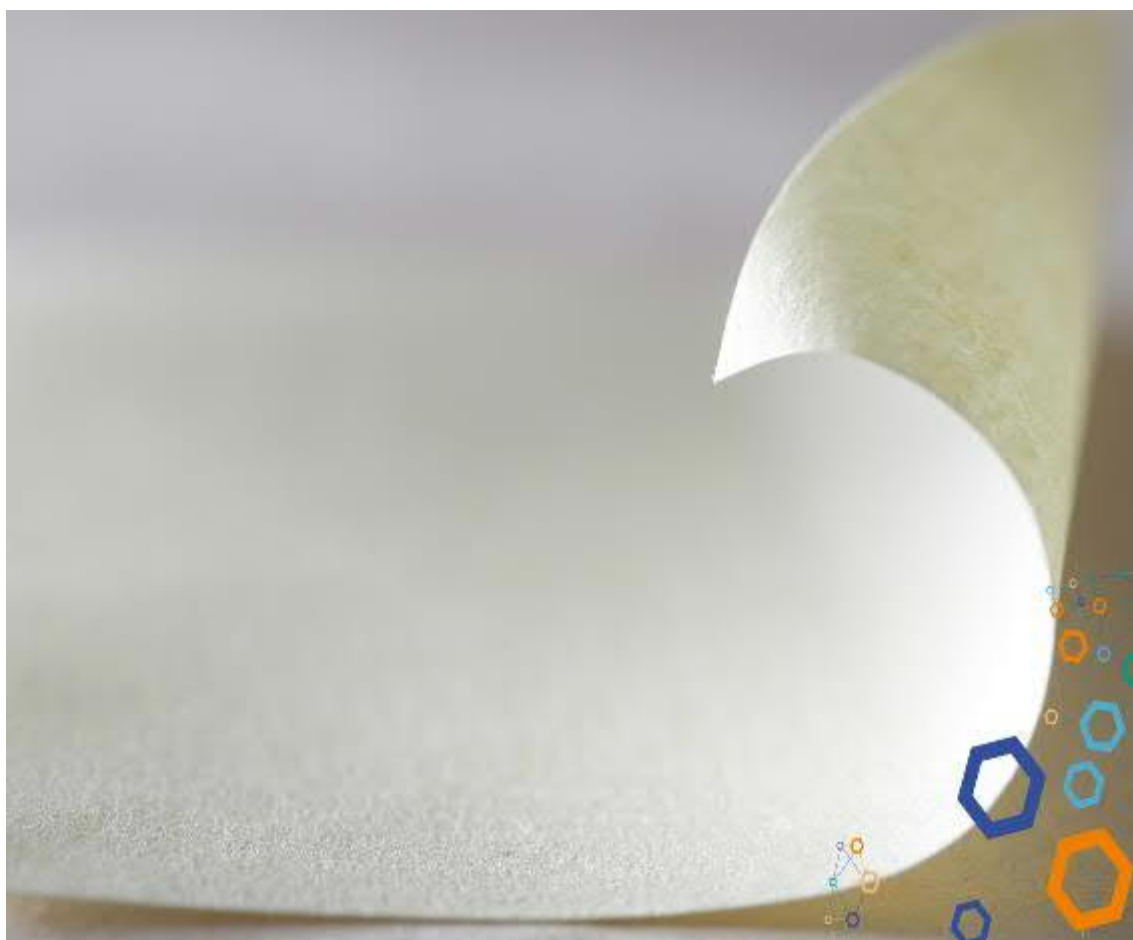


**OUTOKUMPU CHROME OY**

Hydrogeologinen selvitys Kemin kaivoksen alueelta

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.



Pöyry Finland Oy

Tiina Vaittinen, TkL

Hannu Lauri, DI

Eero Heikkinen, FM

Kaisa Kettunen, DI

Lasse Rantala, MMM (tarkastanut/hyväksynyt)

PL 50 (Jaakonkatu 3)

01621 Vantaa

Puh. 010 3311

sähköposti etunimi.sukunimi@poyry.com

www.poyry.fi

Yhteenveto

Pöyry Finland Oy (Ympäristö-toimiala) tarkasteli Outokumpu Chrome Oy Kemin kaivoksen alueen hydrogeologiset olosuhteet. Aineiston sisältö käytiin läpi ja käyttökelpoisuus arvioitiin tarkoituksena selvittää mahdollisia riskitekijöitä lähialueen ympäristölle. Vaikutuksia arvioitiin erityisesti suojelukohteena olevan Kirvesaapan ja suojelualueeksi ehdotetun Eläjärvenviian kannalta.

Aineistoina tarkasteltiin maanpinnan tasosta topografia ja maaperätiedot, sekä kaivoksen avolouhosten ja kaivosinfran geometriatiedot, joiden perusteella laadittiin pintavesien virtaussuuntien ja virtausmäärien malli. Kaivoksen vesitaseen tilaa ja kehitystä arvioitiin näiden ja maanalaisten tilojen pumppaustietojen perusteella. Lisäksi kaivoksen ympäristön geologisia olosuhteita (mm. maakerrospaksuutta ja kalliolaatua) arvioitiin yleistävästi GTK:n lentomittaustulosten perusteella.

Kallioperätietoja tarkasteltiin sekä kaivosgeometrian, kaivoksen kairaustietojen että kairauksista laadittujen kalliolaatua (RQD) ja kivilajeja koskevien tulosten ja 3-ulotteisten mallien avulla. Rikkonaisuutta kuvaavan RQD-arvon kairareikädata muokattiin 2 m komposiittiarvoiksi ja tarkasteltiin kivilajeittain ja syvyyssuhteittain. Todennäköisintä on että kallion pintaosat n. 75–100 m syvyydelle saakka, erityisesti graniittinen jalkapuolen kallio, ja erilliset rikkonaisuusvyöhykkeet, johtavat vettä eniten. Kaivoksen kattopuolelle syntyneiden ratkeamien vaikutus vedenjohtavuuteen on mahdollinen. Lisäksi tuotannon yhteydessä louhittavien tilojen sijainti vaikuttanee tähän mennessä havaittuihin seurantaputkien pohjaveden alenemiin. Rikkonaisuusvyöhykkeistä laadittavaa mallia sekä louhinnan toteumaa (tai suunnitelmaa) on hyödyllistä tarkastella tulevaisuudessa mahdollisten pohjaveden alenemien ja niiden syiden selvittämiseksi.

Kalliopohjaveden aleneman suuruutta ennakoitiin aiempien ja nyt koottujen tietojen perusteella. Aiemmin esitetty arvio laajuudesta pidettiin ennallaan. Mikäli aleneman laajuutta halutaan myöhemmin tarkastella suuremmalla varmuustasolla, tehtävä edellyttää numeerisen hydrogeologisen mallin laskentaa kaivoksesta ja sitä ympäröivästä tilavuudesta. Malli tarvitsee syöttötiedoiksi topografian ja kaivosgeometrian, pintavesi- ja ilmasto-olosuhteet, kaivoksen toteutuneet pumppaustiedot ja pohjavesiputkista saadut havaintotiedot (aikasarjat), ja mahdollisuuksien mukaan mittaustietoa maa- ja kallioperän vedenjohtavuudesta.

Aineiston perusteella tehtiin arvioita siitä, miten kaivoksen laajetessa olisi mahdollista seurata toiminnan vaikutuksia alueen kalliopohjaveden olosuhteisiin. Uusia seurantapisteitä aiempien lisäksi ehdotettiin sijoitettavaksi kaivoksen kattopuolelle (pohjoispuolelle) eri etäisyyksille kaivoksesta ja pitkin kaivoksen kulkua. Kalliopohjaveden pinnankorkeuden havainnoimiseksi porareivät ulotetaan 30 m kallioon. Vastaavat maaperän havaintoputket ulotetaan 2 m kallioon ja siiviläputki asennetaan maaperäosuudelle erillisen ohjeen mukaan.

Outokumpu Chrome Oy
Hydrogeologinen selvitys Kemin kaivoksen alueelta

Sisältö

Yhteenvedo

1	JOHDANTO	2
2	AINEISTON LÄPIKÄYNTI	2
2.1	Ilmasto.....	2
2.2	Topografia ja pintahydrologia	2
2.3	Maaperä.....	2
2.3.1	Geofysiikan lentomittausaineistot	3
2.4	Kallioperä	3
2.5	Pohjavesi	3
2.6	Kaivos	4
2.7	Hydrogeologisen aineiston sisältö	4
3	HYDROGEOLOGINEN KONSEPTUALISOINTI.....	6
3.1	Valuma-alueanalyysi ja pintavesien mallinnus	6
3.1.1	Maaperän geometria ja kallionpinta	6
3.1.2	Virtaussuunnat	8
3.1.3	Sääolosuhteet.....	10
3.1.4	Kaivoksen vesitase.....	12
3.1.5	Vesitaseen mallinnus	14
3.1.6	Maanalaisen kaivoksen pumppaus vs. valuma	15
3.1.7	Kokoojakaivon vesimäärät	18
3.2	Kallioperä ja ruhjemalli	19
3.3	Hydrogeologiset havainnot	23
4	UUSIEN HAVAINTOPISTEIDEN SJOITTAMINEN.....	25
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	26
6	KIRJALLISUUSVIITTEET	28

Liitteet

Liite 1. Outokumpu Kemin kaivos, pohjavesiputkien asennus

1 JOHDANTO

Pöyry Finland Oy tarkasteli Outokumpu Chrome Oy Kemin kaivoksen alueen hydrogeologiset olosuhteet saatavilla olevan aineiston perusteella. Aineiston sisältö käytiin läpi ja käyttökelpoisuus arvioitiin puuteanalyysissä. Tarkoituksena oli selvittää mahdolliset riskitekijät kaivoksen lähialueen ympäristölle toiminnan laajetessa. Erityisiä vaikutuksia on ennakoitu avolouhosten pohjoispuolella. Näitä voivat olla jännitystilän muutosten aiheuttamien uusien rakojen muodostuminen louhittavan esiintymän kattopuolen kallioperään. Lisäksi syvä kaivos voi aiheuttaa kalliopohjaveden alenemaa kaivoksen ympäristössä. Kalliopohjaveden aleneman vaikutus lähiympäristön pohjaveden pintaan arvioitiin erityisesti luonnonsuojelualueiksi ehdotettujen Kirvesaavan ja Elijärvenviian kannalta. Kirvesaapa on nykyisellään Natura 2000 –ohjelmassa ja Elijärvenviia Soidensuojelun perusohjelmassa.

Tehdyn tarkastelun perusteella saadaan käsitys siitä, millainen lähtöaineisto on käytettävissä ja millainen on käsitys alueen pohjavesitilanteesta. Lähtöaineistoa on arvioitu myös mahdollista pohjaveden numeerista mallinnusta ajatellen.

2 AINEISTON LÄPIKÄYNTI

Saatavilla oleva aineisto jaoteltiin maanpinnan tason materiaaliin, sekä kaivoksen toiminnasta saatavilla olevaan kairareikä- ja tunneliaineistoon. Materiaalia koottiin julkisista avoimista tietokannoista, ostettiin käyttöön Geologian Tutkimuskeskuksesta (GTK) (alueellisen lentogeofysiikan karttarasterit) ja saatiin käyttöön Outokumpu Chrome Oy:ltä. Valtaosa kaivoksen kairareikien ja kaivoskartoituksen aineistosta oli valmiiksi käytettävissä Pöyry Finland Oy Infra-toimialan Deep Mine –projektia varten kokoamassa tietokannassa ja malleissa.

2.1 Ilmasto

Ilmastotietoina koottiin sadanta Tornion mittausasemalta (Ilmatieteen laitos 2019) sekä haihdunta ja valuma SYKE:n Vemala mallinnus- ja arviointijärjestelmän Iso-Ruonaojan alueelle laskemista aluearvoista.

2.2 Topografia ja pintahydrologia

Maanmittauslaitoksen laatimista 2 m ja 10 m solukoon korkeusmalleista tehtiin valuma-alueen rajaus (vedenjakajat). Karttatietokannasta otettujen vesistötietojen (järvet, virtavedet, ojat ja suot) sekä korkeusmallin avulla analysoitiin mikrovaluma-aluemalli. Tätä informaatiota käytettiin sadantatietojen ja maaperätietojen ohella pintaveden valunnan mallintamiseen. Tuloksena saatiin pintaveden virtaussuunnat ja virtausmäärät.

Analyysissä käytettiin hyödyksi alueelta saatavissa olevaa rikastushiekka-altaiden, louhekivialueiden ja avolouhosten topografiatietoja.

2.3 Maaperä

Geologian Tutkimuskeskuksen digitaalisesta maaperäkartasta sekä Syke:n Corine-maankäyttötietokannasta kerättiin tiedot alueen maaperästä. Maaperämuodostumat, suoalueet sekä pintamaalajit tarkasteltiin kartoista. Maalajitietoja arvioitiin niiden vedenläpäisevyyden ja kallioperään tapahtuvan suotautumisen kannalta. Alueelta saatavilla olleet poraustiedot hyödynnettiin maapeitteen paksuusarvioita varten.

2.3.1 Geofysiikan lentomittausaineistot

Geologian tutkimuskeskuksesta hankittiin Kemin alueen matalalentomittausten karttarasterit. Vuonna 1982 lennetty aineisto kattaa koko tarkastellun alueen. Aineisto on lennetty 200 m linjavälein pohjois-etelä -suunnassa ja prosessoitu 50 m solukoon rasteriksi. Aineisto sisältää magneettisen kokonaiskentän, 3 kHz sähkömagneettisen mittauksen reaali- ja imaginaarikomponentit ja lasketun ominaisvastuksen, sekä luonnon gammasäteilyn spektrimittauksesta lasketut kokonaissäteilyn voimakkuuden ja uraanin, toriumin ja kaliumin säteilyvoimakkuudet.

Magneettisen kokonaiskentän tuloksista oli tarkoitus selvittää kivilajiviitteet sekä mahdolliset viitteet rikkonaisuusrakenteista, joilla voisi olla veden virtausten kannalta merkitystä.

Sähkömagneettisen mittauksen imaginaarikomponentin tuloksista oli tarkoitus selvittää heikosti sähköä johtavien kallioperän rikkonaisuusrakenteiden mahdollisia viitteitä sekä maaperäkerrosten paksuusvaihtelun tietoja. Reaalikomponentin tuloksista oli tarkoitus selvittää mahdollisten kallioperän johderakenteiden olemassaoloa. Rikkonaisuusrakenteiden viitteillä on merkitystä veden virtausten kannalta.

Säteilyn mittauksista arvioitiin kosteikkoalueiden laajuutta ja turvekerroksen paksuustietoa karttatietokannassa ja maaperäkartassa esitettyjen tietojen tueksi ja yksityiskohtien täydentämiseksi. Säteilyn monikomponenttikartan avulla tarkennettiin käsitystä harju- ja hiekkamuodostumien, moreenialueiden ja kallioalueiden sijainnista kohteessa.

2.4 Kallioperä

Kallioperän pääkivilajit ja merkittävät rikkonaisuusviitteet tarkasteltiin alustavasti Geologian tutkimuskeskuksen karttatietokannan perusteella. Lisäksi kaivokselta saatiin käyttöön kivilajimalli.

Pöyryllä on samanaikaisesti käynnissä suurrakennemallin päivitys. Työhön sisältyvät alustavat ruhjeiden mallinnustulokset olivat käytössä tässä työssä. Rikkonaisuusviitteet kattavat avolouhosten lähiympäristön sekä maanalaisen kaivoksen tiloja.

Kairareikien tietokanta ja 3-ulotteiset mallit sisältävät tiedot malmin sekä pääkivilajien jakautumisesta ja geometriasta. Tietokanta sisältää reikien sijainti- ja taipumatiedot. Lisäksi tietokanta sisältää rikkonaisuuteen viittaavan kalliomekaanisen kartoitustiedon (RQD, Rock Quality Designation). RQD oli alun perin kartoitettu yleistettyinä tietoina vaihtelevien reikäpituuksien mukaan. Tätä tarkastelua varten se laskettiin 2 m pituisten reikajaksojen komposiiteiksi ja jaoteltiin pääkivilajien ja syvyysvälien mukaisesti, tarkoituksena kuvata rikkonaisuuden merkitys kalliopohjaveden virtaukselle. RQD-arvoista on käytettävissä myös tilavuusmalli.

2.5 Pohjavesi

Maa- ja kallioperästä ei ole saatavilla alueelta tuotettuja vedenjohtavuuden tietoja.

Alueella on 8 kpl pohjaveden havaintoputkia (PV1 – PV8), joista on mitattu pohjaveden pinnankorkeus neljästi vuodessa. Putkissa PV1 – PV6 ja PV8 on asennettu siiviläosuus maakerrokseen ja putkilla havainnoidaan maaperän pohjaveden korkeusasemaa. Putki PV7 on porattu 7 m kallioon, ja siinä on siiviläosuus maaperäosuudella sekä lävistys kallioperässä. Putkella havainnoidaan maa- ja kallioperän pohjavesien yhteisvaikutusta, joita ei voida erottaa toisistaan. Havaintojen aikasarjat on tarkasteltu tässä työssä.

2.6 Kaivos

Kaivoksen toiminnan yhteydessä saadut kairareikä tiedot, avolouhosten ja tunneleiden kartoitustiedot ja geometriset mallit hyödynnettiin selvityksessä. Tiedot oli yleistetty kivilaji- ja rikkonaisuusmalleiksi kaivoksen lähtilavuudesta. Kairareikä kattavat käytännössä tutkitun malmimuodostuman ja suunnitellun kaivoksen tilat.

Kaivoksen geometriasta saatiin käyttöön avolouhosten ja maanalaisen kaivoksen geometriat sekä rikastushiekka-altaiden, louheen varastoalueiden ja vesivarastoaltaiden tiedot.

Kaivoksen vesitaseesta saatiin käyttöön vuodesta 2012 lähtien maanalaisesta kaivoksesta kertyneet pumppaustiedot (määrät ja paikat) sekä purkupaikat ja määrät avolouhoksista rikastushiekka-altaaseen ja vastaanottavaan vesistöön.

