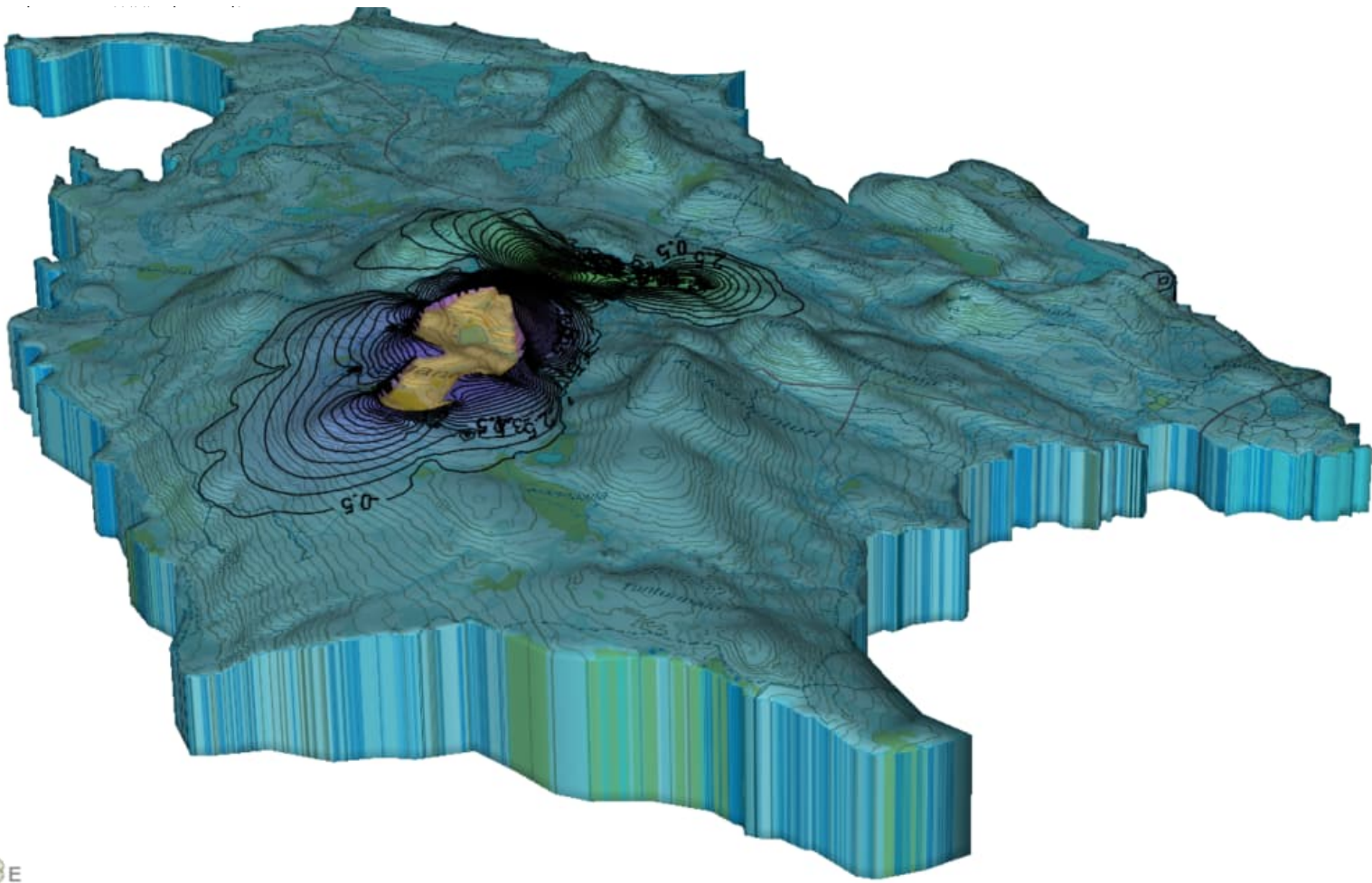


**Liite 2 Ailangantunturin pumppuvoimaitoksen numeerinen pohjavesimallinnus.
AFRY Finland Oy, 6.5.2025**



FEFLOW (R)

4220 elements selected
0 rd1

Asiakas: Kemijoki Oy

Projekti: Ailangantunturin pumppuvoimalaitoksen numeerinen pohjavesimallinnus

Projektinnumero: 101023737-001



AFRY
AF PÖYRY

Päiväys
06/05/2025
Projektitunnus
101023737-001

Asiakas
Kemijoki Oy

Ailangantunturin pumppuvoimalaitoksen numeerinen pohjavesimallinnus

TIIVISTELMÄ

Kemijoki Oy suunnittelee Ailangantunturille pumppuvoimalaitoksen rakentamista sekä voimajohtoa Ailangantunturilta Pirttikosken sähköasemalle. Hankealue sijaitsee noin 22 km Kemijärven keskustasta etelään. Pumppuvoimalaitoksen yläallas on suunniteltu rakennettavaksi Ailangantunturin päälle, ja ala-altaana toimii Kemijärvi. Tuotettava sähkö liitetään Fingridin Autissa sijaitsevaan Pirttikosken sähköasemaan. Voimajohdon jännite on 400 kilovolttia.

Työssä kerättiin ja käytiin läpi Ailangantunturin alueelta saatavilla oleva geologinen, hydrologinen, hydrogeologinen, geofysikaalinen ja geometrinen aineisto. Maaperän paksuus mallinnettiin käyttäen maastokarttoja ja geologisia karttoja, kairarei'istä ja pohjavesiputkista mitattuja maaperäkerrosten paksuuksia ja geofysiikan mittaustuloksista tulkittuja maakerrospaksuuksia. Kairarei'issä ja pohjavesiputkissa tehtiin vedenjohtavuuden mittauksia. Pohjavesimallinnus tehtiin FEFLOW-ohjelmalla tasapainotilan malleina. Malli kalibroitiin nykytilanteeseen eli vastaamaan vuonna 2025 mitattuja pohjavesipintoja.

Rakentamisaikaa simuloitiin niin, että kaikki pumppuvoimalan maanalaiset tilat ja tunnelit mallinnettiin kuivatettuina ilman tiivistystä ja ylävesiallas ilman vesitäyttöä. Simuloinnissa pohjavettä suotautuu louhittuihin tiloihin noin 1240 m³/d. Merkittävimmät vuotokohdat ovat ruhjeiden leikkauskohdissa. Ruhjeiden kohdalta kuivatettaviin tiloihin suotautuu pohjavettä yhteensä noin 630 m³/d. Simuloinnissa pohjavedenpinta laskee melko laajalti kuivatettavien tilojen kohdalla.

Toiminnan aikaisen tilanteen mallissa Ailangantunturin Tunturilammen kohdalla on ylävesivarastoallas ja siitä vesitunneli Kemijärveen. Vesitunneli mallinnettiin tiiviinä, koska vesi kulkee vesivarastoaltaalta turbiineille teräsputkessa ja turbiineita Kemijärveen betonoidussa tunnelissa. Ajotunnelit ja konetila mallinnettiin kuivatettavina tiloina, joihin suotautuu pohjavettä ja jotka pidetään kuivina pumppaamalla. Mallinnus tehtiin kahdella eri ylävesivarastoaltaan vesipinnan korkeudella 342,50 m mpy ja 358,50 m mpy. Simuloinnissa pohjavettä suotautuu ajotunneleihin ja konetilaan noin 675–680 m³/d, jos erityisiä tiivistystoimenpiteitä ei tehdä. Merkittävimmät vuotokohdat ovat ruhjeiden leikkauskohdissa, ja niiden kohdalta kuivatettaviin tiloihin suotautuu pohjavettä yhteensä noin 370 m³/d. Ylävesivarastoaltaasta suotautuu vettä pohjan läpi altaan vesipinnan korkeudesta riippuen 340–750 m³/d, ja altaan ympärillä pohjavesipinta nousee nykyisestä, lähteiden virtaama voi kasvaa ja lähteitä/kosteikkoja syntyä lisää. Ajotunneleiden ja konehuoneen ympärillä pohjavedenpaine korkeus laskee, ja pohjavesipinta maaperässä voi alentua.

Pumppuvoimalan toiminta-aikaa simuloitiin myös niin, että vesivarastoaltaan pohjan vedenjohtavuudeksi asetettiin $5 \cdot 10^{-8}$ m/s ja ajotunneleita leikkaavien ruhjeiden $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Simuloinnissa pohjavettä suotautuu ajotunneleihin ja konetilaan yhteensä noin $424 \text{ m}^3/\text{d}$. Merkittävimmät vuotokohdat ovat ajotunnelin sisäänmenoaukon kohdalla, ja ruhjeiden leikkauskohdista kuivatettaviin tiloihin suotautuu pohjavettä enää noin $67 \text{ m}^3/\text{d}$. Ylävesivarastoaltaasta suotautuu vettä pohjan läpi altaan vesipinnan korkeudesta riippuen $210\text{--}435 \text{ m}^3/\text{d}$, ja altaan ympärillä pohjavesipinta nousee nykyisestä, lähteiden virtaama voi kasvaa ja lähteitä/kosteikkoja syntyä lisää, mutta vaikutukset ovat selvästi pienemmät kuin ilman tiivistystoimenpiteitä.

Rakentamis- ja toiminta-ajan vaikutus pohjavedenpinnan korkeuteen riippuu suuresti maa- ja kallioperän hydraulisen vuorovaikutuksen voimakkuudesta. Mallissa pohjavedenpinnan alenema voi ulottua noin $500\text{--}1000$ m laajuiselle alueelle tunneleiden ympärillä, mutta todennäköisesti vaikutus ei maaperäpohjavedessä ole näin laaja. Ylävesivarastoaltaan ympärillä pohjavesipinta voi nousta $200\text{--}1000$ m etäisyydellä altaan reunasta. Vaikutuksia voidaan lieventää tiivistämällä maanalaisten tilojen ruhjeleikkausten kohdat sekä ylävesivarastoaltaan pohjaa.

Sisälllys

Tiivistelmä

1	Johdanto	6
1.1	Tausta	6
1.2	Työn tavoite	8
1.3	Tämä raportti	8
2	Lähtöaineistot ja puuteanalyysi	9
3	Maastotutkimukset ja mittaukset	11
3.1	Pohjavesiputket ja kairaukset	11
3.2	Maaperäskannaukset	21
3.3	Maatutkaluotaukset	23
4	Mallinnettava alue	24
4.1	Topografia	24
4.2	Valuma-alueet	25
4.3	Mallinnusalueen rajaus	26
4.4	Sadanta	27
4.5	Maaperä	27
4.6	Kallioperä	30
4.6.1	Ruhjeet	34
4.7	Pohjavesi	38
4.8	Kalliotopografian malli	41
4.9	Pumppuvoimalaitoksen yleiskuvaus	57
4.9.1	Toimintaperiaate	57
4.9.2	Ylävarastoallas	60
4.9.3	Vesitunneli ja turbiini	62
4.9.4	Tunnelin ja konetilan louhinta	62
4.9.5	Ruoppaukset ja läjitys	63
4.9.6	Maanpoisto yläaltaasta ja niiden läjittäminen	63
4.10	Hydrogeologinen konseptualisointi	64
5	Numeerisen 3D-pohjavesimallin muodostaminen	66
5.1	2D verkko	66
5.2	Kerrosmalli	68
5.3	Reunaehdot	72
5.4	Materiaalien ominaisuudet	74
5.5	Kalibrointi	76
6	Mallinnuksen tulokset	80
6.1	Vuosi 2025	80
6.2	Rakentamisaika	84
6.3	Toiminta-aika	87

6.3.1	Simulointi 1: ylävesivarastoaltaan vesipinnan korkeus 358,50 m (N43)88	
6.3.2	Simulointi 2: ylävesivarastoaltaan vesipinnan korkeus 342,50 m (N43)93	
6.3.3	Simulointi 3: ylävesivarastoaltaan pohjan ja ruhjeiden vedenjohtavuuden vaikutus	95
6.4	Herkkyystarkastelut	102
7	Johtopäätökset ja epävarmuudet	104
8	Lähteet	107

LIITE 1: Pohjavesiputkien putkikortit (Mitta Oy)

LIITE 2: Kairausraportit (Mitta Oy)

LIITE 3: Maaperäskannaukset (Deep Scan Tech Oy)

LIITE 4: Maatutkaluotaukset (Mitta Oy)

1 Johdanto

1.1 Tausta

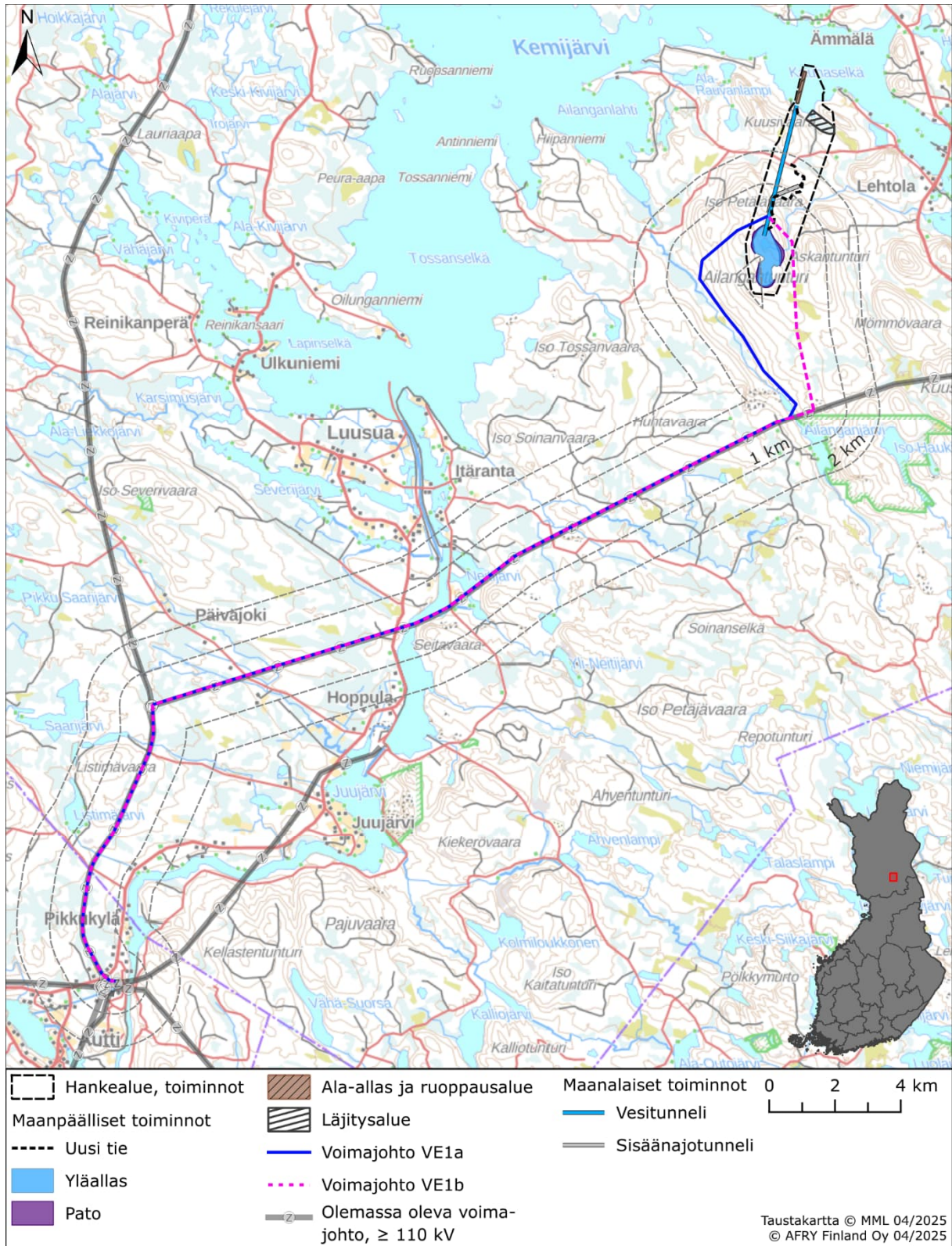
Kemijoki Oy suunnittelee Ailangantunturille pumppuvoimalaitoksen rakentamista sekä voimajohtoa Ailangantunturilta Pirttikosken sähköasemalle (Kuva 1-1). Hankealue sijaitsee noin 22 km Kemijärven keskustasta etelään. Pumppuvoimalaitoksen yläallas on suunniteltu rakennettavaksi Ailangantunturin päälle ja ala-altaana toimii Kemijärvi. Tuotettava sähkö liitetään Fingridin Autissa sijaitsevaan Pirttikosken sähköasemaan. Voimajohdon jännite on 400 kilovolttia.

Pumppuvoimalaitos toimii Suomen sähköjärjestelmää tasapainottavana energiavarastona. Kun sähkön kysyntä on suurta tai sähköjärjestelmässä on häiriö, tuotetaan sähköä laskemalla vesi ylävarastosta turbiinien läpi veden alavarastoon. Kun sähköä tuotetaan enemmän kuin sille on tarvetta ja sähkönhinta on matala, esimerkiksi tuulisina tai aurinkoisina päivinä, pumppuvoimalaitos pumppaa veden takaisin ylävarastoon.

Hanke käsittää pumppuvoimalaitoksen ylävarastona toimivan yläaltaan rakentamisen Ailangantunturin yläosaan, ruoppauksen ala-altaana toimivassa Kemijärven Kuusilahdessa, tunnelien ja maanalaisten tilojen louhimisen ja rakentamisen, 400 kV:n voimajohdon rakentamisen Fingridin Autissa sijaitsevalle Pirttikosken sähköasemalle sekä sähköaseman ja pääsytien rakentamisen.

Pumppuvoimalaitoksen sähköntuotanto- ja pumppausteho on 550 MW ja laitoksen tyyppi pumpputurbiini. Koneistoja on kolme ja putouskorkeuspotentiaali noin 200 metriä. Ylävarastoaltaan pinta-ala on noin 1 neliökilometri ja vesitilavuus noin 13 miljoonaa kuutiometriä (m³). Pumppuvoimalaitoksen rakennusvirtaama on noin 300 m³/s. Vesitunnelin pituus ylävarastosta alavarastoon on noin 4,5 kilometriä ja halkaisija on noin 9 metriä.

Hanke on tällä hetkellä esisuunnitteluvaiheessa, ja hankkeen YVA-menettely on käynnistetty (AFRY 2024). Alustavan aikataulun mukaan rakentaminen voisi alkaa aikaisintaan vuonna 2029 ja tuotanto vuonna 2032.



Kuva 1-1. Hankealueen sijoittuminen ja hankevaihtoehdot (AFRY 2024).

1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on syventää ymmärrystä Ailangantunturin alueen hydrogeologiasta ja laatia alueesta nykytilaa kuvaava numeerinen 3D-pohjavesimalli sekä simuloida pumppuvoimalan rakentamisen ja toiminnan aikaista vaikutusta pohjavesiolosuhteisiin. Pohjavesimallinnuksen ensimmäinen työvaihe sisältää lähtötietojen kokoamisen, niiden käytettävyyden arvioinnin ja puuteanalyysin. Tämän jälkeen kootaan hydrogeologinen konseptuaalinen malli, jonka perusteella tehdään numeerinen 3D pohjavesimalli alueesta. Pohjavesimalli kalibroidaan nykytilanteeseen mitattujen pohjavesipintojen perusteella. Kalibroidulla mallilla simuloidaan pumppuvoimalan rakentamisen ja toiminnan aikaisia vaikutuksia alueen pohjavesiolosuhteisiin.

1.3 Tämä raportti

Työn tausta, tarkoitus ja sisältö esitellään luvussa 1. Luvussa 2 käydään läpi lähtöaineisto ja tehdään puuteanalyysi. Maastomittaukset on kuvattu luvussa 3. Luvussa 4 kuvataan mallinnettava alue, maaperän syvyysmalli eli kallion topografian määrittely ja hydrogeologinen konseptuaalinen malli. Numeerisen mallin muodostaminen ja mallin kalibrointi nykytilaan on esitetty luvussa 5. Rakentamisen ja toiminnan aikaisen tilanteen simulointi ja mallin herkkyytstarkastelut on kuvattu luvussa 6. Johtopäätökset ja mallin tuloksiin liittyvät epävarmuudet esitetään luvussa 7. Lopuksi luvussa 8 on esitetty lähdeluettelo.

Tässä raportissa esitetyt syvyyslukemat on esitetty yksikössä metriä merenpinnan yläpuolella (m, N43). Koordinaatistona on käytetty ETRS-TM35FIN.

2 Lähtöaineistot ja puuteanalyysi

Konseptuaalista ja numeerista mallinnusta varten käytiin läpi kaikki saatavilla oleva hydrologinen, geologinen, hydrogeologinen, geofysikaalinen ja geometrinen aineisto mallinnettavasta alueesta. Tämän työn yhteydessä Ailangantunturin alueella tehtiin kairauksia sekä geofysikaalisia ja hydrogeologisia tutkimuksia ja mittauksia, jotta saatiin lähtötietoa pohjavesimallinnusta varten. Tietoa ladattiin myös julkisista tietokannoista: Ilmatieteen laitos, Geologian tutkimuskeskus (GTK), Maanmittauslaitos (MML), Suomen ympäristökeskus (SYKE) sekä Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY).

Taulukossa 2-1 esitetään saatavilla oleva aineisto, jota voidaan hyödyntää konseptuaalisessa ja numeerisessa pohjavesimallissa.

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

Aineisto	Kuvaus	Lähde	Parametri malliin	Saatavuus	Puute	Suunnitelma
Hydrologia						
Ilmasto	Paikallinen säähavainto-aineisto: sadanta	Sääasema (Ilmatieteen laitos 2025, Kemijärven lentokentän havaintoasema)	Pohjaveden muodostuminen/veden imeytyminen maanpinnalta	Aineisto ladattu Ilmatieteenlaitoksen avoimesta datapalvelusta (Kemijärven lentokentän havaintoasema)		
Pintavedet	Järvet, joet, purot, uomat, lammet	Maanmittauslaitos (MML), SYKE	Pohjavesimallin rajaaminen, mallin geometria, reunaehdot ja pohjaveden muodostuminen	Aineisto ladattu MML:n palvelusta		
Geometriat						
Topografia	Maanpinnan topografia	Maanmittauslaitos (MML 2025)	Mallin rajaus, malligeometria	Aineisto ladattu MML:n avoimen datan palvelusta		
	Kalliopinnan topografia	AFRY määrittelee	Malligeometria	Kairareiät, GTK:n geofysiikan aineistoja ja kartta-aineistoa (GTK Maankamara, GTK Hakku-palvelu), maaperätutkimukset (Mitta Oy), maaperäskannaukset (Deep Scan Tech 2024)		

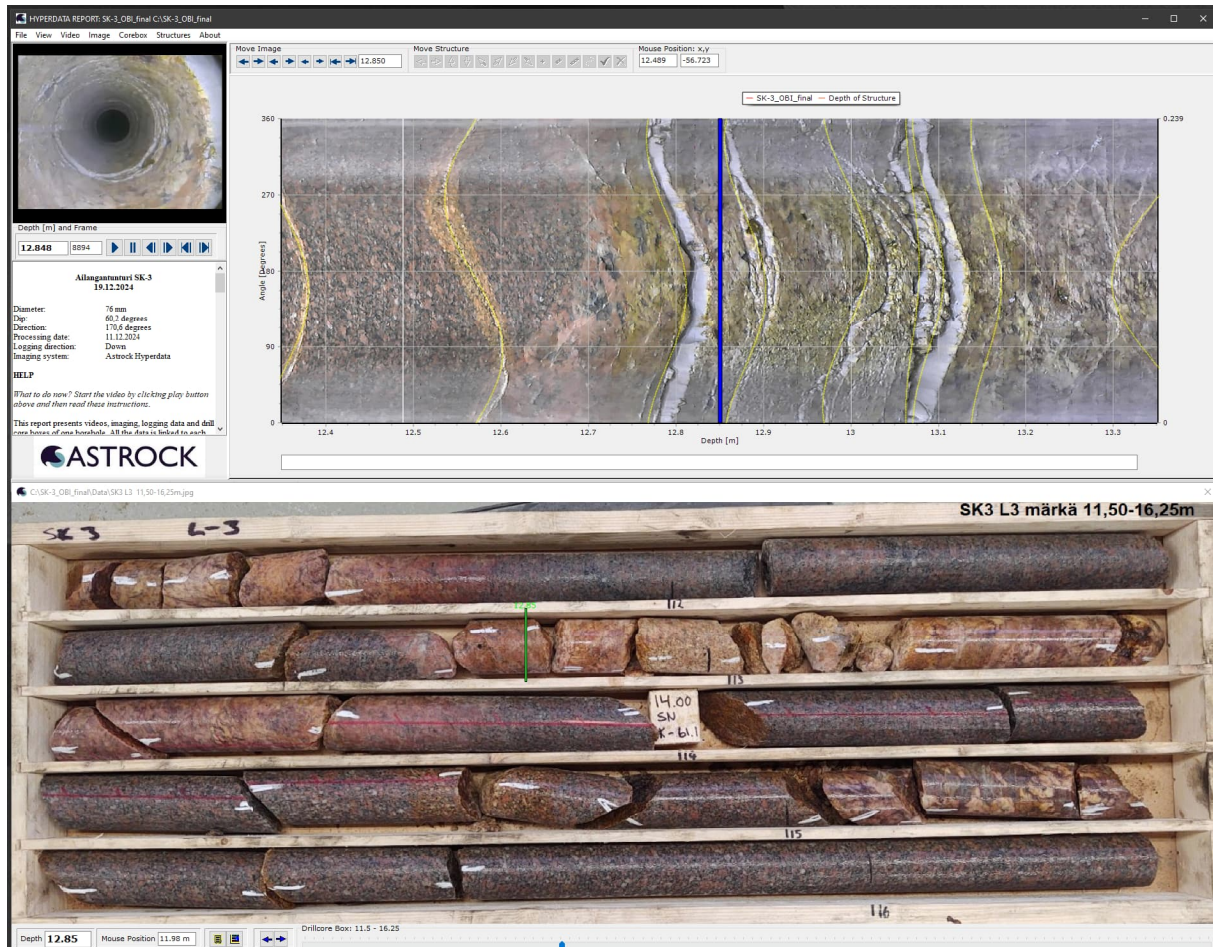
Aineisto	Kuvaus	Lähde	Parametri malliin	Saatavuus	Puute	Suunnitelma
Pumppuvoimalan geometria	Ylävesiallas, padot ja vesi- sekä ajotunnelit	Kemijoki Oy	Malli-geometria	Saatu Kemijoki Oy:ltä (KEM-AIL-CS-GE-001-002.dwg)		
Geologia						
Maaperä	Maalajit, kerros-paksuudet	GTK maaperäkartta, kairautiedot, maaperä-skannaukset (Deep Scan Tech 2024)	Malli-geometria, maaperän vedenjohtavuus	Maaperäkartta (GTK maankamara ja Hakku-palvelu 2025), kairaukset (Mitta Oy), maaperä-skannaukset (Deep Scan Tech 2024)		
Kallioperä	Kivilajit RQD, rakotiheys	Kairaukset (Mitta Oy), GTK kallioperäkartta	RQD-analyysi syvyyden mukaan, malli-geometria, kallioperän vedenjohtavuus	Kallioperäkartta (GTK Maankamara 2025), kairaus ja RQD (Mitta Oy)		
	Ruhjevyöhykkeet	Ruhjetulkinnat (GTK)	Malli-geometria, kallioperän vedenjohtavuus	GTK määritellyt alueelliset ruhjevyöhykkeet (GTK Hakku 2025)		
Hydrogeologia						
Pohjavesi	Maaperän pohjavesi	Pohjavesiputkista tehdyt pohjaveden pinnankorkeuden ja vedenjohtavuuden mittaukset	Pohjavesipinta maaperässä, maaperän vedenjohtavuus	Pohjavesiputkissa tehty pohjavesipinnan seuranta, maaperän vedenjohtavuuden mittauksia tehty pohjavesiputkissa (Mitta Oy 2024, liite 1)	Turvealueilla ei ole tehty vedenjohtavuusmittauksia	Turpeen vedenjohtavuus perustuu kirjallisuusarvoon
	Kallioperän pohjavesi	Kairareilissa tehdyt vedenjohtavuuden mittaukset	Kallioperän ja ruhjeiden vedenjohtavuus	Vesimenekkitoketta tehty kolmessa kairareilässä 6 m syvyyvälein, lisäksi slug-testejä tehty kallioon ulottuvissa pohjavesiputkissa (Mitta Oy 2024, liite 2)		

3 Maastotutkimukset ja mittaukset

3.1 Pohjavesiputket ja kairaukset

Mitta Oy asensi syksyllä 2024 Ailangantunturin alueelle yhteensä 16 pohjavesiputkea niin, että kaksi putkea, matalampi ja syvempi, on aina vierekkäin (Kuva 3-6). Putkista on mitattu pohjavesipinnat ja niissä on tehty slug-testejä vedenjohtavuuden selvittämiseksi (Taulukko 3-1, liite 1 putkikortit). Ensimmäiset pohjavesipintojen aseman mittaukset tehtiin välittömästi asentamisen jälkeen 27.11.2024. Toinen mittauskierros tehtiin kaksi kuukautta myöhemmin 21.1.2025. Pinnat olivat useimmissa putkissa muuttuneet (tasaantuneet), ja tietojen pitäisi edustaa vakiintunutta tilannetta. Osa putkista oli jäässä toisen mittauskierroksen aikaan. Vesipintojen vaihtelu vuodenajan mukaan on todennäköisesti voimakasta.

Mitta Oy kairasi myös kolme kallioreikää SK1, SK2 ja SK3 (liite 2 kairausraportit). Kairasydännäytteistä kartoitettiin geotekniset parametrit kuten ROD-luku. Lisäksi reiät SK2 ja SK3 kuvattiin reikäkuvauksin (Astrock Oy), reikiä yläosat optisen kuvantamisen menetelmällä (Astrock Oy oma kalusto) ja alaosat samean veden täyttämältä osuudelta akustisen televiererin menetelmällä (ABI). Kuvaustuloksista tulkittiin rakojen suunnat, jotka esitettiin kuvien rinnalla hyperdatasovelluksessa (Kuva 3-1) ja luovutettiin taulukkomuodossa.



Kuva 3-1. Reikäkuvauksen hyperdataesitys (Astrock Oy). Eteenpäin suunnatusta kuvasta kaapattu karttamainen esitys on linkitetty näytelaatikoiden valokuvuihin. Reiän kuvaustuloksesta on poimittu suunnatut rakotiedot ja rakoavaumat. Vastaavat esitykset on tehty akustisen televieverkuvantamisen tuloksista.

SK1: Kairasydän on keskimäärin (n. 54 %) harvarakoista (<1 kpl/m). Vähärakoista (1–3 kpl/m) kivilaatua reiässä esiintyy n. 34 %. Runsasrakoista kiveä (3–10 kpl/m) esiintyy noin 11 % kairasydäimestä. Vain noin 1 % kivilaadusta on tiheärakoista kalliota. Tiheärakoisia (>10 kpl/m). Reiän yläosassa on jonkin verran tiheämpää rakoilua, kuitenkin kivilaatu on pääasiassa harvarakoista. Noin 100 m syvyydessä sijaitsee yksi haarniskarakojen keskittymä. Vastaavasti rikkonaisuusvyöhykettä osoittavaa rakoilua on syvyysvälillä 170–200 m (pieni vedenjohtavuus) ja 250 m kohdalla. Kuitenkin ROD-luku osoittaa hyvälaatuisia kalliota. Reiän rakosuunnat ovat pystyasentoisia ja rakojen kulkusuunnat ovat luode-kaakkoinen ja koillis-lounainen. Lisäksi tavataan loivakaateinen tai vaakasuora rakosuunta.

SK2: Reiässä SK2 kalliolaatu on hyvä. Kairasydän on keskimäärin (n. 54 %) harvarakoista (<1 kpl/m). Vähärakoista (1–3 kpl/m) kivilaatua reiässä esiintyy n. 23 %. Runsasrakoista kiveä (3–10 kpl/m) esiintyy noin 21 % kairasydäimestä. Vain

noin 2 % kivilaadusta on tiheärakoista kalliota. Tiheärakoisia (>10 kpl/m) kohtia on 220 m reikämatkan alapuolella. Rikkoutuneet Ri-vyöhykkeet ovat yleensä alle metrin pituisia, ja niitä esiintyy harvakseltaan. Rakosuunnista vallitsee pystyasentoinen rakoilu, jonka kulkusuunta on luode-kaakkoinen. Lisäksi loivakaateinen rakosuuntaus on selkeä. Noin 40 m reikäsyvyyden kohdalla sijaitsee kapea rakovyöhyke. Syvyysvälillä 0–200 m havaitaan pääosin loivakaateista rakoilua. Syvyyden 220 m alapuolella rakoilu tihenee ja havaitaan myös jyrkkäkaateisia rakoja. Kairareissä on todettu vain yksi vettä johtava kohta, joka liittyy yksittäiseen avorakoon. Kohdalla ei ole erityistä rikkonaisuusvyöhykettä.

SK3: Kairasydän on pääasiassa runsasrakoista kiveä (3–10 kpl/m), jota esiintyy 50 % kairasydämeistä. Rikkonaiseksi (RIIII–RIIV) luokiteltavaa kiveä on noin 29 % ja raparakenteiseksi luokiteltavaakin jopa 6 %. Harva- tai vähärakoista kairasydäntä on vain noin 15 %. Tiheärakoisia (>10 kpl/m) rikkonaisuusvyöhykkeitä havaittiin kairareissä 46 kappaletta käytännössä melko tasaisesti reikäpituudelle jakautuneena. Rikkonaisuusvyöhykkeiksi tulkittiin tasametreittäin lasketut osueet, joissa em. ehto toteutuu. Hyvin rikkonaisissa kohdin, joissa rakoluvun tarkka laskeminen oli mahdotonta, käytettiin rakoluvun teknisenä arvona 15 kpl/m. Rikkonaisuusvyöhykkeiden väleihin jäi hieman ehjempää kalliota syvyysväleillä 81–98 m, 163–176 m ja 178–203 m.

Reikä SK3 on voimakkaasti rikkoutunut, paikoin rapautunut ja rakoilu on lähes kauttaaltaan tiheää. Voimakasta vedenjohtavuutta on tavattu syvyysväleillä 0–100 m ja 150–180 m. Voimakkaasti rapautuneet ja rikkonaiset kohdat 100–150 m kohdalla eivät ole vettä johtavia. Vedenjohtavuuden puuttuminen rakoilusta huolimatta johtuneen rapautuneiden ja savitäytteisten rakojen vaikutuksesta. Samoin reiän loppuosa on tiivis rikkonaisuudesta huolimatta, mikä voi johtua rapautumisen lisäksi rakojen avauman sulkeutumisesta tai jatkuvuuden vähenemisestä syvyyden kasvaessa. Rakosuunnat ovat jyrkkiä tai keskikaateisia koilliseen (kulku luode-kaakko). Myös loivakaateinen rakosetti on selkeä.

Rakosuunnat vaihtelevat syvyyden mukaan siten, että myös kulultaan itä-läntisiä, pohjoiseen kaatuvia rakoja tavataan paikoin. Rakosuuntien jakaumat erottuvat selkeämmin optisen kuvauksen rakotulkinnoista.

Kairasydännäytteistä on kartoitettu katkossummat, rakokulmat, rakoluvut ja RQD-luvut metrin matkalta määritettyinä. Lisäksi näytteistä on määritetty haarniskarakojen sijainti ja kulma kairasydämen akseliin nähden, mahdollinen näytehukka, Q' -luku metreittäin, rakopintojen karkeusluku J_r , rakopintojen muuttuneisuusluku J_a sekä rakosuuntien arvioitu lukumäärä J_n ja havaitut rakotäytteet. Rakosuunnat ja rikkonaisuusvyöhykkeiden lävistykset tarkasteltiin





tämän työn yhteydessä. Tuloksista laaditut yhteenvedot on esitetty kuvissa 3-2, 3-3, 3-4 ja 3-5.

Kairareikäesitysten selitteet



























Kivilaji

	Graniitti
	Migmatiitti
	Kiillegneissi
	Amfiboliitti
	Pegmatiitti
	Mafinen Vulkaniitti
	Rapautunut Graniitti

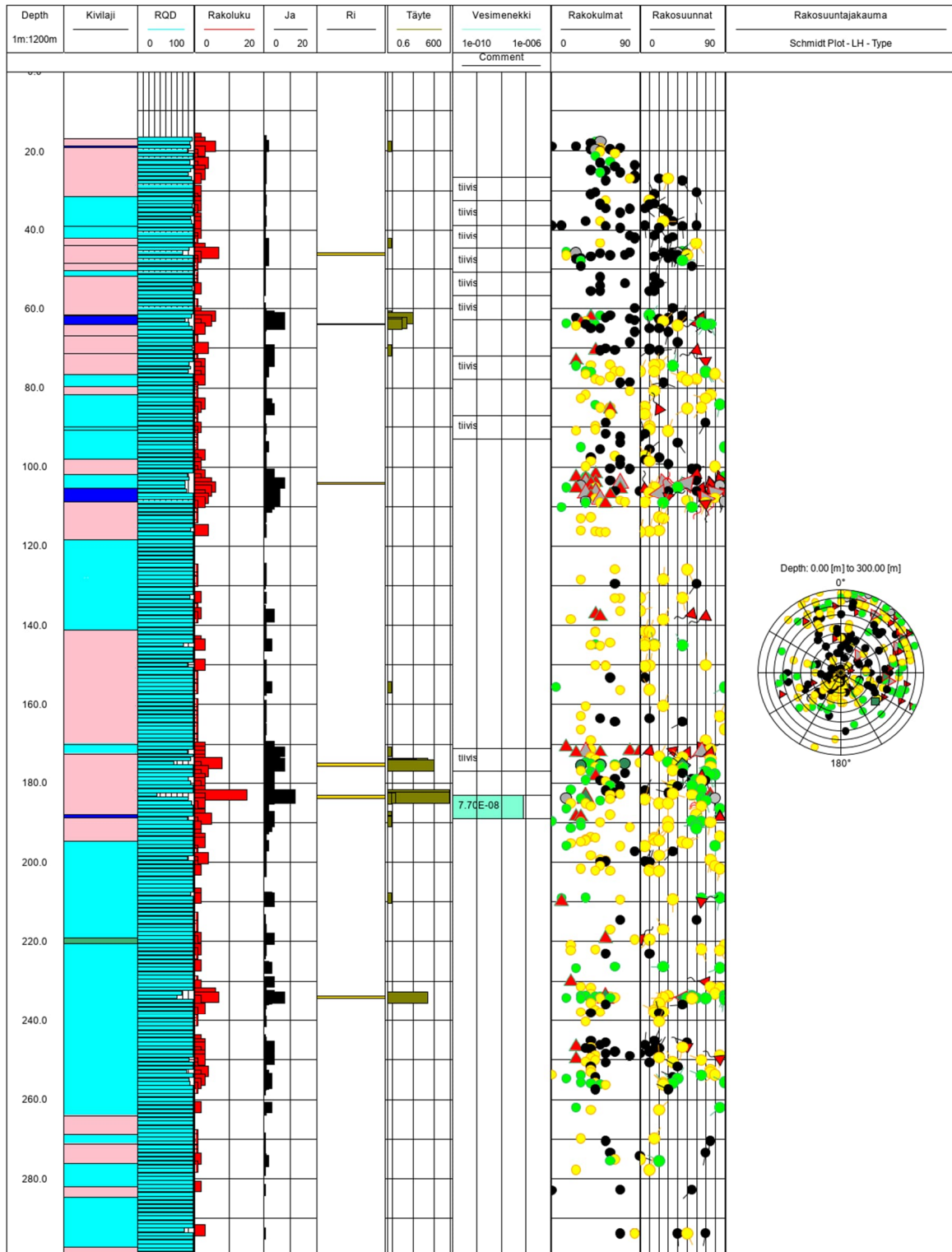
Rikkonaisuus

	Rill
	Ehyt
	RiV
	Rapautunut

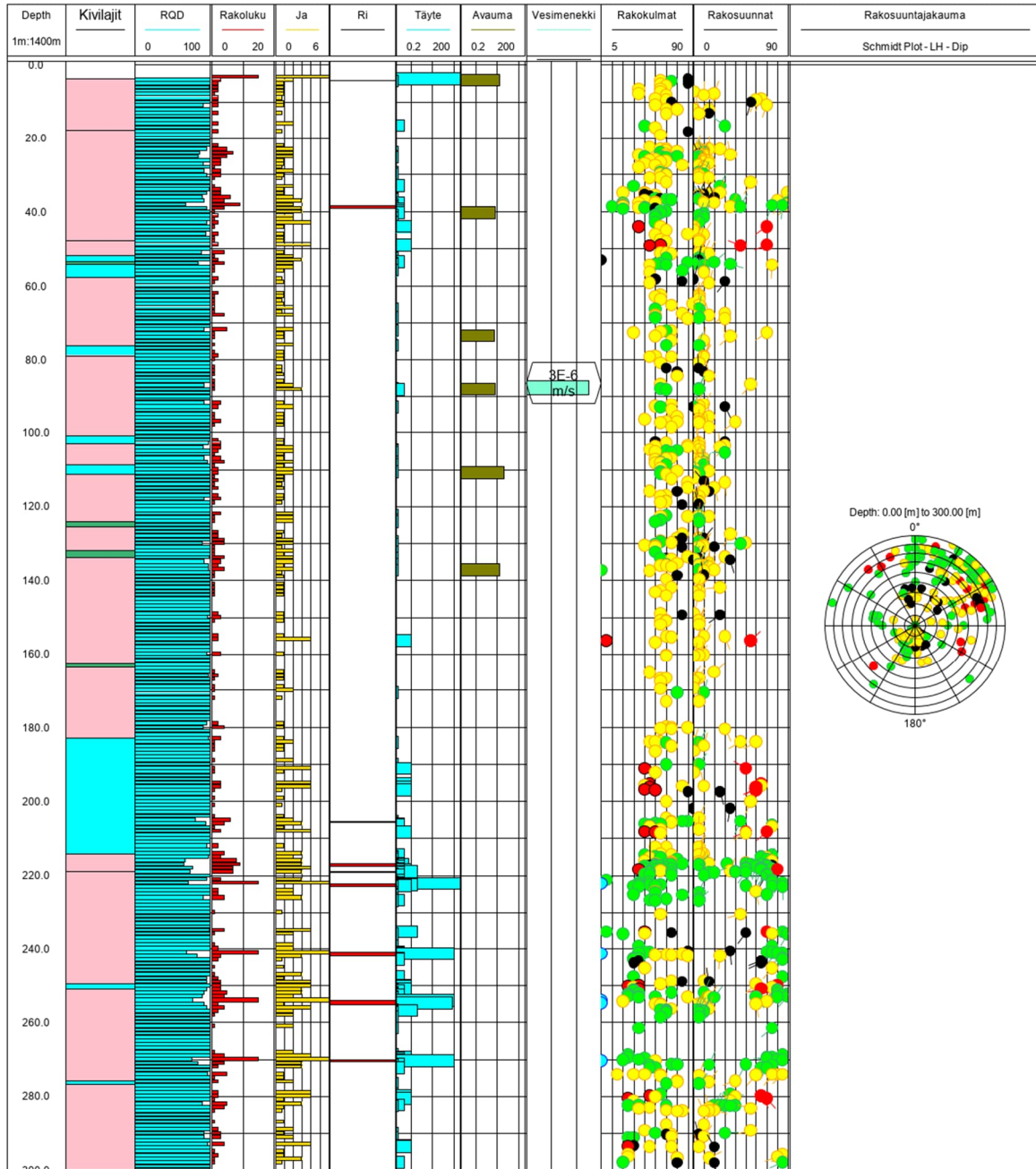
Rakotyypit

Ti			Tiivis
Ta			Täytteen
Av			Avorako
Mu			Mururako
Ha			Haamiskarako
TaSa			Savitäyteen rako
TaMu			Murutäyteen rako
TaHa			Täytteen haamiskarako
TaSaHa			Savitäyteen haamiskarako
TaMuHa			Murutäyteen haamiskarako
RaRi			Rapautunut ja rikkonainen
muRi			Murutäyte ja rikkonainen
Ri			Rikkonainen

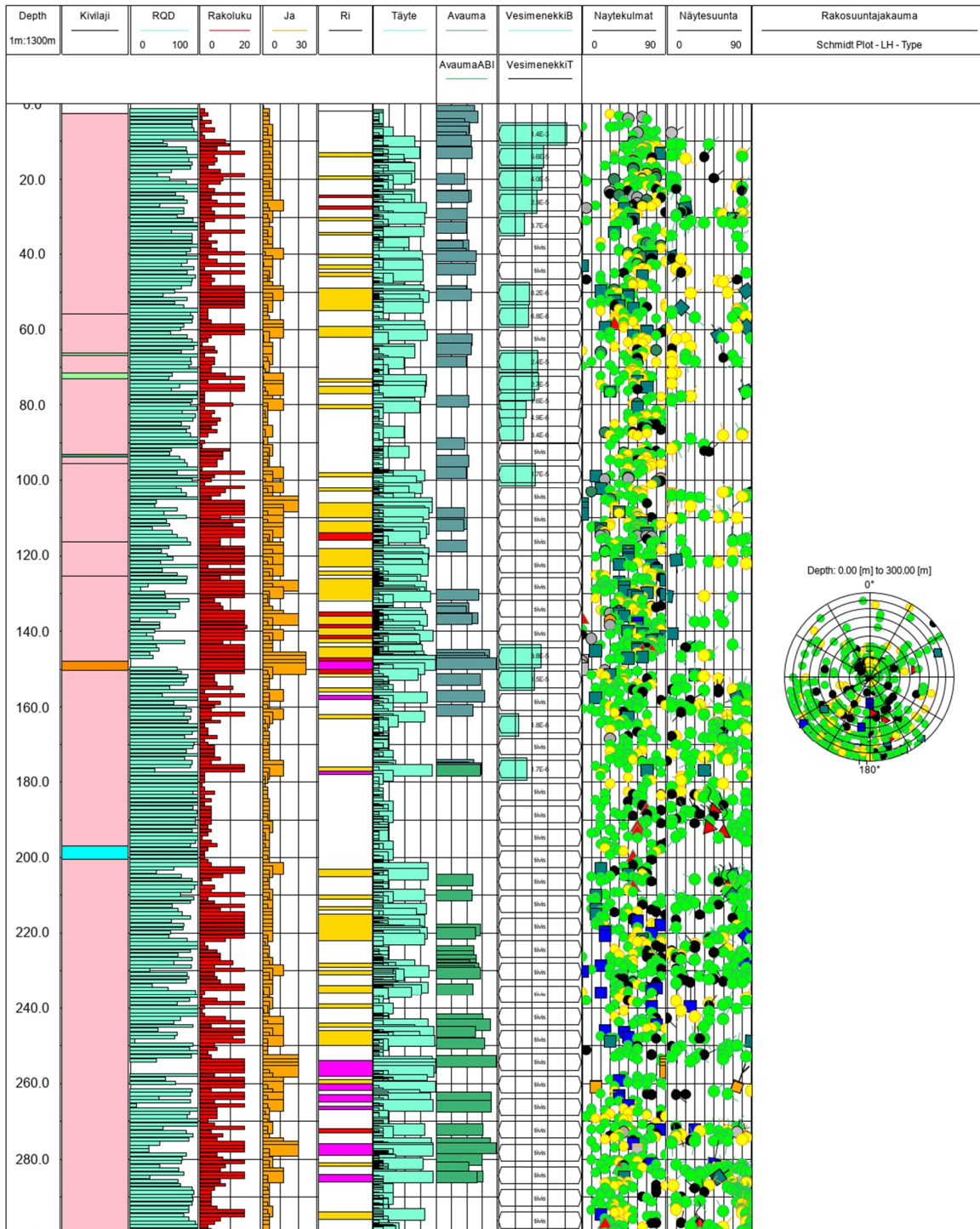
Kuva 3-2. Kairareikäesitysten raporteissa esitetyn datan selite.



