

Liite 7



Sotkamon hopeakaivoksen numeerinen pohjavesimalli

Asiakas: **Sotkamo Silver Oy**

Projekti: **Pohjavesimallinnus**

Projektinnumero: **101023144-001**

Päiväys

18/03/2024

Projektitunnus

101023144-001

Asiakas

Sotkamo Silver Oy

TIIVISTELMÄ

Sotkamo Silver Oy:n hopeakaivos sijaitsee Sotkamon Tipas-vihreäkivivyöhykkeellä noin 40 km Sotkamon kuntakeskuksesta kaakkoon Pienen Tipasjärven eteläpuolella. Kaivos tuottaa hopean lisäksi myös kultaa, sinkkiä ja lyijyä. Hopeakaivoksen tuotanto on aloitettu maaliskuussa 2019. Avolouhinta on aloitettu malmin pintapuhkeamasta. Maanalainen louhinta ulottuu tällä hetkellä noin 440 metrin syvyyteen ja laajimman suunnitelman mukaisena vuonna 2035 noin 1 km syvyyteen. Louhintamenetelmä on pitkittäinen tai poikittainen avoin pengerialouhinta.

Tässä raportissa esitetään nykyisen avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen (vuosi 2023) sekä tulevien vuosien 2025 ja 2035 kaivosvaiheiden sekä sulkemisen jälkeisen tilanteen numeerinen pohjavesimallinnus. Mallinnuksen tavoitteena on selvittää kaivokseen suotautuvan pohjaveden määrää ja kaivoksen kuivatuspumpppauksen vaikutusta pohjaveden pinnankorkeuteen ja paineeseen ympäröivässä maa- ja kallioperässä sekä simuloida kaivoksen sulkemisen jälkeistä tilannetta.

Hydrogeologista konseptuaalista mallia ja numeerista mallinnusta varten käytiin läpi saatavilla oleva hydrologinen, geologinen, hydrogeologinen, geofysikaalinen ja geometrinen aineisto Sotkamo Silverin kaivoksen alueelta. Aineistoa saatiin Sotkamo Silver Oy:ltä ja ladattiin julkisista tietokannoista: Ilmatieteen laitos, Geologian tutkimuskeskus (GTK), Maanmittauslaitos (MML) ja Suomen ympäristökeskus (SYKE). Lisäksi käytiin läpi aikaisempia raportteja ja tutkimusdataa alueelta sekä tehtiin ehdotus jatkotutkimuksista.

Osassa alueella tehdyistä kairauksissa on kartoitettu geoteknisiä parametreja kuten RQD-luku, joka kuvaa kiven rikkonaisuutta. RQD-aineistoon perustuen tehtiin tilastollinen kallioanalyysi, jolla arvioitiin rakoilun ja vedenjohtavuuden vaihtelua syvyyden suhteen. Kallioanalyysin perusteella kallion rikkonaisuus vähenee asteittain syvyyden kasvaessa. Rikkonaisuus on voimakkainta ensimmäisen 50 metrin syvyydellä ja vähenee asteittain niin, että 400 metrin syvyyden alapuolella rikkonaisuus on vähäistä. Rikkonaisuutta esiintyy kuitenkin myös syvemmällä kalliossa, mikä voi muodostaa virtausyhteyksiä louhittavien tilojen ja kallion pintaosien välille.

Tulosten perusteella Sotkamo Silverin kaivoksen alueesta laadittiin hydrogeologinen konseptuaalinen malli. Konseptuaalinen malli esittää ne rakenteet ja prosessit, jotka huomioidaan numeerisessa mallinnuksessa. Numeerinen pohjavesimallinnus tehtiin FEFLOW-ohjelmalla tasapainotilalle. Nykytilaa kuvaava numeerinen pohjavesimalli kalibroitiin mitattujen pohjavesipintojen ja kaivoksen kuivanapitovesimäärien perusteella. Kalibroidulla mallilla tehtiin ennustesimuloinnit vuosille 2025 ja 2035. Lisäksi simuloitiin sulkemisen jälkeistä tilannetta sekä ajansuhteen muuttuvalla mallilla (transientti)

että tasapainotilan mallina. Maanalainen kaivos käsitellään mallissa yksinkertaistettuna. Avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen lisäksi malli sisältää vesivarastoaltaat ja sivukivialueet.

Numeerisen mallinnuksen tulosten perusteella suotovesimäärä on nykytilassa (2023) 1295 m³/vrk (vaihe 1), mikä on yhtenevä mittauksiin perustuvan suotovesimäärän kanssa. Vuoden 2025 mallissa (vaihe 2) suotovesimäärä on 1320 m³/vrk ja vuoden 2035 mallissa (vaihe 3) 1470 m³/vrk. Kuivatuspumppauksen lopettamisen jälkeen avolouhoksen vedellä täyttymiseen menee laskennan mukaan noin 25–30 vuotta, mutta tulokseen vaikuttaa paljon avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen välisen yhteyden tiiveys, sekä avolouhokseen muualta johdettavat ja pintavaluntana tulevat vedet, joita pohjavesimallin laskenta ei ota huomioon. Avolouhoksen täyttymisnopeutta on arvioitu myös louhosjärvimallilla (AFRY Finland Oy 2024). Louhosjärvimallin mukainen arvio louhoksen täyttymisajasta on 7 vuotta, eli lyhyempi kuin pohjavesimallin mukainen täyttymisaika. Louhosjärvimallissa louhokseen tulevissa vesimäärissä on huomioitu pintavedet, jotka johdetaan avolouhokseen. Louhosjärvimallissa ei kuitenkaan ole mukana maanalaista louhosta, jonka täytyminen kestää pitkään ja hidastaa avolouhoksen täyttymistä.

Simuloinneissa kaivoksen aiheuttama pohjavedenpinnan alenemakartio ulottuu maaperässä ja kallion pintaosissa vain muutamien satojen metrien päähän kaivoksen reunasta, mutta vaikutukset syvemmällä kallioperässä ovat selvästi laajemmat. Alueella on maaperän osalta jo varsin kattava pohjaveden pinnankorkeuden havaintoverkosto, jolla pystytään seuraamaan maapohjaveden tilannetta kaivoksen toiminnan aikana.

Numeeriseen malliin liittyviä epävarmuuksia tarkasteltiin tekemällä herkkyystarkastelua kallion ja maaperän hydraulisen johtavuuden, avolouhoksesta maanalaiseen kallioon kulkeutuvan vesimäärän sekä pohjaveden muodostumisen suhteen. Yleensä pohjavesimallinnuksessa suurimmat epävarmuudet laskennassa liittyvät kallion hydrauliseen johtavuuteen, koska se on vaikea määritellä tarkasti ja kattavasti koko mallinnettavalle kalliotilavuudelle. Sotkamo Silverin pohjavesimallissa käytetyt kallioperän vedenjohtavuuden arvot perustuvat olemassa olevan kaivoksen mitattujen suotovesimäärien ja pohjavesipintojen perusteella tehtyyn kalibrointiin. Arvojen määrittelyssä on käytetty hyväksi kairaustietoihin perustuvaa kallioanalyysiä. Kallioanalyysin perusteella on muodostettu käsitys kallion rakoilun esiintymisestä syvyyden suhteen RQD-aineiston pohjalta. Herkkyystarkastelujen perusteella mallin tuloksena saatavaan suotovesimäärään vaikuttaa eniten kallion hydraulisen johtavuuden arvot. Kalibroinnissa saatu mallin tulosten hyvä vastaavuus kuivatuspumppausten mittauksiin perustuvan laskennallisen suotovesimäärän kanssa lisää mallin luotettavuutta.

Sisälllys

Tiivistelmä

1	Johdanto	5
1.1	Tausta	5
1.2	Työn tavoite	6
1.3	Tämä raportti	7
2	Lähtöaineistot ja puuteanalyysi	8
3	Tutkimussuunnitelma	10
4	Mallinnettava alue.....	11
4.1	Kaivosalue	11
4.2	Topografia.....	14
4.3	Pienvaluma-alueanalyysi.....	14
4.4	Mallinnusalueen raja.....	16
4.1	Sadanta	18
4.2	Maa- ja kallioperä.....	18
4.3	Pohjavesi	22
4.4	Maaperän syvyysmalli	25
4.5	Kallioanalyysi.....	30
4.6	Louhinta	34
4.7	Suotovesianalyysi.....	41
4.8	Hydrogeologiset mittaukset.....	44
4.9	Hydrogeologinen konseptualisointi	45
5	Numeerisen 3D-pohjavesimallin muodostaminen	47
5.1	2D verkko	47
5.2	Kerrosmalli.....	49
5.3	Reunaehdot.....	53
5.4	Materiaalien ominaisuudet	55
5.5	Kalibrointi	57
5.6	Mallinnuksen tulokset.....	59
5.6.1	Vaihe 1, vuosi 2023.....	62
5.6.2	Vaihe 2, vuosi 2025.....	67
5.6.3	Vaihe 3, vuosi 2035.....	71
5.6.4	Sulkemisen jälkeinen tilanne.....	77

5.7	Herkkyystarkastelut.....	79
6	Johtopäätökset ja epävarmuudet.....	82
7	Yhteenveto	85
8	Lähteet	88

1 Johdanto

1.1 Tausta

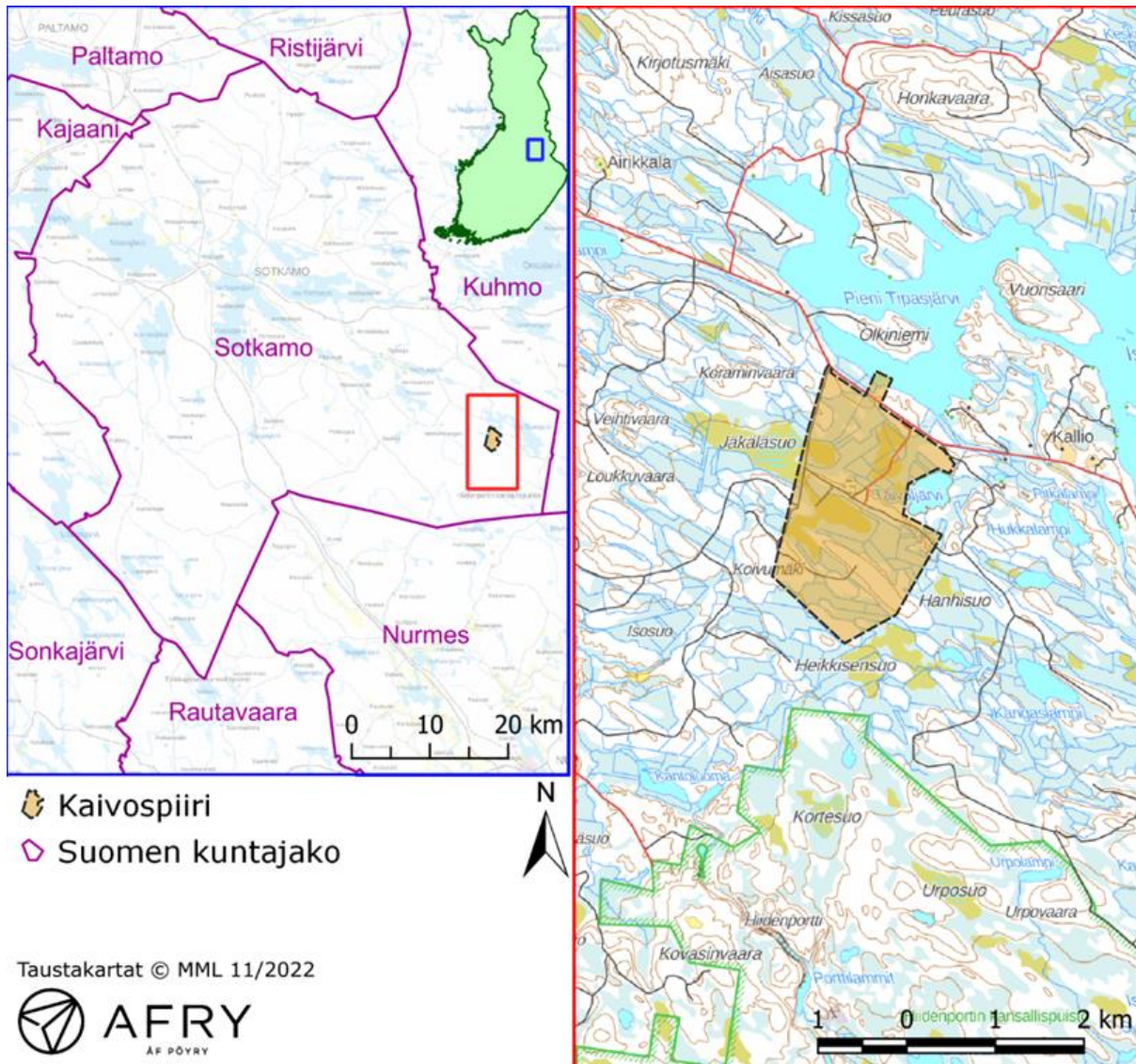
Sotkamo Silver Oy:n hopeakaivos sijaitsee Kainuun Sotkamossa noin 40 km Sotkamon kuntakeskuksesta kaakkoon Pienen Tipasjärven eteläpuolella (Kuva 1-1). Kaivos tuottaa hopean lisäksi myös kultaa, sinkkiä ja lyijyä. Hopeakaivoksen tuotanto on aloitettu maaliskuussa 2019. Kaivoksen on arvioitu toimivan vuoteen 2035 asti.

Avolouhinta on aloitettu malmin pintapuhkeamasta. Avolouhos on nykytilassa kooltaan noin 400 × 150 metriä ja syvyydeltään noin 30 metriä. Louhintaa tullaan jatkamaan mahdollisesti myöhemmin uudelleen, jolloin avolouhosta laajennetaan itään päin niin, että louhoksen koko olisi noin 350 × 400 metriä ja syvyys noin 30 metriä. Vastaavasti avolouhoksen pinta-ala olisi laajimmillaan noin 10,9 hehtaaria.

Malminlouhinta painottuu maanalaiseen kaivokseen. Maanalainen louhinta ulottuu tällä hetkellä noin 440 metrin syvyyteen tasolle -240 m mpy ja laajimman suunnitelman mukaisena noin 1 km syvyyteen. Louhintamenetelmä on pitkittäinen tai poikittainen avoin pengerialouhinta. Louhosten stabiliteetin turvaamiseksi maanalaisen kaivoksen louhokset ja tarvittaessa louhosperät perät täytetään joko louheella ja rikastushiekalla tai louheella ja avolouhoksesta louhittavalla täyttökivellä.

Maanalainen kaivos koostuu kooltaan noin 5 x 5 metriä suuruisesta vinotunnelista, yhdysperistä ja louhoksista. Vinotunneli tulee ulottumaan nykysuunnitelmien mukaisessa syvimessä vaiheessa noin 1 kilometrin syvyyteen. Maanalaisen kaivoksen tuuletusnousu on halkaisijaltaan noin 2,2 metriä ja ulottuu tällä hetkellä maanpinnalta noin 340 metrin syvyyteen. Toiminnan lopussa tuuletusnousu ulottuu kaivoksen pohjalle. Tuotantolouhinnan lisäksi maan alla louhitaan tuotanto-, yhdys- ja tuuletusperiä sekä vinotunnelia kaivoksen syventämisvaiheessa.

Sotkamo Silver Oy on tilannut AFRY Finland Oy:ltä hopeakaivoksen numeerisen pohjavesimallinnuksen, jossa mallinnetaan nykytilanne ja simuloidaan vuoden 2025 ja vuoden 2035 (louhoksen laajin vaihe) pohjavesiolosuhteita sekä sulkemisen jälkeistä tilannetta.

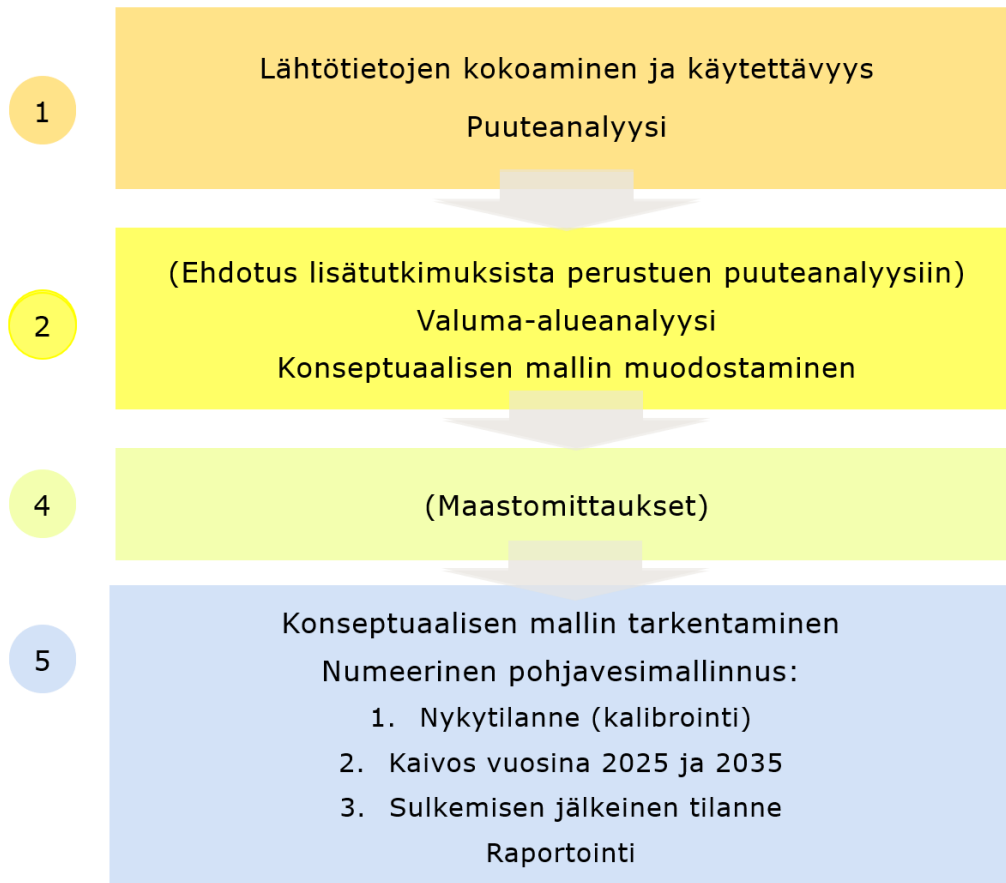


Kuva 1-1. Sotkamon hopeakaivoksen sijainti.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on syventää ymmärrystä Sotkamo Silverin hopeakaivoksen alueen hydrogeologiasta ja laatia alueesta nykytilaa kuvaava 3D-pohjavesimalli sekä simuloida louhoksen vuosien 2025 ja 2035 sekä sulkemisen jälkeistä tilannetta. Pohjavesimallinnuksen työ voidaan yleisesti jakaa 4 vaiheeseen (Kuva 1-2). Vaihe 1 sisältää lähtötietojen kokoamisen, niiden käytettävyyden arvioinnin ja puuteanalyysin. Vaihe 2 sisältää ehdotuksen lisätutkimuksista, valuma-alueanalyysin ja konseptuaalisen mallin kokoamisen. Vaiheessa kolme tehdään mahdolliset maastomittaukset ja vaiheessa 4 tarkennetaan maastomittausten perusteella konseptuaalista mallia ja koostetaan sen perusteella numeerinen 3D pohjavesimalli alueesta. Pohjavesimalli kalibroidaan nykytilanteeseen, jonka

jälkeen sillä simuloidaan kaivoksen vuosien 2025 ja 2035 louhintojen vaikutuksia ympäristöön, vuotovesimääriä ja alenemakartion laajuutta. Myös sulkemisen jälkeinen vaihe mallinnetaan.



Kuva 1-2. Sotkamo Silverin pohjavesiselvityksen työvaiheet.

1.3 Raportin sisältö

Työn tausta, tarkoitus ja sisältö esitellään luvussa 0. Luvussa 2 käydään läpi lähtöaineisto ja tehdään puuteanalyysi. Luvussa 3 esitetään ehdotukset lisätutkimuksista. Luvussa 4 kuvataan saatavilla olevat tiedot, määritetään pienvaluma-alueet, mallinnetaan maaperän syvyys eli kallion topografia ja tehdään hydrogeologinen konseptuaalinen malli Sotkamo Silverin kaivoksen alueesta. Numeerisen mallin muodostaminen, mallin kalibrointi nykytilaan, vuosien 2025 ja 2035 sekä sulkemisen jälkeisen tilanteen pohjavesiolosuhteiden simulointi ja mallin herkkyytarkastelut on kuvattu luvussa 5. Johtopäätökset ja mallin tuloksiin liittyvät epävarmuudet esitetään luvussa 6. Yhteenveto on luvussa 7. Lopuksi luvussa 8 on esitetty lähdeluettelo.

Tässä raportissa esitetyt syvyysslukemat on esitetty yksikössä metriä merenpinnan yläpuolella (+m mpy, N2000). Koordinaatistona on käytetty ETRS-TM35FIN.

2 Lähtöaineistot ja puuteanalyysi

Konseptuaalista ja numeerista mallinnusta varten käytiin läpi kaikki saatavilla oleva hydrologinen, geologinen, hydrogeologinen, geofysikaalinen ja geometrinen aineisto mallinnettavasta alueesta. Sotkamon kaivosalueelta on saatavilla tutkimuksia ja mittauksia, joiden käytettävyyttä arvioitiin pohjaveden numeerista mallinnusta ajatellen. Aineistoja saatiin AFRY Finland Oy:n aikaisemmista Sotkamo Silverin kaivoksen alueen projekteista, Sotkamo Silver Oy:ltä ja ladattiin julkisista tietokannoista: Ilmatieteen laitos, Geologian tutkimuskeskus (GTK), Maanmittauslaitos (MML), Suomen ympäristökeskus (SYKE) sekä Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY).

Taulukossa Taulukko 2-1 esitetään saatavilla oleva aineisto, jota voidaan hyödyntää konseptuaalisessa ja numeerisessa pohjavesimallissa sekä esitetään pohjavesimallin kannalta oleelliset, mutta puuttuvat aineistot.

Taulukko 2-1. Konseptuaalisessa ja numeerisessa pohjavesimallissa käytettävä saatavilla oleva ja puuttuva lähtöaineisto.

Aineisto	Kuvaus	Käyttö Lähde	Parametri malliin	Saatavuus	Puute	Suunnitelma
Hydrologia						
Ilmasto	Paikallinen säähavainto-aineisto: sadanta	Sääasema (Ilmatieteen laitos, Kuolaniemi)	Pohjaveden muodostuminen / veden imeytyminen maanpinnalta	Aineisto ladattu Ilmatieteenlaitoksen avoimesta datapalvelusta (Kuolaniemi)		
Pintavedet	Järvet, joet, purot, uomat, lammot	Maanmittaus-laitos (MML), SYKE	Pienvaluma-alueanalyysi, pohjavesimallin rajaaminen, mallin geometria, reunaehdot ja pohjaveden muodostuminen	Aineisto ladattu MML:n palvelusta, pienvaluma-alueet määritetty (AFRY)		
Geometrit						
Topografia	Maanpinnan topografia	Maanmittaus-laitos (MML)	Pienvaluma-alueanalyysi, mallin raja, malligeometria	Aineisto ladattu MML:n avoimen datan palvelusta		
	Kalliopinnan topografia	AFRY	Malligeometria	Kairareitit, maatulka-mittaukset, GTK:n geofysiikan aineistoja ja kartta-aineistoa (GTK)		
Kaivos-geometrit	Nykytila 2023, suunniteltu 2025 ja 2035, sulkemisen jälkeinen tilanne, avo- ja maanalaiset louhokset, altaat, kasat	Sotkamo Silver Oy / AFRY	Pienvaluma-alueanalyysi, malligeometria	2023, 2025 ja 2035 aineisto saatu Sotkamo Silver Oy:ltä, sulkemisen jälkeinen tilanne AFRY		

Aineisto	Kuvaus	Käyttö Lähde	Parametri malliin	Saatavuus	Puute	Suunnitelma
Geologia						
Maaperä	Maalajit, kerros-paksuudet	Pohjatutkimukset, GTK maaperäkartta	Malligeometria, maaperän vedenjohtavuus		Turvealueilta puuttuu maatuneisuus-aste	Turpeen vedenjohtavuus perustuu turvetyyppiin ja kirjallisuusarvoon
Kallioperä	Kivilajit RQD, rakotiheys	Reikätielokanta (Sotkamo Silver), GTK kivilajikartta	RQD/rakotiheys -analyysi syvyyden mukaan, malligeometria, kallioperän vedenjohtavuus	Kairatielokanta saatavilla, geotekniset parametrit kartoitettu uudemmissa kairareijistä		
	Ruhje- vyöhykkeet	Ruhjetulkinnat (GTK)	Malligeometria, kallioperän vedenjohtavuus	GTK määritellyt ruhjevyöhykkeet	Kaivosalueelta ei saatavilla 3D-kivilaji- ja ruhjemallia	Käytetään GTK:n määrittelemiä ruhjeita
Hydrogeologia						
Pohjavesi	Maaperän pohjavesi	Pohjavesi-putkista tehty pohjaveden pinnan korkeuden mittaukset ja vedenjohtavuuden mittaukset	Pohjaveden pinta maaperässä, maaperän vedenjohtavuus	Pohjavesi-putkista tehty pohjaveden pinnan seuranta 2018–2023, maaperän vedenjohtavuus mittauksia tehty 7 pisteessä (AFRY 2014)	Turvealueilla ei ole tehty vedenjohtavuus mittauksia	Turpeen vedenjohtavuus perustuu turvetyyppiin ja kirjallisuusarvoon
	Kallioperän pohjavesi	Kairareijissä tehty vedenjohtavuuden mittaukset	Kallioperän ja ruhjeiden vedenjohtavuus		Kallioperän ja ruhjeiden vedenjohtavuutta ei ole mitattu	Ehdotus vedenjohtavuusmittauksista olemassa olevissa kairareijissä, käytetään olemassa olevan louhoksen vuotovesimäärää, kalibroidaan malli ja kallioperän vedenjohtavuus olemassa olevan louhoksen vuotovesimäärien perusteella.
	Louhoksen kuivanapitoven määrät	Sotkamo Silver Oy	Kallioperän ja maaperän vedenjohtavuus	Saatu Sotkamo Silver Oy:ltä		

3 Tutkimussuunnitelma

Puuteanalyysin (Luku 2) perusteella suositellaan hydrogeologisia maastomittauksia kallioperän vedenjohtavuuden selvittämiseksi ja varmistamiseksi. Mittauksia suositellaan tehtäväksi ainakin nykyisen louhoksen ja Tipasjärven välisellä alueella kallion pintaosassa sekä mahdollisesti nykyisen louhoksen alapuolella. Jos on mahdollista, mittauksia voidaan tehdä myös muualla alueella nykyisen louhoksen maksimisyvyyden yläpuolisessa kallio-osuudessa louhoksen vuotovesimäärän avulla asetettujen vedenjohtavuuden arvojen varmistamiseksi.

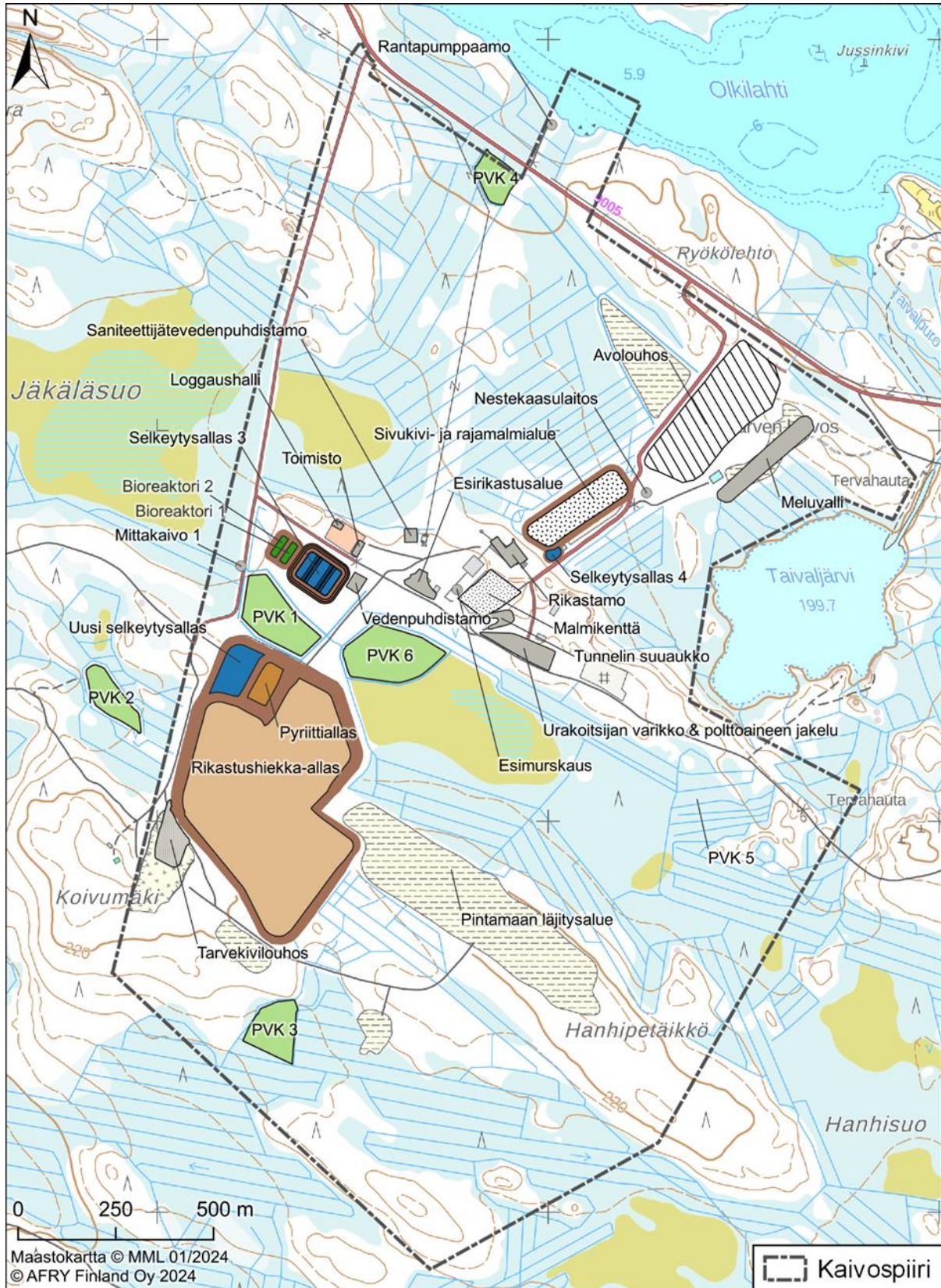
4 Mallinnettava alue

4.1 Kaivosalue

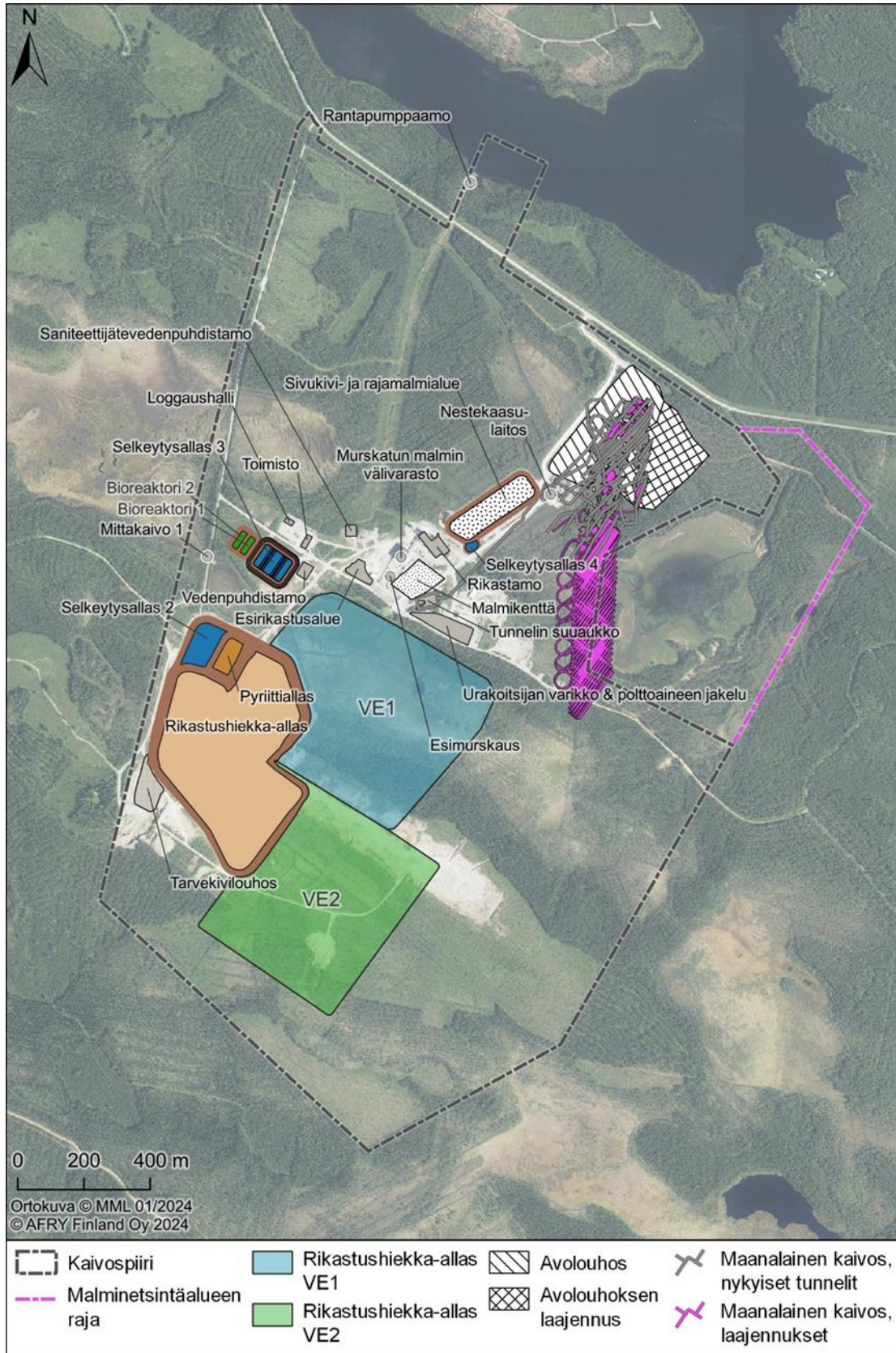
Kaivosalueen eri toimintojen nykytilan (kaivostoiminta vuoteen 2025 asti) ja suunnitelman mukaiset (kaivostoiminta vuoteen 2035 asti) sijainnit on esitetty kuvissa 4-1 ja 4-2.

Avolouhos on nykytilassa kooltaan noin 400×150 metriä ja syvyydeltään noin 30 metriä. Maanalainen kaivos ulottuu tällä hetkellä (syksy 2023) noin 440 metrin syvyyteen tasolle -240 m mpy ja nykytilan mukaisen toiminnan aikana (vuosi 2025) noin 500 metrin syvyyteen.

Jos tuotantoaikaa jatketaan vuodesta 2025 vuoteen 2035 asti, maanalaista louhintaa jatketaan 1 km maanpinnan tason alapuolelle. Louhosten stabiliteetin turvaamiseksi maanalaista kaivosta täytetään joko louheella ja rikastushiekalla (Kaivostäyttö 1) tai louheella ja avolouhoksesta louhittavalla täyttökivellä (Kaivostäyttö 2). Jos avolouhoksesta louhitaan täyttökiveä, avolouhosta laajennetaan itään päin niin, että louhoksen koko olisi noin 350×400 metriä ja syvyys noin 30 metriä. Lisäksi rikastushiekka-allasta laajennetaan. Laajennukselle on kaksi vaihtoehtoista sijaintia VE1 ja VE2 (Kuva 4-2).



Kuva 4-1. Kaivosalueen toimintojen nykytila.



Kuva 4-2. Rikastushiekka-altaan laajennuksen sijainti vaihtoehtoissa VE1 ja VE2.

4.2 Topografia

Sotkamo Silverin kaivoksen ympäristössä maanpinnan topografia on loivasti kumpuilevaa ja melko tasaista. Maanpinnan korkeus on alemmissa maastonkohdissa noin 200 m mpy ja korkeammilla kumpareilla 220–240 m mpy. Tipasjärven vesipinta on tasolla 193.1 m mpy.

4.3 Pienvaluma-alueanalyysi

Sotkamon kaivosalue sijaitsee vedenjakaja-alueella. Pääosa kaivosalueesta sijaitsee Tipasjoen vesistöalueella (59.85) ja pieni osa Sapsojoen vesistöalueella (59.87), jotka ovat 2. jakovaiheen vesistöalueita Oulujoki (59) -päävesistössä. Kolmannen jakovaiheen luokituksessa alueet ovat Tipasjärven valuma-alue (59.853) ja Nimisenjoen valuma-alue (59.874).

Tässä työssä Sotkamon kaivosalueelle tehtiin kolmannen jakovaiheen luokitusta tarkempi pienvaluma-alueanalyysi (Kuva 4-5).

Pienvaluma-alueet määritettiin käyttäen Scalgo ApS:n SCALGO Live -mallinnusohjelmaa. SCALGO Live on monipuolinen pilvipohjainen mallinnusohjelma, jonka työkaluilla voidaan mm. tarkastella uomaverkostoista muodostuvia pienvaluma-alueita ja niiden purkusuuntia. SCALGO Live laskee ohjelmiston omaan maastomalliin perustuen käyttäjän kartasta valitsemaalle purkupisteelle valuma-alueen.