2.7 Hydrogeologisen aineiston sisältö

Hydrogeologisen aineiston sisältöanalyysin tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 1). Taulukossa ovat sekä olemassa olevan aineiston että mahdollisesti tarvittavan aineiston sisällöt. Mahdollisesti tarvittavat aineistot liittyvät tilanteeseen, jos alueella halutaan tehdä numeerista kalliopohjaveden virtausmallinnusta. Tarkastelussa on huomioitu maanalaisen kaivoksen rakentamisen ja tuotannon vaikutus kalliopohjaveden ja maakerrosten pohjaveden pinnan tasoon sekä mahdolliset vaikutukset ympäröivään alueeseen ja ehdotettuihin suojelualueisiin (itä- ja pohjoispuoliset suoalueet).

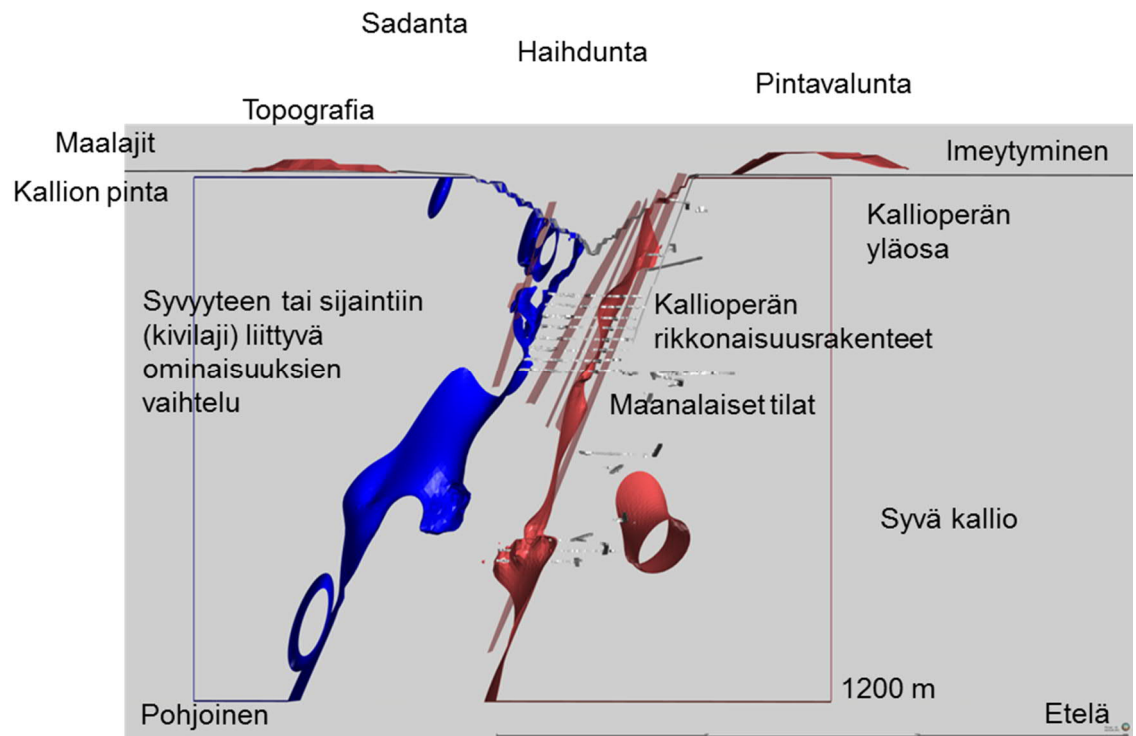
Taulukko 1. Hydrogeologisen aineiston osalta on esitetty kuhunkin alaan liittyen aineiston sisältö, käyttötarkoitus sekä aineiston lähde.

Ala	Sisältö	Tarkoitus	Lähde
Ilmasto 2011-2018	Sadanta (kuukausi- ja vuosikeskiarvot), lumen vesi-arvo, lämpötila, haihdunta, valuma	Vesitasemallinnus. Pintavesimallin laskenta. Käyttö mahdollisessa pohjavesimallinnuksessa.	Sääasematiedot (Tornio), kaivosalueella ei asemaa, joka kattaisi luotettavasti koko tarkastelujakson. Valuma ja lumen vesi-arvot SYKE.
Topografia	Korkeusmalli	Pintavesien virtaussuunnat ja virtausmäärät vesitasetta varten. Käyttö mahdollisessa pohjavesimallinnuksessa.	Maanmittauslaitos 2 m malli. Kaivokselta rikastushiekka- ja louhealueet, avolouhokset, kaivosinfra.
Hydrologia	Vedenjakajat, valuma-alueet, vesistöt.	Pintavesien purkautuminen. Käyttö mahdollisessa pohjavesimallinnuksessa.	Maanmittauslaitos 2 m malli, mikrovaluma-alueet (analyysi), virtavedet karttatietokanta. Kaivoksen louhos-, jätekivi- ja rikastushiekka sekä vesivarastotiedot.
Vesitase	Virtaussuunnat, määrät, pumppaukset. Raakavesi. Prosessivesi.	Kaivoksen vesitase.	Avolouhokset, maanalainen kaivos, rikastushiekka-altaat, selkeytysallas.
Maaperä	Maalajit, maaperämuodostumat, suoalueet, maakerrospaksuus, avokallioalueet.	Kallioon suotautuva vesi, maakerrosten veden pidätyskyky, aleneman riski kosteikoilla. Käyttö mahdollisessa pohjavesimallinnuksessa.	Syke Corine, SYKE Vemala malli, poraustiedot, GTK karttapalvelu, GTK lentogeofysiikan aineisto.
Pohjavesi	Vedenpinnan tason mittaus neljästi vuosittain ja mahdollinen ajallinen muutos, vesitase	Uusien pohjavesiputkien suunnitelma. Käyttö mahdollisessa pohjavesimallinnuksessa.	Outokumpu Chrome pohjavesiputket, Pöyry Oulu vedenpinnan korkeuden seurantatiedot.

Kallioperä	Kivilajit	Pääkivilajit. RQD ja rikkonaisuus-tarkastelu Käyttö mahdollisessa pohjavesimallinnuksessa.	Outokumpu Chrome, Pöyry Infra, kairatietokanta ja geometrinen malli.
	Rikkonaisuus, RQD, suurrakenteet	Rikkonaisuuden esiintyminen ja jakautuminen kalliossa vedenjohtavuutta ennustavana tekijänä. Vaihtelu syvyysuunnassa, paikan suhteen ja kivilajeittain, rikkonaisuusvyöhykkeet ja keskimääräinen kallio. Käyttö mahdollisessa pohjavesi-mallinnuksessa.	Outokumpu Chrome, Pöyry Infra, kairatietokanta, tunnelikartoitus, avolouhos ja geometrinen malli. Jatkuvuudet, lineamentit ja lentogeofysiikan aineisto.
	Ratkeamat kattopuolen kalliossa.	Ratkeamien sijainti.	Outokumpu Chrome. Pöyry Infra.
	Kalliopohjavesi ja vedenjohtavuus	Syväkallion pohjaveden pinta (t. paine), louhinnan vaikutukset. Kallion vedenläpäisykyky. Mittaus, tulkinat tai arvio. Käyttö mahdollisessa pohjavesimallinnuksessa.	Syväkairareikiä ei ole seurattu. Maa- ja kallioperän vedenjohtavuuden määrittämiä ei ole tehty.
Kaivos	Kaivoksen tilat	Tilojen vaikutus pohjaveden pintaan.	Outokumpu Chrome, Pöyry Infra, geometrinen malli.
	Kuivatusvedet	Vesitase. Käyttö mahdollisessa pohjavesi-mallinnuksessa.	Pumppausasemat, vesimäärät 2012 alkaen, purkupaikat. Kokoojakaivo. Outokumpu Chrome
	Louhinta-suunnitelma	Louhittujen tilojen ajoitus ja sijainti suhteessa havaittuihin alenemiin ja mallinnettuihin rikkonaisuus-rakenteisiin.	Outokumpu Chrome
Suojelu-alueet	Aluerajaus	Olemassa olevien ja ehdotettujen alueiden rajaukset, suojeluperusteet (perusteiden vaarantuminen)	Metsähallitus

3 HYDROGEOLOGINEN KONSEPTUALISOINTI

Kemin kaivosalueen hydrogeologisten olosuhteiden ymmärtämistä varten käytettävissä oleva aineisto on koottu ja arvioitu hydrogeologista konseptualisointia varten. Skemaattinen kuvaus konseptualisoinnista on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 1).



Kuva 1. Skemaattinen kuvaus hydrogeologiseen konseptualisointiin liittyvistä ominaisuuksista. Pohjana on pohjois-etelä -suuntainen poikkileikkauskuva kivilaji- ja rikkonaisuusmallista Elijärven louhoksen kohdalta. Punaisella on esitetty kaivoksen jalkapuolen granitoidi, ja sinisellä kattopuolen peridotiitti.

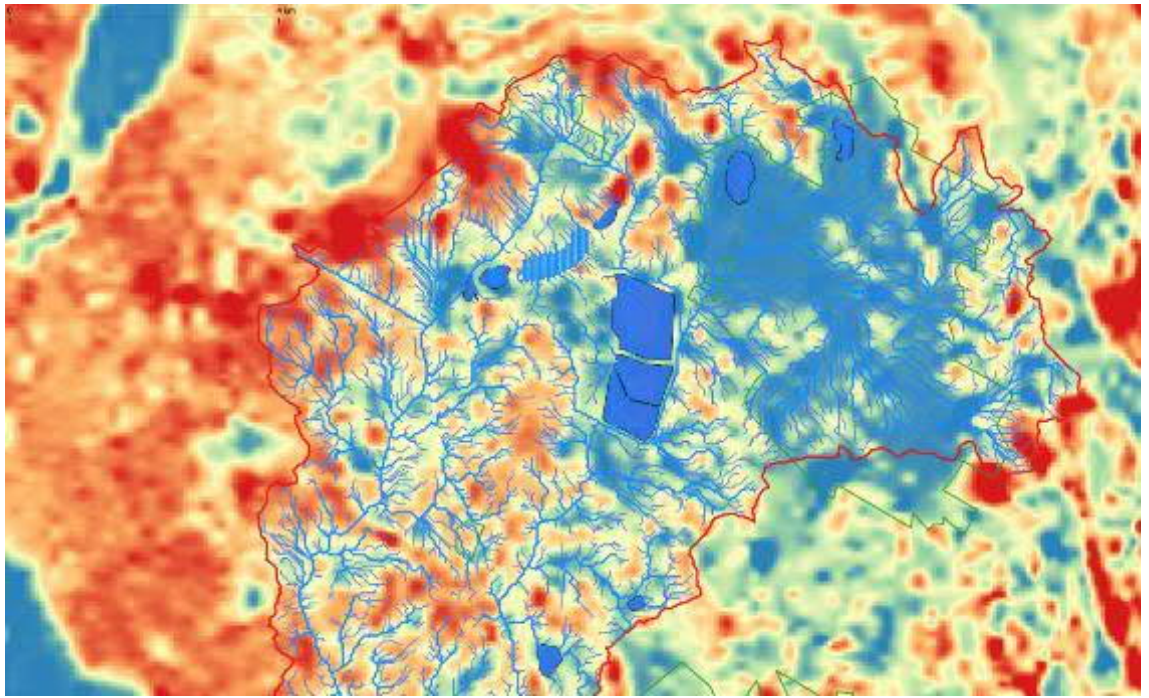
3.1 Valuma-alueanalyysi ja pintavesien mallinnus

3.1.1 Maaperän geometria ja kallionpinta

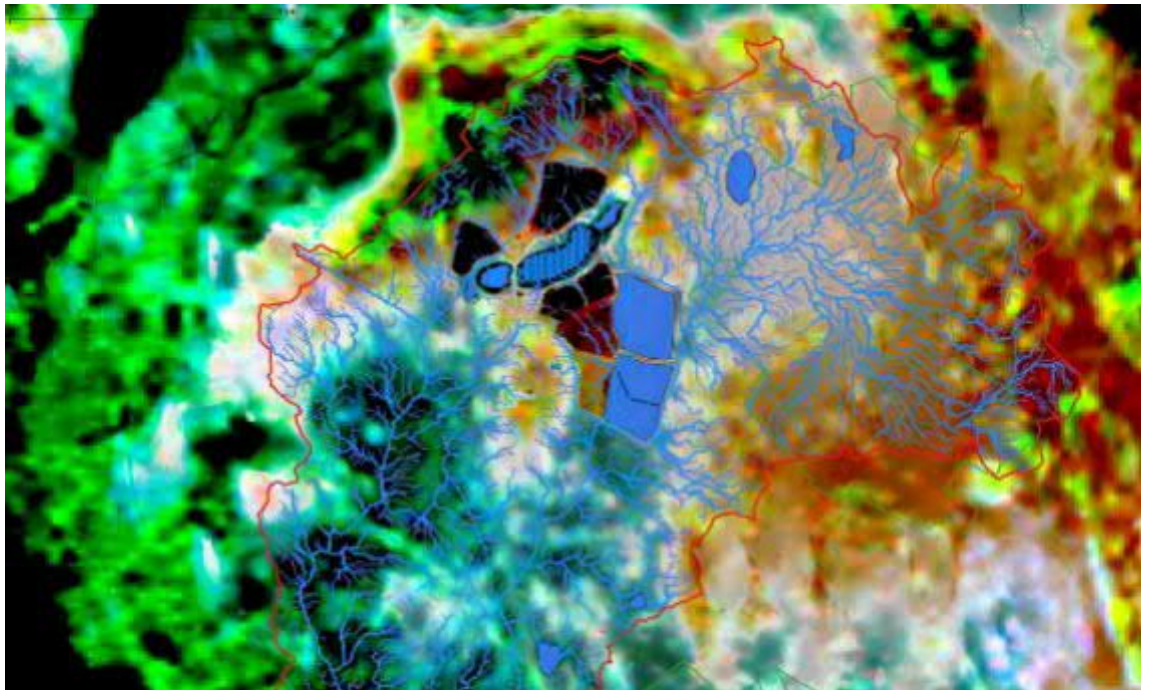
Valuma-alueen luoteis-pohjoisosassa on karkearakeista maalajia edustava harjumuodostuma (Sivakkavaara-Hietakangas-Rovavaara), joka sijaitsee vedenjakajalla. Elijärvenviia sijaitsee tämän muodostuman etelärinteellä. Rinteen alaosassa turvemaata on paksuinta.

Alueen itäosassa vallitsevana on laaja, tasainen Kirvesaapa, jonka alueella saraturpeesta koostuvat turvemaat ovat paksuimpia. Kaivoksen ja Kirvesaapan välimaastossa pintamaalajit ovat osin hiekkamoreenia, osin karkearakeista hiekkaa tai soraa.

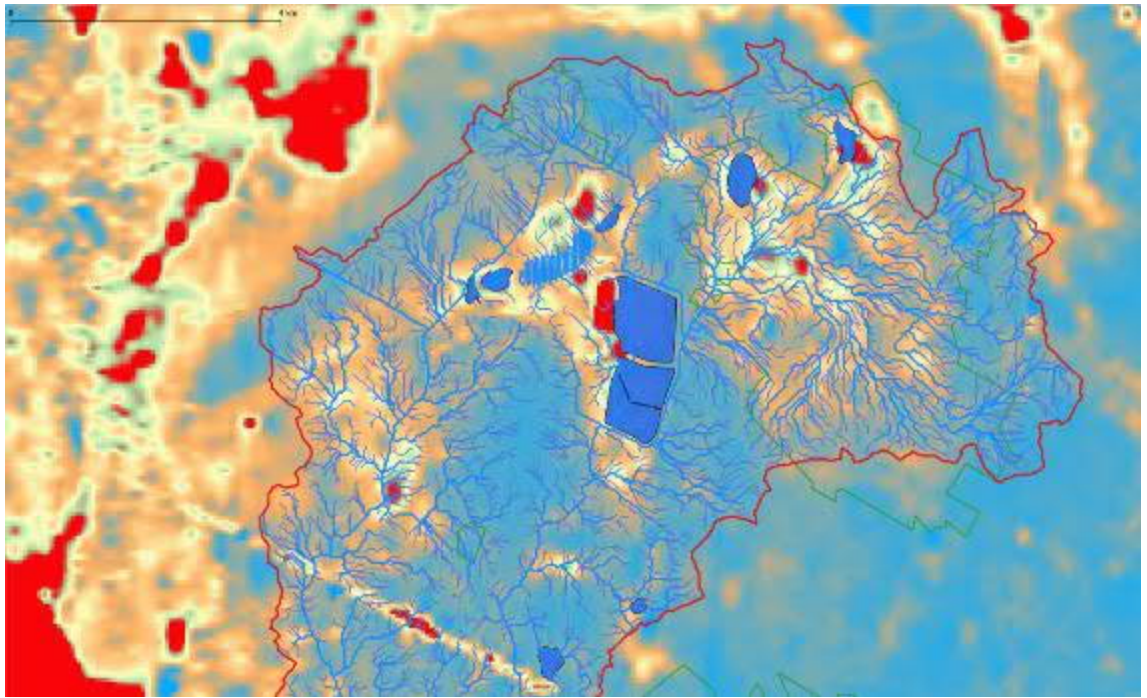
Valuma-alueen länsi- ja eteläosassa pintamaalaji on hiekkamoreenia, kaivoksen länsipuolella paikoin myös karkeaa hietaa ja soraa. Pintamaalajin vaihtelu sekä turve- ja moreenikerroksen paksuusvaihtelu nähdään lentogeofysiikan säteilymittauskartoissa ja sähkömagneettisen imaginaarikomponentin kartassa (Kuva 2, Kuva 3 ja Kuva 4).



Kuva 2. Geofysikaalinen lentomittaus vuodelta 1982, luonnon gammasäteilyn kokonaisvoimakkuus. Matalan intensiteetin alueet (sininen väri) liittyvät kostean pintamaan (esim. turve) esiintymiseen. Punaiset värit osoittavat moreenin, hiekan tai kallion esiintymistä pinnassa. Lisäksi valuma-alue ja laskennalliset uomat on esitetty kuvassa.



Kuva 3. Geofysikaalinen lentomittaus vuodelta 1982, luonnon gammasäteilyn uraani-, kalium- ja torium-kanavien intensiteetin yhdistelmäkartta. Tummat sävyt (matala intensiteetti) viittaavat paksun tai kostean maapeitteen alueisiin, vihreät värit lajittuneisiin maakerroksiin (harjualueet), kirkkaat ja sinertävät kallio- ja moreenialueisiin, ruskeat turvepeitteisiin alueisiin. Rikastushiekka-altaan värisävy on lajittuneen mineralogian vuoksi heikosti punertava (radon, tms), kosteuden vuoksi voimakkuus on matala. Lisäksi valuma-alue ja laskennalliset uomat on esitetty kuvassa.



