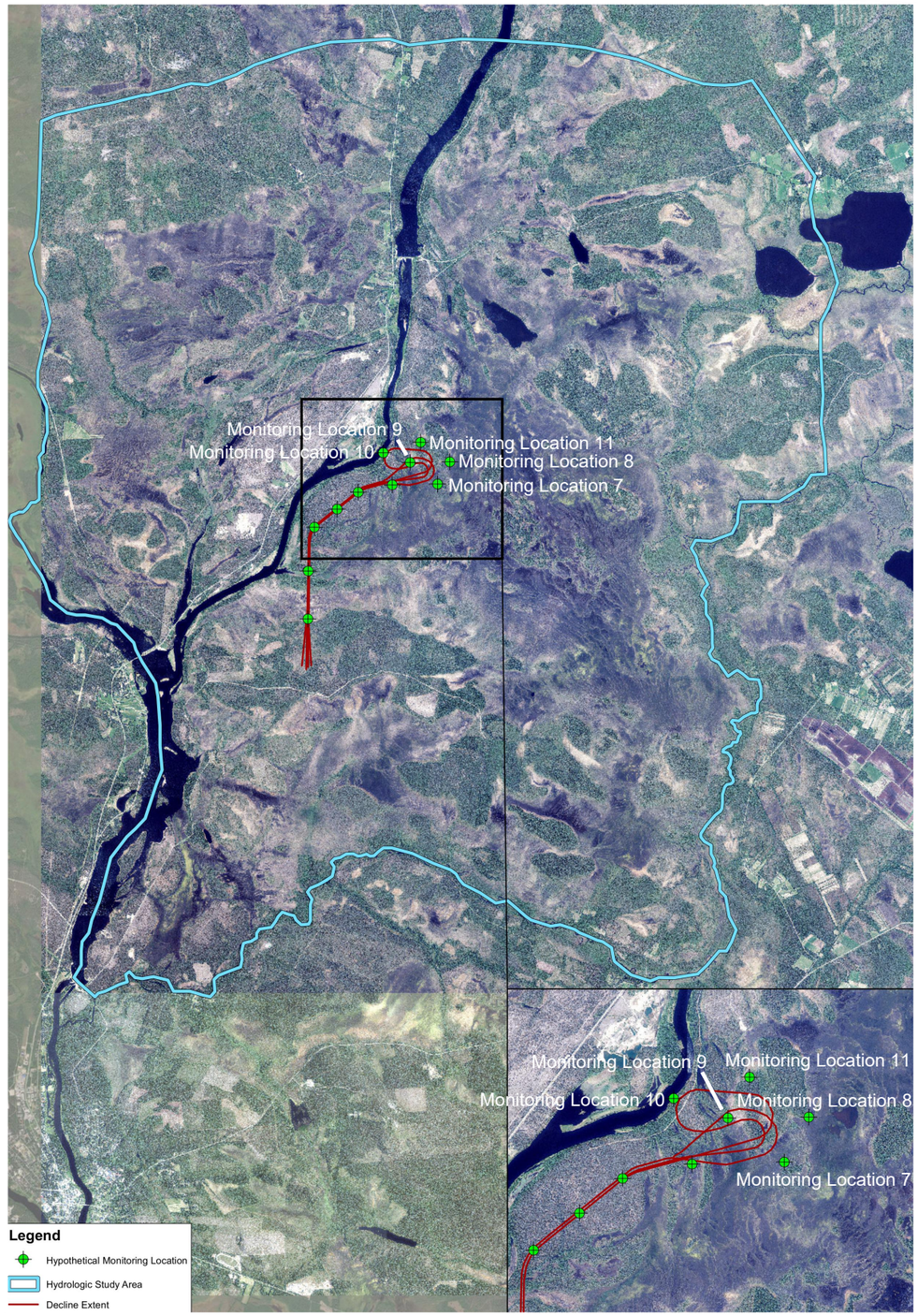
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the Sensitivity Scenarios

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-2a





Sensitivity Scenarios
- 65% Success in Grouting Scenario
- 80% Success in Grouting Scenario
- Alternative Backfill: High *K*
- Alternative Backfill: Low *K*
- Closed Stopes
- Alternative Mine Plan
- 90% Success in Grouting Scenario
- 100% Success in Grouting Scenario

Note: Sensitivity Scenarios of Closed Stopes, Alternative Backfill, have negligible differences from 80% Success in Grouting Scenario

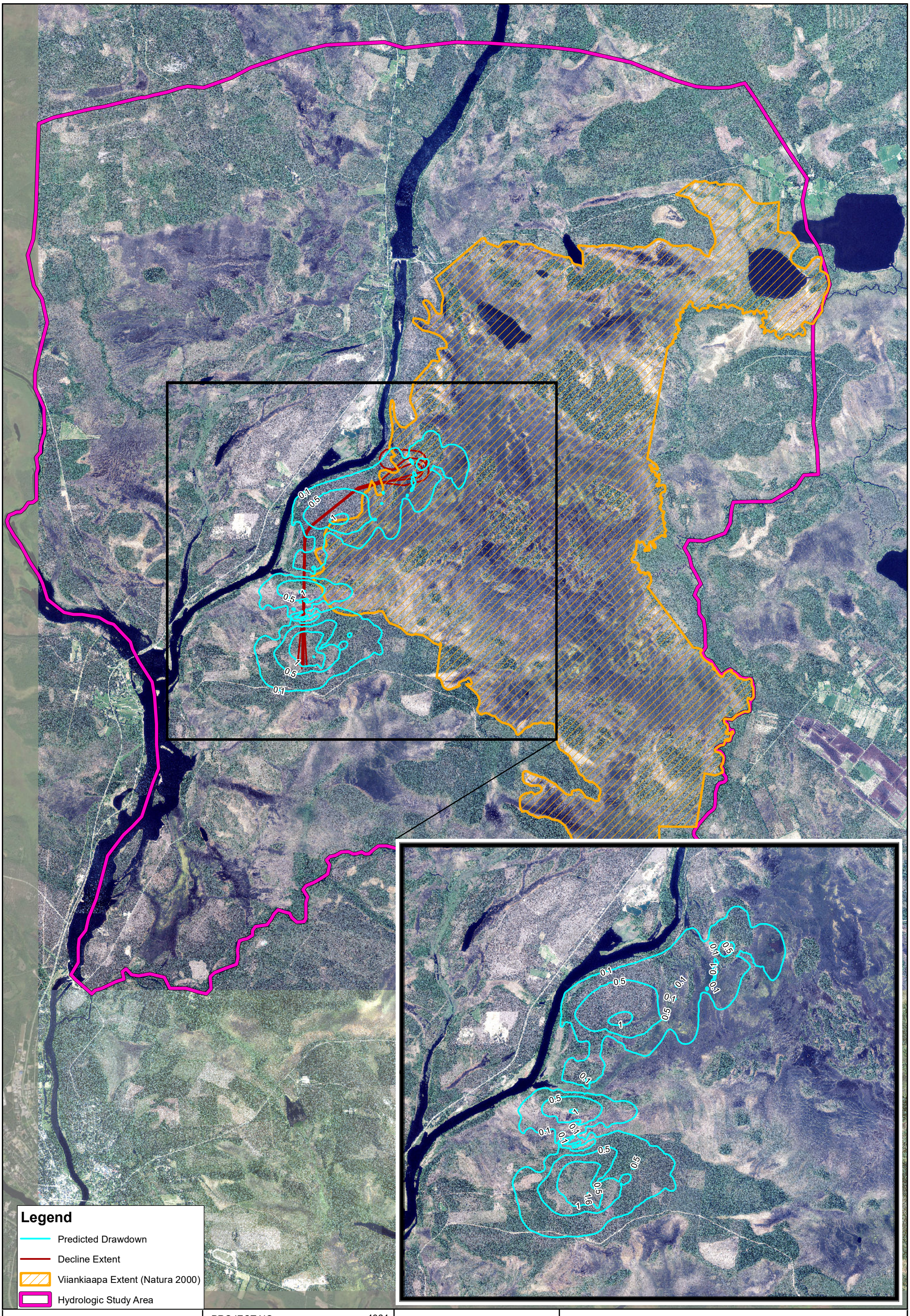
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the Sensitivity Scenarios

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-2b



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

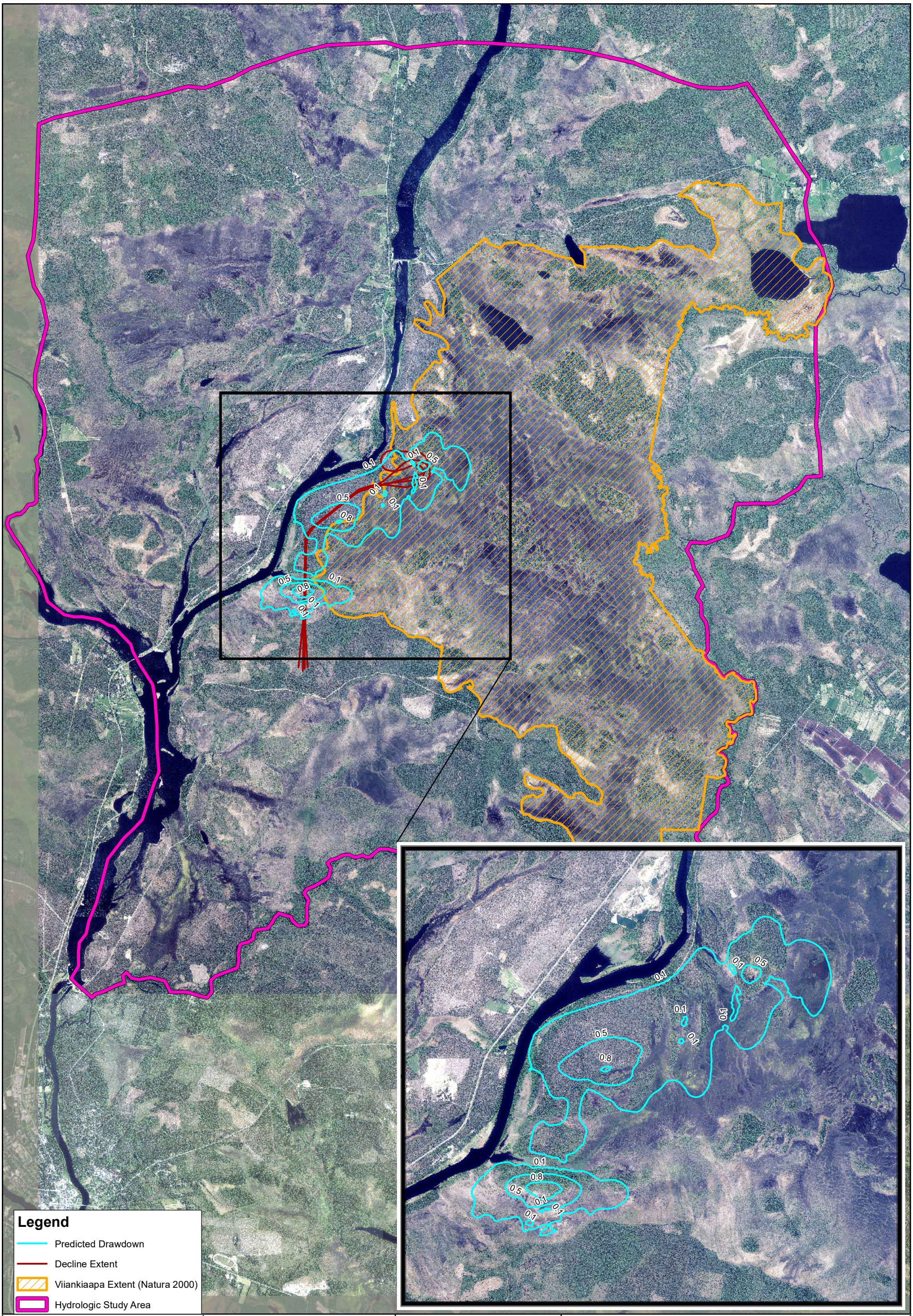
ITASCA™
Denver, Inc.