SCALGO Liven hydrologisessa mallinnuksessa käyttämä Suomen maastomalli perustuu pääosin Maanmittauslaitoksen (MML) 2 m korkeusmalliin (KM2), jonka ruutukoko on 2 m x 2 m. Poikkeuksena Helsingin ja Lahden alueilla on käytetty kaupunkien tarjoamaa tarkempaa 1 m korkeusmallia. Niiltä osin Suomea, jota KM2 ei kata, on käytetty MML:n 10 m korkeusmallia (KM10). Jotta Suomen valtiollisten rajojen ulkopuolelle jäävien jokien yläjuoksujen valuma-alueet saataisiin myös katettua, on Suomen lähialueilla käytetty lisäksi seuraavia korkeusmalleja: Kartverketin DTM 1 ja DTM 10 (Norja) ja Euroopan ympäristöviraston (EEA) 30 m:n EU-DEM -mallia (Ruotsi ja Venäjä).

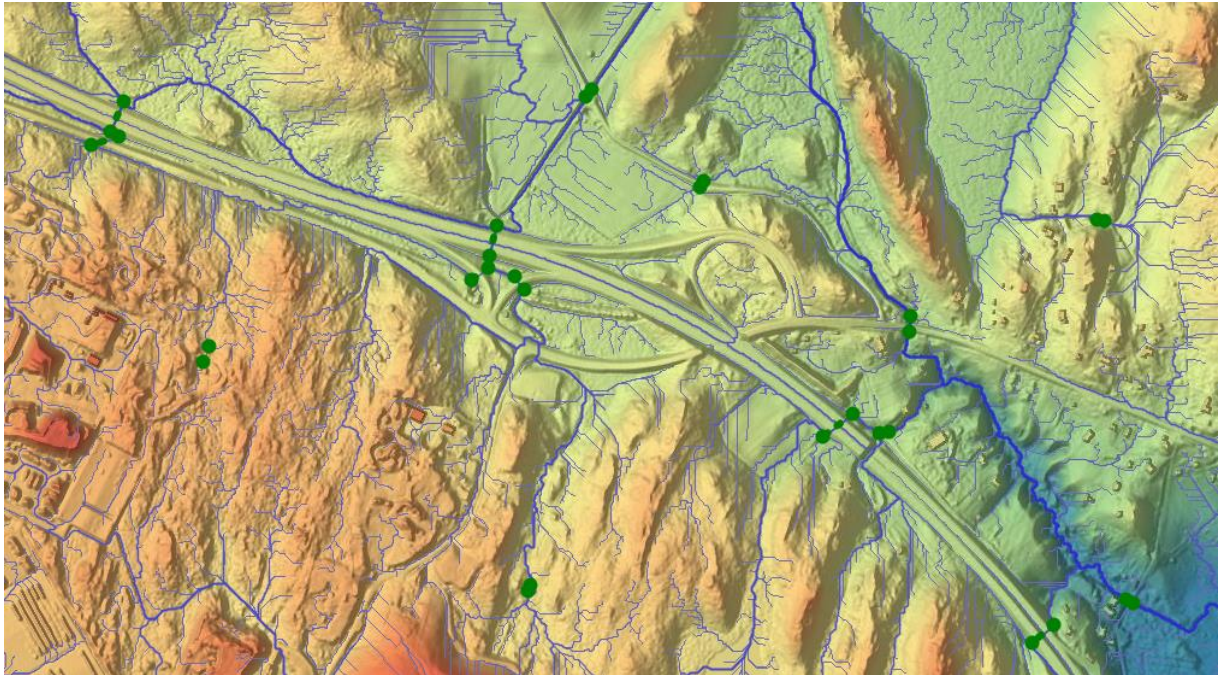
Tässä raportissa esitettyjen pienvaluma-alueiden määrittäminen perustuu MML:n KM2-korkeusmalliin, jonka laserkeilausaineisto on koostettu vuosina 2008–2021. Korkeusmallia päivitetään edelleen tarvittaessa (jos äskettäin koostetussa laserkeilausaineistossa havaitaan aiempaan aineistoon verrattuna merkittäviä muutoksia maanpinnan korkeudessa).

Todenmukaisten virtausreittien laskemiseksi maastomallista sen koostamisvaiheessa poistetut rakennusten ja rakennelmien peittoalat on lisätty malliin jälkeinpäin (Kuva 4-3). Rakennusten ja rakennelmien peittoalat perustuvat MML:n Maastotietokannan aineistoon.



Kuva 4-3. Esimerkki virtausreiteistä (sinisellä) rakennusten ympärillä (kuvalähde www.scalgo.com 2024).

Maastomallin tarkentamiseksi edelleen, SCALGO on lisännyt malliin hydrologisia korjauksia (Kuva 4-4) mahdollistaen virtausreittien realistisen mallintamisen esimerkiksi ojarumpujen, pienempien rauta- ja maantiesiltojen, maanalaisten virtausreittien yms. rakennelmien kohdilla. Korjauksia ei ole tehty niissä paikoin, joissa korkeusmallissa on jo valmiiksi huomioitu rakennusten tai rakennelmien aiheuttamat paikalliset muutokset virtausreitteihin (esim. isot sillat). Korjaukset on tuotettu automaattisesti ja ne perustuvat pääosin MML:n Maastotietokannan aineistoon, sekä tunnettuihin tie- ja virtausverkkoihin. Käyttäjällä on mahdollisuus tehdä hydrologisia korjauksia aineistoon myös itse.

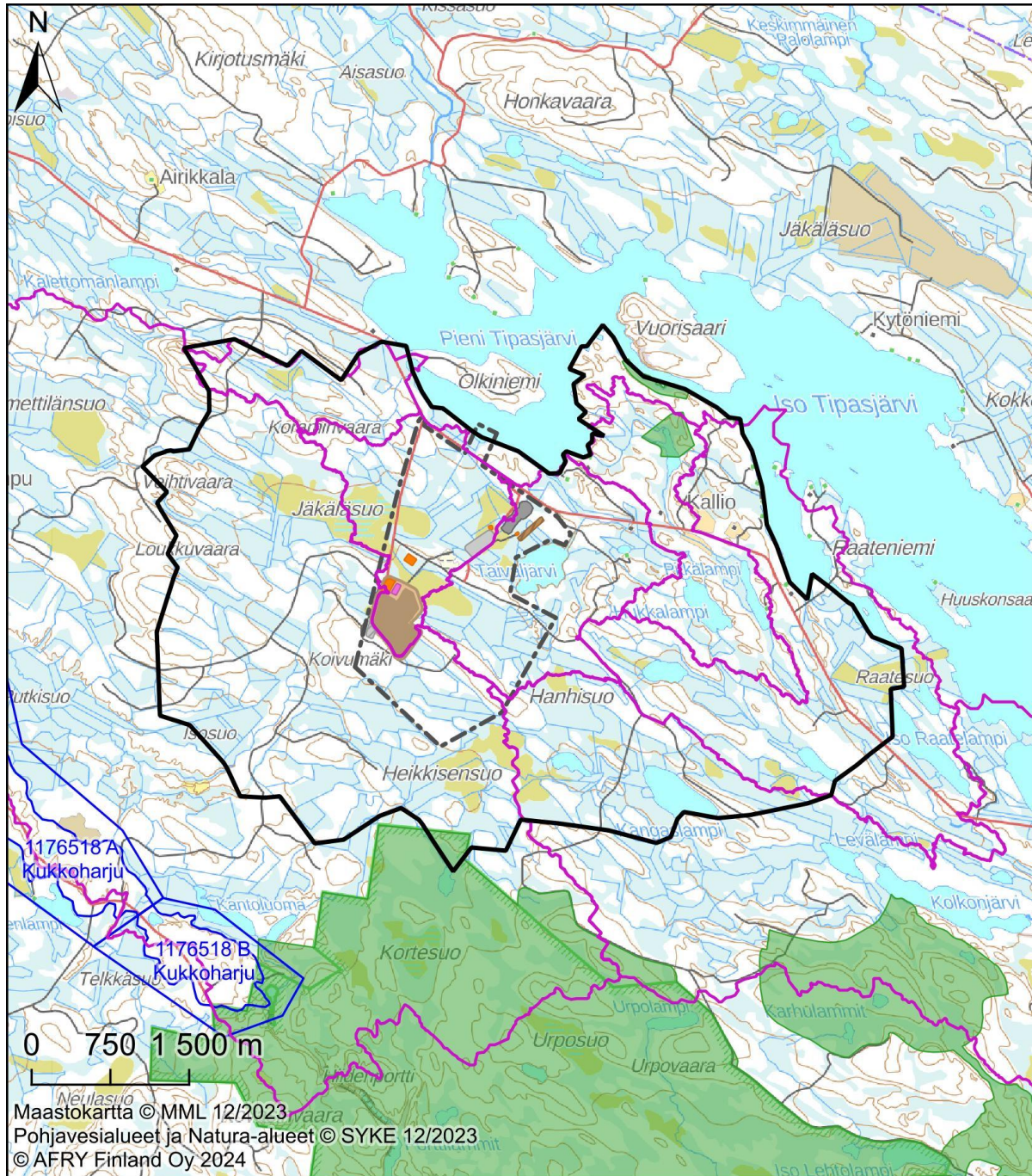


Kuva 4-4. Esimerkki hydrologisista korjauksista (vihreät pisteet) ja uomaverkosta (sinisellä) SCALGO Liven maastomallissa (kuvalähde www.scalgo.com 2024).

4.4 Mallinnusalueen raja

Kuvassa 4-5 esitetään mallinnusalueen raja peruskartalla. Mallin alue rajattiin niin, että sen voidaan olettaa olevan selkeästi kaivoksen vaikutusalueita laajempi. Pohjoisessa ja idässä malli rajautuu Tipasjärveen. Lännessä ja etelässä malli on rajattu pienvaluma-alueiden rajoja ja pintavesiä mukaillen (luku 4.3).

Mallinnettavan alueen lounaispuolella on Kukkojärven pohjavesialue (1176518 A) ja eteläpuolella Hiidenportin (FI1200625) Natura 2000 -alue (Kuva 4-5). Kaivospiirin koillispuolella mallialueen sisällä on Vuoriniemen (FI1200604) Natura 2000 -alue.

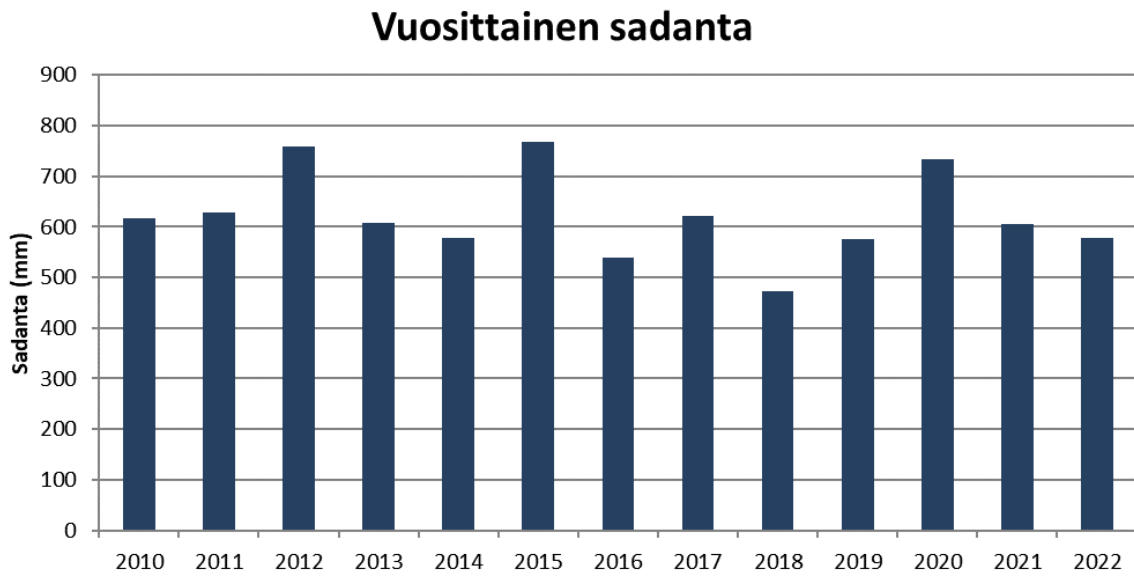


- | | | |
|----------------------|----------------------------|--------------------|
| Kaivospiiri | Selkeytysaltaat | Natura 2000 SAC |
| Meluvalli | Sivukivi- ja rajamalmialue | Pohjavesialue |
| Pyriittiallas | Tarvekilouhos | Mallinnettava alue |
| Rikastushiekka-allas | | Pienvalmu-alueet |

Kuva 4-5. Sotkamo Silverin kaivoksen mallinnettava alue. Alueen lounaispuolella sijaitsee Kukkojärven pohjavesialue (1176518 A) ja eteläpuolella Hiidenportin (FI1200625) Natura 2000 -alue. Natura 2000 -alue on esitetty vihreällä, pohjavesialue sinisellä ja työssä määritetyt pienvalmu-alueet lilalla rajauksella.

4.1 Sadanta

Kuolaniemen (101756) sääasema sijaitsee noin 38 kilometriä Sotkamon kaivosalueesta luoteeseen. Vuosina 2010–2022 keskimääräinen vuosisadanta on ollut noin 621 mm/a (Ilmatieteenlaitos 2023a). Ajanjakson pienin sademäärä oli vuonna 2018 472 mm/a ja suurin vuonna 2015 767 mm/a (Kuva 4-6).



Kuva 4-6. Vuosittainen sadanta Kuolaniemen sääasemalla vuosina 2010–2022.

4.2 Maa- ja kallioperä

Sotkamon kaivoksen alueen maaperä on pääasiassa moreenia (Kuva 4-7). Alueella on luode-kaakko suuntaisia, pohjamoreenista muodostuvia drumliineja. Moreenimuodostumien välissä on soistuneita painanteita, jotka muodostavat kaivosalueen pinta-alasta noin 20–30 %. Turpeen paksuus soilla on keskimäärin 2–3 metriä. (Ramboll Finland Oy 2018)

Kaivosalueen lähiympäristön maaperä koostuu pääasiassa sekalajitteisista maalajeista, turvekerrostumista ja kalliomaista. Harjumuodostumien alueella esiintyy karkearakeisia maalajeja. Myös kalliopaljastumia ja hienojakoisten maalajien alueita esiintyy paikoin.

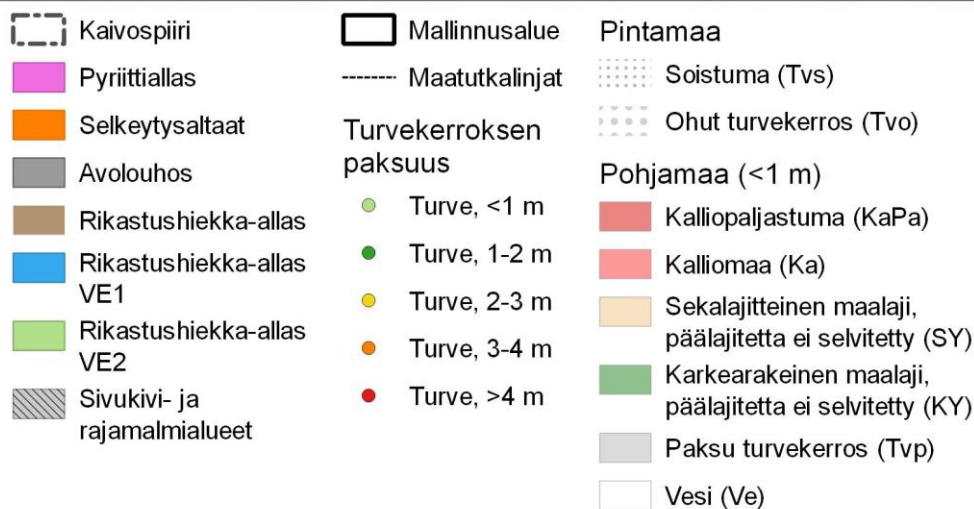
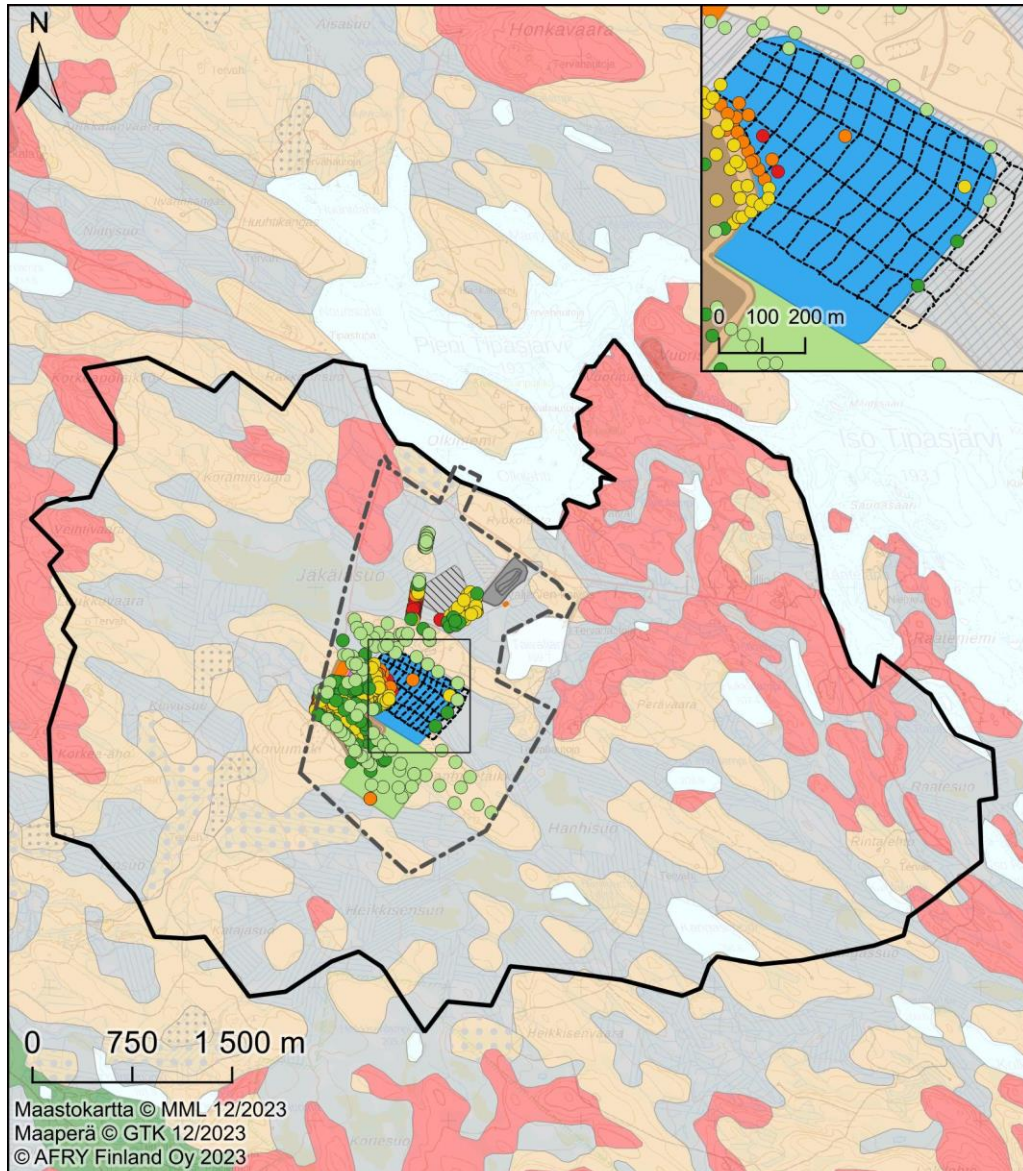
Vedenläpäisevyysskoekiden perusteella alueen pohjamoreenin vedenläpäisevyys on heikko (K -arvot $2,6 \cdot 10^{-8}$ – $4,1 \cdot 10^{-7}$ m/s). Turvealueilla ei ole tehty hydraulisen johtavuuden mittauksia eikä maatuneisuusaste ole tiedossa. GTK:n maaperäkartan mukaan turvetyyppi on rahkaturvetta. Turpeen vedenjohtavuus riippuu turvetyypistä, syvyydestä ja turpeen maatuneisuusasteesta. Rahkaturpeen vedenjohtavuus vaihtelee syvyydestä ja maatuneisuusasteesta riippuen välillä $2,3 \cdot 10^{-8}$ – $1,9 \cdot 10^{-5}$ m/s (Kesäniemi 2009). Turpeen luokitusominaisuuksia, kokoonpuristuvuutta, vedenläpäisevyyttä ja vedenpidätyskykyä on tutkittu Oulun

yliopistossa sekä GTK:n toimesta. Tutkimusten perusteella turpeen kokoonpuristuvuus oli 20 kPa kuormalla keskimäärin 20–40 % ja 60 kPa kuormalla noin 40–60 %. Turpeen vedenläpäisevyydet vaihtelivat kuormitustasosta riippuen välillä $5 \cdot 10^{-10}$ m/s ja $4 \cdot 10^{-11}$ m/s (Ramboll 2017).

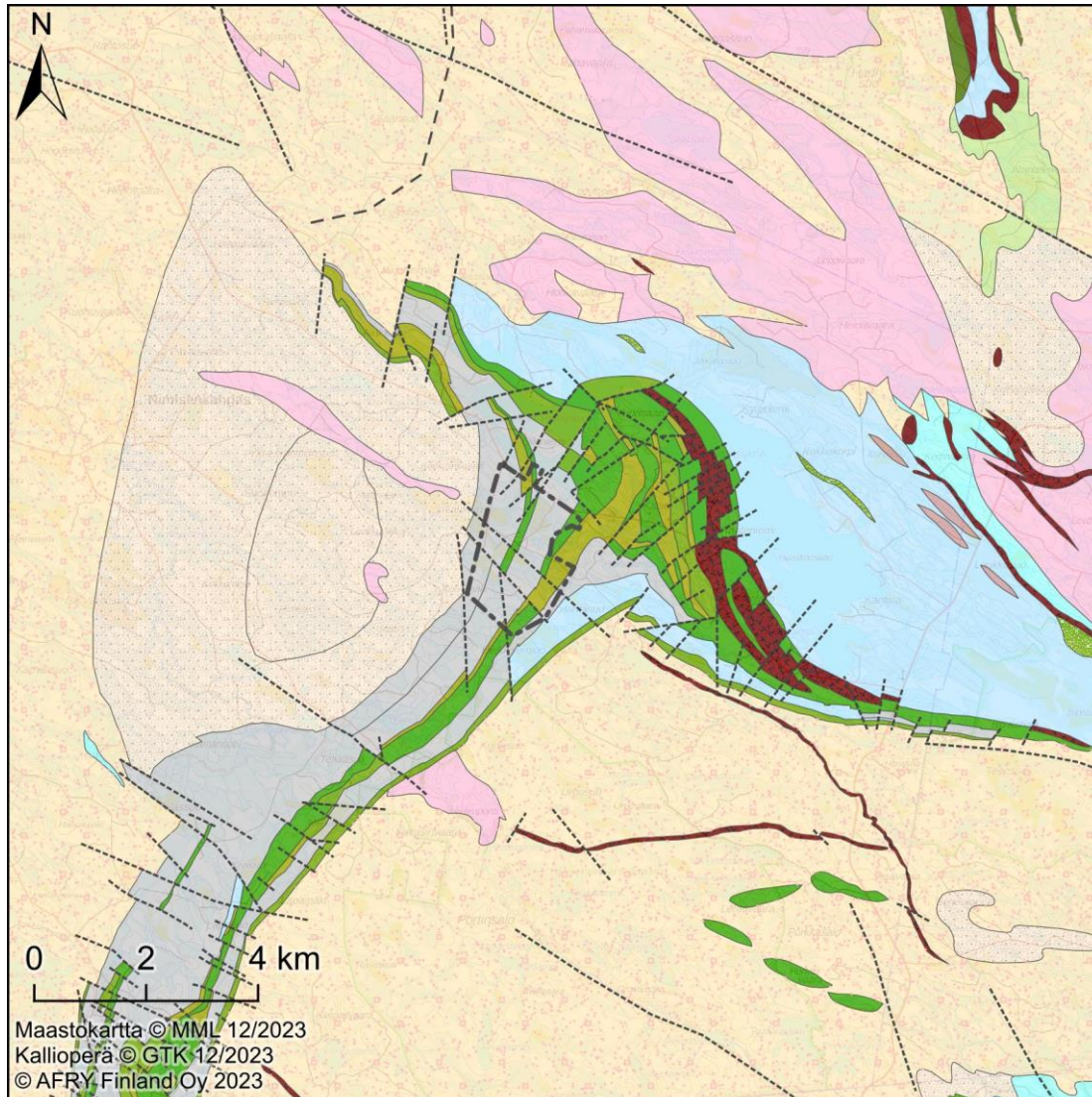
Kaivos sijoittuu Tipasjärven vihreäkivivyöhykkeelle (Kuva 4-8). Tipasjärven vihreäkivivyöhyke on Kuhmo-Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeen eteläisin osa, joka on hieman erillään päävyöhykkeestä. Malmiesiintymän isäntäkivi ja sitä ympäröivä sivukivi koostuvat felsisestä metavulkaniitista, jonka koostumus vastaa dasiittia tai ryoliittia ja jonka kvartsipitoisuus on 70–80 prosenttia. Malmin muodostukseen liittyvien hydrotermisten liuosten vaikutuksesta alkuperäinen mineralogia sekä rakenteet ovat pääosin tuhoutuneet ja kivi on muuttunut kvartsi-seriitti-liuskeeksi. Malmin isäntäkivi on kvartsi-seriitti-liuske, jossa on mukana biotiittia ja granaatti-porfyroblasteja. Kivelle on ominaista runsas kvartsi-karbonaattijuonten määrä. Karbonaatti esiintyy myös pirotteena. Aksessorisina mineraaleina ovat kloriitti, turmaliini, rutiili, baryytti, epidootti ja tremoliitti, jota esiintyy paikoin raitoina. (Ramboll 2017)

Malmimineraalit sinkkivälke ja lyijyhohde esiintyvät raitaisena pirotteena ja rakeina tai raeryhminä kvartsi-karbonaatti-juonissa. Hopeamineraalit esiintyvät kvartsi-karbonaatti-juonissa ja niiden reunoilla, useimmiten lyijyhohteen seurassa tai lähistöllä harmemineraalien välisiä rakoja täyttäen, joskus sulkeumapölynä karbonaatissa. Rikkikiisu (pyriitti) ja magneettikiisu esiintyvät pirotteena ja juonina. (Ramboll 2017)

GTK on tehnyt kallioperän rakennetulkinnat, jotka ovat ladattavissa GTK:n aineistopalvelussa (GTK Hakku-palvelu, 2023, Kuva 4-8). Kaivosalueelle ei sijoitu merkittäviä kallioperän ruhje- tai siirrosvyöhykkeitä. Havaitut ruhjeet ovat paikallisia, eikä niillä ole yhteyttä laajempiin ruhjevyöhykkeisiin. Kaivostunnelin rako- ja ruhjekartoituksessa havaitut rakosuunnat vastaavat alueellisen aineiston perusteella tulkittuja rako- ja ruhjesuuntia. Geoteknisesti kaivoksen kallioperä on hyvälaatuista, eli kallio on ehjää (Ramboll Finland Oy 2018).



Kuva 4-7. Sotkamon kaivoksen alueen yleispiirteinen maaperäkartta, pohjatutkimuspisteiden turvepaksuudet, maatutkalinjat, kaivospiiri ja kaivostoimintojen sijainnit.



Kaivospiiri

Siirrosrakenteet

--- 2211 Suuri määrittelemätön siirrosvyöhyke

----- 2221 Määrittelemätön siirrosvyöhyke

Kallioperä

21121 Felsinen vulkaniitti

21122 Intermediäärinen vulkaniitti

21123 Mafinen vulkaniitti

21124 Ultramafinen vulkaniitti

21371 Metasomaattinen kivi

211321 Doleriitti

213331 Serpentiiniitti

213481 Biotiittiparaliuske

213491 Biotiittiparagneissi

213521 Amfiboliitti

2111113 Graniitti

2111115 Tonaliiitti

2135241 Tonalittinen migmatiitti

2135244 Migmatoitunut tonaliitti

21123113 Tholeiittinen basaltti

21123114 Korkea Mg -basaltti

21212423 Mafinen tuffiitti

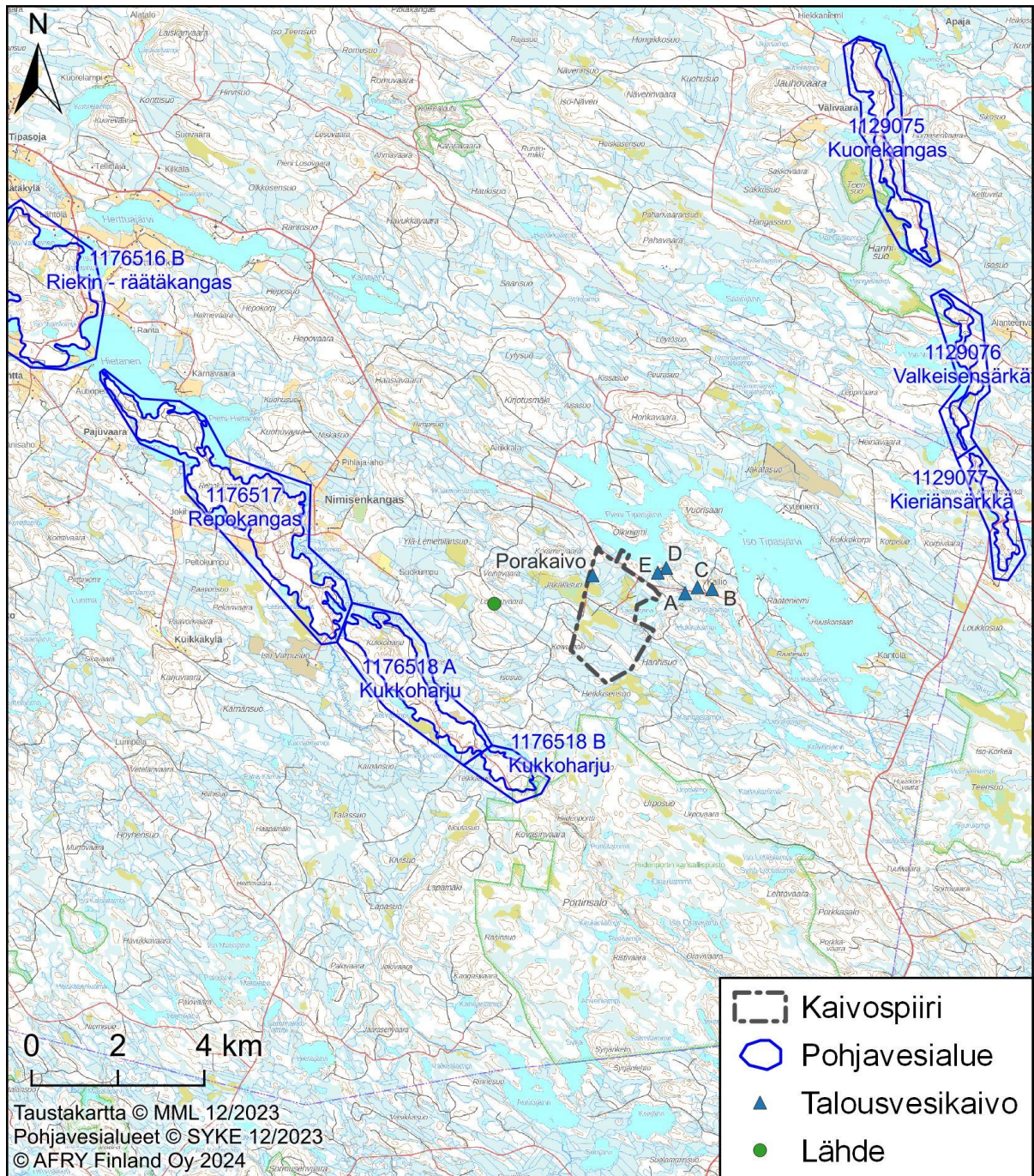
Kuva 4-8. Sotkamon kaivoksen alueen yleispiirteinen kallioperäkartta ja GTK:n ruhjetulkinnat (GTK Hakku-palvelu, 2023).

4.3 Pohjavesi

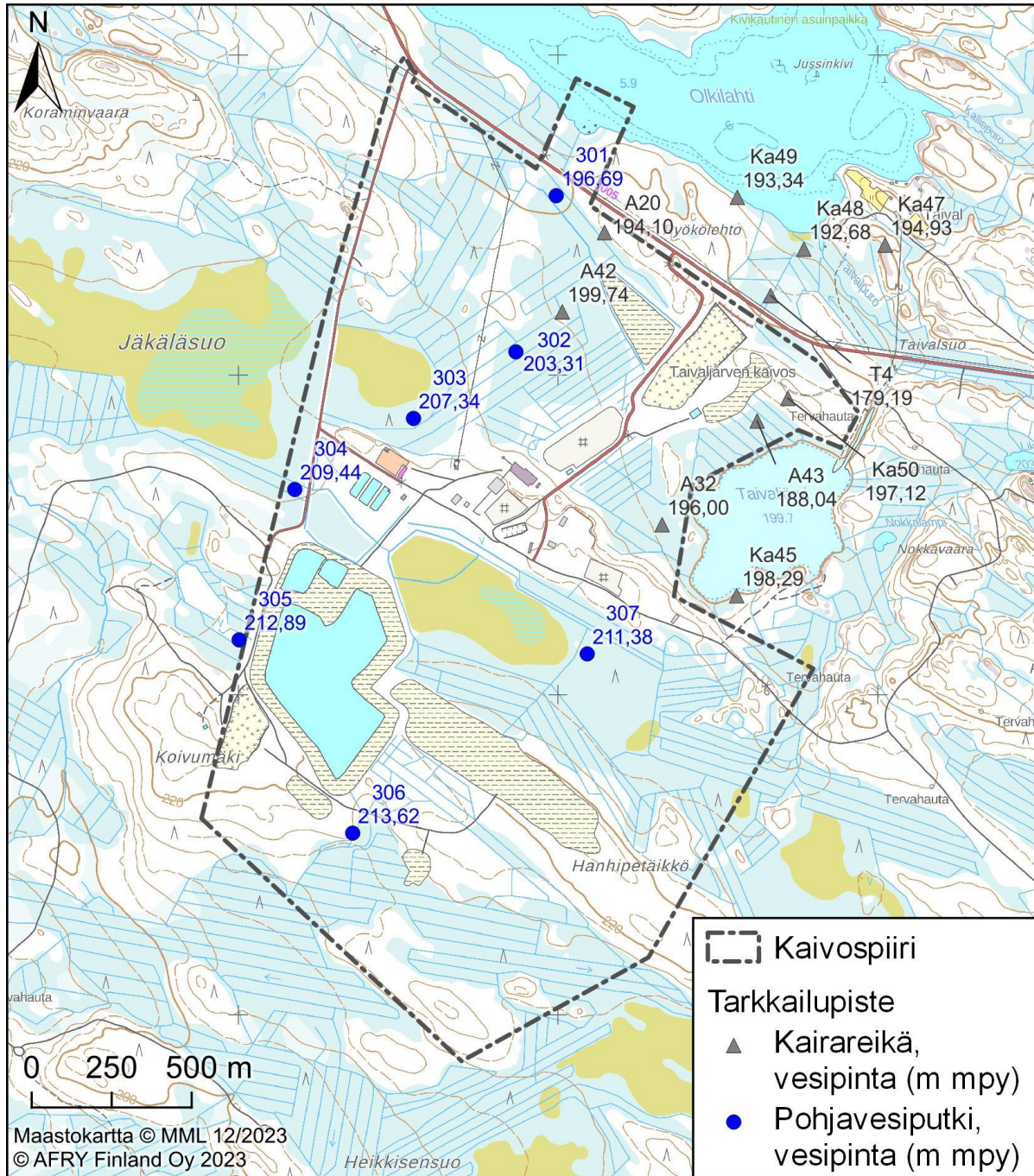
Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset (ELY-keskukset) luokittelevat pohjavesialueet sen mukaisesti, kuinka hyvin ne soveltuvat vedenhankintaan, sekä mahdollisen suojelutarpeen mukaisesti. Luokkia on kolme: 1-luokkaan kuuluvat vedenhankintaa varten tärkeät pohjavesialueet, joiden vettä käytetään tai on tarkoitus käyttää yhdyskunnan vedenhankintaan taikka talousvetenä enemmän kuin keskimäärin 10 kuutiometriä vuorokaudessa tai yli viidenkymmenen ihmisen tarpeisiin. 2-luokkaan kuuluvat muut vedenhankintakäyttöön soveltuvat pohjavesialueet, jotka pohjaveden antoisuuden ja muiden ominaisuuksien perusteella soveltuvat 1 kohdassa tarkoitettuun käyttöön. E-luokkaan kuuluvat pohjavesialueet, joiden pohjavedestä pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen.

Sotkamon kaivosalueella ei ole luokiteltuja pohjavesialueita. Noin kolmen kilometrin etäisyydellä alueen lounaispuolella sijaitsee Kukkoharjun pohjavesialueet 1176518 A (luokka 2E) ja B (luokka 2). Pohjavesialueet, talousvesikaivot ja lähteet on esitetty kuvassa Kuva 4-9.

Vuodesta 2017 lähtien pohjaveden pinnankorkeutta ja laatua on selvitetty kaivospiirin alueen pohjavesiputkista (7 kpl), kairareijistä (10 kpl) sekä lähialueen talousvesikaivoista (5 kpl). Pohjavesiputket sijaitsevat avolouhoksen ja tuotantotunnelin ympäristössä. Pohjaveden pinnankorkeus on mitattu pohjavesiputkista ja kairanreijistä 2–6 kertaa vuodessa. Kaivoista ei ole saatavilla merenpinnan korkeuteen suhteutettuja mittaustuloksia. Pohjavedenpinnan korkeuden havaintopisteet on esitetty kuvassa 4-10 ja pohjavesipinnan seurantatulokset kuvassa 4-11.

