

Vastaanottaja
PIRELY

Asiakirjatyyppi
Seurantaraportti

Päivämäärä
12/2024

KAJAK Raajärvi, Kemijärvi

Seurantatutkimuksien 2022–2024 raportti



KAJAK Raajärvi, Kemijärvi

Seurantatutkimuksien 2022–2024 raportti

Projekti **KAJAK Raajärvi**
Projekti nro **1510071742**
Vastaanottaja **PIRELY**
Asiakirjatyyppi **Raportti**
Versio **1**
Päivämäärä **11.12.2024**
Laatija **Anne Jokiniemi, Rasmus Laine, Akseli Toikka ja Hanna Tolvanen**
Tarkastaja **Kimmo Järvinen**
Hyväksyjä **Sanna Pyysing, PIRELY**

Ramboll
Kiviharjunlenkki 1 A
90220 OULU

P +358 20 755 611
<https://www.ramboll.com/fi-fi/>

Sisältö

1.	Johdanto	4
2.	Kohteen kuvaus	4
2.1	Sijainti ja raja	4
2.2	Omistus ja hallinta	5
2.3	Nykyinen toiminta	5
2.4	Kaavoitus	6
3.	Kaivostoiminta ja toiminnassa syntyneet jätteet	7
3.1	Kaivostoiminnan historia	7
3.2	Kaivosalueen infrastruktuuri ja avolouhokset	8
3.3	Kaivannaisjätteet ja jätealueet	10
3.3.1	Raajärvi	11
3.3.2	Puro	13
3.3.3	Leviäselkä	14
3.4	Kaivannaisjätealueiden geotekniset rakenteet ja fysikaalinen vakaus	15
3.5	Kaivosalueen vesienhallinta	17
4.	Ympäristöolosuhteet	17
4.1	Maa- ja kallioperäolosuhteet	17
4.2	Pohjavesiolosuhteet	19
4.3	Pintavesiolosuhteet	21
4.3.1	Raajärvi	21
4.3.2	Raa'anlampi ja Raa'anoja	21
4.3.3	Misijärvi	21
4.3.4	Pulkkalampi	24
4.3.5	Pulkkaoja	24
4.3.6	Pintavesien virtaamat	24
4.4	Luonto-olosuhteet	25
4.5	Ilmasto-olosuhteet	25
4.6	Häiriintyvät kohteet	26
5.	Aiemmat selvitykset	27
5.1	Pintavesitutkimukset 2016	27
5.2	Pintavesitutkimukset 2021	27
6.	KAJAK-hankkeen tutkimukset 2022–2024	29
6.1	Kaivannaisjätteiden kenttä- ja karakterisointitutkimukset	29
6.1.1	Sivukivialueet – Raajärvi ja Puro	31
6.1.2	Rikastushiekka-alueet	33
6.1.3	Pintamaan läjitysalueet - Raajärvi ja Leviäselkä	36
6.2	Pintavesitutkimukset	40
6.2.1	Kemiallinen laatu	42
6.2.2	Virtaama	43
6.2.3	Mallinnukset	43
6.3	Pohjavesitutkimukset	43
6.3.1	Kemiallinen laatu	45
6.3.2	Virtausolosuhteet	46
6.3.3	Mallinnukset	47
6.4	Sedimenttitutkimukset	47
6.5	Jätemateriaalin uudelleen hyödyntäminen	50
6.6	Maaperätutkimukset	50

6.7	Luontotutkimukset	51
6.8	Laskeumatutkimukset	51
6.9	Radioaktiivisuus	51
6.10	Jätealueiden rakenteet ja vakaus	51
6.11	Riskinarvioinnit	51
6.12	Muut	51
7.	Tulokset ja niiden tulkinta	51
7.1	Yleistä	51
7.1.1	Viitearvot	51
7.1.2	Taustapitoisuudet	56
7.2	Kaivannaisjätteet	57
7.2.1	Sivukivialueet	57
7.2.2	Rikastushiekka-alue	62
7.2.3	Muut – Pintamaaläjitykset	65
7.3	Pintavesi	66
7.3.1	Taustapitoisuudet	66
7.3.2	Avolouhoksen kerrostuneisuus	68
7.3.3	Kaivosalueen pintavedet	73
7.3.4	Vesistöt	78
7.3.5	Virtaamat	78
7.4	Pohjavesi	79
7.4.1	Taustapitoisuudet	79
7.4.2	Raajärven kaivosalueen pohjavedet	80
7.4.3	Puron kaivosalueen pohjavesi	84
7.4.4	Leviäselän kaivosalueen pohjavesi	85
7.4.5	Talousvesi	86
7.5	Sedimentti	87
7.6	Jättemateriaalin uudelleen hyödyntäminen	88
7.7	Tutkimustulosten yhteenveto	88
8.	Riskinarviointi	94
9.	Johtopäätökset	94
9.1	Seurantavaiheen johtopäätökset	94
9.2	Riskinarvioinnin tarve	95
9.3	Jatkotoimenpidesuositukset	95
10.	Yhteenveto	96
11.	Lähteet	97

LIITTEET

Liite 1

Kaivannaisjätenäytteenoton valokuvat

Liite 2

Pinta- ja pohjavesinäytteenoton valokuvat

Liite 3

Putkikortit

Liite 4

Kaatopaikka- ja öljysäiliötutkimusten tulokset

Liite 5

Yhteenvetotaulukko kaivannaisjätteet

Liite 6

Yhteenvetotaulukko avolouhokset

Liite 7

Yhteenvetotaulukko pintavesi

Liite 8

Yhteenvetotaulukko pohjavesi

Liite 9

Yhteenvetotaulukko kaivovesi

Liite 10

Yhteenvetotaulukko sedimentti

Liite 11

Laboratorion analyysitodistukset

Liite 12

SSTP-arvot

PIIRUSTUKSET

- 1 Sivukivialueiden näytepisteet
- 2 Rikastushiekka-alueen näytepisteet
- 3 Pintamaan läjitysalueiden näytepisteet
- 4 Vesien ja sedimentin tarkkailupisteet
- 5 Pintavesitulostekartat A-H
- 6 Pohjavesitulostekartat A-H

1. Johdanto

Valtakunnallisessa KAJAK-hankkeessa, joka pohjautuu EU:n kaivannaisjätedirektiiviin 2006/21/EY (EU 2006), selvitetään isännättömien suljettujen ja hylättyjen kaivosten kaivannaisjätealueiden ympäristö- ja terveystarpeita. Kemijärvellä sijaitseva vuoteen 1976 toiminut Raajärven rautamalmin louhimiseen ja rikastamiseen keskittynyt kaivosalue on KAJAK-hankkeen priorisointivaiheessa tunnistettu seurantavaiheen tutkimuskohteeksi.

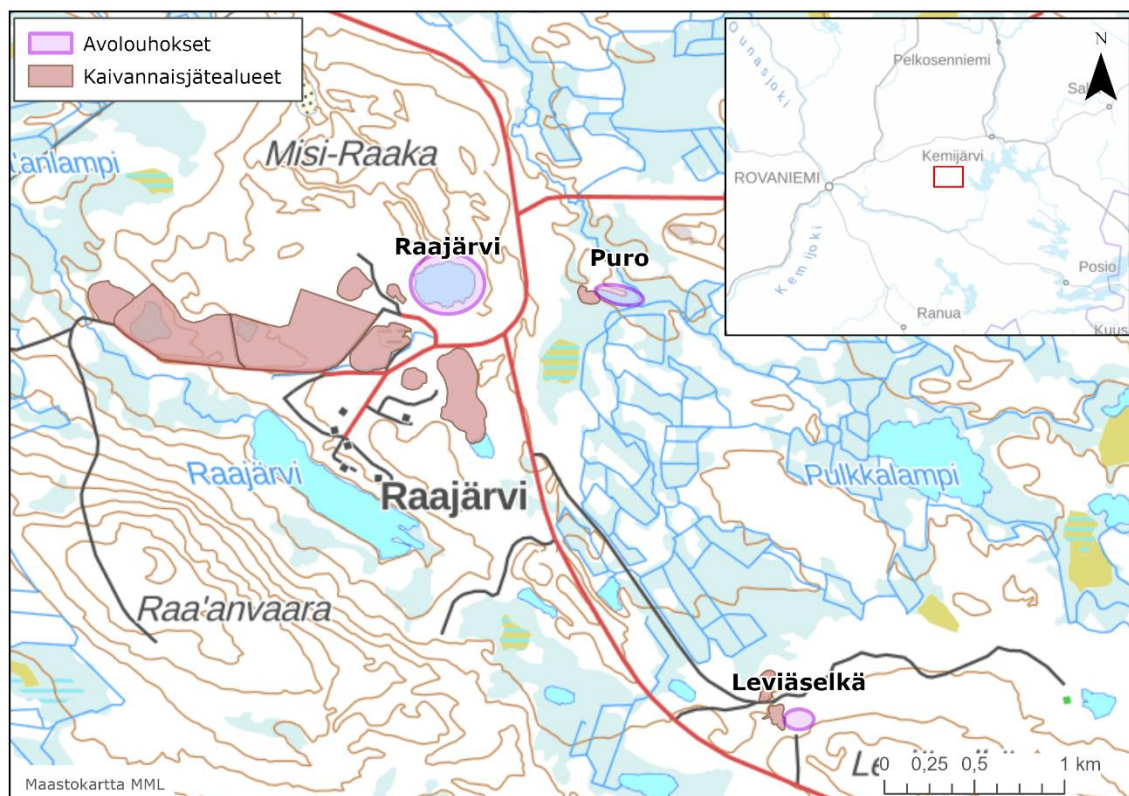
Pirkanmaan ELY-keskuksen toimeksiannosta Ramboll Finland Oy on toteuttanut seurantatutkimuksia alueella vuosina 2022–2024. Seurantavaiheen tavoitteena oli kerätä kattavasti seurantatietoa Raajärven rautakaivoksen ympäristön tilasta, jotta voidaan arvioida, onko alueella tarvetta tarkennetulle selvitysvaiheen tutkimustiedolle ja edelleen ympäristö- ja terveysriskien arvioinnille.

Tässä raportissa esitetään seurantavaiheen aikana koostettu lähtötieto ja seurannan aikana kerätty tutkimustieto, jotta voidaan tehdä perusteltu päätelmä mahdollisista jatkotoimenpiteistä (mm. selvitysvaiheen tarpeesta).

2. Kohteen kuvaus

2.1 Sijainti ja raja- aus

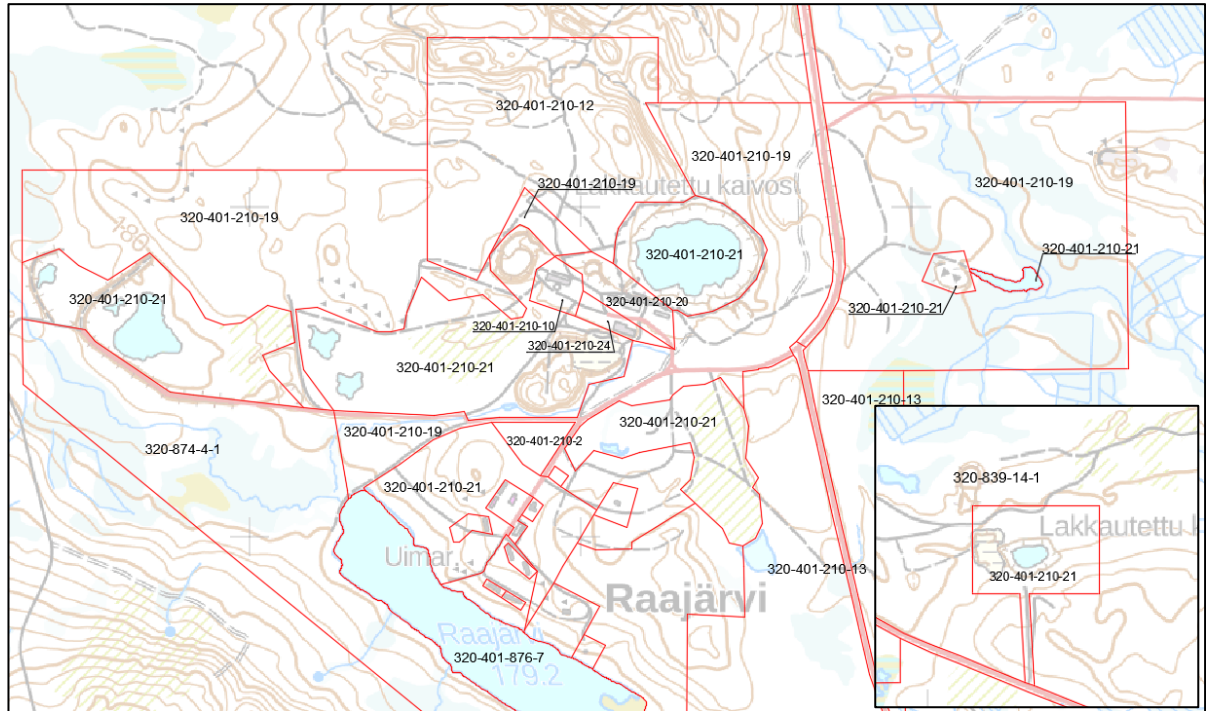
Raajärven suljettu rautakaivos satelliittikaivoksineen (Puro ja Leviäselkä) sijaitsee Kemijärvellä, kaupungista noin 30 km lounaaseen (kuva 2-1). Kaivosalueen koko on ollut noin 500 ha.



Kuva 2-1. Lakkautetun Raajärven kaivoksen ja sen satelliittikaivosten Puron ja Leviäselän sijainnit.

2.2 Omistus ja hallinta

Raajärven kaivosalue satelliittikaivoksineen sijoittuu useamman kiinteistön alueelle. Kaivoalueiden kiinteistöt on esitetty kuvassa 2-2. Kiinteistöjen omistajat on esitetty taulukossa 2-1.



Kuva 2-2. Kaivosalueen kiinteistöt.

Taulukko 2-1. Kiinteistöjen omistajat.

Kiinteistönnumero	Kiinteistönomistaja	Kaivosalue
320-401-210-10	Yksityinen omistaja	Raajärvi
320-401-210-12	Yksityinen omistaja	Raajärvi
320-401-210-19	Suomen valtio / hallinnoi Metsähallitus	Raajärvi, Puro
320-401-210-20	Yksityinen yritys	Raajärvi
320-401-210-21	Yksityinen kuolinpesä	Raajärvi, Puro, Leviäselkä
320-401-210-24	Yksityinen omistaja	Raajärvi
320-893-14-1	Suomen valtio / hallinnoi Metsähallitus	Ympäröivät alueet
320-874-4-1	Lapin Yhteismetsä	Ympäröivät alueet

2.3 Nykyinen toiminta

Raajärven kaivoksella ja sen satelliittien alueella ei ole pääasiallista koko alueen kattavaa toimintaa. Raajärven kaivoksen alueella on yhä olemassa osa kaivostoiminnan aikaisista rakennuksista ja rakenteista. Osin rakennukset ovat nykyisellään varasto- ja korjaamotiloina, osin tyhjillään. Rakennukset on kuvattu tarkemmin kappaleessa 3.2 (kuva 3-2). Raajärven jätealueilla harjoitetaan yritystoimintaan liittyvää maastoajoratakäyttöä.

Leviäselän kaivosalueen läpi kulkee geologinen luontopolku. Lisäksi pintamaan läjitysalueella on ollut mm. maastoajoratakäyttöä. Leviäselkä on alueen virallinen nimi kartoissa. Joissakin selvityksissä alueesta on käytetty myös nimeä Leveäselkä. Puron kaivosalueella ei ole toimintaa.

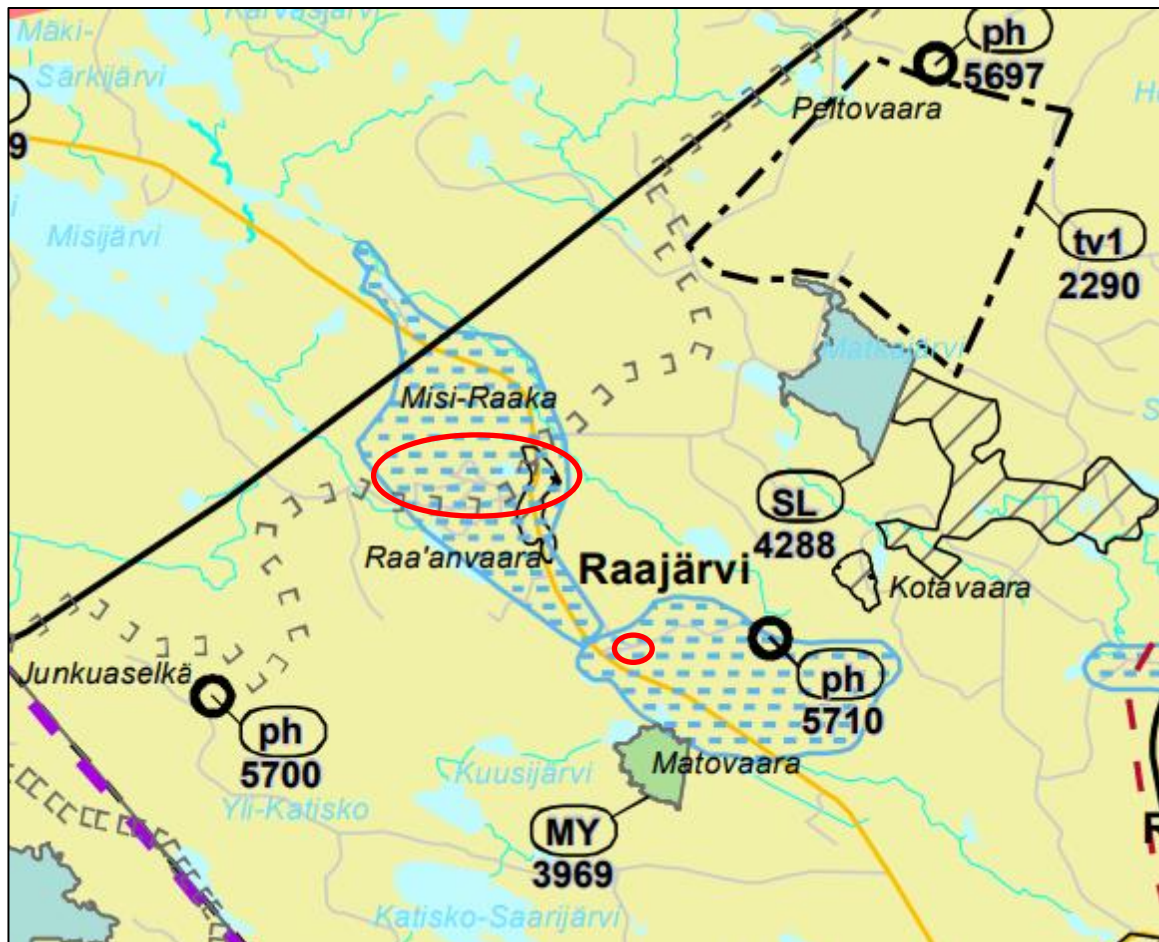
Raajärven kylässä asuu nykyisin noin 10 ihmistä. Raajärven rannassa on merkitty uimaranta laitureineen (kappale 4.6, kuva 4-7).

Raajärven kylässä toimii Wanha kaivoskylä (Wanha kaivoskylä Mainari Oy). Kaivoskylän varsinainen toimipiste sijaitsee kaivosalueen eteläpuolella Raajärven kylässä, mutta osin toiminta sijoittuu myös kaivosalueille. Kaivoskylä tarjoaa ravintola- ja majoituspalveluita sekä erilaisia aktiviteetteja kuten off-road ajoa, urheilusukellusta ja moottorikelkkailua. Kaivoskylässä järjestetään vuosittain useita tapahtumia, kuten safari-, mönkijä- ja maastoautotapahtumia (kappale 4.6, kuva 4-7). (Wanha kaivoskylä, <https://www.mainari.fi/6>)

Kaivosalueen matkailutoiminnan kehittämiseksi on tehty selvityksiä. Esimerkiksi Kone-säätiön rahoituksella on tehty suunnitelmia luonnontuhopuiston rakentamisesta kaivosalueelle.

2.4 Kaavoitus

Kohde ei sijaitse asema- tai yleiskaava-alueella. Rovaniemen ja Itä-Lapin maakuntakaavassa alue on määritetty maa- ja metsätalousalueeksi (keltainen väri) (kuva 2-3).



Kuva 2-3. Ote Rovaniemen ja Itä-Lapin maakuntakaavasta 2022. Kaivosalueen läpi kulkee moottorikelkkareitti. Lisäksi kaivosalueen itäreunalla on mustalla viivoitettu arvokas harjuale tai muu geologinen muodostuma. Punaisella ympyrällä on esitetty Raajärven ja Leviäselän likimääräinen sijainti.

3. Kaivostoiminta ja toiminnassa syntyneet jätteet

3.1 Kaivostoiminnan historia

Vuonna 1961 aloitti Otanmäki Oy (nykyinen Rautaruukki) Raajärven kaivoksen ja kaivoskylän rakentamisen. Raajärven kaivos oli rautamalmikaivos, joka oli toiminnassa vuosina 1964–1976. Kaivostoiminnan loputtua alueella jatkettiin kaivostoimintaa tukevaa konepajatoimintaa, joka lopetettiin vuonna 1985. Raajärven kylässä asui vilkkaimpana aikana noin 500 ihmistä.

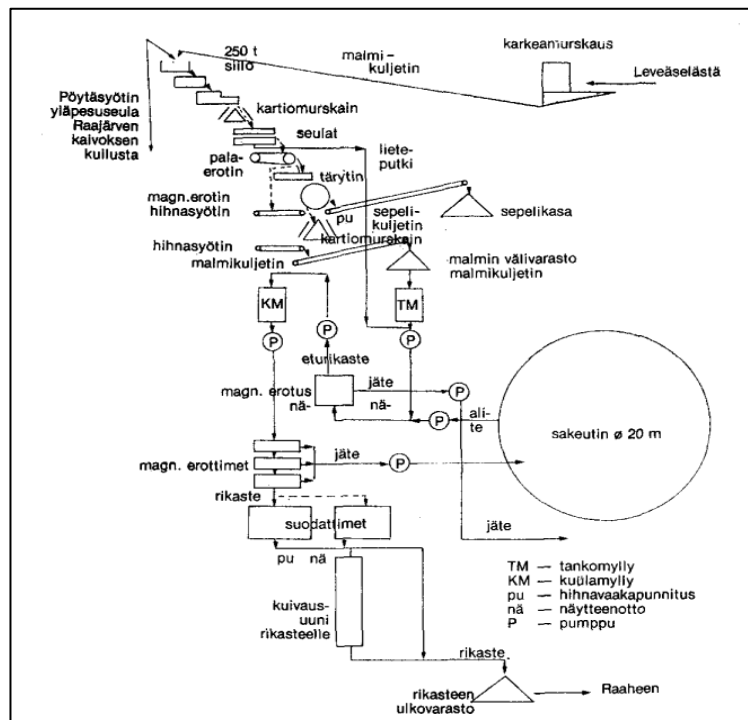
Raajärven kaivostoiminnan kanssa louhittiin rautamalmia Puron ja Leviäselän satelliittikaivoksista (1969–1974), joiden malmi rikastettiin Raajärven rikastamolla. Kaivoksen kokonaislouhinta oli yhteensä 11 miljoonaa tonnia, josta malmikiven osuus oli 8,4 miljoonaa tonnia (Tornivaara ym. 2018). Raajärven malmiot sisälsivät keskimäärin 47 % rautaa (Fe), 0,3 % fosforia (P), 0,11 % rikkiä (S) ja 0,11 % vanadiinia (V) sekä 0,5 % titaanioksidia (TiO_2). Puron malmion rautapitoisuus oli 53,9 % ja Leveäselän kahden malmion keskimäärin 47 % (sekä 0,11 % vanadiinia). Malmimineraalit olivat magnetiitti ja hematitiitti. Vanadiini oli sitoutuneena magnetiittiin. Valmistaa rikastetta kuljetettiin ympäri vuoden Raahen jatkojalostukseen.

Raajärven avolouhintaa edelsivät erittäin laajat maanpoistotyöt, kaikkiaan noin 1,3 milj. m³. Maapeitteen, joka pääosiltaan oli hiekkaa, paksuus oli parhaimmillaan yli 30 metriä.

Raajärven kaivoksen alkuvaiheessa louhittiin Puron malmio avolouhintana noin 25 metrin syvyyteen. Tuotanto Puron louhoksesta oli kaikkiaan noin 80 000 tonnia. Malmi ajettiin Puron louhokselta Raajärven maanpäälliseen karkeamurskaamoon. Leveäselän kaivos koki lyhyen toimintansa aikana (1972–1974) kaksi vakavaa sortumaa. Ensimmäinen tapahtui lokakuussa 1972, jolloin louhoksessa kattopilarin sortuminen aiheutti runsaiden pohjavesivarastojen purkautumisen kaivokseen. Tällöin kaivos täyttyi vedellä, joka kuitenkin voitiin pumpata pois. Vuonna 1974 tapahtui toinen samanlainen sortuma, jolloin kaivokseen veden mukana valui lisäksi hienoa hiekkaa ja louhoskiveä. Tässä sortumassa vioittuivat kuilurakenteet suurimmaksi osaksi käyttökelvottomiksi. Kaivosta yritettiin myöhemmin vielä tyhjentää kaivokseen jääneen kaluston pelastamiseksi, mutta työt keskeytettiin turvallisuussyistä ja kaivos suljettiin. (Siirama 1976)

Raajärvellä ja sen satelliiteissa malmin ainoa talteen otettava mineraali oli magnetiitti. Tämän vuoksi rikastusprosessi oli suhteellisen yksinkertainen ja varmatoiminen. Rikastuksessa ei käytetty lainkaan kemikaaleja (Westerlund 1964, Nuutilainen 1964 ja Pietilä & Räisänen 2021). Raajärven kaivoksen rikastusprosessissa hyödynnettiin magneetteja ja seuloja malmin rikastukseen. Alla on esitetty kaavio (kuva 3-1) Raajärven rikastusprosessista.

Prosessissa tornisiilosta malmi syötettiin hienomurskaamoon, jossa murskaus tapahtui kahdessa vaiheessa. Murskausvaiheiden välissä suoritettiin myös seulonta ja magneettinen separointi. Malmi varastoitui ulkovarastoon, josta tapahtui syöttö rikastamoon. Ulkovarastoinnin onnistumiseksi suoritettiin seulonta pesuseulontana ja syntynyt hieno aines pumpattiin suoraan rikastamon jauhatuspiiriin. Rikastamalla malmi jauhettiin tanko- ja kuulamylyissä hienouteen 50 %-200 mesh. Märkämagneettinen etuseparointi tapahtui tankomylyjauhatuksen jälkeen ja hienoseparointi kuulamylyjauhatuksen jälkeen. Suodatettu rikaste varastoitui ulos. Rikasteen kuivatus tapahtui ainoastaan talvella. (Siirama 1976)



Kuva 3-1. Raajärven kaivoksen rikastusprosessi. (Lähde: Siirama 1976).

Raajärven malmikivi on magnetiittia, joka on oksidimineraali. Malmiin liittyy pyriittiä eli rikkikiisua, joka on rautasulfidia, kalkopyriittiä eli kuparikiisua, telluriittia, hematiittia ja borniittia. Lisäksi talkki-dolomiittikiviin liittyy amfiboli-mineraaliryhmään kuuluvat tremoliitti ja aktinoliitti. Näistä tremoliitti sisältää kalsiumia ja magnesiumia, kun taas aktinoliitti kalsiumia ja rautaa. Tremoliitti ja aktinoliitti voivat esiintyä kuitumaisena asbestimuodossa, mutta myös ei-asbestimuodossa. Malmikivessä esiintyy yleisnimityksellä karsikiviä, joissa esiintyy tremoliitti- aktinoliitin lisäksi mm. kloriittimineraalia, joka nimen samankaltaisuudesta huolimatta ei sisällä kloridia sekä serpentiiniä ja kalsiittia. Raudan lisäksi malmiesiintymä sisältää kohonneita vanadiini- ja fosforipitoisuuksia. Rikkipitoisuus malmissa on 0,1 paino-%, mutta nousee rikkikiisun ja kuparikiisun osuuksissa 3,7 paino-%:iin (Niiranen 2005). Rikin määrä ilmentää, että kyseessä on metallioksidimalmi, jossa rikkiä esiintyy vähäisessä määrin. (Pietilä & Räisänen 2021)

Raajärven kaivoksella sulkemistoimenpiteitä ei ole saatavilla olevien tietojen mukaan tehty.

3.2 Kaivosalueen infrastruktuuri ja avolouhokset

Raajärven alueella on nykyisin vedellä täyttyneen avolouhoksen lisäksi peittämättömiä sivukivi- ja pintamaakasoja, rikastushiekka-alue sisältäen selkeytsaltaat, murskevarasto, huonokuntoinen kaivostorni, rikastamo ja muita rakennuksia. Kuvassa 3-2 on esitetty kaivosalueen olemassa olevat rakennukset ja niiden kaivostoiminnan aikaiset käyttötarkoitukset. Raajärven avolouhoksen syvyys on noin 46 m. Raajärven kaivosalueelle johtavat tiet on joko suljettu lukittavilla porteilla tai tieurat on katkaistu ojilla tai isoilla kivillä. Avolouhoksen ulkopuolella on osittainen aitaus. Muutoin kaivosaluetta ei ole aidattu.



Kuva 3-2. Raajärvi 360 kuva (yllä) ja ilmakuva (alla) keskeiseltä Raajärven kaivosalueelta. Rakennusten kaivostoiminnan aikaiset käyttötarkoitukset on esitetty alemmassa kuvassa.

Puron satelliitin alueella on avolouhos ja sivukivialue 1.3 (kuva 3-3). Puron avolouhoksen syvyys on noin 22-24 m. Puron aluetta ei ole aidattu, eikä alueella ole muita kaivostoimintaan liittyviä rakenteita tai rakennuksia.



Kuva 3-3. Puro 360 kuva, avolouhos ja sivukivialueen 1.3 reuna.

Leviäselän satelliitin alueella on huonokuntoinen kaivostorni (kuva 3-4) ja vedellä täyttynyt avolouhos sekä kaksi pintamaakasaksi osoittautunutta aluetta (3.4 ja 3.5). Leviäselän avolouhoksen syvyys on noin 16-17 m. Leviäselän aluetta ei ole aidattu.

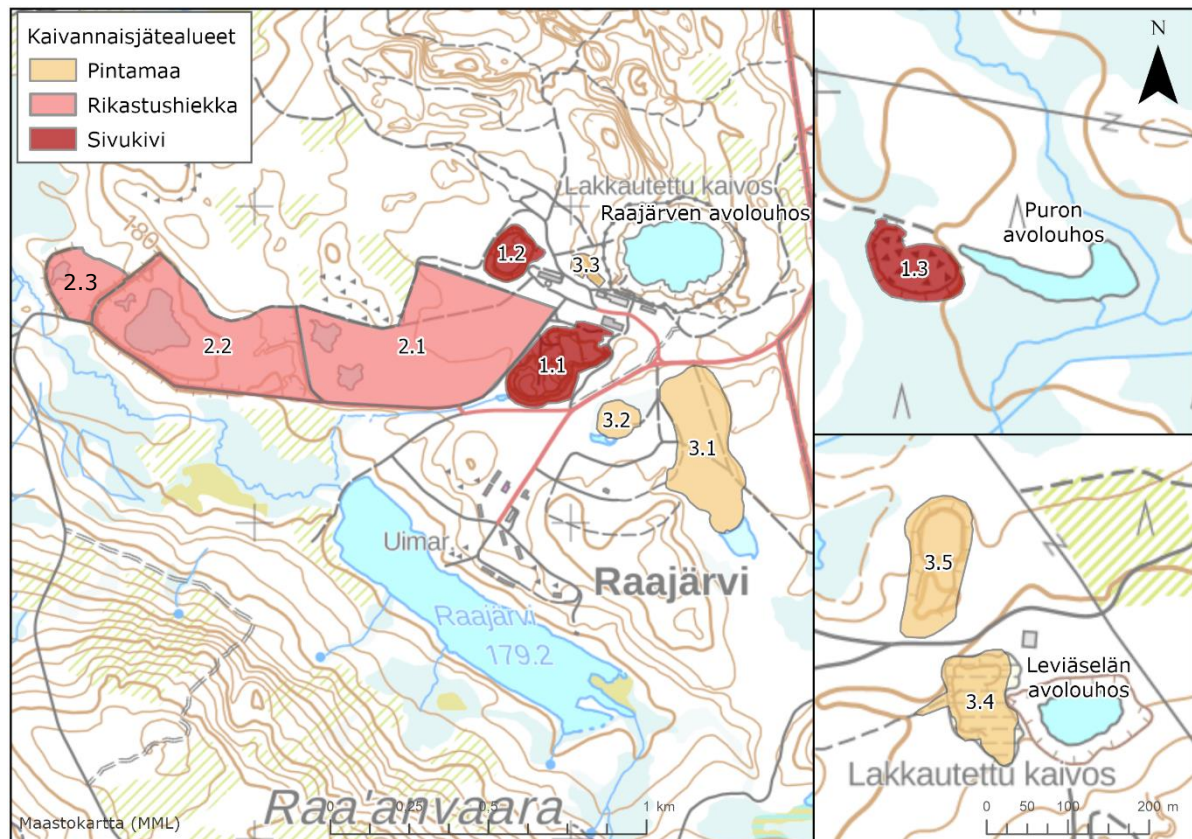


Kuva 3-4. Leviäselkä, pintamaan läjitysalueet 3.4 ja 3.5 sekä kaivostorni ja avolouhos.

Tukesin maastokatselmuksen 31.10.2019 muistiossa otetaan kantaa seuraavasti myös Leviäselän kaivostorniin. *Torni on kohtuullisen hyvässä kunnossa, mutta sen yhteyteen kuuluvat puurakenteet ovat jo sortuneet ja huonossa kunnossa. Vaikutti siltä, että kaivostornin kattorakenteita on pudonnut tuulen vaikutuksesta maahan. Tornin yläosan reunalaudoitusta on osin tippunut myös. Avolouhoksen vierellä kulkee geologinen luontopolku. Kaivostornin purkamistarve turvallisuussyistä on ilmeinen.*

3.3 Kaivannaisjätteet ja jätealueet

Alue koostuu Raajärven päälouhoksesta sekä Puron ja Leviäselän satelliittikaivoksista sekä niitä ympäröivistä kaivannaisjätealueista (kuva 3-5).



Kuva 3-5. Raajärven kaivosalue ja satelliittikaivokset Puro ja Leveäselkä kaivannaisjätealueineen. Sivukivialueet on nimetty alueiksi 1.1–1.3, rikastushiekka-altaat 2.1–2.3 sekä pintamaan läjitysalueet on nimetty 3.1–3.5.

Raajärven pääkaivoksella, jossa rikastaminen on tapahtunut, sijaitsee laajat rikastushiekka-altaat (2.1–2.3) sekä kaksi sivukiven läjitysalueita (1.1 ja 1.2). Lisäksi alueella on tunnistettu kolme aluetta, jonne on läjitetty kaivoksen rakennusvaiheessa avolouhoksen päältä pintamaata (3.1, 3.2 ja 3.3).

Puron ja Leviäselän satelliittikaivoksilta malmi on viety rikastettavaksi Raajärvelle. Puron satelliittikaivoksella sijaitsee avolouhos ja sen länsireunalla sivukiven läjitysalue (1.3).

Leviäselällä on avolouhoksen lisäksi kaksi pintamaan läjitysalueita (3.4 ja 3.5). Läjitysalueen 3.5 pinnassa todettiin hieman sivukiveä, mutta kokonaisuudessaan tutkimuksien mukaan läjitys on pintamaata eli hiekkaa ja paikoin hienoa hiekkaa.

3.3.1 Raajärvi

Sivukiviä alueella muodostui arviolta 3 Mt (Tornivaara ym. 2018). Raajärven rautamalmin isäntäkivi eli muodostunut sivukivi on dolomiittinen marmori, joka on pääosin kalsiittia (CaCO_3), ja sisältää savimineraaleja, kiilteitä, kvartsiittia, rikkikiisua, rautaoksideja ja grafiittia.

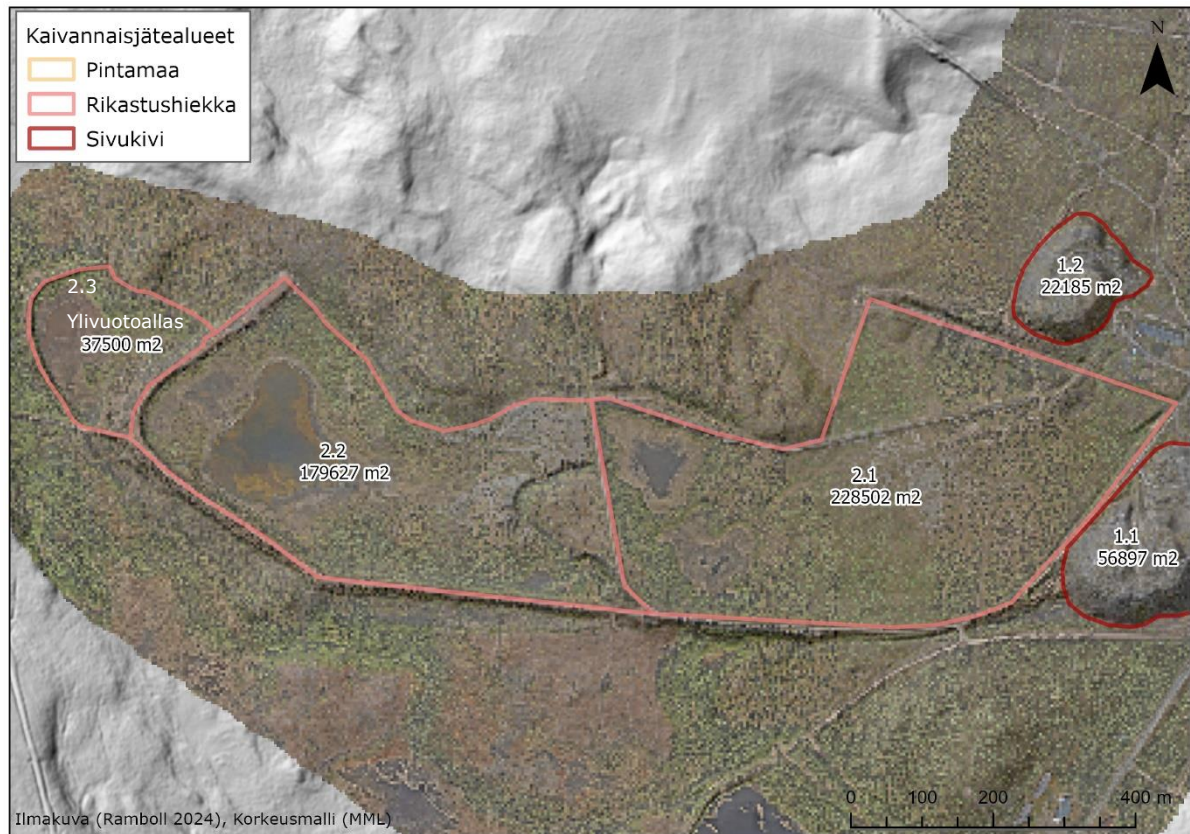
Raajärvellä on kaksi sivukivialuetta (kuva 3-6), joista suurempi jakautuu kahteen osaan siten, että länsipuoli on sivukiveä (a-osa) ja itäpuoli (b-osa) murskattua sivukiveä. Sivukivialueilla on eri kokoista sivukiveä, osin rapautunutta. Murske on kooltaan tasakokoista. Toiminnan aikana ja sulkemisen jälkeen sivukiviä on hyödynnetty murskaamalla maanrakennuskäyttöön.

Sivukivialueiden lisäksi louhoksen ympärillä on kolme pintamaan läjitysaluetta 3.1-3.3, jotka on esitetty kuvassa 3-6. Näille alueille on tietävästi läjitetty Raajärven avolouhoksen päältä hiekkamaata ennen kaivostoiminnan aloittamista. Pienin pintamaaläjitys avolouhoksen länsireunalla on toiminut luultavimmin kuljettimen tukipenkkana. Tämän läjityksen pinnalla on sivukiveä, mutta kokonaisuudessaan tutkimuksien mukaan pienin läjitysalue on kuitenkin pintamaata eli hiekkaa.



Kuva 3-6. Raajärven sivukiven, rikastushiekan ja pintamaan läjitysalueet ilmakuvassa yllä ja 360 kuvassa lännestä itään kuvattuna.

Raajärven kaivoksella rikastushiekkaa kertyi 2,9 Mt (Tornivaara ym. 2018). Rikastushiekka-alue on noin 47 hehtaarin kokoinen alue (kuva 3-7), joka sijaitsee kaivosalueen länsipuolella (kuva 3-5). Rikastushiekka-alue on jaettu tulkintatavasta riippuen kolmeen tai neljään eri alueeseen (Tornivaara ym. 2018; Pietilä & Räisänen 2021), joista osa on mahdollisesti toiminut kaivoksen ylivuoto-/selkeytysaltaina.



Kuva 3-7. Rikastushiekka-altaat 2.1 ja 2.2 sekä ylivuoto-/selkeytysallas 2.3.

Raajärven rikastushiekasta CeraTAIL-projektissa tehdyn kenttäemissio-pyyhkäisyelektronimikroskooppitutkimuksen (FE-SEM-EDS) mukaan rikastushiekassa päämineraaleina ovat kloriitti, serpentiini ja tremoliitti-tyyppinen amfiboli. Lisäksi kiilteitä, kuten biotiittia ja flogopiittia esiintyy melko runsaasti, kuten myös kvartsiittia, talkkia ja dolomiittia (Pietilä & Räisänen 2021).

3.3.2 Puro

Puron satelliittikaivoksella sijaitsee avolouhos ja sivukivialue 1.3 (kuva 3-8). Sivukivialueen pinta-ala on noin 8 000 m². Alue on peittämätön ja osin kasvittunut kitukasvuisilla varvuilla ja puuntaimilla. Erityisesti Puron ympäristössä on suoalueen lätäköissä rautasaostumia viitteenä sulfidihapettumisesta (kuvassa alla oranssi väri).



Kuva 3-8. Puron avolouhos ja sivukiven läjitysalue sekä pinta-alat.

3.3.3 Leviäselkä

Leviäselällä on avolouhoksen lisäksi kaksi pintamaan läjitysalueita 3.4 ja 3.5 (kuva 3-9).



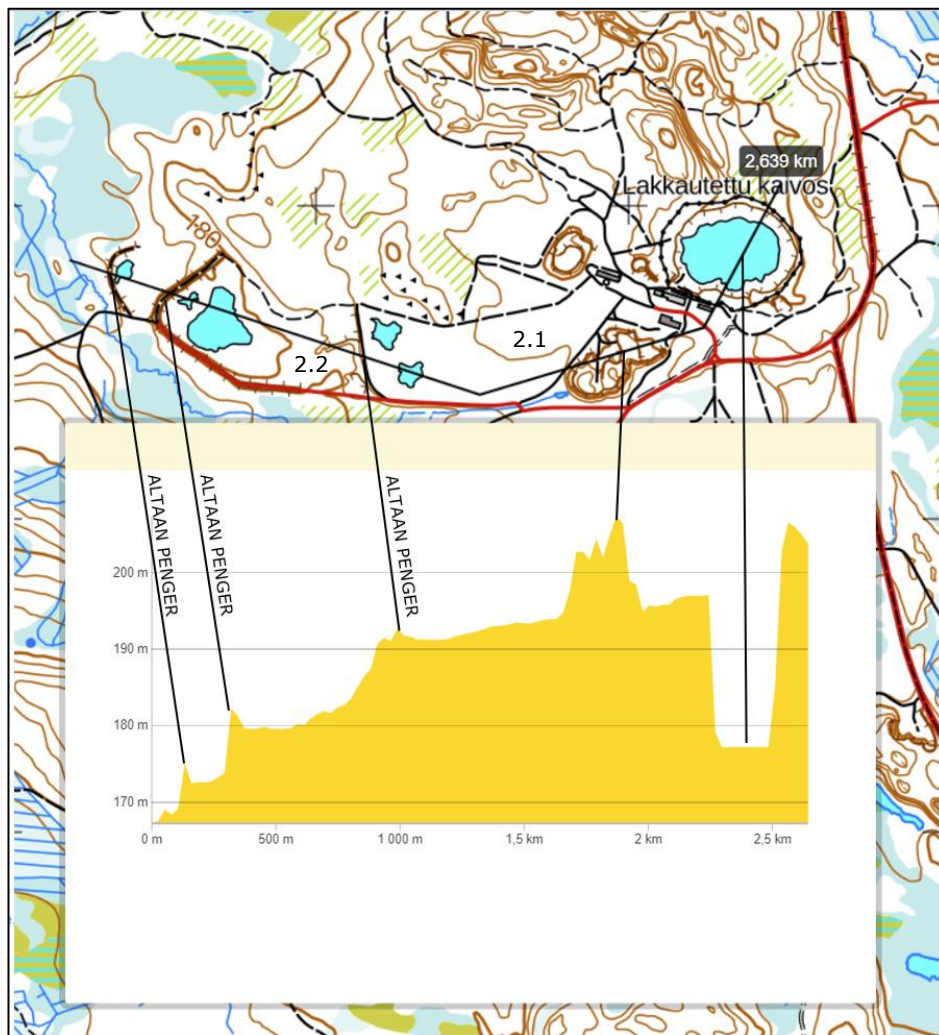
Kuva 3-9. Leviäselän avolouhos ja pintamaan läjitysalueet sekä pinta-alat.

Avolouhoksen länsipuolisella läjitysalueella 3.4, jonka pinta-ala on noin 10 000 m², on harjoitettu aiemmin mainittua moottoriurheilua. Alueella näkyy edelleen ajouria ja se on peittämätön. Alueella kasvaa paikoin puustoa ja paikoin ohutta humuskerrosta. Läjitetty pintamaa on todennäköisesti peräisin avolouhoksen päältä olevaa hiekkaa.

Toisen pohjoispuoleisen läjitysalueen 3.5, jonka pinta-ala on noin 11 500 m², arviointiin alustavasti olevan sivukiveä, mutta tutkimusten perusteella läjityksen päällä on ohut kerros sivukiveä ja varsinaisen läjityksen arvioidaan olevan samaa pintamaahiekkaa kuin avolouhoksen viereisen läjitysalueen.

3.4 Kaivannaisjätealueiden geotekniset rakenteet ja fysikaalinen vakaus

Raajärven avolouhosta ympäröi korkeat jyrkkäreunaiset hiekkaseinämät, jotka nousevat noin 30 m korkeuteen avolouhoksen vedenpinnasta (kuva 3-10). Raajärvellä sivukivet on läjitetty paikoitellen noin 10 m korkeiksi kasoiksi. Sivukivikasojen ja murskekasojen päällä kulkee ajouria. Avolouhoksen seinämiin liittyy sortumavaara (Tukes maastokatselmus 31.10.2019 muistio), samoin kuin osaan sivukivialueiden jyrkistä seinämistä.



Kuva 3-10. Raajärven kaivosalueen korkeusprofiili.

Rikastushiekka-alueiden padot on tehty alun perin avolouhoksen maanpoistomassoista, jotka ovat olleet pääosin hienoa hietaa. Lähinnä kaivosta olevan penggerpadon taso on noin 190 m, toisen 180 m ja kolmannen noin 170 m korkeudella merenpinnasta (kuva 3-10). Pengerteinä toimivien patojen vakautta ei ole tässä seurantavaiheessa tarkemmin selvitetty. Rikastushiekka-alueista kaivoksen läheisin on maastokatselmuksien perusteella suomalaisin sekä vetisin, ja näytteenoton kannalta sen sisältämä vesialue vaikeasti saavutettavissa.

Rikastushiekka-altaiden 2.1 ja 2.2 pohjalla tavoitettiin paikoin noin puolen metrin savikerros ja sen alla karkeampaa louhekerrosta, jonka arvioitiin olevan altaan pohjarakennetta. Muuta tietoa pohjarakenteista alueella ei ole.

Puron avolouhoksessa ei ole jyrkkiä seinämiä, vaan avolouhos on lampimainen osa maastoa (kuva 3-3). Puron sivukivet on läjitetty melko matalaksi noin 4-5 metriä korkeaksi ympäröivään maanpintaan nähden. Puron osalta seinämien ja läjityksen fyysikaaliseen vakauteen ei arvioida liittyvän merkittäviä riskejä.

Leviäselän avolouhoksessa on niin ikään jyrkkäreunaiset hiekkaseinämät, jotka ovat yli 20 m korkeudella avolouhoksen vedenpintaan nähden. Pintamaan läjitysalue 3.4 ulottuu korkeimmillaan noin 8 m korkeudelle ympäröivään maanpintaan nähden. Pohjoisen puoleinen pintamaan läjitysalue

3.5 ulottuu noin 6 m korkeudelle ympäröivään maanpintaan nähden. Avolouhoksen seinämiin voi liittyä sortumavaaraa, mutta pintamaan läjitysalueiden osalta vaara katsotaan vähäiseksi. Tukesin muistion (31.10.2019) mukaan Leviäselälle ”tulee määritellä ja aidata tarvittaessa sortuma- ja painumavaaralliset alueet, etenkin siitä syystä, että kaivoksen toiminta on päättynyt kaivoksen sortumiseen.”

3.5 Kaivosalueen vesienhallinta

Raajärven, Puron ja Leviäselän vedellä täyttyneillä avolouhoksilla ei ole todettu ylivuotoa ympäristön pintavesiin.

Sivukivialueille satava vesi kulkeutuu suotautuen sivukiven/murskeen läpi ympäristöön ja edelleen pohjavedeksi ja/tai pintavalunnaksi. Raajärven kaivosalueelta pääosin pintavalunta päättyy lopulta luoteeseen kohti Misijärveä johtavaan Raa’anojaan ja Purossa lopulta pohjoiseen johtavaan Pulkkaojaan (ks. kappale 4.3.6).