Kuva 3-3. Kairareiän SK-1 kairaustulosten yhteenveto (Mitta Oy 2025).



Kuva 3-4. Kairareikä SK-2 kairaustulosten yhteenveto (Mitta Oy 2025).



Kuva 3-5. Kairareiän SK-3 kairaustulosten yhteenveto (Mitta Oy 2025).

Kairarei'issä SK1–3 tehtiin vesimenekkimittaukset 1-tulppamenetelmällä reiän etenemän pohjaa vasten 6 m pituisin tulppavälein. Reiässä SK1 testejä tehtiin muutama. Lisäksi koko reiän vesimenekki testattiin kairauksen valmistuttua. Reikä

SK2 testattiin noin 150 m syvyydelle, kunnes todettiin, ettei vedenjohtavuutta esiinny. Myös kovat pakkaset vaikeuttivat veden käyttöä testeissä. Reikä SK3 testattiin systemaattisesti reiän loppuun saakka. Vesimenekkimittauksia tehtiin rei'issä 6 m tulppavälein. Käytetty mittauspainesarja oli soveltuvin osin 0,3 – 0,5 – 0,8 – 0,5 – 0,3 MPa. Mittausaikana käytettiin 5 min painetasoa kohti.

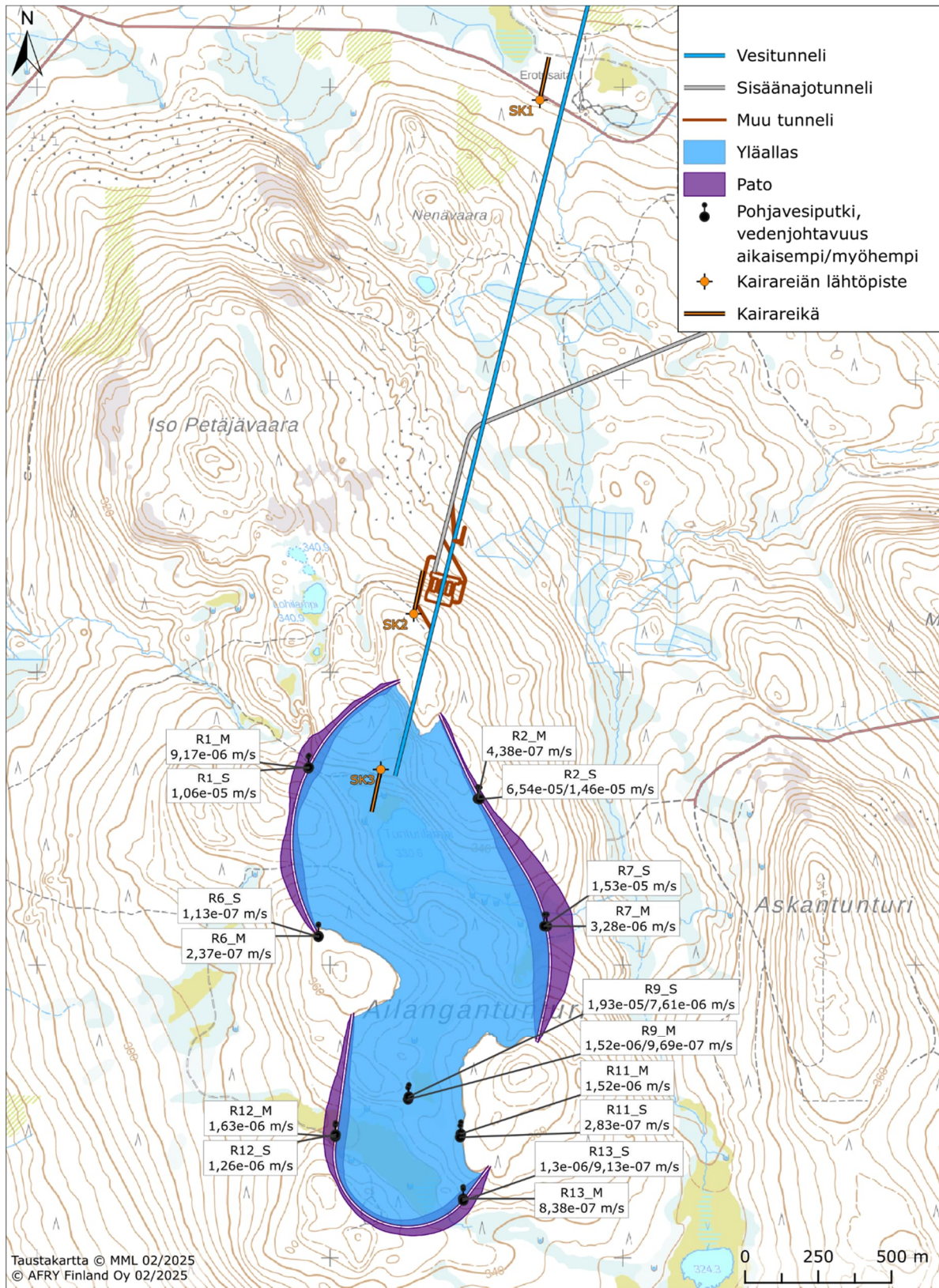
Reiässä SK1 saatiin syvyysvälin 183–189 m vedenjohtavuudeksi noin $8,1 \cdot 10^{-8}$ m/s. Muuten reiässä ei havaittu vettäjohtavia kohtia.

Reiässä SK2 vesimenekkimittauksia tehtiin alhaisen vedenjohtavuuden takia vain noin 150 m syvyydelle saakka. Vettäjohtavia kohtia havaittiin yksi noin 80 m reikäpituudella. Reiän vesipinnan havaittiin olevan reikäkuvausten yhteydessä noin 57,5 m reikäsyvyydellä, mikä viittaa siihen, että jokin reiässä lävistetyistä rikkonaisuusvyöhykkeistä on yhteydessä kairauspaikan korkeusasemaa alempaan hydrauliseen painekorkeuteen.

Mitatuista rei'istä SK3:ssa saatiin korkeimmat vedenjohtavuuden arvot niin, että reiän yläosassa vedenjohtavuus oli jopa $2,0 \cdot 10^{-5}$ m/s ja laski syvyyden kasvaessa tasolle $2,0 \cdot 10^{-8}$... $8,0 \cdot 10^{-7}$ m/s. Reiän pohjalla syvyysvälillä 179–299 m ei havaittu vesimenekkimittauksissa lainkaan vettäjohtavia kohtia. Vesimenekkimittauksien perusteella tulkitut vedenjohtavuuden arvot (K-arvo) on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 3-1. Pohjavesiputkien koordinaatit, mitatut pohjavesipinnat, maalaji siiviläosuuden kohdalla sekä slug-testien perusteella tulkittu vedenjohtavuuden arvo (K-arvo). Putket, joissa mitattu pohjavesipinta eroaa eniten numeerisen mallin laskemasta arvosta, on merkitty keltaisella.

putki	x	y	mp	pp	pv-pinta m (N43) 27.11.2024	pv-pinta m (N43) 21.1.2025	pv-pinta m (N43) 21.1.2025	Maalaji	K-arvo m/s aik./myöh.
R1_M	525926,299	7380674,163	340,35	341,04	339,14	jäässä	333,09	kallio	9,17·10 ⁻⁶
R1_S	525928,08	7380677,609	340,18	341,04	339,63	331,70	331,62	kallio	1,06·10 ⁻⁵
R2_M	526505,557	7380567,83	353,85	354,64	351,41	351,06	350,95	sora-kallio	4,38·10 ⁻⁷
R2_S	526511,76	7380566,522	353,86	354,64	347,61	347,20	347,25	kallio	6,54·10 ⁻⁵ / 1,46·10 ⁻⁵
R6_M	525961,116	7380100,706	360,68	361,66	359,32	jäässä		kallio	2,37·10 ⁻⁷
R6_S	525960,717	7380097,947	360,62	361,28	358,11	350,08	349,63	kallio	1,13·10 ⁻⁷
R7_M	526741,176	7380133,888	323,50	324,35	321,08	322,03	322,14	Sr-kallio	3,28·10 ⁻⁶
R7_S	526732,505	7380134,404	324,01	324,57	317,51	322,89	322,82	kallio	1,53·10 ⁻⁵
R9_M	526266,951	7379541,467	348,89	349,80	347,46	347,52	347,46	Sr-kallio	1,52·10 ⁻⁶ / 9,69·10 ⁻⁷
R9_S	526269,796	7379550,564	348,90	349,47	347,32	346,67	346,59	kallio	1,93·10 ⁻⁵ / 7,61·10 ⁻⁶
R11_M	526447,264	7379423,797	357,99	359,05	355,41	354,71	354,76	kallio	1,52·10 ⁻⁶
R11_S	526444,939	7379411,995	357,61	358,56	348,11	344,37	343,95	sora	2,83·10 ⁻⁷
R12_M	526018,366	7379413,806	340,85	341,81	339,47	jäässä		turve-sora	1,63·10 ⁻⁶
R12_S	526019,583	7379421,127	340,93	341,73	340,18	jäässä		?	1,26·10 ⁻⁶
R13_M	526454,909	7379202,415	345,37	346,31	342,72	342,64	342,63	kallio	8,38·10 ⁻⁷
R13_S	526455,649	7379195,584	345,04	346,05	341,10	340,55	340,46	kallio	1,30·10 ⁻⁶ / 9,13·10 ⁻⁷



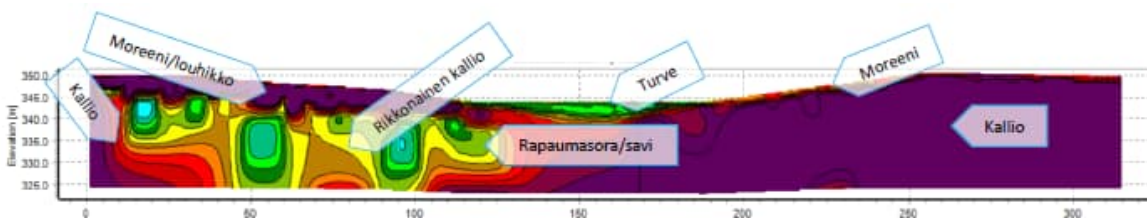
Kuva 3-6. Pohjavesiputkien ja kairareikien SK1–3 sijainnit sekä pohjavesiputkissa mittauksiin perustuvat vedenjohtavuuden arvot (K-arvo m/s).

3.2 Maaperäskannaukset

Deep Scan Tech Oy teki Ailangantunturin alueella maaperäskannauksia vuonna 2024 (Deep Scan Tech Oy 2024, liite 3 maaperäskannaukset). Sähköinen maaperätomografia on rakenteita rikkomaton tutkimusmenetelmä. Maa- ja kalliomateriaaleilla on tyypillisesti toisistaan eroavat sähköiset ominaisuudet, joten maaperäkerroksia voidaan tunnistaa ja rajata niiden ominaisvastusten perusteella. Maaperän ominaisvastukseen vaikuttavat materiaalin huokoisuus ja näin myös raekokojakauma, vesi- ja savimineraalipitoisuus sekä veden suolapitoisuus ja lämpötila. Työn tavoitteena oli selvittää kuudella eri alueella maaperäolosuhteita, kuten maalajikerroksia ja niiden paksuuksia, kalliopinnan syvyysasemaa ja kalliolaatua sekä kallion ruhjeisuutta (Kuva 3-7 ja Kuva 3-8). Kaikilla mitatuilla linjoilla esiintyi rikkonaisen kallion vyöhykkeitä. Tuloksia tulkittaessa on muistettava, että kaikkiin maarakenteisiin liittyviin tutkimuksiin liittyy aina epävarmuuksia, eikä voida varmuudella sanoa, pystytäänkö etsittäviä ominaisuuksia löytämään ja erottamaan yksiselitteisesti ympäristöstään. (Deep Scan Tech Oy 2024)



Kuva 3-7. Kohdealueella suoritettut mittaukset tunnistetietoineen on visualisoitu kartan päällä suuntaa antavasti mustilla katkoviivanuolilla. Punaiset ympyrät – ja näiden yhteydessä olevat koordinaatit (ETRS-TM35) – kuvaavat mittausten alku- ja loppupisteitä. (Deep Scan Tech Oy 2024)

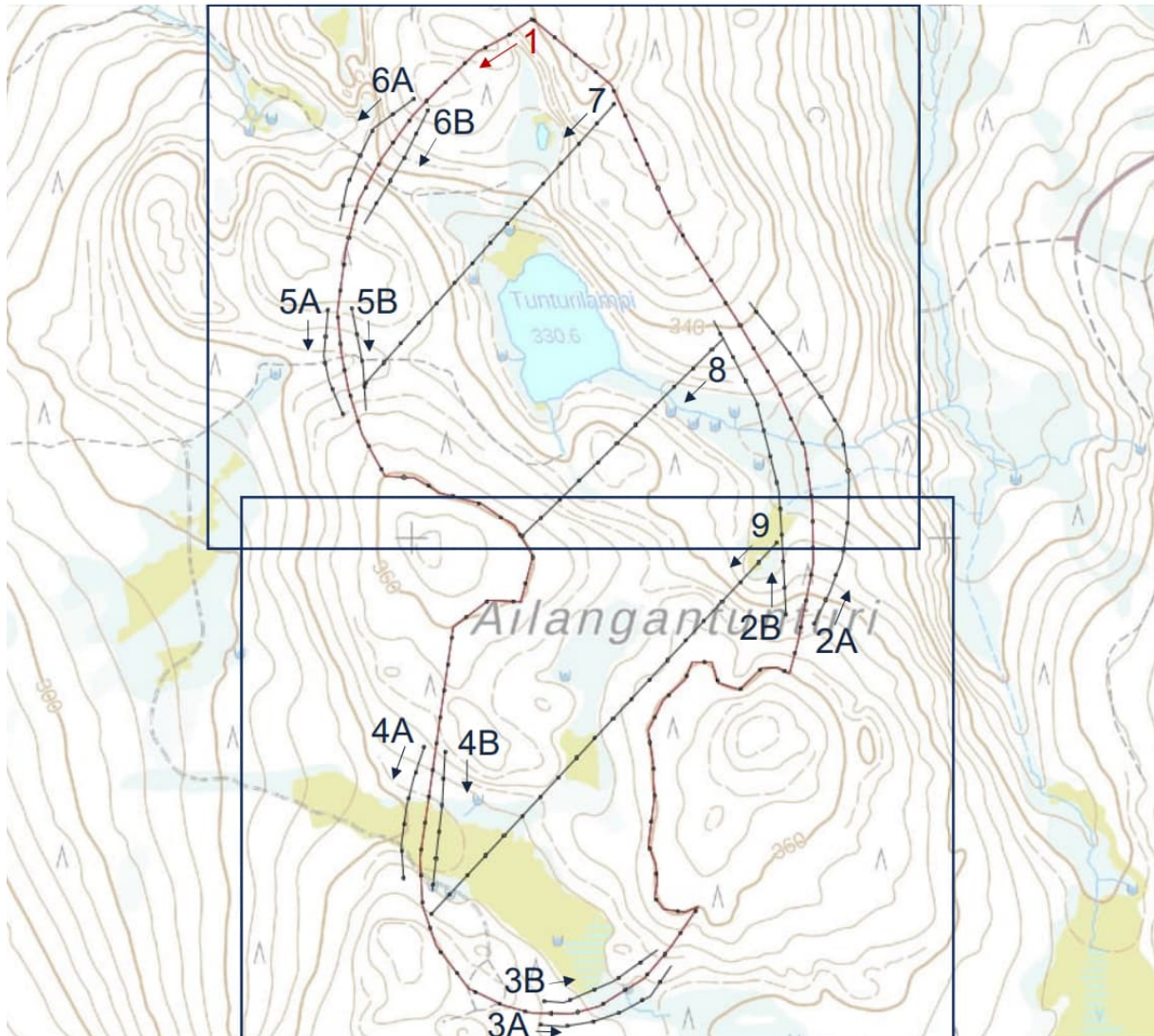


Kuva 3-8. Esimerkki alueen 3 (Kuva 3-7) maavastusluotauksen tuloksesta. Tulokset on esitetty pitkin mittaussinjaa topografiaan sidottuina pystyinä n. 20 m korkeina leikkauskuvina, joissa sähköinen ominaisvastus on värikoodattu. Tumman punaruskeat sävyt edustavat korkeaa ominaisvastusta (kuiva moreeni tai louhikko, kiinteä kallio). Turve, kuivan kerroksen alapuolinen moreeni, tai rapakallio on esitetty keltaisen ja vihreän sävyin, jotka rikkonaisen kallion kohdalla yltyvät leikkauksen pohjalle saakka.

3.3 Maatutkaluotaukset

Maatutkaluotauksilla 4.11–21.11.2024 tutkittiin maaperän kerroksellisuutta ja kalliopinnan syvyyttä (liite 4, Mitta Oy 2024). Tutkimuksessa käytettiin GSSI Sir 300 tutkaa korkeataajuisella maavasteantennilla (200 MHz), joka soveltuu matalien ja keskitason syvyyksien tutkimiseen. Luotaus toteutettiin kuvan 3-9 mukaisilla tutkimuslinjoilla.

Mittausten perusteella korkeilla alueilla kallio on pinnassa tai ohuiden moreenikerrosten peitossa. Alavilla ja soistuneilla alueilla kalliopinta sijaitsee syvemmällä, yli 5 metrin syvyydessä. Yleisin maalaji tutkimusalueilla oli moreeni. Alavilla paikoilla esiintyy todennäköisesti myös kerroksellisia hiekkakerroksia ja muita lajittuneita sedimenttejä. Kerroksia on haastava erottaa kalliopinnasta maatutkalla soiden alta. Suot erottuvat heijasteettomina alueina maatutkaluotauksessa. Turve on veden kyllästämää. Maaperän paksuus ja kalliopinnan topografia vaihtelevat merkittävästi alueen topografian mukaan. Korkeilla alueilla kallio ja moreeni tarjoavat hyviä kantavampia kerroksia. Alavilla, sedimenttien ja turpeen peittämällä alueilla kantavuus on heikompi. Heterogeeniset kerrokset sekä turpeen ja sedimenttien vedenpidätyskyky vaikuttavat pohjavesiolosuhteisiin.



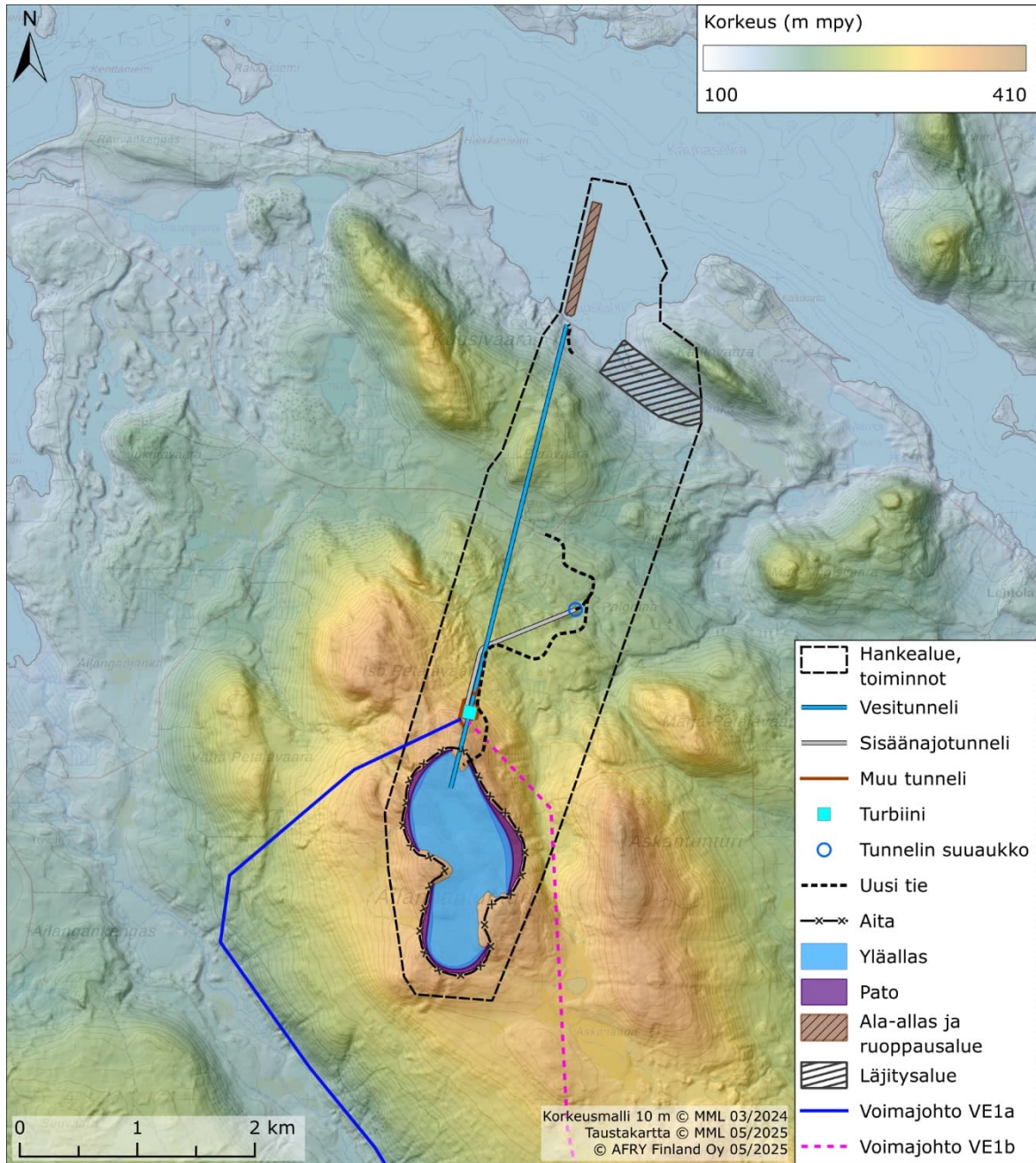
Kuva 3-9. Maatutkaluotauksen linjat. (Mitta Oy 2024, liite 4)

4 Mallinnettava alue

4.1 Topografia

Alueen topografia on vaihtelevaa. Maanpinta on maastokartan mukaisesti korkeimmillaan pumppuvoimalaitoksen yläaltaan alueella Tunturilammen eteläpuolella noin +365 m mpy, josta maanpinta laskee länteen, itään ja pohjoiseen noin tasolle +150 m mpy. Tunturien topografia on hyvin jyrkkäpiirteistä etenkin niiden itä-, pohjois- ja länsirinteillä. Länsirinteellä maasto laskeutuu jyrkästi Ailanganjokilaaksoon. Ailangantunturin eteläpuolella vaaraselänne jatkuu Ailanganjärven itäpuolitse kohti Otsavaaraa. Alueen topografinen kartta on esitetty oheisissa kuvissa (Kuva 4-1).

Kemijärven vedenpintaa säännöstellään, ja se vaihtelee tasolla +142...+149 m (N43). Tunturilampi on maastokartan mukaan tasolla 330,14 m (N43).



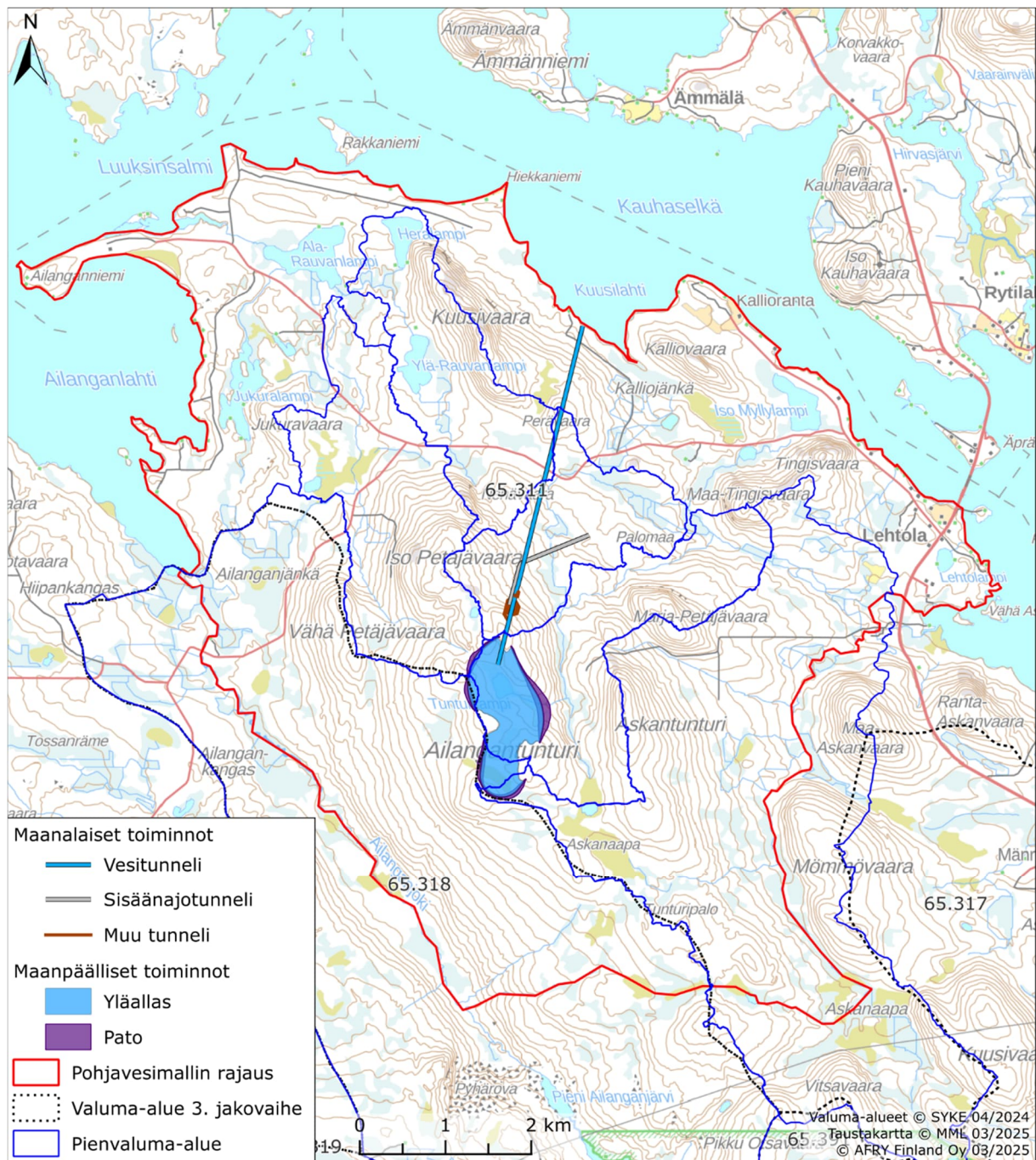
Kuva 4-1. Hankealueen korkeusmalli (m mpy = metriä meren pinnan yläpuolella).

4.2 Valuma-alueet

Ailangantunturin alue sijaitsee vedenjakaja-alueella (Kuva 4-2). Länsiosa alueesta sijaitsee Kemijärven lähialue (65.311) ja itäosa Ailanganjoen valuma-alueella (65.318), jotka ovat 3. jakovaiheen vesistöalueita (SYKE 2025) Kemijoki (65) - päävesistössä. Toisen jakovaiheen luokituksessa alueet ovat Kemijärven - Pelkosenniemen aluetta (65.3). Alueelle on määritetty myös kolmatta jakovaihetta tarkemman pienvaluma-alueet.

4.3 Mallinnusalueen rajaus

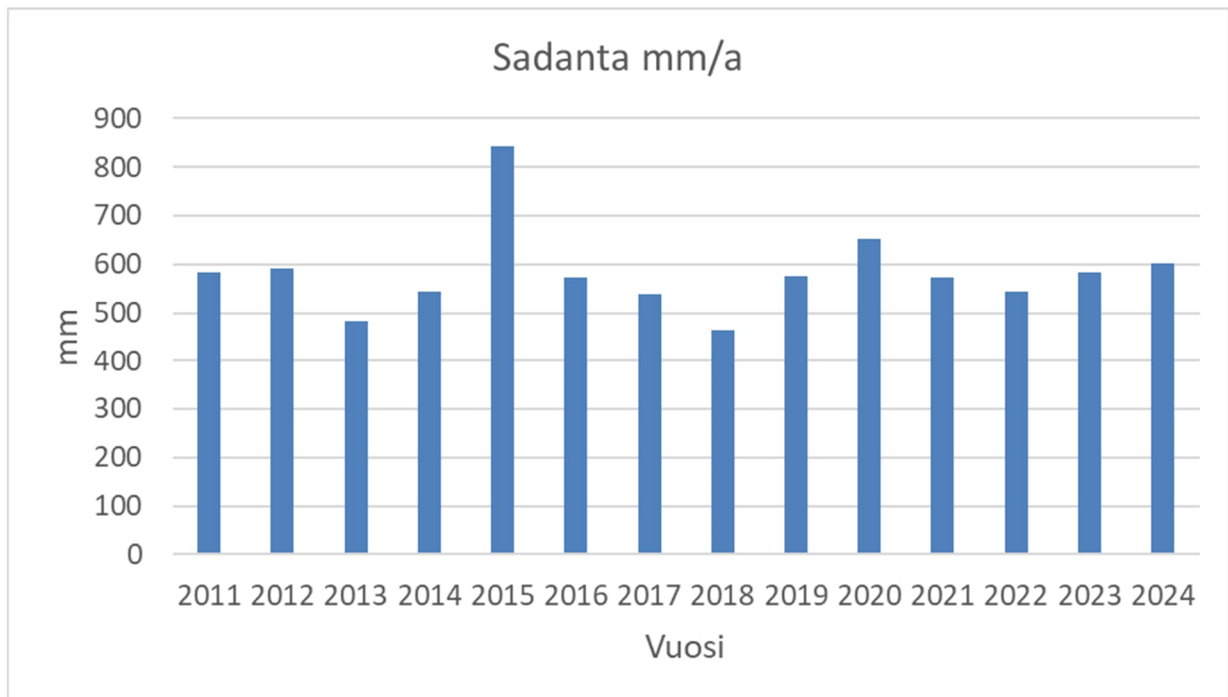
Kuvassa 4-2 esitetään mallinnusalueen rajaus peruskartalla. Mallin alue rajattiin niin, että sen voidaan olettaa olevan selkeästi pumppuvoimalan vaikutusalueetta laajempi. Pohjoisessa ja idässä malli rajautuu Kemijärveen. Lännessä malli rajautuu Ailanganjokeen ja etelässä malli on rajattu pintavesiuomia mukailleen.



Kuva 4-2. Ailangantunturin pumppuvoimalan mallinnettava alue ja pintavesien valuma-alueet.

4.4 Sadanta

Vuotuinen sademäärä Kemijärven lentokentän havaintoasemalla vuosina 2011–2024 oli keskimäärin noin 582 millimetriä. Vuosittaiset sadesummat on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 4-3). Vertailujaksolla eniten satoi vuonna 2015 (841 mm/v) ja vähiten vuonna 2018 (464 mm/a).



Kuva 4-3. Vuoden sadesumma Kemijärven lentokentän havaintoasemalla vuosina 2011–2024. (Ilmatieteen laitos 2025)

4.5 Maaperä

Hankealueen ja sen ympäristön maaperä on maaperäkartan mukaan pääasiassa sekalajitteista maalajia eli moreenia, jonka päälajitetta ei ole selvitetty. Myös kalliopaljastumia ja soistumia esiintyy paikoin. Lajittuneita tai karkearakeisia maalajeja (sora, hiekka) esiintyy ainoastaan itä-länsisuuntaisen Ailanganniemi-Raudankangas alueella, hankealueen pohjoispuolella sekä Askankankaan alueella, hankealueen eteläpuolella. Yleispiirteinen maaperäkartta hankealueelta on esitetty kuvassa 4-4. Maaperän paksuus on hankealueella GTK:n karttapalvelun mukaan noin 10 m.

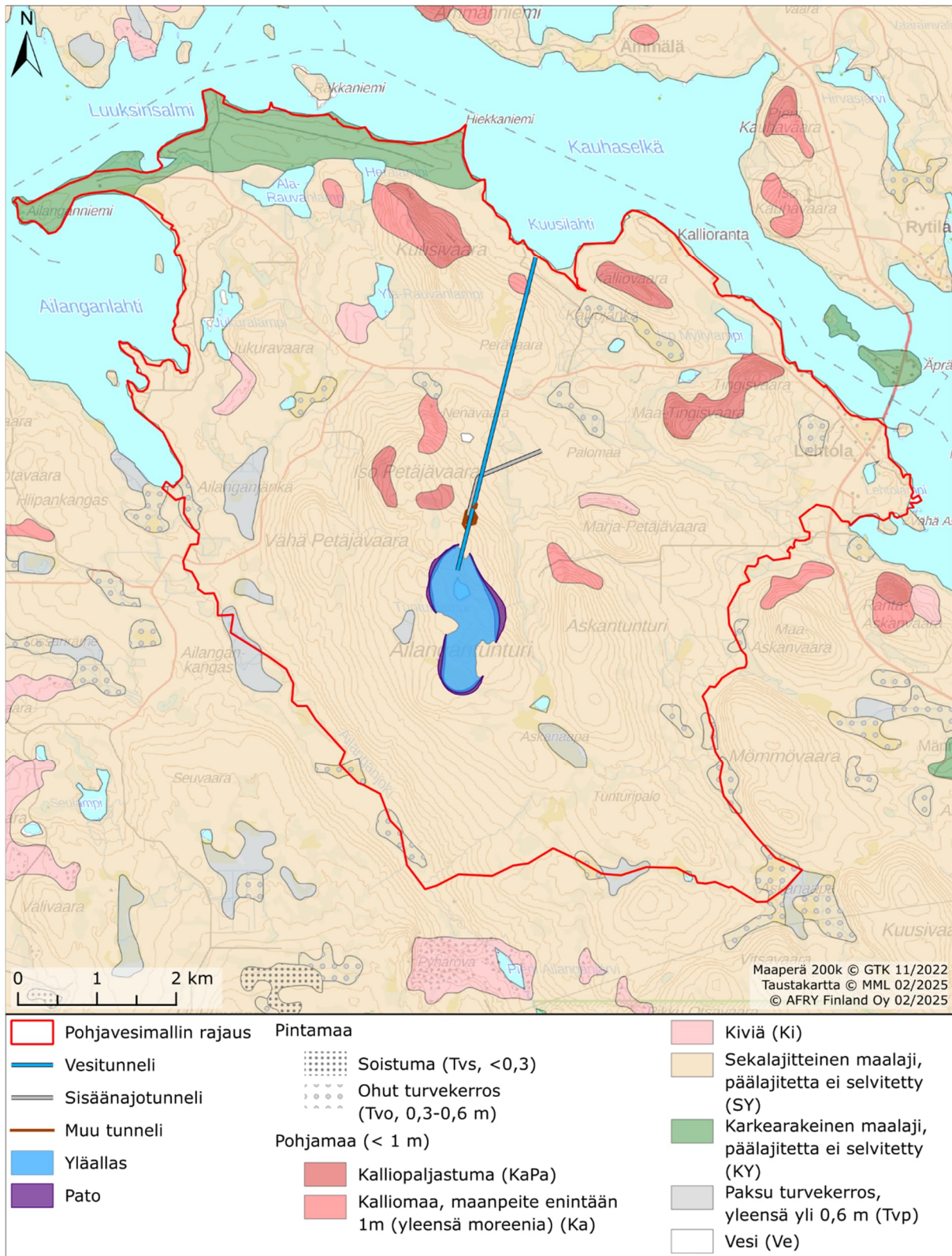
Alueella on tehty pohjatutkimuksia, maatulkuotuksia, maavastusluotuksia, kairauksia, asennettu pohjavesiputkia ja tehty vedenjohtavuuden mittauksia (luku 3, Kuva 3-6, Kuva 3-9, Kuva 3-7, Taulukko 3-1, liitteet 1–4). Kirjallisuusarvoihin perustuen moreenin hydraulinen johtavuus on tyypillisesti luokkaa $1 \cdot 10^{-8}$ – $1 \cdot 10^{-6}$ m/s, siltin $1 \cdot 10^{-9}$ – $1 \cdot 10^{-7}$ m/s ja saven $1 \cdot 10^{-11}$ – $1 \cdot 10^{-9}$ m/s (Airaksinen 1978).

Ailangantunturin pohjavesiputkissa tehdyissä vedenjohtavuusmittauksissa maaperän vedenjohtavuus vaihteli välillä $3 \cdot 10^{-7}$ – $3 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Hanketta varten tehtyjen pohjatutkimusten ja kallioperäkairausten perusteella matalammilla maastonkohdilla moreenikerrosten paksuus on keskimäärin 10 m. Ailangantunturin koillispuolella (Nenävaaran ja Perävaaran välillä) alavesitunnelin linjauksen varrella tehdyn maavastusluotauksien tuloksista havaitaan, että moreenin paksuus vaihtelee välillä 8–13 m. Kallioperäkairauksen SK-1 maaputki on lävistänyt 15 m pystysyvyyden verran maata.

Pohjatutkimusten, maatulkuiluotausten ja maavastusluotauksen perusteella maakerros on tunturin lakialueilla ohut. Pintamaalajina on maaston painanteissa 0,5–2,5 m paksu turvekerros. Turvetta ei juuri esiinny korkeammilla maaston kohdilla. Turpeen alla voi esiintyä mutaa tai hienojakoista silttiä tai savea. Tunturin lakialueilla maaperä on porausten perusteella hiekkamoreenia tai soramoreenia. Avokallioiden ulkopuolella maakerroksen paksuus vaihtelee 0,5–7 m välillä. Syvimmat maakerrokset tunturialueilla on havaittu tunturihuippujen välisissä painanteissa. Maakerrokset voivat olla ympäristöään paksumpia myös tunturin rinteellä sijaitsevissa kuruissa, sekä jäätikön kuljetussuuntaan nähden myötävirran puolella tunturin rinteillä.

Maakerrospaksuuden vaihtelua voidaan arvioida GTK:n lentogeofysiikan karttojen perusteella (GTK 2025). Sähkömagneettisen mittauksen imaginaarikomponentti saa korkeampia arvoja paksujen, vedellä täyttyneen maakerroksen sekä paksun turvekerroksen sijaintikohdissa. Tuloksista lasketun näennäisen ominaisvastuksen arvot ovat matalampia näillä kohdilla. Samat tulokset viittaavat myös mahdollisiin rikkonaisuusvyöhykkeisiin, eikä maapeitepaksunnosten ja ruhjeiden vasteita voida erottaa toisistaan. Alueella ei esiinny kallioperän johdemineralisaatioita, jotka voisivat myös aiheuttaa vastaavia piirteitä. Luonnon gammasäteilyn mittauksissa alentunut säteilyvoimakkuus viittaa vesipitoisten paksumpien maakerroksien tai vesipitoisen turpeen sijaintiin. Näitä havaitaan alavammilla maastonkohdilla ja tunturihuippujen välisissä laaksoissa.



Kuva 4-4. Hankealueen yleispiirteinen maaperäkartta (GTK Maankamara).

4.6 Kallioperä

Hankealueen ja sen lähiympäristön yleispiirteinen kallioperäkartta on esitetty kuvassa 4-5. Alue kuuluu keski-Lapin granitoidikompleksiin ja kallioperä on hankealueella graniittista migmatiittia. Granitoidi on graniitin kaltainen magmakivi, alkalimaasälpägraniitin, graniitin, granodioriitin ja tonaliitin yhteisnimitys. Graniitti on yleisin syväkivi, jonka päämineraalit ovat kalimaasälpä, albiittinen plagioklaasi, kvartsi ja kiille sekä joskus sarvivälke. Migmatiitti on seoskivilaji, jossa vanhempaan kiviainekseen on tunkeutunut nuorempaa kivisulaa. Vanhempi kiviaines on yleensä gneissia ja nuorempi graniittia. Migmatiittia voisi kutsua myös suonigneissiksi, se on siis gneissia, jossa on graniittijuonia. (Lehtinen ym. 1998)

Geofysikaalisten tutkimusten mukaan (Airo 1999) alueella on luode-kaakko-suuntainen murrosvyöhyke (Ailanka fracture zone). Maankamara-palvelun mukaan alueella on useita luode-kaakko-suuntaisia ruhjeita (Unspecified major fault, Unspecified minor fault, Major dextral strike slip fault). Tarkempi ruhjekuvaus on esitetty luvussa 4.6.1.

Kallioperän vedenläpäisevyys riippuu mm. kivilajien huokoisuudesta sekä rakoilun määrästä, rakojen jatkuvuudesta ja yhteyksistä toisiin rakoihin. Kiteisten kivilajien huokoisuus on pieni ja huokosverkostojen määrä on vähäinen. Kiteisten kivilajien vedenläpäisevyys riippuukin lähinnä murrosvyöhykkeistä, ruhjeista ja raoista. Kallioperän rakojen vedenjohtavuus riippuu rakojen tyypistä, esiintymistiheydestä ja jatkuvuudesta. Raot voivat olla joko tiiviitä, avoimia tai täytteisiä. Kallioperän vedenläpäisykyvyn on havaittu vähenevän syvyyden kasvaessa mm. rakojen määrän vähenemisen vuoksi ja jännityskentän sulkiessa rakopintoja (Carlsson & Olsson 1977).

Koska kallion vedenjohtavuus riippuu rakoilusta, kairasydännäytteistä raportoituja rakoiluun liittyviä tietoja voidaan tarkastella ja analysoida merkkinä vedenjohtavuudesta ja sen alueellisesta ja syvyysuuntaisesta vaihtelusta kallioperässä. Rock Quality Designation (Hoek & Brown 1982) (RQD) on karkea mitta kiven rakoilulle. RQD-luokitus suoritetaan laskemalla yli 10 cm pitkien ehjien kalliönäytteiden osuus koko kairasydämen pituudesta. Tulos annetaan prosentteina, mitä pienempi prosenttiarvo sitä huonolaatuisempi kivi. Hyvälaatuisella kivellä RQD on suurempi kuin 75 %, huonolaatuisella alle 50 %, ja hyvin huonolaatuisella pienempi kuin 25 %. Hankealueella on tehty kairauksia, ja kairasydännäytteistä on kartoitettu geotekniset parametrit kuten RQD (luku 3).

Huonon kalliolaadun (matala RQD, korkea rakotiheys) ja esimerkiksi näytehukan tai Ri-vyöhykkeiden esiintyminen ovat indikaattivisia kohonneen vedenjohtavuuden esiintymiselle, mutta kallioluokitusparametrien ja vedenjohtavuuden riippuvuus on aluekohtainen, ja riippuvuus voi vaihdella myös alueen sisällä. Koska RQD-luvun

ja vedenjohtavuuden välillä ei ole todennettu suoraa suhdetta, hydraulisen johtavuuden määrittämiseksi on tehty vesimenekikokeita kairarei'issä (luku 3). Tyypillisesti kallioperän rikkonaisuus ja siten myös vedenjohtavuus on suurinta pintakalliossa ja vähenee asteittain syvyyden kasvaessa.

