

Liite 5

a Pohjavesimallinnus (sisältää myös herkkyystarkasteluraportin)

ENVIRONMENTAL STUDIES 2024-2025 GROUNDWATER FLOW AND DRAWDOWN MODELLING – SUOMENNOS

Tiivistelmä

Boliden Kevitsa Mining Oy (Boliden) on tilannut WSP Finland Oy:ltä (WSP) selvityksiä osana meneillään olevaa Kevitsan kaivoksen laajennusta ja sulkemissuunnitelman päivitystä koskevaa YVA-menettelyä. Tässä raportissa keskitytään hankkeen vaikutuksiin pohjavesivirtaamiin ja pohjaveden alenemaan. Haitta-aineiden kulkeutumisesta ja louhosjärvimallinnuksesta laaditaan erilliset raportit (WSP, 2025a; WSP, 2025b).

YVA-menettelyssä on esitetty neljä vaihtoehtoa (VE0, VE0+, VE1.1 ja VE1.3) Kevitsan kaivoksen kehittämiseksi. Vaihtoehdot VE0 ja VE0+ vastaavat hyvin pitkälti nykyisen ympäristöluvan mukaista toimintaa, kun taas vaihtoehdot VE1.1 ja VE1.3 sisältävät mm. Iso-Hanhilehdon tarvekivilouhoksen, laajennetun avolouhoksen, suuremman sivukivialueen sekä uusia rikastushiekka-altaita. Vaihtoehtoa VE0 on arvioitu aikaisemmassa selvityksessä. (Golder, 2018). Tässä selvityksessä on mallinnettu vaihtoehdot VE0+ ja VE1.3 ja niiden perusteella on kvalitatiivisesti tarkasteltu vaihtoehdon VE1.1 vaikutuksia pohjaveteen.

Kevitsan kaivoksen toiminnan ja sulkemisen aikaisten mahdollisten hydrogeologisten vaikutusten arvioinnissa kaivoksen ympäristössä on käytetty muuttuvat virtausolosuhteet huomioivaa numeerista pohjavesimallia. Mallinnuksessa on erityisesti huomioitu viereiset Natura-alueet. Työssä käytetty pohjavesimalli perustuu olemassa olevaan numeeriseen malliin, joka päivitettiin kaivosalueen uusilla tiedoilla ja malli on kalibroitu vastaamaan toiminnan muuttuvia virtausolosuhteita.

Keskeisiä tehtäviä olivat alueen käsitteellisen mallin (CSM) päivittäminen, uudet geologiset ja hydrogeologiset tiedot huomioiden, sekä ennakoivien simulaatioiden laatiminen pohjaveden sisäänvirtauksen ja -nousun sekä valuma-vaikutusten arvioimiseksi.

Käsitteellisen hydrogeologisen mallin alueella topografia on pääosin tasainen, mutta siinä esiintyy paikallisia korkeuseroja. Matalammat kohdat liittyvät usein herkkiin kohteisiin, kuten kaivoksen itäpuolella sijaitsevaan Natura 2000 -alueeseen. Matala pohjavesi ylläpitää pintavesiverkostoa, joka virtaa pääasiassa pohjoiseen-luoteeseen kohti Mataraojaa ja Kitistä, mutta osittain myös etelään kohti Saiveljärveä ja Ympärysjokea, joiden virtausta ohjataan ohjausojilla. Ilmastolle on tyypillistä pitkät talvet ja kohtalaiset kesät. Sulamisvesien vaikutus virtaamiin on korkeimmillaan myöhään keväällä. Geologisesti alue koostuu turpeesta, moreenista, rapautuneesta sekä ehyemmästä rakoilevasta kallioperästä. Vedenjohtavuus pienenee syvyyden ja virtausmekanismien

siirtyessä rakeiden välisestä virtauksesta rakopainotteiseksi virtaukseksi. Pohjaveden yleinen virtaussuunta on länteen, vaikka avolouhos muuttaa paikallisia virtausreittejä. Avolouhoksella virtaussuunta noudattelee merkittävimpiä heikkousvyöhykkeitä. Toiminnan aikainen pohjaveden muodostuminen on laskettu HBV-mallin ja Sodankylän sääaseman säähavaintojen avulla. RCP 4.5 -ilmastomallien mukaan pohjavettä muodostuu tulevaisuudessa enemmän. Vedenottoa hallitaan pumppauksilla sekä keräämällä suotovesiä. Sivukiven läjitysalueen ja rikastushiekka-altaiden ympärille on rakennettu järjestelmät suotovesien hallintaan.

VE0+ ja VE1.3 -vaihtoehtojen mallinnus tehtiin MODFLOW-USG-ohjelmistolla käyttäen strukturoimatonta ruudukkoa Groundwater Vistas -ympäristössä. Mallinnusta päivitettiin tarkentamalla mallinnettavaa aluetta ja louhosalueen heikkousvyöhykkeiden esittämistä. Päivityksessä huomioitiin myös päivitetty arviot kaivannaisjätealueiden suotovesistä. Lisäksi mallinnukseen sisällytettiin altaaseen B liittyvät pumppauskaivot ja kuivatusoja sekä uudet tarkkailuputket ja uusin seuranta-aineisto. Avolouhoksen vaiheet kaivoksen koko elinkaaren ajalta on esitetty vaiheittain aina sulkemiseen asti, mikä mahdollistaa pohjaveden virtauksen ja -pinnankorkeuden laskennan. Vaihtoehtoihin liittyen mallinnuksessa huomioitiin myös altainen A2 ja B2 suotovedet sekä Iso-Hanhilehdon louhos.

Mallinnus kalibroitiin uusimpien pohjaveden pinnankorkeus- ja louhoksen sisäänvirtausmittausten perusteella. Tässä selvityksessä käytettävissä ollut aineisto ulottui marraskuuhun 2023 saakka. Pohjaveden pinnankorkeustietojen kalibrointi saavutettiin kohtuullisella tasolla, jolla NRMS (normalisoitu neliöllinen keskiarvo) oli 6 %. Louhoksen sisäänvirtaukset kalibroitiin onnistuneesti, ja ne vastasivat hyvin GoldSim-mallin pohjavesivirtaamia. Pinnankorkeuden kalibrointi onnistui hyvin tarkkailuputkissa Natura 2000 -kosteikkoalueen läheisyydessä, ja useammassa tapauksessa pohjaveden alenemat saatiin toistettua.

Pohjavesimallinnuksen tulokset osoittavat, että vaihtoehtoilla VE1.1 ja VE1.3 on suurempia vaikutuksia pohjaveteen kuin vaihtoehtoilla VE0 ja VE0+, mikä johtuu pääasiassa syvemmästä louhoksesta sekä vaihtoehtoihin kuuluvasta Iso-Hanhilehdon louhoksesta.

Vaihtoehdossa VE0 avolouhoksen sisäänvirtaus on suurin, noin $3000 \text{ m}^3/\text{vrk}$. VE0 tarkastelu ei sisällä kuitenkaan tässä selvityksessä tehtyä louhoksen tarkennettua mallinnusta. Arvioidaan, että VE0-vaihtoehtoon sisäänvirtaus vastaa VE0+:n virtausta, jossa huippuvirtaama on $2\,039 \text{ m}^3/\text{vrk}$. Vaihtoehtoissa VE1.3 ja VE1.1 huippuvirtaaman ennustetaan nousevan $2\,364 \text{ m}^3/\text{vrk}$:ssa, mikä on 16 % enemmän kuin vaihtoehdossa VE0+. Satojärveen kohdistuva vaikutus on voimakkaampi vaihtoehtoissa VE1.1 ja VE1.3, joissa veden virtauksen muutos on 12 % ($86 \text{ m}^3/\text{vrk}$), verrattuna vaihtoehtoon VE0+ jossa muutos on 5 % ($41 \text{ m}^3/\text{vrk}$).

Kaikissa vaihtoehdoissa kuivatus muuttaa alueellisia virtaussuuntia, mutta vaihtoehdossa VE1.3 nähdään laajempi vaikutusalue sekä rikastushiekka-altaiden länsipuolella virtaussuunnan muutos kohti Iso-Hanhilehdon louhosta. Aleneman vaikutukset ovat myös merkittävämpiä vaihtoehdossa VE1.3. Maksimissa alenema ulottuu 3040 metrin päähän louhoksesta ja Natura 2000 -alueen rajalla alenema on jopa 2 metriä. Vastaavat arvot vaihtoehdossa VE0 ovat 2900 metriä ja 0,6 metriä. Vaihtoehdossa VE0 alenema ulottuu vain 1900 metrin päähän louhoksesta. Vaihtoehdon VE1.1 pohjaveden sisäänvirtauksen ja aleneman oletetaan vastaavan enemmän vaihtoehtoa VE1.3 kuin vaihtoehtojen VE0 tai VE0+ tuloksia. Malliin sijoitetut teoreettiset tarkkailupisteet Natura 2000-alueelle vahvistavat käsityksen suuremmista alenemista vaihtoehdossa VE1.3, erityisesti pisteissä 05 ja 07. Näistä eroista huolimatta molemmissa vaihtoehdoissa tasapainotila ennustetaan saavutettavan vuoteen 2094 mennessä, jolloin pohjaveden pinnantasot ovat palautuneet ja purkautuminen Mataraojaan jatkuu sulkemisen jälkeen. Tulokset korostavat tarvetta seurannalle ja mukautuvalle vedenhallinnalle, jotta voidaan reagoida muuttuviin olosuhteisiin ja epävarmuustekijöihin erityisesti Natura 2000 -alueella ja vaikutuksiltaan voimakkaammassa vaihtoehdossa VE1.3.

Mallinnuksen tarkkuuden parantamiseksi suositellaan, että pohjaveden pinnankorkeuden seuranta jatketaan Natura 2000 -kosteikkoalueen ympäristössä sijaitsevilla tarkkailupisteillä. Laajempi aineisto Natura -alueen läheisyydestä lisää mallinnuksen ennustettavuutta ja luotettavuutta. Lisäksi suositellaan, että uutta tarkkailuaineistoa kuten äskettäin asennetut tarkkailuputket (KevG-74, KevG-76, KevG-77 ja KevG-78) sekä Iso-Hanhilehdon alueelta saadut hydrogeologiset koetulokset lisätään malliin. Näin voidaan paikata nykyisiä havaintopuutteita ja parantaa alueellista kattavuutta erityisesti niillä alueilla, jotka ovat aiemmin olleet heikosti edustettuina.

1. Johdanto

WSP Finland Oy (WSP) on saanut toimeksiannon Boliden Kevitsa Mining Oy:ltä (Boliden) laatia selvityksiä, jotka tukevat ympäristövaikutusten arviointia (YVA) suunnitellun Kevitsan kaivoksen laajennuksen ja myöhemmän sulkemisen osalta.

WSP:n toteuttamat selvitykset sisältävät pohjaveden virtauksen mallinnuksen, haitta-aineiden kulkeutumisen mallinnuksen sekä louhosjärven muodostumisen mallinnuksen. Tämä raportti keskittyy ennustetun pohjaveden virtauksen ja vedenpinnan alenemisen mallintamiseen.

Pohjaveden virtauksen ja alenemisen mallinnuksen tavoitteena on tuottaa seuraavat YVA-menettelyssä tarvittavat keskeiset tulokset:

- Arvio pohjaveden virtaussuunnista kaivostoiminnan aikana ja sulkemisvaiheessa;
- Arvio vedenpoiston laajuudesta ja vaikutuksista pohjaveden tasoihin, erityisesti Natura 2000 -alueella kaivostoiminnan ja sulkemisen aikana;
- Arvio pohjaveden sisäänvirtauksen määrästä avolouhokseen kaivostoiminnan aikana sekä louhosjärven uudelleentäyttymisestä sulkemisvaiheessa.

Mallinnuksessa tarkastellaan eri kaivosratkaisujen mahdollisia vaikutuksia ympäröivään pohjavesiympäristöön kuivana pidon seurauksena. Numeerista mallinnusta on käytetty ennustamaan pohjaveden sisäänvirtauksia, vedenpinnan korkeuksia ja alenemaa kaivosalueella. Mallinnuksen tuloksia hyödynnetään päätöksenteossa kaivoksen toiminnan ja sulkemisen aikaisissa hallintatoimissa.

Bolidenin YVA-konsultti AFRY Finland Oy (AFRY) on määrittänyt neljä toimintaa ja sulkemista koskevaa vaihtoehtoa. Kunkin vaihtoehdon ympäristövaikutuksia vertaillaan YVA-raportissa, ja nämä vaihtoehdot on esitelty tarkemmin kohdassa 1.1.

1.1. YVA-vaihtoehdot

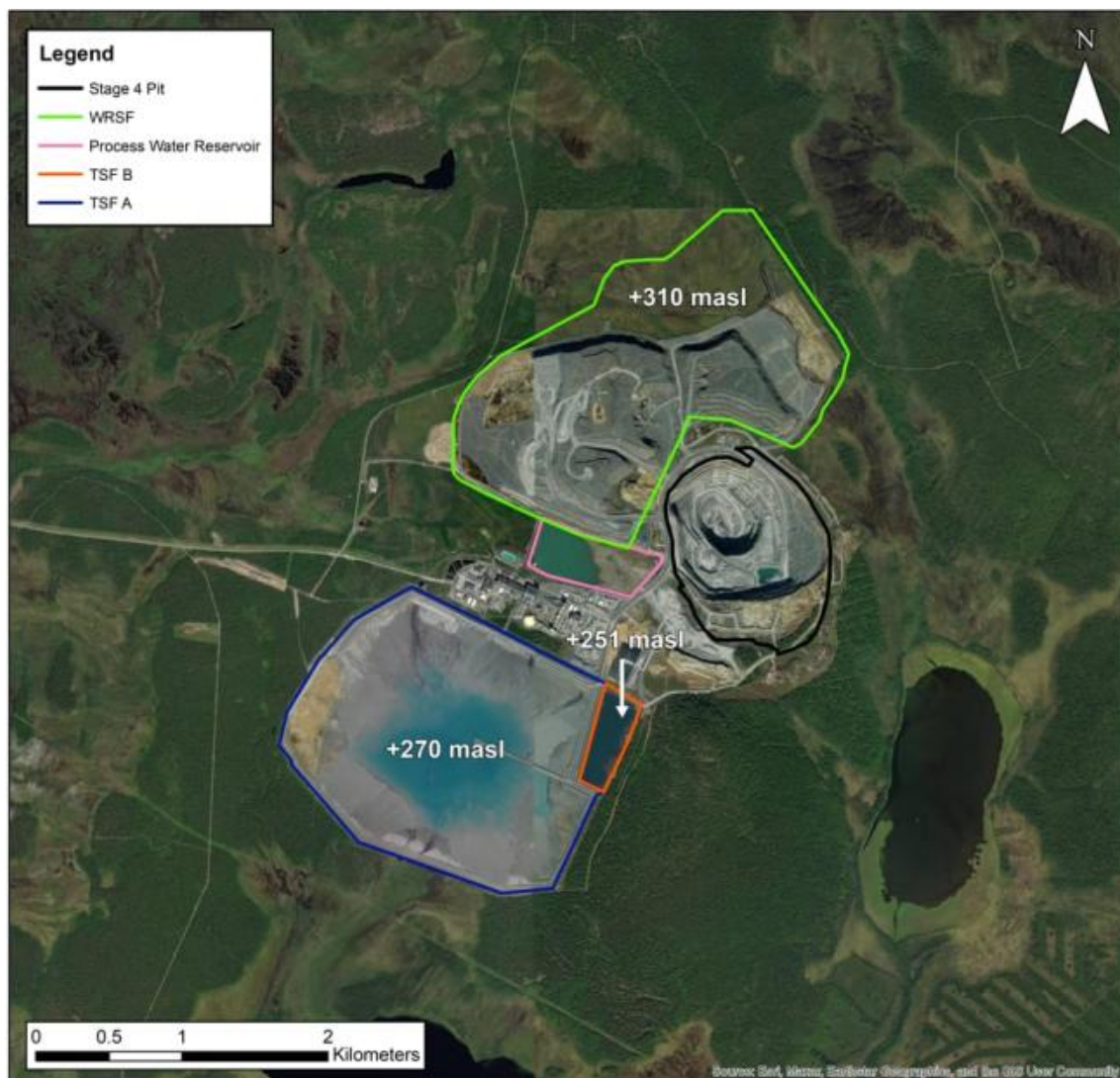
YVA-menettelyssä tarkastellaan neljää vaihtoehtoa: VE0, VE0+, VE1.1 ja VE1.3. On huomioitava, että vaihtoehto VE0 tunnettiin aiemmin nimellä Vaihtoehto 1. Kunkin vaihtoehdon kaivoshankkeeseen liittyvät suunnitelmat on tiivistetty taulukossa 11 ja esitetty kuvissa 11–14.

Vaihtoehtoon VE0 liittyvien ympäristövaikutusten arviointi on koottu muistioon nimeltä “*Scenario 1 Groundwater Flow and Contaminant Transport Risk Assessments*” (WSP, 2024a), joka julkaistiin 27. kesäkuuta 2024. Vaikutuksia arvioitiin laadullisesti asiantuntija-arvion perusteella ja hyödyntämällä olemassa olevia tutkimuksia, jotka perustuvat VE0-kaivossuunnitelmaan (Golder, 2018; Golder, 2020a; WSP Golder, 2022). Vaihtoehtoa VE0 ei mallinnettu uudelleen osana nykyisiä tutkimuksia. Pohjaveden mallinnusta YVA-tutkimuksissa on tehty vain vaihtoehdoille VE0+ ja VE1.3. Katsotaan, että suunnittelun erot näiden kahden vaihtoehdon välillä – VE0+ edustaen vähäisimpiä mahdollisia vaikutuksia ja VE1.3 suurimpia mahdollisia vaikutuksia – mahdollistavat laadullisen arvion myös vaihtoehtoon VE1.1 liittyvistä pohjavesivaikutuksista.

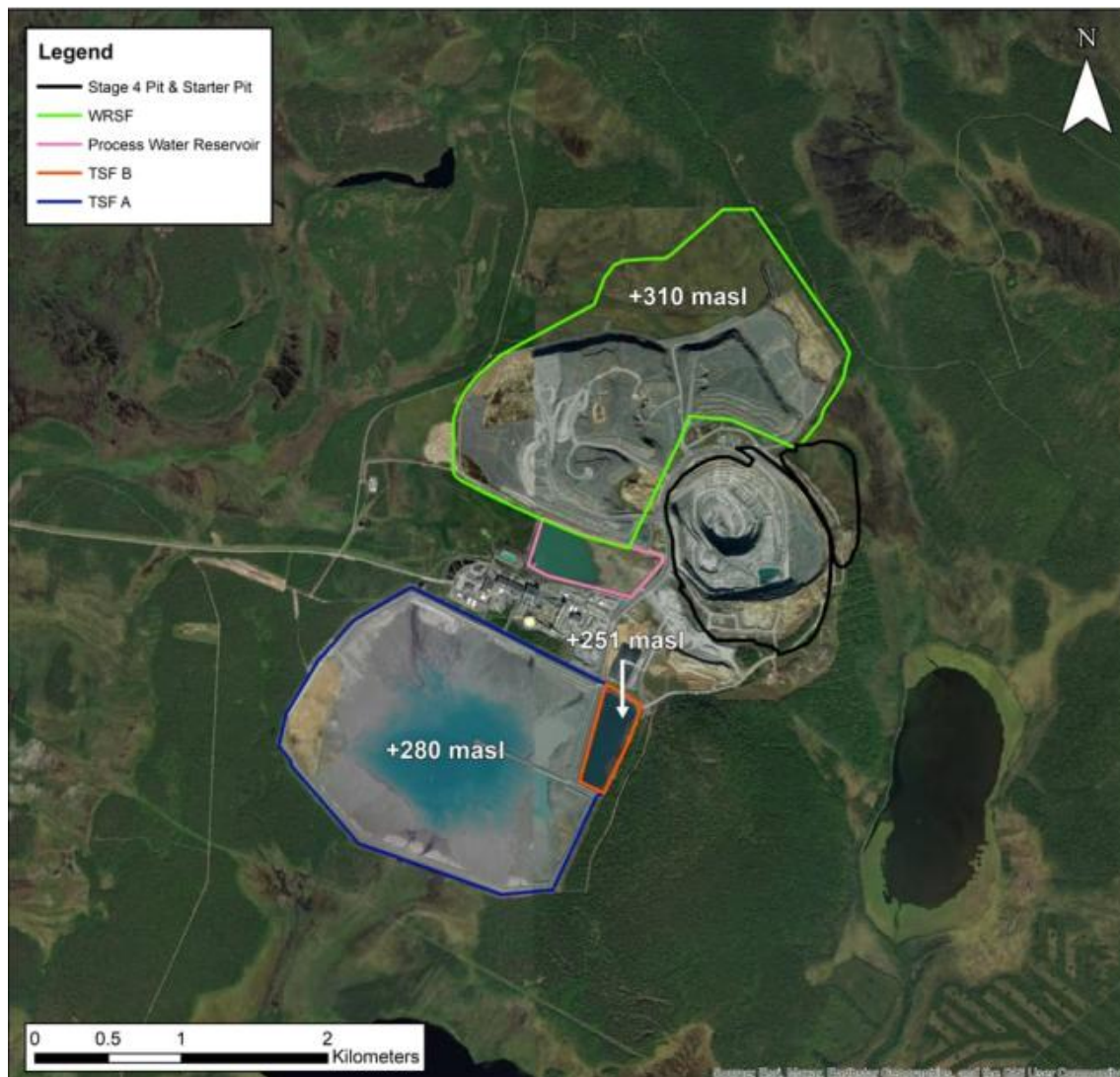
Taulukko 11 YVA-vaihtoehdot.

Kaivoksen osa-alue	VE0	VE0+	VE1.1	VE1.3
Tuotannon aikataulu	2012–2029 (mukaan lukien)	2030–2033 (mukaan lukien)	2034–2044 (mukaan lukien)	2034–2044 (mukaan lukien)
Sulkeminen alkaa	Tammikuu 2034		Tammikuu 2045	
Rikastushiekka-alue A1	Korkeus 270 m käyttäen keskilinjakorotus suunnitelmaa	Korkeus 280 m käyttäen keskilinjakorotus suunnitelmaa	Korkeus 310 m käyttäen keskilinjakorotus suunnitelmaa	Korkeus 280 m käyttäen keskilinjakorotus suunnitelmaa
Rikastushiekka-alue A2	Ei mukana	Ei mukana	Ei mukana	Mukana

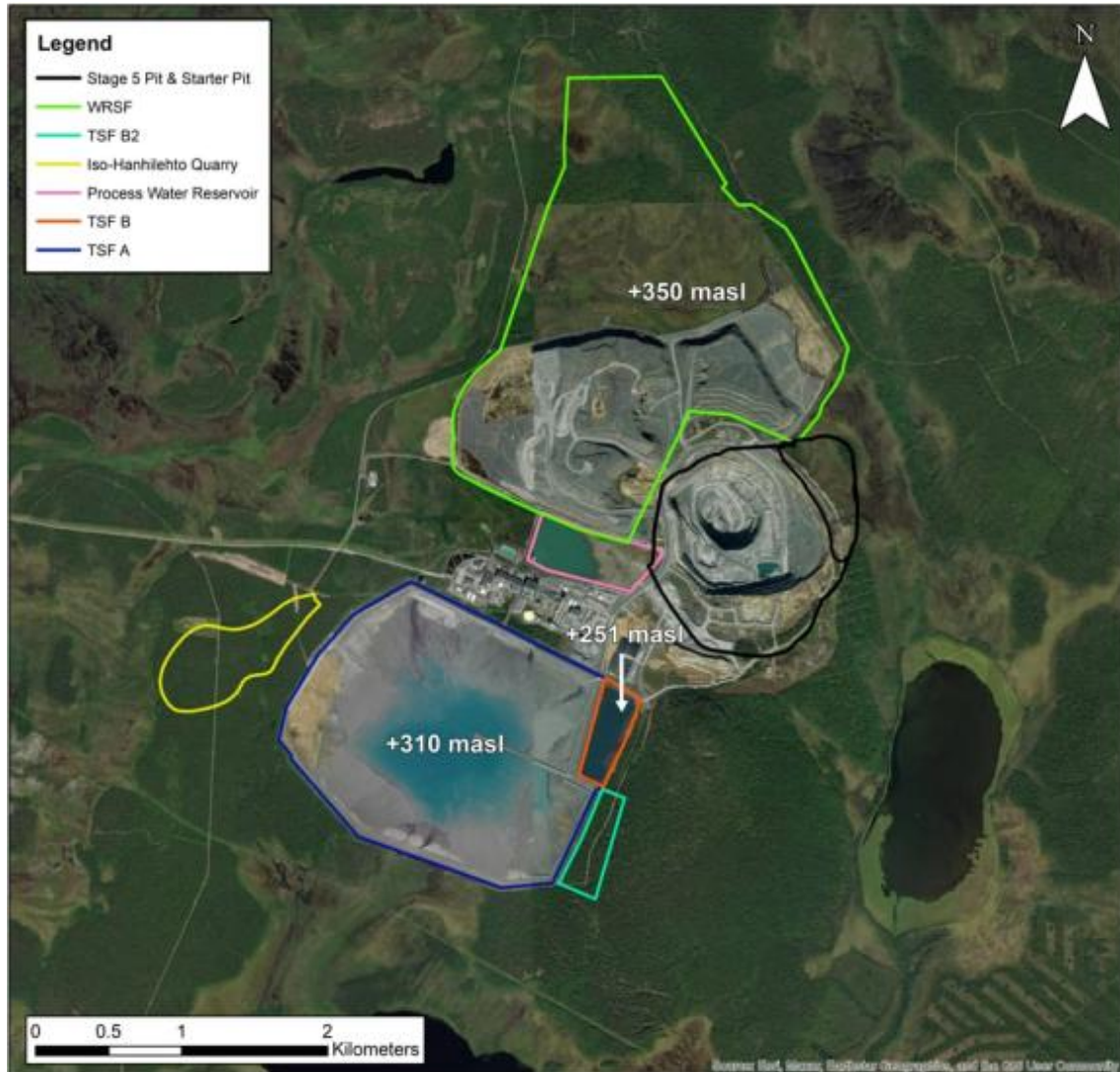
Rikastus-hiekka- alue B1	Nostetaan enintään luvitettuun korkeuteen (+251 m)	Nostetaan enintään luvitettuun korkeuteen (+251 m)	Nostetaan enintään luvitettuun korkeuteen (+251 m)	Nostetaan enintään luvitettuun korkeuteen (+251 m)
Rikastus-hiekka- alue B2	Ei mukana	Ei mukana	Mukana	Ei mukana
Prosessivesialta an nosto	Ei mukana	Mukana	Mukana	Mukana
Louhos	Nykyinen suunnitelma (Vaihe 4)	Nykyinen suunnitelma (Vaihe 4)	Kasvaa 55 ha (Vaihe 5)	Kasvaa 55 ha (Vaihe 5)
Käyttökelpoisen sivukiven varasto	Ei mukana	Mukana	Mukana	Mukana
Tarvekilouhos				
Sivukivialue	Nykyinen korkeus (+310 m) ja koko (322 ha)	Nykyinen korkeus (+310 m) ja koko (322 ha)	Korotettu korkeus (+350 m) ja koko (445 ha)	Nykyinen korkeus (+310 m) ja kasvatettu koko (568 ha)
Iso Hanhilehto	Ei mukana	Ei mukana	Mukana	Mukana
Uudelleen luokitetun tarvekiven käyttö	Ei mukana	Mukana (Sivukivialue + Rikastushiekka- alue)	Mukana (Sivukivialue + Rikastushiekka- alue)	Mukana (Sivukivialue + Rikastushiekka- alue)



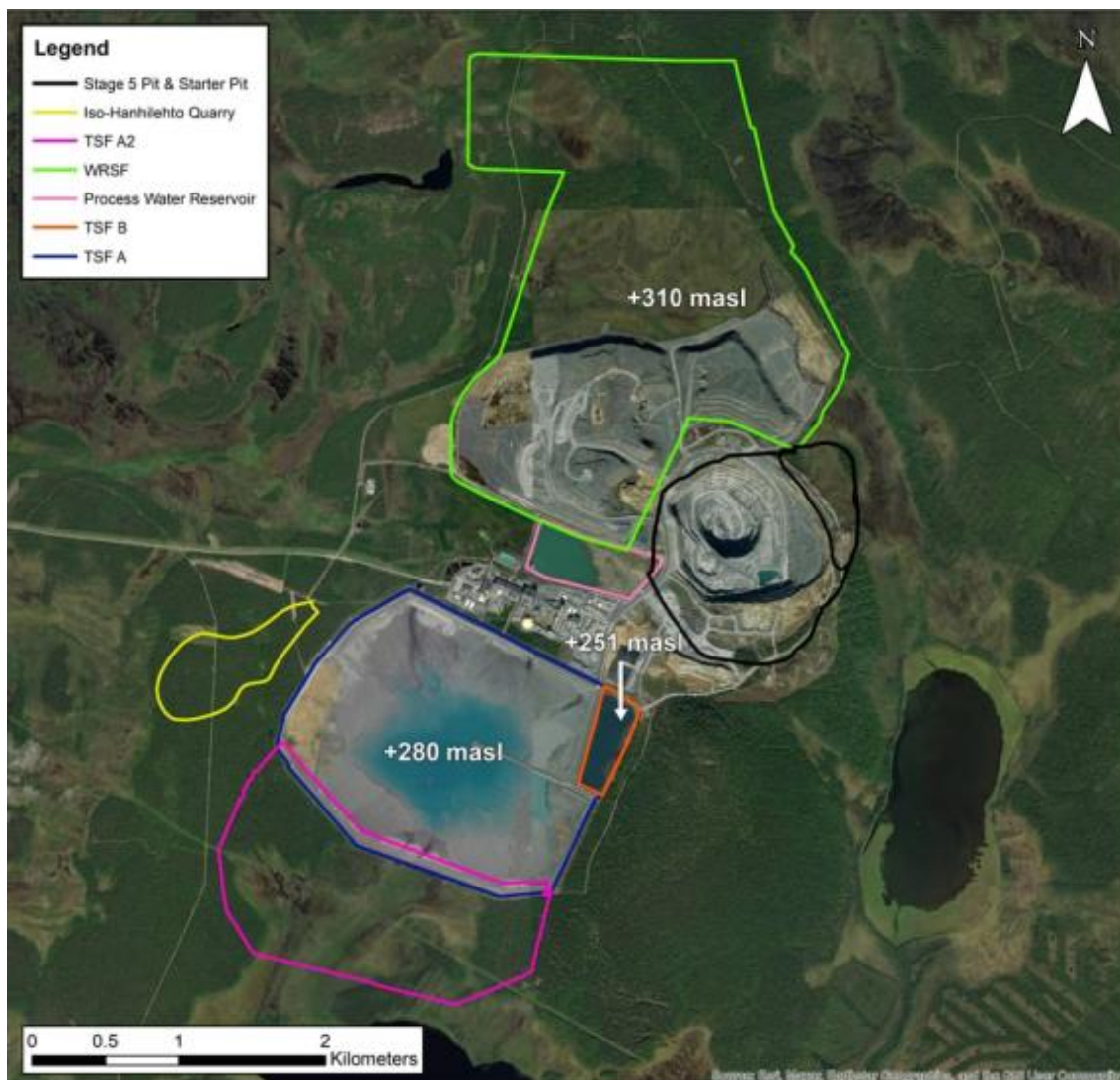
Kuva 11 Suunnitelma - VE0. Kuvassa tekstit m.a.s.l metriä merenpinnan yläpuolella, Stage 4 Pit vaiheen 4 louhos, WRSF sivukivialue, TSF rikastusbiekka-alue, Process Water Reservoir prosessiveden varastoallas.



Kuva 12 Suunnitelma - VE0+ Kuvassa tekstit m.a.s.l metriä merenpinnan yläpuolella, Stage 4 Pit vaiheen 4 louhos, WRSF sivukivialue, TSF rikastusbiikka-alue, Process Water Reservoir prosessiveden varastoallas.



Kuva 13 Suunnitelma - VE1.1 Kuvassa tekstit m.a.s.l metriä merenpinnan yläpuolella, Stage 4 Pit vaiheen 4 louhos, WRSF sivukivialue, TSF rikastusbiekka-alue, Process Water Reservoir prosessiveden varastoallas. Quarry tarvekilouhos, Starter pit Tarvekilouhos.

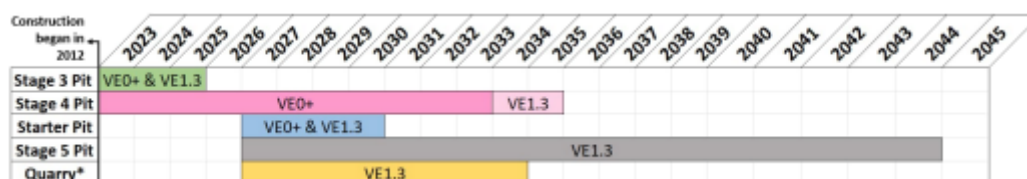


Kuva 14. Suunnitelma - VE1.3 Kuvasa tekstiä m.a.s.l metriä merenpinnan yläpuolella, Stage 4 Pit vaiheen 4 louhos, WRSF sirukivialue, TSF rikastusbiekka-alue, Process Water Reservoir prosessiveden varastoallas. Quarry tarvekilouhos, Starter pit Tarvekilouhos.

1.2. Kaivostoiminta ja kaivoksen sulkemisaikataulu

Kevitsan kaivostoiminta on ollut käynnissä vuodesta 2012. Kaivoksen toiminta- ja sulkemisvaiheen aikataulu vaihtelee eri YVA-vaihtoehtojen välillä.

Vaihtoehtojen VE0+ ja VE1.3 louhinta-aikataulu on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15 Louhinta-aikataulu. Quarry tarkoittaa Iso Hanhiehdon tarvekilouhosta. Stage = louhintavaihe, Pit = avolouhos. Starter pit = Tarvekilouhos.

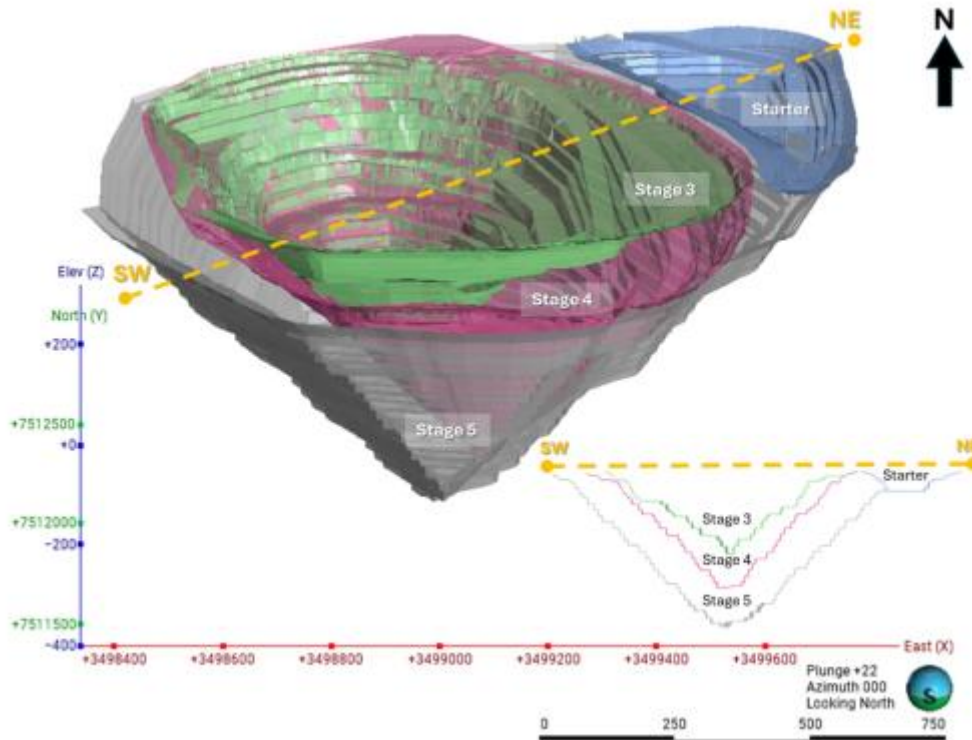
Aikataulusta on huomioitava seuraavat seikat:

- Vaiheen 3 avolouhoksen ja aloituslouhoksen kaivuajankohta on sama sekä vaihtoehdossa VE0+ että VE1.3;
- Vaiheen 4 avolouhoksen käyttöikä vaihtoehdossa VE0+ ulottuu vuoden 2033 loppuun;
- Vaiheen 5 avolouhoksen käyttöikä vaihtoehdossa VE1.3 ulottuu vuoden 2044 loppuun;
- Vaiheen 4 avolouhoksen kaivuaikaa on pidennetty kahdella vuodella vaihtoehdossa VE1.3;
- Iso Hanhilehdon louhoksen kaivutyöt päättyvät vuonna 2034, ja se sisältyy vain vaihtoehtoon VE1.3.

Kaivosratkaisut vaihtoehdoille VE0+ ja VE1.3 on esitetty kuvissa 12 ja 14. Vaiheen 4 avolouhos ulottuu maksimisyvyyteen -252 metriä merenpinnan yläpuolella (m mpy) ja vaiheen 5 avolouhos syvyyteen -402 m mpy (kuva 16).

Toimintavaiheen aikana vettä pumpataan avolouhoksesta ja Iso Hanhilehdon tarvekilouhoksesta (vain VE1.3) kuivien olosuhteiden ylläpitämiseksi sekä vedenpoisto-ojasta ja keräyskaivoista rikastushiekka-alueelta tapahtuvan suotautumisen hallitsemiseksi. Kaikki pumppaus, lukuun ottamatta vedenpoisto-ojaa, on tarkoitus lopettaa kaivoksen sulkemisvaiheen alkaessa.

Sulkemisvaiheessa rikastushiekka- ja sivukivialueille asennetaan peittorakenteet, jotka vähentävät veden suotautumista rakenteisiin. Tässä raportissa ei käsitellä muita kunnostustoimenpiteitä sulkemisvaiheen aikana. Avolouhokseen odotetaan muodostuvan louhosjärvi sen jälkeen, kun kuivanapito on lopetettu (eli tuotannon päättyessä).



Kuva 16. Kaivoksen rautalankamalli, modifioitu Leapfrogista.

1.3. Aineisto

Tämä tutkimus perustuu useisiin aiempiin selvityksiin, joita on tehty viime vuosina pohjavesijärjestelmän ja kaivostoimintaan liittyvien vaikutusten kartoittamiseksi. Keskeisiä tässä tutkimuksessa käytettyjä asiakirjoja ovat raportit, joissa on yhteenveto pohjaveden virtauksen ja vedenpinnan alenemisen mallinnuksesta toiminta- ja sulkemisvaiheessa (Golder, 2018; Golder, 2020a) sekä raportit, joissa on yhteenveto pohjavesiriskien arvioinnista näissä vaiheissa (Golder, 2020a; WSP Golder, 2022).

Boliden on koonnut asiantuntijakonsulttien tiimin työskentelemään yhteistyössä YVA-menettelyn tukemiseksi. Jokainen projektivaihe perustuu toisiinsa liittyviin tietovirtoihin, jotka on kerätty yhteistyössä. Tässä projektivaiheessa uudet keskeiset tietolähteet ovat seuraavat:

- Boliden on toimittanut tietoa kaivosalueen tuotantosuunnitelmista (esim. aikataulut, geometria), vedenpoisto-ojien korkeustiedoista, päivitetystä pohjaveden pinnankorkeuden seuranta-aineistosta ja pumppaustiedoista sekä Leapfrog-mallin geologisine tietoineen;
- WSP on toimittanut arvioita suotautumisesta toiminta-aikana rikastushiekka-alue A1:n osalta sekä suotautumisarvioita toiminta- ja sulkemisvaiheessa rikastushiekka-alue A2:n ja rikastushiekka-alue B:n osalta;

- Okane Consultants Inc (OKC) on toimittanut suotautumisarvioita sivukivialueelle toiminta- ja sulkemisvaiheessa sekä päivitettyjä rikastushiekka-alue A:n suotautumisarvioita sulkemisvaihetta varten;
- AFRY on toimittanut Iso Hanhilehdon louhoksen suunnittelutiedot, Natura 2000 -alueen rajauksen sekä tunnistanut kuusi sijaintia, joissa esiintyy herkkiä lajeja Natura 2000 -alueella.

Tässä tutkimuksessa käytetyt keskeiset tietolähteet on esitetty liitteessä A. Tarvittaessa on lisätty kommentteja selventämään, miten aineistoa on käytetty tai toimitettu. Seurantatietojen osalta aineiston katkaisuaikana on pääsääntöisesti käytetty marraskuuta 2023. Joitakin myöhempiä tietoja on kuitenkin sisällytetty, mikäli ne selvensivät aiemmin epäselviä kohtia aineistossa (esimerkiksi lounaisosan keräyskaivojen seurantatiedot, jotka otettiin käyttöön vasta katkaisuaajan jälkeen). Käytettyjen tietojen aikajaksot on esitetty raportin asianomaisissa osioissa.

1.4. Tutkimusmenetelmä

Kuten kohdassa 1.3 todettiin, tämä tutkimus pohjautuu aiempiin selvityksiin: Golder (2018), Golder (2020a) ja WSP Golder (2022). Tässä raportissa esitetty numeerinen mallinnus perustuu uusimpaan ajallisesti vaihtelevaan pohjavesiriskien arviointimalliin (WSP Golder, 2022). Kyseinen virtaus- ja kulkeutumismalli tarkastelee todennäköisimpiä haitta-aineiden kulkeutumisolosuhteita rikastushiekka-alue A1 A:n ja rikastushiekka-alue B1:n osalta. Lisätietoja aiemmasta mallista löytyy raportista WSP Golder (2022). Tässä tutkimuksessa on toteutettu ainoastaan pohjaveden virtauksen mallinnusta, jonka tarkoituksena on arvioida kaivosrakenteiden suunnittelumuutosten vaikutuksia pohjaveden pinnan korkeuksiin toiminta- ja sulkemisvaiheessa. Haitta-aineiden kulkeutumisen ja geokemiallisen louhosjärvimallinnuksen tulokset raportoidaan erikseen (WSP, 2025a; WSP, 2025b).

Tässä raportissa käsitelty päivitetty malli sisältää olemassa olevan mallin uudelleenkalibroinnin sekä ennustemallinnuksen, jolla arvioidaan avolouhoksen aiheuttamia pohjaveden sisäänvirtauksia, vedenpinnan korkeuksia ja alenemia sekä ennustetaan louhosjärven muodostumista avolouhokseen. Tutkimuksen yhteydessä suoritettiin seuraavat tehtävät:

- Kaivosalueen käsitteellisen hydrogeologisen mallin päivittäminen uusimpien aineistojen (ks. kohta 1.3) pohjalta, jotka on toimittanut Boliden, WSP ja Okane;
- Uuden aineiston integrointi olemassa olevaan numeeriseen virtausmalliin;
- Virtausmallin uudelleenkalibrointi ajallisesti vaihtelevassa tilanteessa, käyttäen ajanjaksoa, joka edustaa toiminnan keskimääräisiä olosuhteita (kalibrointijakso joulukuu 2011 – marraskuu 2023), kalibrointiparametreina käytettiin pohjaveden pinnankorkeuksia ja avolouhoksen mitattuja sisäänvirtauksia;
- Ennustesimulaatiot, joilla arvioitiin kaivoksen vaikutuksia pohjavesijärjestelmään vaihtoehtojen VE0+ ja VE1.3 suunnitelmien mukaisesti;

- Laadullinen arvio vaihtoehtoon VE1.1 liittyvistä vaikutuksista, hyödyntäen mallinnustuloksia vaihtoehdoista VE0+ ja VE1.3;
- Ennustesimulaatiot, joilla arvioitiin louhosjärven muodostumista mallintamalla louhoksen sisäänvirtauksia eri louhosjärven pinnankorkeuksilla vaihtoehdoissa VE0+ ja VE1.3.

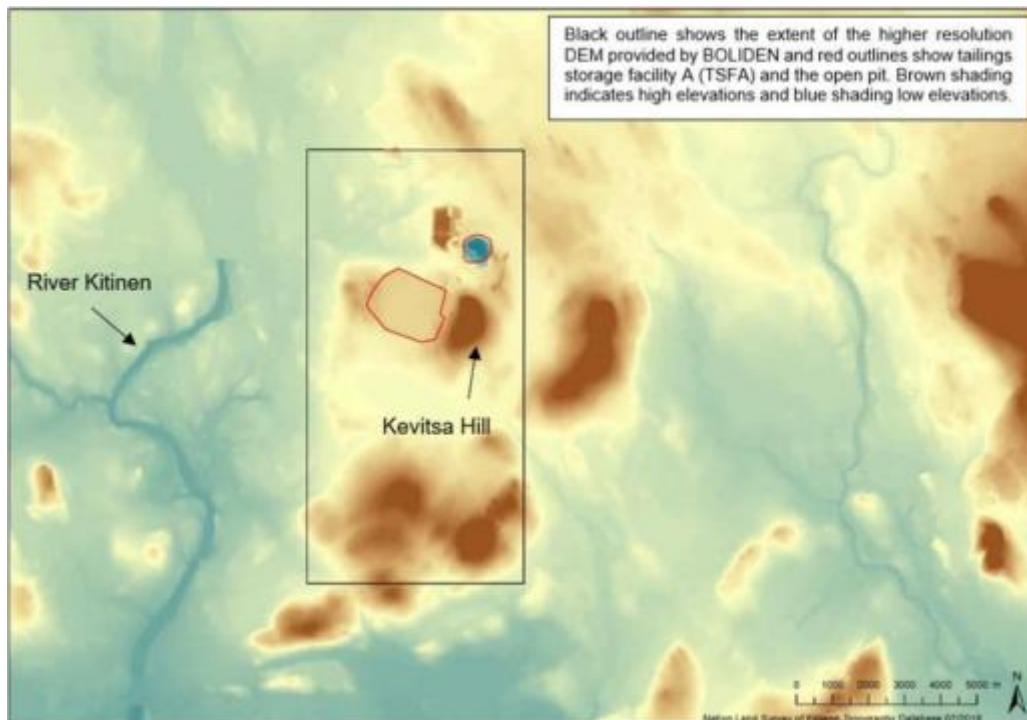
2. Ympäristön yleiskuvaus

2.1. Maastonmuodot

Tutkimusalueen maasto on pääosin tasaista, ja sitä halkovat hieman korkeammat mäki-alueet, jotka ovat pääosin mäntymetsien peitossa. Alueella sijaitsee useita järviä, jokia ja kosteikkoja, kuten kuvassa 21 on esitetty.

Rikastushiekka-alue A1 (Tailings Storage Facility, TSF) sijaitsee kahden mäen välisessä painanteessa Kevitsavaaran itäpuolella ja Iso Hanhilehdon metsäalueen länsipuolella. Kevitsavaaran itäpuolella sijaitsee matala harjanne, joka kaartuu luoteesta pohjoiseen ja muodostaa kaivosalueen itäpuolisen pintavesien valuma-alueen rajan.

Alueen korkeuserot vaihtelevat: korkeimmat kohdat ovat 315 metriä merenpinnan yläpuolella (m mpy) Kevitsavaaran itäpuolella ja matalimmat kohdat 187 m mpy lännessä Kitisenjoen varrella (Golder, 2018).



Kuva 21 Numeerinen korkeus-malli (DEM) Kevitsan kaivosalueesta. Musta ääriivi osoittaa Bolidenin toimittaman korkeamman resoluution numeerisen korkeusmallin (DEM) laajuuden, ja punaiset ääriviivat osoittavat rikastushiekka-altaan A sekä avolouhoksen sijainnin. Ruskea sävy kuvaa korkeita maastonkohtia ja sininen sävy matalia maastonkohtia.

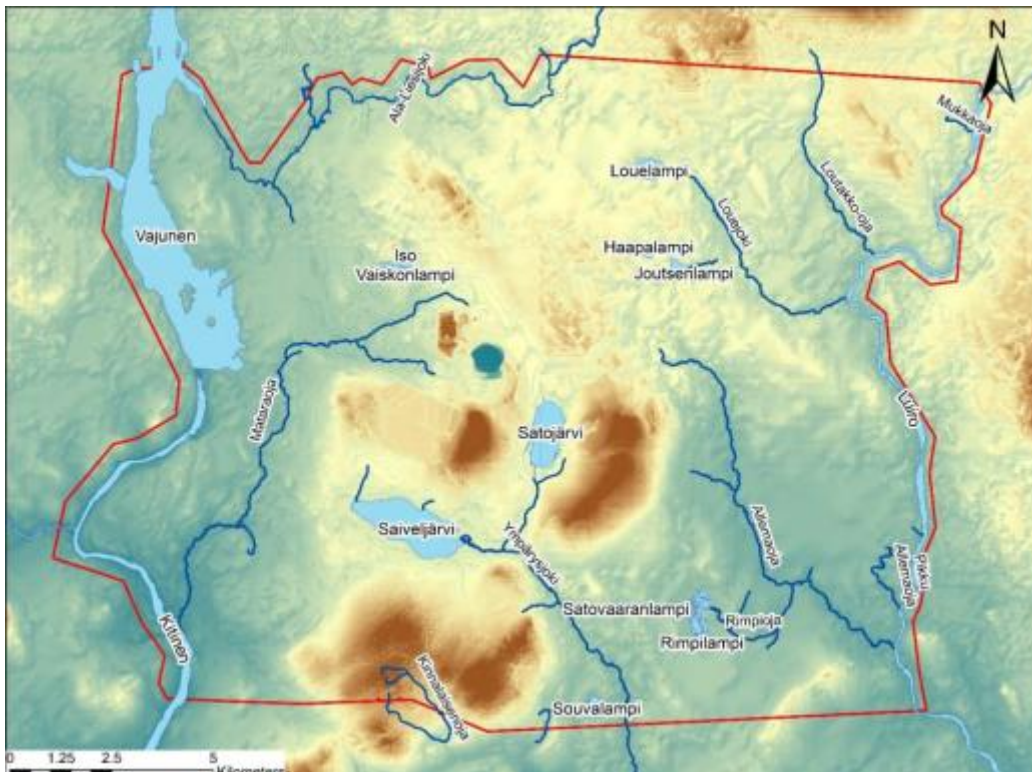
2.2. Hydrologia

Alueelle on ominaista pohjaveden pinnan sijainti lähellä maanpintaa tai paikoin sen tasossa. Alueella esiintyy kosteikkoja, soita ja puroja (WSP, 2024e). Keskeisiä pintavesikohteita ovat kolme päävesiuomaa: Kitinen, Ala-Liesijoki ja Luiro, sekä neljä merkittävää järveä: Saiveljärvi, Satojärvi, Iso Vaiskonlampi ja Vajunen, kuten kuvassa 22 on esitetty.

Vajunen on padottu järvi, joka on osa Kitisen jokiuomaa. Alueen järvien syvyyksiä ei ole raportoitu, eikä niitä ole mainittu Suomen järviwikissä (Järviwiki) (Suomen ympäristökeskus, SYKE, 2024). Muita tärkeitä jokia alueella ovat Mataraoja ja Ympärysjoki.

Rikastushiekka-alue A1:n pohjoispuolen, avolouhoksen ja sivukivialuen läheisyydessä pintavesi virtaa pääasiassa pohjoisluoteeseen kohti Mataraojaa, joka laskee edelleen Kitiseen. Rikastushiekka-alue A1:n eteläpuolella pintavesi virtaa pääosin etelään kohti Saiveljärveä, joka purkautuu Ympärysjokeen (Viivajokeen) ja liittyy myöhemmin Kitiseen (Golder, 2018).

Pintavesien hallinta kaivosalueella tapahtuu ojien avulla, jotka on suunniteltu ohjaamaan virtausta pois toiminta-alueilta (Golder, 2018).



Kuva 22. Joet ja järvet lähellä kohdetta (Golder, 2018). Pohjavesimallin alue (tarkemmin kuvattu kohdassa 4) on rajattu punaisella.

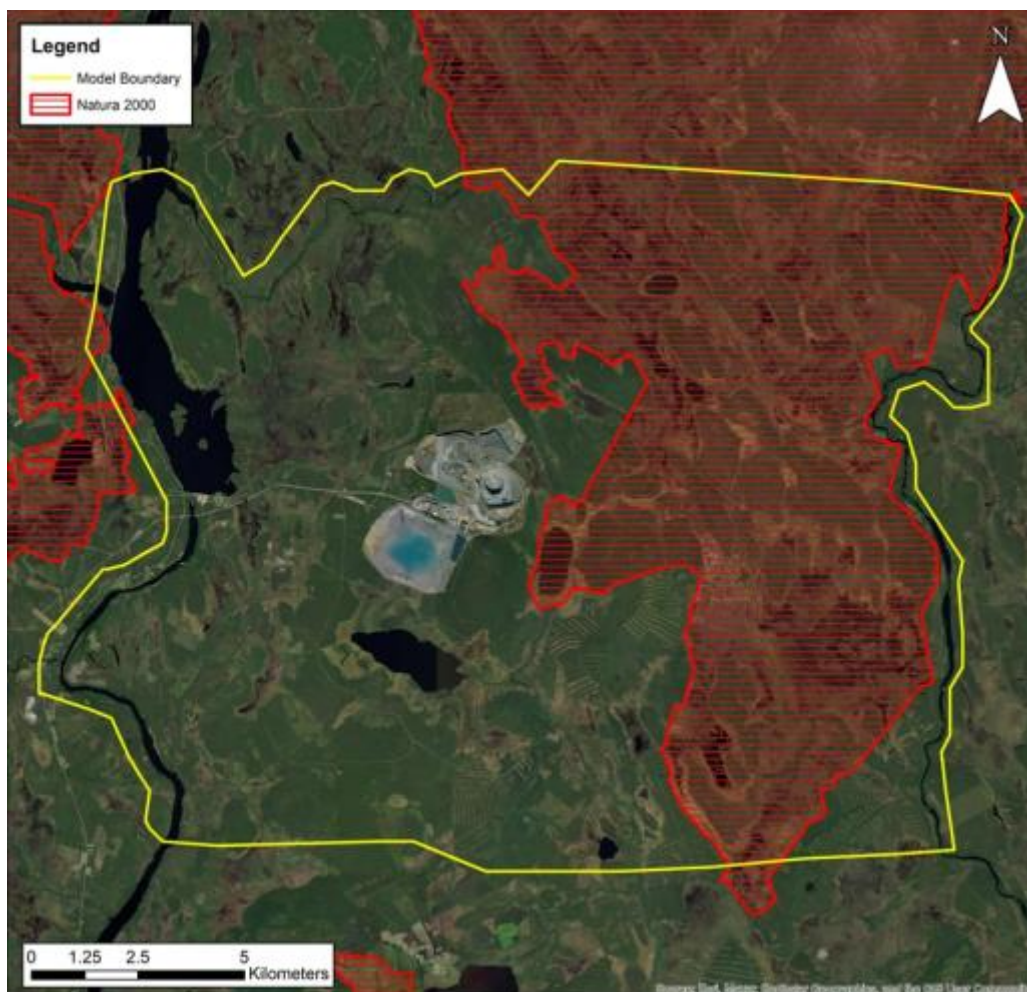
2.3. Suojellut alueet

Kaivosalueen pohjois- ja itäpuolella sijaitsee Euroopan unionin säädösten (direktiivit 92/43/EY¹ ja 2009/147/EY²) mukaisesti suojeltu Natura 2000 -alue (kohdekoodi FI1301716). Natura 2000 -alueen rajaus kattaa muun muassa Satojärven, joka sijaitsee välittömästi kaivosalueen kaakkoispuolella.

Lyhimmillään Natura 2000 -alueen raja sijaitsee noin:

- 600 metrin päässä avolouhoksen reunasta,
- 630 metrin päässä sivukivialueesta (WRSF, waste rock storage facility),
- ja noin 1 660 metrin päässä rikastushiekka-alue A1:stä (TSF, tailings storage facility).
-

Suojellun Natura 2000 -alueen rajaus on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. Kartta Natura 2000 -alueesta suhteessa kaivosalueeseen ja mallinnettuun alueeseen. Keltaisella mallinnusalueen raja, punaisella Natura 2000 alueet.

2.4. Ilmasto

Kevitsan kaivosalue sijaitsee napapiirin pohjoispuolella, ja alueella vallitsee leuto kesä ja pitkä talvi, jolloin kertyy merkittävästi lunta – lumipeite voi olla jopa 1 metrin syvyinen tammi–helmikuussa (Golder, 2017a). Lumien sulaminen alkaa yleensä maaliskuussa ja lumi on sulanut toukokuun loppuun mennessä. Alueella vallitsee vuosittainen hydrologinen kierto, jota ohjaa jäätymis–sulamisrytmi, ja huippuvirtaamat esiintyvät toukokuun lopussa ja kesäkuussa kevätsulannan jälkeen (Golder, 2017a).

Ilmastotietoja on kuvattu ja analysoitu osana kaivosalueen vesitaselaskentaa (Golder, 2017b) sekä sivukivialueen: käsitteellistä mallinnusta (WSP, 2024e). Lähin virallinen sääasema sijaitsee Sodankylän Tähtelässä, noin 35 kilometriä kaivosalueen lounaispuolella, korkeudella noin 179 metriä merenpinnan yläpuolella (m mpy). Kaivosalueella on kaksi omaa sääasemaa (WSP, 2024e):

- Ensimmäinen on ollut toiminnassa marraskuusta 2011 lähtien ja mittaa tuulen nopeutta ja suuntaa, lämpötilaa sekä kesäajan sademääriä.
- Toinen asema on ollut toiminnassa huhtikuusta 2023 lähtien ja mittaa sademääriä ja haihduntaa, ja se sijaitsee keskeisen kaivosalueen länsipuolella.

Keskilämpötila tammikuussa on ollut vuodesta 2012 alkaen:

- -10,8 °C kaivosalueen sääaseman mukaan
- -12,8 °C Tähtelän sääaseman mukaan (WSP, 2024e)

Keskilämpötila heinäkuussa on ollut:

- 16,2 °C Kevitsan sääasemalla
- 15,8 °C Tähtelän sääasemalla (WSP, 2024e)

Keskimääräinen vuotuinen sademäärä Tähtelässä vuodesta 2012 lähtien on ollut noin 550 mm/vuosi, ja suurin kuukausittainen sademäärä oli noin 130 mm elokuussa 2023 (WSP, 2024e). Kuivin kuukausi keskimäärin on maaliskuu, jolloin sademäärä on noin 27,5 mm (WSP, 2024e). Vuotuinen haihdunta Tähtelässä on noin 285–300 mm/vuosi (Golder, 2017a).

Tulevia ilmasto-olosuhteita Kevitsan alueelle (vuoteen 2200 saakka) on mallinnettu EarthSystemData Ltd:n toimesta (EarthSystemDataLtd, 2019a; 2019b). Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu ilmastonmuutoksen RCP 4.5 -vaihtoehtoa (skenaariota).

2.5. Geologinen ympäristö

Alueellisesti Kevitsan kaivos sijaitsee Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeellä (Central Lapland Greenstone Belt, CLGB), joka kuuluu Pohjois-Fennoskandian kilpeen. Alueelle ovat tyypillisiä paleoproterotsooinen kallioperä, joka koostuu gneisseistä, vihreäkivivyöhykkeistä ja suurista magmakivien intruusioista. Nämä geologiset yksiköt

ovat kokeneet useita deformaatio- ja metamorfismivaiheita, mikä on johtanut monimutkaiseen rakenteelliseen kokonaisuuteen (Golder, 2016). Keski-Lapin vihreäkivivyöhyke on jaettu useisiin vulkaanis-sedimentaarisiin kerrossarjojen ryhmiin. Kevitsan ultramafinen kompleksi sijaitsee Savukosken ryhmän sisällä, jolle ovat tyypillisiä fylliitit ja grafiittipitoiset kiilleliuskeet (SRK Consulting, 2020). Alueen geologiaa ja geomorfologiaa on kuvattu tarkemmin GTK:n julkaisussa (2022) sekä kuvassa 24.