Predicted Drawdown at the End of Mining for the Selected Sensitivity Scenarios: 90% Success in Grouting Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-3a

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working_Appendix\Draw_SSS_Base.mxd



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

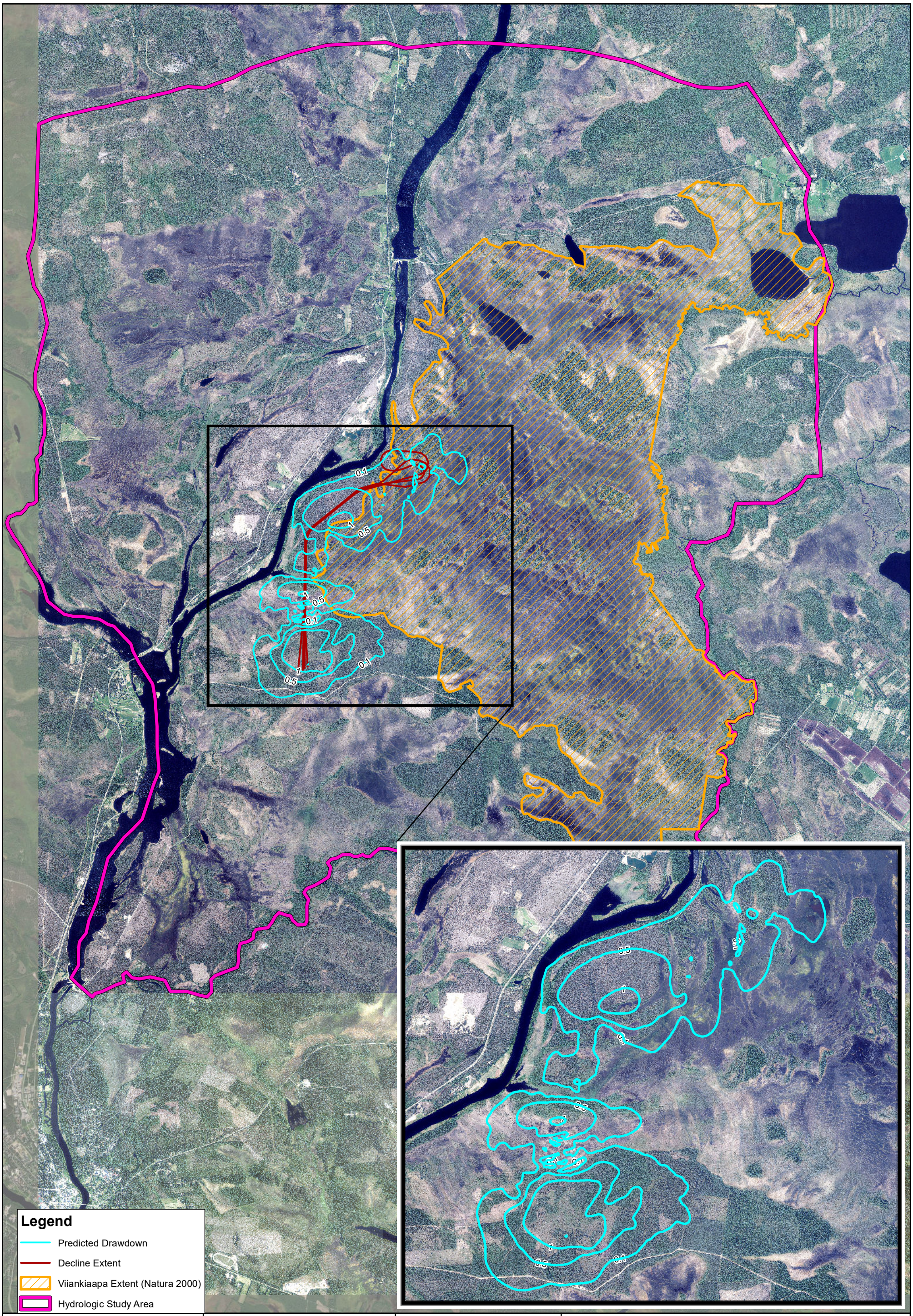
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown at the End of Mining for the Selected Sensitivity Scenarios: 100% Success in Grouting Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-3b

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working_Appendix\Draw_SSS_100b.mxd



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

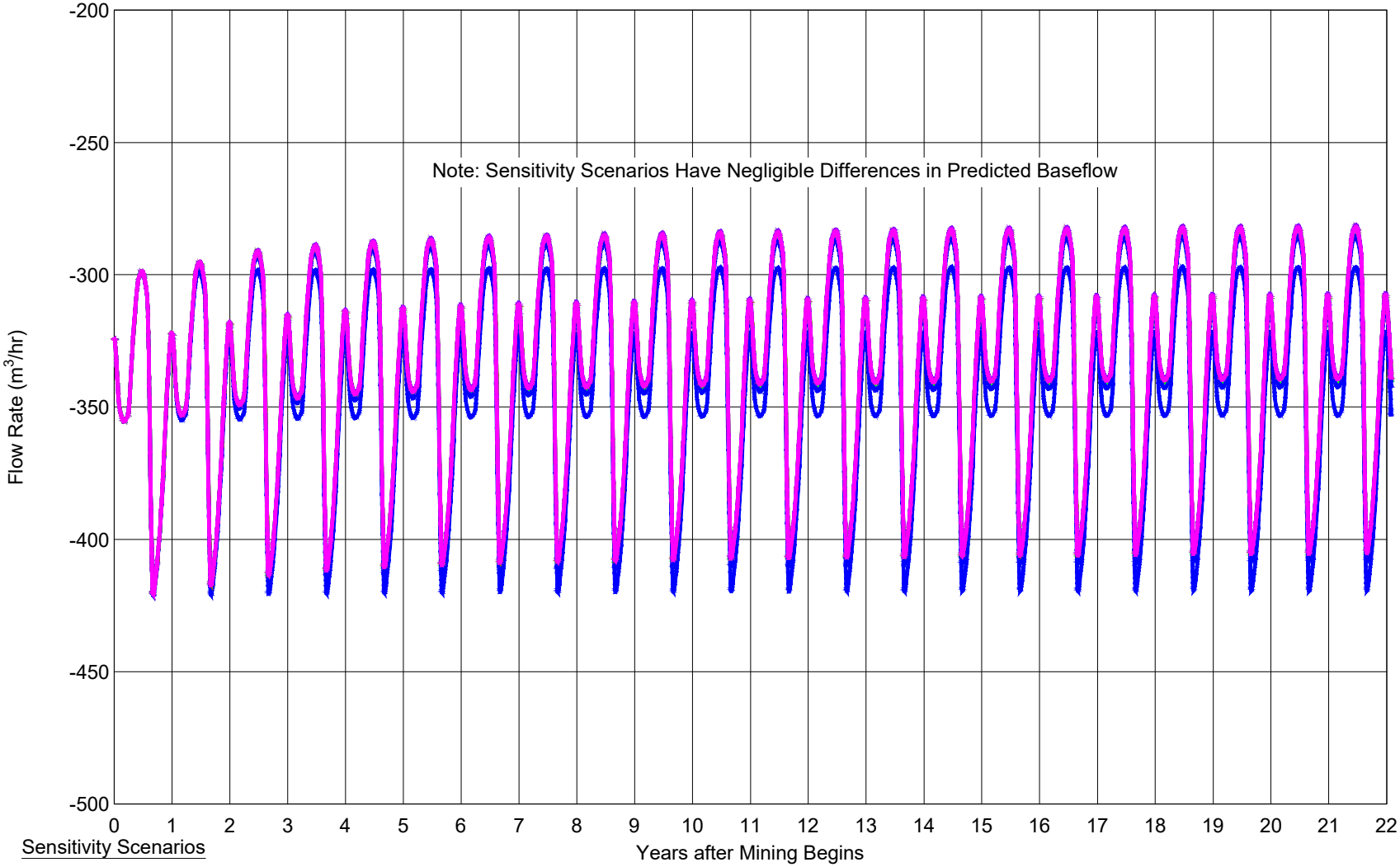
ITASCA™
Denver, Inc.