Rikastushiekka-altailla jälkimmäisestä altaasta virtaa selkeytynyt vesi ylivuotoputkien kautta niin ikään kohti Misijärveä johtavaan Raa’anojaan.

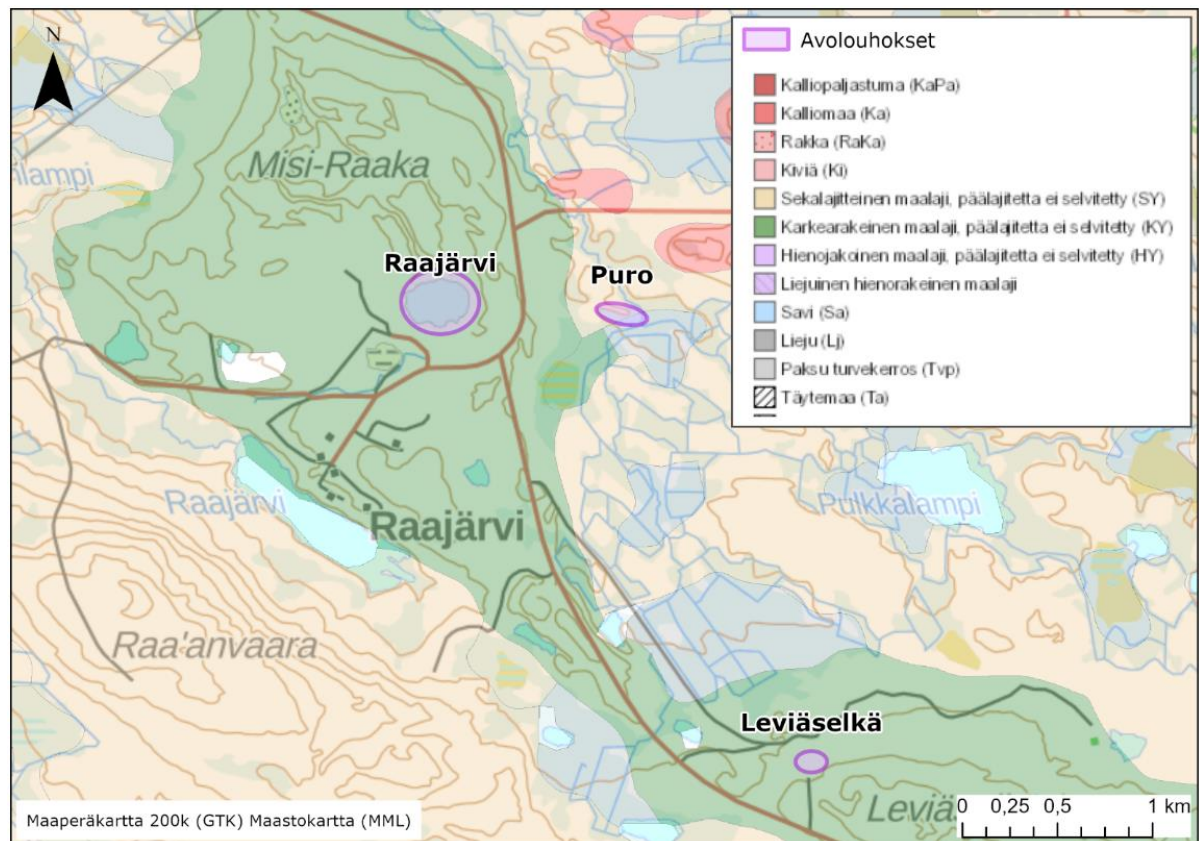
Leviäselän pintamaakasoilta pintavalunnan arvioidaan olevan vähäistä ja sen arvioidaan suuntautuvan pohjoiselle suoalueelle. Alueella sadannan arvioidaan päätävän pääosin hiekkakerrosten läpi pohjavedeksi.

4. Ympäristöolosuhteet

4.1 Maa- ja kallioperäolosuhteet

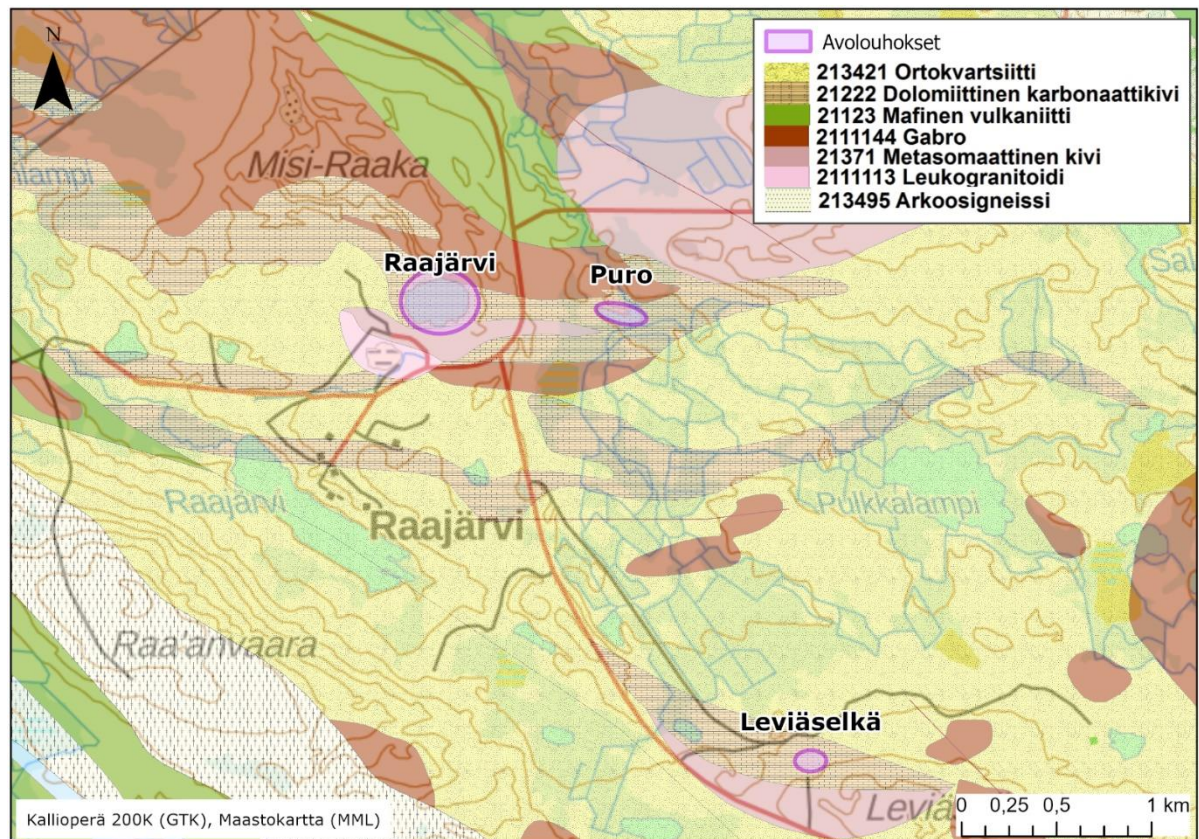
Kaivosalue on suurimmaksi osaksi harjulaajentumaa, jossa maa-aines on pääosin hiekkaa tai hietaa (kuva 4-1). Lännen suuntaan harjulaajentuma vaihtuu moreenimaaksi. Pohjavesiputkien asennuksen yhteydessä todettiin paksuimmillaan noin 25 metriä hiekkaa / soraa Raajärven avolouhoksen vieressä.

Raajärven rikastushiekka-alue sijaitsee vettä johtavalla hiekkamoreenimaalla. Rikastushiekka-alueen länsiosa 2.2 ja 2.3 on todennäköisesti läjitetty turvepeitteiselle moreenimaalle. Jätealue 2.1 on osittain kasvillisuuden peitossa ja sen länsiosassa on kosteikkotyypinen suotovesilampi. Itäosa jätealueesta on ilmeisesti kuivunut ja sen seurauksena heikommin kasvittunut. (Pietilä & Räisänen 2021)



Kuva 4-1. Maaperäkarta.

Misin alueen kallioperä (kuva 4-2) koostuu dolomiittisista marmorista sekä kvartsiiteista, paljon rautaa ja magnesiumia sisältävistä metalaavoista ja tuffeista, kiilleliuskeista, mustaliuskeista, kalsiumsilikaattisista kivistä ja meta-arkosiitista (Niiranen 2005). Dolomiittinen marmori, joka on pääosin kalsiittia, ja sisältää savimineraaleja, kiilteitä, kvartsiittia, rikkikiisua, rautaoksiedeja ja grafiittia, on Raajärven rautamalmin isäntäkivi.

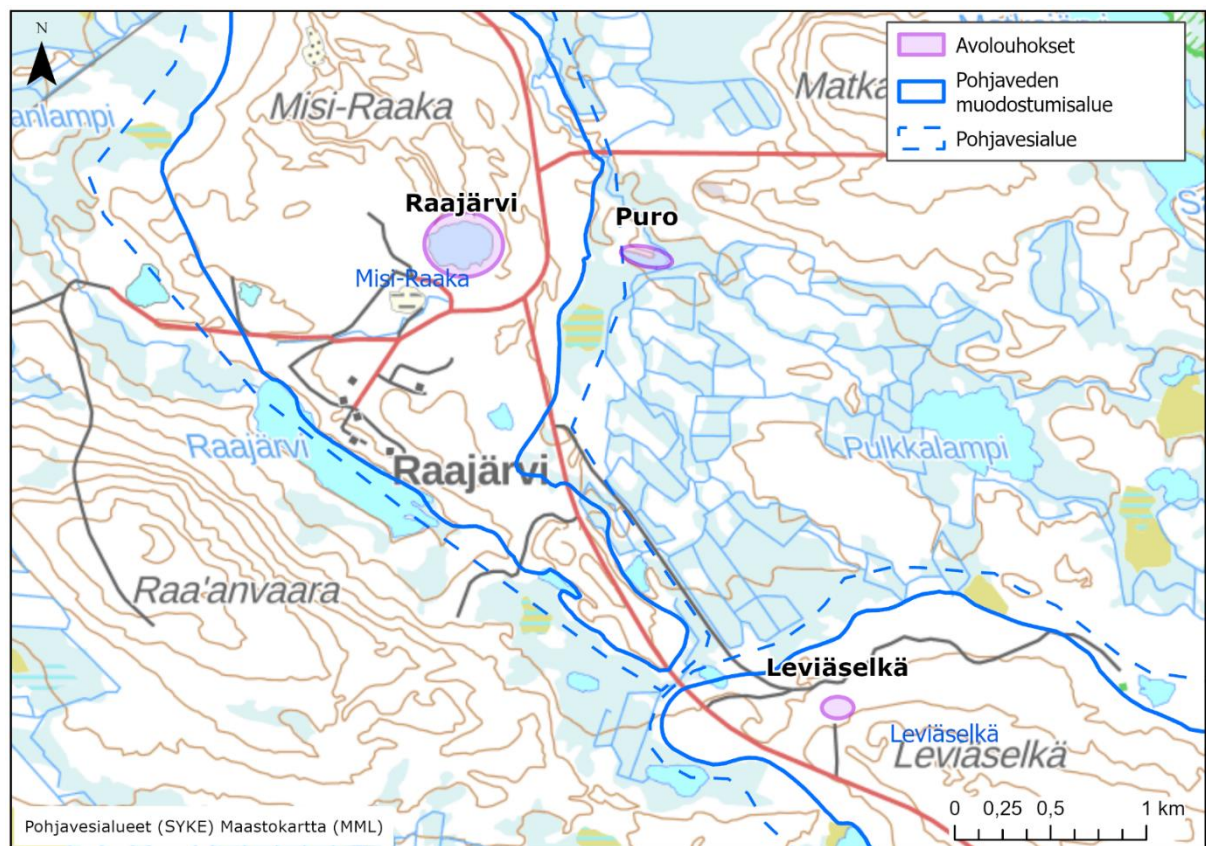


Kuva 4-2. Kallioperäkartta.

4.2 Pohjavesiolosuhteet

Kaivosalueista Raajärvi ja Puron satelliitti sijaitsevat Ympäristöhallinnon muuksi vedenhankinta- ja käyttöön soveltuvaksi luokittelemalla Misi-Raaka (12320108, 2-luokka) pohjavesialueella (kuva 4-3). Leviäselän satelliitti sijaitsee niin ikään vedenhankintakäyttöön soveltuvalla Leviäselän (12320153, 2-luokka) pohjavesialueella (kuva 4-3).

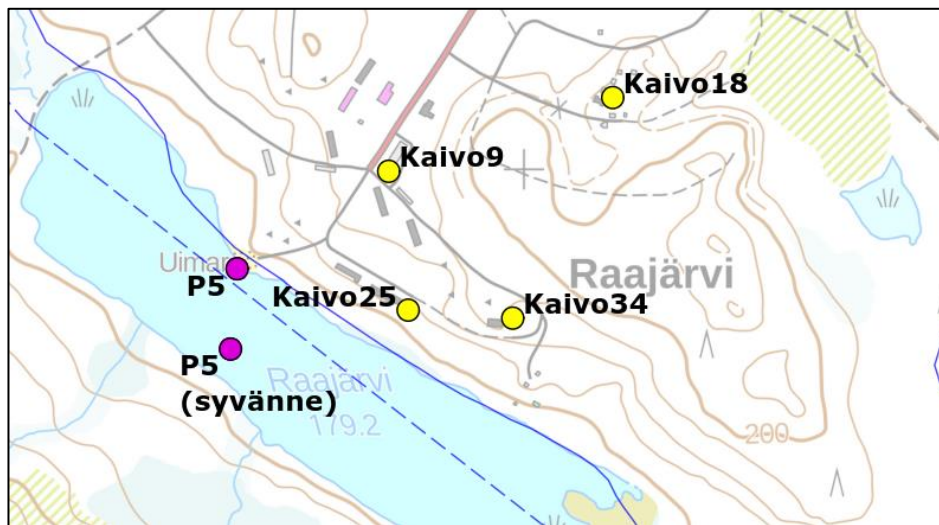
Misi-Raaka pohjavesialue sijoittuu luode-kaakkoisuuntaiseen harjumuodostumaan, joka käsittää geomorfologialtaan monimuotoisen ja laajan kokonaisuuden. Luoteispäästään kapea harjuselänne laajenee alueen keskiosassa suureksi harjulaajentumaksi, jonka päällä on runsaasti paksuja tuulikerrostumia. Pohjavesialue on aikaisemmin koostunut osa-alueista A ja B. Yhdistetyn pohjavesialueen rajausta on korjattu alkuperäisestä hieman länsipuolelta, jossa ulkopuolelle rajataan tiivistä maakerroksista koostuva alue. Pohjavesialueella sijaitseva vedenottamo ei ole enää käytössä eikä varavedenottamonakaan. Laajaan harjumuodostumaan sijoittuvan pohjavesialueen katsotaan kuitenkin soveltuvan yhdyskuntien vedenhankintaan, sillä alueella on vesioikeuden vuonna 1968 myöntämä lupa ottaa vettä 3000 l/min (noin 4320 m³/d), mikä kertoo alueen hyvästä antoisuudesta. (Hertta 2020)



Kuva 4-3. Pohjavesialueiden kartta.

Leviäselän pohjavesialue sijoittuu itä-länsisuuntaiseen harjujakson osaan, ja käsittää selänteen ja sitä ympäröivän harjulaajentuman. Muodostuman pinnassa on tuuli- ja rantakerrostumia, jotka näkyvät länsiosan rantaterasseina ja itäosan dyyneinä. Pohjavesialueen lieveosissa tehtiin kesällä 2018 kaksi maaperäkairausta, joissa maaperän aines oli hienoa hiekkaa koko kairatulta noin kymmenen metrin matkalta. Pohjavesipinta kuitenkin on näkyvissä alueen länsipäähän kaivetussa montussa, ja muodostuma myös purkaa pohjavettä ympäröiville soille. Alueella muodostuu pohjavettä, mutta lieveosiin sijoittuvat kairauspisteet eivät anna pohjavesiolosuhteista kattavaa käsitystä. Muodostuman ydinosissa aines on karkeampaa. Olosuhteet pohjaveden muodostumisen ja varastoitumisen kannalta arvioitiin siten hyviksi, ja alueen laskennallinen antoisuus on suuri, yli 2000 m³/d. Pohjavesialueen katsotaan soveltuvan yhdyskuntien vedenhankintaan. (Hertta 2020)

Raajärven kylän alueella on tunnistettu olevan neljä käytössä olevaa talousvesikaivoa. Kaivoista numerot 9, 25 ja 34 ovat porakaivoja ja kaivonumero 18 on betonirengaskaivo. Kaivojen sijainnit on esitetty kuvassa 4-4.



Kuva 4-4. Raajärven kylän käytössä olevat talousvesikaivot esitetty keltaisella ympyrällä.

4.3 Pintavesiolosuhteet

Kaivosalue kuuluu kokonaisuudessaan Misijoen alaosan valuma-alueeseen (kuva 4-5, katso kappale 4.3.6). Vietto on yleisesti länsilounaaseen ja tutkimusalueen patojen ulkopuoliset vedet valuvat pääosin pintavalumana Raajärvi-Misijärvi väliseen puroon (Raa'an oja). Osa valuma-alueen vesistä valuu suoraan Raajärveen.

4.3.1 Raajärvi

Raajärvi (65.798.1.078) on pinta-alaltaan n. 21 ha ja se kuuluu Misijoen valuma-alueeseen (65.798). Raajärvi ei ole vesipuitedirektiivin mukainen vesimuodostuma. Pintavesimuodostumalla tarkoitetaan vesienhoitolain (1299/2004) mukaan pintavesien erillistä ja merkittävää osaa kuten järveä, tekoallasta, puroa, jokea tai kanavaa, puron, joen tai kanavan osaa tai rannikkoveden osaa. Pintavesimuodostuma on siis näiden vesistön- ja rannikkovesien osien yleisnimitys. Raajärveä ei ole luodattu, eikä siitä ole vedenlaatutietoja (Hertta 2024). Myöskään kalasto- ja kasvillisuustietoja ei ole saatavilla. Ilmakuvasa Raajärvi näyttää vähäkasvustoiselta, rantoja kiertää kapeat kasvillisuusvyöhykkeet.

4.3.2 Raa'anlampi ja Raa'anoja

Raajärvestä vedet virtaavat pohjoiseen Raa'anlampeen (65.798.1.075). Kyseinen järvi on pinta-alaltaan 2,8 ha, eikä sitä ole luodattu. Raa'anlampi ei ole vesipuitedirektiivin mukainen vesimuodostuma. Vedenlaatutietoa on vuosilta 1967, 1968 ja 1978 yhteensä 3 vesinäytettä kolmesta eri näytepaikasta. Kalasto- ja kasvillisuustietoja ei ole saatavilla. Ilmakuvasa Raa'anlampi näyttää suhteellisen umpeenkasvaneelta. Vedet virtaavat Raa'anlammesta Raa'anojaa pitkin Misijärveen. Raa'anojasta on otettu yksi vesinäyte vuonna 1969. Raa'anoja ei ole luokiteltu vesimuodostuma. Raa'anojasta ei ole kalasto- tai kasvillisuustietoja, mutta samoin kuin Raa'anlampi myös Raa'anoja näyttää hyvin umpeenkasvaneelta paikka paikoin.

4.3.3 Misijärvi

Misijärvi (65.798.1.001) on pinta-alaltaan n. 600 ha ja siinä on 15 saarta. Järvi on luodattu talviluotauksena. Misijärven keskisyvyys on 3,2 m ja suurin syvyys 20 m. Tilavuus on 19214 10³ m³. Viipymäksi on arvioitu 78 vrk eli kyseessä on lyhytviipymäinen järvi. Misijärvestä on otettu vesinäytteitä vuosina 1962-2011 kahdeksasta havaintopaikasta yhteensä 33 kpl. Misijärven kalastosta tai kasvillisuudesta ei ole saatavilla tietoa.

4.3.3.1 Ekologinen ja kemiallinen tila ja vesienhoidon tavoitteet

Misijärvi on luokiteltu vesimuodostuma ja kuuluu Keskikokoiset humusjärvet (Kh) -tyyppiin. Misijärven ekologinen tila on ollut kaikilla kolmella vesienhoidon kaudella hyvä. Kolmannen kauden luokittelu pohjautuu edellisen kauden tietoihin. Biologisten tekijöiden osalta arvio pohjautuu ainoastaan klorofyllipitoisuuteen. Fysikaaliskemiallisista tekijöistä sekä kokonaisfosfori (10,5 µg/l) että kokonaistyyppi (302,5 µg/l) viittaavat erinomaiseen tilaan. V. 2006–2012 kokonaisravinteiden pitoisuudet (n=4) ovat olleet hyvällä tasolla. Kevättalvella ja ajoittain kesällä pohjan läheisessä vesikerroksessa esiintyy hapen vajausta. Ympäristöhallinnon vesistömallijärjestelmä VEMALAssa ei ole tietoja Misijärven kuormituksesta, mutta Misijärven alapuolisessa Misijoessa kuormitus on kohtalaista (metsätalous, laskeuma, haja-asutus, peltoviljely). Misijärven hydrologis-morfologinen tila on erinomainen. Misijärven ekologinen tavoitetila on saavutettu, eikä sen säilymiseen liity riskiä. Misijärven vesimuodostumalle ei ole tallennettu riskipaineita. Vesimuodostumaan ei myöskään kohdistu toimenpiteitä eTPO:n (valtakunnallinen tietopalvelu) (eTPO 2024) mukaan.

Misijärven kemiallinen tila on hyvää huonompi bromattujen difenyylietterien vuoksi. Vesienhoidon kolmannella suunnittelukaudella kemiallinen tila on laskenut kaikissa Suomen vesimuodostumissa hyvää huonommaksi palonestoaineena käytettyjen polybromattujen difenyylietterien (PBDE) tiukentuneen ympäristölaatunormin vuoksi. Tarkastellulla alueella ei ole tunnettuja PBDE-päästölähteitä tai muuta kemiallista tilaa heikentävää toimintaa.

4.3.3.2 Vedenlaatu

Misijärven vedenlaatua on seurattu viimeksi vuosina 2006, 2007, 2009 ja 2011 (taulukko 3). Uudempaa tietoa ei ole saatavilla. Misijärven vedenlaatu kuvastaa karua järveä; sen kokonaisfosfori on ollut pinnan läheisessä vedessä keskimäärin 9,1 µg/l (vaihteluväli 6,0–12 µg/l) ja pohjan läheisessä vedessä keskimäärin 12 µg/l (vaihteluväli 7,0–21 µg/l). Myös kokonaistypen pitoisuudet ovat alhaisia, ollen pinnan läheisessä vedessä keskimäärin 298 µg/l (vaihteluväli 270–340 µg/l) ja pohjan läheisessä vedessä keskimäärin 458 µg/l (vaihteluväli 300–620 µg/l). Klorofyllipitoisuutta on määritetty vuosina 2006, 2007 ja 2011 0–2 ja 0–4 m:n syvyyksistä. Viimeisin mittausta on heinäkuulta 2011, jolloin pitoisuus oli 2,7 µg/l. Muina mittauksina pitoisuus on vaihdellut välillä 3,2–4,1 µg/l. Klorofyllipitoisuus kuvastaa vähäravinteista järveä. Happipitoisuus on ollut pääosin hyvä, joskus aivan pohjanläheisessä vedessä on havaittu alhaisia happipitoisuuksia. Sama ilmiö on havaittavissa hapen kyllästysasteessa.

Veden normaali pH on lähellä neutraalia (pH = 7,0). Suomen vesistöissä pH on yleensä lievästi happamalla puolella vesien luontaisesta humuskuormituksesta johtuen (pH yleensä 6,5–6,8). (Oravainen 1999). Veden pH-arvo vastaa sisävesien tyyppillistä tasoa ollen hyvin lähellä neutraalia kaikissa syvyyksissä. Alkaliniteetti mittaa veden kykyä vastustaa pH:n muutosta siihen happoa lisättäessä. Misijärven veden alkaliniteetti on vaihdellut pinnan läheisessä vedessä välillä 0,12–0,19 mmol/l ollen keskimäärin 0,15 mmol/l. Pohjan läheisessä vedessä alkaliniteetti on ollut keskimäärin 0,35 mmol/l (vaihteluväli 0,12–0,60 mmol/l). Alla olevan taulukon mukaisesti Misijärven puskurikyky on tyydyttävä-hyvä (Taulukko 4-1).

Taulukko 4-1. Luonnonvesien puskurointikyvyn luokitus (Oravainen 1999).

Alkaliniteetti (mmol/l) luonnonvesissä	Puskurikyky
> 0,2	hyvä
0,1–0,2	tyydyttävä
0,05–0,1	välttävä
0,01–0,05	huono
0–0,01	loppunut

Veden väriarvo kuvaa veden ruskeutta. Mitä enemmän vesistön valuma-alueella on suota, sitä ruskeampaa on vesi. Värittömien vesien väriarvot ovat 5–15 mgPt/l. Lievää humusleimaa osoittaa

lukema 20–40 mgPt/l. Humuspitoisia ovat vedet, joiden väri on 50–100 mgPt/l. Erittäin ruskeissa vesissä väri voi olla 100–200 mgPt/l. Tällainen väri näkyy jo paljaalla silmällä selvänä veden ruskeutena (suovedet). (Oravainen 1999). Vesimuodostumien tyypittelyssä raja-arvot ovat 30 mgPt/l ja 90 mgPt/l. Alle 30 mgPt/l kuvaa vähähumuksista, yli 30 mgPt/l on humuksinen vesistö, ja yli 90 mgPt/l kuvaa runsashumuksista vesistöä. Misijärven veden väriarvo viittaa humuskuormitukseen.

Kemiallinen hapenkulutus mittaa vedessä olevien kemiallisesti hapettavien orgaanisten aineiden määrää. COD_{Mn}-määrittelyssä hapettuvat osittain myös humusyhdisteet, joten se kuvaa samalla vesien humusleimaisuutta. Humusvesissä COD_{Mn}-arvo on 10–20 mg O₂/l. Värittömien vesien COD_{Mn}-arvo on 4–10 mg O₂/l. Jätevedet, jotka sisältävät orgaanisia aineita, lisäävät COD_{Mn}-arvoa. COD_{Mn}-arvot vaihtelevat valumaolojen mukaan. Järven perustason määrää valuma-alueen suopinta-ala. (Oravainen 1999). Misijärven kemiallinen hapenkulutus on vaihdellut pinnan läheisessä vedessä välillä 6,1–10 mg/l ollen keskimäärin 8,1 mg/l ja pohjan läheisessä vedessä välillä 3,8–9,9 mg/l ollen keskimäärin 7,2 mg/l. Kemiallinen hapenkulutus ei kerro niin vahvasta humusisuudesta kuin väriluku.

Sähkönjohtavuus mittaa vedessä olevien liuenneiden suolojen määrää. Korkea arvo kuvaa suurta suolapitoisuutta. Makeissa vesissä sähkönjohtavuutta lisäävät lähinnä natrium, kalium, kalsium, magnesium (kationeja) sekä kloridit ja sulfaattit (anioneja) (Oravainen 1999). Suolojen määrää lisäävät jätevedet (jäteveden sähkönjohtavuus 50–100 mS/m) ja peltolannoitus. Sähkönjohtavuus vastaa sisävesien tasoa. Mangaani- ja sulfaattipitoisuus ovat normaalilla tasolla.

Oravaisen (1999) mukaan alhaisimmat rautapitoisuudet esiintyvät kirkkaissa karuissa vesissä, joissa päällysveden rautapitoisuus on luokkaa 50–200 µg/l. Humusvesissä taso on selvästi korkeampi, koska rauta sitoutuu humusyhdisteisiin. Normaali taso on 400–600 µg/l. Erittäin ruskeissa vesissä rautaa voi olla jopa 1 000 µg/l (suovedet). Myös eroosio lisää rautapitoisuuksia, sillä huuhtoutuva maa-aineksessa oleva rauta tulee esille analyysissä. Rautapitoisuudet ovat erittäin sameissa jokivesissä 3 000–6 000 µg/l. Misijärven rautapitoisuudet ovat normaalia hieman korkeampia viitaten humusvaikutukseen ja mahdolliseen rautakaivoksen vaikutukseen.

Taulukko 4-2. Misijärven vedenlaatu (keskiarvo, minimi ja maksimi) vuosien 2006, 2007, 2009 ja 2011 mukaan syvyyskerroksissa 1 m, 5 m, 10 m ja 17–19 m.

	1 m			5 m			10 m			17–19 m		
	ka	min	max	ka	min	max	ka	min	max	ka	min	max
Alkaliniteetti, mmol/l	0,15	0,12	0,19	0,14	0,12	0,15	0,21	0,14	0,34	0,35	0,12	0,60
Ammoniumtyppi, µg/l	10,5	2,0	20	7,0	2,0	12	6,3	2,0	10	96	2,0	320
Fosfaattifosfori, µg/l	1,4	1,0	3,0	3,0	1,0	5,0	2,3	1,0	4,0	2,9	1,0	5,0
Hapen kyllästysaste, %	87	80	94	74	57	90	69	55	91	40	4,0	89
Happipitoisuus, mg/l	10,4	8,3	12,3	8,5	7,7	10,5	8,1	7,0	10,7	4,6	0,5	10,4
Kemiallinen hapenkulutus, mg/l	8,1	6,1	10	7,5	6,9	8,1	8,5	6,9	9,9	7,2	3,8	9,9
Kloridi, mg/l	0,8	0,6	1,0							0,8	0,6	1,1
Kokonaisfosfori, µg/l	9,1	6,0	12	7,5	6,0	9,0	8,3	7,0	10	12	7,0	21
Kokonaistyyppi, µg/l	298	270	340	310	270	350	267	180	330	458	300	620
Lämpötila, °C	8,5	0,2	19	8,9	1,9	19	8,7	2,7	17	7,9	3,3	16
Mangaani, µg/l	29	11	41				61	36	91	115	38	250
Nitriitti-nitraattityppi, µg/l	31	1,0	83	34	1,0	67	35	7,0	91	81	5,0	210
pH	6,7	6,4	7,1	6,6	6,3	6,9	6,7	6,5	7,0	6,6	6,3	7,0
Rauta, µg/l	888	590	1200	725	640	810	967	800	1100	1863	690	4900
Sameus, FNU	1,1	1,0	1,4	0,9	0,5	1,3	1,2	1,1	1,3	5,5	1,1	15
Sulfaatti, mg/l	1,9	1,8	2,0							6,0	1,9	11
Sähkönjohtavuus, mS/m	2,8	2,6	3,3	2,9	2,7	3,1	3,7	2,6	5,8	5,7	2,7	9,2
Väriluku, mg/l Pt	63	45	85	58	50	65	68	55	75	93	35	200

4.3.4 Pulkkalampi

Pulkkalampi on pinta-alaltaan n. 18 ha ja siinä on 3 saarta. Ympäristöhallinnon Herta-järjestelmässä järvi on nimetty Matkalammeksi. Kyseistä järveä ei ole luodattu, eikä siitä ole vedenlaatu-, kalasto-, tai kasvillisuustietoja. Pulkkalampi näyttää ilmakuvan perusteella karulta järveltä. Pulkkalampi ei ole vesipuidedirektiivin mukainen vesimuodostuma.

4.3.5 Pulkkaoja

Puron avolouhoksesta kulkeutuu vesiä Pulkkaojaan, josta on otettu vesinäyte v. 1973. Kasvillisuus- tai kalastotietoja ei ole saatavilla. Pulkkaoja ei ole vesipuitedirektiivin mukainen muodostuma.

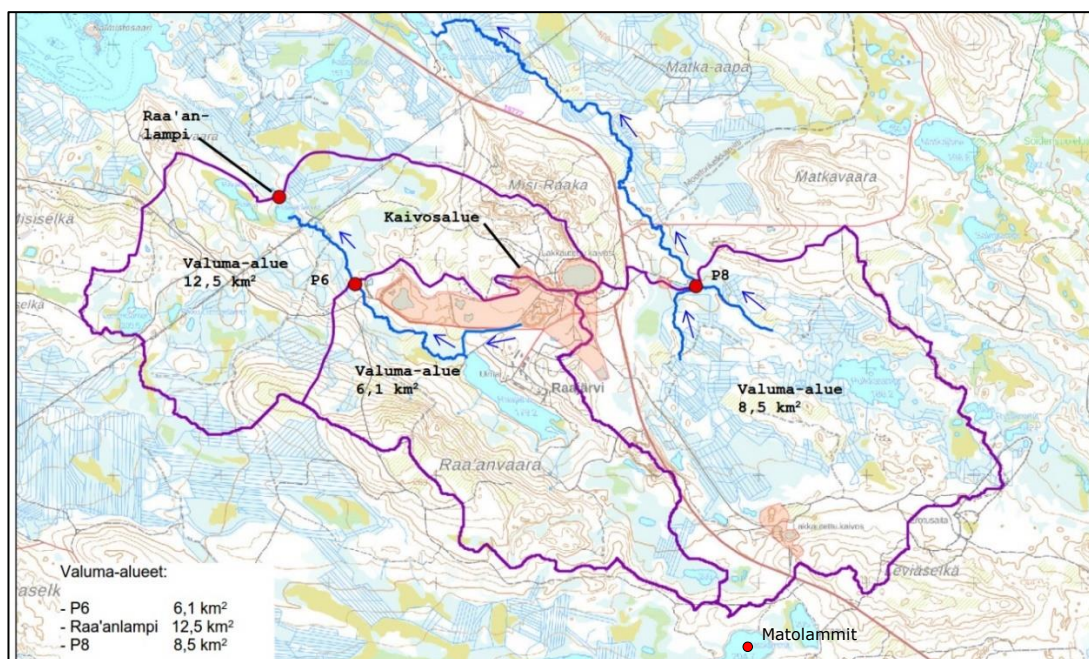
4.3.6 Pintavesien virtaamat

Kaivosalueen purkureittien virtaamia on arvioitu laskennallisesti. Käytetyt virtaamat on määritetty asiantuntija-arviona perustuen Vesistömallijärjestelmällä 3. jakovaiheen valuma-alueiden Misijoki (65.798) ja Kiviperä (65.341) 1962-2022 simuloituihin virtaamiin, vertailuvesistöjen Vähän-Askanjoki (1959-2022), Korintteenoja (1960-1998) ja Lismanoja (1958-1994) valumiin sekä valuntanomogrammeihin. Laskelmien perusteella keskiylivalunta (MHq) valuma-alueilla on 160 l/s/km² ja keskivalunta (Mq) on 12 l/s/km² sekä keskialivalunta (MNq) on 1 l/s/km². Vastaavasti keskiylivirtaamat (MHQ), keskivirtaamat (MQ) ja keskialivirtaamat (MNQ) eri valuma-alueille ovat taulukon 4-3 mukaiset.

Taulukko 4-3. Valuma-alueiden pinta-ala (km²), kaivosalueen osuus valuma-alueesta (km² ja %), valuma-alueen keskiylivirtaama MHQ (l/s), keskiyvirtaama MQ (l/s) ja keskiyvirtaama MNQ (l/s).

	Valuma-alue	Kaivosalue		MHQ	MQ	MNQ
	km ²	km ²	%	l/s	l/s	l/s
Raa-anlampi	12.5	0.81	6	2000	150	12.5
P6	6.1	0.66	11	976	73.2	6.1
P8	8.5	0.12	3	1360	102	8.5

Tarkastelun perusteella kaivosalueet muodostavat korkeintaan n. 10 % valuma-alueensa pinta-alasta. Valuma-alueet, purkureitit ja pisteet on esitetty kuvassa 4-5.



Kuva 4-5. Kaivosalueilta purkautuvien pintavesien valuma-alueet, purkureitit ja purkupisteet. Pintaveden taustapiste Matolammit on esitetty kartalla.

4.4 Luonto-olosuhteet

Raajärven lähialueella ei sijaitse suojeltuja kohteita (kuva 4-6). Matkajärven soidensuojelualue (SSA12012) sijaitsee Raajärven kaivoksen itä-koillispuolella noin 3,6 km etäisyydellä Raajärven avolouhoksesta. Lähin NATURA2000-alue Herankaira on noin 7 kilometrin päässä lounaassa.



Kuva 4-6. Suojelukohteet ja avolouhokset.

4.5 Ilmasto-olosuhteet

Kemijärvi kuuluu Lapin maakunnan eteläosaan eli Etelä-Lappiin, joka ulottuu Perämeren rannikolta Sallaan, ja sen ilmastossa on niin merellisiä kuin mantereisiakin piirteitä. Perämeren rannikon keskilämpötila on noin +2 astetta ja Sallan koillisosassa noin 0 astetta. Vuotuinen sademäärä on enimmäkseen 550–650 millimetriä. Kemijärvellä vallitsee pohjoisboreaalinen ilmastovyöhyke ja keskilämpötila on 0 ± 1 astetta. Alueella metsät ovat harvoja, hidaskasvuisia ja vain edullisimpina kesinä uudistuvia. Kesä on niin lyhyt ja viileä, että aapasoiat on paljon ja pohjavesi läpi kesän lähellä maanpintaa. (Ilmasto-opas, 2022; Ilmatieteenlaitos, 2024).

Kemijärven Raajärvellä seuranta- ja tutkimusjakso alkoi lokakuussa 2022 ja päättyi lokakuussa 2024. Ilmatieteen laitoksen tilastojen mukaan vuosi 2022 oli tavanomaista lämpimämpi. Koko maan keskilämpötila oli noin 3,8 astetta, mikä on 0,9 astetta yli vuosien 1991–2020 keskiarvon. Suurin osa kuukausista oli tavanomaista lämpimämpiä. Suuressa osassa maata vuotuinen sademäärä oli lähellä tavanomaista tai hieman tavanomaista pienempi. Myös vuosi 2023 oli Suomessa tavanomaista lämpimämpi. Koko maan keskilämpötila oli noin 3,2 astetta, mikä on 0,3 astetta yli vuosien 1991–2020 keskiarvon. Syyskuu 2023 oli lähes koko maassa ennätyskellisen lämmin. Suuressa osassa maata vuotuinen sademäärä oli selvästi tavanomaista suurempi. Sateisia

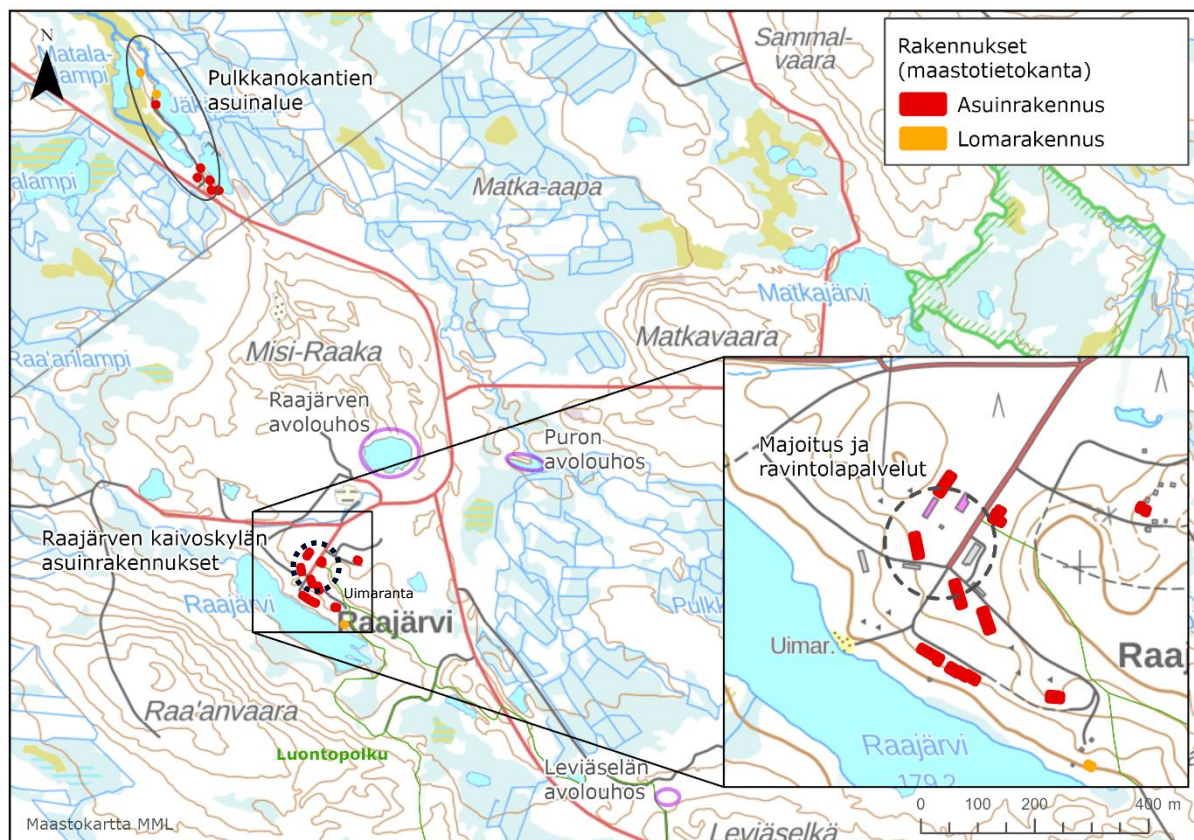
kuukausia vuoden aikana olivat muun muassa heinä- ja elokuu. Maan eteläosassa ja Lapissa vuotuinen sademäärä oli lähellä tavanomaista tai tavanomaista suurempi. (Ilmatieteenlaitos, 2024)

Rovaniemen sääaseman mukaisesti Raajärven seurantajakson aikana (10/2022–10/2024) sääolosuhteet poikkesivat vuoden 1991–2020 keskiarvosta jonkin verran. Vuodet 2022 ja 2023 oli keskiarvoa lämpimämpiä (+1,0 ja +0,5 °C). Erityisesti talvi 2023 oli suhteessa lämpimin ajanjakso. Alkuvuosi 2024 on ollut myös keskimääräistä lämpimämpi. Seurantajakson ensimmäinen vuosi 2022 oli selvästi keskiarvoa (608 mm) vähäsateisempi (450 mm). Vuonna 2023 sademäärä oli lähempänä vuosien 1991-2020 keskitasoa (550 mm). Alkuvuosi 2024 on ollut myös keskimääräistä vähäsateisempi, mutta kesällä 2024 puolestaan on satanut keskimääräistä enemmän, mikä poikkeaa vuosien 2022 ja 2023 kesistä.

Nämä Etelä- ja Keski-Lapin lämpötiloissa ja sademäärissä tapahtuneet vuosien 1991–2020 keskiarvosta poikkeavat tulokset on otettu huomioon tulosten tarkastelua tehtäessä.

4.6 Häiriintyvät kohteet

Kaivosalueen läheisyydessä on vakituinen asutusta Raajärven kylässä sekä Pulkkanokantien asuinalueella. Raajärven kylässä asuu noin 10 asukasta. Raajärven koillisrannalla sijaitsee karttaan merkitty uimaranta. Raajärven kylästä lähtee 12 km mittainen geologinen luontopolku, joka kulkee Leviäselän kaivosalueen läpi. Häiriintyvät kohteet on esitetty kuvassa 4-7.



Kuva 4-7. Häiriintyvät kohteet. Maastotietokannan mukaiset asuinrakennukset on merkitty punaisella. Katkoviiva ympyrällä on esitetty alue, jossa harjoitetaan matkailutoimintaan, kuten majoitusta ja ravintolapalveluita.

5. Aiemmat selvitykset

Raajärven kaivosalueella on tehty tutkimuksia Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) toimesta vuosina 2016 ja 2021, joissa alueelta on otettu pintavesinäytteitä (Tornivaara ym. 2018 ja Pietilä & Räisänen 2021).

Alueelle on tehty myös pohjavesiselvitys vuonna 2018 Lapin ELY:n toimesta. Selvityksessä ei ole otettu näytteitä (Lapin ELY-keskus 2019).

5.1 Pintavesitutkimukset 2016

Tutkimuksissa on otettu pintavesinäytteitä 10 kpl (Tornivaara ym. 2018). Näytteitä otettiin Raajärven ja Puron ympäristöistä. Näytteistä analysoitiin perusparametreja kuten pH, redox, sähköjohtavuus ja happipitoisuus. Metalleja tai muita haitta-aineita ei analysoitu.

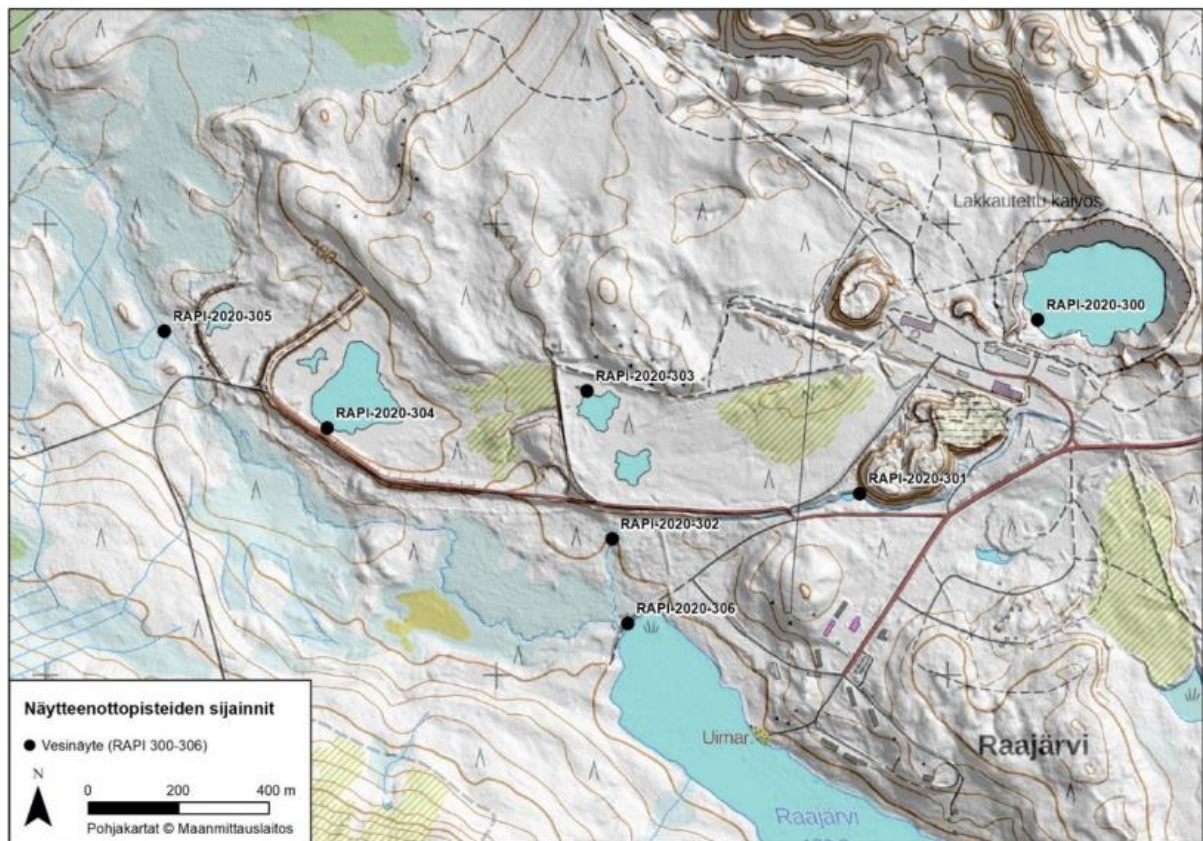
Tutkimuksessa ei saatu viitteitä vesien happamuudesta, vaan pH:t vaihtelivat 6,8–8,09 välillä. Tarkemmat tiedot pisteiden sijainneista ja pH -tuloksista on esitetty kuvassa 5-1.



Kuva 5-1 . Raajärven suljetun kaivosalueen ja Puron satelliittikaivoksen jätealueiden pintavesien syksyn 2016 pH-arvot (19.-20.9.2016) on esitetty pallosymbolein ja pistetunnuksin (Ote Tornivaara ym. 2018 raportin kuvasta 47.)

5.2 Pintavesitutkimukset 2021

Tutkimuksissa on otettu pintavesinäytteitä 7 kpl. Näytteitä otettiin Raajärven ympäristöistä (kuva 5-2). Tutkimuspisteet on esitetty myös piirustuksessa 4.



Kuva 5-2. Raajärven kaivoksen alue, johon on merkitty näytepisteet ja niiden havaintotunnukset (Ote Pietilä & Räisänen 2021, kuva 1).

Maastossa vesinäytteistä mitattiin pH ja sähkönjohtokyky. Näytteet lähetettiin Espoon Eurofins Labtiumin laboratorioon. Näytteistä määritettiin 33 eri alkuaineen kokonaispitoisuudet laboratorion märkäpolttomenetelmällä (ICP-MS ja ICP-OES -menetelmät). Lisäksi näytteistä analysoitiin alkaliniteetti, fosfaatti, sähkönjohtokyky, kiintoaine, kaliumpermanganaatti-luku, pH ja väriluku.

Taulukkoon 5-1 on koottu ne alkuainepitoisuudet, joista on näytevesissä vähintään yksi määrittäysrajan ylittävä pitoisuus. Alkuaineen perässä on yksikkö, joka osassa on µg/l, osalla mg/l. Kaivosympäristön vedet ovat ihmistoiminnan vaikutuksen alaisia, ja ne syntyvät olosuhteissa tai niihin kohdistuu olosuhteet, jotka ovat talousvedestä poikkeavia. Sen vuoksi kaivosympäristöjen pintavesiä ei suoraan voi verrata talousveden laatuvaatimuksissa ja suosituksissa pohjavedelle annettuihin raja-arvoihin (STM 1352/2015). Raja-arvot antavat kuitenkin helposti ymmärrettävän tason pitoisuuksille. (Pietilä & Räisänen 2021)

Taulukko 5-1. Raajärven vesinäytteistä määritetyt alkuaineiden kokonaispitoisuudet. < luku-merkkiä käytetään kertomaan, että pitoisuus on alle luvulla ilmaistun määrittäysrajan (ote Pietilä & Räisänen 2021, taulukko 4).