Geologisten ominaisuuksien perusteella alueen alueellinen ja paikallinen geologia voidaan jakaa kolmeen pääkerrostumaan:

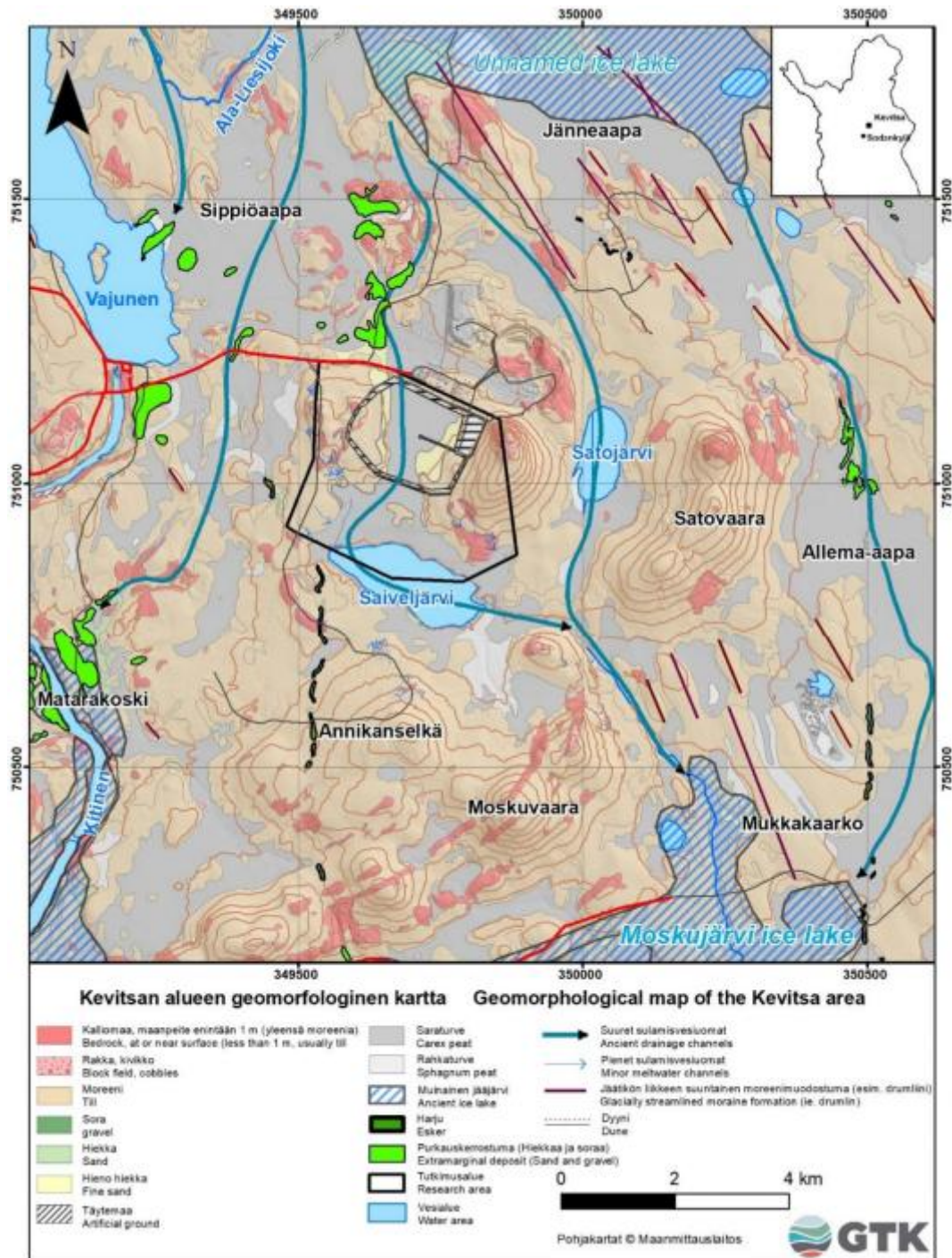
- Pintakerrostumat (kivettymättömät maakerrokset),
- Rapautunut kallioperä, ja
- Syvällä sijaitseva kiinteä kallioperä.

2.5.1. Maakerrostumat

Kaivosalueen pintamaalajikerrostumat koostuvat kiteytymättömistä turpeesta ja moreenista. Turpeen ja moreenin esiintyminen on laajaa. Hiekka- ja sorakerrostumia esiintyy pintamaalajina vain rajoitetusti, kuten kuvassa 24 on esitetty. Näiden kerrostumien paksuudet, jotka on saatu kairauksista ja porauksista, on esitetty kuvassa 25.

Turve

Turvetta esiintyy alavilla alueilla, kuten laaksoissa, ja sen paksuus on mitattu yli 210 kohteessa. Kaivosalueella turvekerrostumien paksuus vaihtelee 0,23 metristä 1,92 metriin (Pöyry Finland Oy, 2011). Rikastushiekka-alue A1:n - ympärillä tehdyissä tutkimuksissa turpeen paksuus vaihteli 0–3 metrin välillä (Geobotnia, 2010a; Geobotnia, 2010b). Keskimääräiseksi turvepaksuudeksi on arvioitu 0,9 metriä kenttähavaintojen perusteella.



Kuva 24. Geomorfologinen kartta Kevitsan alueesta.

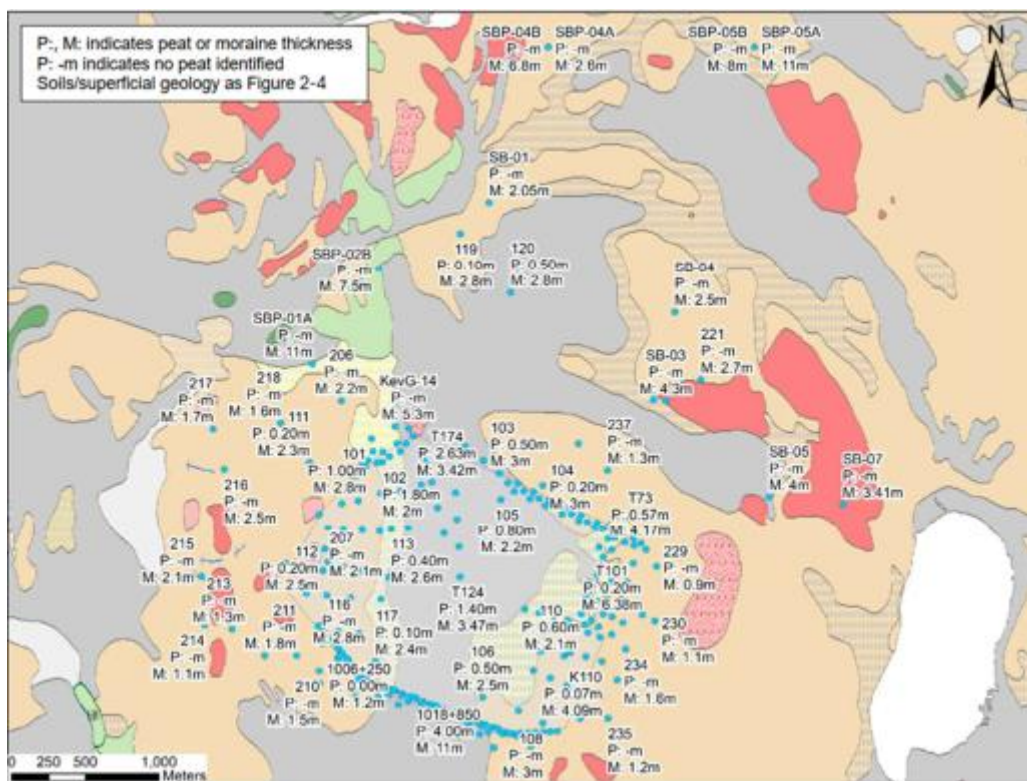
Moreeni

Moreenia esiintyy koko alueella joko maanpinnalla tai turvekerrostumien alla.

Rikastushiekka-alueen - ympäriltä otetuista maaperänäytteistä havaittiin, että moreenin fysikaaliset ominaisuudet vaihtelevat (Geobotnia, 2010a), ja että moreeni tiivistyy

syvemmälle mentäessä (Golder, 2017a). Moreenin esiintyminen on käsitteellistetty ja esitetty mallissa kahtena kerroksena: ylempi ja alempi moreeni.

- Ylempi moreenikerros on paksuudeltaan 0,1–2,5 metriä, ja aines on silttistä hiekkamoreenia tai savista soramoreenia, jossa esiintyy myös lohkareita (Golder, 2017a).
- Kokonaispaksuus, joka on mitattu yli 275 kohteessa, vaihtelee alueella. Yleisesti ottaen kerrospaksuus kasvaa laaksojen keskiosia kohti, ja rikastushiekka-alue - on havaittu jopa 20 metrin moreenikerroksen paksuuksia.
- Keskimääräiseksi moreenin paksuudeksi on arvioitu 3,3 metriä.
- Hiekkalinssit, joita esiintyy satunnaisesti moreenikerrosten sisällä, ovat yleisimpiä rikastushiekka-alueen A1 - itä- ja länsipuolella sekä laaksojen kaltevilla reunoilla (Golder, 2017a).

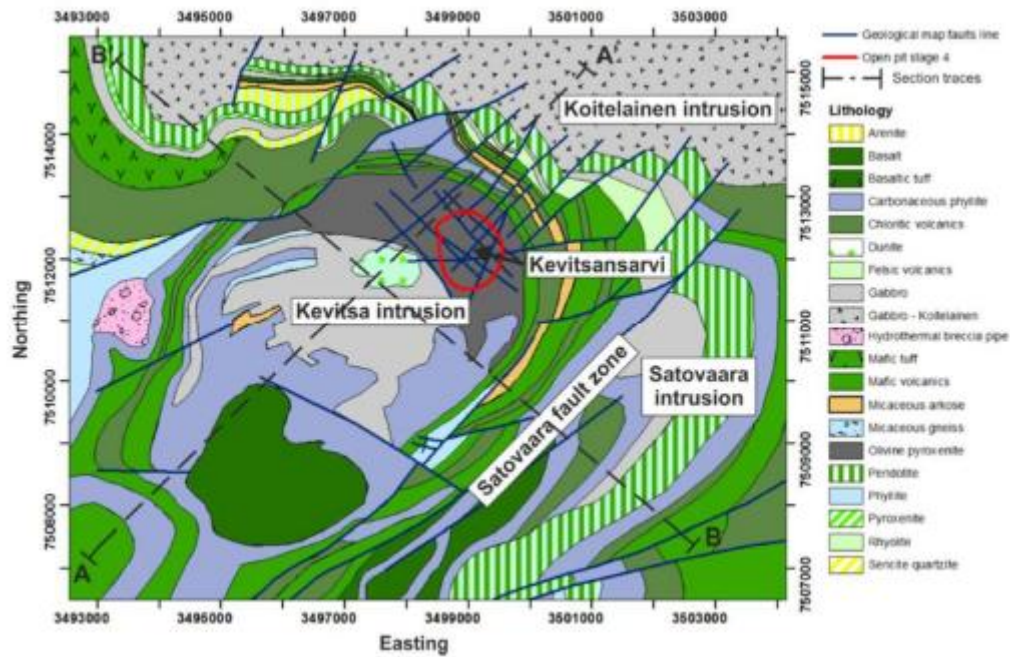


Kuva 25. Niiden kairareikien ja koereikien sijainti, jotka läpäisivät konsolidoitumattomia maakerrostumia, sekä raportoitu kerrospaksuus (Golder, 2018).

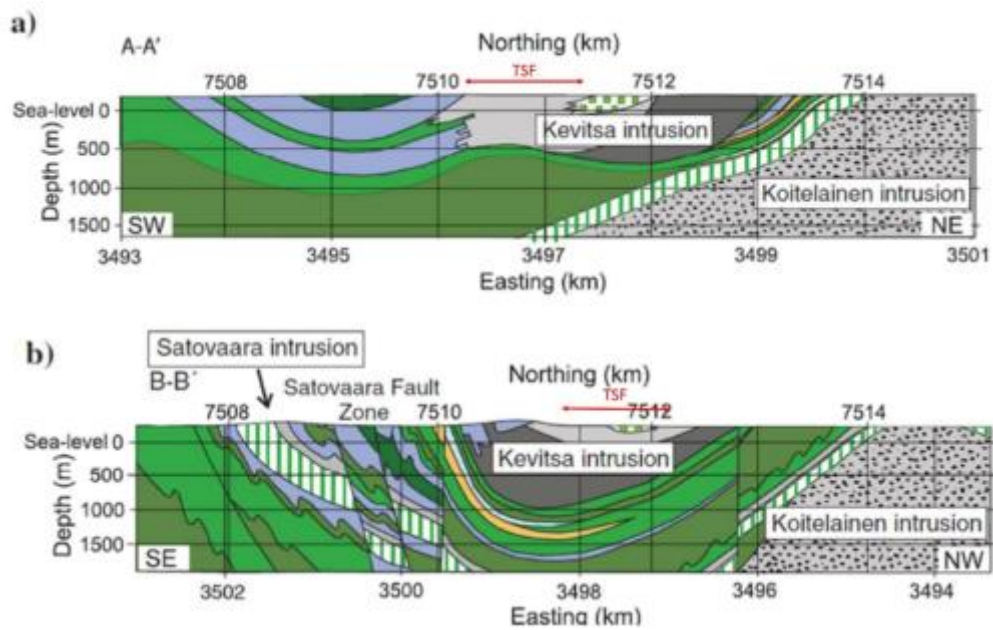
2.5.2. Kallioperä

Avolouhoksessa esiintyvä malmiesiintymä koostuu ultramafisesta oliviini-websteriitistä, kun taas rikastushiekka-alueen A1 kohdalla sijaitsee gabbroa, oliviini-websteriittiä ja grafiittipitoista kiilleliusketta (Golder, 2018). Sivukivialue puolestaan sijaitsee muiden

ultramafisten kivilajien, kuten pyrokseeniitin ja mafisen tuffin, päällä (WSP, 2024e). Kallioperägeologia on esitetty kuvissa 2-6 ja 2-7.



Kuva 26. Kevitsan kaivoksen geologia ja poikkileikkausten sijainnit (WSP, 2014).



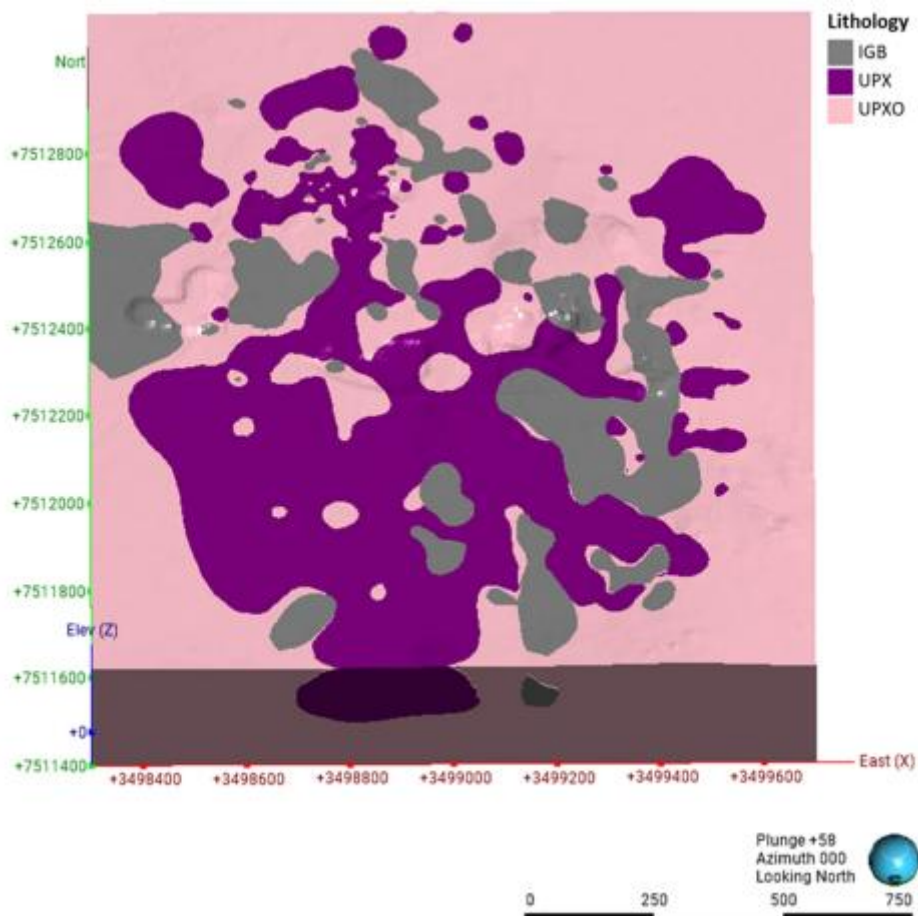
Kuva 27. Geologiset poikkileikkaukset Kevitsan kaivoksella (WSP, 2014).

Rapautunut kallioperä

Lähellä maanpintaa, noin 20–30 metrin syvyydessä, kallio on voimakkaammin rapautunutta ja paremmin vettä läpäisevää, mikä johtuu suuremmasta rakotiheydestä (Golder, 2016). Rapautuneen kallioperäkerroksen keskimääräinen paksuus on noin 20 metriä (Pöyry Finland Oy, 2011), mutta se vaihtelee suuresti alueella. Rikastushiekka-alue A1:n läheisyydessä tehdyt tutkimukset osoittavat, että rapautuneen kallioperän paksuus vaihtelee 0 metristä 40 metriin (Golder, 2018b).

Tiivis kallioperä

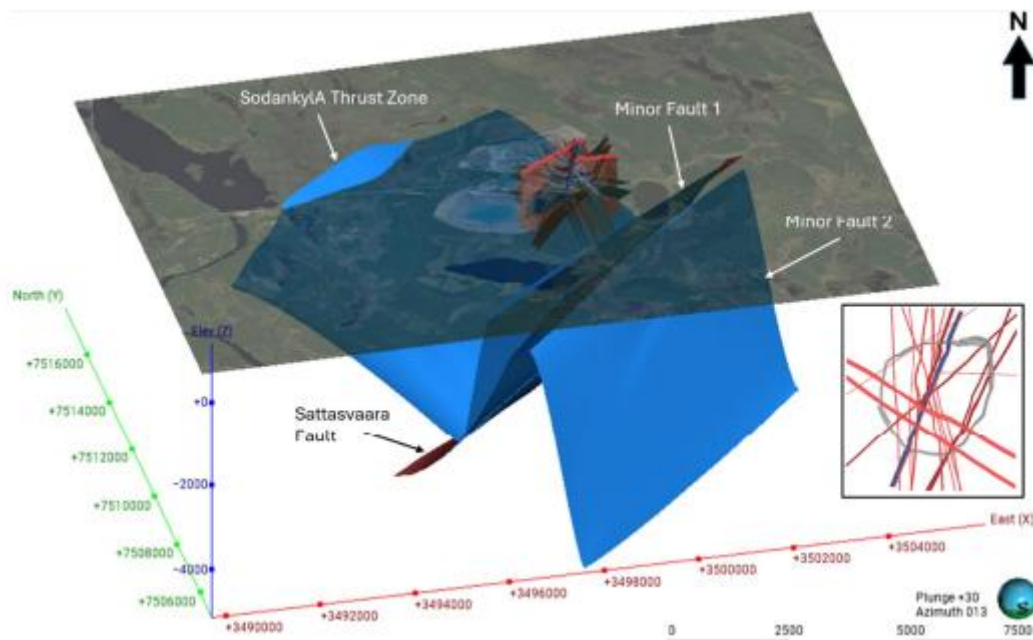
Rakojen määrä vähenee syvemmälle mentäessä, ja alempi kallioperä koostuu paleoproterotsooisista kivilajeista, joihin kuuluu gneissiä, vihreäkivivyöhykkeitä ja suuria magmakivi- intrusioita, jotka ovat kokeneet useita deformaatio- ja metamorfoosivaiheita. Paikallinen kivilajimalli, jonka Boliden on tuottanut Leapfrog-ohjelmistolla, esittää avolouhoksen läheisyydessä olevat pääasialliset kivilajiyksiköt (kuva 2-8). Näihin kuuluvat pääasiassa gabbro (IGB), pyrokseeniitti (UPX), oliiviini-pyrokseeniitti (UPXO) ja oliiviini-websteriitti (UWBO).



Kuva 21. Kestävän peruskallion vyöhykkeet lähellä avolouhosta Leapfrog-ohjelmasta. IGB = gabbro; UPX = pyrokseeniitti; UPXO = oliiviinipyrokseeniitti.

Rikkonaisuusvyöhykkeet

Vuonna 2023 päivitetyn Bolidenin aineiston mukaan Leapfrog-mallissa on esitetty kuusitoista paikallista siirrosta (mukaan lukien haarautuvat siirrokset) sekä neljä laajamittaista siirrosta, jotka on tunnistanut Geologian tutkimuskeskus (GTK). Siirrokset on esitetty kuvassa 29, ja monet niistä leikkaavat avolouhosta. Siirrosten kulun suuntautuminen on seuraava: luode-kaakko (NW-SE), pohjois-etelä (N-S), pohjoisluode-eteläkaakko (NNW-SSE), pohjoiskoillis-etelälounainen (NNE-SSW), koillinen-lounas (NE-SW) ja itä-länsi (E-W). Taulukossa 21 on esitetty siirrosten ryhmittely niiden suuntautumisen ja mittakaavan mukaan käsitteellistämisen helpottamiseksi.



Kuva 22. 3D-esitys Leapfrog-ohjelmassa alueen lähi- ja laajamittaisista siirroksista, jotka on tunnistettu kohteen läheisyydessä. Kuvassa on mukana 2D-suunnitelmanäkymä paikallisista siirroksista avolouhoksella (Loubintavaite 5 avolouhos referenssinä).

Taulukko 21. Siirrosten nimet ja ryhmittely mittakaavan ja suuntauksen perusteella.

Ryhmä	Siirroksen nimi
1 – NW-SE Paikalliset siirrokset	WNW-flt-2_flt-020
	WNW-flt-1_flt-008
2 - N-S Paikalliset siirrokset	splay off flt_010 2023 clipped
	NS-flt-5_flt-019
	NS-flt-4_flt-015
	NS-flt-3_flt-010 2023
	NS-flt-3_flt-009 2023
	NS-flt-2_flt-002 2023
3 – NNW-SSE Paikalliset siirrokset	NNW-flt-1_flt-003
4 – NNE-SSW Paikalliset siirrokset	NNE-flt-1_flt-011_clipped

	rv-1_2023
5 – NE-SW Paikalliset siirrokset	NE-flt-3_flt-018
	NE-flt-2_flt-014
	NE-flt-2_flt-014 2023 draft
	ENE-flt-1_flt-012
6 – E-W Paikalliset siirrokset	EW-flt-1_flt-001 2023 clipped by rv1
7 – NE-SW Suuret siirrokset	Minor_Fault1
	Minor_Fault2
	Sattasvaara_Fault
	Sodankylä_Thrust_Zone

2.6. Hydrogeologia

Tässä osiossa esitetty hydrogeologinen käsitteellinen malli perustuu alueesta aiemmin laadittuihin käsitteellisiin malliraportteihin (Golder, 2017a; WSP, 2024e) sekä pohjavesimallinnusraportteihin (Golder, 2018; WSP Golder, 2022).

2.6.1. Hydrogeologiset yksiköt

Geologisten tietojen ja hydraulisten testien (kuvattu kohdassa 2.6.2) perusteella pohjaveden virtausjärjestelmän katsotaan koostuvan seitsemästä erillisestä hydrogeologisesta yksiköstä:

- Turve
- Moreeni
 - Ylempi moreeni
 - Alempi moreeni
- Rapautunut kallio
- Kallioperä
 - Kallioperän yläosa
 - Kallioperän keskiosa
 - Kallioperän alaosa
 -

Turve- ja moreenikerroksissa pohjaveden virtaus oletetaan tapahtuvan huokosvirtauksena (intergranular flow). Moreenissa virtaus tapahtuu ensisijaisesti ylemmässä hiekka – tai silttivaltaisessa kerroksessa ja turvevaltaisessa kerroksessa. Kallioperässä virtaus tapahtuu pääasiassa raoissa. Rapautuneessa kallioperässä virtausmekanismit ovat todennäköisesti huokos- ja rakovirtausten yhdistelmä, ja tässä yksikössä odotetaan suurempaa virtausta verrattuna alempaan moreeniin ja ehyeen kallioperään.

2.6.2. Hydrogeologinen testaus

Hydrauliset ominaisuudet on saatu paikkakohtaisilla testeillä, jotka on kohdistettu kiteytymättömiin maakerroksiin, rapautuneeseen kallioperään tai kiinteään kallioperään. Vedenjohtavuuden arvioita kiteytymättömille maakerroksille ja ylemmälle kallioperälle on testattu maastossa 41 eri paikassa (Golder, 2018; Geobotnia, 2020; Golder 2020b; WSP, 2023a; WSP, 2023b). Laboratoriotestejä on lisäksi tehty moreeninäytteille 19 eri paikasta (Geobotnia, 2010b).

Kallioperän syvemmän osan vedenjohtavuutta on testattu 16 paikassa vuonna 2015 (WSP, 2015) ja seitsemässä paikassa vuonna 2017 (Golder, 2017b). Näiden testien tulokset on esitetty liitteessä B ja tiivistetty seuraavissa osioissa.

2.6.2.1. Maapeitteet ja rapautunut kallio

Kenttäkokeita hydraulisen johtavuuden määrittämiseksi lähellä maanpintaa on tehty 41 pisteessä kaivosalueella. Havaintorei'issä siiviläosuuksien kattamat syvyysvälit olivat välillä 0,2–31 metriä maanpinnan alapuolella. On huomioitava, että osassa pohjavesiputkia siiviläosuus sisältää useampaa erilaista maalajikerrosta, mikä vaikeuttaa testattavan pääasiallisen maalajin tai kalliolaadun hydraulisten ominaisuuksien erottamista (ks. liite B). Niissä tapauksissa, joissa pääasiallinen maalaji tai kalliolaatu on tunnistettavissa, näiden kohteiden tuloksia on käytetty moreenin ja rapautuneen kallion hydraulisen johtavuuden vaihteluvälin yhteenvedoon.

Moreenin kenttäkokeet antoivat hydraulisen johtavuuden geometrinen keskiarvon (K) $5,75 \times 10^{-6}$ m/s, vaihteluvälillä $1,00 \times 10^{-6}$ m/s – $3,01 \times 10^{-5}$ m/s. Laboratoriomittauksissa rikastushiekka-alue A1:n ympäriltä otetuista moreeninäytteistä saatiin pienempiä arvoja, vaihteluvälillä $4,8 \times 10^{-10}$ m/s – $1,3 \times 10^{-6}$ m/s, ja geometrinen keskiarvo oli $1,37 \times 10^{-8}$ m/s.

Rapautuneen kallion vedenjohtavuutta testattiin matalissa kairanrei'issä kaivospiirin alueen ulkoreunoilla. Tulokset vaihtelivat välillä $1,16 \times 10^{-6}$ m/s – $1,79 \times 10^{-4}$ m/s, ja geometrinen keskiarvo oli $1,05 \times 10^{-5}$ m/s.

Turvekerrokselle ei ole tehty erillisiä testejä, mutta joissakin pisteissä turve on osa mittausvälin maalajikerroksia (KevG-14, KevG-50 ja KevG-53). Näissä pisteissä saadut vedenjohtavuuden arvot vaihtelivat välillä $2,30 \times 10^{-7}$ m/s – $1,74 \times 10^{-5}$ m/s, ja geometrinen keskiarvo oli $3,46 \times 10^{-6}$ m/s.

2.6.2.2. Ehyt kallioperä

WSP:n vuonna 2015 tekemissä alkuvaiheen testeissä määritettiin koko kallioperän keskimääräiset vedenjohtavuuden arvot. Tuloksissa havaittiin syvyyden kasvaessa laskeva vedenjohtavuuden trendi:

- 20–150 metrin syvyydellä vedenjohtavuus vaihteli välillä $2,4 \times 10^{-9}$ m/s – $1,5 \times 10^{-6}$ m/s
- 150–380 m syvyydellä vedenjohtavuus vaihteli välillä $4,3 \times 10^{-10}$ m/s – $1,4 \times 10^{-7}$ m/s
- 380–550 m välillä: keskiarvo oli $4,4 \times 10^{-10}$ m/s (Golder, 2016)

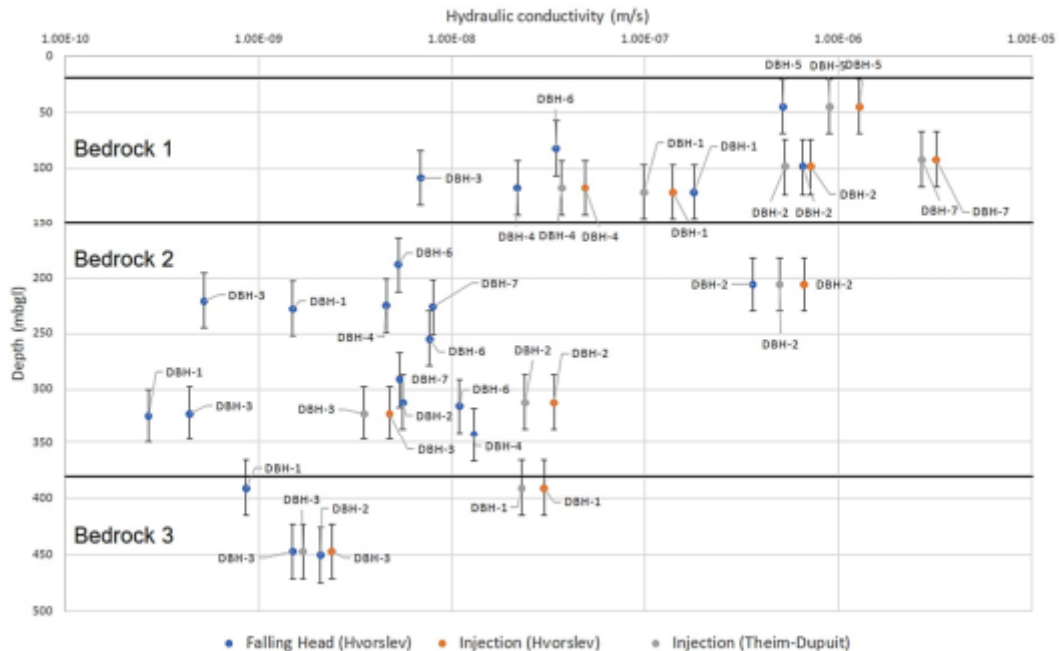
Myöhemmissä testeissä määritettiin kallioperän rajattujen osien vedenjohtavuus vesimenekkikokeilla (pakkeritestit), jotka tehtiin seitsemässä pisteessä avolouhoksen läheisyydessä (kuva 210) (Golder, 2017b). Näissäkin testeissä havaittiin yleisesti vedenjohtavuuden väheneminen syvyyden kasvaessa.

Koska testit kohdistettiin tiettyihin siirroksiin ja vettä läpäiseviin rakoihin, on odotettavissa, että saadut vedenjohtavuusarvot ovat korkeampia kuin kallioperän keskimääräinen kokonaisvedenjohtavuus.

Yksittäisiin kairareikäväleihin kohdistettujen vesimenekkikokeiden (pakkeritestien) tuloksia (kuva 210 ja liite B) verrattiin aiemmin määritettyihin koko kallion vedenjohtavuusarvoihin:

- Syvyysväli 30–150 m maanpinnasta: keskiarvo $6,65 \times 10^{-7}$ m/s
- Syvyysväli 150–380 maanpinnasta keskiarvo $1,46 \times 10^{-7}$ m/s
- Syvyysväli 380–550 maanpinnasta keskiarvo $2,31 \times 10^{-7}$ m/s

Nämä keskiarvot sijoittuvat aiempien tietojen vaihteluväleihin. Kuitenkin syvimmän kallioperän vedenjohtavuuden keskiarvo on hieman korkeampi kuin aiemmin oletettu. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että vesimenekkikokeet (pakkeritestit) kohdistuivat vettä läpäiseviin rikkonaisuuslävistyksiin, mikä nostaa mitattuja vedenjohtavuuden arvoja.



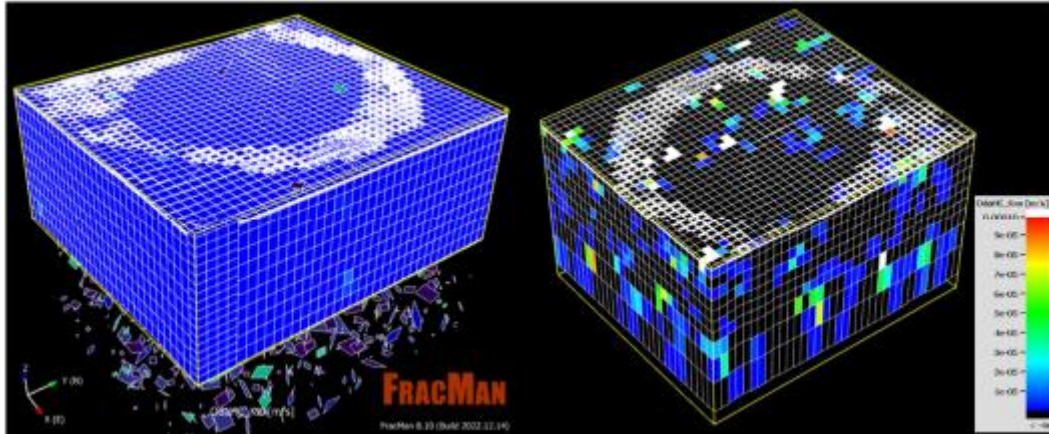
Kuva 210. Veden johtavuus kullekin vesimenekikokeen (pakkeritesti) mittausvälille (Golder, 2018).

2.6.2.3. Rakojen vedenläpäisevyys

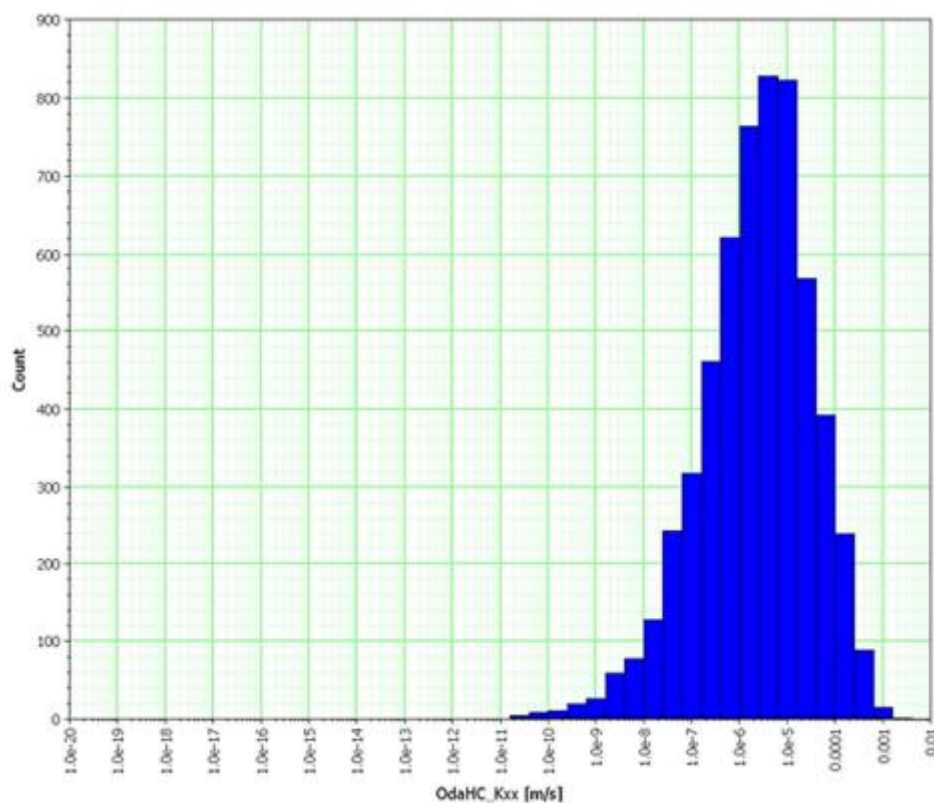
Bolidenin toimittamaa rakosuunta-aineistoa on käytetty tarkentamaan rakojen vedenläpäisevyyttä avolouhoksen alueella. Aineisto tuotiin FracMan-ohjelmistoon, jossa luotiin diskreetti rakoverkkomalli (Discrete Fracture Network, DFN), kuten esitetty kuvassa 211.

FracManiin luotiin kolmiulotteinen ruudukko, ja jokaiselle solulle laskettiin Odan vedenläpäisevyyssensorit (Oda, 1985) pääakselien X- (itä-länsi), Y- (pohjois-etelä) ja Z-suunnassa (syvyys). Tämä menetelmä ottaa huomioon rakojen suuntautumisen, rakoavauman paksuuden ja rakojen välisen etäisyyden, ja arvioi näiden perusteella vedenläpäisevyyden komponentit eri suunnissa. Esimerkki Odan määrittämisestä rakojen X-suunnan veden läpäisevyyssarvoista on esitetty kuvassa 212.

Rakojen vedenläpäisevyys vaihtelee alueellisesti ja syvyyden mukaan, mikä osoittaa kallion ominaisuuksien vaihtelua paikan suhteen (ks. kohta 4.3.2).



Kuva 211. DFN ja Odan läpäisyysarvot esitettynä FracMan-ohjelmassa malliverkossa.



Kuva 212. Odan määrittämä vedenläpäisyyden pylväskaavio X-suuntaan.

2.6.3. Pohjaveden pinnankorkeudet ja virtaus

Kaivosalueen läheisyydessä pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa. Alueen virtavedet, järvet ja kosteikot toimivat paikkoina, joissa pohjavesi purkautuu maanpinnalle ja pintavesi virtaa pois alueelta. Alueellinen pohjaveden virtaussuunta on poispäin

kaivosalueelta, pääasiassa länteen päin (Kitistä kohti), vaikkakin nykyinen avolouhos hieman häiritsee virtausreittejä.

Lähellä maanpintaa sijaitsevan pohjaveden (eli maakerroksissa tai rapautuneessa kalliossa) pinnan korkeusvaihtelut heijastavat paikallista maaston muotojen korkeusvaihtelua: missä maanpinta on korkeammalla, siellä myös pohjaveden pinta on yleensä korkeammalla – ja päinvastoin.

Pohjaveden pinnankorkeuksia mitataan kaivosalueella pohjavesiputkissa osana ympäristön seurantaa. Avolouhoksen ympärillä on asennettu kairareikiin värähtelevän langan pietsometrejä (VWP) huokospainemittausta (paine korkeus) varten.

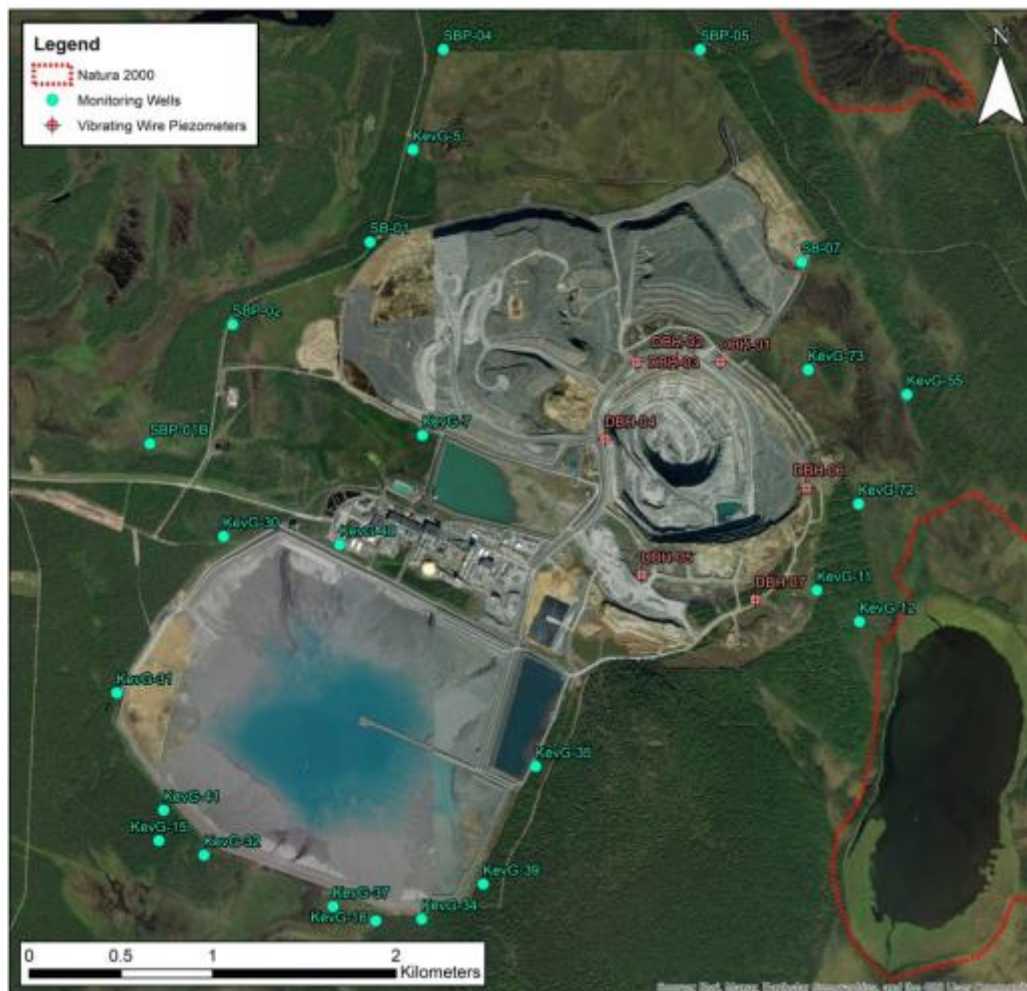
Pohjavesiputkien pinnankorkeuden mittaukset tehdään kuukausittain, kun taas VWP-mittaukset tapahtuvat tunneittain.

Boliden on toimittanut mittausaineistoa:

- Pohjavesiputkista ajalta lokakuu 2018 – marraskuu 2023
- VWP-pietsometreistä ajalta syyskuu 2017 – marraskuu 2023

Boliden jatkaa lisäaineiston keruuta.

Pohjaveden seurantapisteiden kartta on esitetty kuvassa 213. Esitetyt pisteet on valittu saatavilla olevan aineiston pitkäaikaisuuden ja kaivosalueen kattavan sijaintijakauman perusteella. Taulukossa 22 on esitetty seurantapisteiden koordinaatit ja havaintojaksot. On huomioitava, että DBH-06-pisteestä ei ole saatu uutta aineistoa maaliskuun 2023 jälkeen, koska dataloggerissa on ollut ongelmia.



Kuva 213. Tutkimuksessa käytettäväksi valittujen tarkkailukaivojen ja pietsometrien sijaintikartta. Monitoring well = pohjavesiputki, Vibrating Wire Piezometer = värähtelevän langan pietsometri. Punaisella on esitetty Natura 2000 alueen raja.

Taulukko 22. Kalibrointiprosessissa käytetyt tarkkailukaivot ja pietsometrit päivitetyn numeerisen mallin osalta.

Tarkkailupiste	Itäkoordinaatti (m)	Pohjoiskoordinaatti (m)	Pohjavesipinnan tai painekorkeuden tarkkailujakso
DBH2-VW1	3,498,875	7,512,810	18.10.-23.11.
DBH2-VW3	3,498,875	7,512,810	18.10.-23.11.
DBH4-VW1	3,498,467	7,512,405	18.1.-23.11.
DBH4-VW2	3,498,467	7,512,410	18.1.-23.11.
DBH4-VW3	3,498,467	7,512,415	18.1.-23.11.
DBH5-VW1	3,498,722	7,511,671	18.1.-23.11.
DBH5-VW2	3,498,770	7,511,702	18.1.-23.11.
DBH5-VW3	3,498,875	7,511,737	18.1.-23.11.
DBH6-VW1	3,499,534	7,512,081	18.1.-23.3.
DBH6-VW2	3,499,495	7,512,081	18.1.-23.3.

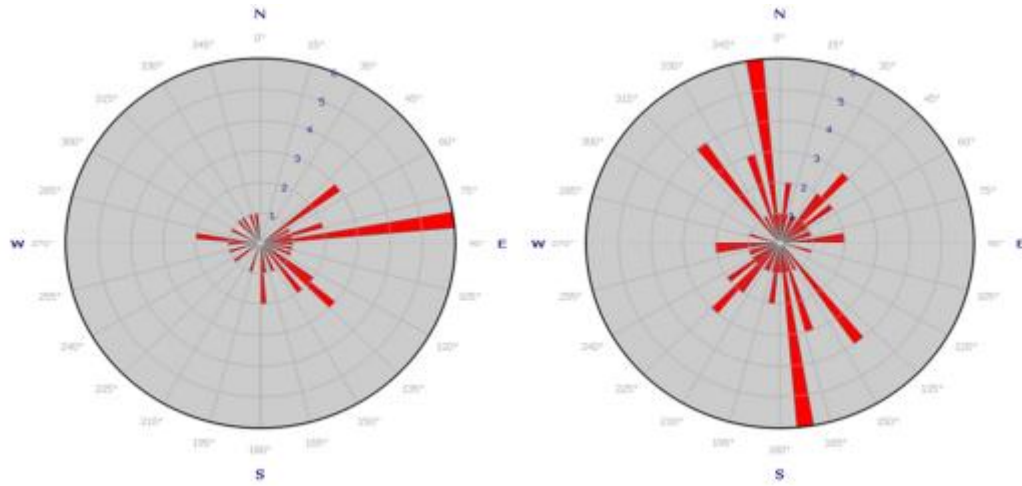
DBH6-VW3	3,499,408	7,512,081	18.1.-23.3.
DBH7-VW1	3,499,296	7,511,504	17.9.-23.11.
DBH7-VW2	3,499,284	7,511,504	18.1.-23.4.
DBH7-VW3	3,499,274	7,511,504	18.1.-23.11.
KevG-5	3,497,434	7,513,953	18.4.-23.10.
KevG-7	3,497,486	7,512,396	18.4.-23.10.
KevG-11	3,499,636	7,511,550	22.6.-22.6.
KevG-12	3,499,868	7,511,379	18.10.-23.10.
KevG-15	3,496,049	7,510,184	18.3.-23.10.
KevG-16	3,497,232	7,509,747	18.5.-23.9.
KevG-30	3,496,401	7,511,844	18.1.-23.10.
KevG-31	3,495,819	7,510,991	18.2.-23.10.
KevG-32	3,496,295	7,510,105	18.3.-23.10.
KevG-34	3,497,481	7,509,756	18.1.-23.10.
KevG-35	3,498,102	7,510,589	18.5.-18.6.
KevG-37	3,496,999	7,509,825	18.5.-23.10.
KevG-39	3,497,817	7,509,948	18.2.-23.10.
KevG-40*	3,497,034	7,511,799	18.2.-23.10.
KevG-41	3,496,075	7,510,350	18.2.-23.10.
KevG-55	3,500,126	7,512,618	20.6.-23.10.
KevG-72	3,499,863	7,512,021	22.10.-23.10.
KevG-73	3,499,588	7,512,753	23.4.-23.4.
SB-01	3,497,200	7,513,450	18.4.-18.9.
SB-07	3,499,552	7,513,341	18.4.-22.11.
SBP-01B	3,496,000	7,512,350	18.4.-18.4.
SBP-02A	3,496,450	7,513,000	18.4.-22.11.
SBP-02B	3,496,450	7,513,000	18.4.-23.4.
SBP-04A	3,497,600	7,514,500	18.4.-18.9.
SBP-04B	3,497,600	7,514,500	18.4.-23.4.
SBP-05A	3,499,000	7,514,500	18.4.-22.6.

**KevG-40:n tiedot ovat peräisin KevG-40a:sta siihen asti, kunnes kairareikä sortui, ja sen jälkeen KevG-40b:stä elokuusta 2019 alkaen*

2.6.3.1. Rikkonaisuusvyöhykkeiden vaikutus pohjaveden virtaukseen

Avolouhosalueella tunnistetut siirrokset leikkaavat kallioperän hydrogeologisia yksiköitä viistosti (kuva 29). Avolouhoksessa tehtyjen vettä vuotavien ja kuivien rakopintojen kartoitusten perusteella pohjaveden virtaus tapahtuu pääasiassa lähes pystysuorissa raoissa, joiden kulun suunta on 350° (kuva 214) (Golder, 2017c).

Pohjaveden parhaiten kehittynyt virtaussuunta on yleisesti linjassa suurten siirrosten suuntauksen kanssa. Vaikka rakoja ja halkeamia esiintyy myös muissa suunnissa, tulkitaan, että paikallinen jännityskenttä pitää rakopinnat avoimina juuri tässä suunnassa, mikä tekee siitä virtausta suosivan suuntauksen.



Kuva 214. Stereografinen rakosuuntakuva, joka esittää kaateen suuruuden (vasemmalla) ja rakojen kulun suunnat (oikealla) vettä sisältäville ja rakopinnoille, joissa pohjaveden virtaus on mahdollinen (Golder, 2018).

Tämän suuntaisten rakenteiden kautta tapahtuva pohjaveden purkautuminen näkyy hyvin talviaikaisena jään kertymisenä avolouhokseen. Kuvassa 215 on esitetty näkymä avolouhokseen itään päin talvella 2018, jossa jäätä on kertynyt erityisesti avolouhoksen pohjoiskoillis- ja koillisreunoille.



Kuva 215. Kuvitus pohjaveden parhaiten kehittyneestä virtaussunnasta kallioperän rakenteissa; kuva avolouhoksen seinämästä talvella 2018, katsottuna itään (Golder, 2018).

2.6.4. Pohjaveden muodostumisnopeuden laskenta

Pohjaveden muodostumisnopeuden (recharge, imeyntä) laskenta perustuu ilmastoaineistoon, joka on esitetty kohdassa 2.4. Pohjaveden muodostumisnopeus laskettiin osana kaivosalueen laajuisen vesitaseen mallinnusta (Golder, 2019) käyttäen SMHI:n (Ruotsin ilmatieteellisen ja hydrologisen tutkimuslaitoksen) HBV mallia (ks. taulukko 23).

Satunnaisiin ilmiöihin perustuvaa (tilastollista) mallinnusta tehtiin mitatun aineiston perusteella, ja siinä käytettiin ilmastoennusteita RCP 4.5 -mallin mukaisesti (ks. kohta 2.4). Kaivosalueen keskimääräinen pohjaveden muodostumisnopeus vuosille 2018–2032 laskettiin olevan 258 mm/vuosi, ja tätä arvoa käytettiin edustamaan kaivoksen toiminnan aikaista pohjaveden muodostumisnopeutta.

Sulkemisvaiheen (vuodet 2034–2200) keskimääräisen pohjaveden muodostumisnopeuden laskettiin olevan 294 mm/vuosi, mikä on 36 mm/vuosi enemmän kuin kaivoksen toiminnan aikana käytetty arvo (WSP Golder, 2022).

Päivittäiset sadantaennusteet syötettiin HBV-malliin, joka tuotti arvioita pohjaveden muodostumisnopeudesta pintakerroksen geologisen yksikön mukaan (turve, moreeni, rapautunut kallio; WSP Golder, 2022).

Taulukko 23. Pohjaveden muodostumisnopeus (recharge) millimetreinä kuukaudessa ja vuodessa käyttö- ja sulkemisvaiheessa.

Pohjaveden muodostuminen (mm)	tammikuu	helmikuu	maaliskuu	huhtikuu	toukokuu	kesäkuu	heinäkuu	elokuu	syyskuu	lokakuu	marraskuu	joulukuu	vuosi
Käyttövaihe	13	9	7	7	17	28	35	35	32	30	25	19	258
Sulkeminen	19	13	11	10	18	28	35	35	33	34	31	26	294

2.6.5. Pohjaveden hallinta ja suojele

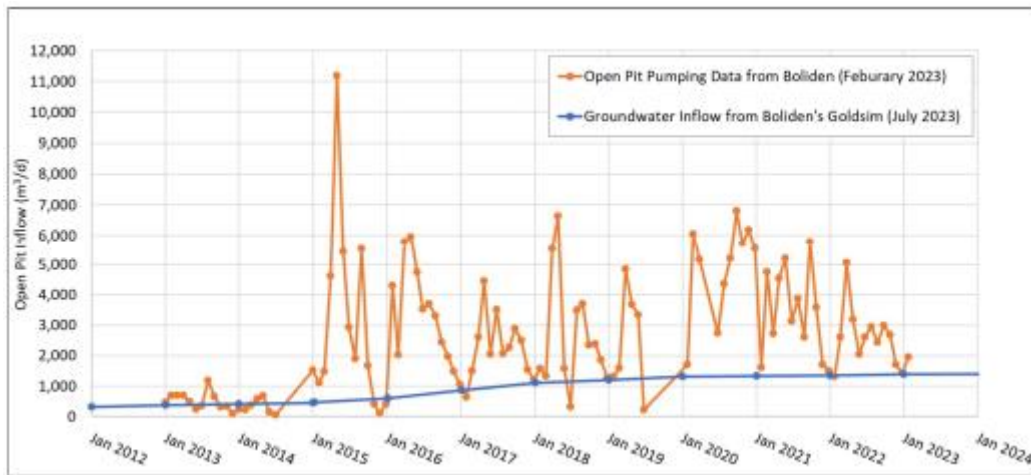
Kaivosalueella on käytössä useita pohjaveden hallinta- ja suojeletoimia, jotka voivat vaikuttaa pohjaveden virtaukseen.

2.6.5.1. Avolouhoksen kuivatus

Avolouhosta kuivataan toimintojen aikana, jotta louhos pysyy kuivana ja kaivostoiminta voi jatkua. Pohjavesi ja pintavesi kerätään louhoksen pohjalla oleviin pumppualtaisiin ja pumpataan vesivarastoon. Pumpatun veden määrä mitataan ja kirjataan

seurantapisteessä KevP-1V2. Bolidenin toimittama avolouhoksen pumppausdata on esitetty kuvassa 216 ja taulukossa 24.

Vuonna 2015 louhokseen tuleva kokonaisvesimäärä oli enimmillään noin 11 200 m³/päivä, ja vuosien 2013–2023 keskiarvo oli noin 2600 m³/päivä. KevP-1V2:n pumppausdata sisältää kaikki louhokseen tulevat vesivirrat: pohjavesi, pintavalunta, sadevesi ja lumensulamisvedet. Kuvassa 216 ja taulukossa 25 on esitetty vain pohjaveden arvioitu virtaus louhokseen, joka on laskettu GoldSim-vesitasemallin perusteella (Boliden, 2023). Arvioidut pohjavesivirrat vastaavat hyvin mitattujen minimipumppausarvojen tasoa, mikä viittaa siihen, että ne edustavat hyvin louhokseen tulevaa pohjaveden perusvirtausta (ilman pintavaluntaa, sadetta ja sulamisvettä).



Kuva 216. Avolouhoksen sisäänvirtausmäärien aikasarja (KevP-1V2, m³/päivä).

Taulukko 24. Mitattu avolouhoksen keskimääräinen kuukausittainen sisäänvirtaus (KevP-1V2, m³/päivä).

Kk/vuosi	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
tammikuu	467	243	1507	404	1050	1191	1265	-	5545	1503	1420
helmikuu	690	220	1101	4299	632	1564	1307	1707	1609	1309	1944
maaliskuu	690	360	1482	2030	1504	1331	1587	6051	4746	2615	-
huhtikuu	690	581	4618	5777	2608	5515	4845	5172	2711	5061	-
toukokuu	490	665	11178	5952	4455	6636	3679	-	4548	3185	-
kesäkuu	230	133	5432	4758	2040	1579	3333	-	5210	2050	-
heinäkuu	356	44	2920	3534	3512	311	211	2732	3131	2615	-
elokuu	1180	-	1892	3692	2054	3483	-	4361	3875	2954	-
syyskuu	644	-	5524	3299	2258	3704	-	5203	2600	2429	-
lokakuu	312	-	1670	2436	2887	2348	-	6808	5778	2978	-
marraskuu	322	-	402	1961	2486	2381	-	5707	3580	2686	-
joulukuu	89	-	96	1475	1541	1846	-	6178	1707	1697	-

Huomautus: Nämä sisäänvirtaukset sisältävät kaiken louhokseen virtaavan veden, kuten valunnan, sateen, lumen sulamisen ja pohjaveden.

Taulukko 25. Ennustettu pohjaveden virtaus avolouhokseen (perustuu koko alueen vesitaseeseen (Boliden, 2023)).

Päivä	Virtaus (m ³ /päivä)
01/01/2012	320
01/01/2013	360
01/01/2014	400
01/01/2015	440
09/01/2015	460
09/01/2016	600
09/01/2017	850
09/01/2018	1100
09/01/2019	1200
09/01/2020	1300
09/01/2021	1325
09/01/2022	1350
09/01/2023	1375
09/01/2025	1400
09/01/2033	1500
09/01/2035	1550
09/01/2050	1550

2.6.5.2. Murskaamorakennuksen kuivatus

Murskaamorakennuksessa on pumppuallas, jonka tarkoituksena on pitää tila kuivana. Bolidenin mukaan virtaus oli 4 l/s, mutta vuodesta 2021 lähtien pumppuallas on pysynyt kuivana.

2.6.5.3. Rikastushiekka-alueen B1 -kuivatusoja

Vuonna 2022 rikastushiekka-alue B1:n itäpuolelle asennettiin kuivatusoja, joka kulkee Kevitsan mäen juurella olevan lähdevyöhykkeen mukaisesti. Ojan tarkoituksena on vähentää pohjaveden painetta, joka kohdistuu rikastushiekka-alue B1:n kalvorakenteeseen.

2.6.5.4. Suotovesien keräyskaivot

Rikastushiekka-alue A1:n läheisyyteen on asennettu suotovesien keräyskaivoja, joiden tarkoituksena on kerätä pohjavettä, johon rikastushiekka-alueesta A1 suotautunut vesi on vaikuttanut. Kaivot on sijoitettu arvioituihin virtausreitteihin luoteeseen (NW) ja lounaaseen (SW) rikastushiekka-alueesta A1.

- Kaivot KevG-A101–KevG-A112 asennettiin rikastushiekka-alue A1:n luoteispuolelle vuonna 2019 (yhteisesti "luoteiset kaivot"; Golder, 2020b).

- Kaivot KevG-A201–KevG-A210 asennettiin rikastushiekka-alueen A1 lounaispuolelle vuonna 2023 (yhteisesti "lounaiset kaivot"; WSP, 2023a).

Kaivojen sijaintijakauma on esitetty kuvassa 217. Pumppausdataa on kerätty luoteisista kaivoista maaliskuusta 2022 ja lounaisista kaivoista toukokuusta 2024 alkaen (taulukko 26). Poikkeuksena:

- KevG-204: ei asennettu pumppua, koska testauksessa havaittiin vähäinen tuotto.
- KevG-A109 ja KevG-A208: porareiät ovat romahtaneet.

Huhtikuussa 2024 Bolidenille myönnettiin lupa pumppaukseen rikastushiekka-alue A1:n lounaispuolella.

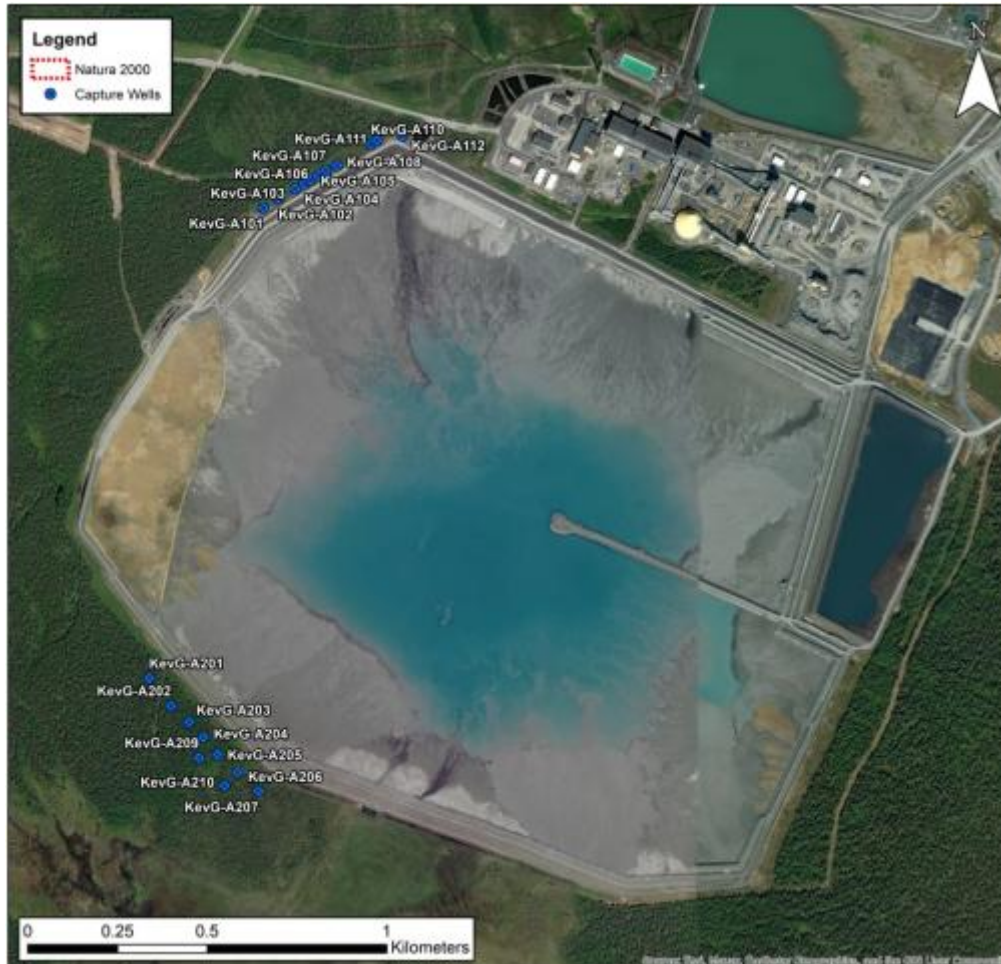
Taulukko 26. Talteenottokaivot, jotka sijaitsevat rikastushiekka-alueen luoteis- ja kaakkoispuolella.