Predicted Drawdown at the End of Mining for the Selected Sensitivity Scenarios: Alternative Mine Plan Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-3c

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working_Appendix\Draw_SSSc_Alt.mxd



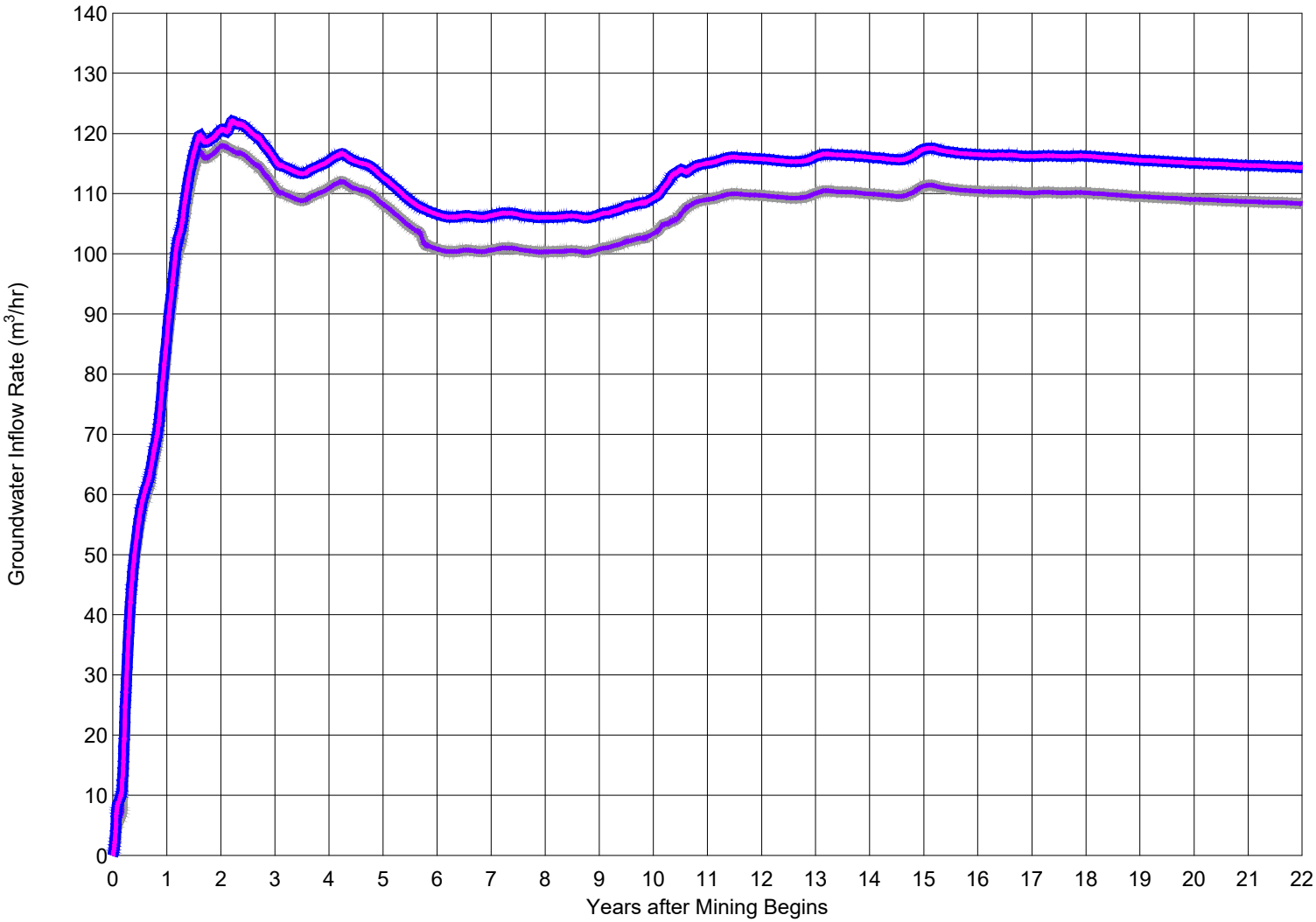
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	SENS
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Baseflow to the Kitinen River for the Sensitivity Scenarios

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-4



Base Scenarios
- 65% Success in Grouting
- 80% Success in Grouting

Climate Scenarios
- 65% Success in Grouting
- 80% Success in Grouting

Note: Climate and Base Scenarios are plotted on top of each other with negligible differences.

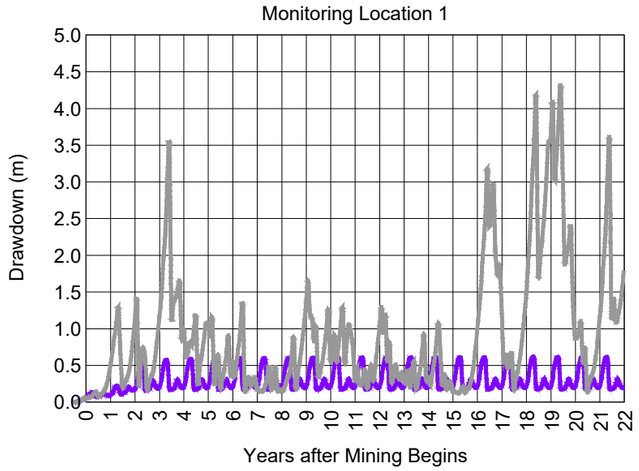
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CLIMATE
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

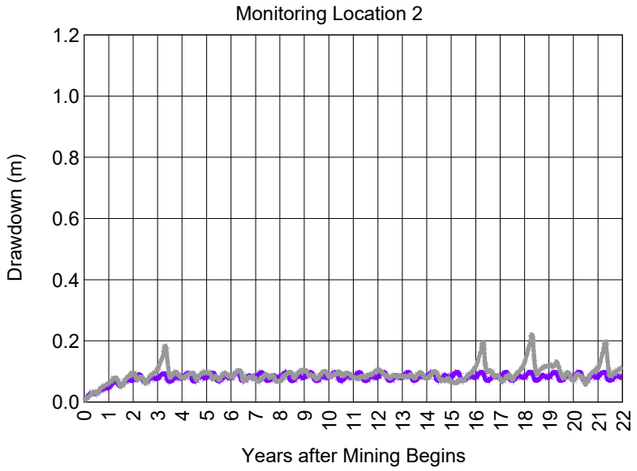
ITASCA™ Denver, Inc.

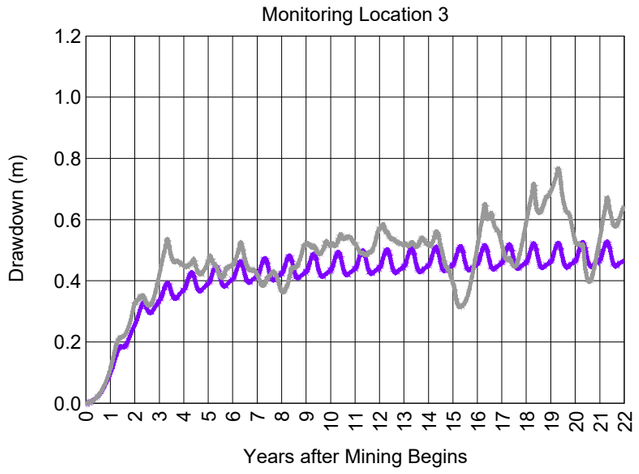
Predicted Groundwater Inflows for the Climate Scenarios