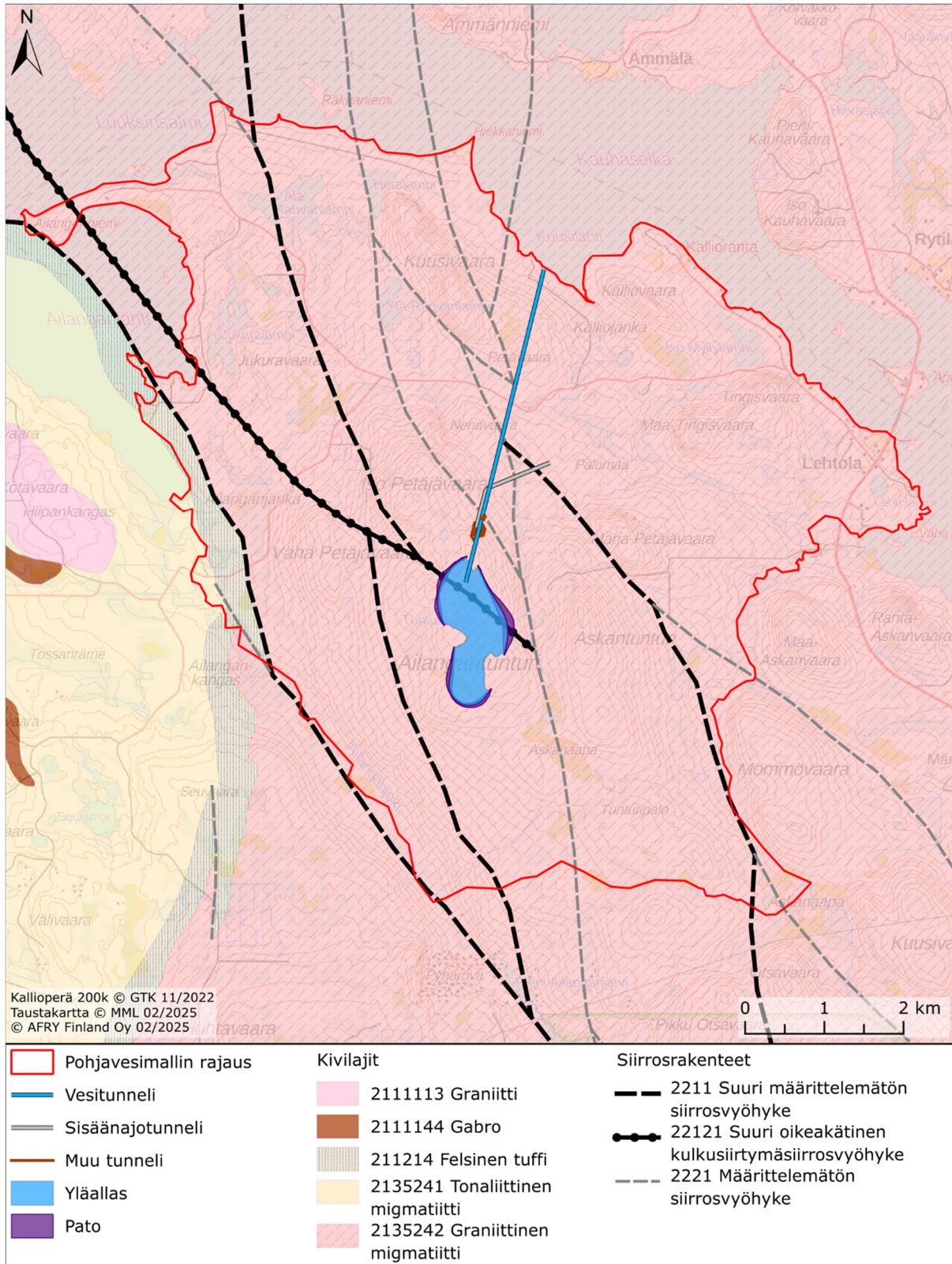
Hanketta varten tehdyissä pohjatutkimuksissa on tehty porauksia ja näytekairauksia sekä geofysikaalisia maatutkaluotauksia (Mitta Oy) ja maavastusluotauksia (Deep Scan Tech 2024). Mittaukset on kuvattu tarkemmin luvussa 3 ja liitteissä 1–4. Porauksissa on todettu, että kallion pintaosa on rikkonaista, ja porareikiin asennettuihin siiviläputkiin tehdyissä kaatokokeissa on todettu, että kallion pintaosa on vettä johtavaa. Kolmesta 300 m pitkstä kallionäytekairauksesta on havaittu, että kallio on yleensä vähärakoista. Vesimenekikokeiden perusteella on todettu, että kallio on kahdessa kairareiässä SK-1 ja SK-2 lähes kauttaaltaan tiivistä, ja vain yksittäisiä vettä johtavia kohtia on paikannettu. Vedenjohtavuus kohdistuu avoimiin rakoihin tai kapeisiin rikkonaisuusvyöhykkeisiin. Tunturin laella sijaitseva kallionäytekairaus SK-3 lävistää lähes koko matkalla rikkonaista kalliota. Kallion pintaosa noin 150 m syvyyteen saakka on paikoin voimakkaasti vettä johtavaa, mutta myös tiiviitä välejä esiintyy. Tätä syvemmällä rikkonaisuudessaan kalliossa ei tavata vedenjohtavuutta.

Rakoilun pääsuunnat ovat suunnatun kairanäytteen raporttien ja reikäkuvausten perusteella vallitseva vaaka-asentoinen rakosuunta sekä kaksi tätä leikkaavaa suuntaa: pystyasentoinen luode-kaakko-kulkusuunnan päärakoilu ja jyrkkäkaateinen lounais-koillis-kulkusuuntainen rakoilu. Kairanäytteistä ja tehdyistä reikäkuvauksista käy ilmi, että kallioperässä on merkkejä hiertymisestä ja siirrostumisesta. Osa raoista on tiiviitä tai kovan täytteen täyttämiä, osassa taas havaitaan rapaumareunus, savi- tai murutäytteitä, tai avaumaa. Viimemainitun kaltaiset raot voivat tyypillisesti olla vettä läpäiseviä.

Tunturialueella tehdyissä maatutkamittauksissa on todettu, että kallion pintaosa on paikoin voimakkaasti rakoillutta. Paikoin havaitaan ehyemmässäkin kalliossa selviä heijastuksia jatkuvista, loiva-asentoisista raoista.

Maavastusluotauksen tuloksissa pystytään havaitsemaan alueet, joissa kallio on aivan maan pinnalla, sekä toteamaan maapeitteen paksuus ja sen vaihtelu mittauslinjalla. Joissakin tapauksissa on voitu todeta ohuen turvekerroksen paksuus. Maakerroksessa on yleensä korkea ominaisvastus, mikä viittaa siihen, että maaperä on joko kuiva (pohjavesipinnan yläpuolella), tai vain osittain vedellä täyttynyt. Maaperän alapuolinen kallio vaikuttaa paremmin sähköä johtavalta, minkä perusteella kallion pintaosa on paikoin rapautunut noin 5–20 m syvyydelle saakka ja kokonaan tai osittain vesipitoinen. Maavastusluotauksissa havaitaan selkeät viitteet merkittävästä rikkonaisuudesta. Ruhjeiden puhkeamakohdat

kallion pinnassa ovat muutamasta metristä useisiin kymmeneen metreihin leveitä. Ruhjeiden sijainti tunturialueiden maanpinnalla on yhteinen kapeiden turvepeitteisten painanteiden ja paksumman maapeitteen alueiden kanssa. Ruhjeisuuden voimakkuus todennäköisesti heikkenee syvemmällä kalliossa.



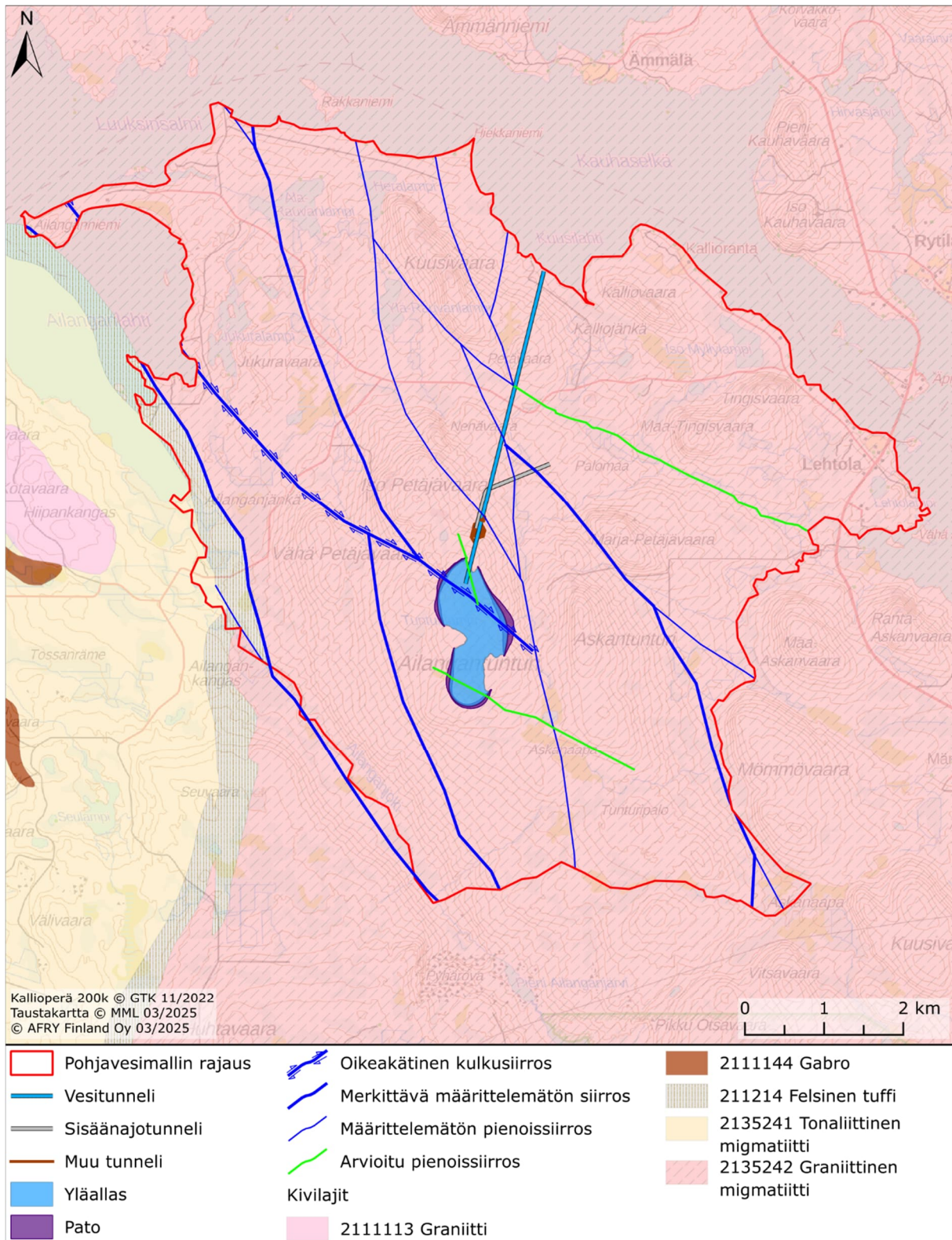
Kuva 4-5. Hankealueen yleispiirteinen kallioperäkartta ja ruhjevyöhykkeet (GTK Maankamara).

4.6.1 Ruhjeet

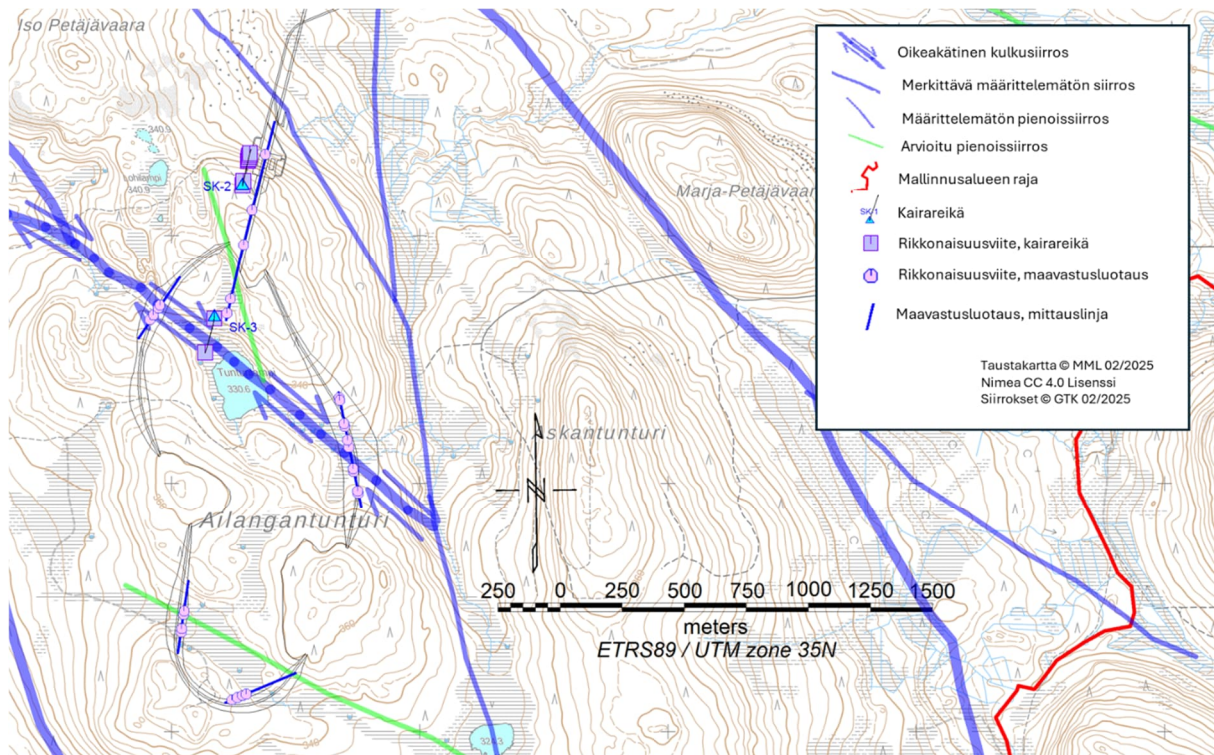
Kallion rikkonaisuuden tai rapautumisen on usein havaittu liittyvän ehyempää kalliota korkeampaan vedenjohtavuuteen. Rikkonaisuutta voi esiintyä yleisemmin kallion pintakerroksissa. Lisäksi rikkonaisuutta tavataan kallion hierto- ja ruhjevyöhykkeissä. Nämä vyöhykkeet ovat usein paksuudeltaan ohuita, mutta maanpinnan tasossa ja syvyysuunnassa jatkuvia.

Alueellisista ruhjetulkintoista on saatavilla Geologian Tutkimuskeskuksen karttaesitys ja datasisältö Hakku-palvelussa (GTK 2025). Ruhjeviitteet perustuvat kivilajikontaktien ja niissä havaittavien siirtymien sijaintiin sekä lentogeofysiikan magneettisten mittaustulosten piirteiden tulkintaan (Kuva 4-6). Useimmiten esitetyille piirteille ei ole annettu kaadearviota, joten ne oletetaan tässä työssä pystyiksi.

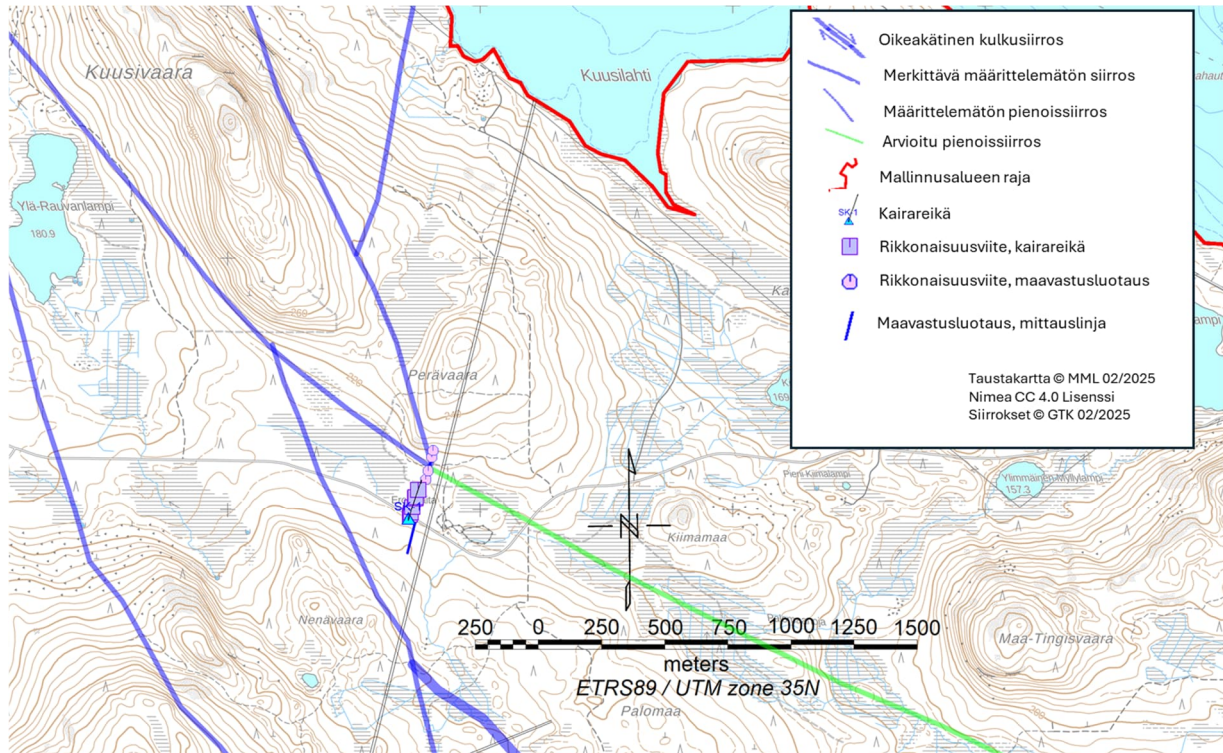
Geologian tutkimuskeskuksen esittämät kallion deformaatiovyöhykkeet tarkasteltiin kartalla (GTK 2025) ja viitteet sisällytettiin viivapiirteinä hydrogeologiseen malliin (Kuva 4-6). Kaikki raportoidut piirteet kuuluvat alueelliseen Kemijärven hirtovyöhykkeeseen (Kemijärvi Shear Zone). Piirteet nimettiin karttaesityksen mukaisesti. Tyypiltään kuvailtuja piirteitä on kaksi: Ailangantunturin yli luode-kaakko -suunnassa Tunturilammen kohdalla sijaitseva merkittävä oikeakätinen kulkusirroks (Major Dextral Strike Slip Fault, sininen viiva siirroksen kätsyysmerkinnöin) sekä saman suuntainen Ailanganjoen laaksossa sijaitseva Ailangan Siirros (Major Ailanka Fault, paksu sininen viiva). Näistä ensiksi mainittu on todennettu kallionäytekairauksen SK3 raportoinnissa sekä maavastusluotausten tuloksissa (Kuva 4-7). Siirroksen kohdalla on tunturialueella ja sen rinteillä lähteisyyttä. Ailanganjoen laaksossa sijaitsevasta siirroksista ei ole kairaushavaintoja. Tunnelin linjalla sijaitsevasta siirroksista on havaintoja maavastusluotauksista kairareiästä SK1 (Kuva 4-8).



Kuva 4-6. Alueelliset siirrosviitteet (GTK 2025). Geologian tutkimuskeskuksen karttapalvelussa esitetyt siirrokset (sininen katkoviiva) ovat pääsääntöisesti luode-kaakko- ja pohjois-etelä-suuntaisia. Jatkuvuudet on rajattu mallinnusalueen reunoihin.



Kuva 4-7. Siirroksiin liittyvien rikkonaisuusvyöhykkeiden havaintoja kairausten ja maavastuluotausten perusteella pumppuvoimalan yläaltaan ja teknisten tilojen alueella.



Kuva 4-8. Siirroksiin liittyvien rikkonaisuusvyöhykkeiden havaintoja kairausten ja maavastuluotausten perusteella pumppuvoimalan alavesitunnelin alueella.

Tyypiltään määrittelemättömiä ja nimeämättömiä merkittäviä (paksu sininen viiva) tai pienoissirroksia (ohut sininen viiva) on mallinnusalueella kymmenen. Niiden suuntaukset ovat myös luode-kaakko-kulun mukaisia, tai pohjois-eteläisiä. Näitä rakenneviitteitä ei ole todennettu kairauksin.

Siirrosten sijainnin ja suuntauksen tiedot perustuvat GTK:n magneettisen lentomittauksen tulosten tulkintaan sekä geologisten karttojen tarkasteluun.

Siirrokset on esitetty jatkuvina, ja siten että ne yhdistyvät toisiin saman alueen siirroksiin, muodostaen verkkomaisen rakenteen. Karttatarkastelujen perusteella siirrosten sijainnin kohdalla tavataan erilaisia maanpinnan muodon piirteitä, kuten pitkänomaisia ja kapeita, jatkuvia laaksoja, jokia, soita, ja tunturiselänteiden välisiä matalampia kohtia tai kuruja. Lisäksi havaitaan avokallioiden reunalla sijaitsevia siirrostörmä, suuntautuneita kallioalueita, sekä lähteikköjä ja virtausuomia. Joissakin tapauksissa siirroksen paikallinen sijainti voi olla kartassa esitettyyn verrattuna joitakin kymmeniä metrejä eri kohdassa. Siirrokset voivat myös paikallisesti olla vaihtelevan levyisiä, sekä katkeilla, kaareutua, haarautua ja muodostua useista rinnakkaisista osista. Malliin ne on sisällytetty yhtenäisinä tasomaisina piirteinä (levyinä). Hydrogeologisen mallin kannalta on merkitystä ainoastaan sellaisilla siirroksilla (ja niihin liittyvällä ruhjeisuudella), jotka sijaitsevat välittömästi hankealueella leikaten suunniteltuja rakenteita (allas, padot ja tunnelit).

Maastokartassa ja Geologian tutkimuskeskuksen geofysikaalisten lentomittausten kartoissa on todettu vastaavia piirteitä kuin geologisella kartalla esitetyt siirrokset, ja ne on lisätty malliin siltä osin kuin ne sijaitsevat hankealueella (Kuva 4-6). Patoaltaan eteläosassa sijaitsee luode-kaakko -suuntainen soistunut painanne, jonka suunnassa on topografisten painanteiden jatkuvuutta ja Ailangantunturilta kaakkoon päin geofysikaalisen sähkömagneettisen mittauksen ominaisvastusminimi. Maavastusluotauksissa piirteen kohdalla on kallion pintaosan rikkonaisuusviitteet (Kuva 4-7). Kohdalle liittyy lähteisyyttä.

Tunturilammesta pohjoiseen sijaitsee painanteessa kapea suoalue. Sen kohdalle on arvioitu paikallinen pohjois-etelä -suuntainen rikkonaisuusvyöhyke. Havainto saa tukea maavastusluotauksen tuloksesta.

Alavesitunnelin reitin varrella on kairareiässä SK1 ja maavastusluotauksissa todettu viitteet rikkonaisuusrakenteista (Kuva 4-8). GTK:n kartassa esitettyjen siirrosten lisäksi malliin on lisätty luode-kaakko-suuntainen rikkonaisuusrakenteen viite, johon liittyy sen kohdalla lineaarinen maaston painanne ja soistuneita kohtia. Viite yhdistyy luoteeseen päin jatkuviin GTK:n esittämiin siirrosviitteisiin.

Koska yksi kolmesta päärakosuunnasta on vaaka-asentoinen, ja maatutkamittausten tuloksissa havaitaan loivakaateisia jatkuvia heijastuksia

kalliosta, on todennäköistä, että kalliossa esiintyy myös vaaka-asentoisia siirrosvyöhykkeitä.

Merkittävien siirrosvyöhykkeiden esiintymistiheys vaikuttaa olevan noin 500–1000 m välein maanpinnan tarkastelutasossa. Paikallisia pienempiä siirroksia voi esiintyä saman suuntaisina noin 50–100 m välein kalliossa.

4.7 Pohjavesi

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

Suoraan pumppuvoimalaitoksen hankealueella ei ole luokiteltuja pohjavesialueita. Alueen pohjoispuolella noin viiden kilometrin etäisyydellä Tunturilammesta eli Ailangantunturin päälle suunnitellusta yläaltaasta ja noin yhden kilometrin etäisyydellä Kemijärven Kuusilahden ala-altaasta sijaitsee Ailanganniemi-Raudankangas pohjavesialue 12320184 (luokka 2) ja itäpuolella noin viiden kilometrin etäisyydellä Tunturilammesta Lehtolan pohjavesialue 12320110 (luokka 1). Lisäksi noin 5,5 km Tunturilammesta kaakkoon sijaitsee pohjavesialue Askankangas 12320174 (Luokka 1). Pohjavesialueet on esitetty kuvassa 4-9.

Ailanganniemi-Raudankangas pohjavesialue sijaitsee itä-länsisuuntaisessa harjumuodostumassa, joka kohoaa Kemijärven pinnasta noin 10–20 metriä. Pohjavesialue kuuluu Ailanganniemi-Raudankankaan harjusen suojeluohjelma-alueeseen. Raudankankaan itäpäähän on tehty yksi maaperäkairaus, jonka perusteella aines on hienoa hiekkaa ja hiekkaa 12 metrin kairausvyöhyteen saakka. Kairauspisteeseen asennetusta pohjaveden havaintoputkesta on tehty antoisuuspumppaus, jonka perusteella pisteestä saadaan pohjavettä noin 240 m³/d. Muodostuman matalimmat osat ovat jääneet Kemijärven vedenpinnan säännöstelyn takia veden alle. Antoisuuden ja maaperäolosuhteiden perusteella pohjavesialue on luokiteltu kuuluvaksi luokkaan 2. (LAPELY 2019)

Lehtolan ja Askankankaan pohjavesialueet ovat kooltaan selvästi Ailanganniemi-Raudankangas pohjavesialuetta pienempiä, mutta vedenhankintaa varten tärkeiksi luokiteltuja pohjavesialueita.

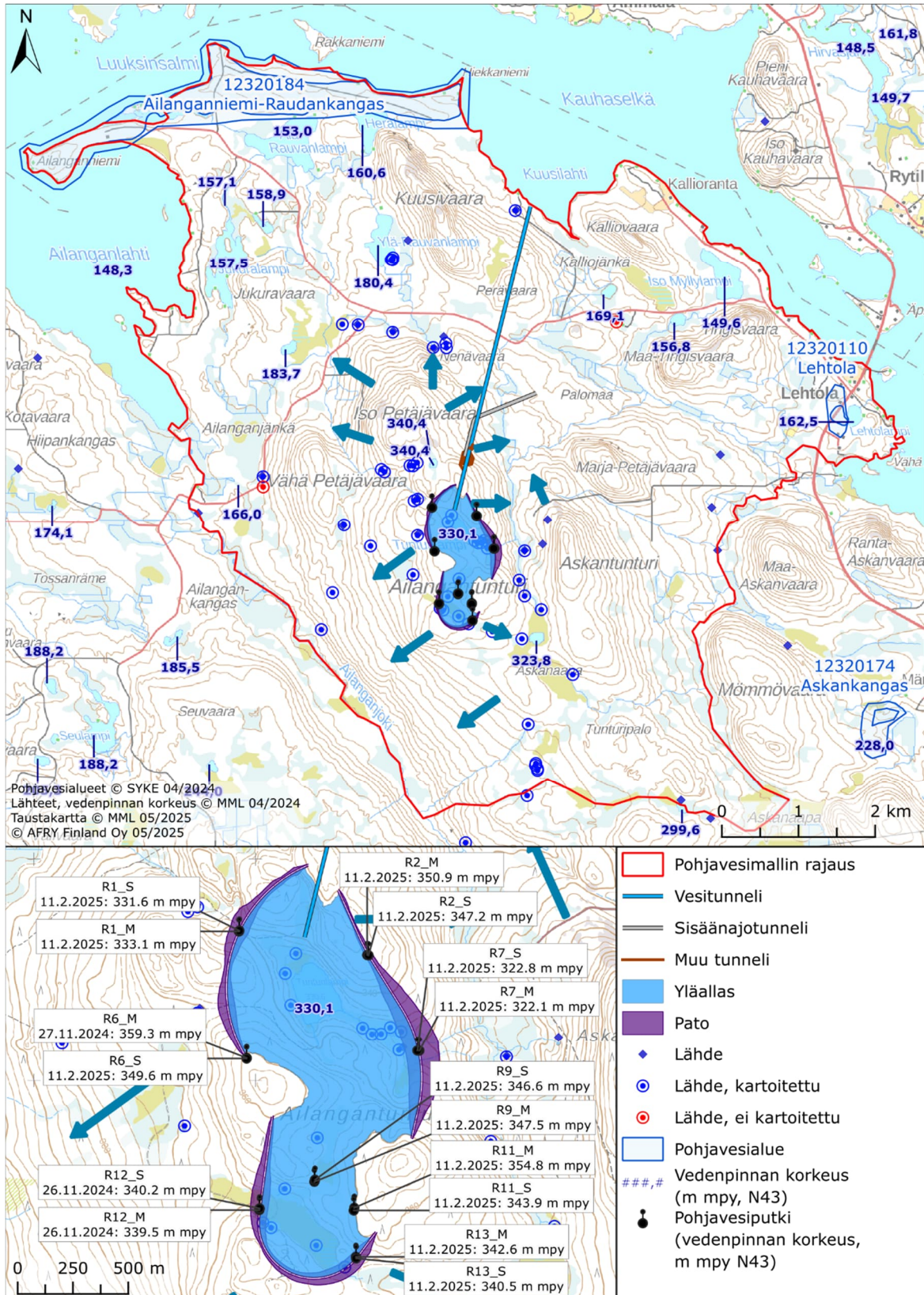
Hankealueen välittömässä läheisyydessä ei ole tiedossa olevia talousvesikäytössä olevia kaivoja. Koska alueella ei karttatarkastelun perusteella esiinny lajittuneita korkean hydraulisen johtavuuden ja suuren tehokkaan huokoisuuden omaavia sora- tai hiekkakerroksia, alueelta puuttuvat sellaiset irtomaakerrokset, jotka mahdollistaisivat merkittävän pohjaveden varastoitumisen ja virtauksen. Alueella ei siten ole vedenhankinnallista merkitystä. Hankealueen ympäristössä on kuitenkin lukuisia lähteitä ja lampia sekä joitakin soistumia (Kuva 4-9). Osasta lampia on karttatarkastelun perusteella saatavilla vesipinnan korkeus, mutta lähteiden virtaamasta ei ole tietoa. Lähteet ovat vesilain nojalla suojeltuja kohteita. Alueelle on asennettu maaperän pohjavesiputkia ja kallioreikiä pohjaveden pinnan korkeuden seurantaan varten ja tehty vedenjohtavuusmittauksia (luku 3). Pohjaveden pinnan taso mukaillee maanpinnan topografiaa ja virtaussuunnat karkeasti pintavesien päävirtaussuuntia, mutta virtausnopeudet ovat hitaampia.

Kuvassa 4-9 on esitetty mitatut

ja arvioidut pohjaveden virtaussuunnat maastokarttapohjalla.

Maavastusluotausten ja maatutkamittausten tulosten perusteella (luku 3) ylin maakerros on paikoin kuiva. Maaston painanteissa ja turvepeitteisillä alueilla pohjaveden pinta voi olla lähellä maanpintaa. Myös tunturialueen ulkopuolella alavassa maastossa osa moreenin pintakerroksesta voi olla kuiva. Kapillaarista pohjavettä voi esiintyä.

Pohjavettä muodostuu sedimenttipeitteisillä alueilla eri nopeuksilla riippuen pintamaalajista. Paljastuneen kallion alueella pohjavettä muodostuu vähän, ja suurin osa nettosadannasta poistuu pintavaluntana.



Kuva 4-9. Pumppuvoimalaitoksen hankealueen lähimmät pohjavesialueet, vesipintojen korkeudet ja lähteet sekä pohjavedenpinnan korkeuden gradientteihin perustuvat pohjaveden virtaussuunnat sinisillä nuolilla.

4.8 Kalliotopografian malli

Maaperän paksuuden ja kalliopinnan syvyyden (topografian) mallinnus perustuu maastokarttoihin (Maanmittauslaitos), geologisiin karttoihin (kalliopaljastumat, GTK Maankamara) sekä kairareitistä ja pohjavesiputkista mitattuihin maaperäkerrosten paksuuksiin ja geofysiikan mittaustuloksista tulkittuihin maakerrospaksuuksiin.

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

Koska eri menetelmillä on saatu hiukan erilaisia paksuustietoja samoista kohdista, käytettiin tuloksia järjestyksessä 1) porausten tulokset (14 kpl), 2) maavastusluotausten tulokset ja 3) maatutkausten tulokset.

Kairaukset tuottavat pistemäistä tietoa maapeitepaksuudesta. Paksuus voi lyhyenkin etäisyyden päässä muuttua. Porakairauksen syvyysarvio on luotettavin tieto havaintopisteestä. Puristin-heijarikairaus voi aliarvioida kalliosyvyyttä ja porakonekairaus taas yliarvioida, jos kalliopinta on rapautunut. Geofysiikan tulkitut tulokset antavat jatkuvuustietoa poraushavaintojen ympäristössä. Ne tarvitsevat kuitenkin porauksista saatavan varmennustiedon. Linjan sivusuunnassa tulosten varmuustaso heikkenee. Maavastusluotaus ei välttämättä pysty erottamaan moreenia ja kalliota, ja yleistää tulosta laajemmalla alueella. Rajapinnan sijainti on "sumea" noin 0,5–1 m tarkkuudella. Maatutkauksessa rajapinta on terävä, joten heijastuksen saapumisaika on luotettava, mutta tutka-aallon nopeus riippuu maalajista ja vesipitoisuudesta, jolloin laskennallinen syvyys ei ole täsmällinen ilman sidontatietoa. Nopeus voi vaihdella pitkin mittaustuloksia maasto-olosuhteiden mukaan ja se muuttuu syvyysuunnassa maalajin ja vesipitoisuuden mukaan. Maatutkankaan tuloksista ei aina voida tunnistaa moreenin ja kallion rajapintaa. Syvällä sijaitsevaa kalliopintaa ei aina voida tunnistaa (Ailangantunturin alueella yli 10 m).

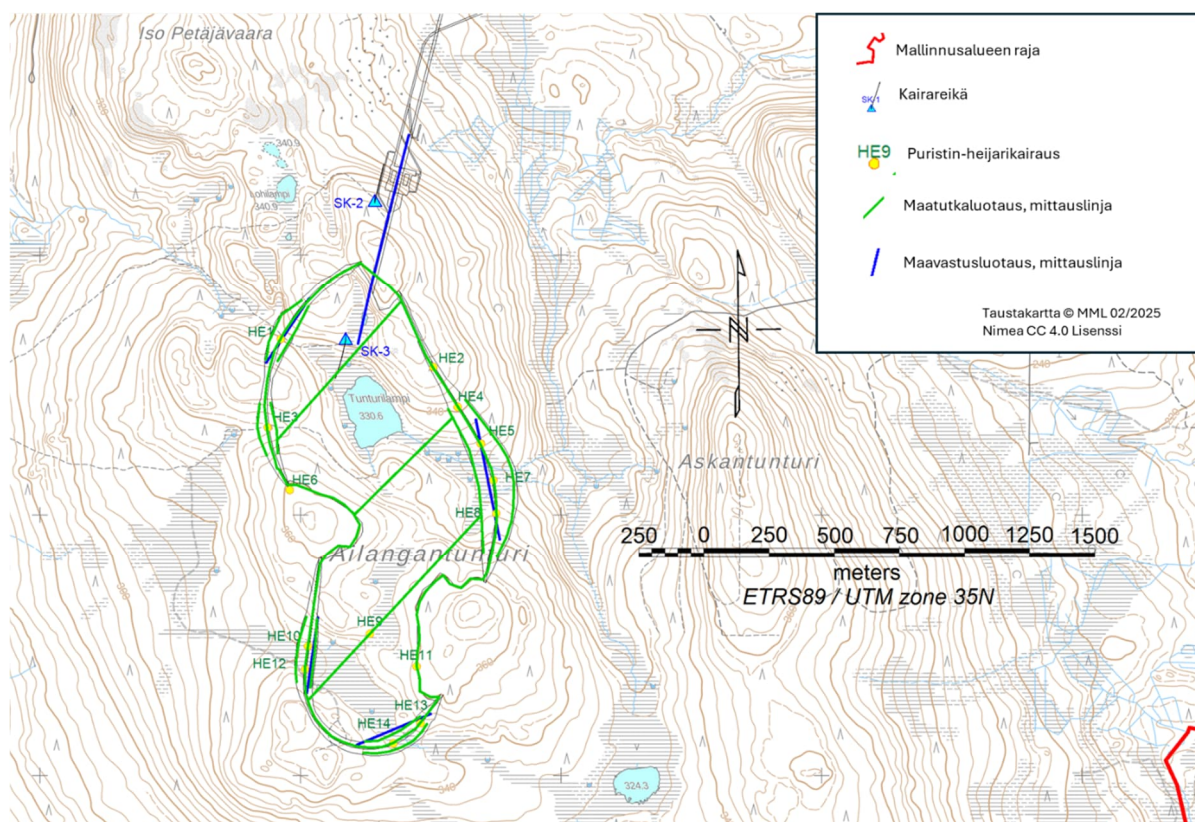
Poraukset

Porauksissa on tehty lähelle samoissa paikoissa (samaa numerotunnusta käyttäen) 14 kpl puristinheijarikairauksia (HExx) ja 14 kpl porakonekairauksia (POxx). Puristinheijarikairauksia uusittiin konetta siirtämällä 2–3 kertaa, mikäli kairaus pysähtyi kiveen. Porauksista otettujen näytteiden perusteella maalaji on hiekkamoreenia tai soramoreenia. Maaperään asennettiin siiviläputki niissä tapauksissa, joissa 1–2 m siiviläosuus saatiin maakerrokseen pohjavesipinnan alle (3 kpl).

Puristin-heijarikairauksen viereinen porakonekairaus (POxx) ulotettiin 6,1–20,4 m kalliosyvyteen. Kalliopinnan syvyys vaihteli 0,8–5,6 m välillä. Kaikkiaan

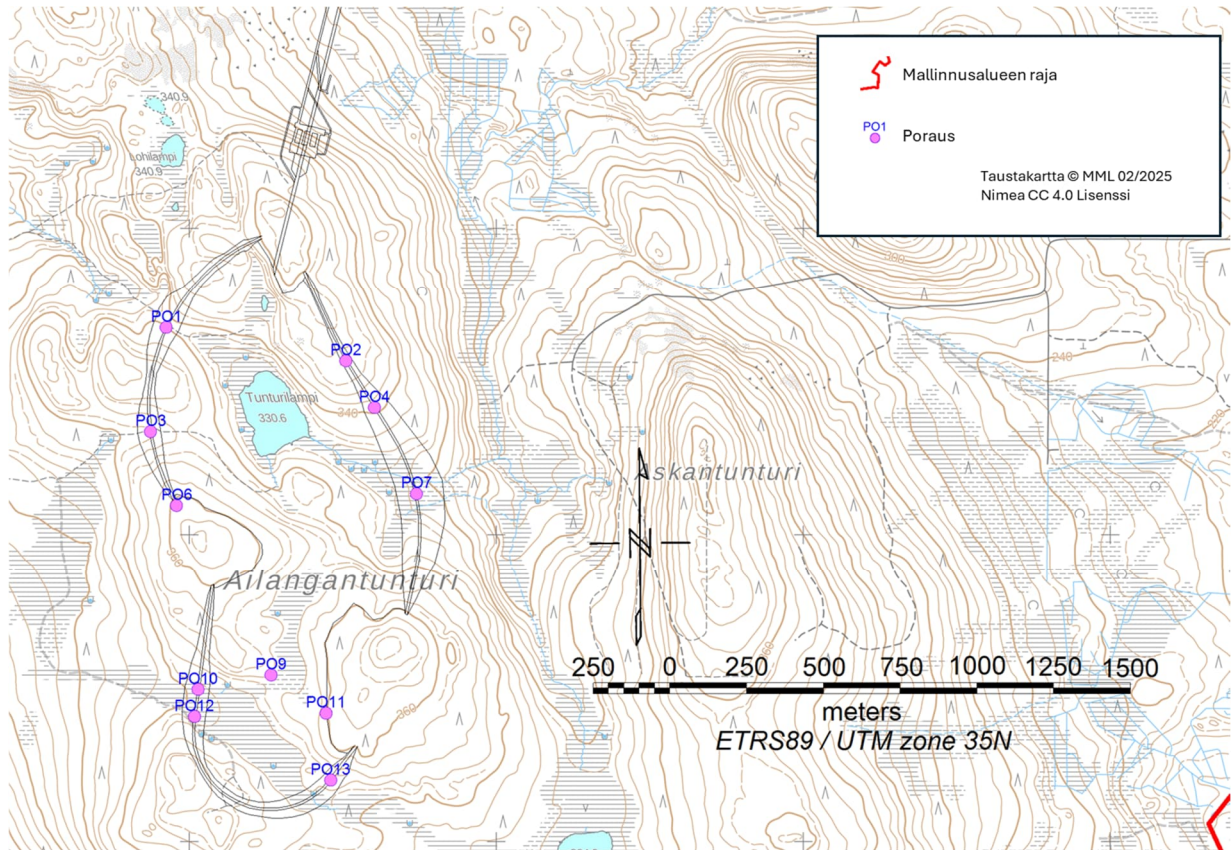
kahdeksalla porauskohteella asennettiin pohjaveden tarkkailukaivot. Jokaisella kohteella asennettiin matala kaivo ja syvä kaivo. Matalien tarkkailukaivojen 1–2 m siiviläosuudet asennettiin 0–4,32 m syvyyteen (yläpää). Matalista kaivoista 3 oli sedimenttikerroksessa (soramoreeni). Syvien tarkkailukaivojen 2 m siiviläosuudet asennettiin 8,6–17,83 m syvyyteen (yläpää). Syvistä kaivoista yhden raportoitiin olevan sedimenttikerroksessa. Asennusajankohdan pohjaveden syvyydet maanpinnasta eri kaivoissa vaihtelivat 0–9,09 m välillä.

Kalliotopografian mallin luonnissa käytetyt pohjatutkimustulokset on puristin-heijarikairausten, maatutkaluotausten, kallionäytekairausten ja maavastusluotausten osalta esitetty kuvassa 4-10.

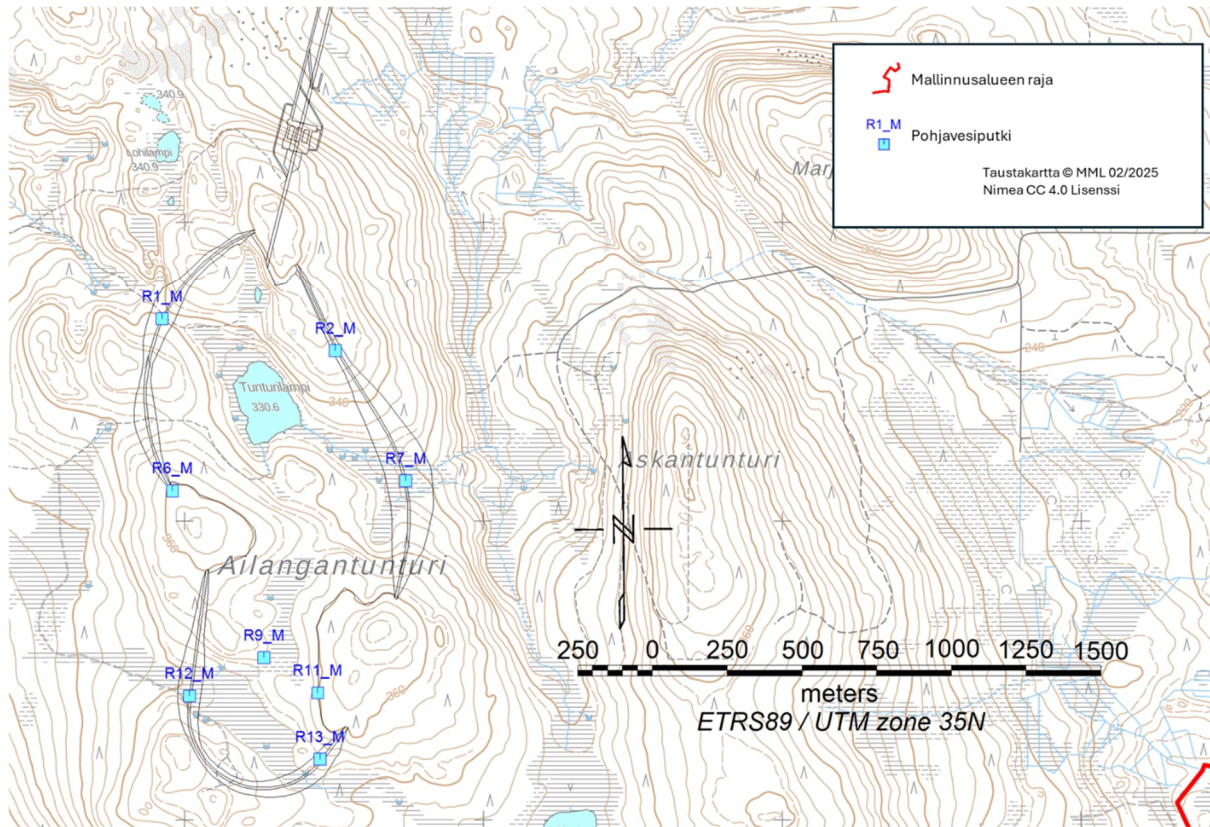


Kuva 4-10. Kalliotopografian mallin luonnissa käytetyt pohjatutkimusten sijainnit, puristin-heijarikairaukset, kallionäytekairaukset, maavastusluotaukset ja maatutkaluotaukset.