Keräyskaivo	Itäinen koordinaatti (m) ¹	Pohjoinen koordinaatti (m) ¹	Tarkkailuaika pumppausdatalle
KevG-A101	3,496,338	7,511,719	Mar-22 to May-24
KevG-A102	3,496,380	7,511,744	Mar-22 to May-24
KevG-A103	3,496,426	7,511,772	Mar-22 to May-24
KevG-A104	3,496,452	7,511,787	Mar-22 to May-24
KevG-A105	3,496,470	7,511,797	Mar-22 to May-24
KevG-A106	3,496,491	7,511,809	Mar-22 to May-24
KevG-A107	3,496,513	7,511,823	Mar-22 to May-24
KevG-A108	3,496,543	7,511,836	Mar-22 to May-24
KevG-A109 ²	3,496,573	7,511,858	-
KevG-A110	3,496,637	7,511,896	Mar-22 to May-24
KevG-A111	3,496,655	7,511,907	Mar-22 to May-24
KevG-A112	3,496,725	7,511,919	Mar-22 to May-24
KevG-A201	3,496,020	7,510,406	May-23 to May-24
KevG-A202	3,496,081	7,510,329	May-23 to May-24
KevG-A203	3,496,131	7,510,284	May-23 to May-24
KevG-A204 ³	3,496,171	7,510,241	-
KevG-A205	3,496,210	7,510,193	May-23 to May-24
KevG-A206	3,496,267	7,510,144	May-23 to May-24
KevG-A207	3,496,325	7,510,091	May-23 to May-24
KevG-A208 ²	3,496,045	7,510,283	-
KevG-A209	3,496,158	7,510,184	May-23 to May-24
KevG-A210	3,496,230	7,510,106	May-23 to May-24

¹KKJ EPSG:2393 -koordinaattijärjestelmää käytetään.

²Sortunut talteenottokaivo; pumppausdataa ei ole saatavilla.

³Tässä kaivareissä ei ole toistaiseksi suoritettu pumppausta, koska testauksessa havaittiin alhainen tuotto.



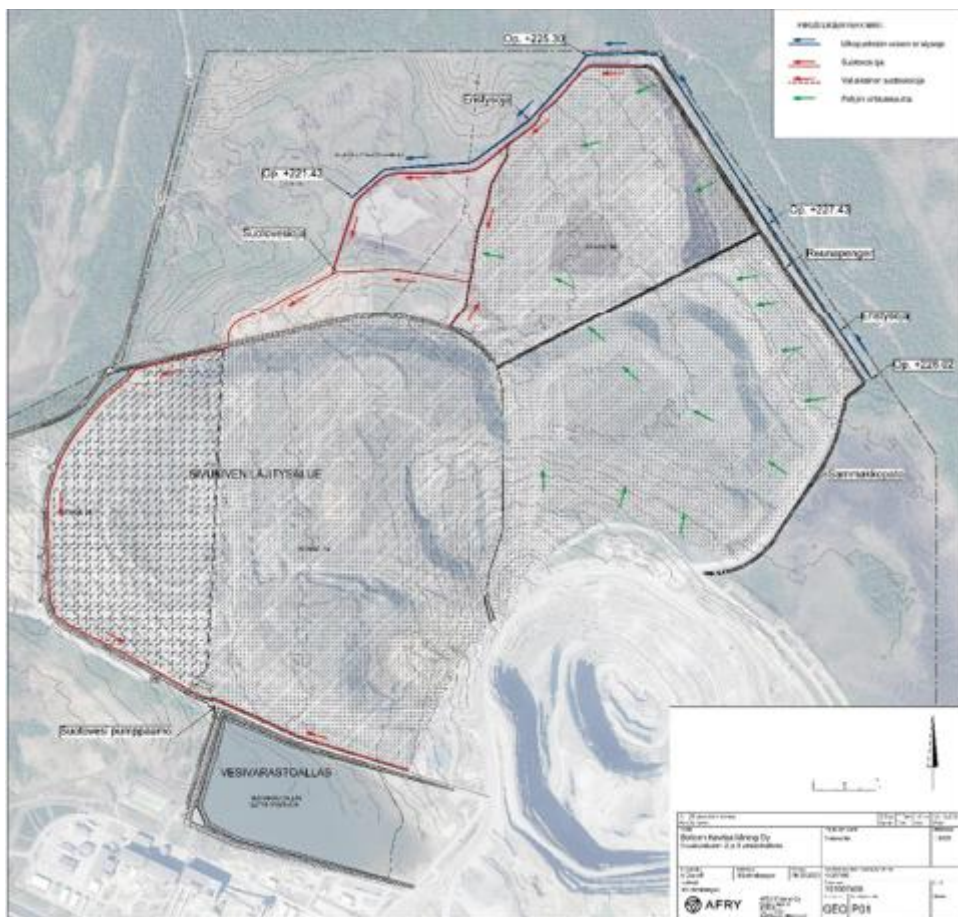
Kuva 217. Talteenottokaivot, jotka sijaitsevat rikastushiekka-alueen A1 luoteis- ja kaakkoispuolella.

2.6.5.5. Suotovesien keräysojat (rikastushiekka-alue A1 ja sivukivialue)

Sivukivialueen ympärillä on pääosin suotovesien keräysojia, kuten esitetty kuvassa 218. Näiden ojien tarkoituksena on kerätä sivukivialueen juurelta maanpintaan purkautuva suotovesi.

Sivukivialueen ulkopuolelta virtausgradientin yläpuolelta tulevat vesivirrat (eli pintavalunta ja pohjavesi, jotka eivät ole suotovesiä) ohjataan kaivantoon sivukivialueen ympärillä idästä länteen pohjoisrajaa pitkin, ja ne johdetaan imeytymään rakennetun alueen ulkopuolisille valuma-alueille sivukivialueen luoteispuolella (Golder, 2021c).

Sivukivialueen: suotovesien keräysjärjestelmä koostuu avo-ojista, jotka sijaitsevat pääasiassa alueen pohjois-, länsi- ja eteläreunoilla, ja ne keräävät sivukivialueen alapuolelta virtaavaa suotovettä. Kaikki kerätty suotovesi johdetaan sivukivialueen eteläpuolelle, josta se pumpataan alueen viereiseen vesivarastoon suotovesien keräysojan pumppuaseman kautta. Seurantapiste KevP-2 sijaitsee tässä.

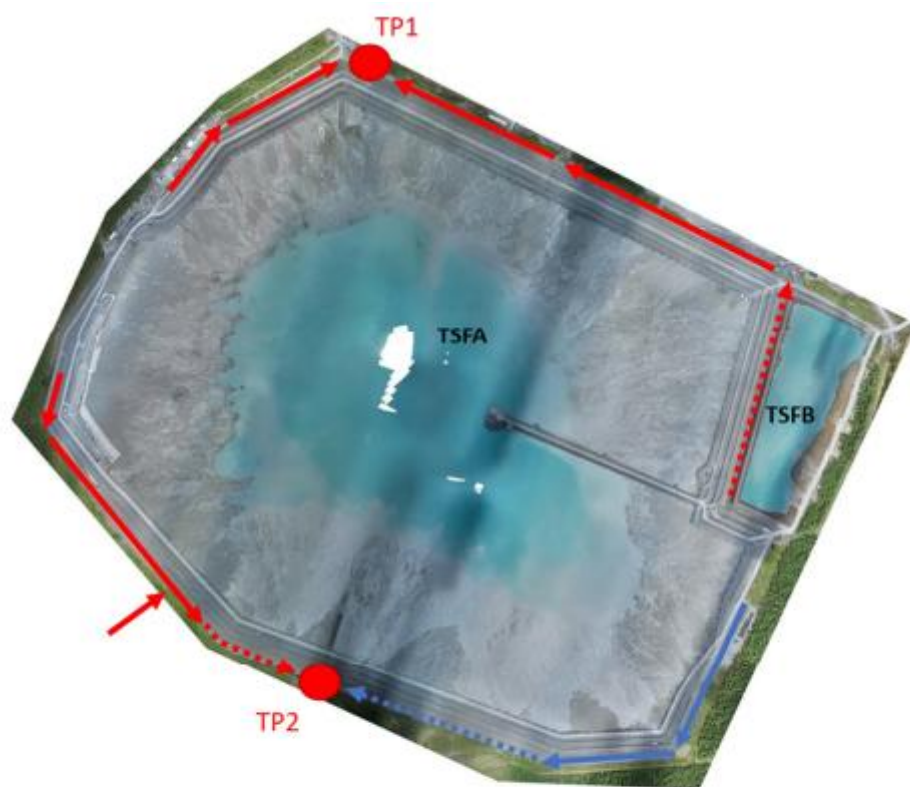


Kuva 218. Sivukinalueen suotoresien keräysjärjestelmä ja virtaamat (muokattu lähteestä Golder, 2021c). Sivukinalueen suotoresien keräysoja on merkitty punaisella viivalla, ulkoinen vedenkeräysoja sinisellä viivalla, ja tilapäinen suotoresien keräysoja punaisella katkoviivalla. Kainoksen vaiheittainen suunnittelu on vanhentunut, joten vaiheiden nimet on poistettu.

Rikastushiekka-alueen A1 ympärillä on vastaavasti ulkoisia suotovesien keräysojia etelä-, itä- ja pohjoisreunoilla, kuten esitetty kuvassa 219. Ojien rakenteet ovat yhdistelmä avo-ojiaa ja maahan kaivettuja salaojaputkia, jotka ohjaavat veden kahteen pumppualtaaseen: TP1 pohjoisessa ja TP2 etelässä (vedenlaadun seurantapisteen KevP-4a3 ja KevP-4a2 vastaavasti) (Golder, 2021c).

Vuodesta 2021 lähtien TP1:ssä kerätty vesi on johdettu painovoimaisesti pohjoisessa sijaitseviin prosessivesialtaisiin (seurantapiste KevP-4a4). Nämä pumppualtaat keräävät myös pohjavettä ja pintavaluntaa penkereiltä ja ojaan nähden hydraulisen gradientin yläpuoliselta valuma-alueelta.

Rikastushiekka-alue B1:n läheisyydessä on vain vähän suotovesien keräysrakenteita, koska altaan rakenne on erityistiivis. Rikastushiekka-alue A1:n ja rikastushiekka-alue B1:n penkereiden väliin on asennettu alapohjasalaoja, joka johtaa vettä pohjoiseen painovoimaisesti, ja lopulta kerätty vesi pumpataan rikastushiekka-alue A1:n altaaseen.



- = Perimeter seepage ditch at surface, flowing / Suotovesioja, vettä virtaa
- = Perimeter seepage ditch at surface, no or low flow / Suotovesioja, vähän tai ei lainkaan virtausta
- ... = Perimeter seepage drain (buried), flowing / Suotovesisaloja, vettä virtaa
- ... = Perimeter seepage drain (buried), no or low flow / Suotovesisaloja, vähän tai ei lainkaan virtausta
- = Seepage collection/pumping point / Suotoveden keruuallas ja pumppaamo

Kuva 219. Yleiskatsaus rikastushiekka-alue A1:n ja rikastushiekka-alue B1:n ympärillä olevaan ulkoiseen suotovesien keräysverkostoon.

Sivukivialueen ja rikastushiekka-alueen oletetut salaojien keräyksen tehokkuudet ja keräämättä jäävät suotovesimäärät on esitetty taulukossa 27. Rikastushiekka-alue B1:n osalta keräämättä jäänyt suotovesi edustaa pientä määrää suotoa, joka liittyy kalvon repeämiin. Rikastushiekka-alueesta B1 tulevan suotoveden oletetaan virtaavan länteen, ja se kerätään rikastushiekka-alueesta katsoen hydraulisen gradientin alavirran puolelta, yhdessä Rikastushiekka-allas A1:n pohjoisosan suotovesien kanssa.

Taulukko 27. Sivukivialueen ja rikastushiekka-alueiden A1 ja B1 yhteydessä esiintyvät talteen ottamattomat suotovedet sekä kuivatusjärjestelmien tehokkuudet.

Alue	Suotovesiojan tehokkuus (Kerättävissä olevat suotovedet)	Suotovesiojan ohitus (Ei- kerättävissä olevat suotovedet)
Sivukivialueen	80 %	20 %
Rikastushiekka-alue A1 (pohjoinen) ja TSF B1	45 %	55 %

Rikastushiekka-alue A1 (etelä)	80 %	20 %
-----------------------------------	------	------

3. Hydrogeologinen käsitteellinen malli

Perustuen ympäristöolosuhteisiin, jotka on esitetty kohdassa 2, alla on yhteenveto hydrogeologisesta käsitteellisestä mallista, jonka pohjalta pohjaveden virtausmalli on laadittu:

- Topografia on pääosin tasaista, mutta alueella on useita korkeampia kohtia, kuten Kevitsanvaara, joka sijaitsee sivukivialueen eteläpuolella ja rikastushiekka-alue A1 itäpuolella. Matalammat alueet ovat tyypillisesti virtavesien, järvien ja soiden kohdalla.
- Pintavedet virtaavat pääasiassa pohjoiseen tai luoteeseen kohti Mataraojaa ja Kitistä, mutta osa vedestä virtaa myös etelään kohti Saiveljärveä ja Viivajokea. Pintavesiä ohjataan alueella ojituksilla. Kaivoksen itäpuolella sijaitsee Natura 2000 -suojeltu kosteikkoalue.
- Alueella on pitkät, lumiset talvet ja leudot kesät, ja lumensulaminen alkaa maaliskuussa, huippuvalunta tapahtuu toukokuun lopussa ja kesäkuussa johtuen vuorottelevasta jäätymis-sulamisjaksosta. Tämä aiheuttaa vuodenaikaisvaihtelua hydrologisessa ja hydrogeologisessa järjestelmässä. Ilmastotiedot kaivosalueelta ja lähiasemilta osoittavat, että vuotuinen keskimääräinen sadanta on noin 550 mm, haihdunta 285–300 mm/vuosi, ja lämpötilat vaihtelevat –12,8 °C tammikuussa ja 16,2 °C heinäkuussa.
- Alueen geologia on käsitteellistetty rakenteellisten ja hydrogeologisten ominaisuuksien perusteella: turve, ylempi ja alempi moreeni, rapautunut kallio sekä ehyt kallioperä (ylempi, keskimäinen, alempi). Turve omaa korkeimman hydraulisen johtavuuden, jota seuraavat ylempi moreeni ja rapautunut kallio, sitten alempi moreeni ja lopuksi ehyt kallioperä, jonka vedenjohtavuus pienenee syvyyden kasvaessa.
- Pohjaveden pinnan korkeus on alueella lähellä maanpintaa. Pohjavesi tukee pintavesijärjestelmiä. Pohjaveden pinnan korkeusvaihtelut heijastavat yleisesti ottaen paikallista topografiaa: korkeammilla alueilla pohjaveden pinta on yleensä korkeammalla merenpinnasta ja päinvastoin.
- Alueellinen pohjaveden virtaussuunta on pääasiassa länteen, mutta avolouhos häiritsee hieman virtausreittiä. Louhoksessa virtaus suuntautuu pääosin merkittävimpien siirrosten suuntausten mukaisesti.
- Huokosvirtaus on vallitsevaa turpeessa ja moreenissa, kun taas raoissa tapahtuva virtaus hallitsee kalliooperässä. Rapautunut kallio toimii todennäköisesti näiden virtausmekanismien yhdistelmänä, ja siinä oletetaan suurempaa virtausta verrattuna alempaan moreeniin ja ehyeen kallioerään. Siirrokset ja rakoilu aiheuttavat alueellista vaihtelua kallionperän vedenläpäisevyydessä. Turpeen esiintyminen on epätasaisesti jakautunut maan pinnalla (enintään 3 m paksu), ja

satunnaiset rapautuneen kallion esiintymät maanpinnalla tarjoavat hydraulista yhteyttä syvempiin kerroksiin.

- Pohjaveden muodostumisnopeus alueella on laskettu HBV-mallilla ja käyttäen paikallista ilmastoaineistolla. Pohjaveden muodostumisnopeuden arvio on 258 mm/vuosi vuosille 2018–2032, ja se kasvaa 294 mm/vuoteen vuosille 2034–2200 RCP 4.5 -ilmastoennusteen mukaan, mikä vastaa 36 mm/vuoden lisäystä tulevien ilmasto-olosuhteiden vuoksi.
- Alueella on käytössä useita pohjaveden hallinta- ja suojelutoimia, jotka voivat vaikuttaa paikalliseen pohja- ja pintaveteen: avolouhoksen kuivatus, rikastushiekka-alue B1:n itäpuolen kuivatus, suotovesien keräys pumppukaivoilla sekä vuotovesien keräysojat rikastushiekka-alue A1:n ja sivukivialueen ympärillä. Lisäksi murskaamorakennuksessa käytettiin pohjavesipumppualtaita vuotovesien hallintaan, mutta allas on ollut kuiva vuodesta 2021 lähtien.

4. Numeerinen virtausmalli

Tässä tutkimuksessa tehty numeerinen mallinnus perustuu aiempiin ajasta riippuviin malleihin, joita on käytetty kuvaamaan VE0:n toimintavaiheen ja sulkemisvaiheen olosuhteita. Aiemman mallin ominaisuudet on kuvattu raporteissa Golder (2018) ja WSP Golder (2022) toimintavaiheen osalta sekä Golder (2020a) sulkemisvaiheen osalta. Näiden mallien ominaisuuksia ei käsitellä tarkemmin tässä raportissa, mutta olennaiset tulokset esitetään, jotta niitä voidaan verrata VE0+, VE1.1 ja VE1.3 -vaihtoehtoihin. Uusin ajasta riippuva malli (WSP Golder, 2022) on päivitetty sisältämään viimeisimmät saatavilla olevat tiedot (ks. kohta 1.3) ja vastaamaan ehdotettuja VE0+ ja VE1.3 -vaihtoehtojen mukaisia kaivosrakenteita (ks. kohdat 1.1 ja 1.2). Päivitetty mallinnus arvioi ehdotettujen kaivosrakenteiden muutosten vaikutuksia sekä toiminta- että sulkemisvaiheessa. Päivitys sisältää:

- Uudet ehdotetut kaivosrakenteet
- Uudet vuotovesien arvioidut määrät
- Uudet hydrogeologiset seurantatiedot
- Muutokset mallialueeseen ja geologisiin rakenteisiin
- Kuivatus- ja keräysjärjestelmien mallinnuksen

Ennustavaa mallinnusta käytetään arvioimaan pohjaveden sisäänvirtausta, pinnankorkeuksia ja alenemavaikutuksia, joita kaivos aiheuttaa, sekä louhokseen muodostuvan järven syntyä (käsitellään tarkemmin raportissa WSP, 2025b).

Mallinnus keskittyy VE0+ ja VE1.3 -vaihtoehtoihin. VE0 ja VE1.1 -vaihtoehtoilta ei ole tehty lisämallinnusta, mutta VE0+ ja VE1.3 -mallien tuloksia käytetään laadullisesti arvioimaan VE1.1:n vaikutuksia.

Seuraavissa osioissa kuvataan mallin rakenne, parametrisointi ja tässä tutkimuksessa tehdyt päivitykset. Tutkimus keskittyy ajasta riippuvaan malliin, joka on johdettu

perustilamallista, joka alun perin kehitettiin vedenjohtavuuden ja pohjaveden muodostumisnopeuden kalibrointiin aiempien kaivosolosuhteiden aikana.

4.1. Mallinnusohjelmisto

Mallin päivitys tehtiin käyttäen MODFLOW-USG versiota 2.4.1, ja se päivitettiin Groundwater Vistas -ohjelmistossa (versio 9.07, Build 44). Mallissa käytettiin rakenteetonta malliverkkoa, joka mahdollistaa paikallisen verkon tarkennuksen ja solujaon tarkkuuden asteittaisen kasvattamisen kiinnostavilla alueilla.

4.2. Mallinnusjakso

Malli kattaa kaivosta edeltävän vaiheen, toimintavaiheen ja sulkemisvaiheen VE0+ ja VE1.3 -vaihtoehdoille. Ennusteet ulottuvat vuoden 2094 loppuun, jotta voidaan arvioida pohjaveden pinnan palautumista sulkemisvaiheen aikana.

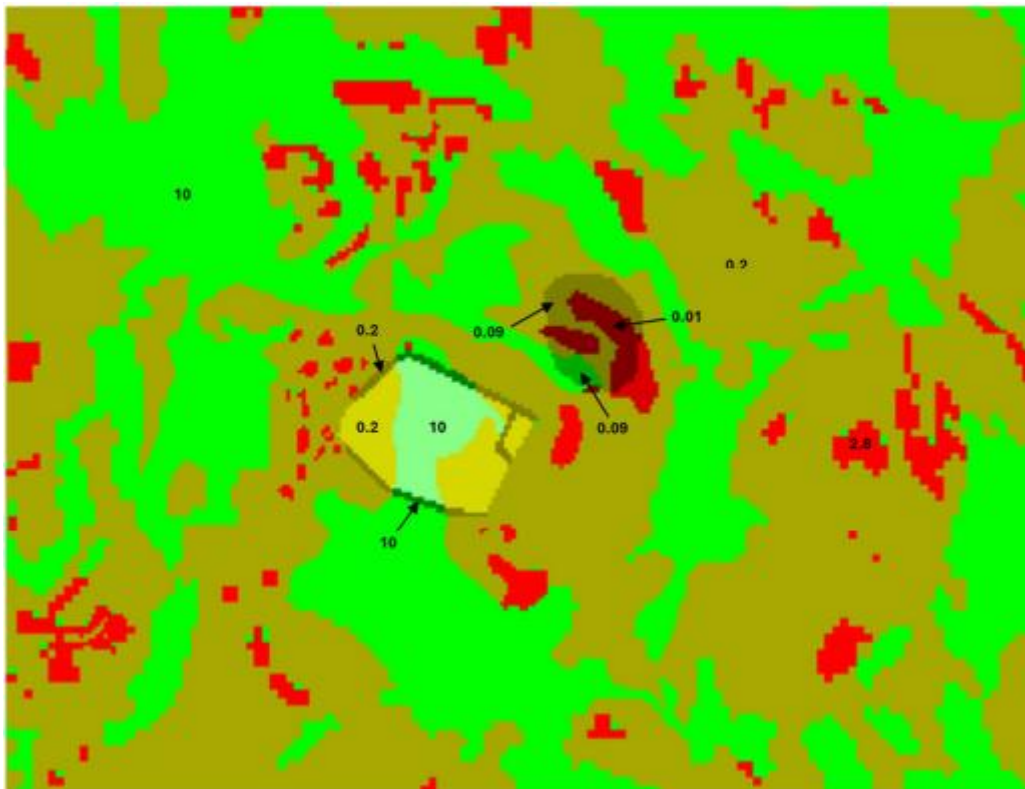
Mallin kuormitusjaksot (ajanjaksot, joilla olosuhteet muuttuvat) on jatkettu vastaamaan uusia kaivosaikatauluja. Mallissa on tällä hetkellä 462 kuormitusjaksoa, jotka alkavat kuukausittaisina toimintavaiheessa, ja muuttuvat neljännesvuosittaisiksi ja lopulta vuosittaisiksi sulkemisvaiheessa.

4.3. Mallin parametrisointi

Seuraavissa osioissa kuvataan mallissa käytetyt hydrogeologiset yksiköt, geologinen rakenne ja pohjaveden muodostumisnopeus. Tässä tutkimuksessa tehdyt päivitykset ja oletukset on myös tuotu esiin.

4.3.1. Hydrauliset ominaisuudet

Päivitetyn numeerisen mallin hydrauliset parametrit on esitetty taulukossa 41. Parametrit on määritetty aiempien tutkimusten, kirjallisuuden ja kalibrointiprosessin (kuvattu kohdassa 5) perusteella. Kuvassa 41 on esitetty vedenjohtavuuden jakauma (metriä/päivä) mallin kerroksessa 1 (maanpinta).



Kuva 41. Hydraulisen johtavuuden (m/d) jakauma mallikerroksessa 1 (maanpinta).

Taulukko 41. Hydraulisten parametrien käsitteelliset vaihteluvälit ja kalibroidut arvot ([]), joita on käytetty WSP Golderin (2022) mallissa. Lyhenteiden selitykset löytyvät taulukon lopusta.

	Veden johtavuus (m/d)	Ominais tuotto (%)	Tehollinen huokoisuus (%)	Viitteet/Kommentit
Turve	5 - 86 [Kh: 10; Kv: 1]	20 - ~44 [Sy: 40]	20 - 55 [Tehollinen huokoisuus : 50]	K: Huomioiden käsitteellisen vaihteluvälin 5 m/päivä – 86 m/päivä (lähde: Golder, 2018), perustuen Päivänen (1973) ja Beckwith ym. (2003). Kv oletetaan olevan 10 % Kh:sta.
				Sy: Golder (2018) ehdottaa Sy-arvoksi noin 44 %, perustuen Domenicoon ja Schwartziin (1998) turpeen osalta, kun taas Golder (2020a) ehdottaa Sy-arvoksi 20 %, perustuen Verry ym. (2011).
				Tehollinen huokoisuus Eh: Heathin (1983) mukaan kokonaishuokoisuus on noin 55 % (raportoitu lähteessä Golder, 2018c), mutta Golder (2020a) esitti eh:ksi 20 %, perustuen Verry ym. (2011).

Ylempi moreeni	0.09 - 3 [Kh: 0.2; Kv: 0.02]	~16 [Sy:20]	15 - 31 [Tehollinen huokoisuus : 25]	K: Huomioiden käsitteellisen vaihteluvälin 0,09 m/päivä – 3 m/päivä, joka perustuu laskevien/nousevien testien tuloksiin tutkimusalueella (ks. liite B). Kv oletetaan olevan 10 % Kh:sta.
				Sy: Golder (2018) ehdottaa Sy-arvoksi noin 16 %, perustuen Domenicoon ja Schwartziin (1998) moreenin osalta.
				Eh: Golder (2018) ehdottaa kokonaishuokoisuudeksi noin 31 %, perustuen Domenicoon ja Schwartziin (1998) hiekan osalta, kun taas Golder (2020a) esittää eh:ksi 15 %, perustuen Younger (1993).
Alempi moreeni	4.1E-05 - 0.11 [Kh: 0.013; Kv: 0.0013]	~16 [Sy:18]	15 - 31 [Tehollinen huokoisuus : 20]	Kh saatu kalibrointiprosessista, huomioiden käsitteellisen vaihteluvälin 4,1E-05 m/päivä – 0,11 m/päivä, joka perustuu laboratoriotestien tuloksiin tutkimusalueella (ks. liite B). Kv oletetaan olevan 10 % Kh:sta.
				Sy: Golder (2018a) ehdottaa Sy-arvoksi noin 16 %, perustuen Domenicoon ja Schwartziin (1998) moreenin osalta.
				Eh: Golder (2018) ehdottaa kokonaishuokoisuudeksi noin 31 %, perustuen Domenicoon ja Schwartziin (1998) hiekan osalta, kun taas Golder (2020a) esittää eh:ksi 15 %, perustuen Younger (1993).
Rapautunut kallio	0.09 - 15.5 [Kh: 0.1 to 3.9; Kv: 0.1 to 3.9]	~23 [Sy:10 - 20]	12 - 42 [Tehollinen huokoisuus : 12 - 25]	K: Kh saatu kalibrointiprosessista, huomioiden käsitteellisen vaihteluvälin 0,09 m/päivä – 15,5 m/päivä, joka perustuu vakiovirtaamatestien ja laskevan n/nousevan painekorkeuden testien tuloksiin tutkimusalueella (ks. liite B). Kv oletetaan olevan isotrooppinen.
				Sy: Golder (2018) ehdottaa Sy-arvoksi noin 23 %, perustuen Domenicoon ja Schwartziin (1998) karkean soran osalta.
				Eh: Golder (2018) ehdottaa kokonaishuokoisuudeksi noin 42 %, perustuen Domenicoon ja Schwartziin (1998) rapautuneen gabbiron osalta, kun taas Golder (2020a) esittää arvoja välillä 12–18 %, perustuen maanpinnan läheisen kallion kairanäytteiden valokuvien tarkasteluun.
Kiinteä kallioperä	5.5E-05 - 0.3 [Kh: 2.1E-04 to 0.02; Kv: 6.3]	4 to 15 [Sy:1.2 - 1.6]	5 - 30 [Tehollinen huokoisuus : 1.5 - 2]	K: Ottaen huomioon käsitteellisen vaihteluvälin 5,5E-05 m/d – 0,3 m/d, joka perustuu tutkimusalueella tehtyjen askel-, alenevan painekorkeuden vedenpinnan- ja vakiovirtaaman syöttötestin tuloksiin (ks. liite B). Sama anisotropia-arvo kuin Golderin (2018) ja Golderin (2020a) käyttämät.

				Sy: Golder (2018) ehdottaa Sy-arvoksi noin 5–15 %, perustuen Domenico ja Schwartz (1998) sekä Heath (1983) lähteisiin, kun taas Golder (2020a) ehdottaa Sy-arvoja noin 4 %.
				Eh: Golder (2018) ehdottaa kokonaishuokoisuudeksi 5–30 %, perustuen Domenico ja Schwartz (1998) lähteeseen materiaaleille, jotka vaihtelevat tiiviistä kiteisestä kallioperästä rapautuneeseen kallioon, kun taas Golder (2020a) ehdottaa arvoksi noin 5 %.

Kalibrointi-arvot/-vaihteluvälit, joita käytettiin WSP Golderin (2022) mallissa viitteeksi. Päivitetty kalibrointi käsitellään luvussa 5.

K: Veden johtavuus, joka kuvaa materiaalin (esim. sedimentit ja kivi) kykyä johtaa vettä.

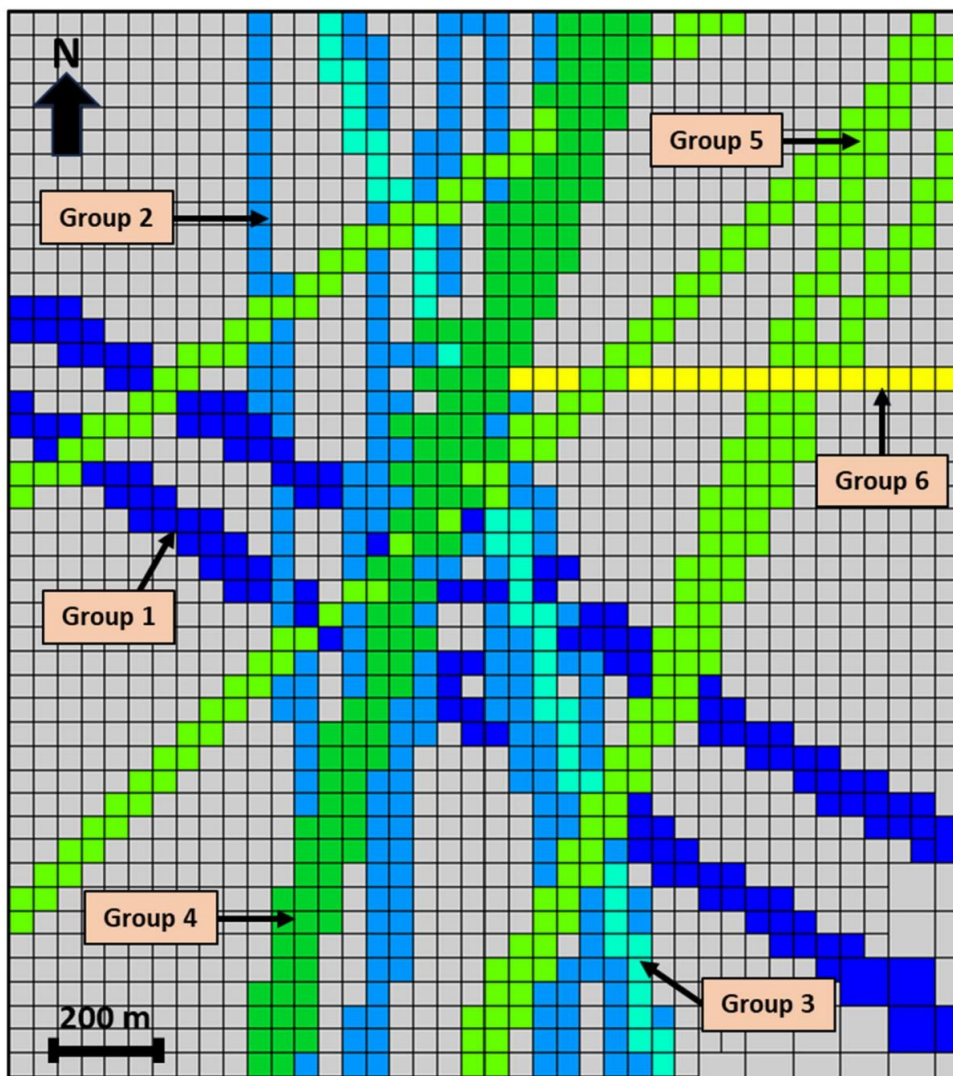
Kh: Veden johtavuus vaakasuunnassa, viittaa yleensä K_x:n ja K_y:n keskiarvoon.

Kr: Veden johtavuus pystysuunnassa, tunnetaan myös nimellä K_z.

Sy: Ominais tuotto (specific yield), määritellään veden tilavuutena, joka vapautuu vesivarastosta rajoittamattomassa pohjavesiesiintymässä pinta-alayksikköä kohden vedenpinnan alenemisyksikköä kohti. Se liittyy kuivatettavissa olevaan (teholliseen) huokoisuuteen.

4.3.2. Geologinen rakenne

Leapfrog-mallissa esitetyt uudet siirrokset sisällytettiin virtausmalliin, jotta voitiin kuvata avolouhoksen läheisyydessä esiintyvät monimutkaiset geologiset rakenteet (ks. kohta 2.5.2), kuten esitetty kuvassa 42. Siirrokset ryhmiteltiin mallissa niiden suuntautumisen ja mittakaavan mukaan, ja lisäksi sijainnin perusteella. Siirrosten leikkaussuhteet arvioitiin asiantuntija-arviona. Jokaiselle siirrosryhmälle määritettiin eri vedenjohtavuuden arvot sen mukaan, missä osatilavuudessa (ylempi, keskimäinen, alempi) ne sijaitsevat. Tämä ryhmittely helpotti mallin kalibrointia. Lisäksi malliin lisättiin erillinen vettä johtava vyöhyke paikallisten siirrosten ympärille, jotta voitiin sisällyttää FracMan-ohjelmistolla tehdyn tilastollisen rakoverkkomallinnuksen (Discrete Fracture Network, DFN) tuottamat hydrogeologiset tulokset.



Kuva 42. Avoimen louboksen läheiset siirrokset. Ryhmän 7 siirrokset (merkittävät siirrokset, jotka sijaitsevat kauempana louboksesta) sisältyvät malliin, mutta niitä ei ole esitetty tässä kuvassa (katso kuva 38 nähdäksesi ryhmän 7 siirrokset).

Vedenjohtavuuden suhteet X-, Y- ja Z-suunnassa saatiin FracManista tuotetuista Odan vedenläpäisevyydestuloksista, ja ne sovellettiin siirrosten ympärillä olevaan kalliotilavuuteen, jotta voitiin kuvata rakoverkon vaikutus veden johtavuuteen. Lasketut vedenjohtavuuden suhdeluvut eri koordinaattiakselien suunnissa on esitetty taulukossa 42. Huomaa, että veden johtavuuden arvot on esitetty kohdassa 5 (ks. taulukko 51).

Taulukko 4-2. Oda: vedenjohtavuus suhteet koordinaattiakselien suunnissa

Rakosuuntien vedenjohtavuus suhteet			
Kx:Ky:Kz	1.00	1.12	1.09
Ky:Kz:Kx	1.00	0.97	0.89
Kz:Kx:Ky	1.00	0.92	1.04

Kx, Ky, Kz: Veden johtavuus X-, Y- ja Z-suunnissa.

4.4. Mallin rakenne

Seuraavissa osioissa kuvataan mallialueen rajausta ja mallin osa-aluejako. Tässä tutkimuksessa tehdyt päivitykset ja oletukset on myös tuotu esiin.

4.4.1. Mallialue

Mallialue määriteltiin tavoitteena ennustaa avolouhoksen pohjaveden sisäänvirtausta kaivoksen sulkemissuunnittelua varten (ks. kuvat 22 ja 23) sekä reunaehtojen sijainnin (esim. valuma-alueet, suuret joet jne.) perusteella.

Mallialue rajautuu:

Lännessä: Kitinen-jokeen

Idässä: Luiro-jokeen

Pohjoisessa: Ala-Liesijokeen

Etelässä: Saiveljärven eteläpuoliseen valuma-alueeseen

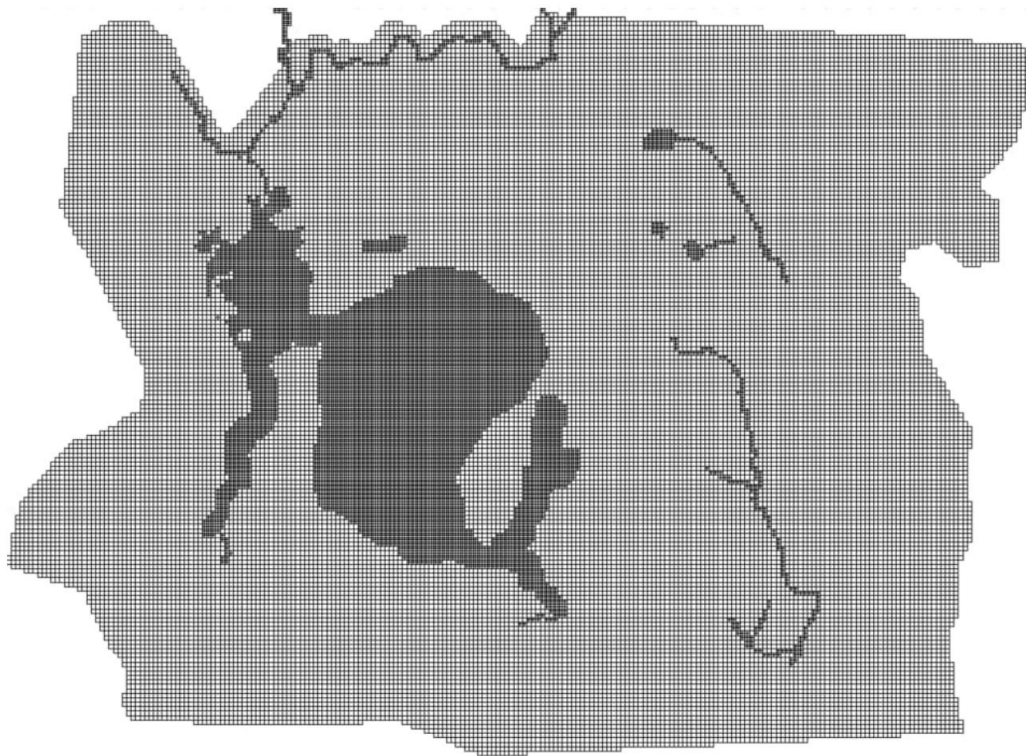
Mallin laajuus on noin 19 km itä-länsisuunnassa, 16 km pohjois-eteläsuunnassa ja 1,6 km syvyysuunnassa.

4.4.2. Vaakasuuntainen osa-aluejako

Malliverkon solujen pinta-ala vaihtelee:

- 50 m² kiinnostavilla alueilla
- 100 m² mallin laajemmilla alueilla
-

Tarkennettu malliverkko on käytössä kaivosalueella, avolouhoksessa, jokien, järvien ja pohjaveden purkautumisalueiden (esim. kosteikot) ympärillä (ks. kuva 43).



Kuva 43. Numeerisen mallin verkon osa-aluejako.

4.4.3. Pystysuuntainen osa-aluejako

Malli on jaettu 17 kerrokseen, kuten kuvattu taulukossa 43. Kerrosten korkeus ja paksuus vaihtelevat mallialueella. Alemmat geologiset yksiköt (rapautunut kallio sekä ylempi, keskimäinen ja alempi syvä kallioperä) on jaettu useisiin kerroksiin, jotta voidaan kuvata louhoksen korkeustasoja ja pystysuuntaisia painegradientteja louhoksen ympärillä. Mallikerroksia päivitettiin vastaamaan VE0+ ja VE1.3 -louhosten ehdotettua maksimisyvyyttä. Päivityksen yhteydessä päivitetty louhoksen pinnanmuoto yhdistettiin olemassa olevaan maaston muotoon (topografiaan).

Taulukko 43. Päivitetyt mallikerrosten paksuudet, keskimääräinen pohjan korkeus ja geologiset yksiköt.

Kerros	Paksuus (m)	Keskimääräinen mallikerroksen pohjan korkeus (mmpy)	Geologia
1	1.00	219	Sedimentit (koostuvat turpeesta, ylemmästä moreenista ja alemmasta moreenista)
2	0.20	218	
3	4.00	215	
4	4.00	211	Rapautunut kallio
5	2.00	209	
6	1.05	208	

7	5.00	203	Ylempi kallioperä siirroksineen.
8	45.5	157	
9	73.3	84	
10	105	10.7	
11	141	-62.6	Keskimmäinen kallioperä siirroksineen.
12	73.3	-136	
13	73.3	-209	
14	73.3	-282	
15	120	-402	Alempi kallioperä siirroksineen.
16	370	-572	
17	524	-792	

Huomautus: Kerroksen 1 keskimääräinen yläpinnan korkeus (eli maanpinnan korkeus) on 220 mmpy.

4.5. Reunaehdot

Seuraavissa osioissa kuvataan, mitä reunaehtoja mallissa on käytetty ja miten ne on sovellettu. Tässä osiossa esitetään myös yhteenveto aiemmista töistä (Golder, 2018; Golder, 2020a; WSP Golder, 2022) sekä tässä tutkimuksessa tehdyistä päivityksistä ja oletuksista.

4.5.1. Täydentymä

Pohjaveden muodostumisnopeus -reunaehto (imeyntäreunaehto) on asetettu maanpinnalle kaikilla alueilla, joita ei ole tulkittu pohjaveden purkautumisvyöhykkeiksi (eli kosteikot, avolouhos, kiviainesvarasto ja kuivatusoja on rajattu pois). Toimintavaiheessa käytetään kuukausittaista aikavaihtelua, joka myöhemmin muuttuu neljännesvuosittaiseksi ja lopulta vuosittaiseksi sulkemisvaiheessa.

Rikastushiekka-alue ja sivukivialue on mallissa esitetty pohjaveden muodostumis-reunaehtoina niiden vuotovesimäärien mukaisesti (ks. kohta 1.3). Mallissa on huomioitu vain ne vuotovedet, joita ei kerätä laitosten ympärillä olevilla vuotovesien keräysjoilla.

Vaihtoehto VE0+

Uudet suotovesiarviot, jotka on mallissa esitetty pohjaveden muodostumisnopeuksina, on sisällytetty sivukivialueelle, rikastushiekka-alue A1:lle ja rikastushiekka-alue B1:lle. Sivukivialueen suotovedet vuosilta 2023–2094 on päivitetty Okane:n vuonna 2023 toimittamien arvioiden mukaisesti (viitattu tiedostossa '1035-233-Seepage-WRSF-VE0+-2039-MEM-Regions.xlsx'). Vuosien 2012–2022 arvot ovat samat kuin Okane:n vuonna 2019 toimittamat.

Rikastushiekka-alue A1:n suotovedet on mallinnettu SeepW-mallilla (WSP, 2024b) toimintavaiheelle (elokuu 2023 – joulukuu 2033) ja Okane:n arvioiden mukaan

sulkemisvaiheelle (tammikuu 2034 – maaliskuu 2094). Ennen elokuuta 2023 käytetyt arvot perustuvat GoldSim-mallinnukseen vuodelta 2021 (Golder, 2021a).

Rikastushiekka-alue B1:n suotovesiarviot (WSP, 2022) on alun perin laskettu rikastushiekka-alueen 241 metrin korotustasolle, mutta ne on päivitetty vastaamaan uutta 251 metrin suunnittelukorkeutta. Päivitetyt arvot on esitetty toimintavaiheelle ja sulkemisvaiheelle raportissa WSP (2025a).

Vaihtoehto VE1.3

Uudet suotovesiarviot, jotka on mallissa esitetty pohjaveden muodostumisnopeuksina, on sisällytetty sivukivialueelle ja ehdotetulle rikastushiekka-alue A2:lle. Rikastushiekka-alue A1:n ja rikastushiekka-alue B1:n suunnittelu ja aikataulu ovat samat kuin VE0+-vaihtoehdossa, joten niiden suotovedet eivät muutu vaihtoehtoon VE0+ verrattuna. Sivukivialueen suotovedet vuosilta 2018–2094 on päivitetty Okane:n vuonna 2025 toimittamien arvioiden mukaisesti. Vuosien 2012–2017 arvot ovat samat kuin Okane:n vuonna 2019 toimittamat.

Rikastushiekka-alue A2:n osalta malliin on sovellettu kiinteät suotovesiarvot jokaiselle pohjamateriaalille ja patopenkereelle toimintavaiheessa ja sulkemisvaiheessa WSP:n laskelmien perusteella (WSP, 2025a).

4.5.2. Joet

Joen vedenpinnan korkeus on määritetty DEM-aineistosta (Golder, 2018). Joen pohja on asetettu:

- 5 metriä vedenpinnan alapuolelle suurissa joissa (Kitinen ja Luiro)
- 1–2 metriä vedenpinnan alapuolelle Ala-Liesijoessa
- 1 metriä vedenpinnan alapuolelle muissa pienemmissä joissa ja puroissa (Golder, 2018)

Joen leveys mallissa:

- Kitinen ja Luiro: 100 metriä
- Ala-Liesijoki: 25 metriä leveissä osissa, 5 metriä puro-osuuksissa
- Muut pienet purot: 5 metriä (Golder, 2018)

Joen pohjan paksuus on:

- 1 metri suurissa joissa
- 0,5 metriä muissa vesistöissä (Golder, 2018)
-

Joen pohjan vedenjohtavuuden oletetaan vastaavan turpeen ja savisen silttikerroksen ominaisuuksia, jotka peittävät soraa ja orgaanista ainesta sisältävää silttiä.

Vedenjohtavuuden kokonaisarvo joen pohjan materiaalille on välillä $1 \times 10^{-3} \text{ m/s} - 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ kaikille joille (Calver, 2001).

4.5.3. Vakiopainekorkeus

Kaikki järvet on mallinnettu vakiopainekorkeuden mukaan, eli vedenpinnan korkeudessa ei ole vaihtelua järven sisällä, ja paine määräytyy veden pinnan korkeusasemasta. Järvien vedenpinnat on määritetty DEM-aineistosta (Golder, 2018).

4.5.4. Kaivot

Analyttisiä kaivoelementtejä (Well Analytical Elements) käytettiin mallissa kuvaamaan rikastushiekka-alue A1:n luoteis- ja lounaispuolen suotovesien keräyskaivoja (ks. kohta 2.6.5.4) toimintavaiheen aikana. Oletuksena on, että pumppaus ei jatku sulkemisvaiheessa.

Malliin sisällytetty pumppausdata:

- Rikastushiekka-alue A1 luoteispuolen NW-kaivot (KevG-A100-sarja): maaliskuu 2022 – toukokuu 2024
- Rikastushiekka-alue A1 lounaispuolen SW-kaivot (KevG-A200-sarja): toukokuu 2023 – toukokuu 2024
(ks. taulukko 26 ja yhteenveto taulukossa 44)

NW-kaivoille käytettiin tammikuun 2024 keskimääräistä pumppausarvoa ennustejaksolle 2024–2044 (sulkemisvaihe). SW-kaivoille käytettiin huhtikuun 2024 keskiarvoa, joka heijastaa lisääntyntä pumppausta uuden luvan mukaisesti.

Oletetaan, että SW-kaivot poistetaan käytöstä ennen rikastushiekka-alue A2:n rakentamista VE1.3-vaihtoehdossa, eli vuoden 2026 lopussa.

Taulukko 44. Ajanjakso, jolloin keruukaivoja pumpataan aktiivisesti.

Kaivot	VE0+	VE1.3
NW-kaivot (KevG-A100 -sarja)	2022–2033	2022–2044
SW-kaivot (KevG-A200 -sarja)	2023–2033	2023–2026*

*KevG-A2XX kaivojen oletetaan olevan poistuvan käytöstä ennen rikastushiekka-alue A2:n rakentamista.

4.5.5. Kuivatus

MODFLOW-mallissa suotopintareunaehto (drain boundary) on eräänlainen vakiopainereunaehto, joka sallii veden poistumisen, mutta ei veden täydentymistä malliin — se simuloi veden poistumista pohjavesijärjestelmästä. Suotopintareunaehdon yhteyteen määritetään vedenjohtokykyarvo (conductance), joka kuvaa suotopinnan ja pohjavesijärjestelmän välistä yhteyttä.

Tätä reunaehtotyyppiä käytetään kuvaamaan pohjaveden purkautumisalueita, kuten ojia, kuivatusrakenteita tai pumppualtaita, sekä luonnollisia pohjaveden purkautumisvyöhykkeitä, joissa veden kerääntymistä altaiksi tai imeytymistä pohjavedeksi ei tapahdu.

Mallialueen kosteikot on määritelty suotopintareunaehdoiksi, ja niiden korkeustiedot on saatu DEM-aineistosta (Golder, 2018). Suotopinta-johtavuus on asetettu arvoon 100 m/päivä, jotta kosteikkoalueilta tapahtuu vapaa pintavesien virtaus. Rikastushiekka-alueA1:n itäpuolella oleva kuivatusojalle on myös määritelty suotopintareunaehto, ja sen korkeustiedot on saatu rasteriaineistosta, jonka Boliden on toimittanut.

Avolouhoksen pohja on mallissa toteutettu suotopintareunaehtona, joka kuvaa pohjaveden purkautumista louhoksen edetessä. Louhoksen korkeustiedot on määritetty vuoden lopun louhosmallien (End-of-year, EOY pit shells) perusteella (ks. kohta 1.2), jotka on muunnettu rastereiksi. Python-skriptiä käytettiin suotopinta-aineistojen luomiseen MODFLOWiin, jolloin suotopintasolut aktivoituvat ajallisesti, simuloiden louhoksen pystysuuntaista ja vaakasuuntaista laajenemista.

Vaihtoehto VE0+

Avolouhoksen suotopintareunaehdot on laajennettu kattamaan koko Louhintavaihe 4 ja Tarvekivilouhos -alue, perustuen Bolidenin toimittamiin vuoden lopun louhosmalleihin (kuva 12). Mallissa kaivostoiminnan oletetaan päättyvän vuoden 2033 loppuun mennessä, jolloin louhosta ei enää pidetä kuivana.

Vaihtoehto VE1.3

Avolouhoksen suotopintareunaehdot on laajennettu kattamaan koko Louhintavaihe 5 ja Tarvekivilouhos -alue, perustuen Bolidenin toimittamiin vuoden lopun louhosmalleihin (kuva 14). Mallissa kaivostoiminnan oletetaan päättyvän vuoden 2044 loppuun mennessä, jolloin louhosta ei enää pidetä kuivana.

Iso Hanhilehdon louhos on mallissa esitetty suotopintareunaehtona, joka kuvaa louhintaa vuosina 2027–2034 (ei sisällä pintamaiden poistoa vuonna 2026; AFRY, 2024a).

4.6. Pohjaveden pinnankorkeustavoitteet

Malliin lisättiin uusia pohjaveden pinnankorkeuden havaintopisteitä verrattuna aiempiin malliversioihin, jotta havaintopisteiden määrä avolouhoksen läheisyydessä kasvaisi. Uudet seurantapisteen ovat: KevG-11, KevG-12, KevG-55, KevG-72, KevG-73, DBH2-VW1 ja DBH2-VW3 (ks. kuva 213). Mahdollisuuksien mukaan tavoitteet päivitettiin uusimmalla aineistolla marraskuuhun 2023 saakka (aineiston katkaisuaika).

4.7. Mallipäivityksen yhteenvedo ja keskeiset oletukset

Yhteenvedo malliin tehdyistä muutoksista ja niihin liittyvistä oletuksista VE0+ ja VE1.3 -vaihtoehtojen osalta on esitetty taulukossa 45.

Taulukko 45. Tiivistelmä päivityksistä WSP Golderin (2022) malliin.

Kategoria	Mallin päivitykset	Keskeiset oletukset
Mallialue ja mallin asetukset	Vaihtoehdot VE0+ ja VE1.3 • Kalibrointijaksoa on pidennetty; • Topografian korkeustiedot on yhdistetty päivitettyyn avolouhoksen rajaukseen; ja • Mallikerrosten paksuuksia on kasvatettu suurimman suunnitellun avolouhoksen huomioimiseksi.	Vaihtoehdot VE0+ ja VE1.3 • Ei oletuksia
Geologia	Vaihtoehdot VE0+ ja VE1.3 • Uusia siirroksia lisätty Leapfrog-mallista; • Rakoverkko kuvattu käyttämällä lisättyjä vettäjohtavia vyöhykkeitä siirrosten ympärillä FracMan-vedenjohtavuusmallinnuksen perusteella; ja • Uusimmat hydrogeologiset testitulokset otettu huomioon.	Vaihtoehdot VE0+ ja VE1.3 • Siirrosten keskinäiset leikkaussuhteet on määritetty asiantuntija-arvion perusteella; ja • Siirrosten vedenjohtavuus pienenee yleensä syvyyden kasvaessa.

Kaivosrakenteet ja niiden suunnitteluratkaisut	Vaihtoehdot VE0+ ja VE1.3 • Rikastushiekka-alue A1:n toiminta- ja sulkemisvaiheen suotovedet päivitetty malliin (nostettu tasolle +280 keskilinjakorotuksen suunnittelun mukaisesti); • Rikastushiekka-alue B1:n toiminta- ja sulkemisvaiheen suotovedet päivitetty malliin (nostettu tasolle +251 m); ja • Sivukivialueen ja rikastushiekka-alue A1:n - keräämättä jäävät suotovedet kuvattu mallissa. Vaihtoehto VE0+ • Vaiheen 4 avolouhos ja aloituslouhos sisällytetty malliin; • Sivukivialueen toiminta- ja sulkemisvaiheen keräämättä jäävät suotovedet päivitetty malliin (+310 m korkeus nykyisellä pinta-alalla). Vaihtoehto VE1.3 • Vaiheen 5 avolouhos ja aloituslouhos sisällytetty malliin; • Sivukivialueen toiminta- ja sulkemisvaiheen keräämättä jäävät suotovedet päivitetty malliin (+310 m korkeus suuremmalla pinta-alalla); • Rikastushiekka-alue A2:n mallinnus keräämättä jäävine toiminta- ja sulkemisvaiheen suotovesineen; ja • Iso Hanhilehto -tarvekilouhoksen esittäminen mallissa.	Vaihtoehdot VE0+ ja VE1.3 • Kaivoksen rakennesuunnitelmat ovat oikein; • Avolouhos louhitaan yhtenä kokonaisuutena ja sen eteneminen interpoloidaan lineaarisesti vuosittaisille ajanjaksoille ennustemallin aikana; • Rikastushiekka-alue A1:n aiemmat suotovesiarviot pysyvät voimassa vuosina 2012–2022. • Avolouhos louhitaan yhtenä kokonaisuutena lineaarisesti, ei vaiheittain (esim. Vaihe 3, Vaihe 4, Vaihe 5); • Aloituslouhos louhitaan neljän vuoden aikana alkaen vuodesta 2027, ja pintamaan poisto tapahtuu vuonna 2026. Vaihtoehto VE0+ • OKC:n toimittamat Sivukivialueen suotovesisyytteet ovat voimassa vuodesta 2023 alkaen; vuosille 2012–2022 aiemmat suotovesiarviot pysyvät voimassa. Vaihtoehto VE1.3 • OKC:n toimittamat sivukivialueen suotovesisyytteet ovat voimassa vuodesta 2018 alkaen; vuosille 2012–2017 aiemmat suotovesiarviot pysyvät voimassa. Mikäli tietoja ei ole ennen vuotta 2018 (Vaiheet 4 ja 5), oletetaan ettei suotovettä muodostu; • Oletetaan, että rikastushiekka-alue A2 on olemassa vuodesta 2027 alkaen. Sulkemisvaiheen suotovesi oletetaan olevan 45 % toiminnan aikaisesta • Oletetaan että Iso Hanhilehdon tarvekilouhoksen louhinta alkaa 2027, vuosi pintamaakerroksen poiston jälkeen, ja louhoksen toiminta päättyy 2034
Vedenkeräysjärjestelmät	Vaihtoehdot VE0+ ja VE1.3	Vaihtoehdot VE0+ ja VE1.3

	- Malliin lisätty kuivatusoja edustamaan rikastushiekka-alue B1:n itäpuolella sijaitsevaa kuivatusojaa; ja - Malliin lisätty kaivojen analyttiset elementit (Well Analytical Elements) edustamaan rikastushiekka-alue A1:n luoteis- ja lounaispuolella sijaitsevia vedenkeruukaivoja toiminnan aikana.	- Rikastushiekka-alue B1:n itäpuolella oleva kuivatusoja on ollut olemassa elokuusta 2021 ja jatkaa toimintaansa sulkemisvaiheessa; - Ennustetut pumppausnopeudet vastaavat keskimääräistä pumppausnopeutta tammikuusta 2024 alkaen luoteispuolen kaivoille ja huhtikuusta 2024 alkaen lounaispuolen kaivoille; - Pumppaus vedenkeruukaivoista ja avolouhoksesta päättyy sulkemisvaiheessa; - Vedenkeruukaivot ja keräilyojat ovat ainoat käytössä olevat vedenhallintajärjestelmät toiminnan aikana; ja - Mallissa oletetaan, että Sivukivialueeseen liittyvien kuivatusojien tehokkuus on 80 %, rikastushiekka-alueen A1 pohjoispuolen (sisältää rikastushiekka-alue B1) kuivatusojien tehokkuus 45 % ja rikastushiekka-alue A1 eteläpuolen kuivatusojien tehokkuus 80 %. Vaihtoehto VE1.3 - Pumppaus Iso Hanhilehto -tarkekilouhoksesta päättyy sulkemisvaiheessa; ja - Lounaispuolen vedenkeruukaivot (KevG-A2XX-sarja) poistetaan käytöstä ennen rikastushiekka-alue A2:n rakentamista.
Pohjaveden korkeushavainnot (painekorkeus)	Vaihtoehdot VE0+ ja VE1.3 - Lisätty uusia havaintopisteitä (KevG-11, KevG-12, KevG-55, KevG-72, KevG-73, DBH2-VW1, DBH2-VW3) avolouhoksen ympärille; ja - Havaintopisteiden vedenpinnan korkeusarvot päivitetty uusilla tiedoilla marraskuuhun 2023 asti, missä mahdollista.	Vaihtoehdot VE0+ ja VE1.3 Vedenpinnan korkeusdata (painekorkeushavainnot) on tarkoitukseen sopivaa sellaisenaan.

5. Kalibrointi ja validointi

Pohjavesimalli kalibroitiin ajasta riippuvassa tilassa käyttäen keskimääräisiä olosuhteita ajalta tammikuu 2018 – marraskuu 2023. Kalibrointikohteina käytettiin pohjavesiputkien ja VWP pietsometrien havaintotietoja (ks. kuva 213 ja taulukko 22). Lisäksi mallin ennustamat pohjaveden virtaukset avolouhokseen (ks. kohta 2.6.5.1) toimivat kalibrointiparametreina. Bolidenin mitattu pumppausdata ajalta tammikuu 2013 – helmikuu 2023 (kuva 216) käytettiin mallin ennusteiden validointiin.

Kalibroinnissa määritetyt hydrauliset parametrit ja pohjaveden alenemien mallinnus käsitellään seuraavissa osioissa.

Kalibrointiprosessissa noudatettiin seuraavia alan ohjeistuksia:

- *Australian Groundwater Modelling Guidelines* (Barnett et al., 2012)
- *Information Guidelines Explanatory Note – Uncertainty Analysis for Groundwater Modelling* (Peeters ja Middlemis, 2023)

Jokaisen parametrin kalibrointi kuvataan tarkemmin seuraavissa osioissa.