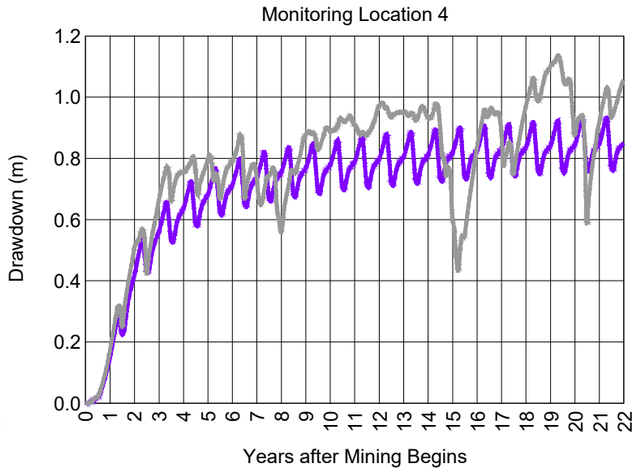
CLIENT: Sakatti Mine

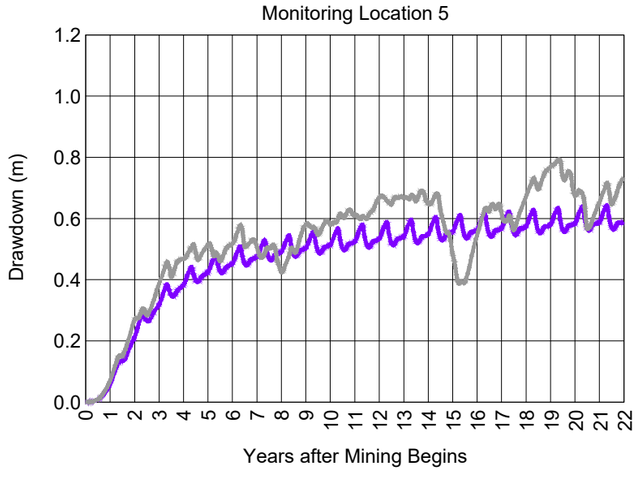
FIGURE NO. B-5

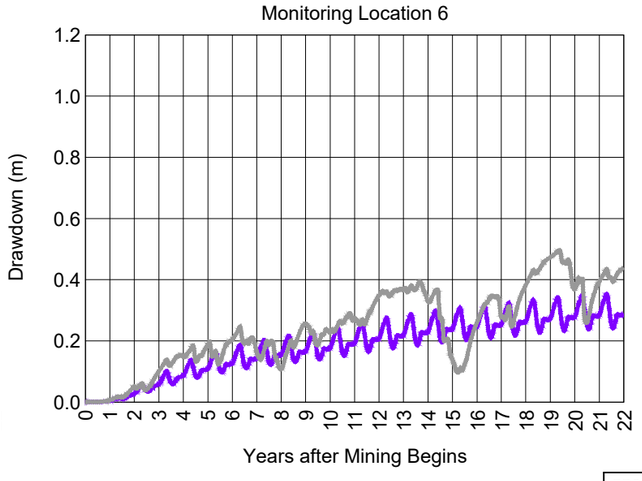




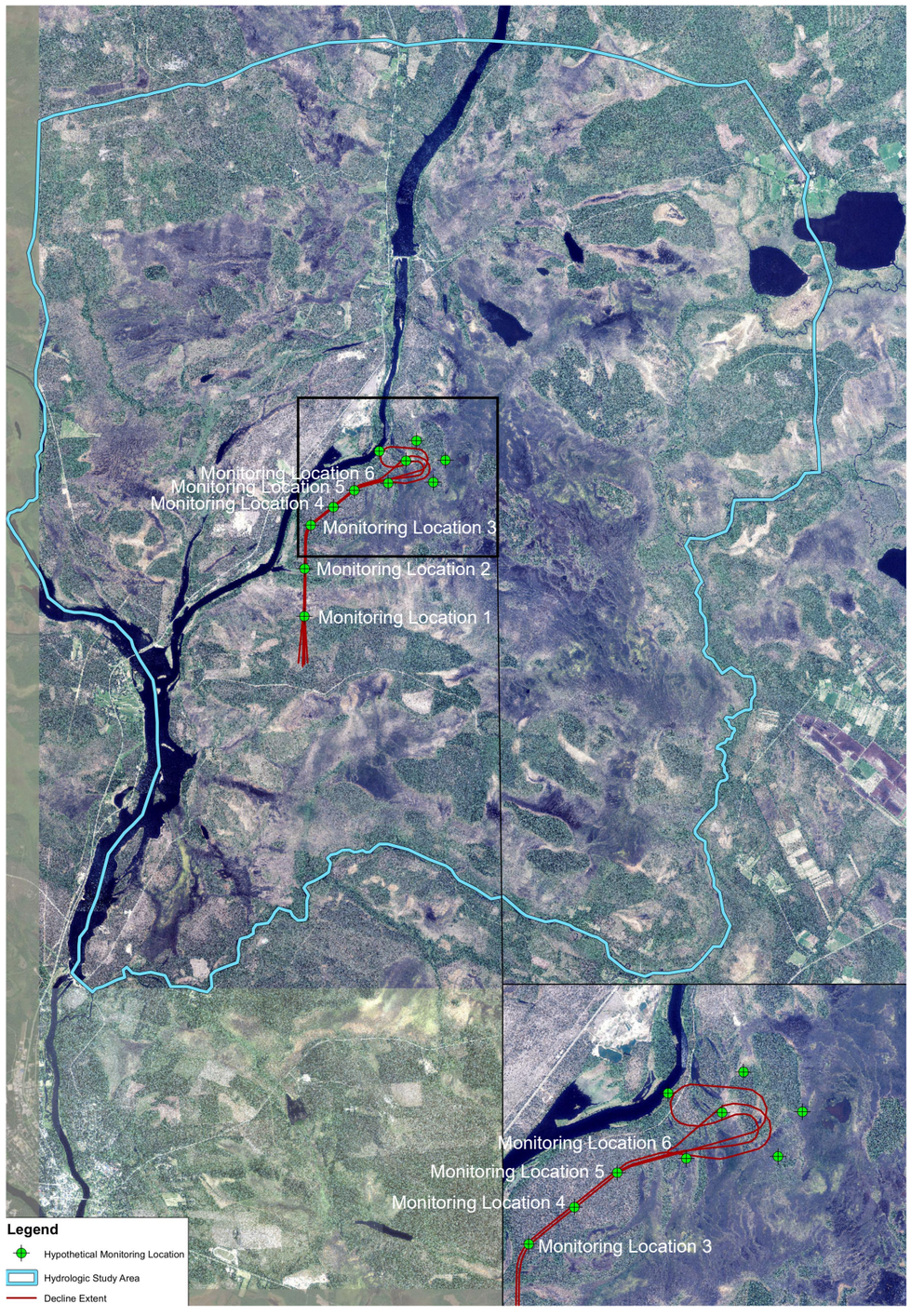








80% Success in Grouting Scenario — 80% Success in Grouting Climate Scenario



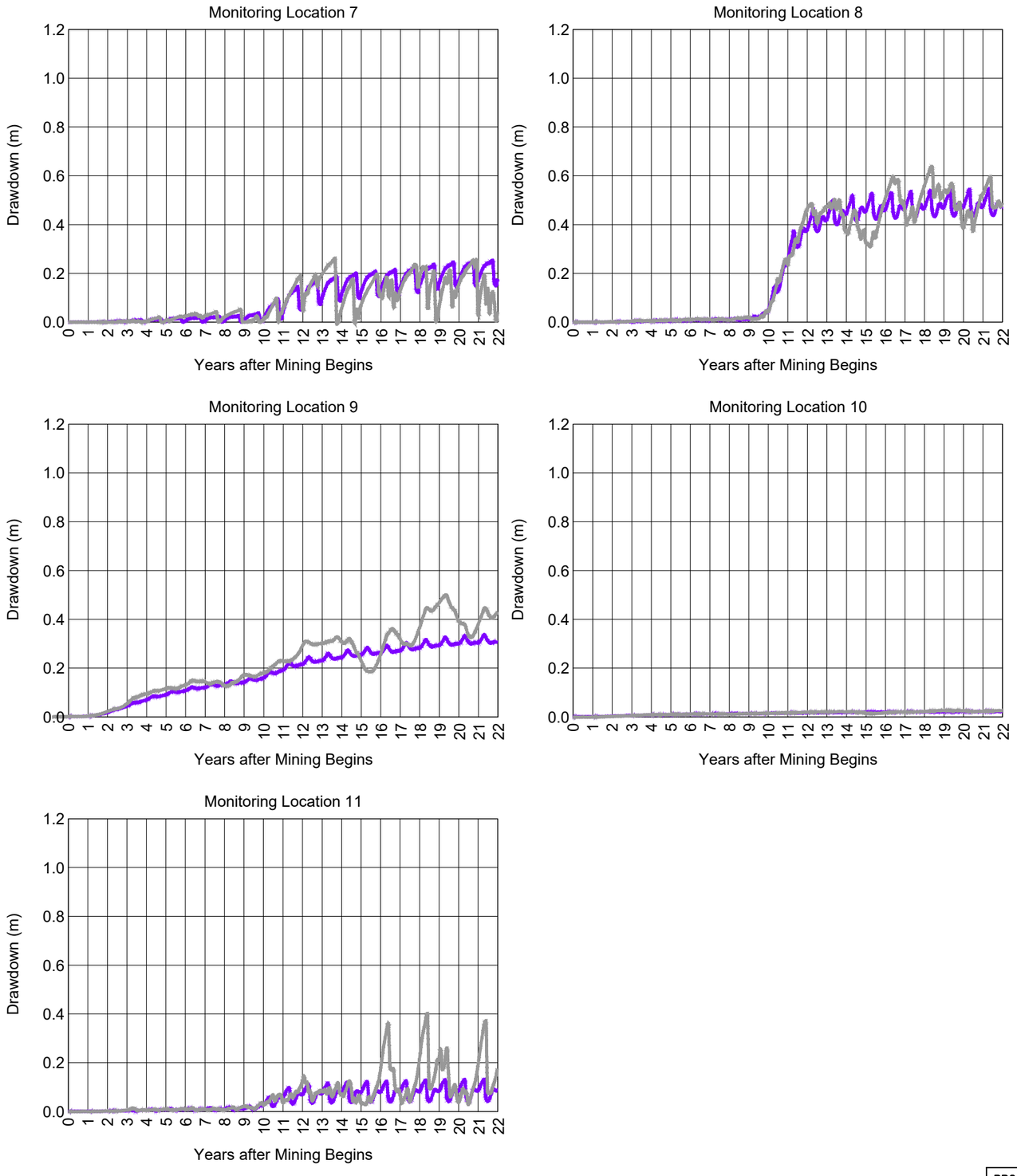
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

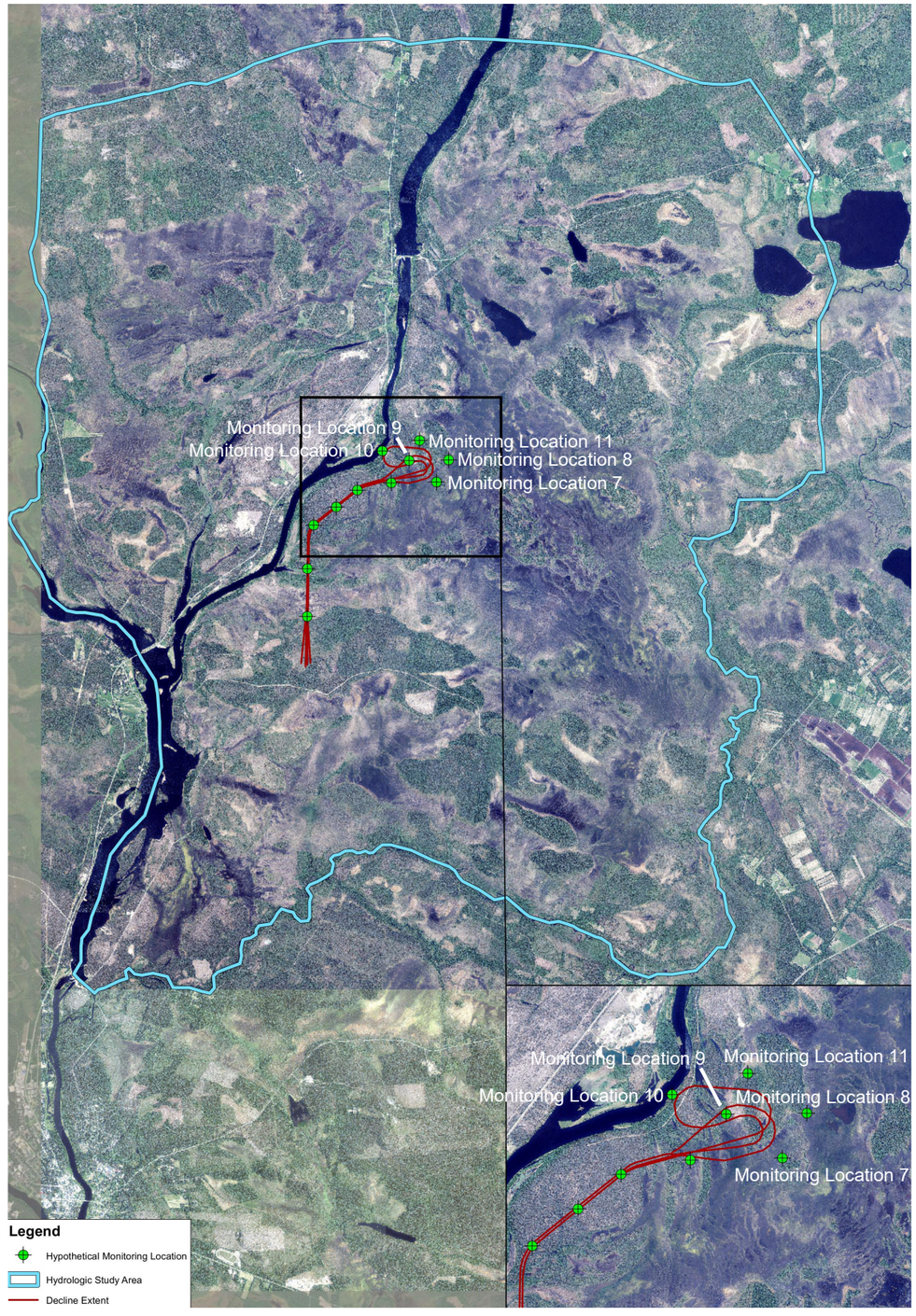
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the 80% Success in Grouting Climate Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-6a