Havaintotunnus	300	301	302	303	304	305	306	Talousveden raja-arvot ja suositukset	Pitoisuudet purovesissä
Al µg/l	<10	<10	<10	<10	40,4	<10	46,3	200	20-205
B µg/l	19,9	28,4	<10	129	<10	33,3	14,5	1,0	0,8-30
Ba µg/l	20,5	28,3	2,59	53,9	6,1	9,52	9,55	-	3-30
Co µg/l	<0.1	0,2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,12	-	0,03-1
Li µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0,67	<0.5	-	0,2-7
Mn µg/l	1,24	92,6	6,15	284	11,5	1,93	51,4	50	2-145
P µg/l	<100	<100	116	<100	988	<100	<100	-	-
Rb µg/l	9,08	8,49	19,9	8,17	1,71	23,2	2,75	-	porakaivoissa ka. 4,3
Se µg/l	<0.5	0,87	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	10	< 0,1
Sr µg/l	43,2	77	1,17	145	13,5	32,5	29,2	-	10-90
U µg/l	1,23	1,12	<0.05	0,5	0,14	0,31	0,14	30	0,007-0,7
V µg/l	1,52	<0.2	<0.2	<0.2	0,3	0,44	0,31	-	0,1-1,6
Ca mg/l	20,6	31,7	4,3	40,3	3,45	12,2	7,74	-	1,7-18
Fe mg/l	<0.05	0,38	0,16	0,81	1,58	0,06	1,31	0,2	0,06-2,6
K mg/l	3,15	6,03	5,53	19,9	0,6	6,74	2,27	-	0,24-4,0
Mg mg/l	7,04	17	4,26	57	1,14	8,74	5,09	-	0,6-7,0
Na mg/l	3,23	4,92	0,5	9,44	1,82	0,5	2,37	200	1,3-14
S mg/l	3,33	19,8	1,03	23,6	1,18	0,5	3,74	-	-
SO ₄ mg/l laskennallinen	9,99	59,4	3,09	70,8	3,54	1,5	11,22	250	1,0-35
Si mg/l	4,18	3,06	4,03	5,2	3,43	0,58	4,13	-	1,0-35-

Vesinäytteiden analyysitulosten perusteella rautaoksidimalmin, rikastushiekan ja sen louhinnasta syntyneen sivukiven vaikutus rikastushiekka-altaiden vesissä on raudan osalta selvä. Yleensä ottaen alkuaineiden määrät kokonaispitoisuuksina ovat alhaisia jopa luonnon purovesiin nähden. Haitta-aineet, kuten arseeni, kadmium, kromi, kupari, nikkeli, lyijy ja sinkki olivat alle laboratoriomenetelmän määrittäysrajan, joten niiden esiintyminen vesissä oli hyvin vähäistä. (Pietilä & Räisänen 2021)

6. KAJAK-hankkeen tutkimukset 2022–2024

KAJAK-hankkeessa Raajärvellä tehtiin seurantavaiheen tutkimuksia vuosina 2022–2024. Hankkeen tutkimusten pääasiallisena tavoitteena oli selvittää Raajärven kaivoksen sekä Puron ja Leviäselän satelliittikaivoksien mahdollisia ympäristövaikutuksia.

Tutkimuksia tehtiin kaivannaisjätteistä, pintavesistä, sedimentistä, pohjavesistä ja maaperästä. Tutkimuspisteiden sijainnit on esitetty piirustuksissa 1-4.

6.1 Kaivannaisjätteiden kenttä- ja karakterisointitutkimukset

Raajärven ja sen satelliittikaivosten alueella ei ole aiemmin tehty kaivannaisjätetutkimuksia lukuun ottamatta kappaleessa 3.3.1 esitettyä yksittäistä CeraTAIL-projektin rikastushiekan FE-SEM-EDS-analyysia. Tässä KAJAK-seurantavaiheen tutkimuksessa kaivannaisjätealueiden osalta pyrittiin kartoittamaan sivukivi- ja rikastushiekka-alueiden sekä pintamaan läjitysalueiden laajuus sekä tarkentamaan kaivannaisjätteiden määrääarviota. Laajuuden ja määräärvion lisäksi tavoitteena oli tuottaa tietoa kaivannaisjätteiden koostumuksesta, metallien kokonaispitoisuuksista, kaivannaisjätteiden hapontuottokyvystä sekä asbestimineraalien esiintymisestä alueella.

Kaivannaisjätetutkimusten näytteenotto suoritettiin 4.-5.10.2023 sekä 9.-12.10.2023. Kaivannaisjätenäytteet otettiin erikseen jätekerroksen pintakerroksesta (hapettunut kerros) ja pohjakerroksesta (hapettumaton kerros). Kaivannaisjätenäytteitä otettiin sivukivistä, rikastushiekasta ja kaivoksen päältä poistetuista pintamaista.

Pintakerrosnäytteet kerättiin rikastushiekka-altailla ja oletetuilla pintamaan läjitysalueilla (jätealueet 2.1, 2.2, 3.1, 3.2 ja 3.4) pistolapiolla ennalta määritettyjä näytteenottolinjoja pitkin. Näytteenottolinjoilta kerättiin osanäytteitä tasaisin välein. Jätealueen koosta riippuen osanäytteitä kerättiin jokaiselta linjalta 8–20 kpl. Näytteenotto ulotettiin kussakin pisteessä 0,3 m syvyyteen. Osanäytteet otettiin kaasutiiviisiin Rilsan pusseihin.

Sivukivialueilla (jätealueet 1.1, 1.2, 1.3, 3.3 ja 3.5) pintakerrosnäytteet otettiin pintakeräilynä siten, että kultakin jätealueelta kerättiin sivukiveä jätealueen pinnalta kattavasti. Pintakeräilynäytteet kerättiin suoraan ämpäreihin kokoomanäytteiksi. Näytteitä otettiin 1 kokoomanäyte / jätealue.

Pohjakerroksen näytteet otettiin kaikilta jätealueilta kaivinkoneen koekuopista. Koekuoppia tehtiin jätealueen koosta riippuen 1-3 kpl / jätealue. Koekuopat pyrittiin ulottamaan hapettumattomaan kerrokseen saakka. Näytteenotto saatiin ulotettua maksimissaan 5,5 m syvyyteen saakka. Jokaisesta koekuopasta otettiin pohjakerroksesta erillinen osanäyte kaasutiiviiseen Rilsan pussiin sekä ämpäriin.

Näytteenoton yhteydessä jokaisesta osanäytteestä tehtiin aistivaraiset havainnot maalajista, maaperän kerrosrakenteesta, jättemateriaalin laadusta sekä hapettuneisuudesta. Kaikista otetuista osanäytteistä (207 kpl) mitattiin raskasmetallien pitoisuudet XRF-kenttämittarilla. Kenttähavaintojen sekä XRF-kenttämittauksien perusteella osanäytteistä muodostettiin kokoomanäytteitä laboratorioanalyysiin. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi Eurofinsin laboratorioon Ouluun ja CRS:n laboratorioon Outokumpuun. Näytteiden analyysit, menetelmät ja lukumäärät on esitetty taulukossa 6-1.

Taulukko 6-1. Raajärven ja satelliittikaivosten jätealueiden näytteiden laboratorioanalyysit ja menetelmät.

Laboratorioanalyysit	Menetelmä	Lukumäärä	Laboratorio
Mineralogia	Semiquantitative WD-XRF, PP-XRF12	10	CRS
Metallit	Kuningasvesi SFS-EN-ISO-54321:2021*	15	Eurofins
	4-happoliuotus SFS-EN-ISO-17294-2:2016**	10	
Typpi	SFS-EN 13654-1:2002	10	Eurofins
Sulfaatti, happoliukoinen	SFS-EN 1744-1 + A1:2013	10	Eurofins
pH	ISO 10390:2005	15	Eurofins
Asbestimineraalit	-	5	Eurofins
Hapontuottopotentialiaali, NAG-pH	ARD Test Handbook, ProjectP387A, 2002	10	Eurofins
Hapontuottopotentialiaali, ABA-testi	Spektrofotometri (IR), laskennallinen	10	Eurofins

* As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, V, Zn (11 alkuainetta)

** Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Cs, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr (60 alkuainetta)

Seuraavissa kappaleissa 6.1.1–6.1.3 on kuvattu tehdyt tutkimukset ja analyysit jätealueittain. Liitteessä 1 on esitetty valokuvia näytteenotosta.

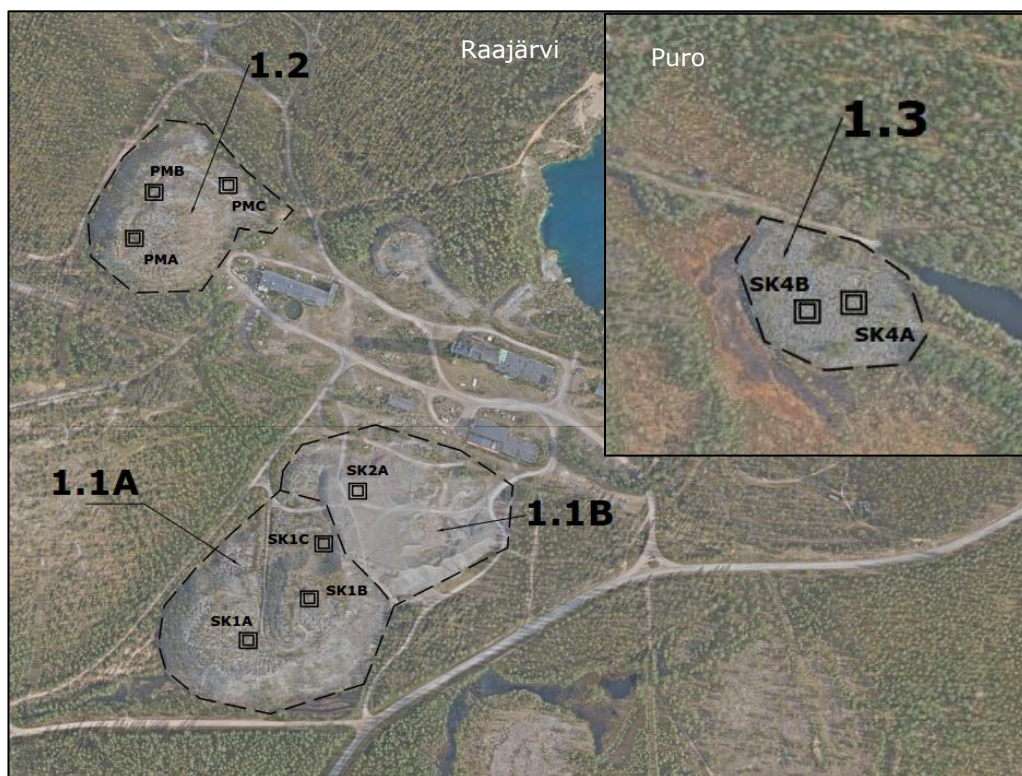
6.1.1 Sivukivialueet – Raajärvi ja Puro

Näytteenotto

Raajärven sivukivialueelta 1.1 otettiin kaksi pintakeräilynäytettä (SK1 pinta ja SK2 pinta). Näyte SK1 edusti sivukivialueen käsittelemätöntä osaa ja näyte SK2 murskattua sivukiveä. Sivukivialueelle 1.1 tehtiin neljä koekuoppaa, joista koekuopat SK1A, SK1B, SK1C tehtiin sivukivialueen käsittelemättömään osaan (1.1A) ja koekuoppa SK2A sivukivialueen murskattuun osaan (1.1B).

Raajärven sivukivialueelta 1.2 otettiin yksi pintakeräilynäyte (PM pinta) ja jätealueelle tehtiin kolme koekuoppaa (PMA, PMB ja PMC). Koekuopista otetuista pohjanäytteistä koottiin kokoomanäyte (PM pohja kokooma).

Puron sivukivialueelta 1.3 otettiin yksi pintakeräilynäyte (SK4 pinta) ja tehtiin kaksi koekuoppaa (SK4A ja SK4B). Koekuopista otetuista pohjanäytteistä koottiin kokoomanäyte (SK4 pohja kokooma). Sivukivialueiden ja koekuoppien sijainnit on esitetty kuvassa 6-1.



Kuva 6-1. Sivukivialueiden näytteenottopisteet ja 360 kuvat.

Sivukivialueilta laboratoriossa analysoidut näytteet ja laboratorioanalyysit on esitetty taulukossa 6-2.

Taulukko 6-2. Analysoidut sivukivinäytteet ja laboratorioanalyysit.

Kaivannaisjätealue	Näyte	Asbesti	Muut analyysit kaikista näytteistä (6 kpl)
1.1A	SK 1 pinta	Kyllä	Mineralogia 4-happoliuotus ja kuningasvesi metallit Typpi, rikki, happoliukoinen sulfaatti pH hapontuottopotentiaali (NAG-pH ja ABA-testi)
1.1B	SK 2 pinta	Kyllä	
1.2	PM pinta	Ei	
1.2	PM pohja kokooma	Ei	
1.3	SK4 pinta	Kyllä	
1.3	SK4 pohjakokooma	Ei	

Näytteenoton havainnot

Näytteenoton yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella Raajärven sivukivialueen **1.1** A-osa on käsittelemätöntä sivukiveä ja B-osa tasalaatuiseen raekokoon murskattua sivukiveä. Sivukivialue 1.1 on pääosin peittämätön (kuva 6-2). A-osassa kasvaa paikoin harvaa, matalaa puustoa kasan päällä ja kasan tasaisilla alueilla. Sivukivialueen A-osan rinteet sekä B-osa on pääosin paljaita, eikä siellä kasva kasvillisuutta yksittäisiä taimia lukuun ottamatta.

Sivukivialueen korkeus on korkeimmillaan n. 20 m. A-osaan tehtyt koekuopat saatiin ulotettua maksimissaan 3 m syvyyteen, joten sivukivialueen alimpiin kerroksiin ei tässä tutkimuksessa saatu kohdistettua näytteenottoa. Tutkimusten yhteydessä tehtyjen maastohavaintojen perusteella A-osassa sivukiven laadussa, koostumuksessa ja raekoossa on paljon vaihtelua. Koekuopassa SK1A havaittiin alkavan 1,5 m syvyydessä vaaleampi, mahdollisesti hapettumaton kerros. Muissa koekuopissa vastaavia kerroksia ei havaittu. Koekuopista SK1B ja SK1C otetut näytteet ovat havaintojen perusteella todennäköisesti hapettuneesta kerroksesta. Tutkimusten perusteella hapettumattoman ja hapettuneen kerroksen raja vaihtelee kasan eri osissa.

Sivukivialueen **1.1 B-osassa** sivukivi on tasalaatuista mursketta, eikä murskeessa havaittu syvyysuuntaista vaihtelua. B-osaan tehty koekuoppa (SK2A) ulotettiin noin 4 m syvyyteen. Ko. syvyydellä ei havaittu kerrostuneisuutta tai aistinvaraisesti hapettuneen ja hapettumattoman kerroksen rajaa. Tehtyjen havaintojen perusteella kasa on todennäköisesti hapettunut ainakin 4 m syvyyteen saakka, eikä hapettuneen ja hapettumattoman kerroksen rajaa saatu tutkimuksissa selvitettyä.



Kuva 6-2. Raajärven sivukivikasa 1.1A kuvassa vasemmalla ja 1.1B oikealla.

Raajärven sivukivialue **1.2** on pääosin peittämätön, jossa kasvaa harvaa puustoa (kuva 6-3). Näytteenoton yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella kasa on pintakerroksista lohkareinen. Kasa on korkeimmillaan noin 20 m korkea ympäröivään maanpinnantasoon verrattuna. Koekuopituksen yhteydessä kasan eri osia tutkittiin maksimissaan 4-5 m syvyydestä. Koekuopituksen yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella sivukivikasa koostuu pääosin erikokoisesta louheesta, jonka seassa on hienompaa maa-ainesta (Hk). Sivukiven väri vaihtuu pinnalta ruskeasta harmaaseen koekuopasta riippuen 0,5-1,5 m syvyydellä. Osin ruskeita kerroksia oli myös harmaan kerroksen seassa. Ko. kerros kuvaa todennäköisesti hapettuneen ja hapettumattoman kerroksen rajaa. Hienorakeisessa osassa oli havaittavissa lisäksi mm. ruskean ja violetin värisiä hiekkakerroksia (PMA), vihertäviä ja kellertäviä saostumia (PMB) sekä tummia ja violetteja kerroksia (PMC).



Kuva 6-3. Raajärven sivukivikasa 1.2.

Puron sivukivialue **1.3** on pinnalta hyvin lohkareinen, eikä sitä ole peitetty. Sivukivialueen pinnalla tasaisissa, maanpeitteisissä kohdissa kasvaa yksittäisiä puita, mutta muutoin alue on paljas (kuva 6-4). Sivukivialueen kivissä on paljon vaihtelua raekoossa. Sivukivikasa 1.3 on noin 5-6 m korkea ja tehdyt koekuopat ulotettiin 5-5,5 m syvyyteen saakka. Sivukivikasan pohjaa ei tutkimuksissa saavutettu, mutta tehtyjen havaintojen perusteella sivukivialueen pohjaosat koostuivat hienorakeisemmasta sivukivestä pintaosiin verrattaessa. Koekuopassa SK4A havaittiin vesipinta noin 3 m syvyydellä, josta alkoi hapettumaton kerros. Vesipintaa ei tavoitettu koekuopassa SK4B.



Kuva 6-4. Puron sivukivikasa 1.3.

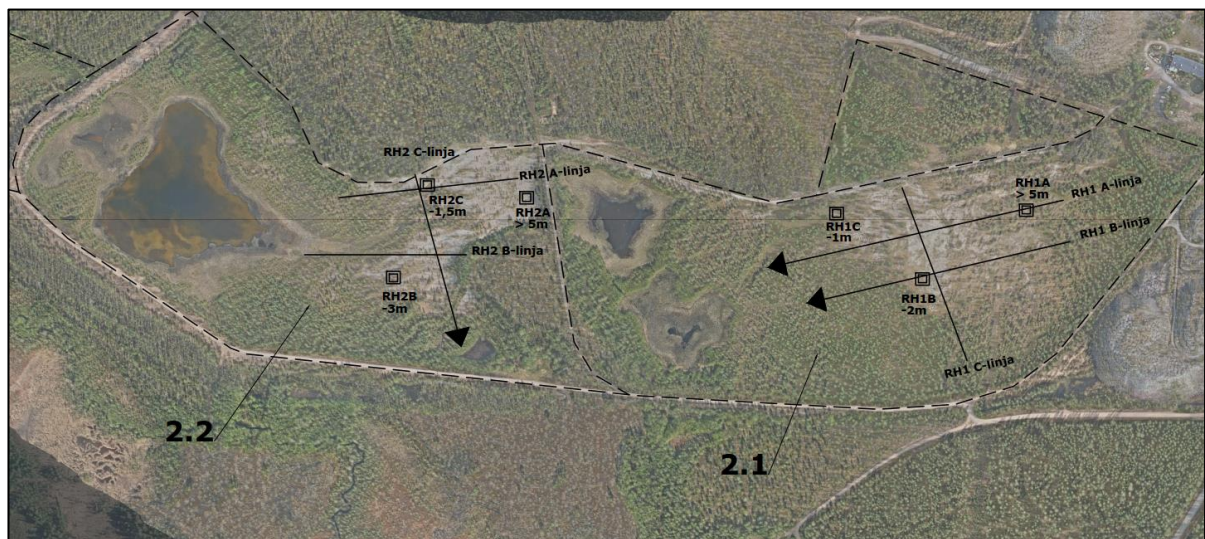
6.1.2 Rikastushiekka-alueet

Näytteenotto

Raajärven rikastushiekka-alueelta 2.1 otettiin pintamaanäytteitä 3 näytteenottolinjalta (linjat RH1A, RH1B ja RH1C) yhteensä 14-15 osanäytettä / linja. Näytteenottolinjoilta RH1A ja RH1B kerätyistä osanäytteistä muodostettiin yksi kokoomanäyte (RH1 kokooma A+B). Rikastushiekka-altaaseen tehtiin lisäksi kolme koekuoppaa (RH1A, RH1B ja RH1C), joista otettiin pohjanäytteet

koekuopasta riippuen 1-5 m syvyydestä. Koekuopista otetuista pohjanäytteistä koottiin kokoomanäyte (RH1 pohja kokooma).

Rikastushiekka-alueelta 2.2 otettiin niin ikään pintamaanäytteitä kolmelta näytteenottolinjalta (linjat RH2A, RH2B ja RH2C) yhteensä 15-20 osanäytettä / linja. Linjalta RH2A otetuista osanäytteistä muodostettiin kokoomanäyte (RH2 kokooma A). Rikastushiekka-altaaseen tehtiin lisäksi kolme koekuoppaa (RH2A, RH2B ja RH2C), joista otettiin pohjanäytteet 1,5-5 m syvyydestä. Koekuopista otetuista pohjanäytteistä koottiin kokoomanäyte (RH2 pohja kokooma). Koekuoppien ja linjojen sijainnit on esitetty kuvassa 6-5.



Kuva 6-5. Rikastushiekka-altaiden näytteenottopisteet.

Laboratoriossa rikastushiekka-alueelta analysoidut näytteet ja laboratorioanalyysit on esitetty taulukossa 6-3.

Taulukko 6-3. Analysoidut rikastushiekkanäytteet ja laboratorioanalyysit.

Kaivannaisjätealue	Näyte	Asbesti	Muut analyysit kaikista näytteistä (4 kpl)
2.1	RH1 kokooma A+B	Ei	Mineralogia
2.1	RH1 pohja kokooma	Kyllä	4-happoliuotus ja kuningasvesi metallit
2.2	RH2 kokooma A	Kyllä	Typpi, rikki, happoliukoinen sulfaatti
2.2	RH2 pohja kokooma	Ei	pH hapontuottopotentiaali (NAG-pH ja ABA-testi)

Näytteenoton havainnot

Näytteenoton yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella rikastushiekka-altaat (6-6) ovat osin paljaita kasvillisuudesta ja osin niissä kasvaa matalaa, harvaa männikköä. Metsittyneellä alueella maanpinnalla kasvaa paikoin ohuelti varvikkoa / sammalta, paljailla alueilla maannosta ei juuri ole. Rikastushiekka-altaiden kosteilla osilla kasvaa suokasvillisuutta ja osin altaissa on avovesialueita.



Kuva 6-6. Raajärven rikastushiekka-altaat 2.1 ja 2.2. Ylempässä kuvassa altaan 2.2 aluetta, kuvassa perällä altaan avovesialue. Alemmassa kuvassa altaan 2.1 avovesialue.

Näytteenoton yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella rikastushiekka-altaassa **2.1** rikastushiekan paksuus oli altaan itäosissa noin 5 m. Länteen päin siirryttäessä rikastushiekkakerroksen paksuus pienenee ollen itäisimmällä koekuopassa noin 1 m paksuinen. Tehtyjen havaintojen perusteella rikastushiekka on pääosin harmaata hiekkaa, jossa vaihtelee saviset/silttiset kerrokset. Rikastushiekassa todettiin koekuopassa RH1A raidallisuutta 0-1 m syvyydellä ja noin 1 m syvyydellä ruskea saostumatyyppinen kerros, joka voi viitata hapettumattoman kerroksen rajaan. Vastaavaa raidallisuutta ei havaittu muissa altaaseen 2.1 tehdyissä koekuopissa (RH1B ja RH1C). Otettujen pintakerrosnäytteiden perusteella rikastushiekan raekoko pienenee idästä länteen. Tehtyjen tutkimusten perusteella rikastushiekka-altaan pohjalla on tiivis savikerros, jonka alla on luonnonmaa (Hk).

Rikastushiekka-altaassa **2.2** rikastushiekan paksuus on niin ikään altaan itäosissa > 5 m ja kerrospaksuus pienenee kohti länttä ja rikastushiekka-alueen reunoja. Rikastushiekassa havaittiin kerrostuma noin 0,7-1 m syvyydessä, joka voi viitata hapettumattomaan kerrokseen. Rikastushiekka oli kerroksellista, jossa karkeammat ja hienommat kerrokset vaihtelivat. Rikastushiekka-altaan pohjalla oli savea ja louhetta rakennemaisena kerrostumana.

6.1.3 Pintamaan läjitysalueet - Raajärvi ja Leviäselkä

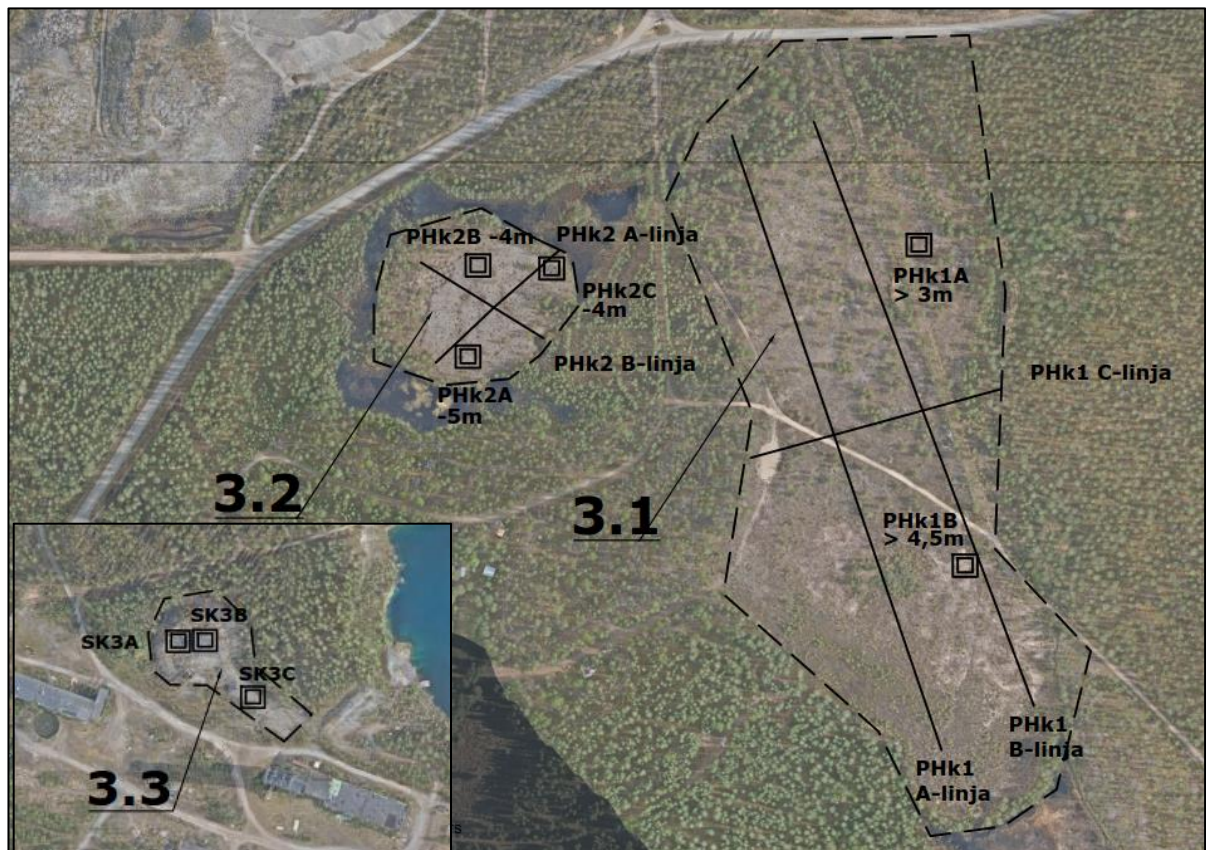
Näytteenotto

Raajärven pintamaan läjitysalueelta 3.1 pintamaanäytteitä otettiin 3 näytteenottolinjalta (linjat PHk1 A, PHk1 B ja PHk1 C) yhteensä 8-15 osanäytettä / linja. Näytteenottolinjalta A kerätyistä osanäytteistä muodostettiin yksi kokoomanäyte (PHk1 pinta A). Jätealueelle 3.1 tehtiin kaksi koekuoppaa PHk1A ja PHk1B, joista otettiin pohjanäytteet 3-4,5 m syvyydestä. Pintamaaläjityksen pohjaa ei varmuudella saavutettu tutkimuksissa.

Jätealueelta 3.2 pintamaanäytteitä otettiin 2 näytteenottolinjalta (linjat PHk2 A ja PHk2 B) yhteensä 10 osanäytettä / linja. Näytteenottolinjalta A kerätyistä osanäytteistä muodostettiin yksi kokoomanäyte (PHk2 pinta A). Jätealueelle 3.2 tehtiin kolme koekuoppaa (PHk2A, PHk2B ja PHk2C), joista otettiin pohjanäytteet koekuopasta riippuen 3-4 m syvyydestä. Vanha maanpinta tai muu humuksen sekainen kerros todettiin 4 m syvyydellä.

Jätealueelta 3.3 pintamaanäyte otettiin pintakeräilyinä (SK3 pinta) ja jätealueelle tehtiin 3 koekuoppaa (SK2A, SK3B ja SK3C). Koekuopissa näytteenotto ulotettiin 3-4 m syvyyteen saakka. Koekuopista otetuista pohjanäytteistä koottiin kokoomanäyte (SK3 pohja kokooma). Pintamaaläjityksen pohjaa ei varmuudella saavutettu tutkimuksissa.

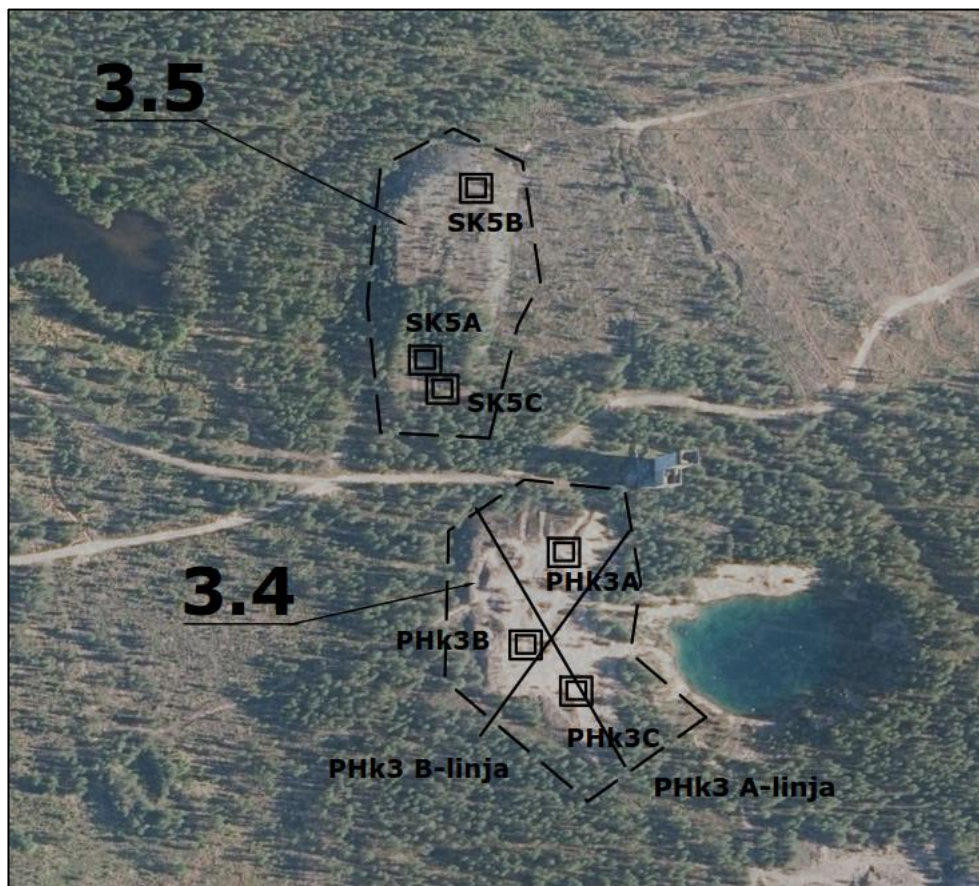
Raajärven pintamaan läjitysalueille tehtyjen koekuoppien ja linjojen sijainnit on esitetty kuvassa 6-7.



Kuva 6-7. Raajärven pintamaan läjitysalueiden näytteenottopisteet.

Leviäselän pintahiekan läjitysalueelta 3.4 pintamaanäytteitä otettiin 2 näytteenottolinjalta (linjat PHk3 A ja PHk3 B) yhteensä 10 osanäytettä / linja. Näytteenottolinjalta A kerätyistä osanäytteistä muodostettiin yksi kokoomanäyte (PHk3 pinta A). Jätealueelle tehtiin lisäksi kolme koekuoppaa (PHk3A, PHk3B ja PHk3C), joista otettiin pohjanäytteet 4 m syvyydestä.

Jätealueelta 3.4 pintamaanäyte otettiin pintakeräilyinä (SK5 pinta) ja tehtiin 3 koekuoppaa (SK5A, SK5B ja SK5C). Koekuopissa näytteenotto ulotettiin 3,5-5 m syvyyteen saakka. Koekuopista otetuista pohjanäytteistä koottiin kokoomanäyte (SK5 pohja kokooma). Leviäselän pintamaan läjitysalueille tehtyjen koekuoppien ja linjojen sijainnit on esitetty kuvassa 6-8.



Kuva 6-8. Leviäselän pintamaa-alueiden näytteenottopisteet.

Näytteenoton havainnot

Raajärven pintahiekan läjitysalue 3.1 on pääosin paljas, mutta paikoin alueella kasvaa yksittäisiä puita ja matalia taimia (kuva 6-9). Maanpinnalla on paikoin ohut karikekerros tai matala varvikko, mutta pääosin alue on hiekkapintainen. Läjitysalueen maanpinta on noin metrin ympäröivää maanpintaa korkeammalla. Tehtyjen tutkimusten perusteella pintahiekan läjitysalue on tasalaatuista hiekkaa, jossa ei havaittu kerroksellisuutta syvyyssuunnassa tutkimusten ulottuessa enintään 4,5 m syvyyteen. Tutkimusten yhteydessä ei havaittu vanhaa maanpinnan tasoa.



Kuva 6-9. Raajärven pintahiekan läjitysalue 3.1.

Pintahiekan läjitysalue 3.2 on paljas yksittäisiä kasan reunoilla kasvavia puita lukuun ottamatta. Maanpinnalla on paikoin ohut karikekerros, mutta pääosin kasa on hiekka / sorapintainen (kuva 6-10). Tehtyjen tutkimusten perusteella pintahiekan läjitysalue on tasalaatuista kivistä hiekkaa, jossa ei havaittu kerroksellisuutta syvyysuunnassa tutkimusten ulottuessa enintään 5 m syvyyteen Kasa nousee 2-3 m ympäröivän maanpinnantason yläpuolelle. Vanha maanpinta (humuskerros) havaittiin noin 4 m syvyydellä kasan päältä, jonka alla maaperä oli hiekkamoreenia.



Kuva 6-10. Raajärven pintahiekan läjitysalue 3.2.

Pintahiekkakasa 3.3 on murskaamolle johtavalle kuljetinhihnalle tehty ajoramppi. Kasa on pääosin paljas yksittäisiä kasan päällä kasvavia taimia lukuun ottamatta. Maanpinnalla on paikoin ohut karikekerros, mutta pääosin kasa on murskepintainen (kuva 6-11). Tehtyjen tutkimusten perusteella kasan pintakerrokset (n. 0-1 m) koostuvat murskeesta/louheesta, joka on oletettavasti sivukiveä. Murskekerroksen alla kasa koostuu sekalaisesta soraisesta hiekasta, jonka seassa on osin louhetta. Koekuopissa havaittiin ruskean ja violetin värisiä hiekkakerroksia. Selvää

hapettuneen ja hapettumattoman kerroksen rajapintaa ei havaittu. Kasa nousee vajaan 10 m korkeuteen ympäröivään maanpinnantasoon verrattuna. Kasan pohjan tasoa ei tavoitettu tutkimuksissa.



Kuva 6-11. Raajärven pintahiekan läjitysalue 3.3.

Leviäselän pintahiekan läjitysalueella 3.4 kasvaa harvaa puustoa kasan pinnalla. Läjitysalueen reunat ja kasan pinta ajourien kohdalta on paljas. Kasan rinteillä ja reuna-alueilla on paikoin ohut karikekerros, mutta pääosin kasa on hiekkapintainen (kuva 6-12). Tehtyjen tutkimusten perusteella pintahiekan läjitysalue on tasalaatuista hiekkaa, jossa ei havaittu kerroksellisuutta syvyyssuunnassa tutkimusten ulottuessa enintään 4 m syvyyteen. Kasa nousee noin 5 m ympäröivän maanpinnantasoon yläpuolelle. Tehdyissä koekuopissa havaittiin kosteutta noin 3-4 m syvyydellä, jossa oletettavasti alkaa myös hapettunut kerros.



Kuva 6-12. Leviäselän pintahiekan läjitysalue 3.4.

Pintahiekkakasa 3.5 on pääosin paljas yksittäisiä kasan päällä kasvavia puita lukuun ottamatta. Maanpinnalla on paikoin ohut karikekerros ja osin kasa on murske/louhepintainen (kuva 6-13). Tehtyjen tutkimusten perusteella kasassa on paikoin sekaisin louhetta (sivukivi), hiekkaa ja hiekkamoreenia. Selvää hapettuneen ja hapettumattoman kerroksen rajapintaa ei havaittu. Kasa

nousee korkeimmillaan vajaan 10 m korkeuteen ympäröivään maanpinnantasoon verrattuna. Kasan pohjan tasoa ei tavoitettu tutkimuksissa.



Kuva 6-13. Leviäselän pintahiekan läjitysalue 3.5.

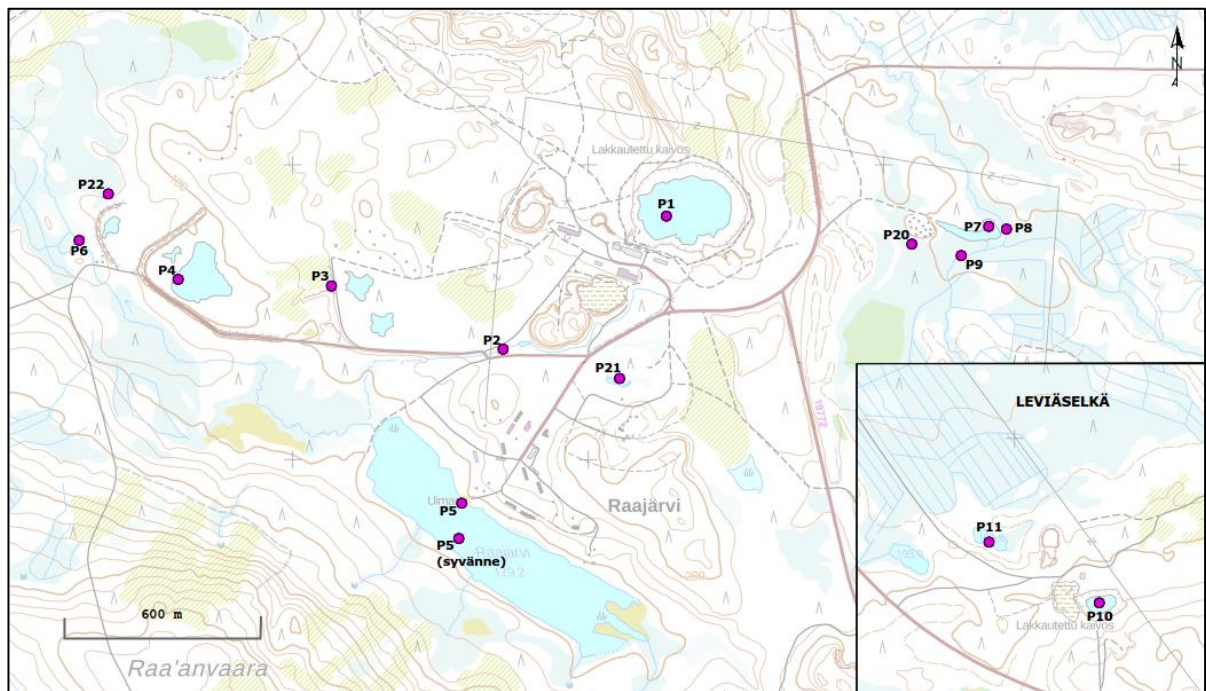
Laboratoriossa pintamaan läjitysalueilta analysoidut näytteet ja laboratorioanalyysit on esitetty taulukossa 6-4.

Taulukko 6-4. Analysoidut pintamaaläjiäyksien näytteet ja laboratorioanalyysit.

Kaivannaisjätealue	Näyte	Analyytit kaikista näytteistä (5 kpl)
3.1	PHk 1 pinta A	kuningasvesiuuttoiset metallit pH
3.2	PHk 2 pinta A	
3.3	SK3 pohja kokooma	
3.4	PHk3 pinta A	
3.5	SK5 pohja kokooma	

6.2 Pintavesitutkimukset

KAJAK seurantatutkimusten yhteydessä Raajärven kaivosalueen ja sen satelliittien pintavesiä tutkittiin vuosien 2022–2024 aikana yhteensä 14 tutkimuspisteestä (kuva 6-14). Raajärven kaivosalueelle sijoittui 7 tutkimuspistettä (P1...P4, P6 ja P21...P22), Puroon 4 tutkimuspistettä (P7...P9 ja P20) ja Leviäselkään 2 tutkimuspistettä (P10 ja P11). Lisäksi tarkkailussa oli mukana Raajärvi (P5).



Kuva 6-14. Pintavesien tarkkailupisteet KAJAK seurantatutkimusten aikana.

Kaikista tutkimuspisteistä otettiin seurantajakson aikana 3-5 näytettä eri vuosina ja vuodenaikoina. Näytteenottoajankohdat tutkimuspisteittäin on esitetty taulukossa 6-5.

Kaikilla kaivosalueilla tarkkailussa oli avolouhos (näytepisteet P1, P7 ja P10). Avolouhosten näytteenotto toteutettiin näyteparina kumiveneestä tai jäältä limnoksella otetuin näyttein. Avolouhoksista näytteet otettiin kolmelta eri syvyydeltä 1 m pinnan alapuolelta (pintavesi), vesipatsaan puolivälistä (välivesi) sekä 1 m pohjan yläpuolelta (alusvesi). Kaikista näytteistä tehtiin aistinvaraiset havainnot veden laadusta (ulkonäkö, haju) sekä määritettiin näkösyvyys. Näytteenoton yhteydessä avolouhoksen vedestä tehtiin profiilimittauksia pinnasta pohjaan 1 m välein YSI-kenttämittarilla. Kenttämittarilla mitattiin veden pH, sähkönjohtavuus, redox-potentiaali ja happipitoisuus.

Muut pintavesinäytepisteet (pl. P5 Raajärvi) olivat pintavesiojia tai kaivostoiminnan lammikoita. Ko. pintavesipisteiltä näytteet otettiin ojan tai lammen rannalta kuppinäytteenottimella veden pintakerroksista noin 0,1-0,2 m syvyydeltä. Kaikista otetuista näytteistä tehtiin aistinvaraiset havainnot veden laadusta (ulkonäkö, haju) sekä määritettiin näkösyvyys. Näytteistä tehtiin YSI-kenttämittaukset joko suoraan vesistöstä tai kuppiin otetusta näytteestä. Liitteessä 2 on esitetty valokuvia pintavesinäytteenotosta.

Raajärven näytepisteestä otettiin näytteet pääosin Raajärven uimarannan laiturilta (5 kpl) ja kertaalleen syvänepestä (P5, syväne). Raajärven syvänteestä tehtiin profiilimittaukset (YSI-kenttämittaus) sekä otettiin näytteet vesipatsaan pinta- ja alusvedestä.

Näytteenottopisteistä otetut näytteet sekä tehdyt analyysipaketit on esitetty taulukossa 6-5.

Taulukko 6-5. Pintavesipisteistä otetut näytteet ja tehdyt analyysit. Analyysipakettien sisällöt ja menetelmät on esitetty taulukossa 6-6.

Pistetunnus	Näytteenottopäivä	Analyysipaketti	Pistetunnus	Näytteenottopäivä	Analyysipaketti
Raajärvi					
P1 (kaikki syvyydet) Raajärvi, avolouhos	20.2.2023	suppea	P21 pintamaa 3.2	27.9.2023	suppea
	4.7.2023	laaja		30.5.2024	suppea
	25.9.2023	suppea		30.9.2024	suppea
	17.7.2024	suppea		27.9.2023	suppea
P2 Sivukivi 1.1	5.10.2022	suppea	P22 RH 2.3 alapuoli	30.5.2024	suppea
	23.5.2023	laaja		30.9.2024	suppea
	9.10.2023	suppea	Puro		
	30.5.2024	suppea	P7 (kaikki syvyydet) Puro, avolouhos	21.2.2023	suppea
	30.9.2024	suppea		4.7.2023	laaja
P3 RH 2.1	5.10.2022	suppea		25.9.2023	suppea
	23.5.2023	laaja	P8 Puro, tuleva oja	17.7.2024	suppea
	27.9.2023	suppea		5.10.2022	suppea
	30.5.2024	suppea		23.5.2023	laaja
	30.9.2024	suppea		27.9.2023	suppea
P4 RH 2.2	5.10.2022	suppea		29.5.2024	suppea
	23.5.2023	laaja		30.9.2024	suppea
	27.9.2023	suppea	P9 Puro, lähtevä kuormitus	5.10.2022	suppea
	30.5.2024	suppea		23.5.2023	laaja
	30.9.2024	suppea		27.9.2023	suppea
P5 (laituri) Raajärvi	5.10.2022	suppea		29.5.2024	suppea
	23.5.2023	laaja		30.9.2024	suppea
	9.10.2023	suppea	P20 sivukivi 1.3	27.9.2023	suppea
	30.5.2024	suppea		30.5.2024	suppea
	30.9.2024	suppea		30.9.2024	suppea
P5 (syväanne)	21.2.2023	suppea	Leviäselkä		
P6 Raajärvi, lähtevä kuormitus	5.10.2022	suppea	P10 Leviäselkä, avolouhos	20.2.2023	suppea
	23.5.2023	laaja		4.7.2023	laaja
	27.9.2023	suppea	P11 taustapitoisuus	25.9.2023	suppea
	30.5.2024	suppea		5.10.2022	suppea
	30.9.2024	suppea		23.5.2023	laaja
				27.9.2023	suppea

Lisäksi pintavesinäytteitä otettiin sedimenttinäytteenoton yhteydessä rikastushiekka-altaiden avovesialueiden syvänteiltä (Raa_sed2 ja Raa_sed3). Raa_sed2 on otettu rikastushiekka-altaasta 2.2 samasta avovedestä, kuin piste P4. Raa_sed3 on otettu alimman rikastushiekka-altaan (2.3) avovedestä. Sedimenttinäytepisteet on esitetty tarkemmin kappaleessa 6.4. Ko. vesinäytteet otettiin 17.7.2024 ja 30.9.2024 ja niistä analysoitiin suppea analyysipaketti.

6.2.1 Kemiaallinen laatu

Kaikki näytteet analysoitiin Eurofins Environment Testing Finland Oyn ympäristölaboratorioissa (Lahti ja Rovaniemi). Lähes kaikista tutkimuspisteistä analysoitiin kertaalleen laaja tutkimuspaketti ja muilla näytteenotto-kerroilla suppea tutkimuspaketti. Analyysipakettien sisällöt ja menetelmät on esitetty taulukossa 6-6.

Taulukko 6-6. Laboratorion analyysipaketit (pintavesinäytteet).

Suppea laboratorioanalyysipaketti	Laaja laboratorioanalyysipaketti	Menetelmä
Metallit kokonaispitoisuudet (VNa 214/2007 PIMA-metallit + Ca, S, Al, Fe, Mn)	Metallit kokonaispitoisuudet (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr,Cu,Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Sn, Ti, Tl, V, Zn, U)	SFS-EN ISO 17294-2:2023, SFS-EN ISO 17294-2, SFS-EN ISO 15587-1, SFS-EN ISO 15587-1:2002
Sulfidi	Sulfidi	Ei akkreditoitu
Sulfaatti	Sulfaatti	Eurofins laboratorioiden akkreditoitu menetelmä, perustuu mm. SFS-EN ISO 10304-1:2009, IC-EC
Kloridi	Kloridi	
Fluoridi	Fluoridi	
Fosfaatti	Fosfaatti	Eurofins laboratorioiden akkreditoitu menetelmä EF2087, perustuu SFS-EN ISO 15923-1:2013, SFS-EN ISO 6878:2004
DOC	DOC	SFS-EN 1484: 1997
Alkaniteetti (vain pintavesinäytteet)	Alkaniteetti (vain pintavesinäytteet)	Eurofins laboratorioiden akkreditoitu menetelmä (titraus pH 4,5 ja 4,2)

6.2.2 Virtaama

Seurantavaiheessa ei tehty virtaamamittauksia alueella. Kaivosalueen purkureittien virtaamia on arvioitu asiantuntija-arviona laskennallisesti ja tulokset on esitetty kappaleessa 4.3.6.