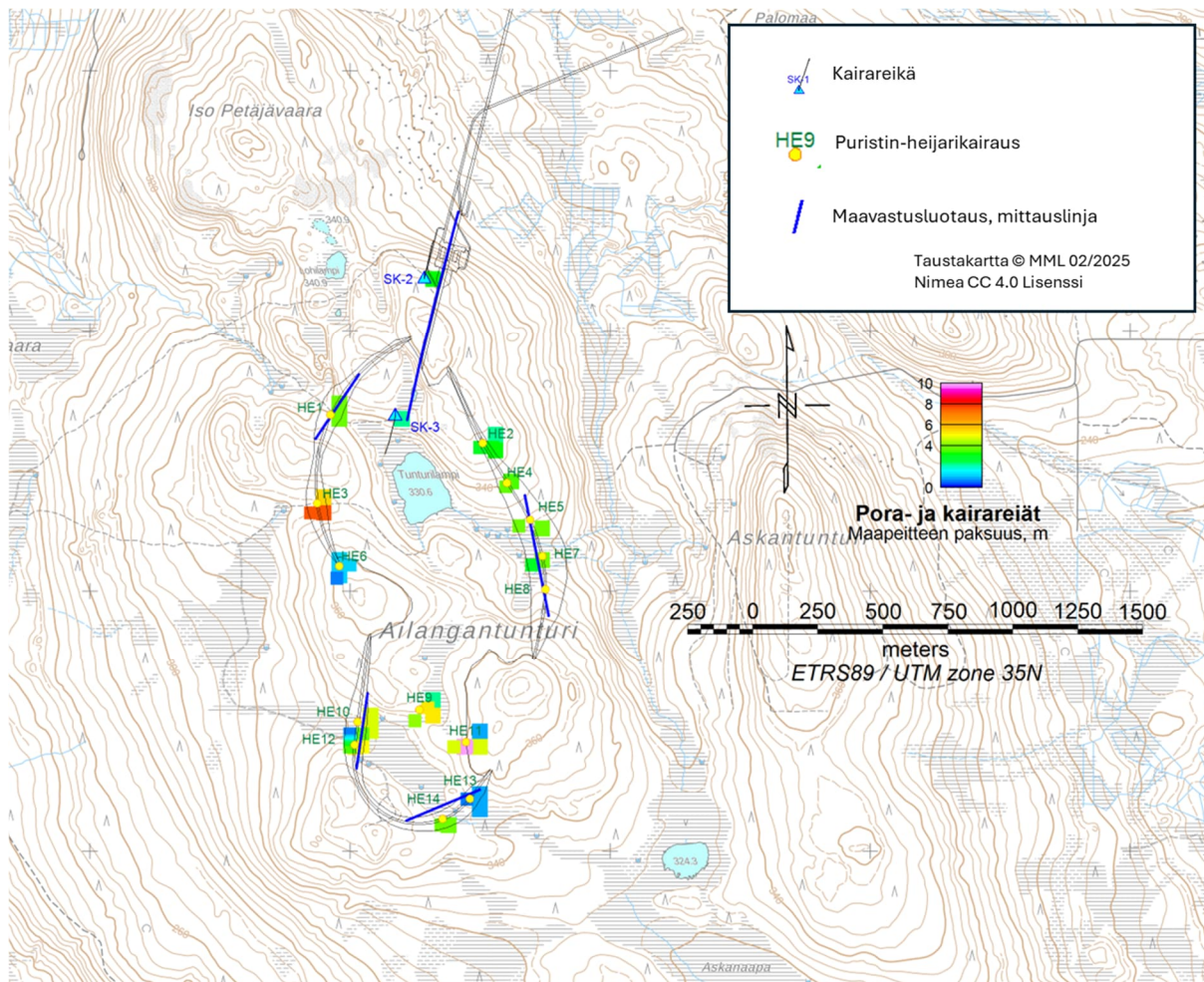
Samalla reikänumerosnumerolla esitetyt poraukset ja pohjaveden havaintokaivot sijaitsevat niin lähellä toisiaan, että sijainnit on esitetty erikseen (Kuva 4-11 ja Kuva 4-12). Lähelläkin sijaitsevien porausten maapeitepaksuuden tiedot poikkeavat jonkin verran toisistaan (Kuva 4-13). Tuloksia on käytetty varmennettaessa maatutkauksen ja maavastusluotausten tulkintojen käyttöä maapeitepaksuuden mallissa.



Kuva 4-11. Kallioperän porausten sijainnit Ailangantunturin ylävesialtaan alueella.



Kuva 4-12. Pohjaveden havaintokaivojen sijainnit Ailangantunturin ylävesialtaan alueella. Kuvassa on nimetty matalat pohjavesiputket (Rx_M). Vastaavat syvät putket sijaitsevat matalan putken vieressä.



Kuva 4-13. Porauksiin ja kallionäyttekairausten maaputken pituuksiin perustuvat maapeitteen paksuustiedot Ailangantunturin ylävesialtaan ja teknisten tilojen alueella. Pistemäisiä havaintoja ei ole interpoloitu.

Maavastusluotaukset

Maavastusluotauksia oli sijoitettu kuuteen kohteeseen yhteensä 2700 m pituudelle. Mittaukset oli sijoitettu lähelle geologisissa kartoissa esitettyjä siirrosviitteitä. Yksi kohteista sijaitsee suunnitellun alavesitunnelin keskivaiheilla (Kohde 6). Yhden 770 m pitkän linjan sijainti on ylävesitunnelin ja painevesikuilun sekä teknisten tilojen kohdalla (Kohde 5). Neljä muuta kohdetta sijaitsee suunnitellun altaan patosijaintien kohdilla, alavimmilla kohdilla patoaltaan reunoja. Mittauksissa on käytetty 2 m mittauselektrodiväliä, jolla saavutetaan noin 20–25 m pystysuora syvyysulottuvuus. Linjalla 5 on käytetty 5 m elektrodiväliä, ja kohteessa saavutetaan n. 50 m syvyysulottuvuus.

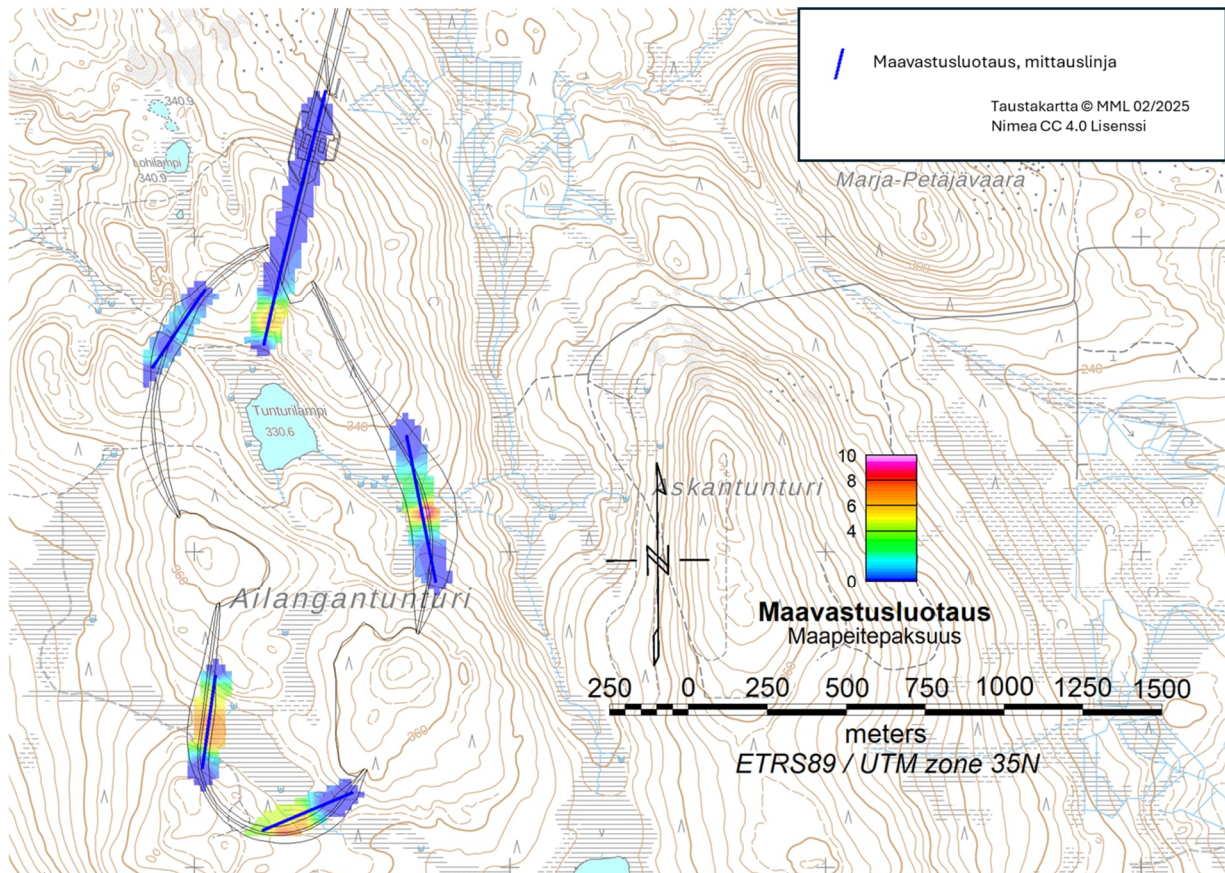
Tulkituista tuloksista havaitaan kohteen 6 osalta todennäköisesti kuivan moreenin kerros, jonka paksuus on 9–13 m. Moreenin alla havaitaan ehyen ja rapautuneen pintakallion vuorottelua. Rapautuneen pintakallion paksuus on sen

esiintymisalueilla 5–26 m. Kohteessa havaitaan kaksi todennäköistä rikkonaisuusvyöhykkeen pintaan puhkeamiskohtaa. Yhden linjan tuloksista ei voida todeta rikkonaisuusvyöhykkeen jatkuvuutta tai kulkusuuntaa. Maavastusluotauksista ei yleensä myöskään voida arvioida vyöhykkeen kaadetta.

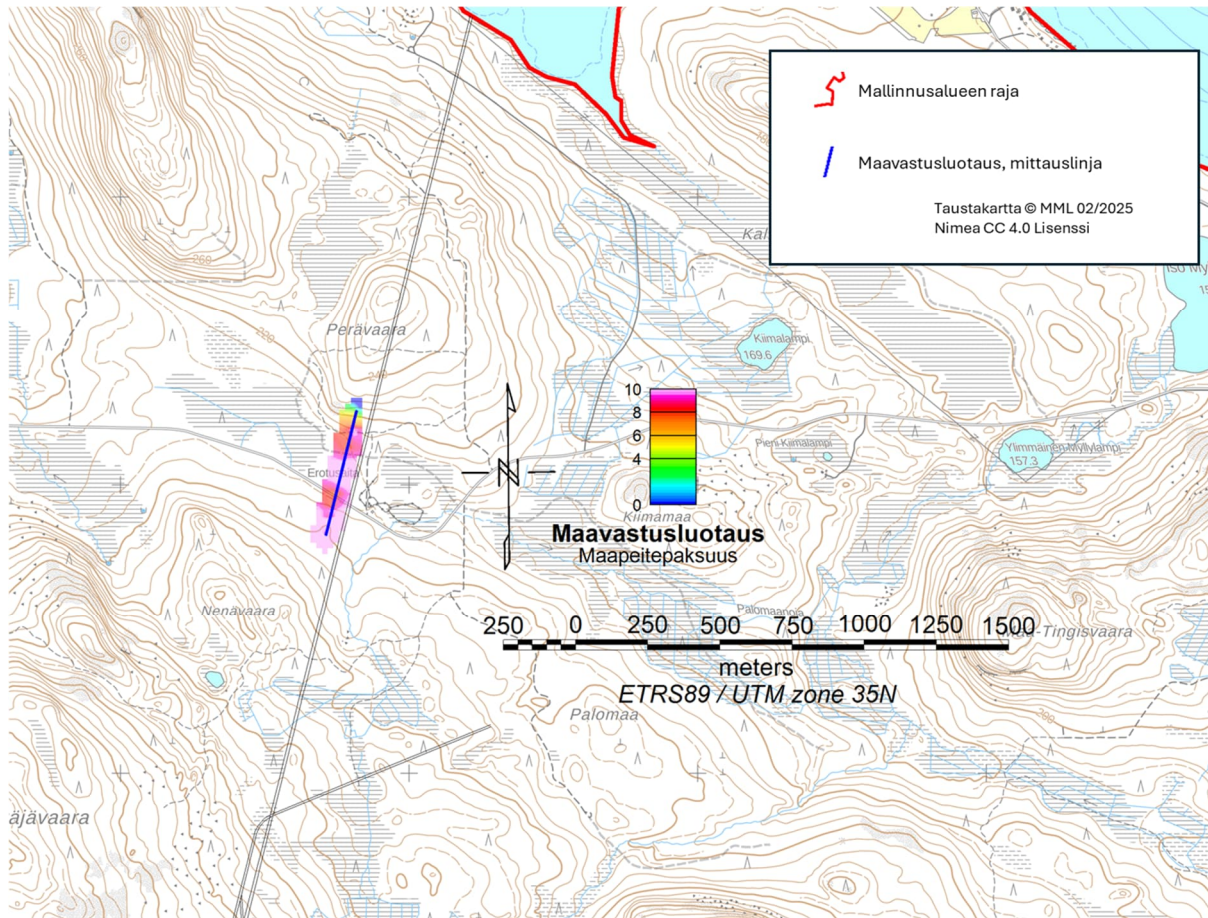
Kohteella 5 havaitaan linjan alkuosassa Tunturilammen kohdalla todennäköisesti rapautunutta kalliota ja voimakas viite rikkonaisuusvyöhykkeestä. Maapeitepaksuus on linjan eteläpäässä 4–6 m. Muualla maapeitteen paksuus on 0 m (kallio on pinnassa). Rapautuneen kallion paksuus on 8–40 m niillä kohdilla joissa sitä esiintyy. Lisäksi linjan pohjoispäässä havaitaan kaksi kapeamman rikkonaisuusvyöhykkeen sijaintikohtaa, jotka sijaitsevat lähellä voimalaitoksen maanalaisia tiloja.

Kohteilla 1–4 havaitaan maapeitepaksuuden vaihtelua välillä 0–12 m. Joissakin kohtaa on mahdollista tulkita turpeen paksuus (0–3 m). Rapautuneen kallion paksuushavainnot vaihtelevat 0–20 m välillä (mittauksen syvyyssulottuvuus). Jokaisella linjalla havaitaan kahdesta kolmeen viitettä rikkonaisuusrakenteista.

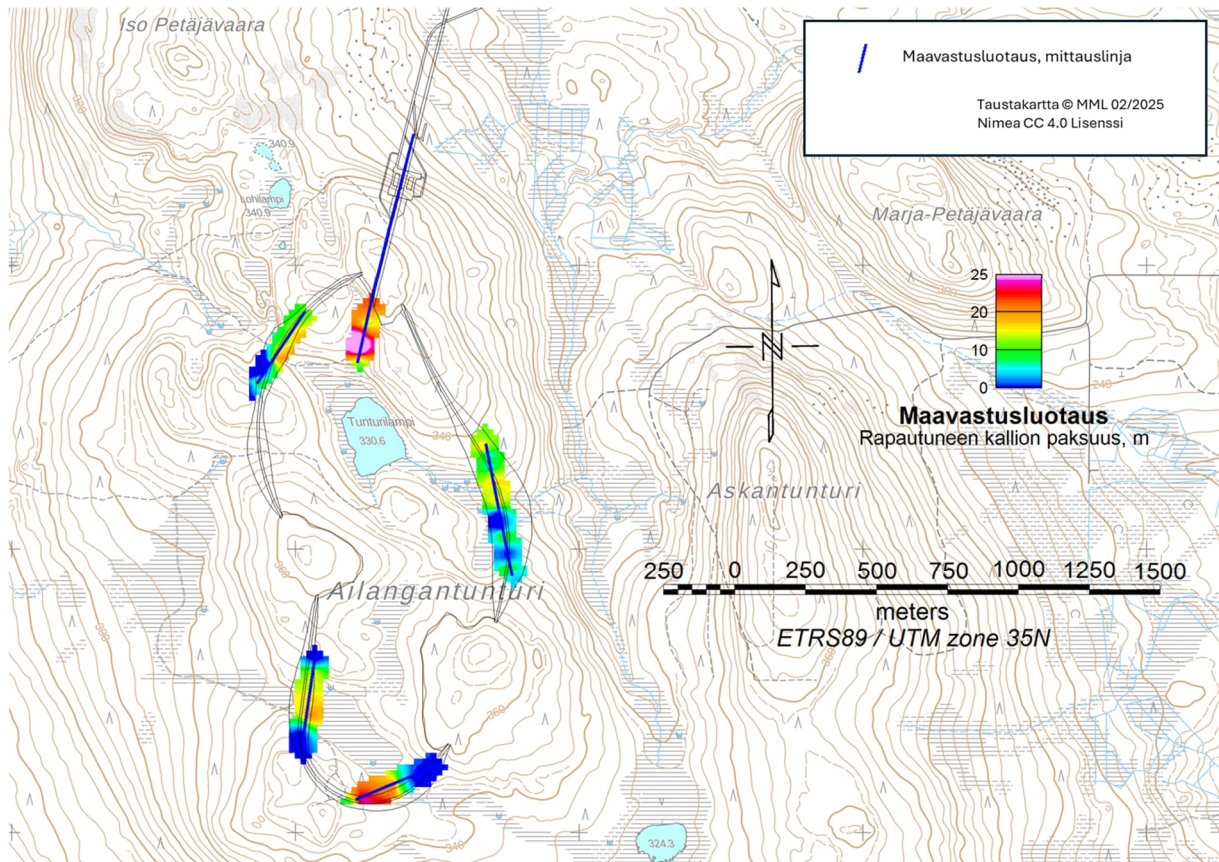
Maavastusluotauksista määritetty kalliopinnan syvyys ylävesialtaan alueella on esitetty kuvassa 4-14. Kalliopinnan syvyys alavesitunnelin reitillä on esitetty kuvassa (Kuva 4-15). Maavastusluotausten tulkinnessa havaitut rapautuneen pintakallion kerrospaksuudet on esitetty kuvassa (Kuva 4-16).



Kuva 4-14. Kalliopinnan topografian mallin luomisessa käytetyt maavastusluotaukset (Deep Scan Tech Oy), ja määritetty maakerrospaksuus.



Kuva 4-15. Kalliopinnan topografian mallin luomisessa käytetyt maavastusluotaukset alavesitunnelin reitillä (Deep Scan Tech 2025) ja määritetty maakerrospaksuus.

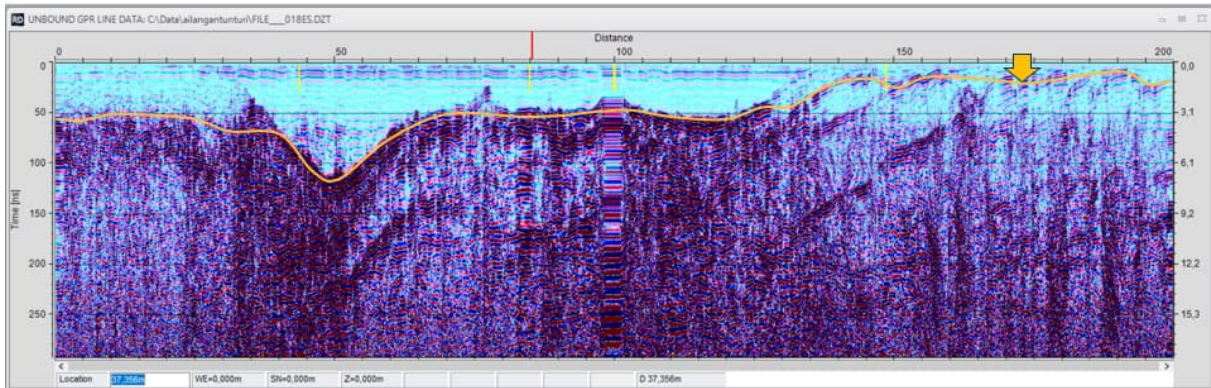


Kuva 4-16. Pintakallion rapautuneen tai rikkonaisen kerroksen paksuustulkinnat Ailangantunturin ylävesialtaan alueen maavastusluotausten perusteella.

Maatutkaluotaukset

Mitta Oy suoritti maatutkaluotauksia GSSI SIR-300 kalustolla käyttäen matalataajuista 200 MHz maavasteantennia. Mittaukset paikannettiin 50 m paaluväleittäin tarkkuus-GNSS-mittauksen avulla. Tulokset käsiteltiin RoadDoctor-ohjelmalla ja luovutettiin tulostettuina kuvina ja datana tilaajan käyttöön. Tuloksiin merkittiin tulkittu kalliopinta sekä porauksista saatuja referenssisyvyyksiä.

Maatutkamittauksia oli sijoitettu patoaltaan reunoja pitkin, yhdelle yhtenäiselle 5 km linjalle (Linja 1) pitkin patoharjaa ympäri altaan, sekä viiteen kohteeseen (2300 m, 2–6 A ja B) allasta reunustavien patojen kohdalle, siten että kaksi lisälinjaa sijaitsevat aina padon altaan puolen reunalla (linjat B) sekä kuivan puolen luiskan reunalla (linjat A). Lisäksi kolme linjaa (7, 8 ja 9) sijoitettiin viistoon altaan pohjan yli, leikkaamaan kohtisuoraan arvioitujen siirrostien kulkusuuntaa (2200 m). Mittauksia tehtiin noin 10,5 km. Mittaukset on tallennettu 300 nanosekunnin saapumisaikaan saakka. Syvyysakseli on esitetty 15 m syvyydelle asti (vastaten 100 m/μs tutka-aallon nopeutta). Kuvassa 4-17 on esitetty esimerkki maatutkaluotauksen tuloksesta.



Kuva 4-17. Esimerkki maatulkuksen tuloksesta, Linja 1 (paaluväli 2500–2700 m). Oranssi viiva esittää tulkitun kalliopinnan asemaa. Nuoli osoittaa porauksessa havaittua kalliota. Vasemmalla on alueelle tyypillistä ohutta sedimenttikerrosta kallion päällä, paaluvälillä 50–130 m turvekerros (suo) ja sen alla mahdollisesti kalliorikkonaisuutta. Oikeassa reunassa maakerros on ohut. Loivakaateiset heijastukset ovat jatkuvia kalliorakoja.

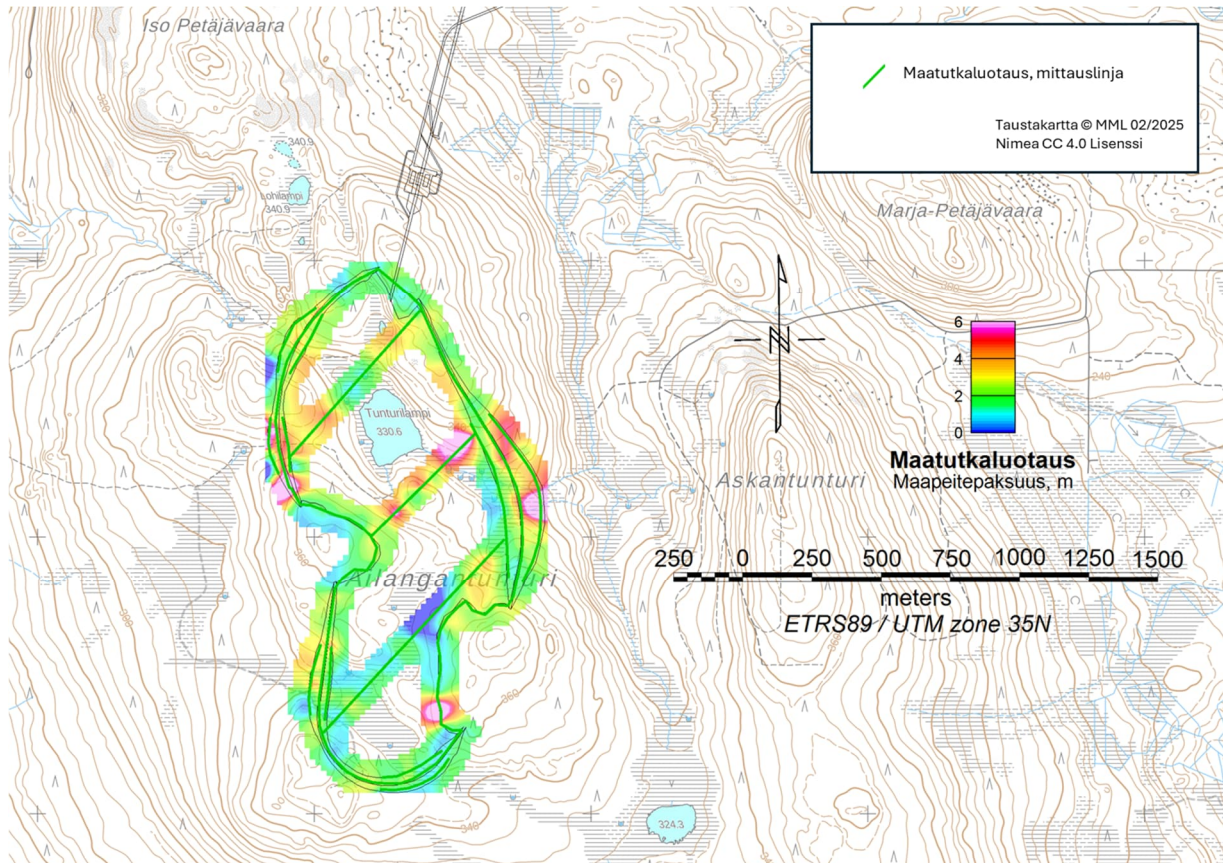
Maatutkamittausten tuloksista havaitaan selvästi kapeita ohuehkon turvepeitteen kohtia. Koska turve on vesipitoinen ja tutka-aallon nopeus turpeessa on melko vakio (dielektrisyys noin ϵ_r : 60, tutka-aallon nopeus noin 40 m/ μ s), voidaan turvepeitteiset kohdat ja turvepaksuuden vaihtelu paikantaa hyvin. Sijaintikohdat ja syvyysarvio vastaavat karttatarkastelun avulla määritettyjä turvealueita.

Turpeen alla mahdollisen ohuen muta- tai silttikerroksen alla on joko moreenia tai suoraan rapautunutta tai ehyttä kalliota. Muualla kuin turvepeitteisillä alueilla on todettu vaihtelevan paksuinen kerros sedimenttiä, joka voi olla hiekkamoreenia tai soramoreenia. Kalliopinnan heijastus havaitaan suurelta osalta mittauslinjoja. Joissakin tapauksissa on vaikea erottaa missä kohtaa moreenin ja kallion rajapinta sijaitsee, mikä on varsin tyypillistä maaperätutkimuksissa.

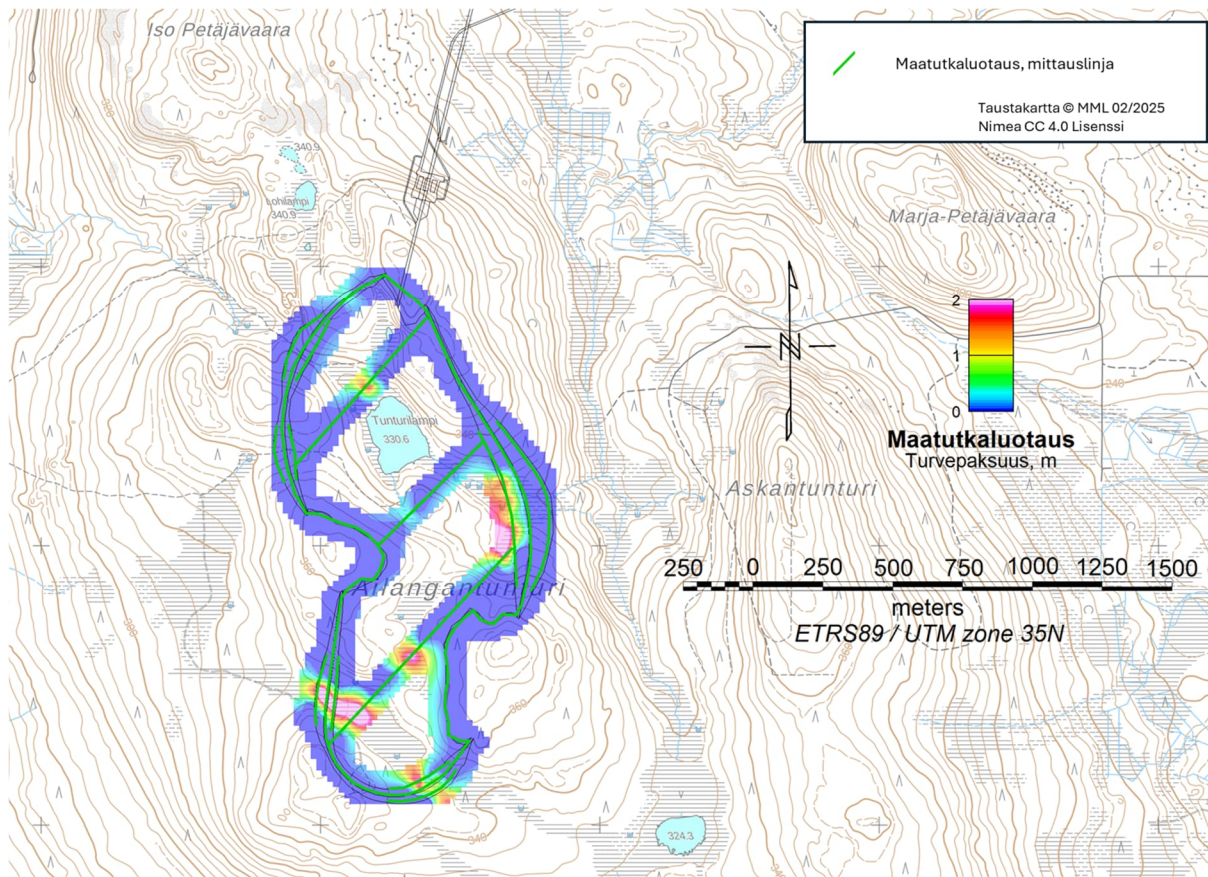
Tutka-aallon nopeus vaihtelee moreenin ja kallion vesipitoisuuden mukaan. Kuivassa sorassa tai moreenissa dielektrisyys voi olla luokkaa ϵ_r : 9, ja aallonopeus 100 m/ μ s (käytetty Mitta Oy:n luovuttamissa tuloksissa). Vedellä saturoituneessa moreenissa tai hiekassa suhteellinen dielektrisyys voi olla ϵ_r : 25–30, ja tutka-aallon nopeus 60 m/ μ s.

Mittausurakoitsijan esittämä kalliopinnan syvyys poimittiin tulosteista saapumisaikana 10 m välein mittauslinjoilla. Kallion syvyydeksi arvioitiin maksimi syvyys kuivan moreenin tutka-aallon nopeutta käyttäen. Tämä syvyysarvio on keskimäärin 2,5 m kaikkien tutkamittaustulosten perusteella. Usein syvyys on noin 1–2 m. Syvimmillään tulkittu kalliosyvyys on noin 8–9 m (180–200 ns). Kalliosyvyys voi paikoin olla esitettyä laskelmaa matalammalla silloin kun maaperä on vesitäytteinen. Maapeitteen paksunnosten kohdilla voi olla todennäköisiä ruhjesijainteja. Rapautuneen kallion paksuutta ei pystytä määrittämään. Maatutkatuloksissa kuitenkin erottuu melkein kaikkialla selviä kalliossa sijaitsevista loivakaateisista raoista syntyviä heijastuksia. Osa raoista on selvästi

hyvin jatkuvia. Pystyasentoisista raosta voidaan saada lähinnä sirontakuvioita. Maatutkaluotausten tuloksista kerätyt kalliopinnan asemat on esitetty kuvassa 4-18.



Kuva 4-18. Kalliopinnan topografian mallissa käytetyt maatutkaluotaukset ja tulkittu maakerrospaksuus.



Kuva 4-19. Maatutkaluotausten tulkinnessa määritetyt turvekerrokset ja niiden paksuus.

Mallin käsittely

Maanmittauslaitoksen 2 x 2 m topografian malli (N2000) muunnettiin N43 korkeusjärjestelmään vähentämällä korkeusasemasta 0,46 m. Malli harvennettiin 40 x 40 m pistetiheydelle. Verkon pisteisiin määritettiin ensin maapeitepaksuudet, jonka arvot vähennettiin lopuksi maanpinnan topografiasta.

Perustuen maavastusluotausten, maatutkaluotausten ja porausten tuloksiin, asetettiin korkeuskäyrän 320 m mpy (N2000) yläpuolella maapeitteen keskimääräiseksi paksuudeksi 3 m. Vastaavasti perustuen maavastusluotausten ja kairausten tuloksiin, asetettiin alavilla maastonkohdilla tunturialueen ulkopuolella keskimääräiseksi maapeitteen paksuudeksi 10 m.

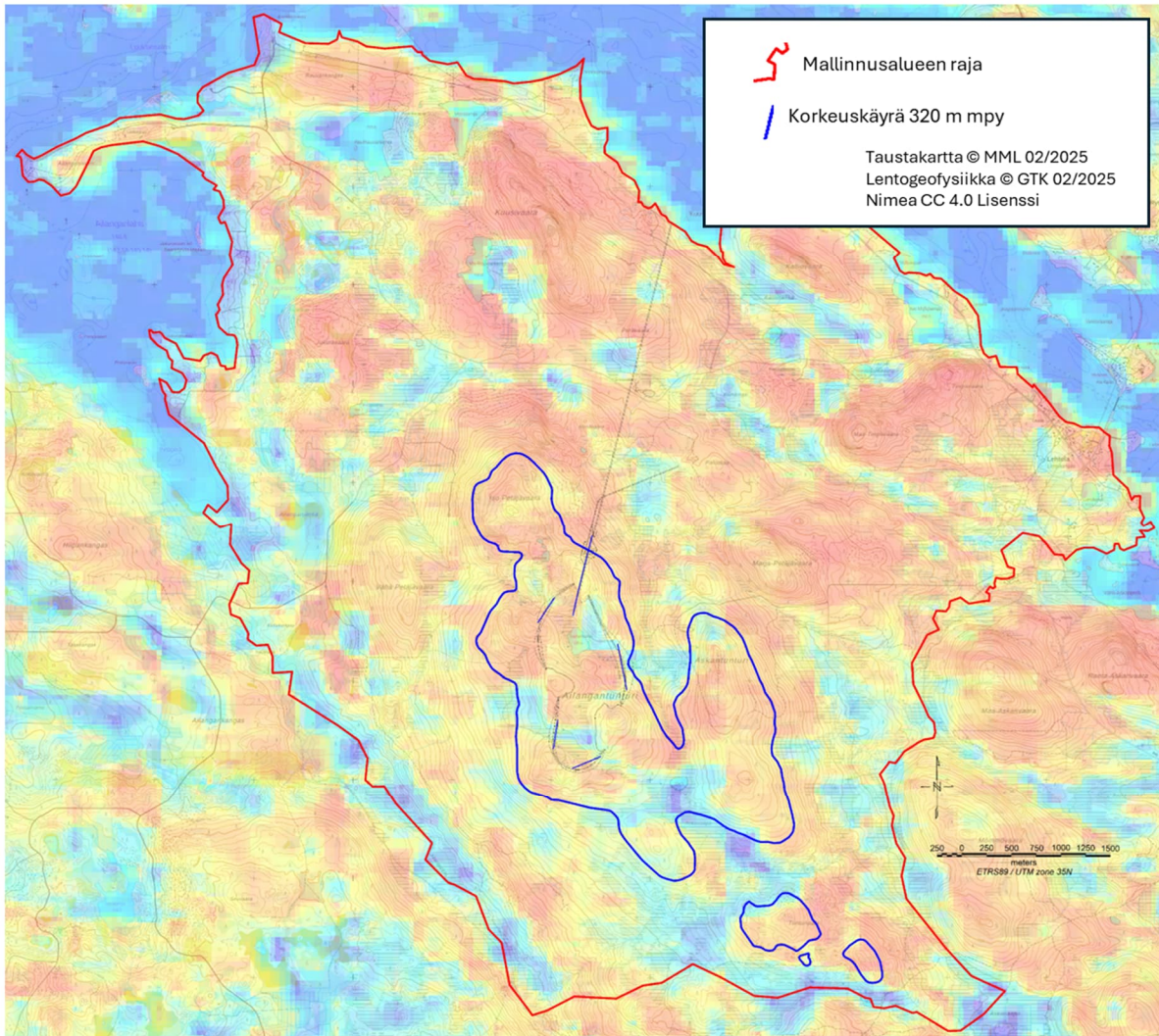
Maaperäkartassa esitettyjen kalliopaljastumien reunaviivojen sisäpuolelle asetettiin maapeitepaksuudeksi 0 m. Alueille, joista oli raportoitu ohut maapeite tai rakkaa, maapeitepaksuudeksi asetettiin 1 m. Näiden reunaviivojen ulkopuolelle asetettiin muiden solujen arvoiksi 3 m korkeilla maastonkohdilla. Alavilla maastonkohdilla asetettiin lisäksi reunoista seuraavien solujen kohdalle

paksuudeksi 6 m, sitten kaikkialle vakioarvot 10 m. Likimääräiseksi maapeitepaksuuden kaltevuudeksi saatiin 7,5–10 %.

Alueilla, joista oli maaperän paksuuden mittaustietoa, arvot asetettiin vastaamaan lähintä mitattua arvoa 40 m säteellä.

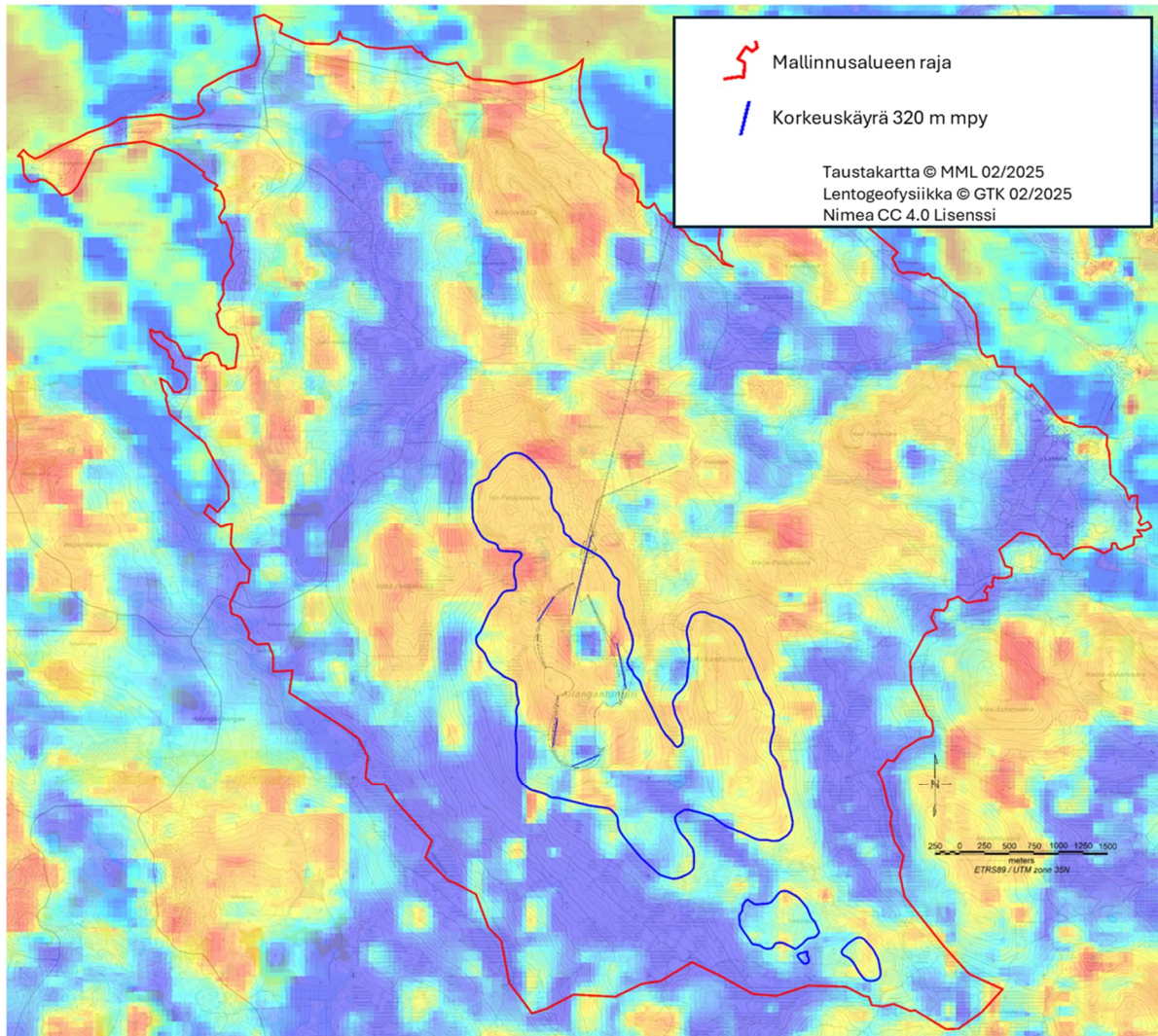
Mallinnusalueen reunoilla asetettiin vesistöjen kohdalla maapeitepaksuudeksi 20 m, joka vähennettiin vesistön pinnankorkeudesta. Maapeitepaksuuden kaltevuudeksi asetettiin 5 %, jolla saavutettiin keskimääräinen 10 m paksuus 200 m päässä mallinnusalueen reunasta. Maa-alueilla maapeitepaksuus pidettiin 10 m tasossa alueen reunalle saakka.

Paikallisista mittaustuloksista ja 320 m korkeuskäyrää korkeampien alueiden rajauksesta maapeitepaksuuden osalta poikettiin kolmessa tapauksessa. Patoaltaan eteläosasta kaakkoon suuntautuvalla alueella sijaitsee 320 m mpy korkeammassa maastossa lentogeofysiikan sähkömagneettisten mittausten ominaisvastusminimi. Sijainti osuu paikallisen turvepiteisen alueen kohdalle. Tällä kohtaa maapeitepaksuudeksi asetettiin paksumpi 10 m.



