



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 74/2023

Kaivostoiminta ja sen kalastovaikutukset

Eila Seppänen, Sampo Jokitalo, Tapio Sutela ja
Atso Romakkaniemi

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 74/2023

Kaivostoiminta ja sen kalastovaikutukset

**Eila Seppänen, Sampo Jokitalo, Tapio Sutela ja
Atso Romakkaniemi**

Viittausohje:

Seppänen, E., Jokitalo, S., Sutela, T. & Romakkaniemi, A. 2023. Kaivostoiminta ja sen kalastovai-
kutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 74/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 87 s.

Eila Seppänen ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-7120-863X>



ISBN 978-952-380-751-8 (Painettu)

ISBN 978-952-380-752-5 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-752-5>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Eila Seppänen, Sampo Jokitalo, Tapio Sutela ja Atso Romakkaniemi

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2023

Julkaisuvuosi: 2023

Kannen kuva: Atso Romakkaniemi

Tiivistelmä

Eila Seppänen¹, Sampo Jokitalo², Tapio Sutela² ja Atso Romakkaniemi²

¹ Luonnonvarakeskus, Laasalantie 9, 58175 Enonkoski

² Luonnonvarakeskus, Paavo Havaksen tie 3, 90570 Oulu

Suomen kaivosteollisuus on kasvanut merkittävästi viime vuosina. Vuonna 2022 tärkeimmät investoinnit tehtiin Kevitsan, Kittilän, Kemin, Terrafamen ja Siilinjärven kaivoksiin. Myös malminetsintä kääntyi kasvuun ja se on keskittynyt entistä enemmän Lappiin, jonne kohdistui 81 % Suomessa tehtävästä malminetsinnästä. Malminetsinnän kasvua vauhdittavat vihreän siirtymän tarvitsemat metallit ja taloudellisen epävarmuuden kiihdyttämä kullan hinnan nousu. Kaivostoiminta tuo alueelle taloudellista hyvinvointia mm. työpaikkojen muodossa, mutta toiminnan haittapuolena ovat kaivoksen ympäristövaikutukset, mm. päästöt vesiin ja ilmaan sekä vaikutus muuhun maankäyttöön.

Tähän raporttiin on koottu tietoa kaivoshankkeista yleensä sekä erityisesti kaivostoiminnan ympäristövaikutuksista kalastovaikutusten ja kalastoon liittyvien riskien näkökulmista. Raportissa esitellään kaivoshankkeen koko elinkaarta malminetsinnästä kaivoksen sulkemiseen ja jälkihoitoon saakka, luodaan katsaus Suomen kaivostoimintaan, tarkastellaan kaivosprosessia, käsitellään kaivosten vesistöjä, jäteveden laatua ja sen ennustamista sekä päästöjen vaikutuksia pinta- ja pohjavesiin. Raportissa tarkastellaan myös metallien, sulfaatin ja rikastuksessa käytettävien kemikaalien vaikutusta kaloihin ja vesiympäristöön ja esitellään kaivostoimintaa koskevaa lainsäädäntöä ja kaivostoiminnan poikkeustilanteita ja niihin varautumista.

Raportissa esitellään kaivosten vesistö- ja kalastovaikutuksiin liittyviä tutkimuksia, joita on tehty mm. Talvivaaran, Rautuvaaran, Outokummun, Kostamuksen ja Nikelin kaivosten toiminta-alueen vesistöissä. Tutkimukset osoittivat, että kaivoksen jätevedet ovat muuttaneet kaivoksen alapuolisen vesistön luonnollista vesi- ja sedimenttikemialla ja aiheuttaneet merkittäviä muutoksia vesistön kasvi- ja eläinplanktonyhteisöihin sekä kaloihin. Talvivaaran kaivosta lähimpänä sijaitsevilla vesillä havaittiin kohonneita metallipitoisuuksia ja suolaantumisen aiheuttamaa kerrostumista sekä raskasmetallien kertymistä kalojen kudoksiin. Mädin haudontakokeissa havaittiin suurta kokonaiskuolleisuutta Rautuvaaran kaivoksen alapuolisessa vesistössä. Nikelin sulattojen alapuolisessa vesistössä sedimenttien raskasmetallipitoisuudet olivat kymmeniä kertoja tausta-arvoja korkeammat ja kalojen kudosten Cd- ja Ni-pitoisuudet olivat korkeimpia sulattojen läheisyydessä. Raportissa tarkastellaan myös kolmen kaivoksen (Kittilä, Kevitsa ja Pahtavaara) alapuolisen vesistön vedenlaatua ja kaivoksen vesiliöstö- ja kalastovaikutuksia selvittäneiden tutkimusten tuloksia. Raportin lopuksi pohditaan kaivostoiminnan ympäristöriskien hallintaa Suomessa.

Johtopäätöksinä todetaan, että kaivospäästöt voivat vaikuttaa hyvinkin laajalti alapuoliseen vesistöön ja vaikutusten yksityiskohdat (vaikuttavat aineet/tekijät, vaikutusmekanismit ja -reitit) vaihtelevat tapauskohtaisesti. Kaloihin ulottuvat vaikutukset voivat olla joko suoria aiheutuksen esimerkiksi suurempaa kuolleisuutta tai epäsuoria heikentäessään ravinnon laatua tai määrää. Kaloissa olevien haitallisten aineiden pitoisuuksien on usein havaittu kasvaneen. Kalataloustarkkailuissa kerätyt aineistot ovat olleet yleisesti riittämättömiä kaivospäästöjen

vaikutusten arvioimiseksi. Kaivosteollisuuden kasvun myötä kaivosten ympäristövaikutusten piirissä oleva kokonaisalue Suomessa laajenee ja samalla erityisen arvokkaiden ja herkkien vesiekosysteemien joutuminen kaivostoiminnan vaikutusten piiriin yleistyy. Kaivosyritysten olisi-kin aiempaa paremmin ennustettava toiminnasta aiheutuvat ympäristövaikutukset, minimoitava ympäristökuormitus sekä varauduttava huolella poikkeuksellisiin tilanteisiin.

Asiasanat: kaivostoiminta, kaivosprosessit, vesistö päästöt, kalastovaikutukset, velvoitetarkkailut, kalastoseurannat

Sisällys

1. Johdanto	7
2. Kaivostoiminta Suomessa	8
2.1. Mineraaliesiintymät.....	8
2.2. Malminetsintä ja kaivoshankkeen elinkaaren vaiheet Suomessa	9
2.2.1. Kaivostoimintaa koskeva lainsäädäntö.....	12
2.3. Yhteenvedo toiminnassa olevista kaivoksista.....	13
2.4. Kaivosprosessi.....	16
2.4.1. Kaivostoiminnan eri vaiheiden ympäristövaikutuksia.....	16
2.4.2. Rikastus	17
2.4.3. Rikastuksessa käytettävät kemikaalit	18
2.5. Kaivosten vesikierrot	21
2.5.1. Jäteveden käsittely	21
2.5.2. Kaivannaisjätteet: sivukivi, rikastushiekka, sakat ja lietteet	23
2.6. Kaivoksen sulkeminen.....	24
2.6.1. Yleiset turvallisuuskriteerit.....	25
2.6.2. Ympäristön tilaan liittyvät tavoitteet	25
3. Kaivosten vesipäästöt ja niiden vaikutukset pinta- ja pohjavesiin	27
3.1. Esiintymän vaikutus kaivosten vesipäästöihin	27
3.2. Jäteveden laatu.....	27
3.3. Jäteveden laadun ennustaminen.....	31
3.4. Vaikutus pinta- ja pohjavesien hydrologiaan ja laatuun	32
4. Kalojen raskasmetallipitoisuusrajat.....	34
5. Kaivosten vesistö- ja kalastovaikutukset Suomessa	35
5.1. Talvivaara	35
5.2. Rautuvaara.....	40
5.2.1. Suljetun kaivoksen rikastushiekan kemiallinen nykytila	43
5.2.2. Läjitysalueen ja sen ympäristön pinta- ja pohjavesien kemiallinen nykytila	44
5.3. Kostamus	47
5.4. Outokumpu.....	51
5.5. Nikel, Kuola	56
5.6. Lapin Kaiku -projekti	59
6. Velvoitetarkkailut ja kalastoseurannat.....	61
6.1. Kittilän kaivoksen kalataloudellinen tarkkailu.....	61

6.2. Kevitsan kaivoksen kalataloudellinen tarkkailu.....	66
6.3. Pahtavaaran kaivoksen kalataloudellinen tarkkailu.....	70
7. Kaivosten poikkeustilanteet, onnettomuudet ja varautuminen	74
7.1. Kaivosten stressitestit.....	74
8. Yhteenveto ja johtopäätökset	77
Viitteet.....	79
Liite	86

1. Johdanto

Viime vuosina voimistunut metallien kysyntä on johtanut maamme kaivosteollisuuden kasvuun ja uusien kaivosten avaamiseen. Työpaikkojen ja taloudellisen toimeliaisuuden vastapainona kaivokset eivät ole ongelmattomia ympäristölle. Kaivosten ympäristövaikutuksia ovat mm. päästöt vesiin ja ilmaan, maisemavaikutukset, vaikutus porotalouteen ja muuhun maankäyttöön.

Suomessa kaivosten vaikutuksia kaloihin on tutkittu mm. Talvivaaran vesienhallinnan pettämissen (2012) jälkeen Luonnonvarakeskuksessa (Korhonen ym. 2016) sekä Helsingin yliopistossa (Leppänen 2019). Useissa tutkimuksissa keskiössä on ollut haitta-aineiden vaikutuksessa kaloihin, niiden lisääntymiseen sekä metallipitoisuuksiin ja käytettävyyteen ravintona. Kaivosten vaikutusta kalakantojen tilaan kokonaisuudessaan on kuitenkin tutkittu vain vähän.

Tässä selvityksessä esitellään kaivoshankkeen koko elinkaarta malminetsinnästä ja kaivostoiminnan aloittamisesta aina kaivoksen sulkemiseen ja jälkihoitoon ja seurantaan saakka. Raportissa tehdään katsaus Suomen kaivostoimintaan sekä käsitellään kaivosprosesseja ja niissä käytettäviä kemikaaleja. Kaivosten vesikierron, jäteveden käsittely, kaivannaisjätteet ja niiden varastointi esitellään yleisellä tasolla. Myös kaivosten vesistö päästöjä, jäteveden laatua ja laadun ennustamista, sekä päästöjen vaikutuksia pinta- ja pohjavesiin käsitellään. Ympäristömyrkköjen ja vierasaineiden vaikutusta kaloihin ja vesiympäristöön tarkastellaan metallien, sulfaatin ja rikastuksessa käytettävien kemikaalien osalta. Raportissa esitellään kaivostoimintaa koskevaa lainsäädäntöä ja tietoja kaloille asetetuista metallipitoisuusrajoista. Tutkimustuloksia kaivosten kalastovaikutuksista vedetään yhteen Rautuvaaran, Outokummun, Kostamuksen ja Nikelin kaivoksilta. Raportissa esitellään myös kaivosten kalataloudellisten velvoitetarkkailujen ja kalastoseurantojen tuloksia ja niistä esimerkkeinä ovat Kittilän, Kevitsan ja Pahtavaaran kaivokset. Lopuksi tarkastellaan kaivostoiminnan poikkeustilanteita ja niihin varautumista stressitestein, joilla ympäristöministeriö pääasiassa arvioi metallimalmikaivosten riskejä vuonna 2013.

Raportti pyrkii tarjoamaan hyvän tietopohjan kaivoshankkeista yleensä, sekä erityisesti kaivostoiminnan kalastovaikutuksista ja kalastoon liittyvistä riskeistä. Tämän toivotaan osaltaan autavan Lukessa kaivoksiin liittyvien tutkimus- ja asiantuntijatehtävien (esimerkiksi YVA-prosessin lausunnot) hoitamisessa. Raportin aineistoina käytettiin kaivostoimintaa ja sen ympäristövaikutuksia käsitteleviä tieteellisiä julkaisuja ja velvoitetarkkailuraportteja sekä viranomaisjulkaisuja kaivostoiminnasta.

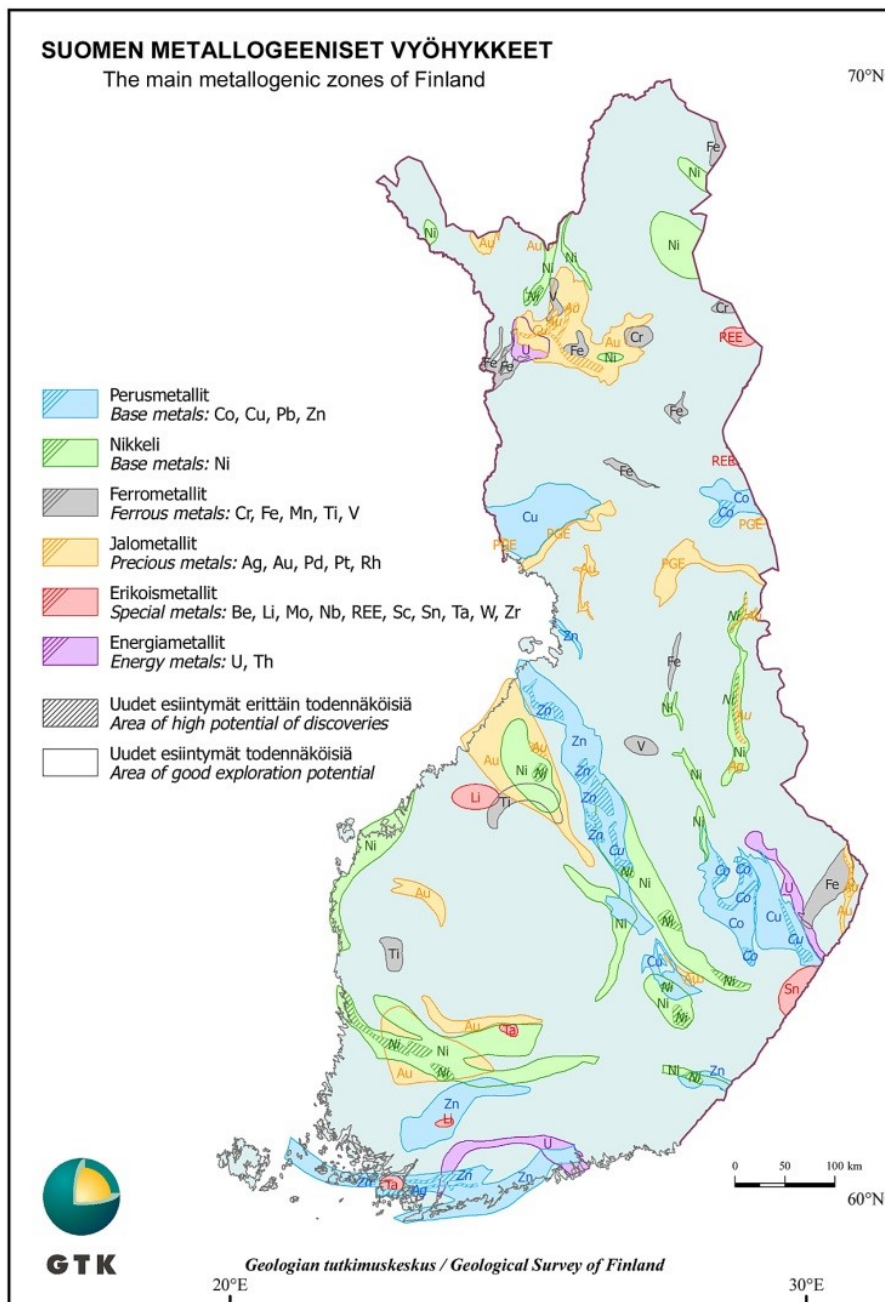
2. Kaivostoiminta Suomessa

2.1. Mineraaliesiintymät

Mineraaliesiintymien muodostumiseen vaikuttavat esimerkiksi muutokset maapallon tektoniikassa, hydrosfäärissä ja atmosfäärissä (Jenkin ym. 2015). Alueita, joilta löytyy yksi tai useampi mineraaliesiintymä, kutsutaan metallogeenisiksi alueiksi (Groves & Bierlein 2007). Kuvassa 1 on esitetty Suomen metallogeeniset alueet. Mineraaliesiintymän laatu on merkittävä tekijä kaivosten ympäristökysymysten kannalta. Kallioperä määrittää alueella luontaisesti olevan veden laatua (esim. happamuus, sulfaattipitoisuus). Mineraalissa olevan metallin esiintymistapa määrittää kaivos- ja rikastusprosessit, samoin kuin rikastuksessa käytettävät kemikaalit. Lisäksi muodostuva sivukivi on erilainen eri mineraaliesiintymissä. Myös rikastushiekan laatu ja kaivoksesta poistettavan jäteveden laatu määräytyvät mineralogian ja rikastusprosessin perusteella (Tolppi 2015).

Suomen metallikaivosten malmit voidaan jakaa hyödynnettävän metallin mukaan seuraavasti (www.kaiva.fi):

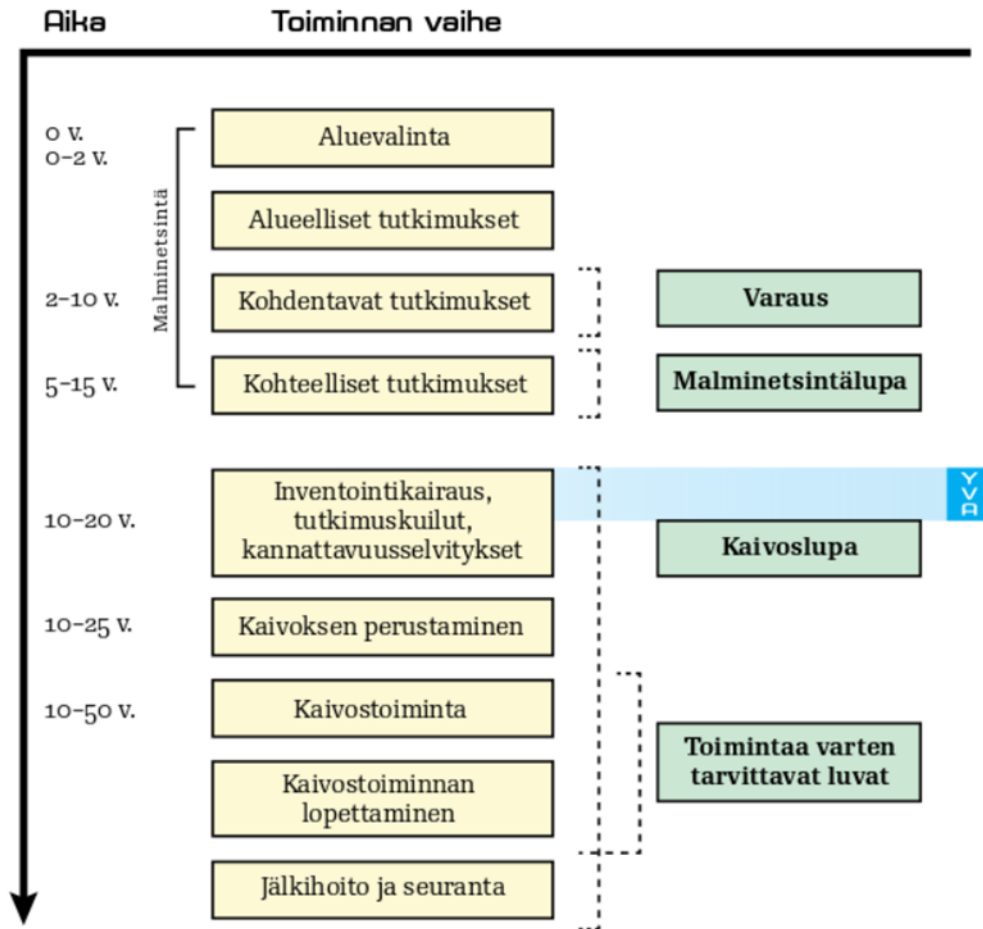
- Oksidimalmit: metalli on sitoutuneena happeen muodostaen oksidin. Tällaisia malmeja ovat kromimalmit ja rautamalmit. Raudan lisäksi malmissa voi olla vanadiinia ja titania (esim. Mustavaara ja Otanmäki). Ympäristövaikutuksiltaan oksidisten malmien hyödyntäminen on helpommin hallittavissa kuin sulfidimalmien.
- Kupari-sinkkimalmit: metallit ovat sitoutuneena rikkiin muodostaen erilaisia sulfidimineraaleja. Näissä malmeissa voi esiintyä myös lyijyä, hopeaa ja kultaa. Kupari-sinkkikaivoksia Suomessa ovat olleet Outokummun ja Vihannin kaivokset sekä edelleen toiminnassa oleva Pyhäsalmen kaivos ja Kylylahden kaivos Outokummun lähistöllä.
- Nikkeli-kuparimalmit: metallit ovat sitoutuneena rikin kanssa muodostaen erilaisia sulfidimineraaleja. Esiintymät ovat usein pieniä ja niiden arvoainepitoisuudet sulfidimalmeissa ovat alhaisia. Suomessa tunnettuja nikkeli-kuparimalmioita ovat Kevitsan kaivos sekä Sakatin esiintymä.
- Kultamalmit: Suomen kallioperässä kulta esiintyy usein rautasulfidien yhteydessä. Esimerkiksi Kittilän kaivoksen malmissa kulta on tiukasti sitoutuneena isäntämineraalin (arsenikiisu tai arseenipitoinen rikkikiisu) sisässä, jolloin isäntämineraali täytyy hajottaa autoklaavissa, jonka jälkeen vapautunut kulta voidaan uuttaa syanidiliuokseen. Suomen kultakaivoksia ovat Kittilän, Pampalon, Oriveden, Jokisivun ja Raahen kaivokset.