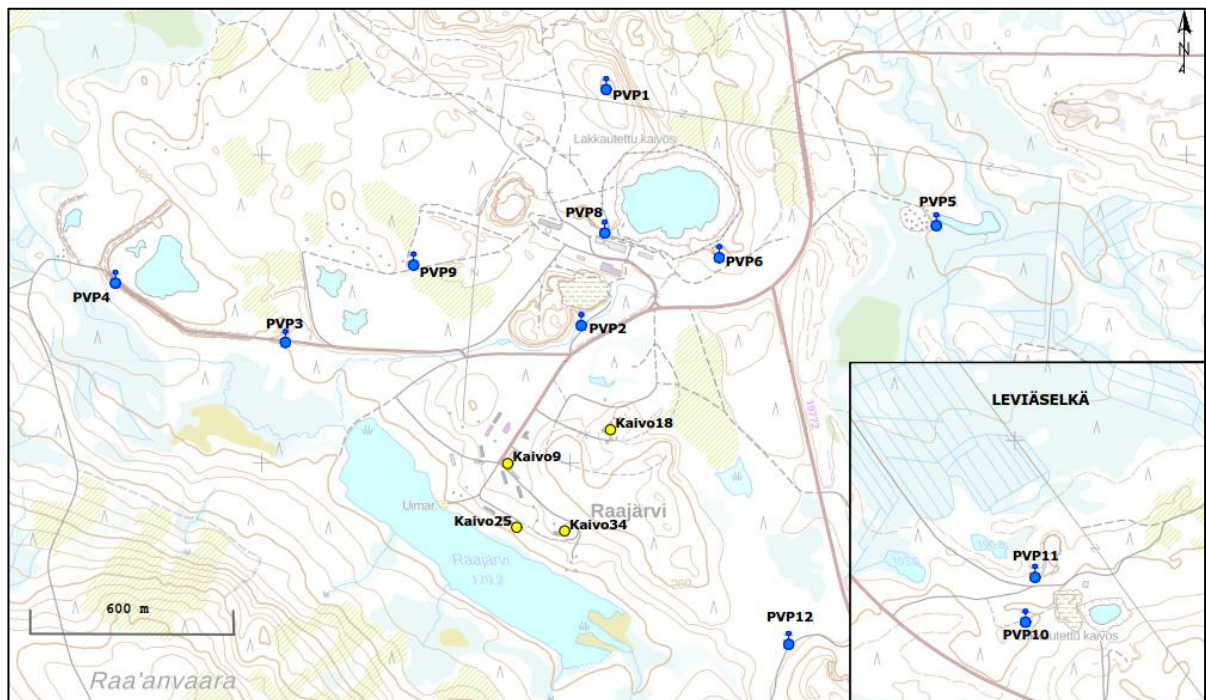
6.2.3 Mallinnukset

Seurantatutkimusten yhteydessä ei tehty mallinnuksia.

6.3 Pohjavesitutkimukset

KAJAK seurantatutkimusten alussa kesällä 2022 Raajärven kaivosalueen ja sen satelliittien alueelle asennettiin yhteensä 11 pohjaveden havaintoputkea raskaalla kairakalustolla (kuva 36). Raajärven kaivosalueelle sijoitettiin 7 pohjavesiputkea (PVP1...PVP4, PVP6, PVP8 ja PVP9), Puroon 1 pohjavesiputki (PVP5) ja Leviäselkään 2 pohjavesiputkea (PVP10 ja PVP11). Lisäksi yksi pohjavesiputki (PVP12) asennettiin taustaputkeksi Raajärven ja Leviäselän kaivosalueiden väliin, pohjaveden oletetun virtaussuunnan yläpuolelle. Liitteessä 2 on esitetty valokuvia pohjavesinäytteenotosta. Pohjavesiputkien putkikortit on esitetty liitteessä 3.

Raajärven alueella sijaitsee lisäksi 4 talousvesikaivoa (kaivo 9, kaivo18, kaivo 25 ja kaivo34). Kaivo18 on betonirengaskaivo ja muut ovat porakaivoja. Kaivoista otettiin näytteet (5 kpl) samanaikaisesti pohjavesinäytteiden kanssa lukuun ottamatta kaivoa 34, joka tuli tarkkailuun vasta syksyllä 2024 ja siitä otettiin ainoastaan 1 näyte. Pohjavesiputkien ja talousvesikaivojen sijainnit on esitetty kuvassa 6-15.



Kuva 6-15. Pohjavesien ja talousvesikaivojen tarkkailupisteet KAJAK seurantatutkimusten aikana. Pohjavesiputket on esitetty sinisellä symbolilla ja talousvesikaivot keltaisella symbolilla.

Kaikista pohjavesiputkista otettiin näytteet syksyisin ja keväisin vuosien 2022–2024 aikana (taulukko 6-7). Yhteensä näytteenottokierroksia tehtiin 5 kpl. Pohjavesinäytteet otettiin pääsääntöisesti pumppaamalla (Hurricane-uppopumppu). Huonoantoisista putkista näytteet otettiin kertakäyttöisillä noutimilla (Bailer). Ennen varsinaista näytteenottoa putkista mitattiin pinnankorkeus ja putkia tyhjennyspumppattiin siten, että niistä poistettiin vähintään 3 kertaa putken vesitilavuuden verran vettä tai ne tyhjennettiin kokonaan. Huuhtelulla varmistettiin veden vaihtuminen putkissa ja edustavan näytteen saanti.

Porakaivojen näytteet otettiin kaivoon liitettyjen asuintalojen hanoista siten, että vettä juoksutettiin noin 5-10 minuuttia ennen varsinaista näytteenottoa. Betonirengaskaivon (kaivo18) näyte otettiin suoraan kaivosta noutimella.

Kaikista otetuista pohja- ja talousvesinäytteistä tehtiin aistinvaraiset havainnot veden laadusta (ulkonäkö, haju) sekä YSI-kenttämittaus.

Näytteenottopisteistä otetut näytteet sekä tehdyt analyysipaketit on esitetty taulukossa 6-7.

Taulukko 6-7. Pohjavesiputkista ja talousvesikaivoista otetut näytteet ja analyysit. Analyysipakettien analyysit on esitetty kappaleessa 6.3.1.

Pistetunnus	Näytteenottopäivä	Analyysipaketti	Pistetunnus	Näytteenottopäivä	Analyysipaketti
Raajärvi			Puro		
PVP1 avolouhos, pohjoinen	25.10.2022	suppea	PVP5 sivukivi 1.3	25.10.2022	suppea
	23.5.2023	laaja		23.5.2023	laaja
	27.9.2023	suppea		27.9.2023	suppea
	30.5.2024	suppea		30.5.2024	suppea
	30.9.2024	suppea		30.9.2024	suppea
PVP2 sivukivi 1.2	24.10.2022	suppea	Leviäselkä		
	23.5.2023	laaja	PVP10 pintahiekka 3.5	18.10.2022	suppea
	27.9.2023	suppea		23.5.2023	laaja
	30.5.2024	suppea		27.9.2023	suppea
	30.9.2024	suppea	PVP11 pintahiekka 3.4	18.10.2022	suppea
PVP3 RH 2.2, kaatopaikka	24.10.2022	suppea + 1		23.5.2023	laaja
	23.5.2023	laaja + 1		27.9.2023	suppea
	27.9.2023	suppea + 1	Taustapitoisuus		
	30.5.2024	suppea	PVP12 taustapitoisuus	25.10.2022	suppea
	30.9.2024	suppea + 1		22.5.2023	laaja
PVP4 RH 2.2	25.10.2022	suppea + 1		27.9.2023	suppea
	23.5.2023	laaja + 1		29.5.2024	suppea
	27.9.2023	suppea + 1		30.9.2024	suppea
	30.5.2024	suppea	Talovesikaivot		
	16.7.2024	suppea	Kaivo9	18.10.2022	suppea
	30.9.2024	suppea + 1		22.5.2023	laaja
PVP6 avolouhos, etelä	24.10.2022	suppea		9.10.2023	suppea
	22.5.2023	laaja		30.5.2024	suppea
	9.10.2023	suppea		30.9.2024	suppea
	29.5.2024	suppea	Kaivo18	18.10.2022	suppea
	30.9.2024	suppea		1.6.2023	laaja
PVP8 avolouhos, länsi	24.10.2022	suppea + 1		9.10.2023	suppea
	22.5.2023	laaja + 1		30.5.2024	suppea
	27.9.2023	suppea		30.9.2024	suppea
	29.5.2024	suppea	Kaivo25	18.10.2022	suppea
	30.9.2024	suppea		1.6.2023	laaja
PVP9 RH 1.1	24.10.2022	suppea		9.10.2023	suppea
	22.5.2023	laaja		30.5.2024	suppea
	27.9.2023	suppea		30.9.2024	suppea
	29.5.2024	suppea	Kaivo34	30.9.2024	suppea
	30.9.2024	suppea			

6.3.1 Kemiallinen laatu

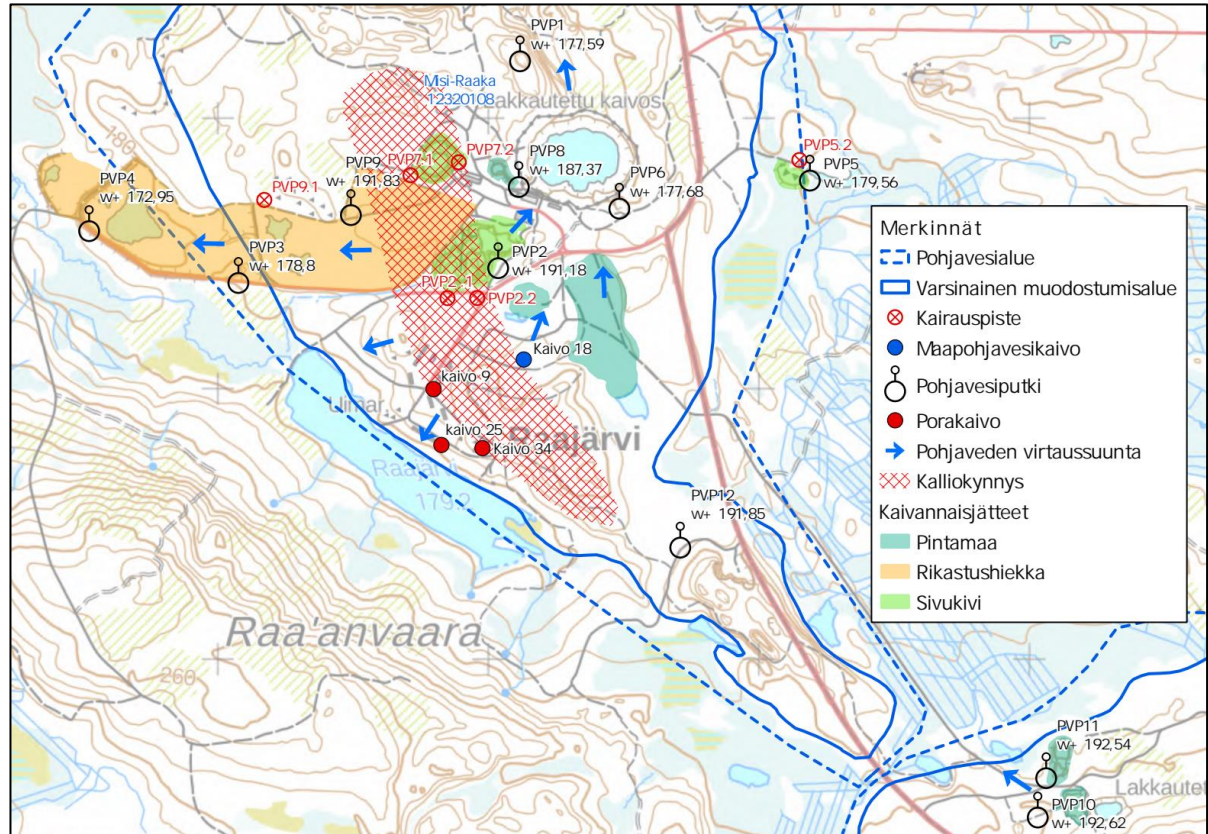
Kaikki näytteet analysoitiin Eurofins Environment Testing Finland Oy:n ympäristölaboratorioissa (Lahti ja Rovaniemi). Seuranatutkimuksien yhteydessä analysoitiin yhteensä xx pohja-/talousvesinäytettä. Lähes kaikista tutkimuspisteistä analysoitiin kertaalleen laaja tutkimuspaketti ja muilla näytteenottokerroilla suppea tutkimuspaketti. Analyysipakettien sisällöt ja menetelmät on esitetty taulukossa 6-8.

Taulukko 6-8. Pohjavesinäytteistä tehdyt analyysipaketit ja niiden menetelmät.

Suppea analyysipaketti	Laaja analyysipaketti	Menetelmä
Metallit kokonaispitoisuudet (VNa 214/2007 PIMA-metallit + Ca, S, Al, Fe, Mn)	Metallit kokonaispitoisuudet (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr,Cu,Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Sn, Ti, Tl, V, Zn, U)	SFS-EN ISO 17294-2:2023, SFS-EN ISO 17294-2, SFS-EN ISO 15587-1, SFS-EN ISO 15587-1:2002
Sulfidi	Sulfidi	Ei akkreditoitu
Sulfaatti	Sulfaatti	Eurofins laboratorioiden akkreditoitu menetelmä, perustuu mm. SFS-EN ISO 10304-1:2009, IC-EC
Kloridi	Kloridi	
Fluoridi	Fluoridi	
Fosfaatti	Fosfaatti	Eurofins laboratorioiden akkreditoitu menetelmä EF2087, perustuu SFS-EN ISO 15923-1:2013, SFS-EN ISO 6878:2004
Muut analyysit		
1) Öljyhiilivedyt C ₁₀ -C ₄₀ , bensiinihiilivedyt C ₅ -C ₁₀ , BTEX-yhdisteet, aromaattiset hiilivedyt ja oksygenaattit		SFS-EN ISO 10301:1997, SFS-EN ISO 11423-1:1997, SFS-EN ISO 9377-2:2001, SFS-EN ISO 20595:2018

6.3.2 Virtausolosuhteet

Pohjaveden virtausolosuhteita on tarkasteltu pohjavesiputkien maalajien ja pinnankorkeuksien perusteella. Pohjaveden virtaus tutkimuskohteissa on esitetty kuvassa 6-16.



Kuva 6-16. Pohjaveden virtausolosuhteet Raajärven, Puron ja Leviäselän kaivosalueilla. Kartalla esitetyt pohjaveden pinnan tasot on mitattu 30.9.2024 paitsi putkien PVP10 ja PVP11 osalta 27.9.2023.

Tulosten perusteella pohjavesialueen länsiosassa sijaitsee vedenjakajana toimiva kalliokynnys, joka rajoittaa ja ohjaa pohjaveden virtausta. Kalliokynnyksen länsipuolella pohjaveden virtaus suuntautuu länteen kohti pohjavesialueen reuna-alueella sijaitsevia vesistöjä (Raajärvi ja raa'aoja). Itäpuolella pohjaveden päävirtaussuunta on pohjoiseen. Kalliokynnyksen vaikutuksesta rikastushiekka-alueelta vedet suuntautuvat pääasiassa länteen, kun taas pohjavesialueen keskiosassa sijaitsevilta sivukivi- ja pintamaan läjitysalueilta pohjaveden virtaus on pääasiassa pohjoiseen. Putki PVP12 edustaa hyvin alueen taustapitoisuutta, sillä sen alueelle ei vaikutuksia arvioida kohdistuvan Raajärvestä, Purosta tai Leviäselän alueelta.

Eteläosan kaivosalueelta pohjaveden virtaus on luoteeseen kohti pohjavesialueen reunaa, jonne pohjavettä purkautuu vesistöihin (Raajärvi).

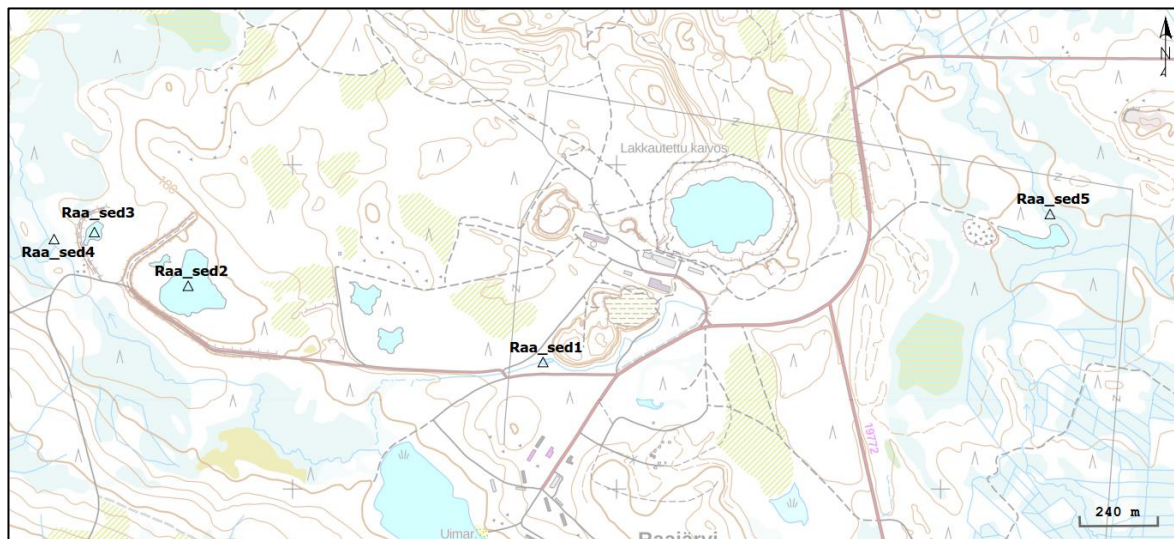
6.3.3 Mallinnukset

Seurantatutkimusten yhteydessä ei tehty pohjaveden mallinnuksia.

6.4 Sedimenttitutkimukset

Näytteenotto

Alueella toteutettiin sedimenttitutkimuksia 17.7.2024. Tutkimusten yhteydessä sedimenttinäytteitä otettiin yhteensä 5 tutkimuspisteestä (Raa_sed 1...Raa_sed5) Raajärven ja Puron kaivoalueen läheisyydestä. Leviäselässä ei tehty sedimenttitutkimuksia. Sedimenttinäytteenoton yhteydessä kaikista tutkimuspisteistä otettiin vesinäytteet (alusvesi). Tutkimuspisteiden sijainnit on esitetty kuvassa 6-17.



Kuva 6-17. Sedimentin tutkimuspisteet.

Sedimenttinäytteet otettiin suokairalla. Kaikista tutkimuspisteistä pyrittiin ottamaan sedimenttinäytteet 2 syvyydestä (0-0,1 m ja 0,1-0,3 m). Tutkimuspisteessä Raa_sed1 sedimenttiä oli ainoastaan noin 10 cm, jonka vuoksi pisteestä otettiin ainoastaan yksi näyte. Muista tutkimuspisteistä otettiin näytteet suunnitellusti. Jokainen sedimenttinäyte muodostettiin noin 5-15 osanäytteestä.

Näytteenoton yhteydessä tehtiin aistinvaraiset arviot sedimentistä (mm. maalaji, kerrosrakenne, haju). Kaikki otetut näytteet analysoitiin Eurofins Environment Testing Finland Oy:n laboratoriossa Lahdessa. Näytteiden analyysit, menetelmät ja lukumäärät on esitetty taulukossa 6-9.

Taulukko 6-9. Raajärven ja Puron sedimenttinäytteiden laboratorioanalyysit ja menetelmät.

Laboratorioanalyysit	Menetelmä	Lukumäärä
Metallit	SFS-EN 16171:2016	9
Kuiva-ainepitoisuus	SFS 3008:1990; SFS-EN 15934:2012; SFS-ISO 11465:2007	9
pH	Laboration sis. menetelmä EF2036, Potentiometri	9
Hehkutushäviö	SFS 3008:1990	9
Raekoko		6

* Al, As, Cd, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, S, V, Zn, U (17 alkuainetta)

Näytteenoton havainnot

Tutkimuspiste **Raa_sed 1** sijoitettiin sivukivikasan 1.1 alapuoleiseen pintavesilammikkoon/ojan suuhun. Pintavesilammikossa oli vettä noin 0,5 m. Altaassa oli sedimenttiä noin 0,1 m jonka alla oli mineraalimaa (Hk). Sedimentti oli liejuista hiekkaa / turvetta ja siinä havaittiin rikin haju (kuva 6-18). Myös otetussa vesinäytteessä havaittiin rikin hajua.



Kuva 6-18. Sedimenttinäyte Raa_sed1.

Tutkimuspisteet Raa_sed2 ja Raa_sed3 sijoitettiin rikastushiekka-altaiden vesialtaisiin. Raa_sed2 otettiin rikastushiekka-altaan 2.2 vesialtaasta ja Raa_sed3 2.2 altaan alapuolisen selkeytys-/ylivuotoaltaan 2.3 vesialtaasta.

Tutkimuspisteen **Raa_sed2** kohdalla vesialtaassa oli vettä noin 3,5 m. Altaassa oli sedimenttiä noin 0,1 m, jonka alla oli tiivis kerroksellinen savi (violetteja ja harmaita kerroksia, kuva 24). Näytteet otettiin erikseen sedimentistä ja savesta. Sedimentissä havaittiin lievää suon hajua. **Raa_sed3** pisteessä altaassa vettä oli noin 0,8 m. Altaassa oli sedimenttiä ainoastaan noin 2-5 cm, jonka alla oli tiivis ruskeasta harmaaseen vaihtuva savi (kuva 6-19).



Kuva 6-19. Sedimenttinäytteet Raa_sed2 (vasen) ja Raa_sed3 (oikea).

Tutkimuspiste **Raa_sed4** tehtiin rikastushiekka-altaiden alapuoliseen ojaan. Näytteenottohetkellä ojassa oli voimakas virtaus ja vesipatsaan paksuus oli noin 1 m. Ojasedimentti oli liejuista turvetta noin 0,1 m jonka alla turve muuttui tiiviimmäksi (kuva 6-20). Sedimentissä ei havaittu poikkeavaa hajua tai merkittäviä kerroksia.



Kuva 6-20. Tutkimuspisteen Raa_sed4 sedimentti, pinta vasemmalla.

Tutkimuspiste **Raa_sed5** otettiin Puron kaivosalueen alapuolisesta pintavesiojasta. Ojassa oli selvä virtaus ja vesipatsaan paksuus oli noin 1 m. Ojasedimentti oli hiekaista liejua, jonka väri muuttui tummemmaksi syvemmällä (kuva 6-21). Sedimentissä ei havaittu poikkeavaa hajua.



Kuva 6-21. Tutkimuspisteen Raa_sed5 sedimenttinäyte.

6.5 Jättemateriaalin uudelleen hyödyntäminen

Jättemateriaalien uudelleen hyödyntämiseksi tehtäviä analyyseja, kuten liukoisuustestauksia, ei näissä seurantavaiheen tutkimuksissa tehty. Myöskään rikastushiekan tai sivukiven raaka-ainepotentiaalia ei ole tutkittu.

6.6 Maaperätutkimukset

Seurantavaiheen tutkimusten yhteydessä alueelle tehtiin maastokatselmuksessa tunnistetulle riskialueille (kaatopaikka, öljysäiliöalue) tarkentavia maaperätutkimuksia. Kaivosalueella on tietävästi poltettu öljyjätteitä ja/tai haudattu niitä patopenkereiseen, tarkkaa sijaintia näille toiminnoille ei ole tiedossa.

Raajärven rikastushiekka-altaan 2.2 kaakkoisosassa sijaitsee entinen kaivostoiminnan aikainen kaatopaikka. Alueelle on kipattu jätettä altaan 2.1 patopenkerein kautta ja jätettä on näkyvillä penkerein reunalla. Osittain jätteitä on peitetty altaan 2.2. alueella täyttömaalla. Kaatopaikan alueelle tehtiin maaperätutkimuksia kaivinkoneen koekuopista. Tutkimusten tarkoituksena oli selvittää kaatopaikan laajuutta sekä maaperän haitta-ainepitoisuuksia. Lisäksi pohjavesiputki PVP3 sijaitsee kaatopaikka-alueen eteläpuolella.

Huoltohallin pohjoispuolella havaittiin 2 maanalaista lämmitysöljysäiliötä ja huoltohallin eteläpuolella 1 maanalainen polttoainesäiliö. Öljysäiliöiden läheisyyteen tehtiin maaperätutkimuksia kaivinkoneen koekuopista. Tutkimusten tarkoituksena oli selvittää öljysäiliöiden ympäristän maaperän haitta-ainepitoisuudet.

Tehtyjen ympäristötekniikan kaatopaikka- ja öljysäiliötutkimusten näytenäytteiden sijainnit, valokuvat, tutkimustulokset koontitaulukoissa ja analyysitodistukset on esitetty liitteessä 4.

6.7 Luontotutkimukset

Tämän tutkimuksen yhteydessä ei tehty kasvillisuus-, pohjaeläin-, kala- tai maaeläintutkimuksia.

6.8 Laskeumatutkimukset

Tämän tutkimuksen yhteydessä ei tehty laskeumamittauksia.

6.9 Radioaktiivisuus

Tämän tutkimuksen yhteydessä ei tehty radioaktiivisuuden mittauksia.

6.10 Jätealueiden rakenteet ja vakaus

Jätealueiden rakenteita on käsitelty tarkemmin kappaleissa 3.4 ja 6.1.

6.11 Riskinarvioinnit

Alueelle ei ole aiemmin tehty riskinarviointia.

6.12 Muut

Alueelle ei ole tehty muita tutkimuksia.

7. Tulokset ja niiden tulkinta

7.1 Yleistä

Raajärven seurantavaiheen vuosien 2022–2024 tutkimusten tulokset sekä vertailu viitearvoihin ja taustapitoisuuksiin on kuvattu tässä luvussa. Viitearvot on esitetty pysyvän kaivannaisjätteiden luokitteluun ja maaperän pilaantuneisuuteen, joille sovelletaan osin samoja viitearvoja. Viitearvoja on esitetty myös kaivannaisjätteiden haponmuodostuksen arviointiin sekä pintavesien ja pohjavesien vaikutusten arviointiin. Lisäksi viitearvoja on esitetty sedimenttien tilan arviointiin. Asbestille ei ole olemassa viitearvoja, mutta niiden vaikutuksia on käsitelty alla.

Tutkimuksien tulokset on esitetty liitteiden 5-10 yhteenvetotaulukoissa ja laboratorion analyysitodistukset liitteessä 11.

7.1.1 Viitearvot

Pysyvän kaivannaisjätteen luokittelu

Kaivannaisjätteen ominaisuuksille annetut perusteet, joiden täyttyessä jäte voidaan luokitella pysyväksi jätteeksi Vna 190/2013.

Keskeistä pysyvyyden luokittelussa on, että jätteen sulfidirikipitoisuus

- on enintään 0,1 prosenttia tai

- se on enintään 1 prosentti ja neutralointipotentiaalisuhde, määriteltynä neutralointipotentiaalin ja hapontuottopotentiaalin välisenä suhteena testimenetelmän EN 15875 staattisen testin perusteella, on suurempi kuin 3;

ja että mahdollisesti haitallisten aineiden (erityisesti arseeni, kadmium, koboltti, kromi, kupari, elohopea, molybdeeni, nikkeli, lyijy, vanadiini ja sinkki) pitoisuudet jätteessä ovat riittävän alhaiset siten, että niistä aiheutuva vaara ympäristölle ja terveydelle on merkityksetön sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Asetuksen mukaan mainittujen aineiden pitoisuuksia pidetään riittävän alhaisina ja niistä ympäristölle tai terveydelle aiheutuvaa vaaraa merkityksettömänä, jos ne eivät ylitä maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista annetussa valtioneuvoston asetuksessa (214/2007) tarkoitettuja arviointia edellyttäviä kynnysarvoja tai alueen ympäristön maaperän taustapitoisuuksia.

Maaperän pilaantuneisuuden viitearvot

Valtioneuvoston maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointiin liittyvällä asetuksella (214/2007) eli ns. PIMA-asetuksella säädetään maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin perusteista. Asetuksessa on annettu 52:lle maaperän haitallisen aineen tai aineryhmän pitoisuudelle ohjearvot, joita käytetään pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin apuna. Lisäksi asetuksessa on annettu arviointitarpeen laukaisevat kynnysarvot.

Asetuksessa maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista on esitetty haitallisten aineiden pitoisuuksille kynnys- ja ohjearvot, jotka on määritelty joko ekologisten tai terveysriskien perusteella.

- **kynnysarvo:** haitallisen aineen pitoisuusarvo, jonka alittuessa maaperän haitta-aineista aiheutuvia ympäristöriskejä voidaan pitää merkityksettöminä maankäytöstä ja muista ympäristön olosuhteista riippumatta ja jonka ylittyessä maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava
- **alempi ohjearvo:** haitallisen aineen pitoisuusarvo, jonka ylittyessä alueen maaperää pidetään yleensä pilaantuneena, ellei aluetta käytetä teollisuus-, varasto- tai liikennealueena taikka muuna vastaavana alueena tai ellei kohdekohtaisella riskinarvioinnilla ole toisin osoitettu
- **ylempi ohjearvo:** haitallisen aineen pitoisuusarvo, jonka ylittyessä maaperää pidetään yleensä pilaantuneena alueella, jota käytetään teollisuus-, varasto- tai liikennealueena tai muuna vastaavana alueena, ellei kohdekohtaisella riskinarvioinnilla ole toisin osoitettu

Pima-asetuksen mukaiset kynnys- ja ohjearvot tässä kohteessa todetuille haitta-aineille on esitetty kappaleessa 7.1.2.

Kaivannaisjätteiden hapontuottokyvyn viitearvot

Kaivannaisjätteen potentiaalinen hapontuottokyky ja neutralointiominaisuudet määritetään yleensä ns. staattisilla testeillä, joita ovat mm. ABA-testi (Acid Base Counting) ja NAG-testi (Net Acid Generation). Kun kaivannaisjätteiden hapontuottopotentiaali määritetään usealla eri menetelmällä ja niiden tuloksia verrataan keskenään, saadaan luotettavampi kuva kaivannaisjätteiden haponmuodostuspotentiaalista. ABA- ja NAG- testimenetelmiä ja kaivannaisjätteiden luokittelua niiden tulosten perusteella on kuvattu seuraavassa.

ABA-testi (Acid Base Counting) perustuu happo-emäslaskuun ja sen perusteella arvioidaan, voiko jätteestä muodostua pitkällä aikavälillä happamia valumavesiä. Hapontuotto ja sen neutralointi määritetään rikkikiisun (FeS_2) hapettumisreaktion mukaan; yksi mooli sulfidista rikkiä tuottaa kaksi moolia happoa (protoneja), joka neutraloituu yhdellä moolilla kalsiumkarbonaattia. Tähän perustuen hapontuottopotentiaali (AP) lasketaan yleensä jätteen sulfidisen rikin kokonaispitoisuudesta. Neutralointipotentiali (NP) voidaan laskea joko karbonaattisen hiilen kokonaispitoisuudesta, karbonaattisten mineraalien kokonaismäärästä tai staattisen testin tuloksen perusteella. (Kauppila ym. 2011)

Valtioneuvoston kaivannaisjätteistä antaman asetuksen (kaivannaisjäteasetus, VNA 190/2013) liitteen 1 mukaan happoa tuottavan kaivannaisjätteen neutraloimispotentiaali määritetään pysyvän jätteen luokittelussa CEN prEN 15875 menetelmällä (ABA-testi). Jätteen luokittelu happoa muodostavaksi tai muodostamattomaksi perustuu neutralointi- ja hapontuottopotentialin (NP/AP

eli NPR) suhdelukuun ja sulfidisen rikin kokonaispitoisuuteen. Kaivannaisjätteiden luokittelu happoa tuottavaksi ja happoa tuottamattomaksi jätteeksi on esitetty seuraavassa taulukossa 7-1.

Taulukko 7-1. Kaivannaisjätteiden luokittelu sulfidisen rikin ja NPR-luvun perusteella.

Sulfidisen rikin pitoisuus	NPR-luku	Luokittelu
<0,1 %	-	Happoa tuottamaton
0,1-1 %	>3	Happoa tuottamaton
0,1-1 %	<3	Happoa tuottava
>1 %	-	Happoa tuottava

ABA-testissä liukenee (1-5 %) lähinnä karbonaatteja, suolamineraaleja (titaaniitti, apatiitti) ja osittain myös silikaatteja (kloriitti, serpentiini, kiille). Testissä liukenee vähän sulfidimineraaleja eli testi ei suoraan mittaa sulfidien hapettumisesta syntyvää happamuuden neutralointia vaan suolahappolisän neutralointikykyä. ABA-testi soveltuu karbonaattipitoisille kaivannaisjätteille, joissa rikki esiintyy vain metalli-/metalloidisulfidimineraaleissa. Testi mittaa myös magnesiumvaltaisten silikaattien neutralointikykyä. Jos NPR-luku on <1 tai välillä 1-3, vääristää tulos vähän sulfidista rikkiä sisältävien kaivannaisjätteiden todellisen hapontuottopotentialin. Hitaasti liukenevien karbonaattien neutralointipotentiaali jää todellista potentiaalia heikommaksi. (Räisänen, 2009)

NAG-testi (Net Acid Generation) on sulfidien hapettamiseen (liuottamiseen) perustuva staattinen menetelmä. Menetelmän avulla saadaan arvio sulfidien rapautumiseen liittyvästä kokonaishapontuotosta, kun testin hapettumisreaktioissa tapahtuu samanaikaisesti myös karbonaattien ja/tai silikaattien liukeneminen ja siitä syntyvä hapon neutralointi. Menetelmä voidaan toteuttaa joko yksivaiheisena tai sarjauuttona sulfidimineraalien määrän mukaan. Uutossa happoa syntyy sulfidien hapettumisesta syntyvästä rikkihaposta sekä hapettumisreaktioissa liuenneen raudan ja muiden sulfidisten metallien saostumisesta. (Kauppila ym. 2011)

NAG ja NAG_{pH} mitataan siten, että näytettä ensin hapetetaan vetyperoksidilla, niin kauan, ettei pH enää laske (tämä on NAG_{pH}), minkä jälkeen näytettä titrataan emäksellä (usein natriumhydroksidilla) pisteeseen, jossa pH on 4,5 tai 7. Natriumhydroksidin kulutuksesta lasketaan nettohapontuotto Millsin (2008) kaavalla:

$$NAG = \frac{49VM}{W}$$

missä NAG on nettohaponmuodostuminen (kg H₂SO₄/t), V on NaOH-kulutus titrauksessa (ml), M on NaOH:n molaarisuus (mol/l) ja W on näytteen paino (g). (AMIRA 2002)

Kaivannaisjätteen luokittelu hapontuoton perusteella on esitetty taulukossa 7-2.

Taulukko 7-2. Kaivannaisjätteiden luokittelu NAG_{pH}- sekä NAG-arvojen perusteella (AMIRA 2002).

NAG _{pH}	NAG (kg H ₂ SO ₄ /t)	Luokittelu
4,5	0	Happoa tuottamaton, NAF
<4,5	0-5	Mahdollisesti happoa tuottava – alhainen kapasiteetti, PAF-LC *
<4,5	>5	Mahdollisesti happoa tuottava, PAF

* PAF-LC -luokitus kuvaa materiaaleja, jotka voidaan käsitellä kalkilla tai sekoittamalla happoa tuottava materiaali happoa tuottamattoman (NAF) materiaalin tai happoa kuluttavan materiaalin kanssa (AMIRA 2002).

NAG-testillä voidaan varmentaa kaivannaisjätteiden luokittelua happoa tuottaviksi tai happoa tuottamattomiksi jätteiksi. NAG-testissä liukenee sulfidimineraaleja (1-10 %), ensisijaisesti magneettikiisu, mutta myös karbonaatteja, suolamineraaleja ja osittain myös silikaatteja. Hapon muodostuminen (NAG_{pH} -arvo) määräytyy sulfidiliukenevuudesta (riikkihapon tuotto), mutta myös raudan saostumisesta ja alumiinin hydrolysoitumisesta testin aikana. NAG-testi soveltuu vähän ja runsaasti sulfideja sisältävien kaivannaisjätteiden hapontuoton testaamiseen. Testi tuo esille myös rauta-alumiinisilikaattien hapontuoton (heikkona), mutta voi myös ylikorostaa silikaattirapautumisen hapontuottoa. (Räisänen, 2009)

Asbesti

Asbesti on yleisnimi erälle luonnossa esiintyvälle silikaattimineraalikuiduille. Asbestia käytetään muun muassa tulenkestävänä eristeenä ja sidosaineena. Hyväkuntoiset asbestimateriaalit eivät aiheuta ongelmia, mutta rikkoutuneet materiaalit saattavat levittää asbestipölyä ilmaan. Pöly voi kulkeutua hengittäessä keuhkoihin ja pienintä terveydelle haitallista altistusta ei tunneta.

Asbesti voi aiheuttaa hengitettynä erilaisia keuhkosairauksia, kuten keuhkopölynsairautta ja syöpää. Asbestikuidut eivät poistu elimistöstä mitään kautta sinne jouduttuaan, joten lyhytaikainenkin altistuminen voi johtaa sairastumiseen. Yleensä sairastuminen johtuu kuitenkin pitkäaikaisemmasta altistuksesta, ja sairastumisen riski kasvaa altistuksen myötä.

Pintaveden viitearvot

Ympäristöministeriön julkaisun 16/2020 (s. 106-107) mukaan vesistöön kohdistuvien haitta-aineiden kulkeutumisriskien määrittämisessä ensisijaisina vertailuarvoina tulee käyttää ympäristölaatuunormeja, jotka on asetettu valtioneuvoston asetuksella vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (Vna 1022/2006 + muutokset). Ympäristölaatuunormi on määriteltävä asetuksessa sellaiseksi pitoisuudeksi pintavedessä, sedimentissä tai eliöissä, jota ei saa ylittää ihmisen terveyden tai ympäristön suojelemiseksi. Pintavesillä tarkoitetaan säädöksessä sisämaan vesistöjä sekä rannikko-, alue- ja talousalueen vesiä. Vesistöt ovat puolestaan vesilain määritelmän mukaan järviä, lampia, jokia, puroja ja muita luonnollisia vesialueita sekä tekojärviä, kanavia ja muita vastaavia keinotekoisia vesialueita. Vesistönä ei kuitenkaan pidetä noroa, ojaa eikä lähdetä.

Ympäristölaatuunormit on annettu erikseen pintaveden vuosikeskiarvona (AA-EQS) ja lyhytaikaisena enimmäispitoisuutena (MAC-EQS) sekä tietyille aineille pitoisuutena eliöstössä. Kaivosalueiden valumavesissä ja vesistöissä tyypillisesti esiintyvistä haitta-aineistapintaveden ympäristölaatuunormit on annettu elohopealle, lyijylle, nikkelille ja kadmiumille. Näistä kadmiumin ympäristölaatuunormi vaihtelee veden kovuudesta riippuen, minkä lisäksi elohopealle on asetettu myös eliöstön laatuunormi. Pintaveden ympäristölaatuunormit koskevat liukoisia tai biosaatavia metallipitoisuuksia ($\mu\text{g/l}$, suodatettu $0,45 \mu\text{m}$) ja eliöstön ympäristölaatuunormi pitoisuutta tuorepainossa ($\mu\text{g/kg}$).

Niille kaivannaisjätealueen haitta-aineille, joille ympäristölaatuunormeja ei ole annettu, vastaava haitatonta pitoisuutta kuvaava vertailuarvo voidaan johtaa ekotoksikologisten testien tuloksista soveltuvien kirjallisuustietojen avulla. Suosituksia pintaveden laadun yleisiksi vertailuarvoiksi riskinarvioinnissa on annettu myös Ympäristöhallinnon ohjeessa 6/2014 (YM 2014). Viitearvot on esitetty tulosten tulkinnan yhteydessä kappaleessa 7.3.

Pohjaveden viitearvot

Lainsäädännön näkökulmasta pohjaveden suojeluarvo on suurimmillaan vedenhankinnan kannalta tärkeillä ja muilla vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla (Ympäristöhallinnon luokituksen luokat I ja II), joilla haitta-aineiden päätyminen pohjaveteen on ensisijaisesti pyrittävä estämään

tai minimoimaan (Ympäristöhallinnon julkaisuja 16/2020). Mikäli kaivos sijaitsee pohjavesialueella, kaivostoiminnan seurauksena alueiden pohjavesi ei myöskään yleensä ole luonnontilassa ja geologisista syistä johtuen myös metallien alueelliset taustapitoisuudet pohjavesissä voivat olla tavanomaista suurempia. Vertailuarvot pohjaveden laatumuutosten arvioimiseksi on valittava osin tapauskohtaisesti kohteesta ja tarkastelupisteistä riippuen.

Pohjaveden laadun vertailuarvoina koko pohjavesialueiden suhteen voidaan soveltaa valtioneuvoston asetuksella vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006, muutossäädös 341/2009) annettuja pohjaveden ympäristölaatunormeja, joita asetuksen mukaan käytetään ensisijaisesti pohjaveden kemiallisen tilan luokittelussa (verrattuna pitoisuuden vuosikeskiarvoon pohjavesimuodostumassa).

Pohjaveden otto- ja käyttöpaikoilla pohjaveden laadun on oltava aina tarkoitukseen soveltuvaa. Siten esimerkiksi juomavesikäytössä olevissa tai siihen tarkoitetuissa kaivoissa, vedenottamoilla tai lähteissä pohjaveden laadun vertailuarvoina kulkeutumiskien arvioinnissa tulee käyttää voimassa olevia talousveden laatuvaatimuksia taikka muita kunnan terveydensuojeluviranomaisen tai vesilaitoksen erikseen määrittelemiä laatuvaatimuksia. Niille aineille, joille näitä laatuvaatimuksia ei ole annettu, käytetään vertailuarvoina esimerkiksi uusimpia WHO:n juomaveden enimmäispitoisuuksia.

Raajärven, Puron ja Leviäselän kohteiden sijaitessa Ympäristöhallinnon luokittelemilla pohjavesialueilla (luokat II) sovelletaan kohteessa pohjaveden laatunormeja sekä kaivovesien osalta talousveden laatuvaatimuksia ja -suosituksia. Viitearvot on esitetty tulosten tulkinnan yhteydessä kappaleessa 7.4.

Sedimentin pilaantuneisuuden viitearvot

Sedimenttien haitta-ainepitoisuuksille ei ole toistaiseksi olemassa tai asetettu yhteisöllisiä tai kansallisia ympäristölaatunormeja tai raja-arvoja. Vertailtua on aikaisemmin tehty Vna 214/2007 kynnys- ja ohjearvoihin. Kesällä 2024 on julkaistu paikallaan olevien sedimenttien viitearvot, jotka perustuvat muualla Euroopassa käytettäviin sedimentin ympäristölaatunormeihin, jotka ovat normalisoituja pitoisuuksia (Taulukko 7-3).

Taulukko 7-3. Paikallaan olevien sisävesien sedimenttien kynnysarvot Ruotsissa ja Sveitsissä (Cu, Ni, Pb, Zn) ja Norjassa (Hg, Cr) (Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27/2004) sekä Vna 214/2007 mukaiset kynnysarvot.

Metalli	Vna (214/2007) kynnysarvo (mg/kg)	Sedimentin EQS-arvo (mg/kg)
Kupari	100	36
Nikkeli	50	136
Elohopea	0,5	0,52
Kromi	100	660
Lyijy	60	130
Sinkki	200	38

Sedimentin ympäristölaatunormeilla pyritään suojelemaan etenkin pohjaeliöitä ja ravintoverkkoa (Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27/2004).

7.1.2 Taustapitoisuudet

Raajärven kaivosalueen suurimmat suositellut taustapitoisuusarvot (SSTP_{KOHDE}) on määritetty Geologian tutkimuskeskuksen taustapitoisuus-karttapalvelussa (TAPIR) (GTK, 15.11.2024). Taustapitoisuudet on määritetty moreenimaalle ja taustapitoisuuksien laskennassa on huomioitu 15 km säteellä kaivosalueelta tehtyt maaperätutkimukset. Hiekkamaalle ei saatu määritettyä SSTP arvoja tuloksien vähyyden vuoksi. Laskennassa on huomioitu yhteensä 182 näytteen tiedot ja SSTP-arvot on määritetty 7 alkuaineelle (Co, Cr, Cu, Ni, Zn, V ja Ba). SSTP-arvot on esitetty taulukossa 7-4 ja liitteessä 12.

Raajärven kaivosalue ei sijaitse arseeni- tai metalliprovinssin alueella. Alueen SSTP-arvot ovat maltilliset eikä minkään tutkitun alkuaineen taustapitoisuusarvo ylitä asetettuja VNa 214/2007 kynnys- tai ohjearvoja (ks. kappale 7.1.1).

Taulukossa 7-4 on esitetty lisäksi Suomen maaperän luontaisten metallipitoisuuksien vaihteluväli (Vna 214/2007). Luontaiset pitoisuudet on määritetty moreenin hienoaineksesta.

Taulukko 7-4. Taustapitoisuudet (mg/kg) ja niiden vertailu Vna 214/2007 kynnys- ja ohjearvoihin.

	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V
Luontainen pitoisuus Suomessa	0,01-0,2	0,1-25	<0,05	0,01-0,15	1-30	6-170	5-110	0,1-5	3-100	8-110	10-115
SSTP_{KOHDE}	-	-	-	-	8,8	43	31	-	23	26	57
Kynnysarvo	2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100
Alempi ohjearvo	10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150
Ylempi ohjearvo	50	100	5	20	250	300	200	750	150	400	250
SUURIN KOHTEEN PITOISUUS	0,05	12	<0,01	0,05	176	44	164	30	100	45	500

Taustapitoisuudet Raajärvellä alittavat Vna 214/2007 mukaiset kynnysarvot. Siten Vna 214/2007 mukaiset kynnysarvot ovat soveltuvia maaperän merkityksellisten metallien todentamiseen.

Kohteessa suurimpina pitoisuuksina todettua vanadiinia esiintyy maankuoressa yleisesti ja sen pitoisuus maankuoressa on keskimäärin 100 mg/kg (Byerrum, 1991, s. 1290). Maaperän vanadiinipitoisuudet vaihtelevat hyvin paljon eri puolilla maailmaa riippuen mineraalikoostumuksesta. Suomessa maaperän luontaiset vanadiinipitoisuudet vaihtelevat välillä 10-115 mg/kg (Vna 214/2007).

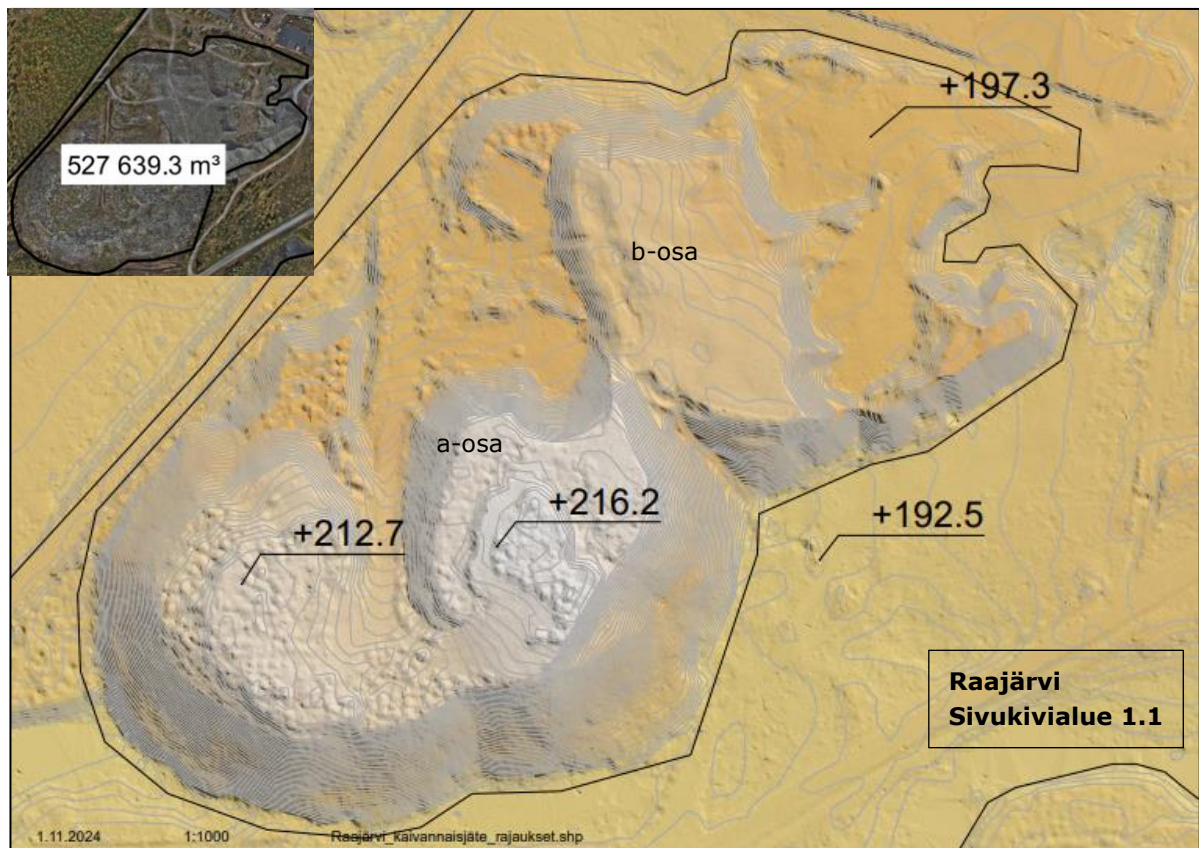
Pinta- ja pohjavesien osalta taustapitoisuudet on esitetty tulosten yhteydessä (Kpl 7.3 ja 7.4).