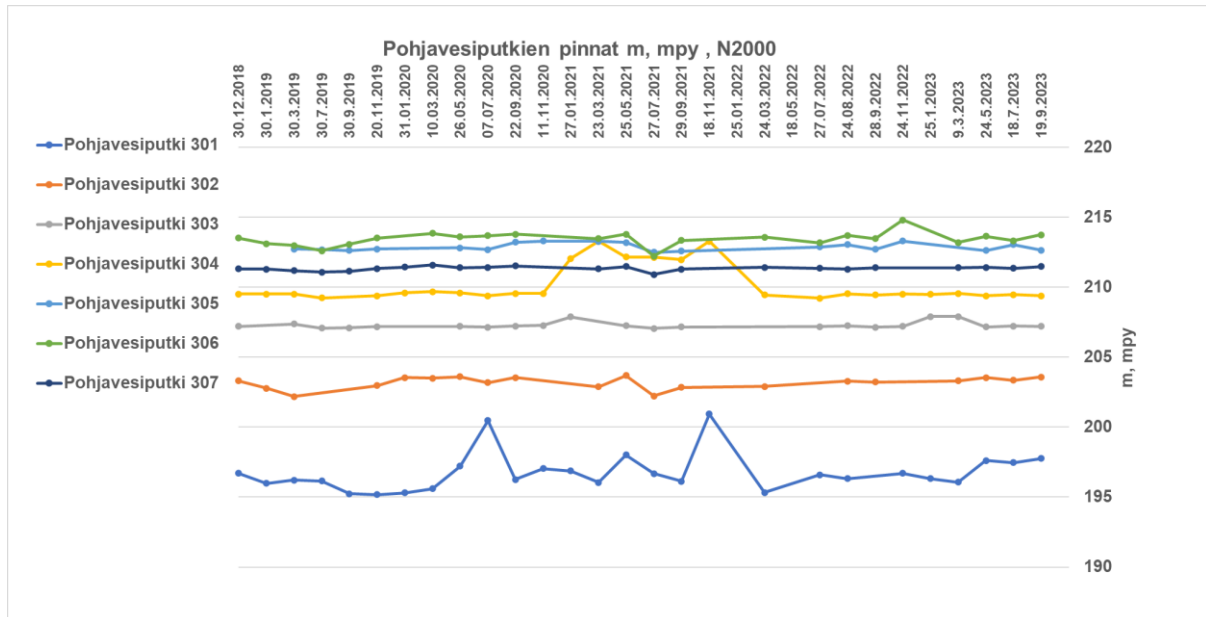


Kuva 4-9. Luokitellut pohjavesialueet.

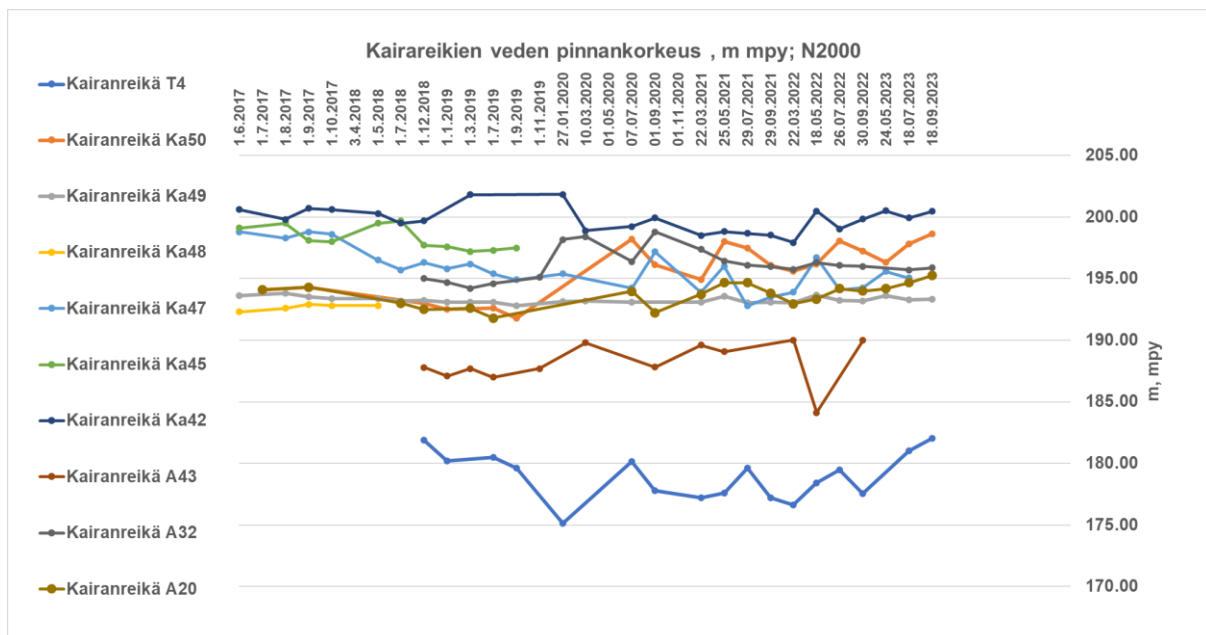


Kuva 4-10. Pohjavedenpinnan mittauspisteet.

a)



b)



Kuva 4-11. Pohjavedenpinnan korkeuden mittaustulokset a) pohjavesiputkissa ja b) kairarei'issä (Sotkamo Silver Oy).

4.4 Maaperän syvyysmalli

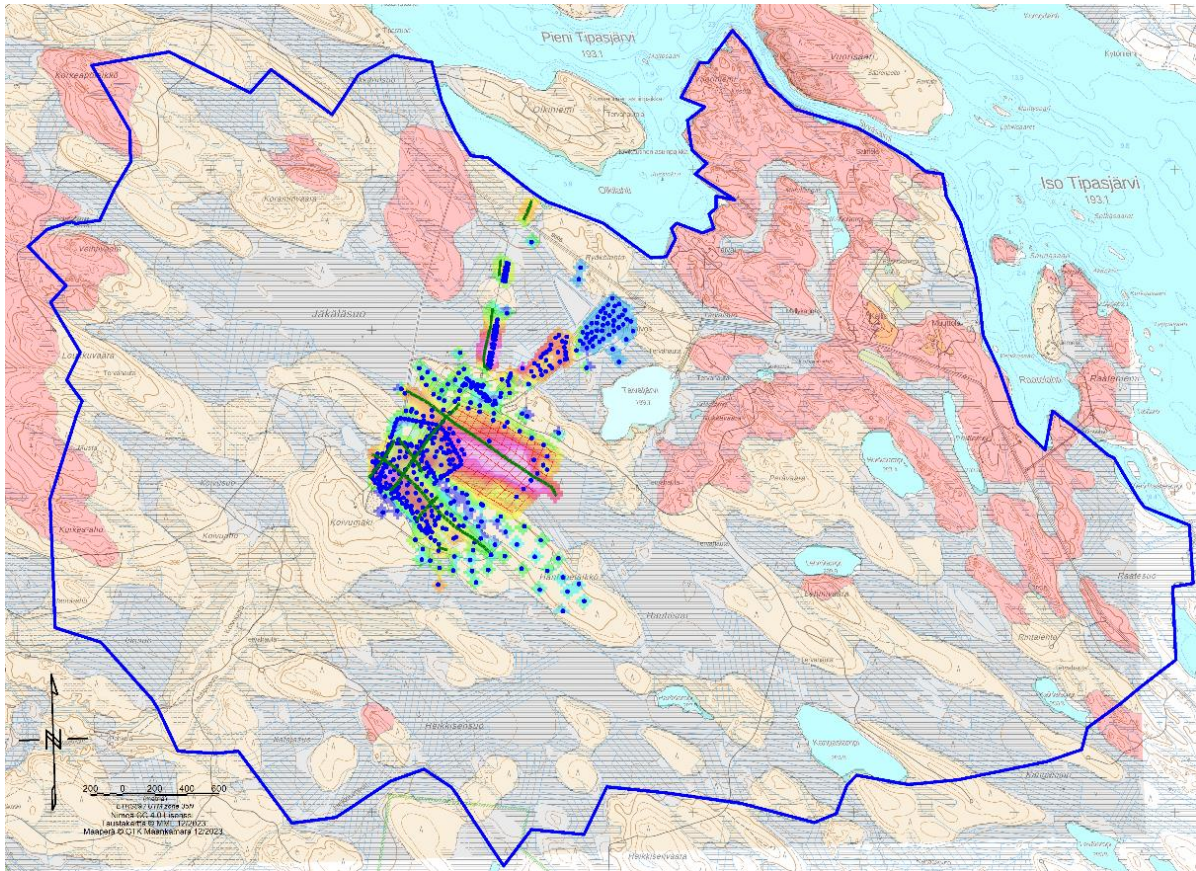
Maaperän paksuuden ja kalliopinnan syvyyden mallinnus perustuu maastokarttoihin (Maanmittauslaitos), geologisiin karttoihin (kalliopaljastumat, GTK Maankamara) sekä kairarei'istä ja pohjavesiputkista mitattuihin maaperäkerrosten paksuuksiin ja geofysiikan mittauksiin.

Maaperän kerroksista mallinnettiin turpeen paksuus ja maapeitteen kokonaispaksuus (kalliotopografia). Mallinnus tehtiin hydrogeologisen numeerisen mallin reunaviivan sisäpuoliselle alueelle.

Turpeen paksuustietona käytettiin maaperän poraustietoja (644 pistettä), joissa turvepaksuus oli raportoitu tai tuloksesta ilmeni, ettei turvetta esiinny, jolloin paksuudeksi asetettiin 0 m (33 % havainnoista). Poraustietojen perusteella turpeen maksimipaksuus oli 5 m, ja mediaanipaksuus 1,65 m niissä kohdissa, joissa turvetta esiintyi.

Lisäksi käytettiin kahdessa eri vaiheessa 2012 ja 2022 tehtyjen maatutkamittausten tulkittua turvepaksuutta. Maatutkatuloksista ilmoitetaan 0.5 m paksummat turvehavainnot. Maatutkatuloksissa havaitaan turpeen sisällä kerroksellisuutta, jota ei huomioida mallissa. Tämä voi olla soistumisen vaiheisiin liittyvää rakennetta, tai maatuneisuusasteen vaihtelusta johtuvia välikerroksia. Turpeen alla on usein paksuturpeisimmilla alueilla vaihtelevan paksuinen silttikerros turpeen ja moreenin välissä. Tätä kerrosta ei ole huomioitu hydrogeologisessa mallissa.

Vuonna 2012 mitatusta datasta (Geo-Work 2012) sisällytettiin tuloksiin yhteensä 4224 pistettä. Tulkinnot oli esitetty 1 m välein linjoilla. Turvetta esiintyi 4,2 km matkalla mitatusta 7,6 km linjapituudesta. Mittauksia oli kohdistettu myös moreenipeitteisille alueille. Puuttuvat turvehavainnot (paksuus 0 m) jätettiin linjoilla tyhjäksi tiedoksi. Vuonna 2022 mitatusta, pelkästään suoalueille kohdistetusta datasta (Geovisor Oy 2022) sisällytettiin tuloksiin 0,5 m välein linjoilla tulkitut 19778 pistettä (linjapituus 9,9 km). (Kuva 4-12).



Kuva 4-12. Turpeen paksuuden havaintopisteet. Poraustiedot sinisillä pisteillä, 2012 maatutkaus vihreä viiva, 2022 maatutkaus punainen viiva. Paksuuden väripinta sinisestä (0 m) punaiseen (6.5 m) lineaarisella asteikolla.

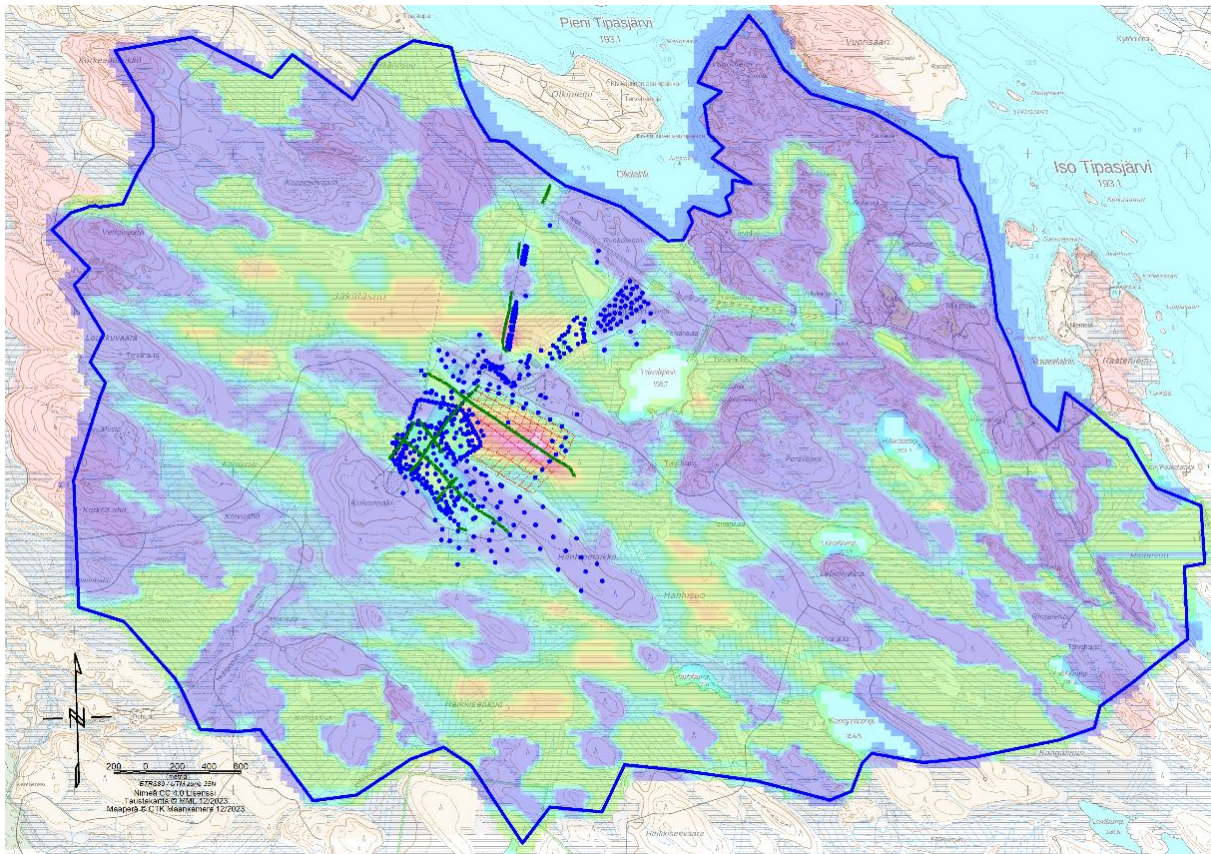
Kaikki tulokset mukaan lukien turpeen mediaani paksuus on 2,5 m ja suurimmat havaitut turvepaksuudet noin 6,5 m. Havaintojen perusteella turpeen paksuus kasvaa noin 1 m paksuuteen 50 m matkalla laajempien suoalueiden reunasta. Paikoin syvyysmuutokset suoalueiden reunoilla voivat olla jyrkempiäkin. Havainnoista laadittiin 40 x 40 m pistetiheydelle paksuuden pisteverkko kriging-menetelmän avulla.

Turvealueet rajattiin Maanmittauslaitoksen karttatietokannan suoalueita koskevien monikulmioiden sisälle. Monikulmioiden rajalla ja niiden ulkopuolella turpeen paksuudeksi asetettiin 0 m.

Turvepeitteisten suoalueiden keskiosiin turvekerroksen paksuudeksi asetettiin 2 m. Geologian Tutkimuskeskuksen geofysikaalisten lentomittausten luonnon kalium-säteilydatan perusteella arvioitiin vähäisen säteilyarvon perusteella paksuimmat turvealueet, joiden turvepaksuudeksi asetettiin 4 m. Suoalueilla havaittavan minimiä korkeamman säteilytason kohdilla turvepaksuudeksi asetettiin 2 m, olettaen että kivennäismaalaji on lähempänä maanpintaa kyseisillä alueilla.

Kallioisilla alueilla sijaitsevien kapeiden suoalueiden kohdilla turvepaksuudeksi asetettiin 1 m. Vesistöjen kohdilla turvepaksuus merkittiin tyhjäksi.

Turpeen paksuudesta luotiin 40 x 40 m pisteverkko käyttämällä havaintojen ja annettujen paksuusarvojen kriging-interpolointia (Kuva 4-13). Lopullisesta pisteverkosta varmistettiin, ettei turpeen paksuus ole missään kohtaa negatiivinen. Pisteverkon arvot vähennettiin maanpinnan topografian arvoista pisteittäin.



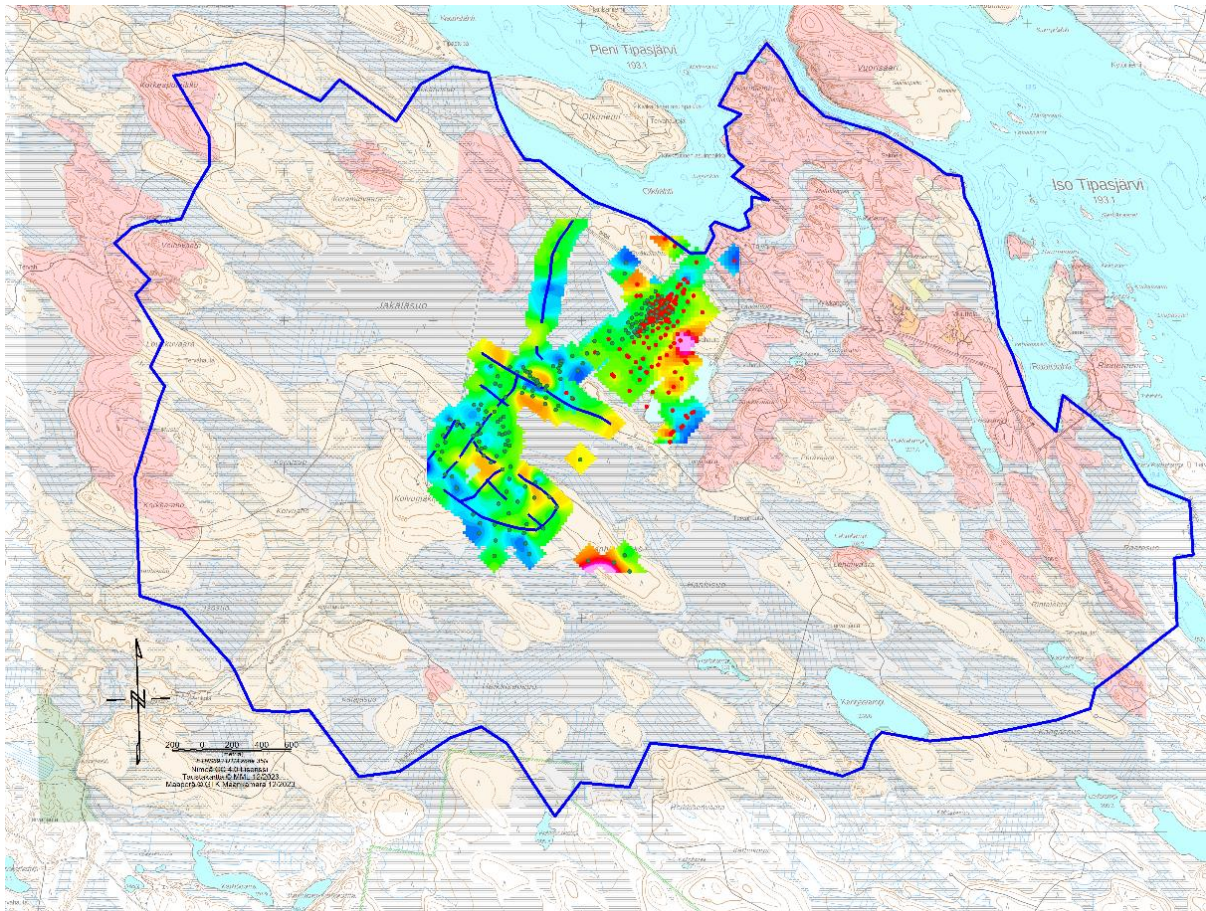
Kuva 4-13. Turpeen paksuuden 40 x 40 m pisteverkko ja käytetyt havaintopisteet kuten kuvassa (Kuva 4-12). Väripintakartan asteikko lineaarinen, sininen 0 m moreenipeitteillä ja avokallioalueilla, punainen 5 m.

Maapeitteen kokonaispaksuus (sisältäen turvekerroksen paksuus) määritettiin niiden maaperän porausten perusteella, joista oli raportoitu kallion pinta (193 kappaletta), kallioperäkairausten suojaputken vertikaalipituuden perusteella (148 kappaletta) sekä maatutkausten raportoidun kalliopinnan syvyyden perusteella. Kairaus- ja porauspisteitä oli 193 kappaletta. Niiden perusteella havaintojen kattamalla alueella maapeitteen mediaanipaksuus on 4 m. Kairauksen maapeitteen mediaanipaksuus oli 6,5 m. Yli 10 m paksuuksia oli raportoitu 10 % havainnoista. Paksuin havaittu maapeite oli 22,5 m porauksissa ja 32,5 m kairauksissa.

Maatutkauksen tuloksista kallio oli tulkittu 5228 pisteen perusteella vuoden 2012 (Geo-Work Oy 2012) mittauksista. Maapeitteen mediaanipaksuus oli 6,1 m

tutkamittausten mukaan. Maksimipaksuus on 12 m. Maatutkan avulla ei käytetyllä 100 MHz antennikalustolla voida määrittää tätä paksumpia maakerrospaksuuksia. Tämän vuoksi kallion pintaa ei ole määritetty kaikkialla. Vuoden 2022 maatutkaustuloksista ei ole esitetty kalliopinnan tulkintaa.

Kaikkien tulosten mukaan kallion mediaani syvyys on 6 m maanpinnasta. Havainnoista laadittiin 40 x 40 m pistetiheydelle maakerrospaksuuden pisteverkko kriging-menetelmän avulla (Kuva 4-14).

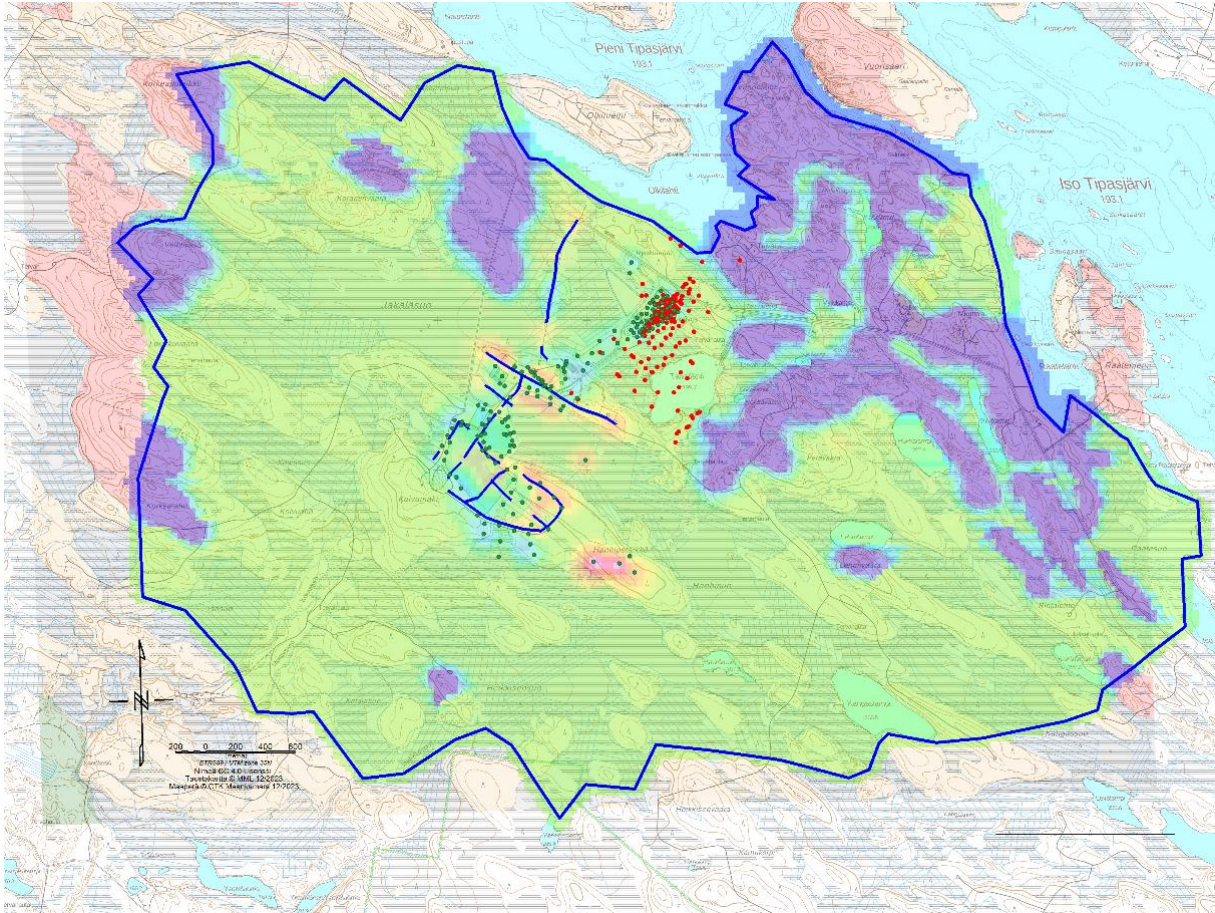


Kuva 4-14. Kallioperän korkeusaseman tai maapeitepaksuuden havaintopisteet kairausten (punaiset pisteet) ja porausten (vihreät pisteet) ja maatutkamittausten (siniset linjat) perusteella. Tuloksista kriging-menetelmällä interpoloidun pisteverkon väriasteikko on lineaarinen paksuudesta 0 m (sininen) arvoon 20 m (punainen).

Kalliopaljastumien alueet rajattiin Geologian tutkimuskeskuksen Maankamara-karttapalvelun avulla maakerrospaksuuksiksi 0 m. Muualla kuin havaintojen alueella maakerrospaksuudeksi asetettiin 6 m, kuitenkin siten että noin 100 m matkalla kalliopaljastumien reunoista paksuutta vähennettiin asteittain. Vesistöjen kohdalla maakerroksen paksuudeksi merkittiin myös arvo 6 m.

Maakerroksen kokonaispaksuudesta interpoloitiin 40 x 40 m pisteverkko käyttämällä havaintojen ja annettujen paksuusarvojen krigingiä (Kuva 4-15). Lopullisesta pisteverkosta varmistettiin, ettei maaperän paksuus missään kohtaa

ole negatiivinen. Lisäksi tarkastettiin, ettei maaperäpaksuuden ja turvepaksuuden erotus ole negatiivinen eli ettei kalliopinta nouse korkeammalle kuin turpeen pohja.



Kuva 4-15. Paljastumien (0 m, sininen) ja puuttuvien havaintojen (mediaani 6 m, vihreä) alueille lisätyihin maapeitepaksuuden pisteisiin perustuva interpoloitu pisteverkko. Havaintopisteet kuten kuvassa (Kuva 4-14). Lisäpisteitä on kaikkialla 40 x 40 m verkossa puuttuvien havaintojen kohdalla.

Maakerroksen pisteverkon arvot vähennettiin maanpinnan topografiasta, jolloin saatiin kalliopinnan topografian pisteverkko.

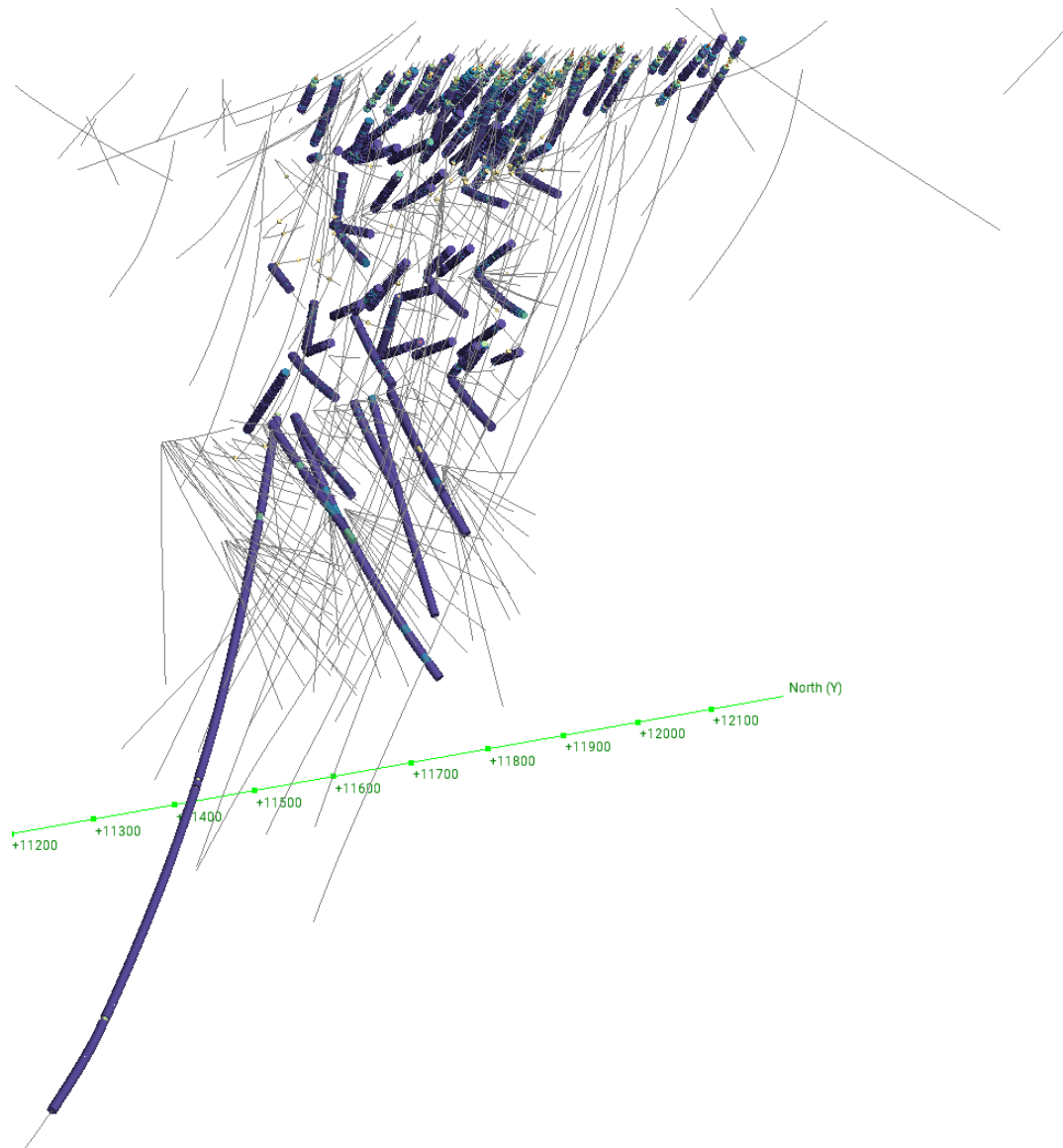
Kaksi kerrostopografian mallia (kalliotopografia=maaperän syvyys, ja turpeen pohja) tallennettiin 40 x 40 m korkeusmalliksi X, Y, Z muotoisina tekstitiedostoina.

4.5 Kallioanalyysi

Kallion vedenjohtavuus riippuu rakoilusta. Rakojen vedenjohtavuuteen vaikuttavat rakojen avoimuus, täytteisyys, jatkuvuus sekä rakojen liittyminen toisiin rakoihin. Tämän takia reikätieläkannassa raportoituja rakoiluun liittyviä tietoja voidaan tarkastella ja analysoida merkinä vedenjohtavuudesta ja sen vaihtelusta kallioperässä. Tässä työssä reikätieläkannan RQD-aineistoa käytettiin yhdessä

kaivoksen vuotovesimittaustietojen kanssa kallioperän vedenjohtavuuden syvyyssuuntaisen vaihtelun arvioimiseen.

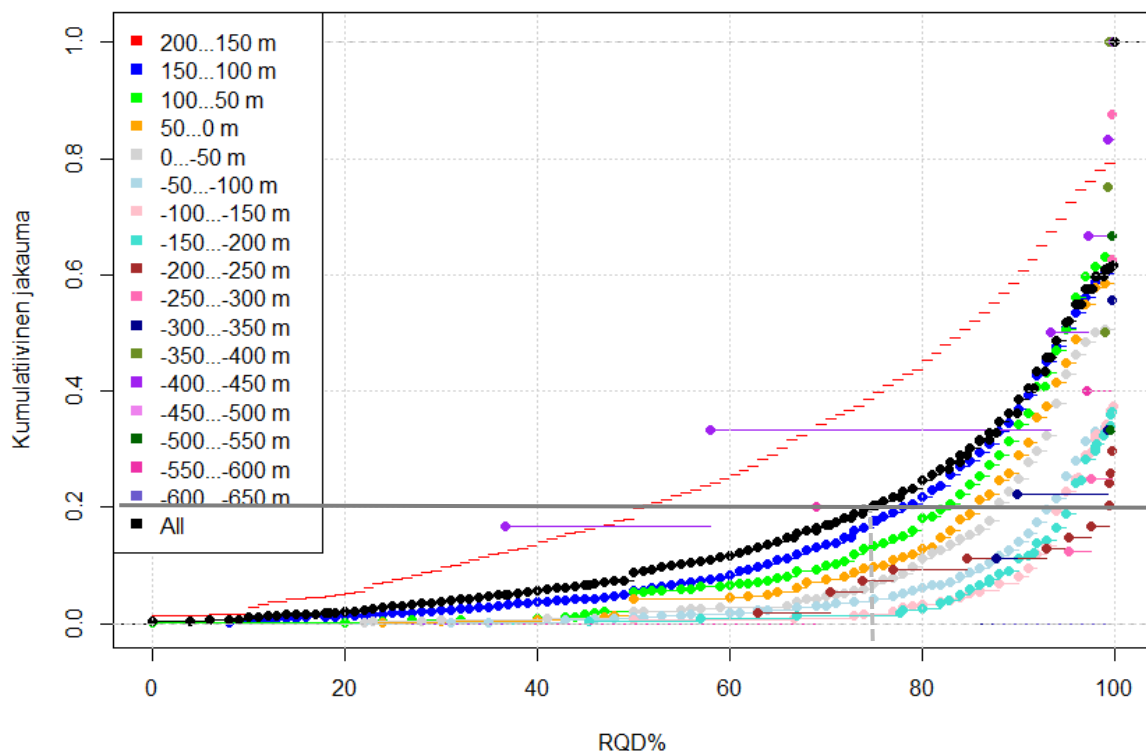
Sotkamo Silver Oy:n reikätielokantaan tallennetut Rock Quality Designation (Hoek & Brown 1982) (RQD) tiedot analysoitiin tilastollisesti. RQD on karkea mitta kiven rakoilulle. RQD-luokitus suoritetaan laskemalla yli 10 cm pitkien ehjien kallionäytteiden osuus koko kairasydämen pituudesta. Tulos annetaan prosentteina, mitä pienempi prosenttiarvo sitä huonolaatuisempi kivi. Hyvälaatuisella kivellä RQD on suurempi kuin 75 %, huonolaatuisella alle 50 %, ja hyvin huonolaatuisella pienempi kuin 25 %.



Kuva 4-16. Sotkamo Silverin kaivoksen kairareiät, joista saatavilla RQD-arvot.

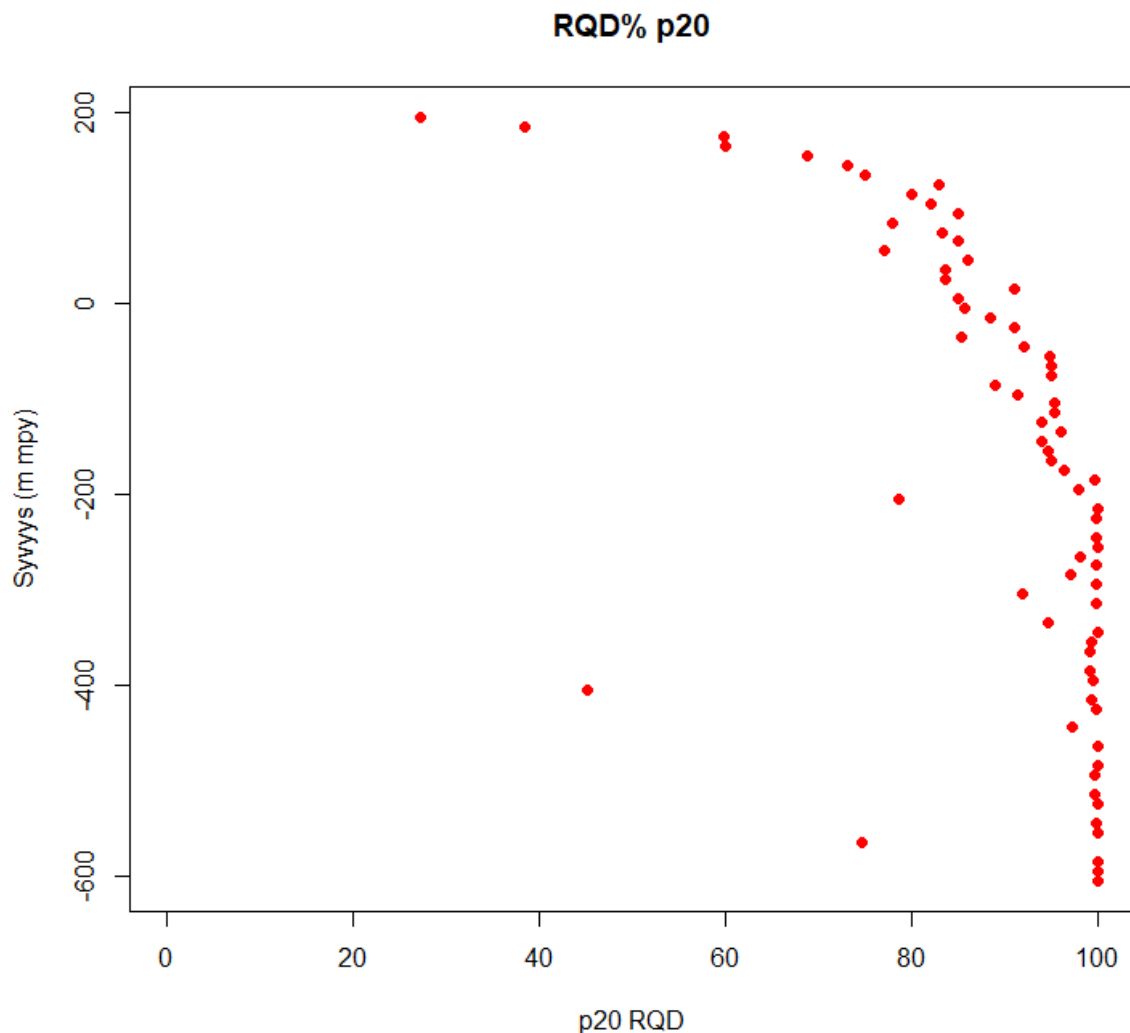
Tilastollista tarkastelua varten kairasydännäytteistä kartoitetuista RQD-arvoista koostettiin yhden metrin datakoosteet, jotka sisältävät koordinaatit (x, y, z), kivilajin ja RQD-arvon. Datakoosteessa on yhteensä 7501 kappaletta yhden metrin reikäjaksoja, joista RQD tieto on saatavilla. Paras metrikattavuus on kallioperän yläosasta, sillä syvemältä kallioperästä kairausmetrejä on vähemmän saatavilla. Suurin osa kairareijistä on malmimuodostumassa, joten sivukivestä on vähemmän tietoa saatavilla.