Kuva 1. Metallipotentiaaliset alueet Suomessa (GTK: kaiva.fi).

2.2. Malminetsintä ja kaivoshankkeen elinkaaren vaiheet Suomessa

Kaivostoiminnan elinkaari koostuu pääpiirteissään neljästä eri vaiheesta: malminetsinnästä, kaivoksen avaamisesta, tuotantovaiheesta sekä kaivoksen sulkemisesta ja jälkihoidosta (Kuva 2). Kaivoksen perustamisen edellytys on taloudellisesti hyödynnettävän malmiesiintymän löytäminen, ja se edellyttää pitkäjänteistä, vuosia kestävästä etsintätyötä. Malminetsintä ja kaivos ovat eri asioita niin käytännössä kuin juridisestikin. Kaivoksen perustamiseen tarvitaan kaivoslupaa, joka on lupamenettelyineen aivan oma prosessinsa. (kaiva.fi)



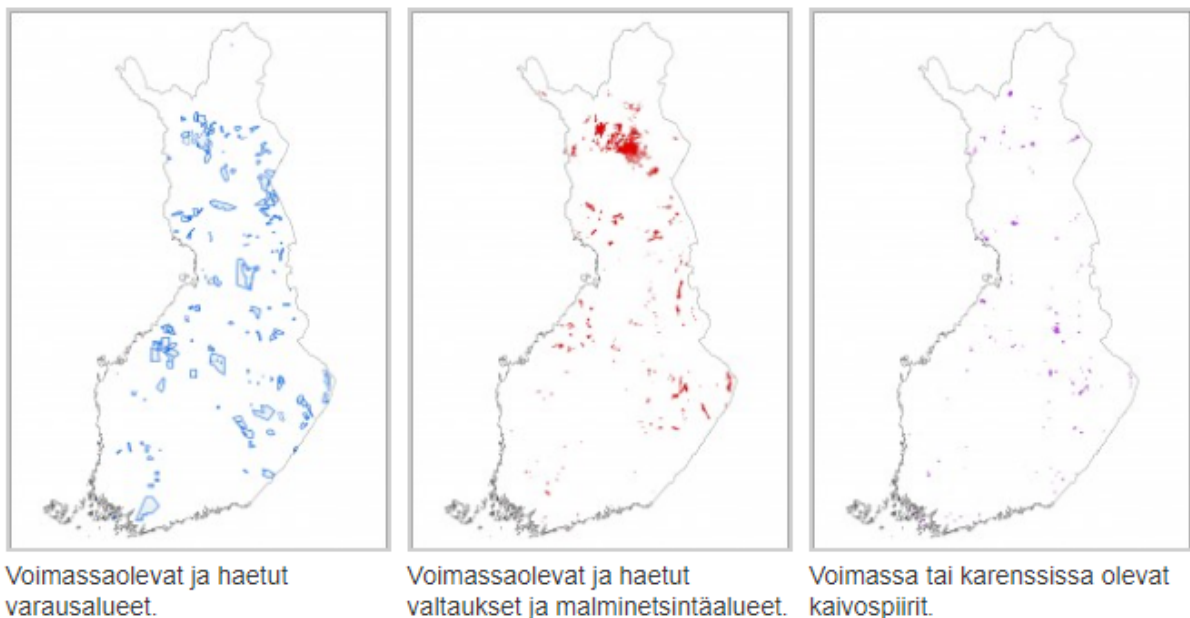
Kuva 2. Kaivoksen elinkaari ja YVA-menettelyn sijoittuminen siihen (Jantunen ym. 2013).

Varaus antaa etuoikeuden hakea malminetsintälupaa, eli oikeuden alustavaan tarkasteluun ja kartoitukseen maastossa (Kuva 2). Valtaus tai malminetsintälupa antaa puolestaan luvan ainoastaan tutkimuksiin, joiden avulla voidaan selvittää, onko jollakin alueella mineraaliesiintymiä. Varauksia haetaan yleensä laajoille alueille, koska ei tiedetä, missä mahdollinen esiintymä sijaitsee, ja sen takia halutaan tarkastella alueen geologiaa mahdollisimman laajasti. Malminetsintälupaa haettaessa kohdealue pienenee. Kaivoslupaa haettaessa kohdealue eli kaivospiiri pienenee entisestään, koska malmiesiintymä on paikannettu. Kuvan 3 kartat selventävät kaivoslain mukaisten varausten, malminetsintälupien ja kaivospiirien välisiä mittakaavasuhteita vuonna 2014 ja osoittavat, että Suomessa suurin osa malminetsintähankkeista on Pohjois-Suomen alueella. Malminetsinnässä käytetään erilaisia geotieteellisiä tutkimusmenetelmiä (esim. geofysikaalisia ja -kemiallisia menetelmiä, syväkairaus ja tutkimuskaivantoja), joiden avulla voidaan paikantaa malmiesiintymiä ja selvittää esiintymän laatua ja kokoa. (kaiva.fi)

Ympäristövaikutusten kartoittaminen ja arviointi ovat oleellinen osa kaivostoiminnan elinkaarta (Kuva 2). Arviointia tehdään kaivostoiminnan elinkaaren aikana useissa vaiheissa, varsinkin toimintaa suunniteltaessa ja toiminnan päättymistä valmisteltaessa. Arvioinnin perusteella pyritään eri toimintavaiheissa vähentämään ympäristöön ja ihmisiin kohdistuvia riskejä erilaisilla riskinhallintatoimilla. Kaivostoiminnan ajallinen pituus vaihtelee malmiesiintymän koon ja taloudellisten suhdanteiden mukaisesti. Kaivoshankkeiden elinkaari on aina rajallinen, mikä tulee huomioida myös ympäristövaikutusten arvioinnissa. (Kauppila 2015)

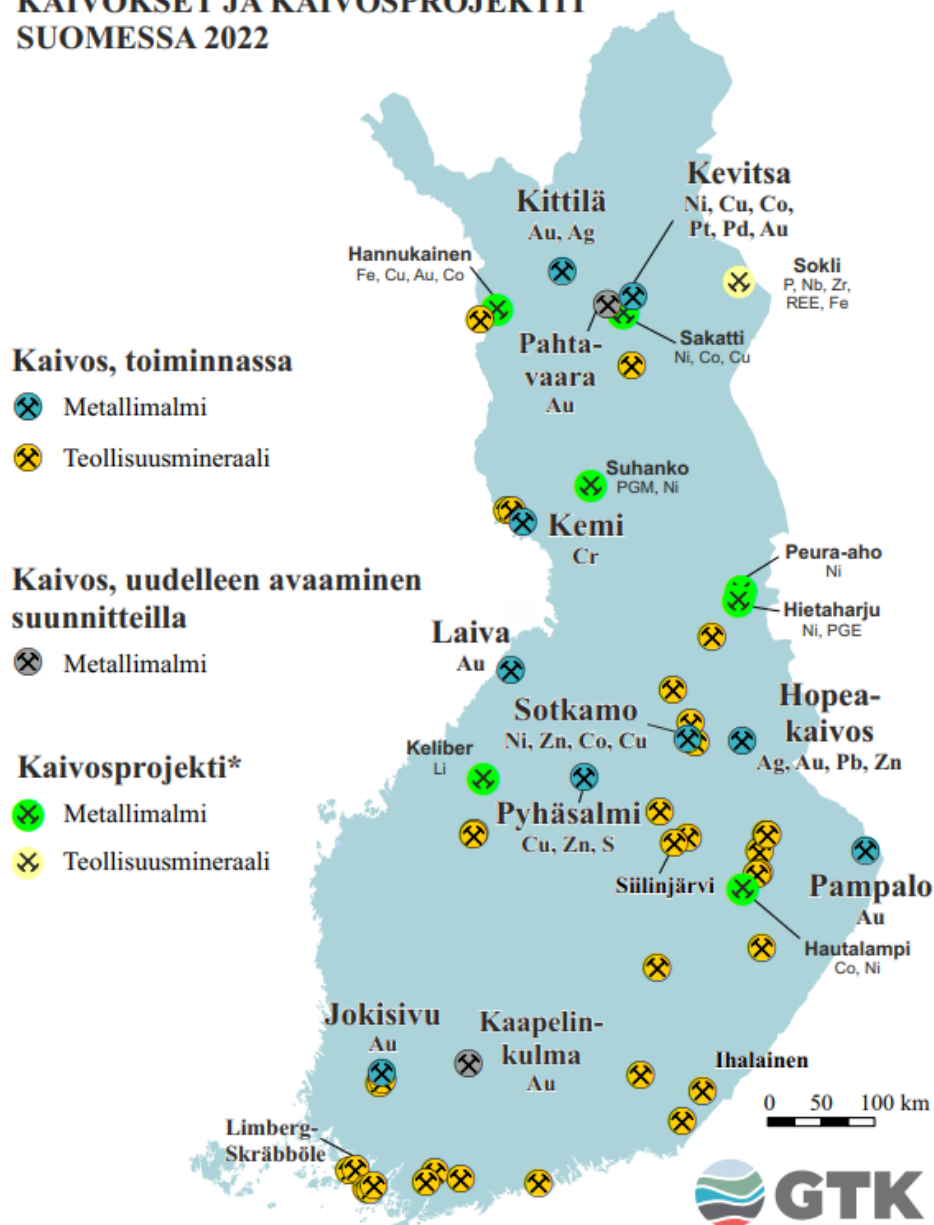
Kuvassa 4 on esitelty Suomessa vuonna 2022 toiminnassa olevia kaivoksia sekä uusia kaivosprojekteja. Kaivosprojektilla tarkoitetaan tässä projektia, jota yhtiö edistää aktiivisesti kohti kaivostoiminnan aloittamista ja joka on edennyt niin pitkälle, että pääsääntöisesti hankkeen YVA-ohjelma on toimitettu viranomaisille. Tällaisia uusia kaivosprojekteja on kahdeksan: Kaustinen, Hannukainen (Kolari), Sokli (Savukoski), Suhanko (Ranua), Sakatti (Sodankylä), Hautalampi (Liperi) sekä Suomussalmella olevat Peura-aho ja Hietaharju.

Malminetsinnästä ja kaivostoiminnasta on käyty aktiivista keskustelua viime vuosina. Pääpaino on ollut etenkin toiminnan aiheuttamissa haitoissa muille elinkeinoille sekä ulkomaisten yhtiöiden toiminnassa ja ympäristöön kohdistuvissa mahdollisissa vaikutuksissa. Osa näistä keskusteluista on kärjistynyt kiistoiksi, ja ne ovat synnyttäneet kansalaisliikkeitä. Itä-Lapissa merkittävin kiista liittyy Soklin projektiin. Toisena painona vaakakupissa ovat malminetsinnän ja kaivostoiminnan tarjoamat työpaikat syrjäisille seuduille kuin myös kiistaton tarve mineraalisille raaka-ainevaroille, joiden etsintä ja hyödyntäminen ovat globaaleja kysymyksiä. (Konnunaho ym. 2021)



Kuva 3. Kaivoslain mukaisten varausten, malminetsintäalueiden ja kaivospiirien väliset mittakaavasuhteet vuonna 2014. Lähde: <https://kaiva.fi/kaivannaisala/kaivostoiminta/malminetsinta/>.

KAIVOKSET JA KAIVOSPROJEKTIT SUOMESSA 2022

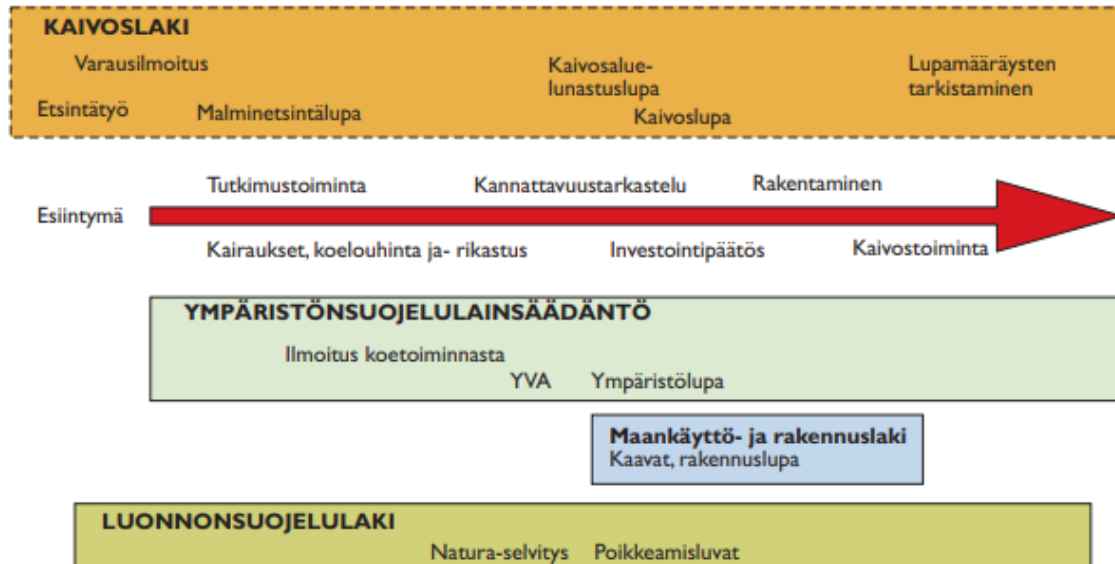


Kuva 4. Toiminnassa olevat ja uudelleen avattaviksi suunnitellut kaivokset sekä kaivosprojektit Suomessa vuonna 2022. Lähde: <https://www.gtk.fi/palvelut/mineraalitalous/kaivoskartat/>.

2.2.1. Kaivostoimintaa koskeva lainsäädäntö

Kaivostoiminnan aloittaminen ja harjoittaminen edellyttää useita hallinnollisia lupa- ja niihin rinnastettavia muita menettelyjä (Kuva 5). Kaivosmineraalien hyödyntäminen edellyttää kaivoslain (621/2011) mukaista kaivoslupaa ja tutkimustoiminta malminetsintälupaa. Näiden lisäksi kaivoksella, rikastamolla ja kaivannaisjätteen jätealueilla on oltava ympäristösuojelulain (86/2000) nojalla annettu ympäristölupa. Kaivostoiminnan vesistöihin ja pohjaveteen vaikuttavat toimet edellyttävät vesilain (587/2011) mukaista lupaa. Ympäristö- ja vesitalouslupa-asioita ratkaistaessa keskeisellä sijalla ovat metallikaivosten parhaat ympäristökäytännöt (liite 1). (Kauppila ym. 2011)

Kaivosalueen rakentamiseen vaaditaan usein maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaisen kaavojen laatiminen ja käytännössä aina rakennuslupien hankkiminen (Kuva 5). Kemikaalilailla (744/1989) ja vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta annetulla lailla (390/1989) säädellään kemikaalien ja räjähdysaineiden käyttöä ja varastointia. Lisäksi rauhoitettujen eläin- ja kasvilajien rauhoitussäännöksistä poikkeaminen edellyttää luonnonsuojelulain (1096/1996) mukaista lupaa. (Kauppila ym. 2011)



Kuva 5. Kaavio kaivostoimintaan liittyvistä hallinnollisista lupa- ja selvitysmenettelyistä (Kauppila ym. 2011).

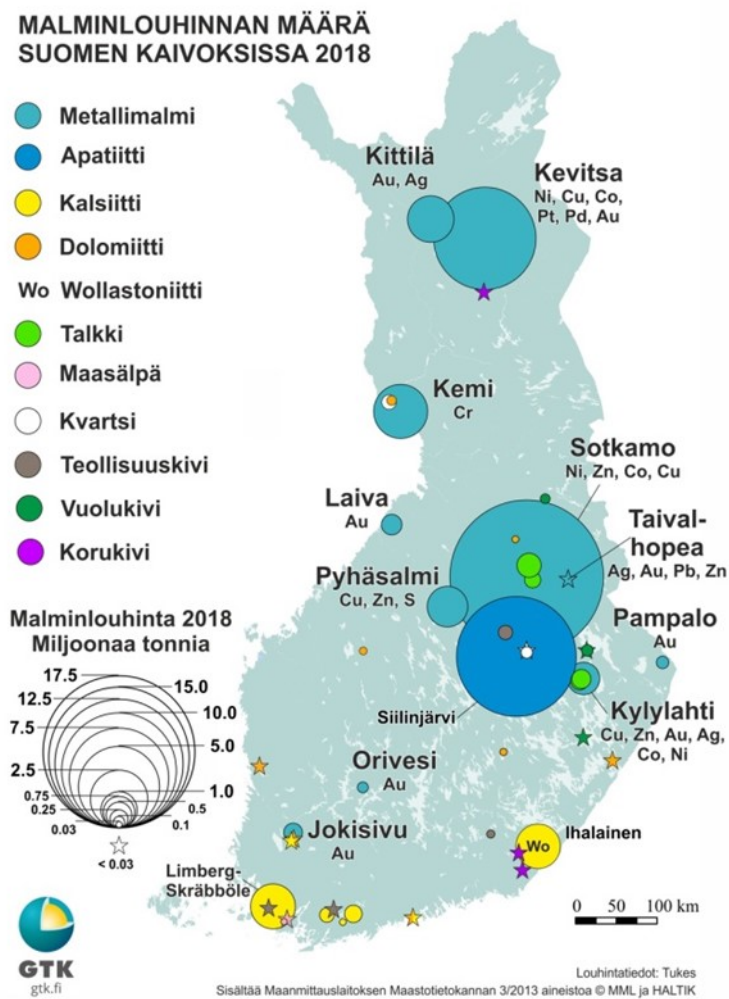
Kaivosmineraalien löytämiseksi on jokaisella oikeus tehdä geologisia mittauksia ja havaintoja sekä ottaa vähäisiä näytteitä, mikäli toimenpiteillä (etsintätyö) ei aiheuteta vahinkoa eikä vähäistä suurempaa haittaa tai häiriötä (Kauppila ym. 2011).

Malminetsintään tarvitaan kaivosviranomaiselta malminetsintälupa, jos

- malminetsintää ei voida toteuttaa etsintätyönä tai kiinteistön omistaja ei ole antanut siihen suostumustaan.
- malminetsinnästä voi aiheutua haittaa ihmisten terveydelle, yleiselle turvallisuudelle tai muulle elinkeinotoiminnalle tai maisemallisten tai luonnonsuojeluarvojen heikentymistä.
- malminetsintä kohdistuu uraania tai toriumia sisältävän esiintymän paikallistamiseen tai tutkimiseen.
- tarvitaan/halutaan etuoikeus esiintymän hyödyntämiseen.

2.3. Yhteenveto toiminnassa olevista kaivoksista

Kaivostoiminta jaetaan hyödynnettävän mineraalin perusteella useimmiten metallikaivoksiin ja teollisuusmineraalikaivoksiin. Kuvassa 6 on esitetty Suomen aktiiviset kaivokset vuonna 2018. Louhintamäärältään merkittävimmät ovat Sotkamon, Siilinjärven, Kevitsan, Kittilän ja Kemian kaivokset.



Kuva 6. Kaivostoiminta Suomessa vuonna 2018 (GTK).

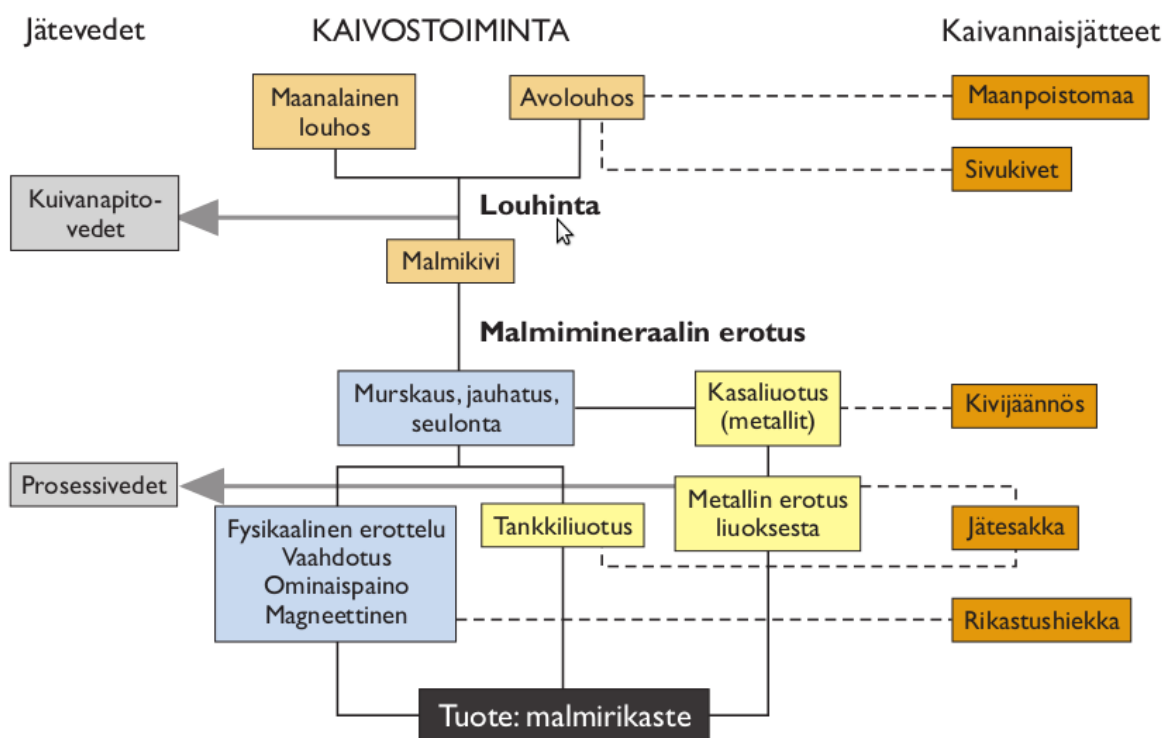
Taulukossa 1 on listattu Suomessa vuonna 2018 toimineet metallimalmikaivokset. Louhinta-
määriltään ylivoimaisesti suurimmat ovat Sotkamon ja Kevitsan kaivokset. Merkittävin teolli-
suusmineraalikaivos on Siilinjärven fosfaattikaivos, jossa kaivetaan apatiittia avolouhoksena.