7.2 Kaivannaisjätteet

7.2.1 Sivukivialueet

7.2.1.1 Rajaukset ja massamäärät

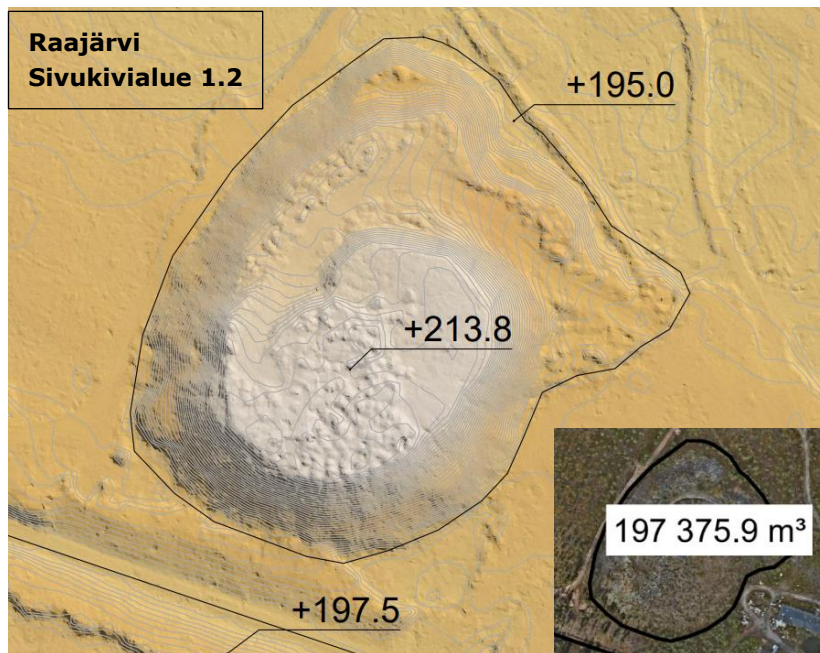
Raajärven **sivukivialueella 1.1** arvioidaan olevan kohteeseen tehdyn kuvausaineistoon perustuvan laskennan perusteella yhteensä noin 530 000 m³ eli noin 800 000 tn sivukiveä (a-osa) ja mursketta (b-osa) (kuva 7-1). Massalaskentaa varten kaikilla tässä esitetyillä kaivannaisjätealueilla pohjataso on arvioitu viereisen maanpinnan tasojen perusteella, mihin liittyy epävarmuutta.



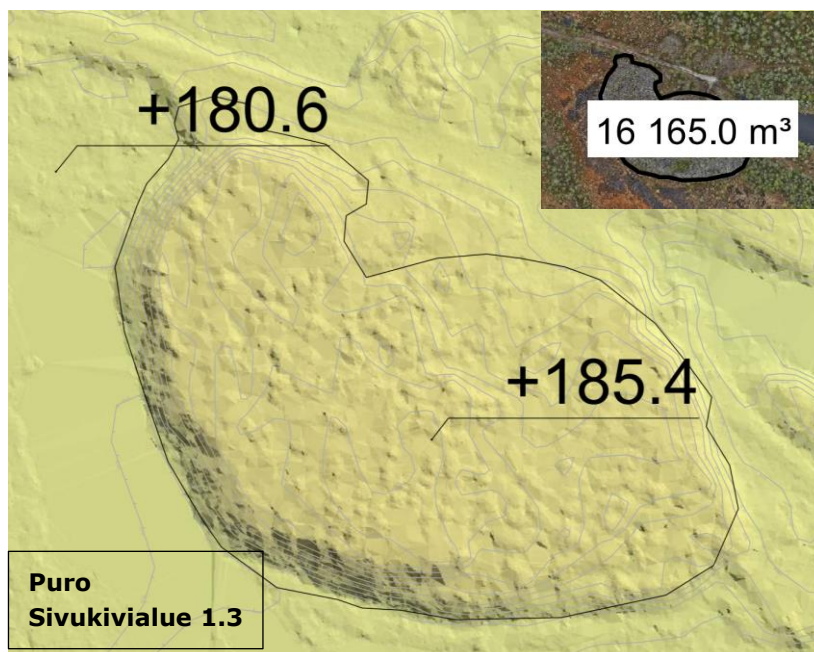
Kuva 7-1. Raajärven sivukivialue 1 (Lähde: KAJAK Drone- hankkeen kuvausaineisto), maanpinnantaso ja kasojen korkeimpien kohtien pintojen tasot.

Raajärven **sivukivialueella 1.2** arvioidaan olevan kohteeseen tehdyn kuvausaineistoon perustuvan laskennan perusteella yhteensä noin 200 000 m³ eli noin 300 000 tn sivukiveä (kuva 7-2). Puron **sivukivialueella 1.3** arvioidaan olevan kohteeseen tehdyn kuvausaineistoon perustuvan laskennan perusteella yhteensä noin 16 000 m³ eli noin 24 000 tn sivukiveä (kuva 7-3).

Laskentojen perusteella Raajärven alueella on sivukiveä läjityksinä noin 1,12 Mt. Sivukiviä on arvioitu muodostuneen noin 3 Mt. Sivukiviä on tiedetty hyödynnetyn jo kaivoksen toiminnan aikana maanrakennukseen, kuten tie- ja patorakenteissa. On myös mahdollista, että sivukiveä on viety alueen ulkopuolelle ja/tai hyödynnetty esim. kaivostunneleiden täyttöihin.



Kuva 7-2. Raajärven sivukivialue 1.2 (Lähde: KAJAK Drone- hankkeen kuvausaineisto), maanpinnantasot ja kasojen korkeimpien kohtien pintojen tasot.



Kuva 7-3. Puron sivukivialue 3 (Lähde: KAJAK Drone- hankkeen kuvausaineisto), maanpinnantasot ja kasojen korkeimpien kohtien pintojen tasot.

7.2.1.2 Sivukivien koostumus ja ominaisuudet

Raajärven rautamalmin isäntäkivi eli muodostunut sivukivi on dolomiittinen marmori, joka on pääosin kalsiittia (CaCO_3), ja sisältää savimineraaleja, kiilteitä, kvartsiittia, rikkikiisua, rautaoksidea ja grafiittia. (Pietilä & Räisänen 2021)

Tässä seurantavaiheen tutkimuksessa määritettiin tarkemmin sivukivien pääoksidien ja alkuaineiden esiintymistä. Analysoitujen sivukivinäytteiden koostumus on esitetty taulukossa 7-5.

Taulukko 7-5. Sivukivien koostumus.

Analyte	Unit Symbol	Raajärvi Sivukivialue 1.1		Raajärvi Sivukivialue 1.2		Puro Sivukivialue 1.3	
		SK1	SK2, murske	PM pinta	PM pohja	SK4 pinta	SK4 pohja
SiO ₂	(%)	44	44	46	55	55	48
MgO	(%)	28	24	15	24	16	16
Fe ₂ O ₃	(%)	12	8,7	20	5,0	5,8	12
Fe	(%)	8,6	6,1	14	3,5	4,1	8,4
Al ₂ O ₃	(%)	6,3	5,1	8,9	5,9	10	9,2
CaO	(%)	6,7	16	4,7	7,2	6,8	8,7
P ₂ O ₅	(%)	1,1	0,21	0,68	0,20	0,44	0,30
Na ₂ O	(%)	0,82	1,4	3,2	2,4	3,2	4,1
K ₂ O	(%)	0,63	0,87	1,2	0,35	1,5	0,97
BaO	(%)	0,003	0,006	< 0,001	0,002	0,01	< 0,001
Cr ₂ O ₃	(%)	0,006	0,003	0,007	0,004	0,02	0,006
MnO	(%)	0,08	0,13	0,06	0,08	0,06	0,10
Rb ₂ O	(%)	0,002	0,005	0,007	0,002	0,007	0,006
SrO	(%)	0,002	0,006	0,001	0,003	0,009	0,002
TiO ₂	(%)	0,19	0,24	0,40	0,22	0,34	0,37
V ₂ O ₅	(%)	0,05	0,07	0,10	0,02	0,03	0,05
ZrO ₂	(%)	0,008	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
S	(%)	0,29	0,05	0,04	0,02	0,02	0,011
Co	(%)	0,025	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Ni	(%)	0,004	0,003	0,01	0,003	0,004	0,007
Zn	(%)	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001

Sivukivet koostuvat pääosin pii-, magnesium-, rauta-, alumiini- ja kalsiumoksidoista, mikä vastaa aiempaa tietoa sivukivien koostumuksesta. Rikin pitoisuus vaihteli 0,01...0,29 %. Kobolttin, nikkelin ja sinkin pitoisuudet olivat alhaisia 0,002...0,025 %. Kaikissa näytteissä havaittiin myös titaanioksidia 0,2...0,4 % ja vanadiinioksidia 0,02...0,1 %. Raudan pitoisuus vaihteli 3,5-14 %.

Tutkituissa sivukivinäytteissä SK1 pinta, SK2 pinta (alue 1.1, Raajärvi) ja SK4 pinta (alue 1.3, Puro) todettiin asbestimineraaleja.

Sivukivien typpi-, rikki- ja sulfaattipitoisuudet on esitetty taulukossa 7-6.

Taulukko 7-6. Sivukivien typpi-, rikki- ja sulfaattipitoisuudet sekä pH.

Alue	Pisteen nimi	Muut huomiot	Tilavuuspaino	Kokonaistyyppi	Tyyppi (N)	Tyyppi (N)	Sulfaatti (happoliukoinen)	Rikki (S)	pH
			kg/m ³	kg/tn	g/kg	kg/m ³	mg/kg	%	-
1.1A	SK 1 pinta	Paljon vaihtelua kiviaineksen laadussa ja raekoossa	1500	0,28	43	7,5	<250	<0,01	9,2
1.1B	SK 2 pinta	Tasakokoista, paljon vaihtelua laadussa, murske	1500	<0,1	0,28	0,43	<250	<0,01	9,5
1.2	PM pinta	Kiveä, ei maata/hiekkaa näkyvillä, pääasiassa isoa lohkaretta/louhetta, kvartsia, graniittia, harmaata massiivista kiveä	1700	0,27	0,73	0,85	<250	<0,01	9,4
	PM pohja kokooma	Louhetta, jonka seassa tummia ja violetteja Hk-kerroksia. Hieman kostea. Paikoin vihertäviä / kellertäviä saostumia.	1400	0,25	0,27	0,45	300	0,08	8,8
1.3	SK 4 pinta	Vaihtelua raekoossa, selvästi enemmän tummaa, liuskoittuvasti rapautuvaa kiveä, vähemmän kvartsia/graniittia	1600	0,24	<0,1		<250	<0,01	9,2
	SK4 pohja kokooma	Louhetta, hienompaa seassa, harmaan mustaa, jossa ruskeita vivahteita, toisessa kuopassa vettä 3 m syvyydellä	1300	0,68	0,24	0,4	<250	0,08	8,9

Tuloksien perusteella sivukivinäytteet ovat emäksisiä pH:n ollessa kaikissa näytteissä yli 8,8. Rikkiä todettiin korkeimmillaan 0,08 % ja happoliukoisen sulfaatin osuus oli pääosin alle määritysrajan <250 mg/kg.

Sivukivien metallipitoisuuksia analysoitiin kuningasvesiuuton (tummennettu) ja 4-happoliuotuksen uuttojen jälkeen. Sivukivien metallipitoisuudet on esitetty taulukossa 7-7.

Taulukko 7-7. Sivukivien ns. PIMA metallipitoisuudet.

		Fe	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V
Sivukivi-alue	Kynnysarvo	-	2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100
	Alempi ohjearvo	-	10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150
	Ylempi ohjearvo	-	50	100	5	20	250	300	200	750	150	400	250
	Analysoitu näyte	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1.1A	SK 1 pinta	93 400	<0,05	1,8	-	0,04	23	12	8,3	4,0	37	29	315
	SK 1 pinta *	-	<0,02	2,3	<0,01	0,03	19	7,2	6,6	4,7	25	20	350
1.1B	SK 2 pinta murske	37 300	<0,05	4,1	-	<0,02	16	37	5,3	2,0	23	22	93
	SK 2 pinta * murske	-	<0,02	4,8	<0,01	0,01	9,9	21	0,98	1,3	12	16	70
1.2	PM pinta	133 000	<0,05	1,6	-	0,02	32	16	6,8	6,3	32	25	221
	PM pinta *	-	<0,02	1,6	<0,01	0,015	28	7,6	3,1	6,1	21	18	210
	PM pohja kokooma	69 500	<0,05	7,5	-	<0,02	34	27	23	8,3	32	28	266
	PM pohja kokooma *	-	0,03	7,2	<0,01	0,03	50	26	34	15	23	32	420
1.3	SK 4 pinta	109 000	<0,05	1,8	-	<0,02	27	44	13	3,4	94	15	326
	SK4 pinta *	-	<0,02	0,99	<0,01	0,02	18	30	9,8	2,9	56	12	320
	SK4 pohja kokooma	137 000	<0,05	0,39	-	<0,02	39	43	25	3,7	100	20	432
	SK4 pohja kokooma *	-	<0,02	0,28	<0,01	<0,01	35	38	38	4,9	76	20	500

* Kuningasvesiuuton jälkeen analysoitu näyte

Sivukivinäytteissä kohonneina yli Vna 214/2007 kynnysarvotason pitoisuuksina todettiin arseenia, kobolttia ja nikkeliä. Yli alemman ja ylemmän ohjearvotason pitoisuuksina todettiin vanadiinia. Merkittävää eroa ei todettu 4-happouuton ja kuningasvesiuuton analyysituloksissa. Ainoastaan murskekeasan pintanäytteessä ei todettu metallipitoisuuksien ylittävän kynnysarvotasoja minkään metallin osalta kummallakaan analyysimenetelmällä. Antimonin, elohopean, kadmiumin, kromin, kuparin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet olivat alhaisia, selvästi alle kynnysarvotason. Raudalle ei ole annettu kynnys- ja ohjearvoja. Raudan pitoisuudet olivat murskeessa alhaisimmat.

Metallipitoisuuksien ylittäessä kuningasvesiuuton analyyseissa kynnysarvotason ei sivukiviä luokitella pysyväksi kaivannaisjätteeksi (ks. kappale 7.1.1 Viitearvot), vaikka sulfidisen rikin osuus alittaa 0,1 % (taulukko 7-8). Tutkimuksien perusteella kuitenkin sivukivestä tehty murske luokiteltiin yhden näytteen metalli- ja sulfidipitoisuuksien perusteella pysyväksi kaivannaisjätteeksi.

Sivukivistä analysoitiin laajasti myös muita alkuaineita (Ag, Al, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cs, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, P, Pr, Rb, Re, S, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, W, Y, Yb, Zr). Alkuaineiden pitoisuudet on esitetty kootusti liitteessä 5. Esimerkiksi titaatin pitoisuudet vaihtelivat 661...1600 mg/kg ollen korkeimmillaan Puron sivukivialueella 1.3. Samalla sivukivialueella myös zirkoniumin ja galliumin pitoisuudet olivat alueen korkeimmat, vaihdellen 36...104 mg/kg ja 7,1...16 mg/kg, vastaavasti.

Sivukivien hapontuottokykyä analysoitiin ABA- ja NAG-testeillä (ks. kappale 7.1.1). Kaikkien näytteiden sulfidirikkipitoisuus (S^{2-}) on alle 0,1 % ja niiltä osin kuin NPR-suhde voitiin laskea, oli se yli 3, joten näytteitä edustavat sivukivet arvioitiin **potentiaalisesti ei happoa tuottavaksi** (Taulukko 7-8). Arviota puolsivat myös näytteen NAG-testin tulokset (Taulukko 7-9), sillä NAG_{pH} oli kaikissa näytteissä selvästi yli 4,5 ja NAG 0 kg H_2SO_4/t .

Taulukko 7-8. Sivukivien haponmuodostuspotentiaali - Näytteiden ABA-testin tulokset.

	SK1 pinta	SK2 pinta Murske	SK4 pinta Puro	SK4 pohja Puro	PM pinta	PM pohja
S, %	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	<0,01	0,08
S^{2-} , %	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	<0,01	0,08
C, %	0,017	0,019	0,012	0,002	0,017	0,013
C, noncarb., %	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	0,001	0,001
C, carb., %	0,017	0,019	0,011	0,002	0,017	0,013
NP, kg $CaCo_3/t$	100	140	87	20	53	83
AP, kg $CaCo_3/t$	<0,32	<0,32	<0,32	2,5	<0,32	2,5
NPR, NP/AP	Ei tulosta	Ei tulosta	Ei tulosta	8	Ei tulosta	33
Hapontuotto	Potentiaalisesti ei happoa tuottava					

Taulukko 7-9. Sivukivien haponmuodostuspotentiaali - NAG-testin tulokset.

	SK1 pinta	SK2 pinta Murske	SK4 pinta Puro	SK4 pohja Puro	PM pinta	PM pohja
NAG_{pH}	8,3	8,8	7,8	7,4	8,1	9,7
NAG pH:seen 4.5, kg H_2SO_4/t	0	0	0	0	0	0
NAG pH:seen 7.0, kg H_2SO_4/t	0	0	0	0	0	0
Hapontuotto	Potentiaalisesti ei happoa tuottavia					

Sivukivet ovat laadultaan varsin samanlaisia tutkituilta osin. Sivukivet ovat emäksisiä, vähärikkisiä ja koboltti- sekä vanadiinipitoisuudet ovat kohollaan. Nikkelipitoisuudet ovat kohollaan vain Puron sivukivissä.

7.2.1.3 Kuormituspotentiaalin arvio

Haitta-aineiden, joiden pitoisuudet ylittävät Vna 214/2007 mukaiset kynns- ja/tai ohjearvot, kokonaismäärät on arvioitu laskennallisesti sivukivialueittain. Sivukivien määränä on käytetty kappaleen 7.2.1.1 mukaisia sivukivien määräarvioita ja taulukon 7-7 mukaisia pitoisuuksien keskiarvoja. Taulukossa 7-10 on esitetty määräarvio haitta-aineista sivukivialueilla.

Taulukko 7-10. Haitta-aineiden kokonaismääräarvio (tn) eri sivukivialueilla. Kokonaismäärät on laskettu niiden metallien ja puolimetallien osalta, jotka ylittävät Vna 214/2007 mukaiset kynns- ja/tai ohjearvot.

Sivukivialue	Arseeni tn	Koboltti tn	Nikkeli tn	Vanadiini tn
Raajärvi 1.1	-	14	-	166
Raajärvi 1.2	1,3	11	-	84
Puro 1.3	-	0,71	2,0	9,5
yht.	1,3	25	2,0	260

Suurin kuormituspotentiaali sivukivialueilla on vanadiinilla ja koboltilla. Kuormituspotentiaaliarvion mukaan eniten esiintyy alueella vanadiinia suurimmalla sivukivialueella. Suhteessa eniten vanadiinia on kuitenkin pienimmällä Puron sivukivialueella.

7.2.2 Rikastushiekka-alue

7.2.2.1 Rajaukset ja massamäärät

Raajärven **rikastushiekka-altailla 2.1, 2.2 ja ylivuotoaltaalla 2.3** arvioidaan olevan kohteeseen tehdyn kuvausaineistoon maanpinnan koroista ja koekuoppatutkimuksien rikastushiekkakerroksen paksuuteen pohjautuvan laskennan perusteella yhteensä noin 1 370 000 m³ eli noin 1,64 Mt rikastushiekkaa (kuva 7-4). Määräarvioon vaikuttaa myös käytetty tiheys (tässä 1,2 t/m³, taulukko 7-12). Aiemman esitetyn arvion mukaan rikastushiekkaa olisi kaivoksella muodostunut 2,9 Mt (Siirama 1976, Tornivaara ym. 2018). Rikastushiekkaa on voitu sijoittaa myös muualle toiminnan aikana kuin ko. altaaseen.



Kuva 7-4. Raajärven rikastushiekka-altaat 2.1 ja 2.2 sekä selkeytysallas 2.3.

7.2.2.2 Rikastushiekan koostumus ja ominaisuudet

Tässä seurantavaiheen tutkimuksessa määritettiin tarkemmin rikastushiekan pääoksidien ja alkuaineiden esiintymistä. Analysoitujen näytteiden koostumus on esitetty taulukossa 7-11.

Taulukko 7-11. Rikastushiekan koostumus.

Analyte	Unit Symbol	RH1 pinta	RH1 pohja	RH2 pinta	RH2pohja
SiO ₂	(%)	44	49	40	48
MgO	(%)	24	27	26	27
Fe ₂ O ₃	(%)	9,0	7,7	16	8,0
Fe	(%)	6,2	5,4	11	5,6
Al ₂ O ₃	(%)	6,4	7,6	6,0	7,7
CaO	(%)	14	5,6	8,7	5,7
P ₂ O ₅	(%)	0,68	1,4	0,95	1,1
Na ₂ O	(%)	1,2	0,75	0,72	1,1
K ₂ O	(%)	0,65	0,97	0,58	1,0
BaO	(%)	0,01	0,007	0,003	0,006
Cr ₂ O ₃	(%)	0,005	0,007	0,006	0,007
MnO	(%)	0,19	0,07	0,08	0,07
Rb ₂ O	(%)	0,002	0,004	0,002	0,005
SrO	(%)	0,005	0,003	0,002	0,003
TiO ₂	(%)	0,28	0,22	0,15	0,22
V ₂ O ₅	(%)	0,05	0,04	0,04	0,04
ZrO ₂	(%)	0,01	0,01	0,007	0,01
S	(%)	0,04	0,02	1,1	0,04
Co	(%)	0,02	0,02	0,03	0,01
Ni	(%)	0,003	0,004	0,004	0,005
Zn	(%)	0,002	0,004	0,003	0,004

Rikastushiekkänäytteet koostuvat pääosin pii-, magnesium-, kalsium-, rauta- ja alumiinioksidoista. Rikin pitoisuus vaihteli 0,02...1,1 %. Kobolttin, nikkelin ja sinkin pitoisuudet olivat alhaisia 0,002...0,033 %. Kaikissa näytteissä havaittiin myös titaanioksidia 0,15...0,27 % ja vanadiinioksidia 0,035...0,052 %. Raudan pitoisuus vaihteli 5-11 %.

Tutkituissa rikastushiekkänäytteissä RH1 pohjakokooma (alue 2.1, Raajärvi) ja RH2 pintakokooma A (alue 2.2, Raajärvi) todettiin asbestimineraaleja.

Rikastushiekan typpi-, rikki- ja sulfaattipitoisuudet on esitetty taulukossa 7-12 ja metallit taulukossa 7-13.

Taulukko 7-12. Rikastushiekan typpi-, rikki- ja sulfaattipitoisuudet sekä pH.

Alue	Pisteen nimi	Muut huomiot	Tilavuuspaino	Kokonaistyyppi	Typpi (N)	Typpi (N)	Sulfaatti (happoliukoinen)	Rikki (S)	pH
			kg/m ³	kg/tn	g/kg	kg/m ³	mg/kg	%	
2.1	RH1 kokooma A+B	harmaa hiekka, kiiltelee, karkeaa sekä hienoa silttisempää/savisempi punainen raita	1200	0,31	0,26	0,35	<250	0,02	8,9
	RH1 pohja kokooma	Hiekassa raitaisuutta, noin 1 m syvyydessä ruskea raita (saostuma ja hapettuneen kerroksen raja)	1200	0,33	0,33	7,7	860	1,59	8,5
2.2	RH2 kokooma A	harmaa hiekka, silttinen/savinen punertava raita pinnassa sekä harmaa hiekka, kiiltelee, karkeaa	1300	0,55	<0,1	-	440	0,3	8,6
	RH2 pohja kokooma	Melko tasalaatuista, ehkä metrin kohdalla vaihtelua ja mahdollinen hapettumaton kerros alkaa, melko karkea rakeinen muihin verrattuna.	1200	0,23	0,56	0,73	<250	0,04	9

Tuloksien perusteella rikastushiekka on emäksistä pH:n ollessa kaikissa näytteissä yli 8,5. Rikkiä todettiin RH1 pohjan kokoomanäytteessä 1,2-1,6 % ja happoliukoisien sulfaatin osuus oli näytteistä korkein 860 mg/kg.

Taulukko 7-13. Rikastushiekan metallipitoisuudet 4-happoliuotuksella ja kuningasvedellä.

Rikastushiekka- allas		Fe	Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V
	Kynnysarvo	-	2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100
	Alempi ohjearvo	-	10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150
	Ylempi ohjearvo	-	50	100	5	20	250	300	200	750	150	400	250
	Analysoitu näyte	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
2.1	RH1 kokooma A+B	54 700	<0,05	9,4	-	<0,02	25	40	17	7,0	39	41	175
	RH1 kokooma A+B *	-	<0,02	9,3	<0,01	<0,01	20	33	8,4	5,2	28	36	170
	RH1 pohja kokooma	105 000	<0,05	10	-	0,03	176	29	164	30	44	42	199
	RH1 pohja kokooma *	-	0,032	8	<0,01	0,05	170	20	120	29	37	35	190
2.2	RH2 kokooma A	76 800	0,05	12	-	0,04	78	30	127	22	38	45	205
	RH2 kokooma A *	-	0,03	10	<0,01	0,03	100	19	84	20	30	40	190
	RH2 pohja kokooma	55 600	<0,05	6,7	-	<0,02	28	35	13	5,3	45	41	175
	RH2 pohja kokooma *	-	<0,02	6,3	<0,01	<0,01	18	23	10	4,6	28	32	160

* Kuningasvesiuuton jälkeen analysoitu näyte

Rikastushiekassa kohonneina yli Vna 214/2007 kynnysarvotason pitoisuuksina todettiin arseenia, kobolttia ja kuparia. Yli alemman ohjearvotason pitoisuuksina todettiin kobolttia, kuparia ja vanadiinia. Merkittävää eroa ei todettu 4-happouuton ja kuningasvesiuton analyysituloksissa.

Metallipitoisuuksien ylittäessä kuningasvesiuton analyyseissa kynnysarvotason ei rikastushiekkaa luokitella pysyväksi kaivannaisjätteeksi (ks. kappale 7.1.1 Viitearvot), vaikka sulfidisen rikin osuus alittaa 0,1 % osassa näytteistä (taulukko 7-14). Antimonin, elohopean, kadmiumin, kromin, lyijyn, nikkelin ja sinkin pitoisuudet olivat alhaisia, selvästi alle kynnysarvotason. Raudalle ei ole annettu kynnys- ja ohjearvoja.

Rikastushiekanäytteistä analysoitiin laajasti myös muita alkuaineita (Ag, Al, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cs, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, P, Pr, Rb, Re, S, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, W, Y, Yb, Zr). Alkuaineiden pitoisuudet on esitetty kootusti liitteessä 5. Esimerkiksi titaanin pitoisuudet vaihtelivat 824...1050 mg/kg ollen korkeimmillaan rikastushiekka-alueella 2.1. Rikastushiekassa cesiumin pitoisuudet olivat alueen kaivannaisjätteistä korkeimmat vaihdellen 70...97 mg/kg.

Rikastushiekan hapontuottokykyä analysoitiin ABA- ja NAG-testeillä (ks. kappale 7.1.1). RH1 pohja kokooma näytteen sulfidirikkipitoisuus (S^{2-}) oli yli 1 %, jolloin näytteen edustama rikastushiekka luokituu **hyvin todennäköisesti happoa tuottavaksi** (Taulukko 7-14). RH2 A linja näytteen sulfidisen rikin pitoisuus oli yli 0,1 %, mutta NPR-luku oli >3, jolloin haponmuodostumista ei ole todennäköistä. RH1 pohja näytteen osalta arviota ei puoltanut NAG-testin tulokset (Taulukko 7-15), sillä NAG_{pH} oli kaikissa näytteissä yli 4,5 ja NAG 0 kg H_2SO_4/t . Sen sijaan samalla näytteellä (RH1 pohja kokooma) helppoliukoinen sulfaatti oli korkein (860 mg/kg) tutkituista rikastushiekanäytteistä (ks. taulukko 7-12), tämä puoltaa hapon tuoton mahdollisuutta.

Taulukko 7-14. Rikastushiekan haponmuodostuspotentiaali - Näytteiden ABA-testin tulokset.

	RH1 A+B linjat	RH1 pohja kokooma	RH2 A linja	RH2 pohja kokooma
S, %	2,0	1,6	0,30	0,04
S^{2-} , %	0,02	1,6	0,30	0,04
C, %	0,57	0,015	0,011	0,006
C, noncarb., %	0,07	0,0006	0,0005	<0,05
C, carb., %	0,5	0,014	0,010	0,006
NP, kg $CaCO_3/t$	55	100	91	66
AP, kg $CaCO_3/t$	0,63	50	9,4	1,3
NPR, NP/AP	88	2	9,7	53
Hapontuotto	Potentiaalisesti ei happoa tuottava	Hyvin todennäköisesti happoa tuottava	Potentiaalisesti ei happoa tuottava	Potentiaalisesti ei happoa tuottava

Taulukko 7-15. Rikastushiekan haponmuodostuspotentiaali - NAG-testin tulokset.

	RH1 A+B linjat	RH1 pohja kokooma	RH2 A linja	RH2 pohja kokooma
NAG_{pH}	8,4	8,1	9,5	8,2
NAG pH:seen 4.5, kg H_2SO_4/t	0	0	0	0
NAG pH:seen 7.0, kg H_2SO_4/t	0	0	0	0
Hapontuotto	Potentiaalisesti ei happoa tuottavia			

Rikastushiekassa alueella 2.1 pohjanäytteessä RH1 pohja kokooma on todettavissa haponmuodostuspotentiaalia. Myös alueella 2.2 pintamaassa näytteessä RH2 A linja (ks. kuva 6-5, pohjoisin 2.2 altaan linja) on havaittavissa kohonnut sulfidirikin pitoisuus. Näillä alueilla myös kobolttin, kuparin ja vanadiinin pitoisuudet ovat korkeimmillaan rikastushiekassa (vrt. taulukko 7-13).

Rikastushiekka on levittänyt laajalle alueelle altaissa. Analysoitujen näytteiden perusteella ei voida tehdä päätelmiä eri aikoina tai eri satelliittikaivoksilta muodostuneista rikastushiekoista. Nikkeliä ei todettu koholla oleva alueella, vaikka ne olivat koholla Puron sivukivissä. Rikastushiekka on varsin tasalaatuista lukuun ottamatta rikastushiekka-altaan 2.1 pohjakokoomanäytettä (RH1 pohja kokooma).

7.2.2.3 Kuormituspotentiaalin arvio

Haitta-aineiden, joiden pitoisuudet ylittävät Vna 214/2007 mukaiset kynnys- ja/tai ohjearvot, kokonaismäärät on arvioitu laskennallisesti rikastushiekka-alueella. Rikastushiekan määränä on käytetty kappaleen 7.2.2.1 mukaista määräärvioita ja taulukon 7-13 mukaisia pitoisuuksien keskiarvoja. Taulukossa 7-16 on esitetty määräärvio haitta-aineista rikastushiekka-alueella.

Taulukko 7-16. Haitta-aineiden kokonaismääräarviot (tn) eri sivukivialueilla. Kokonaismäärät on laskettu niiden metallien ja puolimetallien osalta, jotka ylittävät Vna 214/2007 mukaiset kynnys- ja/tai ohjearvot.

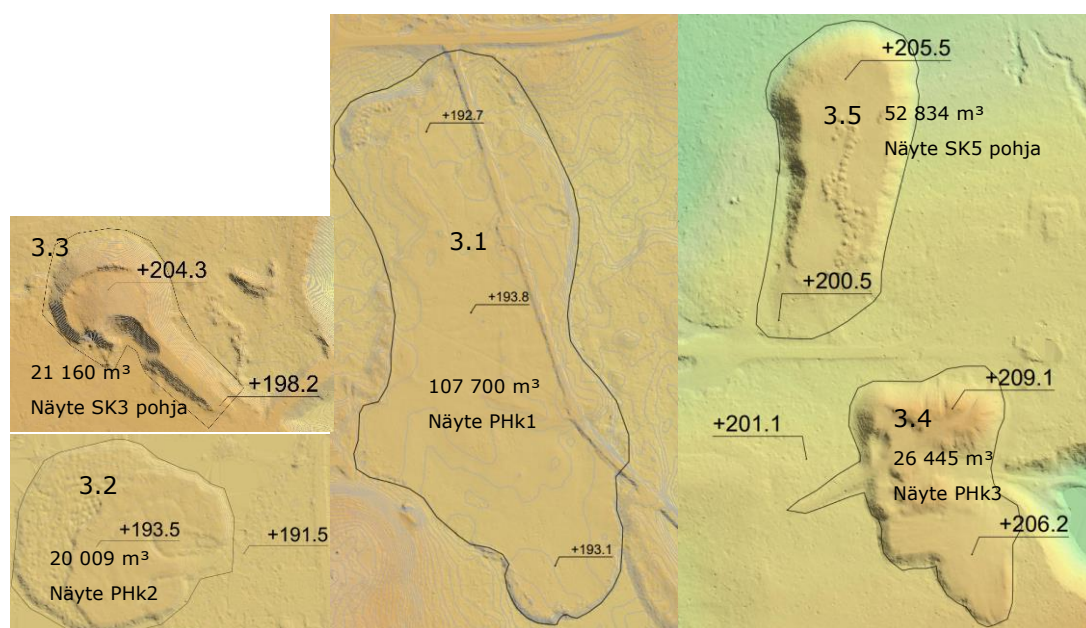
	Arseeni, tn	Koboltti, tn	Kupari, tn	Vanadiini, tn
Rikastushiekka-alue	15	130	110	300

Suurin kuormituspotentiaali rikastushiekassa on niin ikään vanadiinilla ja koboltilla, kuten myös sivukivialueilla. Vanadiinin kokonaismäärä on samalla tasolla kuin Raajärven ja Puron sivukivialueilla yhteensä. Rikastushiekassa esiintyy kuparia, mitä ei havaittu kohonneina pitoisuuksina sivukivissä. Rikastushiekassa ei puolestaan todettu nikkeliä. Lisäksi rikastushiekassa todettiin arseenia noin 10 kertaa enemmän kuin sivukivialueilla. Arseenin pitoisuudet alittavat kuitenkin alemman ohjearvopitoisuuden.

7.2.3 Muut – Pintamaaläjitykset

7.2.3.1 Rajaukset ja massamäärät

Raajärven ja Leveäselän **pintamaiden läjitysalueilla 3.1–3.5** arvioidaan olevan kohteeseen tehdyn kuvausaineistoon perustuvan laskennan perusteella yhteensä noin 228 148 m³ eli noin 460 000 tn pintamaata (hiekkaa) (kuva 7-5).



Kuva 7-5. Pintamaan läjitysalueet Raajärvellä (3.1-3.3) ja Leveäselässä (3.4 ja 3.5).

7.2.3.2 Pintamaan koostumus ja ominaisuudet

Pintamaaläjityksien näytteiden metallipitoisuudet on esitetty taulukossa 7-17.

Taulukko 7-17. Pintamaa läjityksien metallipitoisuudet.

		Sb	As	Hg	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	V
Pinta- maan läjitys- alue	Kynnysarvo	2	5	0,5	1	20	100	100	60	50	200	100
	Alempi ohjearvo	10	50	2	10	100	200	150	200	100	250	150
	Ylempi ohjearvo	50	100	5	20	250	300	200	750	150	400	250
	Analysoitu näyte	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
3.1	PHk 1	<0,02	0,09	<0,01	0,02	5	22	16	4,5	10	18	35
3.2	PHk 2	<0,02	0,16	<0,01	0,02	6,2	12	13	2,3	6,3	7,8	17
3.3	SK3 pohja kokooma	<0,02	0,44	<0,01	0,02	13	22	23	3,3	16	17	78
3.4	PHk 3	<0,02	0,10	<0,01	0,02	2,7	13	8,4	2,7	5,1	7,9	20
3.5	SK5 pohja kokooma	0,02	0,15	<0,01	0,01	11	31	19	3,1	18	24	53

Pintamaan läjityksen näytteet analysoitiin kuningasvesiuuton jälkeen. Näytteissä ei todettu yli Vna 214/2007 kynnysarvotason pitoisuuksina analysoitujen metallien osalta. Metallipitoisuuksien alittaessa kuningasvesiuuton analyysissä kynnysarvotason pintamaa luokitellaan analysoitujen näytteiden perusteella pysyväksi kaivannaisjätteeksi. Näytteistä ei ole analysoitu rikkiä.

Näytteiden pH:t olivat lievästi happamia 6–6,5 tai selvästi emäksisiä 8,9–9,3.

Pintamaan läjitysalueiden hiekkainen maa-aines on hyvin tasalaatuista tehtyjen tutkimuksien perusteella.

Koska pintamaaläjityksessä ei todettu kohonneita yli Vna 214/2007 kynnysarvotason ylittäviä metallipitoisuuksia, ei pintamaista arvioitu laskennallisesti haitta-aineiden kokonaismääriä eli kuormituspotentiaalia.

7.3 Pintavesi

7.3.1 Taustapitoisuudet

Raajärven kaivosalueiden pintavesien taustapitoisuuksina pidetään Lapin ELY-keskuksen vuosien 1988-1999 aikana tarkkailemaa Matolammit -pintavesilampea sekä Leviäselän kaivosalueen läheisyydessä sijaitsevaa nimetöntä lampea (KAJAK tarkkailupiste P11).

Matolammit sijaitsee Leviäselän kaivosalueen eteläpuolella noin 1 km etäisyydellä (ks. kuva 4-5). Matolammit eivät sijaitse Raajärven tai Leviäselän kaivosalueiden valuma-alueella. Leviäselän kaivosalueen läheisyydessä sijaitseva lampi sijaitsee Leviäselän kaivosalueen valuma-alueella ja lampeen voi päätyä Leviäselän kaivosalueelta vähäistä kuormitusta. Tehtyjen tutkimusten perusteella Leviäselän kaivosalueen (jätealueet, avolouhos) ympäristökuormitus on vähäinen, eikä lammen vedessä ole havaittu kohonneita metalli- tai rikkipitoisuuksia.

Taulukossa 7-18 on esitetty Matolammin ja Leviäselän lammen pintavesien laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Matolammin tulokset on tulostettu Hertta -palvelusta. Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 7 ja 11.

Taulukko 7-18. Taustapitoisuudet (P11 ja Matolammit) valittujen parametrien ja metallien liukoisuuksien osalta.

Piste	Ajan kohta	Happipitoisuus	pH	Sähkön-joh tavuus	Alkaliteetti	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	Al	As	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	Fe (kok)	S	Zn	V
	AA-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	4	-	-	-	-	-
	MAC-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	34	-	-	-	-	-
	YO 6/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,8	7,2	20	-	-	-	3,1-7,8	4,1
		mg/l		mS/m	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l
P11	5.10.2022	9,2	6,4	4,1	0,33	<0,1	0,87	2,0	<5	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	1,4	<0,2	0,044	0,076	0,61	1,2	0,31
Leviäselkä	23.5.2023	10	7,0	4,3	0,30	0,024	0,65	2,0	10	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	<0,2	0,052	0,093	0,59	<1	0,62
lampi	27.9.2023	10	6,9	4,1	0,30	<0,1	0,75	1,7	17	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	2,4	<0,2	0,13	0,16	0,55	2,2	0,47
	keskiarvo	9,8	6,7	4,2	0,31	0,024	0,76	1,9	14	-	-	-	-	-	1,9	-	0,075	0,11	0,58	1,7	0,47
	keskihajonta	0,78	0,42	0,17	0,017	-	0,11	0,17	4,9	-	-	-	-	-	0,71	-	0,048	0,044	0,031	0,71	0,16

Piste	Ajan kohta	pH	Sähkön-joh tavuus	Alkaliteetti	Kloridi	Sulfaatti	Al (kok)	Mn (kok)	Fe (kok)
			mS/m	mmol/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Matolammit	20.9.1988	7,0	2,0	0,087	0,70	2,0		7,0	0,20
LAPELY	14.9.1992	6,6	1,8	0,065	0,40	1,4		12	0,18
	5.11.1992	6,6	1,9	0,060	0,50	2,0		12	0,16
	13.10.1994	6,8	1,8	0,081	0,30	1,6	29	10	0,17
	14.10.1996	6,9	1,9	0,095	0,40	1,2	29	8,0	0,14
	19.10.1998	6,6	1,6	0,071	0,50	1,0	74	13	0,16
	19.10.1999	6,8	1,7	0,088	0,50	1,2	31	13	0,11
	keskiarvo	6,7	1,8	0,078	0,47	1,5	41	11	0,16
	keskihajonta	0,16	0,13	0,013	0,13	0,40	22	2,5	0,029

Raajärven alueen pintavedet ovat lievästi happamia tai neutraaleja. Veden sähkönjohtavuudet vastaavat Suomen sisävesien tasoa yleisesti. Laboratoriotutkimuksissa pintavesien fluoridi-, kloridi ja sulfaattipitoisuudet ovat matalat. Suomen järvien sulfaattipitoisuudet ovat keskimäärin 15 mg/l mediaanipitoisuuden ollessa 3,8 mg/l. Veden puskurointikyky alkaliniteetin perusteella on Leviäselän lammessa (P11) hyvä ja Matolammissa välttävä.

Veden rautapitoisuudet keskipitoisuudeltaan 0,11...0,16 mg/l, jotka ovat normaalia humusvesistöä (0,4-0,6 mg/l) hieman matalammat. Raajärven ja Leviäselän lammen mangaani- ja rikkipitoisuudet ovat normaalit. Leviäselän lammessa rikki esiintyvät pääosin liukoisessa muodossa, kun taas mangaanista vain osa on liukoisessa muodossa. Matolammin tulokset on esitetty kokonaispitoisuuksina.

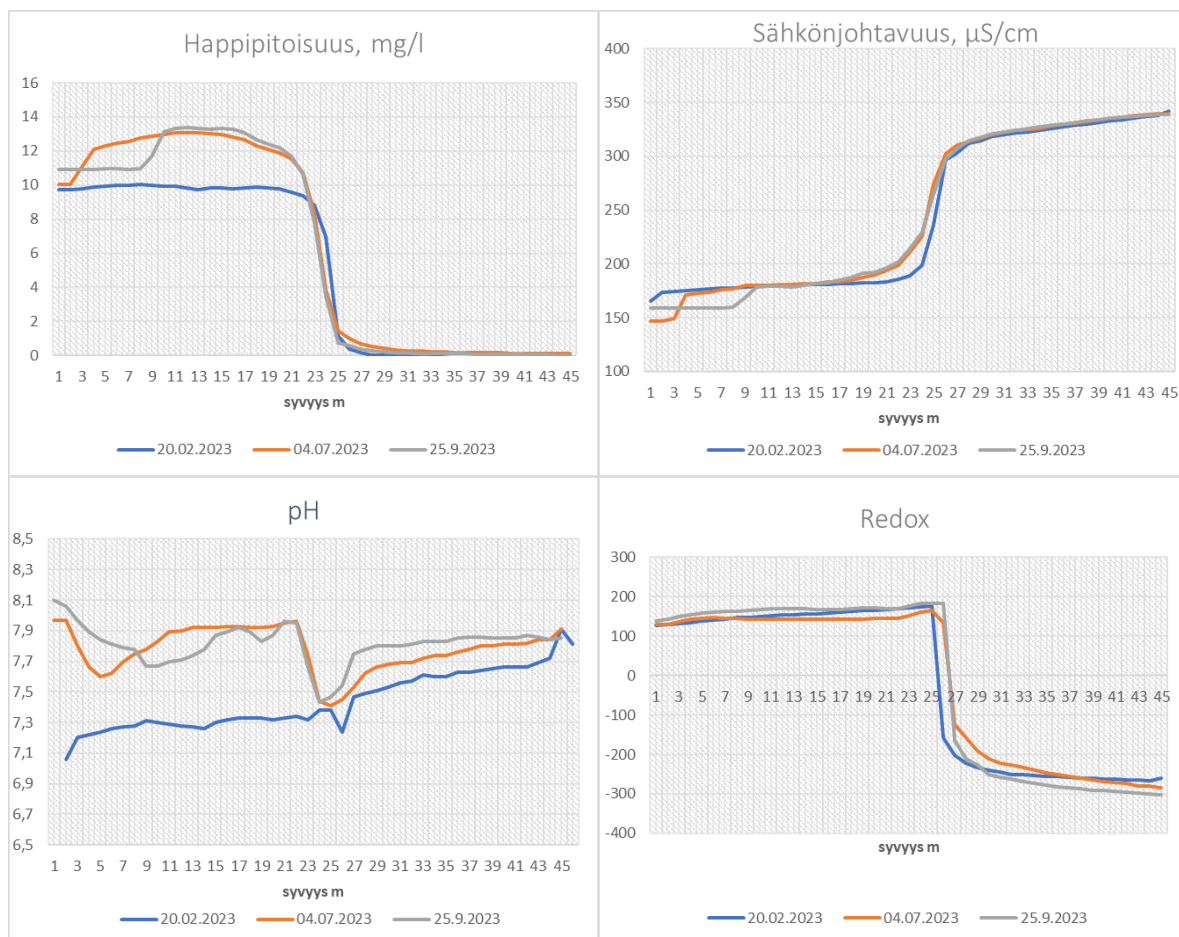
Leviäselän lammessa liukoisten pima-metallien pitoisuudet ovat matalat, pääosin alle määrittäysrajojen. Ainoastaan vanadiinipitoisuus on hieman kohonnut ollen kuitenkin Suomen purovesien luontaisen vaihteluvälin sisällä (ks. taulukko 5-1). Pisteen arvioidaan siten kuvaavan Raajärven alueen pintaveden taustapitoisuuksia.

7.3.2 Avolouhoksen kerrostuneisuus

7.3.2.1 Raajärven avolouhos

Raajärven avolouhoksen syvännekohta on noin 46 m syvä. Seurantatutkimusten yhteydessä v. 2022-2024 tehtyjen näytteenottojen (4 kpl) havaintojen perusteella avolouhoksen pinta- ja välivesi oli kirkasta eikä vedessä havaittu poikkeavaa hajua. Avolouhoksen alusvedessä havaittiin kaikilla näytteenottokierroksilla rikkivedyn hajua. Avolouhoksen näkösyvyys vaihteli 12-14 m välillä.

Vuonna 2023 tehtyjen profiilimittausten (3 kpl) perusteella Raajärven avolouhoksessa on selvä harppauskerros noin 24...25 metrin syvyydessä. Harppauskerroksessa happipitoisuus laskee voimakkaasti (8-10 mg/l → 2-0 mg/l) ja samanaikaisesti sähkönjohtavuus nousee (150-180 µS/cm → 300-350 µS/cm) ja olosuhteet muuttuvat pelkistäväksi (redox negatiivinen). Harppauskerroksessa ei havaittu vuodenaikojen välillä vaihtelua. Profiilimittausten kuvaajat on esitetty kuvassa 7-6 happipitoisuuden, sähkönjohtavuuden, pH:n ja redox-potentialin osalta. Tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 6.



Kuva 7-6. Raajärven avolouhoksen profiilimittaukset (YSI-kenttämittaus).

Taulukossa 7-19 on esitetty Raajärven avolouhoksesta otettujen kerrosnäytteiden laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 6 ja 11. Otetut välivesinäytteet on otettu harppauskerroksesta, 23-24 m syvyydeltä.

Taulukko 7-19. Raajärven avolouhoksesta (P1) otettujen näytteiden tulokset valittujen laatuparametrien ja liukoisten metallien osalta.

Piste	Ajan kohta	Alkaliteetti	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	As	Hg	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	Fe (kok)	S	Zn	V
	AA-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	4	-	-	-	-	-
	MAC-EQS	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-	14	-	34	-	-	-	-	-
	YO 6/2014	-	-	-	-	24	0,05	0,5	3,4	7,8	7,2	-	20	-	-	-	3,1-7,8	4,1
		mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l
P1	20.2.2023	1,4	<0,1	1,7	11	<0,2	<0,020	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	0,21	0,016	<0,01	3,2	1,5	
pintavesi	4.7.2023	1,2	<0,1	1,4	8,9	<0,2	0,023	<0,1	<0,5	0,61	<0,1	<1	0,22	<0,01	<0,025	2,9	2,2	1,3
	25.9.2023	1,3	<0,1	1,4	9,8	<0,2	<0,020	<0,1	1,5	<0,5	<0,1	<1	0,39	0,026	<0,025	3,0	20	1,3
	17.7.2024	1,0	<0,1	1,4	7,5	<0,2	<0,020	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	0,29	<0,01	<0,025	2,4	<1,0	1,0
	keskiarvo	1,2	-	1,5	9,3	-	0,023	-	1,5	0,61	-	-	0,28	0,021	-	2,9	7,9	1,2
	keskihajonta	0,16	-	0,15	1,5	-	-	-	-	-	-	-	0,083	0,0071	-	0,34	10	0,17
P1	20.2.2023	1,5	<0,1	1,6	12	<0,2	<0,020	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	1,7	<0,2	<0,01	<0,01	3,8	1,4	
välivesi	4.7.2023	1,7	<0,1	1,7	13	<0,2	0,033	<0,1	<0,5	0,59	<0,1	<1	<0,2	<0,01	<0,025	4,3	3,2	3,0
	25.9.2023	1,7	<0,1	1,7	13	<0,2	<0,020	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	1,2	0,32	<0,01	<0,025	4,1	24	2,9
	17.7.2024	1,7	<0,1	1,7	13	<0,2	<0,020	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	<0,2	<0,01	<0,025	4,2	<1,0	3,0
	keskiarvo	1,6	-	1,7	13	-	0,033	-	-	0,59	-	1,5	0,32	-	-	4,1	9,5	3,0
	keskihajonta	0,10	-	0,050	0,50	-	-	-	-	-	-	0,35	-	-	-	0,22	13	0,058
P1	20.2.2023	2,8	0,13	2,7	19	0,30	<0,020	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	150	<0,2	0,013	0,014	8,6	<1	
alusvesi	4.7.2023	2,9	0,11	2,5	23	0,30	0,034	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	140	<0,2	0,012	0,044	7,8	1,3	5,3
	25.9.2023	2,9	<0,1	2,4	23	0,29	<0,020	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	140	0,29	<0,01	<0,025	7,1	1,6	4,3
	17.7.2024	2,9	<0,1	2,6	24	0,30	<0,020	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	130	<0,2	<0,01	<0,025	7,8	<1,0	4,9
	keskiarvo	2,9	0,12	2,6	22	0,30	0,034	-	-	-	-	140	0,29	0,013	0,029	7,8	1,5	4,8
	keskihajonta	0,043	0,014	0,13	2,2	0,0050	-	-	-	-	-	8,2	-	-	0,021	0,61	0,21	0,50

Raajärven avolouhoksessa todettiin pintaveden taustapitoisuuksiin verraten hieman korkeampia sulfaatti- ja rikkipitoisuuksia. Pitoisuudet kasvoivat syvemmällä (SO₄ ka. 9,3 → 22 mg/l ja S_{liuk} ka. 2,9 → 7,8 mg/l). Alusvedessä rikki on osin sulfidimuodossa. Myös kloridi- ja fluoridipitoisuudet kasvavat syvemmällä. Avolouhoksen veden rautapitoisuudet ovat matalat sekä liukoisen että kokonaisraudan osalta. Mangaania todettiin ainoastaan alusvedessä (Mn_{liuk} ka. 140 µg/l).