Kuva 4. Geofysikaalinen lentomittaus vuodelta 1982, sähkömagneettisen mittauksen imaginaari-komponentin voimakkuus. Punaiset alueet edustavat rakennuksia, vesistö- ja merialueita ja esimerkiksi sähkölinjoja, tai paksumman vesitäytteisen hienoaineskerroksen kuten rikastushiekan sijainteja. Tämä aiheutuu ympäristöä korkeammasta sähkönjohtavuudesta, esim. raekoon, vesipitoisuuden tai mineralogian vuoksi. Kohonneet arvot (keltaiset ja oranssit alueet) edustavat paksumman maapeitteen alueita, johtavien maalajien esiintymistä, kallion rikkonaisuusvyöhykkeitä tai kallion johdevyöhykkeitä. Sinertävät alueet (matalat arvot) edustavat ohuen maapeitteen alueita. Lisäksi valuma-alue ja laskennalliset uomat on esitetty kuvassa.

Maakerrosten paksuudet ovat yleensä vain 0–2 m, Kirvesaapan pohjoisosissa syvimmillään paikoin yli 5 m. Kerrosintruusion kontaktissa on paksumman maapeitteen alue, joka viittaa kontaktin myötäiseen kallion pintaosan rikkonaisuuteen (mahdollisesti hirtovyöhykkeen myötäisenä).

Kaivosalueen etelä- ja lounaispuolella maapeite on ohut, ja kallio on paikoin paljastunut.

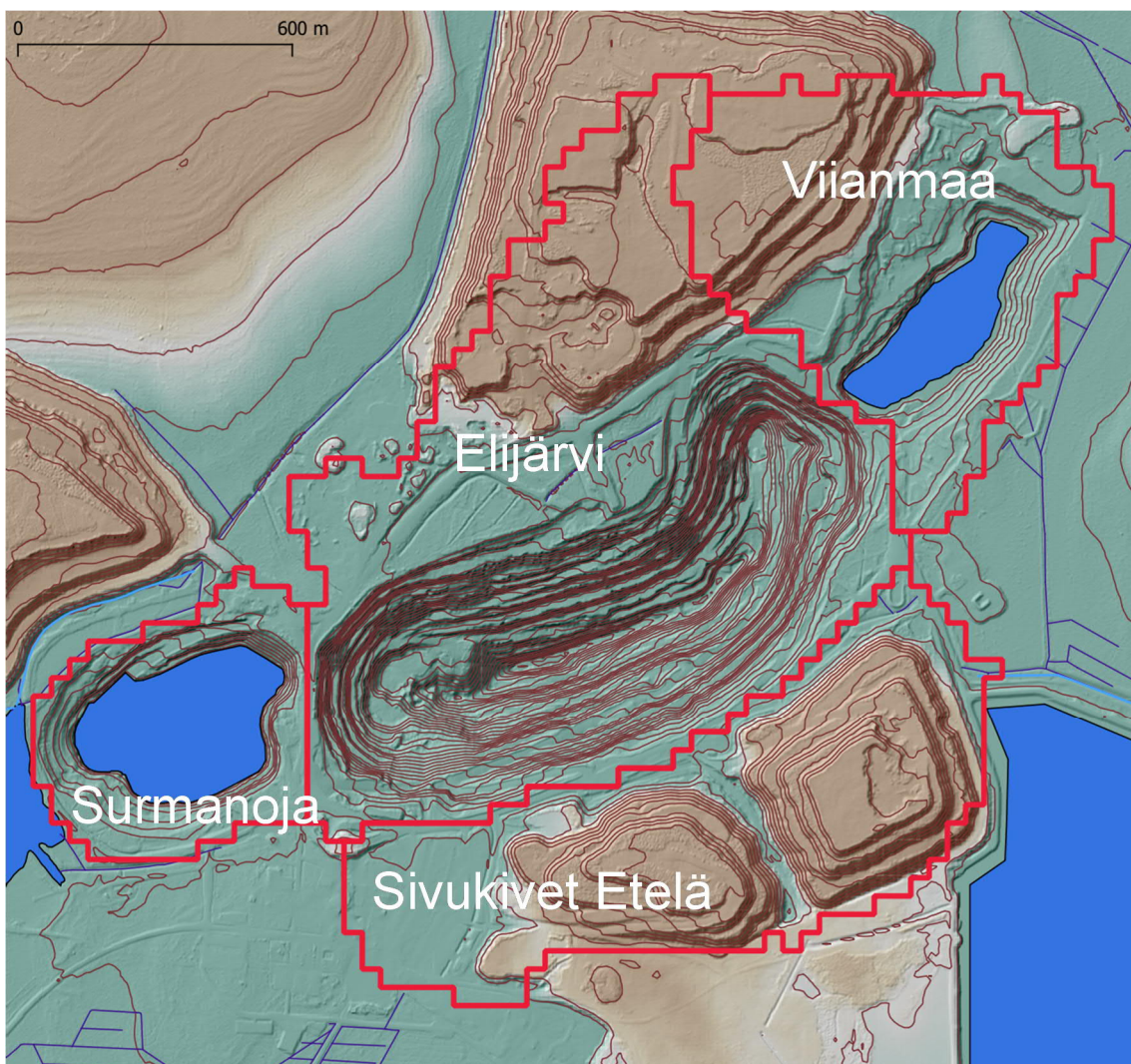
Ennen kaivostoiminnan aloittamista on nykyisen Elijärven avolouhoksen kohdalla, sekä pohjoisen rikastushiekka-altaan länsipuolella sijainnut Elijärvi.

3.1.2 Virtaussuunnat

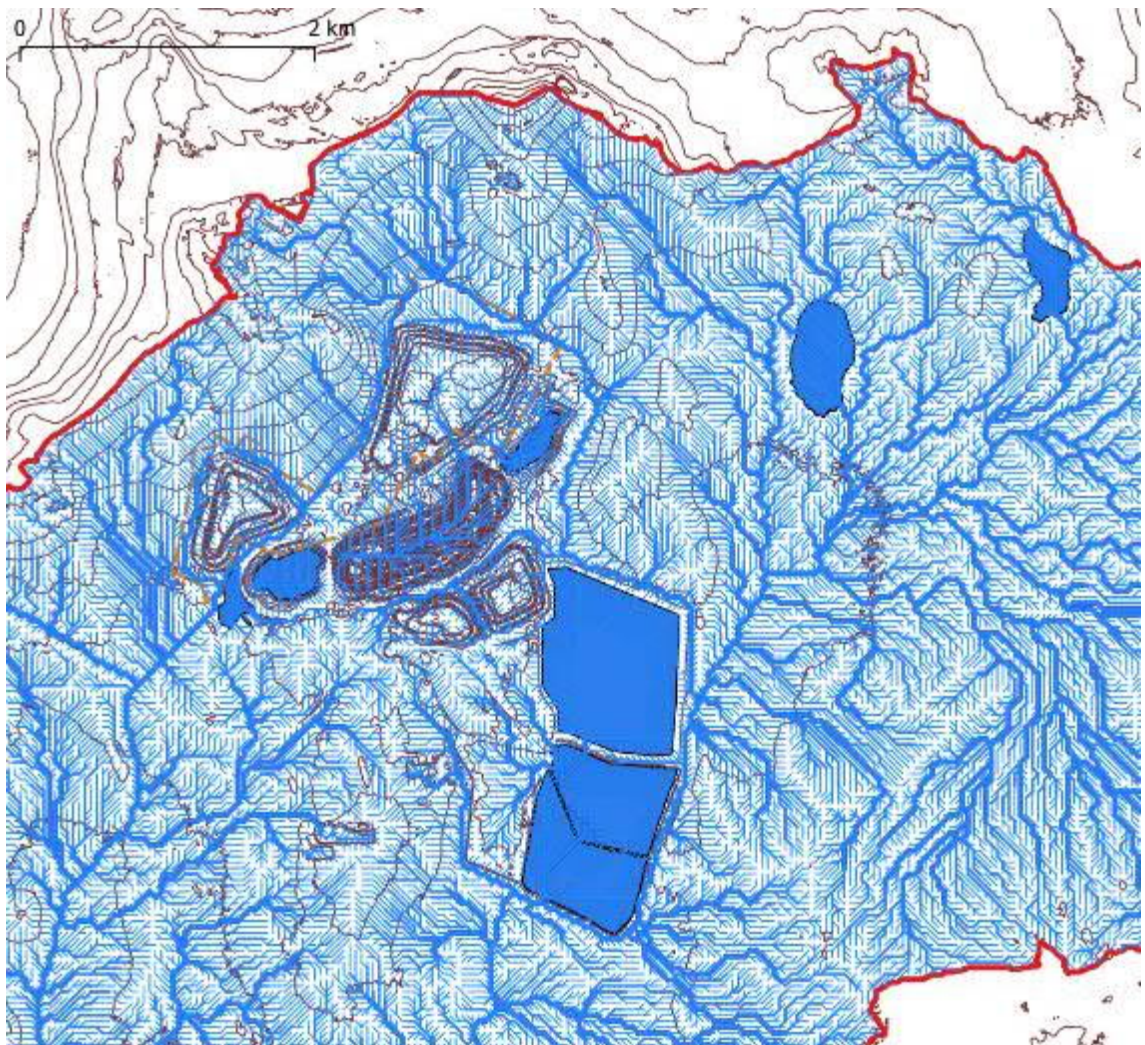
Korkeusmallin, karttatietojen ja asiakkaalta saatujen tietojen pohjalta pintavesille laskettiin valumasuuntaverkko, ja tämän valumaverkon perusteella edelleen valuma-alueet louhoksille ja louhosten eteläpuolella olevalle kokoojakaivolle. Laskennassa käytettiin 40 m x 40 m ruutukokoa. Louhosten valuma-alueet on esitetty kuvassa (Kuva 5), ja valuma-alueiden koot taulukossa 2. Osa lasketusta Iso- ja Vähäruonaojan valuma-alueen valumaverkosta on esitetty kuvassa (Kuva 6). Louhosten valuma-alueiden koot voivat poiketa jonkin verran aikaisemmin lasketuista valuma-alueista johtuen eri arviointimenetelmästä. Eteläisen sivukivialueen valuma-alue voi poiketa tässä arvioidusta ojitusten valumasuunnista riippuen.

Taulukko 2: Valuma-alueiden koot ja teoreettiset keskimääräiset mallinnetut pintavalunnan määrät valuma-alueilta jaksolta 2011-2018

Alue	Koko, km ²	Keskim.valuma m ³ /a
Elijärvi	1,26	727 400
Sivukivet Etelä	0,65	340 200
Viianmaa	0,57	294 200
Surmanoja	0,28	152 500



Kuva 5. Louhosten ja eteläisen sivukivikasan valuma-alueet korkeusmallin ja muiden lähtötietojen perusteella.



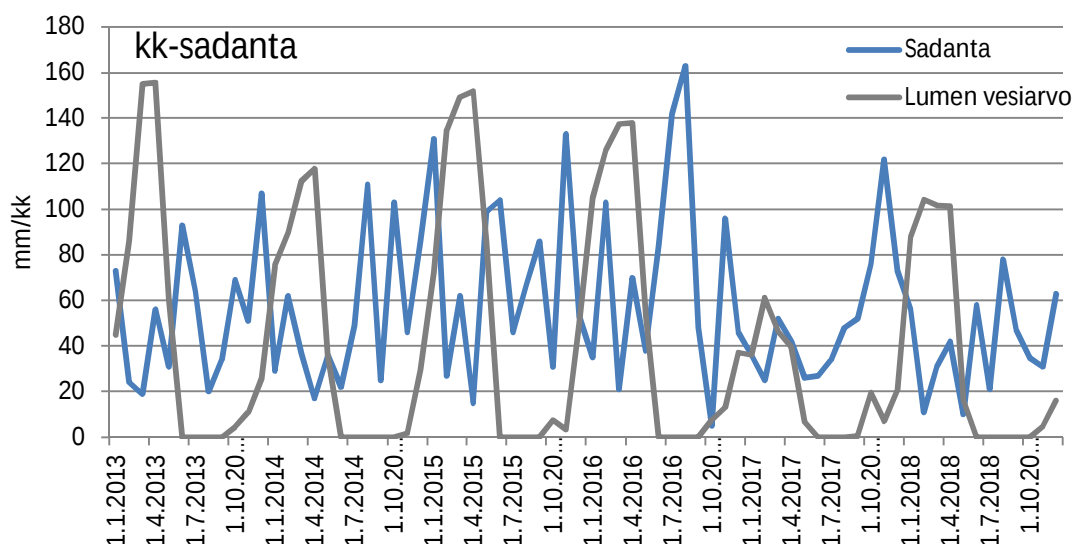
Kuva 6. Lasketut pintavalunnan virtaussuunnat kaivoksen lähialueella. Punainen viiva on Iso- ja Vähäruonaojan yhteisen valuma-alueen raja. Virtauksen määrä on suhteessa virtausta kuvaavan viivan paksuuteen.

3.1.3 Sääolosuhteet

Vesimäärien kannalta olennaiset tiedot säästä liittyvät sadannan ja haihdunnan erotukseen, eli valumaan. Haihdunta vaihtelee maankäytön mukaan, joten myös valuma on erilainen eri alueilta. Tässä luvussa on arvioitu lyhyesti sadannan ja valuman vaihtelua jaksolla 2011–2018 kuukausi- ja vuosikeskiarvojen avulla mitattuja sadantamääriä ja SYKEN Vemala-mallin arvioimia valumamääriä käyttäen.

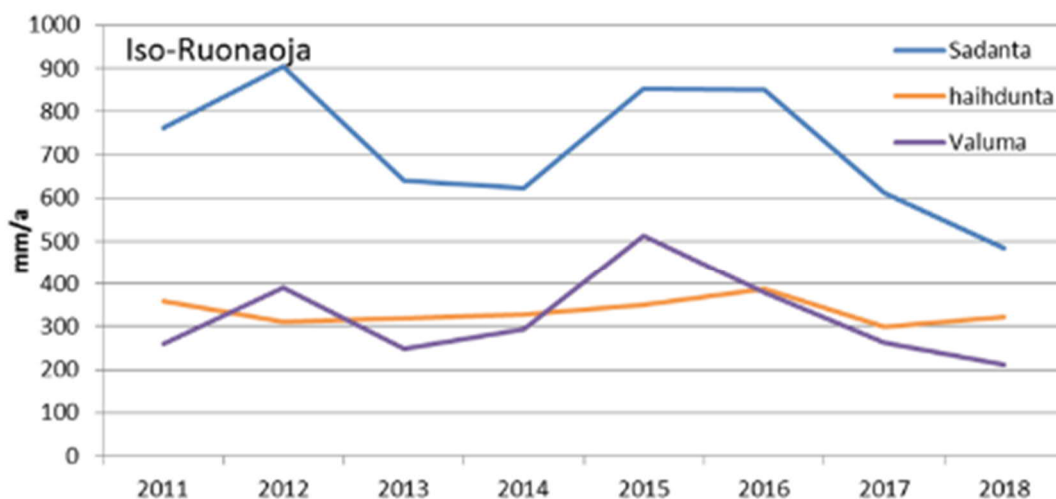
Sadannan kuukausiarvot on esitetty Tornion mittausaseman tietoihin perustuen (Ilmatieteen laitos 2019) ja mallinnettu lumen vesiarvon maksimi kultakin kuukaudelta (SYKE 2019) (Kuva 7). Tornion sääasema sijaitsee Torpin teollisuusalueella noin 25 km länsi-luoteeseen kaivosalueelta, lumen vesiarvo on Iso-Ruonaojan alueelle mallinnettu. Sadanta on vaihdellut välillä 10–160 mm/kk. Lumen vesiarvo keväällä on ollut suurimmillaan noin 155 mm (vuosi 2013), ja alimmillaan 60 mm (vuosi 2017).

Säavaihtelut voivat olla suuria jo pienelläkin alueella. Tornion säätietoja on käytetty, koska Kemin kaivoksen säadata ei kata koko tarkastelujaksoa, eikä säätietoa ole pidetty luotettavana. Tällä hetkellä kaivoksella on kaksi sääasemaa.



Kuva 7. Kuukausisadanta ja lumen vesiarvo, sadanta Tornio Torppi, lumiarvo Vemala-järjestelmästä.

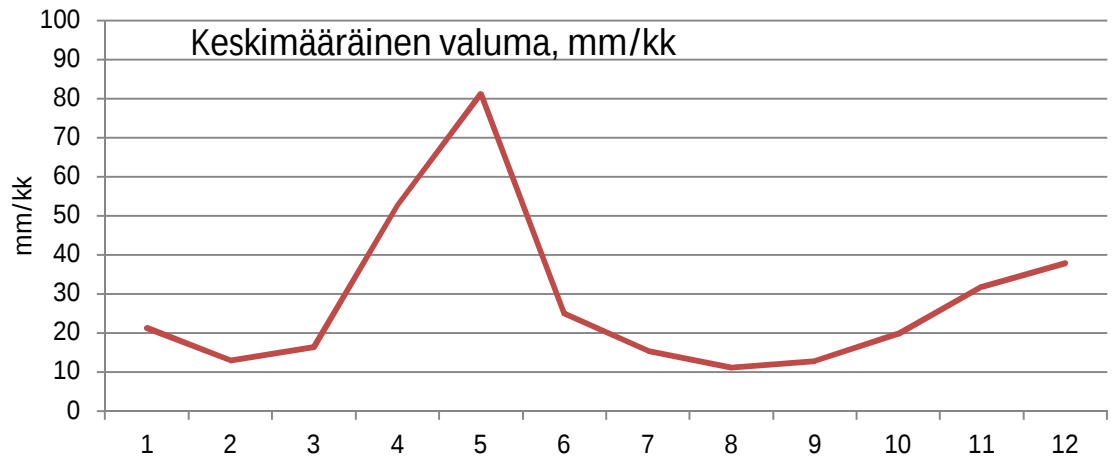
Sadannan, haihdunnan ja valuman vuosi-arvot on esitetty kuvassa (Kuva 8). Sadanta on Tornion asemalta, haihdunta ja valuma Vemala-järjestelmän Iso-Ruonaojan alueelle laskemista aluearvoista (SYKE 2019). Sadannan osalta vuodet 2015 ja 2016 ovat olleet keskimääräistä sateisempia (2011–2018 keskiarvo 718 mm), ja vuodet 2017 ja 2018 keskimääräistä vähäsateisempia. Varsinkin vuonna 2018 sadanta on ollut pieni, noin 2/3 keskiarvosta. Aluevaluman suurin vuosi-arvo on vuonna 2015 (511 mm/a) ja pienin vuonna 2018 (211 mm/a).