Taulukko 1. Yhteenvedo metallimalmikaivosten perustiedoista (Tukes 2018: Vuoriteollisuustilasto).

Kunta	Kaivos	Yhtiö	Metallit	Kaivostyyppi	Malmi (t) 2018	Sivukivi (t) 2018	Yhteensä (t) 2018	Purkuvesistö	Vesienhoitoalue
Huittinen	Jokisivu	Dragon Mining Oy	Au	Maanalainen	264 679	56 646	321 325	Paukkionoja, Mansikkahuhdanoja, Koskionoja, Loimijoki	Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalue
Ilomantsi	Pampalo, Rämepuro	Endomines Oy	Au	Maanalainen	117 220	0	117 220	Riitaoja, Sivakkajoki, Hattujärvi	Vuoksen vesienhoitoalue
Keminmaa	Kemi	Outokumpu Chrome Oy	Cr	Maanalainen	2 211 284	1 106 854	3 318 138	Vähä Ruonaoja, Perämeri	Kemijoen vesienhoitoalue
Kittilä	Kittilä	Agnico Eagle Finland Oy	Au, Ag	Maanalainen	1 636 867	1 587 389	3 224 256	Seurujärvi	Kemijoen vesienhoitoalue
Orivesi	Orivesi	Dragon Mining Oy	Au	Maanalainen	37 140	85 843	122 983	Ala-Jalkajärvi	Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalue
Polvijärvi	Kylylahti	Boliden Kylylahti Oy	Cu, Zn, Au, Ag, Co, Ni	Maanalainen	791 424	1 195	792 619	Polvijärvi	Vuoksen vesienhoitoalue
Pyhäjärvi	Pyhäsalmi	First Quantum Minerals Ltd.	Cu, Zn, S	Maanalainen	1 247 536	0	1 247 536	Tiukupuro, Junttiselkä, Pyhäjärvi	Oulujoen-lijoen vesienhoitoalue
Sodankylä	Kevitsa	Boliden Kevitsa Mining Oy	Ni, Cu, Co, Pt, Pd, Au	Avolouhos	7 932 917	33 495 535	41 428 452	Kitinen, Vajukosken allas	Kemijoen vesienhoitoalue
Sotkamo, Kajaani	Talvivaara	Terrafame Oy	Ni, Zn, Co, Cu	Avolouhos	17 910 496	24 366 569	42 277 065	Kivijärvi, Laakajärvi (Vuoksen vesistö) sekä Salminen, Kalliojärvi	Vuoksen vesienhoitoalue ja Oulujoen-lijoen vesienhoitoalue
Raahe	Laiva	Nordic Gold Oy	Au	Avolouhos	319 261	1 805 605	2 124 866	Perämeri Raahen edusta, Ekonredi	Oulujoen-lijoen vesienhoitoalue
Sotkamo	Taivaljärvi	Sotkamo Silver Oy	Ag, Au, Pb, Zn	Maanalainen	203 509	0	203 509	Koivupuro, Ollinjoki, Pirttilampi	Vuoksen vesienhoitoalue ja Oulujoen-lijoen vesienhoitoalue

2.4. Kaivosprosessi

Kaivostoiminnan valmistelussa syntyy **maanpoistomaata** (malmiesiintymän pinnalta poistettava irtomaata), jota käytetään kaivosalueen rakenteissa. Avolouhoskaivoksissa poistomaan määrä on luonnollisesti hyvinkin suuri. Kaivostoiminnassa louhitaan joko avolouhostyyppisenä tai maanalaisena kaivoksena malmia räjäyttämällä, jolloin saadaan **malmikiveä** (mineeraaliesiintymä, josta voidaan taloudellisesti tuottaa metalleja) sekä **sivukiveä** (poistettava kiviaines). Irrotettu malmikiviaines murskataan ja jauhetaan riittävän pieneksi erotusprosesseja (rikastus) varten. Rikastusprosessien tuotoksia ovat **malmirikaste** (malmin puhdistettu osa) sekä prosessista riippuen **kivijäännös** (kasaliuotus), **jätesakka** (kasaliuotus) tai **rikastushiekka** (allasläjitys). Yleiskuva kaivostoiminnasta on esitetty kuvassa 7. (Kauppila ym. 2011)



Kuva 7. Kaivostoiminnan yleisprosessi, tuotteet, jätevedet sekä kaivannaisjätteet (Kauppila ym. 2011).

2.4.1. Kaivostoiminnan eri vaiheiden ympäristövaikutuksia

Vesistöihin kohdistuvan kuormituksen kannalta kaivosprosesseissa oleellisia toimintoja ja tekijöitä ovat Kauppilan (2015) mukaan:

Rakentamisvaiheessa kasvillisuuden ja pintamaan poisto vaikuttavat pintavalunnan kautta eroosioon, vesien paikalliseen samentumiseen ja kiintoainekuormitukseen. Vesienohjausjärjestelyt ja louhoksen kuivanapitopumppaus vaikuttavat alueen vesitaseeseen, pohjaveden pinnan tasoon ja muodostumiseen. Kaivoksen valumavedet voivat lisätä metalli- ja typpikuormitusta vesistöihin myös rakentamisaikana.

Tuotantovaiheessa kaivannaisjätteiden kuten sivukivien, rikastushiekan, maanpoistomassojen, rikastusprosessin sakkojen sekä vesienkäsittelyn sakkojen varastointi sekä näistä lähteistä tulevien mahdollisesti happamien jätevesien hallinta on yksi kaivosten merkittävimmistä

ympäristökysymyksistä. Jätevesissä voi olla jäämiä räjähdysaineista (typpikuormitus) ja rikastuskemikaaleista. Näiden vesien mahdollisia vaikutuksia vastaanottavaan vesistöön ovat suo-
laantuminen (sulfaatti), happamoituminen, samentuminen sekä metalli- ja ravinnekuormitus.

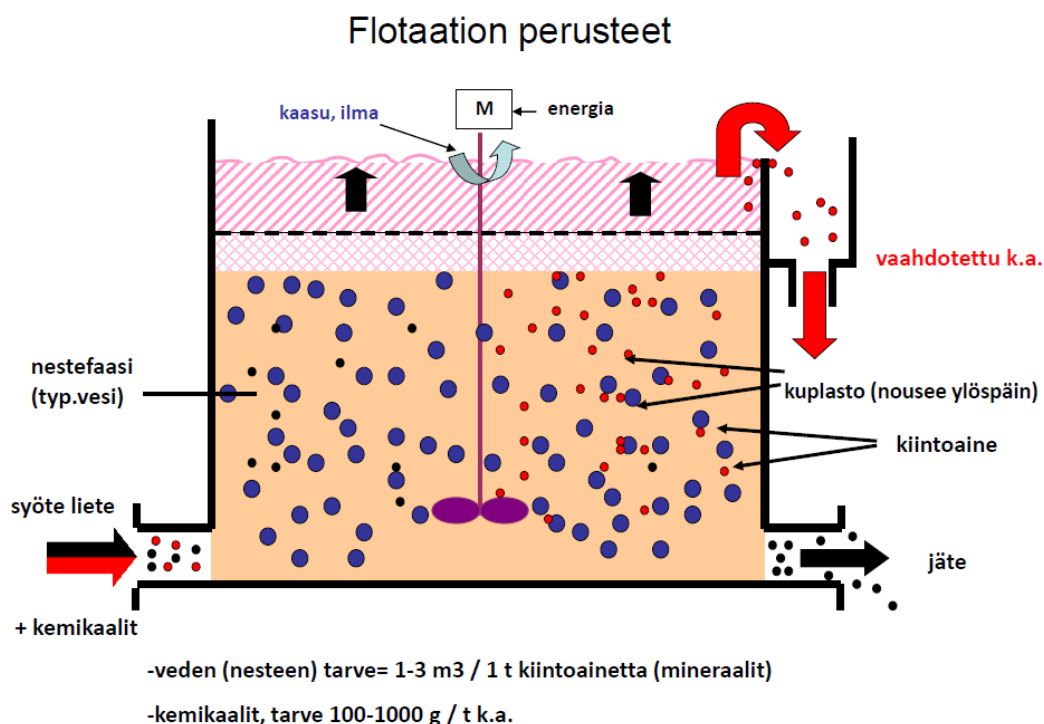
Kaivoksen sulkemisen jälkeiset vesistövaikutukset ovat samanlaisia kuin tuotantovaiheessa (kaivannaisjätteiden vesistövaikutukset). Louhittujen pintojen sulfidimineraalien hapettumistuotteet huuhtoutuvat louhosveteen kaivoksen täyttyessä vedellä. Louhokseen kertyvä vesi voi edetä kallioperän ruhjeissa pohjaveteen aiheuttaen sen laadun heikkenemistä.

2.4.2. Rikastus

Rikastusmenetelmiä on useita, joista tärkeimmät ovat vaahdotus, ominaispainoerotus, magneettiset erotusprosessit sekä liuotusmenetelmät. Metallimalmikaivosten rikastusmenetelmiä Suomessa ovat esimerkiksi (Kauppila ym. 2011)

- Kemin kaivos: ominaispainoerotus
- Kittilän kaivos: vaahdotus, painehapetus, CN-liuotus (syamidiliuotus) ja elektrolyysi
- Pyhäsalmen kaivos: vaahdotus
- Talvivaaran kaivos: bakteeriliuotus ja metallien saostus kemiallisesti

Vaahdotus on sulfidimineraalien yleisimmin käytetty rikastusmenetelmä (Kauppila ym. 2011). Siinä murskattu malmi jauhetaan veden seassa hienoksi lietteeksi, jonka jälkeen mineraalirakeet pyritään saamaan kiinnittymään ilmakuplien pinnalle vaahdotuskoneessa (Kuva 8). Kiinnittymisessä käytetään apuaineita, jotta sähkökemialliset olosuhteet ja kuplien pintaominaisuudet saadaan halutuiksi. Pienet ilmakuplat mineraalirakeineen nousevat lietteen pinnalle, josta mineraalit kootaan talteen. Vaahdotus tapahtuu useampivaiheisena prosessina, jolloin rikastejakeet saadaan erilleen riittävän puhtaana. Tällöin puhutaan vaahdotuspiiristä.



Kuva 8. Flotaation eli vaahdotusmenetelmän perusteet. Lähde www.kaiva.fi/rikastus (Kallioinen 2019 /GTK).

2.4.3. Rikastuksessa käytettävät kemikaalit

Kokoojakemikaalien tarkoitus on kasvattaa mineraalin hydrofobisuutta ja siten saada se tarttumaan ilmakuplan pinnalle. Kokoojakemikaalissa on tyypillisesti ei-polaarinen pää, joka suuntautuu vesifaasiin päin sekä polaarinen pää, joka suuntautuu rikastettavan mineraalin pinnalle, jolloin mineraalin pinnasta tulee hydrofobinen. Ilmakuplavaahto, jonka pinnalla mineraalit ovat, voidaan siten kerätä vaahdotuskoneen pinnalta talteen. Kokoojakemikaaleja ovat mm. ksantaatit, ditiofosfaatit ja ditiofosfinaatit. Ksantaattien käyttömäärä on tyypillisesti noin 300–500 g malmitonnia kohden. Ksantaateista suositetaan etenkin edullisia alkalimetallik-santaatteja, kuten natriumetyyliksantaatteja. (Bach ym. 2016, Kauppila ym. 2011)

Vaahdotteita käytetään flotaatioprosessin stabiloinnissa estämään vaahdon kuplien puhkeamista. Vaahdotteet ovat heteropolaarisia yhdisteitä ja niitä on kahta tyyppiä: synteettisiä (kuten metyyli-isobutylikarbinoli MIBC) ja luonnontuotteita (mäntyöljy, kresoli). Vaahdotteen ja kokoojakemikaalin avulla säädetään vaahdon koostumusta. (Bach ym. 2016, Kauppila ym. 2011)

Säätäjät kontrolloivat kokoojakemikaalien ja mineraalien välistä vuorovaikutusta kiihdyttämällä tai passivoimalla mineraalin adsorptiota kokoojakemikaaliin. Esimerkiksi pH:n säätäjinä käytetään rikkihappoa tai kalkkia (Taulukko 2). (Bach ym. 2016, Kauppila ym. 2011)

Painajien tehtävänä on saada ei-halutun mineraalin pinta passiiviseksi, jottei se tarttuisi vaahdon kupliin ja estäisi halutun mineraalin poistumista prosessista. Esimerkiksi sinkkisulfaattia käytetään erityisesti sinkin painamiseen kuparivaahdotuksessa (Taulukko 2). (Bach ym. 2016, Kauppila ym. 2011)

Flokkulantteja käytetään vaahdotuksen jälkeiseen saostukseen ja selkeytykseen apuaineina, jolloin liuenneet partikkelit kerääntyvät flokiksi. Flokkulantteja on epäorgaanisia tai orgaanisia kuten polyakryyliamidit. (Bach ym. 2016)

Taulukko 2. Esimerkkejä sulfidimalmien vaahdotuksessa yleisimmin käytettävistä kemikaaleista. Taulukon tiedot Kauppila ym. (2011) mukaisesti.

Kemikaaliryhmä	Esimerkkikemikaaleja
Kokoojakemikaalit	Ksantaatit, kemiallinen yleiskaava $R-O-CS_2-Me$, jossa hiilivetyryhmä yleensä etyyli-, isopropyli-, isobutyli-, tai amyyliryhmä ja metalliryhmänä Na tai K Ditiofosfaatit, kemiallinen yleiskaava $(RO)_2 = P = S_2-M$, esim. Danafloat Ditiofosfinaatit, kemiallinen yleiskaava esim. Aerophine $(C_4H_9)_2P-(S)-S-Na$
Vaahdotteet	Terpeeniyhdisteet, joita saadaan puunjalostusteollisuudesta terpeenin tislauksprosessista sivutuotteena (esim. Sylvapine) Pitkäketjuiset alkoholit, esim. Montanol Eetterit, esim. Dowfroth-vaahdotteet, kuten esim. polypropyleeni-glykoolimetyylieettereitä $[CH_3-(OC_3H_6)_n-OH]$
pH:n säätäjät	Rikkihappo (H_2SO_4) Kalkki joko hienokalkkina $Ca(OH)_2$ tai poltettuna kalkkina CaO
Redox-potentiaalin säätäjät	Rikkihappo, jolla potentiaalia säädetään positiiviseen suuntaan (happetus) Natriumsulfidi, jolla potentiaalia säädetään negatiiviseen suuntaan (pelkistys)
Aktivaattorit	Kuparisulfaatti, jota käytetään sinkkivälkkeen ja rautakiisujen aktivointiin
Painajat	Sinkkisulfaatti, jota käytetään erityisesti sinkin painamiseen kuparivaahdotuksessa CMC eli karboksimeetyliselluloosa, jota käytetään silikaattimineraalien painamiseen sulfidien vaahdotuksessa Tärbekelys, jota käytetään silikaattimineraalien painamiseen sulfidien vaahdotuksessa Na-dikromaatti, jota käytetään esim. lyijyn painamiseen kupari-lyijyeroituksessa (voimakas ja myrkyllinen, hapettava kemikaali) Natriumsyanidi, jota käytetään esim. sinkin painamiseen kuparivaahdotuksessa. Käyttö perustuu sen taipumukseen muodostaa helposti kompleksiyhdisteitä. Kullan rikastuksessa syanidi toimii kullan liuottimena (erittäin myrkyllinen kemikaali)
Apuaineet	Flokkulantit, joita käytetään sakeutuksen ja selkeytyksen apuaineina (esim. polyakryyliamidit) Vaahdonestoaineet, joita käytetään vaahdon tappamiseen esim. pumputta Suodatuksen apuaineet (yleisin Al-sulfaatti)

Karkean arvion mukaan noin 1–5 % rikastuskemikaaleista päätyy rikastehiekka-alueelle (Kauppila ym. 2011, Pasanen ym. 2011). Kokoojakemikaalit (esim. ksantaatit) ja flokkulantit tarttuvat valtaosaltaan rikasteeseen, mikäli niiden annostelumäärä on sopiva. Myös aktivointikemikaalit tarttuvat suurelta osin rikasteen pintaan, ja vain pieni osa niistä joutuu jätevesiin. Syanidia, joka on myrkyllinen ja erittäin reaktiokykyinen aine, voi joutua jätevesien mukana vain pieniä määriä ympäristöön (esim. kullan tuotannossa), sillä syanidi hajotetaan jätevesistä pois ennen niiden johtamista pois prosessista. Syanidi hajoaa helposti mm. hapen vaikutuksesta. Muut kemikaalit kulkeutuvat pääosin prosessivesien mukana ympäristöön. Rikkihapon käyttö voi aiheuttaa isojakin sulfaattipäästöjä, koska se ei hajoa tai välttämättä saostu rikastushiekka-altaassa. (Kauppila ym. 2011)

Bach ym. (2016) on selvittänyt valikoitujen rikastuskemikaalien ympäristövaikutuksia erityisesti kylmillä alueilla:

Kokoojakemikaalina käytetyt **ksantaatit** (yleisin natriumetyyliksantaatti) hajoavat hydrolyysin seurauksena happamissa oloissa välittömästi ja neutraaleissa tai emäksisissä olosuhteissa hitaasti, muodostaen hajoamistuotteena myrkyllistä rikkihiiltä (hiilisulfidi, CS_2). Kuitenkin ksantaattijäämiä on havaittu ympäristössä, johon jätevesiä on laskettu. Ksantaatit ovat jo pieninä pitoisuuksina myrkyllisiä vesieliöstölle, etenkin selkärangattomille, mutta myös kaloille. Liukoiset metallit, kuten Cu, Cd ja Pb, voimistavat ksantaattien haitallisuutta (Bertills ym. 1986).

Magnafloc (polyacrylamide polymer; PAM) –kemikaalia käytetään liuotuksessa, flokkuloinnissa ja selkeytyksessä. PAM itsessään ei ole havaittu olevan myrkyllinen tai bioakkumuloituva, mutta sen hajoamistuotteet ja PAM:n epäpuhtautena sisältävä acrylamide (AMD) ovat erittäin myrkyllistä vesieliöstölle.

Flotigam EDA –kemikaalia käytetään flotaatiossa, erityisesti hematiitin ja kvartsin erottamisessa. Sen on todettu olevan erittäin myrkyllistä vesieliöstölle ja sen hajoamisaika kylmässä ilmastossa on pitkä.

Ferropiitä (FeSi) käytetään apuna flotaatioprosessissa, kun halutaan rikastaa raskaita jakeita esimerkiksi rautamalmista. Ferropiinin haitallisuus riippuu pH:sta, suolaisuudesta sekä sen sisältämistä metallisista epäpuhtauksista.

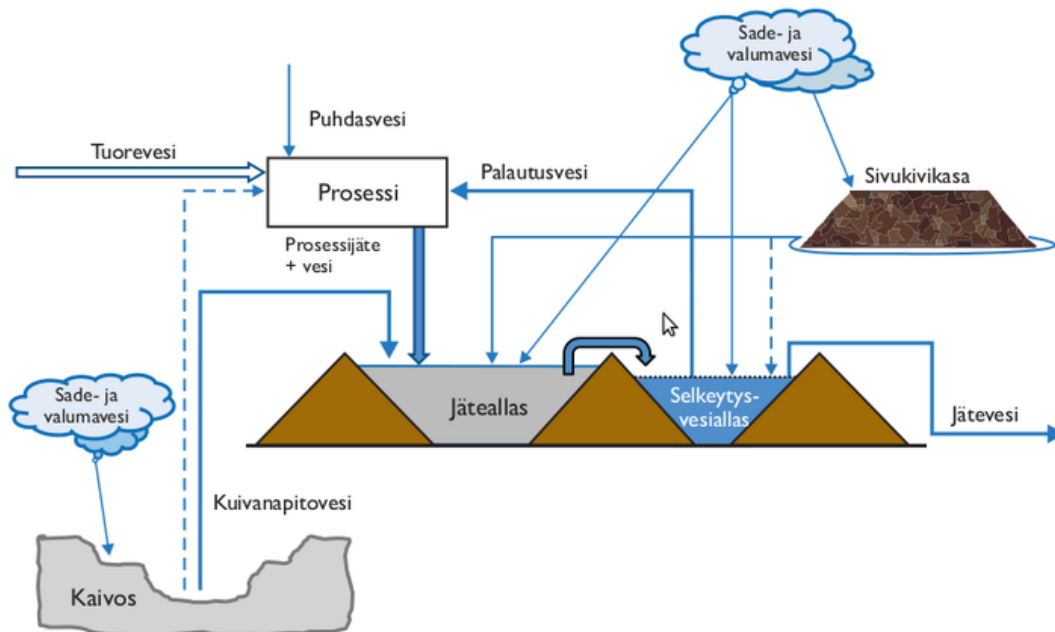
Metyyli-isobutyryli karbinolia (MIBC) käytetään vaahdotteena. Sen todetaan olevan vain vähän haitallinen vesieliöstölle eikä se keräänny ravintoketjuun. Kuitenkin vaahdotteena käytetävän **mäntyöljyn** on todettu olevan haitallista vesieliöille, koska se voi lisätä veden biologista hapenkulutusta, mikä voi johtaa kalakuolemiin (Arizona Chemicals 2008).