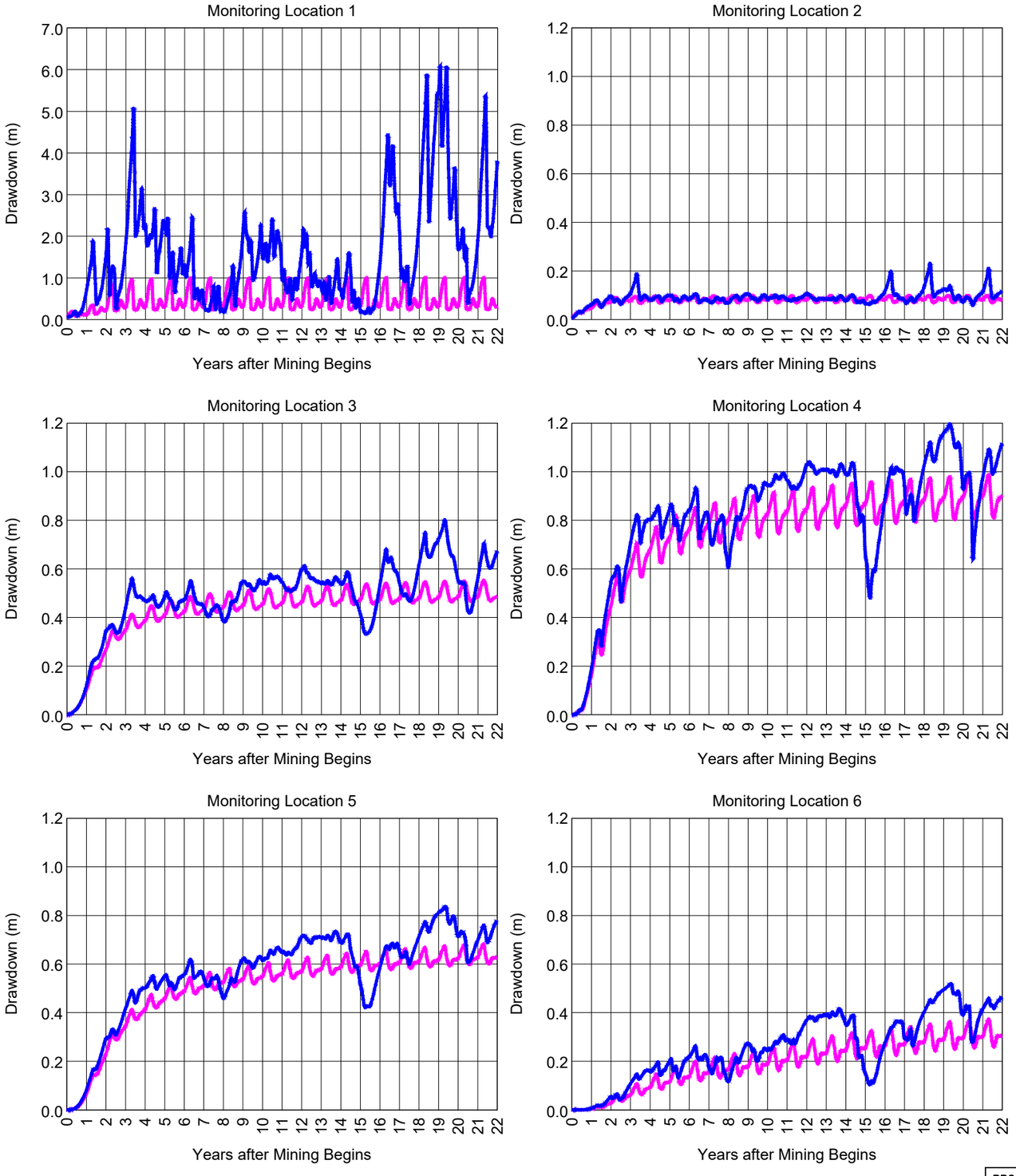
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

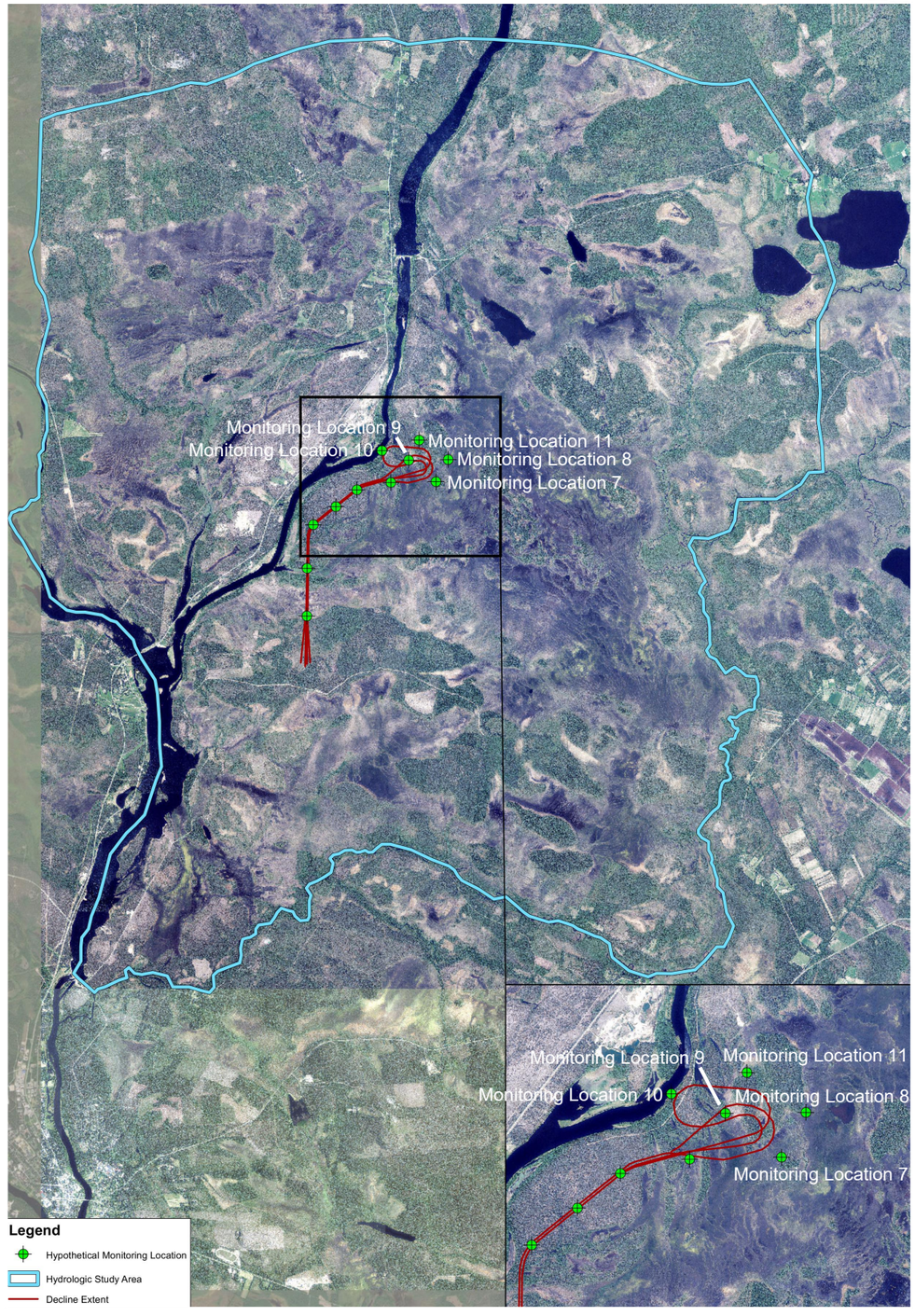
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the 80% Success in Grouting Climate Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-6b





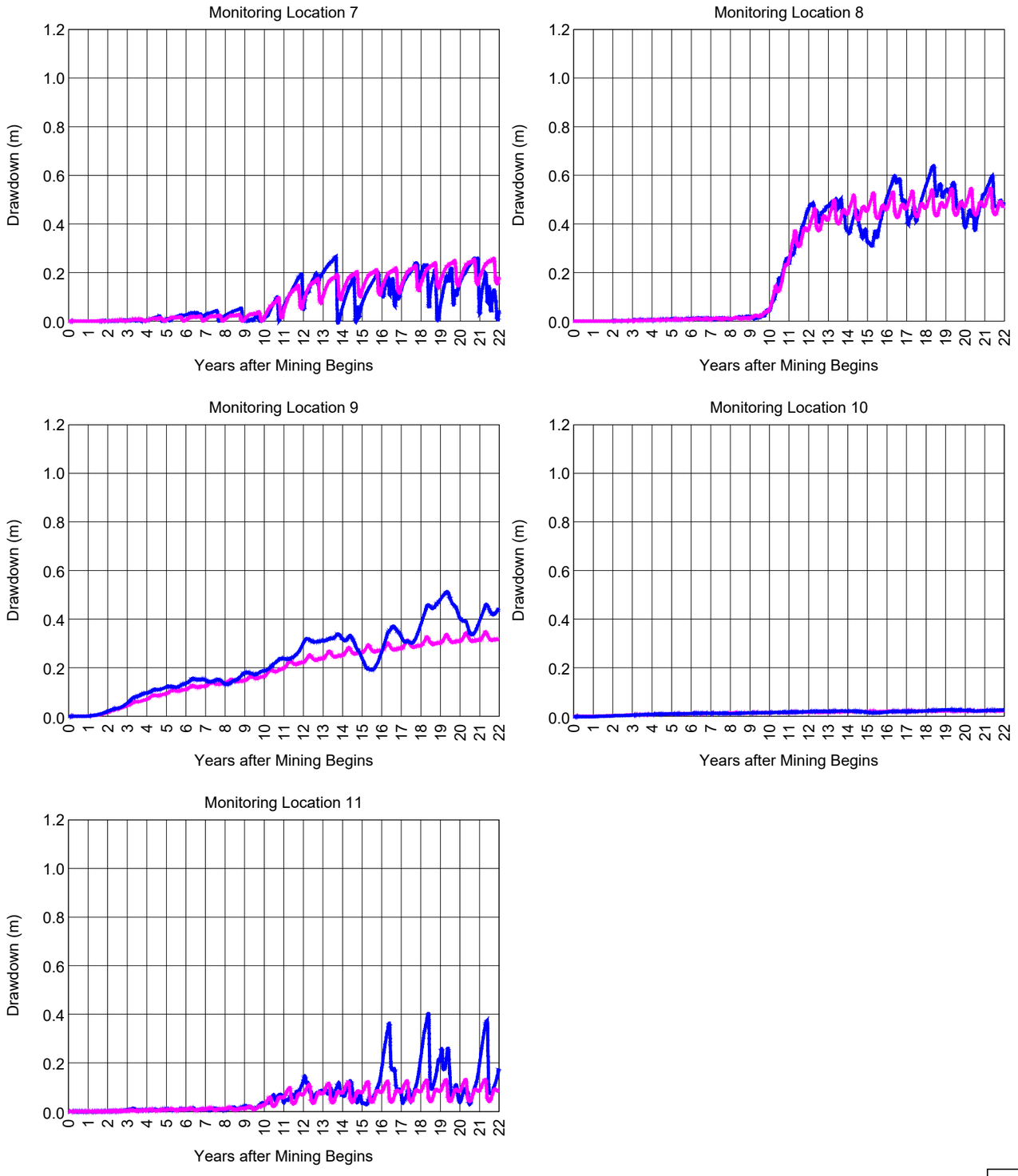
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