Kuva 8. Vuosi-arvot: sadanta, haihdunta ja valuma Sadanta Tornion sääasema, haihdunta ja valuma Iso-Ruonaoja/Vemala

Valuman keskimääräiset kuukausiarvot on esitetty Vemala-mallin laskeman aluevaluman pohjalta (Kuva 9). Jokaisen kuukauden kohdalle on tässä keskiarvotettu kyseisen kuukauden valumat vuosien 2000–2018 ajalta. Suurin kuukausikeskiarvo on lumien sulannan aikaan toukokuussa (~80 mm/kk). Pienimmät arvot (~10 mm/kk) saavutetaan tyypillisesti elokuussa ja keskitalvella helmikuussa. Kuukausivalumien ääriarvot jaksolla 2000–2018 ovat pienin 1 mm/kk (joulukuu 2002) ja suurin 124 mm/kk (toukokuu 2005).

Sadannan, haihdunnan ja valuman vuosi-arvot on esitetty taulukossa 3.



Kuva 9. Keskimääräinen valuma kuukaudessa (mm/kk), 2000-2018, Vemala/Iso-Ruonaojan valuma-alue (84.151).

Taulukko 3: Sadannan, haihdunnan ja valuman vuosisummat jaksolta 2011-2018

Vuosi	Sadanta mm/a	Haihdunta mm/a	Valuma mm/a
2011	763	358	261
2012	905	310	390
2013	641	319	249
2014	623	329	293
2015	854	351	511
2016	851	386	379
2017	613	299	262
2018	483	323	211

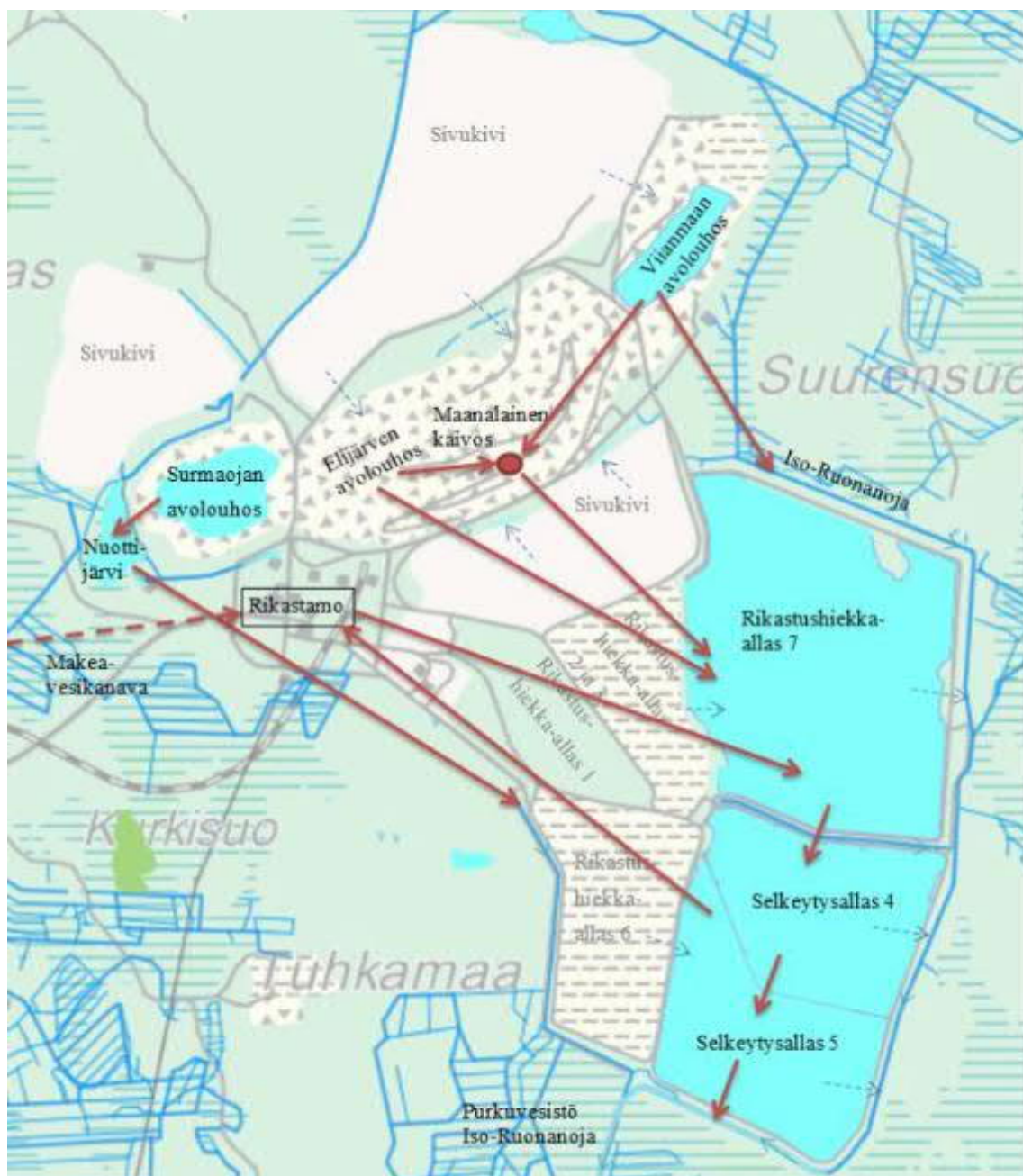
3.1.4 Kaivoksen vesitase

Kaivoksella vedet kerääntyvät avolouhoksiin, maanalaiseen kaivokseen ja rikastushiekka-altaaseen sekä selkeytysaltaaseen (Kuva 10).

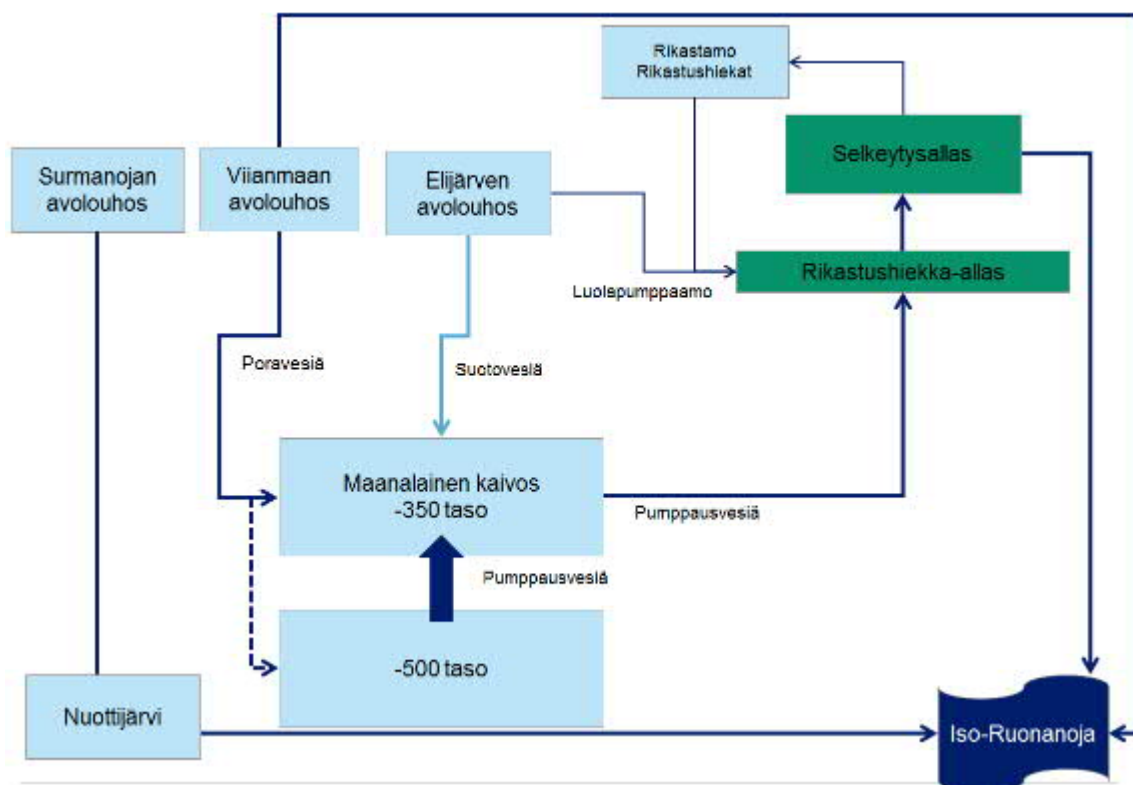
Rikastamon tarvitsema vesi otetaan pääsääntöisesti kaivoksen sisäisestä kierrosta, eli selkeytysaltaalta ja ylimääräinen vesi palautuu rikastushiekan mukana rikastushiekka-altaille (Kuva 11).

Kaivoksen tarvitsema poravesi otetaan Viianmaan avolouhoksesta. Kaivokselta pumpataan vesiä rikastushiekka-altaille. Kaivokseen tulee muita vesiä mm. Elijärven avolouhoksen suotovesistä sekä kalliopohjavesistä. Elijärven avolouhoksesta pumpataan ylimääräisiä vesiä rikastushiekka-altaille, mutta oletuksena on, että kaikkia ei ehditä pumpata pois ja vettä päätyy myös maanalaiseen kaivokseen jonkun verran.

Rikastushiekka-altaalta puretaan ylimääräinen vesi Iso-Ruonaojaan selkeytysaltaan kautta. Myös Surmanojan avolouhoksesta vedet puretaan Iso-Ruonaojaan. Viianmaan vesiä pidetään maanalaisen kaivoksen poravesivarastona ja toisaalta niitä saataisiin ympäristöluvan mukaan pumpata myös Iso-Ruonaojaan.

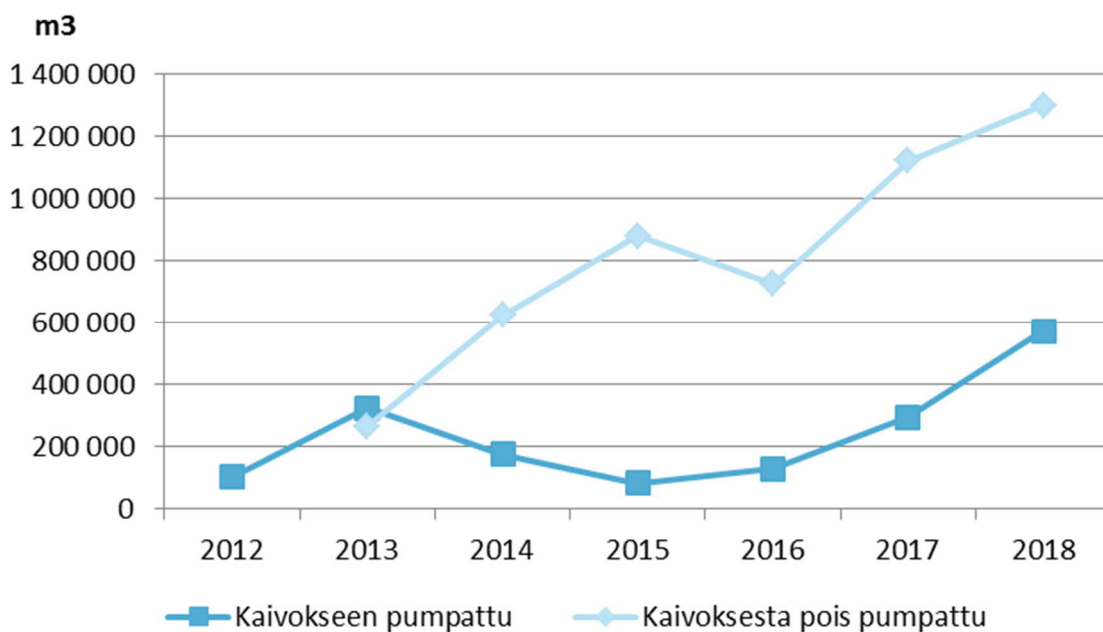


Kuva 10. Kaivoksen vesikierto (Harju 2016)



Kuva 11. Kaivoksen pelkistetty vesitase.

Pumppausmääriä on seurattu vuodesta 2012. Kaivoksesta pois pumpattu vesimäärä on pääsääntöisesti aina suurempi kuin kaivokseen pumpattu vesi (Kuva 12).



Kuva 12. Kaivokseen pumpattuja poravesiä ja kaivoksesta pois pumpattuja vesiä

3.1.5 Vesitaseen mallinnus

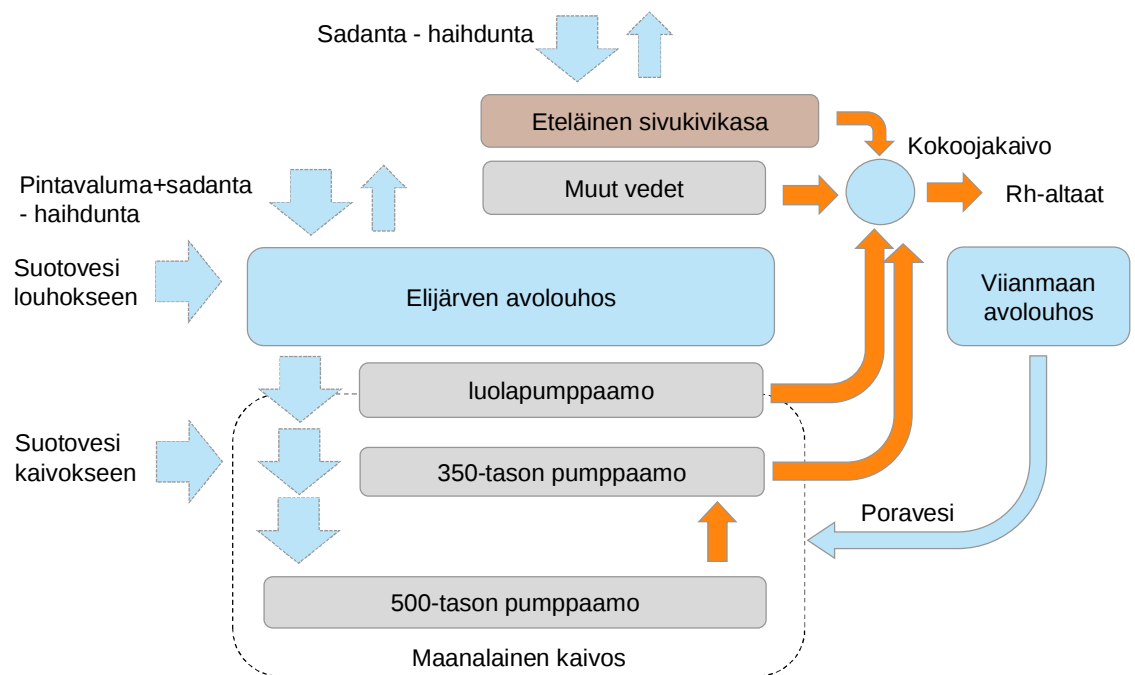
Vesitase laskettiin tässä Elijärven avolouhokselle ja maanalaiselle kaivokselle. Luvussa käytetyt valumatiedot on laskettu alueelle sovitetulla hajautetulla valumamallilla. SYKEN Vemala-mallin arvot kuvaavat parhaiten kolmannen jakovaiheen ja suurempien

valuma-alueiden tuloksia, tässä arvioitiin, että tarkempia tuloksia voidaan saada käyttämällä pienemmän mittakaavan alueelle kalibroitua mallia.

Avolouhokseen ja maanalaiseen kaivokseen tulevat ja lähtevät vedet on konseptuaalisena kaaviona (Kuva 13, Harju 2016 pohjalta). Mitattuja tietoja ovat kuvassa näkyvät luolapumppaamon pumppausmäärä, 350- ja 500-tasojen pumppausmäärät, poraveden määrä ja kokoojakaivosta poistuvan veden määrä. Kokoojakaivosta poistuvaan vesimäärään tulee myös muita vesiä, kuten ajoittain altaille pumpattavat Nuottijärven vedet (jotka tyypillisesti pumpataan altaiden vesikierron ohi ja ovat mittauksen piirissä) ja liettämön alueen vedet (pintavesiä, joissa ei mittausta). Mallinnettuja tietoja ovat Elijärveen päätyvä pintavaluma, sadanta ja haihdunta, sekä Eteläiseltä sivukivikasalta kokoojakaivoon tuleva vesimäärä. Tuntemattomia arvoja ovat konttipumppaamon vesimäärä ja suotovesi louhokseen muualta kuin valuma-alueelta.

Pintavesien mallinnuksen avulla voidaan arvioida, mikä on todennäköisesti louhoksen arvioidulta valuma-alueelta louhokseen virtaavan veden määrä ja miten se suhtautuu mitattuihin pumppausmääriin.

Valumamalli ei tässä huomioi mahdollisten ruhjevyöhykkeiden tai muiden kallioperässä olevien vettä johtavien reittien vaikutusta veden kulkuun, vaan näiden vaikutus näkyy mitatun pumppauksen ja arvioidun valumamäärän erona. Eroja voivat aiheuttaa myös mittauksen ja mallin epätarkkuudet.