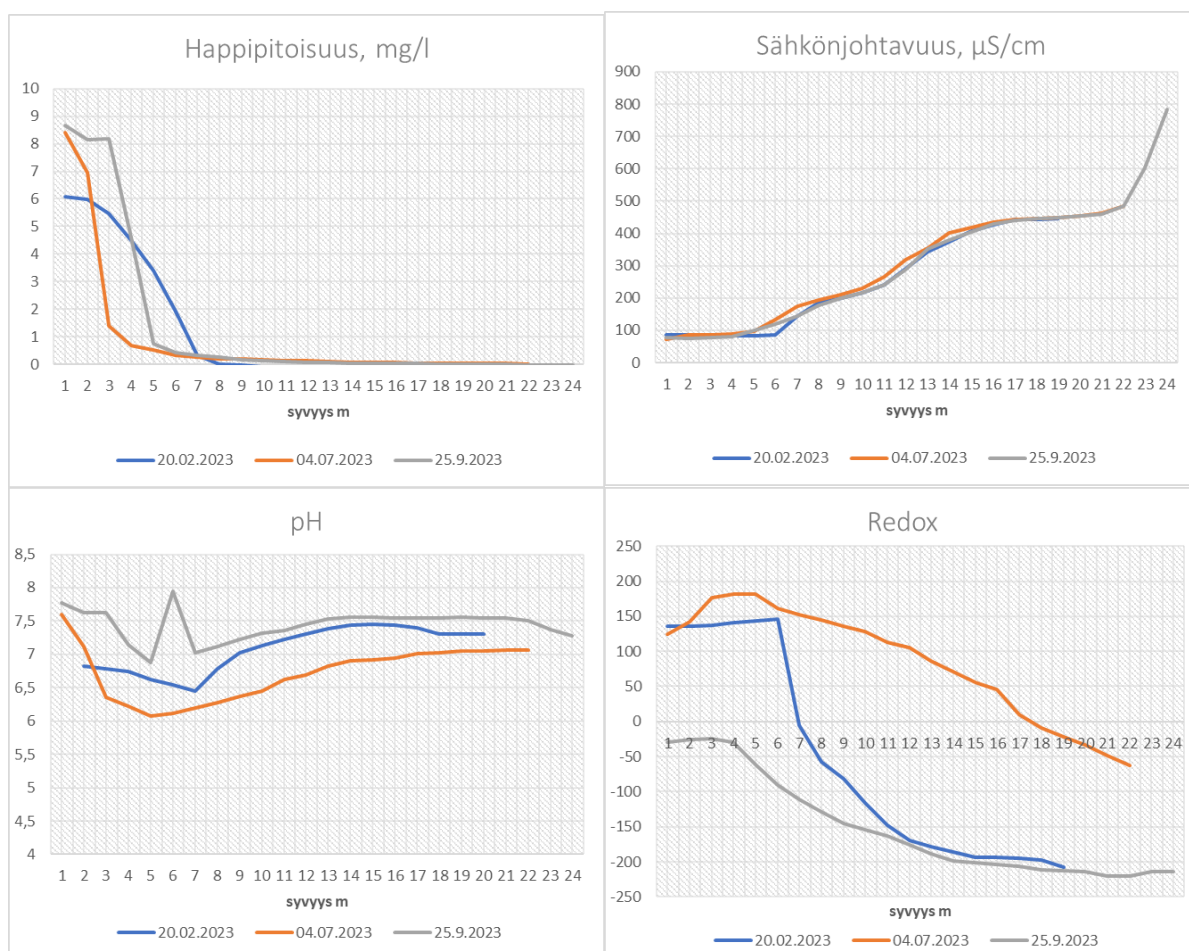
Avolouhoksen vedessä ei havaittu merkittävästi kohonneina pitoisuuksina arseenia, kobolttia tai titaania, joita on todettu kohonneina pitoisuuksina rikastushiekasta ja sivukivistä otetuissa näytteissä. Avolouhoksen vedessä havaittiin vain pieninä pitoisuuksina nikkeliä sekä hieman kohonneina pitoisuuksina vanadiinia (V_{liuk} ka. 1,2...4,8 µg/l), jota on todettu rikastushiekasta ja sivukivistä otetuissa näytteissä. Vanadiinin pitoisuus alusvedessä ylitti kaikilla näytekierroksilla YO 6/2014 mukaisen pintaveden vertailuarvon. Myös sinkkipitoisuus ylitti pinta- ja välivedessä syksyn 2023 kierroksella ko. arvon. Muilla näytekierroksissa sinkkiä ei todettu kohonneina pitoisuuksina.

Metallien ja alkuaineiden (mm. As, Mn, P, S, U, Zn, V) pitoisuudet hieman kasvavat syvyyden suhteen, ollen korkeimmillaan avolouhoksen alusvedessä. Metallit ovat pääosin liukoissa muodossa. Pitoisuuksissa ei ole havaittavissa trendiä tai vuodenaikaisvaihtelua tarkkailujakson aikana.

7.3.2.2 Puron avolouhos

Puron avolouhoksen syvänekohta on noin 22-24 m. Seurantatutkimusten yhteydessä tehtyjen näytteenottojen (4 kpl) havaintojen perusteella avolouhoksen pintavesi on kirkasta eikä vedessä havaittu poikkeavaa hajua. Avolouhoksen väli- ja alusvesi oli havaintojen perusteella rusehtavaa ja siinä havaittiin kaikilla näytteenottokierroksilla rikkivedyn hajua. Avolouhoksen näkösyvyys vaihteli 4-5 m välillä.

Vuonna 2023 tehtyjen profiilimittausten (3 kpl) perusteella Puron avolouhoksessa on selvä harppauskerros noin 3-6 metrin syvyydessä. Harppauskerroksessa happipitoisuus laskee voimakkaasti (6-9 mg/l → 0-1 mg/l) ja samanaikaisesti sähkönjohtavuus nousee (100 µS/cm → >400 µS/cm) ja olosuhteet muuttuvat pelkistäväksi (redox negatiivinen). Harppauskerroksen syvyys vaihteli hieman vuodenajan mukaan ollen korkeimmillaan kesällä. Profiilimittausten kuvaajat on esitetty kuvassa 7-7 happipitoisuuden, sähkönjohtavuuden, pH:n ja redox-potentiaalin osalta. Tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 6.



Kuva 7-7. Puron avolouhoksen profiilimittaukset (YSI-kenttämittaus).

Taulukossa 7-20 on esitetty Puron avolouhoksesta otettujen kerrosnäytteiden laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 6 ja 11. Välikesinäyte on otettu harppauskerroksen alapuolelta, 9-12 m syvyydestä.

Taulukko 7-20. Puron avolouhoksesta (P7) otettujen näytteiden tulokset valittujen laatuparametrien ja liukoisten metallien osalta.

Piste	Ajan kohta	Alkaliteetti	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	As	Hg	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	Fe (kok)	S	Zn	V
	AA-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	4	-	-	-	-	-
	MAC-EQS	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-	14	-	34	-	-	-	-	-
	YO 6/2014					24	0,05	0,5	3,4	7,8	7,2		20				3,1-7,8	4,1
		mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l
P7	21.2.2023	0,72	<0,1	0,67	1,8	<0,2	<0,02	<0,1	0,67	<0,5	<0,1	14	0,34	0,54	0,80	0,62	2,2	
pintavesi	4.7.2023	0,61	<0,1	0,50	1,8	<0,2	0,026	<0,1	<0,5	0,93	<0,1	<1	0,51	0,16	0,25	0,67	3,3	0,77
	25.9.2023	0,66	<0,1	0,61	1,9	<0,2	<0,020	<0,1	0,62	0,57	0,14	1,4	0,47	0,30	0,60	0,64	3,8	0,75
	17.7.2024	0,58	<0,1	<0,50	1,5	<0,2	<0,020	<0,1	<0,50	0,52	<0,1	<1,0	0,47	0,084	0,17	0,59	<1,0	0,33
	keskiarvo	0,64	-	0,59	1,8	-	0,026	-	0,65	0,67	0,14	7,7	0,45	0,27		0,63	3,1	0,62
	keskihajonta	0,061	-	0,086	0,17	-	-	-	0,035	0,22	-	8,9	0,074	0,20		0,034	0,82	0,25
P7	21.2.2023	1,0	<0,1	0,72	<0,5	<0,2	<0,02	1,0	3,1	<0,5	<0,1	290	0,46	17	21	0,37	3,3	
välivesi	4.7.2023	1,5	<0,1	0,85	<0,5	<0,2	<0,02	1,0	3,9	0,56	<0,1	580	0,36	32	40	0,25	2,0	32
	25.9.2023	1,4	<0,1	0,79	<0,5	<0,2	<0,020	0,89	4,0	<0,5	<0,1	490	0,52	29	34	0,23	3,2	31
	17.7.2024	1,2	<0,1	0,77	<0,5	<0,2	<0,020	0,92	3,6	<0,50	<0,1	410	0,43	27	29	0,29	<1,0	29
	keskiarvo	1,3	-	0,78	-	-	-	0,95	3,7	0,56	-	443	0,44	26		0,29	2,8	31
	keskihajonta	0,21	-	0,054	-	-	-	0,056	0,40	-	-	123	0,067	6,5		0,062	0,72	1,5
P7	21.2.2023	2,7	<0,1	1,1	<0,5	0,35	<0,02	0,73	4,4	<0,5	<0,1	1000	0,23	42	48	0,31	2,6	
alusvesi	4.7.2023	2,9	<0,1	1,1	<0,5	0,21	<0,02	0,56	2,0	<0,5	<0,1	1000	0,21	17	75	0,21	1,1	12
	25.9.2023	3,1	0,12	1,2	<0,5	0,30	<0,02	0,50	2,9	<0,5	<0,1	1100	0,36	29	79	0,25	2,5	21
	17.7.2024	2,7	0,11	1,1	<0,5	0,39	<0,020	0,68	4,1	<0,50	<0,1	1000	0,26	45	60	0,34	2,4	36
	keskiarvo	2,8	0,12	1,1	-	0,31	-	0,62	3,4	-	-	1025	0,27	33		0,28	2,2	23
	keskihajonta	0,17	-	0,050	-	0,078	-	0,11	1,1	-	-	50	0,067	13		0,059	0,70	12

Puron avolouhoksen veden sulfaatti- ja rikkipitoisuudet ovat matalat ja vastaavat taustapitoisuuksia. Rikin ei todettu esiintyvän vedessä sulfidina. Myös kloridi- ja fluoridipitoisuudet ovat alhaiset. Avolouhoksen vesi on rauta- ja mangaanipitoista ja pitoisuudet kasvavat voimakkaasti pohjaa kohti (Fe_{liuk} ka $0,27 \rightarrow 33$ mg/l ja Mn_{liuk} ka $7,7 \rightarrow 1025$ µg/l). Rauta on osin liukoisessa muodossa, mangaani lähes kokonaisuudessaan.

Avolouhoksen alus- ja välivedessä havaittiin kohonneena pitoisuutena kobolttia (Co $0,5...1$ µg/l) ja vanadiinia (V_{liuk} $12...36$ µg/l), joita on todettu kohonneina pitoisuuksina myös Puron sivukivistä (jätealue 1.3) otetuissa näytteissä. Myös kromipitoisuudet olivat väli- ja alusvesinäytteissä hieman koholla (Cr_{liuk} vaihteluväli $2,0...4,4$ µg/l). Todetut metallien pitoisuudet ylittävät paikoin pintaveden yleiset vertailuarvot sekä yksittäisten näytteenottojen että keskiarvopitoisuuden osalta. Syksyn 2023 näytteenottokierroksella alusvedestä määritettiin kuudenarvoinen kromi, jonka pitoisuus oli alle määritysrajan ($Cr^{6+} < 0,0002$ mg/l).

Muiden liukoisten pima-metallien pitoisuudet ovat pääosin alhaiset vastaten taustapitoisuuksia. Metallien pitoisuudet kasvavat hieman pohjaa kohti. Metallit ovat pääosin liukoisessa muodossa.

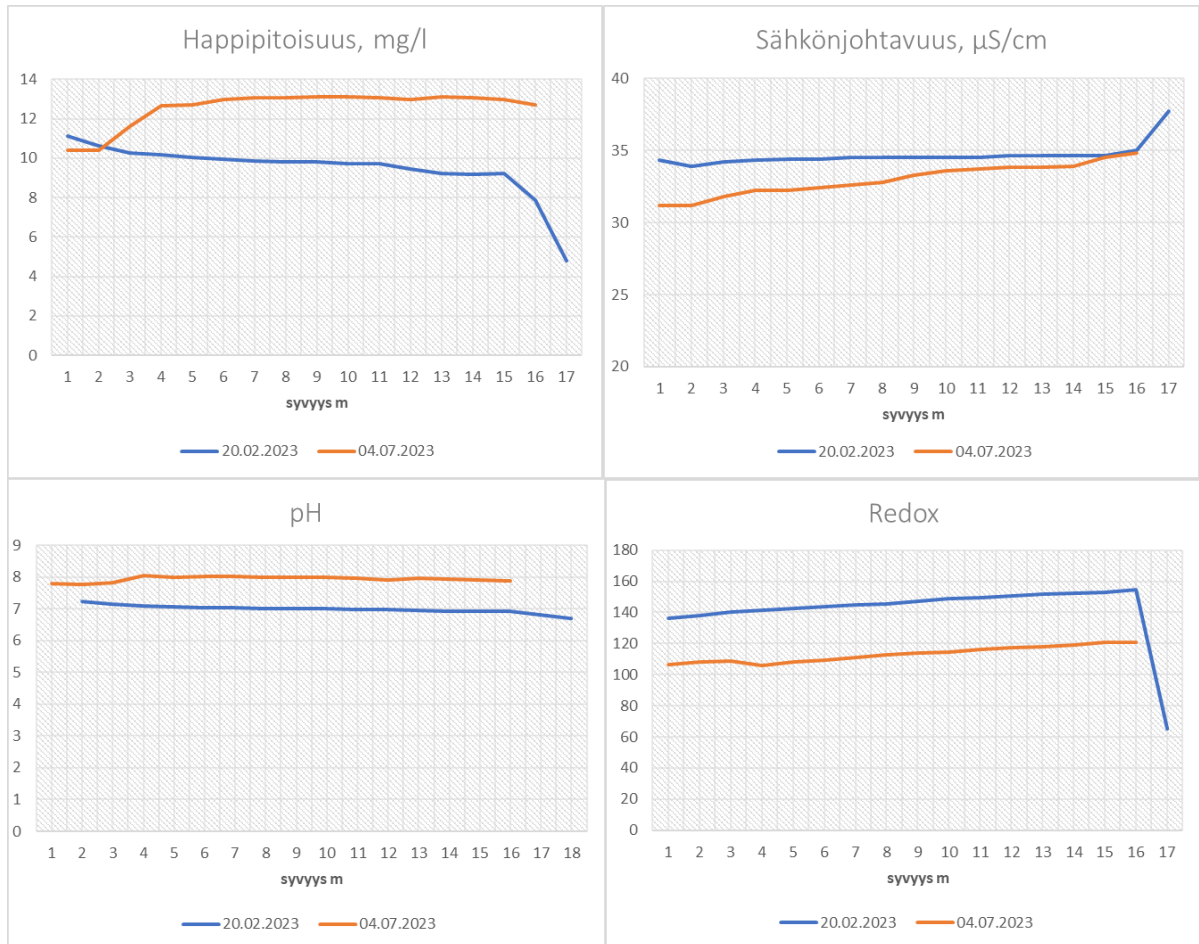
Avolouhoksen veden laadussa tai metallipitoisuuksissa ei ole havaittavissa merkittäviä muutoksia tarkkailujakson aikana.

7.3.2.3 Leviäselän avolouhos

Leviäselän avolouhoksen (näytepiste P10) syvännelkohta on noin 16-17 m syvä. Seurantatutkimusten yhteydessä tehtyjen näytteenottojen (4 kpl) havaintojen perusteella avolouhoksen vesi on kirkasta eikä vedessä havaittu poikkeavaa hajua missään syvyydessä. Avolouhoksen näkösyvyys oli noin 11 m.

Vuonna 2023 tehtyjen profiilimittausten (2 kpl) perusteella Leviäselän avolouhoksessa ei havaittu selvää harppauskerrosta (kuva 7-8). Avolouhoksen vesi oli tasalaatuista. Paria metriä ennen pohjaa

alusvedessä todettiin talven mittauksessa happipitoisuudessa laskua (10 mg/l → 5 mg/l) ja lievää sähkönjohtavuuden kasvua. Profiilimittausten kuvaajat on esitetty kuvassa 7-8 happipitoisuuden, sähkönjohtavuuden, pH:n ja redox-potentialin osalta. Tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 6.



Kuva 7-8. Leviäselän avolouhoksen profiilimittaukset (YSI-kenttämittaus).

Taulukossa 7-21 on esitetty Leviäselän avolouhoksesta otettujen kerrosnäytteiden laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 6 ja 11.

Taulukko 7-21. Leviäselän avolouhoksesta (P10) otettujen näytteiden tulokset valittujen laatuparametrien ja liukoisten metallien osalta.

Piste	Ajan kohta	Alkali/tehti	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	As	Hg	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	Fe (kok)	S	Zn	V
	AA-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	4	-	-	-	-	-
	MAC-EQS	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-	14	-	34	-	-	-	-	-
	YO 6/2014	-	-	-	-	24	0,05	0,5	3,4	7,8	7,2	-	20	-	-	-	3,1-7,8	4,1
		mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l
P10	20.2.2023	0,28	<0,1	0,53	1,3	<0,2	<0,020	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	<0,2	<0,01	<0,01	0,43	1,9	
pintavesi	4.7.2023	0,27	<0,1	<0,5	1,2	<0,2	<0,02	<0,1	<0,5	0,81	<0,1	<1	0,23	<0,01	<0,025	0,41	3,7	0,41
	25.9.2023	0,26	<0,1	<0,5	1,2	<0,2	<0,02	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	0,30	<0,01	<0,025	0,39	3,5	0,46
	keskiarvo	0,27	-	0,53	1,2	-	-	-	-	0,81	-	-	0,27	-	-	0,41	3,0	0,44
	keskihajonta	0,010	-	-	0,058	-	-	-	-	-	-	-	0,049	-	-	0,020	0,99	0,035
P10	20.2.2023	0,28	<0,1	0,51	1,3	<0,2	<0,020	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	<0,2	<0,01	<0,01	0,42	4,2	
välivesi	4.7.2023	0,27	<0,1	<0,5	1,3	<0,2	<0,02	<0,1	<0,5	0,57	<0,1	<1	<0,2	0,014	<0,025	0,41	<1	0,35
	25.9.2023	0,26	<0,1	<0,5	1,2	<0,2	<0,02	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	0,31	<0,01	<0,025	0,41	1,6	0,68
	keskiarvo	0,27	-	0,51	1,3	-	-	-	-	0,57	-	-	0,31	0,014	-	0,41	2,9	0,52
	keskihajonta	0,010	-	-	0,058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0058	1,8	0,23
P10	20.2.2023	0,28	<0,1	<0,5	1,3	<0,2	<0,020	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	<0,2	<0,01	0,014	0,41	1,8	
alusvesi	4.7.2023	0,28	<0,1	<0,5	1,3	<0,2	<0,02	<0,1	<0,5	0,66	<0,1	<1	<0,2	0,010	0,034	0,43	1,3	0,48
	25.9.2023	0,30	<0,1	<0,5	1,3	<0,2	<0,02	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	0,30	<0,01	<0,025	0,42	<1,0	0,36
	keskiarvo	0,29	-	-	1,3	-	-	-	-	0,66	-	-	0,30	0,010	-	0,42	1,6	0,42
	keskihajonta	0,012	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,010	0,35	0,085

Leviäselän avolouhoksen veden sulfaatti- ja rikkipitoisuudet ovat matalat, taustapitoisuuksien tasolla. Rikin ei todettu esiintyvän sulfidina. Myös kloridi- ja fluoridipitoisuudet ovat alhaiset. Avolouhoksen vedessä ei todettu myöskään merkittävästi rautaa tai mangaania.

Liukoisten pima-metallien pitoisuudet ovat pääosin alhaiset tai alittavat laboratorion määrittämisrajat. Ainoastaan sinkin pitoisuus pinta- ja välivedessä ylittää paikoin taustapitoisuudet sekä pintaveden yleisen vertailuarvon (Zn_{liuk} ka. 3,0...2,9 µg/l). Metallit ovat pääosin liukoissa muodossa.

Avolouhoksen vesi on laadultaan tasaista, eikä vedessä ole havaittavissa syvyysuuntaista vaihtelua pitoisuuksissa. Pitoisuudet ovat olleet samansuuruiset koko tarkkailujakson ajan.

7.3.3 Kaivosalueen pintavedet

7.3.3.1 Raajärven kaivosalue

Raajärven kaivosalueella on 6 varsinaista pintaveden tarkkailupistettä P2-P4, P21 ja P22 (ks. kuva 6-14). Pintavesipiste P2 on sivukivikasan 1.1 alapuolinen suotoveden näytepiste. Pisteet P3, P4 ja P22 kuvaavat rikastushiekka-altaiden vesiä (P22 altaiden alapuoli). P21 on pintahiekan läjitysalueen 3.2 läheinen vesilammikko. Lisäksi sedimenttinäytteenoton yhteydessä rikastushiekka-altaiden 2.2 ja 2.3 avovesialueilta otettiin syvänekohdista pintavesinäytteitä (Raa_sed2 ja Raa_sed3). Raa_sed2 on otettu samasta avovesialueesta, kuin varsinainen tarkkailupiste P4. Pintavesipiste P6 on Raajärven kaivosalueen alapuolinen pintavesiuoma, josta pintavedet johtuvat kohti Misiinjärveä. Tarkkailupiste P6 kuvaa Raajärven kaivosalueelta poistuvaa pintavesikuormitusta.

Taulukoissa 7-22 ja 7-23 on esitetty Raajärven pintavesien tarkkailupisteiden kenttämittausten ja laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Tulokset on esitetty erikseen rikastushiekka-altaiden pintavesitulosten (taulukko 7-22) osalta sekä muiden pintavesipisteiden osalta (taulukko 7-23). Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 7.

Rikastushiekka-altaiden pintavedet

Rikastushiekka-altaiden vesi (P3, P4) on ollut näytteenottojen yhteydessä kirkasta tai hieman kellertävää ja vedessä ei ole havaittu poikkeavaa hajua. Rikastushiekka-altaiden alapuolisessa suotovesipisteessä P22 on havaittu voimakas metallikalvo vedenpinnalla (ks. liite 2) ja pohjalla on ollut kellertävää sakkaa. Vedessä on havaittu suon hajua. Rikastushiekka-altaiden avovesialueiden syvännekohta on rikastushiekka-altaalla 2.2 noin 3 m syvä ja altaalla 2.3 vajaa 1 m syvä (Raa_sed2 ja Raa_sed3).

Taulukko 7-22. Raajärven kaivosalueen rikastushiekka-altaiden pintavesien tulokset kenttämittausten (YSI) sekä valittujen laatuparametrien ja liukoisten metallien osalta.

Piste	Aiankohta	Happipitoisuus	pH	Redox-potentiaali	Sähkönjohtavuus	Alkaliteetti	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	As	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	Fe (kok)	S	Zn	V
	AA-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	4	-	-	-	-	-
	MAC-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	34	-	-	-	-	-
	YO 6/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	24	0,5	3,4	7,8	7,2	-	20	-	-	-	3,1-7,8	4,1
		mg/l		mV	mS/m	mmol/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l
P3	5.10.2022	11	8,1	143	39	4,0	<0,1	0,55	20	<0,2	<0,1	<0,5	1,1	<0,1	<1	0,24	<0,01	0,071	6,1	<1	0,46
RH 2.1	23.5.2023	8,1	7,0	118	9,2	0,82	<0,02	<0,5	1,3	<0,2	<0,1	<0,5	2,2	<0,1	<1	0,40	0,0084	0,12	0,49	<1	0,53
	27.9.2023	10	7,2	152	8,1	0,64	<0,1	1,6	1,5	<0,2	<0,1	<0,5	1,4	<0,1	<1	<0,2	0,077	0,12	0,57	1,8	0,33
	30.5.2024	9,1	7,3	137	15	1,4	<0,1	<0,5	3,3	<0,20	<0,10	<0,50	3,0	<0,10	1,0	0,76	0,12	0,18	1,2	<1,0	1,2
	30.9.2024	11	7,3	114	18	1,7	<0,1	0,68	6,0	<0,2	0,18	<0,5	6,1	0,19	19	0,29	0,058	0,36	1,8	11	0,33
	keskiarvo	9,1	7,2	135	11	1,7	-	0,94	6,4	-	0,18	-	2,8	0,19	10	0,42	0,066	0,17	2,0	6,4	0,57
	keskihajonta	0,98	0,15	17	3,8	1,3	-	0,57	7,8	-	-	-	2,0	-	13	0,23	0,046	0,11	2,3	6,5	0,36
P4	5.10.2022	7,9		850	14	1,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,2	<0,1	<0,5	0,59	<0,1	<1	<0,2	0,038	0,077	0,35	1,3	0,42
RH 2.2	23.5.2023	9,9	7,5	149	9,3	0,86	0,025	<0,5	<0,5	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<1	<1	<0,2	0,25	0,33	0,27	<1	0,45
	27.9.2023	11	7,6	151	9,4	0,89	<0,1	<0,5	<0,5	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	<0,2	0,050	0,087	0,31	2,0	0,43
	30.5.2024	9,4	7,5	135	7,6	0,69	<0,1	<0,50	<0,50	<0,20	<0,10	<0,50	<0,50	<0,1	<1,0	<0,2	0,14	0,22	<0,5	<1,0	0,49
	30.9.2024	10	7,2	153	11	1,0	<0,1	<0,5	0,59	<0,20	<0,10	<0,50	14	1,2	1,7	<0,2	0,051	0,12	<0,5	23	0,39
	keskiarvo	10,0	7,5	145	8,8	0,93	0,025	-	0,59	-	-	-	7,3	1,2	1,7	-	0,11	0,17	0,31	8,8	0,44
	keskihajonta	0,55	0,051	8,7	1,0	0,19	-	-	-	-	-	-	9,5	-	-	-	0,090	0,11	0,040	12	0,037
Raa_sed2 pintavesi RH 2.2	30.9.2024	13	7,5	117	11	1,1	<0,1	<0,5	<0,5	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	<0,2	0,056	0,12	0,24	<1	0,41
Raa_sed2 alusvesi RH 2.2	17.7.2024	10	7,4	188	8,4	0,79	<0,1	<0,5	<0,5	<0,20	<0,10	<0,50	11	0,66	4,0	0,97	0,068	0,14	0,28	41	0,52
	30.9.2024	13	7,2	178	11	1,1	<0,1	<0,5	<0,5	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	<1	<0,2	0,060	0,12	0,25	<1	0,43
Raa_sed3 pintavesi RH 2.3	17.7.2024	9,0	7,4	165	7,8	0,72	<0,1	<0,5	<0,5	<0,20	<0,10	<0,50	<0,50	<0,10	<1,0	<0,20	0,10	0,22	0,14	2,5	0,36
	30.9.2024	14	6,8	196	9,2	0,88	<0,1	<0,5	<0,5	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	0,13	<1	<0,2	0,19	0,68	0,11	1,7	0,78

Kenttämittausten perusteella rikastushiekka-altaiden pintavesi on neutraalia tai lievästi emäksistä (pH 6,8...8,1). Vedet ovat olleet pääosin hapekkaita ja olosuhteiltaan hapettava.

Rikastushiekka-altaiden pintaveden sulfaatti- ja rikkipitoisuudet ovat matalat ja vastaavat taustapitoisuuksia. Ainoastaan pintavesipisteen P3 sulfaatti- ja rikkipitoisuudet ovat olleet yksittäisissä näytteenotoissa hieman muuta aluetta korkeammat, mutta vastaavat taustapitoisuuksia ja Suomen sisävesien pitoisuuksia. Rikin ei todettu esiintyvän vedessä sulfidina. Myös kloridi- ja fluoridipitoisuudet ovat alaiset vastaten taustapitoisuuksia. Rikastushiekka-altaiden rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat pääosin taustapitoisuuksien tasossa. Rauta on vain osin liukoisessa muodossa, mangaani lähes kokonaisuudessaan.

Liukoisten pima-metallien pitoisuudet ovat pääosin alaiset vastaten taustapitoisuuksia. Ainoastaan syksyn 2024 näytteenottokierroksessa pisteissä P3, P4 ja Raa_sed3/alusvesi todettiin aiempaa tarkkailua korkeampia kuparin, lyijyn, mangaanin ja/tai sinkin pitoisuuksia. Todetut sinkki- ja kuparipitoisuudet ylittävät syksyn kierroksella YO 6/2014 mukaiset pintaveden vertailuarvot. Pintavesipisteessä P4 todettiin syksyn 2024 näytteenottokierroksella myös kohonnut lyijypitoisuus. Lyijyn liukoinen pitoisuus (1,2 µg/l) ei ylittänyt pintaveden laatu normin mukaista maksimipitoisuutta (MAC-EQS 14 µg/l) tai pintaveden yleistä vertailuarvoa. Syksyn metallipitoisuudet poikkeavat aiemmasta tarkkailusta. Alkuvuosi 2024 on ollut myös keskimääräistä

vähäsateisempi ja kesällä 2024 on puolestaan satanut keskimääräistä enemmän, mikä voi selittää osin syksyn korkeampia metallipitoisuuksia. Vuosien 2022 ja 2023 kesät ovat olleet vähäsateisia.

Rikastushiekka-altaiden veden laadussa tai metallipitoisuuksissa ei ole havaittavissa merkittäviä muutoksia tarkkailujakson aikana syksyn 2024 näytteenottoa lukuun ottamatta.

Muut Raajärven kaivosalueen pintavedet

Sivukivikasan alapuolisessa suotovesiojan näytepisteessä P2 vesi on ollut kirkasta ja siinä on havaittu lievää suon hajua. Ojan virtaus on ollut ajankohdan mukaan heikko tai vähäinen. Pintahiekan läjitysalueen pintavesilammen P21 on ollut kirkasta tai hieman kellertävää mutta hajutonta. Raajärven kaivosalueen alapuolisessa pintavesiuomassa (P6) vesi on ollut kirkasta, eikä siinä ole havaittu poikkeavaa hajua tai metallikalvoa. Uomassa on ollut näytteenottojen yhteydessä selvä tai voimakas virtaus.

Taulukko 7-23. Raajärven kaivosalueen muiden alueiden kuin rikastushiekka-alueen pintavesien tulokset kenttämittausten (YSI) sekä valittujen laatuparametrien ja liukoisten metallien osalta.

Piste	Ajan kohta	Happipitoisuus	pH	Redox-potentiaali	Sähkönjohtavuus	Alkaliteetti	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	As	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	Fe (kok)	S	Zn	V
	AA-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	4	-	-	-	-	-
	MAC-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	34	-	-	-	-	-
	YO 6/2014									24	0,5	3,4	7,8	7,2	20					3,1-7,8	4,1
		mg/l		mV	mS/m	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l
P2	5.10.2022	4,2	6,8	147	49	2,8	<0,1	0,86	120	<0,2	0,11	<0,5	<0,5	<0,1	340	<0,2	0,068	0,33	37	1,1	<0,2
Sivukivi 1.1	23.5.2023	4,8	6,9	129	32	1,9	0,059	0,54	55	<0,2	0,23	<0,5	1,1	<0,1	<1	<0,2	0,055	0,91	18	5,8	<0,2
	9.10.2023	8,1	6,9	180	42	2,4	<0,1	0,72	90	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	240	<0,2	0,035	0,23	28	13	<0,2
	30.5.2024	1,8	6,8	126	44	2,7	<0,1	0,71	86	<0,20	<0,10	<0,50	<0,50	<0,10	39	<0,20	0,022	0,70	33	<1,0	<0,20
	30.9.2024	7,0	6,7	183	45	2,6	<0,1	0,76	96	<0,20	<0,10	<0,50	4,0	<0,10	260	0,24	0,024	0,29	33	27	<0,20
	keskiarvo	4,9	6,9	145	39	2,5	0,059	0,72	89	-	0,17	-	2,6	-	220	0,24	0,041	0,49	30	12	-
	keskihajonta	3,1	-	30	6,7	0,36	-	0,12	23	-	0,085	-	2,1	-	128	-	0,020	0,30	7,3	11	-
P21	27.9.2023	7,5	6,3	177	1,7	0,17	<0,1	<0,5	0,62	<0,20	0,16	<0,5	<0,5	<0,1	13	<0,2	0,74	1,6	0,29	2,9	0,23
pintamaa 3.	30.5.2024	7,1	5,9	203	33	0,21	<0,1	0,56	1,2	<0,20	<0,1	<0,50	<0,50	<0,1	9,9	0,38	0,39	1,8	<0,5	6,7	<0,20
	30.9.2024	7,8	6,4	183	4,8	0,24	<0,1	0,64	1,1	<0,20	<0,1	<0,50	3,1	0,33	4,4	0,24	1,1	2,5	<0,5	11	0,33
	keskiarvo	7,3	6,1	190	17	0,21	-	0,60	0,97	-	0,16	-	3,1	0,33	9,1	0,31	0,74	2,0	0,29	6,9	0,28
	keskihajonta	0,23	0,28	19	22	0,035	-	0,057	0,31	-	-	-	-	-	4,4	0,099	0,36	0,47	-	4,1	0,071
P22	27.9.2023	7,6	7,0	54	5,7	5,6	0,11	4,0	1,0	<0,20	0,52	<0,5	<0,5	<0,1	1300	<0,2	0,017	11	0,12	1,1	<0,2
RH alapuoli	30.5.2024	3,0	6,8	56	41	4,0	3,7	0,90	3,1	<0,20	0,35	<0,50	<0,50	<0,1	1100	<0,2	0,038	11	1,3	<1,0	<0,20
	30.9.2024	6,1	6,7	102	48	4,8	0,17	0,90	<0,5	<0,20	0,50	<0,5	1,4	<0,1	1200	<0,2	0,11	17	<0,5	21	0,27
	keskiarvo	5,3	6,9	55	23	4,8	1,3	1,9	2,1	-	0,46	-	1,4	-	1200	-	0,055	13	0,71	11	0,27
	keskihajonta	3,2	0,17	1,1	25	0,83	2,1	1,8	1,5	-	0,093	-	-	-	100	-	0,049	3,5	0,83	14	-
P6	5.10.2022	9,1	-	900	8,9	0,62	0,83	<0,1	11	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	47	<0,2	0,49	0,78	3,5	1,2	<0,2
Lähtevä	23.5.2023	10,0	7,0	141	5,0	0,27	0,065	0,57	5,8	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	9,3	<0,2	0,53	0,77	1,8	1,4	0,26
	27.9.2023	10	7,3	151	5,9	0,34	<0,1	0,63	5,3	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	13	<0,2	0,44	0,73	1,7	1,6	0,20
	30.5.2024	9,3	6,8	135	5,6	0,35	<0,1	0,59	6,8	<0,20	<0,10	<0,50	<0,50	<0,10	8,7	<0,20	0,46	0,87	2,1	<1,0	<0,20
	30.9.2024	12	7,2	165	9,7	0,42	<0,1	0,70	9,8	<0,20	<0,10	<0,50	5,3	0,37	36	<0,20	0,60	1,0	3,2	8,9	0,24
	keskiarvo	9,9	7,0	142	5,5	0,40	0,45	0,62	7,7	-	-	-	5,3	0,37	23	-	0,50	0,83	2,5	3,3	0,23
	keskihajonta	0,58	0,25	8,1	0,45	0,13	0,54	0,057	2,5	-	-	-	-	-	18	-	0,063	0,11	0,83	3,8	0,031

Kenttämittausten perusteella kaivosalueen pintavesi on neutraalia tai lievästi hapanta (pH 5,9...7,3). Vedet ovat olleet pääosin hapekkaita ja olosuhteiltaan hapettava.

Sivukivikasan 2.1 suotoveden (P2) sulfaatti- ja rikkipitoisuudet ovat selvästi korkeammat (SO₄ ka. 89 mg/l, S_{liuk} ka. 30 mg/l) verrattaessa pitoisuuksia taustapitoisuuksiin tai muihin kaivosalueen pintavesiin. Rautapitoisuudet ovat selvästi rikastushiekka-altaiden alapuolisessa suotovesipisteessä P22 selvästi muuta aluetta korkeammat ja korkeammat kuin pintahiekka-alueen lammessa P21. Mangaania todettiin korkeampina pitoisuuksina tarkkailupisteissä P2 ja P22. Muualla kaivosalueella rauta- ja mangaanipitoisuudet olivat taustapitoisuuksien tasossa.

Kohonneita sinkkipitoisuuksia todettiin tarkkailupisteessä P2 useammalla näytteenottokierroksella (Zn_{liuk} ka. 12 µg/l). Sinkkiä todettiin myös syksyn 2024 näytteenottokierroksessa pisteissä P21 ja

P22. Tulokset ovat aiempaan tarkkailuun peilaten poikkeavat. Muutoin liukoisten pima-metallien pitoisuudet ovat pääosin alhaiset. Kesällä 2024 on satanut keskimääräistä enemmän, mikä voi selittää osin syksyn korkeampia metallipitoisuuksia. Vuosien 2022 ja 2023 kesät ovat olleet vähäsatteisia.

Kaivosalueen alapuolisessa, lähtevää kuormitusta kuvaavassa pintavesipisteessä P6 rikki- ja sulfaattipitoisuudet (SO_4 ka. 7,7 mg/l, S_{liuk} ka. 2,5 mg/l) ovat hieman korkeammat taustapitoisuuksiin verrattaessa, mutta todettu sulfaattipitoisuus on Suomen järvien keskimääräisen sulfaattipitoisuuden tasossa (OPASNET 2018). Lähtevän veden rautapitoisuudet ovat normaalit, mutta mangaanipitoisuudet (Mn_{liuk} ka. 23 µg/l) hieman taustapitoisuuksia korkeammat. Laboratorioanalyysissä liukoisten pima-metallien pitoisuudet ovat matalat, pääosin alle määritysrajojen. Ainoastaan syksyn 2024 näytteenottokierroksella todettiin kohonnut liukoisen sinkin pitoisuus, joka poikkeaa aiemmasta tarkkailusta.

Tarkkailujakson aikana syksyn 2024 tulokset poikkeavat muuta tarkkailua korkeampina metallien pitoisuuksina usean metallin kohdalla. Mangaanin pitoisuus tutkimuspisteissä P2 ja P6 mukailee vuodenaikojen ollen keväällä pienempi ja syksyllä selvästi suurempi. Muiden analysoitujen parametrien osalta ei havaittu yhtä selvää vastaavaa korrelaatiota.

7.3.3.2 Puron kaivosalue

Puron kaivosalueelta pintavesiä on tarkkailtu 3 pintavesipisteestä (ks. kuva 6-14). Pintavesipiste P20 on sivukivikasan 1.3 alapuolinen suotoveden / soistuman näytepiste. Ko. pisteestä vedet todennäköisesti suotautuvat osin suon läpi pintavesiuomaan pisteeseen P9 (avolouhoksen yläpuoli) ja edelleen alavirtaan P8 (avolouhoksen alapuoli). Tarkkailupiste P8 kuvaa Puron kaivosalueelta poistuvaa pintavesikuormitusta. Pisteisiin P9 ja P8 tulee vesiä myös muualta valuma-alueelta.

Taulukossa 7-24 on esitetty Puron pintavesien tarkkailupisteiden laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 7 ja 11.

Näytepisteen P20 vesi on ollut hieman rusertavaa. Näytteenottojen yhteydessä (3 kpl) veden pinnalla on havaittu metallikalvoa ja vesi on ollut seisovaa. Näytepisteiden P9 ja P8 vesi on ollut näytteenottojen yhteydessä (5 kpl) kirkasta ja hajutonta ja pintavesiuomissa on ollut selvä virtaus.

Taulukko 7-24. Puron pintavesipisteiden P8, P9 ja P20 tulokset kenttämittausten (YSI) sekä valittujen laatuparametrien ja liukoisten metallien osalta.

Piste	Ainonta	Happipitoisuus	pH	Redox-potentiaali	Sähköjohtavuus	Alkaliteetti	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	As	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	Fe (kok)	S	Zn	V
	AA-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	4	-	-	-	-	-
	MAC-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	34	-	-	-	-	-
	YO 6/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	24	0,5	3,4	7,8	7,2	-	20	-	-	-	3,1-7,8	4,1
		mg/l		mV	mS/m	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l
P8 Lähtevä oja	5.10.2022	12	5,8	184	4,0	0,30	<0,1	1,0	2,4	<0,2	<0,1	<0,5	0,75	<0,1	5,3	<0,2	0,37	0,51	0,78	1,3	0,54
	23.5.2023	8,8	5,9	161	2,4	0,13	<0,1	0,57	1,4	<0,2	0,23	<0,5	0,69	<0,1	7,0	0,35	0,56	0,78	0,51	5,9	0,82
	27.9.2023	9,4	6,3	175	2,9	0,10	<0,1	0,70	1,7	<0,2	0,23	0,52	0,59	0,16	12	0,52	0,97	1,1	0,58	3,0	1,0
	29.5.2024	7,9	6,1	203	2,8	0,16	<0,1	0,60	1,4	<0,2	<0,1	<0,5	0,51	<0,10	9,7	0,32	0,63	0,89	0,61	1,5	0,71
	30.9.2024	11	6,3	183	3,5	0,19	<0,1	0,82	1,8	<0,2	0,31	0,66	2,3	2,4	9,8	1,3	0,70	1,1	0,55	4,0	0,77
	keskiarvo	8,7	6,1	179	2,7	0,18	-	0,74	1,7	-	0,26	0,59	5,1	1,3	8,8	0,62	0,65	0,88	0,61	1,0	0,77
	keskihajonta	0,74	0,20	21	0,26	0,077	-	0,18	0,41	-	0,046	0,099	10	1,6	2,6	0,46	0,22	0,25	0,10	17	0,17
P9 Tuleva oja	5.10.2022	12	6,2	167	4,4	0,33	<0,1	1,3	2,9	<0,2	<0,1	<0,5	0,64	<0,1	2,2	<0,2	0,22	0,37	0,90	1,4	0,45
	23.5.2023	10	6,2	166	3,0	0,16	<0,1	0,81	2,3	<0,2	0,24	<0,5	0,75	0,11	5,7	0,43	0,51	0,72	0,74	6,8	0,94
	27.9.2023	10	6,8	157	3,5	0,12	0,24	4,9	2,6	<0,2	0,29	0,59	0,61	0,17	11	0,63	0,95	1,1	0,75	3,6	1,1
	29.5.2024	9,4	6,5	212	3,5	0,21	<0,1	0,93	2,5	<0,2	<0,10	<0,5	0,52	<0,10	8,4	0,47	0,45	0,68	1,1	2,4	0,83
	30.9.2024	12	6,4	189	3,8	0,22	<0,1	0,97	2,2	<0,2	0,19	<0,5	9,9	1,1	5,3	0,72	0,52	0,84	0,63	1,5	0,70
	keskiarvo	10	6,5	178	3,4	0,21	0,24	1,8	2,5	-	0,24	0,59	2,5	0,46	6,5	0,56	0,53	0,74	0,82	5,8	0,80
	keskihajonta	0,64	0,34	30	0,30	0,079	-	1,8	0,27	-	0,050	-	4,1	0,56	3,3	0,14	0,26	0,26	0,18	5,5	0,25
P20 Sivukivikasa 1.3 alapuoli	27.9.2023	9,7	6,6	178	5,7	0,40	<0,1	<0,5	2,2	<0,2	0,13	<0,5	0,54	0,24	16	<0,2	0,40	0,40	0,82	4,8	0,35
	30.5.2024	9,3	6,8	166	4,4	0,31	<0,1	<0,5	<0,5	0,21	<0,10	<0,5	<0,50	0,21	2,5	0,29	0,36	0,42	<0,5	2,3	0,40
	30.9.2024	11	6,0	209	8,5	0,14	<0,1	<0,5	1,1	<0,2	0,29	<0,5	1,5	2,4	13	0,74	0,47	0,47	<0,5	2,6	0,36
	keskiarvo	9,5	6,7	172	5,0	0,28	-	-	1,7	0,21	0,21	-	7,8	0,95	11	0,52	0,41	0,43	0,82	2,5	0,37
	keskihajonta	0,29	0,17	8,7	0,91	0,13	-	-	0,78	-	0,11	-	10	1,3	7,1	0,32	0,056	0,036	-	23	0,026

Tehdyissä YSI-kenttämittauksissa kaikissa pintavesipisteissä vesi on ollut lievästi hapanta, hapekasta ja olosuhteiltaan hapettavaa.

Vesinäytteiden mangaani-, rikki- ja sulfaattipitoisuudet ovat normaalit ollen taustapitoisuuksien tasossa (SO_4 ka. 1,7...2,5 mg/l, S_{liuk} ka. 0,61...0,82 mg/l ja Mn_{liuk} ka. 6,5...11 µg/l). Puron pintavesien rautapitoisuudet (Fe_{kok} ka. 0,43...0,88 mg/l) ovat jonkin verran taustapitoisuuksia korkeammat, mutta kuvaavat normaalien humuspintavesien (0,4-0,6 mg/l) tai ruskeiden suovesien (1 mg/l) rautapitoisuuksia. Avolouhoksen väli- ja alusvedessä (P7) todetut merkittävästi kohonneet rauta- ja mangaanipitoisuudet eivät näy Puron pintavesien tarkkailupisteissä. Raudasta vain osa on liukoisessa muodossa, muut metallit esiintyvät pääosin liukoisessa muodossa.

Puron kaivosalueen pintavesissä on todettu kohonneina pitoisuuksina sinkkiä vähintään yhdellä näyttekierroksella kaikissa pintaveden tarkkailupisteissä (Zn_{liuk} ka. 5,8...25 µg/l). Todetut sinkin pitoisuudet ylittävät tarkkailujakson keskiarvopitoisuuksien osalta YO 6/2014 mukaiset suositukset pintaveden yleisiksi vertailuarvoiksi. Muiden liukoisten pima-metallien pitoisuudet ovat olleet pääosin alaiset ja vastaavat Puron avolouhoksesta (P7) analysoituja metallipitoisuuksia. Ainoastaan syksyn 2024 näyttekierroksella kuparin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet poikkesivat aiemmasta tarkkailusta ollen selvästi korkeammat kaikissa pintavesipisteissä. Todetut metallit ovat pääosin liukoisessa muodossa. Lyijyn pitoisuus (2,4 µg/l) ylitti pintavesille asetetun ympäristölaatuunormin (vuosikeskiarvo, AA-EQS 1,2 µg/l biosaatavalle lyijylle) pisteissä P8 ja P20. Todettu lyijypitoisuus ei ylittänyt asetettua liukoista maksimipitoisuutta (MAC-EQS 14 µg/l).

Puron kaivosalueen pintavesissä havaittiin vain pieninä pitoisuuksina kobolttia, nikkeliä ja vanadiinia, joita on todettu kohonneina pitoisuuksina Puron sivukivissä (jätealue 1.3) otetuissa näytteissä. Sivukivissä todettua titaania ei todettu pintavesinäytteistä yli määrittysrajan. Pintavesien pitoisuudet olivat koboltin ja nikkelin osalta vastaavat kuin avolouhoksesta analysoiduissa vesinäytteissä. Vanadiinin pitoisuus oli avolouhoksen alusvedessä ympäröiviä pintavesistöjä huomattavasti suuremmat.

7.3.3.3 Leviäselän kaivosalue

Leviäselän kaivosalueella on tarkkailtu pintavettä tarkkailupisteestä P11 (lampi). Tehtyjen tutkimusten perusteella Leviäselän kaivosalueelta (jätealueet, avolouhos) tuleva ympäristökuormitus on vähäinen, eikä lammen vedessä ole havaittu tehdyissä tutkimuksissa kaivostoiminnan vaikutuksia. Näin ollen tutkimuspisteen arvioidaan kuvaavan Raajärven alueen pintaveden taustapitoisuuksia. Tarkkailupisteen tulokset on esitetty kappaleessa 7.3.1.

7.3.4 Vesistöt

Raajärven kaivosalueen läheisyydessä sijaitsevan Raajärven vedenlaatua on tarkkailu KAJAK-hankkeen yhteydessä. Raajärven veden laatua tutkittiin pääosin uimarannan laiturilta otetuina näytteinä (P5, ranta), mutta kertaalleen järvestä haettiin myös näyte syvänteeltä (P5, syväne). Tehtyjen tutkimusten perusteella Raajärven syvänekohta on noin 7 m syvä. Raajärven kaivosalueelta ei ole suoraan pintavesien virtausyhteyttä Raajärveen, vaan pääosin pintavedet johtuvat kaivoalueelta suoraan Raajärveen.

Näytteenottojen yhteydessä (6 kpl) Raajärven vesi on ollut aistinvaraisesti kirkasta, eikä siinä ole havaittu poikkeavaa hajua rannalta tai syvänteeltä otetuissa näytteissä. Taulukossa 7-25 on esitetty kenttämittausten ja laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 7 ja 11.

Taulukko 7-25. Raajärven (P5) ja Raajärven kaivosalueelta poistuvan veden (P6) tulokset kenttämittausten (YSI) sekä valittujen laatuparametrien ja liukoisten metallien osalta.