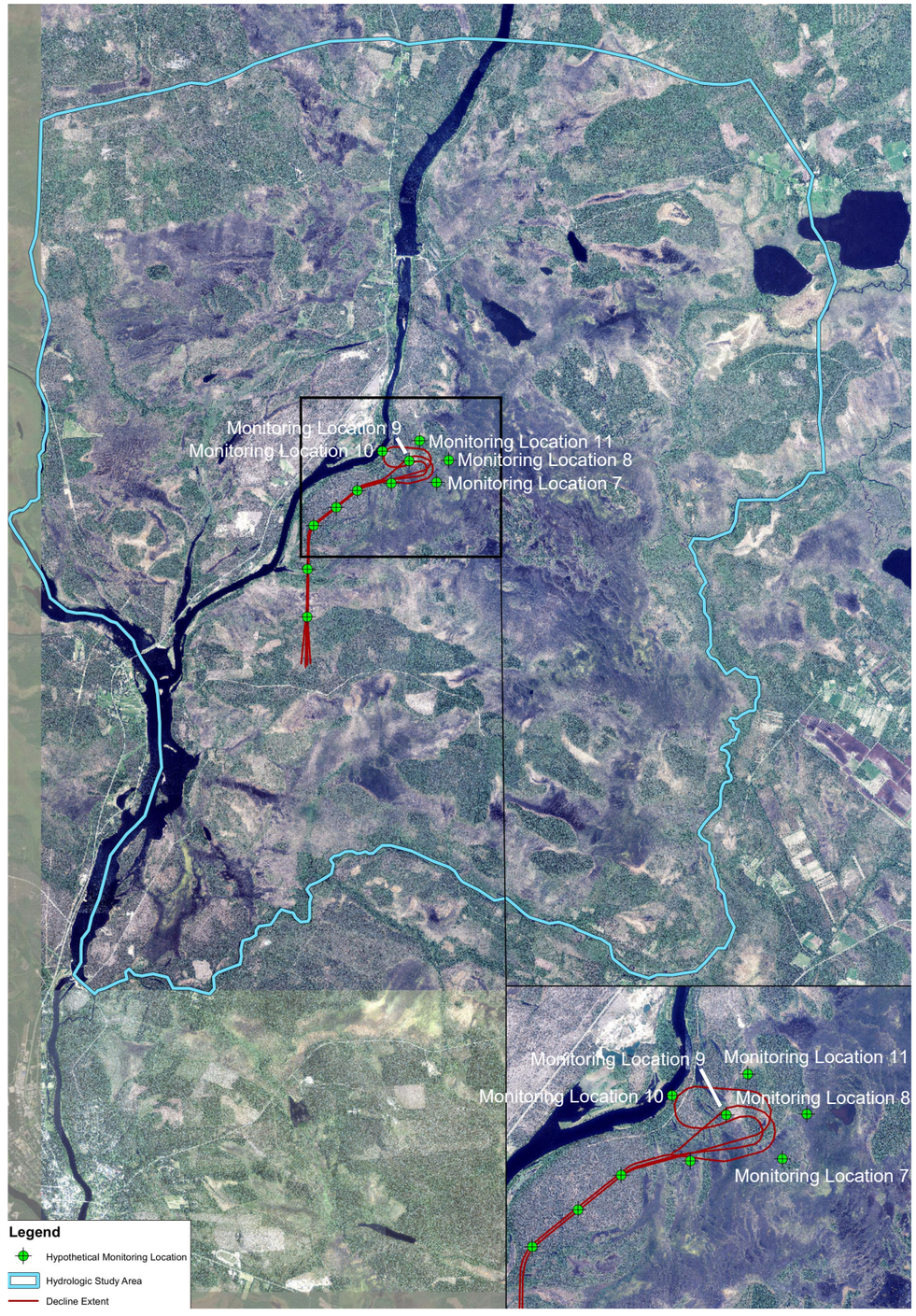
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the 65% Success in Grouting Climate Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-6c





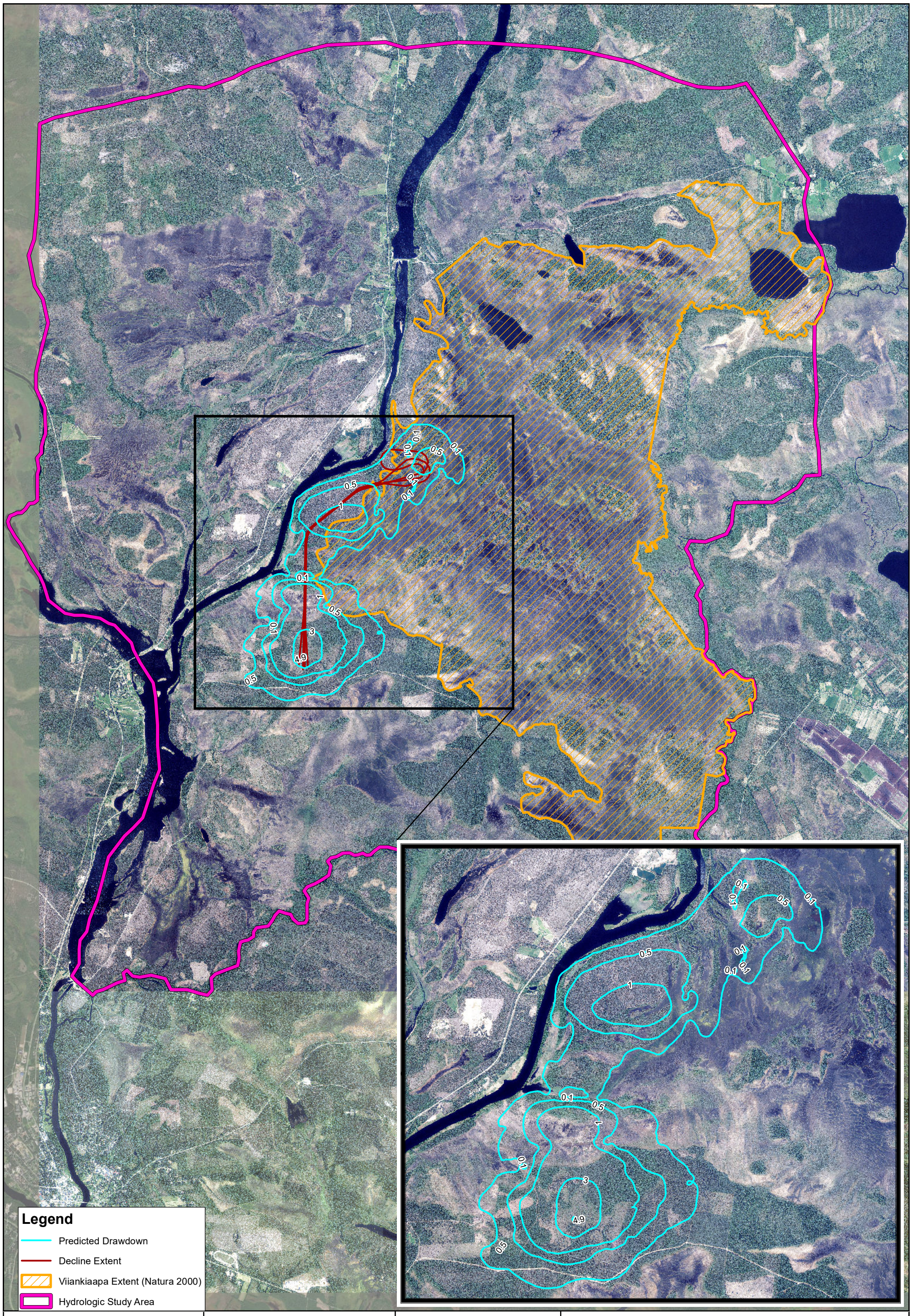
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	KEY
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown over the LOM at Key Locations around the Mine Area for the 65% Success in Grouting Climate Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-6d



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

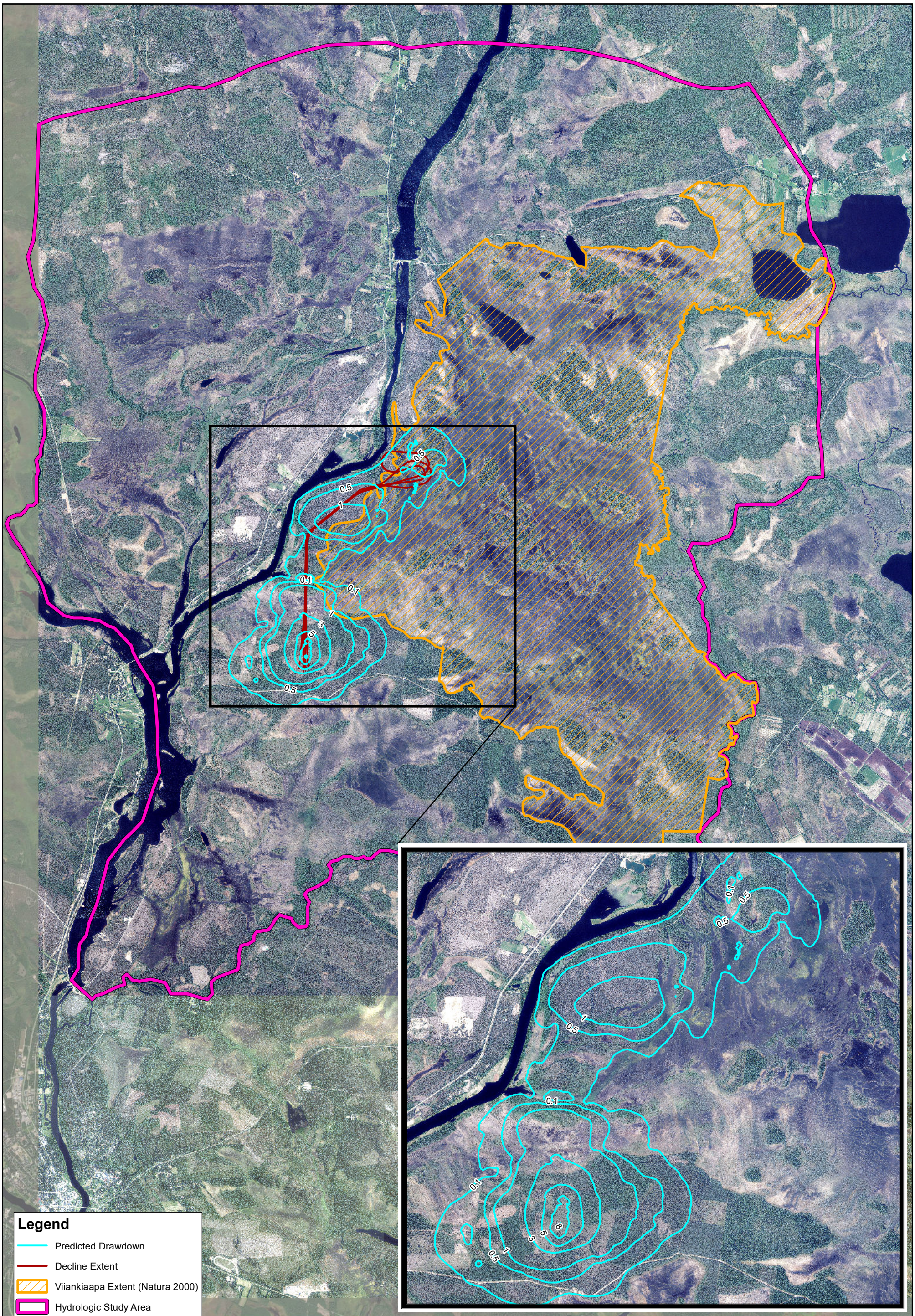
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown at the End of Mining for the 80% Success in Grouting Climate Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-7a