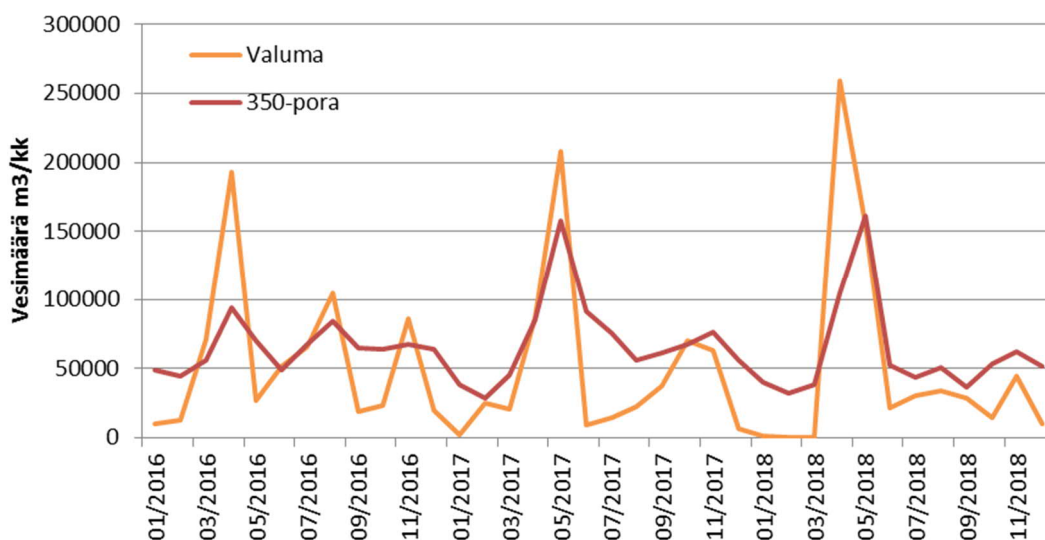


Kuva 13. Elijärven avolouhokseen liittyvien vesien reitit, konseptuaalinen malli.

3.1.6 Maanalaisen kaivoksen pumppaus vs. valuma

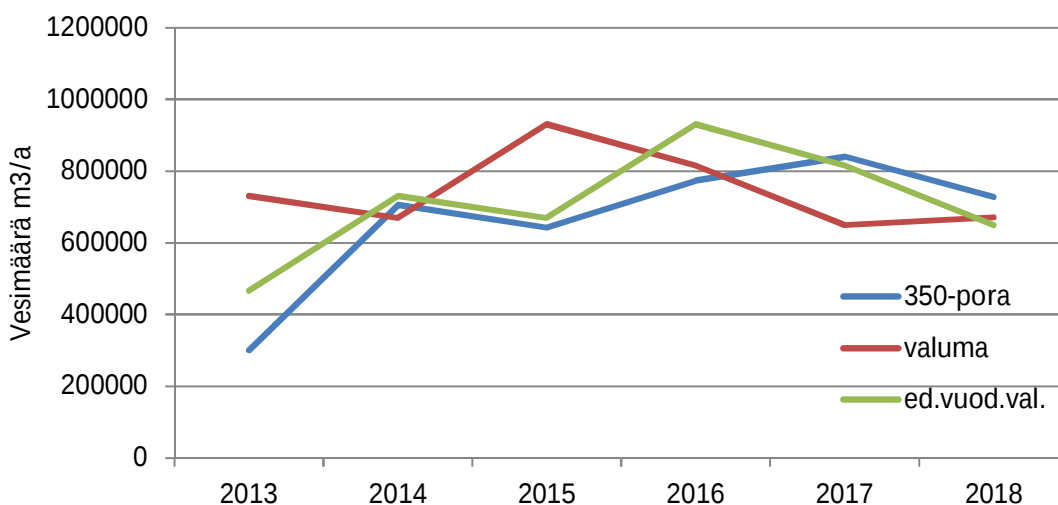
Maanalaiseen kaivokseen valuneen veden määrä voidaan arvioida 350-tason pumppausmäärästä, josta on vähennetty poravesi. Kuvassa (Kuva 14) on esitetty tason 350 pumppausmäärä vähennettynä poraveden määrällä (350-pora) kuukausitasolla, verrattuna Elijärven valuma-alueelle laskettuun pintavalumaan.

Kaivokseen valuneen veden määrän vaihtelu seuraa kuukausitasolla pintavaluman vaihtelua, joskin vaihtelun suuruus on valuman vaihtelua pienempi. Kevät- ja syyspiikit näkyvät pumppausmäärissä jonkin verran viivästyneinä ja vaimentuneina.



Kuva 14. Maanalaiseen kaivokseen valuva vesimäärä ja skaalattu pintavaluma, kuukausi-arvot 01/2016-12/2018.

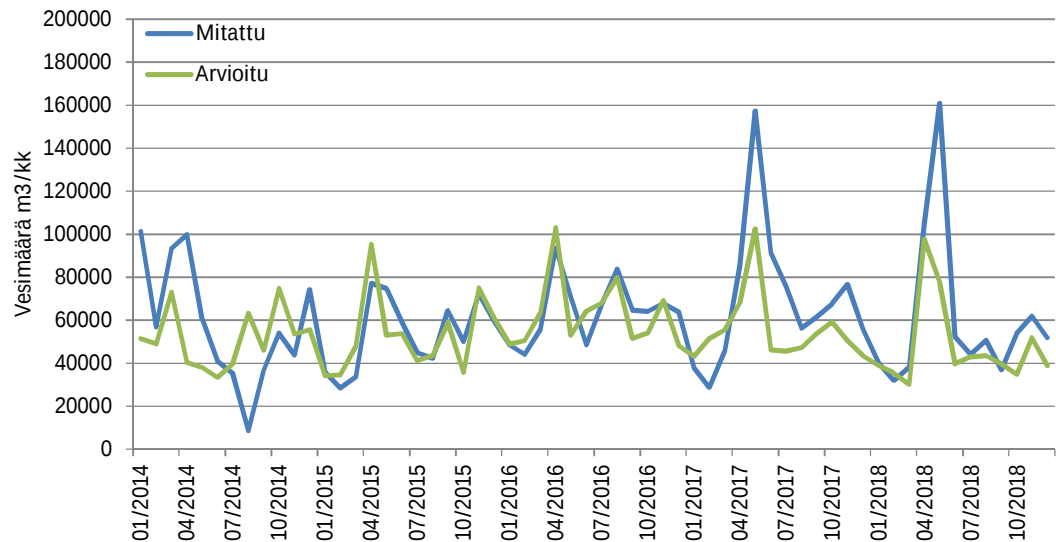
Vuosisummat kaivokseen valuneen veden määrästä, saman vuoden valumasummasta ja edellisen vuoden valumasummasta on esitetty kuvassa (Kuva 15). Vuositasolla kaivokseen valuneen veden määrä ei korreloi saman vuoden valumasummaan (negatiivinen korrelaatio), sen sijaan korrelaatio edellisen vuoden valumasummaan on positiivinen (0.85).



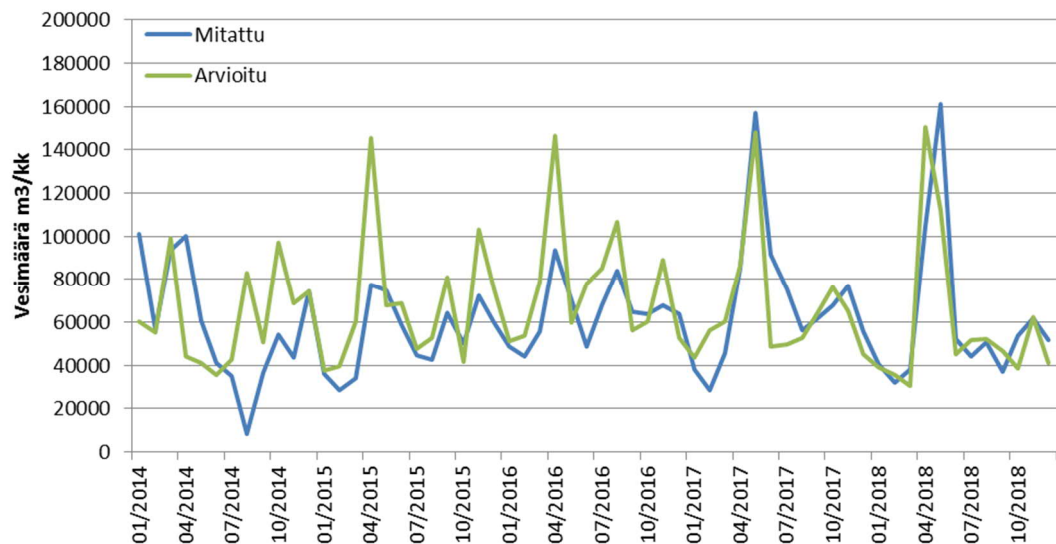
Kuva 15. Vuosisummat, maanalaiseen kaivokseen valunut vesi verrattuna saman ja edellisen vuoden pintavalumaan, vuodet 2013-2018.

Vuositason korrelaatiosta voi arvioida, että suurehko osa kaivokseen valuneen (ja suotaneen) veden määrästä riippuu edellisen vuoden sadanta- ja valumamäärästä. Tosin vuositason tietoja oli käytössä vain lyhyeltä jaksolta ja tilanne kaivoksella on vaihdellut, joten tulos on suuntaa-antava.

Valuneen vesimäärän kuukausisummat mitattuna (350-pora) ja mallinnetun pintavalunnan pohjalta arvioituna on esitetty kuvissa Kuva 16 ja Kuva 17. Kaivokseen valuneen veden pumppausmäärästä päätellen vuodet 2017 ja 2018 poikkeavat jakson 2014–2016 käyttäytymisestä, joten kumpikin em. jaksoista arvioitiin erikseen.



Kuva 16. Mitattu ja arvioitu kaivokseen valuneen veden määrä, sovitus jaksolle 2014-2016.



Kuva 17. Mitattu ja arvioitu kaivokseen valuneen veden määrä, sovitus jaksolle 2017-2018.

Pumppausmäärien havaitusta korrelaatiosta aikaisemman vuoden valumakertymään johtuen kokeiltiin kaivokseen valuvan veden määrän arviointiin seuraavaa sovituskaavaa:

$$KVV(t) = a * MV(t) + b / 12 * \text{summa}(MV(t-i)), i=6 \dots 17 \quad (1)$$

Toisin sanoen kuukauden t pumppausmäärä on saman kuun valumamäärä kerrottuna vakiolla a , johon lisätään 6–8 kk aikaisemman valuman keskiarvo kerrottuna vakiolla b . $KVV(t)$ = kuukauden t pumppausmäärä, $MV(t)$ = kuukauden t mallinnettu valuma.

Kaava sopii parhaiten jaksolle 2014–2016 valumiin kertoimilla $a=0.45$ ja $b=0.6$ (Kuva 16). Jaksolle 2017–2018 arvioihin kaava sopii puolestaan kertoimilla $a=0.67$ ja $b=0.6$ (Kuva 17).

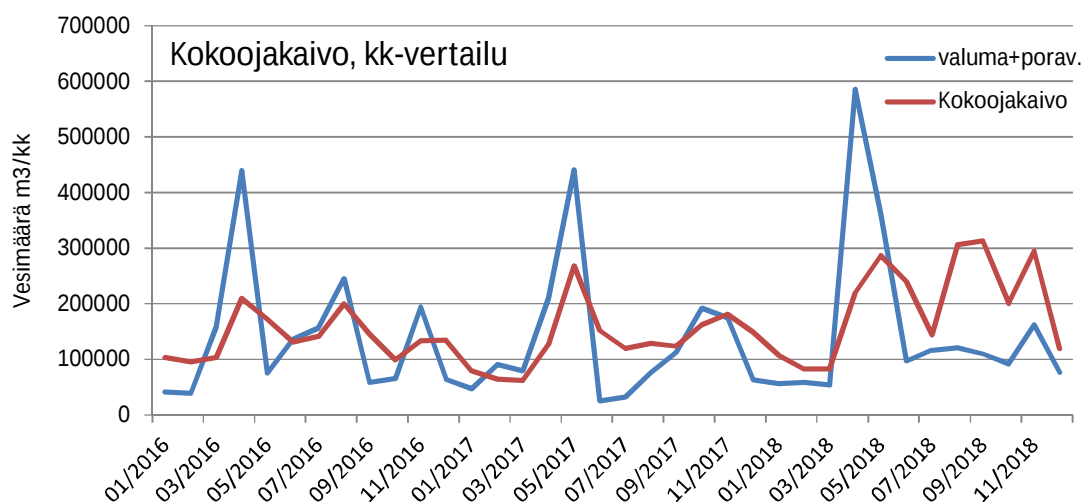
Sovituksen perustella voi arvioida alustavasti, että ennen vuoden 2017 kevättulvaa on alueella tapahtunut muutos 2014–2016 tilanteeseen verrattuna, joka on aiheuttanut sen, että samana vuonna satanutta vettä päätyy kaivokseen nopeammin ja enemmän. Vuoteen 2016 asti samana vuonna sataneesta veden kerroin oli 0.45, kun vuodesta 2017

alkaen saman vuonna sataneen veden kerroin oli 0.67. Toisin sanoen samana vuonna sataneen veden määrä kaivoksesta poistetusta vedestä on kasvanut noin 1,5-kertaiseksi, ja kaivokseen päätynyt vesimäärä on kokonaisuudessa on kasvanut noin 100 000–150 000 m³/a.

3.1.7 Kokoojakaivon vesimäärät

Elijärven kaivoksesta poistettava vesi ja avolouhokseen valuva vesi kulkevat kokoojakaivon (Kuva 13) kautta rikastushiekka-altaaseen. Tässä vertaillaan kokoojakaivon kuukausivesimääriä vastaaviin mallinnettuihin vesimääriin kuukausitasolla. Kokoojakaivon virtaamia alettiin mitata marraskuussa 2015, vertailu on tehty tässä 01/2016 alkaen. Kokoojakaivon kautta kulkeva vesimäärä on tarkasti tiedoissa, joten kaivon vesitaseen avulla voidaan arvioida muiden laskelmien paikkansapitävyyttä.

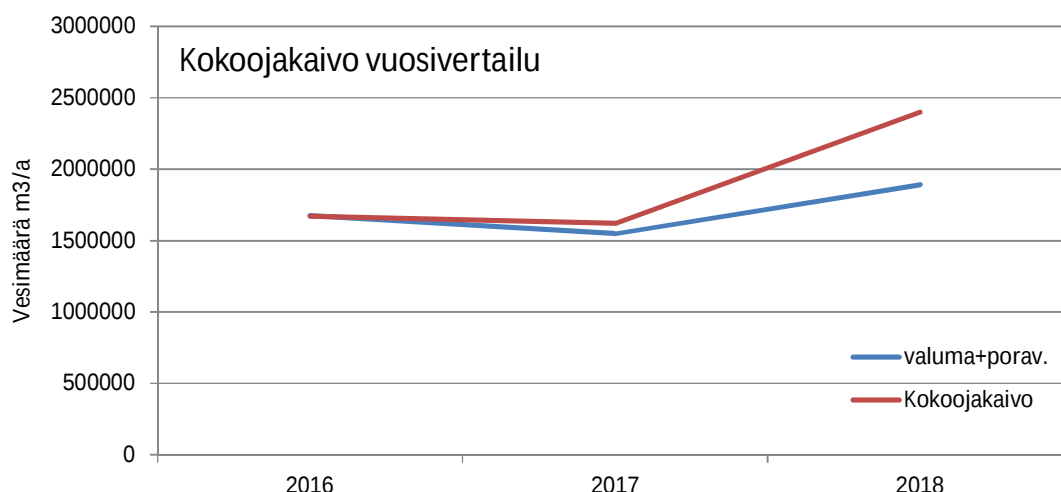
Kokoojakaivon kautta kulkee Elijärven avolouhoksesta ja maanalaisesta kaivoksesta pumpattu vesi. Lisäksi kokoojakaivon kautta kulkee Elijärven jalkapuolen sivukivikasojen ja avolouhoksen välisen alueen vesiä, minne valuu myös rikastamon piha-alueelta ojitettuja vesiä, mitkä eivät ole mittauksen piirissä. Nämä vedet sisältävät ainakin osittain eteläisen sivukivikasan valumamäärään. Kokoojakaivon kautta ohjataan rikastushiekka-altaille ajoittain myös Nuottijärven avolouhoksesta mittauksen piirissä olevia pumpattavia vesiä, joita ei tässä laskelmassa ole huomioitu. Valuman lisäksi maanalaiseen kaivokseen pumpataan poravettä. Mallinnettuna arvona käytettiin Elijärven kaivoksen ja eteläisen sivukivikasan valuma-alueiden vesimääriä, joihin lisättiin poravesi. Mallinnettuja vesimääriä kerrottiin vielä vakioilla, jolla saatiin mitattu ja em. tavalla laskettu vesimäärät vastaamaan toisiaan. Kuvassa 18 on esitetty kuukausitason virtaamien vertailu. Mallin antamia arvoja on kerrottu luvulla 1,5, jolloin vuoden 2016 mitattu ja laskettu vesimäärä ovat samansuuruisia.



Kuva 18. Kaivokseen valunut vesi, mitattu ja mallinnetusta valumamäärästä arvioidut määrät, 2014-2016 sovitus vuosille 2017-2018.

Kuukausitasolla pumppausmäärät seuraavat viiveellä mallinnettuja arvoja. Vuoden 2018 kesän arvot näyttävät olevan selvästi koholla mallinnettuihin arvoihin verrattuna.

Vuositason summat em. tiedoista on esitetty kuvassa 19. Kuvassa näkyy että, vuosi 2018 poikkeaa aikaisemmista vuosista, vesimäärä on noin 500 000 m³/a suurempi kuin mitä mallinnustuloksen perusteella voisi arvioida.



Kuva 19. Kaivokseen valunut vesi, mitattu ja mallinnetusta valumamäärästä arvioidut määrät, 2014-2016 sovitus vuosille 2017-2018.

Laskennan perusteella voidaan arvioida, että alue, josta kokoojakaivo kerää vettä, oli vuonna 2016 noin 1,5-kertainen arvioituun Elijärven avolouhoksen ja eteläisen sivukivikasan yhteiseen valuma-alueeseen verrattuna. Edelleen sekä kaivoksen että kokoojakaivon vertailuista päätellen avolouhokseen ja maanalaiseen kaivokseen valuvat vesimäärät ovat nousseet vuosien 2017 ja 2018 aikana enemmän kuin mitä sadantojen ja valumien perusteella on tässä arvioitu. Tämä voi johtua siitä, että alue, josta kokoojakaivo kerää vettä, on suurentunut, tai vaihtoehtoisesti nykyiseltä alueelta valuu aikaisempaa enemmän vettä, koska kallioperään on muodostunut uusia hydraulisia yhteyksiä maanalaisiin tiloihin.