5.1.1. Hydrauliset parametrit

Kalibroinnin aikana säädettiin mm. seuraavia parametreja:

- Vedenjohtavuus
- Ominaistuotto (specific yield)
- Tehollinen huokoisuus

Lopulliset kalibroidut arvot on esitetty taulukoissa 51 ja 52, ja ne perustuvat käsitteelliseen malliin (taulukko 41). Mikäli kenttädataa ei ollut saatavilla, käytettiin kirjallisuuslähteitä ohjeena. Joissain tapauksissa malliin määritettiin hieman korkeampia tai matalampia arvoja kalibroinnin parantamiseksi, huomioiden rajoitus käyttää vain yhtä käsitteellistä arvoa.

Malli oli erityisen herkkä:

- Veden johtavuuden muutoksille niissä siirroksissa, jotka lävistävät avolouhosta
- Ominaistuoton muutoksille pintakerroksissa ja rapautuneessa kalliassa

Kallioperän vedenjohtavuus pienenee syvyyden kasvaessa, ja sama periaate sovellettiin myös siirrosten vedenjohtavuuteen.

Taulukko 51. Kalibroidut hydraulisen johtavuuden arvot, jotka on otettu huomioon päivitetystä numeerisessa mallissa. Lyhenteiden selitykset taulukon lopussa.

Mallin ominaisuusalue	Veden johtavuus (m/vrk)			Arvojen suhteellinen sijoittuminen käsitteellisen mallin vaihteluvälillä (esitetty taulukossa 4-1).
	Kx	Ky	Kz	
Turve	10.00	10.00	1.00	Kx:Ky:Kz lähempänä vaihteluvälin alaosaa
Ylempi moreeni	0.20	0.20	0.02	Kx:Ky:Kz lähempänä vaihteluvälin alaosaa
Alempi moreeni	1.30E-02	1.30E-02	1.30E-03	Kx:Ky:Kz
Rapautunut kallio	1.50 - 2.80	1.50 - 2.80	1.50 - 2.80	Kx:Ky:Kz lähempänä vaihteluvälin alaosaa
Ylempi tiivis kallioperä	4.45E-03	5.00E-03	4.83E-03	Kx:Ky:Kz lähempänä vaihteluvälin keskiosaa
Keskimmäinen tiivis kallioperä	3.60E-04	4.00E-04	3.90E-04	Kx:Ky:Kz lähempänä vaihteluvälin alaosaa
Alempi tiivis kallioperä	4.40E-04	5.00E-04	4.80E-04	Kx:Ky:Kz lähempänä vaihteluvälin alaosaa
Ylemmät rikkonaisuusvyöhykkeet	9.00E-04 - 1.50E-02	9.00E-04 - 1.50E-02	9.00E-04 - 1.50E-02	Kx:Ky:Kz lähempänä vaihteluvälin alaosaa
Keskimmäiset rikkonaisuusvyöhykkeet	4.60E-05 - 2.00E-02	4.60E-05 - 2.00E-02	4.60E-05 - 2.00E-02	Kx:Ky:Kz lähempänä vaihteluvälin alaosaa
Alemmat rikkonaisuusvyöhykkeet	1.00E-05 - 9.00E-03	1.00E-05 - 9.00E-03	1.00E-05 - 9.00E-03	Kx:Ky:Kz lähempänä vaihteluvälin alaosaa

Kx, Ky, Kz: Veden johtavuudet X-, Y- ja Z-suunnissa.

Taulukko 52. Kalibroidut ominaistuoton ja huokoisuuden arvot, jotka on otettu huomioon päivitetystä numeerisessa mallissa.

Mallin ominaisuusalue	Varastokerroin / ominais tuotto (%).	Tehollinen huokoisuus (%)	Arvojen suhteellinen sijoittuminen käsitteellisen mallin vaihteluvälillä (esitetty taulukossa 4-1).
Turve	40	50	Ominaistuotto ja tehokas huokoisuus lähellä vaihteluvälin ylärajaa.
Ylempi moreeni	20	25	Ominaistuotto ja tehokas huokoisuus lähellä vaihteluvälin keskiosaa.
Alempi moreeni	18	20	Ominaistuotto ja tehokas huokoisuus lähellä vaihteluvälin keskiosaa.
Rapautunut kallio	12–23	12–27	Ominaistuotto ja tehokas huokoisuus lähellä vaihteluvälin keski-/alaosaa.
Tiivis kallioperä (ml. rikkonaisuus -vyöhykkeet)	1.6	2.0	Ominaistuotto ja tehokas huokoisuus lähellä vaihteluvälin alarajaa.

5.1.2. Pohjaveden pinnankorkeustiedot

Kalibroinnissa käytettiin kuukausittaisia keskimääräisiä pohjaveden pinnankorkeuksia, jotka on esitetty liitteessä C. Kalibrointi oli herkin vedenjohtavuuden muutoksille. Kalibroinnin aikana vedenjohtavuusarvoja säädettiin käsitteellisen mallin määrittämissä hyväksyttävissä rajoissa, kunnes simuloidut ja havaitut arvot vastasivat toisiaan riittävän hyvin.

Erityistä huomiota kiinnitettiin:

- Natura 2000 -alueen läheisten havaintopisteiden kalibrointiin
- Avolouhoksen ympärillä olevien korkean vedenjohtavuuden vyöhykkeiden tarkentamiseen

Pintakerroksissa ja rapautuneessa kalliossa lisättiin louhoksen reunoille erillisiä johtavuusvyöhykkeitä, jotka edustavat materiaaleja, joihin louhinta on vaikuttanut (louhintavaurio).

Kalibrointiin soveltumattomaksi arvioidut havaintotiedot (esim. VWP-data, johon kiinnitykseen käytetty injektointimassa vaikutti) painotettiin nollassa kalibroinnissa. Kalibroinnissa käytetyt tunnusluvut:

- Keskineliövirhe RMS (Root Mean Square): kuvaa mallin virheen keskimääräistä suuruutta
- Normalisoitu keskineliövirhe NRMS (Normalised RMS): huomioi RMS:n mittakaavariippuvuuden

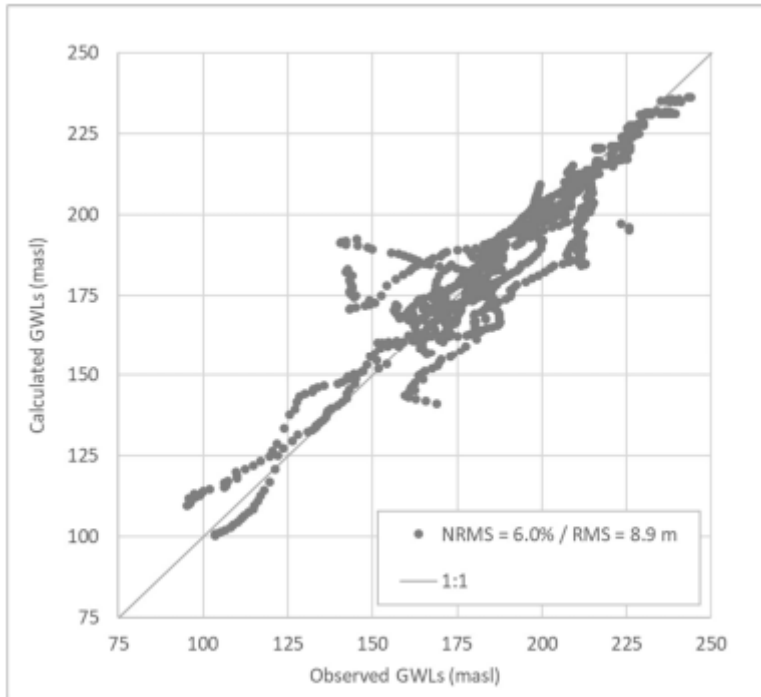
Tulokset on esitetty taulukossa 53 ja kuvassa 51. Vaikka kalibroinnin riittävyys riippuu projektista, NRMS alle 10 % viittaa yleensä hyvään vastaavuuteen simuloitujen ja havaittujen arvojen välillä.

RMS-arvo 8,9 m on alle 0,6 % koko mallin paksuudesta, joten voidaan todeta, että numeerinen pohjavesimalli kuvaa riittävän tarkasti alueella esiintyviä historiallisia pohjaveden tasoja.

Taulukko 53. Kohdealueen transienttikalibroinnin tilastot.

Kalibrointikohteen tyyppi	NRMS	RMS
Pohjaveden pinnan korkeus	6.0 %	8.9 m

NRMS = Normalisoitu RMS-virhe; RMS = Keskineliövirhe.



Kuva 51. Koko kohdealueen pohjaveden pinnankorkeuden kalibrointitulokset.

On myös huomioitava, että mallin laajuus vaaka- ja pystysuunnissa on suuri, ja virhemarginaalit (taulukko 53 ja kuva 51) koskevat koko mallialuetta. Esimerkiksi välittömästi Natura 2000 -alueen vieressä sijaitsevan pinnan läheisen pohjaveden RMS-arvo on noin 0,6 m (verrattuna koko alueen 8,9 m), mikä osoittaa hyvää kalibrointia kyseisellä alueella (ks. myös kohta 5.1.4).

Koko alueen tilastoja vääristää VWP-aineisto, jossa syvemmät anturit eivät kalibroituineet yhtä hyvin, todennäköisesti louhoksen läheisyyden ja kaivosaikataulun ennustetarkkuuden vuoksi.

5.1.3. Pohjaveden sisäänvirtaus

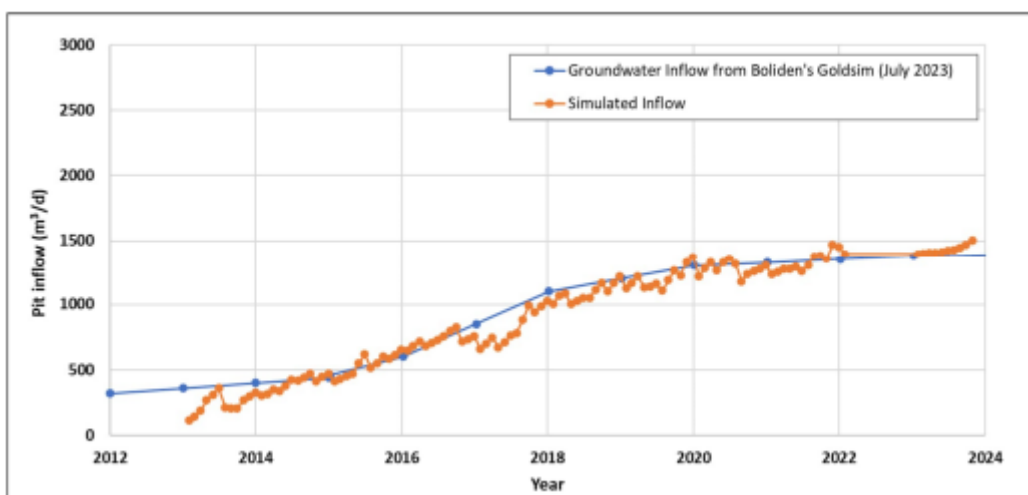
Avolouhoksen pumppausdata (ks. kohta 2.6.5.1) sisältää myös pintavesivirtoja, joita ei ole mallissa erikseen kuvattu, kuten valunta ja lumensulamisvedet. GoldSim-mallista saadut ennustetut virtausarvot (Boliden, ks. myös kohta 2.6.5.1) vastaavat hyvin mitattujen arvojen alarajaa, ja niitä pidetään hyvänä kuvauksena pohjaveden perusvirtauksesta avolouhokseen, joten ne on käytetty kalibroinnissa.

Kalibroinnin aikana havaittiin, että pohjaveden sisäänvirtaus oli erityisen herkkä veden johtavuuden ja varastokertoimien muutoksille. Näitä parametreja säädettiin käsitteellisen mallin määrittämissä hyväksyttävissä rajoissa, kunnes simuloitujen ja havaitujen arvojen vastasivat toisiaan riittävän hyvin. Erityistä huomiota kiinnitettiin louhoksen seinämillä oleviin korkean vedenjohtavuuden vyöhykkeisiin.

Louhoksen kohdalla:

- Pohjaveden muodostumisnopeus (recharge) asetettiin nollassi
- Muodostumisnopeuden vuoksi altaaksi muodostuvan vedenpinnan korkeusraja rajoitettiin 0,1 metriin louhoksen yläpuolella, jotta painekorkeus (hydraulic head) pysyisi järkevänä ja pohjaveden sisäänvirtaus voitiin kalibroida

Kalibrointitulokset pohjaveden sisäänvirtauksesta on esitetty kuvassa 52. Kalibrointikäyrä osoittaa hyvää vastaavuutta GoldSim-aineistoon, ja simuloidut arvot sijoittuvat historiallisten arvojen keskiarvon ympärille. Voidaan todeta, että kehitetty malli kuvaa riittävän tarkasti historiallista pohjaveden sisäänvirtausta.

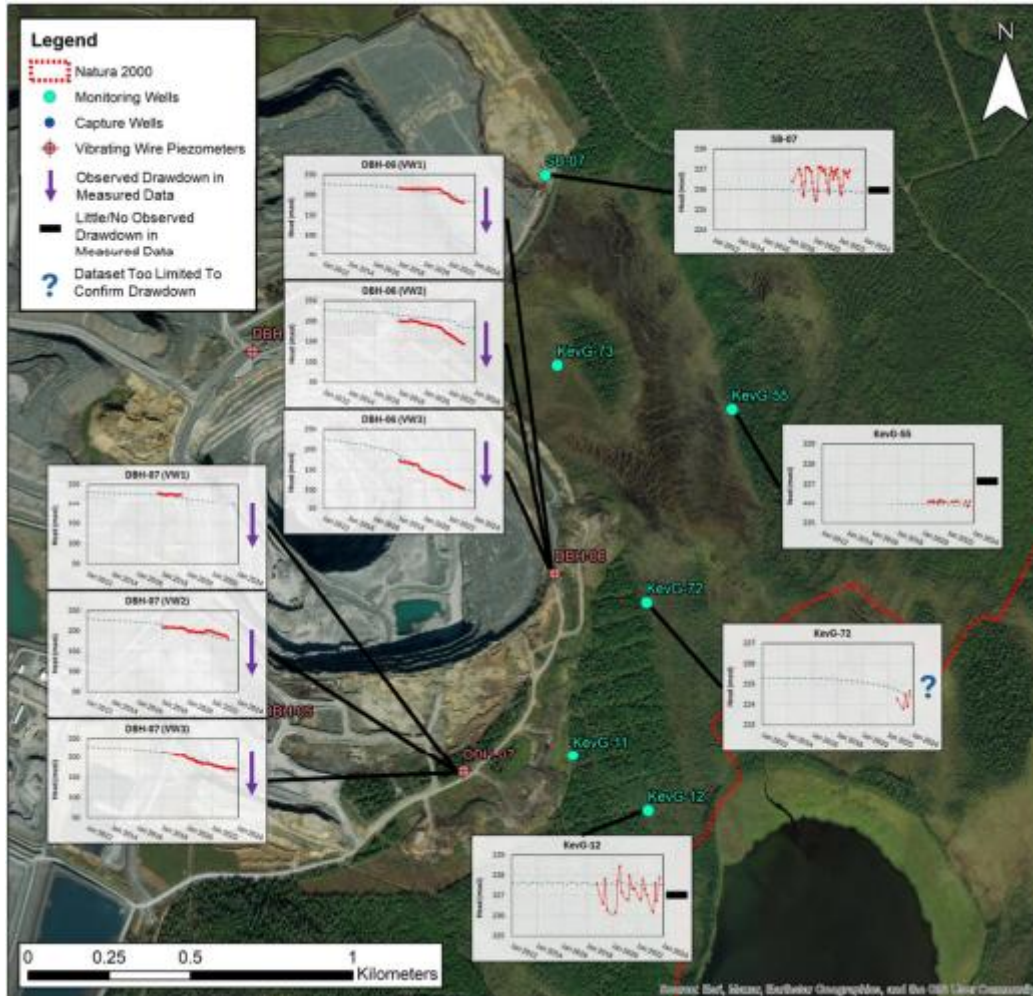


Kuva 52. Pohjaveden sisäänvirtauksen kalibrointi

5.1.4. Alenema

Mallin kyky kuvata alenema tarkasti riippuu suurelta osin kenttäaineistosta, vaikka todetaan, että alenemaa ei ole havaittu monissa pisteissä, lukuun ottamatta välittömästi louhoksen lähellä sijaitsevia pisteitä.

Suhteellista alenemaa, joka on saatu vedenpinnan mittauksista, on käytetty mallin validointiin, erityisesti Natura 2000 -alueen osalta. Kuvassa 53 on esitetty painekorkeuden kalibrointikartta Natura 2000 -alueen läheisistä seurantapisteistä.

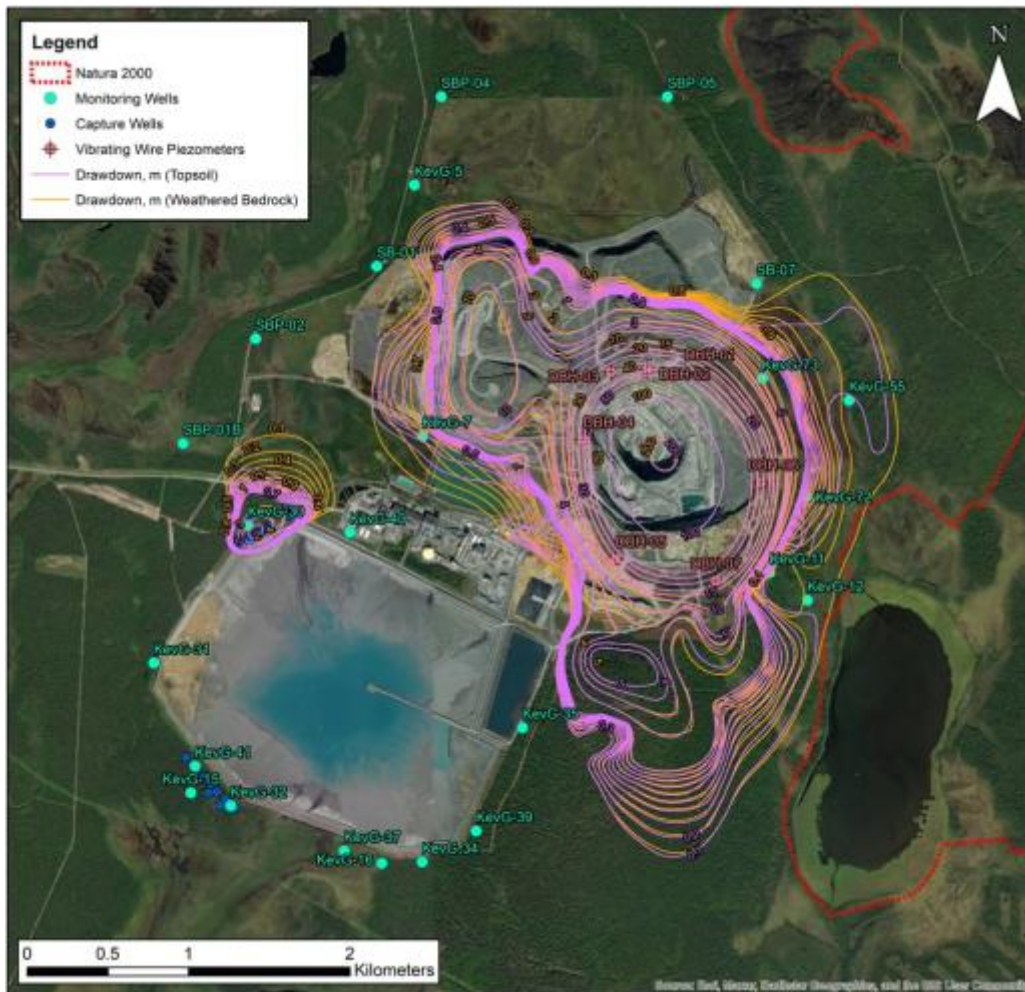


Kuva 53. Pohjaveden pinnankorkeuden kalibrointikäyrät ja tulkinta siitä, havaitaanko vedenpinnan alenemaa Natura 2000 -alueen läheisillä tärkeäluopisteillä. Punaishella on rajattu Natura 2000 -alue. Pohjavesiputket on esitetty vibreällä, suotauman keruukaivot sinisellä, VWP pietsometrien sijainnin maapintaprojektiot oranssilla, sekä havaitut alenemat mittausdatassa kaarioon piirretyllä nuolella, Mikäli alenemaa ei havaita, kaarioissa on poikkekiiviä, ja jos aineisto on liian rajattu päätelmien tekoon, kysymysmerkki.

Useimmissa kairausrei'issä saavutettiin hyvä kalibrointi mitattuihin arvoihin. Malli kuvaa hyvin pohjavesijärjestelmän käyttäytymistä avolouhoksessa pietsometrierei'issä DBH-06 ja DBH-07 -pisteissä, lukuun ottamatta pietsometritasoa DBH-06 (VW2). On huomioitava, että malli kuvaa koko kaivosalueen pohjavesiolosuhteita, ei vain louhoksen sijaintia. Kalibrointi käsitteellisen mallin puitteissa tarkoittaa kokonaisuutena hyvää vastaavuutta koko mallialueella.

Vedenpinnan muutoksia ajallisesti tarkasteltaessa malli simuloi vähän tai ei lainkaan alenemaa pisteissä SB-07, Kev-55 ja KevG-12. KevG-72:n osalta ei ole selvää, tapahtuuko alenemaa, koska aineisto on rajallinen. KevG-11 ja KevG-73 sisältävät vain yksittäisen mittauksen, joten ne on poistettu kuvasta 53.

Tarkkailupisteiden lisääminen lähelle Natura 2000 aluetta olisi hyödyllistä, jotta voitaisiin varmentaa paremmin se, miten hyvin malli ennustaa alenemia tällä alueella. Kuitenkin on huomautettava, että kairaaminen alueella voi olla rajoitettua pääsyräjoitusten vuoksi (esimerkiksi huonot liikkumisolosuhteet maastossa, sijainti kaivoksen lupa-alueen ulkopuolella, ja työskentely suojelualueella, ym.).



Kuva 54. Simuloitu vedenpinnan alenema kalibroidun jakson lopussa (marraskuu 2023). Violetilla on esitetty mallinnettu alenema pintamaassa ja oranssilla rapautuneessa kalliassa. Punaisella on rajattu Natura 2000 alue. Pohjavesiputket on esitetty vibreillä, suotauman keruukaivot sinisellä, ja VWP pietsometrien sijainnin maapintaprojektiot oranssilla pisteellä.

Simuloitu alenema kalibroitijakson lopussa on esitetty kuvassa 54. Alenema saavuttaa maksimin 280 m marraskuussa 2023 louhoksen syvimässä kohdassa, ja eteneminen tapahtuu etelään, luoteeseen ja koilliseen avolouhoksesta. Etelään suuntautuva alenema johtuu Kevitsan vaarasta, joka sijaitsee rikastushiekka-alue A1:n itäpuolella, missä rapautunut kallio sijaitsee korkeammalla maastossa, mikä aiheuttaa kalliokerroksen nopeamman kuivumisen kuin louhoksen pohjois-, itä- ja länsipuolella. Rapautuneen kallion kuivumisen seurauksena alenemaa alkaa esiintyä myös ehyessä kallioperässä, jossa vedenjohtavuus ja varastokapasiteetti ovat pienempiä. Sivukivialueen suuntaan

tapahtuva alenema johtuu myös topografisesta korkeudesta, joka liittyy sivukivien varastoalueeseen. Koilliseen avolouhoksesta suuntautuva aleneman laajentuma johtuu paikallisen geologian ja siirrosten aiheuttamasta alemman ja korkeamman vedenjohtavuuden osuuksien suhteellisesta vaihtelusta mallissa.

Kalibroidun mallin perusteella Natura 2000 -alueella aleneman arvioidaan olevan alle 0,1 m marraskuussa 2023, ja Satojärvestä muodostuva pohjavesialenemaa itäosassa. Rikastushiekka-alue A1:n luoteispuolella tapahtuu suurin laskennallinen alenema noin 6 m, johtuen rikastushiekka-alueen luoteispuolisten NW-talteenottoaivojen pumppauksesta.

5.2. Herkkyysanalyysi

Määrällinen herkkyysanalyysi raportoidaan erikseen.

6. Tulokset ja tarkastelu

Ennustavaa virtausmallinnusta tehtiin arvioimaan VE0+ ja VE1.3 -vaihtoehtojen suunnittelumuutosten vaikutuksia ympäröivään pohjavesi- ja pintavesijärjestelmään (mukaan lukien Natura 2000 -alue ja Saiveljärvi). Vertailun mahdollistamiseksi esitetään myös VE0-vaihtoehdon tuloksia, mikäli ne ovat saatavilla, perustuen aiempiin alenema- ja virtaustutkimuksiin (Golder, 2018; WSP, 2024a).

Pohjaveden sisäänvirtaukset, pinnankorkeudet ja alenemat on arvioitu sekä toiminta- että sulkemisvaiheessa. Lisäksi esitetään valittujen Natura 2000 -alueen kuvitteellisten tarkkailupisteiden vuodenaikaisvaihtelujen tarkastelu toimintavaiheessa.

6.1.1. Pohjaveden sisäänvirtaukset

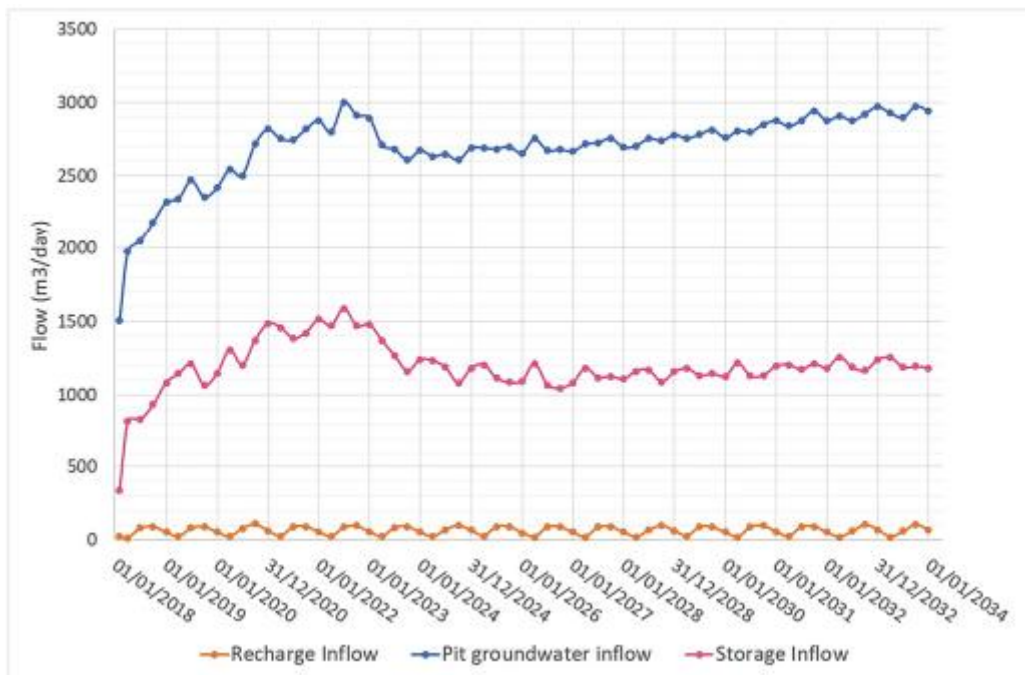
Ajasta riippuvaa mallia käytettiin arvioitaessa pohjaveden sisäänvirtausta avolouhokseen kaivoksen elinkaaren aikana. Mallinnustulokset VE0-, VE0+- ja VE1.3-vaihtoehdoille on esitetty tässä osiossa.

Vaihtoehto VE0

Louhintavaiheen 4 louhoksen virtaustulokset on esitetty kuvassa 61. Pohjaveden sisäänvirtaus kasvaa louhoksen laajentuessa ja syventyessä. Maksimivirtaus, noin 3000 m³/päivä, tapahtui heinäkuussa 2022, jolloin Vaiheen 3 louhinta päättyi. Vaiheen 4:n louhinnan aikana virtaus vähenee louhoksen sivuttaisen laajenemisen vuoksi (mallin kallioperäkerrokset on jo kuivattu), kunnes toukokuussa 2023 virtaus taas kasvoi, kun louhos uudelleen syvenee.

Golderin (2018) VE0-vaihtoehdon virtausarvot ovat hieman korkeampia kuin VE0+ ja VE1.3 -vaihtoehdoissa. Erot johtuvat todennäköisesti paremmasta mallin tarkkuudesta ja kalibroinnista VE0+ ja VE1.3 -malleissa, johtuen erityisesti siirrosten ja rakoverkoston

tarkennuksesta (ks. kohdat 2.6.2.3 ja 4.3.2) sekä laajemmasta seurantadatasta (ks. kohta 2.6.3). Mikäli VE0-vaihtoehto mallinnettaisiin uudelleen näillä tarkennuksilla, sen virtaus vastaisi todennäköisesti VE0+:n arvoja (huippuvirtaus 1898 m³/päivä), koska kaivosrakenteet ja Louhintavaiheen 4 louhos ovat samankaltaisia näiden vaihtoehtojen välillä.



Kuva 61. Avolouhokseen koodistuva sisäänvirtaus vaihtoehdossa VE0 (Golder, 2018).

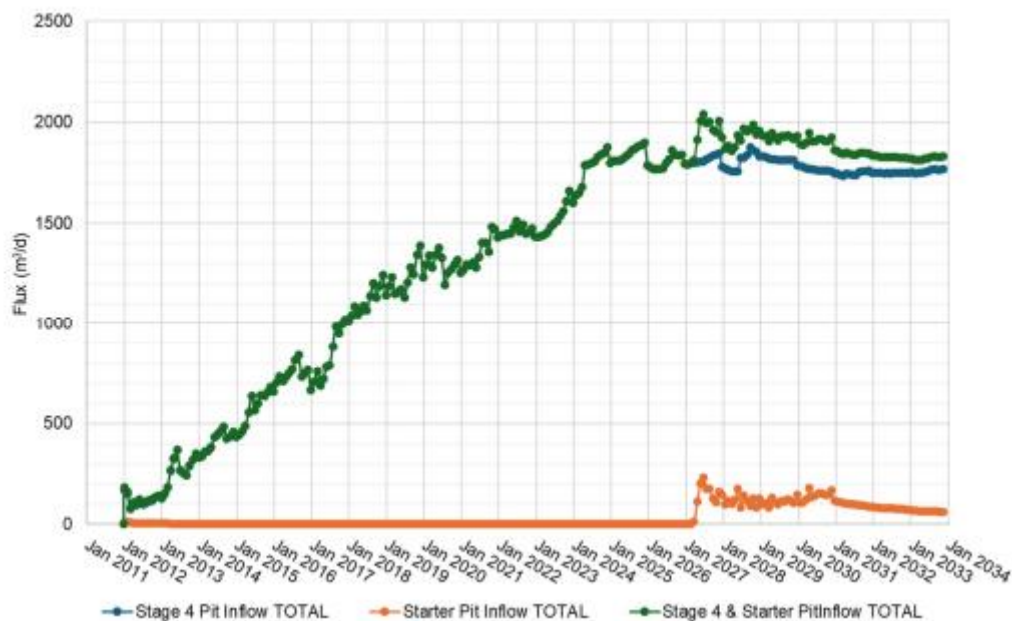
Vaihtoehto 0+

Louhintavaiheen 4 louhoksen ja Tarvekilouhoksen virtaustulokset on esitetty kuvassa 62. Pohjaveden sisäänvirtaus Louhintavaiheen 4 louhokseen kasvaa louhoksen laajentuessa ja syventyessä. Suurin virtaus tapahtuu vuoden 2025 lopussa, jolloin saavutetaan 1898 m³/päivä. Tämän jälkeen virtaus vähenee vähitellen ja on 1770 m³/päivä sulkemishetkellä.

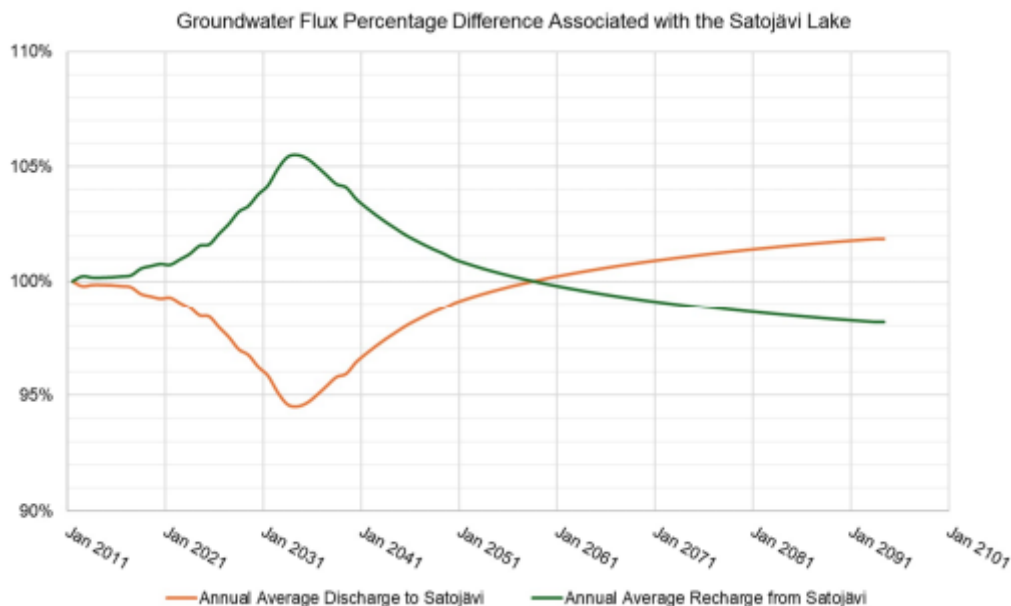
Tarvekilouhoksen suurin sisäänvirtaus tapahtuu louhinnan alussa, jolloin saavutetaan 231 m³/päivä. Louhinnan loppuun mennessä virtaus vähenee tasaisesti ja on 61 m³/päivä sulkemishetkellä. Kokonaisvirtaus huipussaan on 2039 m³/päivä vuoden 2027 puolivälissä, jolloin Tarvekilouhos on louhinnassa.

Louhoksen kuivatus toimintavaiheessa aiheuttaa pohjaveden pinnan alenemaa, mikä voi vaikuttaa pohjavesijärjestelmän virtausdynamikkaan. Satojärven vaikutuksia arvioitiin pohjaveden nettomuodostumisen prosentuaalisena muutoksena. Kuvassa 63 on esitetty pohjaveden nettomuodostumisnopeus Satojärvestä ja pohjaveden nettopurkautuminen Satojärveen suhteessa ennen kaivostoimintaa vallinneeseen tilanteeseen. Suurin

ennustettu ero pohjaveden virtaamassa on noin 5 % (~41 m³/päivä), johtuen kaivoksen kuivatusvaikutuksista.



Kuva 62. Avolouhokseen kohdistuva sisäänvirtaus vaihtoehdossa VE0+.



Kuva 63. Pohjaveden virtausprosentin ero, joka liittyy Satojärveen vaihtoehdossa VE0+. Nettovirtausarvot on keskiarvoistettu vuosittain. Oranssilla on esitetty Satojärveen vuosittain purkautuvan pohjavesimäärän, ja vihreällä Satojärvestä vuosittain muodostuvan pohjavesimäärän muutos prosentteina kaivostoimintaa edeltävään tilanteeseen toiminnan kuluessa ja sulkemisen jälkeen.

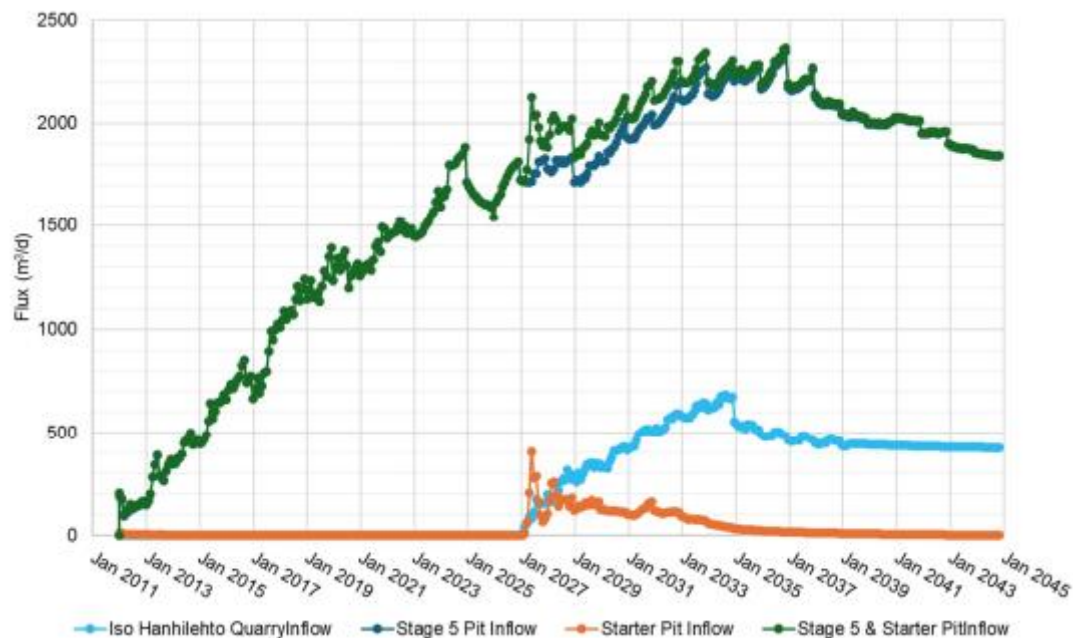
Vaihtoehto VE1.3

Louhintavaiheen 5 louhoksen, Tarvekiloulouhoksen ja Iso Hanhilehdon tarvekiloulouhoksen virtaustulokset on esitetty kuvassa 64. Louhintavaiheen 5 louhokseen pohjaveden virtaus kasvaa louhoksen laajentuessa ja syventyessä. Suurin virtaus tapahtuu vuoden 2036 lopussa, jolloin saavutetaan sisäänvirtaus 2347 m³/päivä. Tämän jälkeen virtaus vähenee tasaisesti ja on 1843 m³/päivä sulkemishetkellä.

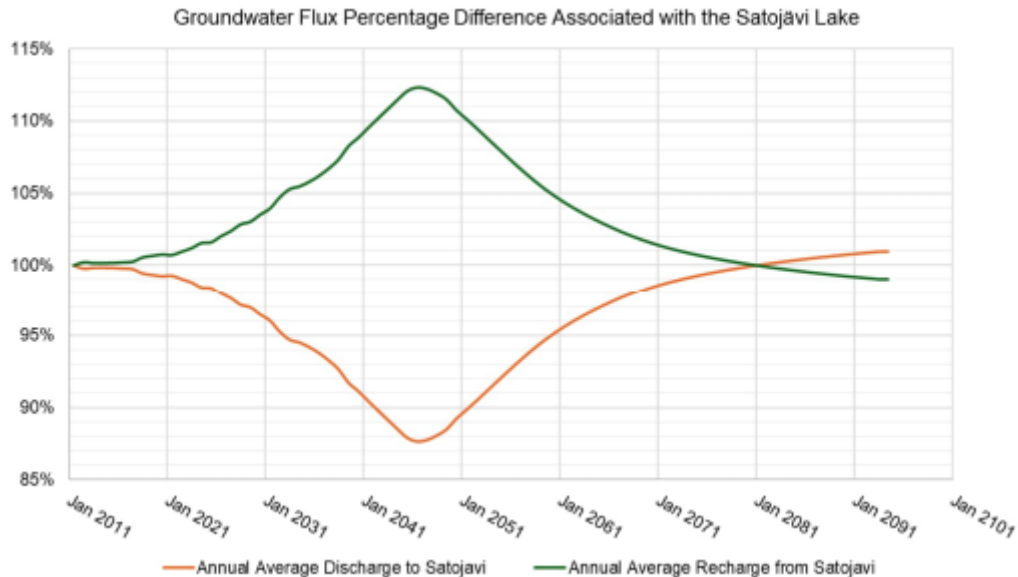
Tarvekiloulouhoksen suurin virtaus tapahtuu louhinnan alussa, jolloin saavutetaan sisäänvirtausmäärä 407 m³/päivä. Louhinnan loppuun mennessä virtaus vähenee ja on 2 m³/päivä. Kokonaisvirtaus huipussaan on 2364 m³/päivä vuoden 2036 lopussa, pääosin Louhintavaiheen 5 louhoksen vuoksi.

Iso Hanhilehdon tarvekiloulouhosta pidetään kuivana myös toimintavaiheessa. Suurin sisäänvirtaus tapahtuu louhinnan loppuvaiheessa vuonna 2034, jolloin saavutetaan 687 m³/päivä. Louhinnan päätyttyä virtaus vähenee ja on 425 m³/päivä sulkemishetkellä.

Samoin kuin VE0+:-ssa, kuvassa 65 on esitetty netto pohjaveden muodostuminen Satojärvestä ja pohjaveden purkautuminen Satojärveen suhteessa ennen kaivostoimintaa vallinneeseen tilanteeseen Satojärven osalta. Suurin ennustettu ero pohjaveden virtaamassa on noin 12 % (~86 m³/päivä), johtuen kaivoksen kuivatusvaikutuksista.



Kuva 64. Pohjaveden sisäänvirtaus avolouhokseen ja Iso Hanhilehdon tarvekiloulouhokseen vaihtoehdossa VE1.3.



Kuva 65. Pohjaveden virtausprosentin ero, joka liittyy Satojärveen vaihtoehdossa VE1.3. Nettovirtausarvot on keskiarvoistettu vuosittain ja valittu edustamaan vuoden puoliväliä (kesäkuun loppu). Oranssilla on esitetty Satojärveen vuosittain purkautuvan pohjavesimäärän, ja vihreällä Satojärvestä vuosittain muodostuvan pohjavesimäärän muutos prosentteina kaivostoimintaa edeltävään tilanteeseen näiden toiminnan kuluessa ja sulkemisen jälkeen.

6.1.2. Pohjaveden pinnankorkeus ja virtaussuunta

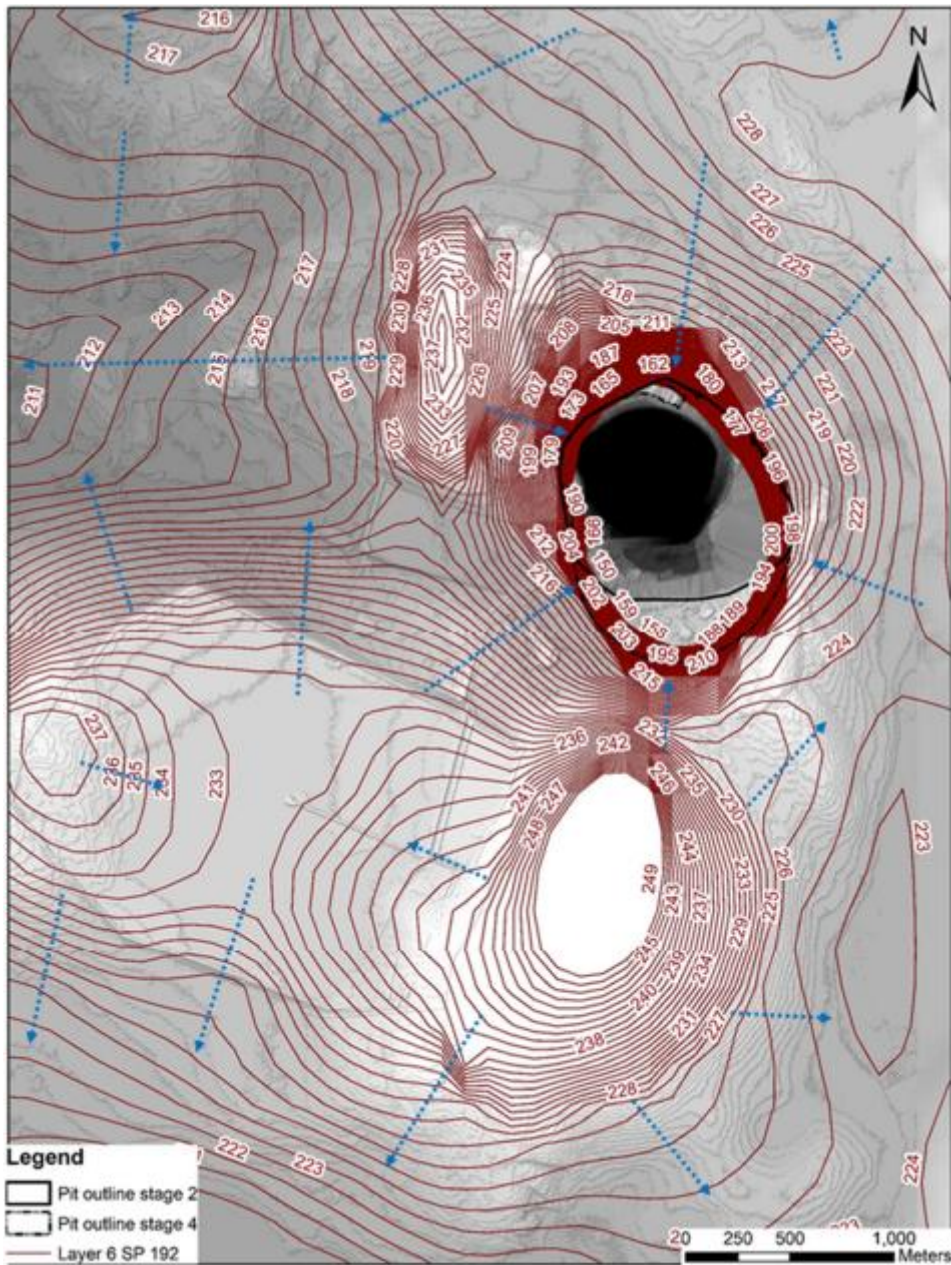
Simuloidut pohjaveden pinnankorkeudet ja virtaussuunnat toimintavaiheen lopussa ja sulkemisvaiheen aikana on esitetty tässä osiossa. Rapautuneen kallion pohjaveden pinnankorkeudet ja virtaussuunnat ennen kaivostoimintaa, toimintavaiheen lopussa sekä vuosina 2064 ja 2094 sulkemisvaiheessa on esitetty kuvissa 67 ja 68. Yksittäiset pohjaveden pinnankorkeus- ja virtaussuuntakartat löytyvät liitteestä D.

VE0-vaihtoehdon pohjaveden pinnankorkeudet on sisällytetty yhtenäisyyden vuoksi. Rapautuneen kallion virtaussuuntia tarkastellaan, koska ne edustavat alueen pohjaveden ensisijaisia virtausreittejä. Korkeita pohjaveden tasoja merenpinnasta lukien esiintyy topografisesti korkeilla alueilla, kuten Kevitsan vaaralla (sivukivialueen eteläpuolella) ja rikastushiekka-alue A1:n itäpuolella. Pohjavesi virtaa näiltä alueilta kohti pääasiallisia purkautumispisteitä: Satojärvi, Saiveljärvi ja Mataraoja. Pohjaveden muodostumista tapahtuu järvien eteläpuolelta ympäröivään maastoon. Pohjavesi virtaa sivukivialueen pohjois- ja länsipuolelta Mataraojaan, samoin kuin rikastushiekka-alue A1:n länsipuolelta.

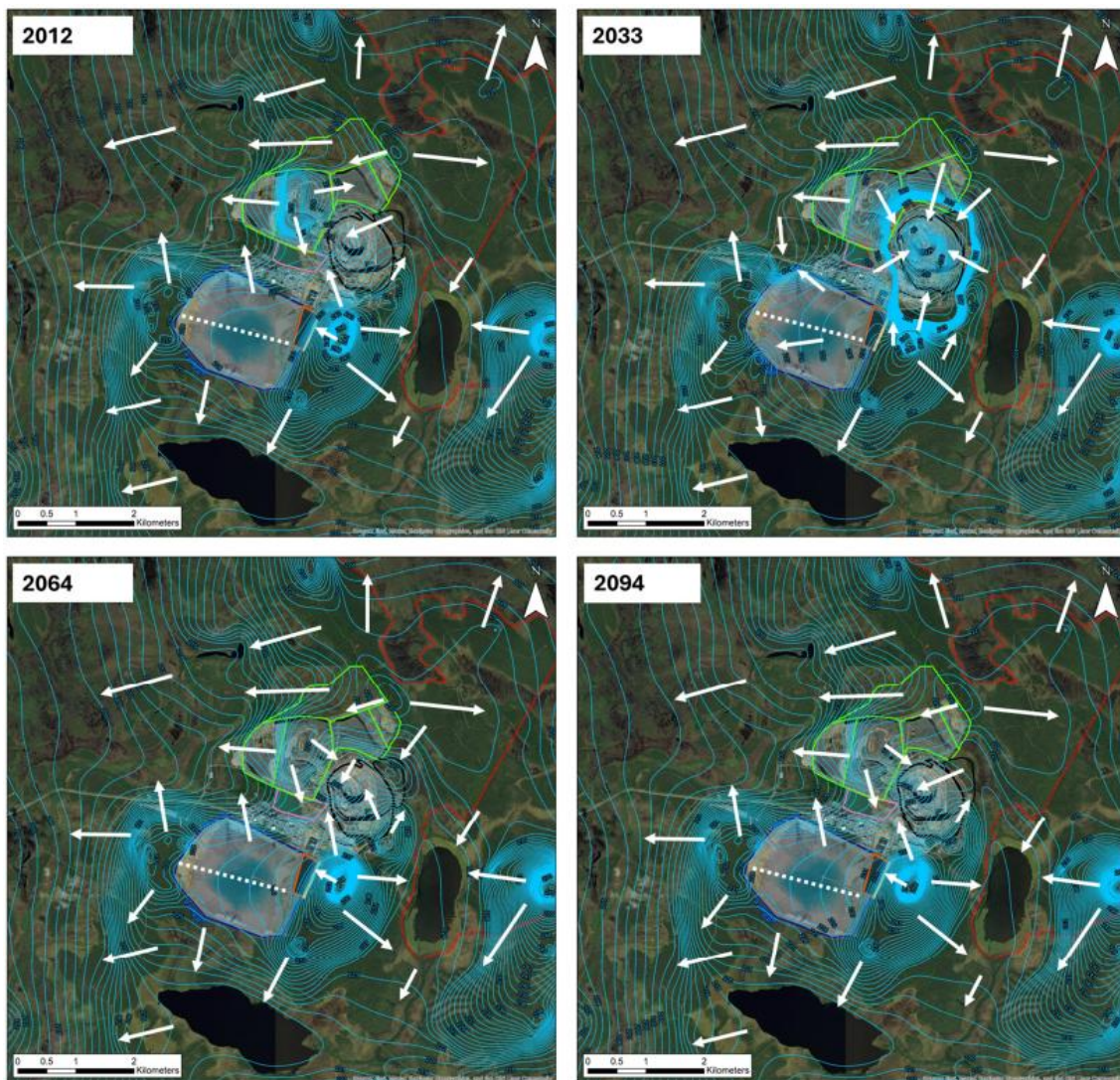
Vaihtoehto VE0

Rapautuneen kallion pohjaveden pinnankorkeudet ja virtaussuunnat toimintavaiheen lopussa on esitetty kuvassa 66 (Golder, 2018). Pohjavesi virtaa avolouhokseen ympäröiviltä alueilta. Pohjaveden vedenjakajat sijaitsevat sivukivialueen ja rikastushiekka-alue A1:n alla. Virtaus sivukivialueelta suuntautuu joko etelään louhokseen tai länteen Mataraojaan. Rikastushiekka-alue A1 -alueen pohjoisosasta (mukaan lukien rikastushiekka-alue B1) virtaus suuntautuu Mataraojaan, kun taas

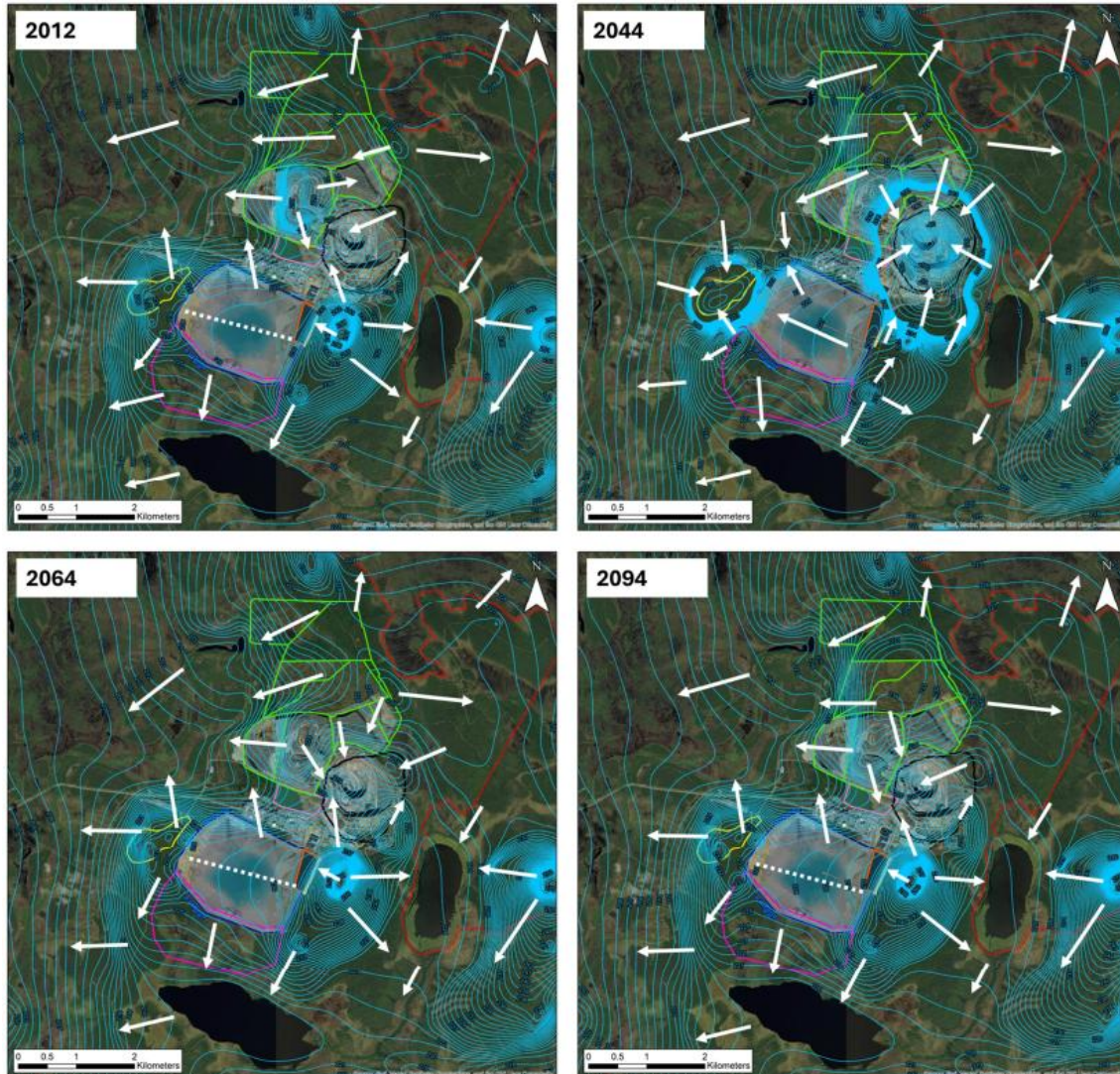
rikastushiekka-alue A1:n eteläosasta Saiveljärveen. Keräyskaivoja ei huomioitu tässä mallinnuksessa, mutta ne vaikuttaisivat todennäköisesti vain rikastushiekka-alue A1:n luoteis- ja lounaispuolella.



Kuva 66. Simuloidut pohjaveden pinnankorkeudet (mmpy) ja virtaussuunnat rapautuneessa kalliossa toiminnan päättyessä (vuoden 2033 lopussa) vaihtoehdossa VE0 (Golder, 2018). Huom.: Esitetyt korkeuskäyrät ovat mallikerrokselle 6 (rapautuneen kallion pohja, noin 10 metriä maanpinnan alapuolella). SP192 = mallin "kuormitusvaihe" 192, joka vastaa toiminnan päättymistä eli vuoden 2033 loppua. Katkoviivaiset siniset nuolet kuvaavat käsitteellisiä pohjaveden virtaussuuntia.



Kuva 67. Simuloidut pohjaveden pinnankorkeudet (mmpy) ja arvioitut virtaussuunnat rapautuneessa kalliiossa valituilla ajanjaksoilla vaihtoehdossa VE0+. Huom.: rikastusbiekka-alue A1:han liittyvä pohjavedenjakaja on merkitty katkoviivalla. 2012 = ennen kaivostoimintaa, 2033 = toiminnan päätyttyä, 2064 = 30 vuotta sulkemisen jälkeen, 2094 = 60 vuotta sulkemisen jälkeen. Valkoiset nuolet kuvaavat käsitteellisiä pohjaveden virtaussuuntia.



Kuva 68. Simuloidut pohjaveden pinnankorkeudet (mmpy) ja arvioitunut virtaussuunnat rapautuneessa kalliossa valituilla ajanjaksoilla vaihtoehdossa VE1.3. Huom.: rikastushiekka-alue A1:han liittyvä pohjavedenjakaja on merkitty katkoviivalla. 2012 = ennen kaivostoimintaa, 2033 = toiminnan päätyttyä, 2064 = 19 vuotta sulkemisen jälkeen, 2094 = 49 vuotta sulkemisen jälkeen.

Vaihtoehto VE0+

Rapautuneen kallion pohjaveden pinnankorkeudet ja virtaussuunnat ennen kaivostoimintaa, toimintavaiheen lopussa (2033) sekä vuosina 2064 ja 2094 on esitetty kuvassa 67. Yksittäiset kartat löytyvät liitteestä D.

Toimintavaiheen lopussa (2033) havaitaan avolouhoksen ympärillä jyrkkiä hydraulisia gradientteja, jotka keräävät pohjavettä sivukivialueelta, kaivosalueen keskeltä (esim. ROMPAD, murskaamo), Kevitsan vaaralta etelässä ja laajemmalta alueelta idässä. Virtaussuunnat muuttuvat vuoteen 2012 verrattuna, ja pohjavesi Satojärven länsi- ja pohjoispuolelta virtaa louhokseen. Sivukivialueen ja rikastushiekka-alue A1:n pohjois- ja länsipuolelta virtaus suuntautuu edelleen Mataraojaan. Rikastushiekka-alue A1:n alla

säilyy pohjaveden jakaja, ja sen eteläosasta virtaus suuntautuu Saiveljärveen (ellei keräyskaivojen pumppaus vaikuta). Rikastushiekka-alue A1:n luoteis- ja lounaispuolella virtaus suuntautuu NW- ja SW-keräyskaivoihin.

Vuonna 2064 (30 vuotta sulkemisen jälkeen) hydrauliset gradientit loivenevat louhoksen ja keräyskaivojen ympärillä, kun pohjavesi palautuu kaivojen pumppauksen lopetuksen ja louhoksen kuivanapidon päättymisen jälkeen. Pohjavesi purkautuu edelleen Mataraojaan sivukivialueelta ja rikastushiekka-alueen A1 pohjoisosasta, sekä Saiveljärveen rikastushiekka-alue A1:n eteläosasta.

Vuonna 2094 (60 vuotta sulkemisen jälkeen) hydraulinen gradientti loivenee edelleen, kun pohjaveden tasot palautuvat. Malli saavuttaa lähes tasapainotilan, mikä näkyy vähäisinä muutoksina vuosien 2064 ja 2094 välillä. Sivukivialueen topografisen korkeuden muuttamat pohjaveden pinnan korkeudet eivät välttämättä palaudu täysin kaivosta edeltävälle tasolle, johtuen sulkemisvaiheen peittorakenteista.

Vaihtoehto VE1.3

Rapautuneen kallion pohjaveden pinnankorkeudet ja virtaussuunnat ennen kaivostoimintaa, toimintavaiheen lopussa (2044) sekä vuosina 2064 ja 2094 on esitetty kuvassa 68. Yksittäiset kartat löytyvät liitteestä D.

Toimintavaiheen lopussa (2044) virtaus louhoksen läheisyydessä vastaa VE0+:n tilannetta, mutta gradientit ovat jyrkempiä ja vaikutusalue laajempi. Pohjavesi virtaa edelleen sivukivialueen pohjois- ja länsipuolelta Mataraojaan, mutta osa virtaa myös Iso Vaiskonlampeen. Pohjavesi virtaa Iso Hanhilehdon louhokseen rikastushiekka-alue A1:n lounais- ja länsipuolelta sekä rikastushiekka-alue A2:n luoteispuolelta. Rikastushiekka-alue A1:n luoteispuolelta virtaus suuntautuu NW-keräyskaivoihin. SW-keräyskaivojen alueella ei havaita alenemaa, koska ne poistetaan käytöstä rikastushiekka-alue A2:n rakentamisen yhteydessä. Rikastushiekka-alue A1:n eteläosasta ja rikastushiekka-alue A2:lta virtaus suuntautuu Saiveljärveen.