RQD:n tilastollista jakaumaa analysoitiin koko datasetille, sekä lisäksi syvyyden suhteen. Kuvassa 4-17 esitetään RQD:n arvojen jakautumisen prosenttiosuuksien kertymät kivilajeittain ja 50 m vertikaaleina syvyysjaksoina (m mpy). Jakaumien perusteella kallioperän pintaosan rikkonaisuus on voimakkaampaa ensimmäisen 50 metrin syvyydelle kallion pinnasta (Kuva 4-17). Tämän pintakerroksen vaikutus on suurin maaperästä kallioon suotautuvan pohjaveden, sekä kalliossa tapahtuvan veden virtauksen, ja mahdollisesti syntyvän pohjaveden aleneman kannalta. Rikkonaisuutta esiintyy myös syvemällä kalliossa, mikä voi muodostaa virtausyhteyksiä louhittavien tilojen ja kallion pintaosien välille.



Kuva 4-17. Kairasydännäytteistä määritetyn RQD-arvon 1 m komposiitin RQD-arvojen jakauman prosenttiosuuksien kertymä 50 metrin vertikaalisin (m mpy) syvyysvälein ja koko datasetille.

Keskimäärin lähes 80 %:n osuus kairanäytepituuksista edustaa RQD-arvoja, jotka ovat suurempia kuin 75 %. Tämän takia 20 % osuus kertymästä valittiin tilastolliseen tarkasteluun edustamaan eniten rakoilleita näytejaksoja (Kuva 4-17, harmaa horisontaali viiva). Kun RQD-lukua tarkastellaan ensimmäisen 20 % kertymän osuudelta 10 m vertikaalein syvyysvälein, kivilaadun paraneminen (RQD-luvun kasvu) syvyyden suhteen erottuu hyvin (Kuva 4-18). Rikkonaisuus on suurinta pintakalliossa ja vähenee asteittain noin 400 metrin syvyydelle, jonka alapuolella rikkonaisuus on muutamaa rikkonaisempaa jaksoa lukuun ottamatta vähäistä. Kallion pintaosan rakoja on nähtävillä olemassa olevan avolouhoksen seinämillä (Kuva 4-19).



Kuva 4-18. Rikkonaista kiveä (RQD<25 %) on selkeästi enemmän kallion yläosassa kuin syvemmällä. Ehjän kiven osuus kasvaa tasaisesti syvemmälle mentäessä.



Kuva 4-19. Rakoilua avolouhoksen seinämissä.

4.6 Louhinta

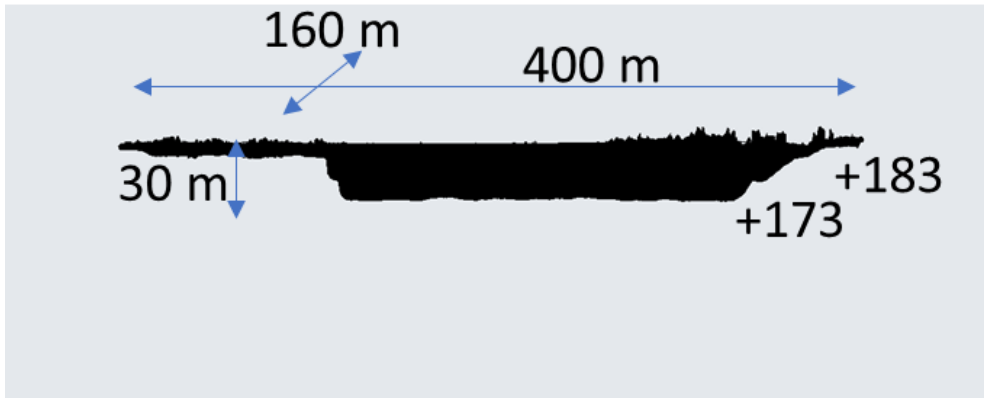
Pohjavesimallinnusta varten Sotkamo Silver Oy toimitti syksyllä 2023 avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen nykytilan geometriat (syksy 2023) ja suunnitelmien mukaiset geometriat vuosille 2025 ja 2035 (Kuva 4-20 ja Kuva 4-21).

Avolouhinta on aloitettu malmin pintapuhkeamasta vuonna 2019. Avolouhos on nykytilassa kooltaan noin 400 × 150 metriä ja syvyydeltään noin 30 metriä. Louhintaa tullaan jatkamaan mahdollisesti myöhemmin uudelleen, jolloin avolouhosta laajennetaan itään päin niin, että louhoksen koko olisi noin 350 × 400 metriä ja syvyys noin 30 metriä. Vastaavasti avolouhoksen pinta-ala olisi laajimmillaan noin 10,9 hehtaaria. Nykytilan ja suunnitelmien mukainen vuoden 2035 avolouhos on esitetty kuvassa 4-20.

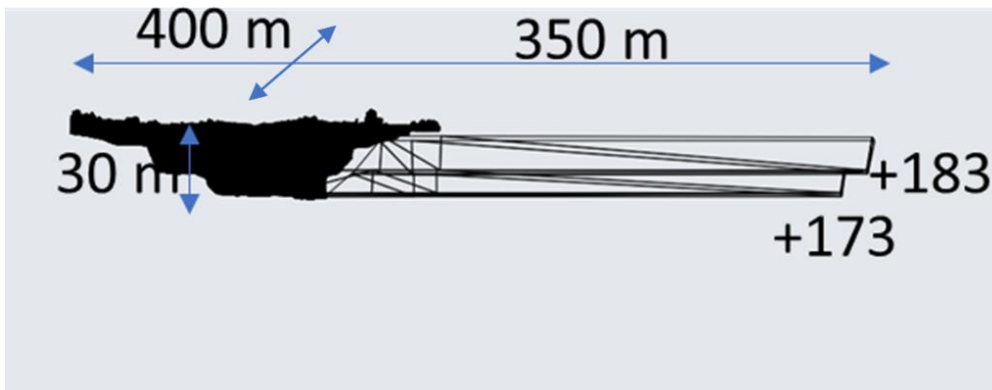
Maanalainen louhinta alkanut läheltä avolouhoksen pohjaa ja ulottuu tällä hetkellä noin 440 metrin syvyyteen, vuonna 2025 noin 500 m syvyyteen ja vuonna 2035 noin 1000 m syvyyteen (Kuva 4-21). Louhosten sijainnit ja poikkileikkaus syvyyssuunnassa on esitetty kuvissa 4-22, 4-23 ja 4-24. Louhosten stabiliteetin turvaamiseksi maanalaista kaivosta täytetään joko louheella ja rikastushiekalla tai

louheella ja avolouhoksesta louhittavalla täyttökivellä (Kuva 4-25). Avolouhosta laajennetaan nykyisestään ainoastaan tilanteessa, jossa täyttöön käytetään rikastushiekan sijasta avolouhoksesta louhittavaa täyttökiveä.

a)

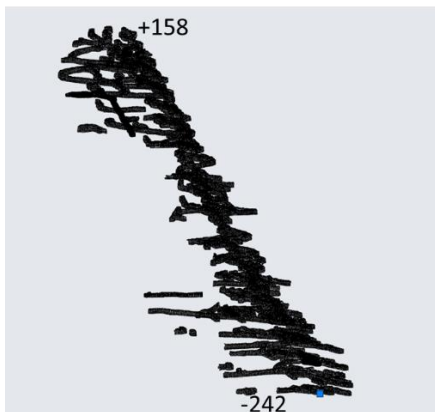
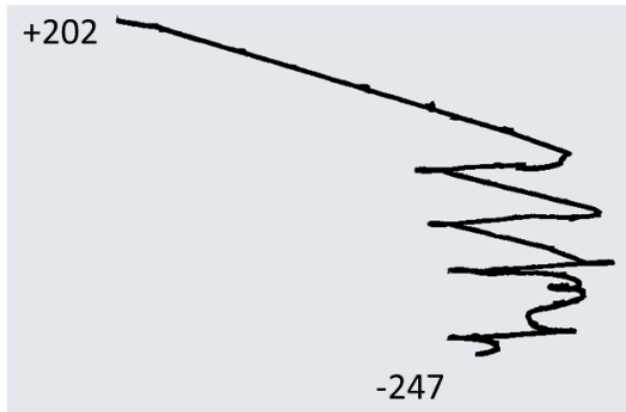


b)

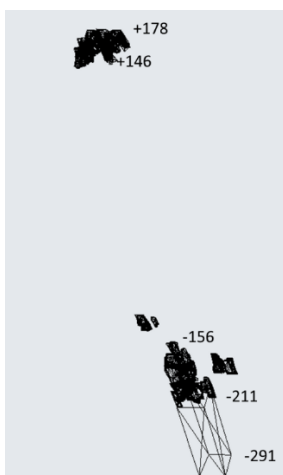


Kuva 4-20. Avolouhos a) nykytila ja b) laajin vaihe 2035.

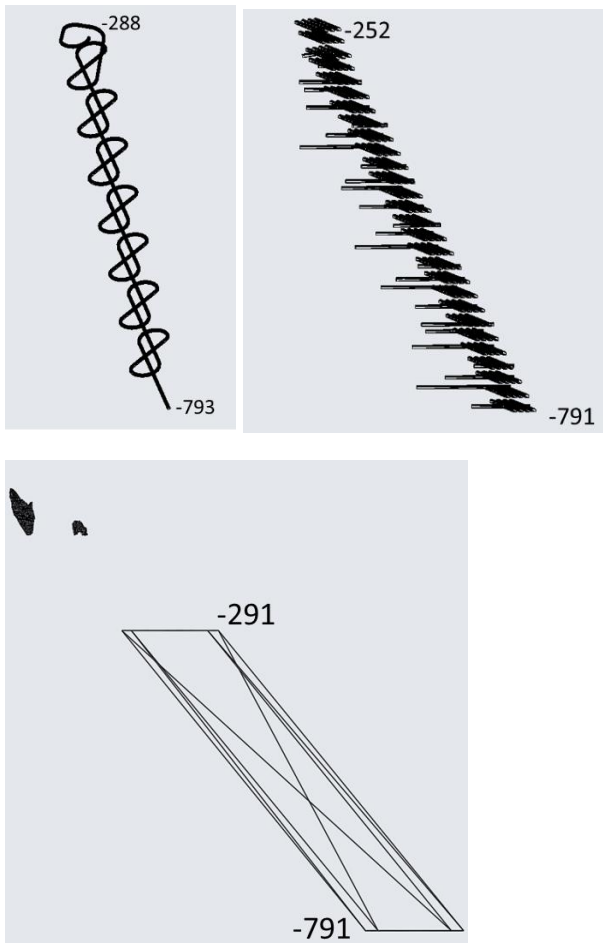
a)



b)



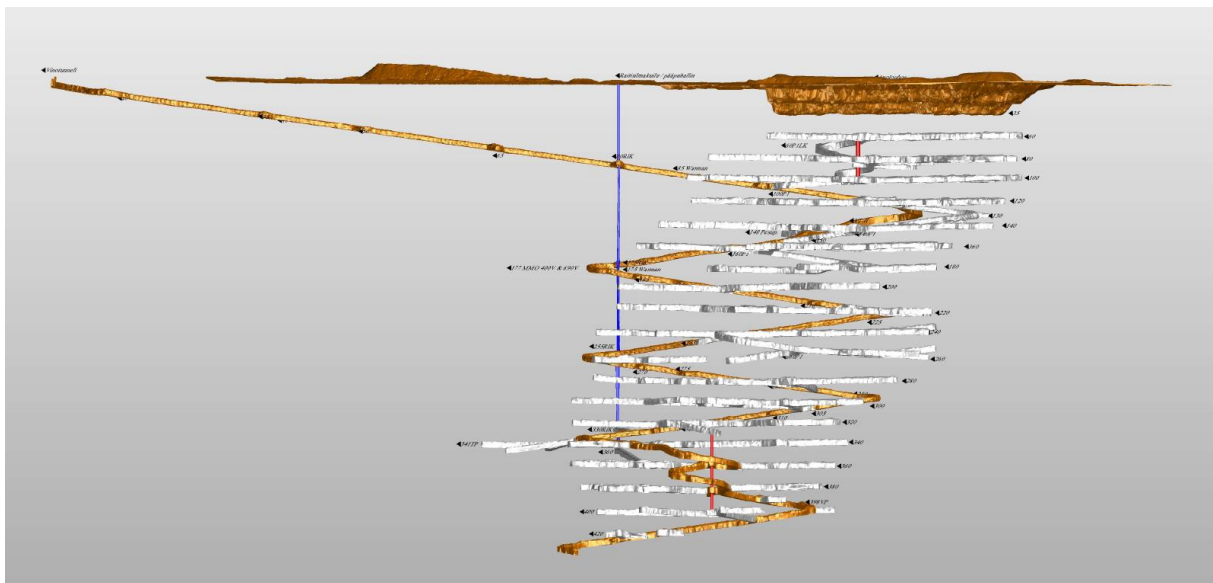
c)



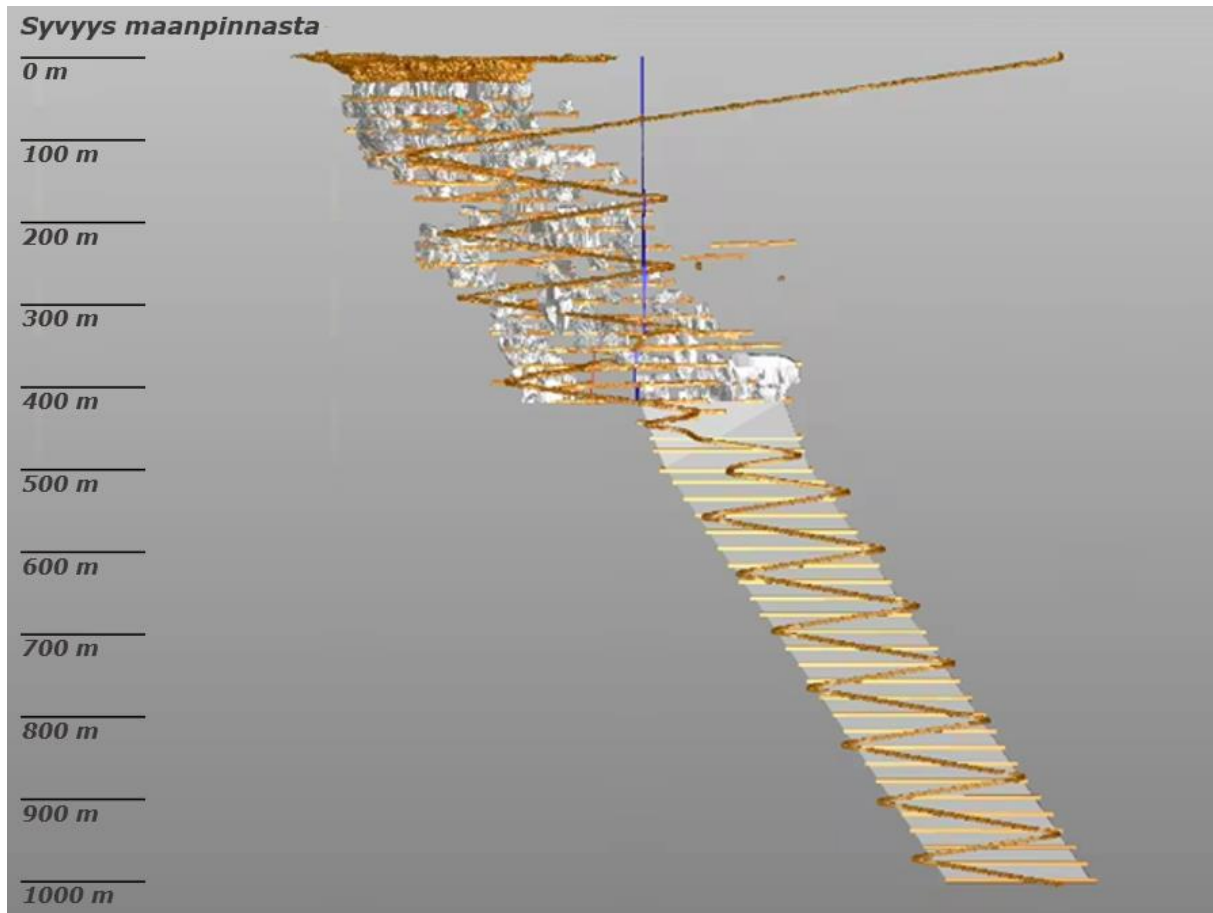
Kuva 4-21. Maanalainen kaivos vinotunnelit, tasoperät ja louhokset a) nykytila, b) vuosi 2025 ja c) vuosi 2035 (syvyystasot m mpy).



Kuva 4-22. Maanalaisen kaivoksen sijainti.



Kuva 4-23. Maanalainen kaivos nykytilanteessa.



Kuva 4-24. Maanalainen kaivos vuonna 2035 (syvyystasot metriä maanpinnasta).

a)



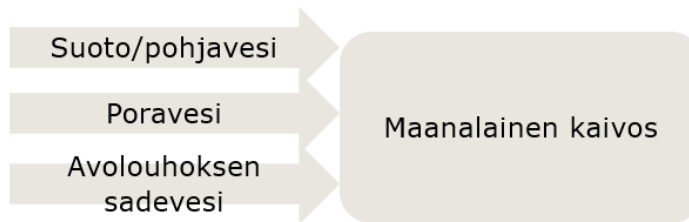
b)



Kuva 4-25. a) Avolouhoksesta on yhteys maanalaisiin louhittuihin tiloihin, b) louhitut tilat täytetään.

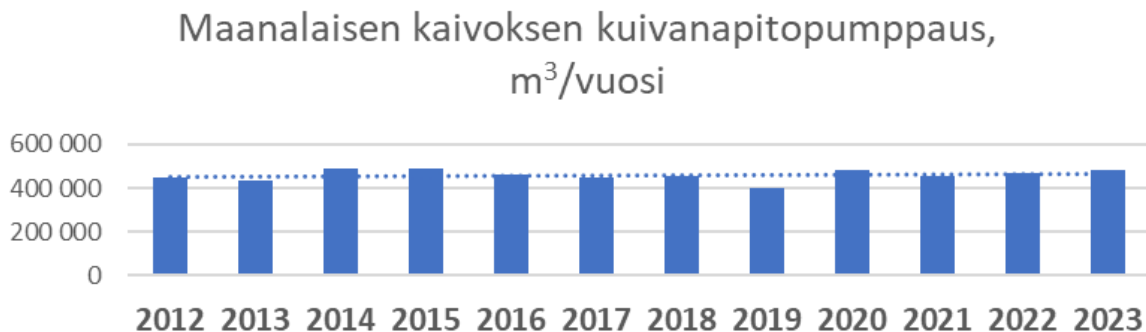
4.7 Suotovesianalyysi

Kaivoksen suotovesianalyysi perustuu maanalaisen kaivoksen vesitaselaskentaan. Maanalaiseen kaivokseen tulee sadevettä suotautumalla avolouhoksen pohjan läpi, pohjavettä kallion ruhjeita ja rakoilua pitkin kulkeutumalla sekä poraamisessa tarvittavaa poravettä pumppaamalla (Kuva 4-26).



Kuva 4-26. Maanalaisen kaivokseen tulevat ja lähtevät vedet.

Kaivokseen tiuhkan suoto- ja pohjaveden määrä saatiin selville tulevien ja lähtevien vesijakeiden erotuksella. Sotkamo Silver Oy:ltä saatiin tiedot 2012–2023 kuivatuspumppauksen vesimääristä, jotka ovat vaihdelleet välillä 402 088 m³ (vuosi 2019) ja 471 657 m³ (arvio vuodelle 2023). Kuivatuspumppauksen vesimäärät on esitetty kuvassa 4-27.



Kuva 4-27. Maanalaisen kaivoksen kuivatuspitopumppauksen vesimäärät 2012–2023.

Urakoitsijan porakoneiden käyntiaikoihin perustuva arvio kaivokseen pumpattavan poraveden määrästä saatiin kuukausiarvioina välille heinäkuu 2022 ja syyskuu 2023. Tietojen perusteella kaivokseen on pumpattu poravettä keskimäärin noin 14 890 m³/a (Taulukko 4-1).

Arvio avolouhoksen kautta maanalaiseen louhokseen kulkeutuvan sadeveden määrästä saatiin Sotkamo Silveriltä (Taulukko 4-1), ja se on laskettu avolouhoksen valuma-alueen (36 450 m²) ja haihdunnan avulla seuraavalla kaavalla:

$$\text{Valunta avolouhokseen} = \text{valuma-alue} \times (\text{sadanta} - \text{haihdunta})$$

Taulukko 4-1. Urakoitsijan eri ajanjaksoille yhteenlaskettu kaivokseen pumpattu poraveden määrä ja avolouhoksen kautta maanalaiseen kaivokseen kulkeutuvan sadeveden määrä.

Ajanjakso	Poravesi m³	Sadevesi avolouhoksesta maanalaiseen kaivokseen m³
lokakuu 2022–syyskuu 2023	16 344	8970
syyskuu 2022–elokuu 2023	15 840	9539
elokuu 2022–heinäkuu 2023	14 400	10308
heinäkuu 2022–kesäkuu 2023	12 960	8398
keskimäärin	14 886	9304

Koska avolouhokseen ei kerry ajansaatossa vettä (ts. vedenpinta ei pohjalla nouse) kaivokseen suotautuvan veden määrä arvioitiin taselaskulla:

Kaivokseen pohjavedestä ja avolouhoksen kautta suotautuva vesi = ulos pumpattavat vedet (kuivatuspumppaus) – sisään tuleva vesi (poravesi)

Suotovesimäärä vuosille 2022–2023 on 456 771 m³ (1251 m³/vrk) ja 466 823 m³ (1279 m³/vrk). Määrä sisältää avolouhoksen kautta maanalaiseen kaivokseen kulkeutuvan sadeveden.

Arviolta (noin 255 mm/a) sadevedestä avolouhoksen kautta maanalaiseen kaivokseen kulkeutuvan veden määrästä käytetään mallissa parametrina.

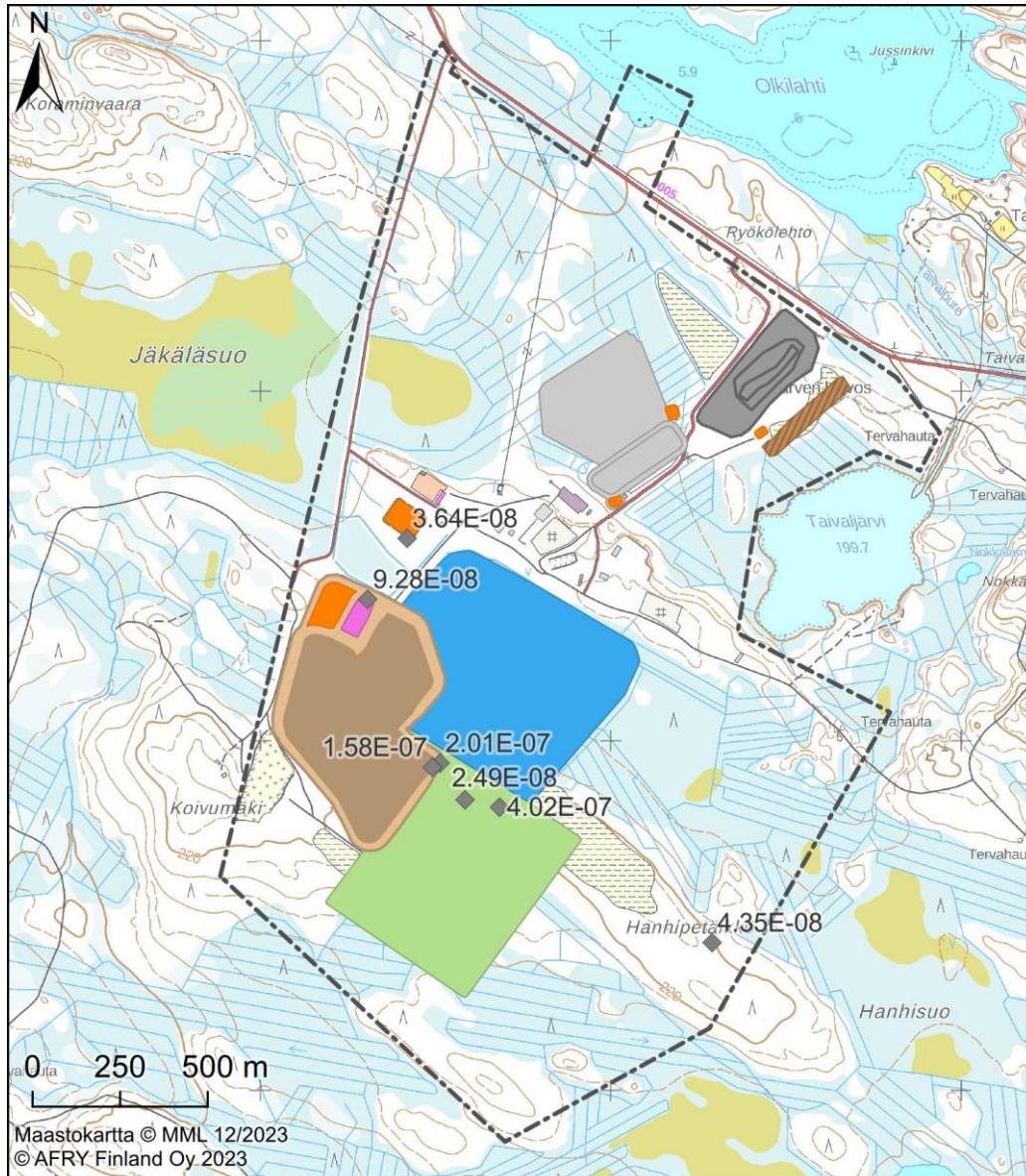
Kaivoksen alueella on tehty runsaasti kairauksia, ja osa syvistä kairarei'istä on kairattu Taivaljärven pohjasta kohti malmimuodostumaa. Maanalaisissa louhinnoissa on osuttu syksyllä 2023 Taivaljärven pohjasta kairattuun reikään, ja reikä on vuotanut runsaasti vettä (Kuva 4-28). Vettä vuotavien maanpinnalle ulottuvien reikien vuotovesimääriä ei ole mukana tässä raportissa esitetyissä kuivatuspumppauksen määrissä.



Kuva 4-28. Louhitun tilan katossa kairareikä, josta vuota vettä maanalaiseen kaivokseen.

4.8 Hydrogeologiset mittaukset

AFRY Finland Oy:n vuoden 2014 pohjatutkimusten yhteydessä tehtiin maaperän vedenjohtavuusmittauksia seitsemässä tutkimuspisteessä (Kuva 4-29). Mittausten perusteella saadut vedenjohtavuuden arvot on esitetty taulukossa 4-2.



- | | |
|---|--|
|  Kaivospiiri |  Rikastushiekka-allas |
|  Tutkimuspisteet, K-arvo |  Rikastushiekka-allas VE1 |
|  Avolouhos |  Rikastushiekka-allas VE2 |
|  Meluvalli |  Selkeytysaltaat |
|  Pyriittiallas |  Sivukivi- ja rajamalmialueet |

Kuva 4-29. Maaperän hydraulista johtavuutta on mitattu seitsemässä tutkimuspisteessä pohjatutkimusten yhteydessä.

Taulukko 4-2. Maaperässä tehdyissä vedenjohtavuusmittauksissa saadut tulokset.

X	Y	K m/s	Maalaji
600289.6	7090423	4.35×10^{-8}	siHkMr
599513	7090936	2.01×10^{-7}	siHkMr, HkMr
599306.2	7091404	9.28×10^{-8}	HkMr
599682.9	7090810	4.02×10^{-7}	siHkMr
599419	7091578	3.64×10^{-8}	siHkMr
599491.5	7090924	1.58×10^{-7}	siHk
599584.2	7090831	2.49×10^{-8}	siHkMr
Keskiarvo		1.37×10^{-7}	
Mediaani		9.28×10^{-8}	

4.9 Hydrogeologinen konseptualisointi

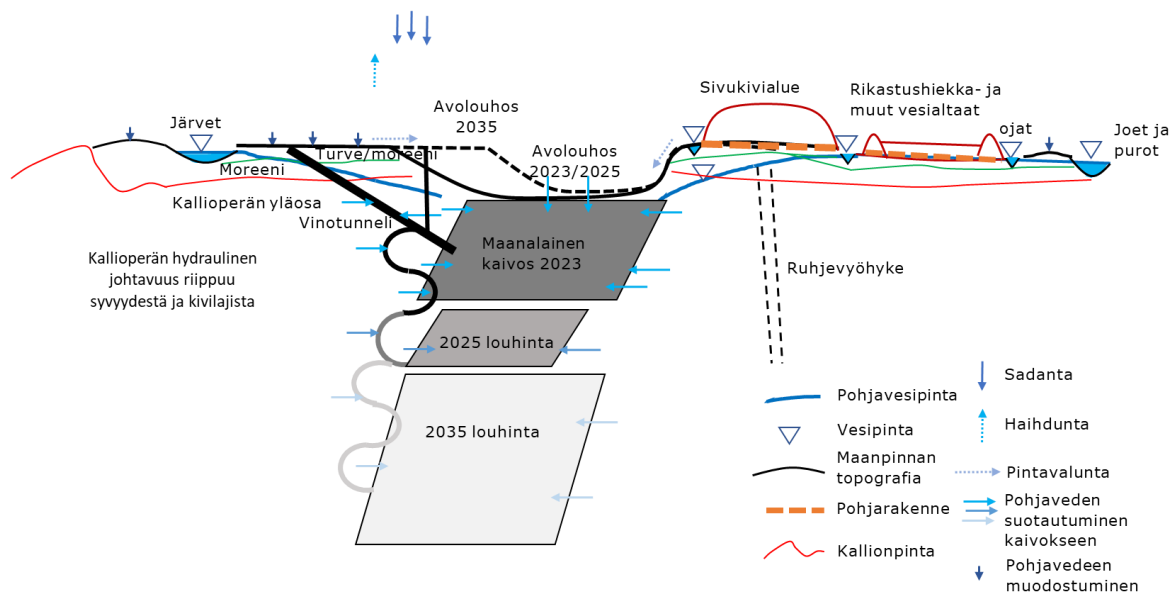
Kaaviomainen poikkileikkaus kuvassa 4-30 esittää rakenteet ja prosessit, jotka huomioidaan numeerisessa 3D-mallinnuksessa, konseptuaalisella tasolla nykytilan mallissa sekä 2025 ja 2035 louhostilanteiden malleissa. Mallinnettava tilavuus on jaettu maaperään ja kallioperään. Maaperä on pääosin moreenia, jonka päällä on suoalueilla turvekerros. Lajittuneita kerroksia esiintyy paikoin. Maaperän vedenjohtavuus riippuu maalajista (moreeni, turve). Maaperäkerroksen alla on rakoilleen kallion vyöhyke ja syvemmällä vähemmän rakoillut kallio. Kallioperässä on alueellisia ruhjevyöhykkeitä. Kallion vedenjohtavuus pienenee syvyyden kasvaessa. Ruhjeissa vedenjohtavuus on korkeampi kuin ympäröivässä kalliassa. Maaperäkerroksen paksuus vaihtelee, ja kallion pinta nousee paikoin maanpinnan tasolle. Sadannasta osa haihtuu ja poistuu pintavaluntana ja lopusta muodostuu pohjavettä, joka voi purkautua jokeen, ojiin, lähteisiin, lampiin ja järviin. Sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrä riippuu maalajista.

Pohjavettä purkautuu avolouhokseen ja maanalaiseen kaivokseen, mikä vaikuttaa pohjaveden virtauksiin. Avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen pinta muodostaa tihkupinnan, jossa pohjavedenpaine on sama kuin ilmanpaine ja vesi poistuu mallista kuivatuspumppauksen seurauksena. Kaivosalueella on sivukivikasoja ja vesialtaita, joista osassa on tiivis pohjarakenne.

Konseptualisoinnissa maanalaista kaivosta yksinkertaistettiin numeerista mallinnusta varten. Mallissa maanalainen kaivos kuvataan louhittujen tilojen osalta tyhjänä tilana ja sulkemisvaiheessa täyttötillavuuksilla vedenjohtavuusarvoina sekä kerroksittain sijoitetuilla viivamaisilla tunneliosuuksilla. Kairausten vaikutusta kallion vedenjohtavuuteen kuvataan kairatulla alueella ympäröivää kairaamatonta

kalliota korkeammilla vedenjohtavuusarvoilla. Yksittäisiä kairareikiä ei simuloida erikseen.

Toiminnan lopettamisen jälkeen sulkemissuunnitelman mukaisesti (AFRY Finland Oy 2022) louhoksen kuivatuspumppaus lopetetaan, jolloin maanalainen kaivos sekä avolouhos täyttyvät vähitellen vedellä ja pohjavesipinta palautuu lähelle kaivosta edeltävää tilaa. Sivukivialueelle ei kaivostoiminnan päättyessä jää tämänhetkisen tiedon mukaan läjitettyä ainesta, vaan kaikki sivukivi hyödynnetään maanalaisen kaivoksen täytöissä. Selkeytysaltaat poistetaan. Rikastushiekka-allas peitetään moreenikerroksella ja pyriittiallas peitetään peittorakenteella, jossa on moreenikerroksia, bentoniittimatto ja HDPE-kalvo. Rikastushiekka-altaalta johdetaan oja louhosjärveen ja louhosjärven ylivuotovedet ohjataan ojaa pitkin Tipasjärveen.



Kuva 4-30. Hydrogeologinen Sotkamo Silverin kaivosalueen konseptualisointi numeerista mallinnusta varten esitettynä kaavamaisena poikkileikkauksena 2023, 2025 ja 2035.

5 Numeerisen 3D-pohjavesimallin muodostaminen

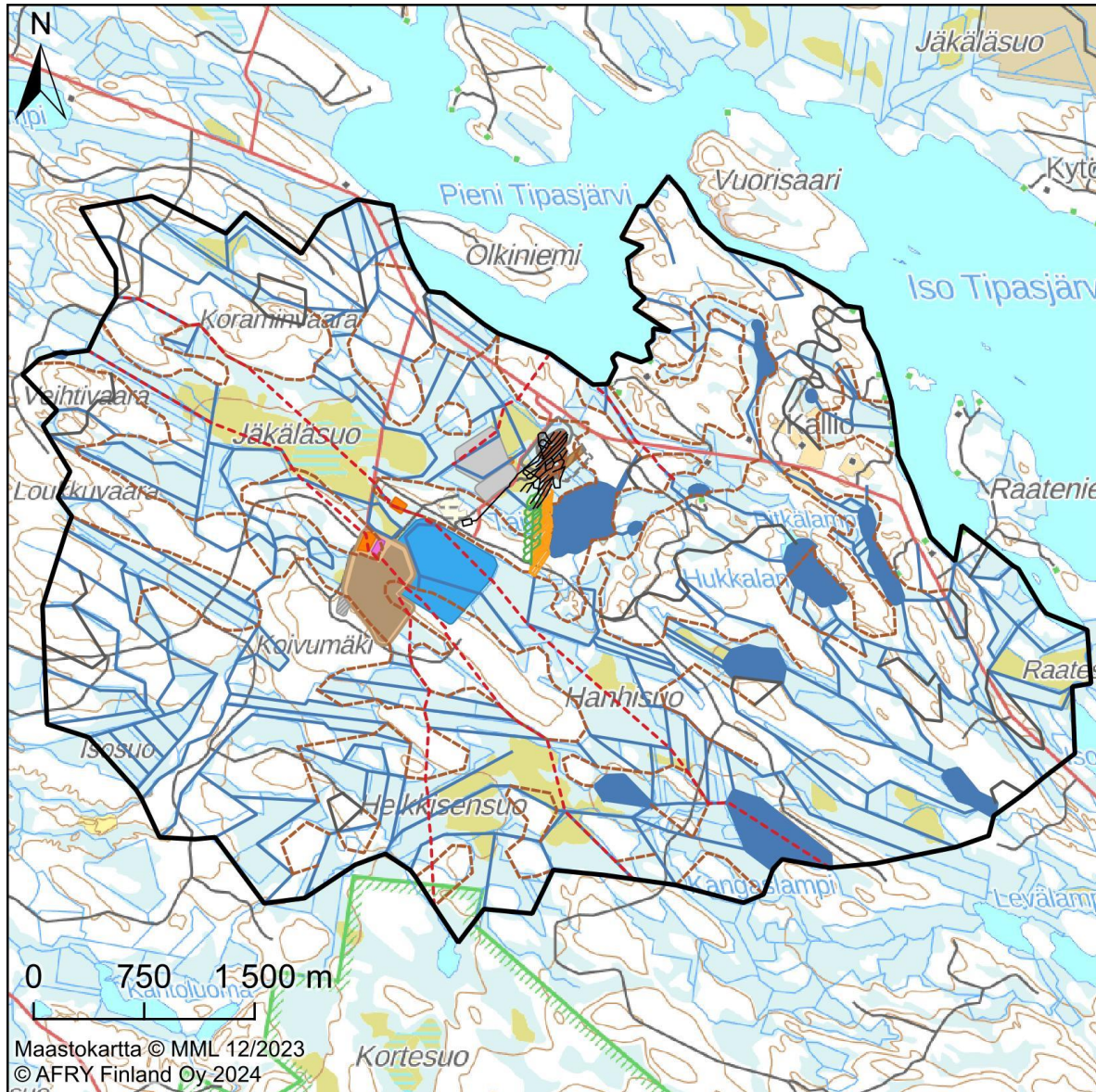
Numeerinen pohjavesimalli perustuu hydrogeologiseen konseptuaaliseen malliin, joka on esitetty luvussa 4.9, ja dataan, joka on esitetty taulukossa Taulukko 2-1.