Vaikka rikastuskemikaalit eivät normaaleissa prosessiolosuhteissa aiheuttaisi vaaraa ympäristölle, on otettava huomioon, että kaivostoiminnassa esiintyy onnettomuuksia, vuotoja ja poikkeustilanteita ja näissä kemikaalien aiheuttamat riskit vesieliöstölle voivat toteutua (Bach ym. 2016).

2.5. Kaivosten vesikierrrot

Kaivosten vesikierrrot rakennetaan tapauskohtaisesti kaivos- ja rikastusprosessien vaatimusten mukaan. Kuvassa 9 on esitetty pelkistetty esimerkki kaivoksen vesikierrrosta. Se koostuu tyypillisesti seuraavista virroista (Kauppila ym. 2011):

- **Puhdasvesi** = talousvesi
- **Tuorevesi** = pintaveden otto lähivesistöstä esim. rikastusprosessin käyttöön
- **Kuivanapitovesi** (kaivosvesi, louhosvesi): louhoksesta pumpattava vesi, joka on peräisin pohjavedestä ja sadannasta
- **Palautusvesi**: selkeytysaltaasta jauhatus- ja rikastusprosessiin palautettava vesi
- **Kiertovesi**: mm. selkeytysvesialtaasta, kaivannaisjätekasojen valumavesistä ja prosessin eri vaiheista tuleva, prosessissa uudelleen käytettävä vesi
- **Suotovesi**: sivukivikasoista ja rikastushiekka-altaista suotautuva vesi
- **Valumavesi**: sivukivikasoista, rikastushiekka-altailta tai muualta kaivosalueelta kuten apu- ja piha-alueilta kerätty vesi
- **Jätevesi**: prosessin suljetun kierron ulkopuolelle päästettävä vesi, usein saostus- ja kemikaalikäsittelyjen jälkeen; eräjuoksutuksena tai jatkuvana juoksutuksena



Kuva 9. Yksinkertaistettu kaaviokuva kaivoksen vesikierrrosta. Vettä kierrätetään takaisin prosessiin mm. selkeytyksen jälkeen rikastushiekka-altaasta, kaivannaisjätekasojen valumavesistä ja prosessin eri vaiheista. (Kauppila ym. 2011).

2.5.1. Jäteveden käsittely

Jauhatus- ja rikastusprosessien tarvitsema vesi pyritään saamaan kuivanapitovesistä tai selkeytysaltaan palautusvedestä, mutta osa otetaan myös tuorevetenä pintavesistä. Jauhatus- ja rikastusprosessien vedet johdetaan yleensä rikastushiekan kanssa rikastushiekka-altaaseen lietteenä. Rikastushiekka-altaasta vettä johdetaan tyypillisesti selkeytysvesialtaaseen, jossa vesi selkiytetään ja/tai käsitellään, ja palautetaan prosessiin tai johdetaan vesistöön.

mahdollisen lisäkäsittelyn jälkeen. Yleensä prosessissa kiertävä vesi väkevöityy, jolloin osa vedestä täytyy poistaa kierrosta ja korvata tuorevedellä. (Kauppila ym. 2011)

Kaivostoiminnan vesienhallinnan yleisenä periaatteena on lisätä veden sisäistä kierrätystä ja minimoida veden tarve jauhatus- ja rikastusprosessissa sekä pitää eri vesivirrat erillään, jolloin vain puhdistusta tarvitsevat vedet joudutaan puhdistamaan. Varsinaisista puhdistusmenetelmistä Suomessa eniten käytetty on happaman jäteveden neutralointi kalkilla tai natriumhydroksidilla, jolloin pH saadaan lupaehtojen mukaisiksi. Samalla metalleja ja puolimetalleja saostuu metallihydroksideina tai -karbonaateina. Sulfaattia voidaan jossain määrin poistaa lisäämällä kalkkia, jolloin muodostuu kipsisakkaa. Tehokkaampia menetelmiä sulfaatin erottamiseen ovat esim. membraanitekniikat. (Kauppila ym. 2011)

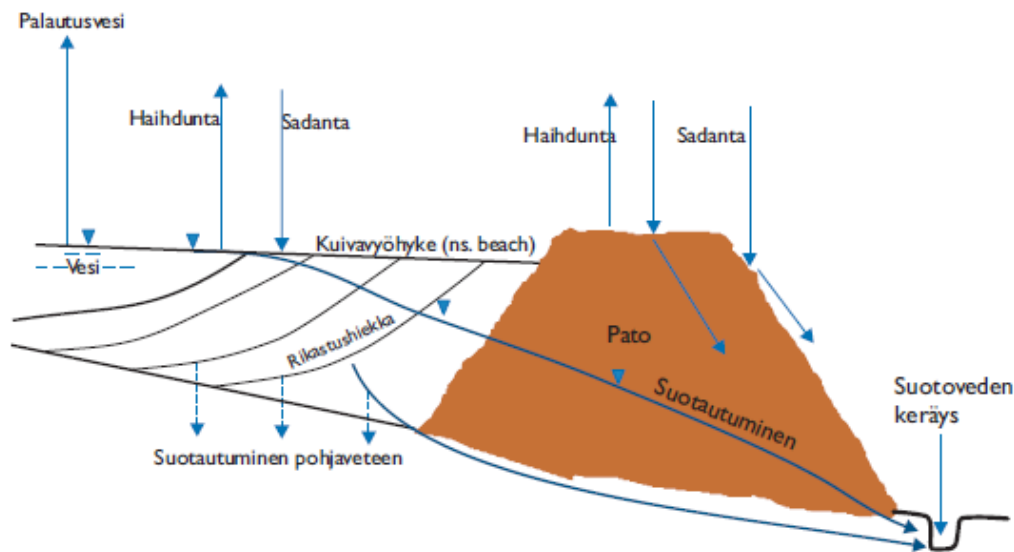
Jätevesien kiintoaineksen poistaminen perustuu useimmiten laskeutusaltaiden käyttöön. Laskeutusaltaita voi olla useita sarjassa ja laskeutuksen apuna voidaan käyttää flokkulantteja tehostamaan partikkeleiden yhteenliittymistä. Muodostunut sakkaliete jää altaan pohjalle loppusijoitukseen. Pintavalutuskenttä on myös yleinen puhdistusmenetelmä: siinä mahdollisen neutraloinnin ja laskeutuksen jälkeen vesi tyypillisesti pintavalutetaan esim. suon läpi purkuvesistöön, jolloin osa jäteveden metalleista sitoutuu maaperään. Puhdistusmenetelmiä on esitelty esimerkiksi Kauppilan ym. (2011) raportissa. Taulukossa 3 esitellään suomalaisten metallikaivosten käytössä olevia puhdistusmenetelmiä.

Taulukko 3. Nykyiset vedenkäsittelymenetelmät Suomen metallimalmikaivoksilla. Taulukon lähteenä Wahlström ym. (2017).

Kaivos	Malmi	Kaivos-tyyppi	Vedenkäsittelytoiminnot	Käsitellyn veden tilavuus (Mm ³ /v)	Suorituskykyominaisuudet
Kittilä (2014)	Au	Maanalainen	Syanidin tuhoaminen syanidin liuotusprosessivedestä. Vaahdotus-rikastusaltaiden vesi ja kaivosvesi valutetaan kosteikon läpi purkujokeen.	0,86	Poistotehot: SO ₄ 10 %, As 98 %, Sb 84 %, Kok. N 60 %
Pyhäsalmi (2015)	Zn	Maanalainen	Veden kalkitus, rikastusjätteiden laskeutus- ja selkeytysaltaat. Jätevesien ilmastus talvella.	6,9	Ei saatavilla
Kevitsa (2015)	Ni	Avolouhos	Veden kalkitus flokkulointisäiliössä, selkeytysallas tai valinnaisesti neutralointi selkeytyksen jälkeen rikkihapolla	1,8	Ei saatavilla
Pampalo	Au	Maanalainen	Selkeytys rikastushiekka-altaassa	0,5 (arvio lupahakemuksesta)	Ei saatavilla
Talvivaara	Ni, Zn, Co, Cu	Avolouhos	Neutralointi + selkeytys	Yhtenäisiä tietoja ei ole saatavilla	Ei saatavilla
Orivesi (2014)	Au	Maanalainen	Kaivosveden neutralointi NaOH:lla + laskeutusaltaat	Noin 0,1	Ei saatavilla
Jokisivu (2014)	Au	Maanalainen	Laskeutusaltaat	0,09	Ei saatavilla
Kylylahti	Cu, Zn, Au	Maanalainen	Tietoa ei ole saatavilla	-	Ei saatavilla

2.5.2. Kaivannaisjätteet: sivukivi, rikastushiekka, sakat ja lietteet

Rikastusprosessin tuotteina saadaan rikastetta sekä jättemateriaalina rikastushiekkaa, joka koostuu hienoksi jauhetusta malmi- ja sivukivimineraaleista ja rikastuskemikaalien jäämistä. Rikastushiekka loppusijoitetaan vesilietteenä padoilla ympäröityyn altaaseen (Kuva 10). Kiintoaines laskeutuu pohjalle ja selkeytynyt vesi johdetaan käsittelyyn ja takaisin rikastusprosessiin tai ohjataan suoraan vesistöön. Rikastushiekka-altaiden merkittävimmät päästöt koskevat pinta- tai pohjavesiin kohdistuvaa kuormitusta joko suotautumisen tai juoksutuksen kautta. (Kauppila ym. 2011)



Kuva 10. Vesien virtausreitit rikastushiekka-altaan patovyöhykkeellä, jossa ei ole tiivistä pohjakerrosta (Kauppila ym. 2011).

Rikastushiekka-altaan rakenne ja kestävyys ovat myös erittäin tärkeitä tekijöitä hallitsemattomien vuotojen estämiseksi. Rikastushiekka-altaiden pohjarakenne on pitkään perustunut pelkkään maan tiivistämiseen; suotautumista pohjarakenteen läpi voi kuitenkin tapahtua, jos maa-aines on vettä läpäisevää. Nykyään rikastushiekka-altaissa käytetään usein kalvoa, jolloin tarkoituksena on estää veden suotautuminen pohjaveteen. Erilaisten rakenneratkaisujen parimmuudesta pitkäaikaisessa käytössä ei kuitenkaan ole vielä tarpeeksi tietoa. (Tuomela 2016)

Rikastushiekka voidaan luokitella pysyväksi jätteeksi, tavanomaiseksi jätteeksi tai vaaralliseksi jätteeksi (Nikkarinen 2011):

- Kaivannaisjätettä pidetään pysyvänä seuraavien perusteiden täytyessä lyhyellä ja pitkällä aikavälillä (2009/359/EY, VNa 379/2008): Jäte ei hajoa eikä liukene tai muuten muutu merkittävästi siten, että siitä voi aiheutua vaaraa tai haittaa ympäristölle ja ihmisten terveydelle. Jätteen sulfidirikkipitoisuus on enintään 0,1 % tai sulfidirikkipitoisuus on enintään 1 % ja neutraloimispotentiaalisuhde menetelmällä EN 15875 määritettynä suurempi kuin 3. Jätteestä ei aiheudu itsesyttymisen vaaraa eikä se pala. Jätteen ja siitä erottuvan hienoaineksen sisältämien mahdollisesti haitallisten aineiden

(erityisesti As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V ja Zn) pitoisuudet eivät ylitä maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (PIMA) annetussa VNa:ssa (214/2007) esitettyjä kynnysarvoja tai alueen ympäristön maaperän taustapitoisuuksia.

- Tavanomaiselle jätteelle on tunnusomaista, että se on hitaasti rapautuvaa. Sen sisältämän jäteveden haitta-ainepitoisuudet ovat pienet tai kohtalaiset ja sillä on korkea alkaliniteetti (ei helposti muutu happamaksi). Tavanomaisessa jätteessä voi olla prosessin kemikaalijäämiä kuten suoloja tai typpiyhdisteitä.
- Vaarallinen jäte sisältää herkästi hapettuvia rautasulfideja tai muita metallisulfideja (rikkastushiekka, sivukivi tai sakkaliete). Sen sisältämä jätevesi on hapanta tai ympäristön vettä happamoittavaa tai sisältää haitta-aineita kuten metalleja, puolimetalleja, kemikaaleja tai kemikaalijäämiä. Vaaralliseksi jätteeksi luokitellaan myös säteilevät, radioaktiiviset tai asbestipitoiset kaivannaisjätteet.

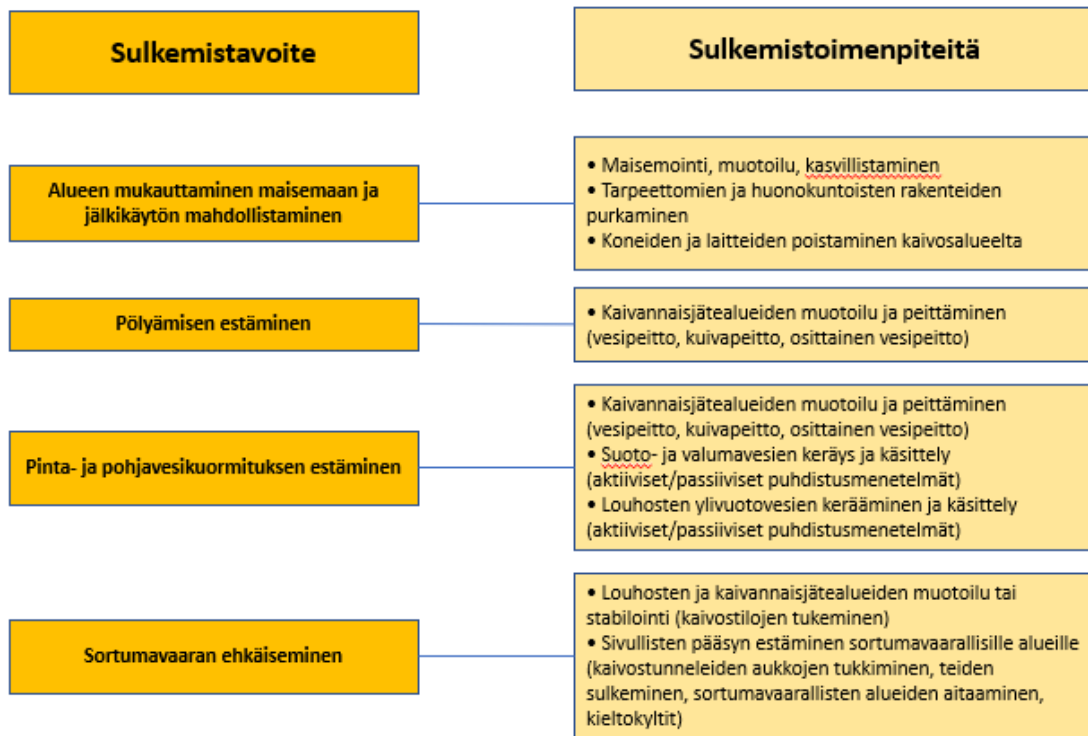
Varsinaisen malmin lisäksi joudutaan louhimaan myös sivukiveä. Sivukiven läjittämisestä aiheutuvat vesistö päästöt liittyvät sivukiven pintojen rapautumiseen; esim. sulfidimineraalit voivat aiheuttaa hapanta, metallipitoista **kaivosvalumaa** (sivukivialueilta peräisin oleva valumavesi). Lisäksi räjähdysainejäämät lisäävät typpikuormitusta ympäristön vesiin. (Kauppila ym. 2011)

Rikastusprosessissa sakkoja ja lietteitä muodostuu esim. liuotusprosessin jäännösluosten tai pesuvesien kemiallisessa käsittelyssä. Talvivaaran kaivoksella tällaisia sakkoja ovat **välineutralointisakka** (kipsiä) ja **loppusakka** (metallihydroksideja ja kipsiä), jotka muodostuvat arvometallien talteenoton yhteydessä. Sakat ja lietteet varastoidaan tiivispohjaisiin varastointialtaisiin. Myös vesienkäsittelyprosessin tuotteena syntyy sakkoja ja lietteitä; näiden loppusijoitusvaatimukset riippuvat koostumuksesta. (Kauppila ym. 2011)

2.6. Kaivoksen sulkeminen

Kaivoksen sulkeminen tarkoittaa kaivostoiminnan pysyvää lopettamista kohteessa sekä siihen liittyviä ja sen jälkeisiä toimenpiteitä. Kaivoksen sulkemisen suunnittelua ja toteutusta ohjaavat lainsäädännön vaatimukset, joilla määritellään sulkemisen kriteerit ja tavoitetila sekä vastuut ja seuraamukset. Lainsäädännön lisäksi sulkemista ohjaavat myös kestävä toiminnan periaatteet, hyvät käytännöt ja ympäristöhallintajärjestelmät. Kaivoksen sulkemisen suunnittelu ajoitetaan mahdollisimman varhaiseen vaiheeseen kaivoksen elinkaarta. Sulkemista suunniteltaessa ja toteutettaessa korostuvat eri raaka-aineiden tuotantoon liittyvien kaivostoimintojen erot. Sulkemistoimenpiteiden valintaan vaikuttavat mm. esiintymien, tuotantoprosessien ja sivutuotteiden luonne ja laatu sekä sijaintipaikan ympäristöolot. Lopulliset toimenpideratkaisut tehdään tapauskohtaisen harkinnan pohjalta. (Heikkinen ym. 2005)

Kaivostoimintaa suunniteltaessa ja käynnistettäessä ei yleensä pystytä määrittelemään tarkkoja määrällisiä sulkemistavoitteita ja -toimenpiteitä (Kuva 11). Toiminnan laajuus ja ympäristövaikutukset voivat muuttua suunnitteluvaiheessa oletetuista tasoista. Todennäköisesti myös lainsäädännössä tapahtuu tavoitetasoihin vaikuttavia muutoksia. Siksi tavoitetasot voidaan alkuvaiheessa määrittää osittain määrällisinä ja osittain laadullisina, ja niitä voidaan tarkentaa myöhemmin. Sulkemiskriteerien tulisi kuitenkin olla avaamispäätöstä tehtäessä riittävällä tarkkuudella tiedossa, jotta sulkemiskustannukset voitaisiin ottaa huomioon kannattavuuslaskelmissa ja siten arvioida luotettavasti hankkeen kannattavuus. (Heikkinen ym. 2005)



Kuva 11. Esimerkkejä kaivoksen sulkemisen tavoitteista ja sulkemistoimenpiteistä (Heikkinen ym. 2005, Kauppila ym. 2011).