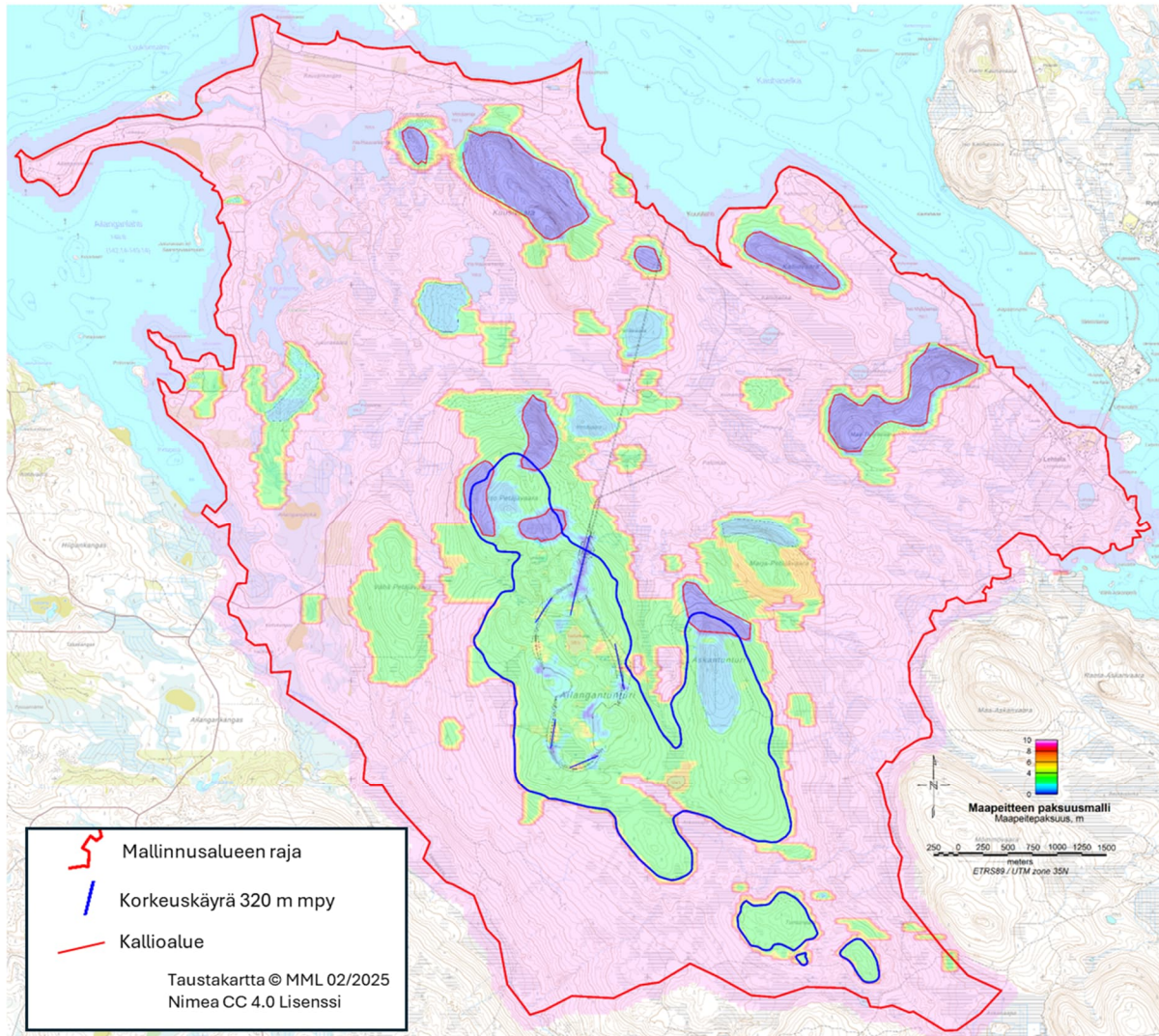
Kuva 4-20. Geologian tutkimuskeskuksen lentogeofysiikan luonnongammamittausten kalium-säteilyn intensiteetti. Sinisillä väreillä maakerrosten kosteudesta aiheutuva säteilyn vaimeneminen viittaa maakerrospaksuuteen.

Alueilla, joissa 320 m (N43) korkeuden yläpuolella tunnettujen paljastumien lähellä lentogeofysiikan sähkömagneettisten mittausten ominaisvastusarvot ovat korkeat, asetettiin maapeitepaksuudeksi 1 m, muualla 3 m. Vastaavasti alueilla 320 m (N43) korkeuden alapuolella, joilla lentogeofysiikan ominaisvastusarvot olivat korkeat, asetettiin maapeitepaksuudeksi 3 m, muualla 10 m (Kuva 4-21). Lampien kohdalla maapeitepaksuudeksi asetettiin 14 m.



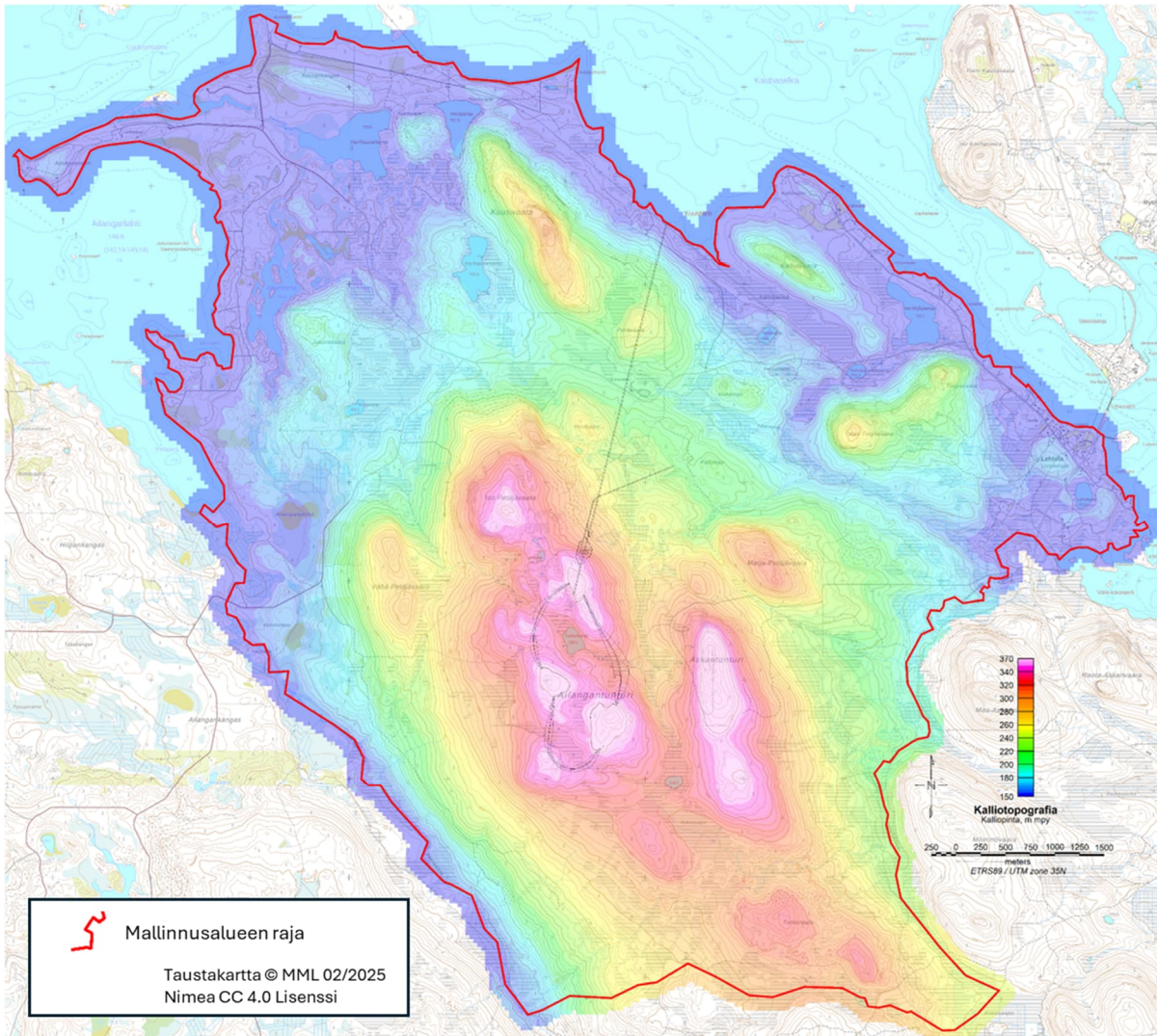
Kuva 4-21. Geologian tutkimuskeskuksen lentogeofysiikan sähkömagneettisen mittauksen tulkittu näennäinen ominaisvastus. Sinisillä alueilla maakerros on paksu tai kallio rikkonaista. Punaisilla alueilla maapeite on ohut.

Maakerrospaksuuden malli on esitetty kuvassa 4-22.



Kuva 4-22. Kalliotopografian mallinnusta varten laadittu maapeitteen paksuusmalli.

Maakerroksen pisteverkoston arvot vähennettiin maanpinnan topografiasta, jolloin saatiin kallioinnin topografian pisteverkko (Kuva 4-23). Kallion topografian malli (kalliotopografia=maaperän syvyys) tallennettiin 40 × 40 m korkeusmalliksi X, Y, Z muotoisena tekstitiedostona (korkeusjärjestelmä N43).



Kuva 4-23. Kalliopinnan topografian malli.

4.9 Pumppuvoimalaitoksen yleiskuvaus

4.9.1 Toimintaperiaate

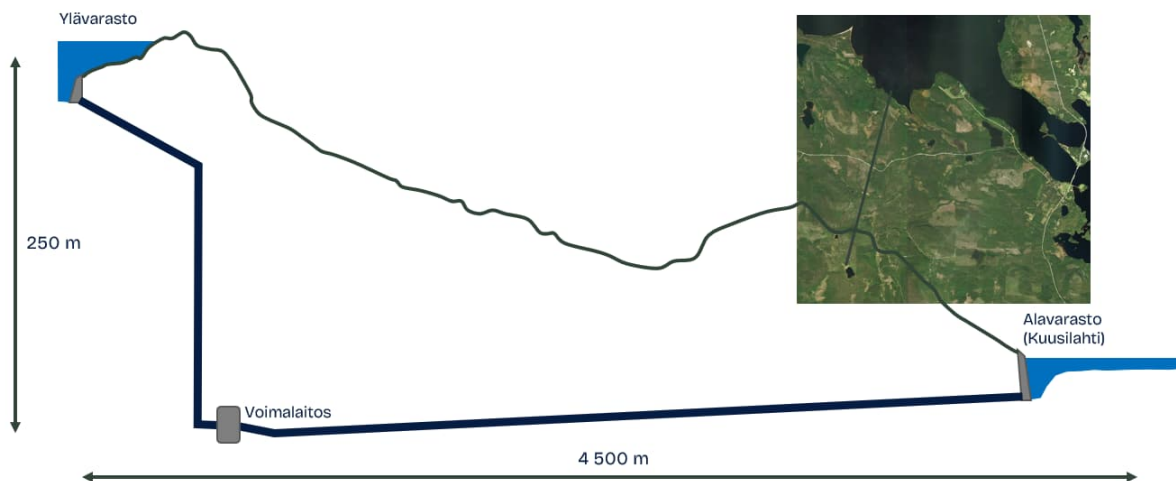
Pohjavesimallinnusta varten Kemijoki Oy toimitti suunnitellun pumppuvoimalan geometrian (Kuva 4-25).

Pumppuvoimalaitos toimii siten, että ylävarastosta johdetaan vettä pumpputurbiiniin ja edelleen alavarastona toimivaan Kemijärven Kuusilahteen. Pumpputurbiinin pyörimissuuntaa vaihtamalla se tuottaa tai kuluttaa sähköä, eli turbiini toimii myös pumppuna. Ylävarastona toimii Ailangantunturin päälle rakennettava vesivarastoallas. Putouskorkeus on noin 200 metriä, ja vesitunneli on noin 4,5 km pitkä (Kuva 4-24). Energiaa varastoidaan pumppaamalla vettä yläaltaaseen energian tarjonnan ollessa suurta ja energiaa tuotetaan, kun

energian tarve on suurta. Tunnelin halkaisija on noin 9 metriä, ja koneistojen yhteenlaskettu rakennusvirtaama on 320 m³/s. Ylävarastosta johdetaan vesiä alavarastoon enintään 10 Mm³ kerrallaan ja saman verran alavarastosta otetaan vettä, kuin ylävarastoa täytetään. Ylävaraston täyttäminen kestää täydellä teholla noin 9 tuntia, ja tyhjentäminen kestää täydellä teholla noin 8 tuntia.

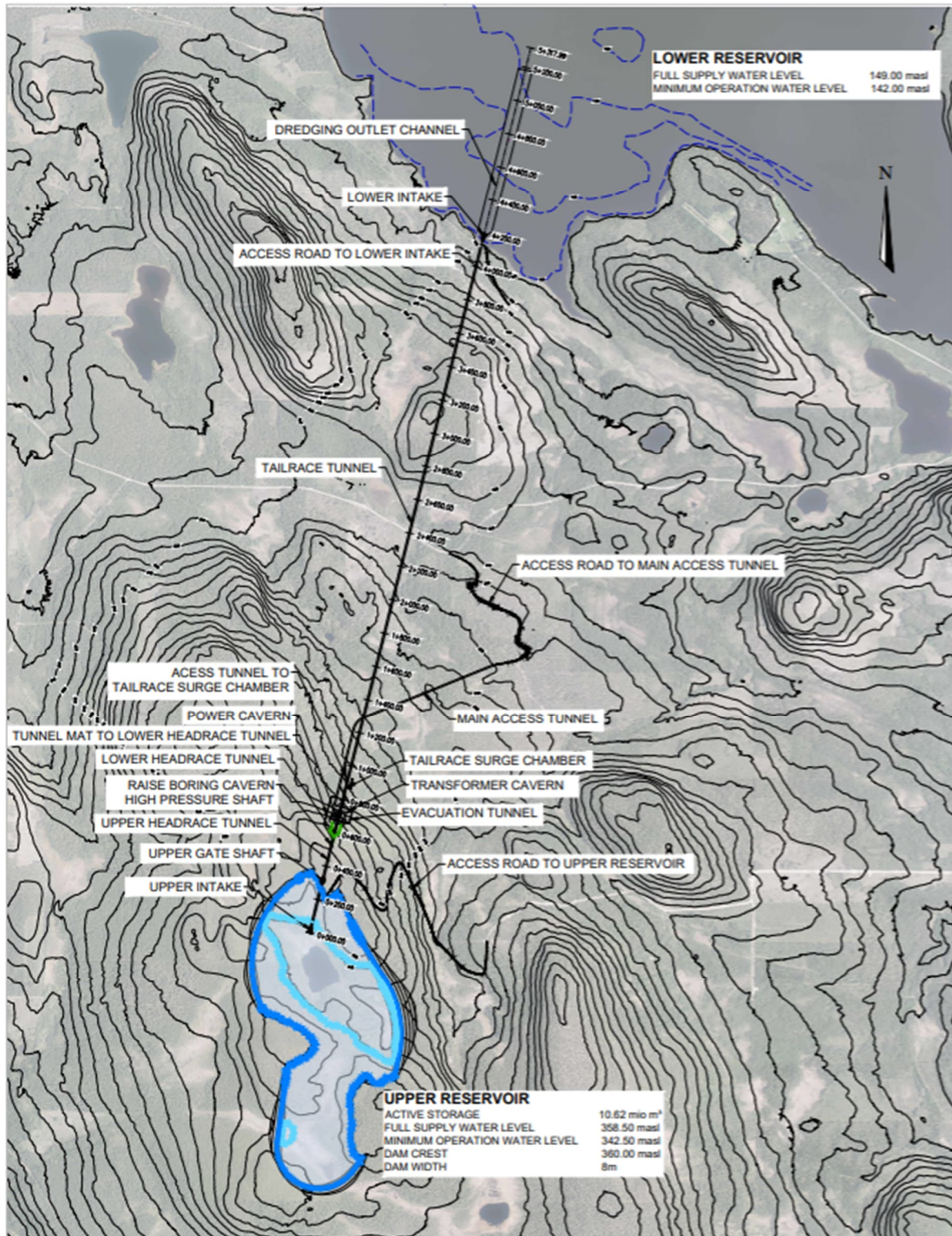
Pumppuvoimalaitoksen ylävarastona toimii Ailangantuntrin päälle rakennettava vesivarastoallas. Altaan pinta-ala on noin 1 km², sen maksimitilavuus on 13,0 Mm³, minimi-tilavuus 2,4 Mm³ ja säännöstelytilavuus 10,6 Mm³. Ylävaraston vedenpinta vaihtelee tasojen 342,50–358,50 m välillä (N43) eli 16 m. Ylävarastossa on aina vettä vähintään noin 2,4 Mm³.

Kemijärven säännöstelyväli on välillä 142,00–149,00 m (N43). Vedenkorkeudet määräytyvät säännöstelyn mukaan. Säännöstely hoidetaan Seitakorvan voimalaitospadolla. Termusniemen yläpuolella vesipinnan korkeus ei pohjapadon vuoksi laske tason 146 m (N43) alapuolelle.



Kuva 4-24. Pumppuvoimalan periaatekuva (Kemijoki Oy).

**550MW PSP AILANGANTUNTURIN
PROJECT LAYOUT
SCALE: 1:15000**

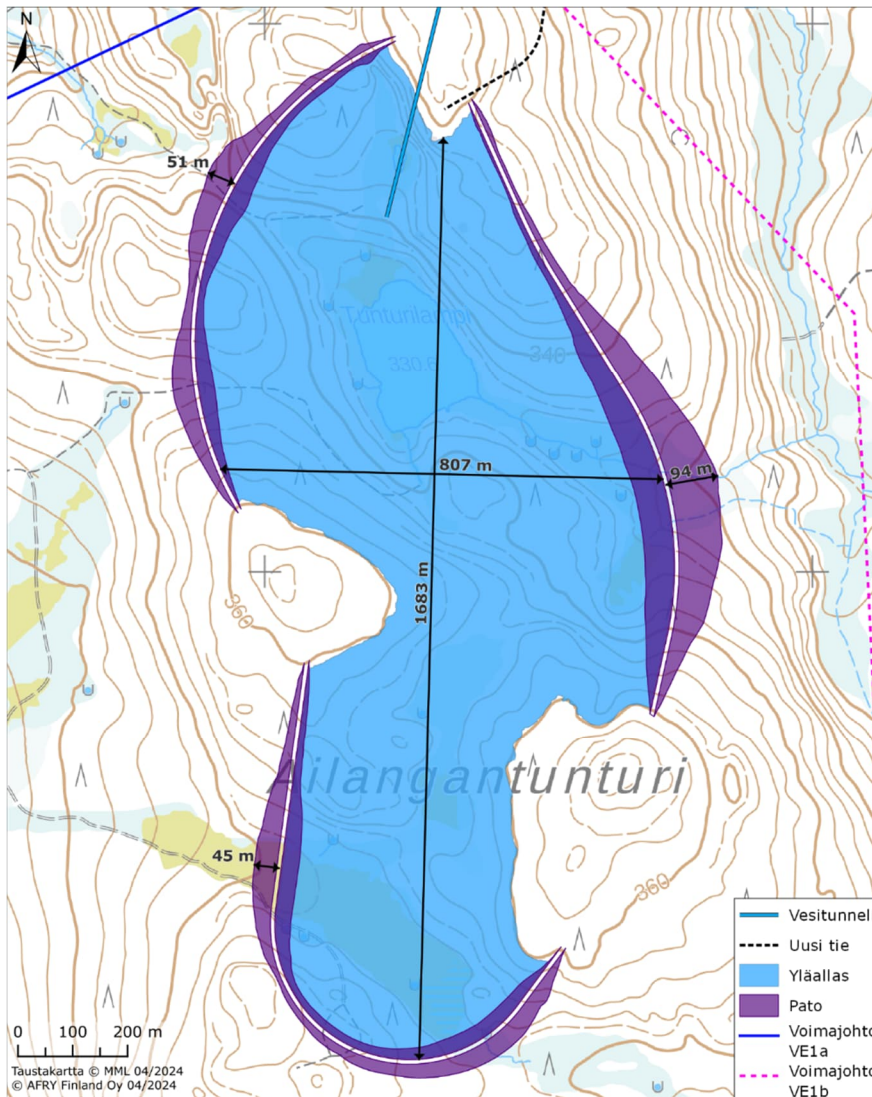


Kuva 4-25. Pumpuvoimala (KEM-AIL-CS-GE-001-002.dwg).

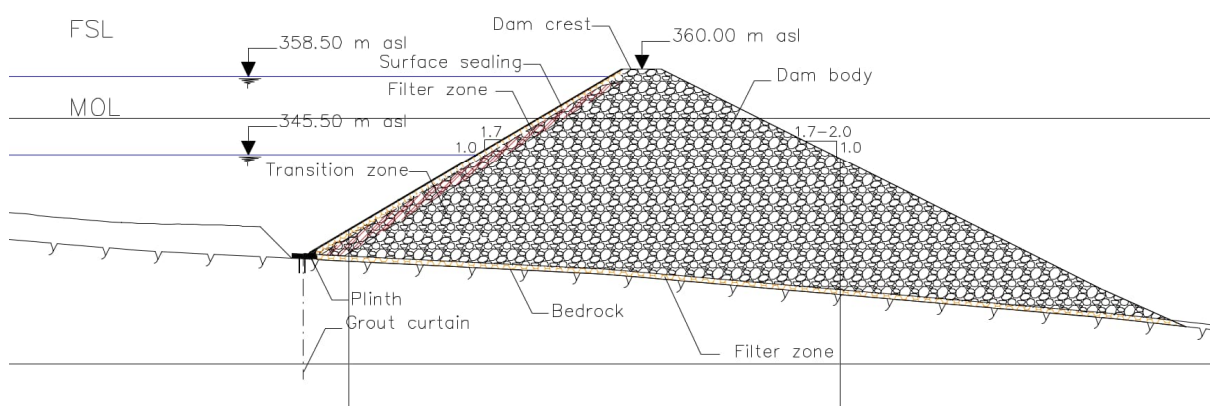
4.9.2 Ylävarastoallas

Ylävarasto sijoittuu siten, että maastonmuodot toimivat osittain varaston rajaavina elementteinä, ja rakennettavia patoja tulisi mahdollisimman vähän. Rakennettavia patoja olisi kolme (Kuva 4-26). Patoja varten tarvittava louheen määrä on noin $2,1 \text{ Mm}^3$. Osa louheesta tulee tunnelien louhimisesta, ja loput louheesta louhitaan altaan pohjalta.

Padon harja on suunniteltu tasolle 359,54 (N43) (360,0 m (N2000)), jolloin yksittäisen itäpuolella sijaitsevan padon maksimikorkeus on noin 45 metriä. Länsi- ja eteläpuolen padot ovat matalampia. Luiskan kaltevuus yläaltaan puolella on 1:1,7 ja padon kuivalla puolella 1:1,7...2,0. Padon yläaltaan puoleinen luiska vahvistetaan siten, että vedenpinnan vaihtelu ei aiheuta eroosiota (Kuva 4-27). Padon yläaltaan puolen luiskan juureen tehdään kallion tiivistämiseksi injektointiverho (grout curtain), jolla estetään veden hallitsematon kulkeutuminen padon ali.



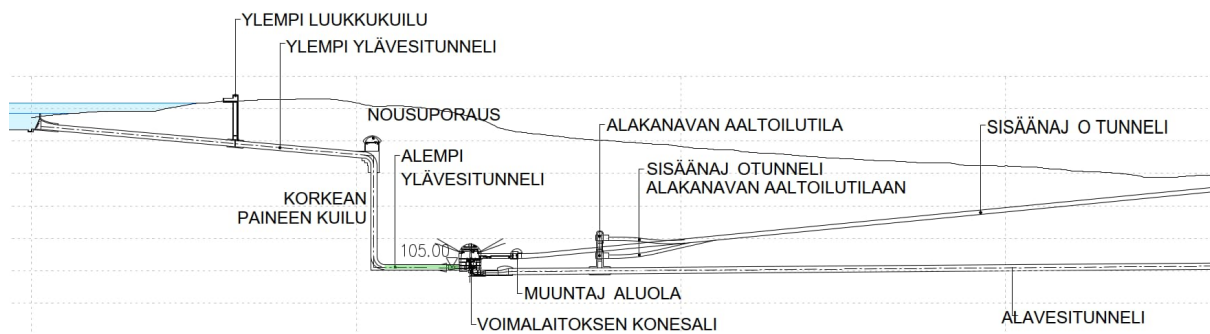
Kuva 4-26. Ylävaraston patojen sijoittuminen.



Kuva 4-27. Ylävaraston padon poikkileikkauskuva (Afryst Austria GMBH 2023).

4.9.3 Vesitunneli ja turbiini

Vesitunneli louhitaan alla olevan kuvan mukaisesti suoraa reittiä Kemijärveä kohti (Kuva 4-28). Se laskee ensin yläaltaalta loivasti alaviistoon noin 500 m matkalla, jonka jälkeen se laskee kohtisuoraan alaspäin. Voimalaitoksen jälkeen vesitunneli jatkuu noin 4 km hieman yläviistoon nousevana kohti Kemijärveä. Kemijärvestä vesitunnelin alakohta on tasolla 125 m (N43). Tunnelin halkaisija on noin 9 metriä.



Kuva 4-28. Pumppuvoimalaitoksen tunnelien ja turbiinien sijoittuminen maan alla (Afryst Austria GMBH).

Pumppuvoimalaitoksen maanalaiset tilat koostuvat ylävesitunnelista (yläaltaasta pumppuvoimalaitokselle), konesalista, alavesitunnelista (pumppuvoimalaitokselta Kemijärveen) ja tunnelin suuaukosta. Lisäksi louhitaan kulkutunneli konesaliin sekä aaltoilutilaan. Pumppuvoimalaitoksessa on kolme identtistä pumpputurbiinia, joita voidaan käyttää joustavasti yksi kerrallaan tai kaikkia yhtä aikaa, kun sähkön tarve on suurin. Ne sijoittuvat voimalaitoksen konesaliin.

Pystytunnelit eli kuilut tiivistetään teräksellä, muut tunnelit vahvistetaan tarvittaessa betonoimalla. Voimalaitoksen konesali betonoidaan. Sisäänajotunnelin ja konesalien kuivanapitovedet kerätään maan alla altaaseen ja johdetaan hiekan- ja öljynerottimen läpi Kemijärveen.

4.9.4 Tunnelin ja konetilan louhinta

Pumppuvoimalaitoksen maanalaisia tiloja louhitaan kolmesta suunnasta. Ailangantunturin päältä, Kemijärven suunnasta sekä sisäänajotunnelin suunnasta.

Kallioon 200 m syvyyteen louhitun koneasemasalin korkeus on noin 50 m ja pohjan mitat noin 35 m x 90 m. Koneasematilaan yhdistyy muuntajia varten louhittava kalliotila, jonka korkeus on noin 16 m ja pohjan pinta-ala noin 18 m x 100 m. Louhittuihin tiloihin rakennetaan voimalaitos aputiloineen.

Alavesitunnelin halkaisija on 9 metriä ja se betonoidaan tarvittaessa. Alavesitunneliin rakennetaan aaltoilutila. Aaltoilutilan tarkoitus on pienentää veden virtauksen muutoksista aiheutuvia paineiskuja. Ylävesitunnelin vaakaosuuden

halkaisija on 9 metriä. Ylävesitunnelin vaakaosuuden loppupäähän louhitaan tila, josta louhitaan korkean paineen kuilu nousuporausmenetelmällä. Korkean paineen kuilu ja alempi ylävesitunneli verhoillaan teräksellä korkean paineen takia.

Kemijärven Kuusilahteen rakennetaan työpato, jolloin tunnelin louhinta ja alanielun rakentaminen voidaan toteuttaa kuivatyönä. Louhintamenetelmä ja työpadon toteutus tarkentuvat suunnittelun edetessä.

Tunneleista louhitaan maa-aineksia yhteensä noin 700 000 kiintokuutiota. Louhe käytetään yläaltaan patorakenteisiin. Alustavien suunnitelmien mukaan pystykuilu tehdään nousuporausmenetelmällä ja vaakatunnelit sekä muut tilat porausräjäytysmenetelmällä. Työmenetelmät tarkentuvat suunnittelun edetessä.

4.9.5 Ruoppaukset ja läjitys

Kemijärven pohjaan ruopataan leveydeltään noin 80 m ja pituudeltaan 1000 m ruoppausväylä tasolle 125–139 m (N43). Ruoppausmassoja on arvioitu tulevan 550 000 m³. Ruoppausmassat läjitetään Kemijärven ruoppausalueen välittömään läheisyyteen tunnelin purkuaukon kaakkoispuolelle (Kuva 1-1). Ruoppausmenetelmät tarkentuvat suunnittelun edetessä. Tunnelin suuaukon läheisyydessä ruoppaus toteutetaan kuivatyönä työpadon suojassa.

4.9.6 Maanpoisto yläaltaasta ja niiden läjittäminen

Ylävaraston alueelta kaadetaan puut ja poistetaan ylimääräinen maa-aines (arviolta 1,1 Mm³) kallion pintaan asti. Patorakenteen kohdalla maanpoisto ulotetaan tiiviiseen maaperään tai kallioon saakka. Lisäksi kalliota louhitaan sen verran, että siitä saadaan tarvittava aines patojen rakentamiseen. Padon yläaltaan puolen luiskan juureen tehdään kallion tiivistämiseksi injektointiverho (kts. luku 4.9.2). Kaivumassat maisemoidaan padon kuivan puolen luiskaan huolehtien padon suotovesien hallinnasta ja tarkkailumahdollisuuksista.

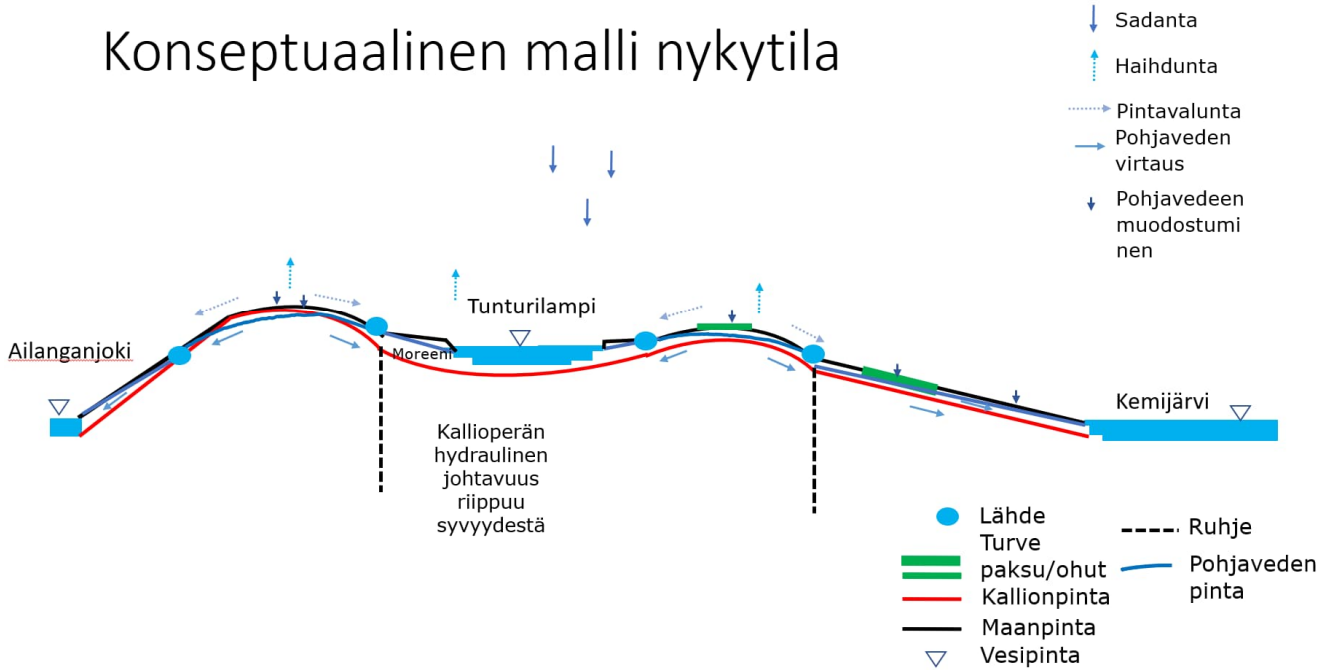
4.10 Hydrogeologinen konseptualisointi

Kaaviomainen poikkileikkaus kuvassa 4-29 esittää rakenteet ja prosessit, jotka huomioidaan numeerisessa 3D-mallinnuksessa, konseptuaalisella tasolla nykytilan mallissa sekä toiminnan aikaa simuloivassa mallissa. Mallinnettava tilavuus on jaettu maaperään ja kallioperään. Maaperä on pääosin moreenia, jonka päällä on suoalueilla turvekerros. Turvekerros voi olla ohut tai paksu. Lajittuneita karkearakeisia kerroksia esiintyy paikoin. Maaperän vedenjohtavuus riippuu maalajista (moreeni, sora, turve). Maaperäkerroksen alla on rakoilleen kallion vyöhyke ja syvemmällä vähemmän rakoillut kallio. Kallioperässä on alueellisia ruhjevyyhykkeitä. Kallion vedenjohtavuus pienenee syvyyden kasvaessa. Ruhjeissa vedenjohtavuus on korkeampi kuin ympäröivässä kalliiossa. Maaperäkerroksen paksuus vaihtelee, ja kallion pinta nousee paikoin maanpinnan tasolle. Sadannasta osa haihtuu ja poistuu pintavaluntana ja lopusta muodostuu pohjavettä, joka voi purkautua jokiin, ojiin, lähteisiin, lampiin ja järviin. Sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrä riippuu maalajista. Pohjaveden virtaussuunta noudattelee pintavesien virtaussuuntia.

Toimintavaiheessa Tunturilammen kohdalla on ylävesivarastoallas, jossa maastonmuodot toimivat osittain rajaavina elementteinä ja osittain allas rajoittuu rakennettuihin patoihin. Patojen juuressa kallio on tiivistetty injektoimalla. Altaan pohjalla on tehty maanpoistoa. Ylävesialtaasta lähtee Kemijärveen tunneli, joka on täynnä vettä. Vesi kulkee vesivarastoaltaalta turbiineille teräsputkessa ja turbiineita Kemijärveen betonoidussa tunnelissa. Ajotunneli pidetään kuivana ja sen pinta muodostaa tihkupinnan, jossa pohjavedenpaine on sama kuin ilmanpaine, ja vesi poistuu mallista kuivatuspumppauksen seurauksena. Ylävesialtaan pohjan ja patojen tiiveyden mukaan ylävesivarastoaltaasta suotautuu vettä maaperään, mikä vaikuttaa pohjaveden virtaussuuntiin, pohjaveden muodostumiseen ja alueella oleviin lähteisiin. Suoraan altaan kohdalla olevat lähteet tuhoutuvat.

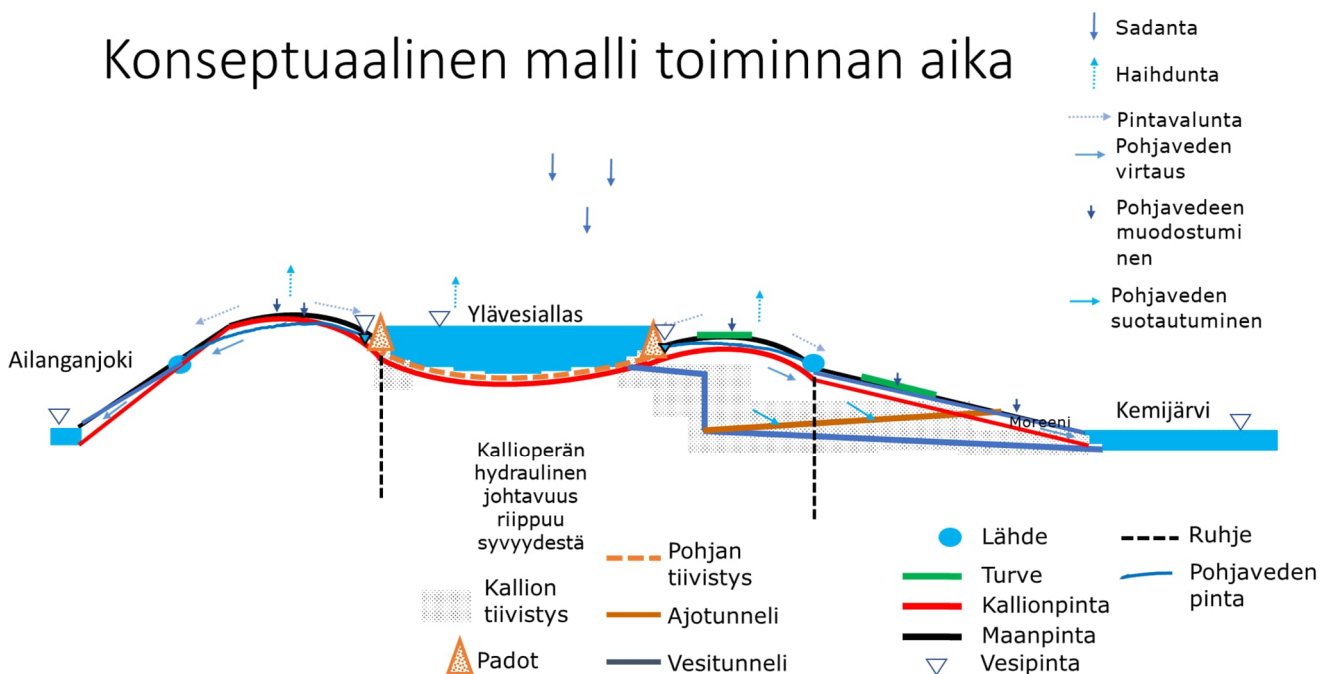
a)

Konseptuaalinen malli nykytila



b)

Konseptuaalinen malli toiminnan aika



Kuva 4-29. Hydrogeologinen Ailangantunturin suunnitellun pumppuvoimalaitoksen alueen konseptualisointi numeerista mallinnusta varten esitettyinä kaavamaisena poikkileikkauksena a) nykytilanteella ja b) toiminnan aikaiselle tilanteelle.

5 Numeerisen 3D-pohjavesimallin muodostaminen

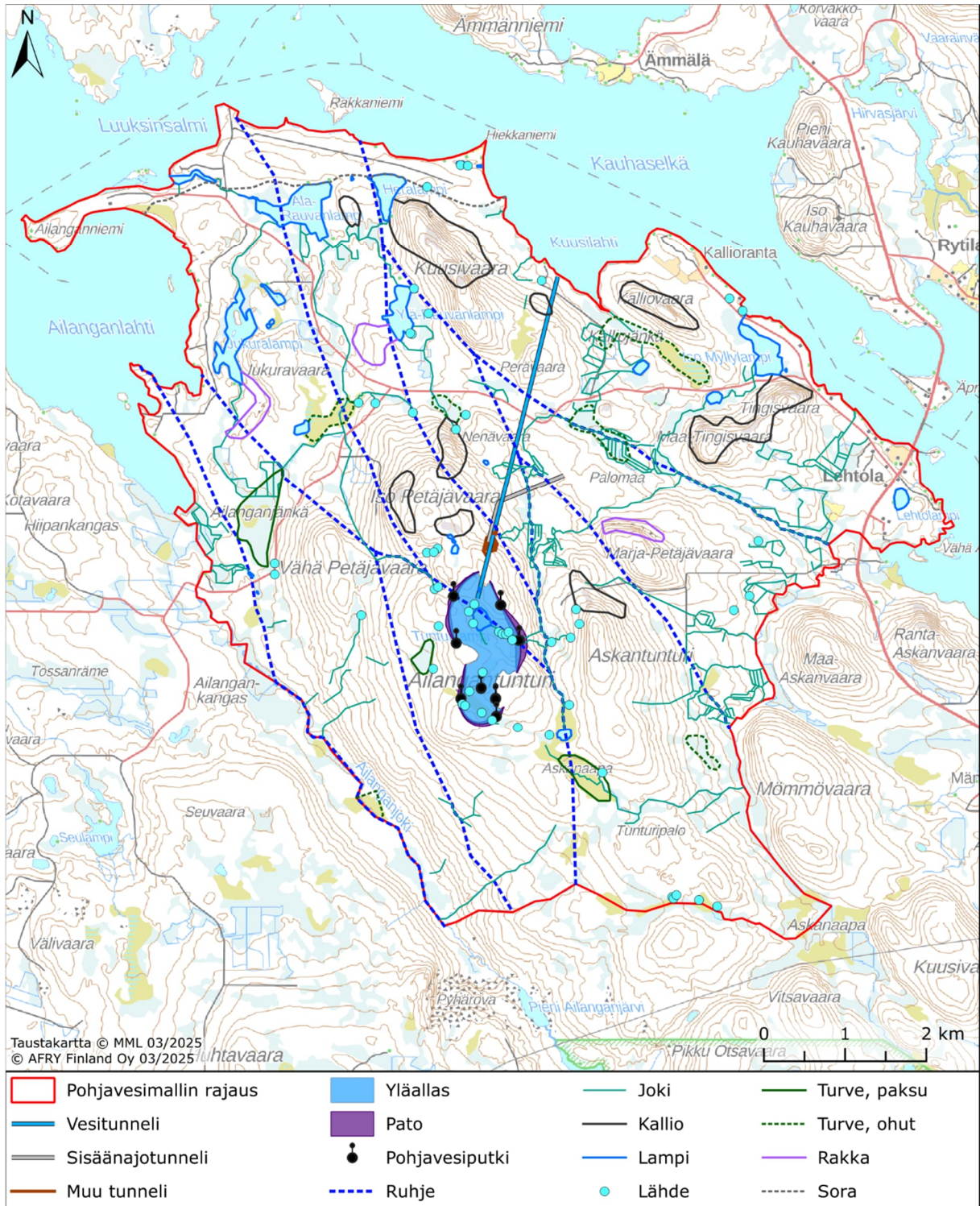
Numeerinen pohjavesimalli perustuu hydrogeologiseen konseptuaaliseen malliin, joka on esitetty luvussa 4.10, ja dataan, joka on esitetty taulukossa 2-1.

Numeerinen pohjavesimalli tehtiin FEFLOW-ohjelmalla (v 8.1), joka perustuu finite-element laskentaan. Laskennassa mallinnettava tilavuus jaetaan tiheästi pieniin osatilavuuksiin (elementteihin). Elementeille asetetaan ominaisuudet kuten vedenjohtavuus. Mallinnettavat muuttujat paine ja virtaus lasketaan elementtien yhdistymiskohdissa (reunoilla) sijaitsevista solmupisteistä (noodi), joihin asetetaan tarvittaessa myös laskentaa ohjaavat reunaehdot.

Malli kalibroitiin saatavilla olevien lähtötietojen perusteella vastaamaan mitattuja pohjavedenpinnan korkeuksia. Kalibroidulla mallilla tehtiin vuoden pumppuvoimalan toiminta-aikaa kuvaava simulointi, jolla arvioitiin voimalan vaikutusta ympäristöön, pohjaveden virtaussuuntia, kuivatusvesimääriä ja pohjavedenpinnan muutoksia. Mallinnukset tehtiin saturoituneella virtauksella tasapainotilanteen mallina.

5.1 2D verkko

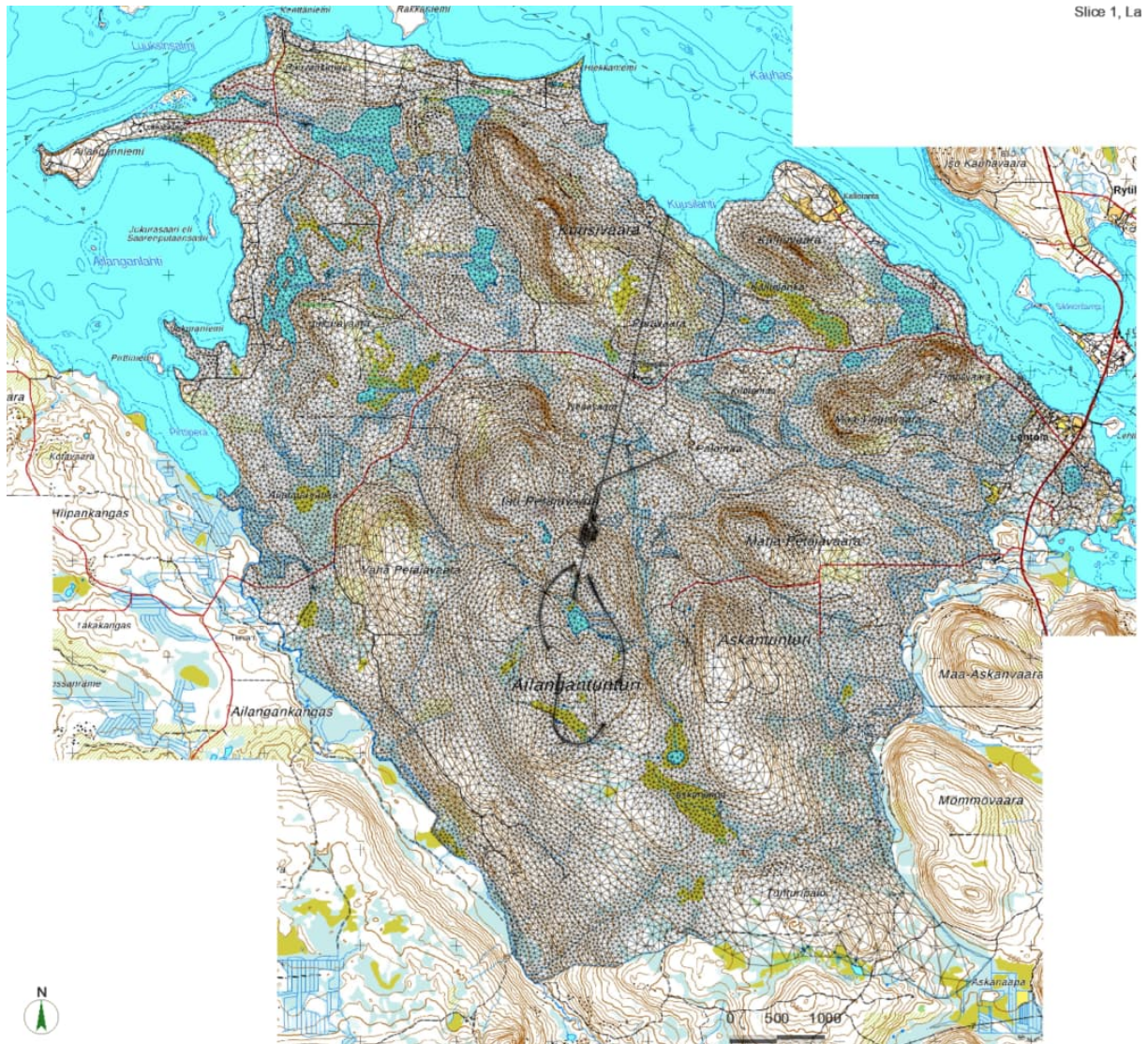
Mallin rakentaminen alkoi karttatietoon perustuvan horisontaalisen 2D-verkon luomisesta. QGIS-ohjelmassa luodut ja shape-tiedostoiksi tallennetut pintageometriat (Kuva 5-1) vietiin FEFLOW-ohjelmaan. Polygonit ja viivat esittävät mallin rajauksen, pumppuvoimalaitoksen ylävesialtaan, patojen, vesitunneleiden ja ajotunneleiden sekä konetilojen reunaviivat, alueelliset ruhjevyöhykkeet, ojat, joet ja lammet, lähteet, pohjavesiputket, kalliopaljastumat sekä sora-, turve- ja moreenialueet.