Numeerinen pohjavesimalli tehtiin FEFLOW-ohjelmalla (v 7.4). FEFLOW perustuu finite-element laskentaan. Malli kalibroitiin saatavilla olevien lähtötietojen perusteella vastaamaan mitattuja pohjavedenpinnan korkeuksia ja nykytilan (vuosi 2023) louhoksen kuivanapitovesimääriä. Kalibroidulla mallilla tehtiin simulointeja tuleville louhosvaiheille vuosille 2025 ja 2035 sekä arvioitiin louhosten vaikutusta ympäristöön, pohjaveden virtaussuuntaa, kuivatusvesimääriä ja alenemakartion laajuutta. Nykytilan (2023), sekä vuosien 2025 ja 2035 mallinnukset tehtiin saturoituneella virtauksella tasapainotilanteen mallina. Kaivoksen kuivatuspumppauksen lopettamisen jälkeinen louhoksen vedellä täyttymisen laskenta tehtiin ajansuhteen muuttuvana eli transienttimallina.

Vuoden 2035 mallissa on mukana laajennettu avolouhos, jolloin simuloidaan laajimman louhintavaihtoehdon vaikutukset. Simuloinnissa avolouhos ja maanalaiset louhitut tilat mallinnettiin avoimina ja tyhjinä tilavuuksina, mikä kuvaa louhinnan aiheuttamia pohjavesivaikutuksia riittävällä tarkkuudella sekä louhe- ja rikastushiekkatäytön (Kaivostäyttö 1) että louhe- ja täyttökivitäytön (Kaivostäyttö 2) vaihtoehtojen osalta. Mallissa on käytetty rikastushiekka-altaan laajennuksen osalta vaihtoehtoa VE1 (Kuva 4-2).

5.1 2D verkko

Mallin rakentaminen alkoi karttatietoon perustuvan horisontaalisen 2D-verkon luomisesta. QGIS-ohjelmassa luodut ja shape-tiedostoiksi tallennetut pintageometriat (Kuva 5-1) vietiin FEFLOW-ohjelmaan. Polygonit ja viivat esittävät mallin rajauksen, 2023/2025 ja 2035 avolouhoksien reunaviivat ja eri syvyystasot, maanalaisen kaivoksen louhitut ja louhitavat tilat, vinotunnelin, alueelliset ruhjevyöhykkeet, ojat, joet ja lammet, lähteet, turve- ja moreenialueet, vesialtaiden patoreunat ja sivukivialueiden reunat. Ojat sisältävät karttaan merkittyjä luonnonojia sekä kaivosalueen ojitukset. Louhosten 2023, 2025 ja 2035 rajaukset on saatu Sotkamo Silveriltä syksyllä 2023.



- | | | |
|------------------------------|------------------------------|--------|
| Mallinnettava alue | Avolouhos 2023-2025 | Oja |
| Meluvalli | Avolouhos 2035 | Ruhje |
| Pyriittiallas | Maanalainen kaivos 2023/2035 | Turve |
| Rikastushiekka-allas | Maanalainen kaivos 2035 | Kallio |
| Rikastushiekka-allas VE1 | Vinotunneli 2023/2035 | Lampi |
| Selkeytysaltaat | Tunneli 2035 | |
| Sivukivi- ja rajamalmialueet | | |
| Tarvekilouhos | | |

Kuva 5-1. Viivat, polygonit ja pisteet, jotka kuvaavat alueen geometriaa ja joita käytettiin 2D-verkon luomiseen.

Kuvassa Kuva 5-2 esitetään FEFLOW-ohjelman tekemä 2D-verkko. Se koostuu 36 581 kolmikulmaisesta elementistä. Verkkoa on tihennetty yllä mainittujen viivojen kohdalla, jotta laskennan tarkkuus paranee suurimpien oletettujen hydraulisten gradienttien kohdalla.



Kuva 5-2. Sotkamo Silverin pohjavesimallia varten luotu 2D-kolmioverkko.

5.2 Kerrosmalli

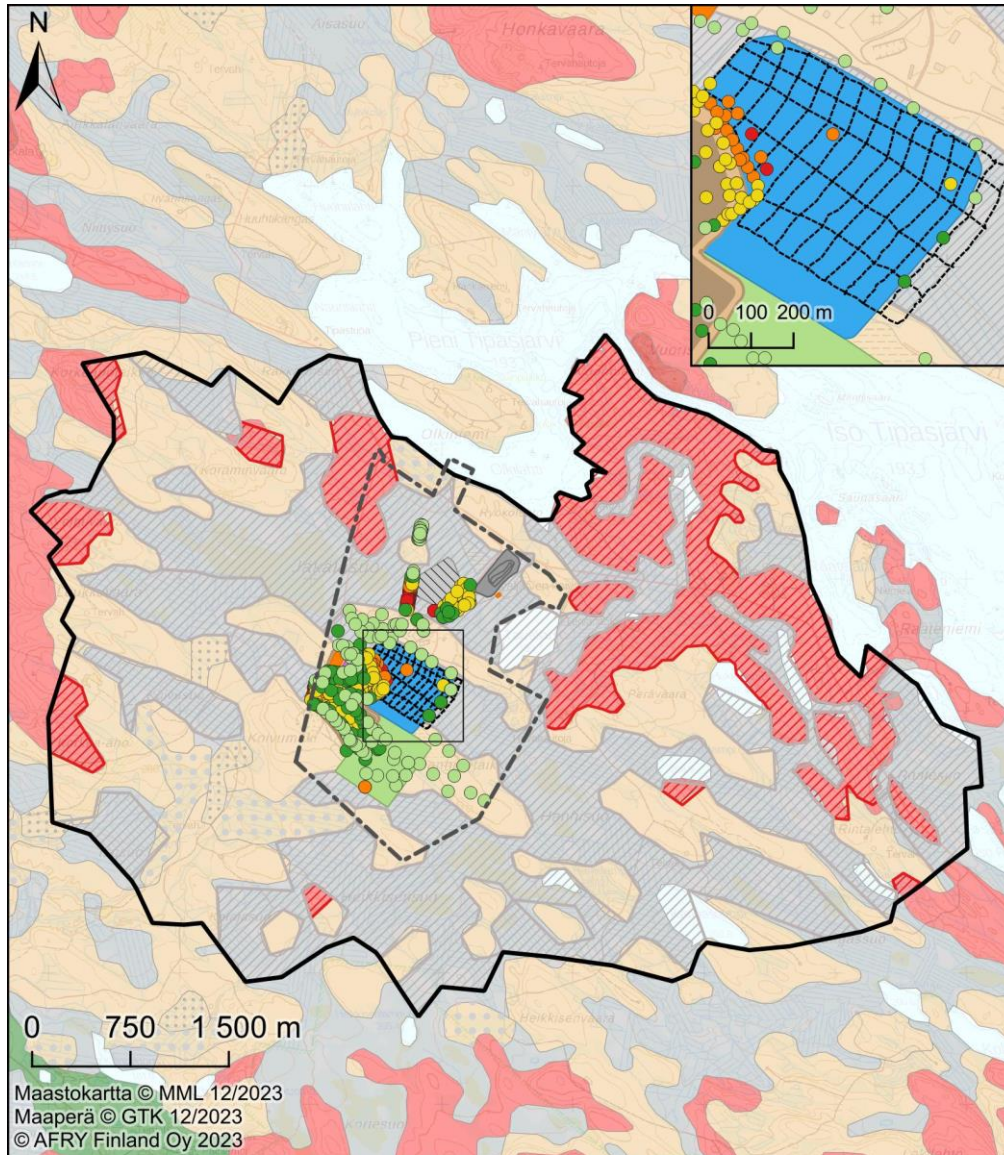
2D-verkon luomisen jälkeen seuraava vaihe on määrittää malligeometrialle vertikaali suunta. ?kaivoksen mallille käytettiin kerrosmallia.

Maaperä on kuvattu mallissa neljällä kerroksella. Ylin kerros on ohut (0,2 m) ja se on varattu sivukivialueiden ja vesivarastoaltaiden kuvaamiseen. Ylin kerros on allas ja sivukivialueiden ulkopuolella maalajien osalta sama kuin mallin toinen kerros. Toinen kerros kuvaa turve- ja moreenialueita, jotka on rajattu mallissa kuvan 5-3 mukaisesti. Kolmas ja neljäs kerros kuvaavat moreenikerrosta. Toisen kerroksen turvealueiden kohdalla kolmannessa ja neljännessä kerroksessa on moreenia. Kalliopaljastumien kohdissa kerrosten 1–4 materiaali on asetettu kallioksi.

Ylimmän kerroksen paksuudeksi asetettiin 0,2 m. Kerroksen paksuutta muutettiin allasalueiden kohdalla vastaamaan suunniteltuja korkeuksia (Selkeytysallas

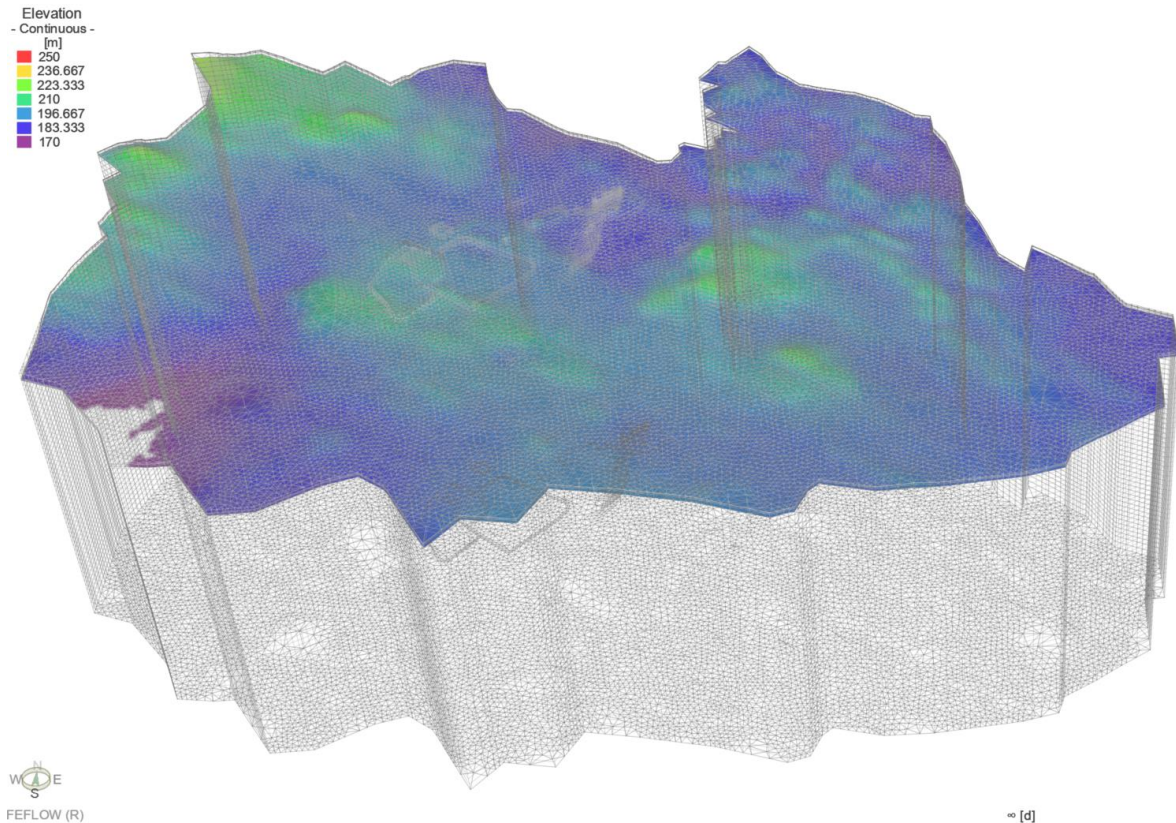
3 +212,8 m mpy, rikastushiekka-allas +227,5 m mpy). Toisen kerroksen paksuus perustuu turvealueilla pohjatutkimuspisteisiin, maaperäkarttaan ja maatutkaluotauksiin (GTK Maankamara-palvelu, Geovisor 2022, Geo-Work 2012, luku 4.4) (Kuva 5-4). Toisen kerroksen alapinnan syvyys laskettiin vähentämällä yllä kuvatulla tavalla laskettu paksuus maanpinnan topografiasta. Mallin pinta noudattaa maanpinnan topografiaa, joka perustuu Maanmittauslaitoksen dataan.

Kallioperän päällä olevan moreenikerroksen paksuudeksi asetettiin 0,5 m. Moreenikerrosta kuvaavan mallin neljännen kerroksen yläpinta laskettiin lisäämällä kalliopinnan korkeuteen 0,5 m. Kallion pintatopografia perustuu maaperäkerroksen syvyyden mallinnukseen (luku 4.4).



Kaivospiiri	Mallinnusalue	Pintamaa
Pyriittiallas	Turvealue	Soistuma (Tvs)
Selkeytsaltaat	Kallioalue	Ohut turvekerros (Tvo)
Avolouhos	Maatutkalinjat	Pohjamaa (<1 m)
Rikastushiekka-allas	Turvekerroksen paksuus	Kalliopaljastuma (KaPa)
Rikastushiekka-allas VE1	Turve, <1 m	Kallioma (Ka)
Rikastushiekka-allas VE2	Turve, 1-2 m	Sekalajitteinen maalaji, päälaitetta ei selvitetty (SY)
Sivukivi_simple_poly	Turve, 2-3 m	Karkearakeinen maalaji, päälaitetta ei selvitetty (KY)
	Turve, 3-4 m	Paksu turvekerros (Tvp)
	Turve, >4 m	Vesi (Ve)

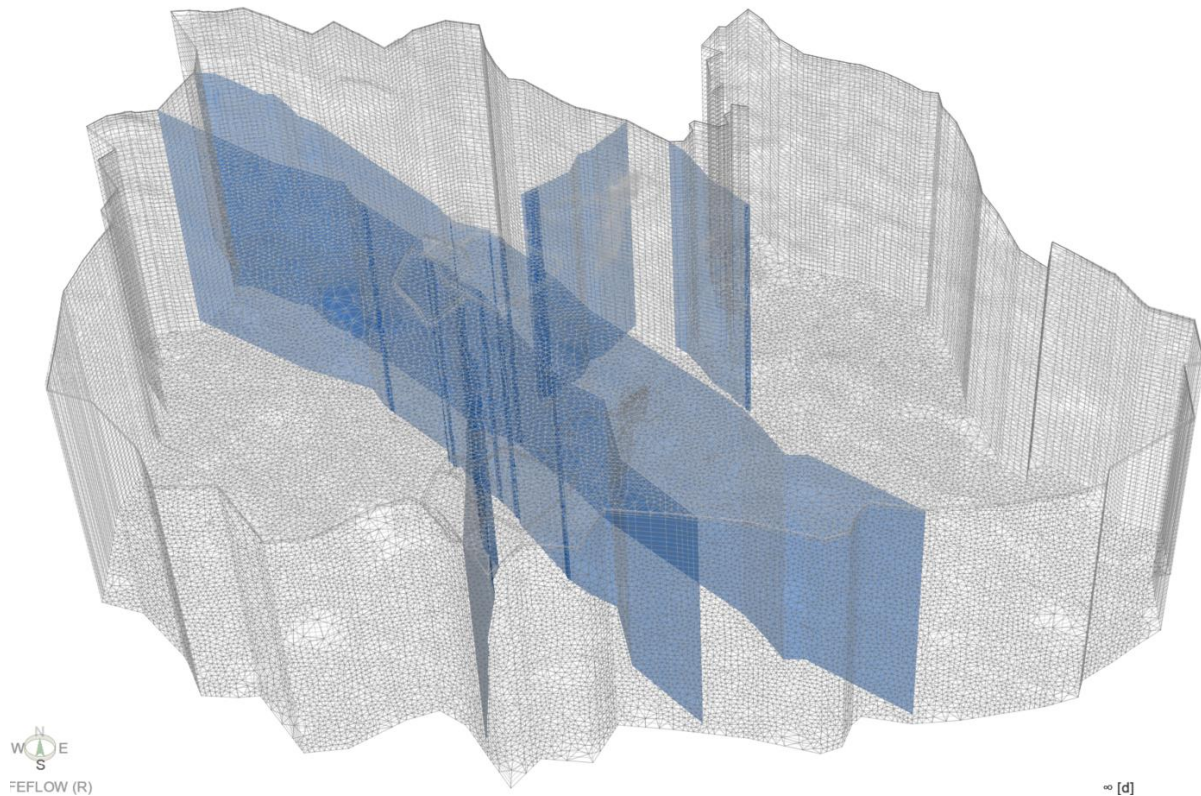
Kuva 5-3. Maaperäkartaan, pohjatutkimuspisteisiin ja maatutkaluotauksiin perustuvat malliin määritellyt turve- ja kallioalueet merkitty vinoviivoitetuilla alueille. Loppu alueesta on asetettu mallissa moreeniksi.



Kuva 5-4. 3D-visualisointi mallin geometriasta FEFLOW-mallissa. Kallion pinta on esitetty väripintakarttana (m mpy).

Mallinnettu kalliotilavuus jaettiin 51:een 20 m paksuun kerrokseen. Kalliopinnan topografia (sama kuin maaperäkerroksen syvyys) perustuu kairaustietoihin ja geofysiikan aineistoihin (kts. luku 4.4). Kerrokset 5–16 noudattavat kallion topografiaa ja kerrokset 17–53 on asetettu 20 m välein tasasyvyyksille välille –20...–850 m mpy. Mallin alimman kerroksen pohja on asetettu tasolle –850 m mpy. Kuvassa 5-4 esitetään 3D-visualisointi mallin geometriasta. Malli koostuu 2 048 536 elementistä.

Kuvassa Kuva 5-5 esitetään 3D-visualisointi mallista niin, että viisi mallinnettua ruhjevyöhykettä näkyy sinisinä pintoina. Ruhjevyöhykkeet mallinnettiin pystyasentoisina ja ne perustuvat GTK:n tulkintoihin. Kaikkien ruhjeiden oletetaan jatkuvan kalliopinnasta mallin toiseksi alimman kerroksen yläpintaan.



Kuva 5-5. Alueelliset ruhevyöhykkeet sinisellä.

5.3 Reunaehdot

Malligeometrian luomisen jälkeen malliin määriteltiin reunaehdot. Reunaehto-
 määrittelyt ovat seuraavat:

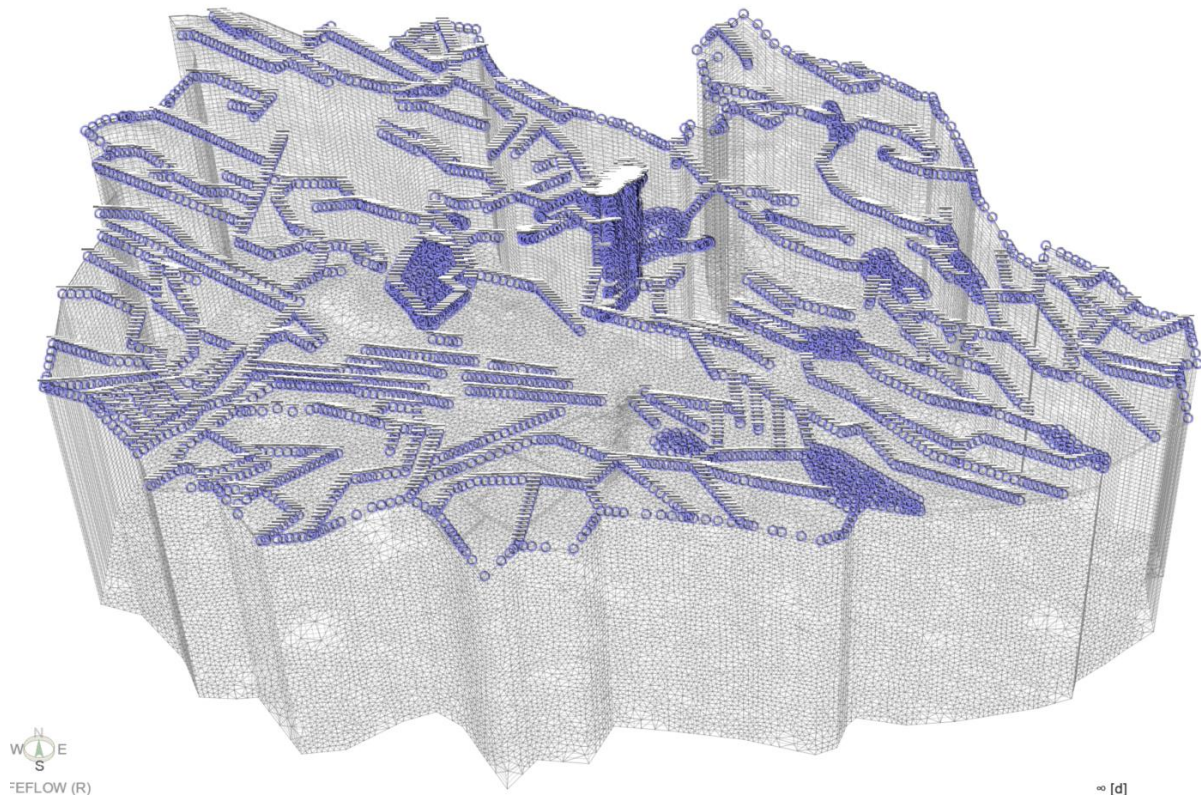
- Ei-virtausta reunaehto kaikille mallin reunoille lukuun ottamatta niitä, joihin määritettiin vakiopaine-ehto (katso alla)
- Vakiopaine reunaehto asetettiin seuraaville mallin reuna-alueille: Tipasjärvi (Olkilahti, Syväälmi, Raatelahti ja Pieni Raatelampi) 193,1 m mpy, Raatejoki 193,2 m mpy, Iso Raatelampi 193,3 m mpy, Kaihlalampi 200,8 m mpy, Kangaslampi 206,8 m mpy, Heikkisenlampi 205,4 m mpy ja Veihtilampi 211,6. Lisäksi mallin etelä- ja länsireunalla ojiin rajautuvissa reunakohdissa asetettiin vakiopainereunaehto 1,5 metriä maanpinnan alapuolelle.
- Vakiopaine reunaehto asetettiin myös mallin alueella oleviin lampiin seuraavasti Taivaljärvi 199,7 m mpy, Hanhilampi 207,8 m mpy, Lehmilampi 208,9 m mpy, Hukkalampi 207,4 m mpy, Pitkälampi 203,0 m mpy, Kalliolampi 194,7, Raskolammit 196,5 m mpy ja Nokkalampi 200,0 m mpy.
- Vakiopainereunaehto virtauksen malliin estävällä rajoituksella mallin alueella oleviin jokiin, puroihin ja ojiin. Vakiopaine-ehto jokaisessa noodissa asetettiin 1,5 metriä mallin yläpinnan alapuolelle.

- Sisään virtaus pinnalla -reunaehto eli pohjaveden imeytyminen sadannasta asetettiin mallin ylimpään kerrokseen. Pohjaveden muodostumisen arvona käytettiin moreenialueilla 170 mm/vuosi (27 % sadannasta), turvealueilla 180 mm/vuosi (30 % sadannasta), kallioalueilla 30 mm/vuosi (5 % sadannasta) ja avolouhoksen kohdalla 260 mm/a, mikä perustuu Sotkamo Silveriltä saatuun tietoon (luku 4.7). Sotkamon alueella keskimääräinen vuosisadanta on 622 mm/vuosi (viimeisen 12 vuoden keskiarvo, Ilmatieteen laitos 2023 Sotkamo Kuolaniemi). Loppuosa sadannasta poistuu haihdunnan ja pintavalunnan myötä.

Kaivoksen vuosien 2023, 2025 ja 2035 simuloinnissa maanalaisen kaivoksen geometriaa yksinkertaistettiin ja tehtiin seuraavat asetukset:

- Avolouhoksen maanalaisten louhittujen tilojen sisällä olevat verkon elementit asetettiin epäaktiivisiksi ja avolouhoksen sekä maanalaisten tilojen pinta tihkupinnaksi (seepage face).
- Vinotunnelia ja kuilua kuvaavat verkon solmupisteet (noodit) asetettiin tihkupinnaksi (seepage face).
- Sivukivialueiden sekä vesivarastoaltaiden ympärille asetettiin ojat 1,5 metriä mallin yläpinnan alapuolelle.
- Mallin pintatopografiaan lisättiin vesivarastoaltaiden patorakenteet (luku 5.2).
- Rikastushiekka-altaan patojen kohdalla pohjaveden muodostumiseksi asetettiin 0 mm/a.
- Vesivarastoaltaisiin asetettiin vakioaine reunaehdot seuraavasti: rikastushiekka-allas 223,5 m mpy, selkeytysallas 3 211,3 m mpy.

Kuvassa Kuva 5-6 esitetään 3D-näkymä nykytilan mallista. Vakioainereunaehto nykytilan mallissa on merkitty sinisellä ympyrällä ja virtauksen malliin estävä rajoite valkoisella viivalla ympyrän päällä.



Kuva 5-6. Malliin asetetut vakiopainereunaehdot nykytilanmallissa.

5.4 Materiaalien ominaisuudet

Pohjavesimallissa vedenjohtavuus määriteltiin kaikille mallin elementeille.

Mallissa maaperäkerroksissa (kerrokset 1–4) käytetyt hydraulisen johtavuuden arvot on esitetty taulukossa Taulukko 5-1. Mallissa maaperäkerroksen moreenialueiden hydraulisen johtavuuden arvo perustuu pohjatutkimusten yhteydessä tehtyihin vedenjohtavuuden mittauksiin (AFRY Finland Oy 2014, luku 4.8). Mallissa käytettiin kallion päällä olevan pohjamoreenikerroksen hydraulisena johtavuutena mittausten keskiarvoa $1,4 \times 10^{-7}$ m/s ja kerroksissa 1–3 arvoa $3,0 \times 10^{-7}$ m/s. Turvealueilla ei ole tehty hydraulisen johtavuuden mittauksia eikä maatuneisuusaste ole tiedossa. GTK:n maaperäkartan mukaan turvetyyppi on rahkaturvetta. Turpeen vedenjohtavuus riippuu turvetyypistä, syvyydestä ja turpeen maatuneisuusasteesta. Rahkaturpeen vedenjohtavuus vaihtelee syvyydestä ja maatuneisuusasteesta riippuen välillä $2,3 \times 10^{-8}$... $1,9 \times 10^{-5}$ m/s (Kesäniemi 2009). Mallissa turpeen hydrauliseksi johtavuudeksi arvioitiin 2×10^{-6} m/s. Kalliopaljastumilla hydrauliseksi johtavuudeksi asetettiin 1×10^{-6} m/s. Turve-, moreeni ja kallioalueiden rajaukset on esitetty kuvassa 5-3.

Taulukko 5-1. Mallissa käytetyt maa- ja kallioperäkerrosten hydrauliset johtavuudet.

Kerros	Maalaji	K (m/s) maaperän slug- testien perusteella
Kerros 1	Moreeni	$3,0 \times 10^{-7}$
	Turve	$2,0 \times 10^{-6}$
	Kallio	$1,0 \times 10^{-6}$
Kerros 2	Moreeni	$3,0 \times 10^{-7}$
	Turve	$2,0 \times 10^{-6}$
	Kallio	$1,0 \times 10^{-6}$
Kerros 3	Moreeni	$3,0 \times 10^{-7}$
	Kallio	1×10^{-6}
Kerros 4	Moreeni	$1,4 \times 10^{-7}$
	Kallio	1×10^{-6}

Kalliolle asetettiin syvyyden mukaan pienenevä hydraulisen johtavuuden arvo (Taulukko 5-2). Taivaljärven ja avolouhoksen väliselle tiheästi kairatulle kallio-osuudelle asetettiin ympäröivää kalliota 3 kertaa korkeampi vedenjohtavuus kuvaamaan kairanreikien takia kohonnuttua vedenjohtavuutta.

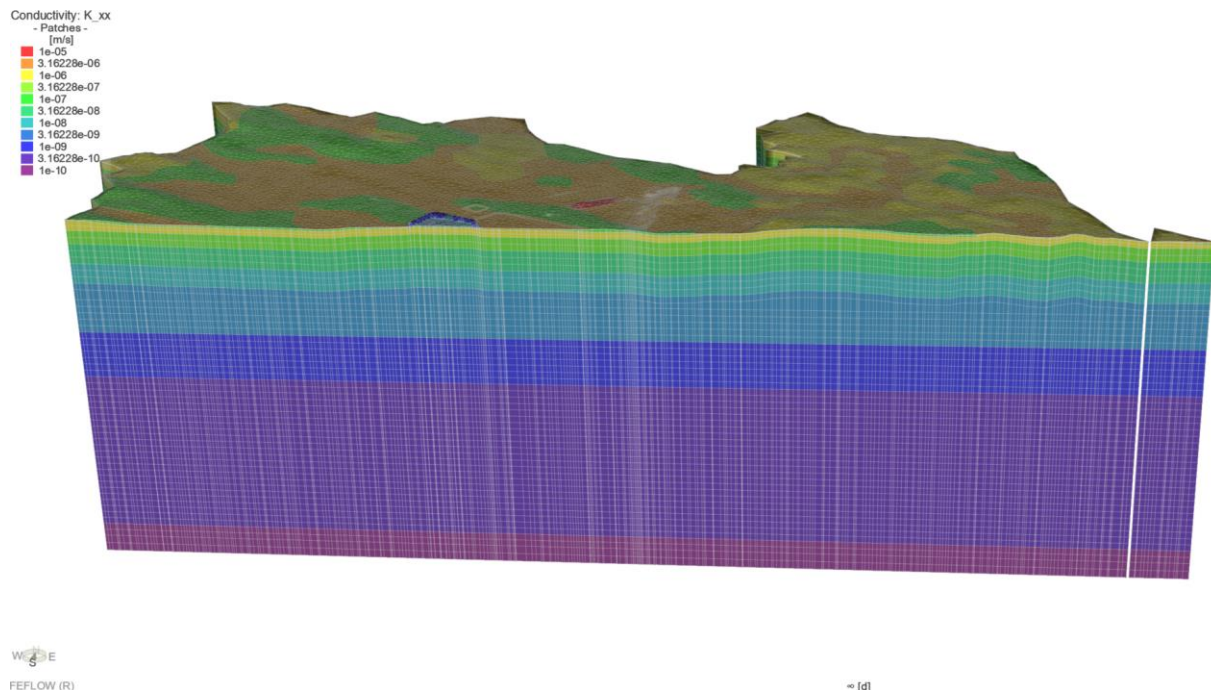
Ruhjevyöhykkeet toteutettiin tasomaisina erillisinä objekteina (FEFLOW discrete features), jotka lisäävät hydraulista johtavuutta tasoa pitkin Darcyn lain mukaan mallissa. Ruhjeiden vedenjohtavuudesta ei ole mittaustietoa. Jokaisen ruhjevyöhykkeen paksuudeksi asetettiin 10 m ja hydrauliseksi johtavuudeksi 2×10^{-7} m/s.

Taulukko 5-2. Pohjavesimallin kalliokerroksissa käytetyt hydraulisen johtavuuden arvot.

Syvyys kallion pinnasta, m (mallikerros)	Kallio Kxy, m/s	Kallio Kz, m/s
0-20 (L5-6)	1×10^{-6}	$3,3 \times 10^{-7}$
20-60 (L7-8)	2×10^{-7}	$6,7 \times 10^{-8}$
60-90 (L9-11)	3×10^{-8}	1×10^{-8}
90-120 (L12-14)	1×10^{-8}	$3,3 \times 10^{-9}$
120-280 (L14-22)	5×10^{-9}	$1,7 \times 10^{-9}$
280-560 (L15-28)	1×10^{-9}	$3,3 \times 10^{-10}$
560-1000 (L28-52)	3×10^{-10}	1×10^{-10}
1000-1080 (L53-56)	1×10^{-10}	$3,3 \times 10^{-11}$

Vesivarastoaltaiden kohdalla mallin ylin kerros kuvaa altaiden patomoreenikerrosta ja rikastushiekkaa, sivukivialueen kohdalla sivukiveä. Sivukivialueelle asetettiin melko korkea vedenjohtavuus 7×10^{-4} m/s ja rikastushiekalle $2,2 \times 10^{-6}$ m/s. Rikastushiekka-altaan padoille asetettiin vedenjohtavuudeksi 1×10^{-9} m/s ja selkeytysaltaan padolle 1×10^{-6} m/s. Sivukiven ja rikastushiekka-altaan pohjarakenteelle mallin kerrokseen 2 määritettiin vedenjohtavuudeksi 1×10^{-9} m/s. Selkeytysaltaalla ei ole tiivistä pohjarakennetta.

Kuvassa Kuva 5-2 esitetään länsi-itä- suuntainen poikkileikkaus mallista. Poikkileikkauksessa näkyy mallin eri kerrokset ja niiden paksuuden vaihtelu alueittain sekä kerroksissa eri alueille asetetut vedenjohtavuuden arvot (K m/s).



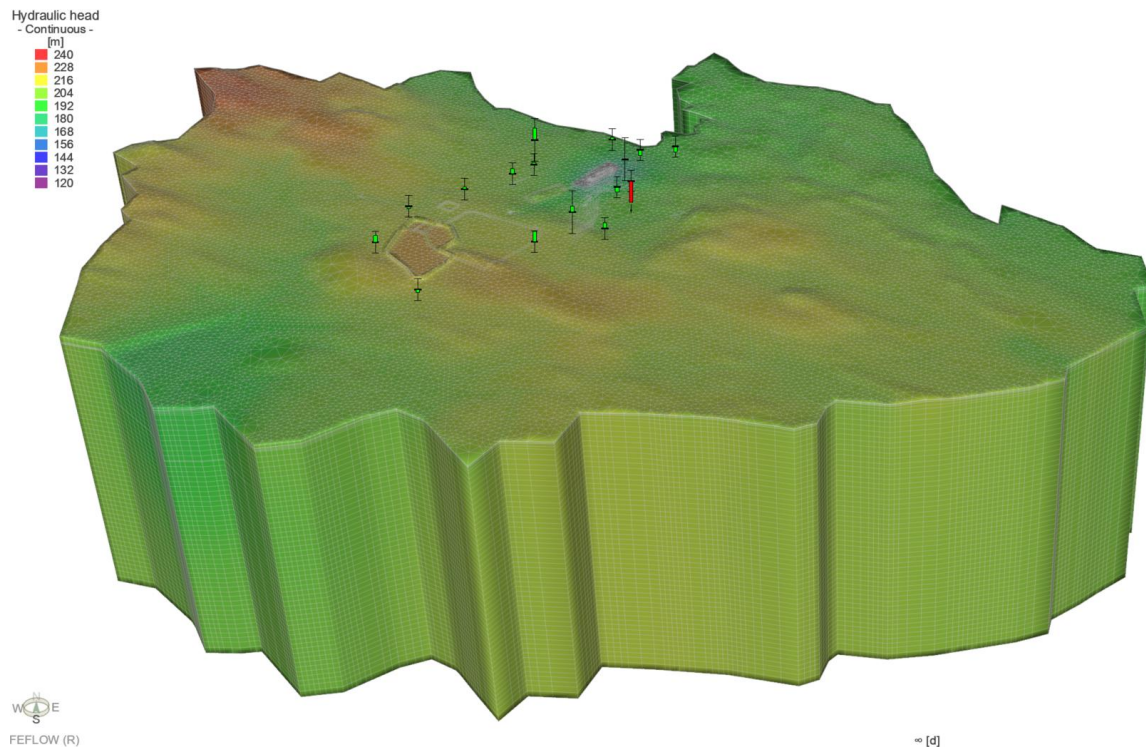
Kuva 5-7. Länsi-itä-suuntainen poikkileikkaus nykytilan mallista, jossa näkyy mallin kerrokset ja eri materiaaleille asetetut K-arvot väripintoina.