Piste	Aiankohta	Happipitoisuus	pH	Redox-potentiaali	Sähkönjohtavuus	Alkaliteetti	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	As	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	Fe (kok)	S	Zn	V
	AA-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	4	-	-	-	-	-
	MAC-EQS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	34	-	-	-	-	-
	YO 6/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	24	0,5	3,4	7,8	7,2	-	20	-	-	-	3,1-7,8	4,1
		mg/l		mV	mS/m	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l
P5	5.10.2022	11	6,3	186	3,0	0,20	<0,1	<0,1	3,2	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	6,0	<0,2	0,56	1,1	1,0	1,3	<0,2
Raajärvi,	23.5.2023	9,9	7,0	117	2,9	0,18	<0,1	0,56	2,5	<0,2	0,11	<0,5	<0,5	<0,1	14	<0,2	0,49	1,2	0,89	4,6	<0,2
ranta	9.10.2023	11	7,0	162	3,0	0,16	<0,1	0,56	2,8	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	8,7	<0,2	0,74	1,1	0,91	13	0,21
	30.5.2024	10	6,5	181	2,7	0,15	<0,1	<0,5	2,6	<0,20	<0,1	<0,50	<0,5	<0,1	5,3	<0,2	0,58	1,1	1,0	1,1	<0,20
	30.9.2024	11	7,1	158	3,3	0,18	<0,1	0,55	3,0	<0,20	<0,1	<0,50	5,9	0,43	9,4	<0,2	0,68	1,4	0,90	11	<0,20
	keskiarvo	10	6,9	153	2,9	0,17	-	0,56	2,8	-	0,11	-	5,9	0,43	8,7	-	0,61	1,2	0,94	6,2	0,21
	keskihajonta	0,36	0,28	33	0,13	0,019	-	-	0,29	-	-	-	-	-	3,4	-	0,10	0,13	0,055	5,5	-
P5 syväne																					
pintavesi	21.2.2023	10,0	6,6	128	3,2	0,18	<0,1	0,61	2,7	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	0,87	<0,20	0,52	0,74	0,92	2,1	
alusvesi	21.2.2023	4,8	6,2	155	3,9	0,21	<0,1	0,70	3,7	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	1,0	<0,2	0,74	1,1	1,1	1,6	

Tehdyissä YSI-kenttämittauksissa Raajärven vesi on ollut neutraalia ja hapekasta. Raajärven sulfaatti-, rikki- ja mangaanipitoisuudet ovat alhaiset ollen taustapitoisuuksien tasossa (SO₄ ka. 2,8 mg/l, S_{liuk} ka. 0,94 mg/l Mn_{liuk} ka 8,7 µg/l). Raajärven vesi on rautapitoista (Fe ka. 1,2 mg/l). Normaalin humusvesistön rautapitoisuus on noin 0,4-0,6 mg/l).

Sinkin pitoisuus ylittää paikoin pintaveden yleisen vertailuarvon ja sinkin pitoisuuksissa on havaittu vaihtelua tarkkailujakson aikana kevään ja syksyn näytteiden välillä (keskihajonta suuri). Muutoin veden laadussa ei ole havaittavissa merkittäviä muutoksia tarkkailujakson aikana. Laboratorioanalyysissä muiden liukoisten prima-metallien pitoisuudet ovat matalat, pääosin alle määrittäysrajojen.

7.3.5 Virtaamat

Laskennalliset arviot virtaamista on esitetty kappaleessa 4.3.6.

7.4 Pohjavesi

7.4.1 Taustapitoisuudet

Pohjaveden taustapitoisuusputkeksi asennettiin havaintoputki PVP12, joka sijaitsee Raajärven ja Leviäselän kaivosalueiden välisellä alueella, kaivosalueiden oletetun pohjaveden virtaussuunnan alapuolella (ks. kuva 6-15). Pohjavesiputki PVP12 on asennettu noin 12 m syvyyteen. Putken vedenpinta on noin 2,5...3 m syvyydellä maanpinnan tasosta tasolla +191,69...192,07 mpy. Putki on hyväntoinen ja otetut näytteet (5 kpl) ovat olleet kirkkaita tai hieman sameita. Pohjavesinäytteissä ei ole havaittu poikkeavaa hajua.

Taulukossa 7-26 on esitetty taustapitoisuuspisteen PVP12 kenttämittausten (YSI) ja laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Taulukossa näkyvässä keskiarvon ja keskihajonnan laskelmissa ei ole huomioitu asennuksen jälkeen tehtyä näytteenottokierrosta (25.10.2022). Ko. näytekierroksella todettiin myöhempää tarkkailua korkeampia pitoisuuksia mm. liukoisen kobolttin, mangaanin ja rikin osalta. Tuloksissa näkyy todennäköisesti kairauksen ja putkien asennuksen vaikutus, jonka yhteydessä maaperää on häiritty ja alkuaaineita on lähtenyt liikkeelle. Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 8 ja 11.

Taulukko 7-26. Pohjaveden taustapitoisuuspisteet (PVP12) tulokset kenttämittausten (YSI) sekä valittujen laatuparametrien ja liukoisten metallien osalta. Keskiarvo ja keskihajonta laskennoissa ei ole huomioitu ensimmäistä näytteenottokierrosta (25.10.2022).

Putken nimi	Näytteenotto	Hapen kylläisyysaste	Happipitoisuus	pH	Redox-potentiaali	Sähkönjohtavuus	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	Sb	As	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	S	Zn	Ti	U	V
	EQS	-	-	-	-	-	-	25	150	2,5	5	2	10	-	5	-	10	-	-	60	-	-	-
	Talousveden laatuvaatimus						1,5			5	10		50	2000	10		20					30	
	Talousveden laatusuositus			6,5...9,5		250										50		0,2					
		%	mg/l	mg/l	mV	mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
PVP12	25.10.2022	18,7	2,6	6,52	-65,3	11,74	0,27	1,5	3,7	<0,2	<0,2	2,2	<0,5	<0,5	<0,1	240	1,8	1,9	13	<1			0,25
tausta	22.5.2023	15,8	2,0	6,41	51,8	8,45	0,19	1,3	3,6	<0,2	<0,2	1,4	<0,5	<0,5	<0,1	170	0,88	2,3	1,1	1,4	<0,00	<0,1	<0,2
	27.9.2023	34,1	4,2	6,72	99,5	7,73	0,19	1,0	4,3	<0,2	<0,2	0,76	<0,5	<0,5	<0,1	140	0,85	1,1	1,1	2,2			<0,2
	29.5.2024	16,9	2,0	6,46	97,7	7,32	0,18	1,1	3,4	<0,20	<0,20	0,87	<0,50	<0,50	<0,10	110	1,3	2,0	1,2	1,2			<0,20
	30.9.2024	27,5	3,6	6,1	194,1	8,19	0,20	1,3	2,9	<0,20	<0,20	1,0	<0,50	<0,50	<0,10	150	1,4	2,6	1,0	<1			0,46
	keskiarvo	24	3,0	6,4	111	7,9	0,19	1,2	3,6	-	-	1,0	-	-	-	143	1,1	2,0	1,1	1,6	-	-	0,46
	keskihajonta	8,8	1,1	0,25	60	0,50	0,0082	0,15	0,58	-	-	0,28	-	-	-	25	0,28	0,65	0,082	0,53	-	-	-

Tehdyissä YSI-kenttämittauksissa pohjavesiputken vesi on ollut lievästi hapanta ja vähähappista. Pohjavedessä on hapettavat olosuhteet (redox positiivinen).

Laboratoriotutkimuksissa pohjaveden fluoridi-, kloridi ja sulfaattipitoisuudet ovat matalat. Pohjaveden todettiin olevan hieman rauta- (Fe_{liuk} ka. 2 mg/l) ja mangaanipitoista (Mn_{liuk} ka. 143 µg/l). Pohjaveden rikkipitoisuudet ovat alhaiset (Si_{liuk} ka. 1,1 mg/l) lukuun ottamatta asennuksen jälkeistä näytettä (25.10.2024), jossa todettiin muuta tarkkailua korkeampi pitoisuus (Si_{liuk} 13 mg/l). Todetuista rautapitoisuuksista noin puolet on liukoisessa muodossa. Rikki- ja mangaani esiintyvät pääosin liukoisessa muodossa.

Pima-metalleista pohjavedessä on todettu matalina pitoisuuksina kobolttia (ka. 1 µg/l), nikkeliä (ka. 1,1 µg/l) ja sinkkiä (ka. 1,6 µg/l). Kobolttin pitoisuus oli korkeimmillaan ensimmäisellä näytteenottokierroksella pitoisuuden ylittäessä pohjaveden ympäristölaatu normin (2 µg/l). Ko. näytteenotossa näkyy todennäköisesti kairauksen vaikutus. Myöhemmin otetuissa näytteissä kobolttipitoisuudet ovat olleet matalat eivätkä ole ylittäneet vertailuarvoja. Pohjaveden metallipitoisuudet ovat alhaiset.

Ottamatta huomioon ensimmäistä näytteenottokierrosta. Pohjaveden laadussa ja analysoiduissa pitoisuuksissa ei ole havaittavissa suurta vaihtelua tarkkailujakson tai vuodenaikojen välillä (keskihajonta pieni).

7.4.2 Raajärven kaivosalueen pohjavedet

Raajärven kaivosalueen lähiympäristössä sijaitsee 7 pohjaveden havaintoputkea. Pohjavesiputkista 2 kpl (PVP3 ja PVP4) sijaitsee oletetun kalliokynnyksen / vedenjakajan länsipuolella, rikastushiekka-altailla ja 4 kpl (PVP1, PVP2, PVP6 ja PVP8) vedenjakajan itäpuolella, avolouhoksen ympärillä ja sivukivikasan 1.1 välittömässä läheisyydessä. Pohjavesiputki PVP9 sijaitsee vedenjakajalla, rikastushiekka-altaan 2.1 läheisyydessä (ks. kuvat 6-15 ja 6-16).

Taulukoissa 7-27, 7-28 ja 7-29 on esitetty Raajärven kaivosalueen pohjavesinäytteiden kenttämittausten ja laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 8 ja 11. Tulokset on esitetty erikseen rikastushiekka-altaiden putkien (vedenjakaja ja sen länsipuoli) sekä muiden putkien (vedenjakajan itäpuoli) osalta. Taulukossa näkyvässä keskiarvon ja keskihajonnan laskelmissa ei ole huomioitu asennuksen jälkeen tehtyä ensimmäistä näytteenottokierrosta (25.10.2022), jonka tuloksissa on havaittavissa kairauksen vaikutus.

Vedenjakajan länsipuoli

Rikastushiekka-altaiden pohjavesiputket PVP3, PVP4 ja PVP9 on asennettu 9...13 m syvyyteen maanpinnasta. Vedenjakajalla sijaitsevan putken PVP9 pohjavedenpinta on noin 3,5...4 m syvyydessä maanpinnan tasosta tasolla +191,51...192,17. Pohjaveden pinta tippuu merkittävästi putkissa PVP3 ja PVP4 ollen alemmassa putkessa PVP4 +172,42...173,34 mpy (n. 10...11 m maanpinnan tasosta). Pohjavesiputki PVP9 sijaitsee rikastushiekka-altaan 1.1 oletetulla selkeytysosalla. Putki on ollut näytteenottojen yhteydessä (5 kpl) hyväntoinen ja otetut vesinäytteet kirkkaita, eikä niissä ole havaittu poikkeavaa hajua. Pohjavesiputket PVP3 ja PVP4 sijaitsevat rikastushiekka-altaiden 2.1 ja 2.2 eteläpuoleisella patopenkereellä. Pohjavesiputken PVP3 läheisyydessä sijaitsee vanha kaatopaikka. Pohjavesiputket PVP3 ja PVP4 ovat olleet huonoantaisia ja putket on pääosin tyhjentynyt huuhtelupumppauksen / tyhjennyksen aikana. Otetut vesinäytteet ovat olleet sameita ja niissä on havaittu paikoin öljyn hajua.

Taulukko 7-27. Vedenjakajan länsipuoleiset pohjavesiputkien tulokset, metallien liukoiset pitoisuudet. Keskiarvo- ja keskihajonta leskennoissa ei ole huomioitu ensimmäistä näytteenottokierrosta.

Piteen nimi	Näyteotto	Hapen kyläystarve	Happipitoisuus	pH	Redox-potentiaali	Sähkönjohtavuus	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	Sb	As	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	S	Zn	Ti	U	V
	EQS	-	-	-	-	-	-	25	150	2,5	5	2	10	-	5	-	10	-	-	60	-	-	-
	Talouden veden laatuvaatimus						1,5			5	10		50	2000	10		20					30	
	Talouden veden laatusuositus			6,5...9,5		250										50		0,2					
		%	mg/l	mV	mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
PVP3	24.10.2022	32,8	4,4	6,76	218,7	48,08	<0,1	0,98	52	<0,20	<0,20	0,10	<0,50	2,3	<0,10	35	0,67	<0,01	16	1,1			0,67
RH 2.2	23.5.2023	76,1	9,8	6,96	166	32,48	<0,1	2,5	10	<0,2	<0,2	<0,1	<0,5	1,1	<0,1	3,3	0,34	<0,01	3,0	<1	<1	2,6	0,68
kaatopaikka	27.9.2023	50,1	6,2	6,87	183,3	38,37	<0,1	0,95	31	<0,2	<0,2	<0,10	<0,5	1,9	<0,1	9,5	0,57	<0,01	9,3	2,1			0,59
	30.5.2024	-	-	-	-	-	<0,1	0,78	14	<0,20	<0,20	<0,10	<0,05	1,3	<0,10		<0,20	<0,010	3,4	1,6			0,22
	30.9.2024	-	-	-	-	-	<0,1	0,83	40	<0,2	<0,2	<0,10	0,74	2,0	<0,1	1,6	0,47	<0,01	13	2,8			0,62
	keskiarvo	63	8,0	6,9	175	35	-	1,3	24	-	-	-	0,74	1,6	-	4,8	0,46	-	7,2	2,2	-	2,6	0,53
	keskihajonta	18	2,5	0,064	12	4,2	-	0,83	14	-	-	-	-	0,44	-	4,2	0,12	-	4,8	0,60	-	-	0,21
PVP4	25.10.2022	11	1,4	7,73	-411	44,06	0,42	2,8	7,9	0,55	0,58	0,33	<0,5	0,69	<0,1	980	4,3	0,017	2,8	<1			2,1
RH 2.2	23.5.2023	26,2	3,1	7,04	-33,3	54,9	0,23	1,4	13	<0,02	<0,2	1,0	<0,5	<0,5	<0,1	1100	14	<0,01	4,3	1,2	<1	0,78	<0,2
	27.9.2023	36,7	4,3	7,39	-21,6	275,6	0,16	1,1	1,6	0,21	<0,2	0,57	<0,5	<0,5	<0,1	1600	4,6	0,022	0,66	2,4			0,22
	30.5.2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16.7.2024	16,6	1,7	6,58	14,6	54,1	0,19	1,1	2,1	<0,20	<0,20	1,1	<0,50	<0,5	<0,1	2500	7,0	0,36	0,79	1,6			<0,20
	30.9.2024	-	-	-	-	-	0,12	1,1	1,7	<0,20	<0,20	<0,5	<0,5	<0,1	2100	7,4	0,16	0,67	3,1				3,1
	keskiarvo	27	3,0	7,0	-40,3	128	0,18	1,2	4,6	0,21	-	0,89	-	-	-	1825	8,3	0,18	1,6	2,1	-	0,78	1,7
	keskihajonta	10	1,3	0,41	25	128	0,047	0,15	5,6	-	-	0,28	-	-	-	608	4,0	0,17	1,8	0,85	-	-	2,0
PVP9	24.10.2022	60,6	7,7	6,82	220,1	42,91	<0,1	1,5	36	<0,20	<0,20	4,3	<0,50	0,94	<0,10	120	2,9	<0,01	11	2,9			0,41
RH	22.5.2023	91,1	11	6,48	174,4	23,54	<0,1	0,84	12	<0,20	<0,20	0,29	<0,5	0,55	<0,1	4,8	0,35	<0,01	3,8	1,6	<1	0,25	0,29
1.1	27.9.2023	72,1	8,5	6,71	186,5	42,16	<0,1	0,84	33	<0,2	<0,2	0,33	<0,5	0,77	<0,1	17	1,2	<0,01	9,6	4,6			0,37
	29.5.2024	88,3	11	6,53	213,9	28,86	<0,1	0,73	15	<0,20	<0,20	0,14	<0,50	0,62	<0,10	3,9	0,75	0,032	4,9	2,6			0,27
	30.9.2024	25	3,0	6,58	194,1	77,4	<0,1	0,82	120	<0,20	<0,20	0,27	<0,50	1,3	<0,10	5,3	0,82	0,024	40	2,2			0,55
	keskiarvo	69	8,3	6,6	192	138	-	0,81	45	-	-	0,26	-	0,81	-	7,8	0,78	0,028	15	2,8	-	0,25	0,37
	keskihajonta	31	3,7	0,099	17	191	-	0,053	51	-	-	0,082	-	0,34	-	6,2	0,35	0,0057	17	1,3	-	-	0,13

Tehdyissä YSI-kenttämittauksissa pohjavesi on ollut kaikissa rikastushiekka-altaiden putkissa vain lievästi hapanta tai neutraalia. Pohjavesiputkissa PVP3 ja PVP9 vesi on ollut hapekasta ja olosuhteet hapettavat. Putkessa PVP4 vesi on vähähappista ja olosuhteet pelkistävät (redox negatiivinen).

Pohjaveden fluoridi- ja kloridipitoisuudet ovat pääosin matalat. Pohjaveden sulfaatti- ja rikkipitoisuudet ovat pohjavesiputkissa PVP3 (SO₄ ka. 24 mg/l, S_{liuk} ka. 7,2 mg/l) ja PVP9 (SO₄ ka. 45 mg/l, S_{liuk} ka. 15 mg/l) selvästi korkeammat verrattaessa tuloksia esimerkiksi pohjaveden taustapitoisuuksiin (PVP12). Pohjavesiputkissa PVP4 sulfaatti- ja rikkipitoisuudet (SO₄ ka. 4,6 mg/l, S_{liuk} ka. 1,6 mg/l) ovat vain hieman taustapitoisuuksia korkeammat. Pohjavesien sulfaatti- ja rikkipitoisuuksissa on havaittavissa jonkin verran vaihtelua sulfaattipitoisuuksien ollessa keväällä maltillisemmat nouden syksyä kohti korkeammiksi. Pohjavedessä ei todettu rikkiä sulfidina. Pohjavesissä sinkkipitoisuuksissa ei havaittu samanlaista vaihtelua kuten pintavesissä (vrt. taulukko 7-22...7-25).

Rikastushiekka-altaiden pohjaveden liukoiset rautapitoisuudet ovat kaikkineen alhaiset. Rauta esiintyy vain osin liukoisena ja kokonaisraudan osuus on selvästi suurempi. Pohjaveden mangaanipitoisuudet ovat pohjavesiputkissa PVP3 (Mn_{liuk} ka. 4,8 µg/l) ja PVP9 (Mn_{liuk} ka. 7,8 µg/l) matalat, mutta pohjavesiputkissa PVP4 selvästi korkeammat (Mn_{liuk} ka. 1 825 µg/l) verrattuna putkiin PVP3 tai PVP9 tai taustapitoisuuksiin (PVP12). Pohjavesiputken PVP4 alueella pohjavedessä on pelkistävät olosuhteet, joka voi osin selittää korkeammat mangaanipitoisuudet. Myös rikastushiekka-altaiden alapuolisissa pintavesissä (tutkimuspisteet P6, P22) on todettu muuta kaivosaluetta korkeampia mangaanipitoisuuksia. Rikastushiekan tai muiden jätealueiden (sivukivi, pintamaa) alapuolisten vesien mangaanipitoisuuksissa ei ole merkittäviä eroja, mikä voisi selittää mangaanipitoisuuksien alueellisen vaihtelun. Mangaani on pääosin liukoisessa muodossa. Mangaanipitoisuudet ylittävät putkissa PVP4 talousveden laatusuositukset kaikilla näytteenottokierroksilla ja pohjavesiputkissa PVP9 ensimmäisellä näytteenottokerralla. Mangaani on neurotoksinen metalli. Sitä on pidetty juomavedestä saatuna vain vähän toksisena, mutta uudet tutkimustulokset viittaavat siihen, että se on haitallista erityisesti lapsille. Erityisesti herkimpiä väestöryhmiä (pikkulapset) koskevien tietopuutteiden vuoksi tulisi juomaveden

mangaanipitoisuuden alle 80 µg/l (Valvira 2024). Kaivos- ja rikastushiekka-alueen läheisyydessä ei ole talousvesikaivoja eikä pohjavesialueella ole vedenottamoita. Talousvesikaivojen tulokset on esitetty kappaleessa 7.4.5.

Rikastushiekka-altaiden pohjavesiputkissa pima-metallien pitoisuudet ovat pääosin alhaisia. Pohjavesiputkessa PVP4 todettiin yksittäinen korkeampi nikkelpitoisuus ja putkessa PVP9 kobolttipitoisuus, jotka ylittävät pohjaveden ympäristölaatonormit. Muilla näytteenottokerroilla yksittäiset pitoisuudet eivät ylittäneet vertailuarvoja kuten ei myöskään nikkelin tai kobolttin tarkkailujakson keskiarvopitoisuus. Pohjavesiputkessa PVP4 nikkelpitoisuus on kuitenkin kertaluokkia korkeampi (Ni_{liuk} ka. 8,3 µg/l) verrattaessa muihin rikastushiekka-altaiden putkiin (Ni_{liuk} ka. 0,46...0,78 µg/l), joissa nikkelin pitoisuudet ovat taustapitoisuuksien tasolla. Talousveden laatuvaatimukset nikkelin osalta keskiarvopitoisuuksia tarkastellessa alittuvat pohjavedessä. Koboltille ei ole talousveden laatuvaatimuksia tai WHO:lla juomaveden raja-arvoa.

Pohjaveden laadussa tai muissa pitoisuuksissa ei ole havaittavissa rikin ja sulfaatin lisäksi vuodenaikaisvaihtelua tai trendiä pitoisuuksien kehitymisessä.

Pohjavesiputkista PVP3 ja PVP4 sekä veden jakajan itäpuolen putkesta PVP8 analysoitiin öljyhiilivetyjen pitoisuuksia (taulukko 7-28). Öljyhiilivetyjä todettiin putkessa PVP3 ainoastaan asennuksen jälkeen ensimmäisellä näytteenottokierroksella ($C_{10}-C_{40}$ 0,03 mg/l), muutoin pitoisuudet putkissa oli alle laboratorion määritysrajojen. Pohjavesiputkessa PVP4 todettiin öljyhiilivetyjä niin ikään korkeimmillaan heti putken asennuksen jälkeen, jonka jälkeen pitoisuudet ovat madaltuneet. Viimeisellä näytteenottokierroksella pitoisuudet alittivat laboratorion määritysrajat. Pohjavesiputkessa PVP8 ei todettu öljyä. Suurimmaksi osaksi öljypitoisuudet olivat raskaita jakeita. On mahdollista, että todetut öljypitoisuudet ovat peräisin asennusrasvoista, joita käytetään kairakalustossa putkien asennuksien yhteydessä. Kokonaan ei voida kuitenkaan poissulkea mahdollisuutta, siitä että pitoisuudet voisivat olla peräisin esim. haudatuista / poltetuista öljyjätteistä (ks. kappale 6.6).

Taulukko 7-28. Pohjavesistä määritettyjen öljyhiilivetypitoisuuksien tulokset.

Piste	Ajankohta	C10-C21	C21-C40	C10-C40
		Keskit.	Raskaat	sum.
	EQS			0,05
		mg/l	mg/l	mg/l
PVP3	24.10.2022	<0,02	0,02	0,03
	23.5.2023	<0,02	<0,02	<0,02
	29.9.2023	<0,02	<0,02	<0,02
	4.10.2024	<0,02	<0,02	<0,02
PVP4	25.10.2022	0,34	2,6	3
	23.5.2023	<0,02	<0,02	0,02
	29.9.2023	0,6	0,05	0,65
	4.10.2024	<0,02	<0,02	<0,02
PVP8	24.10.2022	<0,02	<0,02	<0,02
	22.5.2023	<0,02	<0,02	<0,02

Vedenjakajan itäpuoli

Vedenjakajan itäpuolen pohjavesiputket PVP1, PVP2, PVP6 ja PVP8 (ks. kuva 6-15 ja 6-16) on asennettu 5...25 m syvyyteen maanpinnasta. Vedenjakajaa lähinnä sijaitsevan putken PVP2 pohjavedenpinta on noin 2 m syvyydessä maanpinnan tasosta tasolla +190,78...191,38. Pohjaveden pinta tippuu merkittävästi pohjoiseen ja itään mentäessä pohjaveden olleen alimmillaan

putkissa PVP1 ja PVP6 +177,30...177,68 mpy. Pohjavesiputki PVP2 sijaitsee sivukivikasan 2.1 itä/kaakkoispuolella. Putki PVP8 sivukivikasan 2.3 ja avolouhoksen välissä. Pohjavesiputki PVP6 sijaistee avolouhoksen kaakkoispuolella ja putki PVP1 avolouhoksen pohjoispuolella selvästi kaivosalueen ulkopuolella. Pohjavesiputkissa PVP1 ja PVP2 antoisuus on ollut heikko tai kohtalainen ja otetut näytteet ovat olleet sameita. Pohjavesiputket PVP6 ja PVP8 on puolestaan hyväntoimia ja otetut näytteet ovat olleet kirkkaita.

Taulukko 7-29. Vedenjakajan itäpuoleiset pohjavesiputkien tulokset, metallien liukoiset pitoisuudet. Keskiarvo- ja keskihajonta leskennoissa ei ole huomioitu ensimmäistä näytteenottokierrosta.

Pisteen nimi	Näytteenotto	Hapen kylläisyysaste	Happipitoisuus	pH	Redox-potentiaali	Sähkönjohtavuus	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	Sb	As	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	S	Zn	Ti	U	V
EQS	-	-	-	-	-	-	-	25	150	2,5	5	2	10	-	5	-	10	-	-	60	-	-	-
Talousveden laatuvaatimus							1,5			5	10		50	2000	10		20					30	
Talousveden laatusuositus			6,5...9,5			250										50		0,2					
		%	mg/l	mV	mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
PVP1	25.10.2022	101	13	7,33	236,4	6,05	0,15	1,1	4,8	0,26	<0,2	<0,1	<0,5	0,80	<0,1	4,7	0,54	0,025	1,6	1,1			1,9
avolouhos,	23.5.2023	93,1	12	6,96	148,7	6,25	<0,1	0,60	5,9	<0,2	<0,2	<0,10	<0,5	<0,5	<0,1	2,3	0,31	0,013	1,8	6,0	1,1	0,12	0,99
pohjoinen	27.9.2023	95,9	11	7,34	106,9	64,1	<0,1	<0,5	5,4	<0,2	<0,2	<0,10	<0,5	<0,5	<0,1	6,5	0,87	0,011	1,5	3,3			0,89
	30.5.2024	85,3	12	6,51	250,8	5,06	<0,1	<0,5	4,1	<0,20	<0,20	<0,10	<0,50	<0,50	<0,10	1,3	<0,20	<0,01	1,4	3,2			0,80
	30.9.2024	98,9	12	6,61	180,7	4,11	<0,1	<0,5	2,8	<0,20	<0,20	<0,10	<0,50	<0,50	<0,10	<1	<0,20	<0,01	0,78	3,5			0,91
	keskiarvo	93	12	6,9	145	20	-	0,60	4,6	-	-	-	-	-	-	3,4	0,59	0,012	1,4	4,0	1,1	0,12	0,90
	keskihajonta	5,8	0,49	0,38	37	29	-	-	1,4	-	-	-	-	-	-	2,8	0,40	0,0014	0,43	1,3	-	-	0,078
PVP2	24.10.2022	16	2,1	6,67	-	33,96	0,16	3,9	86	0,38	0,45	0,46	<0,50	0,92	<0,10	3200	2,2	<0,01	29	<1,0			0,60
sivukivikasa	23.5.2023	42,3	5,3	6,41	58,4	40,71	<0,1	0,94	120	<0,2	<0,2	9,0	<0,5	<0,5	<0,1	1100	6,4	0,24	37	22	<1	0,47	<0,2
1.2	27.9.2023	40,4	4,8	6,45	183,7	173	<0,1	0,74	110	<0,2	<0,2	8,1	<0,5	<0,5	<0,1	630	6,3	0,40	34	5,3			<0,2
	30.5.2024	2,6	0,35	6,41	186,7	38,64	<0,1	1,2	110	<0,20	<0,20	4,9	<0,50	<0,50	<0,10	670	2,9	<0,01	34	7,2			<0,20
	30.9.2024	20,5	2,5	6,04	204,3	23,47	<0,1	1,0	63	<0,20	<0,20	1,7	<0,5	0,53	<0,1	110	5,1	<0,01	20	6,1			0,59
	keskiarvo	26	3,3	6,3	158	69	-	0,97	101	-	-	5,9	-	0,53	-	628	5,2	0,32	31	10	-	0,47	0,59
	keskihajonta	19	2,3	0,19	67	70	-	0,19	26	-	-	3,3	-	-	-	405	1,6	0,11	7,6	7,9	-	-	-
PVP6	24.10.2022	26,3	3,4	6,95	-386	16	0,19	4,1	7,5	0,29	0,51	1,9	<0,50	<0,50	<0,10	420	5,6	<0,01	2,5	<1,0			0,43
avolouhos,	22.5.2023	42,9	5,2	6,51	11,9	14,99	<0,1	0,95	5,9	<0,20	<0,20	5,4	<0,56	<0,5	<0,1	410	7,4	0,076	1,7	18	<1	0,30	<0,2
etelä	9.10.2023	93,6	12	7,01	190	9,11	<0,1	0,79	4,7	<0,2	<0,2	3,1	<0,5	0,84	<0,1	290	5,5	0,025	1,5	78			0,33
	29.5.2024	5,5	0,74	6,18	204,2	11,92	<0,1	0,73	5,5	<0,20	<0,20	3,6	<0,50	1,5	<0,10	140	5,9	0,047	1,9	79			0,27
	30.9.2024	70,9	8,9	6,25	196,9	11,68	<0,1	0,80	5,5	<0,20	<0,20	3,5	<0,50	4,0	<0,10	130	5,9	<0,01	1,7	130			0,24
	keskiarvo	53	6,6	6,5	151	12	-	0,82	5,4	-	-	3,9	-	2,1	-	243	6,2	0,049	1,7	76	-	0,30	0,28
	keskihajonta	38	4,7	0,38	93	2,4	-	0,094	0,50	-	-	1,0	-	1,7	-	134	0,84	0,026	0,16	46	-	-	0,046
PVP8	24.10.2022	51,9	6,8	7,02	-190	40,68	<0,1	1,2	28	0,23	0,23	2,6	<0,50	0,76	<0,10	420	13	0,19	8,6	7,5			0,20
avolouhos,	22.5.2023	90	10	6,85	161,1	37,83	<0,1	0,86	27	<0,20	<0,20	0,46	<0,5	0,64	<0,1	15	2,6	<0,01	8,1	4,7	<1	2,4	0,29
länsi	27.9.2023	87	10	6,92	164,8	35,67	<0,1	0,73	25	<0,2	<0,2	0,23	<0,5	0,71	<0,1	6,4	2,9	<0,01	7,2	3,2			0,23
	29.5.2024	84,3	9,6	6,5	176,6	35,25	<0,1	0,79	25	<0,20	<0,20	0,16	0,60	0,81	<0,10	5,6	1,9	0,022	7,8	1,5			0,34
	30.9.2024	83,5	11	6,68	195,1	34,2	<0,1	0,82	23	<0,20	<0,20	0,13	<0,5	0,71	<0,1	3,0	2,2	<0,01	7,5	3,4			0,28
	keskiarvo	86	10	6,7	174	36	-	0,80	25	-	-	0,25	0,60	0,72	-	7,5	2,4	0,022	7,7	3,2	-	2,4	0,29
	keskihajonta	2,9	0,44	0,19	15	1,5	-	0,055	1,6	-	-	0,15	-	0,070	-	5,2	0,44	-	0,39	1,3	-	-	0,045

Tehdyissä YSI-kenttämittauksissa pohjavesi on ollut kaikissa vedenjakajan itäpuolen putkissa vain lievästi hapanta tai neutraalia. Pohjavesi on pääosin hapekasta ja olosuhteet hapettavat yksittäisiä näytteenottoja lukuunottamatta (mm. PVP2 ja PVP6, joissa happipitoisuudet on ollut paikoin matalat).

Pohjaveden fluoridi- ja kloridipitoisuudet ovat pääosin matalat. Pohjaveden sulfaatti- ja rikkipitoisuudet ovat koholla pohjavesiputkissa PVP2 (SO₄ ka. 101 mg/l, S_{liuk} ka. 31 mg/l) ja PVP8 (SO₄ ka. 25 mg/l, S_{liuk} ka. 7,7 mg/l) verrattaessa tuloksia esimerkiksi pohjaveden taustapitoisuuksiin (PVP12). Pohjavesiputkissa PVP1 ja PVP6 sulfaatti- ja rikkipitoisuudet (SO₄ ka. 4,6...5,4 mg/l, S_{liuk} ka. 1,4...1,7 mg/l) ovat vain hieman taustapitoisuuksia korkeammat. Putkien PVP2 ja PVP8 sulfaatti- ja rikkipitoisuudet vastaavat rikastushiekka-altaiden putkia PVP3 ja PVP9. Pohjavedessä ei todettu rikkiä sulfidina.

Itäpuolen pohjaveden liukoiset rautapitoisuudet ovat pääosin alaiset verrattuna taustapitoisuuksiin. Rauta esiintyy vain osin liukoisena ja kokonaisraudan osuus on selvästi suurempi. Pohjaveden mangaanipitoisuudet ovat pohjavesiputkissa PVP2 (Mn_{liuk} ka. 628 µg/l) ja PVP6 (Mn_{liuk} ka. 243 µg/l) koholla ja vastaavat pitoisuuksiltaan rikastushiekka-altaan putkea PVP4. Pohjavesiputkissa PVP1 ja PVP8 mangaanipitoisuudet ovat matalat. Mangaani on pääosin

liukoisessa muodossa. Mangaanipitoisuudet ylittävät putkissa PVP2 ja PVP6 kaikilla näytteenottokierroksilla sekä PVP8 ensimmäisellä näytteenottokierroksella talousveden laatusuosituksia. Mangaanipitoisuudet ovat laskeneet putkissa tarkkailun aikana.

Pima-metalleista pohjavedessä on todettu kohonneina pitoisuuksina kobolttia pohjavesiputkissa PVP2 (Co_{liuk} ka. 5,9 µg/l) ja putkessa PVP6 sekä kobolttia että sinkkiä (Co_{liuk} ka. 3,9 µg/l ja Zn_{liuk} ka. 76 µg/l). Pääosa yksittäisistä näytteenottojen pitoisuuksista sekä tarkkailujakson keskiarvopitoisuudet koboltin ja sinkin osalta putkissa PVP2 ja PVP6 ylittävät pohjaveden ympäristölaatumormin. Putkien läheisyydessä sijaitsevat jätealueet 1.1 (sivukivikasa) ja 3.3 (pintamaakasa). Ko. jätealueilla on todettu kynnysarvotason kobolttipitoisuuksia, jotka voivat osin selittää pohjavedessä todettuja kobolttipitoisuuksia. Kobolttipitoisuudet jätealueilla 1.1 ja 3.3 eivät kuitenkaan poikkea merkittävästi muista jätealueista ja ovat maltillisemmat verrattuna esimerkiksi rikastushiekkan kobolttipitoisuuksiin. Pohjavesiputkissa PVP1 ja PVP8 ei todettu kohonneita koboltti- tai sinkkipitoisuuksia. Muiden pima-metallien pitoisuudet olivat pääosin alaiset.

Pohjavesien metallipitoisuudet ovat tarkkailun aikana hieman laskeneet tai pysyneet samansuuruisina. Pitoisuuksissa ei ole havaittavissa vuodenaikaisvaihtelua.

7.4.3 Puron kaivosalueen pohjavesi

Puron kaivosalueelle asennettiin yksi pohjaveden havaintoputki (PVP5) (ks. kuva 6-15). Pohjavesiputki PVP5 sijaitsee puron avolouhoksen ja sivukivikasan 1.3 välisellä alueella. Pohjavesiputki on asennettu noin 5 m syvyyteen, jossa todettiin kallio / kivi. Putken vedenpinta on noin 2...2,5 m syvyydellä maanpinnan tasosta tasolla +191,59...192,17 mpy. Putki on huonoantoinen ja putki on tyhjentynyt näytteenottojen yhteydessä huuhtelupumppauksen / tyhjennyksen aikana. Näytteet putkesta on otettu pinnan tasaantumisen jälkeen pääosin huuhtelusta seuraavana päivänä. Putken vesi on ollut näytteenottojen yhteydessä (5 kpl) sameaa ja siinä on havaittu lievää rikin / suon hajua.

Taulukossa 7-30 on esitetty pohjavesinäytteen PVP5 kenttämittausten ja laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 8 ja 11.

Taulukko 7-30. Puron pohjavesinäytteiden (PVP5) tulokset kenttämittausten (YSI) sekä valittujen laatuparametrien ja liukoisten metallien osalta. Keskiarvo- ja keskihajonta leskennoissa ei ole huomioitu ensimmäistä näytteenottokierrosta.

Pisteen nimi	Näytteenotto	Hapen kylläisyysaste	Happipitoisuus	pH	Redox-potentiaali	Sähköjohtavuus	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	Sb	As	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	S	Zn	Ti	U	V
	EQS	-	-	-	-	-	-	25	150	2,5	5	2	10	-	5	-	10	-	-	60	-	-	-
	Talousveden laatuvaatimus						1,5			5	10		50	2000	10		20					30	
	Talousveden laatusuositus			6,5...9,5		250										50	0,2						
		%	mg/l		mV	mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
PVP5	25.10.2022	33	4,4	6,24	60	31,74	0,10	3,5	8,4	<0,2	0,26	0,74	0,67	<0,5	<0,1	310	7,0	3,2	3,0	11			0,59
	23.5.2023	31	3,1	6,27	67	47,39	0,13	2,2	1,3	<0,2	<0,2	0,21	0,55	<0,5	<0,1	530	1,1	8,0	0,51	17	<1	0,67	0,45
	27.9.2023	52,5	6,11	6,53	73	0,09	0,11	1,3	1,6	<0,2	<0,2	0,28	0,62	<0,5	<0,1	530	0,75	9,6	<0,5	15			0,42
	30.5.2024	5,5	0,74	6,1	94,1	42,47	0,15	0,85	1,8	<0,20	<0,20	0,26	<0,50	<0,50	<0,1	500	1,9	0,69	0,85	21			<0,20
	30.9.2024	22,4	2,78	6,06	125,7	35,28	0,13	0,66	0,60	<0,20	<0,20	0,26	0,87	<0,50	<0,1	450	1,5	14	0,85	21			<0,20
	keskiarvo	29	3,4	6,2	84	31	0,12	1,7	2,7	-	0,26	0,35	0,68	-	-	464	2,5	7,1	1,3	17	-	0,67	0,49
	keskihajonta	17	2,0	0,19	27	19	0,019	1,2	3,2	-	-	0,22	0,14	-	-	92	2,6	5,3	1,1	4,2	-	-	0,091

Tehdyissä YSI-kenttämittauksissa pohjavesiputken vesi on ollut lievästi hapanta (pH ka. 6,2) ja vähähappista (O₂ ka. 3,4 mg/l). Pohjavedessä on hapettavat olosuhteet.

Laboratoriotutkimuksissa pohjaveden fluoridi-, kloridi- ja sulfaattipitoisuudet ovat matalat. Puron pohjavesi on rauta- (Fe_{liuk} ka. 7,1 mg/l) ja mangaanipitoista (Mn_{liuk} ka. 464 $\mu\text{g/l}$) vastaavasti, kuten Puron avolouhoksen (P7) vesi. Pohjaveden pitoisuudet ovat avolouhokseen verrattuna maltillisemmat. Mangaani- ja rautapitoisuudet ovat taustapitoisuuksia korkeammat. Pohjaveden rikkipitoisuudet ovat alhaiset (S_{liuk} ka. 1,3 mg/l). Todettu rauta on vain osin liukoisessa muodossa, kun taas rikki- ja mangaani ovat pääosin liukoisessa muodossa. Korkeat kokonaisrautapitoisuudet johtuvat todennäköisesti vedessä olevasta kiintoaineesta (näytteet sameita).

Pohjaveden liuenneiden pima-metallien pitoisuudet ovat olleet pääosin matalat. Putkessa on todettu liukoisia pitoisuuksia selvästi korkeampina pitoisuuksina metallien (mm. Cu, Cr, Pb, Ni, V) kokonaispitoisuuksia, jotka todennäköisesti johtuvat vedessä olevasta kiintoaineesta.

Puron kaivosalueen pohjavesissä havaittiin vain pieninä pitoisuuksina kobolttia, nikkeliä, vanadiinia, joita on todettu kohonneina pitoisuuksina Puron sivukivissä (jätealue 1.3) otetuissa näytteissä. Sivukivissä todettua titaania ei myöskään pohjavedessä todettu. Puron pohjavedessä todettiin jonkin verran litiumia ja bariumia (2,5 $\mu\text{g/l}$ ja 120 $\mu\text{g/l}$).

Pohjaveden laadussa ei ole havaittavissa merkittävää vaihtelua laadussa tai pitoisuuksissa tarkkailujakson aikana tai vuodenaikojen välillä.

7.4.4 Leviäselän kaivosalueen pohjavesi

Leviäselän kaivosalueelle on asennettu 2 pohjaveden havaintoputkea (PVP10 ja PVP11) (ks. kuva 6-15). Pohjavesiputki PVP10 sijaitsee pintahiekkakasan 3.4 lounaispuolella, avolouhoksen luoteispuolella. Pohjavesiputki PVP11 sijaitsee pintahiekkakasan 3.4 ja avolouhoksen länsipuolella. Pohjavesiputket on asennettu 18...20 m syvyyteen. Putkien vedenpinta on noin 8...9,5 m syvyydellä maanpinnan tasosta tasolla +192,5...192,72 mpy. Pohjaveden pinta on hieman alempana putkessa PVP11. Molemmat putket ovat hyväntoimia ja otetut näytteet (3 kpl / putki) ovat olleet kirkkaita tai lievästi sameita. Pohjavesinäytteissä ei ole havaittu poikkeavaa hajua.

Taulukossa 7-31 on esitetty Leviäselän pohjavesinäytteiden (PVP10 ja PVP11) kenttämittausten ja laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 8 ja 11.

Taulukko 7-31. Leviäselän pohjavesinäytteiden (PVP10 ja PVP11) tulokset kenttämittausten (YSI) sekä valittujen laatuparametrien ja liukoisten metallien osalta.

Piteen nimi	Näyteotto	Häpen kyläysaste	Happipitoisuus	pH	Redox-potentiaali	Sähkönjohtavuus	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	Sb	As	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	S	Zn	Ti	U	V
	EQS	-	-	-	-	-	-	25	150	2,5	5	2	10	-	5	-	10	-	-	60	-	-	-
	Talousveden laatuvaatimus						1,5			5	10		50	2000	10		20					30	
	Talousveden laatusuositus			6,5...9,5		250										50		0,2					
		%	mg/l		mV	mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	mg/l	mg/l	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
PVP10	18.10.2022	79,2	10	6,42	193,4	4,81	<0,1	1,5	2,3	<0,2	<0,2	1,3	<0,5	0,58	<0,1	27	1,5	<0,01	0,78	1,7			<0,2
	23.5.2023	86,5	11	6,62	189	4,65	<0,1	1,6	2,5	<0,2	<0,2	0,11	<0,5	<0,5	<0,1	1,5	0,85	<0,01	0,72	<1	<1	<0,1	0,27
	27.9.2023	88,3	11	6,75	132,3	44,6	<0,1	1,4	2,5	<0,2	<0,2	0,12	<0,5	<0,5	<0,1	2,2	0,85	<0,01	0,86	1,6			0,31
	keskiarvo	85	11	6,6	172	18	-	1,5	2,4	-	-	0,51	-	0,58	-	10	1,1	-	0,79	1,7	-	-	0,29
	keskihajonta	4,8	0,27	0,17	34	23	-	0,10	0,12	-	-	0,68	-	-	-	15	0,38	-	0,070	0,071	-	-	0,028
PVP11	18.10.2022	64	8,3	6,9	240,3	5,28	<0,1	<0,5	1,5	<0,2	<0,2	0,32	<0,5	<0,5	<0,1	11	0,75	<0,01	0,49	<1,0			0,23
	23.5.2023	55,3	6,8	7,01	176	52,3	<0,1	<0,5	1,5	<0,2	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	1,3	0,69	<0,01	0,47	1,7			0,32
	27.9.2023	46,8	5,7	6,99	129,6	48	<0,1	<0,5	1,6	<0,2	<0,2	<0,1	<0,5	<0,5	<0,1	1,8	0,61	0,017	<0,5	1,8			0,28
	keskiarvo	55	6,9	7,0	182	35	-	-	1,5	-	-	0,32	-	-	-	4,7	0,68	0,017	0,48	1,8	-	-	0,28
	keskihajonta	8,6	1,3	0,059	56	26	-	-	0,058	-	-	-	-	-	-	5,5	0,070	-	0,014	0,071	-	-	0,045

Tehdyissä YSI-kenttämittauksissa pohjavesiputkien vesi on ollut lievästi hapanta tai neutraalia ja hapekasta. Pohjavedessä on hapettavat olosuhteet.

Pohjaveden liuenneiden pima-metallien, raudan, mangaanin ja rikin pitoisuudet ovat olleet pääosin matalat. Pohjavesi on ollut Leviäselässä tarkkailujakson aikana hyvin samanlaatuista, eikä pitoisuuksissa ole havaittavissa juuri vaihtelua (keskihajonta pieni).

7.4.5 Talousvesi

Taulukossa 7-32 on esitetty Raajärven kylän talousvesikaivoista otettujen näytteiden (Kaivo9, Kaivo18, kaivo25 ja kaivo34) kenttämittausten ja laboratorioanalyysien tulokset valittujen parametrien osalta. Laboratorioanalyysien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 9 ja 11.

Näytteet on otettu porakaivoista (kaivo9, kaivo15 ja kaivo34) asuinrakennusten hanasta ja betonirengaskaivosta suoraan kaivosta. Kaikki otetut talousvesinäytteet ovat olleet kirkkaita, eikä niissä ole havaittu poikkeavaa hajua.

Taulukko 7-32. Talousvesikaivojen 9, 18, 25 ja 34 keskeiset tulokset. Metallipitoisuudet ovat liukoisia pitoisuuksia.

Pisteen nimi	Näyteotto	Hapen kylläisyysaste	Happipitoisuus	pH	Redox-potentiaali	Sähköjohtavuus	Fluoridi	Kloridi	Sulfaatti	Sb	As	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	S	Se	Zn	Ti	U	V
	EQS	-	-	-	-	-	-	25	150	2,5	5	2	10	-	5	-	10	-	-	-	60	-	-	-
	Talousveden laatuvaatimus						1,5			5	10		50	2000	10		20		20				30	
	Talousveden laatusuositus			6,5...9,5		250										50		0,2						
		%	mg/l	mg/l	mV	mS/m	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Kaivo9	18.10.2022	49,7	6,0	7,67	260,5	35,92	0,15	21	87	<0,2	<0,2	<0,1	<0,5	3,4	<0,1	<1,0	<0,2	<0,01	27		13			1,2
	22.5.2023	38,3	4,7	7,83	138,9	25,38	0,13	15	59	<0,2	<0,2	0,11	<0,5	4,5	<0,1	<1	0,54	<0,1	18	0,55	23	<1	9,2	1,3
	9.10.2023	44,5	5,3	7,88	184,6	35,8	0,13	19	80	<0,2	<0,2	<0,1	<0,5	3,2	<0,1	<1	<0,2	<0,01	25		34			1,3
	30.5.2024	51,5	6,6	7,88	136,9	36,9	0,13	21	88	<0,20	<0,20	<0,10	<0,50	12	<0,10	2,6	<0,20	<0,01	26		18			0,77
	30.9.2024	45,1	5,4	7,25	172,6	43,29	0,14	27	110	<0,20	<0,20	<0,10	<0,50	4,8	0,12	3,5	<0,20	<0,01	38		26			1,2
	keskiarvo	46	5,6	7,7	179	35	0,14	21	85	-	-	0,11	-	5,6	0,12	3,1	0,54	-	27	0,55	23	-	9,2	1,2
	keskihajonta	5,2	0,74	0,27	50	6,4	0,0089	4,3	18	-	-	-	-	3,7	-	0,64	-	-	7,2	-	8,0	-	-	0,22
Kaivo18	18.10.2022	47,2	6,2	6,51	257	6,28	<0,1	<0,5	3,6	<0,2	<0,2	<0,1	<0,5	19	0,31	<1,0	<0,2	<0,01	1,2		18			0,20
	1.6.2023						<0,1	<0,5	2,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,5	25	0,25	1,3	<0,2	<0,01	0,59	<0,2	19	<1	<0,1	0,29
	9.10.2023	87 %	11	6,8	189	7,0	<0,1	<0,5	3,5	<0,2	<0,2	<0,1	<0,5	38	0,38	<1	<0,2	<0,01	1,1		43			0,27
	30.5.2024	76 %	8,1	6,8	153	7,1	<0,1	<0,5	3,2	<0,20	<0,20	<0,10	<0,50	28	0,17	2,0	<0,20	<0,01	1,4		28			<0,20
	30.9.2024	79 %	9,8	6,6	180	6,5	<0,1	0,54	4,1	<0,20	<0,20	<0,10	<0,50	20	0,23	3,0	<0,20	<0,01	1,3		30			0,30
	keskiarvo	12	8,7	6,7	195	6,7	-	0,54	3,3	-	-	-	-	26	0,27	2,1	-	-	1,1	-	28	-	-	0,27
	keskihajonta	23	2,0	0,12	44	0,39	-	-	0,70	-	-	-	-	7,6	0,080	0,85	-	-	0,32	-	10	-	-	0,045
Kaivo25	18.10.2022	51,7	6,6	8,04	241,4	29,1	0,15	14	85	<0,2	<0,2	<0,1	<0,5	3,6	<0,1	<1,0	<0,2	<0,01	27		16			1,6
	1.6.2023						0,14	13	78	<0,2	<0,2	<0,1	0,50	4,0	<0,1	<1	<0,2	<0,01	22	0,61	4,8	<1	6,3	1,5
	9.10.2023	70,1	8,6	8,13	152,7	28,55	0,16	12	74	<0,2	<0,2	<0,1	0,90	2,9	<0,1	<1	<0,2	<0,01	23		25			1,7
	30.5.2024	53,5	6,5	8,08	128	27,97	0,15	12	75	<0,20	<0,20	<0,10	<0,50	1,9	<0,10	<1,0	<0,20	<0,01	22		8,4			1,3
	30.9.2024	77,7	9,6	7,21	167,4	27,93	0,16	12	73	<0,20	<0,20	<0,10	0,57	4,9	0,10	5,0	<0,2	<0,01	23		29			1,7
	keskiarvo	63	7,8	7,9	172	28	0,15	13	77	-	-	-	0,66	3,5	0,10	5,0	-	-	2,3	0,61	17	-	6,3	1,6
	keskihajonta	13	1,5	0,44	49	0,55	0,0084	0,89	4,8	-	-	-	0,21	1,1	-	-	-	-	2,1	-	10	-	-	0,17
Kaivo34	30.9.2024	102	12	6,5	187	4,8	<0,1	0,79	4,6	<0,20	<0,20	<0,10	<0,5	31	0,12	1,2	0,25	<0,01	1,4		96			0,42

Kaivoista analysoidut metallipitoisuudet olivat alhaisia, eikä niissä todettu talousveden laatuvaatimukset ylittäviä metallipitoisuuksia. Myös mangaanin pitoisuudet ovat alhaisia.