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

Kuvassa 5-2 esitetään FEFLOW-ohjelman tekemä 2D-verkko. Se koostuu 46 521 kolmikulmaisesta elementistä. Verkkoa on tihennetty yllä mainittujen

viivojen kohdalla, jotta laskennan tarkkuus paranee suurimpien oletettujen hydraulisten gradienttien kohdalla.



Kuva 5-2. Ailangantunturin pohjavesimallia varten luotu 2D-kolmioverkko.

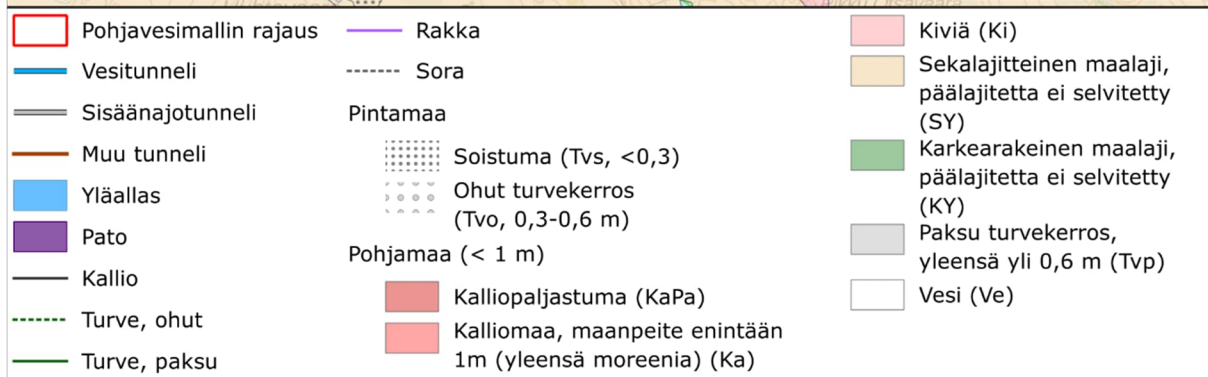
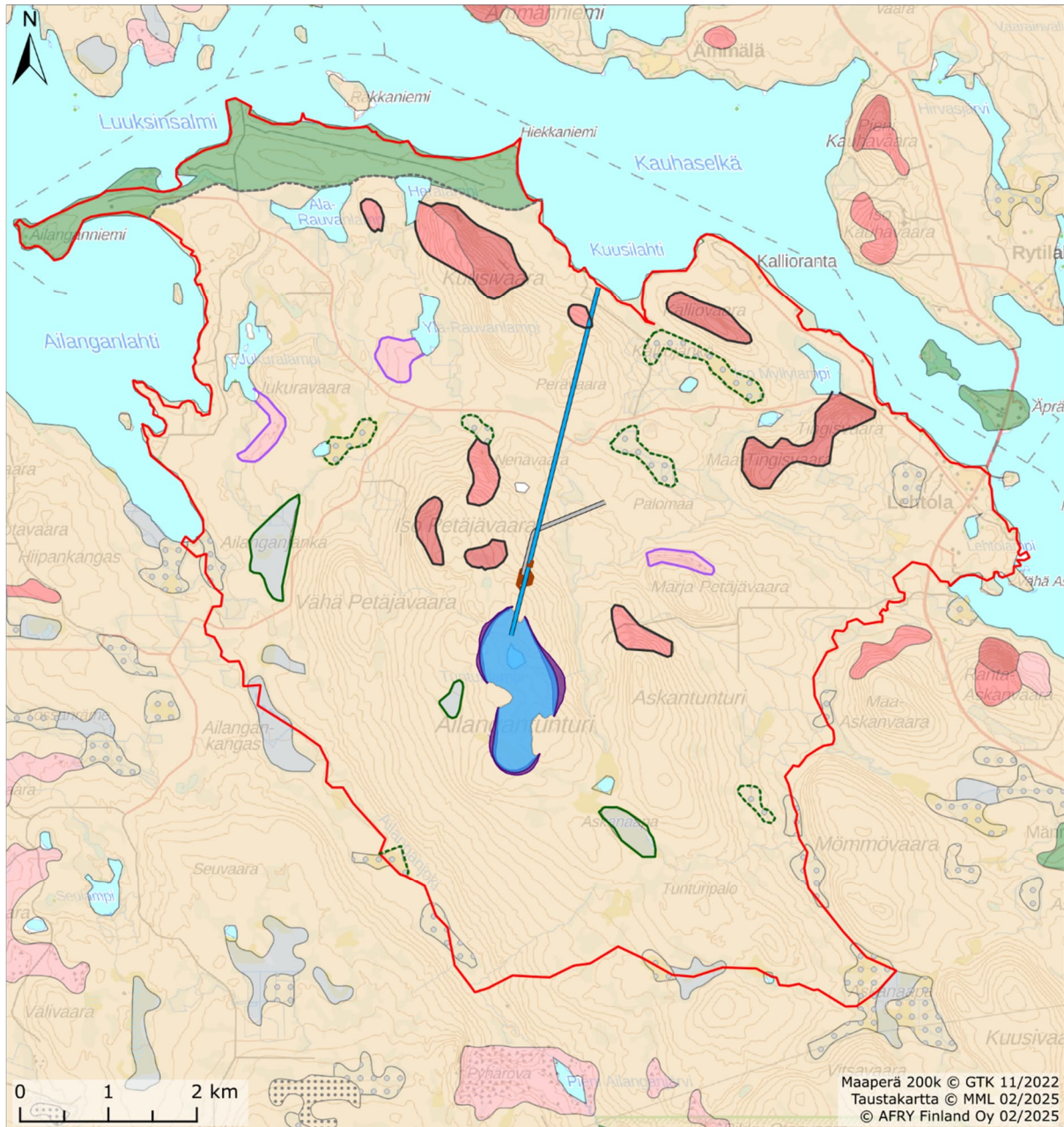
5.2 Kerrosmalli

2D-verkon luomisen jälkeen malligeometrialle määritetään vertikaali suunta. Ailangantunturin pohjavesimallissa käytettiin kerrokseen perustuvaa malligeometriaa.

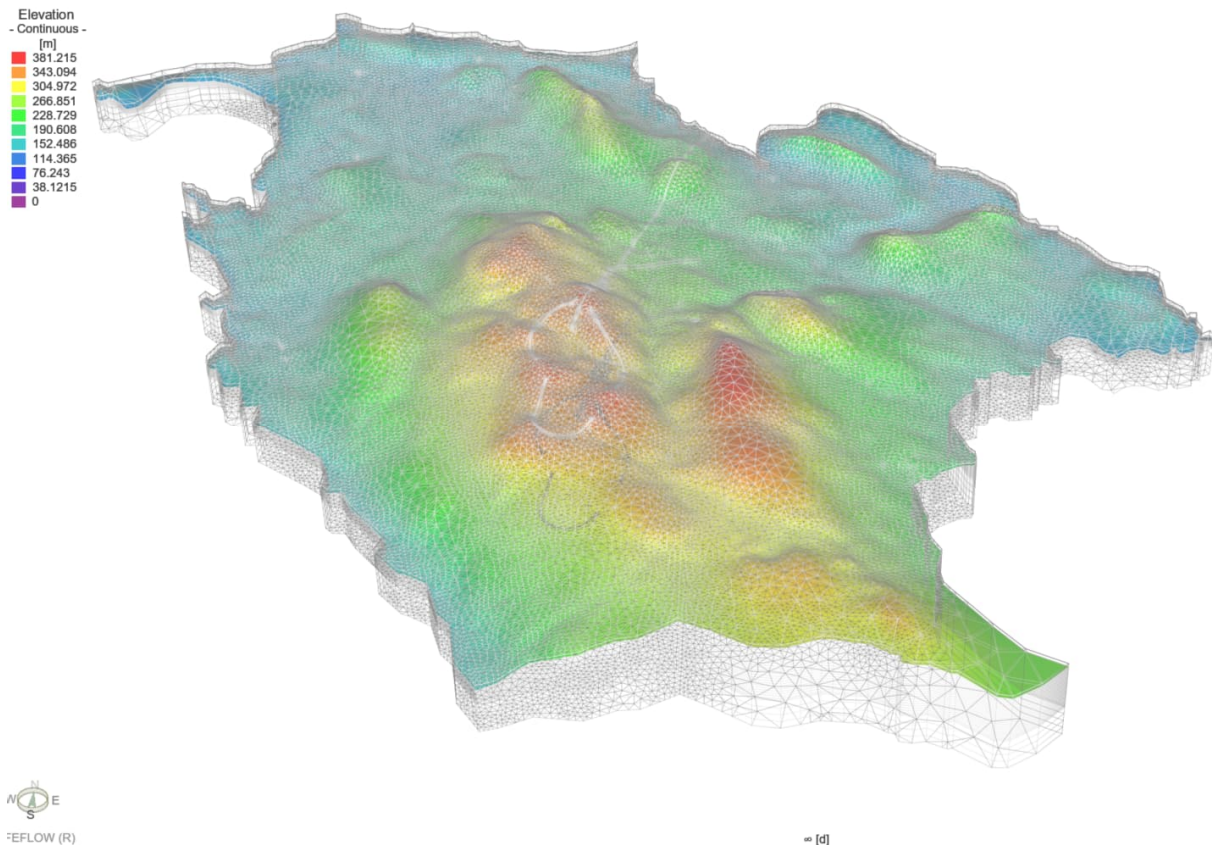
Mallin pinta noudattaa maanpinnan topografiaa, joka perustuu Maanmittauslaitoksen dataan. Maaperäosuus on kuvattu mallissa neljällä kerroksella. Kaksi ylintä kerrosta on 0,5 m paksuja kumpikin, ja ne on varattu ylävesialtaan patojen sekä turvekerroksen kuvaamiseen. Ohuilla turvealueilla mallin ylin kerros ja paksuilla turvealueilla mallin kaksi ylintä kerrosta on asetettu turpeeksi. Ylin kerros on allas- ja turvealueiden ulkopuolella maalajien osalta sama

kuin mallin kolmas kerros eli soraa tai moreenia. Neljäs kerros on moreenia. Kalliopaljastumien kohdissa kerrosten 1–4 materiaali on asetettu kallioksi. Eri maalajit on rajattu mallissa kuvan 5-3 mukaisesti. Maaperäkartassa rakaksi merkityt alueet on mallissa alueiden pienen koon takia käsitelty moreenina.

Kallioperän päällä olevan moreenikerroksen (mallikerros numero 4) paksuudeksi asetettiin 0,5 m. Moreenikerrosta kuvaavan mallin neljännen kerroksen yläpinta laskettiin lisäämällä kalliopinnan korkeuteen 0,5 m. Kalliotopografia perustuu maaperäkerroksen syvyyden mallinnukseen (luku 4.8).



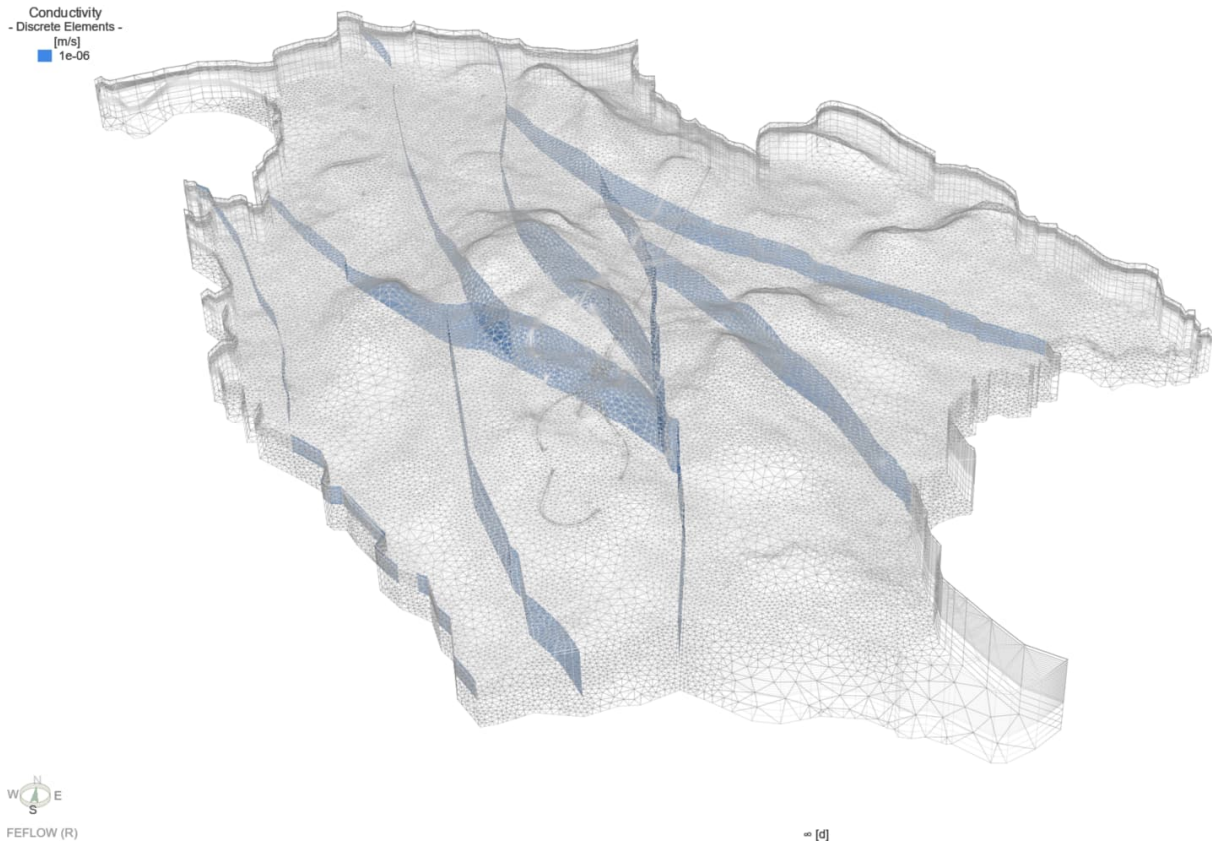
Kuva 5-3. Maaperäkarttaan perustuvat malliin määritellyt turve- (ohut ja paksu kerros), moreeni-, sora- ja kallioalueet.



Kuva 5-4. 3D-visualisointi mallin geometriasta FEFLOW-mallissa. Kallion pinta on esitetty väripintakarttana (m (N43)).

Mallinnettu kalliotilavuus jaettiin 27 kerrokseen niin, että alimpien kerrosten 25–30 yläpinnat on asetettu vakio syvyytasoille 110, 105, 100, 75, 50 ja 25 m mpy. Mallin pohja eli kerroksen 30 alapinta on tasolla 0 m (N43). Kerrokset 5–24 ovat tasaisesti kalliopinnan tason ja tason 110 m (N43) välillä. Mallissa kerrokset ovat siten matalissa maastonkohdissa ohuempia kuin korkeissa kohdissa. Kalliopinnan topografia (sama kuin maaperäkerroksen syvyys) perustuu kairaustietoihin ja geofysiikan aineistoihin (kts. luku 4.8). Kuvassa 5-4 esitetään 3D-visualisointi mallin geometriasta. Malli koostuu 1 399 110 elementistä.

Kuvassa 5-5 esitetään 3D-visualisointi mallista niin, että mallissa mukana olevat ruhjevyöhykkeet näkyvät sinisinä pintoina. Ruhjevyöhykkeet mallinnettiin pystyasentoisina ja ne perustuvat GTK:n tulkintoihin ja geofysiikan aineistoihin (luku 4.6.1). Kaikkien ruhjeiden oletetaan jatkuvan kalliopinnasta mallin toiseksi alimman kerroksen yläpintaan, ja ne on mallinnettu pystysuorina.



Kuva 5-5. Mallissa mukana olevat alueelliset ruhevyöhykkeet.

5.3 Reunaehdot

Malligeometrian luomisen jälkeen malliin määriteltiin reunaehdot. Reunaehto- ja määritykset ovat seuraavat (N43):

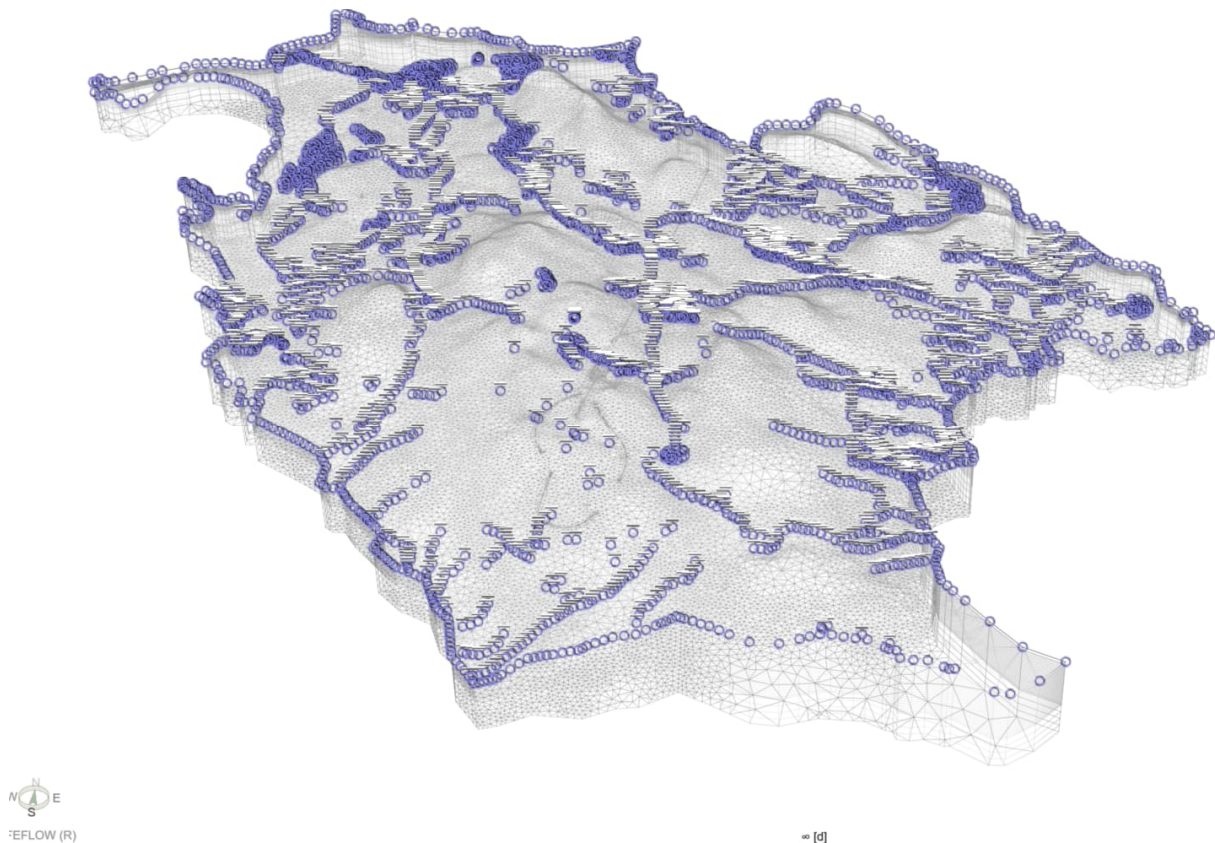
- Vakiopainereunaehto Kemijärven reunaan 145,5 m (säännöstelyväli 142,00–149,00 m)
- Vakiopainereunaehto, niin että maanpinnan korkeustasosta vähennetään 2 metriä Ailanganjoki, Vähäaskanjoki
- Vakiopainereunaehto Tunturilampi 330,14 m
- Vakiopainereunaehto Heralampi 160,54 m, Ala-Rauvanlampi 153,04 m, Jukuralampi 157,54 m, Jukuralampi pohjoinen 157,14 m, Jukuralampi itä 158,54 m, Ylä-Rauvanlampi 180,44 m, Petäjälampi 183,74 m, Kiimalampi 169,14 m, Ylimmäinen Myllylampi 156,84 m, Iso Myllylampi 149,64 m, Lohilampi 340,44 m (+ 2 pientä lampea vieressä), Ailangantunturi kaakkoinen lampi 323,84 m, länsireuna pikkulampi 166,04 m, etelärajan lampi 299,64 m, Lehtolampi 162,54 m (korkeudet perustuvat maastokarttaan, ja ne on muutettu N43-muotoon)
- Vakiopainereunaehto (maanpinta – 2 metriä) virtauksen malliin estävällä rajoituksella joet, purot, uomat ja lähteet

- Sisään virtaus pinnalla -reunaehto eli pohjaveden muodostuminen sadannasta asetettiin mallin ylimpään kerrokseen. Asetetut arvot perustuvat eri maalajien tyypillisiin pohjaveden muodostumisen määriin sekä mallin kalibrointiin. Pohjaveden muodostumisen arvona käytettiin moreenialueilla 145 mm/a (25 % sadannasta), turvealueilla 175 mm/a (30 % sadannasta), sora-alueilla 290 mm/a (50 % sadannasta) kallioalueilla 29 mm/a (5 % sadannasta). Ailangantunturin alueella keskimääräinen vuosisadanta on noin 580 mm/a (viimeisen 14 vuoden keskiarvo, Ilmatieteen laitos 2025, Kemijärven lentokentän havaintoasema). Loppuosa sadannasta poistuu haihdunnan ja pintavalunnan myötä.

Pumppuvoimalan simuloinnissa tehtiin seuraavia asetuksia:

- Ajotunneleiden ja konetilan seinien pinta asetettiin tihkupinnaksi (seepage face).
- Vesitunnelin, ajotunneleiden ja konetilan kohdalla olevat mallin elementit asetettiin epäaktiivisiksi.
- Allasalueella patojen harjan korkeudeksi asetettiin 359,54 m.
- Yläaltaan vesipinta asetettiin tasolle 342,50 tai 358,50 m.
- Patojen sisäpuolen K-arvoksi asetettiin $1 \cdot 10^{-11}$ m/s ja ulkopuolen $1 \cdot 10^{-7}$ m/s
- Patojen alle asetettiin tiivistys kallioon $1 \cdot 10^{-7}$ m/s.
- Altaan kohdalla maaperäkerrokset ja ylin kalliokerros asetettiin epäaktiivisiksi.
- Altaan alle asetettiin tiivistys ylimpään aktiiviseen kalliokerrokseen ja ajotunnelia leikkaavien ruhjeiden vedenjohtavuus asetettiin $1 \cdot 10^{-7}$ m/s.

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



Kuva 5-6. Malliin asetetut vakiopainereunaehdot nykytilanmallissa (vuosi 2025).

5.4 Materiaalien ominaisuudet

Pohjavesimallissa vedenjohtavuus määriteltiin kaikille mallin elementeille.

Mallissa maaperäkerroksissa (kerrokset 1–4) käytetyt hydraulisen johtavuuden arvot on esitetty taulukossa 5-1. Mallissa maaperäkerroksen moreenialueiden hydraulisen johtavuuden arvo perustuu karkeasti pohjavesiputkissa tehtyihin vedenjohtavuuden mittauksiin, joskin mittauksia maaperäosuudesta oli käytettävissä melko vähän (luku 3.1). Mittausten perusteella putkien kohdalla maaperän vedenjohtavuus on $2,8 \cdot 10^{-7}$... $1,6 \cdot 10^{-6}$ m/s. Maaperäkartassa moreeniksi merkityillä alueilla vedenjohtavuudeksi (K_{xy}) asetettiin mallin ylimmässä kerroksessa $5 \cdot 10^{-6}$ m/s ja mallikerroksissa 2–3 $1,0 \cdot 10^{-6}$ m/s. Mallikerroksessa 4 moreenin vedenjohtavuus asetettiin $2,0 \cdot 10^{-7}$ m/s. Turpeen vedenjohtavuus riippuu turvetyypistä, syvyydestä ja turpeen maatuneisuusasteesta. Rahkaturpeen vedenjohtavuus vaihtelee syvyydestä ja maatuneisuusasteesta riippuen välillä $2,3 \cdot 10^{-8}$... $1,9 \cdot 10^{-5}$ m/s (Kesäniemi 2009). Mallissa turpeen hydrauliseksi johtavuudeksi arvioitiin $1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Kalliopaljastumien kohdalla mallikerrosten 1–4 vedenjohtavuudeksi asetettiin $1,67 \cdot 10^{-6}$ m/s. Syvyys suunnassa vedenjohtavuuden arvoksi (K_z) asetettiin 1/3 horisontaalisuunnan vedenjohtavuuden arvosta (K_{xy}). Turve-, moreeni ja kallioalueiden rajaukset on esitetty kuvassa 5-3.

Taulukko 5-1. Mallissa käytetyt maa- ja kallioperäkerrosten 1–4 hydrauliset johtavuudet (K_{xy}).
 $K_z = 1/3 \cdot K_{xy}$.

Kerros	Maalaji	K_{xy} (m/s) maaperän slug- testien perusteella
Kerros 1	Moreeni	$5,0 \cdot 10^{-6}$
	Sora	$1,0 \cdot 10^{-4}$
	Turve	$1,0 \cdot 10^{-5}$
	Kallio	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Kerros 2	Moreeni	$1,0 \cdot 10^{-6}$
	Sora	$1,0 \cdot 10^{-4}$
	Turve	$1,0 \cdot 10^{-5}$
	Kallio	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Kerros 3	Moreeni	$1,0 \cdot 10^{-6}$
	Sora	$1,0 \cdot 10^{-4}$
	Kallio	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Kerros 4	Moreeni	$2,0 \cdot 10^{-7}$
	Kallio	$1,7 \cdot 10^{-6}$

Kallioperän hydraulisen johtavuuden mittauksia on tehty kolmessa kairareissä Ailangantunturin alueella (luku 3). Mittaustulokset vaihtelevat merkittävästi mitatuissa rei'issä niin, että kahdessa reiässä vedenjohtavuus oli heikko ja yhdessä mitattiin kalliolle korkeita arvoja varsinkin reiän yläosassa. Mallissa kalliokerroksille asetettiin syvyyden mukaan pienenevä hydraulisen johtavuuden arvo (Taulukko 5-2).

Ruhjevyöhykkeet toteutettiin tasomaisina erillisinä objekteina (FEFLOW discrete features), jotka lisäävät hydraulista johtavuutta tasoa pitkin Darcyn lain mukaan mallissa. Ruhjeiden vedenjohtavuudeksi asetettiin arvo $1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Taulukko 5-2. Pohjavesimallin kalliokerroksissa käytetyt hydraulisen johtavuuden arvot (K_{xy}).
 $K_z = 1/3 \cdot K_{xy}$.

Mallikerros	Kallio K_{xy} , m/s
L5	$1,7 \cdot 10^{-6}$
L6	$3,6 \cdot 10^{-7}$
L7	$1,7 \cdot 10^{-7}$
L8–11	$3,3 \cdot 10^{-8}$
L12–15	$2,7 \cdot 10^{-8}$
L16–20	$1,7 \cdot 10^{-8}$
L21–24	$3,3 \cdot 10^{-9}$
L25–26	$1,7 \cdot 10^{-9}$
L27–31	$3,3 \cdot 10^{-10}$

5.5 Kalibrointi

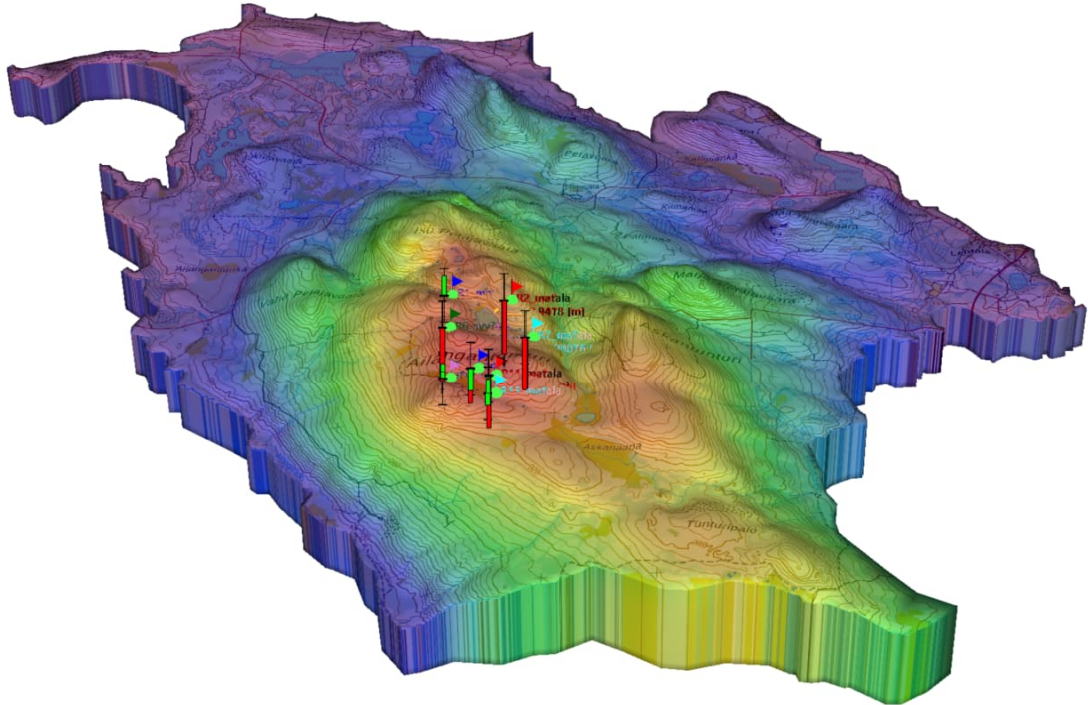
Mallin kalibrointi tehtiin pohjavesiputkista mitattujen pohjavedenpintojen (luku 4.7) perusteella. Edellisissä kappaleissa on esitetty mallissa käytetyt reunaehdot ja materiaalien ominaisuudet, jotka tuottivat riittäväällä tarkkuudella mallinnusalueen nykytilaa vastaavan laskentatuloksen.

Kalibroinnissa mallin laskema pohjaveden pinta asettui alavilla alueilla matalalle maakerrokseen, lähelle maanpintaa ja jyrkissä rinteissä ja suoalueilla paikoin maanpinnan yläpuolelle. Korkeissa maastonkohdissa pohjavesipinta on syvemmällä kuin matalammissa kohdissa. Mallinnustulos sopii kohtuullisen hyvin yhteen alueella pohjavesiputkista mitattujen pohjavedenpintojen kanssa (Kuva 5-7). Eniten eroa mallin ja mittaustulosten välillä on putkissa R2_M ja R2_S, R6_M, R6_S ja R11_M, joissa on mitattu Tunturilammen vesipintaan nähden korkeimmat pohjavesipinnat. Pohjavesipintojen mittaustulosten perusteella pohjavedenpinnan korkeus nousee Tunturilammen vesipinnan korkeudesta melko paljonkin jo varsin lyhyellä etäisyydellä lammesta. Mallissa näin jyrkkää pohjavesipinnan nousua ei tapahdu. Osa korkeamman pohjavesipinnan havainnoista voi liittyä esimerkiksi vettä pidättävien maakerrosten olemassaoloon (orsivesikerros).

a)

Hydraulic head
- Continuous -
[m]

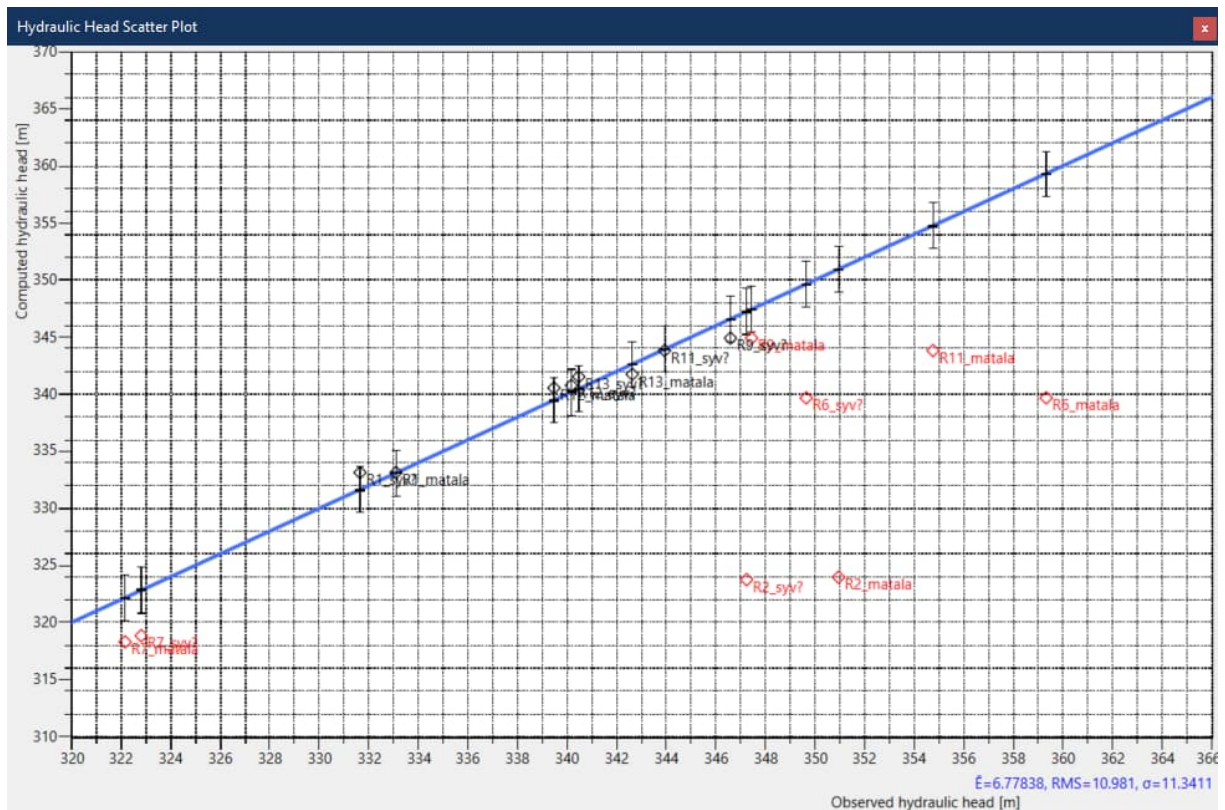
344.879
324.787
304.695
284.603
264.512
244.42
224.328
204.236
184.144
164.052
143.96



W E
S N
FEFLOW (R)

1 node selected
= [d]

c)



Kuva 5-7. Mallin laskemat ja mitatut hydraulisen painekorkeuden arvot esitettynä a) 3D-malligeometriassa, b) 2D-karttaesityksenä ja c) kaaviokuvassa, jossa on hydraulinen painekorkeus numeerisessa mallissa (musta vinoneliö) ja pohjaveden pinnankorkeuden mittaustulokset pohjavesiputkista (sininen viiva). Karttakuvissa vihreä ympyrä kuvaa pohjavesiputkea ja vieressä oleva jana mitatun ja mallin laskeman pohjavesipinnan korkeuden eroa.

6 Mallinnuksen tulokset

Mallinnus tehtiin nykytilalle ja lisäksi simuloitiin rakentamisaikaa ja toiminta-aikaa.

Raportissa esitetty pohjavesipinnan alenema on tarkasteluissa rajattu puoleen metriin mallinnuksessa käytettyihin lähtötietoihin, ennusteiden aikajänteeseen ja laskentaverkon tarkkuuteen perustuen. Esimerkiksi aleneman laskennassa pohjavesipinnan lähtötilanteelle ei ole käytettävissä mittaushavaintoja ylävesivarastoaltaan ulkopuolisen alueen pohjaveden pinnankorkeudelle. Myös kalliopinnan topografian tarkkuus on ylävesivarastoaltaan alueen ulkopuolella heikompi, kun kairauksista ja geofysiikan mittauksista saatava maaperän paksuustieto puuttuu.

Vuosi 2025 toimii simulaatioiden lähtötilanteena.

6.1 Vuosi 2025

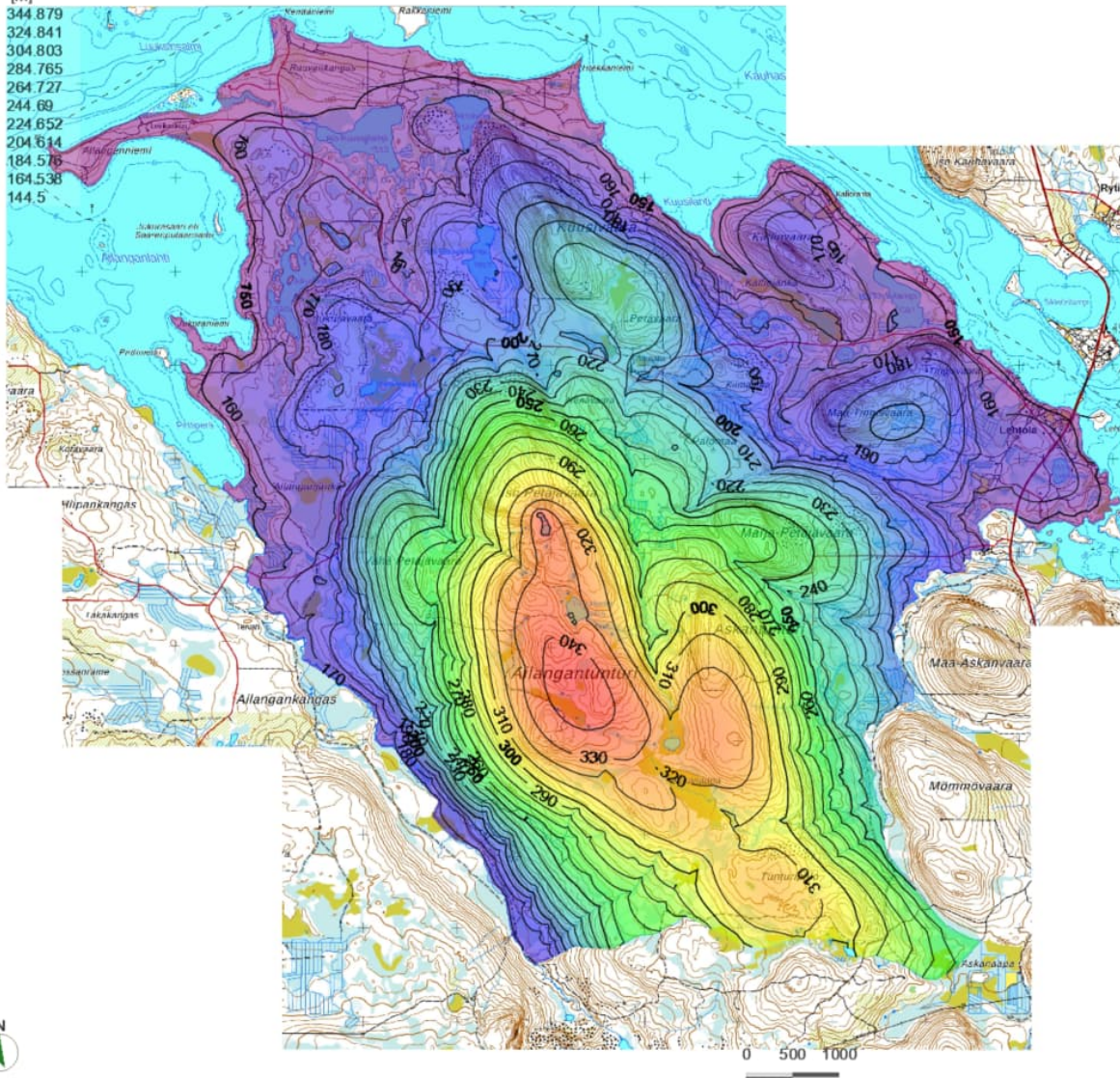
Ensimmäisenä simuloitiin nykyinen eli vuoden 2025 tilannetta. Mallinnetulla alueella maanpinnantaso vaihtelee paljon. Ailangantunturin alueella maanpinnan taso on noin 340–365 m (N43) ja laskee sieltä jyrkästi länteen, itään ja pohjoiseen. Mallissa maaperän ja kallioperän hydrauliset johtavuudet asetettiin kalibroinnin yhteydessä niin, että mallin tuottama laskettu pohjavesipinta vastaa riittävän hyvin alueella tehtyjä pohjavedenpinnan tason mittaustuloksia.

Kuvassa 6-1 on esitetty pohjaveden pinnankorkeus mallin ylimmässä kerroksessa vuonna 2025. Taustatietona on esitetty maastokartta.

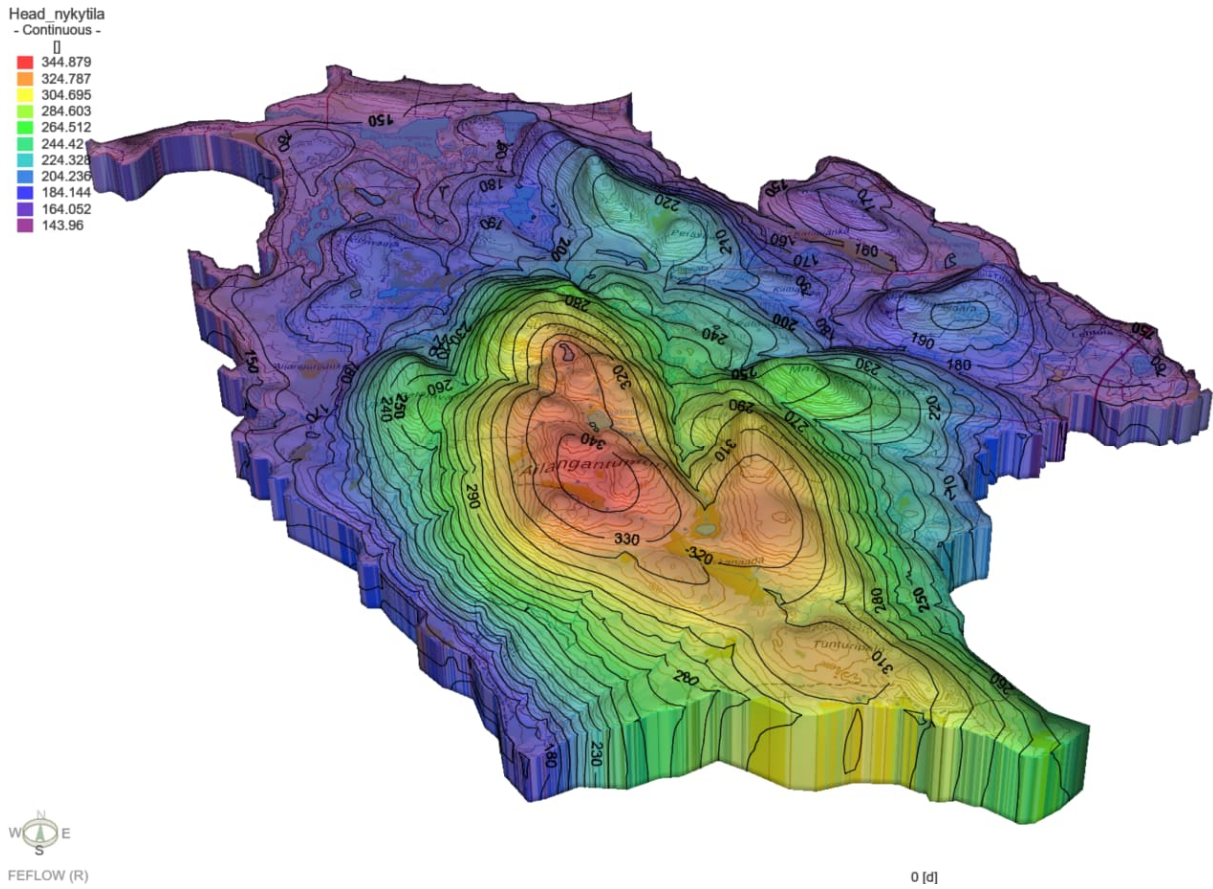
Kuvassa 6-2 esitetään mallinnustulokset poikkileikkauksissa. Väriskaala kuvaa laskettua pohjaveden painetta ja valkoinen viiva nollapainetta eli pohjavedenpintaa. Pohjavedenpinta seuraa maastonmuotoja ja on alavilla alueilla lähempänä maanpintaa kuin korkeammalla tuntureilla.