5.5 Kalibrointi

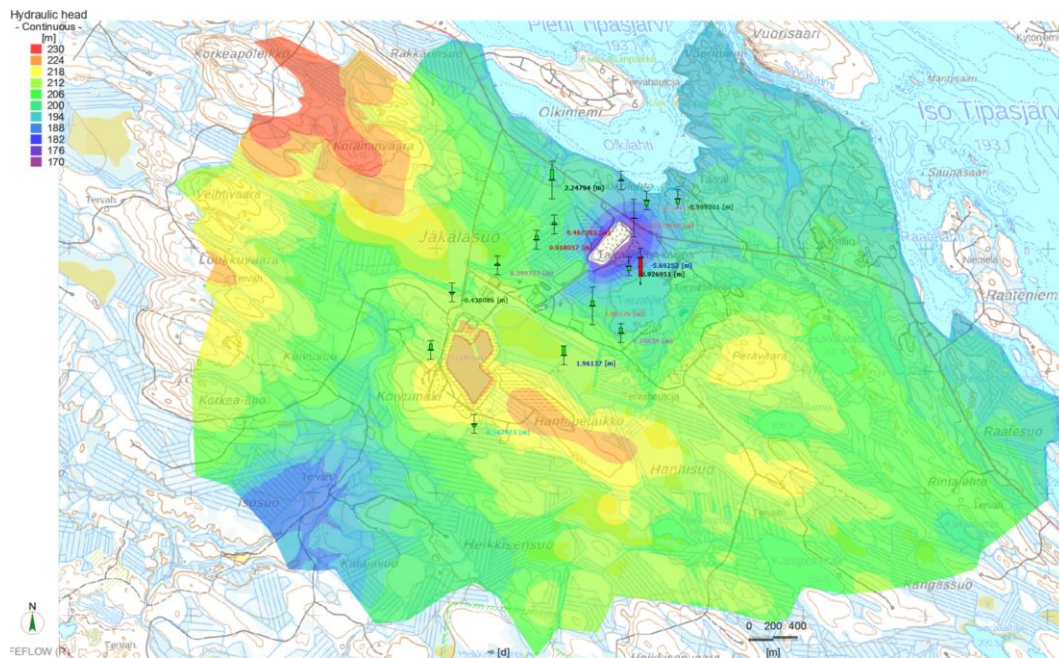
Mallin kalibrointi tehtiin pohjavesiputkista mitattujen pohjavedenpitojen ja louhoksen kuivatusvesimäärän 2022–2023 perusteella (1250–1280 m³/vrk, luku 4.7). Edellisissä kappaleissa on esitetty mallissa käytetyt reunaehdot ja materiaalien ominaisuudet, jotka tuottivat hyvin kaivoksen nykytilaa vastaavan laskentatuloksen.

Kalibroinnissa mallin laskema pohjaveden pinta asettui matalalle maakerrokseen, lähelle maanpintaa tai suoalueilla paikoin hiukan sen yläpuolelle, ja sopi hyvin yhteen alueella pohjavesiputkista mitattujen pohjavedenpintojen kanssa (Kuva 5-8). Eniten eroa mallin ja mittaustulosten välillä on kairareiässä Ka50. Kalibroidussa mallissa louhokseen suotautuvan pohjavedenmäärä on 1290 m³/vrk, arvo sisältää avolouhoksesta maanalaiseen louhokseen kulkeutuvan sadeveden.

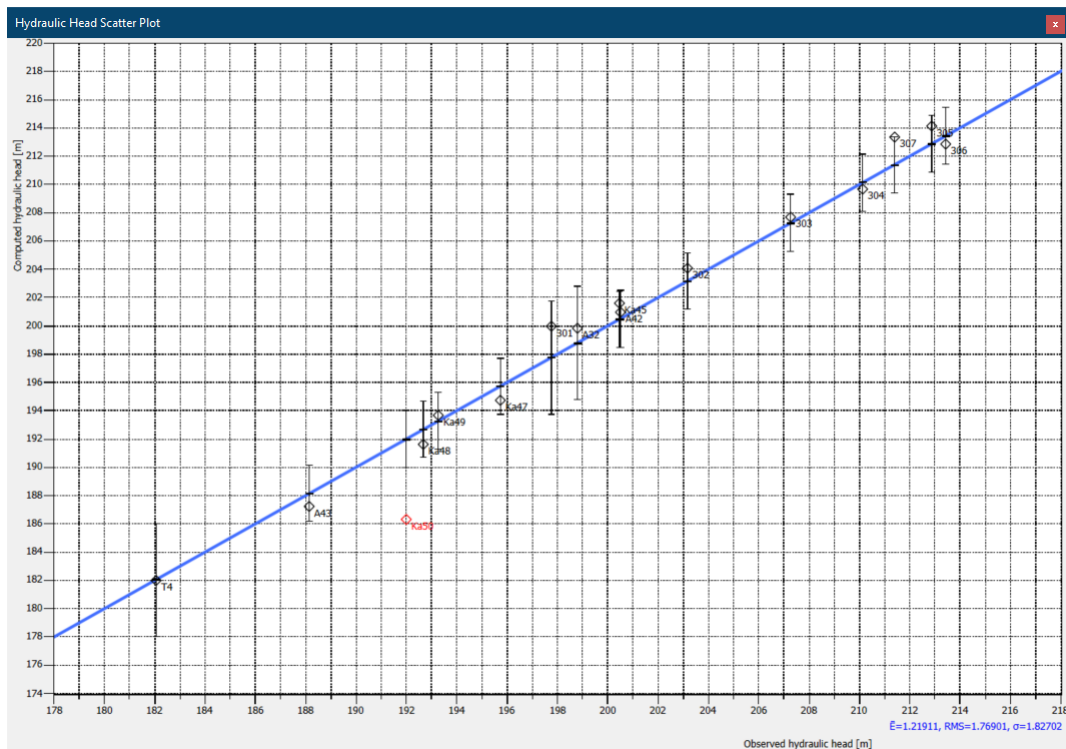
a)



b)



c)



Kuva 5-8. Hydraulinen painekorkeus numeerisessa mallissa (musta vinoneliö) ja pohjaveden pinnankorkeuden mittaustulokset pohjavesiputkista (sininen viiva) esitettynä a) 3D-malligeometriassa, b) 2D-karttaesityksenä ja c) kaaviokuvassa.

5.6 Mallinnuksen tulokset

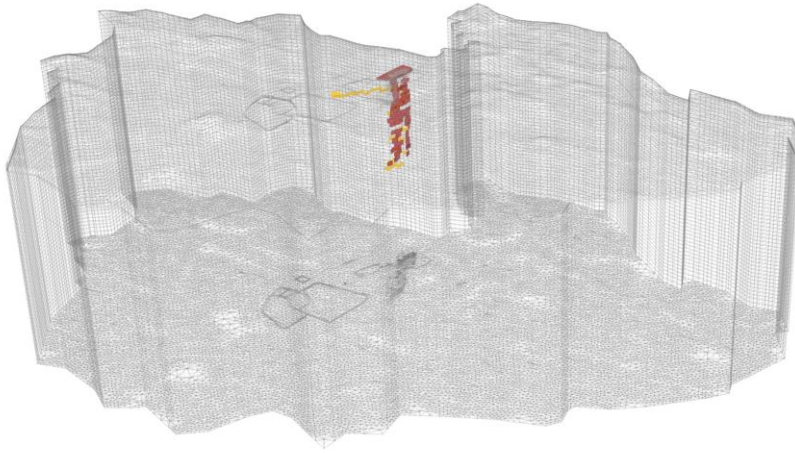
Mallinnus tehtiin neljässä eri vaiheessa vuosille 2023, 2025 ja 2035 sekä sulkemisen jälkeiselle tilanteelle. Vuosien 2023, 2025 ja 2035 mallit tehtiin tasapainotilamalleina ja sulkemisen jälkeinen malli ajan mukaan muuttuvana transienttitilan mallina. Simulointien tuloksena saatiin arvio kaivokseen suotautuvan pohjaveden määrästä sekä kaivoksen aiheuttamasta pohjavedenpinnan alenemakarttion laajuudesta. Kuvassa 5-9 on esitetty, maanalaiset tilat vuosina 2023, 2025 ja 2035. Vuosien 2025 ja 2035 visualisoinneissa on selkeyden vuoksi esitetty louhittavien tilavuuksien osalta vain laajennusosuudet.

Vuoden 2035 mallissa rikastushiekka-altaan laajennus otettiin vaihtoehtoon VE1 mukaisena mukaan louhosten vaikutusten ennustesimulointeihin (Kuva 4-2).

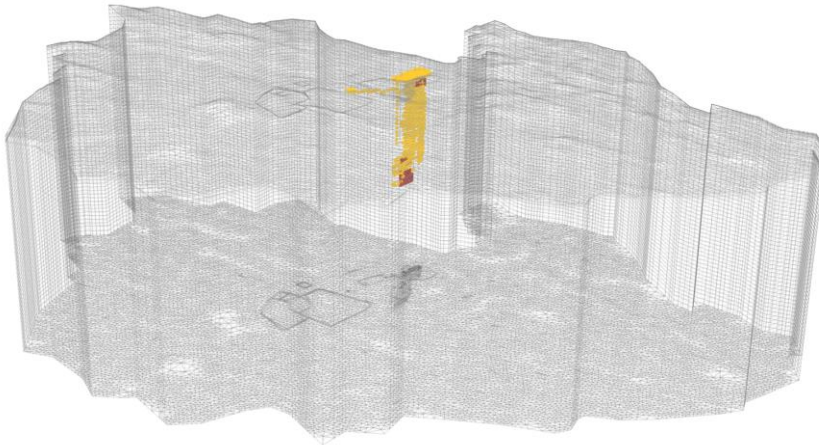
Raportissa esitetty pohjavesipinnan alenema on vuoden 2035 tarkastelussa rajattu puoleen metriin mallinnuksessa käytettyihin lähtötietoihin, ennusteiden aikajänteeseen ja laskentaverkon tarkkuuteen perustuen. Esimerkiksi aleneman laskennassa pohjavesipinnan lähtötilanteelle ei ole käytettävissä mittaushavaintoja kaivosalueen ulkopuolisen alueen pohjaveden pinnan korkeudelle. Myös kallionpinnan topografian tarkkuus on kairatun alueen

ulkopuolella heikompi, kun kairauksista saatava maaperän paksuustieto puuttuu. Näin ollen laskentaverkko on harvempi alueilla, joilla lähtötietoja on niukemmin saatavilla.

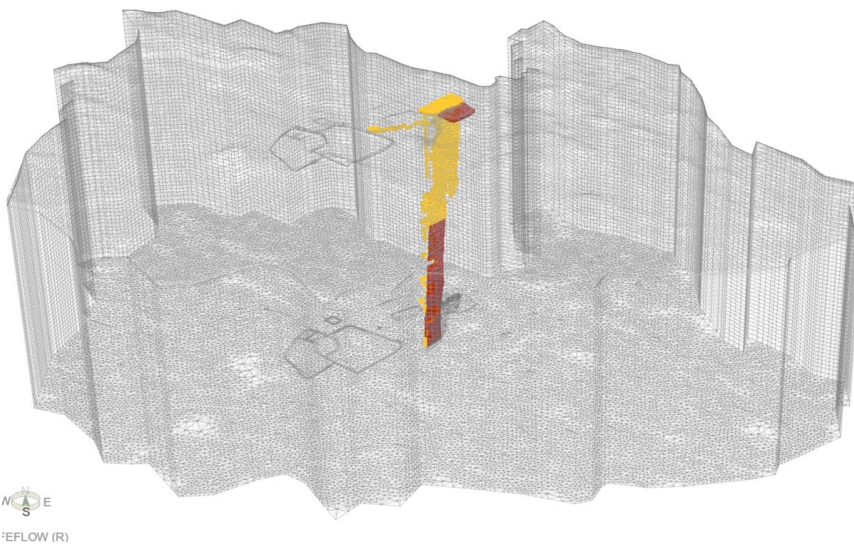
a)



b)



c)



Kuva 5-9. Kaivos vuosina a) 2023, b) 2025 ja c) 2035.

5.6.1 Vaihe 1, vuosi 2023

Vaiheessa 1 simuloitiin nykyisen kaivoksen vaikutusta eli vuoden 2023 tilannetta. Kaivoksen alueella maanpinnan taso on noin 200 m mpy. Avolouhoksen koko on noin 280 m × 130 m, ja se on noin 30 m syvä (alin taso noin -173 m mpy). Maanalainen kaivos ulottuu noin 440 m syvyydelle maanpinnasta syvyydelle -240 m mpy. Avolouhoksen simuloimiseksi louhoksen pinta asetettiin mallissa tihkupinnaksi (seepage face). Mallin ylimmän kerroksen topografiassa on mukana sivukivialueet ja vesivarastoaltaat.

Maanalainen kaivos mallinnettiin yksinkertaistettuna (ks. luku 4.9). Maanalaisen kaivoksen louhittu tilavuus mallinnettiin tyhjinä tilavuuksina (Kuva 5-9). Tunnelit mallinnettiin kerroksittain sijoitetuilla tunneliosuuksilla, ja niihin ja louhitun tilavuuden pinnalle asetettiin tihkupinta (seepage face).

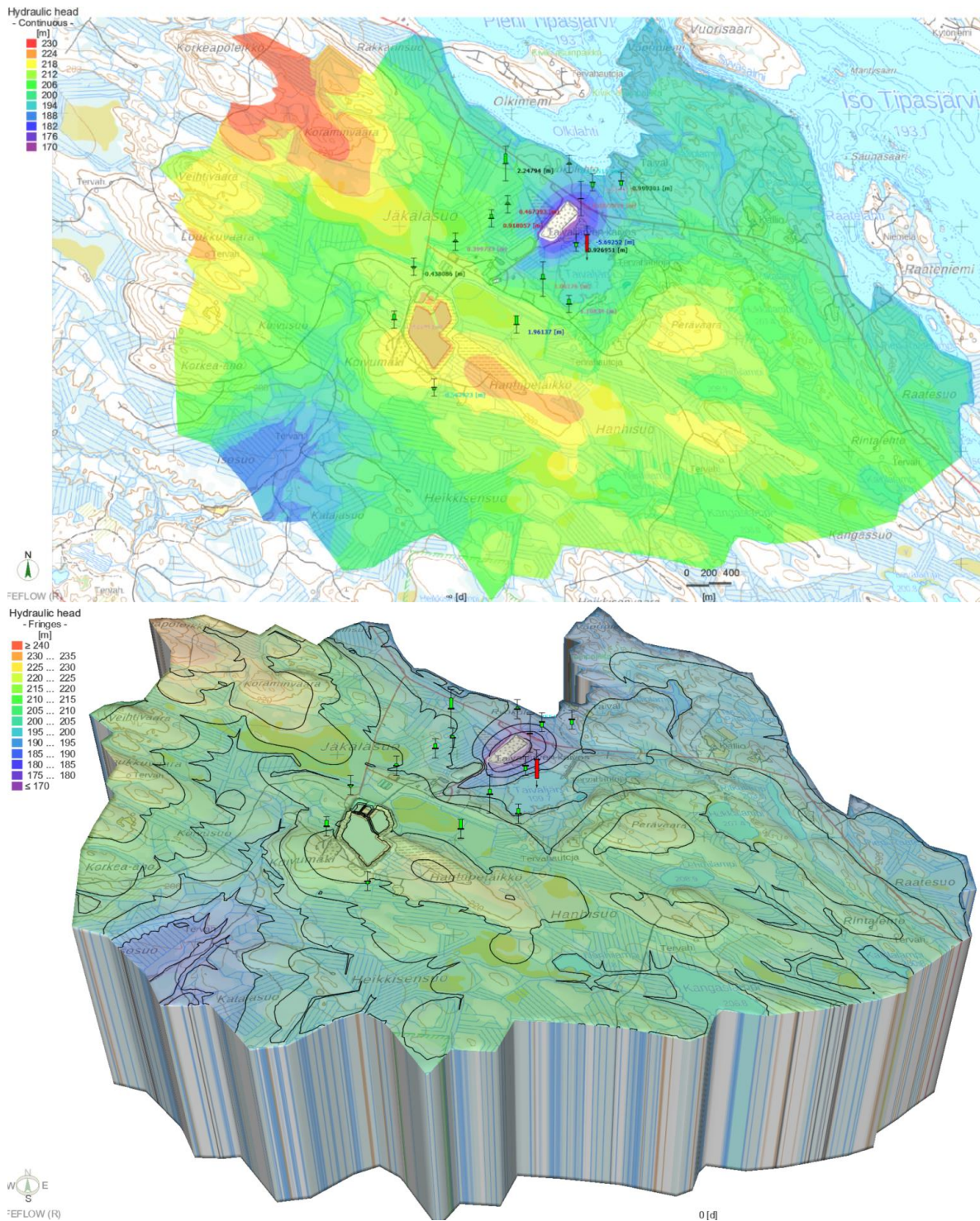
Mallissa maaperän ja kallioperän hydrauliset johtavuudet asetettiin kalibroinnin yhteydessä niin, että mallin tuottama laskettu kaivoksen suotovesimäärä vastaa riittävän hyvin kuivatuspumppausten mittauksiin perustuvassa suotovesimäärän arviossa saatuja lukemia (kts Luvut 4.7 ja 5.5).

Kuvassa 5-10 on esitetty pohjaveden pinnankorkeus mallin ylimmässä kerroksessa vuonna 2023. Taustatietona on esitetty maastokartta sekä pohjavesiputkista mitatut pinnankorkeudet. Lisäksi kuvassa 5-11 esitetään hydraulinen painekorkeus eri tasoille: moreenikerroksen pinta (mallikerros kolme), kallioperän pinta (mallikerros 5) ja syvyydet 0 m, -100 m ja -180 m mpy.

Kuvassa 5-12 esitetään mallinnustulokset poikkileikkauksissa, jotka leikkaavat maanalaisen kaivoksen ja avolouhoksen. Väriskaala kuvaa laskettua pohjaveden painetta ja valkoinen viiva nollapainetta eli pohjavedenpintaa. Pohjavedenpinta seuraa avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen pintaa melko lähelle maanpintaa ja muodostaa sitten muutaman sadan metrin laajuisen alenemakartion avolouhoksen ympärille.

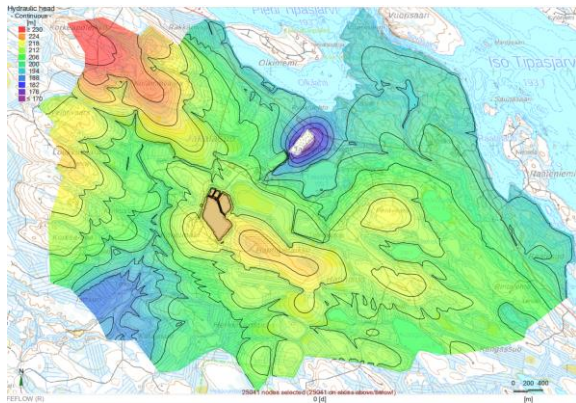
Kuvassa 5-13 esitetään pohjaveden suotautumisen jakautuminen louhos- ja tunneliseinämille, pallon koko ja väri kuvaa pohjaveden suotautumisen määrää. Pohjavettä suotautuu eniten kallioperän yläosassa vinotunnelissa ja louhittujen tilavuuksien ylimmissä osissa.

Vaiheen 1 simuloinnin tulosten perusteella kaivoksen suotovesimäärä on yhteensä noin 1295 m³/vrk, kun sadannan mukana avolouhoksen kautta kaivokseen tuleva vesi lasketaan mukaan.

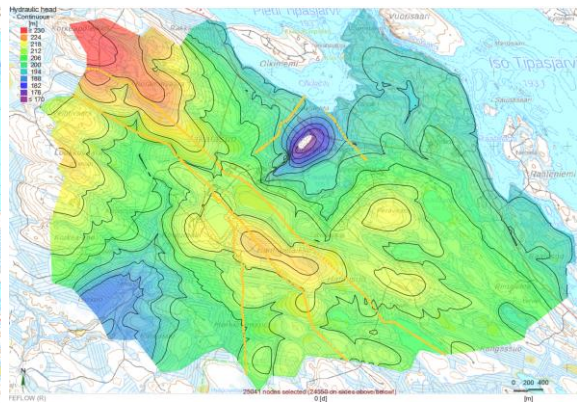


Kuva 5-10. Pohjaveden pinnankorkeus vuonna 2023.

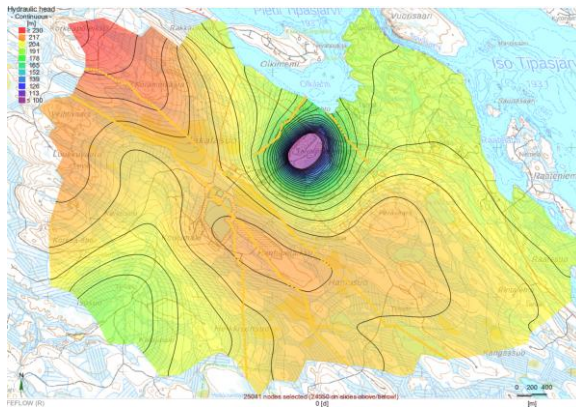
a)



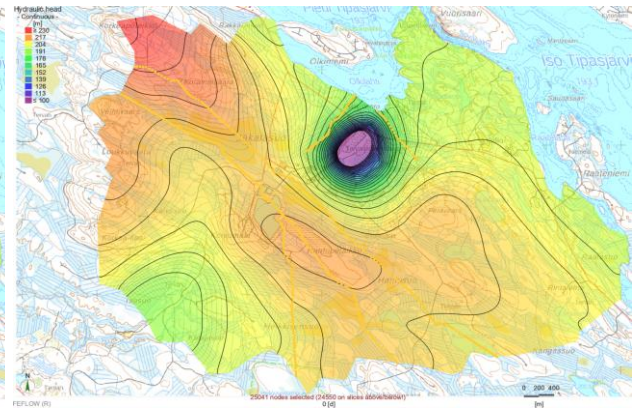
b)



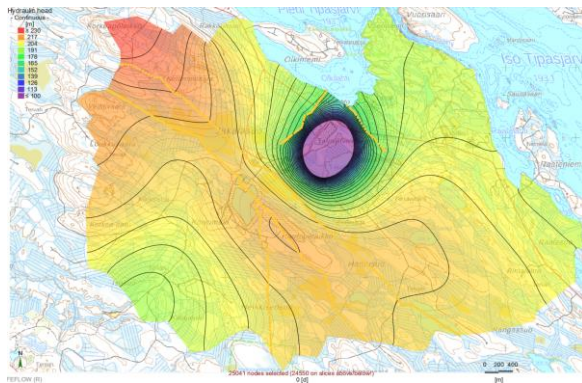
c)



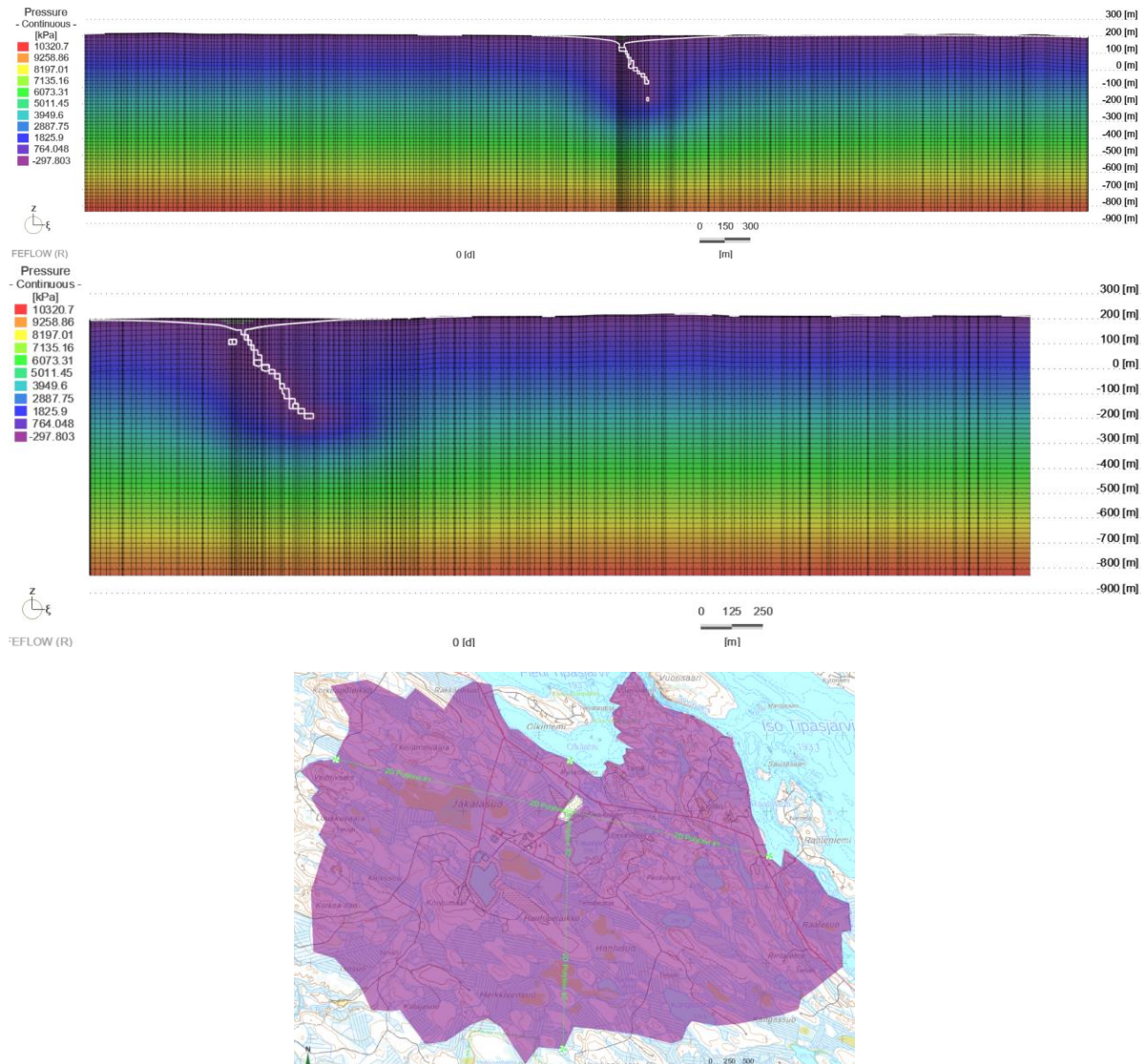
d)



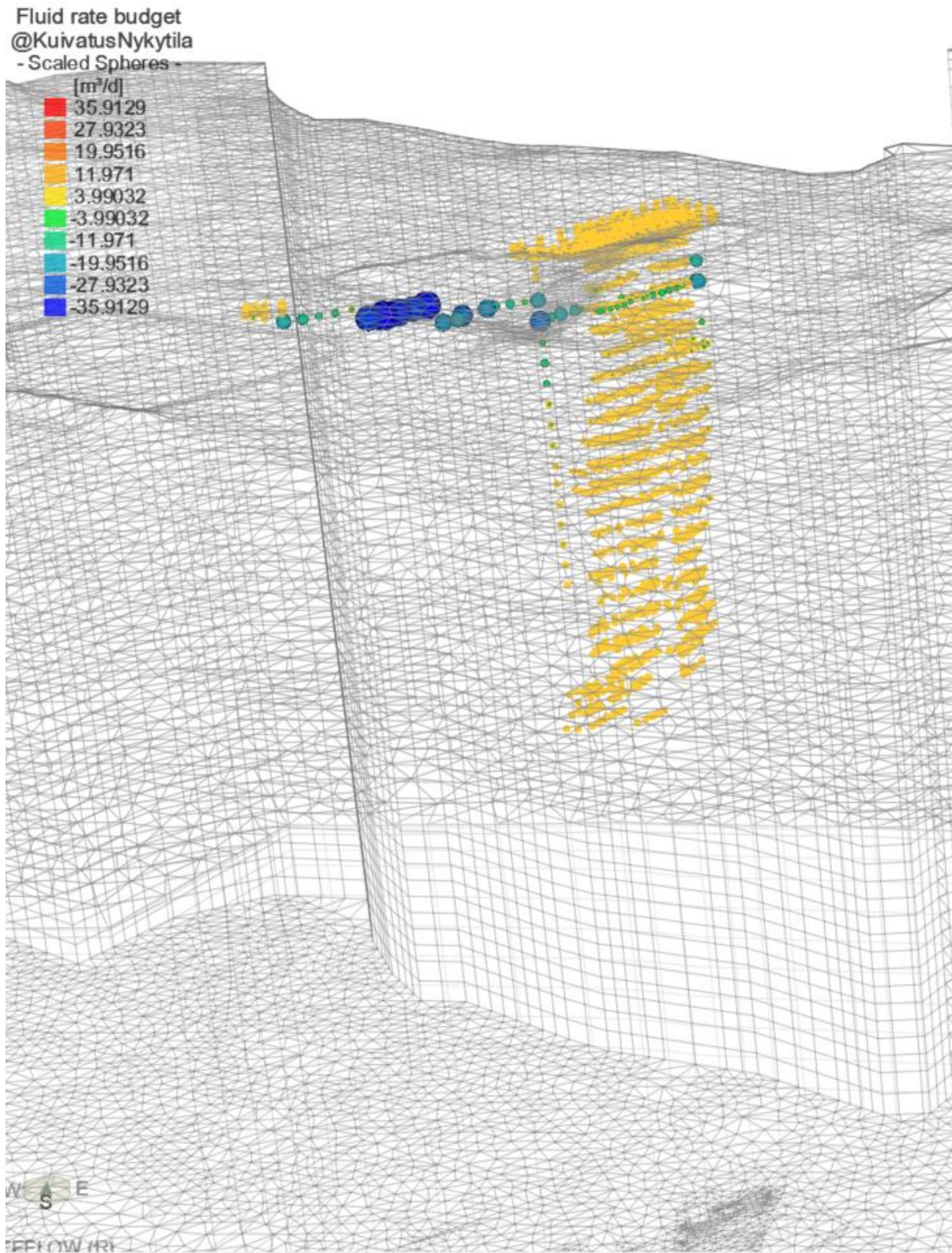
e)



Kuva 5-11. Painekorkeus (m mpy) a) moreenikerroksen yläpinnassa (kerros kaksi), b) kalliopinnassa sekä syvyyksillä c) 0 m mpy, d) -100 m mpy ja e) -180 m mpy. Kuvat c-d) on esitetty samalla asteikolla, 230–100 m mpy, jotta kaivoksen ympäristössä esiintyvät erot tulevat näkyville. Kalliokerroksissa ruhjeet on esitetty keltaisella pisteviivalla.



Kuva 5-12. Poikkileikkaus pohjavedenpinnan visualisoimiseen (valkoinen viiva).



Kuva 5-13. Pohjaveden suotautumisen jakautuminen louhos- ja tunneliseinämälle, pallon koko ja väri kuvaa pohjaveden suotautumisen määrää.

5.6.2 Vaihe 2, vuosi 2025

Vaiheessa 2 mallinnettiin vuoden 2025 tilanne, jossa maanalainen kaivos on laajentunut vuoden 2023 tilanteesta ja ulottuu noin 500 metrin syvyydelle maanpinnasta (taso -290 m mpy) (Kuva 5-9 b). Louhintaa on jatkettu myös ylempänä syvyydellä +150...+180 m mpy. Avolouhos, sivukivialueet ja vesivarastoaltaat olivat samanlaiset kuin vaiheessa 1.

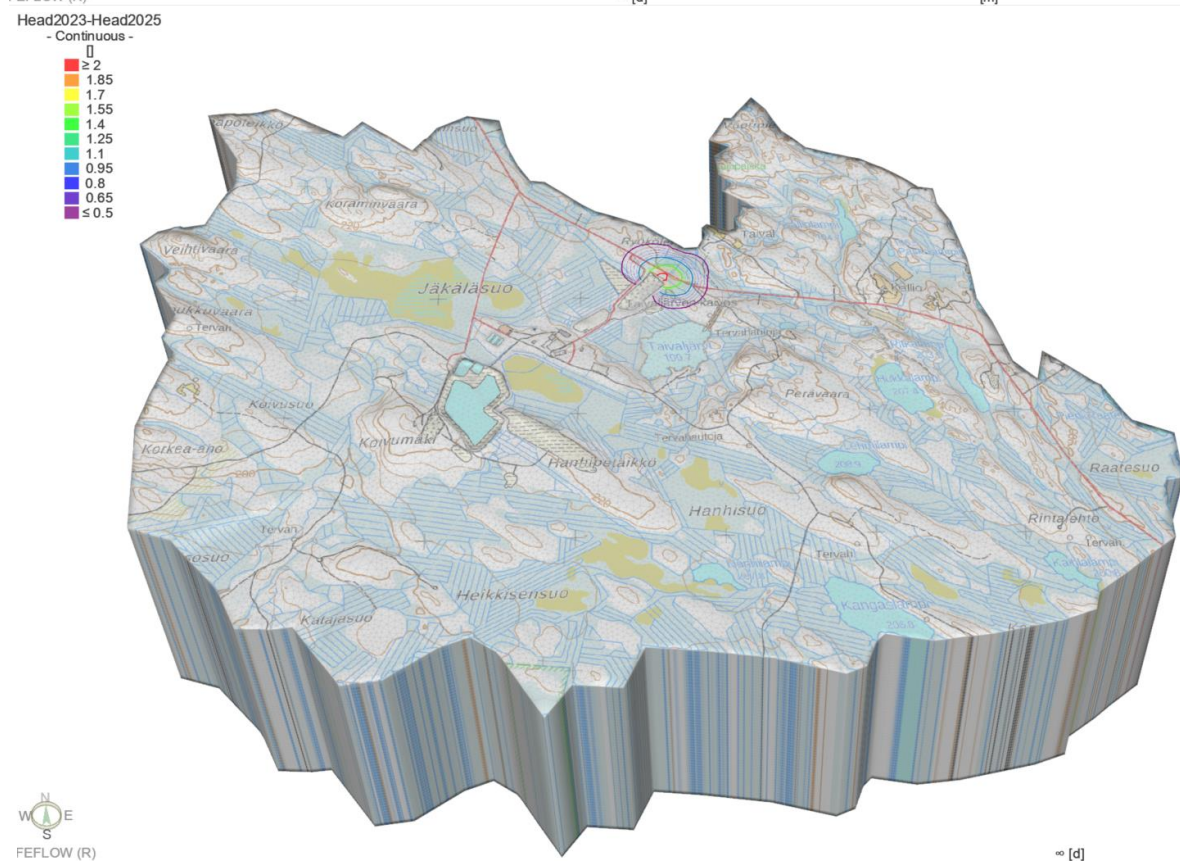
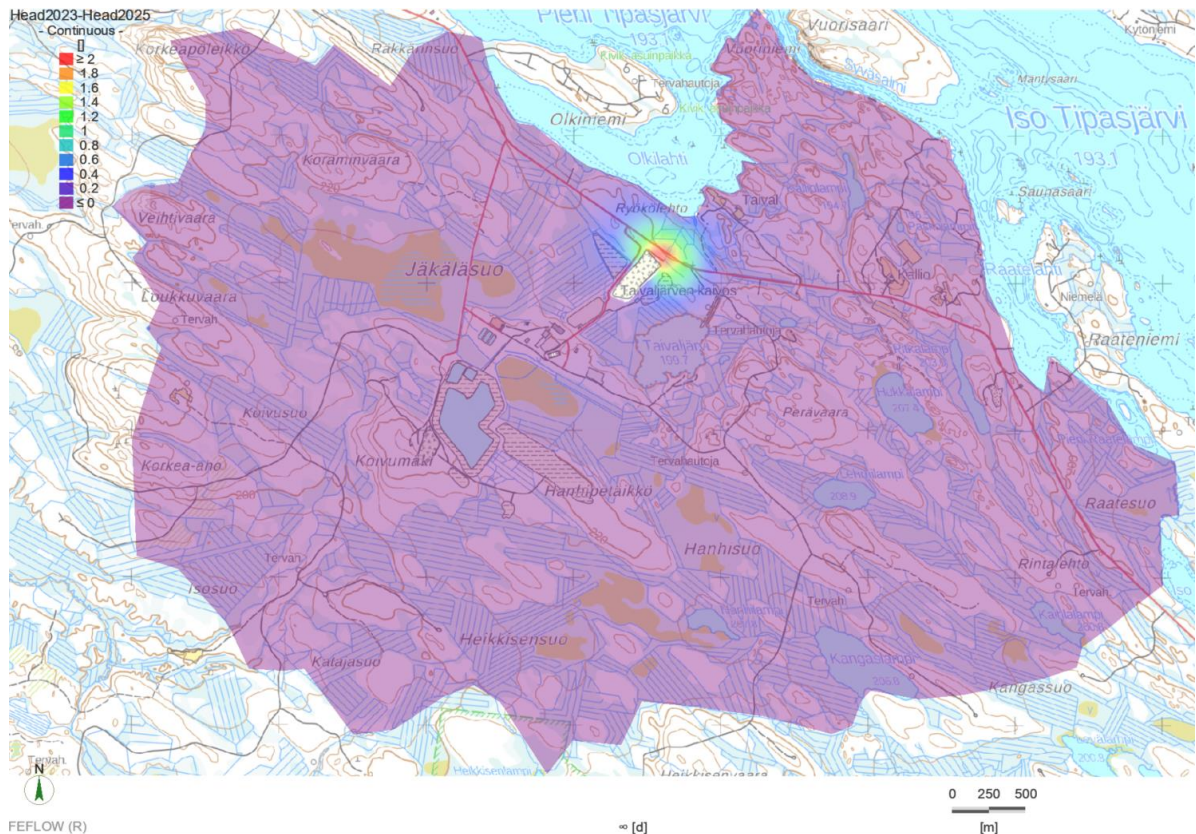
Vaiheen 2 simuloinnissa maanalainen kaivos mallinnettiin yksinkertaistettuna samoin periaattein kuin vaiheessa 1 asettamalla louhitulle tilavuudelle ja tunneleille tihkupinta ja mallintamalla louhittu tilavuus tyhjänä tilana.

Kuvissa 5-14...5-17 esitetään mallinnuksen tulokset. Kuvassa 5-14 on esitetty pohjavedenpinnan alenema mallin ylimmässä kerroksessa vuonna 2025 vuoteen 2023 verrattuna. Alenemakartioista nähdään, että maakerroksessa pohjavedenpinnan alenemaa syntyy lähinnä avolouhoksen pohjoispuolelle. Lisäksi kuvassa 5-15 esitetään hydraulinen painekorkeus eri tasoille: moreenikerroksen pinta (mallikerros kolme), kallioperän pinta (mallikerros 5) ja syvyydet -180 m mpy ja -280 m mpy.