Edellä esitetyt arviot vesimäärästä ovat suuntaa-antavia. Arvioita on mahdollista tarkentaa mittaamalla nyt tuntemattomat vesimäärät kuten esimerkiksi liettämön ojan pumppausmäärät, sekä myös tarkentamalla käytettyä valuma-alueella mittausten ja tarkempien maastotietojen pohjalta.

3.2 Kallioperä ja ruhjemalli

Kohde sijaitsee Kemin kerrosintruusion ympäristössä.

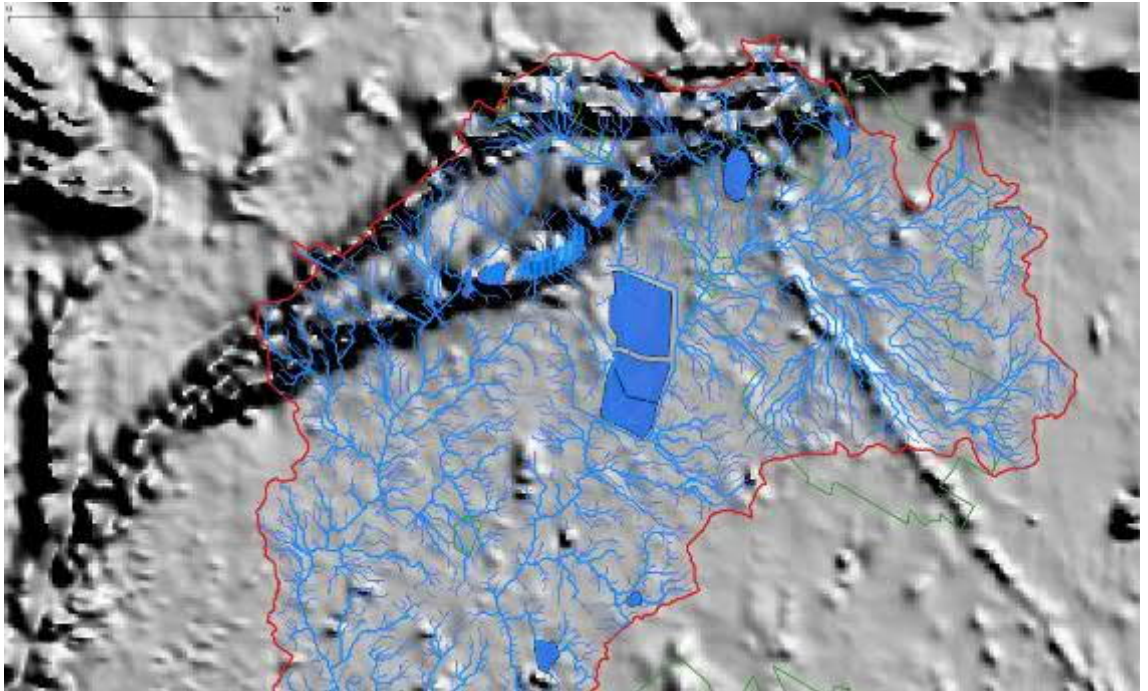
Yksinkertaistettu kivilajimalli sisältää Arpeen graniitin intruusion eteläpuolella (jalkapuolella), kontaktissa sijaitsevan hiertyneen talkki-karbonaattiliuskeen, jossa kromimalmi sijaitsee, ja kattopuolen peridotiitin. Intruusion pohjoispuolella on mm. paleoproterotsooista kvartsiittia.

Jalkapuolen Arpeen graniitti on kalliomekaanisesti heikompaa kuin kerrosintruusion kivilajit. Muodostuman kontaktin talkkikarbonaattiliuske on hiertynyt, ja kallioperän yläosassa kontaktissa voi esiintyä rikkonaisuutta.

Alueella esiintyy pohjoisluode-eteläkaakko -suuntaisia diabaasijuonia, joiden kontaktit voivat olla rikkonaisia. Alueellisia rikkonaisuusvyöhykkeitä ei ole esitetty GTK:n kallioperäkartassa.

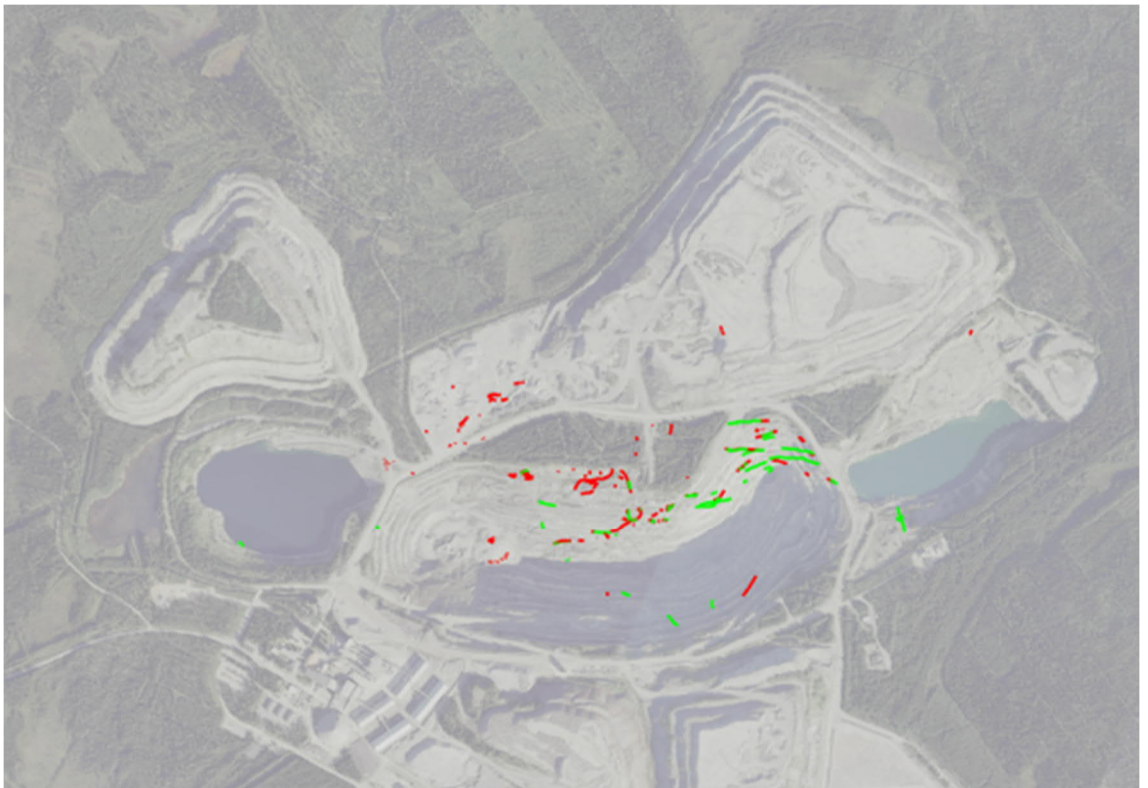
Mallissa esitetyt rikkonaisuusrakenteet ovat toisaalta muodostumaa leikkaavia, ja toisaalta esiintyy muodostuman suuntaisia rikkonaisuusvyöhykkeitä.

Lentogeofysiikan magneettisesta kartasta havaitaan kivilajivaihtelu, kerrosintruusion sijainti ja diabaasijuonia (Kuva 20). Magneettisten piirteiden katkoksista voidaan arvioida siirrosvyöhykkeiden olemassa oloa. Merkittävät ruhjevyöhykkeet havaittaisiin myös sähkömagneettisen imaginaarikomponentin kartassa (Kuva 4). Alueella ei ole havaittu lentogeofysiikan ruhjeviitteitä.



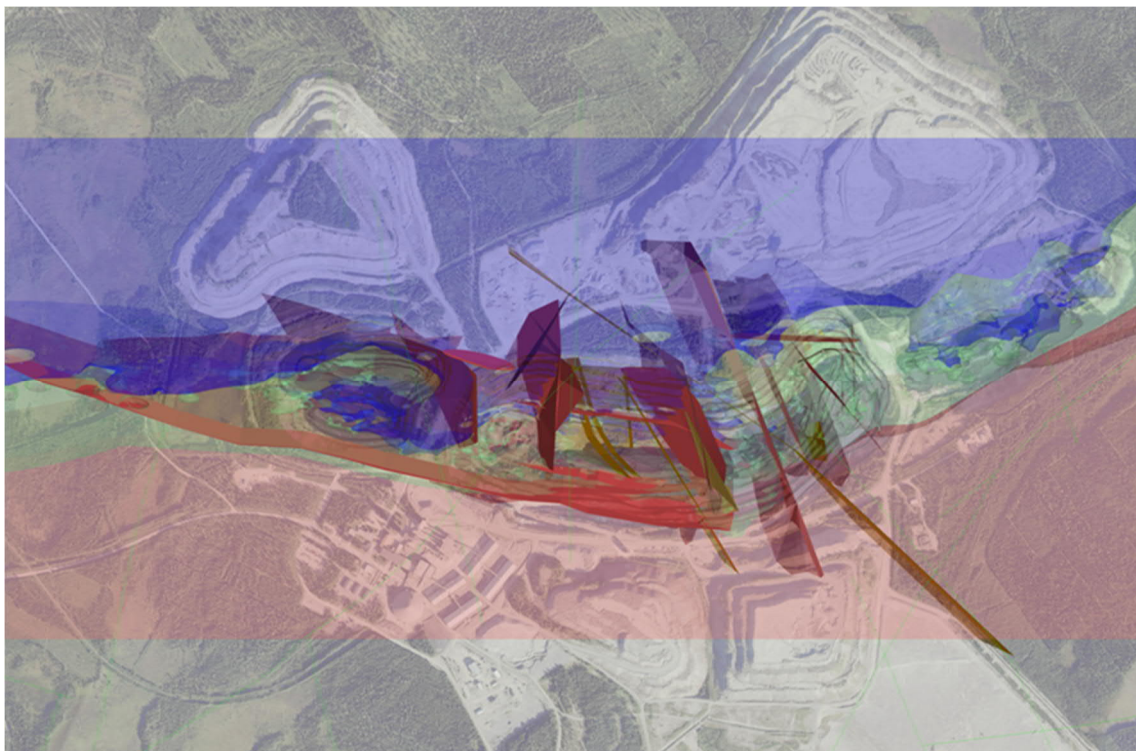
Kuva 20. Geofysikaalinen lentomittaus, magneettinen kokonaiskenttä, rinnevarjostus. Kemin kerrosintruusio ja luode-kaakko -suuntainen diabaasijuoni erottuvat voimakkaan magneettikentän alueina (tummat värit). Jatkuvien piirteiden katkeamat voivat viitata siirroksiin. Lisäksi valuma-alue ja laskennalliset uomat on esitetty kuvassa.

Kaivoksen louhinnan vaikutuksesta kattopuolen kallioperään on havaittu syntyvän uutta rakoilua (Kuva 21). Tämä rakoilu voi alentaa kallioperän pohjaveden pinnan tasoa kaivoksen pohjoispuolella.



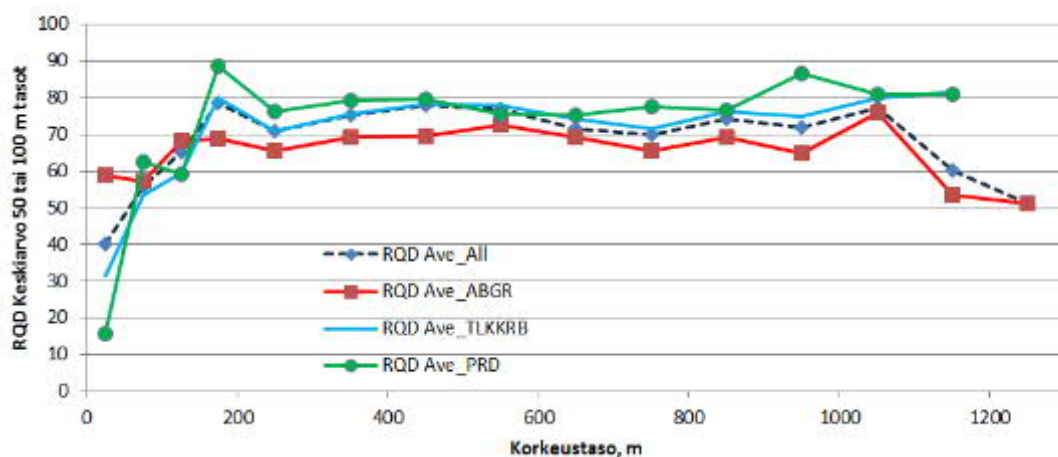
Kuva 21. Maastossa havaitut louhittujen tilojen aiheuttamat ratkeamat, 2018 tilanne.

Pöyry Finland Oy:ssä on parhaillaan käynnissä kallioperän suurrakenteiden tulkinta, joka pääosin perustuu kaivoksesta saatavaan rakennegeologiseen havaintoaineistoon. Tässä työssä on hyödynnetty alustavia tuloksia (Kuva 22).



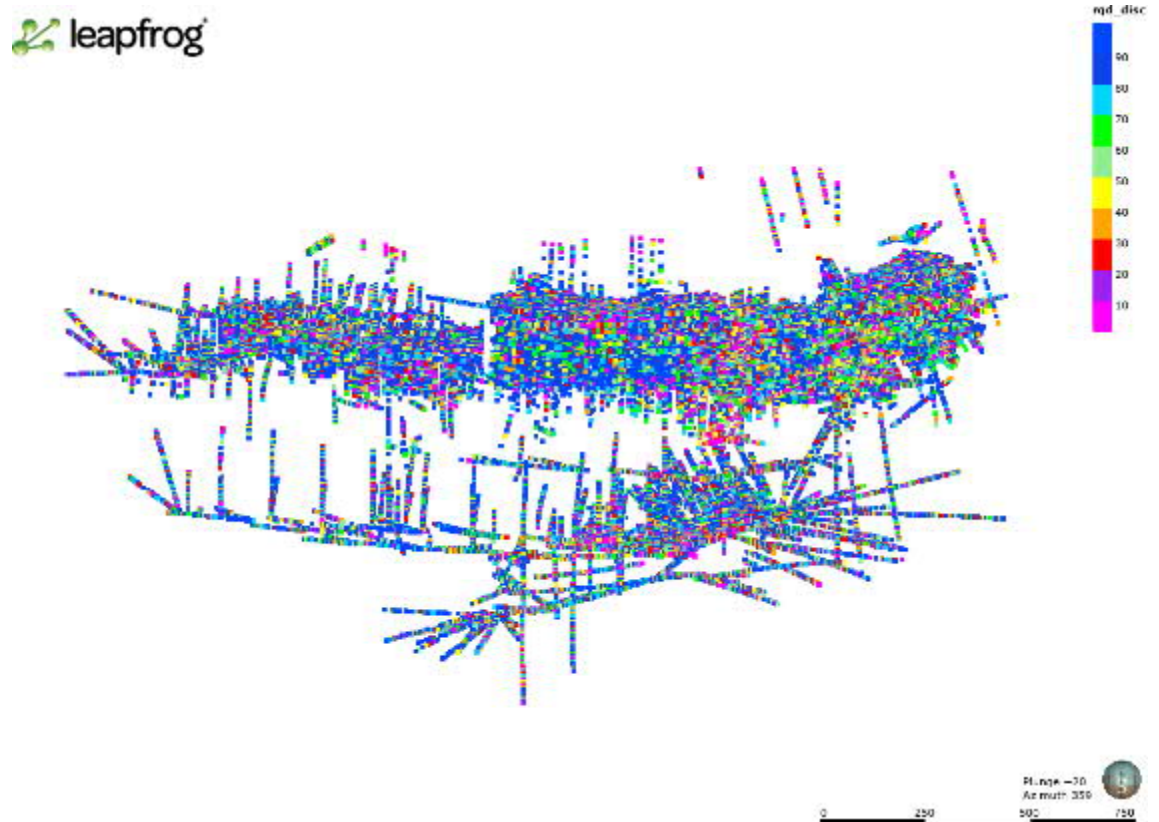
Kuva 22. Alueen pääkivilajit sekä suurrakenteiden alustava malli. Vihreällä värillä esitetty talkki-karbonaattiliuske, punaisella kaivoksen jalkapuolen granitoidi, ja sinisellä kattopuolen peridotitiitti. Kapeat, leikkaavat punaiset kappaleet edustavat alustavan tulkinnan mukaisia rikkonaisuusvyöhykkeitä (ruhjeita) jotka perustuvat kairareikäaineistoon.

Kairareikien RQD-arvoista tehdyn 2 m kairapituuden komposiitti-tietokannan perusteella graniitti on muita kivilajeja rikkonaisempaa. Graniitissa syvälläkin esiintyvissä ruhjeissa kallio on rikkonaista. Muutoin kallioperän pintaosan rikkonaisuus on voimakkaampaa ensimmäisen 50–100 m syvyydelle kallion pinnasta (Kuva 23). Tämän pintakerroksen vaikutus on suurin maaperästä kallioon suotautuvan pohjaveden, sekä kalliossa tapahtuvan veden virtauksen, ja mahdollisesti syntyvän pohjaveden aleneman kannalta. Kaivoksen mittakaavassa rikkonaisuutta esiintyy myös syvemmillä kalliossa mikä voi muodostaa virtausyhteyksiä louhittavien tilojen ja kallion pintaosien välille (Kuva 24).