Hydraulic head
- Continuous -

- 344.879
- 324.841
- 304.803
- 284.765
- 264.727
- 244.69
- 224.652
- 204.614
- 184.576
- 164.538
- 144.5

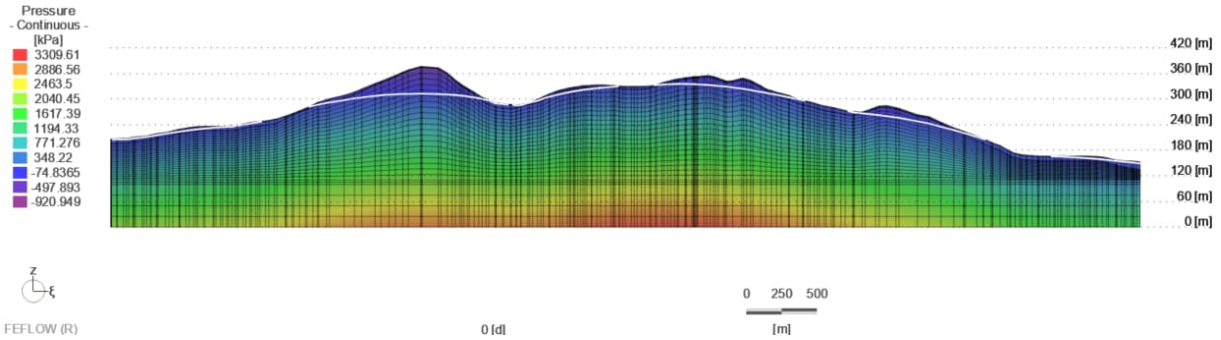


8

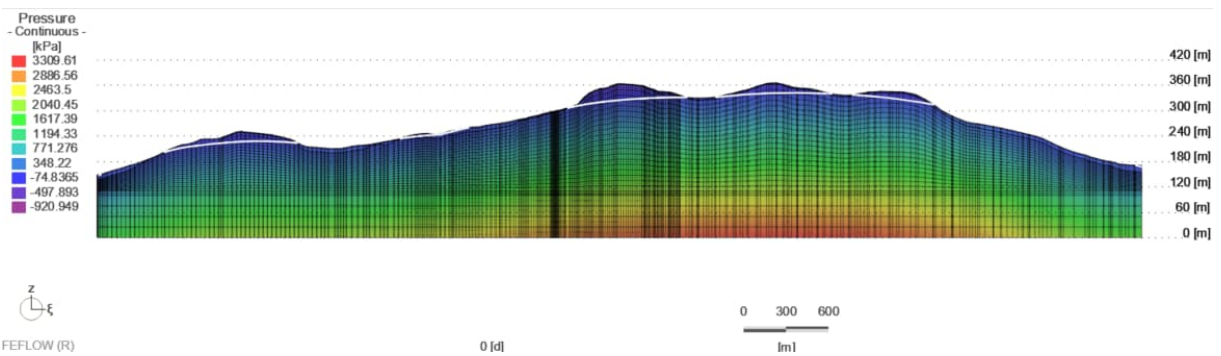


Kuva 6-1. Mallin laskema pohjavedenpinnan korkeus vuonna 2025.

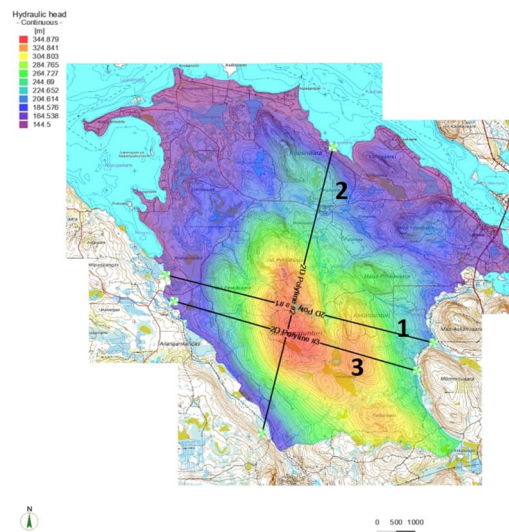
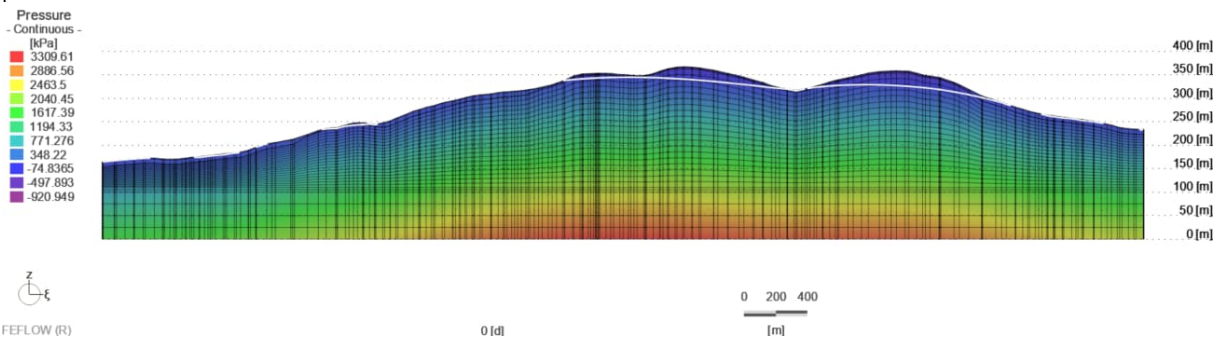
poikkileikkaus 1



poikkileikkaus 2



poikkileikkaus 3



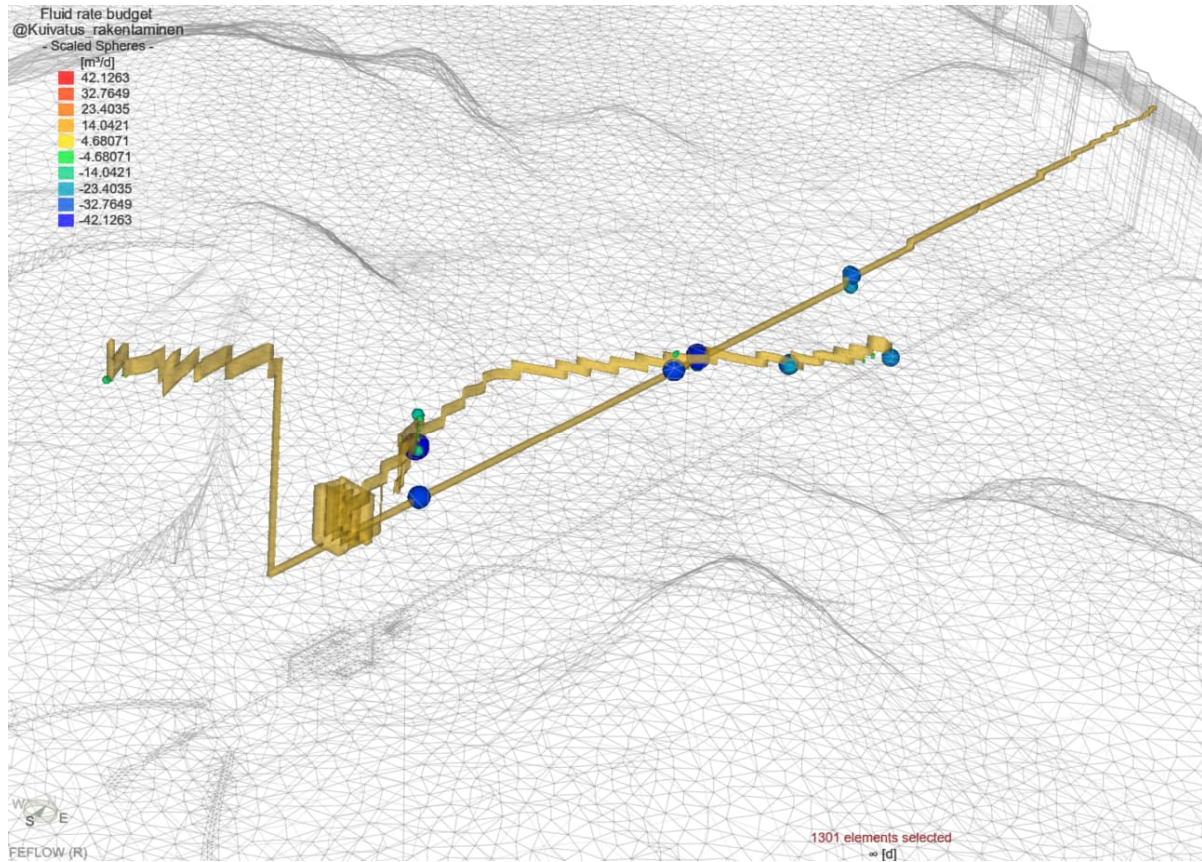
Kuva 6-2. Poikkileikkaukset pohjavedenpinnan (valkoinen viiva) visualisoimiseen.

6.2 Rakentamisaika

Pumppuvoimalaitoksen rakentamisen aikaista tilannetta simuloitiin niin, että Ailangantunturin Tunturilammen kohdalla on tyhjä ylävesivarastoallas ja sen pohjalta lähtee kuiva vesitunneli Kemijärveen. Kemijärven puoleisessa päässä on pato. Ajotunnelit ja konetila mallinnettiin myös kuivatettavina tiloina. Maanalaisiin tiloihin suotautuu pohjavettä, joka poistetaan pumppaamalla.

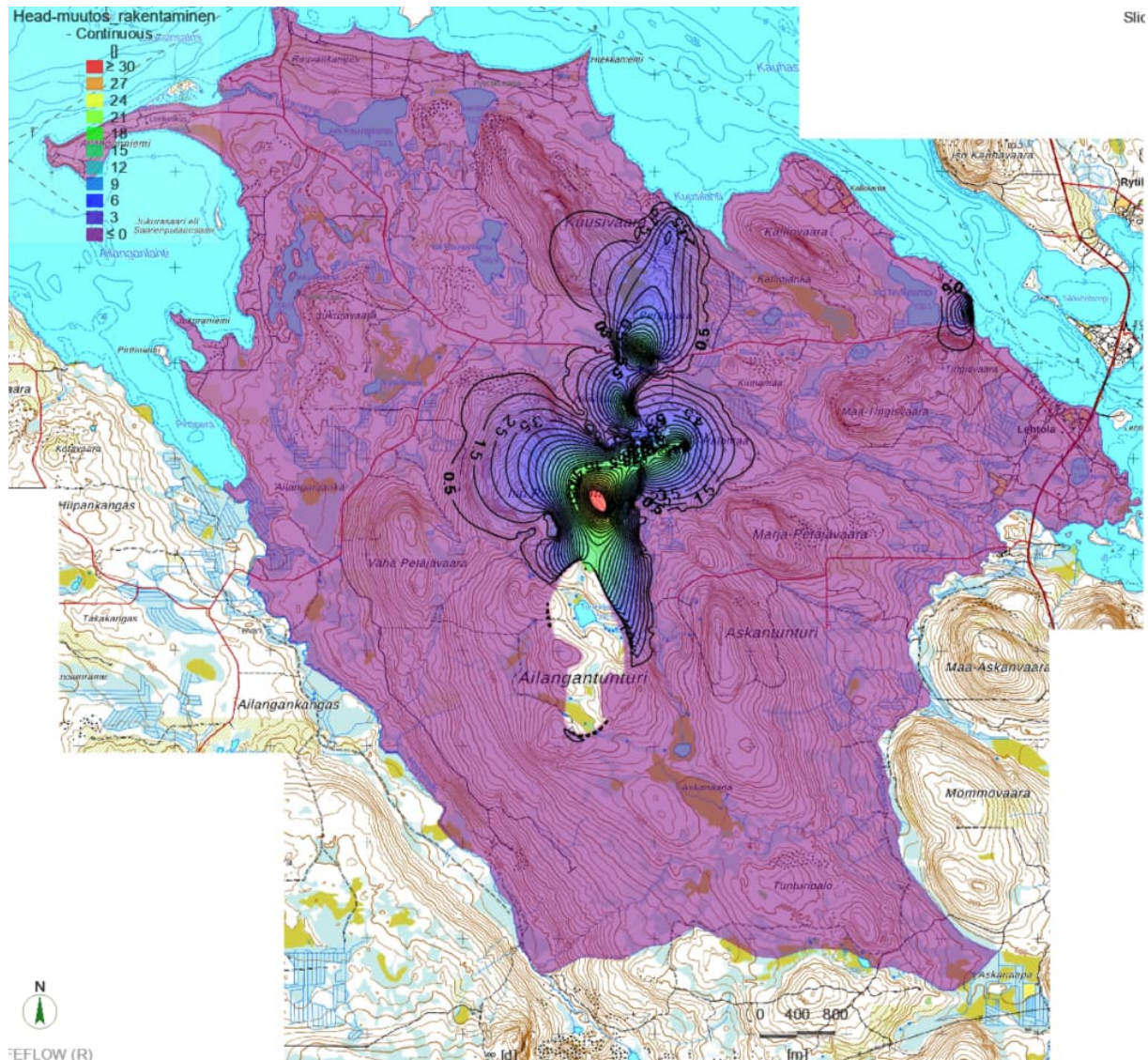
Mallissa vesitunnelin, ajotunnelin ja konetilan sisällä olevat elementit asetettiin epäaktiiviseksi ja niiden pinta tihkupinnaksi (seepage face). Ylävesialtaan patoreuna asetettiin tasolle 359,54 m (N43). Padon sisäisivun vedenjohtavuudeksi asetettiin $1 \cdot 10^{-11}$ m/s ja ulkosivun $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Padon sisemmän reunan alle ylimmän kalliokerroksen vedenjohtavuudeksi asetettiin $1 \cdot 10^{-7}$ m/s kuvaamaan injektointiverhoa.

Rakentamisen aikana, kun kaikki maanalaiset tilat on louhittu ja ne pidetään kuivina, pohjavettä suotautuu vesitunneliin, ajotunneleihin ja konetilaan noin $1240 \text{ m}^3/\text{d}$. Merkittävimmät vuotokohtat ovat ruhjeiden leikkauskohdissa (Kuva 6-3). Ruhjeiden kohdalta kuivatettaviin tiloihin suotautuu pohjavettä yhteensä noin $630 \text{ m}^3/\text{d}$. Mallissa pohjavedenpinta laskee melko laajalti kuivatettavien tilojen kohdalla, mutta lopullinen todellinen vaikutus maapohjaveteen riippuu suuresti maa- ja kallioperän hydraulisen vuorovaikutuksen voimakkuudesta ja maanalaisia tiloja leikkaavien ruhjeiden vedenjohtavuudesta.



Kuva 6-3. Pohjaveden suotautumisen jakautuminen tunneliseinämälle, pallon koko ja väri kuvaa pohjaveden suotautumisen määrää. Pohjavettä suotautuu tunneleihin erityisesti kohdissa, joissa ruhjeet leikkaavat tunnelin.

b)

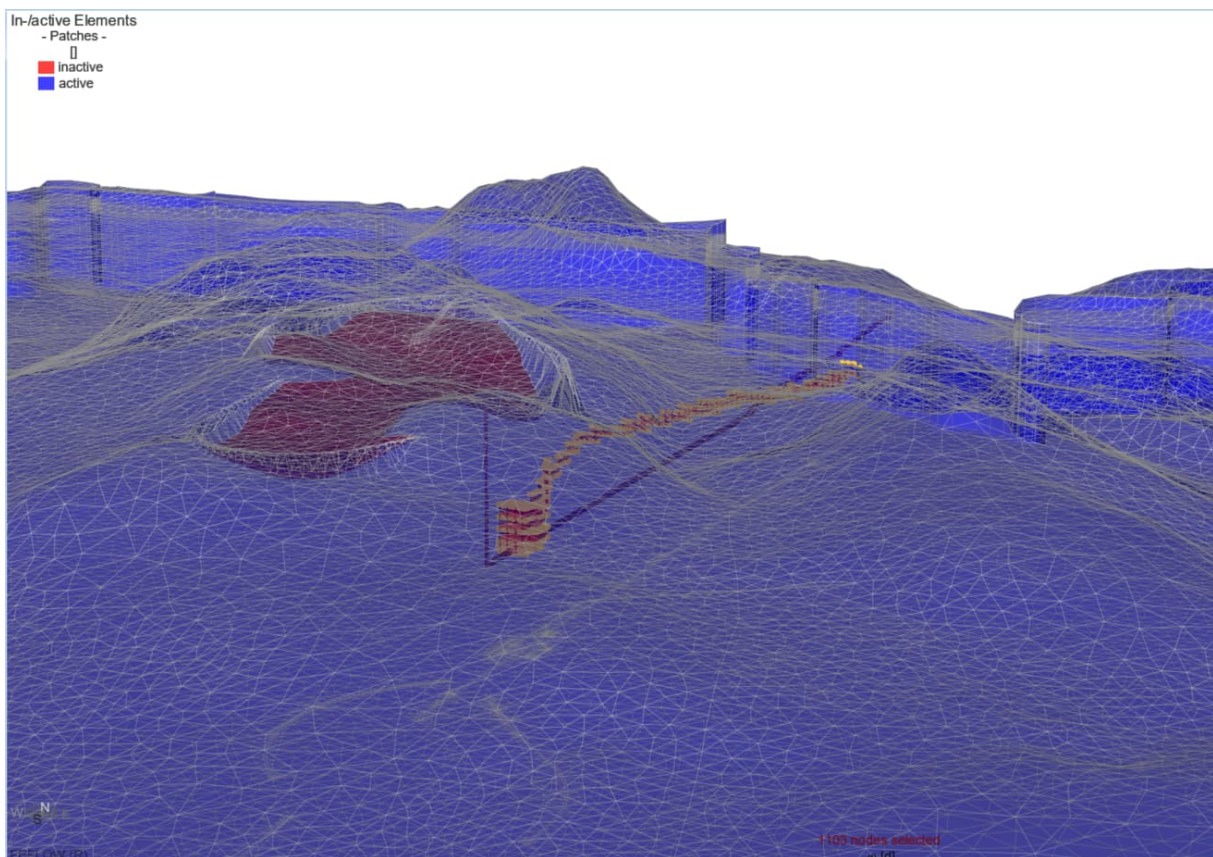


Kuva 6-4. Pohjavedenpinnan muutos pumppuvoimalaitoksen rakentamisen aikana nykytilaan verrattuna a) 2D esitys ja b) 3D esitys. Vesitunnelin, ajotunnelin ja konetilojen ympärillä pohjavesipinta laskee kuivatuspumppauksen seurauksena. Simuloinnissa tunneleihin ei ole tehty tiivistystoimenpiteitä. $\pm 0,5$ m tasa-arvonkäyrät rajaavat alueen, jonka ulkopuolella pohjavesipinnan muutos on pienempi kuin 0,5 m.

6.3 Toiminta-aika

Pumppuvoimalaitoksen toiminnan aikaisen tilanteen mallissa Ailangantunturin Tunturilammen kohdalla on ylävesivarastoallas ja siitä vesitunneli Kemijärveen. Vesitunneli mallinnettiin tiiviinä, koska vesi kulkee vesivarastoaltaalta turbiineille teräsputkessa ja turbiineita Kemijärveen betonoidussa tunnelissa. Ajotunnelit ja konetila mallinnettiin kuivatettavina tiloina, joihin suotautuu pohjavettä ja jotka pidetään kuivina pumppaamalla (Kuva 6-5).

Pumppuvoimalan simuloimiseksi mallissa vesitunnelin sisällä olevat elementit asetettiin epäaktiiviseksi. Ajotunneleiden ja konetilan sisällä olevat elementit asetettiin myös epäaktiiviseksi ja niiden pinta tihkupinnaksi (seepage face). Ylävesialtaan patoreuna asetettiin tasolle 359,54 m (N43). Padon sisäisivun vedenjohtavuudeksi asetettiin $1 \cdot 10^{-11}$ m/s ja ulkosivun $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Padon sisemmän reunan alle ylimmän kalliokerroksen vedenjohtavuudeksi asetettiin $1 \cdot 10^{-7}$ m/s kuvaamaan injektointiverhoa. Ylävesivarastoaltaan vesipinnan korkeudeksi asetettiin simuloinnista riippuen joko 342,50 m (N43) tai 358,50 m (N43).



Kuva 6-5. Ylävesivarastoallas, vesitunnelit, ajotunnelit ja konetila.

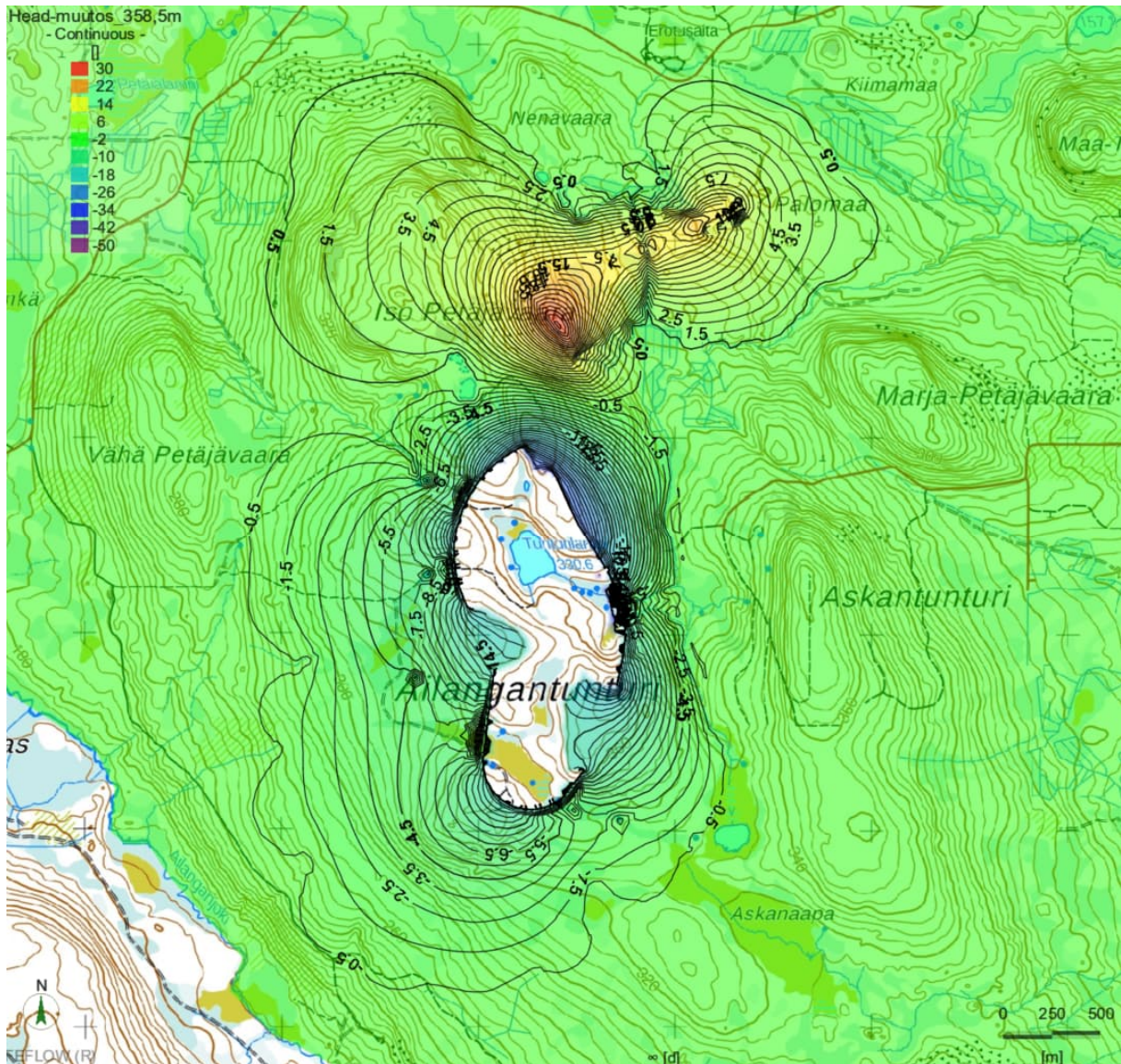
6.3.1 Simulointi 1: ylävesivarastoaltaan vesipinnan korkeus 358,50 m (N43) Kun ylävesivarastoaltaan vesipinta on 358,50 m (N43) ja ylävesivarastoaltaan pohjaa tai maanalaisia tiloja ja tunnelleita ei tiivistetä, pumppuvoimalan toiminta-ajan simuloinnissa pohjavettä suotautuu ajotunneleihin ja konetilaan noin $680 \text{ m}^3/\text{d}$. Merkittävimmät vuotokohdat ovat ruhjeiden leikkauskohdissa. Ruhjeiden kohdalta kuivatettaviin tiloihin suotautuu pohjavettä yhteensä noin $370 \text{ m}^3/\text{d}$. Ylävesivarastoaltaan pohjan läpi suotautuu vettä kallioon noin $750 \text{ m}^3/\text{d}$.

Kuvassa 6-6 on esitetty pohjavedenpinnan korkeuden muutos pumppuvoimalan toiminnan aikana nykytilanteeseen eli vuoteen 2025 verrattuna. Ylävesivarastoaltaan ympärillä pohjavesipinta nousee nykyisestään ja lähteiden virtaama voi kasvaa ja lähteitä/kosteikkoja syntyä lisää. Ajotunneleiden ja konehuoneen ympärillä pohjavedenpaine korkeus laskee, ja pohjavesipinta maaperässä voi alentua. Pohjavesipinnan aleneman suuruus maaperässä riippuu hyvin paljon mahdollisista kallioperän päällä olevista vettä pidättävistä maakerroksista. Pohjavedenpinnan alenema voi ulottua noin 500–1000 m laajuiselle alueelle tunneleiden ympärillä, mutta todennäköisesti vaikutus ei maaperäpohjavedessä ole näin laaja.

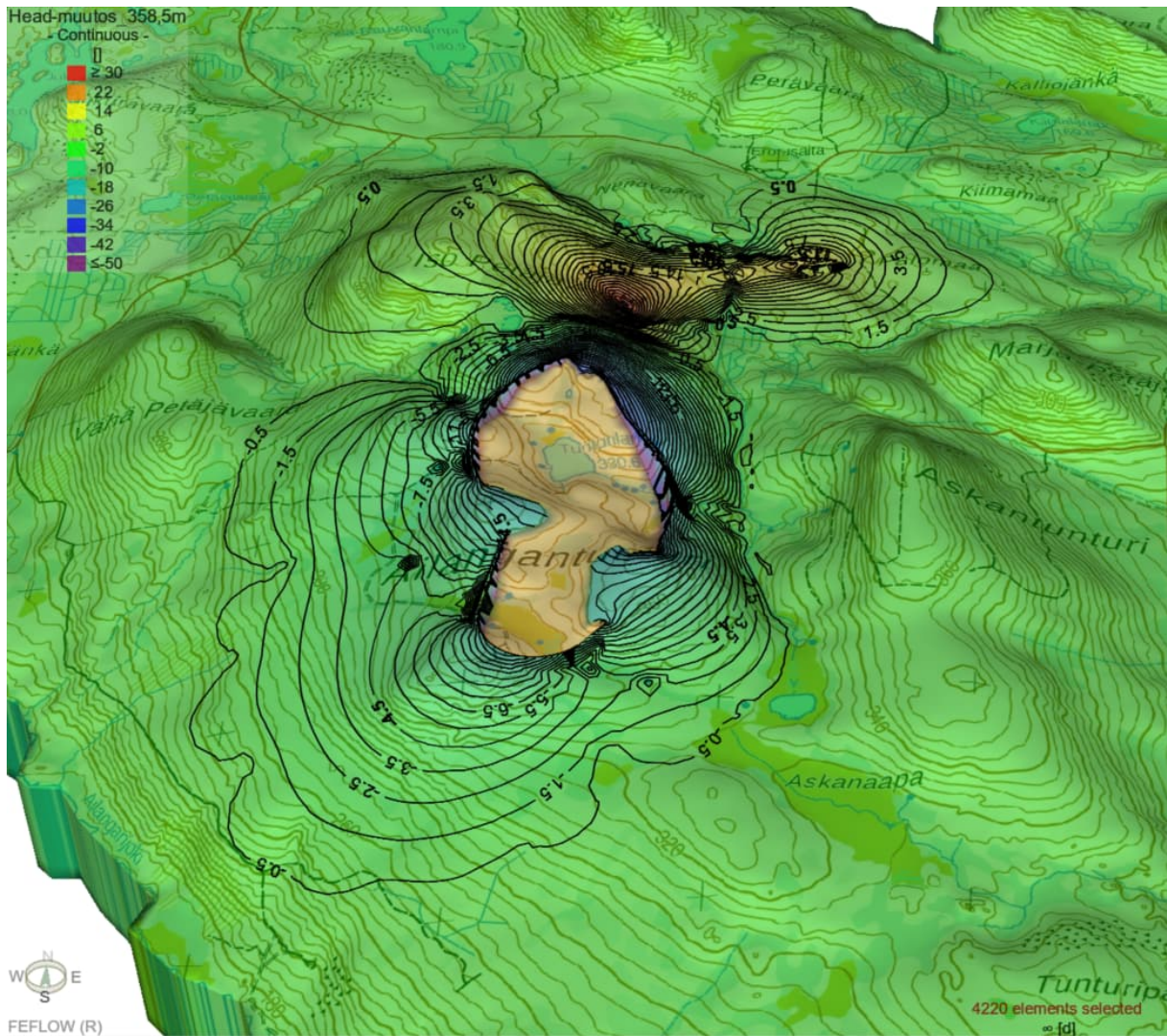
Kuvassa 6-7 esitetään mallinnustulokset poikkileikkauksissa. Väriskaala kuvaa laskettua pohjaveden painetta ja valkoinen viiva nollapainetta eli pohjavedenpintaa. Pohjavedenpinta nousee vesivarastoaltaan ympärillä verrattuna vuoteen 2025 (Kuva 6-2). Tunneleiden ympärillä pohjaveden paine laskee ja tunneleiden kohdalla maaperässä pohjavedenpinta vastaavasti laskee erityisesti tunnelia leikkaavien ruhjeiden kohdalla.

Kuvassa 6-8 esitetään pohjaveden suotautumisen jakautuminen ajotunneleiden ja konetilan seinämille, pallon koko ja väri kuvaa pohjaveden suotautumisen määrää. pohjavettä suotautuu tunneleihin eniten kohdissa, jossa ruhjeet leikkaavat tunnelia.

a)

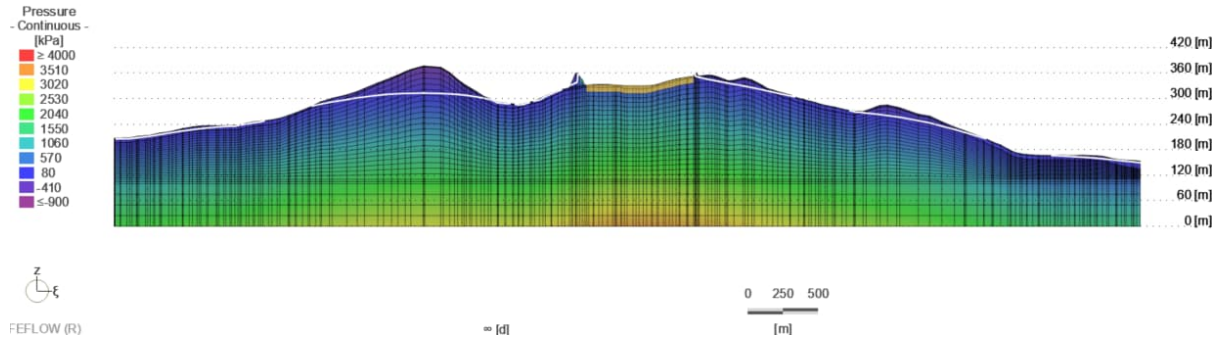


b)

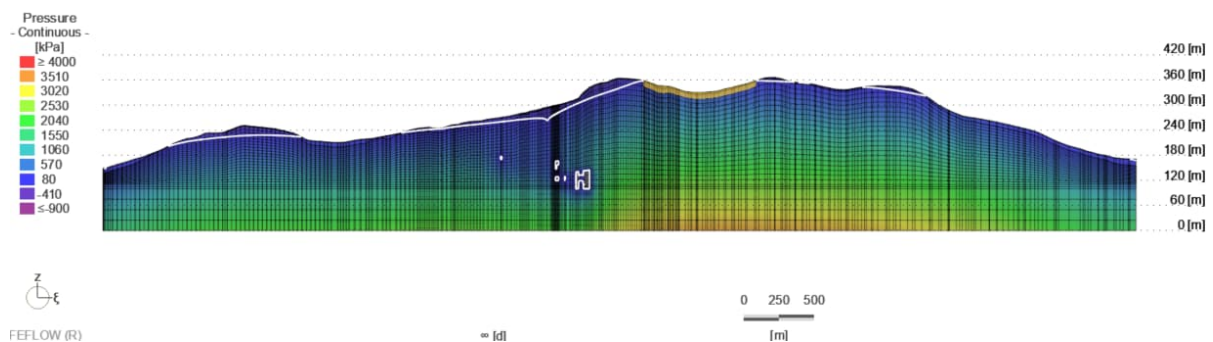


Kuva 6-6. Pohjavedenpinnan muutos pumppuvoimalaitoksen toiminnan aikana nykytilaan verrattuna a) 2D esitys ja b) 3D esitys. Ajotunnelin ja konetilojen ympärillä pohjavesipinta laskee kuivatuspumppauksen seurauksena ja ylävesivarastoaltaan alueella pohjavesipinta nousee. +/-0,5 m tasa-arvonkäyrät rajaavat alueen, jonka ulkopuolella pohjavesipinnan muutos on pienempi kuin 0,5 m.

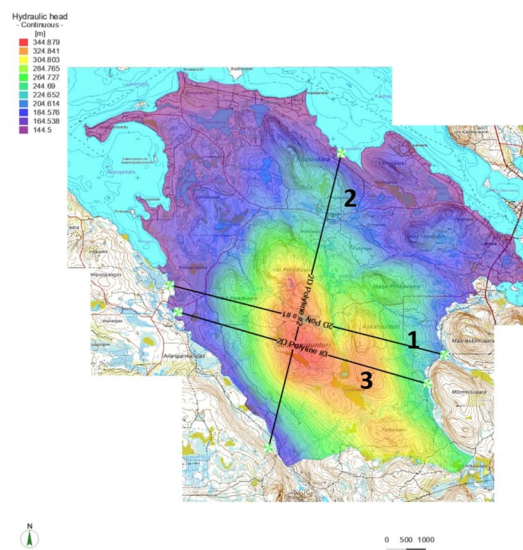
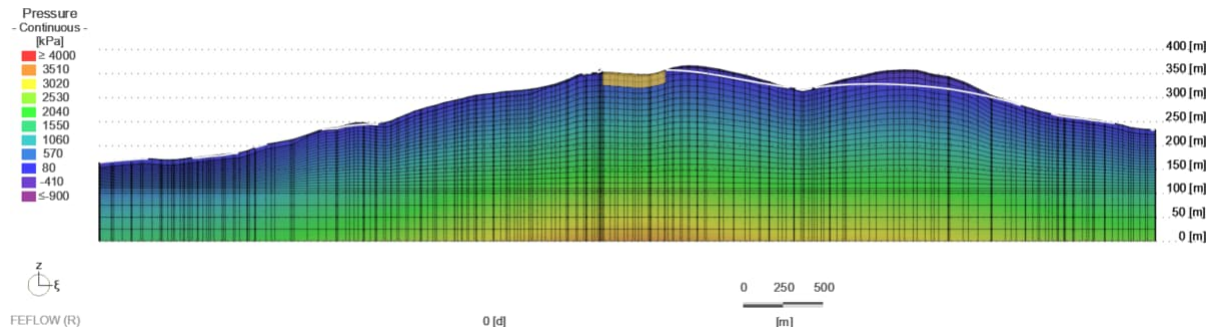
poikkileikkaus 1



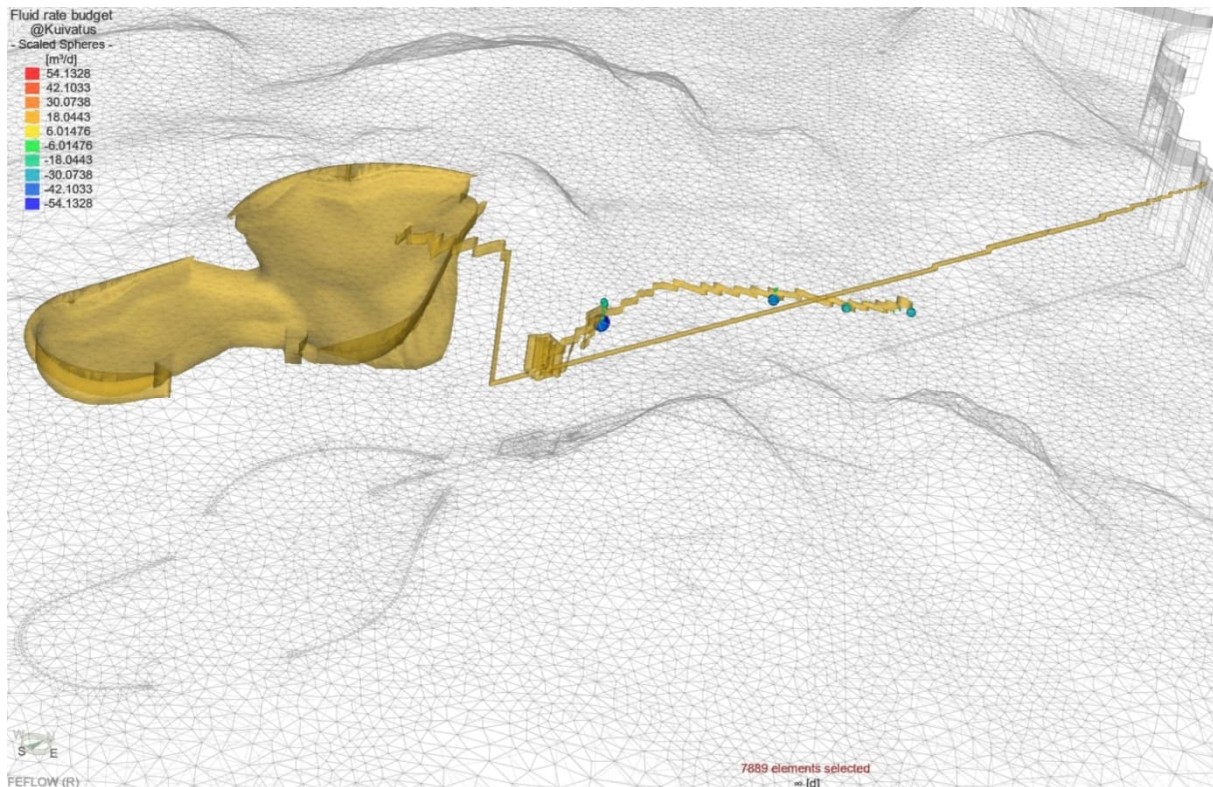
poikkileikkaus 2



poikkileikkaus 3



Kuva 6-7. Poikkileikkaus pohjavedenpinnan (valkoinen viiva) visualisoimiseen.

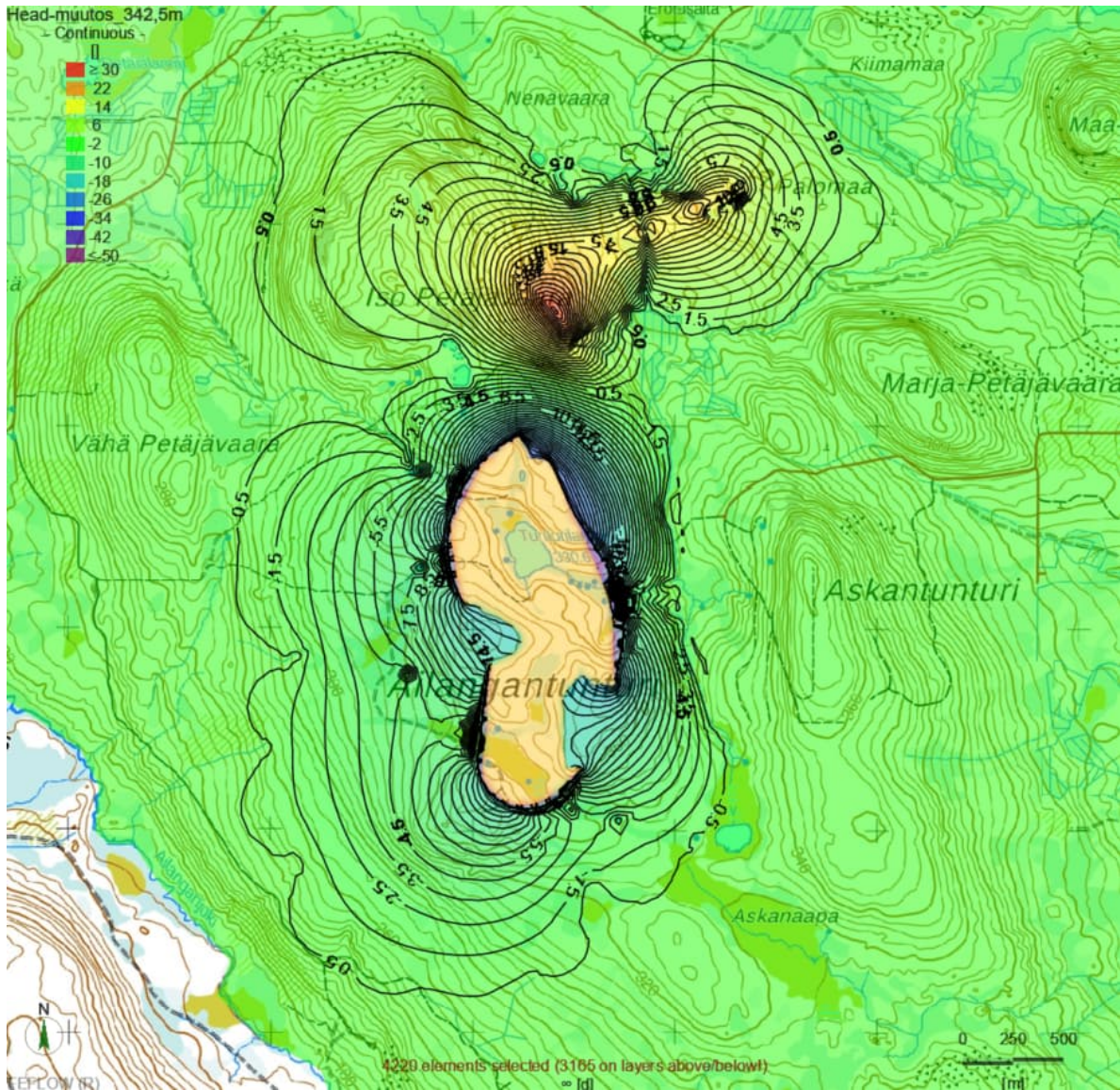


Kuva 6-8. Pohjaveden suotautumisen jakautuminen tunneliseinämälle, pallon koko ja väri kuvaa pohjaveden suotautumisen määrää. Pohjavettä suotautuu tunneleihin erityisesti kohdissa, joissa ruhjeet leikkaavat tunnelin.

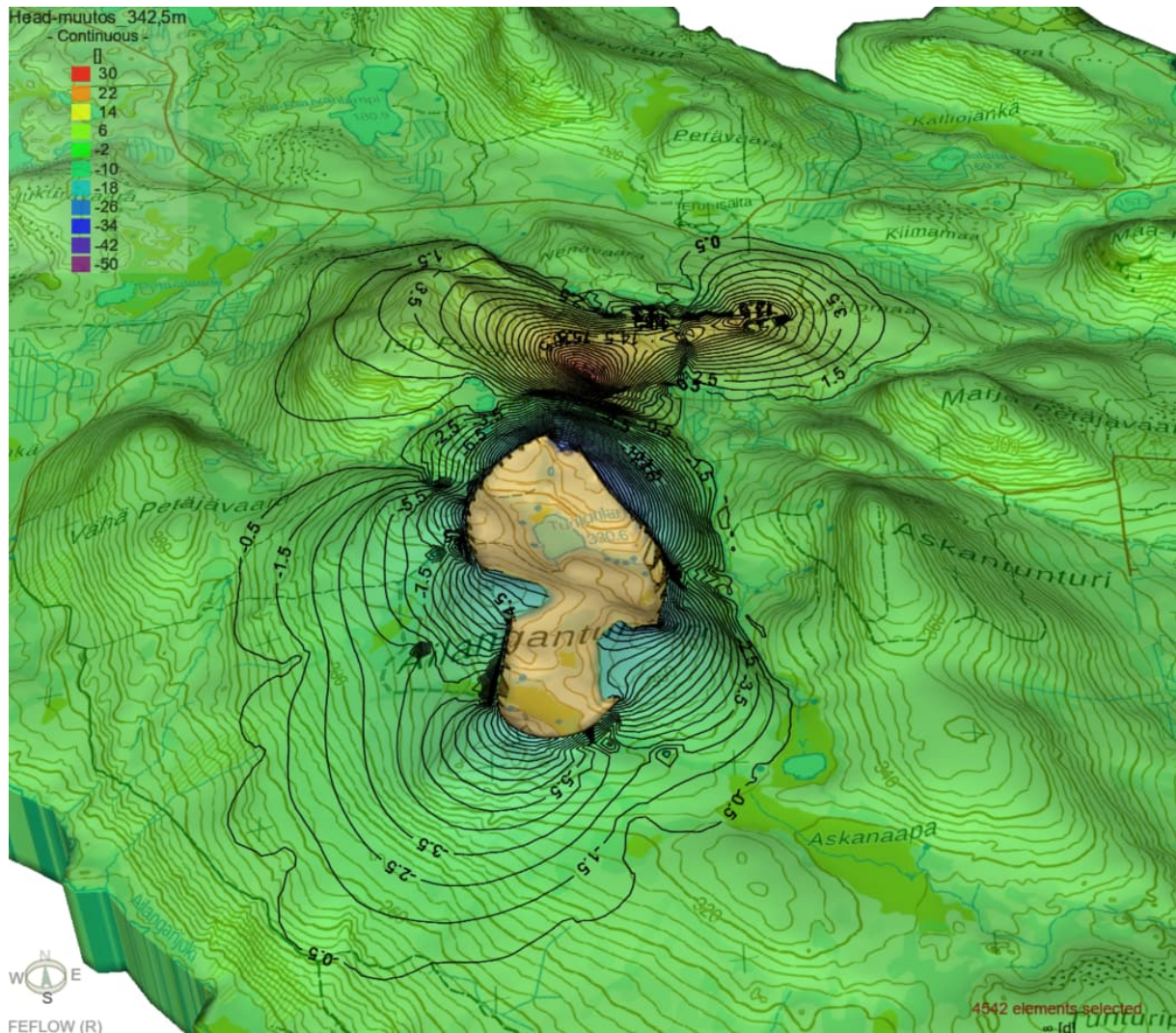
6.3.2 Simulointi 2: ylävesivarastoaltaan vesipinnan korkeus 342,50 m (N43) Kun ylävesivarastoaltaan vesipinta on 342,50 m (N43) ja ylävesivarastoaltaan pohjaa tai maanalaisia tiloja ja tunneleita ei tiivistetä, pumppuvoimalan toimintajan simuloinnissa pohjavettä suotautuu ajotunneliin ja konetilaan noin 675 m³/d. Merkittävimmät vuotokohdat ovat ruhjeiden leikkauskohdissa. Ruhjeiden kohdalta kuivatettaviin tiloihin suotautuu pohjavettä yhteensä noin 370 m³/d. Ylävesivarastoaltaan pohjan läpi suotautuu vettä kallioon noin 300 m³/d.