Vuonna 2064 (19 vuotta sulkemisen jälkeen) hydrauliset gradientit loivenevat louhoksen, Iso Hanhilehdon ja NW-kaivojen ympärillä pohjaveden palautumisen seurauksena. Pohjavesi purkautuu edelleen pääasiassa Mataraojaan, mutta osa virtaa myös Iso Vaiskonlampeen. Virtaus rikastushiekka-alue A1:n länsi- ja luoteispuolelta palautuu, kun Iso Hanhilehdon louhoksen ja NW-kaivojen pumppaus päättyy.

Vuonna 2094 (49 vuotta sulkemisen jälkeen) hydraulinen gradientti loivenee edelleen, kun pohjaveden tasot palautuvat. Malli saavuttaa lähes tasapainotilan, mikä näkyy vähäisinä muutoksina vuosien 2064 ja 2094 välillä. Sivukivialueen topografisen korkeuden muutoksen aiheuttamat pohjaveden korkeusaseman muutokset eivät välttämättä palaudu täysin kaivosta edeltävälle tasolle, johtuen sulkemisvaiheen peittorakenteista.

6.1.3. Pohjaveden alenema

Seuraavissa alaluvuissa esitetään kaivostoiminnan kuivauksen aiheuttaman pohjaveden aleneman laajuus vaihtoehdoissa VE0+ ja VE1.3. Myös VE0-vaihtoehdon tulokset (Golder, 2018) esitetään yhtenäisyyden vuoksi. Yksittäiset alenemakartat pintamaalle ja rapautuneelle peruskalliolle löytyvät liitteestä E.

Raportissa huomioidaan vähimmäisalenemana 0,1 m, mutta on tärkeää todeta, että tämä on mallin tarkkuusrajan sisällä, eli kyseinen alenema voi olla mallin virhemarginaalin sisällä. Lisäksi järvet on mallissa esitetty vakiopainekorkeuden reunaehdon mukaisesti pintamaan tasolla, joten alenemaa ei näy järvien kohdalla, vaikka se voi vaikuttaa muihin mallikerroksiin, kuten rapautuneeseen peruskallioon.

Avolouhoksen kuivanapidon aiheuttama alenemakartio ulottuu kaikissa vaihtoehdoissa erityisesti koilliseen, luoteeseen ja etelään louhoksen ympäriltä. Alenemakartion laajuuteen vaikuttavat:

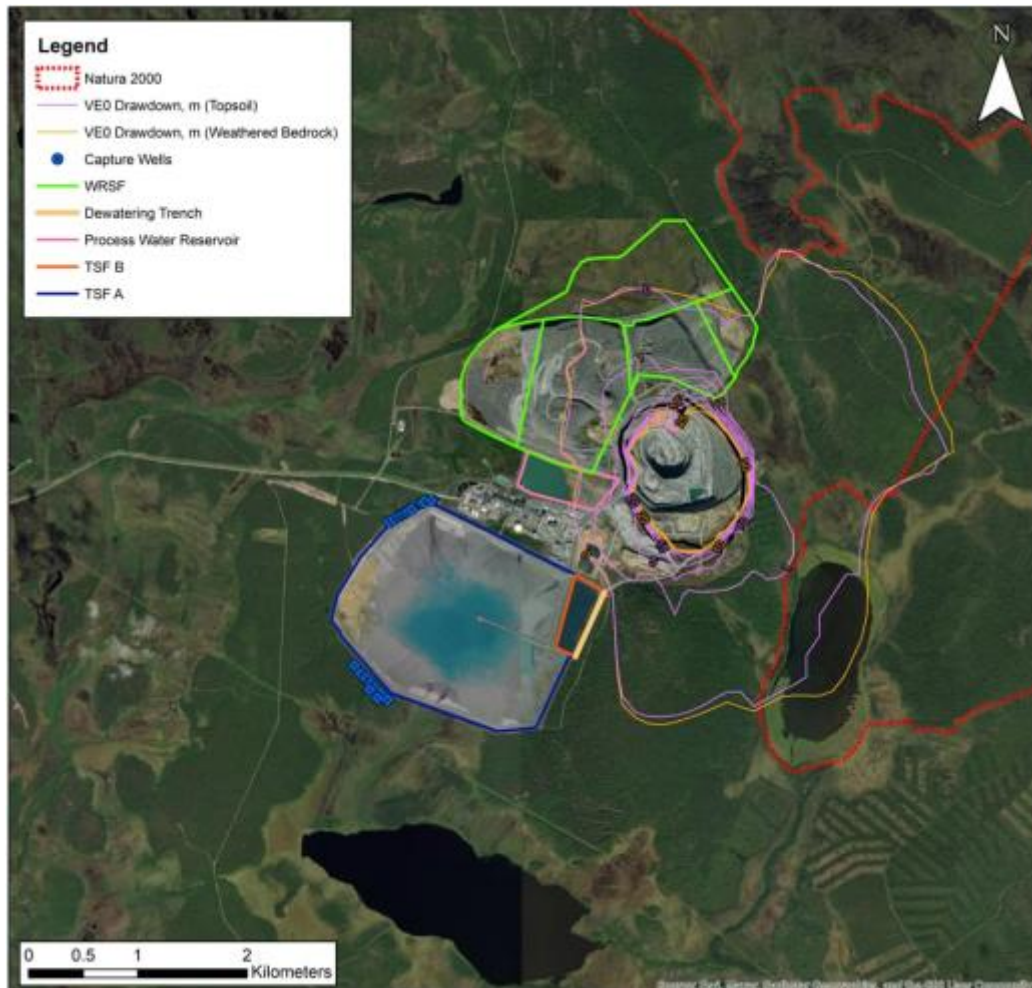
- Tarvekilouhoksen sisällyttäminen tai poisjättäminen luoteessa
- Korkeampi maasto sivukivialueen:n lounaisosassa (Louhintavaihe 1A)
- Kevitsan vaaran sijainti louhoksen eteläpuolella
- Paikallisen geologian ja siirrosten aiheuttama vedenjohtavuuden vaihtelu

Lisäksi jokainen vaihtoehto vaikuttaa alenemaan eri tavoin riippuen kaivosrakenteista, kuten rikastushiekka-alue A1 tai A2 - ja sivukivialueen suunnittelu, Iso Hanhilehdon louhoksen kuivanapidon olemassaolo tai puuttuminen, sekä keräyskaivojen pumppauksen olemassaolo tai puuttuminen.

Vaihtoehto VE0

Pohjaveden alenema vaihtoehdon VE0 mukaan toimintavaiheen lopussa (2033) on esitetty kuvassa 69 (Golder, 2018). Louhoksen syvimässä kohdassa alenema on noin 476 m. Aleneman laajuus louhoksen ympärillä on rajallinen, ulottuen enintään noin 1900 m koilliseen louhoksen reunasta.

Natura 2000 -alueen sisällä alenema ulottuu noin 630 m pintamaassa ja 800 m päähän rapautuneessa kalliassa louhoksen itäpuolella. Yli 1 metrin alenema ei ulotu kauas louhoksen reunasta pohjoiseen, länteen tai itään, ja etelässä alenema ulottuu enintään noin 600 m päähän louhosreunasta, pysyen Natura 2000 -alueen ulkopuolella.



Kuva 69. Simuloitu vedenpinnan alenema pintamaassa, rapautuneessa kalliiossa ja kallioperän yksiköissä vuoden 2033 lopussa vaihtoehdossa VE0 (Golder, 2018). Huom.: Tässä kuvassa esitetyt aleneman korkeuskäyrät ovat muokkaamattomia Golderin (2018) aineistosta, joten korkeuskäyrien väli voi poiketa VE0+, VE1.3 -vaihtoehtoihin liittyvistä kuvista.

Vaihtoehto VE0+

Pohjaveden alenema sulkemisvaiheessa on esitetty kuvassa 610. Vuoden 2033 lopussa alenema on:

- 476 m avolouhoksessa
- 11 m rikastushiekka-alueen A1 luoteispuolisilla NW-keräyskaivoilla
- 6 m rikastushiekka-alueen A1 lounaispuolisilla SW-keräyskaivoilla

Alenema ulottuu pääasiassa länteen, etelään ja itään, kohti Natura 2000 -kosteikkoaluetta. Kun tarkastellaan 0,1 m alenemaa, se ulottuu:

- noin 2180 m itään louhoksen keskeltä
- noin 2900 m etelään louhoksen keskeltä

NW- ja SW-keräyskaivojen pumppaus aiheuttaa alenemaa sekä pintamaassa että rapautuneessa kalliassa:

- enintään noin 1100 m NW-kaivoilta
- enintään noin 1300 m SW-kaivoilta

Natura 2000 -alueen sisälle alenema ulottuu:

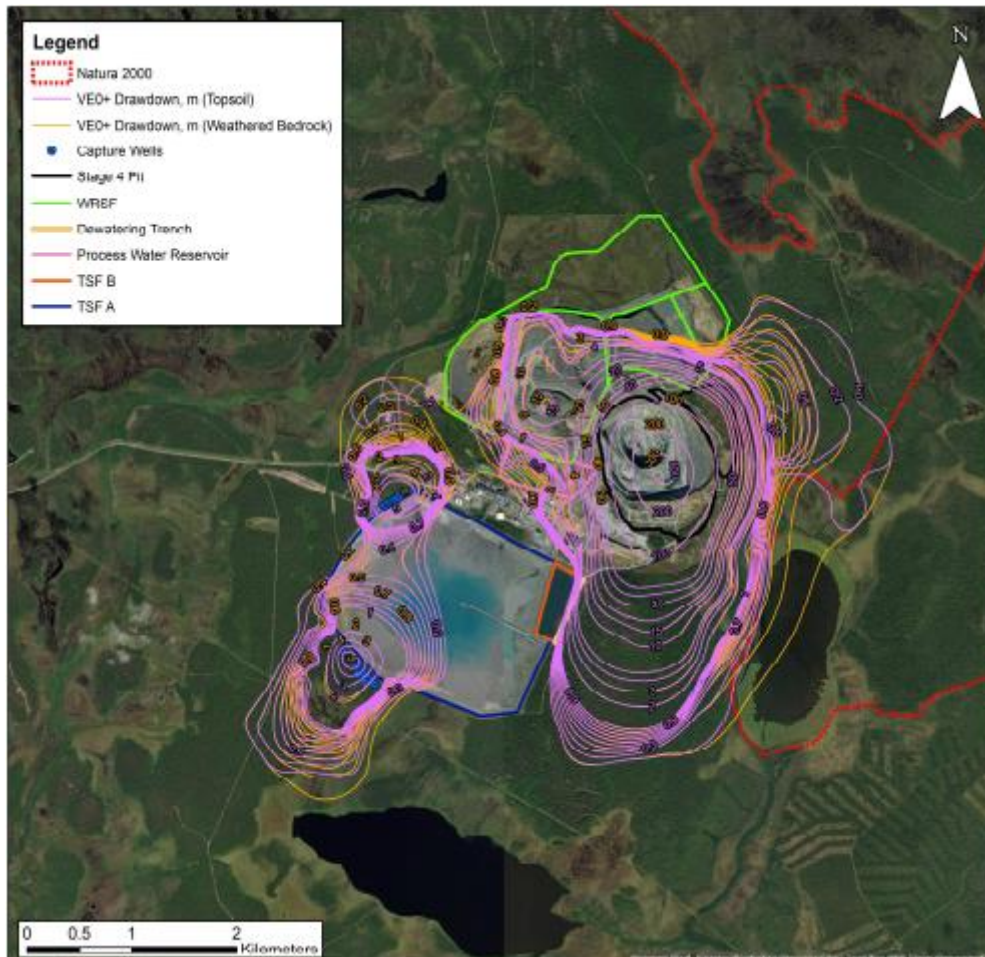
- noin 450 m pintamaassa
- noin 800 m rapautuneessa kalliassa louhoksen itäpuolella

Pintamaassa alenema on:

- enintään noin 0,6 m Natura 2000 -rajan kohdalla
- vähenee 0,1 metriin noin 100 m päässä rajasta

Rapautuneessa kalliassa alenema on:

- enintään noin 0,6 m Natura 2000 alueen rajalla
- vähenee 0,1 metriin noin 570 m päässä rajasta



Kuva 610. Simuloitu vedenpinnan alenema vaihtoehdossa VE0+ vuoden 2033 lopussa.

Vaihtoehto VE1.3

Pohjaveden alenema sulkemisvaiheessa on esitetty kuvassa 611. Vuoden 2044 lopussa alenema on:

- 620 m avolouhoksessa
- 14 m rikastushiekka-alueen A1 luoteispuolen NW-keräyskaivoilla
- 117 m Iso Hanhilehdon louhoksessa

Alenema ulottuu pääasiassa länteen, etelään ja itään, kohti Natura 2000 - kosteikkoaluetta. Kun tarkastellaan 0,1 m alenemaa, se ulottuu:

- noin 2230 m itään louhoksen keskeltä
- noin 3040 m etelään louhoksen keskeltä

NW-keräyskaivojen ja Iso Hanhilehdon louhoksen pumppaus aiheuttaa alenemaa sekä pintamaassa että rapautuneessa kalliossa:

- enintään noin 1160 m päähän NW-kaivoilta
- enintään noin 1670 m päähän Iso Hanhilehdon louhokselta

Sulkemisen yhteydessä SW-keräyskaivoilta ei tapahdu alenemaa, koska ne poistetaan käytöstä rikastushiekka-alue A2:n rakentamisen yhteydessä.

Natura 2000 -alueen sisäpuolelle alenema ulottuu:

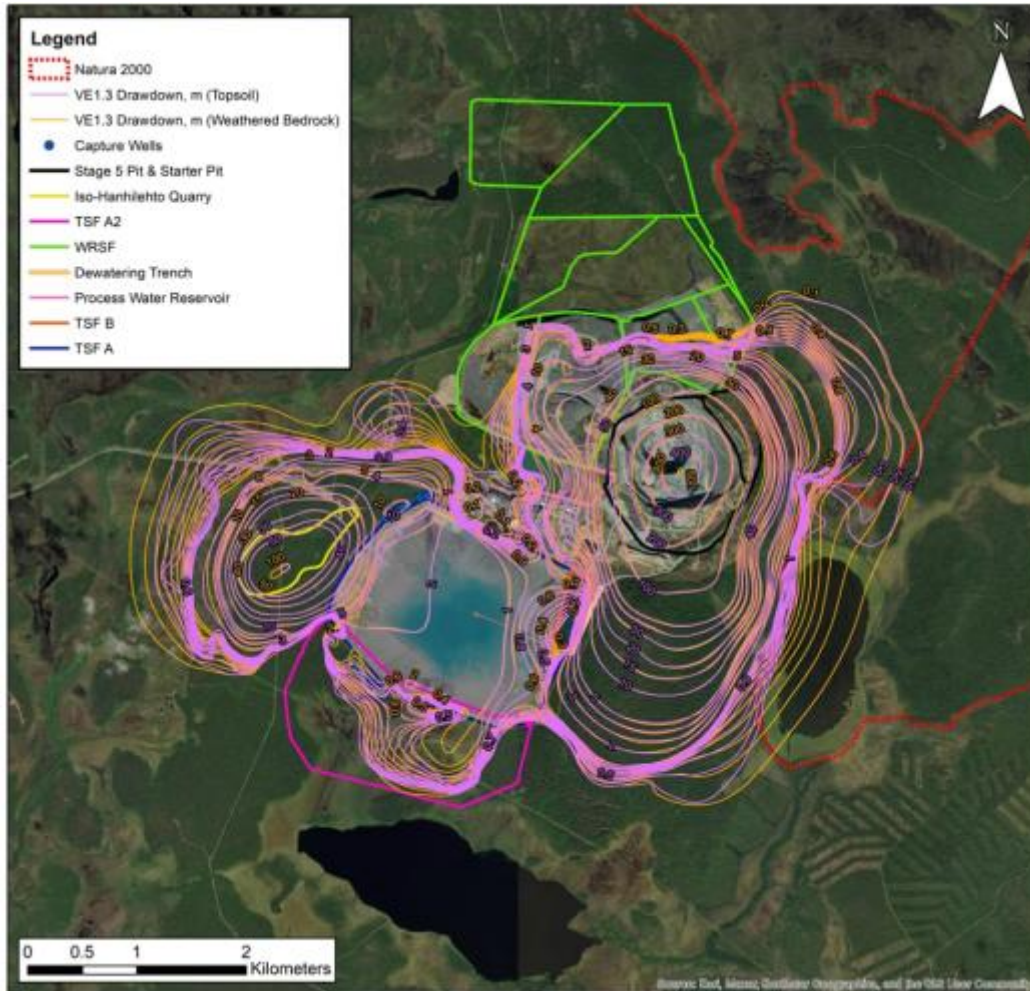
- noin 530 m pintamaassa
- noin 880 m rapautuneessa peruskalliossa louhoksen itäpuolella

Pintamaassa alenema on:

- enintään noin 1,5 m Natura 2000 -rajan kohdalla
- vähenee 0,1 metriin noin 290 m päässä rajasta

Rapautuneessa kalliossa alenema on:

- enintään noin 2 m rajalla
- vähenee 0,1 metriin noin 880 m päässä rajasta



Kuva 611. Simuloitu vedenpinnan alenema vaihtoehdossa VE1.3 vuoden 2044 lopussa.

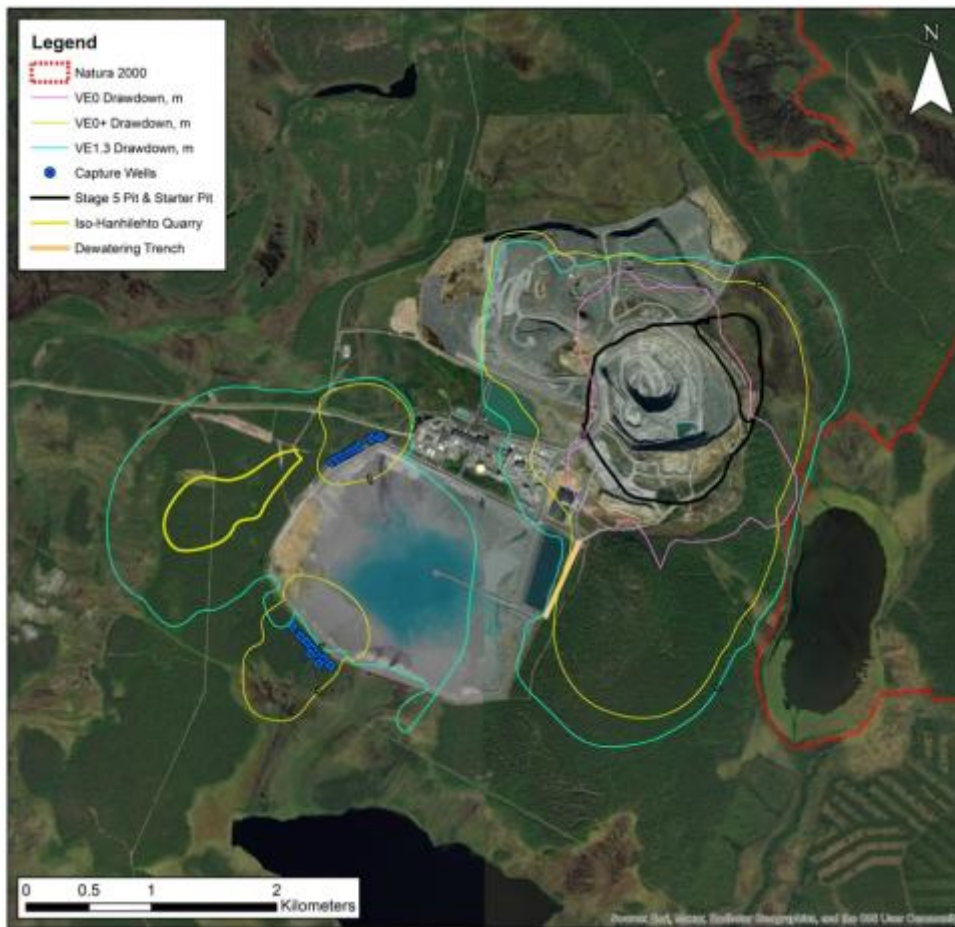
Alenemavertailu

Kuvassa 6-12 on esitetty 1 metrin alenemakäyrät vaihtoehdoille VE0, VE0+ ja VE1.3. Esitykseen on valittu 1 metrin käyrä, koska sitä käytettiin johdonmukaisesti eri tutkimuksissa.

VE0-vaihtoehdossa alenema louhoksen ympärillä on rajallisempi verrattuna VE0+ ja VE1.3 -vaihtoehtoihin, joissa alenema ulottuu kauemmas luoteeseen, koilliseen ja etelään. Koilliseen suuntautuva suurempi alenema liittyy tarvekilouhoksen kuivanapitoon (VE0+ ja VE1.3).

Luoteeseen ja etelään suuntautuva suurempi alenema VE0+ ja VE1.3 -vaihtoehdoissa selittyy yksityiskohtaisemmalla siirrosmallinnuksella, erityisesti pohjoiseteläsuuntaisten siirrostien korkeammalla vedenjohtavuudella.

Rikastushiekka-alueen läheisyydessä alenema on vaihtoehdossa VE1.3 suurempi, johtuen Iso Hanhilehdon louhoksesta ja NW-kaivojen pumppauksesta. Kuitenkin rikastushiekka-alue A1:n lounaispuolella alenema on pienempi VE1.3-vaihtoehdossa verrattuna VE0+:aan, koska SW-talteenottokaivot on poistettu käytöstä rikastushiekka-alue A2:n rakentamisen yhteydessä.



Kuva 612. Vertailu 1 metrin aleneman käyrien välillä vaihtoehdoissa VE0, VE0+ ja VE1.3.

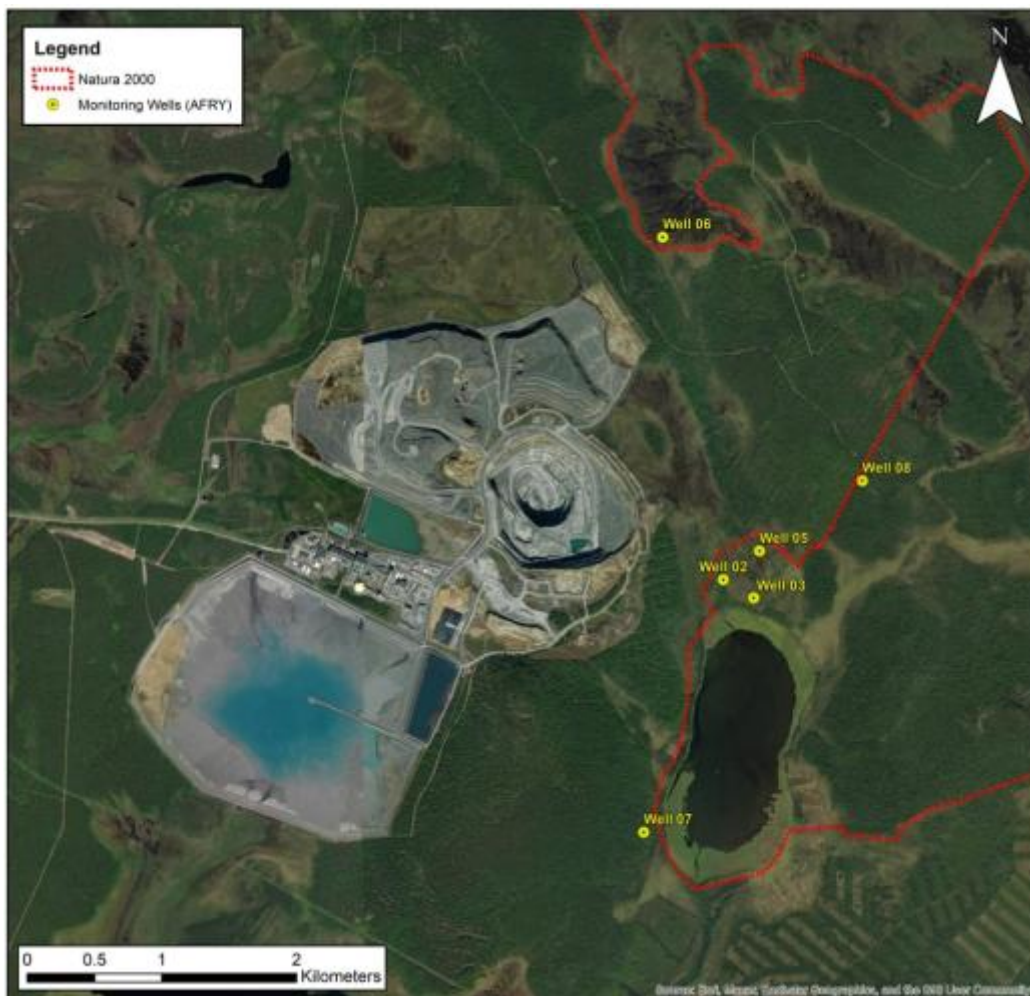
6.1.4. Vuodenaikaisvaihtelu

AFRY ehdotti kuusi seurantapistettä, jotka ovat merkittäviä Natura 2000 -tarkastelun kannalta, ja arvioi, että pohjaveden aleneman vuodenaikaisvaihtelun tarkastelu on tarpeen. Malliin lisättiin teoreettisia seurantakaivoja tunnuksin 02–03 ja 05–08, ja niiden avulla seurattiin laskennallista pohjaveden pinnankorkeutta toimintavaiheen aikana. Kaivojen sijainnit on esitetty kuvassa 613.

Jokaiselle sijainnille lisättiin kaksi kaivoa: toisen pohjavesiputken siiviläosuudella mitataan pohjaveden pinnankorkeutta pintamaassa, ja toisen rapautuneessa kalliossa.

On huomioitava, että Satojärven läheisyydessä pintamaassa alenema voi olla vähäisempää, järven alapuolisen moreenin vaikutuksen vuoksi.

Tulokset kullekin vaihtoehdolle käsitellään alla, ja aikasarjat jokaiselle sijainnille löytyvät liitteestä F.



Kuva 613. AFRY:n toimittamat tarkkailupisteiden sijainnit pohjaveden pinnan korkeuden seurantaan Natura 2000 -alueella tai sen läheisyydessä.

Vaihtoehto VE0+

Pohjaveden pinnankorkeudet teoreettisissa pohjavesiputkissa pintamaassa ja rapautuneessa kalliassa on esitetty:

- Pintamaa: kuva 614
- Rapautunut kallio: kuva 615

Kaikilla kuudella sijainnilla (kuva 613) pohjaveden pinnankorkeudet pysyvät melko vakaina seuranta-ajanjaksolla (2012–2034), vaihdellen noin 223–288 m mpy. Joillakin pisteillä esiintyy enemmän vuodenaikaisvaihtelua kuin toisilla. Pohjavesiputki 08 kokee suurimman vaihtelun, noin 0,12 m vuodenaajasta riippuen. Rapautuneessa kalliossa vaihtelu on vaimeampaa.

Pintamaassa ei havaita merkittävää alenemaa useimmissa pisteissä toiminnan aikana. Mikäli alenemaa esiintyy (verrattuna kaivosta edeltävään aikaan), se on välillä 0,01–0,10 m, suurin alenema havaittaisiin pohjavesiputkissa 05 ja 07.

Rapautuneessa kalliossa havaitaan alenemaa kaikissa pohjavesiputkissa:

- Kaivo 06: noin 0,01 m
- Kaivo 02: enintään noin 0,25 m

Vaihtoehto VE1.3

Pohjaveden pinnankorkeudet teoreettisissa pohjavesiputkissa pintamaassa ja rapautuneessa kalliossa on esitetty:

- Pintamaa: kuva 616
- Rapautunut kallio: kuva 617

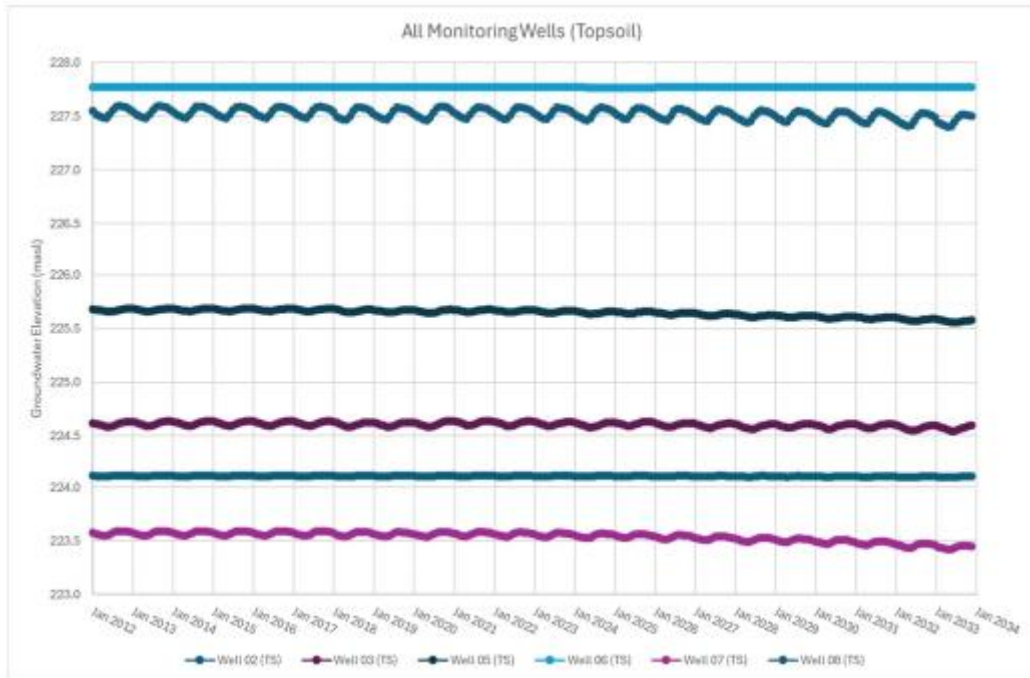
On huomioitava, että vuoden 2034 jälkeen vuodenaikaisvaihtelu vaimenee, mikä johtuu mallin kuormitusjaksojen muutoksesta kuukausittaisista neljännesvuosittaisiin ja vuosittaisiin, mikä ei ole kaivostoiminnan aiheuttama vaikutus.

Kaikilla kuudella sijainnilla pohjaveden pinnankorkeudet pysyvät melko vakaina seuranta-ajanjaksolla (2012–2045), vaihdellen noin 223–288 m mpy. Kaivo 08 kokee suurimman vaihtelun, noin 0,12 m, kuten VE0+-vaihtoehdossa. Rapautuneessa kalliossa vaihtelu on jälleen vaimeampaa.

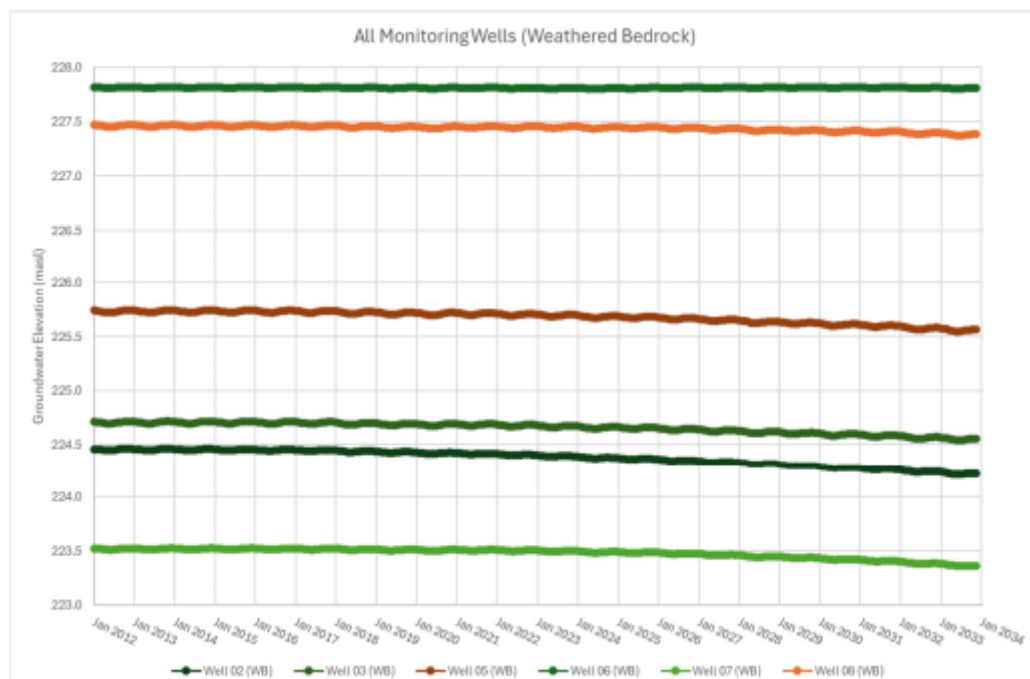
Pintamaassa havaitaan lievää alenemaa pohjavesiputkissa 02, 03 ja 08 (verrattuna kaivosta edeltävään aikaan), välillä 0,02–0,07 m. Pohjavesiputkissa 05 ja 07 alenema on suurempi, noin 0,20 m ja 0,35 m.

Rapautuneessa kalliossa havaitaan alenemaa kaikissa kaivoissa paitsi kaivossa 06:

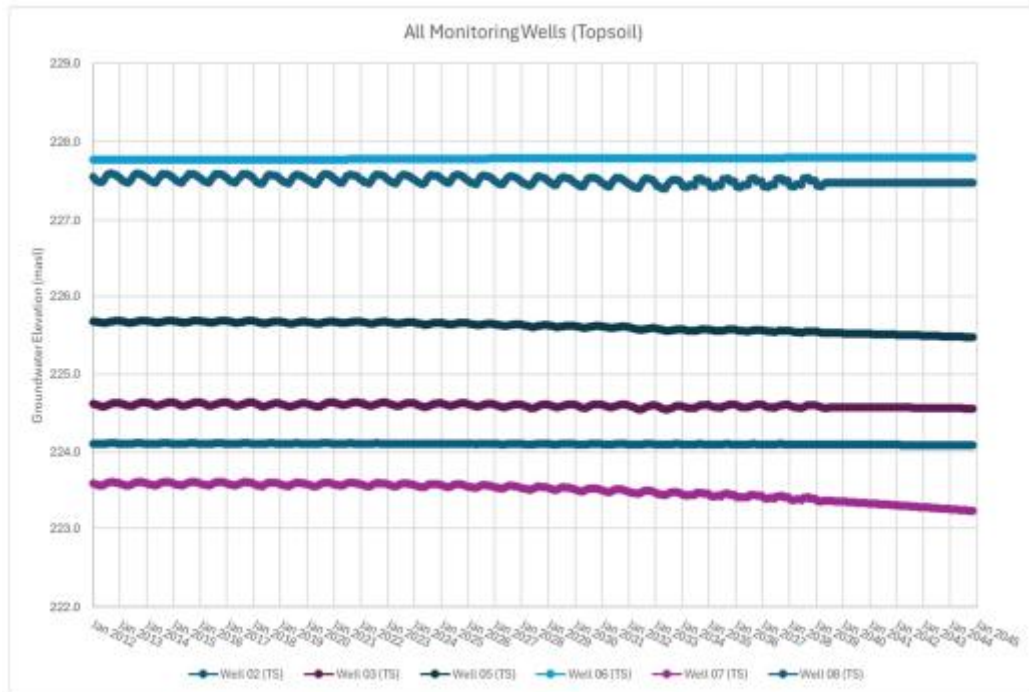
- Kaivo 08: noin 0,08 m
- Kaivo 02: enintään noin 0,60 m
- Kaivo 06: ei havaittavaa alenemaa pintamaassa eikä rapautuneessa kalliossa



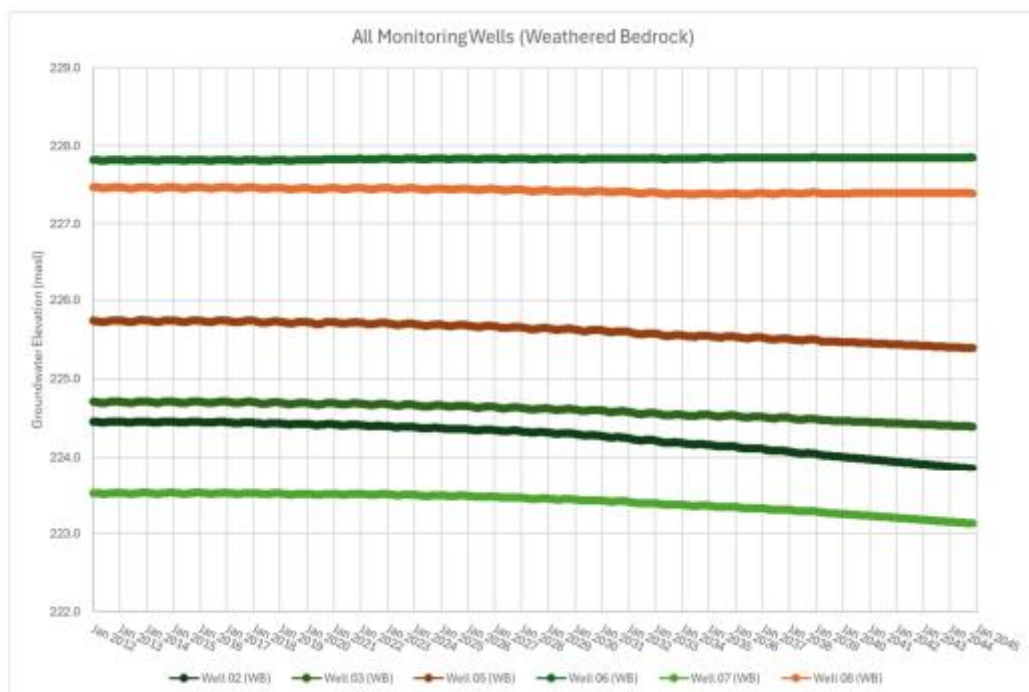
Kuva 614. Pohjaveden pinnankorkeudet pintamaassa teoreettisilla tarkkailupisteillä vaihtoehdossa VE0+.



Kuva 615. Pohjaveden pinnankorkeudet rapautuneessa kallioperässä teoreettisilla tarkkailupisteillä vaihtoehdossa VE0+.



Kuva 616. Pohjaveden pinnankorkeudet pintamaassa teoreettisilla tarkkailupisteillä vaihtoehdossa VE1.3.



Kuva 617. Pohjaveden pinnankorkeudet rapautuneessa kallioperässä teoreettisilla tarkkailupisteillä vaihtoehdossa VE1.3.

6.2. Laadullinen arviointi vaihtoehdolle VE1.1

Tässä osiossa esitetään laadullinen arviointi vaihtoehdolle VE1.1, jonka tavoitteena on tutkia ja tulkita vaihtoehdon VE1.1 mukaisen kaivosrakenteen mahdollisia vaikutuksia pohjaveden sisäänvirtauksiin, pohjaveden pinnankorkeuksiin, virtaussuuntiin ja alenemaan. Tämä laadullinen arviointi on laadittu VE0+ ja VE1.3 -vaihtoehtojen mallinnustuloksia hyödyntäen sekä asiantuntija-arvioon perustuen.

Vaihtoehdossa VE1.1 otetaan huomioon seuraavat suunnitteluperusteet: Vaiheen 5 avolouhos, korkeammalle sijoitettu sivukivialueen (350 m mpy) ja rikastushiekka-alueen A1 (+310 m mpy), laajempi sivukivialueen pinta-ala, sekä rikastushiekka-alue B2:n ja Iso Hanhilehdon louhoksen sisällyttäminen. Kaivoshankkeen suunnitelma vaihtoehdolle VE1.1 on kuvattu kohdassa 1.1 ja esitetty kuvassa 13. Koska kaivosrakenteet ovat samankaltaisia (esim. molemmissa on Vaiheen 5 avolouhos ja Iso Hanhilehdon louhos sekä laajempi sivukivialueen:n pinta-ala), odotetaan, että pohjaveden sisäänvirtaukset, alenemat ja virtaussuunnat vastaavat suurelta osin vaihtoehdolle VE1.3 esitettyjä.

Mallinnustulosten (ks. kohta 6) perusteella vaihtoehdon VE1.1 kaivosrakenteen vaikutukset ympäröivään pohjavesiympäristöön ovat odotettavissa seuraavanlaisiksi:

- Toiminnan päättyessä jyrkkiä hydraulisia gradientteja odotetaan muodostuvan avolouhoksen ympärille louhoksen kuivanapidon seurauksena, jolloin pohjavettä kerääntyy sivukivialueelta, keskeiseltä kaivosalueelta (esim. ROMPAD), Kevitsan vaaran alueelta etelässä sekä louhoksen itäpuoliselta laajemmalta alueelta. Pohjaveden virtaus sivukivialueen pohjois- ja länsipuolella suuntautuu Mataraojan ja Iso Vaiskonlammen suuntaan. Rikastushiekka-alue A1 -alueen läheisyydessä virtaus rikastushiekka-alue A1:n pohjois- ja länsipuolella suuntautuu Iso Hanhilehdon louhokseen ja Mataraojaan. Rikastushiekka-alue A1:n luoteis- ja lounaispuolella virtaus suuntautuu NW- ja SW-keräyskaivoihin. Verrattuna vaihtoehtoon VE1.3, virtaus rikastushiekka-alue A1:n lounaispuolelta Iso Hanhilehdon louhokseen ja Saiveljärveen voi olla vähäisempää johtuen SW-keräyskaivojen jatkuneesta käytöstä (jotka VE1.3:ssa poistetaan käytöstä).
- Sulkemisvaiheessa hydraulisten gradienttien tasaantumista odotetaan tapahtuvan avolouhoksen, Iso Hanhilehdon louhoksen sekä NW- ja SW-kaivojen ympärillä pumppauksen päättymisen seurauksena. Pohjaveden virtaus sivukivialueen pohjois- ja länsipuolella suuntautuu Mataraojaan, ja osa virtaamasta Iso Vaiskonlampeen. Rikastushiekka-alue A1:n virtaus suuntautuu myös Mataraojaan. Lähes tasapainotilan saavuttaminen odotetaan tapahtuvan samassa aikataulussa kuin vaihtoehdossa VE1.3.
- Koska rikastushiekka-alue B2 -laitos tullaan varustamaan erityistiiviillä pohjarakenteella, suotoveden määrän odotetaan olevan vähäinen (WSP, 2025a), eikä sillä odoteta olevan merkittävää vaikutusta pohjaveden pinnankorkeuteen tai virtaussuuntaan. Kuitenkin arvioidaan, että Kevitsan vaaran kuivattaminen voi olla tarpeen rikastushiekka-alueen hydraulisen virtaussuunnan yläpuolelta

(itäpuolelta) (samanlainen kuin rikastushiekka-alue B1:n itäpuolelle asennettu kuivatusoja, ks. kohta 2.6.5.3), mikä voi vähentää pohjaveden virtausta tältä alueelta länteen.

- Sivukivialueen vuotoveden määrät vaihtoehdossa VE1.1 ovat samankaltaisia kuin vaihtoehdossa VE1.3. Sivukivialueen eteläosasta louhokseen suuntautuvat vuotovedet ovat hieman suurempia toimintavaiheessa (raportoitu WSP, 2025a), mutta tämän ei odoteta näkyvän louhoksen sisäänvirtauksissa tai siihen liittyvässä alenemisessä. Sulkemisvaiheessa vuotoveden määrät ovat vertailukelpoisia vaihtoehtojen VE1.1 ja VE1.3 välillä. Korkeammaksi rakennettava rikastushiekka-alue A1 vaihtoehdossa VE1.1 ei odotettavasti aiheuta vuotoveden määrän kasvua verrattuna vaihtoehtoihin VE0+ ja VE1.3, perustuen Okane (2025) suorittamaan herkkyyksianalyysiin.
- Avolouhokseen ja Iso Hanhilehdon tarvekivilouhokseen kohdistuvat sisäänvirtaukset kasvavat avolouhosten syventyessä toiminnan aikana, ja suurimpien sisäänvirtaukset avolouhokseen odotetaan tapahtuvan louhinnan loppuvaiheessa. Iso Hanhilehdon louhoksen sisäänvirtaukset voivat olla vähäisempiä kuin VE1.3:ssa johtuen rikastushiekka-alueen lounaisosassa sijaitsevien SW-talteenottokaivojen pidemmästä pumppausajasta.
- Avolouhoksen kuivanapito odotettavasti aiheuttaa alenemaa ja vaikuttaa pohjaveden virtaamaan lähellä sijaitsevassa Satojärvässä. Avolouhoksen ympärillä tapahtuvan aleneman laajuuden ja pohjaveden virtaaman muutoksen Satojärvässä odotetaan olevan samankaltainen kuin vaihtoehdossa VE1.3. Aleneman kartio voi ulottua hieman laajemmalle Kevitsan vaaran eteläosaan johtuen avolouhoksen ja rikastushiekka-alue B2:n kuivatuksen yhteisvaikutuksesta.
- NW-keräyskaivojen suurimman aleneman odotetaan olevan samankaltainen kuin vaihtoehdossa VE1.3, mutta SW-keräyskaivojen suurimman aleneman odotetaan ylittävän sekä VE0+ että VE1.3 vaihtoehtojen arvot pidemmän pumppausjakson vuoksi vaihtoehdossa VE1.1.
- Vaikka Iso Hanhilehdon louhoksen louhinta aiheuttaa samanlaisen maksimialeneman kuin vaihtoehdossa VE1.3, louhoksen kuivanapidon ja SW-keräyskaivojen yhteisvaikutus voi aiheuttaa laajemman aleneman kartion tällä alueella verrattuna VE0+ ja VE1.3 vaihtoehtoihin, mahdollisesti ulottuen Saiveljärveen asti.
- Aleneman vaikutusten pohjaveden pinnankorkeuteen ja kausivaihteluun teoreettisilla pohjavesiputkien paikoilla Natura 2000 -alueella odotetaan olevan samankaltaisia kuin vaihtoehdossa VE1.3.

6.3. Tutkimuksen rajoitukset ja suositukset

Numeerinen mallinnus, johon YVA perustuu, edustaa yksinkertaistettua versiota todellisuudessa tapahtuvasta. Vaikka tämä tutkimus tarjoaa arvokkaita näkemyksiä hydrogeologisesta järjestelmästä, siihen liittyy tiettyjä rajoituksia, jotka voivat vaikuttaa tulosten tarkkuuteen, erotuskykyyn ja soveltuvuuteen. Rajoitukset johtuvat syötetietojen

epävarmuuksista, mallin oletuksista ja laskennallisesti välttämättömistä yksinkertaistuksista. Seuraavat keskeiset rajoitukset on tunnistettu tutkimuksen aikana, ja niihin liittyy suosituksia tulevaa kehittämistä varten:

- Malli esittää kenttäolosuhteista yksinkertaistetun version, eikä kaikkia siirroksia tai ruhjeita voida mallintaa. Rajoituksia ja parannusmahdollisuuksia on kuitenkin tunnistettu. Siirrostien vedenjohtavuuksista oli saatavilla vain rajallisesti tietoa, joten kalibrointia varten tehtiin oletuksia ja yleistyksiä. Mallin herkkyys tälle parametreille on tunnistettu, joten erilliset hydrauliset testit siirroksille olisivat hyödyllisiä. Lisäksi yksityiskohtaista tietoa siirroksista ja ruhjeista oli saatavilla vain avolouhoksen läheisyydestä. Suositellaan kartoittamaan siirrostien laajuus Natura 2000 -alueelle saakka.
- Kalibroinnin taso vaihtelee mallialueella johtuen mallin suuresta pinta-alasta ja syvyydestä sekä materiaalien vaihtelusta. Kalibroinnin onnistumista kuvaava NRMS-arvo (mallinnettujen ja mitattujen vesipintojen ero) 6 % katsotaan hyväksi. Tämän perusteella mallinnetut pohjaveden pinnan vaihtelut 0,1 m sisältävät mallin epävarmuusalueeseen.
- Moreenin vedenjohtavuus vaihtelee merkittävästi alueella, osittain hiekkakerrosten vuoksi. Mallissa käytetään keskimääräistä vedenjohtavuutta, joka vastaa käsitteellistä mallia. Mallin mittakaava huomioiden suositellaan lisäämään malliin erillisiä moreenin johtavuusvyöhykkeitä.
- Turpeen hydraulista johtavuutta ei ole testattu erillään muista geologisista yksiköistä (kaikki testit kattavat useita kerrostumia). Turpeen erillinen testaus mahdollistaisi mallin tarkemman kalibroinnin.
- Iso Hanhilehdon louhosalueelta oli saatavilla vain rajallisesti hydrogeologista tietoa ennen tutkimuksen aineiston katkaisuaikaa. AFRY on kuitenkin tehnyt alueella johtavuustestejä vuonna 2024 (AFRY, 2024b). Suositellaan sisällyttämään nämä tiedot tuleviin mallinnuksiin epävarmuuden vähentämiseksi.
- Alueen järvistä on vain vähän tietoa, joten ne on mallinnettu vakiopainereunaehto käyttäen. Satojärven vaikutusten tarkempaa arviointia varten suositellaan keräämään lisätietoa, kuten järven syvyys, vedenpinnan aikasarjat, järven pohjan paksuus ja järvenpohjan veden johtavuus.
- Vaikka alueella on hyvä havaintoverkko pohjaveden pinnan kalibrointiin, mallin laajuus ylittää kaivosalueen rajat, ja kalibroinnin tarkkuus heikkenee etäisyyden kasvaessa kaivoksesta.
- Natura 2000 -alueen vaikutukset ovat keskeinen osa tutkimusta, mutta alueella ei ole tunnettuja havaintopisteitä mallin kalibrointiin (todennäköisesti pääsyräjoitusten ja suojelustatuksen vuoksi). Tämän puutteen korjaamiseksi Boliden on asentanut useita havaintokaivoja avolouhoksen itäpuolelle (esim. KevG-72, KevG-73). Näiden kaivojen aineisto oli rajallinen tutkimuksen aikana, mutta ne on sisällytetty malliin mahdollisuuksien mukaan. Jatkuva seuranta Natura 2000 -alueen läheisyydessä on olennaista tutkimuksen tulosten varmentamiseksi.

- Helmikuussa 2024 asennettiin neljä uutta havaintokaivoa, jotka laajentavat havaintoverkkoa: KevG-74 (~0,5 km sivukivialueen koillispuolella), KevG-76 (~1,5 km rikastushiekka-alue A1:n luoteispuolella), KevG-77 ja KevG-78 (~2,5 km Saiveljärven lounaispuolella). Kun riittävästi pohjaveden pinnankorkeustietoa on kerätty, suositellaan käyttämään näitä pisteitä kalibrointikohteina tulevassa mallinnuksessa.
- Saatavilla olevassa pohjaveden havaintoaineistossa (kohta 2.6.3) on vain vähän havaintopisteitä, joissa alenema on todettu. Alenema on vahvistettu vain VWP-havaintopisteissä avolouhoksen välittömässä läheisyydessä (kuva 53). Suositellaan mallinnuksen päivittämistä, kun alenemahavaintoja saadaan myös kauempana louhoksesta sijaitsevista pisteistä. Tavoitteena on luoda havaittu alenemakartta, jota voidaan käyttää mallin kalibroinnin varmentamiseen.
- Mallissa käytetty toimintavaiheen sadanta perustuu muualla sijaitsevan sääaseman tietoihin. Alueella on nyt oma sääasema, ja suositellaan käyttämään sen tietoja mallin päivityksissä.
- Kaivannon aikatauluihin ja pumppausjaksoihin liittyvät oletukset on tehty Bolidenin palautteen ja kaivoshankkeen suunnitelman perusteella. Mikäli nämä oletukset poikkeavat merkittävästi todellisuudesta, tutkimuksen johtopäätökset on arvioitava uudelleen.

7. Johtopäätökset

Pohjavesimallinnus osoittaa, että kaivostoiminnan vaikutukset ympäröivään ympäristöön johtuvat ensisijaisesti eroista toimintojen sijoittelusta, alueen laajuudesta sekä vesienhallinnasta koko Kevitsan kaivosalueella. Nämä tekijät vaikuttavat pohjaveden alenemisen laajuuteen ja suuntaan sekä vaikutusten voimakkuuteen lähellä sijaitseviin herkkiin kohteisiin, kuten Natura 2000 -alueeseen.

Toiminnan aikaiset ennustetut sisäänvirtausmäärät avolouhokseen kasvavat kaivoksen laajentuessa ja syventyessä, ellei laajentuminen tapahdu pääasiassa sivuttaissuuntaisesti johtuen aiemmasta maakerrosten kuivumisesta. Suurimmat veden sisäänvirtausmäärät avolouhokseen ennustetaan vaihtoehdoissa VE1.1 ja VE1.3 johtuen syvemmästä louhoksesta. Virtausmäärien arvioidaan olevan noin 16 % suuremmat kuin vaihtoehdoissa VE0 ja VE0+. Vaihtoehdossa VE1.3 toiminnan seurauksena Satojärveen liittyvän vedenvirtauksen ennustettu muutos on yli kaksinkertainen verrattuna skenaarioon VE0+.

Sulkemisvaiheessa muodostuu jyrkkä hydraulinen gradientti kuivatetuiden alueiden ympärille, erityisesti avolouhoksen ja Iso-Hanhilehdon louhoksen yhteyteen, missä virtaus suuntautuu näitä alueita kohti. Kaikissa vaihtoehdoissa virtaus suuntautuu rikastushiekka-altaiden, sivukiven läjitysalueen, Kevitsavaaran ja ympäröivän alueen suunnalta kohti avolouhosta. Vaihtoehdoissa VE0 ja VE0+ rikastushiekka-altaan länsipuolella virtaus suuntautuu pääosin kohti Mataraoja-

puroa ja osittain kohti pumppauskaivoja. Tämä muuttuu vaihtoehtoisissa VE1.1 ja VE1.3, joissa Iso-Hanhilehdon louhoksen myötä paikallinen pohjavesi virtaa louhoksen suuntaan.

Vaihtoehdossa VE0 veden alenema on vähäisintä ja se rajoittuu pääasiassa louhoksen ympärille. Vaihtoehtoisissa VE0+, VE1.1 ja VE1.3 alenema laajenee koilliseen päin aloituslouhoksen kuivatuksesta johtuen, sekä louhoksen luoteis- ja eteläpuolelle, johtuen avolouhoksella esiintyvistä rakenteista, joissa on korkeampi vedenjohtavuus. Tässä selvityksen mallinnuksessa on käytetty alueen uusimpia saatavilla olevia tietoja ja mallinnukseen on sisällytetty myös heikkousvyöhykkeistä saatua uutta tietoa. Tämän seurauksena vaihtoehtojen VE0+, VE1.1 ja VE1.3 mallinnukset alenemasta tarjoavat realistisemmän kuvan aleneman tilanteesta sulkemishetkellä.

Rikastushiekka-altaan läheisyydessä pohjaveden alenema syvenee Iso-Hanhilehdon louhoksen kuivatuksen ja pumppauskaivojen yhdessä muodostaman aleneman seurauksena. Kuitenkin vaihtoehdossa VE 1.3 allas A2 estää merkittävän aleneman muodostumisen altaan A lounaispuolelle (johtuen altaasta A2 tapahtuvasta suotautumisesta sekä lounaispuolen pumppauskaivojen poistamisesta). Joka tapauksessa vaihtoehtoisissa VE0 ja VE0+ aleneman vaikutukset altaan A ja avolouhoksen läheisyydessä ovat vähäisimmät johtuen pienemmistä louhoksista.

Yhteenvetona voidaan todeta, että jokainen vaihtoehto aiheuttaa alenemavaikutuksia Natura 2000 -alueelle, mutta vaihtoehto VE1.3 edustaa pahimman tapauksen vaihtoehtoa, jota seuraa läheisesti vaihtoehto VE1.1. Näissä vaihtoehtoisissa vaikutukset ovat suurempia ja edellyttävät tehostettua seurantaa sekä mukautuvaa vedenhallintaa. Vaihtoehtoisissa VE0 ja VE0+ vaikutukset ovat vähäisempiä, mikä johtuu pienemmästä suunnitellusta louhoksesta ja Iso-Hanhilehdon tarvekivilouhoksen poisjättämisestä. Näistä eroista huolimatta molemmissa vaihtoehtoisissa tasapainotila ennustetaan saavutettavan vuoteen 2094 mennessä, jolloin pohjaveden pinnantasot ovat palautuneet ja purkautuminen Mataraojaan jatkuu sulkemisen jälkeen.

Mallinnuksen tarkkuuden parantamiseksi suositellaan, että pohjaveden pinnankorkeuden seurantaa jatketaan Natura alueen ympäristössä sijaitsevilla tarkkailupisteillä. Laajempi aineisto Natura -alueen läheisyydestä lisää mallinnuksen ennustettavuutta ja luotettavuutta. Lisäksi suositellaan, että uutta tarkkailuaineistoa kuten äskettäin asennetut tarkkailuputket (KevG-74, KevG-76, KevG-77 ja KevG-78) sekä Iso-Hanhilehdon alueelta saadut hydrogeologiset koetulokset lisätään malliin. Näin voidaan paikata nykyisiä havaintopuutteita ja parantaa alueellista kattavuutta erityisesti niillä alueilla, jotka ovat aiemmin olleet heikosti edustettuina.

8. Viittaukset löytyvät alkuperäisestä englanninkielisestä raportista

Liitteet

- A. Tutkimuksessa käytetyt aineistot
- B. Hydrogeologiset johtavuusarvot
- C. Kalibroinnissa käytetyt kuukausikeskiarvot pohjaveden korkeuksista
- E. Pohjaveden korkeuden kartat ja virtaussuuntakartat
- F. Simuloidut pohjaveden alenemakartat
- G. Vuodenaikaisvaihtelun kuvaajat

Liite A – Aineistolähteet

Taulukko A-1 Yhteenveto keskeisimmistä aineistolähteistä, joita tutkimuksessa käytettiin

Vaihtoeto	Aineisto tyyppi	Tiedoston nimi	Viite/vastaanot-taja:	Komenntti
VE0+ ja VE1.3	Pohjaveden pinnan korkeustiedot	'GW dip measurements.xlsx' - Erilaisia, esim. "SB-01_2022-11-28_10-26-27-719.wsl" - Erilaisia, esim. 'DBH2 Database_un-til_07Oct2019' (myös DBH4–DBH7) ja esim. 'DBH-2_SO30015_539_Raw119 (Raw119–Raw122, myös DBH4, DBH5 ja DBH7)' - Kevitsa_GW_results_updated20231212.xlsx	Boliden	- Käsin tehdyt mittaukset SB-kairarei'istä. - Loggerin vedenpinnan mittausaineisto SB-kairarei'istä. - Värähtelevän langan pietsometrien (VWP) tietokannat ja raakadata. - Seurantakaivojen vedenpinnan mittaukset.
VE0+ ja VE1.3	Pohjaveden sisäänvir-taustiedot	'Monthly pit dewatering.xlsx' 'Kevitsa_WB_Model_Inputs.xlsx'	Boliden	- Mitatut louhoksen sisäänvirtaukset. - Ennustetut pohjaveden sisäänvirtaukset louhokseen (Boliden GoldSim-mallin syöte).
VE0+ ja VE1.3	Suojapumppausdata	'SUOJAPUMPPAUKSET 2022-2023_2024_SK.xlsx'	Boliden	Suojapumppausten pumppausmäärät
VE0+ ja VE1.3	Kuivatusoja	'Kevitsa_A-ja B-allas_4.6.2024_Piste-pilvi_maanpinta ja luotaus_KKJ3_N60_1m'	Boliden	Viittaa rikastushiekka-altaan B itäpuolella sijait-sevaan kuivatusojaan.
VE0+ ja VE1.3	Nykyinen louhoksen geometria	'Kevitsa_Eom_surfaces_2012-2023' (kansio)	Boliden	Nykyiset louhosmallit vuosilta 2012–2023 (vas-taanotettu 2.4.2023).

Vaihtoehto	Aineisto tyyppi	Tiedoston nimi	Viite/vastaanotaja:	Komenntti
VE0+	Vaiheen 4 louhoksen geometria	1. 'LOMP2024_PIT_EOY_surfaces_2023-2033.7z' (kansio)	Boliden	Vaiheen 4 louhosmallit (vastaanotettu 19.1.2024).
VE1.3	Vaiheen 5 louhoksen geometria	1. 'Big Stage 5 + Starter Pit.dxf' 2. 'Stage 5 + Starter pit yearly surfaces.zip'	Boliden	1. Vaiheen 5 ja tarvekilouhoksen louhosmallit toimitettiin yhtenä (vastaanotettu 16.4.2024). Huomioitava, että louhosvaiheiden rakentaminen menee osittain päällekkäin pintamaan poiston aikana ennen varsinaisen louhinnan aloitusta. 2. Tätä varten WSP pyysi Bolidenilta vuosittaiset vuoden lopun louhosmallit vuosilta 2023–2044 (vastaanotettu 13.5.2024), jotta jokainen rakennusvaihe saatiin kattavasti huomioitua mallinnuksessa.
VE0+	Tarvekilouhoksen geometria	'Stage5_starterpit_design.dxf'	Boliden	Tarvekilouhoksen louhosmalli (vastaanotettu 29.11.2024).
VE0+ ja VE1.3	Leapfrog-malli	'KOM_PROD_20231030.zip'	Boliden	Sisältää siirrokset ja geologiset mallit (vastaanotettu 3.11.2023).
VE0+ ja VE1.3	Rakojen tiedot	'RES Collars_05102022.csv' 'RES StructureOrient_05102022.csv' 'RES Survey_05102022.csv'	Boliden	Käytetty FracMan-mallin syötteinä.