Kuva 23. Kairareikien näytteistä määritetyn RQD-arvon 2 m komposiitin keskiarvon jakauma kivilajeittain ja syvyysväleittäin. Graniitti on muita kivilajeja yleisesti

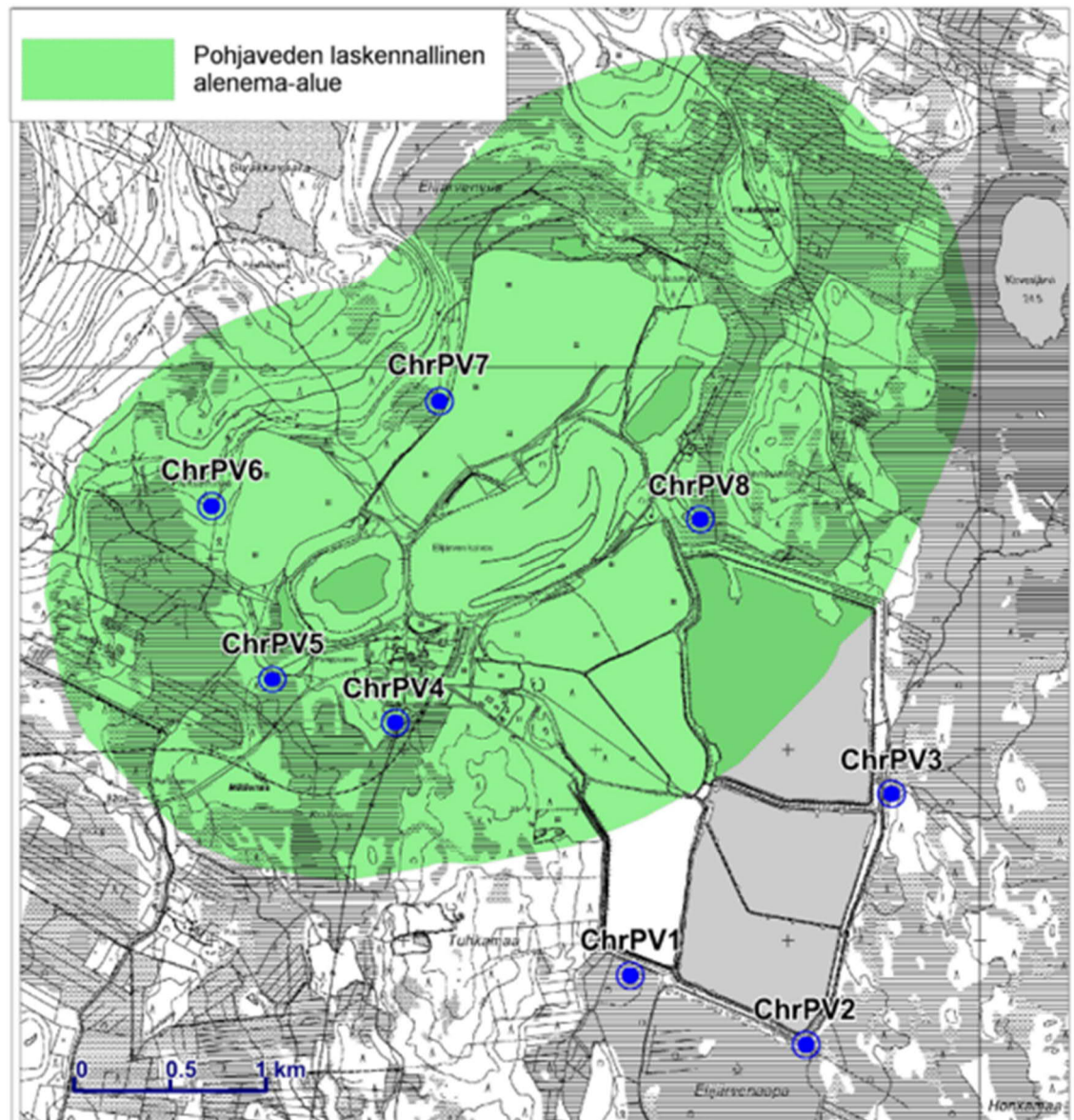
rikkonaisempaa ja siten todennäköisemmin vettä johtavaa. Peridotiitti on vastaavasti ehyempää kuin kallio keskimäärin. Ylin 100–150 m on kaikkien kivilajien osalta rikkonaisempaa kuin syvemmät osat kalliosta.



Kuva 24. Kemin maanalaisen kaivoksen kairareikien kartoitetut RQD-arvot. Punaisilla värisävyillä esitetyt RQD alle 30% merkitsevät rikkonaista kalliota, mikä todennäköisesti liittyy kohonneeseen vedenjohtavuuteen. Näkymä alaviistoon kohti pohjoista. Kuvassa on esitetty vokseleina ainoastaan kairareikien kalliotekniset RQD-arvot, joista punaisen ja keltaisen sävyt edustavat rikkonaista, todennäköisesti vettä läpäisevää kalliota.

3.3 Hydrogeologiset havainnot

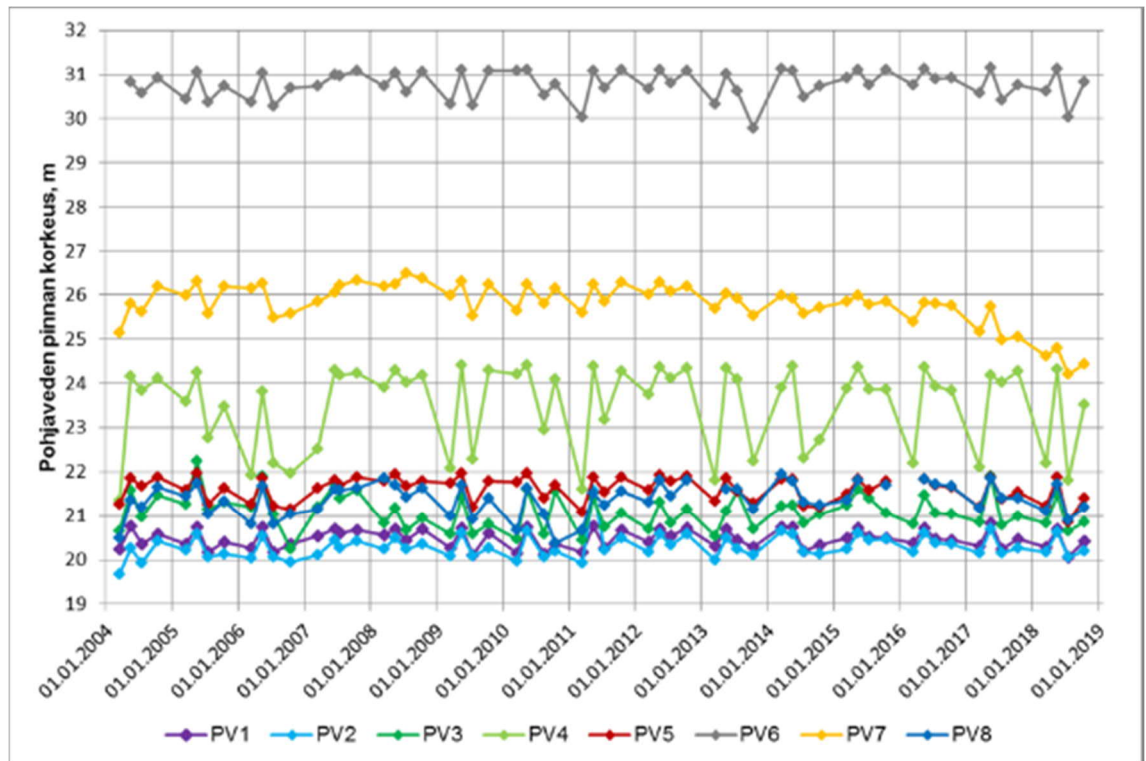
Kaivoksen pohjavesivuotojen aiheuttamaa vaikutusta alueen kalliopohjaveden paineeseen on arvioitu vuonna 2009 tehdyllä analyttisellä laskennalla (Tuomela 2009). Laskennan tuloksena saatava pohjavesialenema ulottuu etäisyydelle, jolle tuleva pohjaveden imeytyminen vastaa alennuksen aiheuttaman suotovirtauksen (=kuivatustarve) määrää. Laskentamenetelmä on likimääräinen mutta sen perusteella voidaan kuitenkin arvioida alenemavaikutuksen alueellista ulottuvuutta. Laskennan perusteella pohjavesialenema ulottuisi noin 1 300 m etäisyydelle louhoksen reunasta (Kuva 25, Tuomela 2009). Laskennassa ei pysty huomioimaan maanalaisen kaivoksen vaikutusta, tästä syystä laskentaa ei ole päivitetty. Tulos kuitenkin antaa käsitystä siitä, kuinka laajalle paineen alenema ulottuu avolouhoksen perusteella ja maanalainen kaivos sitä edelleen kasvattaa. Maanalaisen kaivoksen vaikutusta alenemakartioon on mahdollista arvioida numeerisen mallinnuksen avulla.



Kuva 25. Pohjaveden laskennallinen alenema, noin 1 300 m louhoksen reunalta, kaivoksen ympäristössä sekä pohjaveden havaintopisteet (Tuomela 2009).

Kaivosalueen velvoitetarkkailuun liittyen alueella on kahdeksan pohjavesiputkea, PV1–PV8, jotka on asennettu lokakuussa 2003. Putkia havainnoidaan neljä kertaa vuodessa ja havainnot ovat käytettävissä vuodesta 2004 lähtien. Muiden pohjavesihavaintoputkien osalta havainnot ovat pysyneet alkuperäisellä tasolla, mutta pisteessä PV7 on tapahtunut alenemaa. Alenematrendi on alkanut kesän 2017 aikana. Keväällä 2019 aleneman

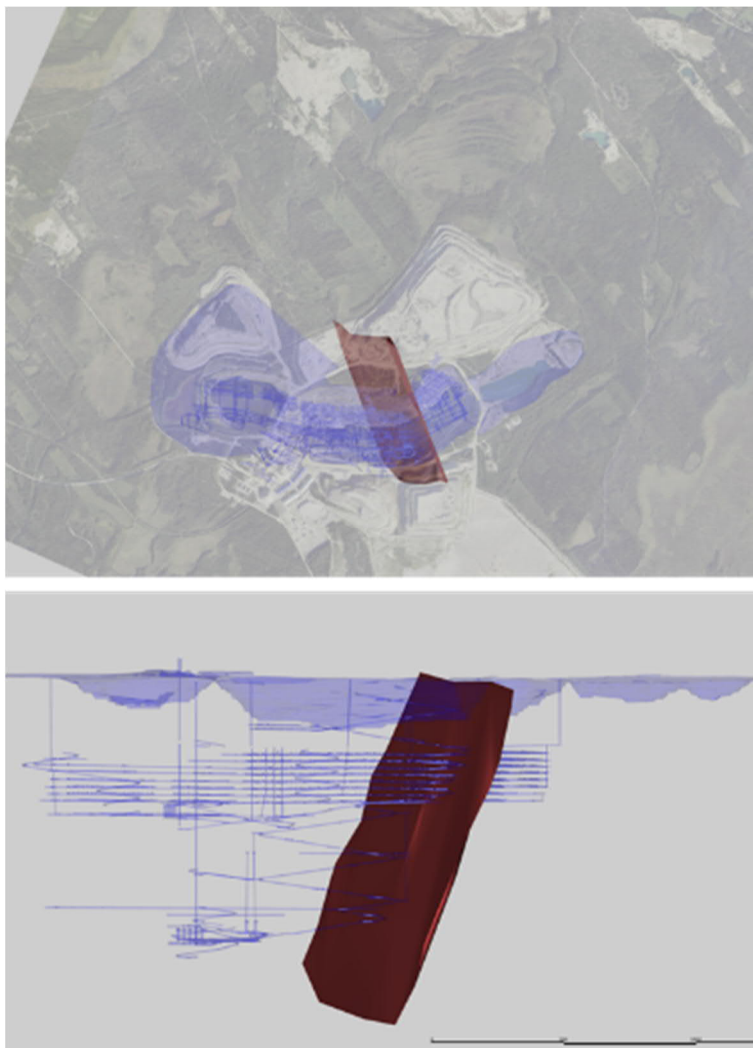
suuruus on vajaan kahden metrin luokkaa (Kuva 26). Havaintoputket seuraavat pääosin maaperän pohjavesitilannetta putkien ulottuessa keskimäärin kaksi metriä kallioon. Putki PV7 on näistä poikkeava sen ulottuessa kallioon noin seitsemän metriä, ja sisältäessä tietoa sekä kallio- että maaperästä.



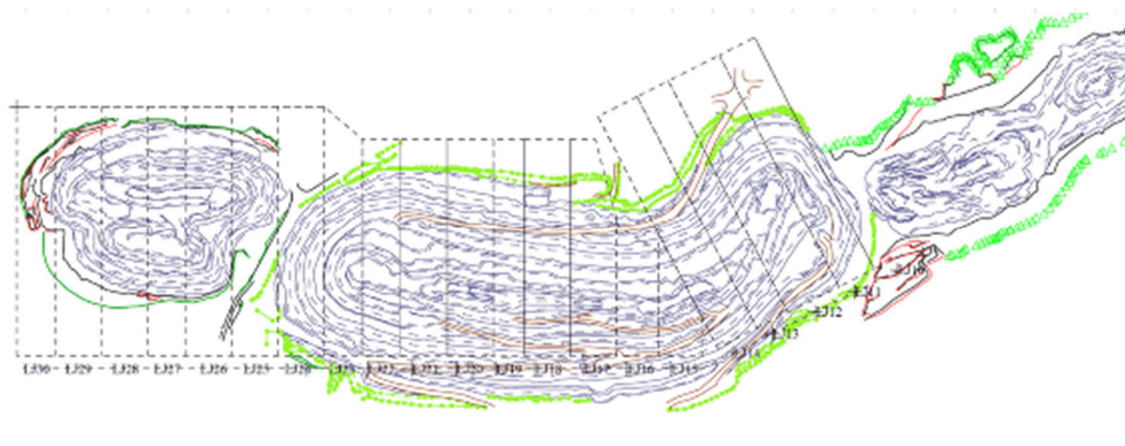
Kuva 26. Pohjavesiputkien PV1–PV8 havainnot 2004–2019.

Todennäköisenä syynä alenemaan on kallioperän rikkonaisuuden kautta maanalaisiin tiloihin tapahtuva pohjavesivuoto. Parhaillaan käynnissä olevassa suurrakenteiden päivityksessä on mallinnettu ruhjevyyöhyke, joka voisi selittää kyseisen aleneman (Kuva 27).

Todennäköisiä virtausyhteyksiä olisi mahdollista tarkastella toteutuneiden louhintojen aikataulujen perusteella. Tässä yhteydessä on esitetty kesän 2017 louhintatilanne suunnitelmaan perustuen. Sen mukaan louhintoja olisi tehty louhosjaksoilla 12, 13, 17 ja 18 tasolla 350 m sekä jaksoilla 25, 27 ja 28 tasoilla 525–550 m (Kuva 27 ja Kuva 28). Vaihtoehtoisia virtausreittejä ei voida sulkea pois. Vastaavaan aikaan kaivokseen vuotavan veden määrä on kasvanut (kappale 3.1.4).



Kuva 27. Rakenteen 5 geometrian tulkinta (suurrakennetulkinnan alustava tieto) maanpintaleikkauksena (ylempi kuva) sekä katsottuna pohjoiseen.



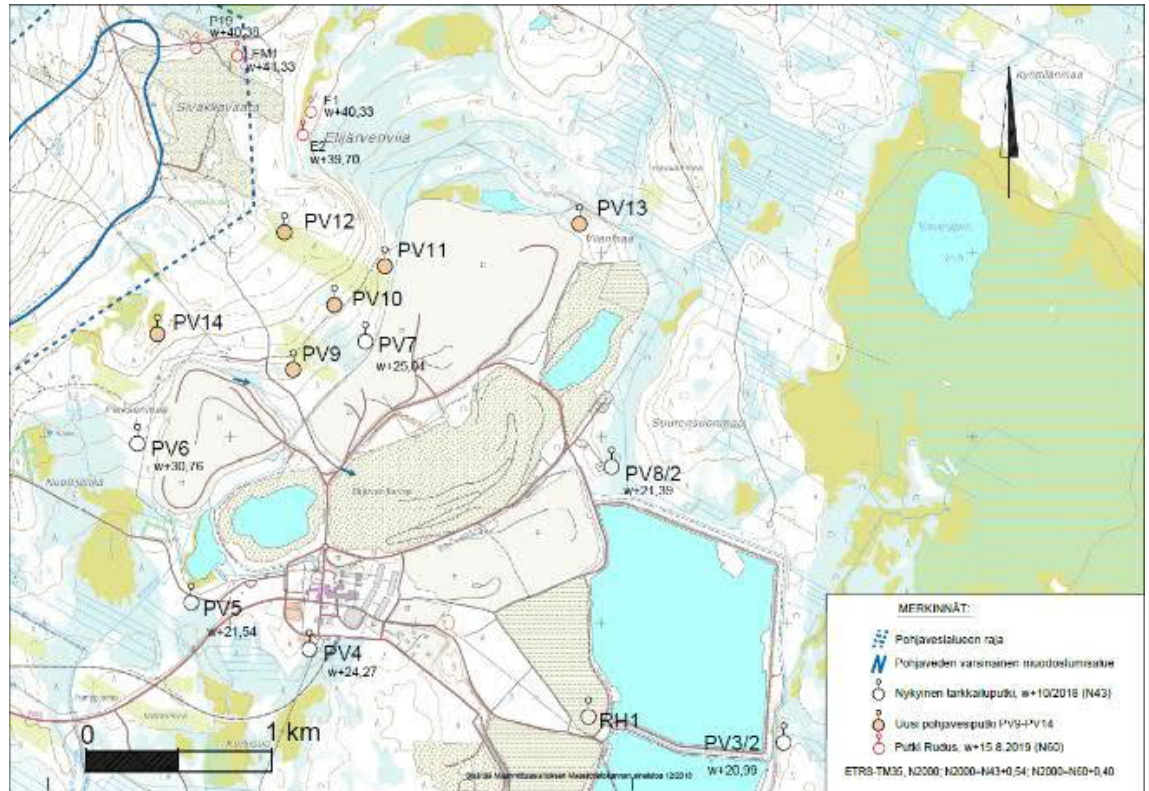
Kuva 28. Louhosjaksot.

4 UUSIEN HAVAINTOPISTEIDEN SIJOITTAMINEN

Pohjavesiputken PV7 aleneman takia havaintopisteitä on tarkoitus lisätä. Koska alenema ja myös kallioperässä havaitut maanalaisten tilojen aiheuttamat ratkeamat sijoittuvat pääosin Elijärven louhoksen pohjoispuolelle, uudet havaintopisteet on suunniteltu kyseiselle alueelle (Kuva 29). Louhoksen eteläpuolella olevissa havainnoissa ei ole todettu pohjavesipinnan alenemaa. Tämänhetkiset havaintoputket seuraavat pääosin maaperän pohjavesitilannetta putkien ulottuessa keskimäärin kaksi

metriä kallioon. Putki PV7 on näistä poikkeava sen ulottuessa kallioon noin seitsemän metriä.