2.6.1. Yleiset turvallisuuskriteerit

Yleinen turvallisuus edellyttää, että 1) varmistetaan kohteeseen jäävien rakenteiden fysikaalinen ja kemiallinen stabiilisuus pitkänkin ajan kuluessa ja 2) turvallisuusriskin aiheuttavat rakenteet ja rakennelmat (kaivoskäytävät, jyrkät rinteet ja luiskat, vaille käyttöä jäävät rakennukset ja laitteistot) poistetaan kohteesta tai niihin pääsy estetään pysyvästi. Turvallisuuteen liittyvien kriteerien valinnassa pyritään ennen kaikkea ennaltaehkäisemään toteutettavien rakenteiden peittäminen mm. geologisten tai ilmastollisten tekijöiden vaikutuksesta. Näin ollen pitkäaikaisstabiilisuuden varmistamiseksi tulisi kaivosta suljettaessa pystyä varautumaan mm. seuraaviin tapahtumiin: luonnon ääritapahtumat (mm. rankkasateet, tulvat, myrskyt, kuivuus, metsäpalot, lumivyöryt; lisäksi muualla kuin Suomessa myös tulivuorenpurkaukset ja maanjäristykset), geologiset tekijät (eroosio, sortumat, painaumat, maanvyöryt), kumulatiiviset ongelmat (esim. toistuvat tulvat, eroosion eteneminen), ilmastomuutoksen seuraukset (esim. sademäärien kasvu, tulvien tiheneminen ja kasvu), ja rakentamisessa käytettyjen materiaalien (puu, geokalkvit, betoni, teräs, luonnon kiviainekset) tuhoutuminen/heikkeneminen tavannaisten ja jatkuvien ilmiöiden (mm. rapautuminen, routa, toistuva jäätyminen ja sulaminen, mikrobitoiminta) seurauksena. Pitkäaikaisstabiilisuus otetaan suunnittelussa huomioon mm. varmuuskertoimien avulla. Kertoimet valitaan rakenteen vaurioista aiheutuvan riskin perusteella. Rakenteet voidaan luokitella vaaraluokkiin ihmisen ja ympäristön turvallisuudelle sekä omaisuudelle aiheutuvan riskin mukaan. (Heikkinen ym. 2005)

2.6.2. Ympäristön tilaan liittyvät tavoitteet

Kaivoksen sulkemisessa on ympäristön tilan suhteen tavoitteena saattaa alue kemiallisesti ja biologisesti mahdollisimman stabiiliin tilaan ottaen riittävästi huomioon tulevan maankäytön

vaatimukset (Kuva 11). Tällöin alueelta mahdollisesti tulevat päästöt tai kunnostuksen jälkeen alueen maaperään jääneet haitta-aineet eivät saa aiheuttaa pitkälläkään aikavälillä haittaa tai vaaraa ihmisten terveydelle tai ympäristölle. Lisäksi tavoitteena on alueen kunnostaminen siten, että maa-alue saadaan paikallisiin oloihin nähden sopivaan käyttöön, ja että biologisesti monimuotoisen elinympäristön syntyminen on alueelle mahdollista. Alueen tulisi olla myös maisemakuvaltaan tulevaan ympäristöönsä lähtökohdat huomioon ottaen mahdollisimman hyvin soveltuva. (Heikkinen ym. 2005)

3. Kaivosten vesipäästöt ja niiden vaikutukset pinta- ja pohjavesiin

3.1. Esiintymän vaikutus kaivosten vesipäästöihin

Kaivostoiminnan ympäristövaikutukset riippuvat voimakkaasti malmiesiintymän geologiasta ja louhittavan malmin pitoisuudesta. Haitta-aineiden vapautuminen kivistä riippuu esiintymismuodosta ja rapautumisherkkyydestä. Suomen kaivostoiminnassa merkittävimmät ongelmat liittyvät yleensä sulfidisten metallimalmien (nikkeli, kupari, sinkki, kulta, hopea, platina, palladium ja rikkikiisu) kaivamiseen, koska niissä on paljon ympäristölle haitallisia metalleja ja rautasulfideja. Sulfidimineraaleja louhittaessa kiviaines altistuu maan pinnan oloissa hapelle ja vedelle tuottaen happaman veden, johon sulfidimineraaleista liukenee esimerkiksi metalleja, arseenia ja sulfaattia. Näin muodostuu hapan, mahdollisesti sulfaatti- ja metallipitoinen kaivosvesi. Myös neutraalissa kaivosvedessä voi olla liuenneita metalleja. Mineraaleista ongelmallisimpia ovat rautasulfidit, koska ne rapautuvat nopeimmin altistuessaan vedelle ja hapelle. (Kauppila 2015)

Jätevesien happamuus riippuu kivissä ja jätteissä esiintyvien happoa tuottavien mineraalien, kuten sulfidien ja happamuutta neutraloivien mineraalien (esim. karbonaattien ja silikaattien), suhteesta. Talkki- ja vuolukivimalmit voivat emäksisestä luonteestaan huolimatta aiheuttaa happamia, metallipitoisia jätevesiä, koska näiden yhteydessä on usein mustaliusketta, joka on rauta- ja nikkelisulfidipitoinen mineraali. Talkki- ja vuolukivituotannossa voi olla kohonneita pitoisuuksia nikkeliä, arseenia tai magnesiumia. (Kauppila 2015)

Oksidimineraalit ovat yleensä pysyviä ja heikosti rapautuvia, joten oksidimalmien (esim. kromiitti Kemin kaivoksella) louhintaan ei liity samanlaista ympäristöongelmaa kuin sulfidimalmeihin. Uraanimalmi ovat tyypillisesti oksidimalmeja ja toisin kuin kromimalmit, helposti rapautuvia hapettavassa ympäristössä, jolloin hajoamistuotteita voi vapautua ympäristöön. Uraanimalmien riskit liittyvät radioaktiivisuuden lisäksi niiden kemialliseen myrkyllisyyteen. Teollisuusmineraaliesiintymien hyödyntämisen (apatiitti, kalsiitti, dolomiitti, wollastoniitti, kvartsi ja maasälpä) ympäristöongelmat ovat huomattavasti vähäisempiä kuin sulfidimineraalien louhimisen ja rajoittuvat tyypillisesti mahdollisiin maisema-, pölyämis-, ja kiintoainesongelmiin sekä muutoksiin alueen hydrologiassa (Kauppila 2015).

3.2. Jäteveden laatu

Tyypillisimpiä kaivosten jätevesien laadun ongelmia ovat matala pH, liuenneet metallit, suolat (sulfaatti, SO_4), kiintoaine ja räjähdettäineistä peräisin oleva typpi. Myös rikastusprosessin kemikaalijäämät voivat olla ongelma.

Wahlström ym. (2017) mukaan suomalaisille kaivoksille kiintoaineen luparajat ovat 10–20 mg/l (Taulukko 4). Kokonaistypelle ei ole vielä luparajoja Suomessa, toisin kuin Ruotsissa, jossa luparajat ovat yleensä 10–20 mg/l. Ruotsalaisten kaivosten jätevesien metallipitoisuusrajat ovat tyypillisesti mikrogrammoja tai kymmeniä mikrogrammoja litrassa jätevettä, kun taas Suomessa rajat ovat milligrammoja tai milligramman osia. Tältä osin ruotsalaisten kaivosten jätevesien lupaehdot ovat hyvin paljon tiukemmat kuin Suomessa. Esimerkiksi Aiti-kin kupari-kultakaivoksen päästöraja kuparille on 0,012 mg/l, kun Suomessa raja on yleisesti 0,2 mg/l. Sulfaatille (SO_4) on raja-arvot vasta muutamalla kaivoksella sekä Ruotsissa että Suomessa, esim. Kevitsassa ja Talvivaarassa (Taulukko 4). (Wahlström ym. 2017)

Taulukko 4. Suomen metallimalmikaivosten jäteveden määrä, raja-arvot ja toteutunut laatu (Wahlström ym. 2017).

Kaivos	Malmi	Kaivostyyppi	Jätevesien poisto (Mm ³ /v)	Säänneltyt aineet ja raja-arvot	Nykyinen purkaus (vesivirran nro*)
Kittilä (2014)	Au	Maanalainen	1: Kaivosvesi 2,1 2: Rikastusvesialtaista peräisin oleva prosessivesi 0,74	pH: <10 Kiintoaine: 20 mg/l As: 1,0 mg/l Sb: 0,5 mg/l Ni: 0,5 mg/l WAD-syanidi: 0,4 mg/l	7,5 (1), 8,2 (2) 1,1 mg/l (1), 2,2 mg/l (2) 0,03 mg/l (1), 0,13 mg/l (2) 0,30 mg/l (1), 0,05 mg/l (2) 0,04 mg/l (1), 0,04 mg/l (2) 0,008 mg/l (2)
Pyhäsalmi (2015)	Zn	Maanalainen	Selkeytysaltaista peräisin oleva vesi 4,7	pH: 5,5–9,5 Kiintoaine: 10 mg/l Cu: 0,2 mg/l Zn: 1,0 mg/l	7,1 3,7 mg/l 0,02 mg/l 0,17 mg/l
Kevitsa (2015)	Ni	Avolouhos	Selkeytysaltaista peräisin oleva vesi 2,3	pH: 6,0–9,5 Kiintoaine: 10 mg/l Cu: 0,1 mg/l Ni: 0,3 mg/l SO ₄ : 2000 mg/l	6,8–9,2 1,1–3,8 mg/l 0,001–0,002 mg/l 0,01–0,38 mg/l 266–694 mg/l
Pampalo	Au	Maanalainen	Rikastusaltaista peräisin oleva vesi 0,15 (arvio)	pH: 6,0–9,5 Kiintoaine: 20 mg/l As: 0,2 mg/l Ni: 0,5 mg/l	Edustavaa tietoa ei ole saatavilla
Talvivaara	Ni, Zn, Co, Cu	Avolouhos	Useita vesivirtoja, yhteensä 4,8	pH: <10 Kiintoaine: 20 mg/l SO ₄ : 6000 mg/l Cu: 0,3 mg/l Mn: 6 mg/l Ni: 0,3 mg/l Zn: 0,5 mg/l Hg: 0,0005 mg/l Fe: 4 mg/l U: 0,01 mg/l Cd: 0,01 mg/l	Yhtenäisiä tietoja ei ole saatavilla
Orivesi (2014)	Au	Maanalainen	Kaivosvesi 0,06	pH: 6,0–8,5 Kiintoaine: 10 mg/l Al: 3 mg/l Zn: 3 mg/l	6,4–8,8 3,5 mg/l 1,8 mg/l 1,0 mg/l
Jokisivu (2014)	Au	Maanalainen	Kaivosvesi 0,09	pH: 6,0–9,0 Kiintoaine: 20 mg/l	7,6–8,1 7,4
Kylylahti	Cu, Zn, Ni, Zn	Maanalainen		Kiintoaine: 10 mg/l	Tietoa ei löytynyt
Luikonlahti käsittelylaitos (2013)	Cu, Co, Ni, Zn (Kylylahti)		Selkeytysaltaista peräisin oleva vesi 2,6	pH: 6,0–8,0 Tavoitearvot: Fe: 3 mg/l Ni: 0,3 mg/l Cu: 0,3 mg/l Co: 0,3 mg/l As: 0,1 mg/l Kiintoaine: 15 mg/l	pH: 6,7–7,2 Laskettu vuosikuorman (kg/v) ja -tyhjennyksen (m ³ /v) mukaan: 0,33 0,11 0,004 0,005 0,02 0,002

*Vesivirran nro: 1 Kaivosvesi, 2 Rikastusvesialtaista peräisin oleva prosessivesi

Haitallisten metallien, puolimetallien, sulfaatin ja ravinteiden esiintymiseen ja pitoisuustasoihin vaikuttavat ensisijaisesti malmiesiintymän geologia ja mineralogia sekä rikastusprosessin tehokkuus (Taulukko 5). Niiden haitallisuus ympäristölle on pitoisuustason lisäksi riippuvainen erityisesti niiden toksikologisista ominaisuuksista ja esiintymismuodosta, jota säätelevät mm. esiintymisympäristön happamuus, hapetus-pelkistystila (pH, Eh/redox) ja koostumus (mm. kiintoaineksen laatu, muut läsnä olevat alkuaineet ja yhdisteet). Edellä mainitut ympäristötekijät säätelevät haitta-aineiden liukoisuutta ja biosaatavuutta. Useimpien metallien haitallisuus kasvaa happamuuden myötä, kun metallit esiintyvät liukoisessa kationisessa muodossa. (Heikkinen 2000, Reinikainen 2007, Kauppila ym. 2011).

Rikastusprosessi ja sen tehokkuus vaikuttavat rikastushiekan sulfidimineraalien määrään. Kaikkia arvomineraaleja ei yleensä saada rikastuksessa talteen, vaan osa sulfidimineraaleista jää rikastushiekkaan. Myös sivukivet voivat rikastushiekan ohella sisältää sulfidimineraaleja (Taulukko 5). Sivukivien metalli- ja sulfidimalmipitoisuudet ovat yleensä sitä korkeampia mitä lähempänä malmia ne sijaitsevat. (Kauppila ym. 2011)

Vaikka oksidimalmien kiderakenne on maan pinnan oloissa pysyvämpi ja ne ovat heikommin rapautuvia, voi niiden hyödyntämisessä levitä kuitenkin metalleja kiviaineksesta ympäristöön: mm. louhinnasta ja rikastushiekan varastoinnista aiheutuvan pölyämisen seurauksena. Oksidimalmiesiintymissä voi olla mukana myös sulfidimineraaleja ja silloin niiden ympäristövaikutukset ovat vastaavia kuin sulfidimalmeilla. Suomessa oksidimalmeja louhitaan vain Kemissä (Taulukko 5). (Kauppila ym. 2011)

Taulukko 5. Esimerkkejä kotimaisten metallimalmikaivosten sivukivialueiden suoto- ja valumavesien laadusta (alkuaineiden liukoiset pitoisuudet) kaivosten eri toimintavaiheissa. Sivukivien mineraloginen koostumus on esitetty vertailuksi. (Kauppila ym. 2011).

	Talkki-Ni kaivos (Lahnaslampi)	Cu-Zn-Ni-Co kaivos (Talvivaara, Kevitsa,)	Zn-Cu-Au kaivos (Pyhäsalmi, Kylälahti)	Pyriittikaivos (Pyhäsalmi, Sotkamo)	Cr-oksidadalmikaivos (Kemi)
Sivukivet	Serpentiniitti, mustaliuske, epäpuhtas vuolukivi, kloriittiliuske, kiilleliuske	Kvartsi- ja karsikivet, karbonaattikivi, talkkiliuske, serpentiniitti, mustaliuske, kloriittiliuske, kiilleliuske, graniitti	Grauvakka, fylliitti, mustaliuske, metavulkaniitti, karsikivi	Kvartsi- ja karsikivi, mustaliuske, sulfidiliuske, metavulkaniitti	Talkki-karbonaattikivi, pyrokseeniitti, peridotiitti- ja talkkiserpentiniitti, graniittigneissi, albiitti- ja doleriittijuonikivet
Mineralogia	Kvartsi, plagioklaasi, biotiitti, serpentiini, talkki, kloriitti, magnesiitti, dolomiitti, kromiitti, apatiitti, grafiitti	Kvartsi, tremoliitti, diopsidi, plagioklaasi, kalimaasälpä, biotiitti, muskoviitti, dolomiitti, kalsiitti, serpentiini, talkki	Kvartsi, maasälvät (plagioklaasi ja kalimaasälpä), kloriitti, biotiitti, grafiitti, tremoliitti, sarvivälke	Plagioklaasi, kvartsi, flogopiitti, serisiitti, grafiitti, kalsiitti, kloriitti, tremoliitti, götiitti, limoniitti	Talkki, serpentiini, magnesiitti, dolomiitti, kloriitti, pyrokseenit, tremoliitti, flogopiitti, kvartsi, plagioklaasi, kromiitti, (magnetiitti)
Sulfidimineraalit	Magneettikiisu, gersdorfiitti, nikoliitti, rikkikiisu, alabandiitti	Magneettikiisu, rikkikiisu, kuparikiisu, sinkkivälke, pentlandiitti	Magneettikiisu, rikkikiisu, kuparikiisu, sinkkivälke, lyijyhohde, pentlandiitti	Rikkikiisu, magneettikiisu, kuparikiisu, sinkkivälke, pentlandiitti, markasiitti	Rikkikiisu, kuparikiisu, milleriitti
Vesityyppi	Suotovesi / Valumavesi	Valumavesi	Valumavesi	Valumavesi	Suotovesi
Vedenlaatu:					
pH	3,8–6,5 / 3,6–5,5	4,4–7,0	3,2–5,0	2,0–2,8	6,4–7,1
SO ₄ ¹⁾ (mg/l)	1160–8299 / 107–1300	360–2028	59–1600	5243–8427	100–250
Fe (mg/l)	0,05–21,2 / 0,36–14,2	<0,03–24,9	0,28–19,6	1300–2567	<0,03–0,7
Al (mg/l)	0,01–334 / 0,21–4,39	<0,005–57,6	0,21–6,58	124–307	0,01–0,04
As (mg/l)	0,001–7,3 / 0,001–0,01	<0,0002–0,001	0,0001–0,0009	0,04–0,14	<0,001–0,002
Co (mg/l)	0,2–7,3 / 0,01–0,12	0,06–1,71	0,02–0,16	0,60–1,08	<0,0002–0,001
Cr (mg/l)	<0,001–0,1 / <0,001–0,001	<0,001–0,007	0,0001–0,005	0,43–0,77	<0,0002–0,003 ²⁾
Cu (mg/l)	<0,0002–0,8 / 0,001–0,02	<0,0005–5,08	0,003–0,026	1,70–3,10	<0,0001–0,002
Ni (mg/l)	6,1–116 / 0,23–3,84	0,48–3,54	0,06–0,47	0,83–1,55	0,008–0,05
Zn (mg/l)	0,2–70,4 / 0,08–0,63	0,41–19,7	0,40–2,16	4,79–9,96	<0,003–0,006
Kaivoksen toimintavaihe	Toiminnassa	Suljettu/talkin prosessointi käynnissä	Suljettu	Suljettu	Toiminnassa
Viite	GTK:n julkaisematon aineisto	Räisänen 2004, Räisänen & Korhonen 2004	Räisänen ym. 2003	Räisänen ym. 2001, Räisänen 2009	Grönholm 1994, GTK:n julkaisematon aineisto

¹⁾ Laskettu rikkihappopitoisuudesta ²⁾ Cr^{III}

3.3. Jäteveden laadun ennustaminen

Rikastushiekasta ja sivukivistä suotautuvan jäteveden laadun ennustaminen jättemateriaalin elinkaarelle on hyvin haastava tehtävä, koska mineraalien rapautumisprosessit ovat monimutkaisia ja pitkäaikaisia prosesseja. Lisäksi veden laadun ennustaminen tulisi tehdä vaiheessa, jossa dataa on rajoitetusti saatavilla ja mallinnustuloksia ei luonnollisesti päästä vielä kalibroimaan, koska kenttänäytteitä ja mallinnettavaa systeemiä ei ole vielä olemassa. Pohjoisten olojen erityispiirteitä jäteveden laadun mallintamisessa ovat kylmä ilmasto ja siten hitaammat reaktionopeudet, hitaampi rapautuminen, jäätyminen sekä jään ja lumen sulaminen kevätaikaan (Muniruzzaman ym. 2018).

Jennings ym. (2008) (alkuperäinen tutkimus Kuipers ym. 2006) ovat selvittäneet yhdysvaltalaisen kaivosprojektien ennustetun ja toteutuneen jäteveden laadun suhdetta. 183 kaivoksesta 25 kpl valittiin tarkemman tarkastelun kohteeksi. Tarkastelun mukaan

- Pintaveden päästöraajat ylittyivät kaivostoiminnan seurauksena 15/25 tapauksessa (aineet Cu, Cd, Pb, Hg, Ni, Zn, As, sulfaatti, syanidi)
- Pohjaveden osalta useimpien kaivosten ympäristövaikutusarvioinneissa ei ennustettu merkittäviä vaikutuksia pohjaveteen, mutta kuitenkin yli puolessa tapauksista pohjaveden metallipitoisuusrajat todellisuudessa ylittyivät kaivostoiminnan seurauksena (aineet Cu, Cd, Pb, Hg, Ni, Zn, As, sulfaatti, syanidi)
- 18 kaivoksen (25 tapausta kokonaisuudessaan) ei ennustettu aiheuttavan hapanta kaivosvalumaa ympäristövaikutusarvioinnissaan. Hapanta kaivosvalumaa on kuitenkin kehittynyt yhdeksällä kaivoksella. Näiden yhdeksän kaivoksen osalta vain yksi ennusti happaman kaivosvaluman muodostumisen olevan todennäköistä, muilla kahdeksalla todennäköisyys happamalle valumavedelle piti ennusteen mukaan olla pieni.

Yhdysvaltalaisissa kaivosprojekteissa kyky ennustaa pintaveden tai pohjaveden metallipäästöjä tai hapanta kaivosvalumaa on siis ollut erittäin huono. Jennings ym. (2008) kokosivat syitä, jotka johtivat ennustetun ja todellisen veden laadun väliseen eroon. Syitä olivat mm. puutteellinen hydrologinen kartointi, jäteveden laimenemisen yliarviointi, poistuvan jäteveden määrän aliarviointi, geokemiallisen karakterisoinnin puutteellisuus, ongelmat näytteissä ja edustavuudessa, sivukiven lajittuminen ja sekoittuminen, altaan kalvon vuotaminen, padon pettäminen, rikastushiekka-altaan vuoto ja puutteellinen jätealtaan maan tiivistys.

Suomalaisten kaivosprojektien osalta ei ole tehty em. vastaavaa tarkastelua ennustetun ja toteutuneen jäteveden laadun suhteesta. Väänäsen (2017) väitöstutkimuksessa, joka selvitti kaivoksen alapuolisten vesistöjen metallikuormitusta ja metallien haitallisuutta, tutkittiin myös erilaisten riskinarviointimenetelmien käytettävyyttä Suomen oloissa ja vuodenaikavaihtelun mahdollisia vaikutuksia metallien haitallisuuteen. Euroopan Unioni ei ole asettanut pitoisuusrajoja sedimentin metallipitoisuuksille ja Väänäsen tutkimuksen osatavoitteena olikin tuoda lisätietoa sedimentin laadun arviointiin. Tutkimuksessa otettiin näytteitä neljästä kaivosten purkuvesistöjen alajuoksulta sijaitsevasta järvestä (Pyhäjärven Kirkkoselkä ja Junttiselkä, Laakajärvi sekä Sysmäjärvi). Tutkimuksen tulosten mukaan

- Järvissä havaittiin kohonneita metallipitoisuuksia sekä vedessä että pohjasedimentissä. Riskinarviointimallien perusteella mahdollisesti haitallisia biosaattavia metallipitoisuuksia havaittiin nikkelin, kuparin ja sinkin osalta.