Kuvassa 5-16 esitetään mallinnustulokset poikkileikkauksissa, jotka leikkaavat maanalaisen kaivoksen ja avolouhoksen. Väriskaala kuvaa laskettua pohjaveden painetta ja valkoinen viiva nollapainetta eli pohjavedenpintaa. Pohjavedenpinta seuraa avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen pintaa melko lähelle maanpintaa ja muodostaa sitten muutaman sadan metrin laajuisen alenemakartion avolouhoksen ympärille.

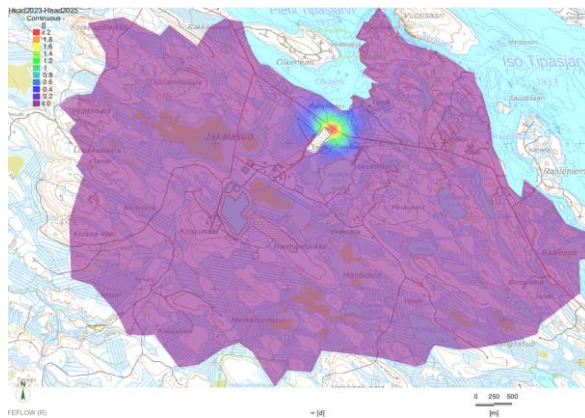
Kuvassa 5-17 esitetään pohjaveden suotautumisen jakautuminen louhos- ja tunneliseinämillä, pallon koko ja väri kuvaa pohjaveden suotautumisen määrää. Pohjavettä suotautuu eniten kallioperän yläosassa vinotunnelissa ja louhittujen tilavuuksien ylimmissä osissa.

Vaiheen 2 simuloinnin tulosten perusteella kaivoksen suotovesimäärä on yhteensä 1322 m³/vrk, kun sadannan mukana avolouhoksen kautta kaivokseen tuleva vesi lasketaan mukaan. Määrä on noin 25 m³/vrk suurempi kuin vuotovesimäärä vuoden 2023 mallissa.

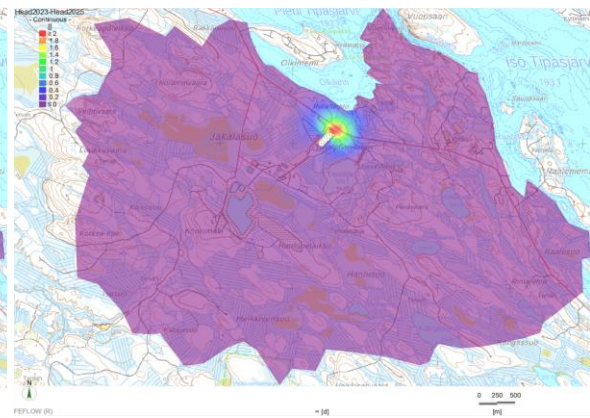


Kuva 5-14. Pohjavedenpinnan alenema maaperässä vuonna 2025 verrattuna vuoden 2023 pohjavedenpintaan.

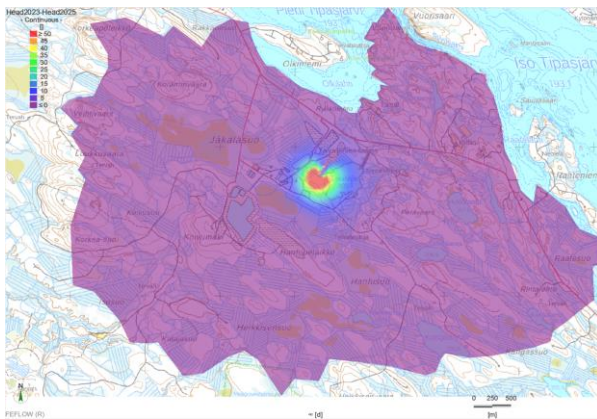
a)



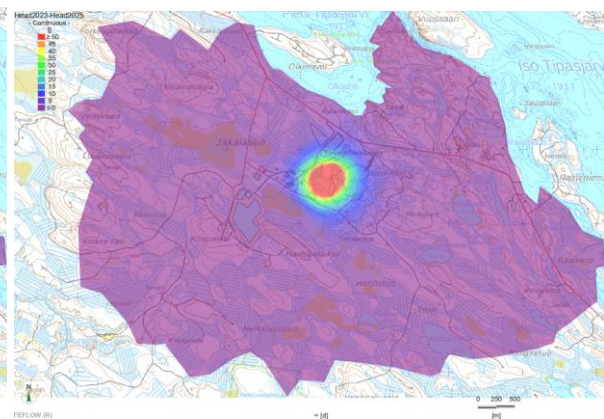
b)



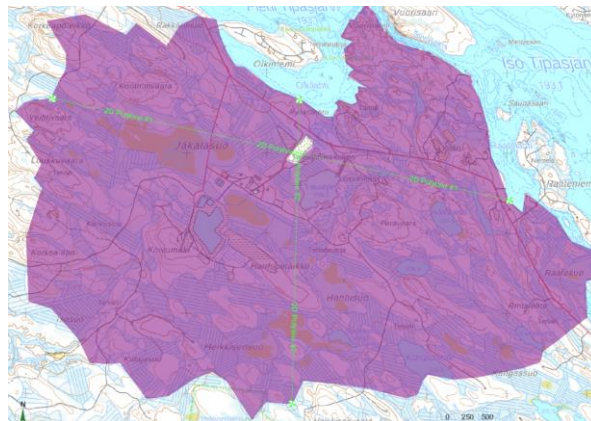
c)



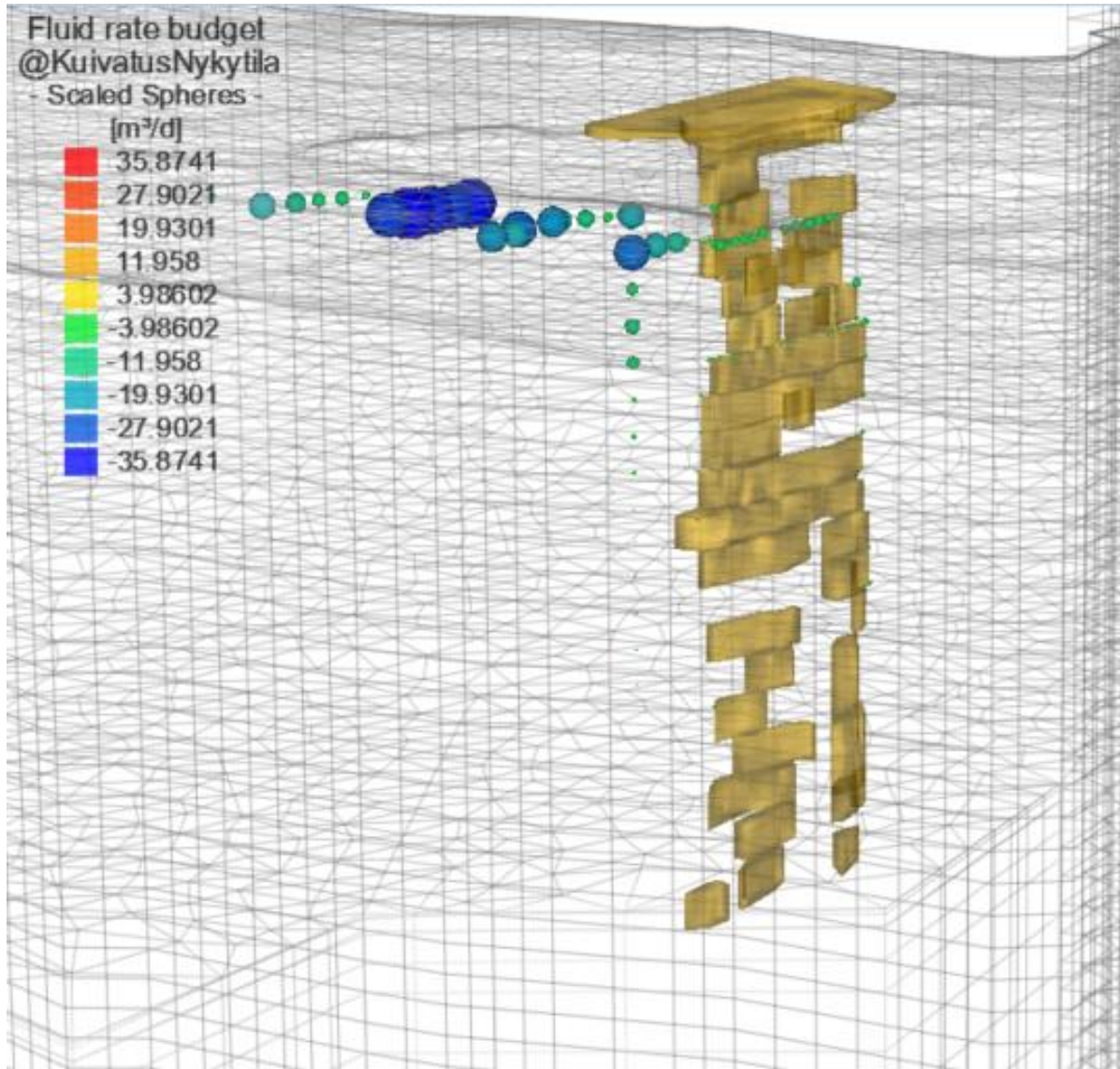
d)



Kuva 5-15. Pohjaveden painekorkeuden laskettu alenema vuodesta 2023 vuoteen 2025 a) moreenikerroksen yläpinnassa (alenema suurimmillaan noin 2 m, mallikerros kolme), b) kallionpinnassa (alenema suurimmillaan noin 2 m, mallikerros 5), c) syvyydellä -180 m mpy ja d) syvyydellä -280 m mpy. Kuvat a) ja b) on esitetty samalla asteikolla, 0–50 m, jotta kaivoksen ympäristössä esiintyvät vähäisemmät erot tulevat näkyville.



Sotkamo Silver Oy
Sotkamo Silver Oy:n hopeakaivoksen numeerinen pohjavesimalli
101023144 Date 18/03/2024



Kuva 5-17. Pohjaveden suotautumisen jakautuminen louhos- ja tunneliseinämälle, pallon koko ja väri kuvaa pohjaveden suotautumisen määrää.

5.6.3 Vaihe 3, vuosi 2035

Vaiheessa 3 mallinnettiin vuoden 2035 tilanne, jossa maanalainen kaivos ulottuu noin 1 km syvyydelle maanpinnasta (taso –790 m mpy) eli on laajentunut selvästi vuoden 2023 ja 2025 tilanteista (Kuva 5-9 c). Myös avolouhos on suurempi, ja rikastushiekka-altaat laajemmat kuin vaiheissa 1 ja 2. Rikastushiekka-altaan laajennus mallinnettiin VE1 mukaisena (Kuva 4-2). Laajennetun rikastushiekka-altaan patokorkeudeksi asetettiin +234 m mpy ja vesipinnaksi +233 m mpy. Laajennettu avolouhos mallinnettiin Sotkamo Silveriltä syksyllä 2023 saatujen suunnitelmien mukaisena.

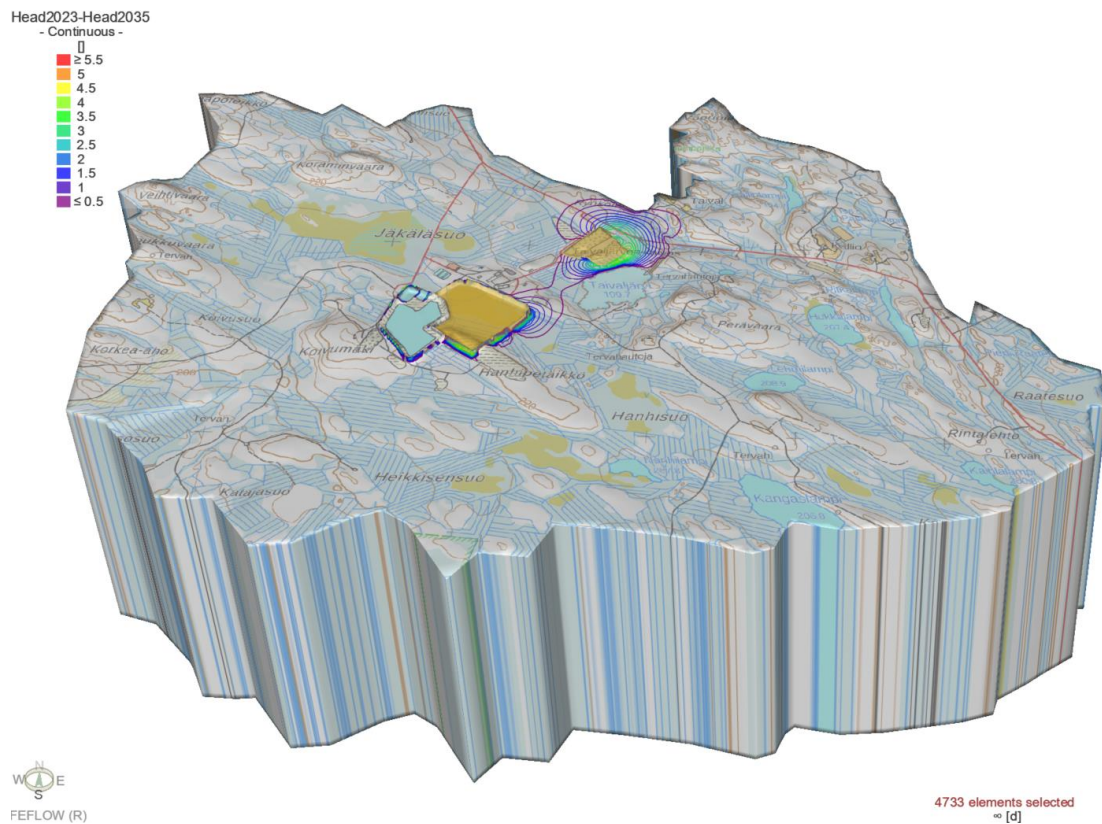
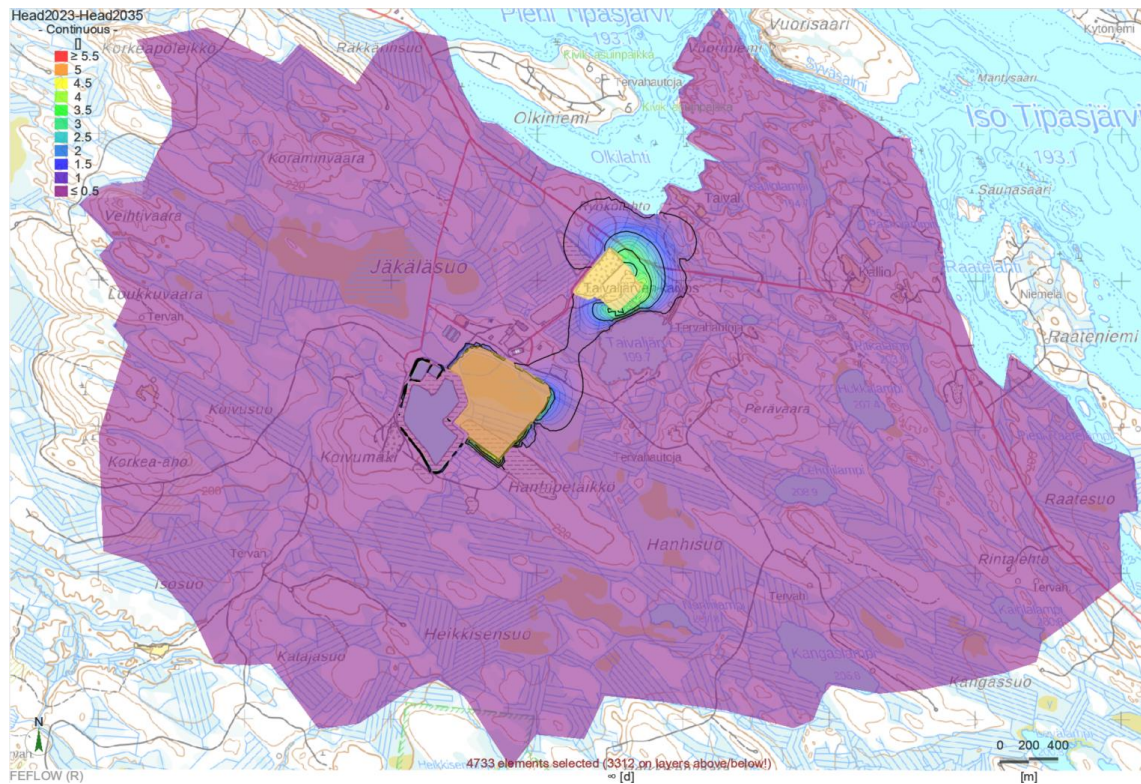
Vaiheen 3 simuloinnissa maanalainen kaivos mallinnettiin yksinkertaistettuna samoin periaattein kuin vaiheessa 1 ja 2 asettamalla louhitulle tilavuudelle ja tunneleille tihkupinta ja mallintamalla louhittu tilavuus tyhjänä tilana.

Kuvissa 5-18...6-1 esitetään mallinnuksen tulokset. Kuvassa 5-18 on esitetty pohjavedenpinnan alenema mallin ylimmässä kerroksessa vuonna 2035 vuoteen 2023 verrattuna. Alenemakartioista nähdään, että maakerroksessa pohjavedenpinnan alenemaa syntyy avolouhoksen ympärille ja eniten avolouhoksen pohjoispuolella sekä uuden rikastushiekka-altaan ja avolouhoksen väliin. Lisäksi kuvassa 5-19 esitetään hydraulinen painekorkeus eri tasoille samoille syvyyksille kuin vuoden 2025 mallissa: moreenikerroksen pinta (mallikerros kolme), kallioperän pinta (mallikerros 5) ja syvyydet -180 m mpy ja -280 m mpy.

Kuvassa 5-20 esitetään mallinnustulokset poikkileikkauksissa, jotka leikkaavat maanalaisen kaivoksen ja avolouhoksen. Väriskaala kuvaa laskettua pohjaveden painetta ja valkoinen viiva nollapainetta eli pohjavedenpintaa. Pohjavedenpinta seuraa avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen pintaa melko lähelle maanpintaa ja muodostaa sitten muutaman sadan metrin laajuisen alenemakartion avolouhoksen ympärille.

Kuvassa 5-21 esitetään pohjaveden suotautumisen jakautuminen louhos- ja tunneliseinämillä, pallon koko ja väri kuvaa pohjaveden suotautumisen määrää. Pohjavettä suotautuu eniten kallioperän yläosassa vinotunnelissa ja louhittujen tilavuuksien ylimmissä osissa.

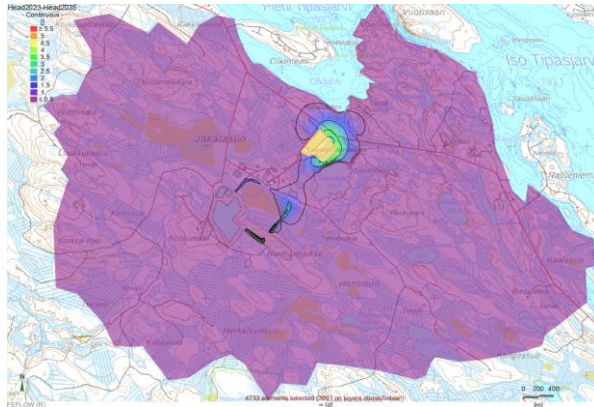
Vaiheen 3 simuloinnin tulosten perusteella kaivoksen kokonaissuotovesimäärä on yhteensä 1470 m³/vrk, kun sadannan mukana avolouhoksen kautta kaivokseen tuleva vesi lasketaan mukaan. Avolouhokseen suotautuvan pohjaveden osuus kokonaismäärästä on noin 245 m³/vrk. Määrä on noin 175 m³/vrk suurempi kuin kuivanapitoveden määrä vuoden 2023 mallissa.



Kuva 5-18. Pohjavedenpinnan alenema maaperässä vuonna 2035 verrattuna vuoden 2023 pohjavedenpintaan. Avolouhos ja uusi rikastushiekka-allas esitetty keltaisella.

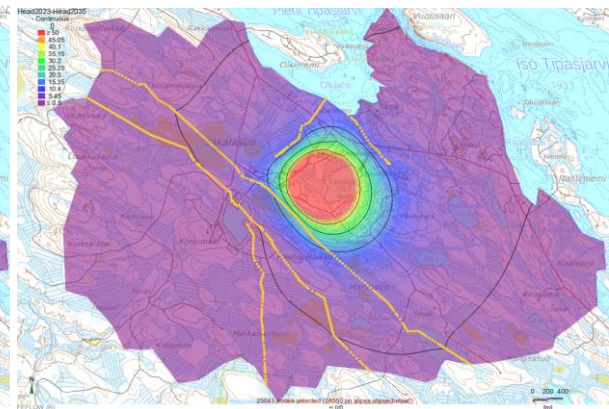
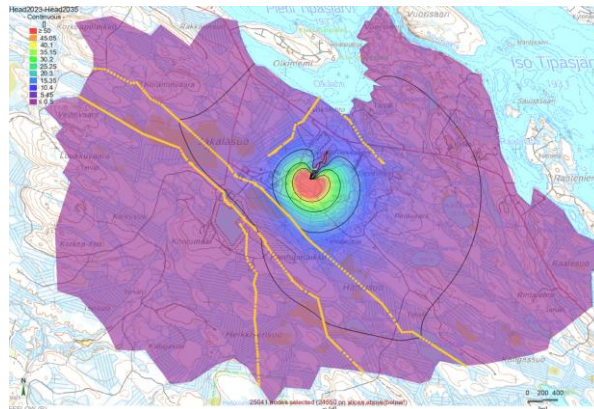
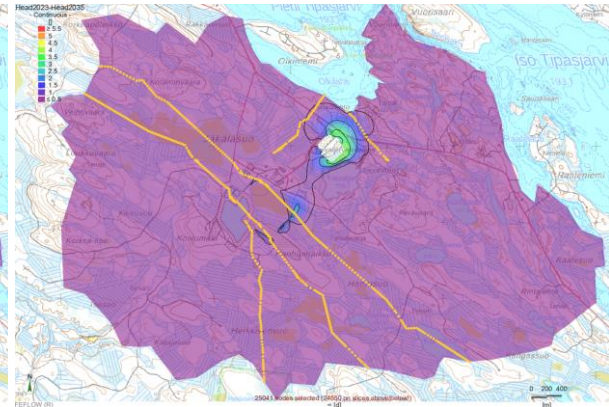
c)

b)

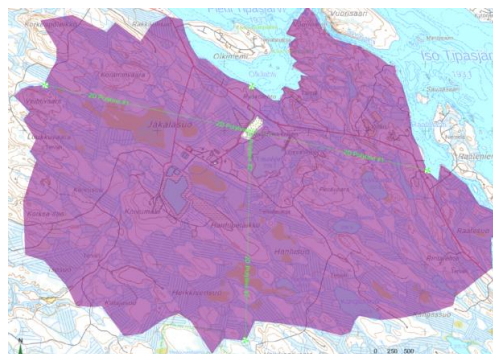
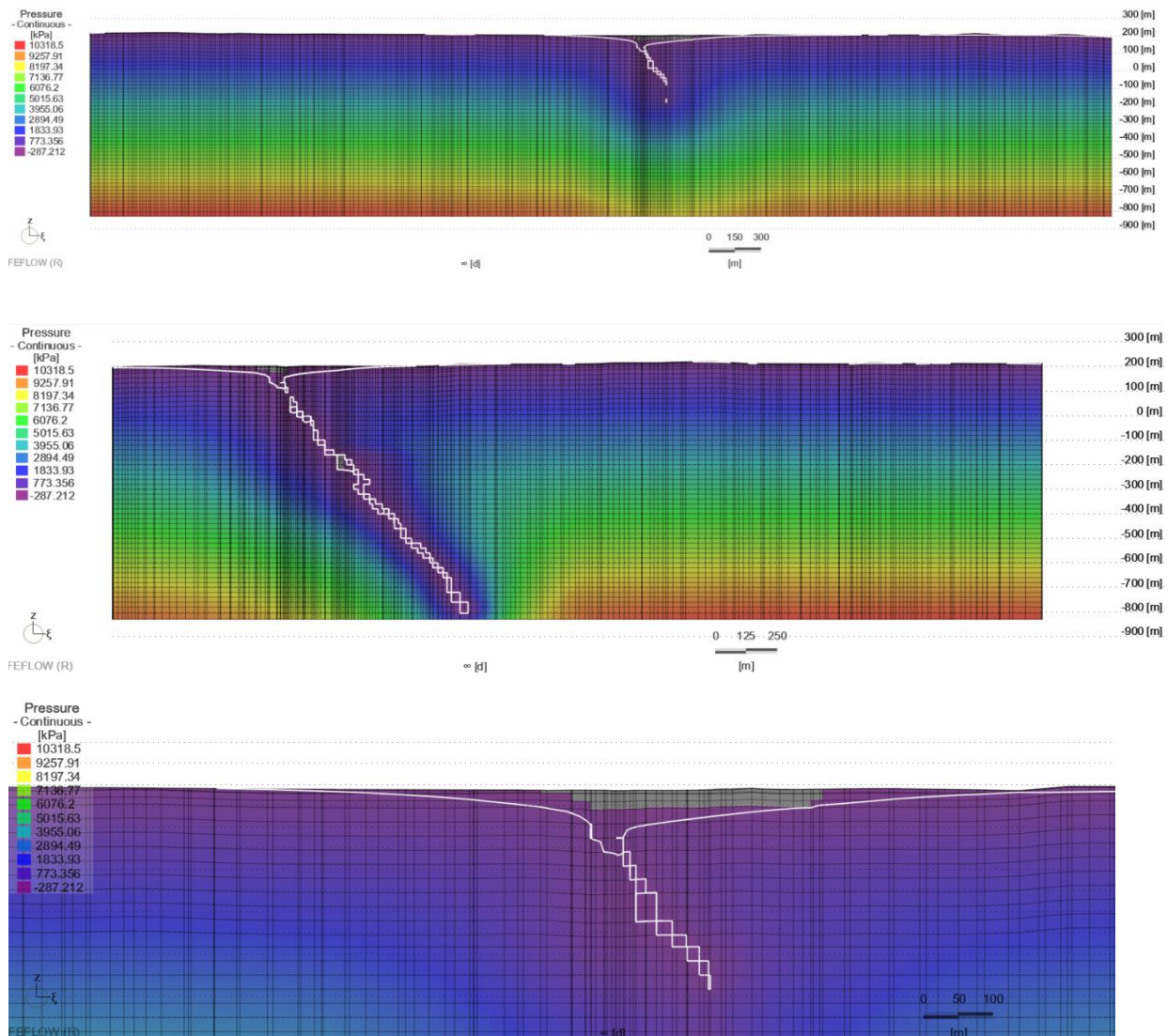


d)

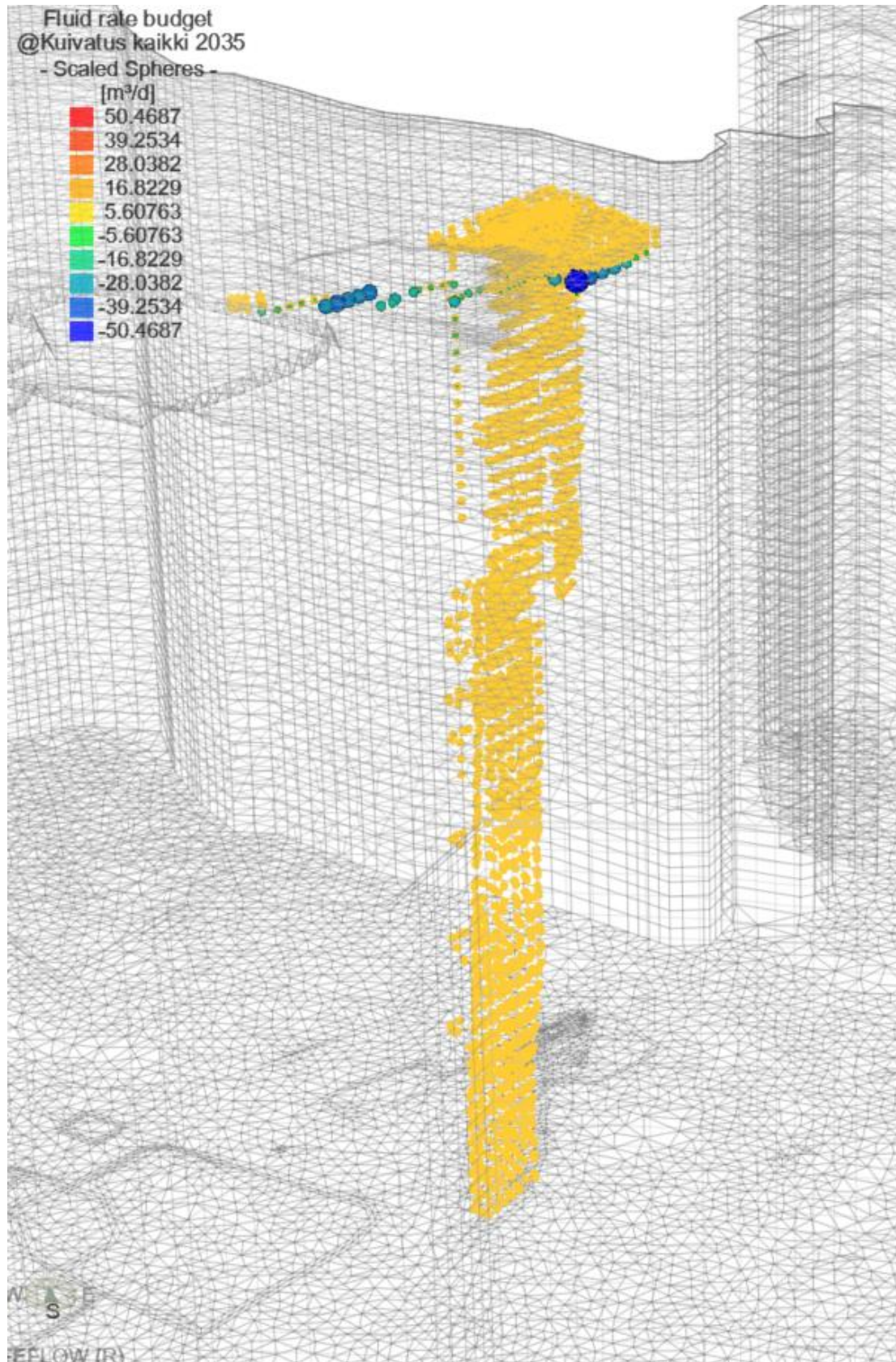
d)



Kuva 5-19. Pohjaveden painekorkeuden laskettu alenema vuodesta 2023 vuoteen 2035 a) moreenikerroksen yläpinnassa (alenema suurimmillaan noin 2 m, mallikerros kolme), b) kallionpinnassa (alenema suurimmillaan noin 2 m, mallikerros 5), c) syvyydellä -180 m mpy ja d) syvyydellä -280 m mpy. Kuvat a) ja b) on esitetty samalla asteikolla, 0–50 m, jotta kaivoksen ympäristössä esiintyvät vähäisemmät erot tulevat näkyville.



Kuva 5-20. Poikkileikkaus pohjavedenpinnan (valkoinen viiva) visualisoimiseen. Avoulouhos on lähes kokoaan alenemakartion alueella.



Kuva 5-21. Pohjaveden suotautumisen jakautuminen louhos- ja tunneliseinämälle, pallon koko ja väri kuvaa pohjaveden suotautumisen määrää.

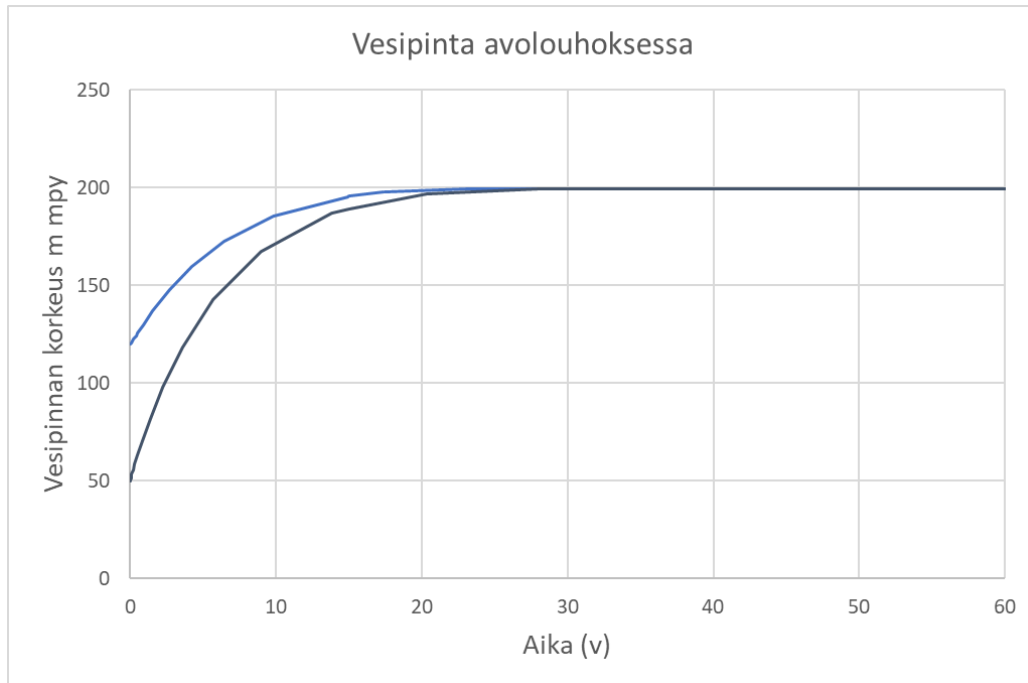
5.6.4 Sulkemisen jälkeinen tilanne

Maanalaisen kaivoksen ja louhosjärven täyttymisnopeuden arvioimiseksi tehtiin simulaatio, jossa käytettiin alkutilanteena kuivana pidettyä, suunnitelman täyteen laajuuteen louhittua kaivosta eli vuoden 2035 mallia ja sen aiheuttamaa pohjaveden painekorkeuden alenemaa. Ojitukset muutettiin vastaamaan sulkemisen jälkeistä tilannetta eli rikastushiekka-altaiden alueelta lisättiin oja avolouhokseen ja avolouhoksesta Tipasjärveen. Sivukivialue ja selkeytysallas 3 poistettiin mallista (Kuva 4-1). Rikastushiekka-altaan vesipinnan korkeuden reunaehto poistettiin ja allasalueen pohjaveden muodostumisen määräksi asetettiin 300 mm/a. Suotopintareunaehto (seepage face) poistettiin avolouhoksesta ja maanalaisesta kaivoksesta ja louhitut elementit palautettiin mukaan malliin maanalaisessa kaivoksessa täyttötilavuutena ja avolouhoksessa tilavuutena, jolla on erittäin suuri vedenjohtavuus. Täyttötilavuuksien hydrauliseksi johtavuudeksi asetettiin 5×10^{-6} m/s. Avolouhoksessa varastokertoimeksi asetettiin avolouhoksen syvyyden käänteisluku $(30 \text{ m})^{-1}$ ja täyttötilavuudessa 0,001 1/m. Näillä muutoksilla avolouhoksen louhoselementtien muodostama avoin tila käyttäytyy mallinnuksessa kuten täyttyvä louhosjärvi, jossa painekorkeus vastaa vedenpinnan korkeutta. Suorasta sadannasta oletettiin jäävän järveen puolet, ja toisen puolen poistuvan haihtumalla. Simuloinnissa avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen välistä yhteyttä ei erikseen tukittu muuten kuin maanalaisen louhoksen täytöllä.

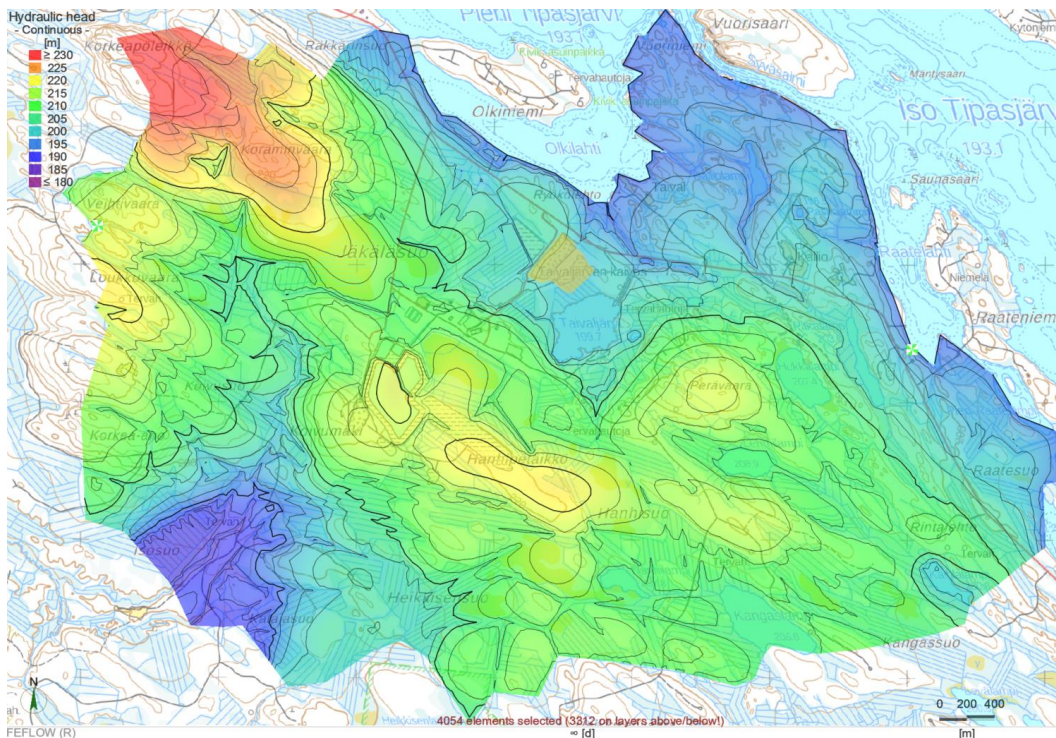
Simuloitu louhosjärven vesipinnan korkeuden nousu avolouhoksessa on esitetty kuvassa 5-22. Laskennan perusteella louhoksen vedellä täyttyminen on nopeinta ensimmäisen 10 vuoden aikana. Vedenpinnan nousu hidastuu tämän jälkeen ja tasaantuu noin 25–30 vuoden kohdalla. Avolouhoksessa vesipinta nousee noin tasolle +199...+200 m mpy tai Tipasjärveen suuntautuvan purku-uoman tasoon. Simuloinnin tulos on kuitenkin hyvin karkea arvio, koska avolouhoksen täyttymiseen vaikuttaa merkittävästi maanalaisten tilojen täytön tiiveys, avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen välisen yhteyden tiiveys sekä muualta alueelta avolouhokseen johdettavan veden määrä.