Sinkkipitoisuus 96 µg/l ylitti pohjaveden ympäristölaatuunormin (60 µg/l) kaivossa 34. Pohjaveden ympäristölaatuunormin ylitys ei kuitenkaan aiheuta terveydellisiä vaikutuksia. Yleisesti sinkistä ei aiheudu terveydellistä haittaa juomavesistä todetuista pitoisuustasoista. Talousvedessä sinkin makukynnys on noin 3 000 µg/l ja se aiheuttaa opaalista sameutta. WHO:n suositus sinkin maksimipitoisuudelle talousvedessä on 3 000 µg/l.

Kloridipitoisuus 27 mg/l ylitti pohjaveden ympäristölaatuunormin (25 mg/l) kaivossa 9 viimeisen näytekierroksen näytteessä. Klorideilla ei tiedetä olevan haitallisia terveysvaikutuksia, mutta ne aiheuttavat makua veteen 200–300 mg/l pitoisuuksina. Kloridin laatuvaatimus talousvedelle on alle

250 mg/l, mikä perustuu arvioituun makukynnykseen. Kloridi lisää veden korroosiovaikutusta, jos pitoisuus on kymmeniä milligrammoja litrassa. Korroosio-ongelmien välttämiseksi on kuitenkin pyrittävä selvästi pienempään kloridipitoisuuteen. Kloridipitoisuuden tulisi olla vähemmän kuin 25 mg/l, elleivät veden muut ominaisuudet vähennä kloridin haitallista vaikutusta. (Valvira 2024)

7.5 Sedimentti

Sedimenttinäytteiden tulokset on esitetty taulukossa 7-33, liitteessä 10 ja sijainnit kuvassa 6-17.

Taulukko 7-33. Sedimenttinäytteiden tulokset.

Pisteiden nimi	Syvyys	Maalaji arvio	Herkkyyshavio	Kulva-aines	pH	As	Ca	Co	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Fe	S	Zn	U	V	
						Sedimentin EQS													
						5	-	20	100	100	60	-	50	-	-	200	-	100	
						alempi ohjearvo	50	-	100	200	150	200	-	100	-	-	250	-	150
						ylempi ohjearvo	100	-	250	300	200	750	-	150	-	-	400	-	250
			%	%		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
Raa_Sed1	0-0,1	Sed	13 %	32%	6,6	<1	2300	2,9	8,2	10	3,2	80	4,7	7400	2500	15	1,8	15	
Raa_Sed2	0-0,1	Sed	8,7 %	25%	6,4	6,5	9200	18	39	11	6,8	230	31	33000	1200	47	5,3	130	
	0,1-0,3	Savi	5,7 %	59%	7,5	6,3	16000	21	42	18	6,6	430	34	34000	<500	47	7,5	130	
Raa_Sed3	0-0,1	Sed/ Sa	5,7 %	54%	6,8	5,3	10000	21	43	19	7,8	310	33	36000	<500	50	6,6	120	
	0,1-0,3	Savi	5,7 %	62%	7,4	5,2	13000	22	43	19	7,5	360	35	35000	<500	49	6,9	110	
Raa_Sed4	0-0,1	ljTv	16 %	35%	6,6	1,6	6000	6,8	23	13	9,9	200	9,0	22000	1600	37	3,4	50	
	0,1-0,3	Tv	20 %	36%	6,5	1,8	4700	6,4	21	9,4	12	140	7,6	21000	2100	25	5,1	55	
Raa_Sed5	0-0,1	Sed	6,0 %	55%	6,1	<1	3400	15	32	26	3,8	120	44	24000	780	17	3,7	66	
	0,1-0,3	Sed	31 %	27%	6,1	<1	4700	5,6	32	45	4,1	77	15	12000	2900	9,2	8,3	53	

Rikastushiekka-altaiden vesialtaista otetuissa sedimenttinäytteissä Raa_sed2 ja Raa_sed3 todettiin arseenia, kobolttia, sinkkiä ja vanadiinia. Todetut metallien pitoisuudet ylittävät VNa 214/2007 mukaisen kynnysarvotason (As, Co, V) tai sedimentin EQS-arvon (Zn). Metallipitoisuuksia todettiin sekä pintasedimentissä, että sedimentin alla todetussa savikerroksessa. Rikastushiekka-altaiden sedimenteissä todettiin myös muualta otettuihin sedimenttinäytteisiin verrattaessa korkeampia rauta- ja mangaanipitoisuuksia. Rikkipitoisuudet olivat alhaiset. Rikastushiekka-altaiden sedimentti oli pintakerroksista lievästi hapanta ja syvemältä neutraalia. Todetut metallien pitoisuudet vastaavat rikastushiekasta otettujen näytteiden tuloksia ja oletettavasti sedimenttinäytteet sisältävät myös rikastushiekkaa. Rikastushiekanäytteiden tuloksia on käsitelty tarkemmin kappaleessa 6.5.2.

Sivukivikasan 1.1 alapuolelta ojasta otetun sedimenttinäytteen (Raa_sed1) rauta-, mangaani- ja pima-metallien pitoisuudet olivat alhaiset. Rikkipitoisuudet olivat hieman koholla. Samasta uomasta otetussa pintavesinäytteissä on todettu kohonneita rikki- ja sulfaattipitoisuuksia (kpl 7.4.2).

Raa'aojan pintavesiuomasta (Raajärven kaivosalueen poistuva kuormitus) (Raa_sed4) sekä Puron kaivosalueen alapuolisesta pintavesiuomasta (Raa_sed5) otetuissa sedimenttinäytteissä rauta- ja rikkipitoisuudet olivat hieman korkeammat kuin sivukivikasan pisteessä (Raa_sed1). Sedimentit olivat lievästi happamia. Puron sedimenttinäytteessä todettiin EQS-arvon ylittävä kuparipitoisuus 0,1-0,3 m syvyydeltä otetussa sedimentissä. Samasta uomasta otetussa vesinäytteessä (P8) todettiin myös syksyn näytekierroksella kohonnut kuparipitoisuus (kpl 7.3.3.).

Lähtevien uomien sedimenttipisteiden (Raa_Sed4 ja Raa_sed5) metallipitoisuudet vastaavat alueen maaperän taustapitoisuuksia (SSTP, kappale 7.1.2) niiltä osin kuin taustapitoisuuksia on saatavilla. Siten metallien kuormitusta alueen ulkopuolelle ei ole sedimenttinäytteiden perusteella todettavissa.

7.6 Jätemateriaalin uudelleen hyödyntäminen

Jätemateriaalien uudelleen hyödyntämiseksi tehtäviä analyyseja, kuten liukoisuustestauksia ei näissä seurantavaiheen tutkimuksissa tehty. Kaivannaisjätteistä näytteistä on tehty Eurofinsin laaja alkuainepaketti (60 alkuainetta), jossa tehty hyvin alustava määrittys alueen metalleista (liite 5).

7.7 Tutkimustulosten yhteenveto

Kaivannaisjätteet

Raajärven ja Puron alueella **sivukiviä** arvioidaan olevan yht. 1,12 Mt. Sivukivet luokitellaan tutkituilta osin potentiaalisesti ei happoa muodostaviksi. Sivukiviä ei kuitenkaan luokitella pysyväksi kaivannaisjätteeksi niiden metallipitoisuuksien vuoksi. Sen sijaan yhden näytteen tutkimusten perusteella murske luokiteltiin pysyväksi kaivannaisjätteeksi. Tietoa tai arviota siitä, että miksi murskattavaksi päätynyt sivukivi poikkeaa metallipitoisuuksiltaan muusta sivukivestä ei ole. On mahdollista, että ulkonäöltään tietynlaista kiveä on alettu murskaamaan, koska sen on arvioitu olevan muista poikkeavaa myös laadultaan/kestävyydeltään. Mursketta on tutkittu vain yksi näyte.

Raajärvellä **rikastushiekkaa** arvioidaan muodostuneen aikoinaan n. 3 Mt. Nykyisin altaiden sisältämän rikastushiekan määrää on vaikea arvioida, sillä tarkkaa tietoa altaan pohjan koroista tai toisin sanoen rikastushiekkakerroksien paksuudesta altaissa ei ole käytettävissä. Arvion mukaan rikastushiekkaa altailla olisi noin 1,64 Mt. Rikastushiekka-altaan 2.1 pohjan rikastushiekka luokitellaan koekuoppänäytteiden kokooman sulfidipitoisuuden perusteella todennäköisesti happoa muodostavaksi. Muut analysoidut rikastushiekkänäytteet 2.1 altaan pintanäyte sekä altaan 2.2 pinta- ja pohjanäytteet luokitellaan tutkituilta osin potentiaalisesti ei happoa muodostaviksi. Kaikkien analysoitujen rikastushiekkänäytteiden metallipitoisuuksien ylittäessä kynnysarvotason ei Raajärven rikastushiekkaa luokitella tutkituilta osin pysyväksi kaivannaisjätteeksi.

Pintamaan läjitysalueilla 3.1–3.5 arvioidaan olevan noin 500 000 tn pintamaata. Analysoiduissa näytteissä ei todettu yli Vna 214/2007 kynnysarvotason pitoisuuksina analysoitujen metallien osalta. Metallipitoisuuksien alittaessa kynnysarvotason pintamaa luokitellaan analysoitujen pysyväksi kaivannaisjätteeksi. Näytteistä ei ole analysoitu rikkiä, mutta näytteiden pH:t olivat lievästi happamia tai lievästi emäksisiä.

Raajärven ja Puron sivukivi- ja rikastushiekka-alueiden haitta-aineiden laskennallinen kokonaismääräarvio on esitetty taulukossa 7-34. Arvio on laskettu Vna 214/2007 kynnysarvot ylittävien metallien sivukivialueittaisten/rikastushiekka-alueen keskiarvopitoisuuksien ja ko. sivukiven/ rikastushiekan kokonaismäärien perusteella.

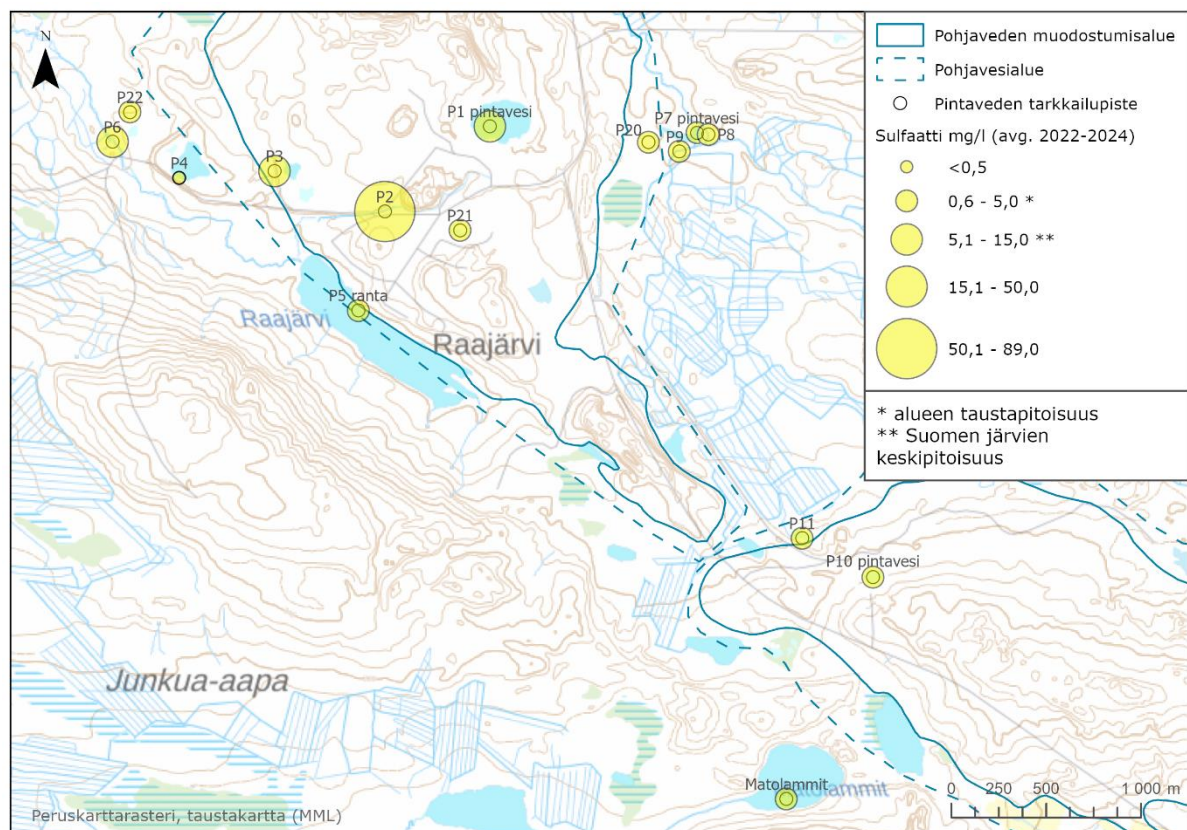
Taulukko 7-34. Raajärven ja Puron Vna 214/2007 kynnys- ja ohjearvojen ylittäneiden metallien kokonaismääräarviot sivukivissä ja rikastushiekassa.

	Arseeni tn	Koboltti tn	Kupari tn	Nikkeli tn	Vanadiini tn
Sivukivialueet	1,3	25	-	2,0	260
Rikastushiekka-alue	15	130	110	-	300
yht.	16,3	155	110	2,0	560

Asbestimineraaleja esiintyy kaikissa analysoiduissa sivukivi- ja rikastushiekkänäytteissä. Siten pintamaan pölytessä kuivana aikana ihmiset voivat altistua mahdollisesti pölyämisen seurauksena asbestille.

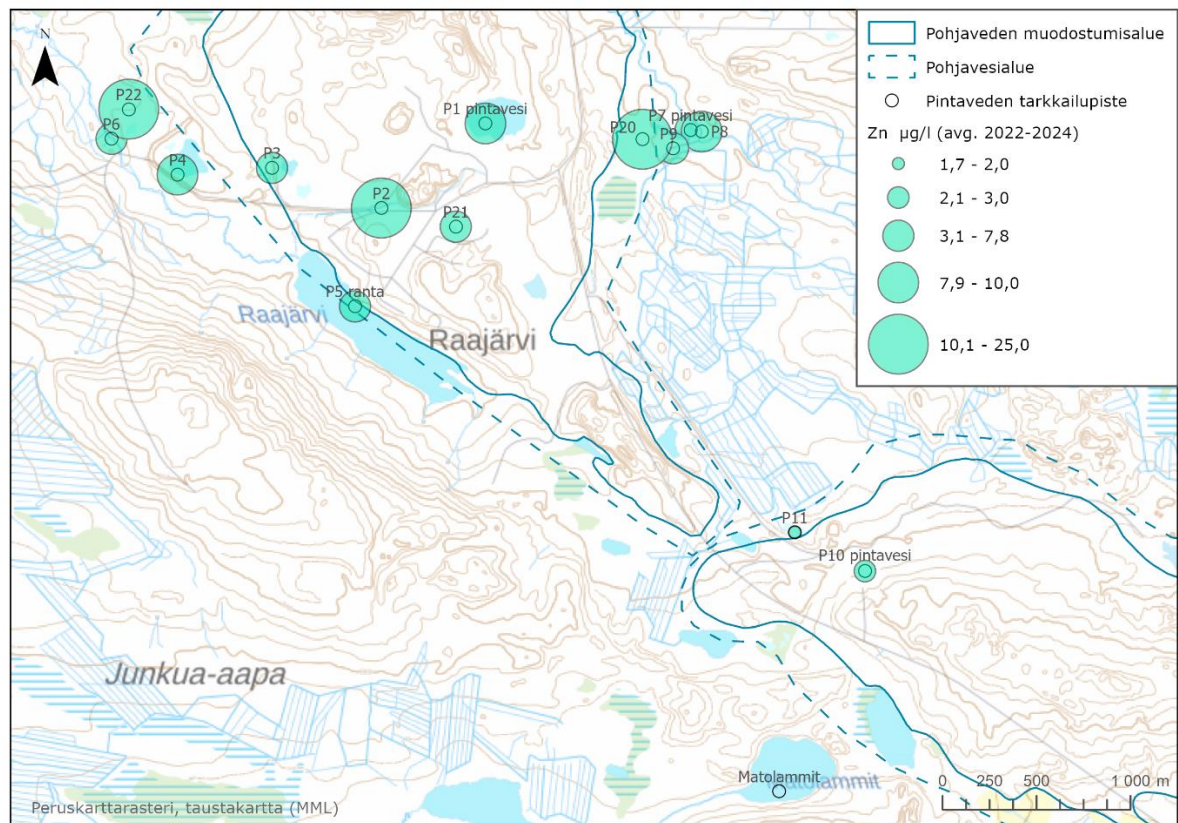
Pintavedet

Raajärven kaivosalueen pintavedet ovat laadultaan hieman happamia tai neutraaleja. Ainoastaan rikastushiekka-altaiden pintavesi on hieman emäksistä. Pintavedet ovat paikoin rautapitoisia, mutta pääosin rautapitoisuudet ovat normaalien humuspintavesien tasolla tai hieman yli. Rautapitoisuuksissa on paikoin havaittavissa rautakaivoksen vaikutus ja/tai alueen kallioperä. Pintavesien sulfaatti- ja rikki- pitoisuudet ovat selvästi koholla Raajärven sivukivikasan 1.2 alapuolisessa suotovedessä, jossa pitoisuudet olivat moninkertaiset muihin kaivosalueen pintavesiin verrattuna (kuva 7-9). Muualla sulfaattipitoisuudet vastaavat taustapitoisuuksia ja Suomen pintavesien keskimääräistä sulfaattipitoisuutta.



Kuva 7-9. Pintavesien sulfaattipitoisuudet.

Raajärven kaivosalueella (Raajärvi, Puro, Leviäselkä) todettiin laajalti lievästi kohonneina pitoisuuksina liukoista sinkkiä sinkkipitoisuuksien ollessa pintavesille asetetun yleisen vertailuarvon tasossa tai hieman yli (kuva 7-10). Suurimmat sinkkipitoisuudet todettiin Raajärven sivukivikasan 1.1 sekä Puron sivukivikasan 1.2 alapuolisissa pintavesissä. Sinkkipitoisuuksissa on havaittavissa paikoin vaihtelua (keskihajonta suuri) ja sinkkipitoisuudet ovat olleet jonkin verran korkeammat syksyn näytteenottokierroksilla, etenkin syksyllä 2024. Yleisesti myös muut metallipitoisuudet olivat korkeampia syksyn 2024 näytteenottokierroksella, johon on voinut vaikuttaa aiempia tarkkailuvuosia sateisempi kesä.



Kuva 7-10. Pintavesien sinkkipitoisuudet.

Pintavesien metallipitoisuudet olivat sinkkiä lukuun ottamatta pääosin alhaiset. Puron avolouhoksessa todettiin kohonneita kobolttin, kromin ja vanadiinin pitoisuuksia avolouhoksen väli- ja alusvedessä. Raajärven avolouhoksen alusvedessä todettiin kohonneita vanadiinin pitoisuuksia. Ko. metalleja ei todettu kuitenkaan merkittävästi Raajärven tai Puron pintavesissä tai kaivosalueiden alapuolisissa pintavesiuomissa. Rikin, sulfaatin ja sinkin osalta on osassa pintavesipisteistä havaittavissa mahdollista vuodenaikaisvaihtelua. Muilta osin vesinäytteissä vuodenaikaisvaihtelua ei juurikaan ole näkyvissä ja keskihajonnan perusteella vaihtelu on varsin vähäistä. Pintavesien pitoisuudet valittujen muuttujien (Co, Cu, Mn, Ni, Fe, Zn, SO₄, V) osalta on esitetty piirustuksissa 5A-5H.

Raajärven ja Puron kaivosalueelta lähtevää metallikuormitusta on arvioitu laskennallisesti raudan sekä niiden metallien osalta, jotka ylittävät joillakin jätealueista VNa 214/2007 mukaiset kynnsarvot. Raajärveltä lähtevässä vedessä vanadiini-, koboltti-, kromi- ja nikkelpitoisuudet eivät poikenneet taustapitoisuuksista tai niiden pitoisuudet eivät ylittäneet määritysrajaa, joten kuormitusta ei niiden osalta laskettu. Arseenipitoisuus ei ylittänyt määritysrajaa Raajärven tai Puron lähtevässä näytepisteessä, joten myöskään arseenikuormitusta ei laskettu. Karkea kuormitusarvio on laskettu laskennallisten keskivirtaamien ja pisteiden P6 ja P8 keskimääräisten metallipitoisuuksien perusteella. Pitoisuuksista on vähennetty taustapitoisuus (P11) ennen laskentaa. Tulokset on esitetty taulukossa 7-35.

Taulukko 7-35. Raajärven ja Puron Vna 214/2007 kynnys- ja ohjearvojen ylittäneiden metallien kuormitusarviot.

	Rauta kg/a	Vanadiini kg/a	Kupari kg/a	Koboltti kg/a	Kromi kg/a	Nikkeli kg/a	Sinkki kg/a
P6 Raajärvi	900	-	3	-	-	-	4
P8 Puro	1 900	2	16	1,0	2	2	25

Karkean kuormituslaskennan perusteella Puron satelliittikaivokselta lähtevä kuormitus on suurempaa kuin Raajärven kaivokselta lähtevä kuormitus. Kuormituslaskentaan liittyy epävarmuuksia, sillä virtaamamittauksia ei ole tehty. Tulokset ovat suuntaa antavia ja vertailukelpoisia kuormituspisteiden välillä.

Nykytilassa metalleja ei merkittävästi todeta lähteneen liikkeelle pintavesiin, vaikka toiminnan alkamisesta on yli 60 vuotta aikaa.

Sedimentit

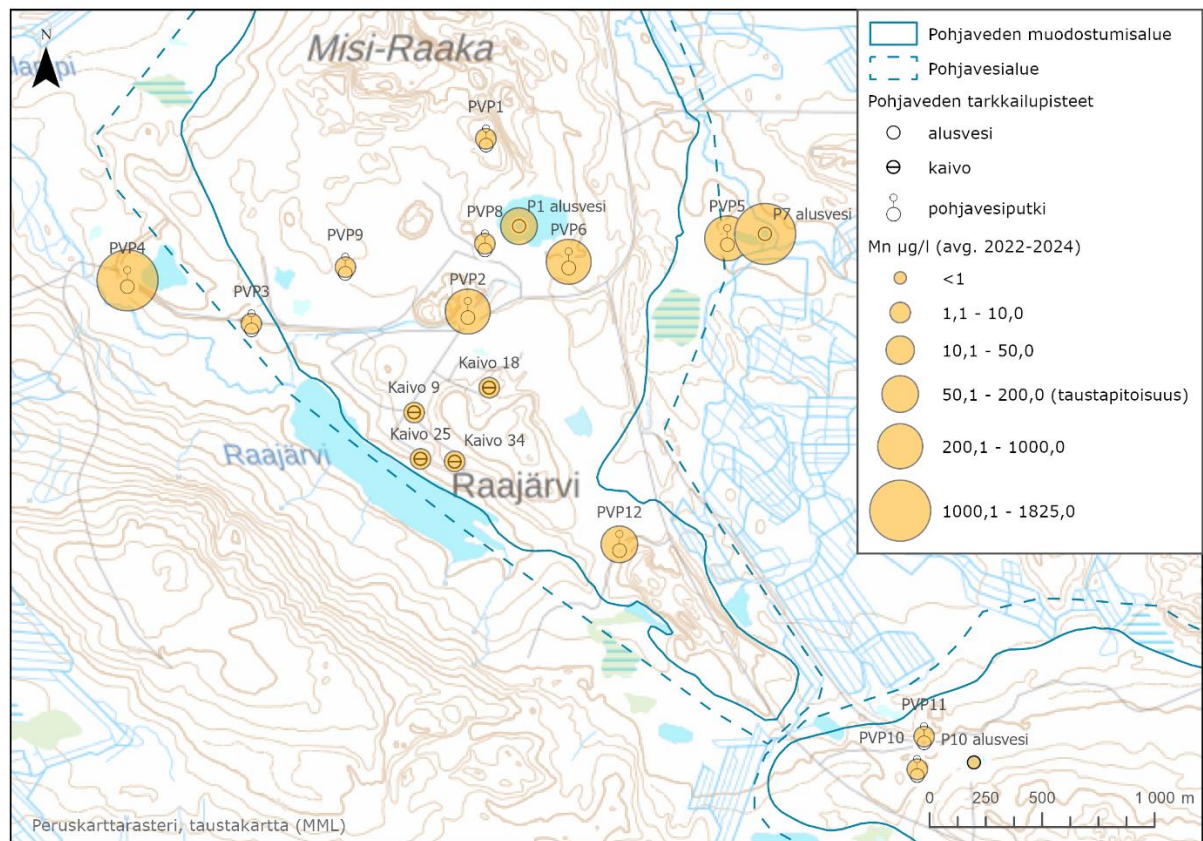
Rikastushiekka-altaiden vesialtaista otetuissa sedimenttinäytteissä todettiin arseenia, kobolttia, sinkkiä ja vanadiinia. Todetut metallien pitoisuudet vastaavat rikastushiekasta otettujen näytteiden tuloksia ja oletettavasti näytteet sisältävät myös rikastushiekkaa.

Raajärveltä ja Purosta lähtevien pintavesiuomien sedimenttipisteiden metallipitoisuudet vastaavat alueen maaperän taustapitoisuuksia niiltä osin kuin taustapitoisuuksia on saatavilla. Siten metallien kuormitusta alueen ulkopuolelle ei ole sedimenttinäytteiden perusteella todettavissa.

Pohjavedet ja kaivovedet

Raajärven kaivosalue sijaitsee luode-kaakko suuntainen kalliokynnys, joka on myös vedenjakaja. Kalliokynnys sijaitsee Raajärven kaivosalueella rikastushiekka-altaiden ja avolouhoksen välillä. Pohjavesi virtaa tehtyjen tutkimusten perusteella vedenjakajan länsipuolella (rikastushiekka-alue) länteen / luoteeseen ja vedenjakajan itäpuolella (muu Raajärven kaivosalue ja Puro) itään / pohjoiseen. Käytöstä poistettu vedenottamo sijaistaa pohjavesialueen pohjoisosassa.

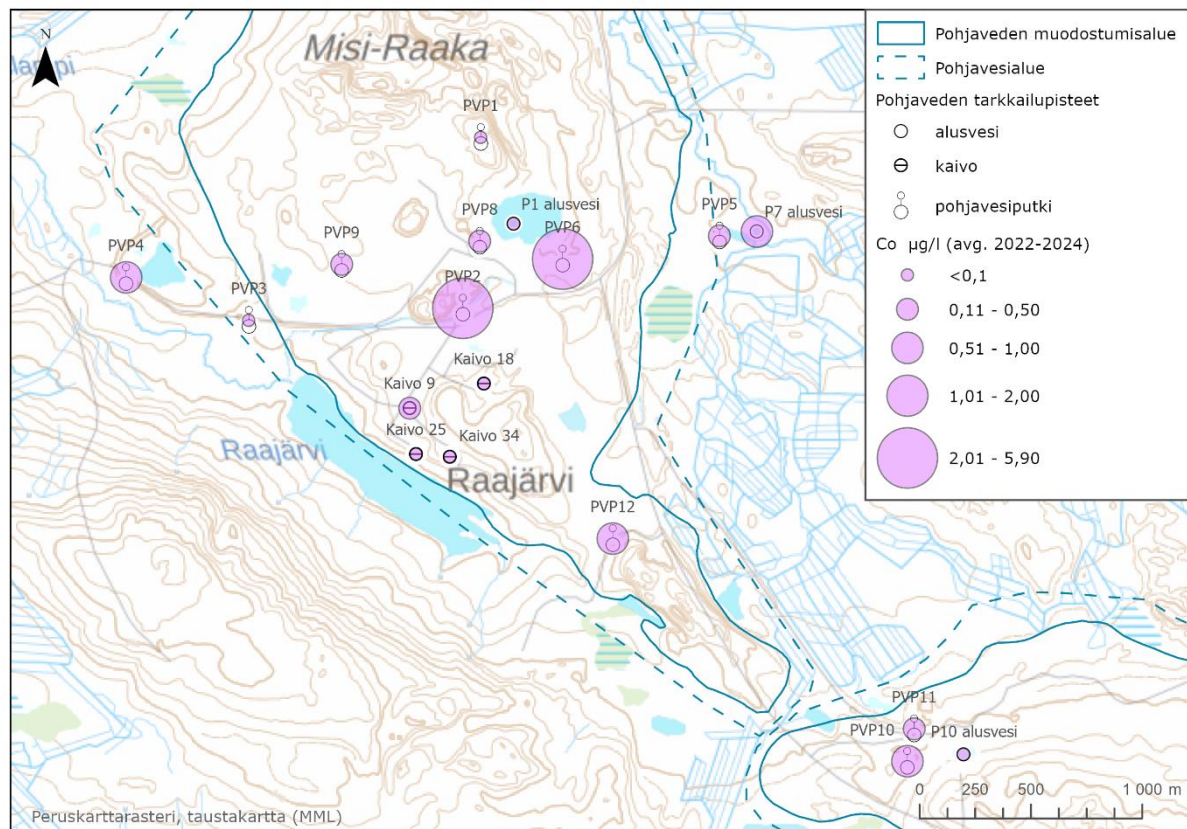
Raajärven alueen pohjavesi on luonnostaan rauta- ja mangaanipitoista (taustapitoisuus). Taustapitoisuuksia selvästi korkeampia mangaani- ja rautapitoisuuksia todettiin Puron alueen pohjavedessä ja Puron avolouhoksen väli- ja alusvedessä sekä Raajärven rikastushiekka-altaan 2.2 pohjavesiputkessa (PVP4). Todetut rauta- ja mangaanipitoisuudet ylittävät talousveden laatusuosituksia. Muualla kaivoalueen pohjavesissä ei todettu kohonneita rauta- ja mangaanipitoisuuksia. Pohjavesien mangaanipitoisuudet on esitetty kuvassa 7-11 sekä piirustuksessa 6C.



Kuva 7-11. Pohjaveden sekä avolouhosten alusveden mangaanipitoisuudet.

Raajärven kaivosalueella todettiin paikoin taustapitoisuuksia sekä Puron ja Leviäselän kaivosalueita korkeampia sulfaattipitoisuuksia, mutta todetut sulfaattipitoisuudet arvioidaan maltillisiksi eivätkä ne ylitä pohjavesien ympäristölaatunormia sulfaatin osalta. Sulfaatin pitoisuudet vaihtelevat vuodenaikojen mukaan ollen korkeampia syksyisin. Sulfaatin esiintyminen pohjavesissä on esitetty piirustuksessa 6G.

Raajärven sivukivikasan 1.1 lähellä (PVP2) sekä Raajärven avolouhoksen eteläpuolella (PVP6) pohjavedessä todettiin kohonneita liukoisen koboltin ja sinkin pitoisuuksia. Pitoisuudet ylittävät paikoin pohjaveden ympäristölaatunormit. Kohonneita metallipitoisuuksia ei todettu muualla kaivosalueiden pohjavesissä. Pohjavesien kobolttipitoisuudet on esitetty kuvassa 7-12 sekä piirustuksessa 6A.



Kuva 7-12. Pohjaveden sekä avolouhosten alusveden kobolttipitoisuudet.

Leviäselän pohjavesiputkissa ei havaittu talousveden laatuvaatimuksien tai suosituksen poikkeamia tai pohjaveden ympäristön laatu normin ylityksiä. Leviäselän kaivoksella ei arvioida olevat kuormitusta pohjaveteen. Leviäselän pohjavesialueella ei ole vedenottamoa.

Pohjavesien pitoisuudet valittujen muuttujien (Co, Cu, Mn, Ni, Fe, Zn, SO₄, V) osalta on esitetty piirustuksissa 6A-6H.

Kaivovesistä ei todettu tutkituilta osin talousveden laatuvaatimuksista ja -suosituksista poikkeavia pitoisuuksia lukuun ottamatta yhtä kloridipitoisuutta kaivossa 9. Kloridipitoisuuden ylitys ei aiheuta terveydellistä haittaa, vaan voi aiheuttaa korroosiohaittaa vesijärjestelmiin. Myöskään Raajärven ja Puron pohjavesissä paikoin havaitut korkeat mangaanipitoisuudet eivät olleet koholla talousvesikaivoissa.

Maaperä

Seurantavaiheessa ei tutkittu varsinaisesti kaivosalueen maaperän tilaa kaivostoiminnan jäljiltä yleisesti, vaan päähuomio oli kaivannaisjätteissä ja niiden vaikutuksissa ympäröiviin vesiin.

Maastokatselmuksessa kaivoksen öljysäiliöiden alue ja vanha kaatopaikka tunnistettiin maaperän pilaantuneisuuden osalta riskialueiksi. Riskialueille tehty maaperätutkimukset ja niiden tulokset on esitetty liitteessä 4.

8. Riskinarviointi

Raajärven kaivos sekä Puron ja Leveäselän satelliittikaivokset ovat yhdessä KAJAK-hankkeen seurantavaiheen kohde. Seurantavaiheessa kerättiin olemassa oleva tieto ja hankkeessa tehty ympäristön seurantatieto yhteen ja arvioitiin johtopäätöksissä (Kappale 9) tarve lisäselvitykselle ja mahdolliselle riskinarvioinnille. Seurantavaiheessa ei ole tavoitteena arvioida kaivoksen haitta-aineiden ympäristö- ja terveysriskejä.

9. Johtopäätökset

9.1 Seurantavaiheen johtopäätökset

Seurantavaiheen tutkimusten perusteella **kaivannaisjätteiden metallipitoisuudet ovat pääosin varsin alhaisella tasolla**, eikä alueen kaivannaisjätteistä löydy merkittävästi metalleja. Vanadiinia todettiin esiintyvän kohonneina pitoisuuksina sekä sivukivissä että rikastushiekassa. Pienempiä arseeni- ja kobolttipitoisuuksia todettiin useimmissa näytteissä. Muutamissa rikastushiekanäytteissä todettiin kuparia ja muutamissa sivukivinäytteissä nikkeliä. Sinkkiä ei todettu kohonneina pitoisuuksina sivukivissä tai rikastushiekassa. Alueen **maaperän taustapitoisuudet ovat luontaisesti alhaisia** ollen tutkituilta osin alle kynnysarvotason, jolloin kynnysarvot ovat soveltuvia maaperän merkityksellisten metallien todentamiseen.

Koska **kaivannaisjätteiden kokonaismäärät muodostuvat laajoilla alueilla suuriksi**, on myös metallien laskennalliset kokonaismäärien arviot etenkin vanadiinin, kobolttin ja kuparin osalta varsin suuret. Suuret kaivannaisjättemäärät muodostavat varsin alhaisten metallipitoisuuksienkin kautta suuren metallien kokonaismäärän, joka toimii alueella mahdollisena kuormituspotentiaalina.

Sivukivissä kuitenkin **hapon muodostuminen** eli metallien liukenemista kaivannaisjätteistä edistävän prosessin käynnistyminen **ei ole todennäköistä**. Rikastushiekka-alueella altaalla 2.1 hapettomassa pohjakerroksessa todettiin rikastushiekkaa, jossa voi todennäköisesti muodostua happoa. Muualla rikastushiekka-altaiden näytteissä hapon muodostumisen todettiin olevan epätodennäköistä. Rikastushiekassa, jossa hapon muodostumisen todettiin olevan mahdollista, myös vanadiini-, koboltti- ja kuparipitoisuudet olivat koholla. Rikastushiekka itsessään on emäksistä.

Tämänhetkisen noin 60 vuotta kaivostoiminnan aloittamisen jälkeisen tilanteen mukaan, metallit sijaitsevat edelleen sivukivissä ja rikastushiekassa. **Sedimenteissä ei metallikuormitus ole näkyvissä**. Pinta- ja pohjavesissä metallipitoisuudet ovat alhaisia, vaikka toiminta-ajasta on kulunut vuosikymmeniä, ilmentäen tyypillistä sivukivien (dolomiittinen marmori, joka on pääosin kalsiittia) ja malmimineraalina olleen rautaoksidin (magnetiitin) heikkoa liukoisuutta. Kaivannaisjätealueiden vaikutus on hyvin paikallista ja vain paikoin kaivostoiminnan lievää vaikutusta on todettavissa. Vesissä metallipitoisuudet ovat hieman koholla Raajärven ja Puron avolouhoksien alusvedessä sekä Raajärven keskeisen kaivosalueen pohjavedessä sekä Puron pintavesissä.

Yleisesti luonnehtien pintavedet ovat paikoin hieman rautapitoisia, mutta pääosin rautapitoisuudet ovat normaalien humuspintavesien tasolla tai hieman yli. Rautapitoisuuksissa on paikoin havaittavissa rautakaivoksen vaikutus ja/tai alueen kallioperä. Raajärven alueen pohjavesi on luonnostaan rauta- ja mangaanipitoista (taustapitoisuus) ylittäen talousveden laatuvaatimukset. Sivukivikasojen läheisyydessä rikki- ja sulfaattipitoisuudet ovat olleet pinta- ja pohjavesiä muita alueita ja taustapitoisuuksia korkeammat.

Pintavesissä todettiin laajalti osin vuodenaikojen mukaan vaihtelevia liukoisia sinkkipitoisuuksia. Sinkkiä ei kuitenkaan todettu sivukivissä tai rikastushiekassa. **Raajärven keskeisen kaivosalueen** (avolouhusta ja sivukivialuetta 1.1 ympäröivä lähialue) **pohjavesissä on todettu kobolttia ja sinkkiä**, joita ei ole todettu muiden alueiden pohjavesissä, eikä avolouhoksessa ole todettu kobolttia.

Vaikka kaivannaisjätteissä todettua vanadiinia todettiin Raajärven ja Puron avolouhoksien väli- ja alusvedessä, niitä ei todettu kohonneina pitoisuuksina muissa pohja- tai pintavesissä. Kaivannaisjätteissä esiintyneitä arseeni-, kupari- ja nikkelipitoisuuksia ei todettu merkittävästi kohonneina pitoisuuksina pinta- tai pohjavesissä. Ainoastaan Purossa todettiin hieman kuparia ja nikkeliä.

Vesinäytteissä vuoden aikaisvaihtelua ei juurikaan ole näkyvissä sinkkiä, rikkiä ja sulfaattia lukuun ottamatta ja keskihajonnan perustella pinta- ja pohjavesien metallipitoisuuksien vaihtelu on pääosin varsin vähäistä. Nykytilassa metalleja ei merkittävästi todeta lähteneen liikkeelle pinta- ja/tai pohjavesiin, vaikka toiminnan alkamisesta on yli 60 vuotta aikaa.

Kuormituspotentiaalin realisoituminen alueelta näyttää tulosten perusteella **melko epätodennäköiseltä**, sillä varsin emäksisessä rikastushiekassa vain syvemmillä hapettomassa kerroksessa sijaitseva osa voisi muodostaa happoa. Kokonaan hapon muodostumista ei voida kuitenkaan sulkea pois ympäristöolosuhteiden, kuten sateisuuden tai kuivuuden, muuttaessa vedenpinnan tasoa rikastushiekassa, jolloin happea voi päätyä aiempaa enemmän rikastushiekkaan ja sulfidin hapettuminen mahdollistuu.

Asbesti voi aiheuttaa erityisesti rikastushiekka-altaiden vähämaannoksista osista pölytessään kuivalla kesäkaudella haittaa, mikäli alueella liikkuu ihmisiä. Pääosin rikastushiekka-alue on kasvillisuuden ja veden peitossa, mutta osalla rikastushiekka-alueen pohjoisreunasta on vain vähäistä pintakasvillisuutta. Pölyämistä ei tapahdu talviaikaan, eikä kostealla kelillä vähämaannoksilla alueilla. Kaivosalue on syrjäinen ja alueella liikkuminen arvioidaan nykytilassa satunnaiseksi.

9.2 Riskinarvioinnin tarve

Tutkimusten perusteella **kaivostoiminnan vaikutuksia ympäristöön ei ole näkyvissä kaivosalueen ulkopuolella** nykytilanteessa. Seurantavaiheen tutkimustuloksien perusteella ei ole tarvetta ympäristöön tai terveyteen kohdistuvien riskien tarkemmalle arvioinnille.

Asbestin esiintymisen vuoksi rikastushiekka-alueita ja sen lähialueita ei suositella kehitettävän matkailun tarpeisiin ilman, että arvioidaan asbestipitoisten kaivannaisjätteiden pölyämisen riskit terveydelle.

9.3 Jatkotoimenpidesuosituks

Huomioiden kaivosalueen laajuus, kaivannaisjätteiden määrä, metallien kuormituspotentiaali ja kaivosalueen sisällä tunnistetut viitteet kaivostoiminnan vähäisistä vaikutuksista tunnistetaan tarve jatkossa Raajärven ja Puron kaivosalueelta lähtevien pintavesien ja kaivosalueen pohjavesien tarkkailulle. Tarvetta lisää se, että kaivosalue sijaitsee Ympäristöhallinnon luokittelemalla II-luokan Misi-Raaka pohjavesialueella.

Alueelle suositellaan säännöllistä viiden vuoden välein tehtävää pohja- ja pintaveden tarkkailua keskeisistä kaivosalueen pohjavesiputkista (PVP2, PVP6, PVP8 ja PVP12) ja lähtevistä pintavesiuomista (P6 ja P8). Vesinäytteistä suositellaan tarkkasiltavaksi ns. PIMA metallit, alumiini, rauta ja mangaani, sulfaatti, pH, sähkönjohtavuus sekä pintavesistä lisäksi kalsium ja DOC.

Leviäselän kaivostornin huono kunto ja alueen sortuma- ja painumavaarallisten alueiden määrittely suositellaan nostettavaksi huomioitaviksi turvallisuusnäkökohdiksi, erityisesti retkeilyreitien läheisyyden vuoksi.

10. Yhteenveto

KAJAK-hankkeessa selvitetään isännättömien suljettujen ja hylättyjen kaivosten kaivannaisjätealueiden ympäristö- ja terveysriskejä. Kemijärvellä sijaitseva vuoteen 1976 toiminut Raajärven rautamalmin louhimiseen ja rikastamiseen keskittynyt kaivosalue on KAJAK-hankkeen priorisointivaiheessa tunnistettu seurantavaiheen tutkimuskohteeksi.

Ramboll Finland Oy on toteuttanut seurantatutkimuksia Raajärvellä vuosina 2022–2024. Hankkeen tutkimusten pääasiallisena tavoitteena oli selvittää Raajärven kaivoksen sekä Puron ja Leviäselän satelliittikaivoksien mahdollisia ympäristövaikutuksia, jotta voitiin tehdä perusteltu päätelmä mahdollisista jatkotoimenpiteistä. Tutkimuksia tehtiin kaivannaisjätteistä, pintavesistä, sedimentistä, pohjavesistä ja maaperästä. Erillistutkimuksia tehtiin vanhalla kaatopaikalla ja öljysäiliöiden alueilla.

Kaivannaisjätteiden metallipitoisuudet ovat pääosin varsin alhaisella tasolla, eikä alueen kaivannaisjätteistä löydy merkittävästi metalleja. Alueen maaperän taustapitoisuudet ovat luontaisesti alhaisia. Suuret kaivannaisjättemäärät muodostavat varsin alhaisten metallipitoisuuksienkin kautta suuren metallien kokonaismäärän, joka toimii alueella mahdollisena kuormituspotentiaalina. Sivukivissä kuitenkin hapon muodostuminen eli metallien liukenemista kaivannaisjätteistä edistävän prosessin käynnistyminen ei ole todennäköistä. Rikastushiekka-alueella altaalla 2.1 hapettomassa pohjakerroksessa todettiin rikastushiekkaa, jossa voi todennäköisesti muodostua happoa.

Tämänhetkisen noin 60 vuotta kaivostoiminnan aloittamisen jälkeisen tilanteen mukaan, metallit sijaitsevat edelleen sivukivissä ja rikastushiekassa. Sedimenteissä ei metallikuormitus ole näkyvissä. Kaivannaisjätealueiden vaikutus on hyvin paikallista ja vain paikoin kaivostoiminnan lievää vaikutusta on todettavissa. Vesissä metallipitoisuudet ovat hieman koholla Raajärven ja Puron avolouhoksien alusvedessä, Raajärven keskeisen kaivosalueen pohjavedessä ja Puron pintavesissä. Nykytilassa metalleja ei merkittävästi todeta lähteneen liikkeelle pinta- ja/tai pohjavesiin.

Kuormituspotentiaalinen realisoituminen alueelta näyttää tulosten perusteella melko epätodennäköiseltä. Kokonaan hapon muodostumista ei voida kuitenkaan sulkea pois ympäristöolosuhteiden, kuten sateisuuden tai kuivuuden, muuttaessa vedenpinnan tasoa rikastushiekassa, jolloin happea voi päätyä aiempaa enemmän rikastushiekkaan ja sulfidin hapettuminen mahdollistuu.

Kaivostoiminnan vaikutuksia ympäristöön ei ole näkyvissä kaivosalueen ulkopuolella nykytilanteessa. Seurantavaiheen tutkimustuloksien perusteella ei ole tarvetta ympäristöön tai terveyteen kohdistuvien riskien tarkemmalle arvioinnille.

Huomioiden kaivosalueen laajuus, kaivannaisjätteiden määrä, metallien kuormituspotentialiaali ja kaivosalueen sisällä tunnistetut viitteet kaivostoiminnan vähäisistä vaikutuksista tunnistetaan tarve jatkossa Raajärven ja Puron kaivosalueelta lähtevien pintavesien ja kaivosalueen pohjavesien tarkkailulle. Tarvetta lisää se, että kaivosalue sijaitsee Ympäristöhallinnon luokittelemalla II-luokan Misi-Raaka pohjavesialueella.

11. Lähteet

Byerrum, R.U. 1991. II.34 Vanadium, s. 1289-1296. Teoksessa: Metals and Their Compounds in the Environment, Occurrence, Analysis and Biological Relevance (toim. E. Merian). VHC Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim. 1438 s.

eTPO 2024. eTPO.fi, haettu 8.10.2024

Tornivaara, Räisänen, Kovalainen & Kauppi 2018. Suljettujen ja hylättyjen kaivosten kaivannaisjätealueiden jatkokartoitus (KAJAK II). Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2018.

Hertta 2020. Tiedot koskien Misi-Raaka ja Leviäselkä pohjavesialueita. Tiedot päivitetty 2020. Ympäristöhallinto. Haettu 1.10.2024.

Hertta 2024. Vedenlaatu ja järviokohtaiset tiedot koskien Raajärveä, Raa'anlampea, Raa'anojaa, Misijärveä, Pulkkalampea ja pulkkaojaa. Ympäristöhallinto. Haettu 8.10.2024.

Lapin ELY-keskus 2019. Pohjavesialueiden luokitteluun liittyvä selvitys, Kemijärvi. 14.1.2019.

Niiranen, T. 2005. Iron Oxide-Copper-Gold Deposits in Finland: case studies from the Peräpohja schist belt and the Central Lapland greenstone belt. PhD-thesis No. 187 of the Department of Geology, University of Finland. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:952-10-2161-6>

Nuutilainen, J. 1964. Raajärven kaivosalueen geologiasta. Vuoriteollisuus 22 (2), 27-38.

OPASNET 2018. Sulfaatin terveysriskinarvion taustatiedot ja ohjeet. Saatavilla: [Sulfaatin terveysriskinarvion taustatiedot ja ohjeet – Opasnet Suomi](#)

Oravainen R. 1999. Vesistötulosten tulkinta - opasvihkonen. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. 31 s.

Pietilä, R. & Räisänen, J. 2021. Raajärven kaivosalueen vesien ympäristötutkimus liittyen IC-98:n kaivospuistohankkeeseen. GTK/728/03.04.00/2020. 28.1.2021.

Siirama, E. 1976. Kaivostoiminta Misin rautamalmialueella vuosina 1958-1975. Vuoriteollisuus 1976 (2) 114-118.

Valvira 2024: Talousvesisäätöjen soveltamisohje, Osa II Enimmäisarvojen perusteet. Dnro V/1532/2024, 8.3.2024.

Westerlund, P. 1964. Otanmäki Oy, Raajärven kaivos. Vuoriteollisuus 22 (2), 27-38.