- Laboratoriokokeiden perusteella todettiin, ettei metallikuormitus kuitenkaan aiheuta välitöntä riskiä näissä vesistöissä, mutta metallikuormitus sekä vesien happamuus ja vähähappisuus voivat olla haitallisia pitkällä aikavälillä.

Mualla Euroopassa käytettävät metallien haitallisuutta arvioivat menetelmät eivät ole välttämättä suoraan käyttökelpoisia suomalaisissa olosuhteissa, koska suomalaiset vedet ovat kansainvälisesti vertailtuna pehmeitä ja niiden orgaanisen aineksen määrä on suuri. Molemmat näistä tekijöistä vaikuttavat metallien haitallisuuteen vesieliöille. Pehmeän veden kalsium- ja magnesiumpitoisuus on alhainen, mikä vähentää metallien liukoisuutta ja samalla niiden myrkyllisyyttä. Orgaaninen aines sitoo itseensä metalleja vähentäen näin niiden myrkyllisyyttä. Toisaalta se kuitenkin tekee metallit rasvaliukoisemmiksi lisäten niiden sitoutumiskykyä organismeihin, jolloin niiden myrkyllisyys lisääntyy. Suomessa noudatetaan Euroopan Unionin ns. ympäristölaatu normidirektiiviin (2008/105/EY) perustuvia raja-arvoja, jotka on asetettu vain neljälle metallille (lyijy, elohopea, kadmium ja nikkeli).

3.4. Vaikutus pinta- ja pohjavesien hydrologiaan ja laatuun

Kaivostoiminnalla voi olla vaikutuksia pohjaveden vesitaseisiin ja virtaussuuntiin. Louhosten kuivanapitopumppaus aiheuttaa yleisesti suurimmat muutokset pohjaveden määrässä ja virtaussuunnissa. Kallioperän ruhjevyöhykkeet saattavat myös vaikuttaa merkittävästi kaivoksen vesitaseeseen ja pohjaveden pintoihin. Muutoksia voi aiheutua myös maanpäällisistä rakennelmista ja varastointiläjityksistä. Kaivoshankkeen aiheuttamia muutoksia pohjaveden laatuun arvioidaan eri kohteissa muodostuvien vesipäästöjen laadun ja määrän perusteella (kaivannaisjätealueiden suotovedet, valuma- ja hulevedet, passiiviset vesienkäsittelyrakenteet, ympäristöön johdettavat vedet). Lisäksi arvioidaan, voiko pohjaveden purkautumisreittien kautta aiheutua vaikutuksia pintavesiin (Kauppila 2015).

Kaivostoiminta vaikuttaa sekä määrällisesti että laadullisesti kaivosalueen ympäristön pintavesiin. Raakaveden otto vaikuttaa ottokohteena olevan vesimuodostuman hydrologisiin ominaisuuksiin (mm. vesipinnan vaihteluun, virtaamiin, viipymiin ja alusveden vaihtuvuuteen). Varsinkin puroissa ja pienissä joissa virtaaman väheneminen tai poikkeama normaalista vuodenaikaisesta virtaaman rytmiikassa voi heikentää kalojen elinolosuhteita. Ylijäämävesien juoksumus taas vaikuttaa alapuolisen vesistön vesipinnan vaihteluun ja virtaamiin. Veden kemiallisessa ja fysikaalisessa laadussa tapahtuu lyhyt- ja pitkäaikaisia muutoksia. Vesi voi samentua ja anioni-, alkali- ja maa-alkalimetallipitoisuuksien kasvaessa suolaantumisen riski on suuri. Suolaantuminen puolestaan lisää veden kerrostuneisuutta ja heikentää vuodenaikaiskiertoa järvissä. Vastaanottavan vesistöön sekoittuessaan kaivoksen jätevesipäästö voi aiheuttaa rehevöitymistä. Räjähdyksineiden aiheuttamat typpipäästöt ovat tunnetuin kaivostoimintaan liittyvä ravinnekuormituksen lähde. Lisäksi mineraalien rikastuksessa on käytössä kemikaaleja, jotka sisältävät vesistöjä rehevöittäviä fosfaatteja. Ravinteiden pidättymiseen ja vapautumiseen sedimenteistä voi vaikuttaa osaltaan myös sulfaatti, jota kaivoksen jätevesissä on usein runsaasti. Mikäli vastaanottava vesistö on rehevä, sulfaatti voi heikentää sedimentin kykyä sitoa fosforia ja siten lisätä rehevyyttä. Veden happipitoisuudessa voi myös tulla muutoksia, mm. alusveden ajoittaista tai pysyvää happikatoa. Raudan ja alumiinin liukenemis- ja saostuskäyttäytyminen aiheuttaa happamoitumisriskiä. Edellä mainituilla mahdollisilla muutoksilla on vaikutusta vesistöjen käyttöön, kuten esim. kalastukseen, uintiin, kasteluun ja karjatalouteen (Kauppila 2015).

Kaivosten päästöt eivät saisi vaikuttaa niin, että vesiympäristölle haitallisille aineille määritettyjä pitoisuusrajoja eli ympäristölaatunormeja ylitetään. Asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006) kattaa kaikkiaan 45 EU:n prioriteettiainetta, 8 muuta haitallista ainetta sekä 15 kansallisesti valittua haitallista ainetta. Asetusta on päivitetty ensimmäisen kerran vuonna 2010 ns. ympäristölaatunormidirektiivin (2008/105/EY) toimeenpanemiseksi ja vuonna 2015 vesipuitedirektiivin (2013/39/EU) toimeenpanemiseksi. Suomen Ympäristökeskuksessa (SYKE) on meneillään uusi päivityskierros kansallisesti valittavien haitallisten aineiden listan ja pitoisuusrajojen tarkistamiseksi.

4. Kalojen raskasmetallipitoisuusrajat

Raskasmetalleja esiintyy luonnostaan mineraaleina maa- ja kallioperässä, mutta niitä joutuu maaperään ja vesistöihin myös ihmistoiminnan seurauksena: mm. fossiilisten polttoaineiden poltosta, kaivostoiminnasta, metallien tuotannosta ja liikenteen päästöistä. Raskasmetalleista myrkyllisimpiin kuuluvat lyijy (Pb), elohopea (Hg) ja kadmium (Cd) (ATSDR 2022). Näistä kolmesta elohopeaa todetaan yleisesti akvaattisen ympäristön eliöstössä. Kadmiumia ja lyijyä pidetään enemmän maaperän eliöstön uhkana, mutta niitäkin todetaan vesiympäristön eliöstössä (esim. Voigt 2008).

EU:n komission asetuksella (1881/2006) on annettu enimmäispitoisuusrajat elintarvikkeeksi myytävän kalan elohopealle, lyijylle ja kadmiumille. Kaikille näille metalleille on kaksi raja-arvoa, toinen yleinen raja ja toinen suurempi raja-arvo tietyille petokaloille tai muille kaloille, joille ei ole olemassa olevien tutkimusten perusteella ollut käytännössä mahdollisuutta asettaa pienempää raja-arvoa: Hg 0,5 ja 1 mg/kg tp, Pb 0,2 ja 0,4 mg/kg tp ja Cd 0,05 ja 0,1 mg/kg tp. Em. asetuksen mukaan kalan elohopeapitoisuus ei saa ylittää 0,5 milligrammaa kilossa kalan tuorepainoa kohti laskettuna (mg/kg tp). Hauelle ja eräille muille asetuksessa luetelluille kalalajeille pitoisuusrajaksi on asetettu 1,0 mg/kg tp.

Kaloihin kertyy elohopeaa enimmäkseen metyylielohopean muodossa. Metyylielohopeaa muodostuu vesiympäristössä anaerobisen mikrobitoiminnan tuotteena, ja suuret humuspitoisuudet, jotka sitovat happea, edistävät sen muodostumista. Elohopean määrä kaloissa vaihtelee suuresti, ja ravintoketjun huipun suuret petokalalajit (hauki, kuha, made) sisältävät sitä eniten, sillä elohopea rikastuu ravintoketjussa. (Tuomisto 2020)

5. Kaivosten vesistö- ja kalastovaikutukset Suomessa

5.1. Talvivaara

Talvivaaran monimetallikaivoksella louhitaan korkearikkistä mustaliusketta (malmin S-pitoisuus 9,1 %) nikkelin, sinkin, kuparin ja koboltin tuotantoon. Rikastusmenetelmänä on biokasaliuotus ja elektrolyyttinen talteenotto liuoksesta. Kaivoksen vesienhallinta petti 2012 johtaen kipsisakka-altaan vuotoihin ja vakaviin ympäristöongelmiin, mm. sulfaattikuormitukseen, metallipäästöihin ja läheisten järvien suolaantumiseen. Jätevesiongelma helpottui vuodesta 2014 lähtien (mm. sulfaatin poistaminen membraanimenetelmällä) ja vuonna 2015 rakennettiin jäteveden purkuputki Nuasjärveen, jossa on kuitenkin havaittu syvänteen suolaantumisongelmaa. Talvivaaran kalastovaikutuksia on selvitetty useissa tutkimuksissa, esim. Korhonen ym. 2016, Arola ym. 2017, 2019, Leppänen ym. 2017, 2019 sekä Karjalainen ym. 2020. Seuraavaksi esitellään näiden tutkimusten keskeistä sisältöä.

Tutkimusasetelmat (Arola ym. 2017, 2019, Karjalainen ym. 2020): Tutkimuksessa selvitettiin mangaanisulfaatin vaikutusta siian varhaisiin kehitysvaiheisiin laboratorio-olosuhteissa (Arola ym. 2017). Vastaavia kehitysvaiheita tutkittiin kenttäkokeena kaivosvesissä (Taulukko 6) siian ja taimenen mädin haudontakokeilla (Arola ym. 2019). Myös kaivospäästöjen vaikutusta ahvenkoiraiden maksan kokoon, lisääntymispotentiaaliin ja somaattiseen kudokseen tutkittiin (Karjalainen ym. 2020).

Vedenlaatu: Laboratorioaltistuskokeissa mangaanisulfaattipitoisuudet olivat 418–965 mg/l. Luonnonvesien (kaivosvaikutus) ja referenssipurojen vedenlaatu on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 6. Vedenlaatu altistuskokeissa (puroryhmät: HMI, LMI, R1, R2) veden happipitoisuuden ja kyllästysprosentin, pH:n, minimi-pH:n, sähkönjohtavuuden ja liuenneen orgaanin hiihen (DOC) pitoisuuden keskiarvona $\pm$ SE (min–max) sekä havaintojen määrät.

Ryhmä	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	pH	pH min	Sähkönjohtavuus (μS/cm)	DOC (mg/l)
HMI	12,6±0,5 (9,1–14,5) 12	88,5±2,7 (66,7–100,4) 12	5,3±0,2 (4,3–6,8) 12	4,8±0,4 (4,3–5,7) 3	710,6±168,4 (68,2–1828,0) 12	16,3±1,7 (7,4–26,4) 12
LMI	13,2±0,2 (11,4–14,2) 12	93,2±1,2 (85,9–98,7) 12	4,8±0,2 (4,1–6,2) 12	4,4±0,4 (4,1–5,4) 3	387,5±77,4 (102,3–997,0) 12	14,4±1,6 (7,1–24,8) 12
R1	12,4±0,2 (10,3–13,8) 16	85,9±1,5 (74,1–94,6) 16	4,5±0,2 (3,9–5,9) 16	4,0±0,2 (3,9–4,7) 4	26,4±1,2 (20,3–37,1) 16	18,7±1,1 (12,8–26,0) 16
R2	13,2±0,3 (11,8–14,1) 7	95,1±1,1 (90,0–98,7) 7	6,1±0,2 (5,7–7,7) 8	5,8±0,2 (5,7–6,1) 2	30,9±3,1 (18,6–43,0) 8	10,4±0,6 (7,9–12,1) 8

Kaivosvaikutus: suuri HMI, vähäinen LMI; vertailupurot: R1 ja R2. Taulukko on laadittu Arola ym. 2018 taulukon 2 tietojen mukaan.

Taulukko 7. Keskimääräiset liuenneet alkuainepitoisuudet $\pm$ SE (min–max), niiden suuren (HMI) ja vähäisen kaivosvaikutuksen (LMI) määrittäjäraja (LOQ, $\mu\text{g/L}$) ja kaksi vertailuarvoa (purot R1 ja R2) altistuskokeen aikana.

Aine- osa LOQ ($\mu\text{g/l}$)	Ca 16,0 (mg/l)	K 56,0 (mg/l)	Mg 18,0 (mg/l)	Na 30,0 (mg/l)	S 26,0 (mg/l)	SO ₄ * – (mg/l)	Al 6,0 ($\mu\text{g/l}$)	As 8,2 ($\mu\text{g/l}$)	Cd 0,8 ($\mu\text{g/l}$)	Co 1,6 ($\mu\text{g/l}$)
HMI	89,6 $\pm$ 25,6 12 (5,3–261,5)	2,8 $\pm$ 0,5 9 (0,4–5,0)	18,9 $\pm$ 4,4 12 (2,2–53,1)	47,3 $\pm$ 11,5 12 (2,5–114,9)	125,0 $\pm$ 33,4 12 (6,6–349,6)	374,4 $\pm$ 100,2 12 (19,8–1047,4)	175,1 $\pm$ 34,3 12 (35,5–421,2)	<LOQ	<LOQ	<LOQ
LMI	26,9 $\pm$ 6,5 12 (5,9–87,5)	1,5 $\pm$ 0,4 11 (0,2–5,1)	7,4 $\pm$ 1,2 12 (2,7–16,4)	41,1 $\pm$ 9,9 12 (8,3–110,1)	57,3 $\pm$ 12,8 12 (11,7–161,6)	171,7 $\pm$ 38,4 12 (35,0–484,1)	253,9 $\pm$ 66,6 12 (43,2–901,7)	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R1	2,3 $\pm$ 0,2 16 (1,5–3,3)	1,5 $\pm$ 0,5 4 (0,5–2,6)	1,0 $\pm$ 0,1 16 (0,6–1,6)	1,1 $\pm$ 0,1 16 (0,3–1,8)	1,0 $\pm$ 0,1 16 (0,7–1,4)	2,9 $\pm$ 0,2 16 (2,0–4,3)	191,3 $\pm$ 14,5 16 (112,1–330,4)	<LOQ	<LOQ	<LOQ
R2	3,2 $\pm$ 0,2 8 (2,6–3,9)	0,5 $\pm$ 0,02 2 (0,4–0,5)	1,0 $\pm$ 0,04 8 (0,9–1,1)	1,8 $\pm$ 0,3 8 (1,0–3,2)	1,1 $\pm$ 0,2 8 (0,6–1,7)	3,2 $\pm$ 0,5 8 (1,8–5,0)	76,1 $\pm$ 8,4 8 (37,8–113,0)	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Aineosa LOQ ($\mu\text{g/l}$)	Cr 1,5 ($\mu\text{g/l}$)	Cu 2,7 ($\mu\text{g/l}$)	Fe 0,5 ($\mu\text{g/l}$)	Mn 0,6 ($\mu\text{g/l}$)	Ni 2,1 ($\mu\text{g/l}$)	Pb 6,0 ($\mu\text{g/l}$)	Sr 0,6 ($\mu\text{g/l}$)	U 7,8 ($\mu\text{g/l}$)	Zn 0,5 ($\mu\text{g/l}$)	
HMI	<LOQ	11,3 1 (428,2–1436,3)	841,2 $\pm$ 91,9 12 (239,5–2389,5)	1008,2 $\pm$ 166,2 12 (7,3–46,2)	19,4 $\pm$ 3,8 9 (19,4–326,5)	<LOQ	118,4 $\pm$ 28,7 12 (21,5–130,7)	<LOQ	44,2 $\pm$ 10,3 12 (2,7–136,3)	
LMI	<LOQ	6,9 $\pm$ 1,4 5 (3,9–11,9)	941,6 $\pm$ 163,6 12 (83,6–1604,3)	717,8 $\pm$ 227,7 12 (88,3–2888,8)	18,7 $\pm$ 2,6 10 (7,3–8,7)	<LOQ	54,0 $\pm$ 9,4 12 (11,3–20,9)	<LOQ	45,1 $\pm$ 11,2 12 (4,8–53,4)	
R1	<LOQ	9,1 $\pm$ 2,2 9 (3,4–26,1)	1254,4 $\pm$ 51,2 16 (909,0–1725,4)	78,3 $\pm$ 6,3 12 (40,7–103,4)	8,2 $\pm$ 0,3 4 (3,1–3,3)	<LOQ	14,8 $\pm$ 0,7 16 (12,3–28,0)	<LOQ	38,6 $\pm$ 3,8 12 (56,7–162,5)	
R2	<LOQ	6,1 1	421,5 $\pm$ 45,3 8 (238,0–603,9)	26,0 $\pm$ 3,2 5 (17,3–36,1)	3,2 $\pm$ 0,1 2	<LOQ	19,2 $\pm$ 2,2 8	<LOQ	88,1 $\pm$ 15,7 6	

Määrittäjärajan (LOQ) yläpuolella olevien näytteiden määrä on esitetty keskiarvojen alla. Jos kaikki näytteet olivat alle LOQ:n, ne merkitään <LOQ. Analysoitujen näytteiden kokonaismäärä oli sekä LMI- että HMI-puroryhmille 12 ja puroryhmille R1 16 ja R2 8. * Laskettu rikistä (S). Taulukko on laadittu Arola ym. 2018 taulukon 3 tietojen mukaan.

Tulokset:

- Mangaanisulfaattialtistus lisäsi laboratorio-oloissa siian mätimunien kuolleisuutta sekä aiheutti kasvu- ja ruskuaisen kulutushäiriöitä. Mangaani konsentroiti mätimuniin ja poikasiin. Naaraskalayksilöllä oli vaikutusta mätimunien ja poikasen kykyyn sietää mangaanisulfaattia. (Arola ym. 2017)
- Haudontakokeissa siian ja taimenen mädillä vedessä, johon kaivos päästää jäteveden ei havaittu selkeää kaivoksen vaikutusta kuolleisuudessa, kasvussa tai ruskuaisen kulutuksessa. Veden matala pH lisäsi mätimunien kuolleisuutta. Lämpötila sääteli voimakaimmin kasvua ja ruskuaisen kulutusta. (Arola ym. 2019)
- Luonnonvedessä, jossa oli kaivosvaikutus, ahvenen maksa oli pienempi. Ahvenkoiraiden sukurauhasten koko ja siittiöiden määrä oli pienempi kaivoksen vaikutuksen johdosta, joskin siittiöiden liikkuvuus oli pitempikestoinen kuin vertailuvesistössä. (Karjalainen ym. 2020)

Tutkimusasetelma (Korhonen ym. 2016): Kaivoksen kipsisakka-altaan vuotaessa marraskuussa 2012 päätettiin tutkia kalojen mahdolliset kudosuutokset (maksa, munuaiset, kidukset) ja kudoksiin kerääntyneet raskasmetallipitoisuudet (kadmium, lyijy, elohopea, uraani, alumiini, mangaani, nikkeli, kromi, kupari, sinkki, rauta, arseeni ja seleeni). Näytteenottokierroksia oli 5: marraskuusta 2012 – kesälle 2015, ja kalanäytteet kerättiin vaikutusalueelta (Kalliojärvi, Kolmisoppi, Jormasjärvi, Kivijärvi ja Laakajärvi) sekä vertailujärviltä (Teerijärvi, Kiantajärvi, Ukonjärvi, Kivesjärvi) (Kuva 12). Tutkimuksessa siis tutkittiin yksittäisiä näytekaloja, eikä vaikutuksia koko kalastoon selvitetty.



Kuva 12. Näytteenottokierrosten II, III, IV ja V koekalastusalueet (Korhonen ym. 2016).

Vedenlaatu: Vuodon seurauksena Oulujärven ja Vuoksen vesistöihin pääsi rautaa ja mangaania noin 150 t kumpaakin, nikkeliä noin 2000 kg, sinkkiä noin 1000 kg, uraania noin 70 kg, kobolttia noin 60 kg ja kadmiumia noin 2 kg. SYKEN arvion mukaan suurin osa päästöistä pidättyi Kalliojärveen (Oulujoen vesistöalue) ja Kivijärveen (Vuoksen vesistöalue). Kaivosalueen lähimpien vesien (Kalliojärvi, Kolmisoppi, Kivijärvi) on todettu kerrostuneen suolaantumisen vuoksi.

Tulokset: Voimakkaan akuutin kudostuhon (maksa- tai munuaisvauriot) merkkejä ei havaittu tutkimusalueella näytteiden keruun ajankohtina. Kidusärsytystä esiintyi tutkimusalueella, mutta myös vertailualueella. Maksan ja munuaisten kudosuutokset olivat lieviä ja painottuivat niihin kaloihin, joilla oli elimissä loistartuntoja.