Vaihtoeto	Aineisto tyyppi	Tiedoston nimi	Viite/vastaanot-taja:	Komenntti
VE0+ ja VE1.3	Rikastushiekka-altaan B suotoveden arviot (toiminnan aikana ja sulkemisvaiheessa)	'TSFB_251m_Seepage_13-03-2025.xlsx'	Golder (2022a)	Pieni päivitys Golder (2022a) suotovesi laskelmaan, julkaistu 13.3.2025.
VE0+ ja VE1.3	Rikastushiekka-altaan A suotoveden arviot (toiminnan aikana 2012–2022)	'19131142_Kevitsa TSFA Risk Assessment_FI_ENG(A0).pdf'	Golder (2021a)	Uuden datan puuttuessa vuosille 2012–2022 käytettiin aiemman tutkimuksen arvoja.
VE0+ ja VE1.3	Rikastushiekka-altaan A suotoveden arviot (toiminnan aikana 2023–2033)	'TSFA_Basal Seepage.xlsx'	WSP (2024b)	–
VE0+ ja VE1.3	Rikastushiekka-altaan A suotoveden arviot (sulkemisvaihe)	'1035-233 Kevitsa TSF - Seepage Results (for Distribution) Updated 2025-01-30.xlsx'	Okane	–
VE0+	Sivukivialueen suotovesiarviot (toiminnan aikana ja sulkemisvaiheessa, 2023 eteenpäin)	'1035-233-Seepage-WRSF-VE0+-2039-MEM-Regions.xlsx'	Okane	–
VE0+	Sivukivialueen suotovesiarviot (toiminnan aikana 2012–2022)	'1035-008 Kevitsa WRSF Monthly Seepage (for Golder and MEM).xlsx'	Okane	Uuden datan puuttuessa vuosille 2012–2022 käytettiin aiemman tutkimuksen arvoja.

Vaihtoeto	Aineisto tyyppi	Tiedoston nimi	Viite/vastaanot-taja:	Komenntti
VE1.3	Sivukivialueen suoto-vesiarviot (toiminnan aikana 2012–2017)	'1035-008 Kevitsa WRSF Monthly Seepage (for Golder and MEM).xlsx'	Okane	Uuden datan puuttuessa vuosille 2012–2017 käytettiin aiemman tutkimuksen arvoja.
VE1.3	Sivukivialueen suoto-vesiarviot (toiminnan aikana ja sulkemisvaiheessa, 2018 eteenpäin)	'1035-233 Kevitsa WRSF Seepage VE1.3 Timeseries - MEM Stages.xlsx'	Okane	Annettu data alkaa vuodesta 2018, joten tätä dataa on sovellettu sivukivialueeseen tästä vuodesta eteenpäin. Kaikki suotovesi ennen vuotta 2018 pysyy ennallaan aiemman mallin mukaisesti. Mikäli dataa ei ole ennen vuotta 2018 (vaiheet 4 ja 5), oletetaan ettei suotovettä ole.
VE1.3	Rikastushiekka-altaan A2 pohjan suotovesi (toiminnan aikana ja sulkemisvaiheessa)	'TSFA2_Seepage Calc_03Apr2025.xlsx'	WSP (2024c)	Nämä suotovesi tiedot toimitettu MEM:lle ja SRK:lle WSP:ltä. Yhtä kiinteää arvoa on käytetty sekä toiminnan aikana että sulkemisvaiheessa. Oletetaan, että rikastushiekka-allas A2 on olemassa 1.1.2027 alkaen. 20 % suotovestä katsotaan menetetyksi suotovedeksi (eli suotautumiseksi, jota ei voida palauttaa). Sulkemisvaiheen suotoveden oletetaan olevan 45 % toiminnan aikaisesta suotovedestä (WSP, 2024d).
VE1.3	Rikastushiekka-altaan A2 patojen suotovesi (toiminnan aikana ja sulkemisvaiheessa)	'318882-70096006_TSF A2 Advanced Liner Option Assessment_RevC_20March2024'	WSP (2024c)	Käytetty keskiarvo, josta 20 % katsotaan menetetyksi. Sulkemisvaiheen suotovesi oletetaan olevan 45 % käyttöajan suotovedestä (WSP, 2024d).
VE1.3	Iso Hanhilehto -louhoksen geometria	'Alenemakartion_Sade_LaajinKuiva-tus_pg.shp'	Boliden	–

Vaihtoeto	Aineisto tyyppi	Tiedoston nimi	Viite/vastaanot-taja:	Komenntti
VE0+ ja VE1.3	Natura 2000 rajat	'Natura.dxf'	AFRY	Julkaistu 24.4.2023

VE0+: Toiminta-aika viittaa ajanjaksoon tammikuu 2012 – joulukuu 2033, ellei toisin mainita; sulkemisvaihe alkaa vuodesta 2034 eteenpäin.

VE1.3: Toiminta-aika viittaa ajanjaksoon 2012–2044, ellei toisin mainita; sulkemisvaihe alkaa vuodesta 2045 eteenpäin.

Liite B – Yhteenveto hydrogeologisista testeistä

Taulukko B-1 Maanpinnan läheltä otettujen kenttäkokeiden perusteella saadut vedenjohtavuusarvot

Sijainti / näytetunnus	Testaus menetelmä	Testausväli (m maan- pinnan alapuolella)	VE0 pohjaveden pinnanalenema, m (rapautunut kallio) Vedenjohtavuuden vaihteluväli (m/s)		Yksikkö	Lähde
SBP-01A	Alenevan vedenpinnan syöttö (Falling head)	2.2 - 10.2	8x10 ⁻⁶	4x10 ⁻⁶	Moreeni	Golder, 2018
	Nousevan vedenpinnan syöttö (Rising head)	2.2 - 10.2	3x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵		
SBP-02A	Alenevan vedenpinnan syöttö	1.8 - 5.8	9x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁵		
	Nousevan vedenpinnan syöttö	1.8 - 5.8	7x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁵		
SBP-05A	Alenevan vedenpinnan syöttö	2.4 - 10.4	1x10 ⁻⁶	5x10 ⁻⁶		
	Nousevan vedenpinnan syöttö	2.4 - 10.4	3x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁵		
SBP-01B	Alenevan vedenpinnan syöttö	10.4 - 18.4	5x10 ⁻⁵	8x10 ⁻⁶	Rapautunut kalloperä	
	Nousevan vedenpinnan syöttö	10.4 - 18.4	4x10 ⁻⁵	7x10 ⁻⁶		
SBP-02B	Alenevan vedenpinnan syöttö	6.9 - 18.4	3x10 ⁻⁵	2x10 ⁻⁵		
	Nousevan vedenpinnan syöttö	6.9 - 18.4	4x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵		
SBP-04B	Alenevan vedenpinnan syöttö	6.3 - 14.3	4x10 ⁻⁵	2x10 ⁻⁵		
	Nousevan vedenpinnan syöttö	6.3 - 14.3	5x10 ⁻⁵	2x10 ⁻⁵		
KevG-50	Slug-testi (vedenpinnan palautumiskoe havaintoputke ssa)	0.5 – 3.5	2.60x10 ⁻⁶	9.00x10 ⁻⁶	Turve, rapautunut kallio & kallioperä	Geobotnia, 2020
KevG-51	Slug-testi (vedenpinnan palautumiskoe	0.8 – 3.8	7.40x10 ⁻⁶	1.30x10 ⁻⁵	Maaperä ² & kallioperä	

Sijainti / näytetunnus	Testaus menetelmä	Testausväli (m maan- pinnan alapuolella)	Vedenjohtavuuden vaihteluväli (m/s)		Yksikkö	Lähde
	havaintoputke ssa)					
KevG-52	Slug-testi (vedenpinnan palautumiskoe havaintoputke ssa)	1.9 – 5.9	7.80×10^{-6}	2.10×10^{-5}	Maaperä ² & kallioperä	
KevG-53	Slug-testi (vedenpinnan palautumiskoe havaintoputke ssa)	1.9 – 4.9	2.30×10^{-7}	5.30×10^{-6}	Turve & kallioperä	
KevG-54	Slug-testi (vedenpinnan palautumiskoe havaintoputke ssa)	0.2 – 4.2	3.90×10^{-6}	1.60×10^{-5}	Moreeni & kallioperä	
KevG-57	Slug-testi (vedenpinnan palautumiskoe havaintoputke ssa)	0.7 – 4.7	2.50×10^{-7}	1.00×10^{-6}	Maaperä ² & rapautunut kallio	
KevG-A101	Vakiovirtaa- man syöttö (Constant Rate)	9 – 19	5.32×10^{-5}		Rapautunut kallio & kallioperä	Golder, 2020b
KevG-A102	Vakiovirtaa- man syöttö	9 – 25	2.31×10^{-6}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A103	Asteittainen vedenpinnan alenema	9 – 19	1.50×10^{-5}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A104	Vakiovirtaa- man syöttö	6 – 22	8.10×10^{-6}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A105	Vakiovirtaa- man syöttö	3 – 16	5.79×10^{-6}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A106	Vakiovirtaa- man syöttö	6 – 31	9.26×10^{-6}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A107	Asteittainen vedenpinnan alenema (Step drawdown)	6 – 31	1.16×10^{-6}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A108	Vakiovirtaa- man syöttö	9 – 16	1.74×10^{-5}	2.20×10^{-5}	Kallioperä	
KevG-A109	Vakiovirtaa- man syöttö	12 – 19	1.16×10^{-6}		Kallioperä	
KevG-A110	Vakiovirtaa- man syöttö	9 – 16	1.85×10^{-5}		Rapautunut kallio & kallioperä	

Sijainti / näytetunnus	Testaus menetelmä	Testausväli (m maan- pinnan alapuolella)	Vedenjohtavuuden vaihteluväli (m/s)		Yksikkö	Lähde
KevG-A111	Vakiovirtaa- man syöttö	6 – 19	6.94×10^{-6}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A112	Vakiovirtaa- man syöttö	3 – 16	1.16×10^{-6}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-14	Alenevan vedenpinnan syöttö	4 – 7 ³	1.74×10^{-5}		Turve & rapautunut kallio	
KevG-30	Alenevan vedenpinnan syöttö	1 – 5	3.82×10^{-5}		Moreeni & rapautunut kallio	
KevG-34	Alenevan & nousevan vedenpinnan syöttö	5 – 8	1.16×10^{-6}	2.31×10^{-6}	Moreeni	
KevG-40a	Nousevan vedenpinnan syöttö	2.6 – 5.6	3.01×10^{-5}		Moreeni	
KevG-55	Alenevan vedenpinnan syöttö	0 – 3	4.64×10^{-5}		Maaperä ² & rapautunut kallio	WSP, 2023b
KevG-72	Alenevan vedenpinnan syöttö	2 – 6	9.00×10^{-6}		Moreeni	
KevG-73k	Alenevan vedenpinnan syöttö	N/A ⁴	1.15×10^{-6}		Rapautunut kallio	
KevG-73	Alenevan vedenpinnan syöttö	5 – 9	1.25×10^{-6}		Moreeni	
KevG-A201	Vakiovirtaa- man syöttö	6 – 24	2.03×10^{-6}		Rapautunut kallio & kallioperä	WSP, 2023a
KevG-A202	Vakiovirtaa- man syöttö	6 – 18	1.18×10^{-4}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A203	Vakiovirtaa- man syöttö	6 – 15	1.79×10^{-4}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A205	Vakiovirtaa- man syöttö	6 – 18	8.26×10^{-6}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A206	Vakiovirtaa- man syöttö	6 – 21	1.42×10^{-6}		Kallioperä	
KevG-A207	Vakiovirtaa- man syöttö	4.7 – 15	2.54×10^{-5}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A209	Vakiovirtaa- man syöttö	6 – 18	1.66×10^{-5}		Rapautunut kallio & kallioperä	
KevG-A210	Vakiovirtaa- man syöttö	7.5 – 15	3.87×10^{-6}		Kallioperä	

Sijainti / näytetunnus	Testaus menetelmä	Testausväli (m maan- pinnan alapuolella)	Vedenjohtavuuden vaihteluväli (m/s)		Yksikkö	Lähde
KevG-A208	Alenevan & nousevan vedenpinnan syöttö	9 – 24	1.88x10 ⁻⁶	2.31x10 ⁻⁶	Kallioperä	

Huomautuksia:

¹Raotetun siiviläosuuden/putkiosan syvyys ja avoin pohjavesiputki on käytetty testausvälinä.

²Lokitiedot puutteelliset, tulkittu että maaperä peittää kallioperän.

³Lokitiedot puutteelliset, raotettujen osien syvyydet tulkittu.

⁴Lokitiedot osoittavat, että pohjavesiputki on asennettu umpinaisella putkella reiän pohjaan asti. Tulkitaan, että putken pohjaa ei ole suljettu.

Taulukko B-2 Maanpinnan läheltä otettujen moreeninäytteiden laboratorionkokeiden perusteella saadut vedenjohtavuusarvot

Sijainti / näytetunnus	Testaus menetelmä	Testausväli (m maan- pinnan alapuolella)	Vedenjohtavuuden vaihteluväli (m/s)	Yksikkö	Lähde
T77	Laboratorio	0.8 - 1.2	1.7x10 ⁻⁹	Moreeni	Geobotnia, 2010b
T82	Laboratorio	1.8 - 2.2	1.9x10 ⁻⁹		
T87	Laboratorio	0.4 - 0.7	1.9x10 ⁻⁸		
T95	Laboratorio	0.9 - 1.1	2.2x10 ⁻⁹		
T101	Laboratorio	1.9 - 2.1	7.3x10 ⁻¹⁰		
T109	Laboratorio	1.9 - 2.1	7.0x10 ⁻⁸		
T115	Laboratorio	0.8 - 1.1	4.8x10 ⁻¹⁰		
T125	Laboratorio	1.4 - 1.6	1.4x10 ⁻⁷		
T129	Laboratorio	1.8 - 2.1	6.7x10 ⁻⁸		
T133	Laboratorio	0.8 - 1.2	1.4x10 ⁻⁹		
T139	Laboratorio	1.9 - 2.1	2.5x10 ⁻⁷		
T145	Laboratorio	0.9 - 1.1	1.3x10 ⁻⁶		
T145	Laboratorio	1.9 - 2.1	4.4x10 ⁻⁸		

Taulukko B-3 Syvältä maasta otettujen kenttäkokeiden perusteella saadut vedenjohtavuusarvot

Näyetun- nus	Testausmene- telmä	Testausväli (m maan- pinnan alapuolella)	Vedenjohtavuus (m/s)	Geologia	Lähde	
DBH1	Monia – asteittainen, alenevan paine korkeuden vedenpinnan syöttö ja vakiovirtaaman syöttö käyttäen vesimenekkikoe- järjestelyä	30-150	1.4E-07	Ehyempi kallioperä– Yläosa, Keskiosa, Alaosa	Golder, 2016	
		150-380	6.4E-10			
		380-550	8.4E-09			
DBH2		30-150	6.3E-07			
		150-380	9.1E-08			
		380-550	2.1E-09			
DBH3		30-150	6.9E-09			
		150-380	1.4E-09			
		380-550	1.8E-09			
DBH4		30-150	3.4E-08			
		150-380	7.7E-09			
		380-550	-			
DBH5		30-150	9.1E-07			
		150-380				
		380-550				
DBH6		30-150	3.5E-08			
		150-380	7.7E-09			
		380-550	-			
DBH7		30-150	2.9E-06			
		150-380	6.6E-09			
		380-550	-			

Liite C – Pohjaveden pinnan kuukausikeskiarvot

Taulukko C-1 Kuukausittaiset keskimääräiset pohjavedenpinnat (m mpy) värähtelevän langan pietsometreille (VWP), jotka sijaitsevat avolouhoksella.

Päivämäärä	DBH2 VW1	DBH2 VW3	DBH4 VW1	DBH4 VW2	DBH4 VW3	DBH5 VW1	DBH5 VW2	DBH5 VW3	DBH6 VW1	DBH6 VW2	DBH6 VW3	DBH7 VW1	DBH7 VW2	DBH7 VW3
15/09/2017												228.91		
15/10/2017												228.30		
15/11/2017												227.18		
15/12/2017												226.72		
15/01/2018			182.60	179.21	145.71	214.82	211.70	189.46	216.32	199.88	173.62	226.12	209.30	213.30
15/02/2018			182.85	179.29	142.41	214.50	211.69	188.77	216.15	199.43	171.71	225.71	208.87	212.91
15/03/2018			182.98	179.28	141.00	214.00	212.51	187.59	215.53	199.15	169.88	225.07	208.17	212.14
15/04/2018			184.08	179.89	140.93	213.93	212.12	186.67	214.70	199.19	169.32	224.79	207.77	211.85
15/05/2018			184.14	179.97	142.34	215.08	211.41	186.93	214.61	198.83	168.95	225.81	208.69	212.44
15/06/2018			188.85	185.24	145.93	215.18	223.67	186.08	214.40	198.65	168.65	226.18	208.79	212.15
15/07/2018			188.04	184.43	148.91	214.70	226.00	185.34	214.46	198.61	168.39	226.34	208.80	211.85
15/08/2018			187.79	183.86	150.07	214.10	226.00	184.30	214.47	198.55	168.15	226.04	208.49	211.41
15/09/2018														
15/10/2018	211.49	142.95	188.35	183.59	155.89	214.53	211.13	182.95	214.46	198.06	165.95	226.32	208.98	211.23
15/11/2018	211.40	142.99	188.69	182.60	157.83	213.84	210.38	182.19	214.70	202.75	165.89	226.30	208.90	210.85
15/12/2018	211.20	142.72	188.07	181.68	159.57	212.81	209.18	180.50	214.60	201.94	166.26	225.80	208.29	209.61
15/01/2019	210.86	142.50	187.02	180.36	161.29	212.40	208.61	179.82	214.24	200.46	164.77	225.07	207.68	208.61
15/02/2019	210.69	143.07	186.19	178.86	162.58	211.97	208.07	177.71	214.16	199.78	163.36	224.38	207.15	207.84
15/03/2019	210.54	144.34	185.86	178.22	163.84	211.58	207.63	176.26	214.12	199.27	162.60	223.58	206.39	207.11
15/04/2019	211.72	143.50	186.89	178.78	165.41	212.12	208.06	175.88	214.88	199.78	163.08	223.76	206.78	207.38
15/05/2019	211.76	143.75	188.24	179.94	167.38	212.92	208.93	176.42	214.97	199.49	163.34	224.91	208.06	208.52
15/06/2019	211.54	144.12	188.18	181.23	170.03	212.39	208.39	175.82	214.86	198.57	163.07	225.32	208.55	208.88
15/07/2019	211.75	144.27	188.42	181.68	172.72	210.52	206.56	175.26	214.88	198.24	161.99	225.48	208.76	208.80
15/08/2019	211.36	144.33	187.82	181.09	175.09	207.85	203.87	172.92	214.69	196.43	158.12	224.72	208.12	207.81
15/09/2019	211.14	143.80	186.37	179.78	176.80	206.63	202.65	171.50	214.60	194.96	152.27	223.60	206.90	206.13
15/10/2019	210.99	143.56	185.54	179.27	177.69	205.26	201.21	168.56	214.43	194.48	149.76	222.33	205.61	204.51
15/11/2019	210.89	143.75	184.63	178.85	178.72	203.30	199.34	160.99	214.25	194.26	148.58	220.94	204.32	202.32
15/12/2019	210.72	144.28	184.05	178.20	179.47	200.95	197.25	157.50	213.99	193.47	147.00	219.00	202.58	200.54
15/01/2020	210.61	144.50	183.56	177.90	181.41	198.94	195.42	154.34	214.07	192.70	145.45	217.26	200.94	198.45
15/02/2020	210.46	145.46	183.27	177.75	182.75	196.21	192.71	152.34	213.46	192.29	145.05	215.47	199.08	196.32
15/03/2020	210.66	144.76	183.47	177.93	183.49	195.17	192.11	151.11	214.00	191.14	143.42	214.23	197.98	194.88
15/04/2020	211.26	149.36	185.66	179.68	184.60	194.26	190.98	149.75	214.04	192.21	142.64	213.99	197.82	194.28

Päivämäärä	DBH2 VW1	DBH2 VW3	DBH4 VW1	DBH4 VW2	DBH4 VW3	DBH5 VW1	DBH5 VW2	DBH5 VW3	DBH6 VW1	DBH6 VW2	DBH6 VW3	DBH7 VW1	DBH7 VW2	DBH7 VW3
15/05/2020	212.55	151.06	186.88	177.21	185.11	194.45	191.31	151.59	215.12	192.03	142.72	217.16	200.97	195.58
15/06/2020	212.32	157.23	186.02	176.43	184.58	193.65	190.83	154.50	215.12	190.83	141.44	215.94	200.21	195.67
15/07/2020	212.19	157.60	185.81	176.77	184.65	192.54	189.54	152.03	215.45	190.04	139.95	213.47	198.14	193.20
15/08/2020	211.74	157.11	183.72	175.73	185.22	189.22	187.33	147.48	214.55	188.57	138.08	212.27	197.32	190.16
15/09/2020	211.44	157.11	182.70	174.70	185.21	187.61	184.62	144.84	214.84	188.26	137.06	211.18	196.70	188.80
15/10/2020	211.43	156.67	181.98	174.16	185.33	186.81	184.20	142.94	214.96	188.17	136.69	210.34	196.38	187.59
15/11/2020	212.00	156.76	183.18	174.85	185.70	186.83	184.39	142.82	215.12	188.17	136.64	210.55	196.93	187.42
15/12/2020	211.64	157.06	180.44	172.43	185.84	185.69	183.43	141.39	214.69	187.19	135.77	210.16	197.06	186.83
15/01/2021	211.29	157.67	178.52	170.90	185.39	184.56	182.42	140.01	214.45	186.60	134.83	209.28	196.65	185.90
15/02/2021	211.08	158.73	177.77	170.40	185.07	182.61	180.58	135.86	213.98	185.50	134.36	208.34	196.11	184.80
15/03/2021	210.95	158.66	177.94	169.77	184.78	182.26	180.15	134.02	213.14	183.24	133.58	206.92	195.16	183.50
15/04/2021	211.52	158.32	185.37	175.20	185.61	185.68	183.75	132.68	214.57	185.20	133.60	207.03	195.47	183.55
15/05/2021	211.75	160.86	184.64	175.15	186.26	184.93	183.62	132.42	213.01	184.37	132.54	208.15	196.90	184.08
15/06/2021	212.22	168.09	183.51	174.77	186.76	181.93	180.72	130.33	207.20	180.65	131.07	209.96	199.11	184.14
15/07/2021	211.94	167.45	181.48	174.38	187.28	181.30	180.16	128.66	206.59	178.01	128.12	210.51	200.34	183.34
15/08/2021	212.03	167.26	179.55	172.69	187.66	181.51	180.44	128.03	205.10	175.38	126.48	209.96	200.56	183.10
15/09/2021	211.89	166.51	178.84	172.27	187.71	181.37	180.50	127.43	203.68	172.28	123.92	208.99	200.16	182.73
15/10/2021	212.15	166.33	180.18	173.09	187.74	181.63	180.88	125.81	203.56	171.06	122.41	208.43	199.97	182.44
15/11/2021	212.39	165.66	179.72	173.22	187.94	181.36	180.96	124.28	203.38	170.19	121.41	207.91	199.95	182.47
15/12/2021	211.62	164.78	177.54	171.36	187.71	178.05	177.79	122.01	201.63	168.25	119.76	206.23	199.04	181.46
15/01/2022	211.08	164.50	176.42	169.87	187.13	176.36	176.19	120.80	197.30	166.69	118.19	204.76	197.89	180.27
15/02/2022	210.79	164.09	174.39	167.65	185.67	174.21	174.10	119.96	195.40	166.31	117.31	203.27	196.70	179.38
15/03/2022	210.91	163.88	171.92	164.29	183.99	172.97	173.13	117.24	193.30	163.22	116.41	202.06	195.66	178.52
15/04/2022	211.18	164.19	173.28	164.42	182.47	170.62	170.61	115.12	191.79	162.08	115.23	200.64	194.05	177.11
15/05/2022	211.54	164.21	174.39	165.63	182.22	169.87	170.04	112.60	189.33	161.20	114.94	200.79	193.95	176.50
15/06/2022	211.51	164.34	173.85	164.69	181.79	169.22	169.42	109.90	187.90	159.18	113.69	200.50	193.45	175.79
15/07/2022	211.44	164.92	173.83	164.02	181.13	167.38	167.95	110.34	187.08	157.21	112.49	200.37	192.86	175.70
15/08/2022	211.81	164.96	174.83	164.65	180.39	165.35	165.70	110.23	186.15	154.41	111.55	199.92	191.54	175.66
15/09/2022	211.56	164.47	174.11	163.77	179.93	164.18	164.58	107.63	185.28	152.74	110.61	198.89	190.62	174.46
15/10/2022	211.38	164.71	173.12	162.60	179.38	163.46	163.82	106.41	184.21	150.82	109.14	197.98	189.95	173.56
15/11/2022	211.67	164.98	172.53	162.19	178.94	164.40	165.09	106.90	183.04	149.48	108.33	198.11	189.84	173.47
15/12/2022	211.27	164.81	170.22	159.36	178.18	162.15	162.87	106.53	182.13	148.15	106.81	197.37	188.99	172.42
15/01/2023	211.00	164.46	167.70	154.94	175.44	161.54	162.11	102.08	181.11	145.31	105.37	196.98	188.26	170.99

Päivämäärä	DBH2 VW1	DBH2 VW3	DBH4 VW1	DBH4 VW2	DBH4 VW3	DBH5 VW1	DBH5 VW2	DBH5 VW3	DBH6 VW1	DBH6 VW2	DBH6 VW3	DBH7 VW1	DBH7 VW2	DBH7 VW3
15/02/2023	210.78	164.46	166.30	153.24	173.07	160.90	161.61	100.42	180.91	143.67	103.82	196.53	187.34	169.95
15/03/2023	210.62	164.64	165.25	151.91	171.17	160.94	161.41	99.69	180.65	143.57	103.89	196.10	186.46	169.59
15/04/2023	211.87	165.50	169.13	154.91	170.12	162.12	162.71	97.65				196.75	180.11	169.46
15/05/2023	212.18	165.74	170.87	156.55	171.49	160.18	161.16	99.20				198.27		170.79
15/06/2023	211.83	165.49	169.26	155.37	170.72	159.91	160.84	97.94				198.18		171.96
15/07/2023	211.40	165.40	167.27	153.72	170.24	159.01	159.90	95.99				197.85		171.44
15/08/2023	211.99	166.59	168.25	154.62	169.92	160.20	160.99	96.26				197.80		170.40
15/09/2023	213.13	167.61	172.09	157.69	170.36	162.72	163.16	96.49				198.40		170.64
15/10/2023	212.92	166.82	172.40	158.08	171.12	165.40	166.01	96.41				198.31		169.95
15/11/2023	211.92	166.32	168.54	154.74	171.02	168.94	169.32	95.62				197.54		169.02

Taulukko C-2 Kuukausittaiset keskimääräiset pohjavedenpinnat (m mpy) havaintoputkille Kevitsan alueella.

Päivämäärä	KevG 15	KevG 16	KevG 30	KevG 31	KevG 32	KevG 34	KevG 35	KevG 37	KevG 39	KevG 40	KevG 41	KevG 5	KevG 7	KevG 11	KevG 12	KevG 55	KevG 72	KevG 73
15/10/2017																		
15/11/2017																		
15/12/2017																		
15/01/2018			223.05			231.17												
15/02/2018				235.74		229.14			238.33	218.08	229.67							
15/03/2018	226.19			236.47	227.68	230.78			238.16		229.67							
15/04/2018	226.13			235.22	227.76	230.53			238.01	217.48	229.18	216.62	216.37					
15/05/2018	227.07	229.1	222.98	238.04	227.79	232.08	244.31	227.8	241.18		230.37							
15/06/2018	226.65	228.91	222.96	237.62		231.67	243.45	227.87	239.81	217.545	230.195	216.85						
15/07/2018		228.77	222.94	239.46	227.53	231.25		227.79	239.01	217.46								
15/08/2018																		
15/09/2018																		
15/10/2018	226.85			237.5	227.49	231.44		227.15	239.17		230.33		216.58		227.57			
15/11/2018	226.82			237	227.57	231.38			239.1		230.16							
15/12/2018	226.73			236.8	227.47	231.45			239.27		230.17							
15/01/2019	226.52			237.5	227.46	231.31			238.55		230.01							
15/02/2019				236.25	227.44	231.07					229.97							
15/03/2019	226.47			235.84	227.43	230.92			237.12		229.84							
15/04/2019	226.4			235.36	227.44	230.67			237		229.64	216.56	216.36		226.59			
15/05/2019	227.2	229.18	222.68	237.98	227.52	232.08		227.71	239.89		230.19							
15/06/2019	226.7	228.99	222.66	237.6	227.44	231.55		227.66	239.79		229.88	217.03	216.6		227.82			
15/07/2019	226.77	229.01	222.62	238.06	227.5	231.34		227.7	239.75		230.05							
15/08/2019	226.43	228.9	222.66	237.18	227.51	231.1		227.63	238.65	217.06	229.96	216.56	216.35		226.28			
15/09/2019	226.62	228.86	222.65	239.16	227.51	230.98		227.63	238.25	216.79	230.22							
15/10/2019	226.79	228.87	222.66	239.6	227.54	230.88		227.64	237.91	216.7	230.28	216.75	216.45					
15/11/2019	226.8		222.71		227.58	230.72			237.77	216.55	230.22							
15/12/2019	226.71			238.82	227.49	230.67			237.6	216.5	230.11							
15/01/2020	226.66			237.17	227.48	230.62			237.47	216.36	230.02							
15/02/2020	226.56			237.16	227.49	230.82			237.45	216.35	230.01							
15/03/2020	226.56			237.44	227.49	230.87			235.47	216.32	230.07							
15/04/2020	226.64			238.36	227.5	230.86			237.48	216.53	230.12	216.4	216.25		226.16			

Päivämäärä	KevG 15	KevG 16	KevG 30	KevG 31	KevG 32	KevG 34	KevG 35	KevG 37	KevG 39	KevG 40	KevG 41	KevG 5	KevG 7	KevG 11	KevG 12	KevG 55	KevG 72	KevG 73
15/05/2020	227.11		222.84	238.45	227.56	232.41			240.57	217.08	230.28							
15/06/2020	226.95	229.18	222.77	238.38	227.47	232.16		227.77	240.52	216.88	230.11	216.67	216.47		227.69	226.06		
15/07/2020	226.75	229.08	222.79	237.81	227.56	231.14		227.77	239.47	216.85	230.03					226.17		
15/08/2020	226.55	229.06	222.77	237.58	227.41	231.74		227.73	239.2	216.76	230.15	216.75	216.39		228.44	226.06		
15/09/2020	226.75	229.08	222.76	237.11	227.4	231.85		227.79	238.88	216.67	230.21					226.07		
15/10/2020	226.77			236.73	227.52	231.86			238.55	216.95	230.19	216.96	216.49		227.17	226.15		
15/11/2020	226.98	229.17	222.76	237.54	227.57	232.04		227.83	239.65	216.92	230.25					226.18		
15/12/2020	226.71			237.18	227.54	231.84			239.06	216.64	230.05					226.15		
15/01/2021	226.59			236.46	227.39	231.61			238.54	216.27	229.97							
15/02/2021	226.46			236.37	227.49	231.38			238.09	216.2	229.85					226.05		
15/03/2021	226.43			236.18	227.48	231.24			237.97	216.16	229.84					225.99		
15/04/2021	226.49		222.87	235.98	227.51	231.11			237.8	217.51		216.78	216.46		226.79	226.15		
15/05/2021	227.43	229.27	222.76	238.32	227.64	232.36		227.84	241.13	217.03			216.5		227.98	226.22		
15/06/2021	227.15	229.21	222.76	238.2	227.53	232.19		227.79	240.66	216.89	230.23	216.93				226.16		
15/07/2021	226.51	229.01	222.69	238.16	227.36	231.7				216.81	229.92							
15/08/2021	226.88	229.08	222.51	238.66	227.55	231.73		227.78	238.69	216.92	230.2	216.97	216.54		227.34	226.16		
15/09/2021	226.81	229.05	222.4	239.09	227.53	231.72				216.84	230.23							
15/10/2021	226.87	229.06	222.45	238.72	227.67	231.69		227.79	238.43	217.1	230.26	216.8	216.54		227.34	226.13		
15/11/2021	227.23				227.54	232.31				216.91	230.39							
15/12/2021	226.89				227.51	231.81				216.61								
15/01/2022	226.75				227.5	231.53				216.34								
15/02/2022	226.64				227.29	231.37				216.24								
15/03/2022	226.59				227.48	231.2				216.15								
15/04/2022	226.62				227.46	231.09			237.75	217.12		216.55	216.29		226.8	226.06		
15/05/2022	227.46	229.22	221.2	237.87	227.57	232.17				216.9						226.16		
15/06/2022	227.07	229.12	221.12	238.04	227.53	231.86		227.74	240.43	216.9	230.17	216.86	216.46	234.34	227.79			
15/07/2022	226.5	229	220.74	237.19	227.46	231.63				216.87	229.82							
15/08/2022	226.61	229.01	220.83	237.77	227.54	231.57		227.72	238.78	216.88	229.92	216.78	216.45		227.3	226.13		
15/09/2022	226.57	228.99	220.69	237.86	227.49	231.54				216.72	230.15							
15/10/2022	226.72	229.01	220.93	237.5	227.64	231.49		227.78	238.25	217.06	230.11	216.83	216.46		227.02	226.18	224.26	
15/11/2022	226.88		221.01	237.53	227.55	231.45				216.84	230.12							
15/12/2022	226.63		220.7	237.11	227.48	231.36				216.61	229.97							
15/01/2023	226.54		220.67	236.65	227.49	231.31				216.4	229.85							

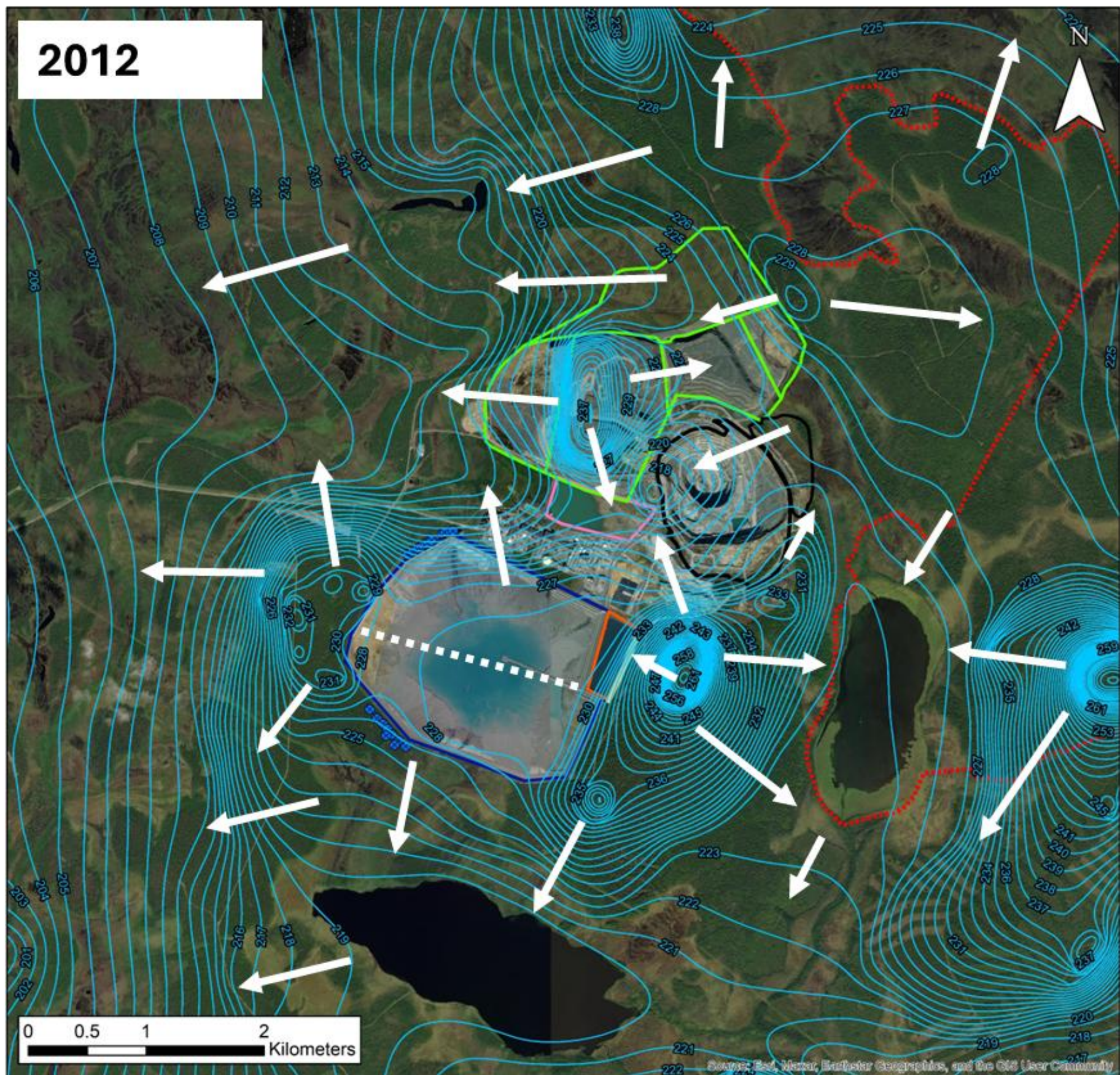
Taulukko C-3 Kuukausittaiset keskimääräiset pohjavedenpinnat (m mpy) SB-havaintoputkille, jotka sijaitsevat lähellä sivukivialuetta.

Päivämäärä	SB 01	SB 07	SBP 01B	SBP 02A	SBP 02B	SBP 04A	SBP 04B	SBP 05A
15/09/2017								
15/10/2017								
15/11/2017								
15/12/2017								
15/01/2018								
15/02/2018								
15/03/2018								
15/04/2018	218.02	226.39	211.51	213.34	212.98	223.73	223.19	228.08
15/05/2018								
15/06/2018								
15/07/2018								
15/08/2018	217.55			213.07	212.93	222.94	222.82	227.91
15/09/2018	217.55			213.25	213.06	223.13	223.07	228.05
15/10/2018		227.01		213.089	212.87		223.21	227.91
15/11/2018		226.98		213.111	212.89		223.20	227.94
15/12/2018		226.72		213.00	212.77		223.02	227.81
15/01/2019		226.24		212.79	212.58		222.64	227.61
15/02/2019		225.80		212.60	212.40		222.22	227.43
15/03/2019		225.67		212.52	212.32		221.70	227.36
15/04/2019		226.37		212.73	212.52		221.29	227.76
15/05/2019		227.07		213.24	213.01		223.89	228.57
15/06/2019		227.09		213.15	212.93		223.95	228.15
15/07/2019		227.08		213.05	212.83		223.66	227.98
15/08/2019		227.04		212.70	212.48		222.98	227.51
15/09/2019		226.92		212.66	212.44		222.51	227.28
15/10/2019		226.87		212.83	212.60		222.18	227.27
15/11/2019		226.35		212.76	212.54		222.05	227.23
15/12/2019		225.98		212.68	212.46		221.76	227.08
15/01/2020		225.71		212.60	212.39		221.40	226.67
15/02/2020		225.44		212.53	212.32		221.11	226.44
15/03/2020		225.52		212.46	212.27		220.89	226.29
15/04/2020		225.94		212.54	212.33		220.67	226.24

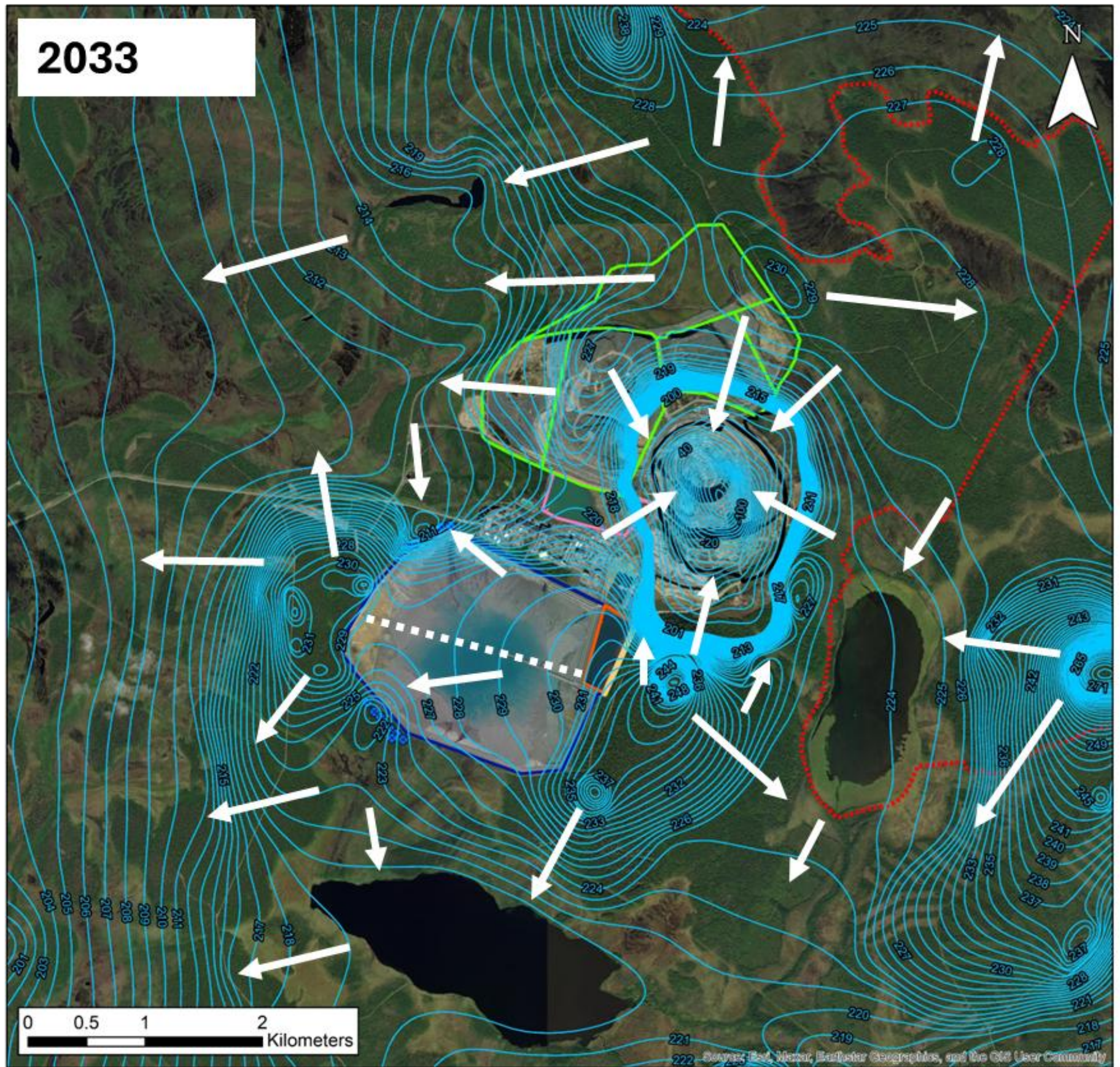
Päivämäärä	SB 01	SB 07	SBP 01B	SBP 02A	SBP 02B	SBP 04A	SBP 04B	SBP 05A
15/05/2020		227.10		213.23	213.00		222.78	227.73
15/06/2020		227.09		213.11	212.89		224.26	227.08
15/07/2020		227.11		213.14	212.92		223.70	226.94
15/08/2020		227.05		212.93	212.71		223.30	226.96
15/09/2020		226.88		212.87	212.65		222.87	226.86
15/10/2020		226.94		213.02	212.80		222.78	227.19
15/11/2020		227.01		213.19	212.97		223.50	227.26
15/12/2020		226.74		213.06	212.84		223.26	227.22
15/01/2021		226.37		212.88	212.66		222.87	227.19
15/02/2021		226.00		212.68	212.48		222.50	227.16
15/03/2021		225.79		212.58	212.38		222.10	227.13
15/04/2021		226.73		213.01	212.80		221.96	227.29
15/05/2021		227.06		213.27	213.06		224.00	227.34
15/06/2021		226.90		213.09	212.87		223.77	227.28
15/07/2021		226.51		212.81	212.59		223.20	227.24
15/08/2021		226.86		212.99	212.76		222.93	227.25
15/09/2021		226.74		213.02	212.79		222.98	227.23
15/10/2021		226.98		213.17	212.95		223.30	227.30
15/11/2021		227.01		213.22	213.01		223.96	227.31
15/12/2021		226.56		212.99	212.78		223.30	227.24
15/01/2022		226.12		212.78	212.58		222.80	227.21
15/02/2022		225.81		212.64	212.45		222.38	227.19
15/03/2022		225.74		212.59	212.40		221.90	227.17
15/04/2022		226.19		212.88	212.68		221.53	227.28
15/05/2022		226.93		213.27	213.05		223.72	227.33
15/06/2022		226.87		213.08	212.86		223.80	227.29
15/07/2022		226.77		212.88	212.65		223.11	
15/08/2022		226.78		212.94	212.71		222.91	
15/09/2022		226.58		212.80	212.59		222.66	
15/10/2022		226.90		212.96	212.75		222.53	
15/11/2022		226.93		213.09	212.86		222.94	
15/12/2022					212.69		222.80	
15/01/2023					212.53		222.41	

Päivämäärä	SB 01	SB 07	SBP 01B	SBP 02A	SBP 02B	SBP 04A	SBP 04B	SBP 05A
15/02/2023					212.42		221.99	
15/03/2023					212.32		221.53	
15/04/2023					212.25		220.90	
15/05/2023								
15/06/2023								
15/07/2023								
15/08/2023								
15/09/2023								
15/10/2023								
15/11/2023								

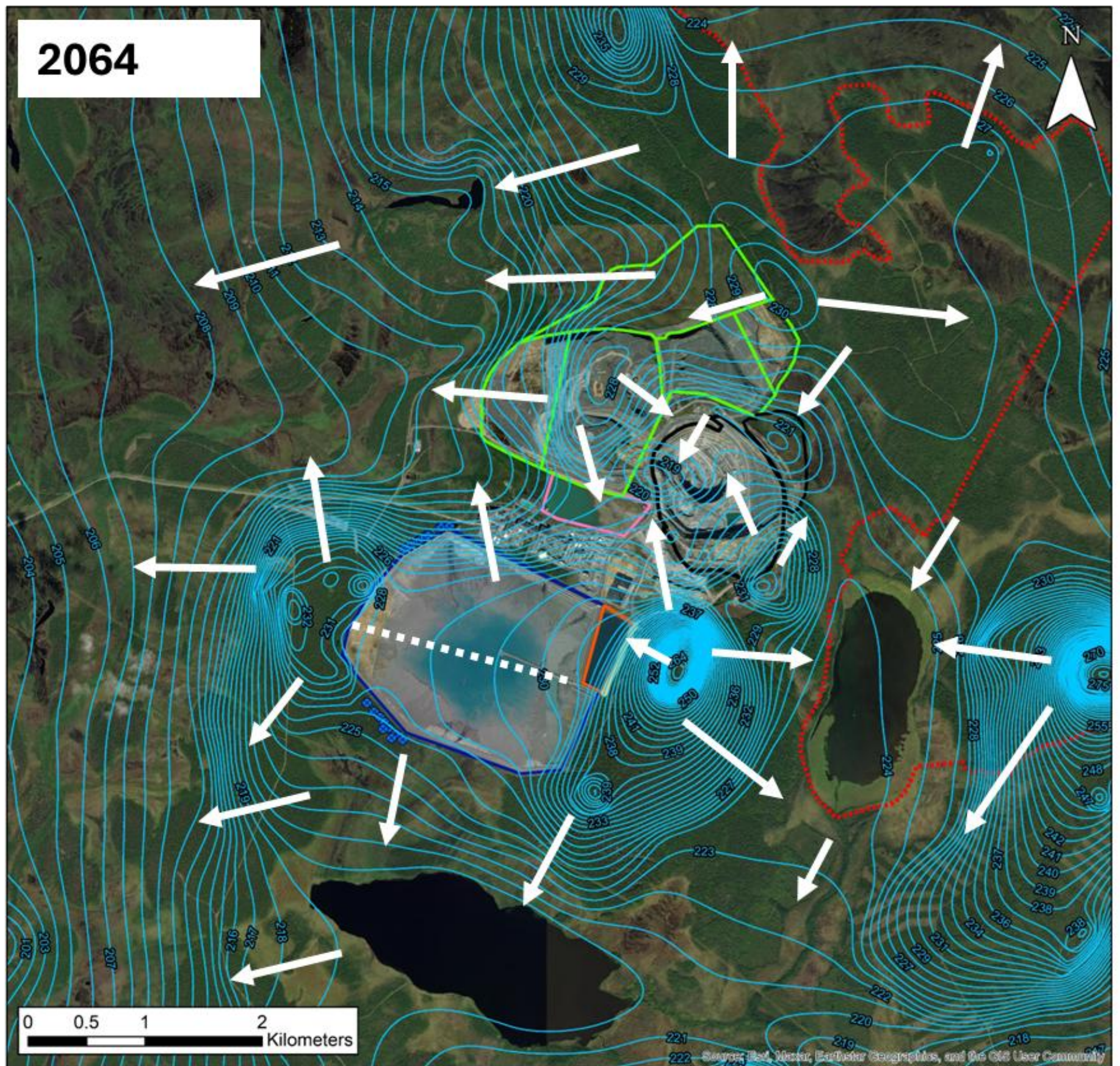
Liite E1 – Pohjavedenpinta ja virtaussuunta skenaariolle VE0+



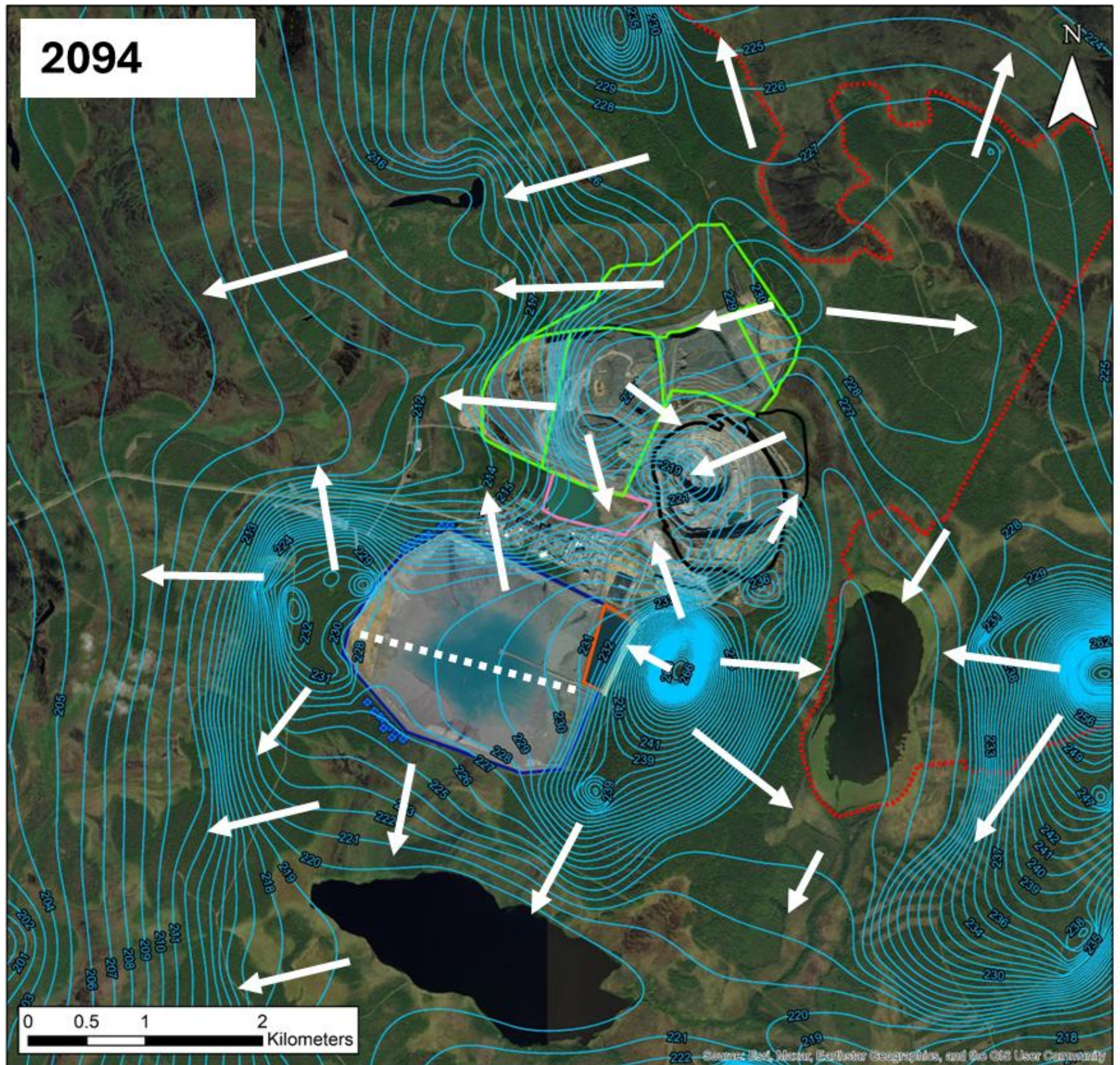
Kuva E1-1 Pohjavedenpinnan ja virtaussuunnan kartta ennen kaivostoiminnan alkua. (2012).



Kuva E1-2 Pohjavedenpinnan ja virtaussuunnan kartta kaivostoiminnan aikana. (VE0+, 2033).

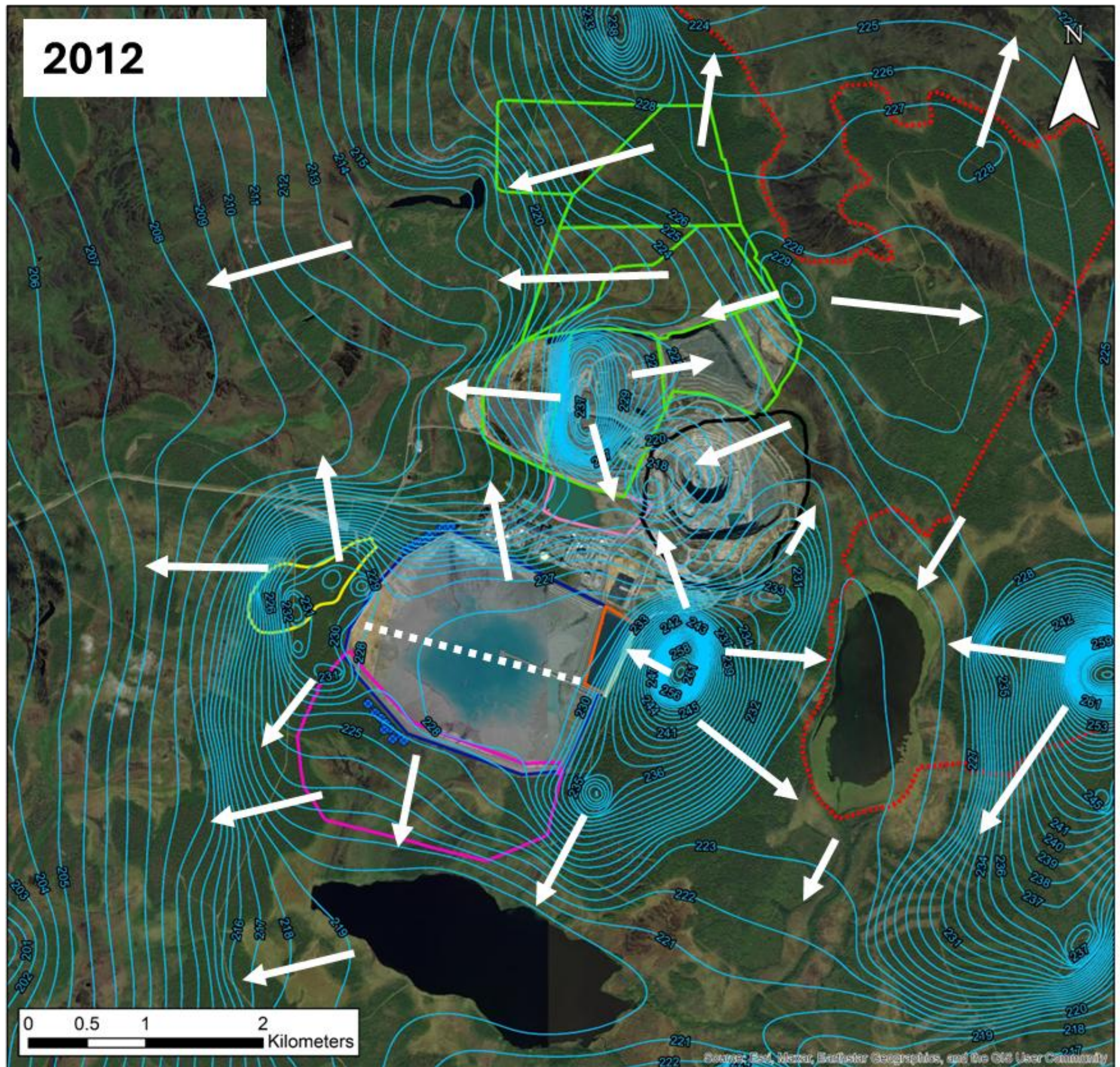


Kuva E1- Pohjavedenpinnan ja virtaussuunnan karta sulkemisvaiheessa (VE0+, 2064).

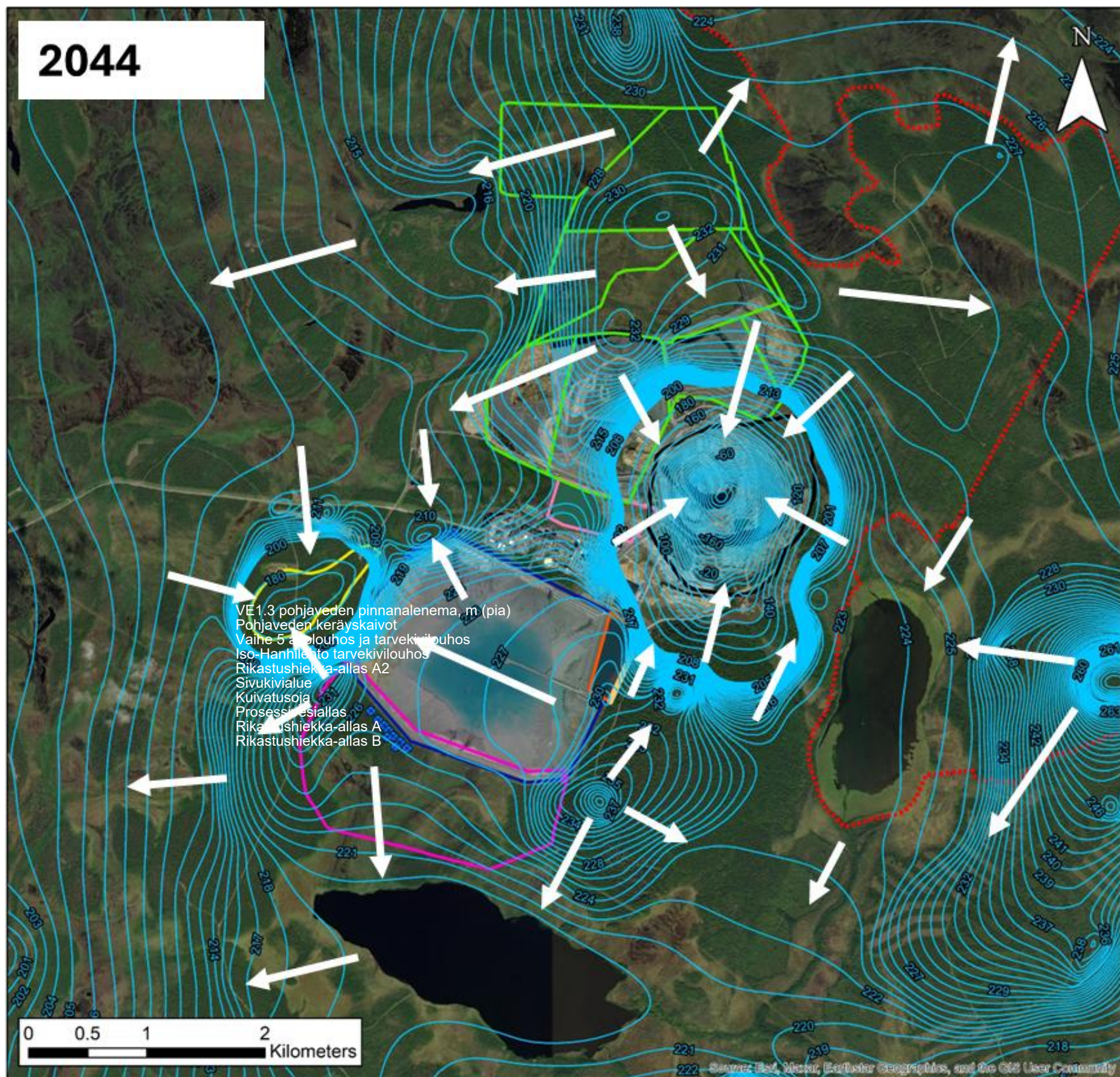


Kuva E1-4 Pohjavedenpinnan ja virtaussuunnan kartta sulkemisvaiheelle (VE0+, 2094).