Sulkemisen jälkeistä tilaa mallinnettiin myös tasapainotilan mallilla, jolla simuloitiin pohjaveden virtausta, kun kaivos on täyttynyt vedellä. Pohjavesipinta sulkemisen jälkeisessä tasapainotilassa on esitetty kuvassa 5-23 ja painekorkeus moreenikerroksessa, kallion pintaosassa sekä syvyystasoilla +100 m mpy, 0 m mpy ja –100 m mpy kuvassa 5-24. Louhosjärven alueelta pohjaveden gradientti on kohti koillista ja Tipasjärveä. Pohjaveden virtaama louhosjärveen on mallinnuksen mukaan noin 90 m³/vrk ja virtaama järvestä pois on luokkaa 190 m³/vrk, kun oletetaan että pohjaveden läpivirtauksen lisäksi puolet suorasta sadannasta jää järveen (noin 95 m³/vrk). Pääosa järvestä poistuvasta virtauksesta

tapahtuu purkuojaa pitkin. Esitetyt vesimäärät eivät sisällä louhosjärveen pintavaluntana tulevia tai muualta alueelta järveen johdettavia vesiä.

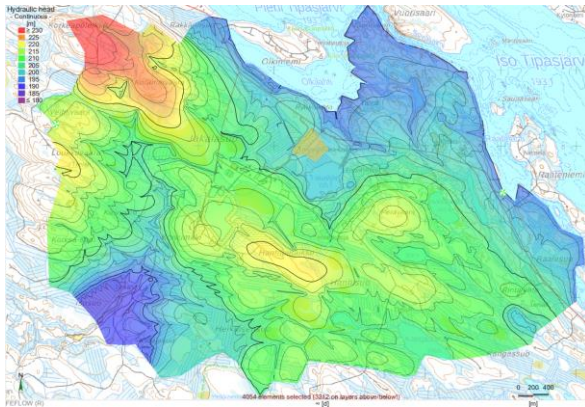


Kuva 5-22. Avolouhoksen täyttyminen vedellä kaivoksen sulkemisen jälkeen. Täyttymisnopeuteen vaikuttaa lähtötilanteen pohjaveden painekorkeus avolouhoksen kohdalla.

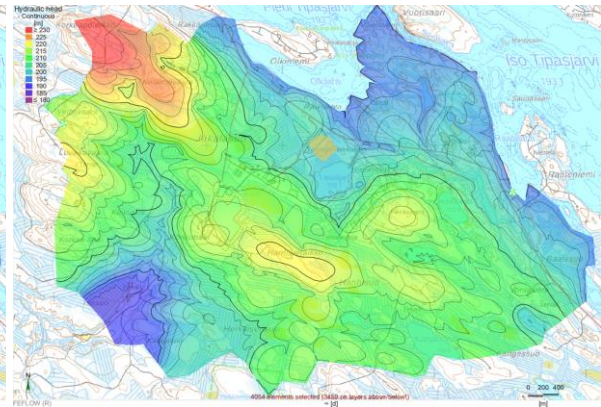


Kuva 5-23. Pohjaveden pinnan korkeus sulkemisen jälkeisessä tilanteessa, kun kaivos on täyttynyt vedellä. Louhosjärvi on korostettu keltaisella.

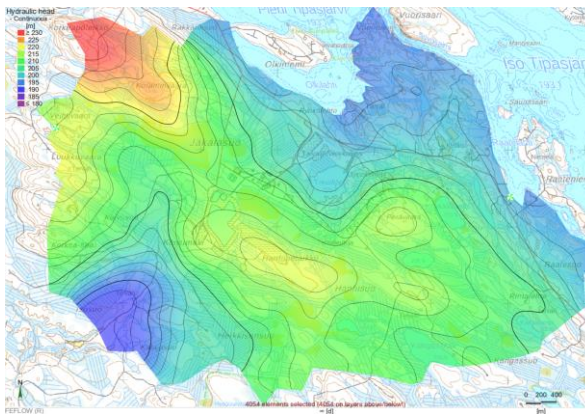
a)



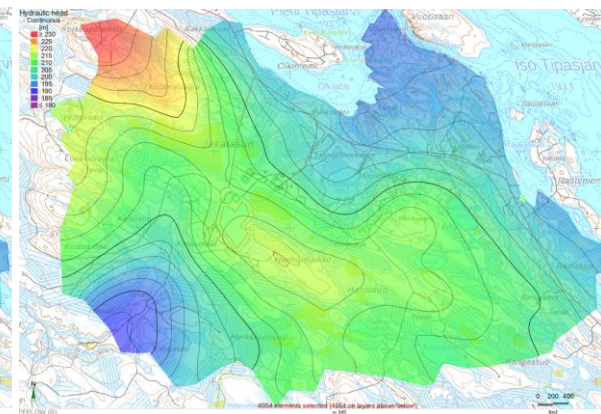
b)



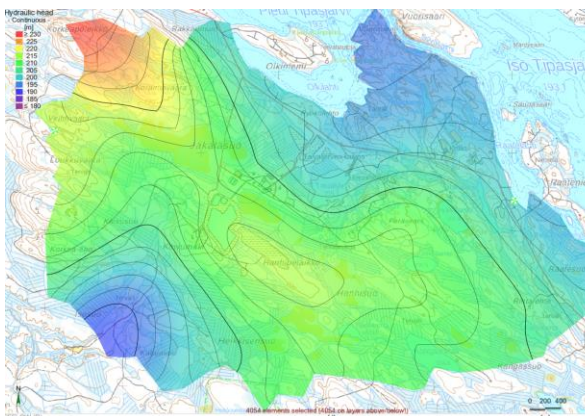
c)



d)



e)



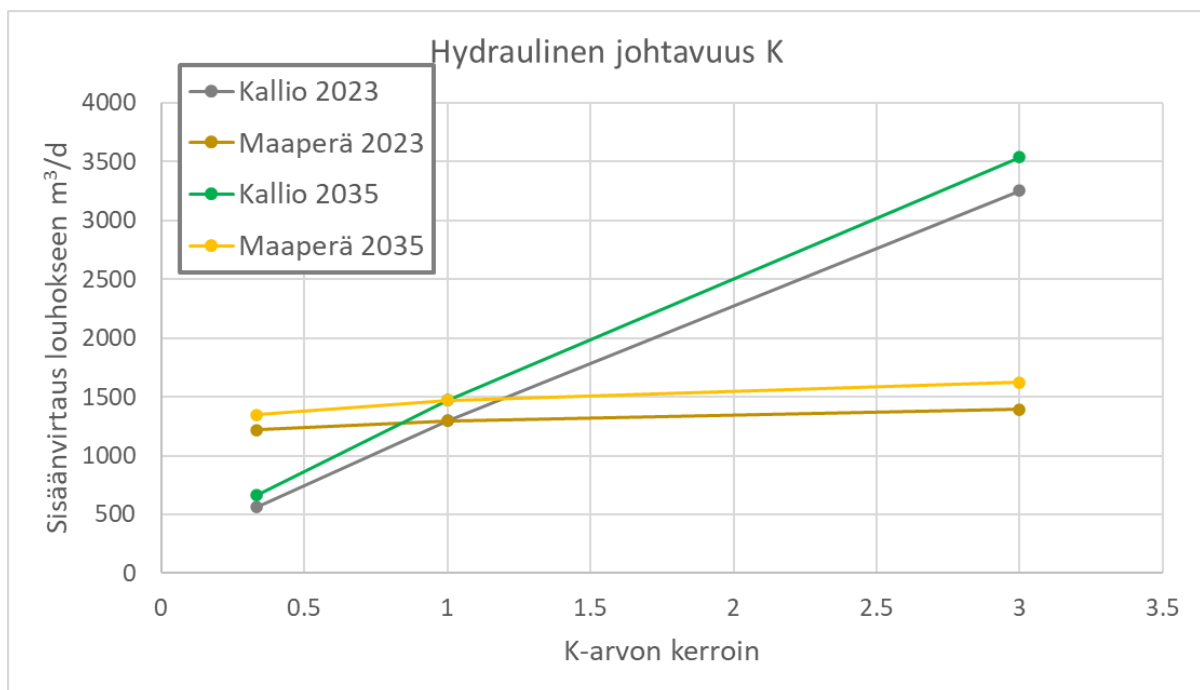
Kuva 5-24. Pohjaveden painekorkeus a) moreenikerroksessa (mallikerros 3), b) kallion kallionpinnassa (mallikerros 5) sekä syvyyksillä c) +100 m mpy, d) 0 m mpy ja e) -100 m mpy.

5.7 Herkkyystarkastelut

Hydraulisen johtavuuden ja sadannan vaikutusta laskettuihin kaivoksen suotovesimääriin arvioitiin tekemällä herkkyysanalyysiä. Herkkyystarkastelut esitetään kallion ja maaperän hydraulisen johtavuuden sekä pohjaveden

muodostumisen suhteen nykytilanteen ja laajimman eli vuoden 2035 tilanteen simuloineina.

Tarkastelut tehtiin erillisinä. Hydraulista johtavuutta muutettiin kaikissa mallin maa- tai kalliokerroksissa jakamalla tai kertomalla kalliotilavuudelle määritellyt K-arvot tekijällä kolme (Kuva 5-25). Kallion hydraulinen johtavuus vaikuttaa selvästi suotovesimääriin. Mallin herkkyyys hydraulisen johtavuuden arvon suhteen on systemaattinen, mikä viittaa siihen, että malli toimii numeerisesti järkevästi mallinnetuissa tilanteissa. Maakerrosten hydraulisen johtavuuden muutoksilla ei ollut yhtä suurta vaikutusta suotovesimääriin kuin kalliokerrosten muutoksilla.

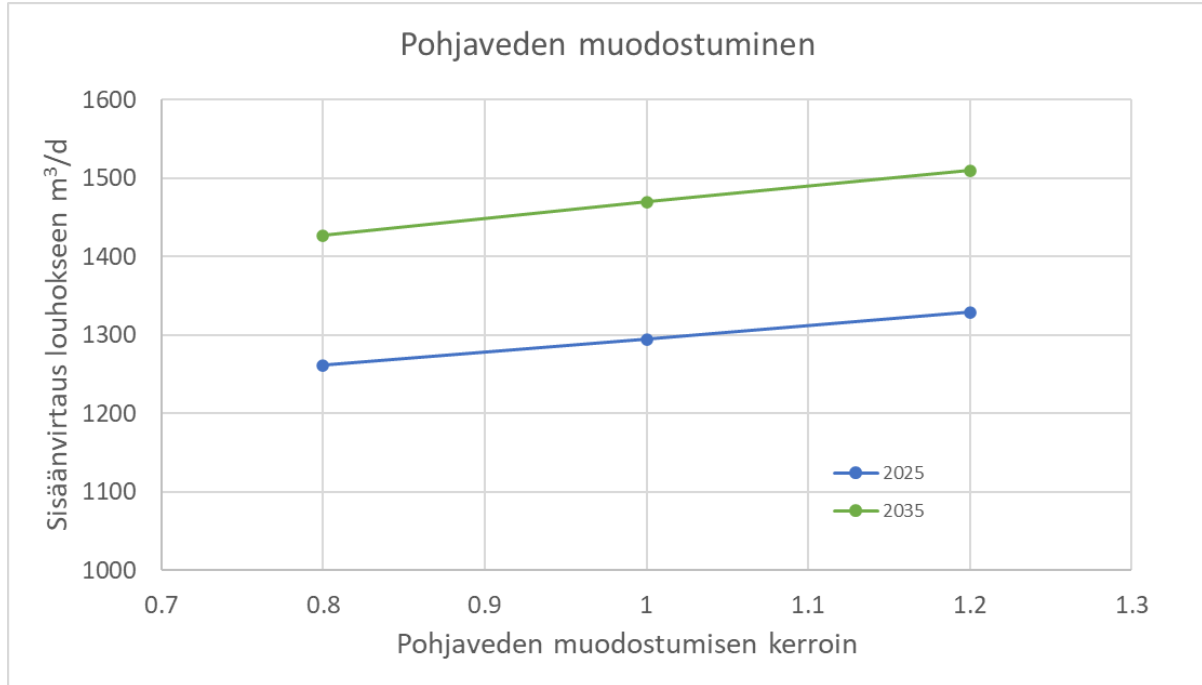


Kuva 5-25. Hydraulisen johtavuuden herkkyyksianalyysi nykytilanteen mallissa. Kaivoksen suotovesimäärän vaihtelu, kun kalliolle ja maaperälle asetettuja hydraulisen johtavuuden arvoja suurennettiin tai pienennettiin kertoimella 3.

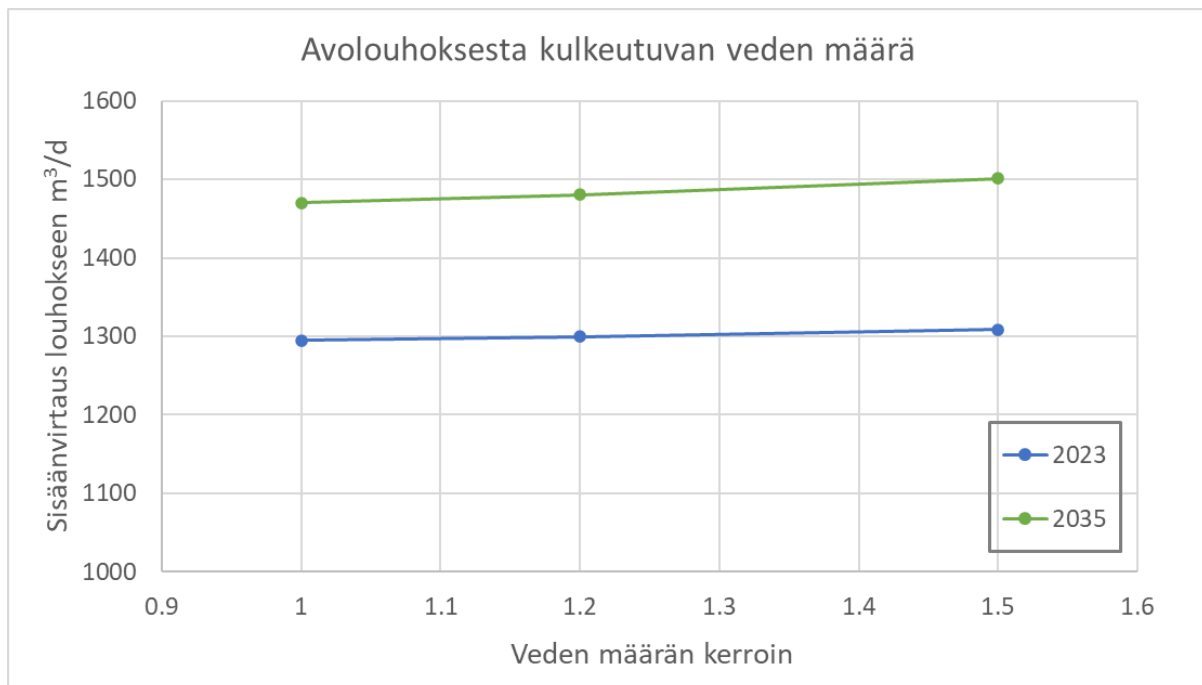
Ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen olosuhteisiin on arvioitu Ilmasto-opas.fi (Ilmatieteenlaitos 2023b) sivustoilla. Suomen sademäärien arvioidaan kasvavan. Sotkamon alueella vuotuisten sademäärien arvioidaan kasvavan vuosisadan aikana 6–17 prosenttia verrattuna jaksoon 1981–2010. Keskimäärin vuodessa sataisi 690–770 mm.

Herkkyyksianalyysissä tarkasteltiin sadannan vaikutusta. Sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrää kasvatettiin ja pienennettiin 20 % alkuperäisestä arvosta. Näiden muutosten vaikutus kaivoksen suotovesimäärään on esitetty kuvassa Kuva 5-26. Sadannasta avolouhoksen kautta maanalaiseen kaivokseen kulkeutuvan vesimäärän vaikutusta suotovesimäärään tarkasteltiin myös

herkkyysanalyysillä lisäämällä vesimäärää 260 mm arvosta 310 mm (+20 %) ja 400 mm (+50 %) arvoihin (Kuva 5-27).



Kuva 5-26. Herkkyysanalyysin tulokset, kun sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrää kasvatettiin ja pienennettiin 20 % alkuperäisestä arvosta.



Kuva 5-27. Herkkyysanalyysin tulokset, kun tarkastellaan sadannasta avolouhoksen kautta maanalaiseen kaivokseen kulkeutuvan veden määrän vaikutusta suotovesien kokonaismäärään.

6 Johtopäätökset ja epävarmuudet

Sotkamo Silverin avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen mitattu kuivanapitoveden määrä on vuosina 2022 ja 2023 ollut noin 456 771–466 823 m³ (1251–1279 m³/vrk). Määrä sisältää sadevedestä avolouhoksen kautta maanalaiseen kaivokseen kulkeutuvan veden. Nykytilaa simuloivan (vuosi 2023) numeerisen mallin suotovesimäärä kaivokseen on noin 1295 m³/vrk (vaihe 1). Vuosien 2025 (vaihe 2) ja 2035 (vaihe 3) kaivosta simuloivissa malleissa suotovesimäärät ovat 1322 m³/vrk ja 1470 m³/vrk. Kuvassa 6-1 esitetään, kuinka suotovesimäärä jakaantuu kaivoksen eri syvyysväleille vaiheissa 1, 2 ja 3. Maanpinnan korkeus avolouhoksen kohdalla on noin +200 m mpy. Suotovesimäärä on suurin +100 m mpy yläpuolella ja vähenee asteittain noin -200 m mpy tasolle niin, että sen alapuolella pohjavettä suotautuu kaivokseen hyvin vähän.

Kaivoksen kuivatuspumppauksen aiheuttama pohjaveden alenemakartio ulottuu maaperässä ja kallion pintaosissa muutamien satojen metrien päähän avolouhoksen reunasta. Kuivatuspumppauksen vaikutusalue ei ulotu kaivoksen läheisyydessä sijaitseville Natura-alueille, eikä vaikutusalue laajene ennustesimulaatioissa nykyisestä Jäkäläsuon suuntaan. Kuivatuksen vaikutukset syvemmällä kallioperässä pohjaveden painekorkeuteen ovat kuitenkin selvästi laajemmat kuin maaperässä ja pintakalliossa. Taivaljärven suuntaan pohjaveden painekorkeuden alenemaa syntyy syvemmällä kallioperässä. Taivaljärvi saa kuitenkin vetensä pintavalunnasta.

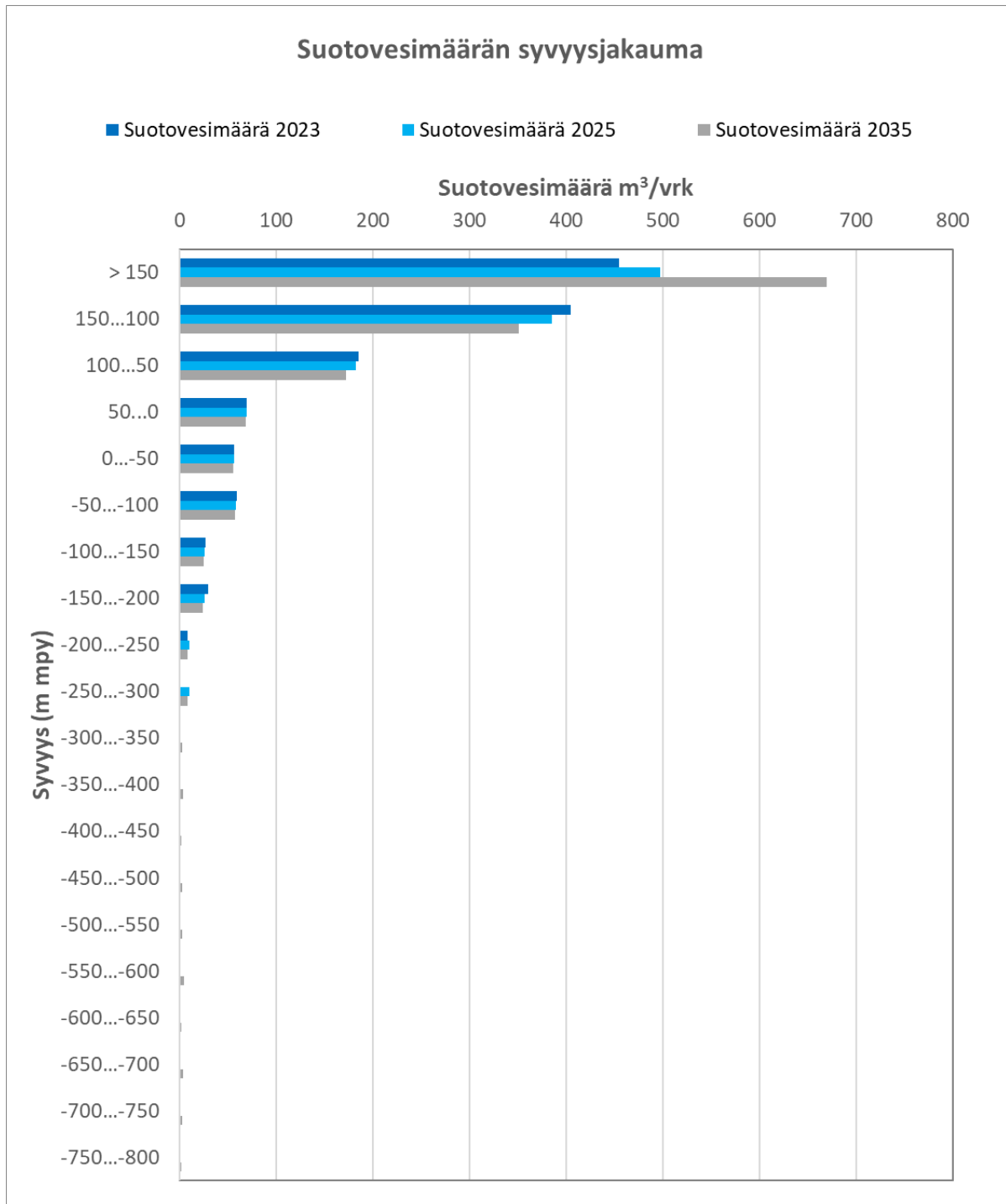
Kuivatuspumppauksen lopettamisen jälkeen avolouhoksen vedellä täyttymiseen menee mallilaskennan mukaan noin 25–30 vuotta, mutta tulokseen vaikuttaa paljon avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen välisen yhteyden tiiveys. Maanalaisessa louhoksessa painekorkeuden palautuminen voi kestää huomattavasti avolouhoksen täyttymistä kauemmin. Täyttymisen jälkeen pohjaveden virtausgradientti on kohti koillista ja Tipasjärveä, mutta avolouhoksen ylivuoto tapahtuu pääosin ojaa pitkin ja pohjaveden virtaus kallio-osuudessa on hyvin vähäistä.

Numeerisessa pohjavesimallinnuksessa merkittävä epävarmuuden lähde tuloksissa on usein kallioperän hydraulinen johtavuus, mikä on vaikea mitata tarkasti ja kattavasti koko mallinnettavalle kalliotilavuudelle. Maaperän ja ruhjeiden hydraulisen johtavuuden merkitys vuotovesien määrään on pienempi kuin kallion hydraulisen johtavuuden arvojen. GTK:n tekemän ruhjetulkinnan mukaiset ruhjeet eivät suoraan ulotu louhokseen. Sotkamo Silverin kaivoksen mallissa kallioperän hydraulinen johtavuus perustuu mallin kalibrointiin kaivoksesta mitattujen kuivatusvesipumppausten määrien perusteella sekä alueella tehtyyn kallioanalyysiin (luku 4.5). Kairarei'issä tehtyjä

vedenjohtavuusmittauksia kallioperästä ei ole saatavilla. Kallioanalyysin perusteella kallion rikkonaisuus on suurinta ensimmäisen 50 m syvyydellä ja vähenee sen jälkeen asteittain syvyyden kasvaessa ja on vähäistä 400 m syvyyden alapuolella. Rikkonaisuutta esiintyy myös syvemmällä kalliossa, mikä voi muodostaa virtausyhteyksiä louhittavien tilojen ja kallion pintaosien välille. Herkkyystarkastelujen perusteella mallin tuloksena saatavaan suotovesimäärään vaikuttaa eniten kallion hydraulisen johtavuuden arvot, kalibroinnissa saatu mallin tulosten hyvä vastaavuus kuivatuspumppausten mittauksiin perustuvaan laskennalliseen suotovesimäärään lisää mallin luotettavuutta. Taivaljärven alueelta kairattujen maanalaiseen louhokseen tulevien kairareikien vesivuodot eivät ole mukana tässä raportissa esitetyissä mallinnetuissa suotovesien määrissä.

Laskennallisiin suotovesimääriin liittyy myös epävarmuuksia. Avolouhoksen kautta maanalaiseen louhokseen kulkeutuvan veden määrä vaikuttaa suoraan kuivanapitoveden määrään. Mallissa käytettiin Sotkamo Silveriltä saatua arviota avolouhoksen kautta maanalaiseen kaivokseen kulkeutuvan veden määrästä. Sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrää on myös vaikea mitata tai arvioida tarkasti. Herkkyyssanalyysissä tarkasteltiin sekä avolouhoksesta kulkeutuvan veden määrän että sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrän vaikutusta suotovesimääriin. Kummankin vaikutus suotovesimääriin on pienekö verrattuna kallion hydraulisen johtavuuden vaikutukseen.

Mallin luotettavuutta on mahdollista parantaa ottamalla huomioon kuivatuspumppausten vesimäärien syvyytiedot, tekemällä kallioperän vedenjohtavuuden mittauksia, täydentämällä kallioanalyysiä uusilla kairareikä tiedoilla ja pohjavedenpinnan seurannalla. Alueella on maaperän osalta jo kohtuullisen kattava pohjaveden pinnankorkeuksien havaintoverkosto, jolla pystytään seuraamaan maapohjaveden tilannetta, mutta pohjavesiputkia voidaan tarvittaessa asentaa lisää. Automatisoitu painetason seuranta on myös mahdollista järjestää. Kallion hydraulisen johtavuuden mittaukset kaivoksen ja Tipasjärven välisellä alueella pintakalliossa ovat suositeltavia varsinkin sulkemisen jälkeisen tilan mallinnuksen tueksi. Kaivoksen laajimman vaiheen ennustesimuloinnin kannalta myös kallion vedenjohtavuuden mittaukset nykyisen louhintatason alapuolella lisäisivät mallin luotettavuutta. Jos on mahdollista, mittauksia voidaan tehdä myös muualla alueella nykyisen louhoksen maksimisyvyyden yläpuolisessa kallio-osuudessa louhoksen vuotovesimäärän avulla asetettujen vedenjohtavuuden arvojen varmistamiseksi. Kun alueelta saadaan lisää kairareikien geoteknisiä loggaustietoja (RQD), voidaan jo tehtyä kallioanalyysiä päivittämällä tarkentaa tietoa kallion rakoilusta suhteessa syvyyteen.



Kuva 6-1. Pohjaveden suotautumismäärät kaivokseen eri syvyysväleillä vuosina 2023, 2025 ja 2035.

7 Yhteenveto

Tässä raportissa esitetään Sotkamo Silver Oy:n hopeakaivoksen numeerinen pohjavesimallinnus. Mallinnus on tehty nykyisen avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen (vuosi 2023) sekä vuosien 2025 ja 2035 kaivosvaiheiden pohjavesiolosuhteiden kuvaamista varten. Mallilla simuloidaan myös sulkemisen jälkeistä tilannetta. Mallinnuksen tavoitteena on selvittää kaivokseen suotautuvan pohjaveden määrää ja kaivoksen kuivatuspumppauksen vaikutusta pohjaveden pinnankorkeuteen ja paineeseen ympäröivässä maa- ja kallioperässä kaivoksen eri vaiheissa sekä simuloida pohjaveden virtaussuuntia sekä kaivoksen vedellä täyttymisaikaa kaivoksen sulkemisen jälkeisessä tilanteessa.

Työssä kerättiin ja käytiin läpi kaivoksen alueelta saatavilla oleva geologinen, hydrologinen, hydrogeologinen, geofysikaalinen ja geometrinen aineisto. Alueelle tehtiin pintavesien pienvaluma-alueanalyysi mallinnusalueen rajaamisen avuksi. Pohjatutkimusten, kairausten, pohjavesiputkien, karttatietojen ja maatutkamittausten perusteella luotiin maaperän syvyysmalli. Maaperän kerroksista mallinnettiin turpeen paksuus ja maapeitteen kokonaispaksuus (kalliotopografia). Kairasydännäytteistä kartoitettujen geoteknisten parametrien (RQD) perusteella tehtiin kallioanalyysi, jossa tarkasteltiin tilastollisesti kallion rakoilua suhteessa syvyyteen. Analyysin perusteella kallion yläosa noin 50 metrin syvyydelle on voimakkaammin rakoilleempaa kuin kallio syvemmällä. 400 metrin syvyyden alapuolella rikkonaisuus on vähäistä. Koostettuun aineistoon ja analyysihin pohjautuen tehtiin puuteanalyysi, ehdotus jatkotutkimuksista ja hydrogeologinen konseptuaalinen malli kaivosalueesta. Konseptuaalisen mallin perusteella luotiin numeerinen pohjavesimalli käyttäen FEFLOW-ohjelmaa.

Vaiheessa 1 simuloitiin nykyisen kaivoksen vaikutusta eli vuoden 2023 tilannetta, jossa maanalainen louhos ulottuu noin 440 m syvyyteen maanpinnasta (–240 m mpy). Vaiheessa 2 mallinnettiin vuoden 2025 tilanne, jossa maanalainen kaivos on laajentunut vuoden 2023 tilanteesta ja ulottuu noin 500 m syvyydelle maanpinnasta (–290 m mpy). Vaiheessa 3 mallinnettiin vuoden 2035 tilanne, jossa maanalainen kaivos ulottuu noin 1 km syvyydelle maanpinnasta (–790 m mpy). Vuoden 2035 mallissa on mukana myös laajennettu avolouhos, jolloin simuloidaan laajimman louhintavaihtoehdon vaikutukset. Simuloinnissa avolouhos ja maanalaiset louhitut tilat mallinnettiin avoimina ja tyhjinä tilavuuksina, mikä kuvaa louhinnan aiheuttamia pohjavesivaikutuksia riittävällä tarkkuudella sekä louhe- ja rikastushiekkatäytön (Kaivostäyttö 1) että louhe- ja täyttökivitäytön (Kaivostäyttö 2) vaihtoehtojen osalta. Mallissa on käytetty rikastushiekka-altaan laajennuksen osalta vaihtoehtoa VE1.

Numeerisen mallin laskennan mukaan kaivoksen vuotovesien aiheuttama pohjaveden alenemakartio ulottuu maaperässä ja kallion pintaosissa vain

muutamien satojen metrien päähän avolouhoksen reunasta. Kuivatuspumppauksen vaikutusalue ei ulotu kaivoksen läheisyydessä sijaitseville Natura-alueille, eikä vaikutusalue laajene ennustesimuloinneissa nykyisestä Jäkeläsuon suuntaan. Kallioperässä painekorkeuden alenema-alue on kuitenkin laajempi kuin maaperässä ja pintakalliossa, ja maanalaista kaivosta syvennettäessä pohjaveden painekorkeuden alenemaa syntyy syvemmällä kallioperässä Taivaljärven suunnalla. Taivaljärvi saa kuitenkin vetensä pintavalunnasta. Mallinnettu kaivoksen suotovesimäärä (pohjaveden virtaus ja sadanta) on avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen osalta yhteensä noin 1295 m³/vrk (vuosi 2023), mikä sopii hyvin yhteen laskennallisen, mitattuihin kuivatusvesipumppauksiin perustuvan suotovesimäärän kanssa (1251–1279 m³/d). Vuoden 2025 ennustesimuloinnissa suotovesimäärä on 1322 m³/vrk ja vuoden 2035 simuloinnissa 1470 m³/vrk.

Kuivatuspumppauksen lopettamisen jälkeen avolouhoksen vedellä täyttymiseen menee mallilaskennan mukaan noin 25–30 vuotta, mutta tulokseen vaikuttaa paljon avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen välisen yhteyden tiiveys sekä avolouhokseen muualta johdettavat ja pintavaluntana tulevat vedet, joita pohjavesimallin laskenta ei ota huomioon. Maanalaisessa louhoksessa painekorkeuden palautuminen voi kestää huomattavasti avolouhoksen täyttymistä kauemmin. Täyttymisen jälkeen pohjaveden virtausgradientti on kohti koillista ja Tipasjärveä, mutta avolouhoksen ylivuoto tapahtuu mallilaskennan perusteella pääosin ylivuoto-ojaa pitkin, ja pohjaveden virtaus kallio-osuudessa on hyvin vähäistä.

Numeeriseen malliin liittyviä epävarmuuksia tarkasteltiin tekemällä herkkyystarkastelua kallioperän ja maaperän hydraulisen johtavuuden, avolouhoksesta maanalaiseen louhokseen kulkeutuvan vesimäärän ja pohjaveden muodostumisen suhteen. Yleensä epävarmuudet laskennassa liittyvät kallion vedenjohtavuuteen, koska se on vaikea määrittellä tarkasti ja kattavasti koko mallinnettavalle kalliotilavuudelle. Sotkamo Silverin hopeakaivoksen mallissa kallion hydraulisen johtavuuden arvot perustuvat nykyisen louhoksen vuotovesimäärän ja mitattujen pohjavesipintojen perusteella tehtyyn mallin kalibrointiin. Arvojen määrittelyssä käytettiin hyväksi myös työssä tehtyä kallioanalyysiä. Kallioanalyysin perusteella on muodostettu käsitys kallion rakoilun esiintymisestä syvyyden suhteen RQD-aineiston pohjalta. Herkkyystarkastelujen perusteella mallin tuloksena saatavaan suotovesimäärään vaikuttaa eniten kallion hydraulisen johtavuuden arvot. Kalibroinnissa saatu mallin tulosten hyvä vastaavuus mitattuihin kuivatusvesipumppauksiin perustuvan suotovesimäärän kanssa kuitenkin lisää mallin luotettavuutta.

Maaperän ja ruhjeiden hydraulisen johtavuuden merkitys vuotovesien määrään on luonnollisesti pienempi kuin kallion hydraulisen johtavuuden arvojen. GTK:n

tekemän ruhjetulkinnan mukaiset ruhjeet eivät suoraan ulotu louhokseen, joten niiden merkitys vuotovesimääriin jää mallissa hyvin vähäiseksi. RQD-aineiston perusteella rikkonaisuutta esiintyy kuitenkin myös syvemmällä kalliossa, mikä voi muodostaa virtausyhteyksiä louhittavien tilojen ja kallion pintaosien välille ja vaikuttaa tuleviin vuotovesimääriin.

Mallin luotettavuutta on mahdollista parantaa ottamalla nykyistä tarkemmin huomioon kuivatuspumppausten vesimäärien syvyystiedot, tekemällä kallioperän vedenjohtavuuden mittauksia erityisesti pintakalliossa louhoksen ja Tipasjärven välisellä alueella ja mahdollisesti syvässä kalliossa nykyisen louhintatason alapuolella sekä pohjavedenpinnan seurannalla. Alueella on maaperän osalta jo varsin kattava pohjaveden pinnankorkeuksien havaintoverkosto, jolla pystytään seuraamaan maapohjaveden tilannetta. Kalliopohjaveden seuranta voidaan tehdä kallioperän pintaosaan sijoittuvista havaintopisteistä.

8 Lähteet

AFRY Finland Oy. 2022. Sotkamon hopeakaivoksen sulkemissuunnitelma.

AFRY Finland Oy 2024. Sotkamon hopeakaivoksen avolouhoksen kehitys louhosjärveksi kaivostoiminnan lopettamisen jälkeen.

Geovisor. 2022. Ground penetrating radar survey fox Sotkamo Silver mine area, spring 2022.

Geo-Work Oy. 2012. Maatutkaluotaustutkimusraportti Sotkamo Silver oy, Taivaljärvi Sotkamo.

GTK Hakku-palvelu, 2023. <https://hakku.gtk.fi/fi/locations/search>, haettu rakennetulkinnat, luettu 19.10.2023

Hoek, E. & Brown, E.T. 1982. Underground excavations in rock. London, England: The Institution of Mining and Metallurgy, p. 14-36.

Ilmatieteenlaitos. 2023a. Avoimen datan palvelu. Haettu sadanta, sääasema Kuolaniemi 2010–2022.

Ilmatieteenlaitos. 2023b. Ilmasto-opas.fi. <https://www.ilmasto-opas.fi>. Luettu 11/2023.

Kesäniemi. 2009. Rahkaturvemaiden hydrauliset ominaisuudet. Teknillinen korkeakoulu, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos, Licensiaatintyö.

Maanmittauslaitos. 2023. Avoimen datan palvelu, maanpinnan topografia, taustakartta-aineistoa.

SYKE (Suomen ympäristökeskus) 2023. Ympäristöhallinnon avoimet ympäristötietojärjestelmät. Haettu pohjavesialueet.