- Raskasmetalleista lähinnä elohopea kerääntyi ahveneen ja haukeen ja sen pitoisuudet olivat jonkin verran korkeammalla tasolla kuormitusalueella kuin vertailualueilla (esim. ahvenella raja-arvo 0,5 mg/kg ylittyi kuormitusalueen näytteistä 53 %, kun vertailualueella ylityksiä oli 23 %). Elohopean osalta raja-arvojen ylityksiä esiintyi kaikilla tutkimuskierroksella.
- Sallitun enimmäispitoisuusrajan ylittäviä yksittäisiä kadmiumpitoisuuksia esiintyi kuormitusalueella etenkin ensimmäisillä näytteenottokierroksilla, mutta seurannan jatkossa kadmiumpitoisuudet pienenevät.
- Kromin ja mangaanin pitoisuudet kaloissa vähenivät selvästi ensimmäisen ja viidennen näytteenottokierroksen välillä.
- Muiden raskasmetallien kerääntyminen kaloihin vaikutti olevan vähäistä.

Kokonaisuutena vaikuttaisi siltä, että Kalliojärven kalasto on väistänyt happamia kaivosvesiä vuodon tapahduttua ja siirtynyt alapuolisiin vesistönsiin, ja sitten vähitellen palannut takaisin. Vuodon yhteydessä tehtiin havaintoja kuolleista särjistä Kalliojoessa ja Kolmisopessa. Kaivosalueen kuormituksen alaisten lähivesien pohjasedimentteihin varastoituneet raskasmetallit muodostavat edelleen riskin niiden kertymisestä kaloihin: hapettoman alusveden osuuden kasvu vaikuttaa olennaisesti elohopean metyloitumiseen rikkiä pelkistävien bakteerien välityksellä (Stenberg 1990, Verta ym. 2010).

Tutkimusasetelma (Leppänen ym. 2017): Talvivaaran kaivoksesta peräisin olevien kaivosvesien aiheuttamia ekologisia vahinkoja selvitettiin tutkimalla Kivijärven veden ja sedimentin ominaisuuksia sekä eläin- ja kasviplanktonryhmien esiintyvyyttä ennen kaivostoiminnan alkua, toiminnan aikana, allasonnettomuuden aikana ja sen jälkeen (Taulukko 8).

Tulokset: Kaivostoiminnalla voi olla huomattavia vaikutuksia makean veden ekosysteemeihin. Kivijärvi on muuttunut meromiktiseksi eli järven alusvesikerros on pysyvästi sekoittumaton eikä osallistu järven joka keväiseen ja syksyiseen täyskiertoon. Syynä tähän on kemiallinen meromiktia, joka aiheutuu raskaamman suolaisen veden kertymisestä järven pohjalle. Sedimentti on voimakkaasti saastunut, ja sen myötä tärkeissä eläin- ja kasviplanktonryhmissä on tapahtunut merkittäviä muutoksia (Taulukko 8).

Taulukko 8. Kivijärven ekosysteemin tärkeimmät ajanjaksot (Leppänen ym. 2017).

Jakso	Vuodet	Veden ominaisuudet	Sedimentin kemia	Cladocera	Diatoms	Tulkinta
Onnettomuuden jälkeen	2013–2015	Järvi on meromiktinen. Korkea suolapitoisuus vallitsee. Fe ja P vapautuu sedimentistä alusveteen.	Fe- ja P-pitoisuudet ovat alempia, myös Ni- ja Zn-pitoisuudet alenevat saastumisen vähenemisen seurauksena.	<i>B. longorostris</i> dominoi.	<i>D. tenuis</i> dominoi.	Järvi on selvästi saastunut.
Allasonnettomuudet	2012–2013	Vahva kerrostuminen. Pato-onnettomuuden seurauksena Ni ja Zn pysyvät kemokliinin päällä.	Ni- ja Zn-pitoisuushuippu. Saastumisonnettomuudesta johtuvat Si-pitoisuushuiput.	<i>B. longorostris</i> dominoi.	<i>D. tenuis</i> lisääntyy.	Järvi on selvästi saastunut.
Kaivostointi alkaa	2008–2012	Meromiktian alkamminen ja syvän veden hapettomuus. Kaivokseen liittyvät aineet lisääntyvät.	Zn, Ni, S ja Na lisääntyvät.	<i>Bosmina longorostris</i> lisääntyy, monimuotoisuus ja rikkaus vähenee.	<i>Diatoma tenuis</i> lisääntyy.	Suolainen vesi ja meromiktia vaikuttavat ekosysteemiin.
Luonnonmukainen	1971–2008	Ei pysyvästi kerrostunut, muistuttaa kemialtaan luonnonolosuhteita.	K lisääntyy metsätalouden vuoksi.	<i>Daphnia</i> dominoi. Rikas ja monimuotoinen yhteisö.	<i>Tabellaria</i> ja <i>Aulacoseira</i> spp. dominoivat. Rikas ja monimuotoinen yhteisö.	Todennäköisesti lähes luonnollinen boreaalinen järvi.

Tutkimusasetelma (Leppänen ym. 2019): Jormasjärven (Kuva 12) vesikemia- ja sedimenttietoja kerättiin ja analysoitiin, jotta saataisiin selville Talvivaaran kaivosvesien spatio-temporaaliset (5 näytteenottopaikkaa ja 3 sedimenttisyvyyttä) vaikutukset Jormasjärven vesiekosysteemiin. Jormasjärvi on neljäs ja suurin järvi Talvivaaran kaivosvesien purkautumiskohdan alapuolisessa järvien ketjussa.

Taulukko 9. Jormasjärven pintaveden yleiset kemialliset keskiarvotiedot (15 näytteenottopaikka). N tarkoittaa mitattujen näytteiden määrää ja SD keskihajontaa. Pitoisuudet ovat suodatamattomia kokonaispitoisuuksia. pH esitetään mediaaniarvoina ja min-max-alue (SD-sarakkeessa). (Leppänen ym. 2019)

	Ennen vuotta 2008	n	SD	Vuoden 2008 jälkeen	n	SD
Kok. P µg/l	15,6	60	8,6	11,7	167	4,0
Kok. N µg/l	447	78	81,3	419	171	115
pH	6,3	78	5,5–6,8	6,3	169	4,8–6,9
Ca mg/l	2,8	9	0,5	12,5	73	5,5
Mg mg/l	0,96	5	0,05	2,9	73	1,0
SO ₄ mg/l	5,1	5	1,5	49	1	
Na mg/l	1,2	4	0,05	12,3	111	6,1
Sähköjohtokyky mS/m	3,1	51	0,4	14,0	169	7,7
Zn µg/l	16,3	9	10,4	37,3	64	18,1
Ni µg/l	8,9	9	6,3	12,2	99	6,0

Tulokset:

- Suolainen kaivosvesi on muuttanut Jormasjärven vesikemiaa: metalli- ja ravinnepitoisuudet ovat hieman koholla, mutta sitä vastoin tärkeimpien ionien (SO₄, Na, Mg, Ca) kohonneilla pitoisuuksilla on selvä vaikutus järven vesikemiaan (Taulukko 9).
- Kaivosvesien vaikutus on selkein järven eteläosassa. Viimeisimpien (vuonna 2012) mitausten mukaan Jormasjärven eteläosan pohjaveden sähkönjohtokyky oli 35–39 mS/m, jonka pitäisi vastata suunnilleen 145–175 mg/l SO₄-pitoisuuksia.
- Kaivosveden vaikutus leviää ravintoverkon kautta kasvi- ja eläinplanktonryhmien muuttuessa. Planktonyhteisömuutoksia on tapahtunut erityisesti Jormasjärven eteläisissä osissa lähellä Tuhkajokisuuta.
- Tulokset ovat hälyttäviä, sillä Jormasjärvi on peräti neljäntenä järviketjussa käsitellyn kaivosveden purkukohdasta alavirtaan. Toisin sanoen Talvivaaran kaivosvesien vaikutusalue ulottuu tulosten mukaan laajalle alapuolisessa vesistössä.

5.2. Rautuvaara

Rautuvaaran suljettu rautakaivos sijaitsee Kolarin kunnassa, Länsi-Lapissa. Kaivostoiminta alkoi vuonna 1962 ja päättyi vuonna 1988. Malmia louhittiin maanalaisesta kaivoksesta ja kahdesta avolouhoksesta. Rautuvaaran rikastamoon tuotiin rikastettavaksi malmikiveä myös Hannukaisen alueelta, Kuervaaran avolouhoksesta vuosina 1978–1986 ja Laurinojan avolouhoksesta vuosina 1982–1988. Kuervaaran ja Laurinojan malmit sisälsivät rautaoksidin lisäksi kulta-pitoista kuparimalmia. Hannukaisen kaivokset sijaitsevat noin 10 km Rautuvaarasta Äkäslompolon suuntaan. Rautaruukin toiminnan aikana Rautuvaaran rikastamo tuotti rauta- ja kultapitoista kuparirikastetta Rautuvaaran ja Hannukaisen esiintymistä. (Räisänen ym. 2015a)

Tutkimusasetelma (Vuorinen 1981): taimenen lisääntymismenestystä tutkittiin mädin selviämisestä sumputuksessa talven yli kaivoksen purkuputken alapuolisessa vesistöissä vuosina 1980 ja 1981. Sumppupaikat olivat: jätealtaan yläpuolisella osuudella (sumput 5 ja 6); juuri jätealtaan alapuolella (sumput 3 ja 4) sekä noin 10 km jätealtaasta alavirtaan (sumput 7 ja 8). Mädin kuolleisuuden lisäksi tutkittiin kuoriutuneiden poikasten pituutta ja painoa.

Vedenlaatu: Taulukossa 10 on esitetty tulokset Niesajoen vedenlaadusta tutkimusajanjaksolla vuosina 1980 ja 1981: piste A: kaivoksen vaikutusalueen yläpuolella (ts. ei vaikutusta), piste B: välittömästi jätealtaan alapuolella ja piste C: n. 10 km jätealtaasta alavirtaan. Raudan lisäksi muita metalleja ei analysoitu. (Vuorinen 1981)

Taulukko 10. Niesajoen vedenlaatu tutkimusjaksolla eri näytteenottopaikoissa: piste A: kaivoksen vaikutusalueen yläpuolella, piste B: välittömästi jätealtaan alapuolella ja piste C: n. 10 km jätealtaasta alavirtaan (Vuorinen 1981).

	Piste A				Piste B							Piste C			
	1980		1981		1980				1981			1980		1981	
	26.4.	30.8.	26.4.	25.8.	26.4.	30.8.	13.11.	8.12.	9.2.	13.5.	25.8.	26.4.	30.8.	26.4.	25.8.
pH	6,2	7,0	6,6	6,6	7,1	7,8	7,3	7,2	7,1	7,2	7,8	6,9	7,8	7,1	7,4
Sähkönjohtokyky, mS/m	1,5	3,1	4,1	2,6	44,8	42,1	47,3	52,8	56,0	52,6	39,9	54,6	13,1	24,1	12,7
Kiintoaine, mg/l	1,8	0,5	1,1	0,4	3,5	1,3	6,8	1,0	1,3	1,0	1,3	2,0	1,2	1,3	1,4
KHT, mg O ₂ /l	3,0	3,0	1,0	7,7	2,4	2,4	2,3	1,8	2,1	2,3	2,6	3,0	3,4	1,9	9,1
Kok-N, mg/l	0,25	-	0,17	0,23	5,1	0,27	5,3	3,3	5,6	5,2	2,5	1,33	-	1,94	0,58
Kok-P, µg/l	12	20	14	8	21	8	77	33	9	5	2	12	15	14	10
SO ₄ , mg/l	1,8	3,4	5,0	1,8	20	105	-	162	-	142	166	34,0	20,0	53,0	33,0
Fe, mg/l	0,18	0,21	0,36	0,25	0,33	0,14	-	-	-	0,64	0,21	0,61	0,39	0,34	1,00
Alkaliniteetti, mval/l	0,19	0,18	-	-	1,84	1,42	-	-	-	-	-	0,84	0,70	-	-
Happi, mg/l	-	-	-	-	6,8	9,4	-	-	-	-	9,7	-	-	-	-

Tulokset: Vesinäytteiden pH-arvoissa ei ollut kovin suurta eroa eri näytteenottopaikkojen välillä: kaivoksen vaikutusalueen yläpuolella (A) pH-arvot vaihtelivat 6,2–7,0, välittömästi jätealtaan alapuolella (B) 7,1–7,8 ja n. 10 km alavirtaan jätealtaasta (C) 6,9–7,8 (Taulukko 10). Sähkönjohtokykylukemat olivat huomattavan korkeita kaivoksen alapuolella: 39,9–56,0 mS/m (B) ja 12,7–54,6 mS/m. Jätealtaan alapuolella (B) kokonaistyyppi- (0,27–5,6 mg/l), kokonaisfosfori- (2–77 µg/l ja sulfaattipitoisuudet (22–166 mg/l) olivat selvästi korkeampia verrattuna kaivoksen vaikutusalueen yläpuolelta (A) otettujen vesinäytteiden pitoisuuksiin.

Taulukko 11. Kuolleiden alkioiden ja kuoriutuneiden poikasten määrät Niesajoen eri sumputuspaikoissa: sumput 1 ja 2: vertailusumput kalanviljelylaitokselta, sumput 3 ja 4 (piste B): heti jätealtaan purkukohdan alavirrasta, sumppu 6 (piste A): vertailusumppu yläjuoksulta ja sumput 7 ja 8 (piste C): n. 10 km alavirtaan jätealtaasta. (Vuorinen 1981)

Sumppu, n:o	n, kpl	Kuolleet alkiot, %			Kuoriutuneet, %			
		24.4.	15.6.	yht.	norm.	epänorm.	kuoll.	yht.
1 ja 2	349	23,5	14,9	38,4	57,3	4,0	0,3	61,6
3 ja 4	246	97,6	0	97,6	0	2,4	0	2,4
6	132	25,0	11,4	36,4	50,8	11,4	1,4	63,6
7 ja 8	250	24,4	23,2	47,6	41,6	8,4	2,4	52,4

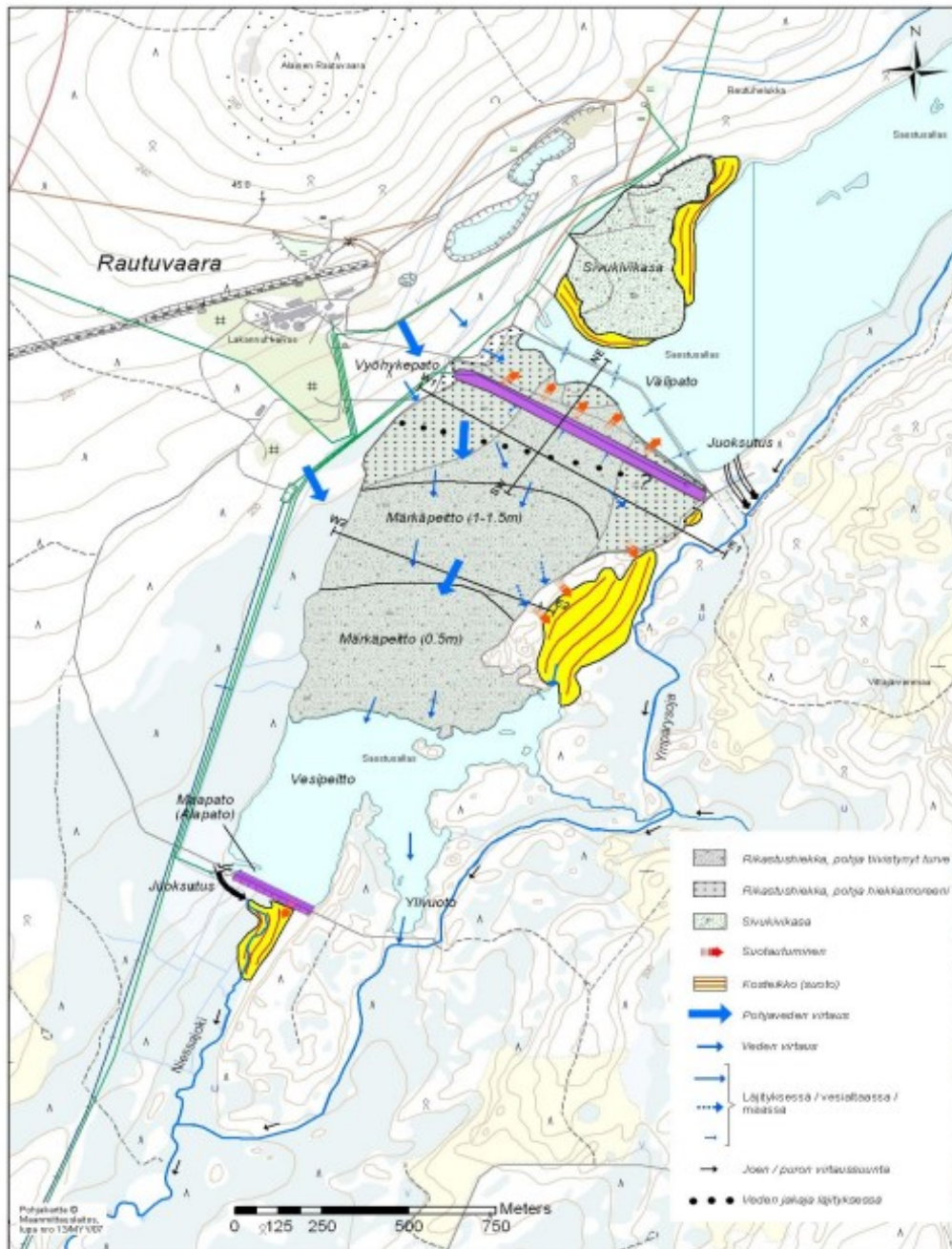
Kokonaiskuolleisuus välittömästi kaivoksen alapuolisessa vedessä oli 97,6 %, 10 km kaivoksen alapuolella 47,6 %, kaivoksen yläpuolella 36,4 % ja kalanviljelylaitoksen vertailuolosuhteissa 38,4 % (Taulukko 11). Raportin mukaan taimenen alkionkehitys ei onnistunut välittömästi pantoaltaan purkuaukon alavirrassa, koska ferrihydroksidipitoinen sakka kerääntyi mätimunan pintaan estäen alkion hengityskaasujen vaihdon, jolloin alkio tuhoutui. Kaivoksen jäteveden vaikutus tuntui lievänä myös 10 km alavirtaan; kuolleisuus oli suurempaa sekä mätimuna- että poikasvaiheessa. Tulokset olivat pääosin merkitseviä tai hyvin merkitseviä. (Vuorinen 1981)

5.2.1. Suljetun kaivoksen rikastushiekan kemiallinen nykytila

Geologian tutkimuskeskus selvitti Rautuvaaran suljetun kaivoksen jätealueen rikastushiekan kemiallista nykytilaa ja vaikutuksia ympäristön pinta- ja pohjavesiin vuosina 2005–2006. Jätealueen rikastushiekka on peräisin rauta-, kupari- ja kultamalmien rikastuksesta. Kairaustulosten perusteella rikastushiekka oli kemiallisesti rapautumatonta alueilla, missä se on veden kylästävä pohjarakenteen ollessa tiivistynyttä turvetta kantavan moreenin päällä. Kemiallisesti rapautunutta rikastushiekkaa oli jätealueen pohjoisosan pinta- ja keskikerroksissa sekä länsiosan pohjakerroksissa, missä jäte sijoittui vettä läpäisevän moreenin päälle. Kemiallisesti rapautuneen rikastushiekan vaikutukset ilmenivät voimakkaimmin pohjoisen vyöhykepadon ja välipadon välisessä painanteessa, mihin on muodostunut happamien suotovesien allas. Happamat vedet eivät sekoitu ympäröiviin pintavesiin, vaan ne kulkeutuvat altaan alapuoliseen pohjaveteen ja neutraloituvat ennen sekoittumista jätealueen eteläpuolen moreenin pohjavesiin. Jätealueelta kaakkoon ja etelään purkautuvien pintavesien vaikutukset ilmenivät lähinnä pinta- ja pohjavesien ravinnepitoisuutta ja suolaisuutta lisäävien alkuainepitoisuuksien kasvuna. Lisäksi esitetään yleissuosituksia jätealueen eri osien jälkihoidolle perustuen tehtyihin havaintoihin ja ilmiöihin rikastushiekan kemiallisessa tilassa. (Räisänen ym. 2015b)

5.2.2. Läjitysalueen ja sen ympäristön pinta- ja pohjavesien kemiallinen nykytila

Räisäsen ym. (2015b) raportin mukaan veden laatua arvioitiin vertaamalla vesinäytteiden pitoisuuksia sosiaali- ja terveysministeriön talousvedelle asettamiin raja-arvoihin arvoihin (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista N:o 461/2000) ja rikastushiekan jätealueen ulkopuolelta otettujen vertailunäytteiden alkuainepitoisuuksiin (luontaiset taustapitoisuudet). Suotovesiä purkautuu pintaan vyöhykepadon ja välipadon väliseltä alueelta ja jätealueen vesiallasosan alapadolta (Kuva 13). Vyöhykepadon vesinäytteistä enemmistö oli laadultaan happamia ja vähemmistö lievästi happamia pH-arvojen vaihdellessa välillä 2,9–6,3. Sähkönjohtavuudet olivat pieniä vaihdellen välillä 2,2–6,3 mS/m. Vyöhykepadon happamissa (pH<4) suotovesissä oli erittäin suuria pitoisuuksia alumiinia, rautaa, mangaania ja nikkeliä. Maksimipitoisuudet olivat 104 mg/l Al, 1260 mg/l Fe, 225 mg/l Mn ja 9,85 mg/l Ni. Myös koboltti-, uraani-, rikki-, kalsium- ja magnesiumpitoisuudet olivat suuria (maksimit 23,1 mg/l Co, 0,47 mg/l U, 1640 mg/l S, 483 mg/l Ca ja 447 mg/l Mg). Em. alkuaineille ei ole asetettu talousveden enimmäispitoisuuden raja-arvoja, mutta esim. WHO:n suositus uraanin enimmäispitoisuudeksi talousvedessä on 15 µg/l. Lisäksi yhdessä näytteessä oli suurehko booripitoisuus (1,31 mg/l) ja kahdessa näytteessä suurehkot kuparipitoisuudet (2,04 ja 2,41 mg/l). Alapadon läpi suotautuneessa vedessä oli talousveden suositusarvon (20 µg/l) ylittäviä nikkelpitoisuuksia (28–55 µg/l). Muiden alkuaineiden osalta ei ollut talousvedelle asetettujen enimmäispitoisuuksien ylityksiä.