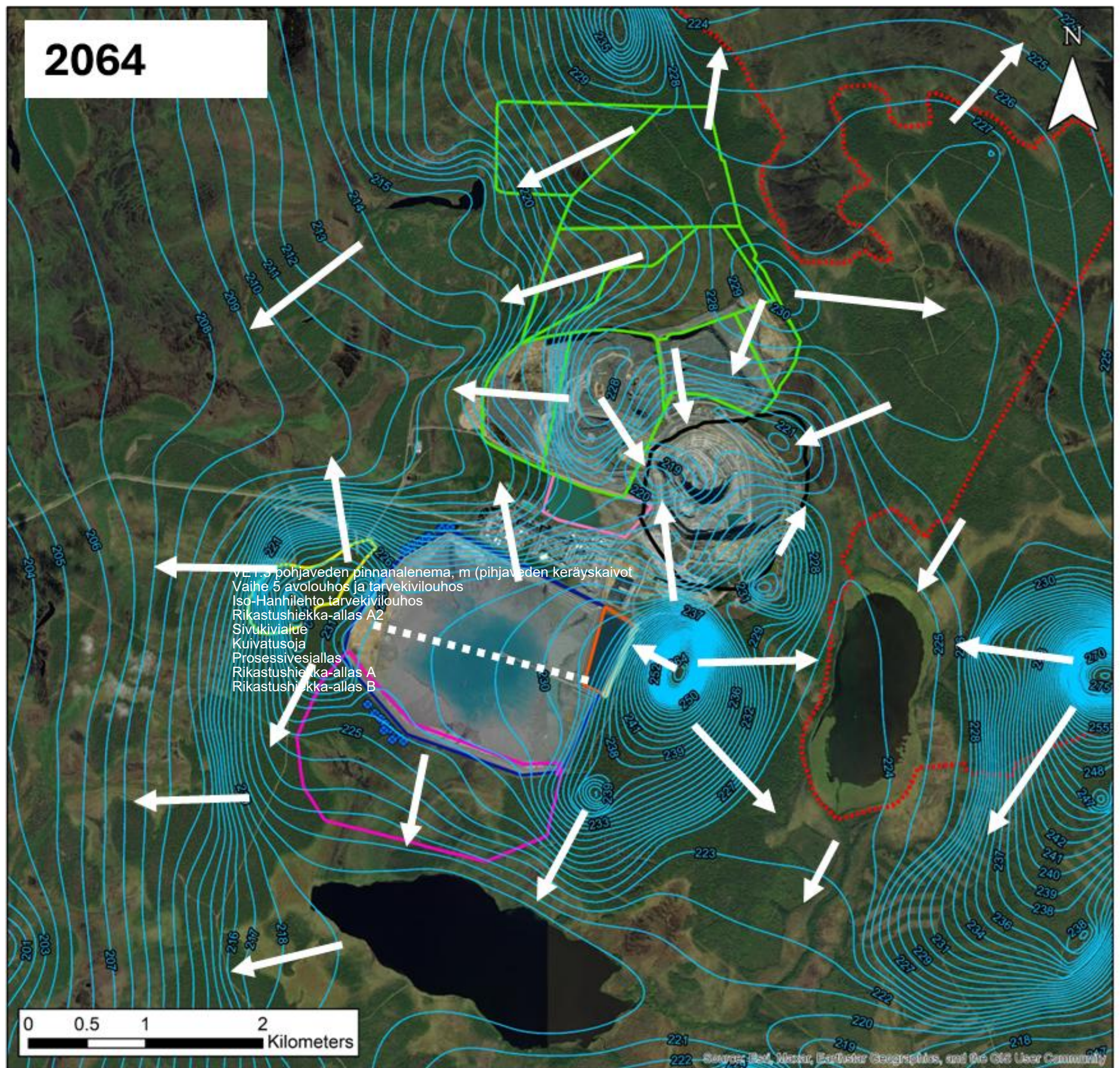
Liite E2 –Pohjavedenpinta ja virtaussuunta skenaariolle VE1.3



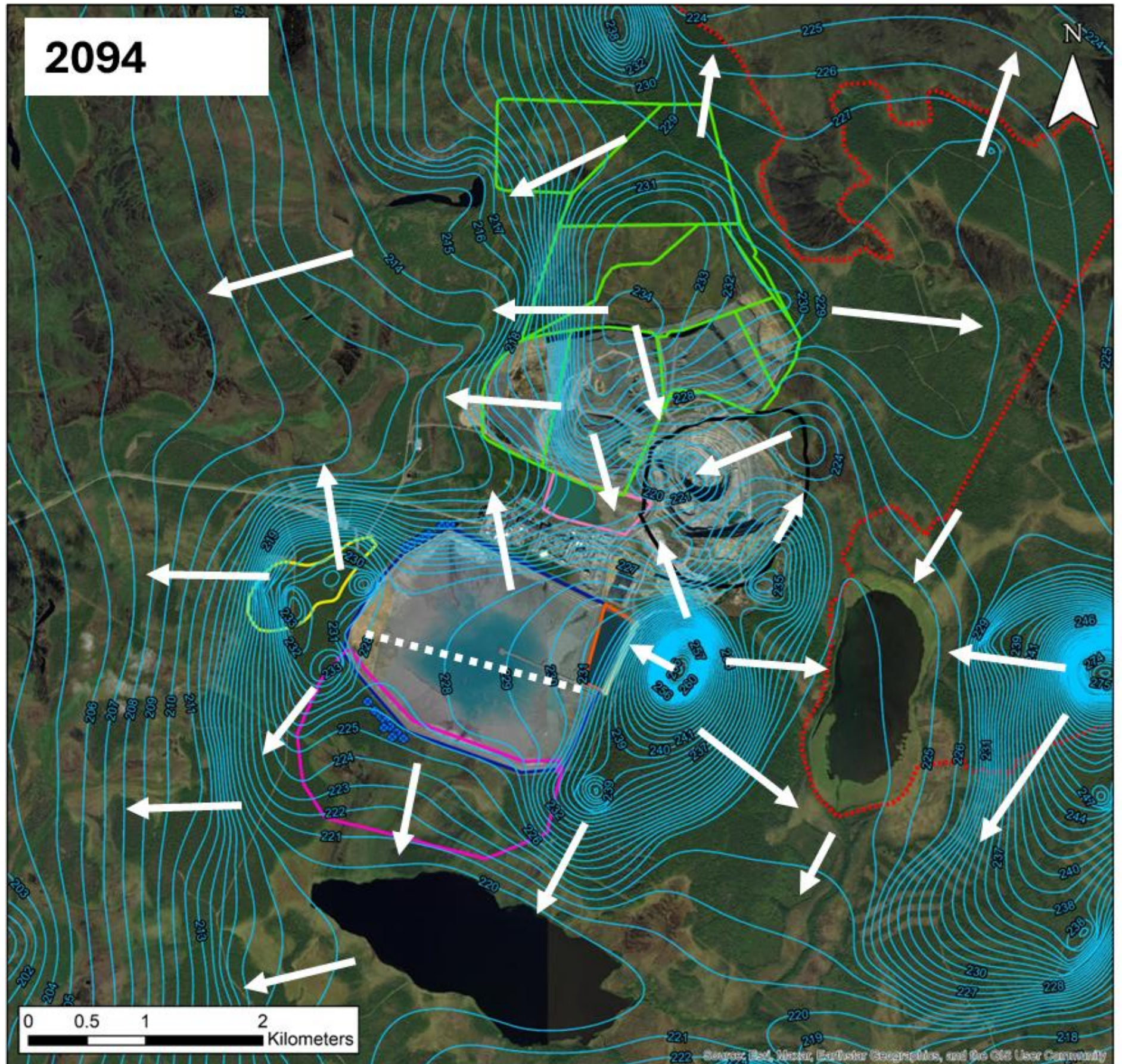
Kuva E2-1 Pohjavedenpinnan ja virtaussuunnan kartta ennen kaivostoiminnan alkua. (2012).



Kuva E2-2 Pohjavedenpinnan ja virtaussuunnan kartta kaivostoiminnan aikana (VE1.3, 2044).

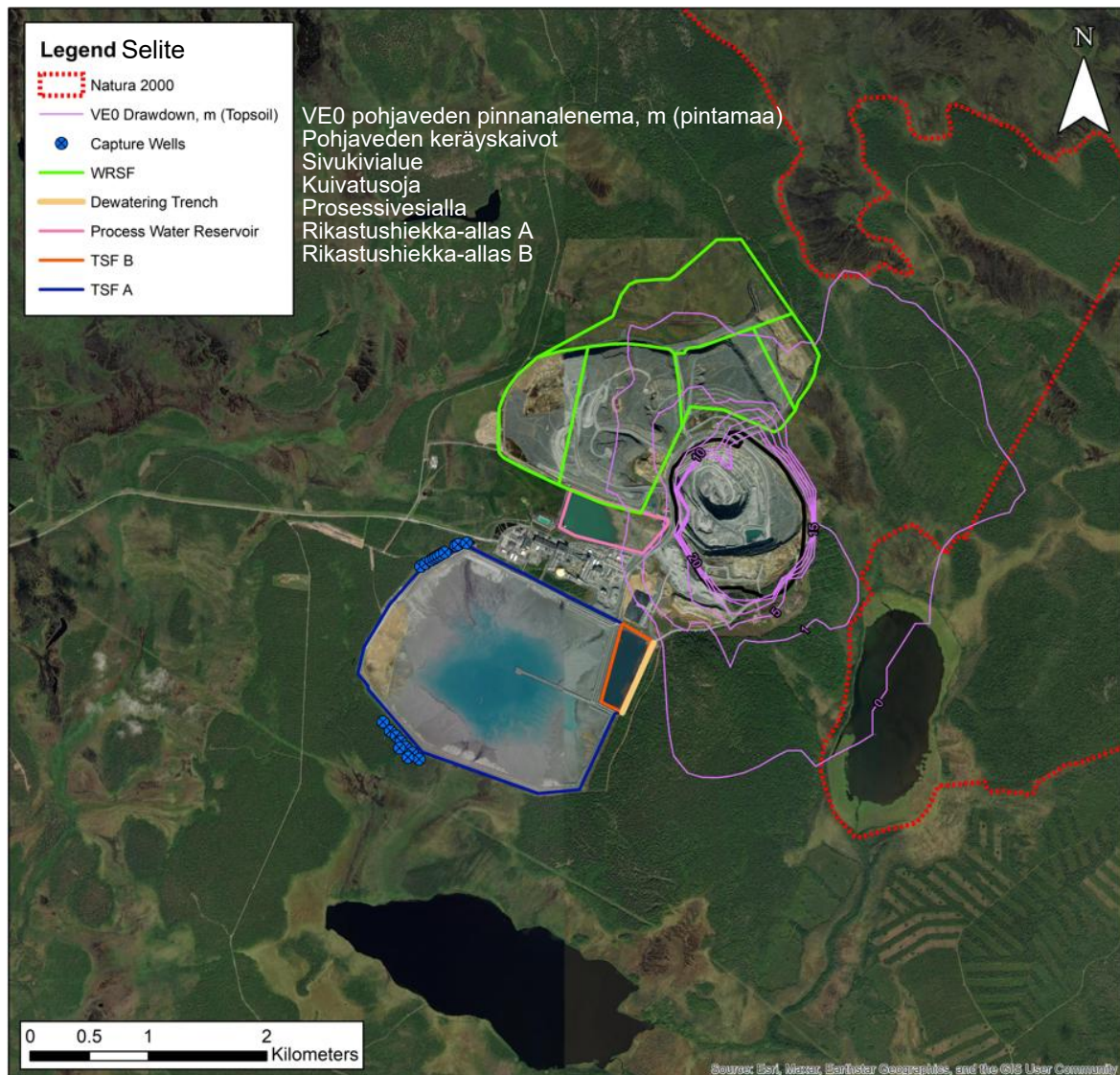


Kuva E2-3 Pohjavedenpinnan ja virtaussuunnan kartta sulkemisvaiheelle (VE1.3, 2064).

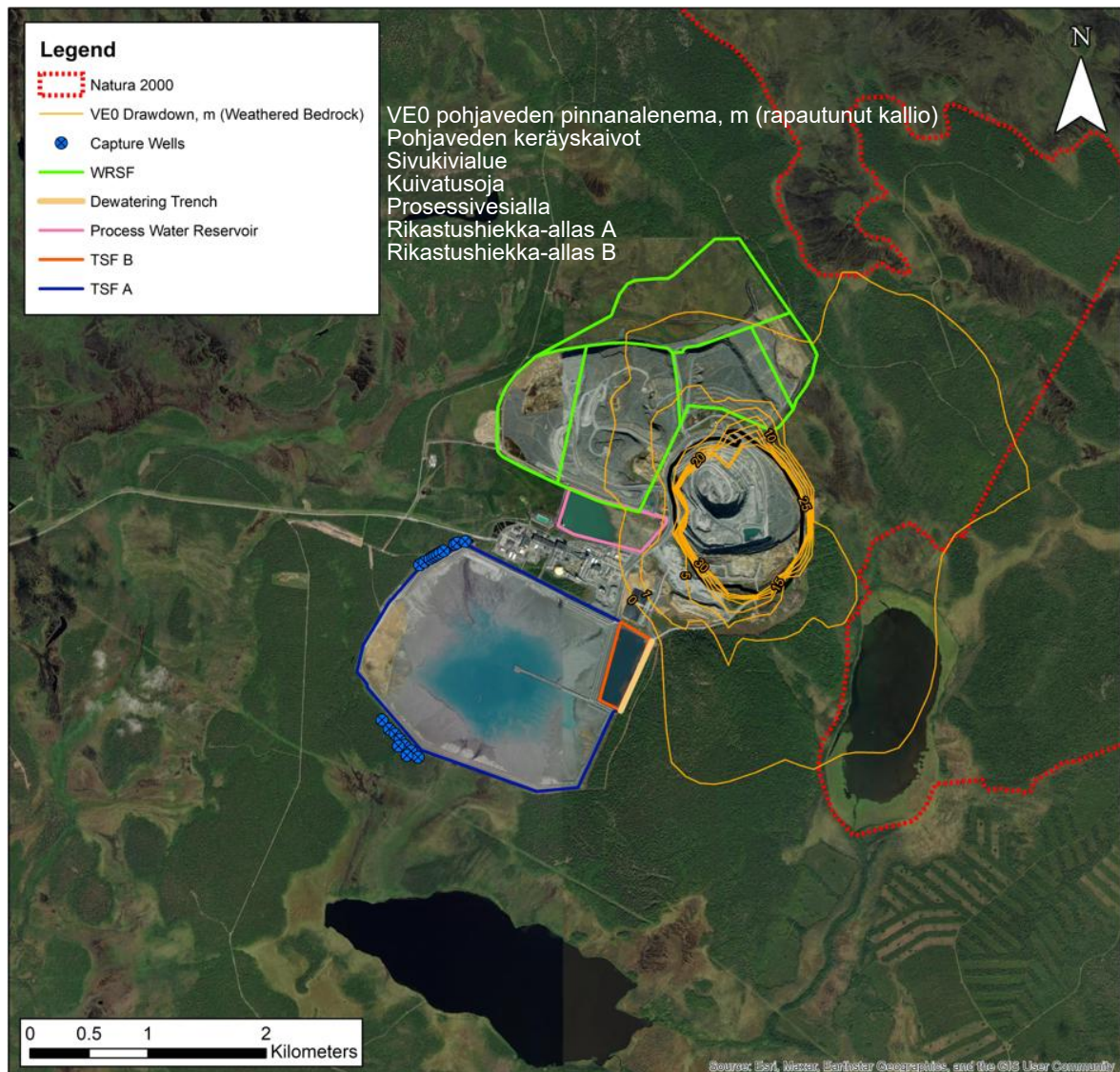


Kuva E2-4 Pohjavedenpinnan ja virtaussuunnan kartta sulkemisvaiheelle (VE1.3, 2094).

Liite F1 – Simuloidut vedenpinnan aleneman kartat skenaariolle VE0

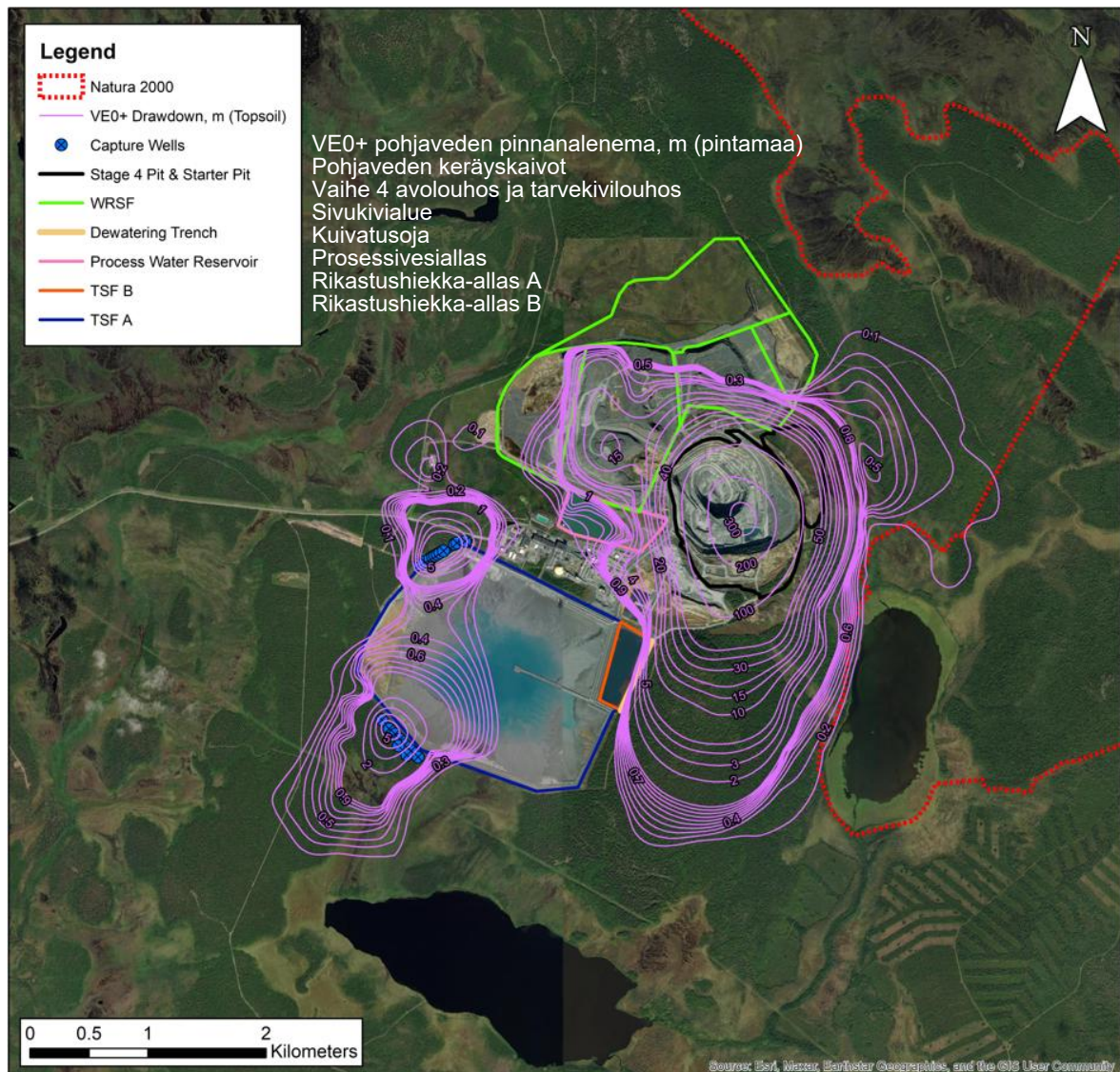


Kuva F1-1 Simuloidut pohjavedenpinnan aleneman käyrät pintamaassa.

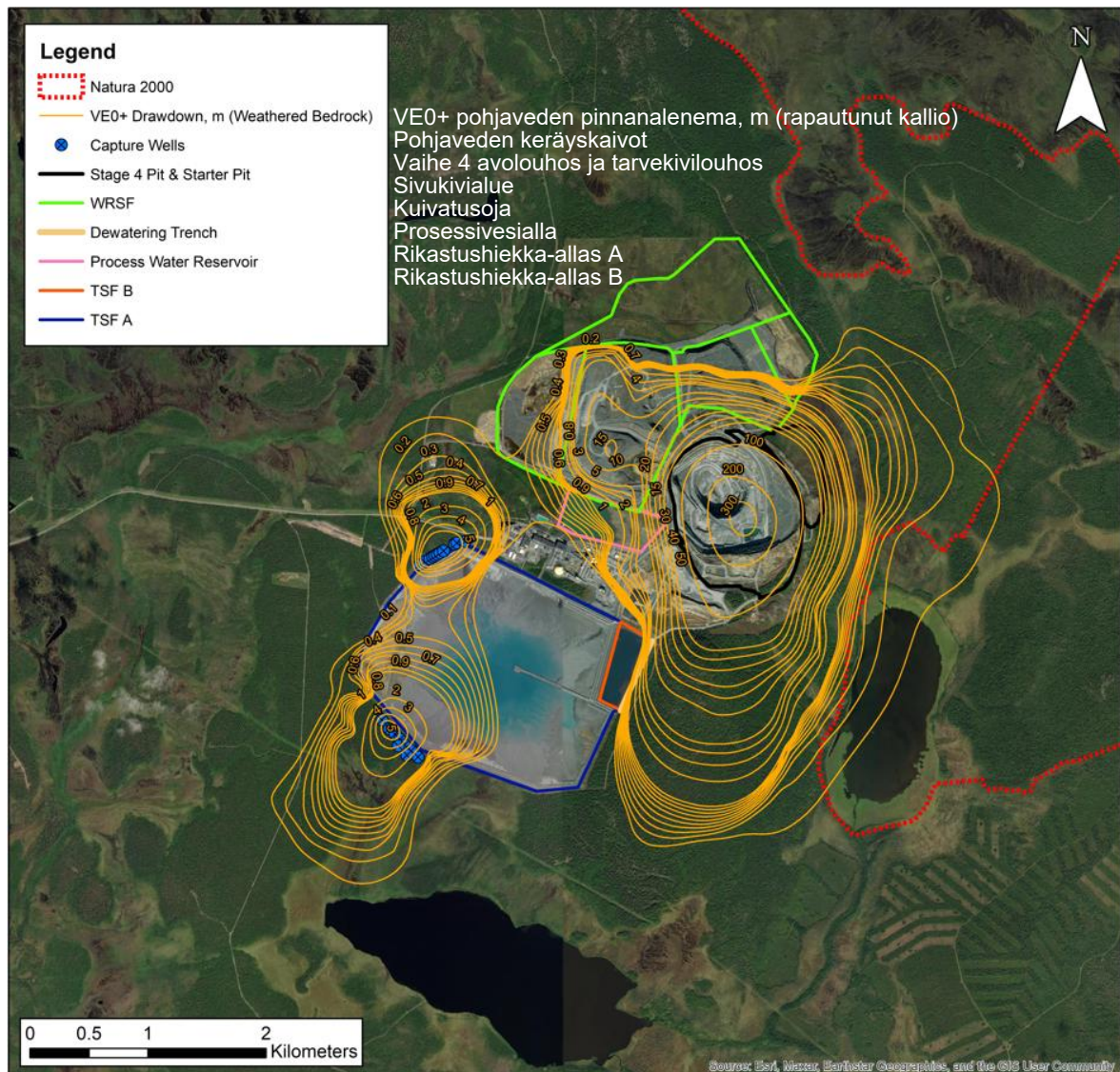


Kuva F1-2 Simuloidut pohjavedenpinnan aleneman käyrät rapautuneessa kalliolla.

Liite F2 – Simuloidut vedenpinnan aleneman kartat skenaariolle VE0+

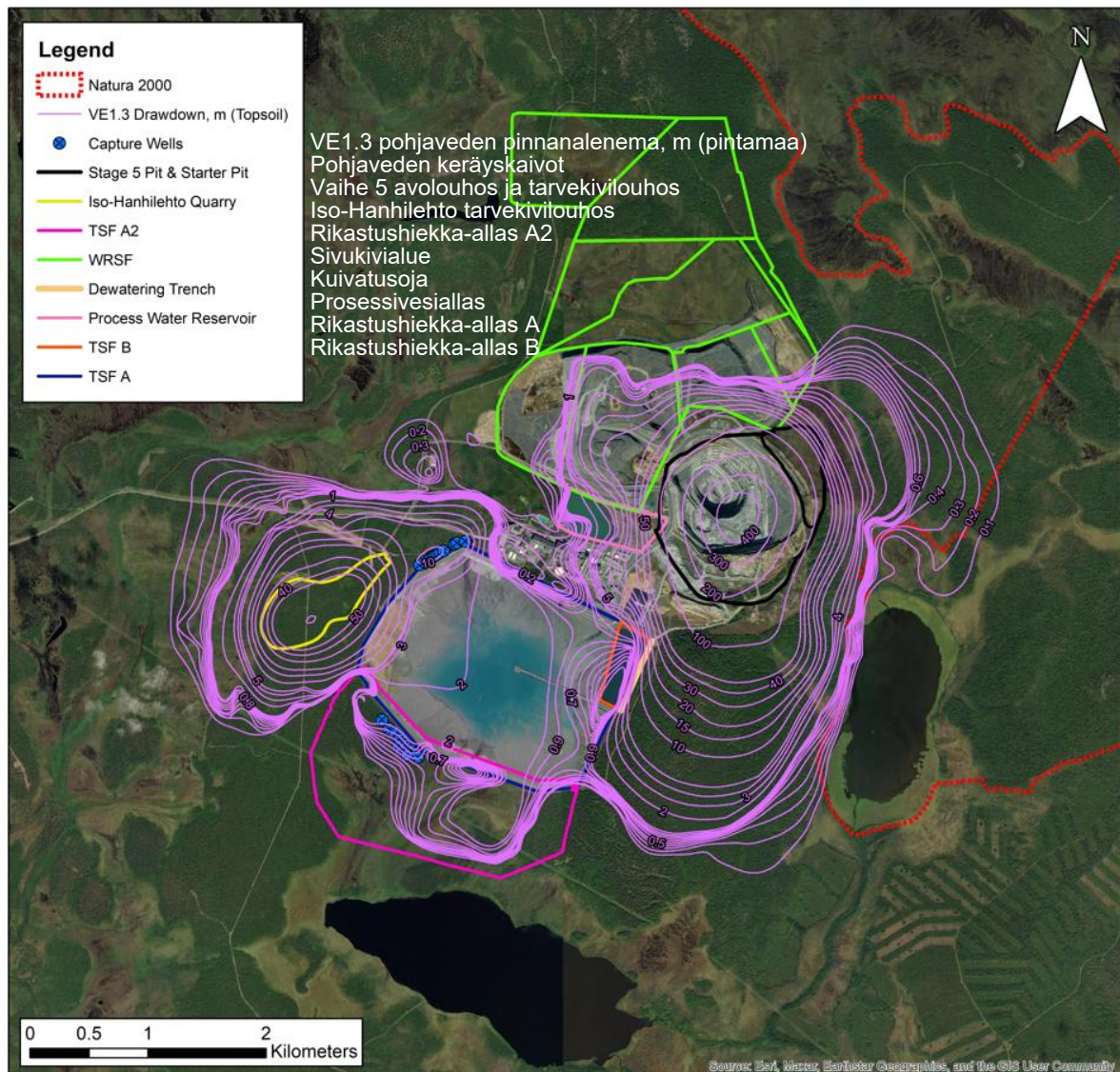


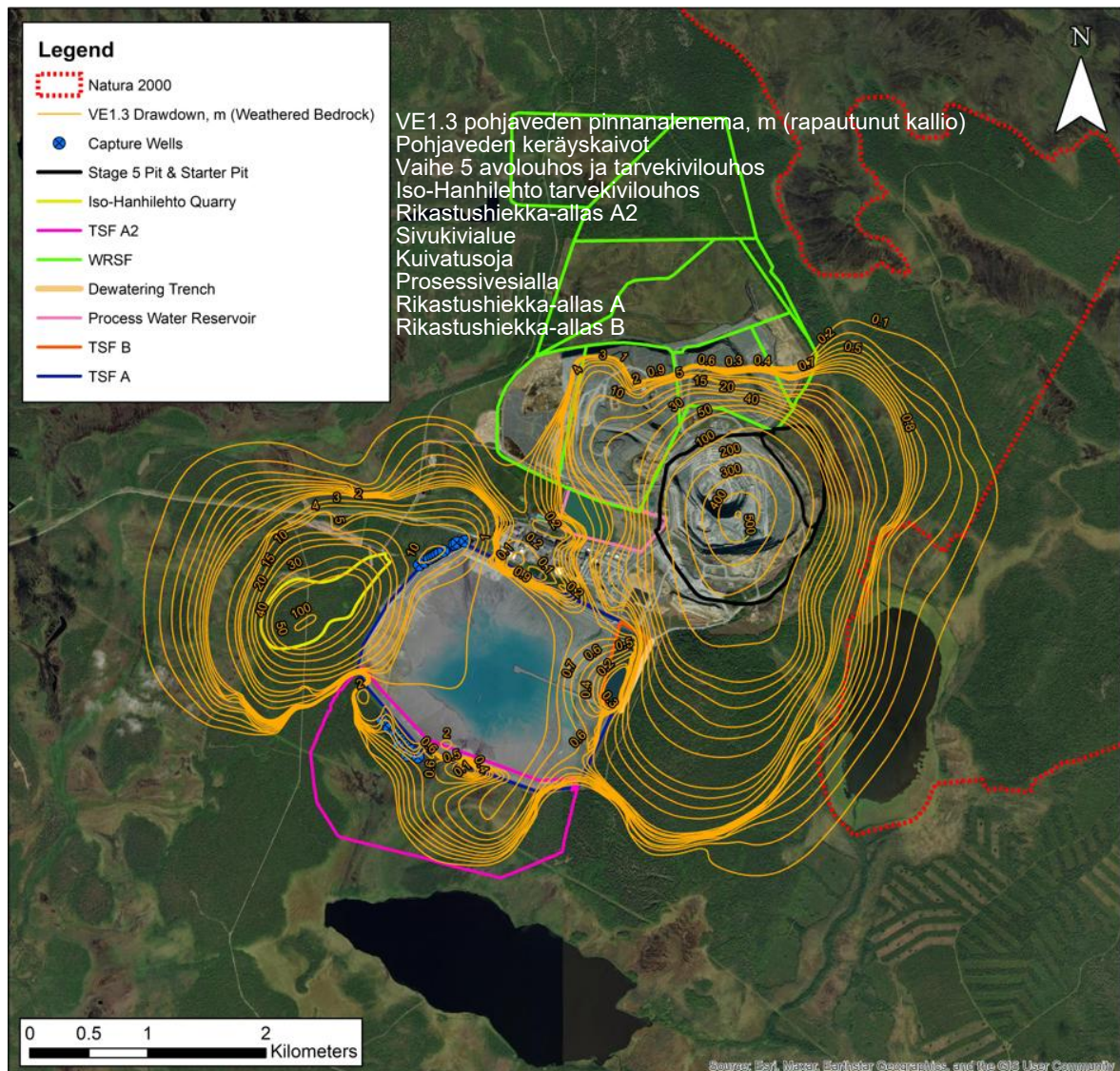
Kuva F2-1 Simuloidut pohjavedenpinnan aleneman käyrät pintamaassa.



Kuva F2-2 Simuloidut pohjavedenpinnan aleneman käyrät rapautuneessa kalliolla.

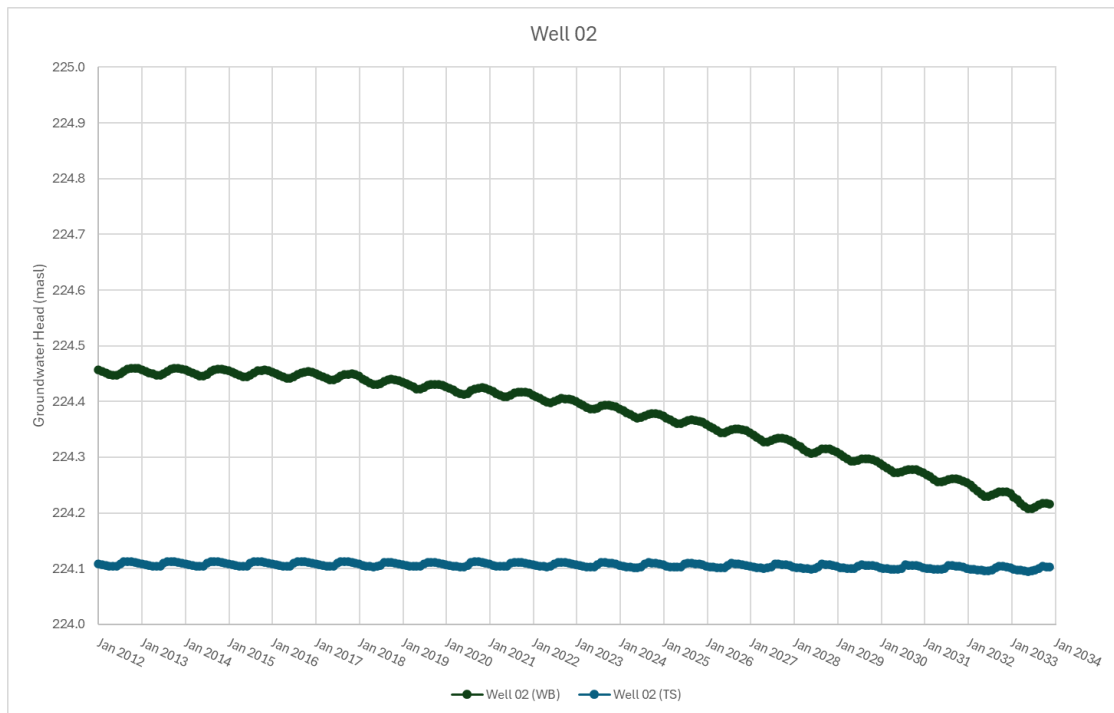
Liite F3 – Simuloidut vedenpinnan aleneman kartat skenaariolle VE1.3



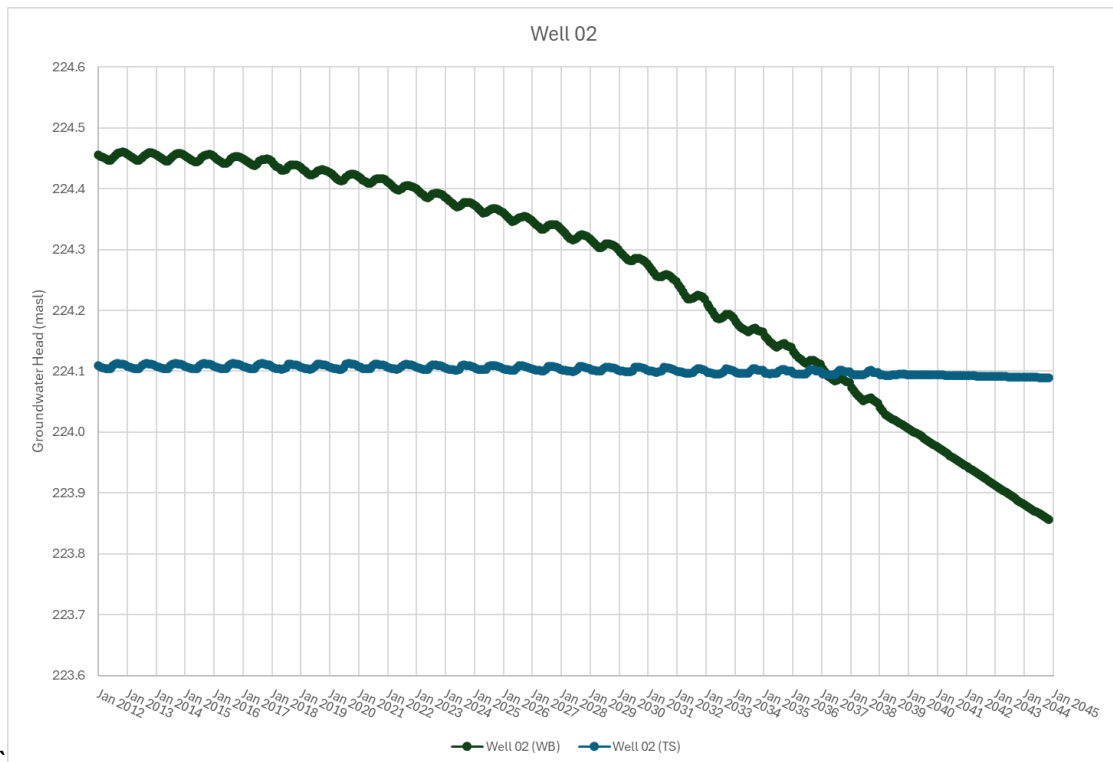


Kuva F3-2 Simuloidut pohjavedenpinnan aleneman käyrät rapautuneessa kalliossa.

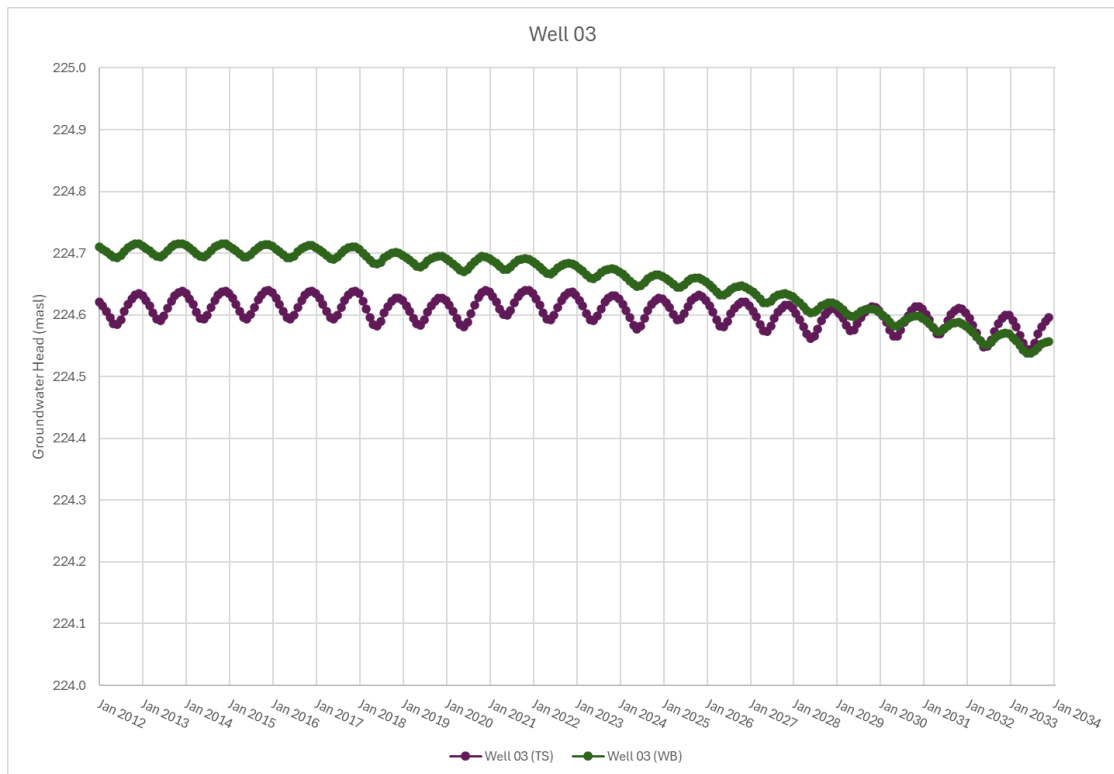
Liite G – Kausivaihtelun kuvaajat



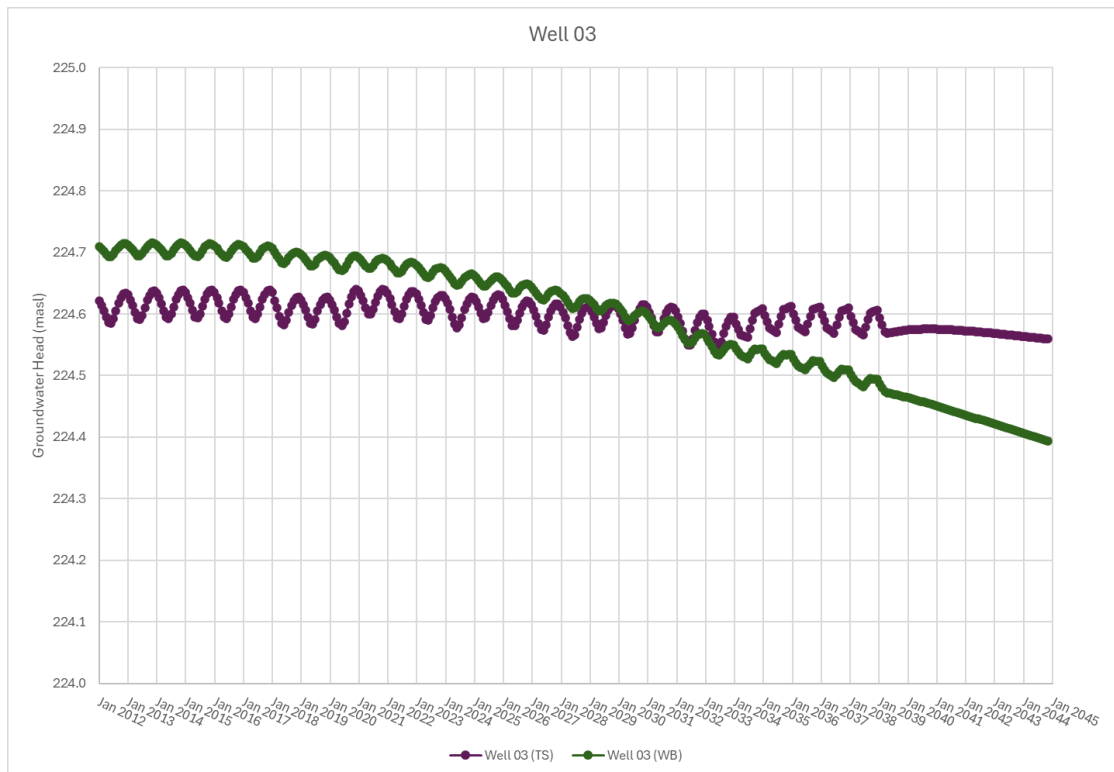
Kuva G-1 Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalliassa (WB) havaintoputkelle 02 VE0+-vaihtoehdossa toiminnan aikana.



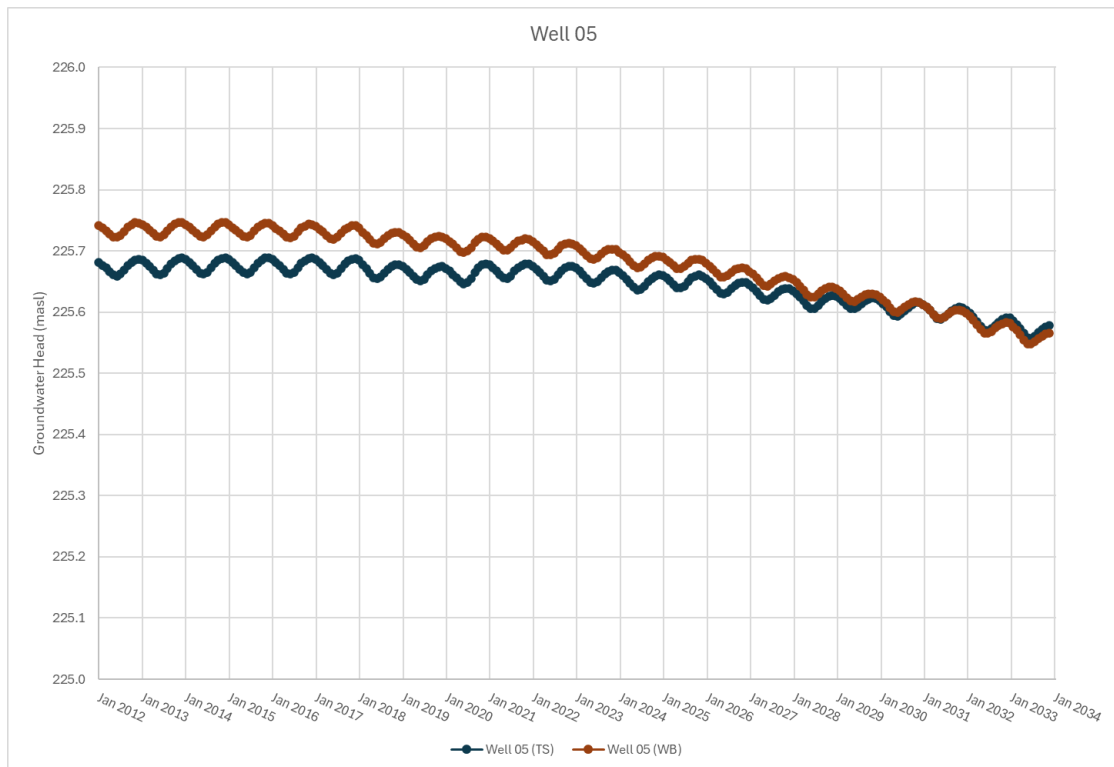
Kuva G-2 Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalliassa (WB) havaintoputkelle 02 VE1.3-vaihtoehdossa toiminnan aikana.



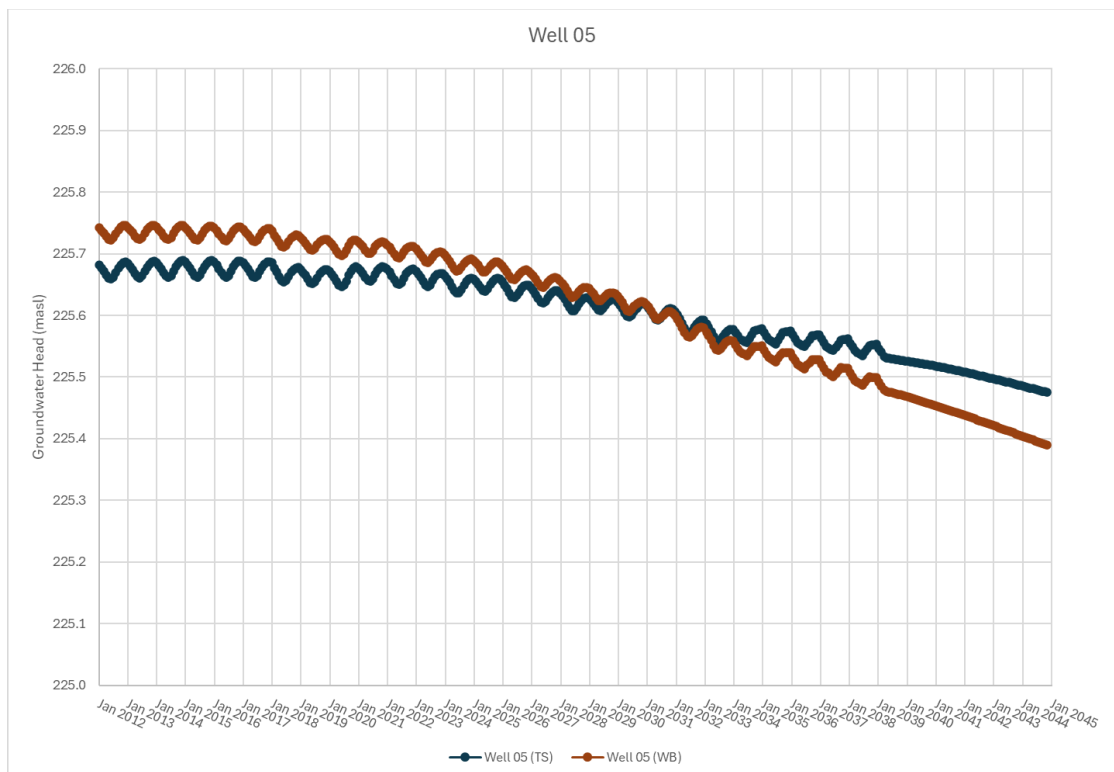
Kuva G-3 Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalliassa (WB) havaintoputkelle 03 VE0+-vaihtoehdossa toiminnan aikana.



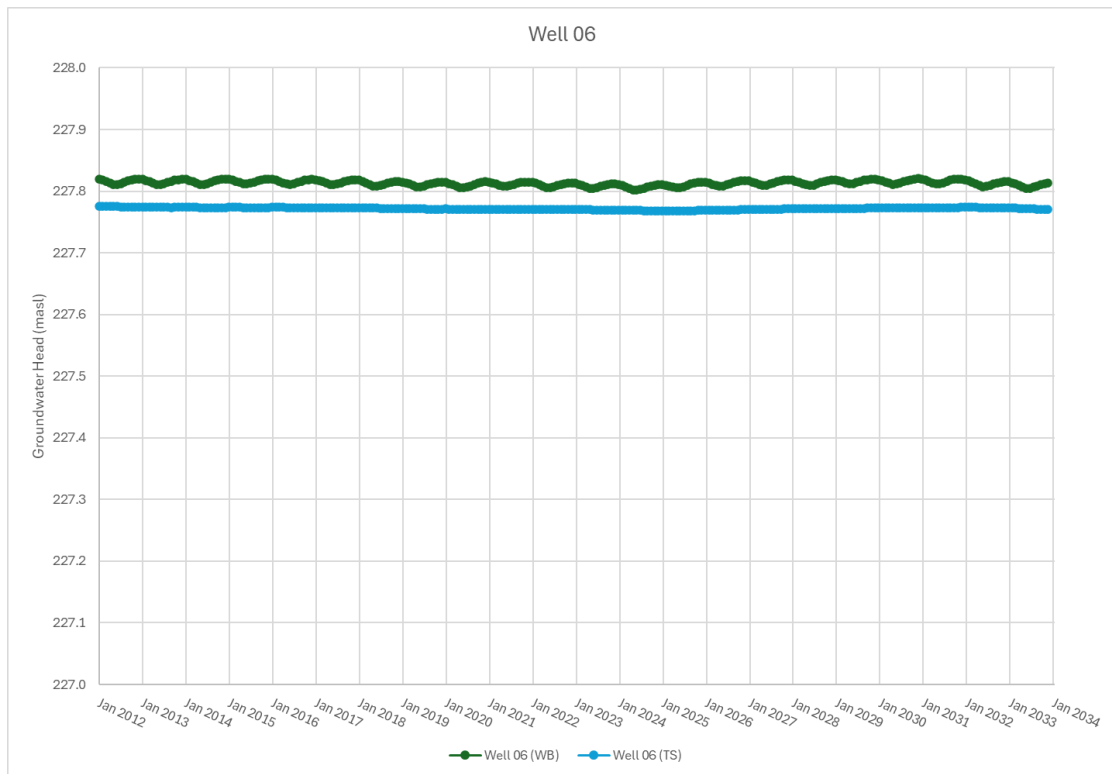
Kuva G-4 Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalliassa (WB) havaintoputkelle 03 VE1.3-vaihtoehdossa toiminnan aikana.



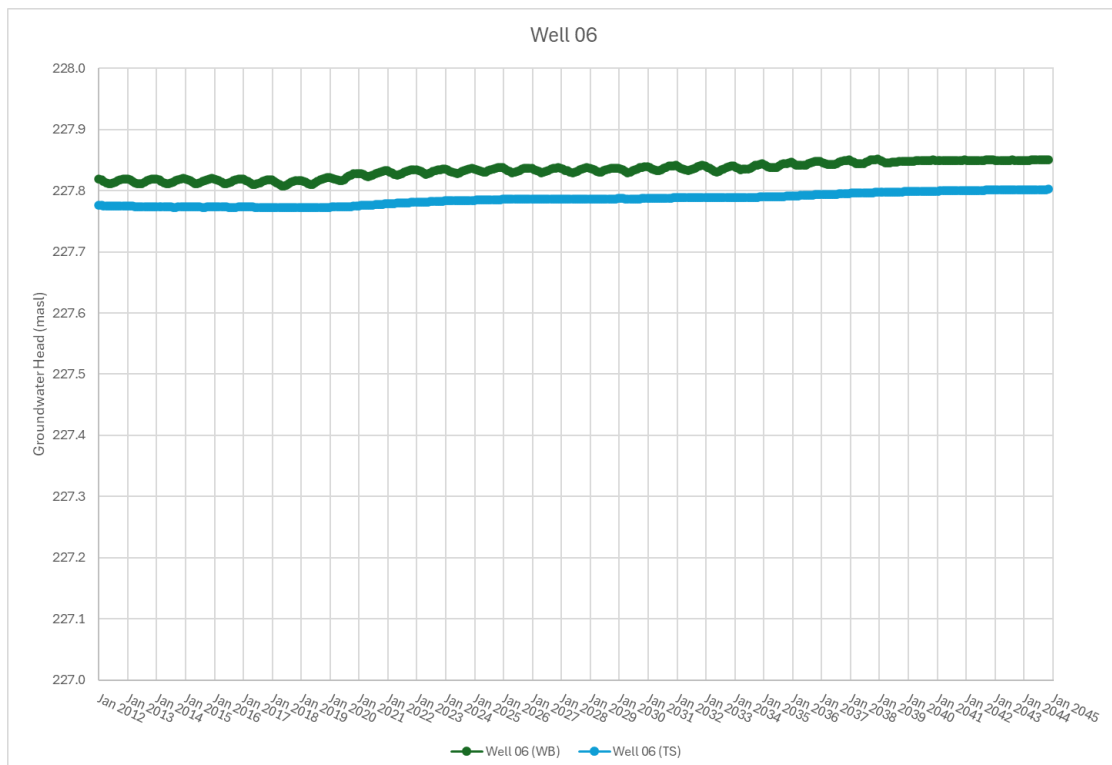
Kuva G-5 Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalliassa (WB) havaintoputkelle 05 VE0+-vaihtoehdossa toiminnan aikana.



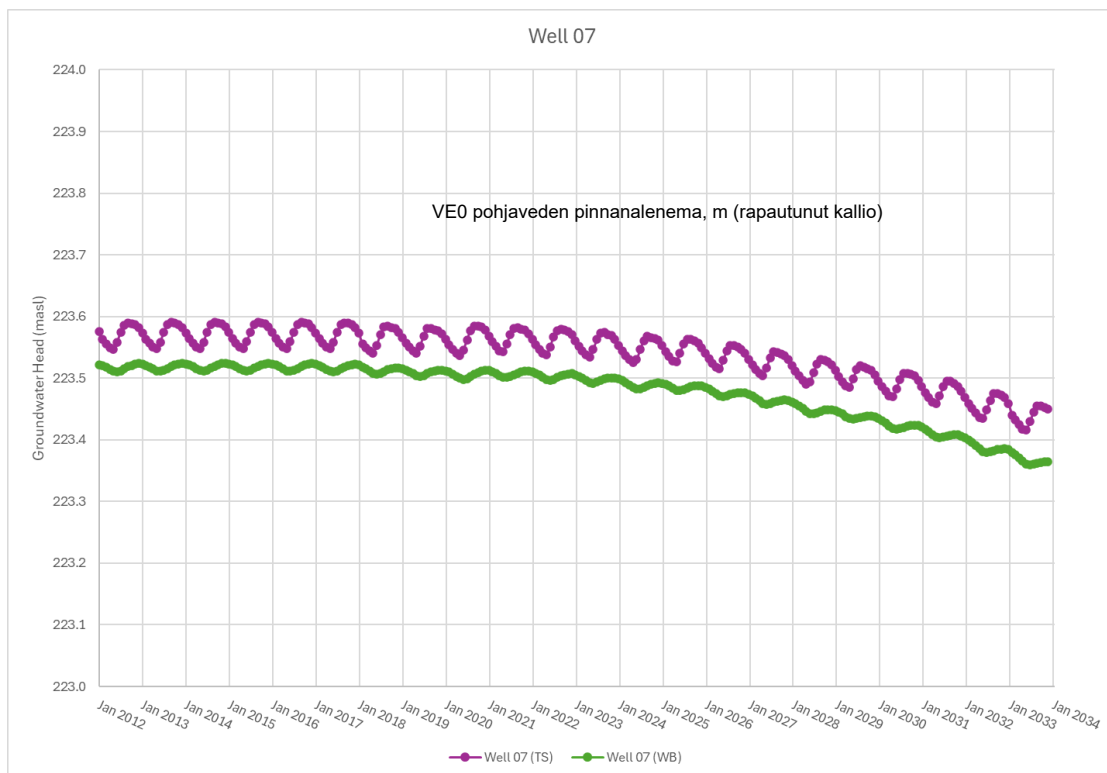
Kuva G-6 Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalliassa (WB) havaintoputkelle 05 VE1.3-vaihtoehdossa toiminnan aikana.



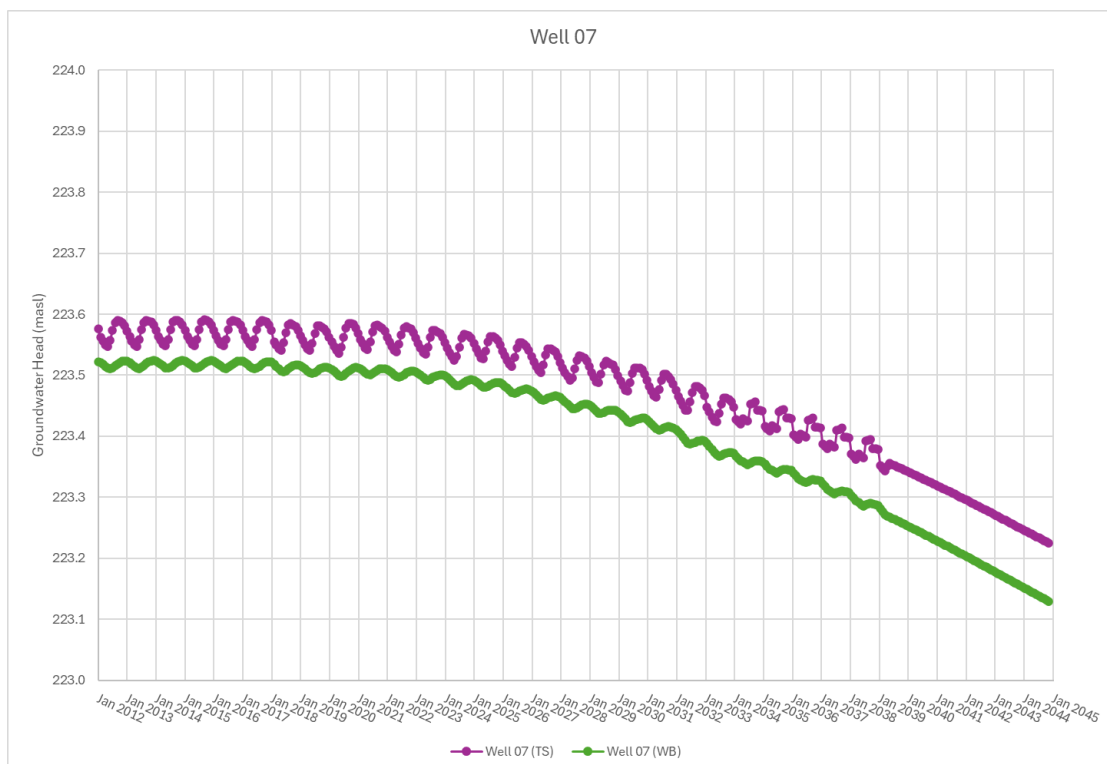
Kuva F-G Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalliassa (WB) havaintoputkelle 06 VE0+-vaihtoehdossa toiminnan aikana.