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working_Appendix\Draw_Climate80.mxd



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

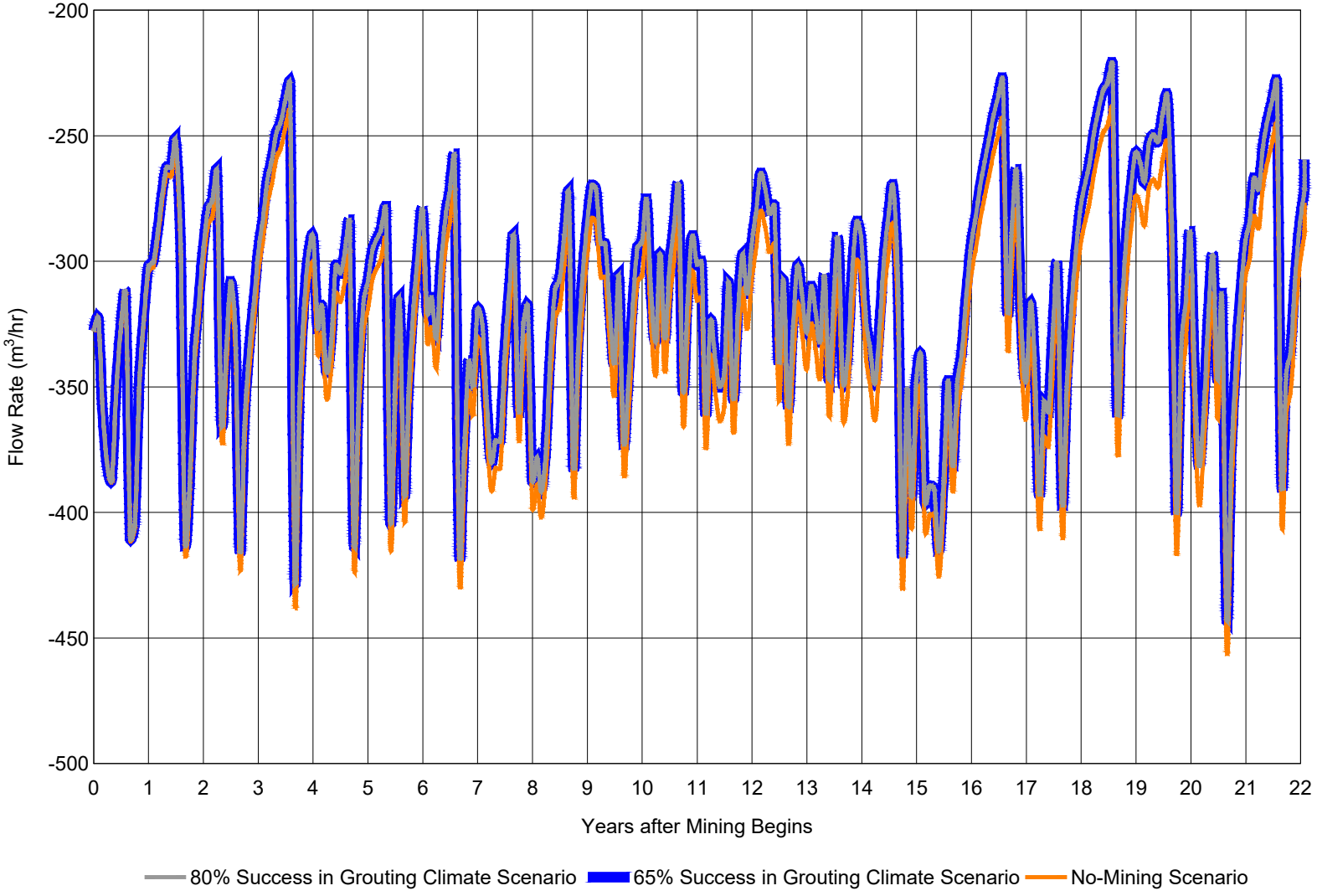
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Drawdown at the End of Mining for the 65% Success in Grouting Climate Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-7b

G:\ARCGIS\4064_Sakatti\MXDs\Working_Appendix\Draw_Climate65.mxd



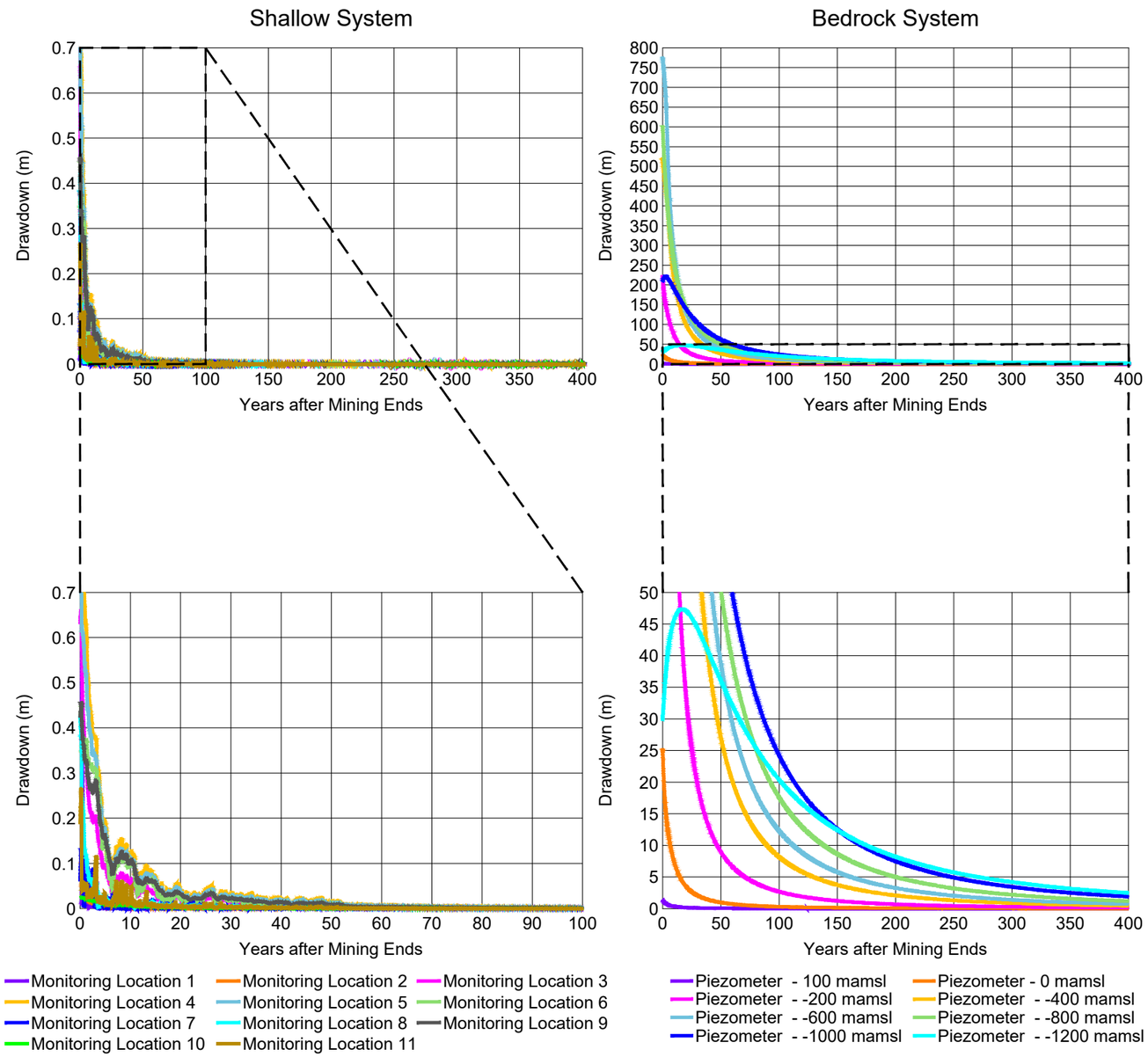
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	CLIMATE
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