Kuvassa 6-6 on esitetty pohjavedenpinnan korkeuden muutos pumppuvoimalan toiminnan aikana nykytilanteeseen eli vuoteen 2025 verrattuna, kun ylävesivarastoaltaan vesipinta on 342,50 m (N43). Simuloinnin tulos ei merkittävästi eroa simuloinnista, jossa vesivarastoaltaan vesipinta on 358,5 m (N43) (luku 6.3.1).

a)



b)



Kuva 6-9. Pohjavedenpinnan muutos pumppuvoimalaitoksen toiminnan aikana nykytilaan verrattuna a) 2D esitys ja b) 3D esitys. Ajotunnelin ja konetilojen ympärillä pohjavesipinta laskee kuivatuspumppauksen seurauksena ja ylävesivarastoaltaan alueella pohjavesipinta nousee. +/-0,5 m tasa-arvonkäyrät rajaavat alueen, jonka ulkopuolella pohjavesipinnan muutos on pienempi kuin 0,5 m.

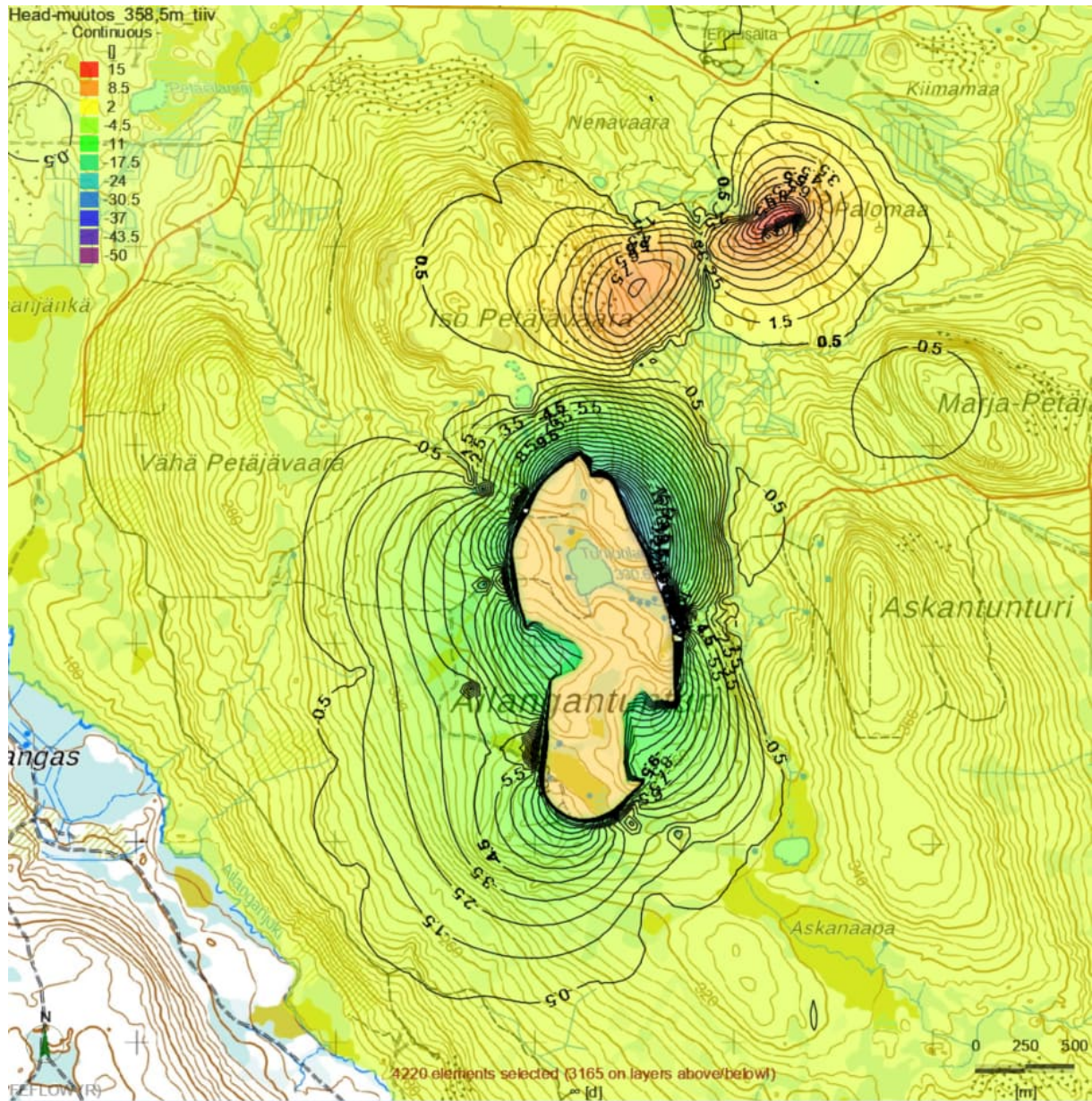
6.3.3 Simulointi 3: ylävesivarastoaltaan pohjan ja ruhjeiden vedenjohtavuuden vaikutus

Pumppuvoimalan toiminta-aikaa simuloitiin myös niin, että vesivarastoaltaan pohjan vedenjohtavuudeksi asetettiin $5 \cdot 10^{-8}$ m/s ja ajotunneleita leikkaavien ruhjeiden vedenjohtavuudeksi $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Simuloinnissa, jossa ylävesivarastoaltaan vesipinta on 358,5 m (N43), pohjavettä suotautuu ajotunneleihin ja konetilaan yhteensä noin 424 m³/d. Merkittävimmät vuotokohdat ovat ajotunnelin sisäänmenoaukon kohdalla. Ruhjeiden leikkauskohdista

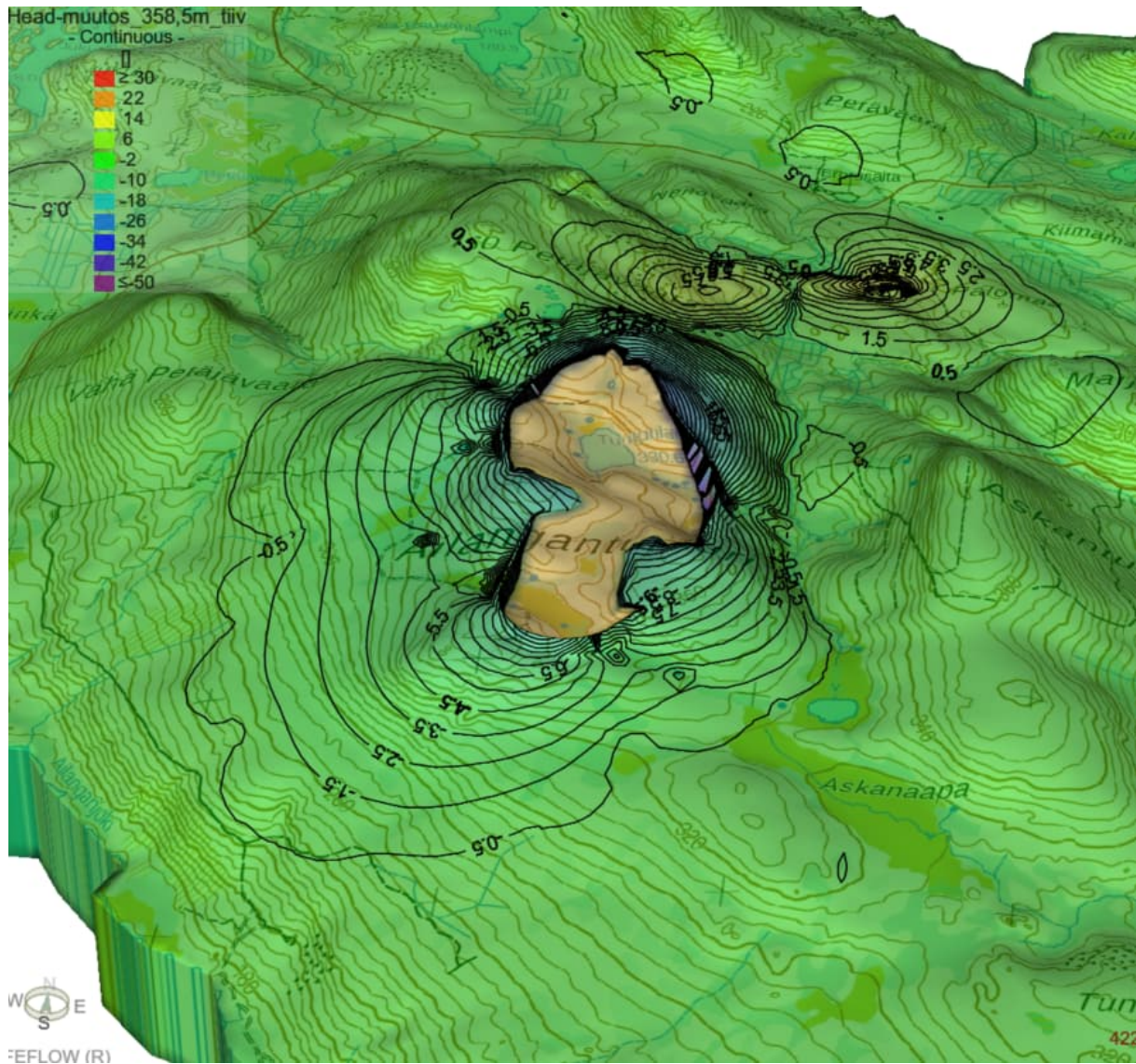
kuivatettaviin tiloihin suotautuu pohjavettä yhteensä noin 67 m³/d. Ylävesivarastoaltaan pohjan läpi suotautuu vettä maaperään noin 435 m³/d. Simuloinnissa, jossa ylävesivarastoaltaan vesipinta on 342,5 m (N43), pohjavettä suotautuu ajotunneleihin ja konetilaan yhteensä noin 423 m³/d ja ylävesivarastoaltaan pohjan läpi suotautuu vettä kallioon noin 210 m³/d.

Kuvassa 6-6 on esitetty pohjavedenpinnan korkeuden muutos pumppuvoimalan toiminnan aikana nykytilanteeseen eli vuoteen 2025 verrattuna, kun ylävesivarastoaltaan vesipinta on 358,50 m (N43) ja vesivarastoaltaan pohjan vedenjohtavuus $5 \cdot 10^{-8}$ m/s ja tunneleita leikkaavien ruhjeiden $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Pohjavedenpinta nousee altaan ympärillä ja lähteiden virtaama saattaa kasvaa ja lähteitä/kosteikkoalueita tulla lisää. Ajotunnelin kuivatuksen aiheuttama pohjavedenpinnan lasku on vähäisempää kuin laskennassa, jossa ruhjeiden vedenjohtavuus on $1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

a)

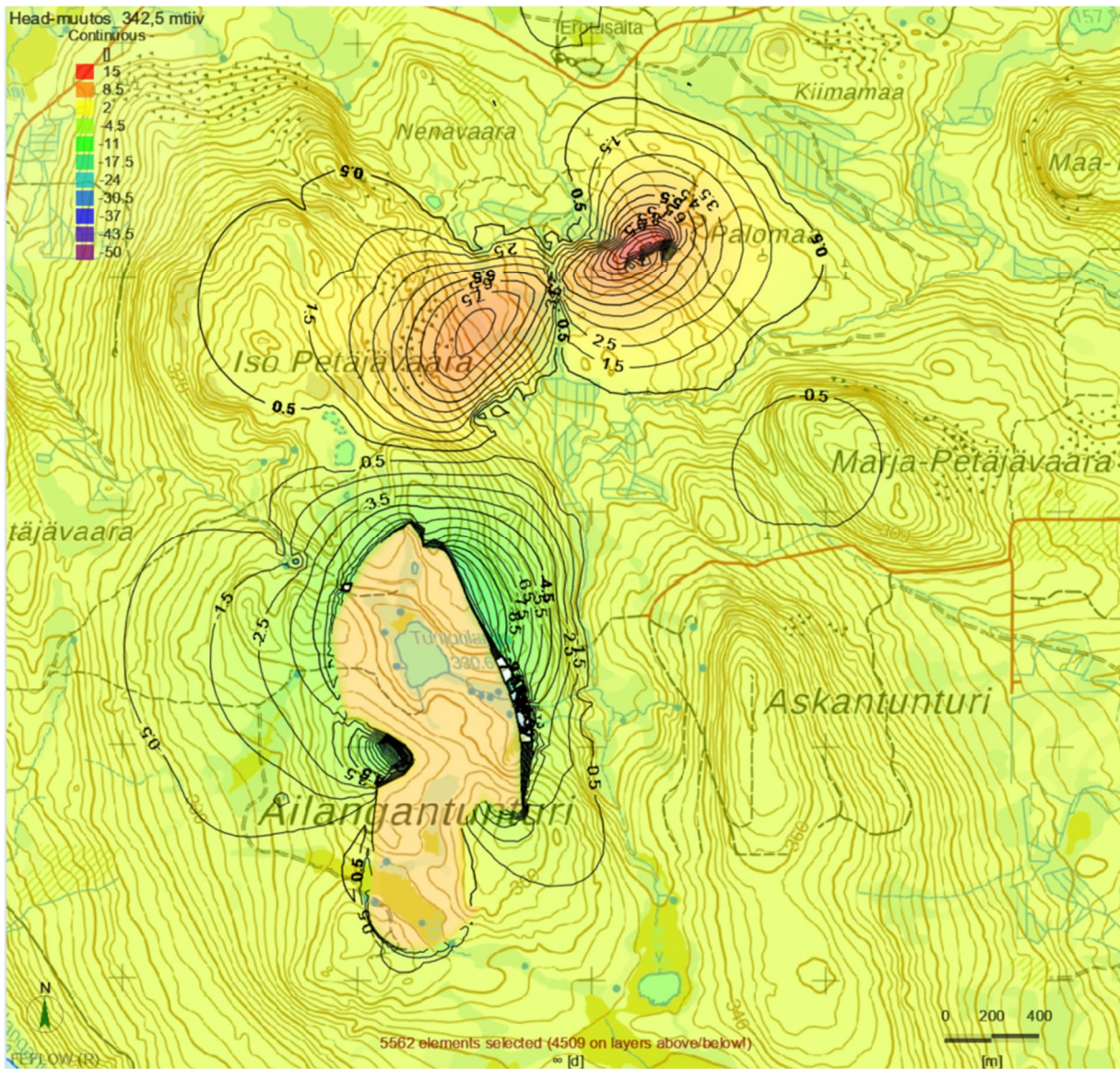


b)

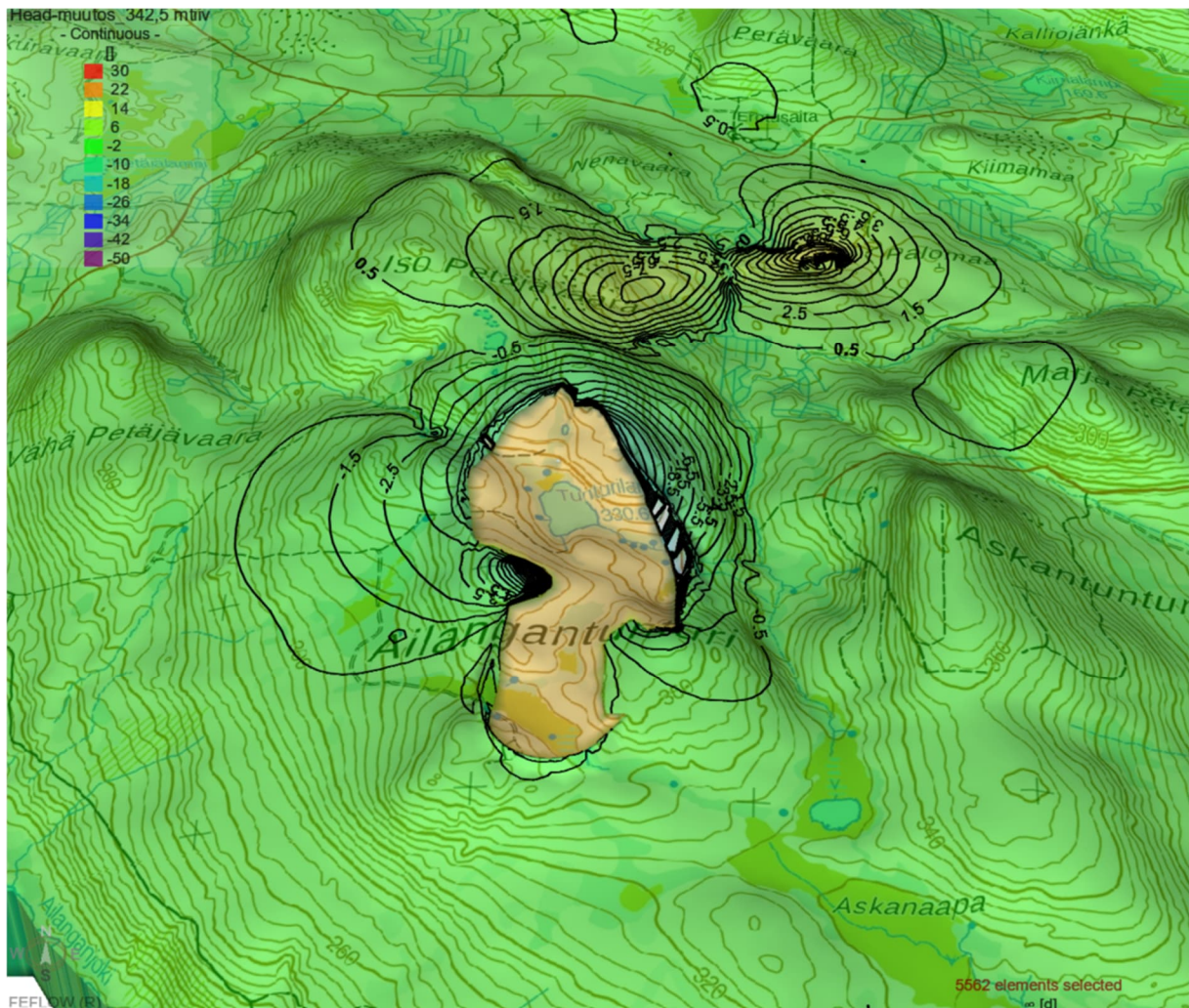


Kuva 6-10. Pohjavedenpinnan muutos pumppuvoimalaitoksen toiminnan aikana nykytilaan verrattuna, kun vesivarastoaltaan vesipinta on 358,5 m (N43), a) 2D esitys ja b) 3D esitys. Ajotunnelin ja konetilojen ympärillä pohjavesipinta laskee kuivatuspumppauksen seurauksena ja ylävesivarastoaltaan alueella pohjavesipinta nousee. +/-0,5 m tasa-arvonkäyrät rajaavat alueen, jonka ulkopuolella pohjavesipinnan muutos on pienempi kuin 0,5 m.

a)

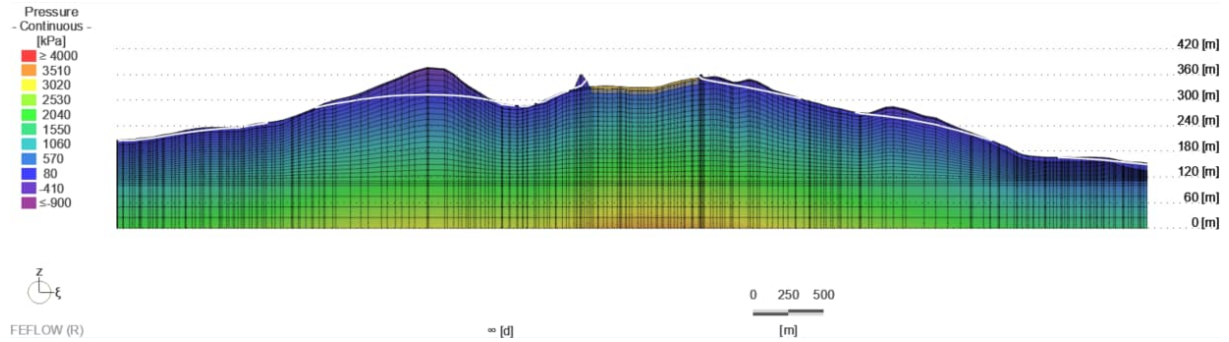


b)

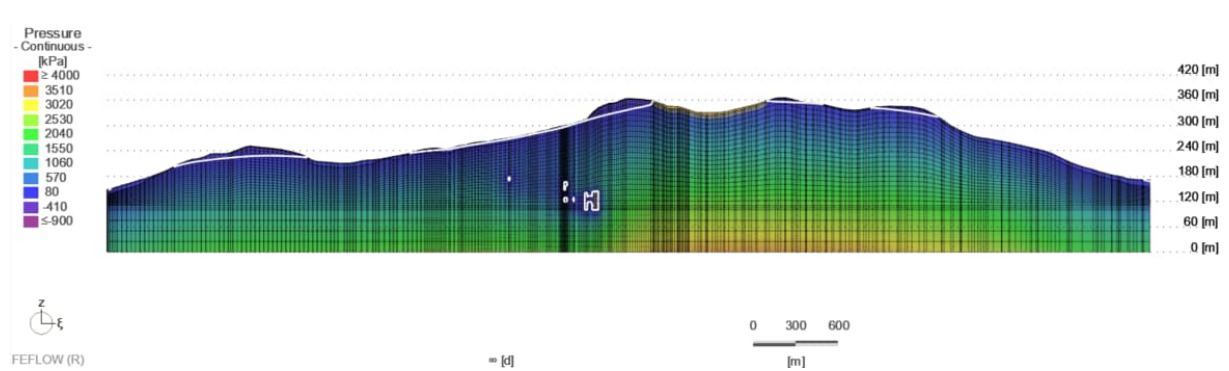


Kuva 6-11. Pohjavedenpinnan muutos pumppuvoimalaitoksen toiminnan aikana nykytilaan verrattuna, kun vesivarastoaltaan vesipinta on 342,5 m (N43), a) 2D esitys ja b) 3D esitys. Ajotunnelin ja konetilojen ympärillä pohjavesipinta laskee kuivatuspumppauksen seurauksena ja ylävesivarastoaltaan alueella pohjavesipinta nousee. +/-0,5 m tasa-arvonkäyrät rajaavat alueen, jonka ulkopuolella pohjavesipinnan muutos on pienempi kuin 0,5 m.

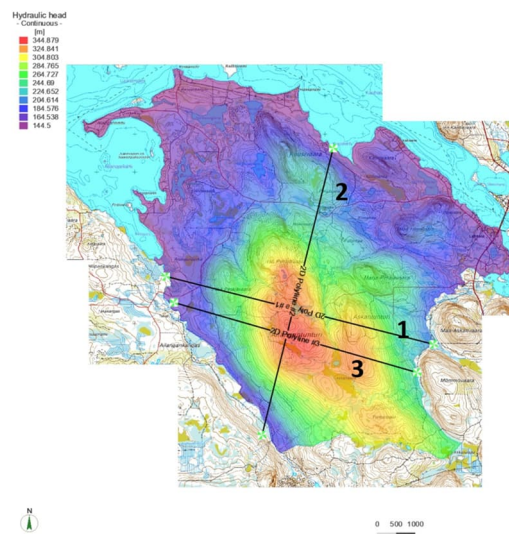
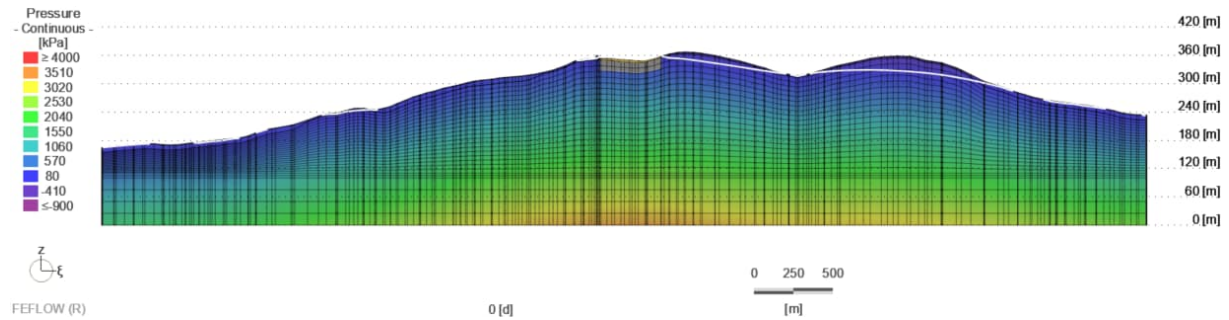
poikkileikkaus 1



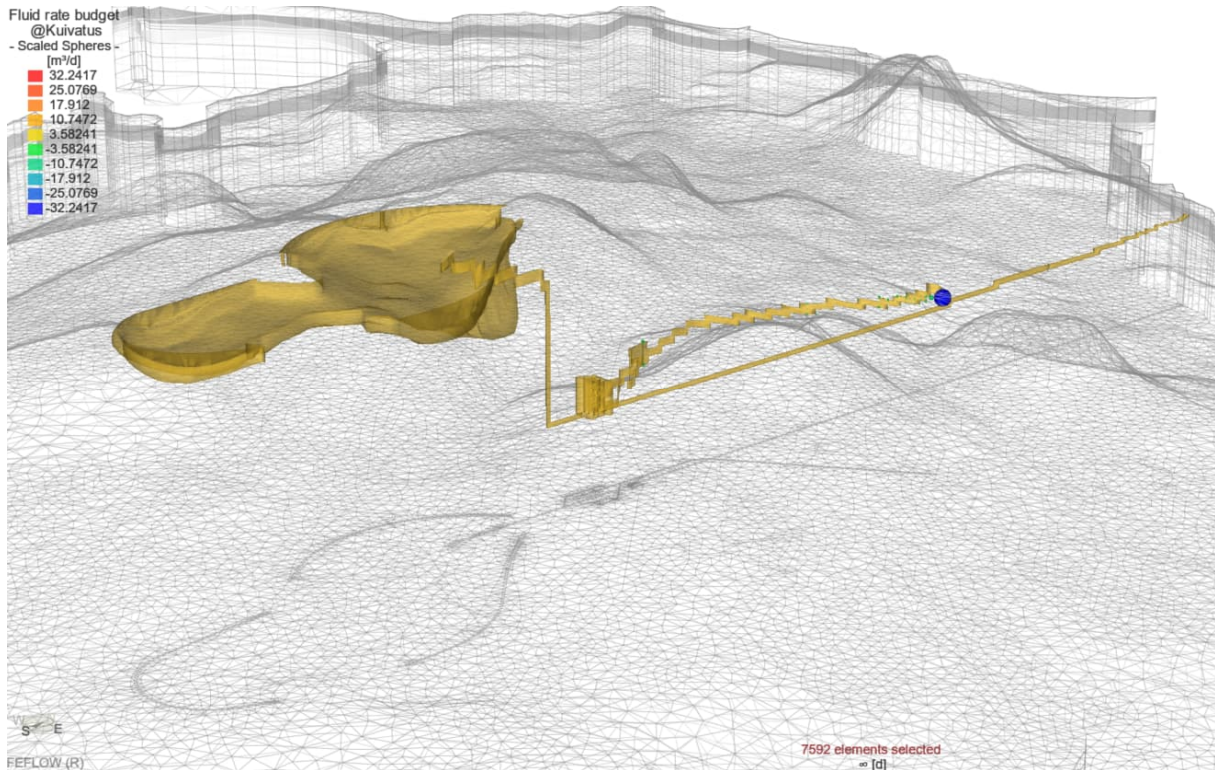
poikkileikkaus 2



poikkileikkaus 3



Kuva 6-12. Poikkileikkaus pohjavedenpinnan (valkoinen viiva) visualisoimiseen, kun ylävesivarastoaltaan vesipinta on 358,5 m (N43).

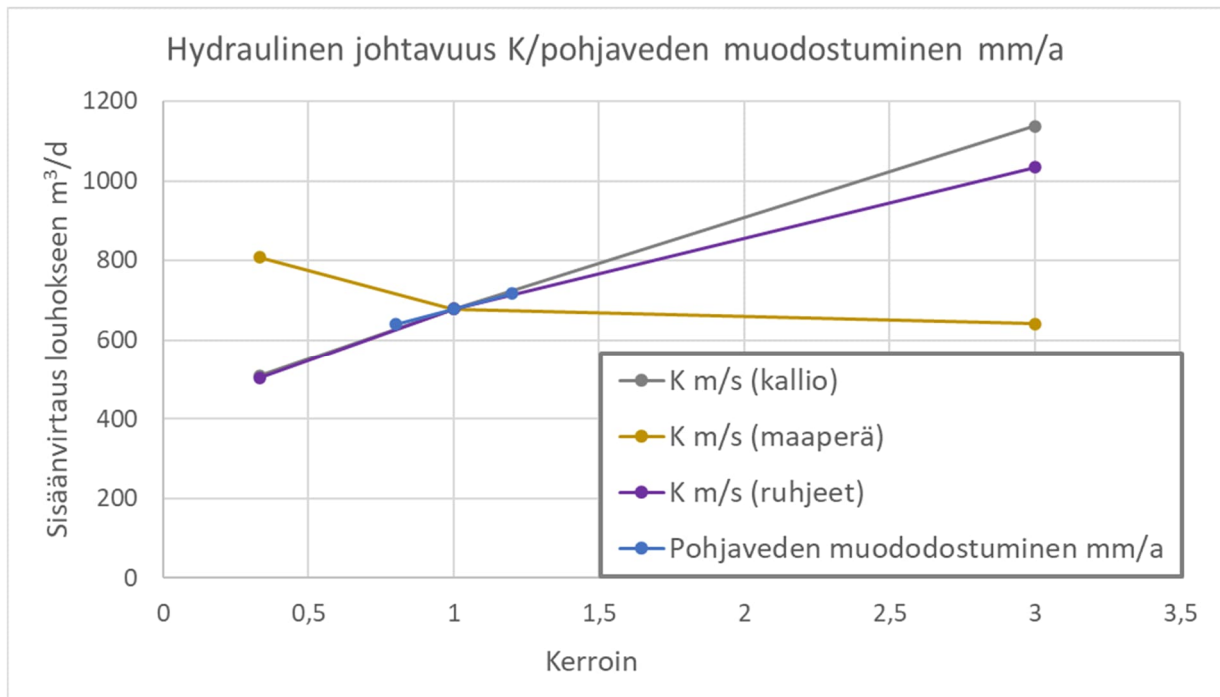


Kuva 6-13. Pohjaveden suotautumisen jakautuminen tunneliseinämälle, pallon koko ja väri kuvaa pohjaveden suotautumisen määrää. Kun tunnelia leikkaavat ruhjeet on tiivistetty, pohjavettä suotautuu tunneleihin eniten sisäänmenoaukon kohdalla.

6.4 Herkkyystarkastelut

Maa- ja kallioperän hydraulisen johtavuuden ja sadannan vaikutusta laskettuihin maanalaisten tunneleiden ja tilojen suotovesimääriin arvioitiin tekemällä herkkyysanalyysiä. Herkkyystarkastelut esitetään kallion, ruhjeiden ja maaperän hydraulisen johtavuuden sekä pohjaveden muodostumisen suhteen pumppuvoimalaitoksen toiminnan aikaisina simulointeina.

Tarkastelut tehtiin erillisinä. Hydraulista johtavuutta muutettiin kaikissa mallin maa- tai kalliokerroksissa jakamalla tai kertomalla kalliotilavuudelle määritellyt K-arvot tekijällä kolme (Kuva 6-14). Samoin herkkyystarkastelua tehtiin ruhjeiden suhteen jakamalla tai kertomalla ruhjeille määritellyt K-arvot tekijällä kolme. Kallion hydraulinen johtavuus vaikuttaa eniten suotovesimääriin, mutta myös ruhjeilla on lähes yhtä merkittävä vaikutus. Maakerrosten hydraulisen johtavuuden muutoksilla on selvästi pienempi vaikutus suotovesimääriin. Mallin herkkyys hydraulisen johtavuuden arvon suhteen on systemaattinen, mikä viittaa siihen, että malli toimii numeerisesti järkevästi mallinnetuissa tilanteissa.



Kuva 6-14. Hydraulisen johtavuuden herkkyyshanalyysi toiminta-ajan (simulointi 1) mallissa. Kuivatettavien tunneleiden ja tilojen suotovesimäärän vaihtelu, kun ruhjeille, kalliolle ja maaperälle asetettuja hydraulisen johtavuuden arvoja suurennettiin tai pienennettiin kertoimella 3 tai pohjaveden muodostumisen määrää muutettiin kertoimella 0,8 tai 1,2 (20 %).

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen olosuhteisiin on arvioitu Ilmasto-opas.fi (Ilmatieteenlaitos 2023) sivustoilla. Suomen sademäärien arvioidaan kasvavan. Ailangantunturin alueella vuotuisen sademäärän arvioidaan kasvavan vuosisadan puoliväliin mennessä noin 6–11 prosenttia 500–600 millimetristä 530–660 millimetriin (Gregow ym. 2021). Herkkyyshanalyysissä tarkasteltiin sadannan vaikutusta. Sadannasta pohjavedeksi suotautuvan veden määrää kasvatettiin ja pienennettiin 20 % alkuperäisestä arvosta. Näiden muutosten vaikutus kaivoksen suotovesimäärään on esitetty kuvassa 6-14.

7 Johtopäätökset ja epävarmuudet

Ailangantunturin alueen nykytilaa simuloivan (vuosi 2025) numeerisen pohjavesimallin laskema pohjaveden pinnan korkeus sopii pääosin yhteen alueen pohjavesiputkista mitattujen pohjavedenpintojen kanssa. Laskettu pohjavesipinta on kuitenkin korkeammassa kohdissa selvästi mitattua pintaa alempana ja lähempänä Tunturilammen vesipinnan korkeutta kuin mitä mittaustulokset osoittavat. Jyrkissä rinteissä ja alavissa maastonkohdissa, joissa luonnostaankin on suota, laskennallinen pohjavesipinta on maanpintaa korkeammalla.

Mallilla simuloitiin pumppuvoimalan rakentamisen aikaa niin, että kaikki maanalaiset tilat on louhittu ja ne pidetään kuivina. Simuloinnin mukaan pohjavettä suotautuu vesitunneliin, ajotunneleihin ja konetilaan noin 1240 m³/d. Merkittävimmät vuotokohdat ovat ruhjeiden leikkauskohdissa. Ruhjeiden kohdalta kuivatettaviin tiloihin suotautuu pohjavettä yhteensä noin 630 m³/d. Simuloinnissa maanalaisissa tiloissa ei ole tehty tiivistämis-toimenpiteitä, ja ruhjeiden vedenjohtavuutena on käytetty melko korkeaa arvoa $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Mallissa pohjavedenpinta laskee 500–1000 m laajuisella alueella kuivatettavien tilojen ympärillä, mutta lopullinen todellinen vaikutus maaperän pohjaveteen riippuu suuresti tunnelia leikkaavien ruhjeiden vedenjohtavuudesta sekä maa- ja kallioperän hydraulisen vuorovaikutuksen voimakkuudesta. Koska ruhjeille on mallissa asetettu melko korkea vedenjohtavuus, eikä mallissa ole määritelty mahdollisia vettä pidättäviä maakerroksia kallion päälle, pumppuvoimalan vaikutus pohjavesipintoihin ei todennäköisesti tule olemaan yhtä laaja kuin mallin laskema tulos.

Pumppuvoimalan toiminta-aikaa simuloitiin siten, että ylävesivarastoaltaan vesipinta on 358,5 m (N43) tai 342,5 m (N43). Simuloinnin mukaan vedenpinnankorkeuksilla ei ole merkittävää vaikutusta kuivatettaviin maanalaisiin tiloihin suotautuvan pohjaveden määrään. Jos ajotunneleita leikkaavien ruhjeiden vedenjohtavuus asetetaan tasolle $1 \cdot 10^{-6}$ m/s, ajotunneleihin ja konetilaan suotautuu pohjavettä noin 675–680 m³/d. Merkittävimmät vuotokohdat ovat ruhjeiden leikkauskohdissa. Ruhjeiden kohdalta kuivatettaviin tiloihin suotautuu pohjavettä yhteensä noin 370 m³/d.

Ylävesivarastoaltaan vesipinnan korkeudella on kuitenkin vaikutusta altaan pohjan läpi maaperään suotautuvan veden määrään. Jos altaan vesipinta on 358,5 m mpy, pohjan läpi suotautuu vettä noin 750 m³/d, ja jos vesipinta on 342,5 m mpy, pohjan läpi suotautuu 300 m³/d. Toiminnan aikana ylävesivarastoaltaan ympärillä pohjavesipinta nousee nykyisestä, ja lähteiden virtaama voi kasvaa ja lähteitä tai kosteikkoja voi syntyä lisää tunturin rinteille. Pohjavesipinnan nousu on suurinta heti altaan ympärillä (10–20 m) ja vaikutus pienenee etäämmälle mentäessä, niin että altaan länsipuolella maksimissaan 0,5 m pohjavesipinnan nousua voi tapahtua

noin 1000 m etäisyydellä altaan reunasta ja altaan pohjois-, itä ja eteläpuolella noin 200–700 m etäisyydellä altaan reunasta. Ajotunneleiden ja konehuoneen ympärillä pohjavedenpaine korkeus laskee, ja pohjavesipinta maaperässä tunneleiden yläpuolella voi alentua useita metrejä tai maaperä kuivua. Pohjavesipinnan aleneman suuruus maaperässä riippuu hyvin paljon mahdollisista kallioperän päällä olevista vettä pidättävistä maakerroksista ja tunneleita leikkaavien ruhjeiden vedenjohtavuudesta. Simuloinnissa maksimissaan 0,5 m pohjavedenpinnan alenema voi ulottua noin 500–1000 m laajuiselle alueelle tunneleiden ympärillä, mutta todennäköisesti vaikutus ei ole näin laaja.

Pumppuvoimalan toiminta-aikaa simuloitiin myös niin, että vesivarastoaltaan pohjaa tiivistetään tasolle $5 \cdot 10^{-8}$ m/s, joka vastaa tiiviin ja huonosti vettäjohtavan moreenin vedenjohtavuutta, ja ajotunneleita leikkaavien ruhjeiden vedenjohtavuus on $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Ruhjeiden vedenjohtavuus vaikuttaa selvästi kuivana pidettäviin tiloihin suotautuvan pohjaveden määrään ja altaan pohjan tiivistys pohjan läpi suotautuvan veden määrään. Simuloinnissa pohjavettä suotautuu ajotunneleihin ja konetilaan yhteensä noin 422–424 m³/d, mikä on noin 250 m³/d vähemmän kuin simuloinnissa, jossa ruhjeiden vedenjohtavuus on $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Merkittävimmät vuotokohdat ovat ajotunnelin sisäänmenoaukon kohdalla. Ruhjeiden leikkauskohdista kuivatettaviin tiloihin suotautuu pohjavettä yhteensä noin 67 m³/d. Simuloinnissa maanalaisten tilojen kuivatuksen aiheuttama pohjavedenpinnan lasku on selvästi vähäisempää kuin simuloinnissa, jossa ruhjeiden vedenjohtavuus on $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Ero pohjavedenpinnan laskussa näiden simulointien välillä on 7–10 m. Jos altaan vesipinta on 358,5 m mpy, pohjan läpi suotautuu vettä noin 435 m³/d ja jos vesipinta on 342,5 m mpy pohjan läpi suotautuu vettä noin 210 m³/d. Pohjavesipinta altaan ympärillä nousee 0,5–7 m vähemmän kuin simuloinnissa, jossa altaan pohjaa ei tiivistetä tasolle $5 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Maa- ja kallioperän hydraulisen johtavuuden sekä sadannan vaikutusta laskettuihin maanalaisten tunneleiden ja tilojen suotovesimääriin arvioitiin tekemällä herkkyysanalyysiä. Numeerisessa pohjavesimallinnuksessa merkittävä epävarmuuden lähde tuloksissa on usein kallioperän hydraulinen johtavuus, mikä on vaikea mitata tarkasti ja kattavasti sekä yleistää koko mallinnettavalle kalliotilavuudelle. Ailangantunturin kairareikien SK1–3 vesimenekkimittauksista saadut kallion vedenjohtavuuden arvot eroavat melko paljon toisistaan. Rei'issä SK1 ja SK2 mitattiin pieniä vedenjohtavuuksia ja reiässä SK3 paikoin korkeita. Herkkyystarkastelun perusteella maaperän hydraulisen johtavuuden merkitys suotovesien määrään on selvästi pienempi kuin kallion ja ruhjeiden hydraulisen johtavuuden arvojen.

Sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrää on myös vaikea mitata tai arvioida tarkasti. Herkkyysanalyysissä tarkasteltiin sadannasta pohjavedeksi

imeytyvän veden määrän vaikutusta suotovesimääriin. Vaikutus suotovesimääriin on pienehkö verrattuna kallion ja ruhjeiden hydraulisen johtavuuden vaikutukseen.

Pumppuvoimalaitoksen rakentamisen ja toiminnan aikana pohjavesipinnan muutoksia on hyvä seurata pohjavesiputkista ja kalliorei'istä. Vaikutus maapohjaveteen riippuu maa- ja kallioperän hydraulisen vuorovaikutuksen voimakkuudesta. Automatisoitu painetason seuranta on myös mahdollista järjestää.

8 Lähteet

AFRY 2024. Ailangantunturin pumppuvoimalaitos ja 400 kV:n voimajohto Pirttikoskelle. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Kemijoki Oy.

Airaksinen J.U. 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Kustannusosakeyhtiö Pohjoinen, Oulu. 1978. ISBN 951-9099-73-5.

Airo, M-L., Hyvönen, E., Lerssi, J., Leväniemi, H. & Ruotsalainen, A. 2014. Tips and tools for the application of GTK's airborne geophysical data. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 215, 33 s.

Carlsson, A. and Olsson, T. 1977. Hydraulic properties of Swedish crystalline rocks. Hydraulic conductivity and its relation to depth. Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala, N. S., Vol. 7, pp. 71-84. Uppsala. ISSN 0302-2749

Deep Scan Tech Oy 2024. Maaperäskannaukset Ailangantunturin ympäristössä, loppuraportti 22.12.2024. 7 s.

Gregow H., Mäkelä A., Tuomenvirta H., Juhola S., Käyhkö J., Perrels A., Kuntsi-Reunanen E., Mettiäinen I., Näkkäljärvi K., Sorvali J., Lehtonen H., Hildén M., Veijalainen N., Kuosa H., Sihvonen M., Johansson M., Leijala U., Ahonen S., Haapala J., Korhonen H., Ollikainen M., Lilja S., Ruuhela R., Särkkä J. & Siiriä S-M., 2021. Ilmastomuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021. [<https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/4ba59b96-039f-4245-9f06-01685c97bb47/content>]. (12.3.2024)

GTK 2025. <https://gtkdata.gtk.fi/mdae/index.html>

GTK Hakku-palvelu 2025. <https://hakku.gtk.fi/fi/locations/search>, haettu rakennetulkinnat

GTK Maankamara 2025. <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>

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

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

Ilmatieteenlaitos 2025. Havaintojen lataus, haettu sadanta kuukausitilastot, Kemijärven lentokentän havaintoasema.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

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

LAPELY 2019. Esitys pohjavesialueiden luokitus- ja rajaumuutoksista Kemijärven kaupungissa. LAPELY/4210/2015

Lehtinen Martti, Nurmi Pekka ja Rämö Tapani (toim.) 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry., 375 s.

Maanmittauslaitos (MML) 2025. Avoimen datan palvelu, maanpinnan topografia, taustakartta-aineistoa.

Mitta Oy 2024. Ailanka Maatutkaluotaukset 4.11.-21.11.2024.

SYKE (Suomen ympäristökeskus) 2025. Ympäristöhallinnon avoimet ympäristötietojärjestelmät. Haettu pohjavesialueet ja 3. jakovaiheen valuma-alueet.