Nykyisen havaintoverkoston voidaan katsoa edustavan varsin hyvin maaperässä esiintyvän pohjaveden pinnankorkeuden tilannetta. Uusilla havaintopisteillä tavoitellaan käsitystä siitä, onko kallioperän pintaosan pohjavedessä havaittavissa alenemaa. Tästä syystä ehdotamme, että niiden tulisi olla aiempia syvempiä, ulottuen 30 m kallioon. Mikäli pohjaveden pintaa maaperässä halutaan seurata myös uusissa pisteissä, tulisi sitä varten tehdä erilliset maaperän havaintoputket. Havaintoputkien asennusohje on esitetty Liitteessä 1.



Kuva 29. Ehdotetut uudet havaintoputket PV9–PV14.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaivoksen tilojen rakentamisen ja malmin louhinnan vaikutuksesta kallioperän pohjaveden painekorkeuteen syntyy alenema, jonka laajuus maanpinnan tasossa voi yltää sadoista metreistä muutaman kilometrin säteelle saakka kaivoksen tiloista eri suunnissa. Laajuus riippuu toisaalta maanalaisesta kaivoksesta ja avolouhoksista poistettavan veden määrästä suhteessa alueella sadannan vaikutuksesta suotautuvan veden määrään, ja toisaalta kallioperän vedenläpäisykyvystä, joka pääosin aiheutuu kallion rakoilusta ja rikkonaisuusvyöhykkeistä. Rakoilun esiintymistiheys sekä rakogeometrian jatkuvuus ja yhdistyminen ovat tärkeimmät kallioperän vedenjohtavuuteen vaikuttavat tekijät. Koska kallioperästä ei ole olemassa vedenjohtavuuden mittaustietoa, aleneman todennäköisyys ja ympäristölle aiheutuva riski on arvioitava yleistettyjen tietojen perusteella. Mikäli kallioperän vedenjohtavuustietoja olisi käytettävissä, olisi numeerisella mallinnuksella mahdollista tarkentaa arviota kaivoksen vuotovesien aiheuttaman aleneman laajuudesta (Kuva 25) sekä suuruudesta

Maanalaisten tilojen vuotojen pohjaveteen aiheuttamien alenemien selvitykseen tarvittavat tiedot ovat pohjaveden pinnankorkeuden havainnointi, kaivoksen poistovesien määrän mittaaminen, vuotojen sijaintikohtien kartoitus ja toteutuvien louhintojen ajallinen seuranta ja vertailu ruuhjemalliin.

Pohjaveden aleneman seurannan parantamiseksi ehdotetaan sijoitettavaksi kalliopohjaveden havaintoputkia kaivoksen kattopuolelle eri etäisyyksille kaivoksen kulun suunnassa (Kuva 29) ja niissä tehtävää seuranta vähintään pohjaveden pinnan korkeuden osalta nykyisellä seurantatiheydellä. Nykyisten maaperäputkien lisäksi suositellaan kallioperään 30 m yltäviä seurantapistettä erillisen asennusohjeen mukaan. Tämä syvyys riittää siihen että mahdollisesti alentunutkin pohjavesipinta pystytään edelleen mittaamaan mittaluodilla. Seurannan perusteella voidaan tarvittaessa suorittaa jatkotoimenpiteitä, mikäli havaitaan muutoksia.

Kaivoksen kuivatusvesien määrän mittaamista eri louhintatasoilta suositellaan tarkennettavaksi nykyiseen käytäntöön verrattuna. Tähän liittyen huomattavimpien vuotojen sijaintien kartoitus voisi antaa käsitystä ruuhjeiden merkityksestä pohjaveden virtausyhteyksille.

Työn perusteella on arvioitu kaivoksen pohjaveteen aiheuttaman aleneman mahdollisia vaikutuksia kaivosalueen viereen suunnitelluilla Elijärvenviian suojelualueella ja Kirvesaavan suojelualueella. Kirvesaava on laaja (19,6 km²) maaperältään ohuehko aapasuo. Suon reunamilla on ojituksia, mutta suoalue käytännössä ojittamaton. Veden virtaussuunta suolla on länteen kaivosaluetta ja sen rikastushiekka-aitaita kohti. Suoalueelta ylivuotavat vedet valuvat Kirvesojan kautta kaivosalueen itäreunalta alkavaan Iso-Ruonaojaan ja siitä edelleen Hepolahden kautta mereen. Suon pintaveden ja kalliopohjaveden vuorovaikutus on riippuvainen suon alapuolella sijaitsevasta maalajista, jota ei tunneta tarkasti, mutta maaperänäytteiden ja maaperäkartan mukaan alueen ei-turvepeitteisillä osilla maaperä on hiekkamoreenia ja osin myös hiekkaa. Kirvesaavan ja sen lähialueen pohjavesihavainnoissa ei ole todettu alenemia, eikä kaivoksen toiminnasta ole tähän mennessä havaittu olevan vaikutuksia Kirvesaavan pohjavesiolosuhteisiin. Alueen geofysikaalisessa aineistossa ei ole havaittavissa viitteitä merkittävistä rikkonaisuuksista. Kemin kaivoksen malmiesiintymän jatkeet sijoittuvat nykyisten avolouhosten alle ja länsipuolelle, joten kaivoksen aiheuttamat olosuhteet pysyvät Kirvesaavan osalta todennäköisesti ennallaan.

Elijärvenviia on pienialainen (1,2 km²), matalahko, osittain harjumaaisessa tai moreeni-muodostumassa sijaitseva, pohjoisessa vedenjakajaan rajautuva etelään ja kaakkoon viettävä suoalue. Suon alaosa on ojitettu ja rajoittuu etelässä kaivosalueeseen. Suon eteläosa sijaitsee alueella, jossa kallioperän rikkonaisuusrakenteiden ja kaivostoiminnasta johtuvan kalliopohjaveden aleneman vaikutusta ei voida kokonaan sulkea pois. On mahdollista, ettei Elijärvenviia tarkasteluhetkellä enää ole täysin luonnontilainen myöskään suon valuma-alueella sen vieressä sijaitsevien maanottoalueiden takia. Elijärvenviian ja Elijärven louhoksen välissä sijaitsee kaivoksen sivukiven läjitysalue, joka rajoittaa pintavesien osalta suoalueen vesien alenemista, mutta kaivoksella voi olla vaikutusta suoalueen vesiin kaivoksen maanalaisia tiloja ja suoaluetta yhdistävän kallioperän rikkonaisuuden välityksellä. Geologiseen ja geofysikaaliseen aineistoon perustuvassa tarkastelussa ei kuitenkaan havaittu viitteitä merkittävistä tällaisista rakenteista. Kallioperän rikkonaisuus alueella voi kuitenkin jatkossa lisääntyä kaivostoiminnan seurauksena, ja se voi aiheuttaa riskin niin suojelualueen luonnontilalle kuin kaivostoiminnallekin.

6 KIRJALLISUUSVIITTEET

Harju, H. 2016. Kemin kaivoksen vesienhallinta. Diplomityö, ympäristötekniikan koulutusohjelma, maaliskuu 2016.

Ilmatieteen laitos 2019. Tornion mittausasema.

Syke 2019. Lumen vesi-arvo.

Tuomela, P. 2009. Kemin kaivoksen pohjavesivaikutukset. Raportti 9M709017. 12 s.

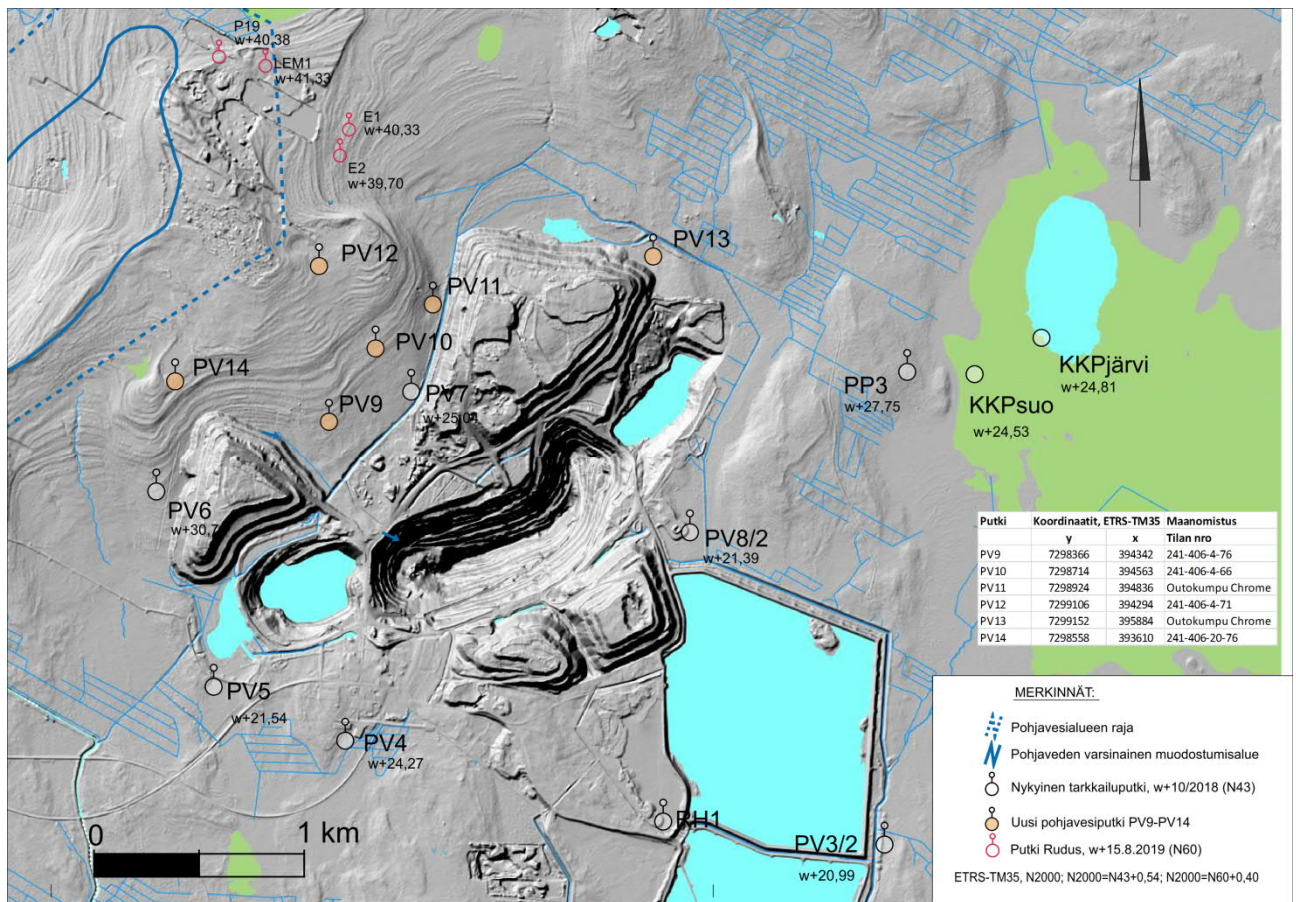
Outokumpu Kemin kaivos

Pohjavesiputkien asennus

Alueelle esitetään asennettavaksi kuuteen (6) pisteeseen uusia pohjavesiputkia vesipinnan seuranta varten. Putkia voidaan käyttää myöhemmin myös laadun seurantaan. Asennettavien putkien (PV9-PV14) sijainti ilmenee oheisella kartalla ja koordinaatit oheisessa taulukossa. Putkien paikkoja voidaan tarvittaessa siirtää (10-20 m) tarkoituksenmukaisempaan paikkaan mikäli maasto-olosuhteet sitä edellyttävät. Kartalla (kuva 1 ja kuva 2) ovat esitettynä myös olemassa olevat putket.

Taulukko 1. Uusien putkien koordinaatit.

Putki	Koordinaatit, ETRS-TM35	
	y	x
PV9	7298366	394342
PV10	7298714	394563
PV11	7298924	394836
PV12	7299106	394294
PV13	7299152	395884
PV14	7298558	393610



Kuva 1. Pohjavesiputkien asennus. Uudet putket PV9-PV14.

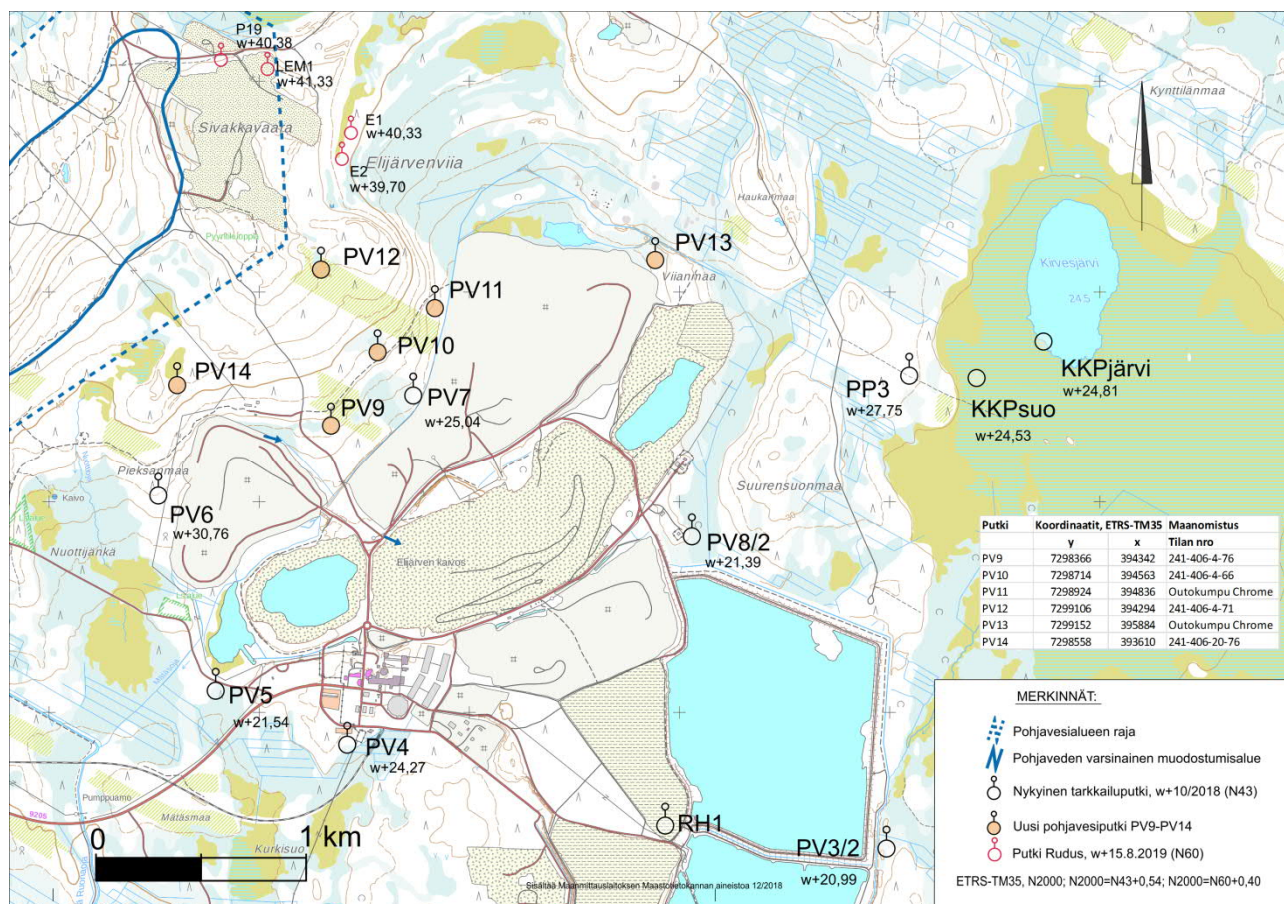
Kuhunkin pisteeseen (PV9-PV14) asennetaan putki sekä maaperässä olevan maapohjaveden että kallioperässä olevan kalliopohjaveden pinnankorkeuden seurantaan. Asennettavien putkien keskinäinen etäisyys voi olla muutamia metrejä.

Maapohjaveden seurantaan asennettava putki tulee ulottua kallion pintakerrokseen (kalliovarmistus 1-2 m). Putkien siiviläosan tulee olla riittävä ja ulottaa koko vesikerrokseen kuitenkin huomioiden vesipinnan luontainen taso (jos lähellä maanpintaa silloin siivilää ei uloteta aivan maanpintaan). Olemassa olevien tarkkailuputkien alueilla kallionpinta oli noin 3-10 m syvyydellä. Alueen maaperä on pääosin moreenia, pintakerroksena on myös paikoin hiekkaa. Pohjavesi on pääosin lähellä maanpintaa (0-3m).

Kalliopohjavesiputket asennetaan porakonekairauksella maaputkikalustolla. Kairaus ulotetaan kallioon noin 30 m. Kalliopohjavesiputkiin ei asenneta pohjatulppaa. Maakerroksen ja kalliopinnan rajakohta tulee tiivistää/tulpata siten ettei sen kautta pääse maapohjavesi syvemmälle putkeen. Käytetty tiivistysmenetelmä, esim. sementti juotos tai huulitiivisteiden rakenne tulee esittää tarjouksessa. Asennuksen jälkeen putket tulee huuhdella kunnes palautuva vesi on kirkasta.

Asennettavat pohjavesiputket tulee olla tehdasvalmisteisia muoviputkia, halkaisijaltaan noin 50 mm (esim. Jensen). Putket tulee varustaa lukittavalla metallisella teräksisellä suojaputkella. Putken tyviosat tulee tiivistää, ettei pintavesi pääse kairausreikään.

Putkien asennustiedot tulee esittää putkikortteina, joka sisältää koordinaattien (ETRS-TM35) lisäksi mm seuraavat tiedot: materiaali, halkisija, putken yläpää, putken alapää, siivilän yläpää, siivilän alapää, maanpinnan korkeus, siivilän rakojen halkisija (mm), maaperän kerrosjärjestys ja kallionpinnan korkeus ja sen ulottuvuus kalliossa sekä tiedot kallion laadusta (rikkonaisuus). Korkeustasot tulee esittää valtakunnallisessa korkeusjärjestelmässä (N2000).



Kuva 2. Pohjavesiputkien asennus. Uudet putket PV9-PV14.