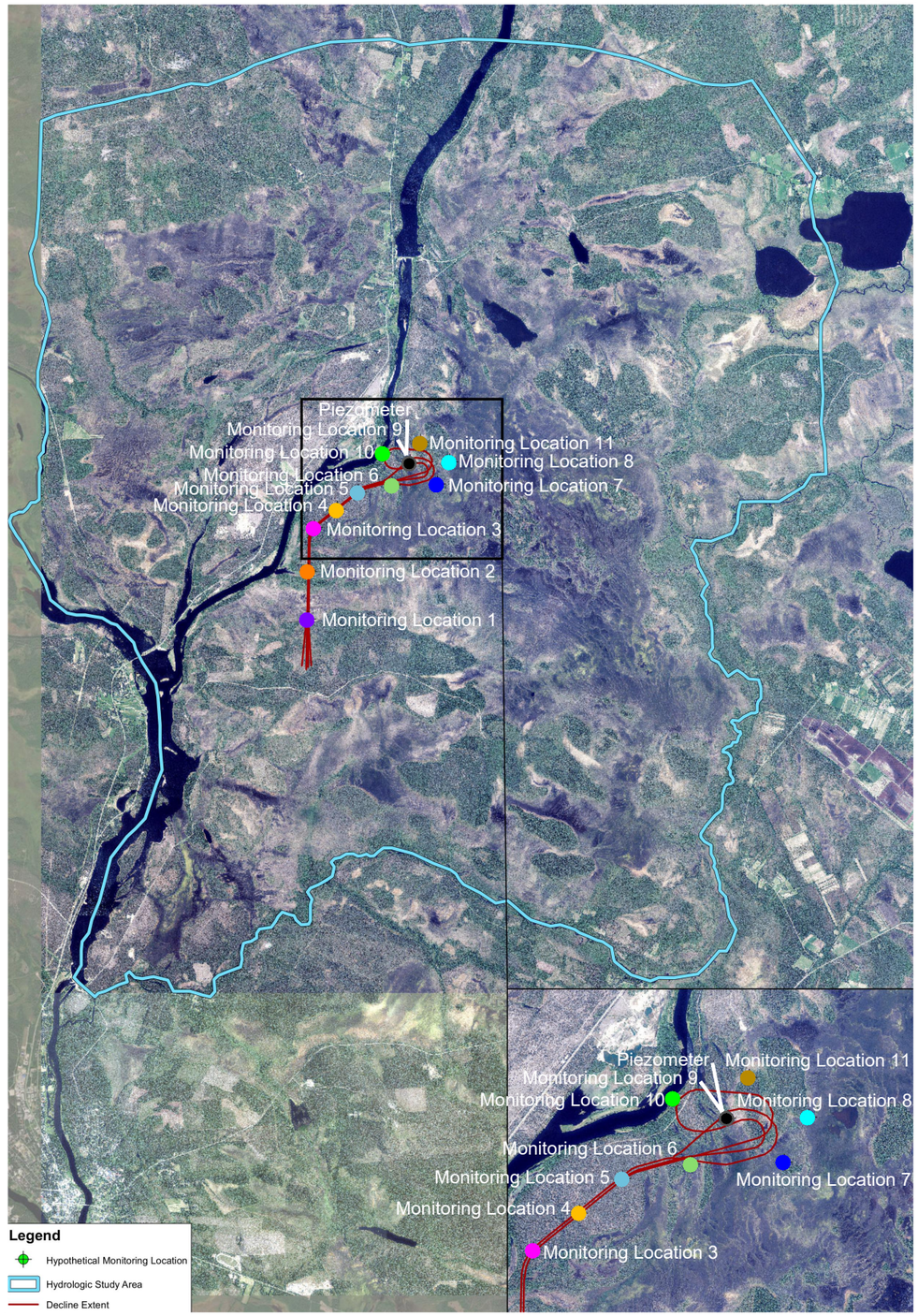
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Baseflow to the Kitinen River for the Climate Scenarios

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-8





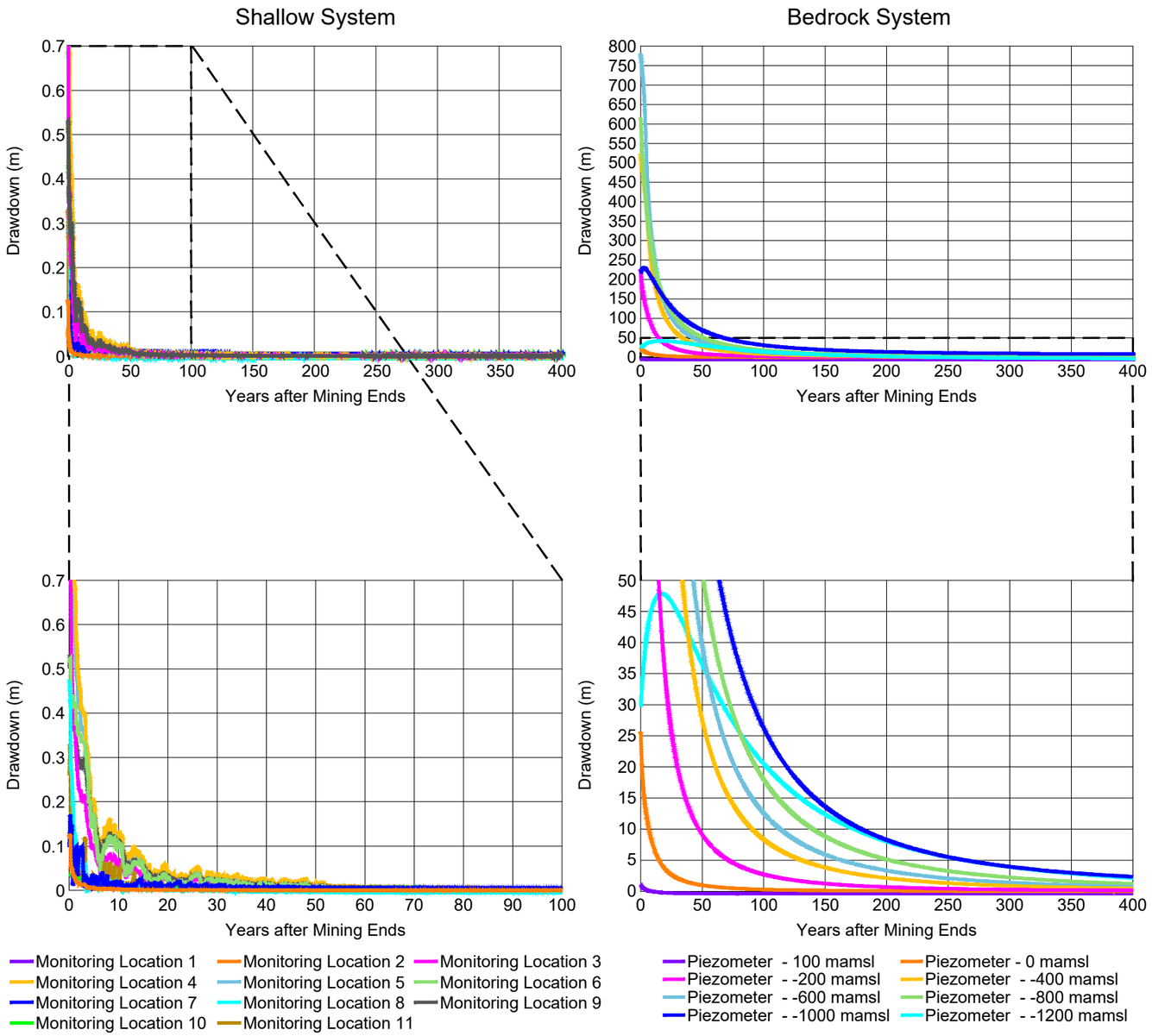
PROJECT NO.	4064
BY	SBM
CHECKED	HL
DRAWN	RJN
DRAWING NAME	RECOVER
DRAWING DATE	16 NOV 2022
REVISION DATE	

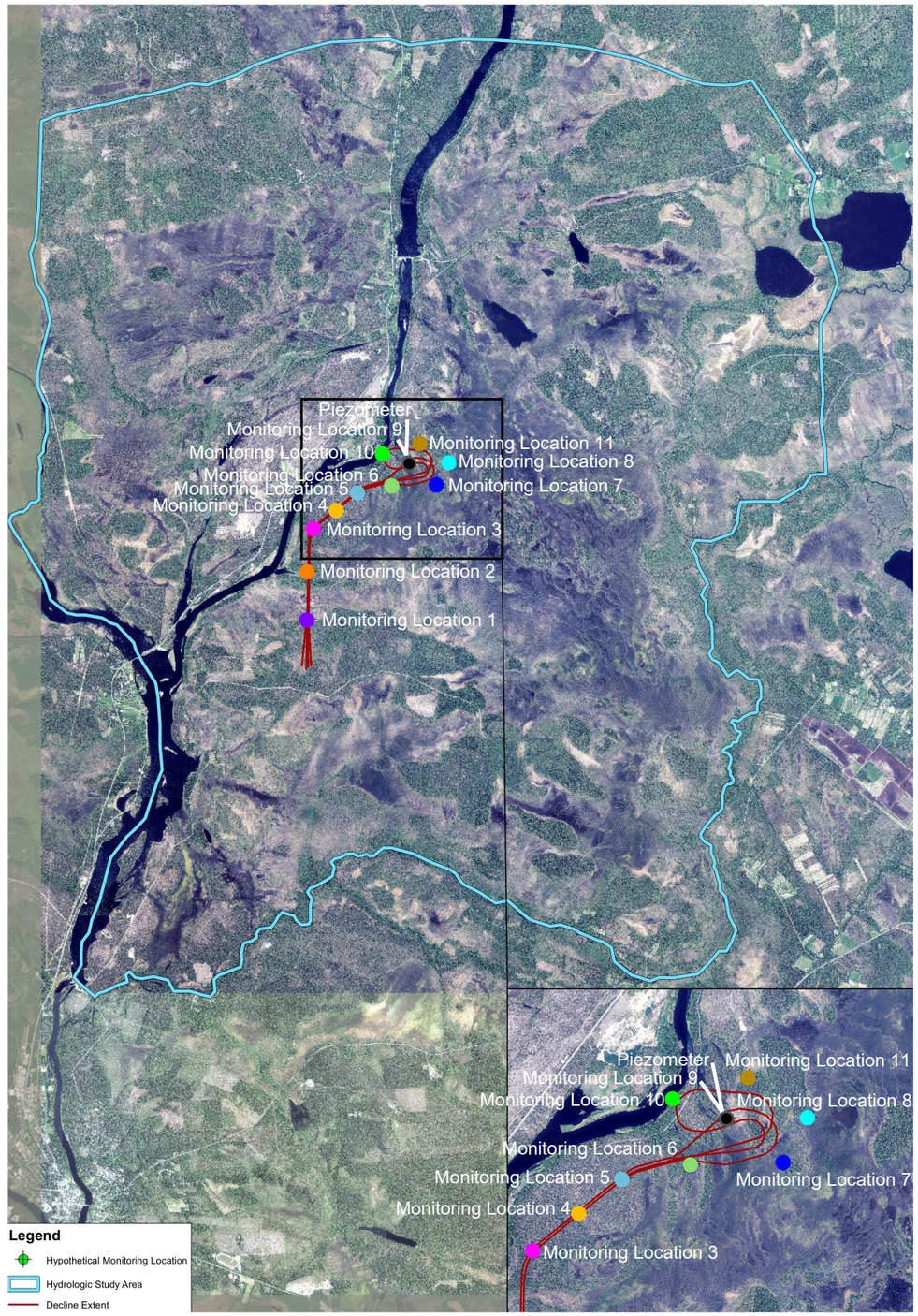
ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Groundwater Recovery After Mining at Key Locations around the Mine Area for the 80% Success in Grouting Climate Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-9a





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

ITASCA™ Denver, Inc.

Predicted Groundwater Recovery After Mining at Key Locations around the Mine Area for the 65% Success in Grouting Climate Scenario

CLIENT: Sakatti Mine

FIGURE NO. B-9b