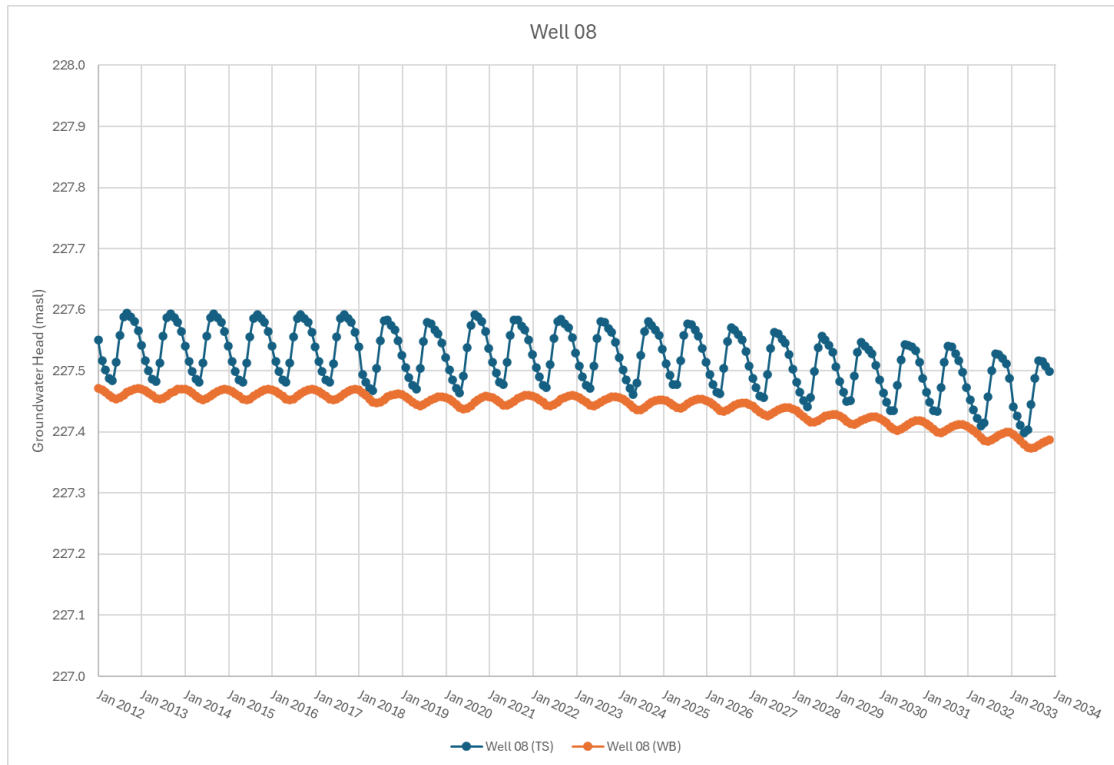
Kuva G-8 Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalliassa (WB) havaintoputkelle 06 VE1.3-vaihtoehdossa toiminnan aikana.



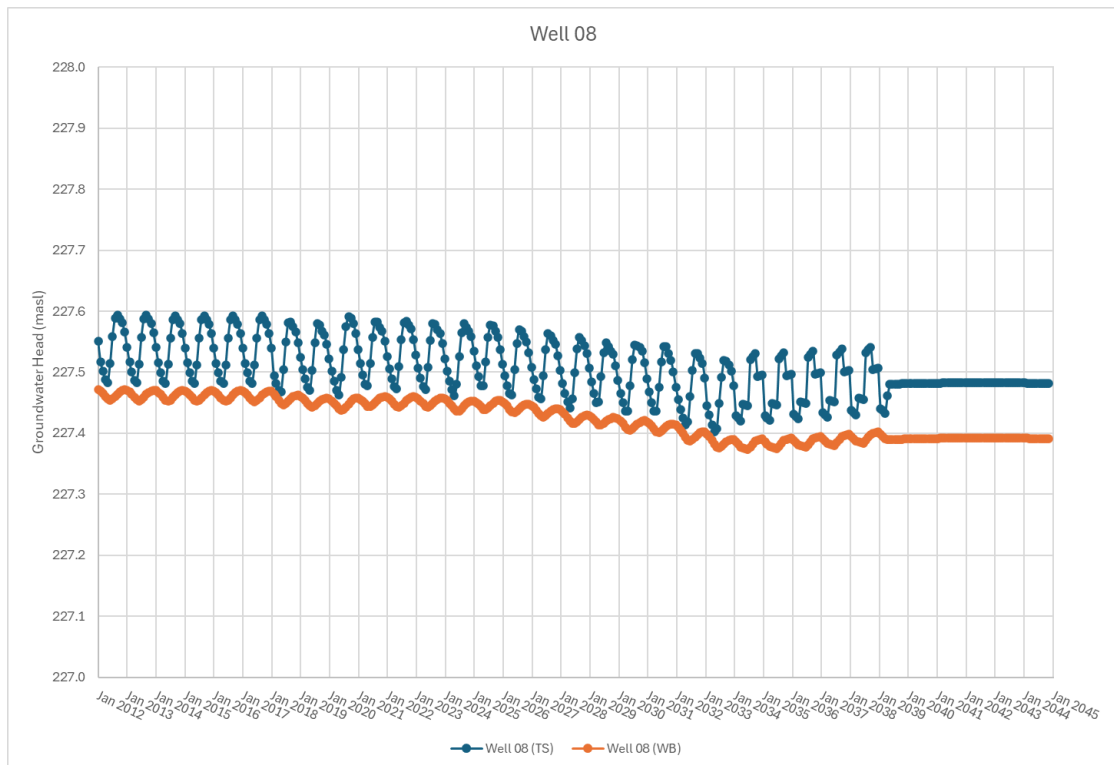
Kuva G-9 Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalliassa (WB) havaintoputkelle 07 VE0+-vaihtoehdossa toiminnan aikana.



Kuva G-10 Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalliassa (WB) havaintoputkelle 07 VE1.3-vaihtoehdossa toiminnan aikana.



**Kuva G-11 Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalli-
ossa (WB) havaintoputkelle 08 VE0+-vaihtoehdossa toiminnan aikana.**



**Kuva G-12 Aikajana pohjaveden painekorkeudelle (m mpy) pintamaassa (TS) ja rapautuneessa kalli-
ossa (WB) havaintoputkelle 08 VE1.3-vaihtoehdossa toiminnan aikana.**

Liite

Pohjavesimalli, herkkyystarkastelu

TEKNINEN MUISTIO

PÄIVÄMÄÄRÄ	21. elokuuta 2025	LUOTTAMUKSELLISUUS	Luottamuksellinen
ASIAKIRJA VIITE	G321132.UK0040343.0 3_B.0	KIRJOITTAJA	Jessica Cammack
TARKISTETTU	Sofia Nazaruk / Gareth Digges La Touche	HYVÄKSYJÄ	Turkka Rekola
AIHE	Kevitsa pohjaveden virtaus- ja alenemamallin herkkyyssanalyysi. Kääntäjänä toiminut Johanna Holm, Boliden Kevitsa Mining Oy.		

YHTEENVETO

Boliden Kevitsa Mining Oy (Boliden) on tilannut WSP Finland Oy:ltä (WSP) kvantitatiivisen herkkyyssanalyysin pohjaveden virtausmallista. Virtausmalli on kuvattu yksityiskohtaisesti raportissa 'Groundwater Flow and Drawdown Modelling' (WSP, 2025) ja tämä herkkyyssanalyysimuistio tulee lukea yhdessä kyseisen raportin kanssa. Muistio käännettiin englannin kielestä suomenkieliseksi Boliden Kevitsa Mining Oy:n toimesta.

Herkkyyssanalyysi tehtiin skenaariorolle VE0+ tarkastelemalla (mallin) pintakerroksen tuloksia sulkemishetkellä. Skenaarion VE1.3 mallin herkkyyden oletetaan olevan samankaltainen.

Useita herkkyysskenaarioita testattiin, joissa vedenjohtavuutta, sadantaa, ominaisantoisuutta ja huokoisuutta muutettiin ± 10 % ja ± 25 %. Tuloksena saatuja virtaamia, keskimääräisiä vedenpintoja ja pohjaveden pinnankorkeutta verrattiin kalibroituun malliin.

Mallinnetut sisäänvirtaamat olivat herkimpiä vedenjohtavuuden muutoksille ja vähemmän herkkiä ominaisantoisuuden, pohjaveden muodostumisen ja huokoisuuden muutoksille. Keskimääräinen vedenpinta oli herkin muutoksille pohjaveden muodostumisessa, ominaisantoisuudessa ja huokoisuudessa, ja kohtalaisen herkkä muutoksille vedenjohtavuudessa. Numeerisen mallin mukaan pohjaveden pinta avolouhoksen ja Natura 2000-alueen läheisyydessä on herkin vedenjohtavuuden, ominaisantoisuuden ja pohjaveden muodostumisen muutoksille, ja vähiten herkkä muutoksille huokoisuudessa. Herkkyyssanalyysin tulosten perusteella malli ei ole herkkä huokoisuuden muutoksille.

Tässä muistiossa esitetyn arvion perusteella virtaus- ja alenemaparametrien kokonaisherkkyys voidaan asettaa järjestykseen seuraavasti (herkimmästä vähiten herkkään):

1. Vedenjohtavuus.

2. Pohjaveden muodostuminen ja ominaisantoisuus.
3. Huokoisuus.

Nykyinen mallin kalibrointi ja siihen liittyvät tulokset (WSP, 2025) katsotaan päteviksi, kun huomioidaan käytetyt oletukset ja yhteensopivuus konseptuaalisen mallin kanssa. Ennusteiden epävarmuuden vähentämiseksi aineistonkeruu tulisi kohdistaa sisäänvirtaamien kohdalla etenkin vedenjohtavuuteen, koko alueen vedenpinnan korkeuden kohdalla kaikkiin neljään parametriin sekä pohjaveden pinnankorkeuden kohdalla vedenjohtavuuteen, ominaisantoisuuteen ja pohjaveden muodostumiseen.

JOHDANTO

WSP Finland Oy (WSP) on saanut toimeksiannon Boliden Kevitsa Mining Oy:ltä (Boliden) tehdä kvantitatiivinen herkkyysanalyysi pohjaveden virtausmallista, joka liittyy raporttiin "Environmental Studies 2024-2025, Groundwater Flow and Drawdown Modelling" (WSP, 2025), julkaistu 18. heinäkuuta 2025. Mallia on päivitetty tukemaan ympäristövaikutusten arviointia (YVA) Kevitsan kaivoksen suunnitellun laajennuksen ja sulkemisen osalta. Tämä herkkyysanalyysimuistio tulee lukea yhdessä pohjaveden virtaus- ja alenemaraportin (WSP, 2025) kanssa, jossa malli on kuvattu yksityiskohtaisesti.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on osoittaa, miten malli reagoi kalibroinnin aikana mahdollisesti herkeiksi arvioitujen parametrien muutoksiin. Herkkyysanalyysi on tehty vain skenaariorille VE0+, mutta myös skenaarion VE1.3 mallin odotetaan olevan herkkä samoille parametreille, vaikka muutosten suuruus saattaa poiketa. WSP:n (2025) raportit kalibroidun VE0+ mallin tulokset edustavat niin sanottua "base case" -skenaariota ja toimivat vertailupohjana kullekin herkkyystapaukselle. Lisätietoja kalibroituja ja konseptuaalisten parametrien vaihteluväleistä löytyy raportista WSP (2025).

HERKKYYSSKENAARIOT

WSP:n (2025) raportissa esitettiin kerättyihin tietoihin ja konseptuaaliseen malliin perustuvat parametrialueet antavat hyvän luottamustason hydrogeologisen ympäristön kuvaamiseen. Kuitenkin tietojen keruuseen, alueelliseen vaihteluun ja hydrogeologisen järjestelmän tulkintaan liittyy väistämättä epävarmuutta. Parametrien herkkyys on tärkeä tekijä epävarmuutta arvioitaessa, koska sillä on vaikutusta mallinnukseen.

Kolme pääasiallista hydraulista ominaisuutta ovat keskeisiä pohjaveden virtauksen ja aleneman määrittämisessä pohjaveden virtausmallissa: vedenjohtavuus, varasto (tässä muistiossa käytetty termi on "ominaisantoisuus") ja huokoisuus. Mallin kalibroinnin aikana suurimman vaikutuksen mallinnettuihin vedenpintoihin ja virtaamiin havaittiin olevan vedenjohtavuudella ja ominaisantoisuudella (WSP, 2025). Vaikka huokoisuutta ei tunnistettu erityisen herkeksi parametriksi, se on sisällytetty tähän analyysiin täydellisyyden vuoksi. Näiden hydraulisten ominaisuuksien lisäksi myös pohjaveden muodostuminen (mallissa käytetty reunaehtona) katsotaan tärkeäksi parametriksi pohjaveden virtauksen kannalta.

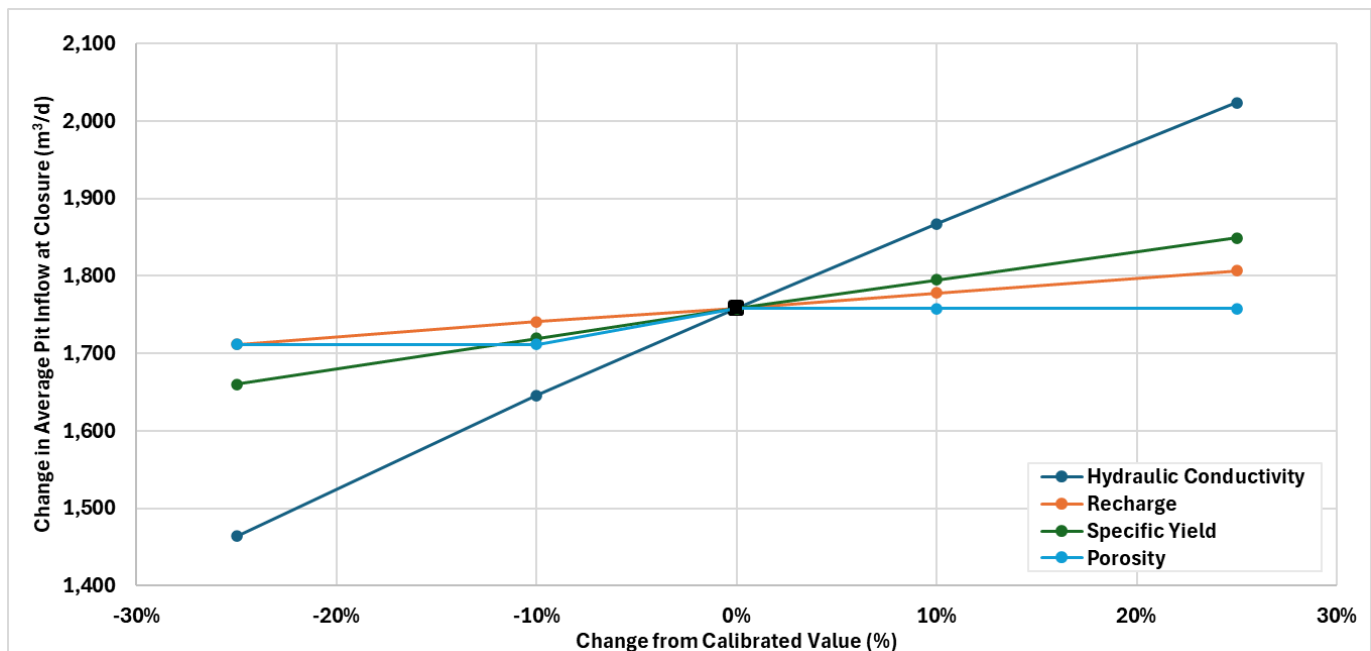
Kunkin parametrin vaikutusta on tarkasteltu herkkyysskenaarioiden avulla, joissa kuhunkin parametriin on sovellettu $\pm 10\%$ ja $\pm 25\%$ muutosta erikseen, suhteessa skenaarion VE0+ kalibroituihin malliarvoihin. On huomioitava, että parametrien herkkyyden arviointi ei luonteensa vuoksi sisällä mallin uudelleenkalibrointia.

HERKKYYSANALYYSIN TULOKSET

Herkkyyssanalyysin tulokset kunkin skenaarion osalta on arvioitu tuotannon lopussa (2033) pintamaassa (mallin kerros 1) ja verrattu kalibroidun mallin tuloksiin skenaariolle VE0+. Muutoksia louhokseen menevään kokonaisvirtaukseen, keskimääräiseen vedenpintaan (koko mallialueella) ja pohjaveden pintaan (louhoksen ja Natura 2000 -alueen läheisyydessä) käytetään mallin herkkyyden arviointiin parametrimuutoksille, ja näitä käsitellään seuraavissa osioissa.

Sisäänvirtaus louhokseen

Louhoksen sisäänvirtaamiin liittyvät tulokset, jotka johtuvat vedenjohtavuuden, pohjaveden muodostumisen, ominaisantisuuden ja huokoisuuden muutoksista, on esitetty kuvissa 1 ja 2. Louhoksen sisäänvirtaamat osoittavat positiivisen lineaarisen riippuvuuden vedenjohtavuuden, pohjaveden muodostumisen ja ominaisantisuuden vaihteluiden kanssa, eli kunkin parametrin kasvu lisää sisäänvirtaamaa ja vastaavasti pienennys vähentää sitä. Huokoisuuden lisääminen ei aiheuta muutosta sisäänvirtaamaan, kun taas huokoisuuden pienentäminen johtaa pieneen sisäänvirtaaman vähenemiseen. Kunkin parametrin ja herkkyysskenaarioiden mukaiset virtaamatulokset on esitetty taulukossa 1.



Kuva 1 Louhoksen keskimääräisen sisäänvirtaaman muutos (m^3/vrk) vuonna 2033 suhteessa kalibroituihin arvoihin (musta neliö).

Change in average pit inflow at closure = Louhoksen keskimääräisen sisäänvirtaaman muutos sulkemishetkellä

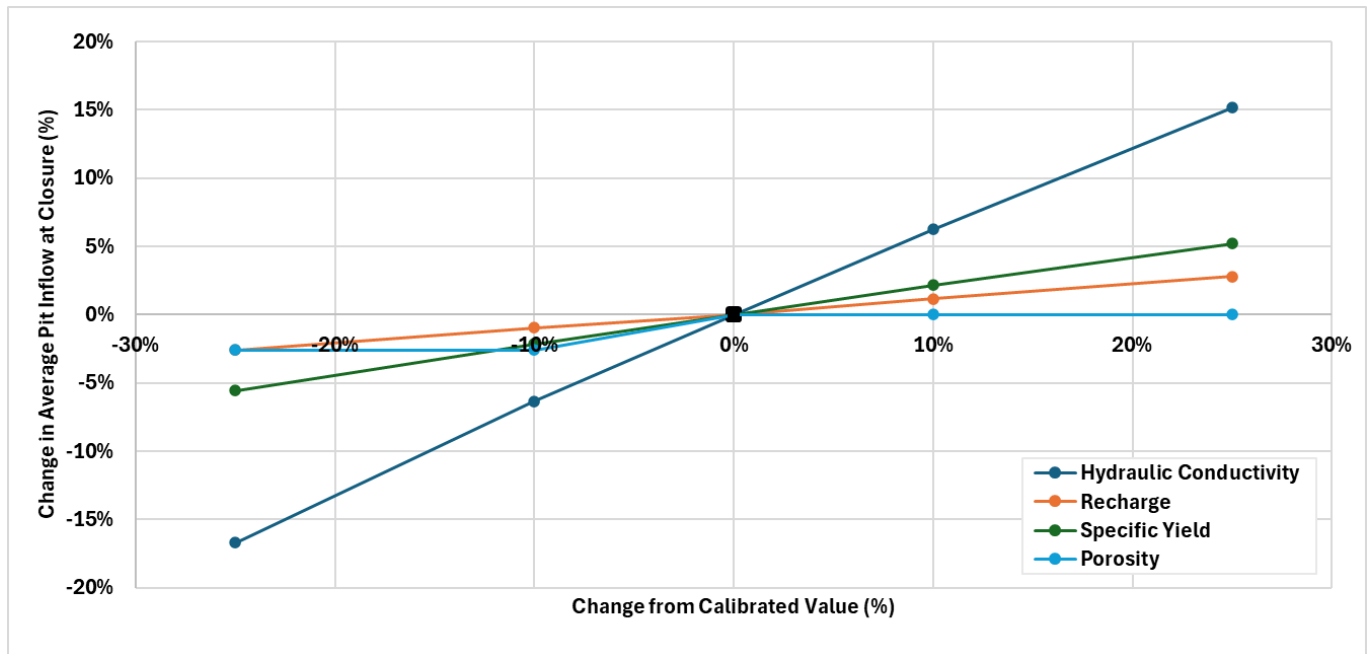
Change in average pit inflow at closure = Muutos kalibroidusta arvosta

Hydraulic Conductivity = Vedenjohtavuus

Recharge = Pohjaveden muodostuminen

Specific Yield = Ominaisantoisuus

Porosity = Huokoisuus



Kuva 2 Louhoksen keskimääräisen sisäänvirtaaman muutos (%) vuonna 2033 suhteessa kalibroituuihin arvoihin (musta neliö).

Change in average pit inflow at closure = Louhoksen keskimääräisen sisäänvirtaaman muutos sulkemishetkellä

Change in average pit inflow at closure = Muutos kalibroidusta arvosta

Hydraulic Conductivity = Vedenjohtavuus

Recharge = Pohjaveden muodostuminen

Specific Yield = Ominaisantoisuus

Porosity = Huokoisuus

Mallinnetut louhoksen sisäänvirtaamat ovat herkimpiä vedenjohtavuuden muutoksille ja vähemmän herkkiä ominaisantoisuuden, huokoisuuden ja pohjaveden muodostumisen muutoksille. Vedenjohtavuuden 10 prosentin (%) muutos aiheuttaa 6 %:n (noin +/- 110 kuutiometriä vuorokaudessa (m³/vrk)) muutoksen sisäänvirtaamassa, kun taas 25 %:n muutos vedenjohtavuudessa aiheuttaa noin 15 %:n (noin +/- 280 m³/vrk) muutoksen sisäänvirtaamassa (taulukko 1). Ominaisantoisuuden, pohjaveden muodostumisen ja huokoisuuden muutokset aiheuttivat alle 6 %:n (noin +/- 100 m³/vrk) muutoksen sisäänvirtaamassa.

Taulukko 1 Sisäänvirtaamat m³/d ja suhteellinen prosentuaalinen ero verrattuna kalibroituhiin malliarvoihin kussakin herkkyysskenaariossa.

Sensitivity Scenario Criteria	Inflow (m ³ /d)				Percentage Difference (%)			
	K	R	Sy	n	K	R	Sy	n
-25%	1464	1712	1660	1712	-17	-3	-6	-3
-10%	1646	1741	1720	1712	-6	-1	-2	-3
0%	1758	1758	1758	1758	0	0	0	0
+10%	1867	1778	1795	1758	6	1	2	0
+25%	2024	1806	1849	1758	15	3	5	0

K = Hydraulinen vedenjohtavuus; R = Pohjaveden muodostuminen; Sy = Ominaisantoisuus; n = Huokoisuus; m³/d = kuutiometriä vuorokaudessa. Lihavoidut arvot viittaavat VE0+ -kalibrintimalliin.

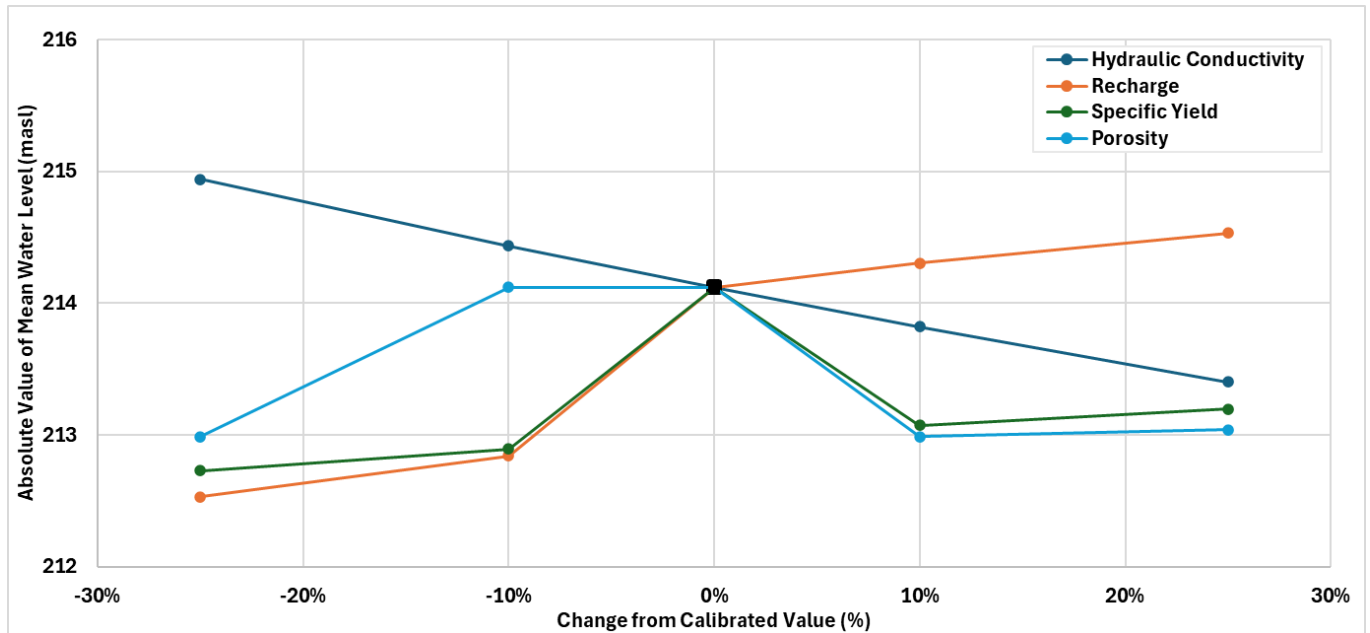
Sensitivity Scenario Criteria = Herkkyysskenaarioiden kriteerit

Inflow = Sisäänvirtaama

Percentage Difference = Prosentuaalinen ero

Keskimääräinen vedenpinta

Keskimääräisen vedenpinnan vaihtelu, joka liittyy vedenjohtavuuden, pohjaveden muodostumisen, ominaisantoisuuden ja huokoisuuden muutoksiin, on esitetty kuvissa 3 ja 4. Keskimääräisellä vedenpinnalla havaitaan olevan käänteinen suhde vedenjohtavuuteen: vedenjohtavuuden kasvu aiheuttaa vedenpinnan laskua ja päinvastoin. Pohjaveden muodostumisen osalta havaitaan positiivinen korrelaatio osoittaen pohjaveden muodostumisen suoria tai verrannollisia vaikutuksia vedenpintaan. Ominaisantoisuuden ja huokoisuuden muutokset ovat epälineaarisia. Kaikissa ominaisantoisuuteen liittyvissä skenaarioissa havaitaan vedenpinnan laskua, vaikka vaikutus on pienempi, kun ominaisantoisuutta lisätään verrattuna sen vähentämiseen. Huokoisuuden muutoksilla ei ole vaikutusta vedenpintaan tai eivät aiheuta vedenpinnan laskua. Tulokset vesipinnoista on esitetty jokaiselle parametrille ja herkkyysskenaariolle taulukossa 2.



Kuva 3 Keskimääräinen vedenpinta sulkemishetkellä (2033) suhteessa kalibroituhiin arvoihin (musta neliö).

Absolute value of mean water level = Keskimääräisen vedenpinnan absoluuttinen arvo

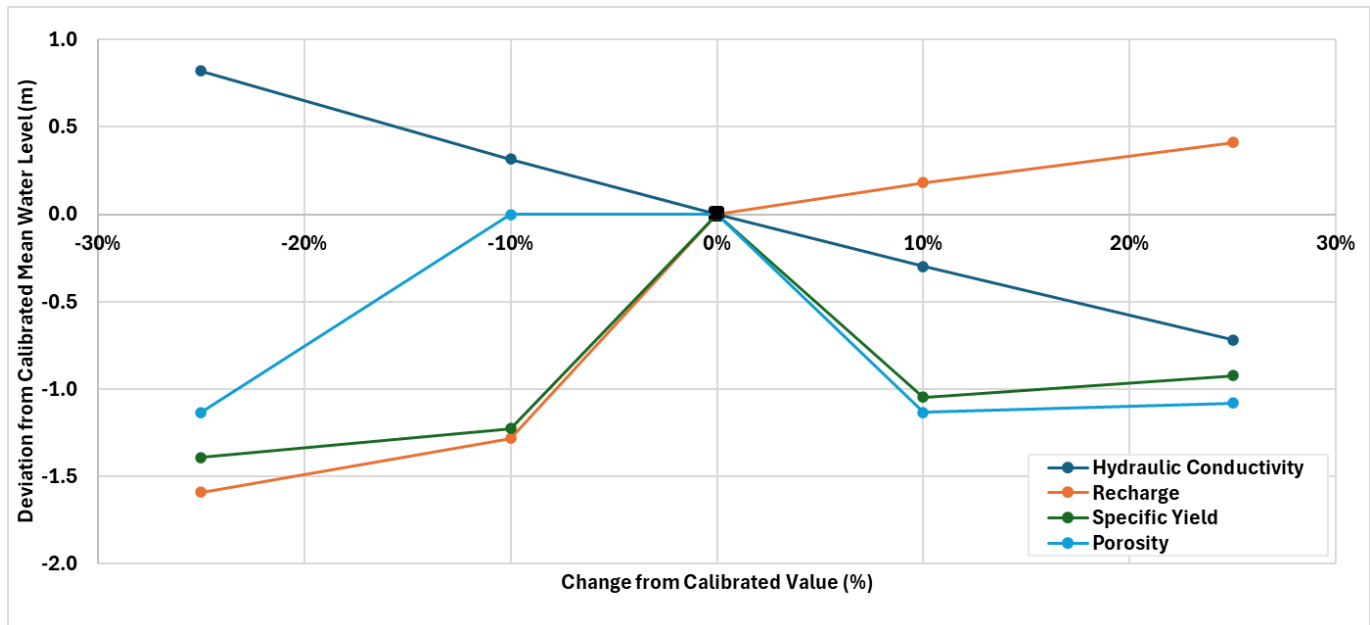
Change from calibrated value = Muutos kalibroidusta arvosta

Hydraulic Conductivity = Vedenjohtavuus

Recharge = Pohjaveden muodostuminen

Specific Yield = Ominaisantoisuus

Porosity = Huokoisuus



Kuva 4 Keskimääräisen vedenpinnan muutos sulkemishetkellä (2033) suhteessa kalibroituhiin arvoihin (musta neliö).

Absolute value of mean water level = Keskimääräisen vedenpinnan absoluuttinen arvo

Deviation from calibrated mean water level = Poikkeama kalibroidusta keskimääräisestä vedenpinnasta

Hydraulic Conductivity = Vedenjohtavuus
 Recharge = Pohjaveden muodostuminen
 Specific Yield = Ominaisantoisuus
 Porosity = Huokoisuus

Keskimääräinen vedenpinta on herkin muutoksille pohjaveden muodostumisessa, ominaisantoisuudessa ja huokoisuudessa, ja kohtalaisen herkkä vedenjohtavuuden muutoksille. Pohjaveden muodostumisen lisääminen vaikuttaa vedenpintaan vain vähän, nostaen sitä noin 0,4 metriä tai vähemmän, mutta vastaavasti 10 % ja 25 % vähennys pohjaveden muodostumisessa laskee vedenpintaa noin 1,3 metriä ja 1,6 metriä. Ominaisantoisuuden pieneneminen vaikuttaa samalla tavalla: 10 %:n vähennys laskee vedenpintaa noin 1,2 metriä ja 25 %:n vähennys noin 1,4 metriä. Ominaisantoisuuden lisääminen aiheuttaa vedenpinnan laskua enintään noin 1,0 metriä. Huokoisuuden 10 %:n vähennys ei vaikuta vedenpintaan, mutta 25 %:n vähennys laskee vedenpintaa noin 1,1 metriä; samanlainen lasku havaitaan myös, kun huokoisuutta lisätään 10 % tai 25 %. Vedenjohtavuuden 10 %:n muutos aiheuttaa noin 0,3 metrin muutoksen vedenpinnassa, kun taas 25 %:n muutos aiheuttaa noin 0,7–0,8 metrin muutoksen vedenpinnassa.

Taulukko 2 Vedenpinta (metriä merenpinnan yläpuolella, masl) ja suhteellinen ero metreinä (m) verrattuna kalibroituhiin malliarvoihin kussakin herkkyysskenaariossa.

Sensitivity Scenario Criteria	Water Level (masl)				Deviation from Calibrated Water Level (m)			
	K	R	Sy	n	K	R	Sy	n
-25%	214.94	212.53	212.73	212.99	0.82	-1.59	-1.39	-1.13
-10%	214.44	212.84	212.89	214.12	0.32	-1.28	-1.23	0.00
0%	214.12	214.12	214.12	214.12	0.00	0.00	0.00	0.00
+10%	213.82	214.30	213.07	212.99	-0.30	0.18	-1.05	-1.13
+25%	213.40	214.53	213.20	213.04	-0.72	0.41	-0.92	-1.08

K = Hydraulinen vedenjohtavuus; R = Pohjaveden muodostuminen; Sy = Ominaisantoisuus; n = Huokoisuus; masl = metriä vedenpinnan yläpuolella; m = metriä. Lihavoidut arvot viittaavat VE0+ -kalibrointimalliin.

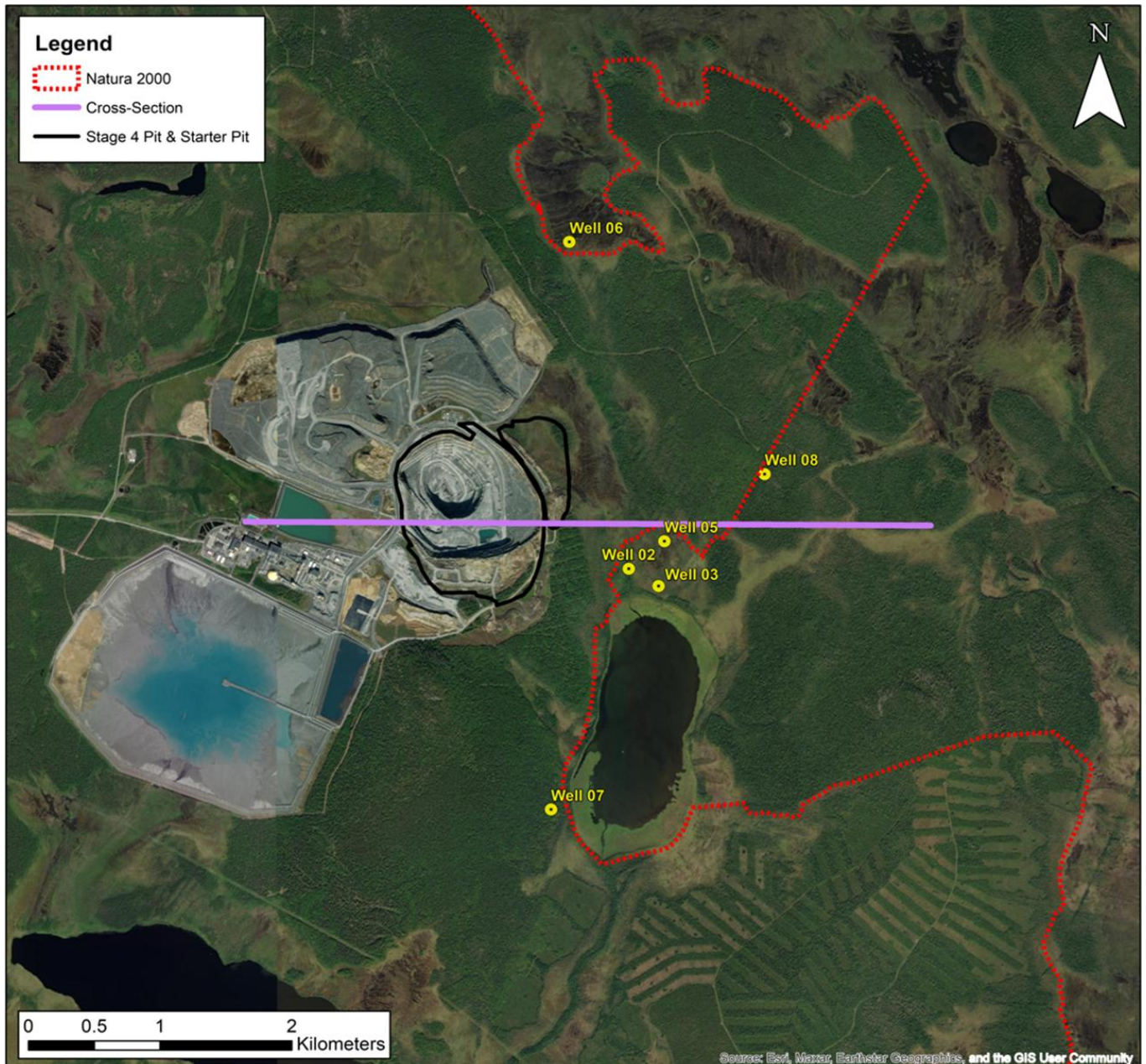
Sensitivity Scenario Criteria = Herkkyysskenaarion kriteerit

Water level = Vedenpinta

Deviation from calibrated water level = Poikkeama kalibroidusta vedenpinnasta

Pohjaveden pinta

Poikkileikkausta on käytetty arvioimaan parametrimuutosten vaikutusta pohjaveden pintaan avolouhoksen ja Natura 2000 -kosteikkoalueen läheisyydessä. Poikkileikkauksen sijainti on esitetty kuvassa 5. Poikkileikkaus kohdistuu louhoksen keskelle ja sijoittuu valikoitujen Natura 2000 -alueella sijaitsevien kaivojen (kaivot 02, 03, 05, 06, 07 ja 08) välille¹.



Kuva 5 Poikkileikkauksen sijainti, jota käytettiin pohjavesipinnan muutosten arviointiin.

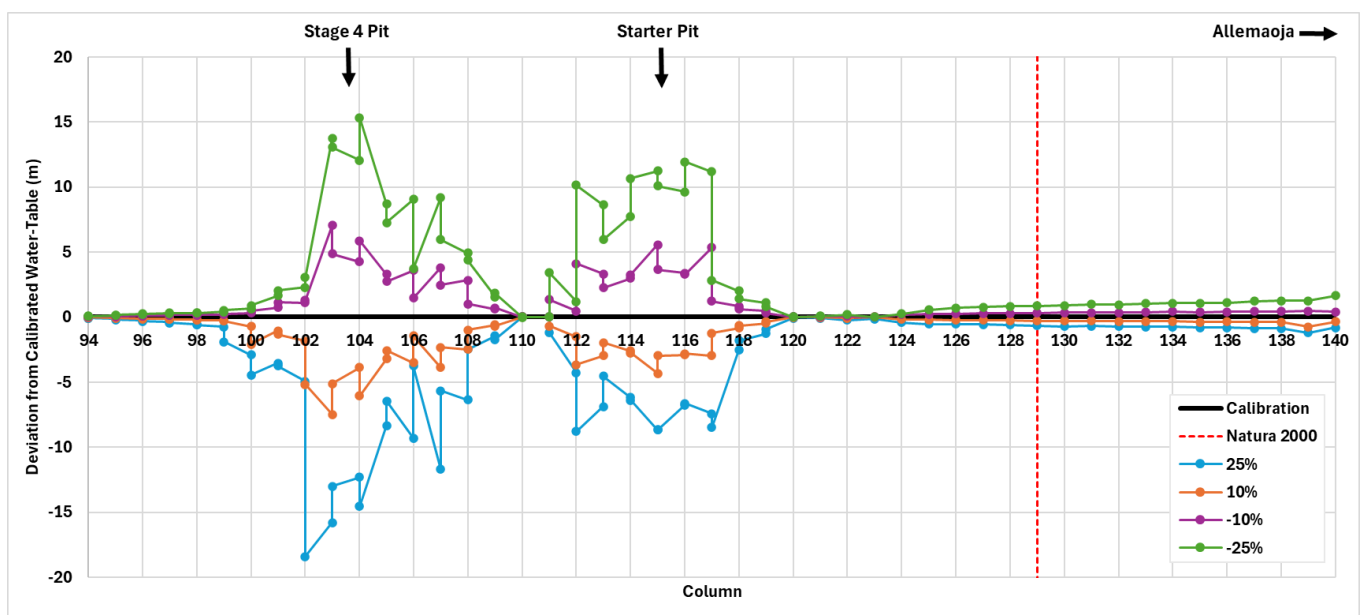
¹ Kaivojen sijainnit on määrittänyt AFRY Finland Oy. Katso raportista WSP, 2025 lisätietoja näistä sijainneista ja niiden käytöstä pohjavesimallinnuksessa.

Legend = Selite

Cross-Section = Poikkileikkaus

Stage 4 Pit & Starter Pit = Vaiheen 4 avolouhos ja tarvekilouhos

Poikkeamat kalibroidusta pohjavedenpinnasta, jotka liittyvät vedenjohtavuuden, pohjaveden muodostumisen, ominaisantoisuuden ja huokoisuuden muutoksiin, on esitetty kuvissa 6–9. Yleisesti ottaen merkittävimmät vaikutukset näkyvät avolouhoksella, mutta joitakin vaikutuksia havaitaan myös Natura 2000 -alueen sisällä riippuen tarkasteltavasta parametrasta. Vedenjohtavuuden ja pohjaveden muodostumisen osalta suuntaukset ovat samankaltaisia kuin keskimääräisen vedenpinnan kohdalla: vedenjohtavuudella on käänteinen suhde vedenpinnan korkeuteen (kuva 6), kun taas pohjaveden muodostumisella on suora, verrannollinen suhde vedenpinnan korkeuteen (kuva 7). Ominaisantoisuus noudattaa samaa kehitystä kuin pohjaveden muodostuminen: ominaisantoisuuden kasvu nostaa pohjavedenpintaa ja vastaavasti sen väheneminen laskee sitä (kuva 8). Huokoisuuden muutoksilla ei yleensä ole juurikaan vaikutusta pohjavedenpintaan, vaikka suurempi huokoisuuden lisäys laskee pohjavedenpintaa, kuten kuvasta 9 nähdään. Ne kohdat, joissa huokoisuudella on suurempi vaikutus pohjavedenpintaan, korreloivat turpeen esiintymisen kanssa mallissa, mikä viittaa siihen, että tietyt kivilajit ovat herkempiä huokoisuuden muutoksille kuin toiset.



Kuva 6 Poikkeama kalibroidusta pohjavesipinnasta metreinä (m) liittyen vedenjohtavuuden muutoksiin.

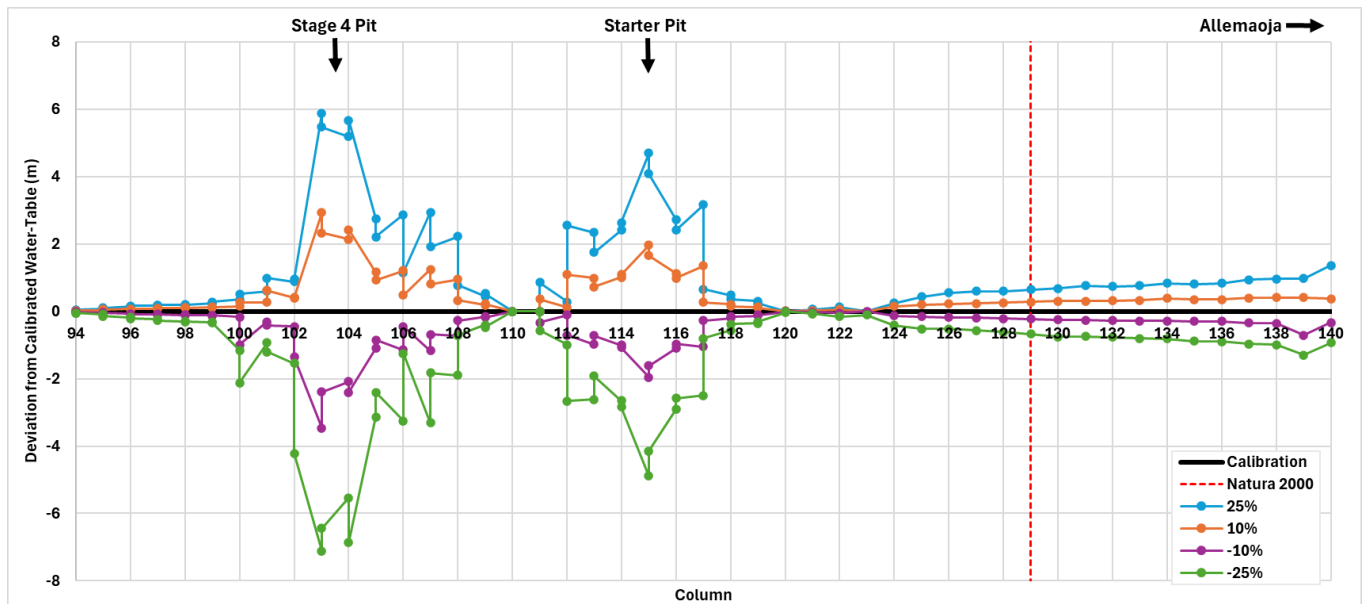
Deviation from calibrated water table = Poikkeama kalibroidusta pohjavedenpinnasta

Column = Sarake

Calibration = Kalibrointi

Stage 4 pit = Vaiheen 4 avolouhos

Starter pit = Tarvekilouhos



Kuva 7 Poikkeama kalibroidusta pohjavesipinnasta metreinä (m) liittyen pohjaveden muodostumisen muutoksiin.

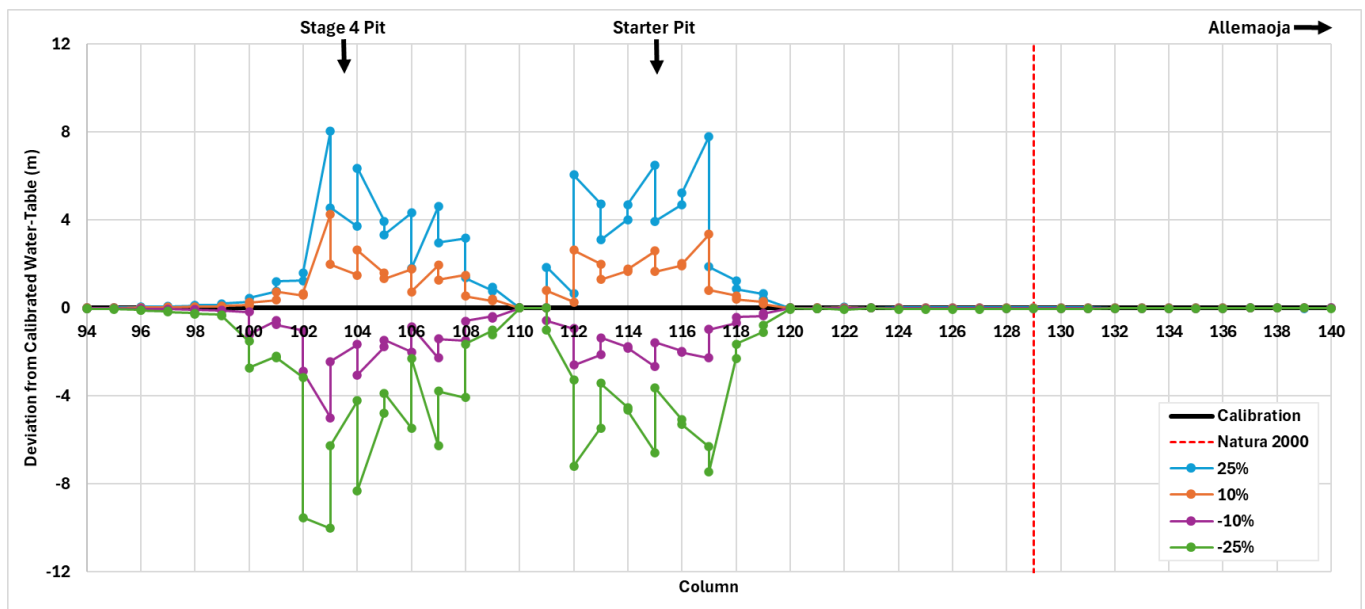
Deviation from calibrated water table = Poikkeama kalibroidusta pohjavedenpinnasta

Column = Sarake

Calibration = Kalibrointi

Stage 4 pit = Vaiheen 4 avolouhos

Starter pit = Tarvekilouhos



Kuva 8 Poikkeama kalibroidusta pohjavesipinnasta metreinä (m) liittyen ominaisantisuuden muutoksiin.

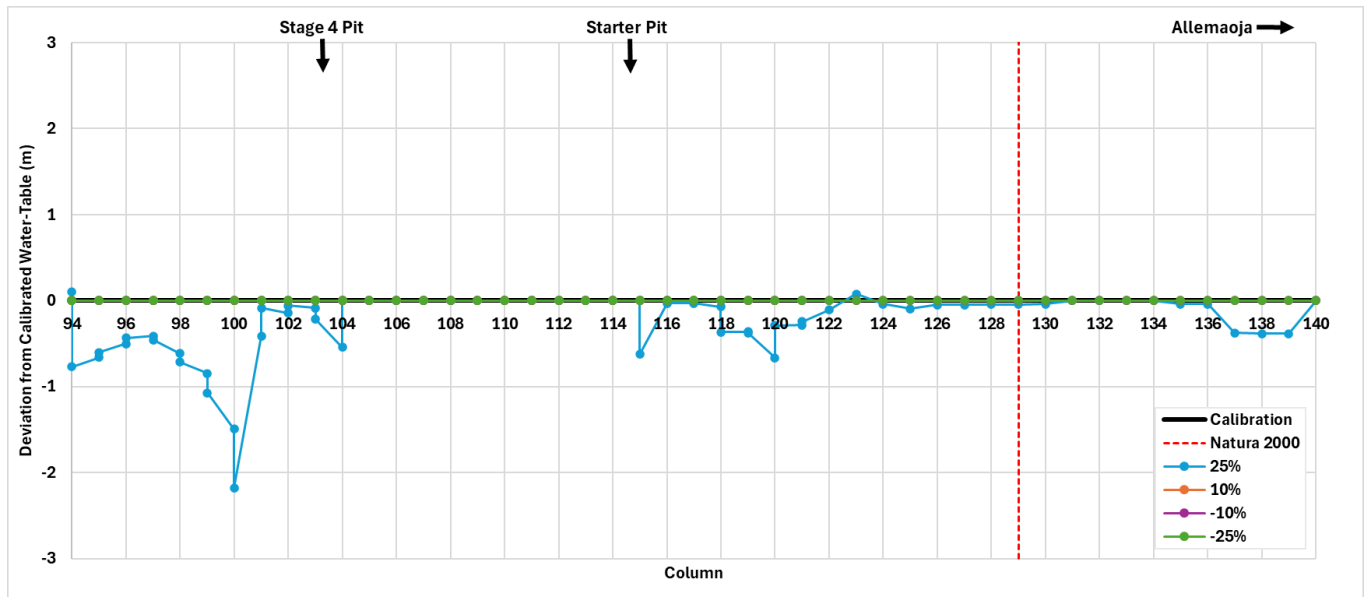
Deviation from calibrated water table = Poikkeama kalibroidusta pohjavedenpinnasta

Column = Sarake

Calibration = Kalibrointi

Stage 4 pit = Vaiheen 4 avolouhos

Starter pit = Tarvekilouhos



Kuva 9 Poikkeama kalibroidusta pohjavesipinnasta metreinä (m) liittyen huokoisuuden muutoksiin.

Deviation from calibrated water table = Poikkeama kalibroidusta pohjavedenpinnasta

Column = Sarake

Calibration = Kalibrointi

Stage 4 pit = Vaiheen 4 avolouhos

Starter pit = Tarvekiloulouhos

Mallinnettu pohjavedenpinta on herkin vedenjohtavuuden muutoksille, seuraavaksi eniten ominaisantisuuden ja pohjaveden muodostumisen muutoksille, ja vähiten herkkä huokoisuuden muutoksille. Huokoisuuden lisäämisellä ei ole vaikutusta pohjavedenpintaan ennen kuin parametria kasvatetaan 25 %, jolloin pohjavedenpinta laskee enimmillään noin 2 metriä avolouhoksella ja noin 0,4 metriä Natura 2000 -alueella. Suurin vaikutus pohjavedenpintaan havaitaan vedenjohtavuuden kasvaessa: Natura 2000 -alueen ulkopuolella 10 %:n lisäys vedenjohtavuudessa aiheuttaa pohjavedenpinnan laskun enimmillään noin 7,5 metriä ja 25 %:n lisäys noin 18,5 metriä. Natura 2000 -alueen sisällä 10 %:n lisäys vedenjohtavuudessa aiheuttaa pohjavedenpinnan laskun enimmillään noin 0,7 metriä ja 25 %:n lisäys 1,2 metriä. Samansuuruisia muutoksia pohjavedenpinnassa havaitaan myös, kun vedenjohtavuutta pienennetään.

10 %:n vähennys pohjaveden muodostumisessa ja ominaisantisuudessa aiheuttaa pohjavedenpinnan laskun länteen Natura 2000 -alueen rajasta noin 3,5 m ja 5,0 m sekä Natura 2000 -alueen sisällä vastaavasti noin 0,7 m ja 0,01 m. 25 %:n vähennys pohjaveden muodostumisessa ja ominaisantisuudessa aiheuttaa pohjavedenpinnan laskun länteen Natura 2000 -alueen rajasta noin 7,0 m ja 10 m sekä Natura 2000 -alueen sisällä vastaavasti noin 1,3 m ja 0,03 m. Samansuuruisia nousuja pohjavedenpinnassa havaitaan, kun pohjaveden muodostumista ja ominaisantisuutta lisätään.

Taulukko 2 Tilastot vedenpinnan poikkeamasta kalibrointimalliin (metreinä, m) Natura 2000 -alueen itäpuolella.

Parameter	Statistic	-25%	-10%	10%	25%
Hydraulic Conductivity (K)	Minimum	-0.01	-0.003	-7.48	-18.41
	Mean	3.60	1.44	-1.44	-3.81
	Maximum	15.33	7.04	0.00	0.01
	SD	4.45	1.79	1.71	4.45
Recharge (R)	Minimum	-7.11	-3.46	0.00	0.00
	Mean	-1.44	-0.53	0.53	1.22
	Maximum	0.00	0.00	2.93	5.87
	SD	1.77	0.70	0.68	1.56
Specific Yield (Sy)	Minimum	-10.01	-4.98	0.00	0.00
	Mean	-2.36	-0.85	0.75	1.74
	Maximum	0.00	0.00	4.27	8.05
	SD	2.71	1.04	0.96	2.22
Porosity (n)	Minimum	0.00	0.00	0.00	-2.18
	Mean	0.00	0.00	0.00	-0.28
	Maximum	0.00	0.00	0.00	0.10
	SD	0.00	0.00	0.00	0.43

Parameter = Parametri

Statistic = Tilastotieto

Hydraulic conductivity = Vedenjohtavuus

Recharge = Pohjaveden muodostuminen

Specific yield = Ominaisantoisuus

Porosity = Huokoisuus

Minimum = Minimi

Mean = Keskiarvo

Maximum = Maksimi

Taulukko 4 Tilastot vedenpinnan poikkeamasta kalibrointimalliin (metreinä, m) Natura 2000 -alueen sisällä.

Parameter	Statistic	-25%	-10%	10%	25%
Hydraulic Conductivity (K)	Minimum	0.85	0.32	-0.74	-1.20
	Mean	1.15	0.42	-0.37	-0.81
	Maximum	1.66	0.83	-0.28	-0.65
	SD	0.22	0.11	0.10	0.12
Recharge (R)	Minimum	-1.30	-0.70	0.28	0.64
	Mean	-0.90	-0.33	0.38	0.89
	Maximum	-0.67	-0.23	0.81	1.37
	SD	0.14	0.10	0.12	0.20
Specific Yield (Sy)	Minimum	-0.03	-0.01	0.00	0.00
	Mean	-0.01	0.00	0.00	0.01
	Maximum	0.00	0.00	0.01	0.02
	SD	0.01	0.00	0.00	0.01
Porosity (n)	Minimum	0.00	0.00	0.00	-0.39
	Mean	0.00	0.00	0.00	-0.09

	Maximum	0.00	0.00	0.00	0.00
	SD	0.00	0.00	0.00	0.14

JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Herkkyysanalyysin tulosten perusteella tehtiin seuraavat johtopäätökset ja suositukset:

- Mallinnetut sisäänvirtaamat ovat herkimpiä muutoksille vedenjohtavuudessa ja vähemmän herkkiä ominaisantisuuden, pohjaveden muodostumisen ja huokoisuuden muutoksille. Sisäänvirtaamat vaihtelevat enintään 6 %:lla tarkasteltaessa äärimmäisiä arvoja pohjaveden muodostumisen, ominaisantisuuden ja huokoisuuden osalta, ja enintään 17 %:lla tarkasteltaessa vedenjohtavuutta. Tarkastelluista parametreista vedenjohtavuuden vaikutus on suurin, joten sen tulisi olla keskiössä tulevissa sisäänvirtaama koskevilla tutkimuksissa.
- Keskimääräinen vedenpinta on herkin muutoksille pohjaveden muodostumisessa, ominaisantisuudessa ja huokoisuudessa, ja kohtalaisen herkkä muutoksille vedenjohtavuudessa. parametrien arvoja säädellessä keskimääräinen vedenpinta muuttui koko mallin alueella enimmillään 1,6 m, mikä vastaa alle 20 % kalibroidun mallin neliöllisestä keskiarvosta (RMS, mallin virheen keskimääräinen suuruus), kuten WSP (2025) raportissa on esitetty. Alueen tulevissa vedenpinnankorkeuden tutkimuksissa ja mallien kalibroinnissa kaikkiin neljään parametriin tulisi kiinnittää huomiota.
- Numeerisen mallin mukaan pohjaveden pinta avolouhoksen ja Natura 2000-alueen läheisyydessä on herkin vedenjohtavuuden, ominaisantisuuden ja pohjaveden muodostumisen muutoksille. Pohjaveden pinta on vähiten herkkä muutoksille huokoisuudessa. Herkkyysanalyysin perusteella näillä alueilla mallia ei pidetä herkkänä huokoisuudelle, vaikka turpeessa huokoisuuden 25 %:n lisäyksellä havaittiin joitakin vaikutuksia. Tulokset osoittavat, että avolouhoksen alue on herkin eri parametrien muutoksille. 25 %:n muutos vedenjohtavuudessa aiheutti jopa 18,4 m eron pohjavedenpinnassa. Natura 2000 -alueella vastaava ero oli huomattavasti pienempi, vain 1,2 metriä. Natura 2000 -alue on siis selvästi vähemmän herkkä parametrien muutoksille kuin avolouhoksen alue. Tästä huolimatta, koska Natura 2000 -alueen kosteikko reagoi pieniin muutoksiin vedenpinnan korkeudessa, tulisi vedenjohtavuuteen pohjaveden muodostumiseen ja ominaisantisuuteen kiinnittää erityistä huomiota tämän alueen tulevissa tutkimuksissa ja mallien kalibroinnissa.
- Tässä muistiossa esitetyn arvion perusteella virtaus- ja alenemaparametrien kokonaisherkkyys voidaan asettaa järjestykseen seuraavasti (herkimmästä vähiten herkkään):
 - Vedenjohtavuus.
 - Pohjaveden muodostuminen ja ominaisantisuus.
 - Huokoisuus.
- Mallin kalibrointi perustuu useiden parametrien samanaikaiseen säätämiseen, eikä ratkaisu ole yksiselitteinen. Erilaiset parametriyhdistelmät voivat tuottaa samankaltaisia kalibrointituloksia. Yksiselitteisen ratkaisun löytäminen on epätodennäköistä. Herkkyysanalyysi osoittaa, mitkä parametrit vaikuttavat mallin tuloksiin enemmän kuin toiset, ja auttaa tunnistamaan, mihin aineiston keräämisen ja mallin kalibroinnin tulisi

keskittyä. Nykyinen mallin kalibrointi ja siihen liittyvät tulokset (WSP, 2025) katsotaan päteviksi, kun huomioidaan käytetyt oletukset ja yhteensopivuus konseptuaalisen mallin kanssa.

- Ennusteiden epävarmuuden vähentämiseksi aineistonkeruu tulisi kohdistaa sisäänvirtaamien kohdalla etenkin vedenjohtavuuteen, koko alueen vedenpinnan korkeuden kohdalla kaikkiin neljään parametriin sekä Natura 2000 -alueen läheisyydessä pohjaveden pinnan kohdalla vedenjohtavuuteen, ominaisantoisuuteen ja pohjaveden muodostumiseen.

VIITTEET

- WSP (2025). Environmental Studies 2024-2025, Groundwater Flow and Drawdown Modelling. Reference G321132.UK0040343.01 Rev B.0, dated 18 July 2025.