Kuva 13. Rautuvaaran suljetun rikastushiekan jätealueen pohjan maalaji, pohja- ja pintavesien virtaussuunnat, suotautumisalueet ja niihin liittyvät kosteikot sekä patokohteet, Kolari, Länsi-Lappi (Räisänen ym. 2015b).

Rikastushiekan sulfidihapettumiselle ja sitä seuraavalle happamoitumiselle on tunnusomaista rikin, raudan ja useimpien raskasmetallien pitoisuuksien kohoaminen rapautuvan rikastushiekan pintakerroksen saostumisissa ja suotovesikohteisiin muodostuneissa rautasaostumisissa. Ominaista on myös veden rikkipitoisuuksien (=sulfaattipitoisuuksien) ja sulfideihin sitoutuneiden raskasmetallien (As, Co, Cu, Ni) pitoisuuksien kasvu yhdessä kalsium-, magnesium-, kalium- ja natriumpitoisuuksien kanssa. Niissä suotovesinäytteissä, joiden pH oli alhainen (<5), oli tyypillisesti runsaasti liukoista alumiinia. (Räisänen ym. 2015b)

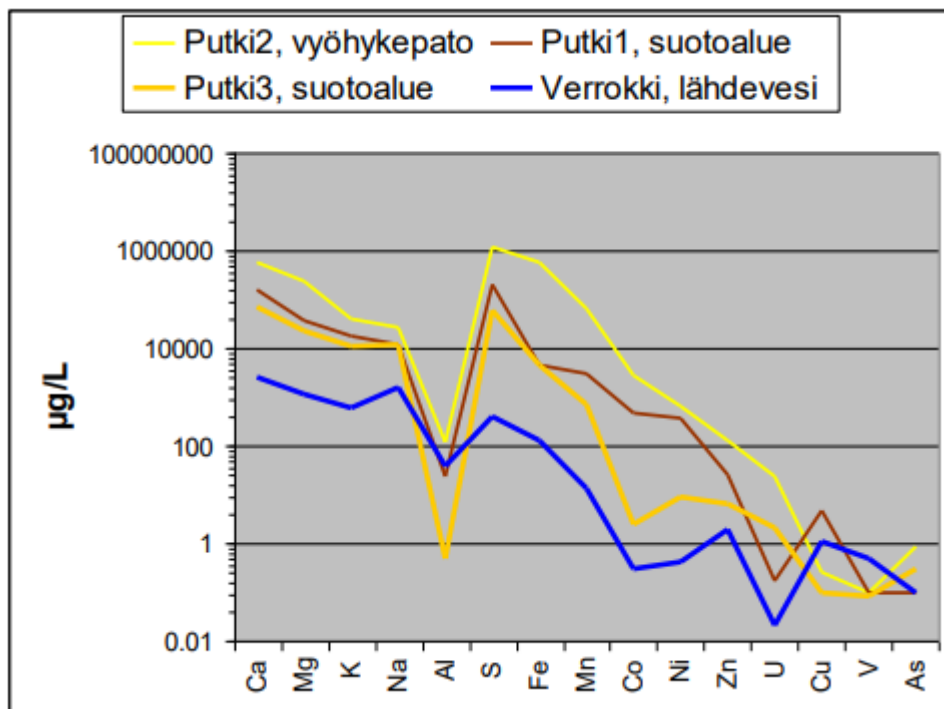
Raudan ja rikin suuret pitoisuudet viittaavat rautasulfidien rapautumiseen. Alumiinin suuri pitoisuus viittaa silikaattimineraalien (kiille, kloriitti) rapautumiseen, mistä seuraa myös kalium- ja magnesiumpitoisuuksien kasvu suotovesissä (ei eteläosan allasvedessä). Kahdessa suotovesinäytteessä, joiden pH oli yli 6, alumiinipitoisuudet olivat alle alimman Al-määrittäysrajan ($<0,1$ mg/l). Myös nikkelipitoisuudet olivat näissä kahdessa näytteessä pienemmät kuin Al-pitoisissa suotovesissä. Rikastushiekan sulfidihapettumisen seurausvaikutukset näkyivät voimakkaaimmin vyöhykepadon ja välipadon välisenä hapanvetisenä suotovesilammikkona. Lammesta ei ollut ylivuotoa, eikä happamien suotovesien sekoittumista rikastushiekan jätealueen itäpuoliseen ympärysojaan ollut havaittavissa. Rikastushiekan jätealueen eteläosan, entisen saostusaltan vesi oli lähes neutraalia tai lievästi emäksistä (pH-arvot 7,4–7,7) ja sähkönjohtavuudet olivat välillä 46,2–49,3 mS/m. Kaikkien analysoitujen alkuaineiden pitoisuudet olivat pienempiä kuin talousvedelle asetetut enimmäispitoisuudet. (Räisänen ym. 2015b)

Niesajoen ylä- ja alajuoksujen sekä ympärysojan vesien pH-arvot olivat välillä 4,7–7,1. Happamin vesi (pH-arvot 4,7 ja 5,7) oli ympärysojassa, kun taas Niesajoen veden pH-arvot olivat lähes neutraaleja (6,6–7,1). Verrattuna talousveden raja-arvoihin pitoisuuksien ylityksiä oli alumiinilla (ympärysojan näyte) sekä raudalla ja mangaanilla. Muiden alkuaineiden osalta ei ollut liian suuria pitoisuuksia. (Räisänen ym. 2015b)

Rikastushiekan jätealueen eteläpuolelta analysoitiin vuonna 2005 luonnontilaisen lähteen veden laatua. Lähde edustaa taustaverrokkia. Lähteen vesi oli emäksistä, pH-arvo 8,4 ja sähkönjohtavuus 14,3 mS/m. Analysoitujen alkuaineiden pitoisuudet olivat pieniä. Kahden muun lähteen veden laatua analysoitiin myös v. 2005. Niistä toinen sijaitsee n. 0,5 km ja toinen 2 km rikastushiekka-alueesta itään, luonnontilaisilla alueilla. Molempien lähteiden vesi oli laadultaan hyvää ja täytti fysikaalis-kemiallisilta ominaisuuksiltaan hyvälle talousvedelle asetetut laatuvaatimukset ja -suositukset. (Räisänen ym. 2015b)

Havaintoputkien, erityisesti putken 2 pohjaveden laatu poikkesi putkien 1 ja 3 pohjaveden laaduista (Kuva 13). Putki 2 se sijaitsee jätealueen vyöhykepadolla, kun taas putket 1 ja 3 sijaitsevat jätealueen ulkopuolella. Pohjavesien pH-arvot vaihtelivat välillä 6,2–6,7 ja sähkönjohtavuudet välillä 58–168 mS/m. Putken 2 pohjavesi sisälsi runsaasti sulfaattia (rikkiä), rautaa, mangaania ja nikkeliä: 3310 mg/l SO_4 , 584 mg/l Fe, 64,5 mg/l Mn, 665 µg/l Ni. Putken 1 veden pitoisuudet olivat myös suuria, vaikkakin paljon pienempiä kuin putken 2 veden laatu (660 mg/l SO_4 , 4,38 mg/l Fe, 2,95 mg/l Mn, 377 µg/l Ni). Pitoisuudet osoittavat, että rikastushiekka-altaasta suotautuu vesiä itäisen padon ulkopuolelle, lähinnä jäteallasta rajaavaan moreenimaahan (putken 1 ympäristö). Havaintoputkessa 3 alapadon eteläpuolella rauta- ja mangaanipitoisuudet (4,5–4,9 mg/l Fe, 680–720 µg/l Mn) ylittivät hyvälle talousvedelle asetetut raja-arvot. Muiden alkuaineiden osalta ei ylityksiä ollut. (Räisänen ym. 2015b)

Suotovesikohteiden alkuainepitoisuudet ovat muihin kohteisiin verrattuina hyvin suuria, esim. alumiinia ja rautaa on suotovesissä jopa yli 40 000 kertaa enemmän kuin rikastushiekka-altaan vedessä (Kuva 14). Mangaanipitoisuudet ovat jopa 100 000 kertaa suuremmat ja rikki-pitoisuudet yli 1000-kertaiset. Nikkelipitoisuudet ovat jopa 700-kertaisia ja rikkiä on n. 25 kertaa enemmän kuin rikastushiekka-altaassa. (Räisänen ym. 2015b)

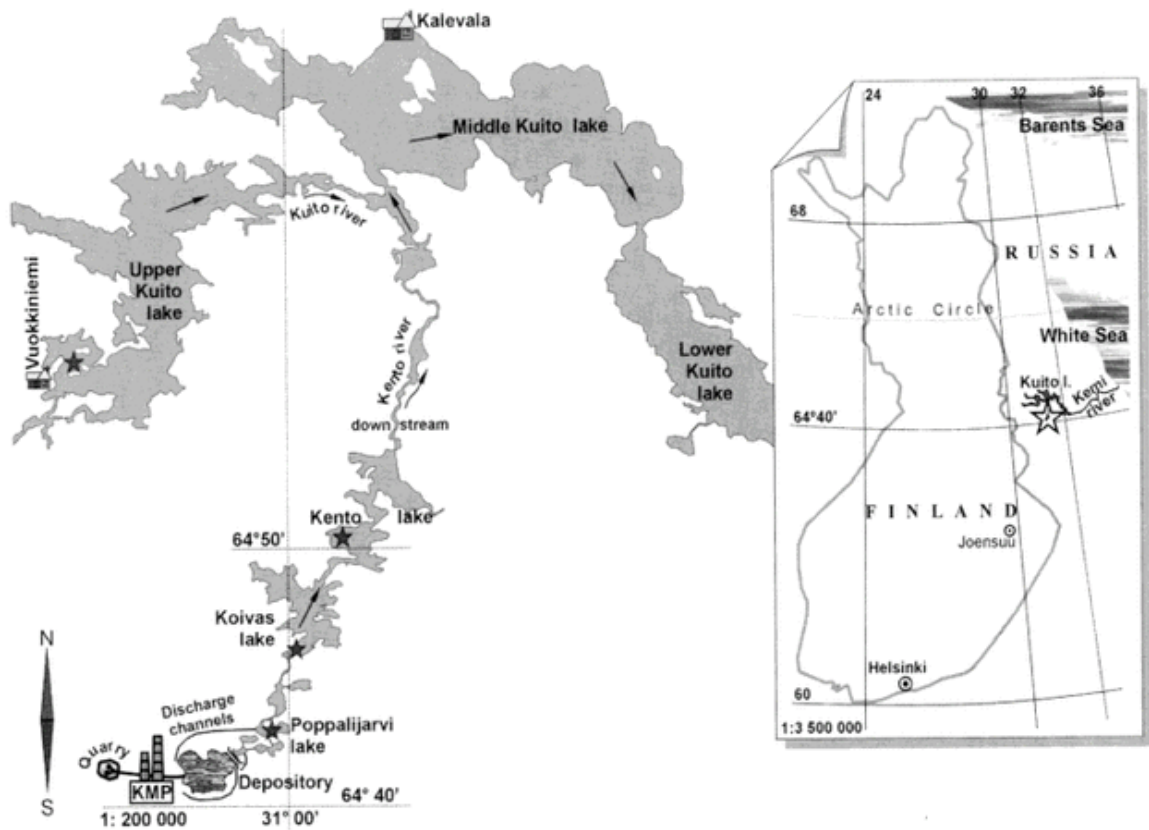


Kuva 14. Veden laatu pohjaveden havaintoputkissa ja rikastushiekan jätealueen itäpuolen luonnontilaisessa lähteessä, Rautuvaaran suljettu kaivosalue, Kolari, Länsi-Lappi (Räisänen ym. 2015b).

5.3. Kostamus

Kostamuksen rautakaivos sijaitsee Venäjän luoteisosassa Karjalan tasavallassa (Kuva 15). Kostamuksen malmiesiintymä löydettiin jo 1900-luvun alussa, mutta päätös sen hyödyntämisestä tehtiin vasta Neuvostoliiton aikana 1960-luvun lopulla. Kostamuksen rautakaivos on esiintymältään yksi maailman suurimmista: malmivarojen on arvioitu olevan kymmenen miljardia tonnia (45 % rautametallia) (Kislov 2012).

Tutkimusasetelma (Tkatcheva 2007): Kostamuksen kaivoksen vaikutusta Kentijoen alavirrassa sijaitsevien järvien kaloihin (särki, ahven) ja kalapopulaatioihin selvitettiin mm. kalojen elimien rakenteiden muutoksista sekä maksan ja kiduksen entsyymi- ja lipidikoostumuksesta kaivosvedessä. Lisäksi laboratoriossa tutkittiin kirjolojen fysiologisia ja aineenvaihduntavasteita alkalimetallien pitoisuuksiin.



Kuva 15. Kartta tutkimusalueesta. Tähdet kuvaavat näytteenottopaikkoja (Tkatcheva ym. 2002).

Vedenlaatu: Kentijoen alueen järvien pintaveden laatua tutkittiin vuosina 1997–2001. Tutkimustulokset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Järvien kuvaus ja pintaveden laatu Kentijoen alueella 1997–2001. Vuosi 1997 – Morozovin (1998) sekä Virtasen ja Markkasen (2000) tiedot. A – tulokset Ahvenjärvi. Ei tähteä – tiedot elokuulta 2000 ja 2001, * tiedot huhtikuulta 2000, **tiedot julkaisusta

	Kentijoen alavirran järvet						Vertailujärvet		
	Poppali-järvi			Kento			Kammenoe	Ylä-Kuito	
Pinta-ala, km ²	1,7			27,1			95,5	197,6	
Maksimisyvyys, m	11			24			29	44	
Vuosi	1997	2000	2001	1997	2000	2001	1997	2000	2001
pH	7,6-8,2	8,3	8,4	6,6	7,7	7,7	6,4–7,0	6,8	6,7
Happi, pinta/pohja, kyll.-% ***		107/95	94/97	97/74	96/85			115/95	90/94
Sähkönjohtokyky, mS/m	-	39,1	39,4	-	14,9	14,0	2,6	2,5	2,4
Väri, mg Pt/l	50	35 (50*)	-	60	40	-	25	40 (70*)	-
Org. hiili (TOC), mg/l	6,2	7,7*	-	7,2	-	-	6,1	11,6*	-
IC, mg/l	-	17,8*	-	-	-	-	-	2,3*	-
Kok. P, µg/l	8	6	9	7	8	8	7	14	11
Kok. N, µg/l	2200	3888	4038	270	797	697	220–350**	263	581
SO ₄ ²⁻ , mg/l	56	82,1	-	23	20,6	-	2	2,2	3,6**
Cl, mg/l	3,7	3,7	-	1,5	1,5	-	0,8	0,8	-
Na, mg/l	6,0	6,2 (8*)	6,4	2,0	2,8	2,6	1,2	1,2 (2,1*)	0,8
K, mg/l	60	60 (62*)	60	13	20	20	0,4	0,5 (1,0*)	0,4
Li, mg/l	17–38	20	-	7	7*	-	0,2	0,2	-
Ca, mg/l	35	21 (18*)	23	6,2	7,9	8,4	1,6	1,9 (1,6*)	1,9
Mg, mg/l	8,0**	8,3	7,7	3,0**	3,1	3,2	-	0,8	0,6
Al, µg/l	5,9A	11	-	-	17	-	-	57	35–60**
Zn, µg/l	0,63A	6 (8*)	-	0,45	9	-	5	16 (0*)	-
Cu, µg/l	0,49A	4,31*	-	0,33	-	-	1,0	0,93*	-
Cr, µg/l	8,3A	0,38*	-	0,20	-	-	<1,0	0,37*	0,55–0,58*
Cd, µg/l	<0,03	0,20 (0,19*)	-	<0,03	0,1	-	<0,03	0,1 (0,07*)	-
Fe, µg/l	≈600	38–45 (434*)	58	≈200	98–104	123	300	202–266 (269*)	240

Taulukko 13. Kentijoen vesistön sedimentin raskasmetallipitoisuudet ja pH elokuussa 2000 ($\mu\text{g/g}$ kuivapaino, Fe mg/g). Taulukon tiedot: Tkatcheva ym. 2007.

	pH	Hg	Cd	Cr	Cu	Fe	Zn	Kiinto- aine	Org. C*
Poppalijärvi	6,7	0,125	1,8	221	17	216	140	0,89	12,6
Kento, AV	5,5	0,085	1,2	180	7	140	109	0,58	14,4
Kento, 0–2 cm			0,9	139	4	205	68		
Kento, 2–4 cm			1,5	222	11	74	149		
Ylä-Kuito (ver- tailu)	5,7	0,075	0,5	345	14	49	106	0,55	3,13**

*tiedot julkaisusta Lozovik ym. 2001, % kuivapainosta** Keski-Kuito.

Tulokset: Tutkimusasetelma ei ota kantaa kalaston lajikoostumukseen vaikutusalueella ennen kaivoshanketta. Kaivosteollisuus on kuitenkin muuttanut luonnonvesien ja sedimentin kemiallisen koostumuksen sekä vaikuttanut laajasti vesieliöihin ja kalastoon. Kokonaisuutena metallien vaikutukset kaloihin näyttäisivät olevan mekanismeiltaan hyvin monimutkaisia ja monitahoisia.

Tkatchevan (2007) mukaan Karjalan tasavallassa sijaitsevan Kostamuksen rautakaivoksen metallipäästöt ovat vaikuttaneet tärkeän Kentijoen vesistön kaloihin. Kaloissa esiintyneisiin solu-muutoksiin ei kuitenkaan voida nimetä yhtä tekijää, vaan kysymys on monen ympäristötekijän yhteisvaikutuksesta. Kostamuksen kaivoksen ja rautapellettitehtaan jätevedet muodostavat alueella merkittävän ympäristöongelman. Veden mineraalipitoisuus, happamuusarvo ja ko- vuus ovat muuttuneet vesistön järvissä (Taulukko 12). Myös alkalimetallien, kuten litiumin, pi- toisuudet ovat poikkeuksellisen suuret. Kalat altistuvat kroonisesti myös kuparille, koska sen pitoisuudet ovat suuria vedessä ja sedimentissä (Taulukko 13).

Kentijoen vesistö on paikallisten suosima kalastus- ja virkistysalue sekä Karjalan tasavallan tärkeä kalojen lisääntymisalue.

Seuraavassa havaintoja Kostamuksen jätevesien ja metallikuormituksen tärkeimmistä vaikutuksista Kentijoen yläosassa:

- Jätevedet ovat muuttaneet luonnollista vesi- ja sedimenttikemialla ja vaikuttavat laajasti eliöstöön aina kalayhteisöön asti.
- Metalleja kerääntyi kaloihin vähemmän, jos pH oli korkea.
- Kuparin korkea pitoisuus Poppalijärven vedessä, sedimentissä ja kaloissa (särki) kuvastaa sen isoa vaikutusta, mutta myös kykyä muodostaa yhdisteitä ja saostua Kentijoen yläosalla. Kupari on myrkyllistä myös leville.
- Rauta kertyy suoraan kaloihin, jotka syövät pohjalta.
- Vaikutusalueen järvissä olisi turvallisinta kalastaa vain talvella, koska kalojen elohopeapitoisuudet ovat silloin pienempiä kuin kesällä. Ahvenen maksan ja kidusten rakennemuutokset osoittivat kalojen kudosten reaktioita muuttuneeseen veden laatuun, altistumiseen metalleille ja mahdollisesti myös joillekin muille myrkyllisille aineille.
- Ravinnon saatavuus, muuttuneesta vesiyhteisöstä johtuvat järvien väliset ruokavali- on erot ja veden happipitoisuudet vaikuttivat särkien metallipitoisuuteen ja kidusten lipi- dikoostumukseen.

- Kentijoen yläosan vesissä litiumin vaikutus ilmeisesti pienenee kaliumin ja natriumin suojaavan vaikutuksen vuoksi.

5.4. Outokumpu

Outokummun kupariesiintymä löytyi Geologisen tutkimuslaitoksen malminetsinnän tuloksena vuonna 1910. Outokummun kaivostoiminnan ensimmäisen periodin eli kuparitehtaan (1913–1929) toiminnan aika oli rakentamisen suhteen vielä verkkaista. Suurtuotantovaiheeseen päästiin 1920-luvun lopulla. Ensimmäinen rikastamo valmistui vuonna 1928 ja samana vuonna valmistui kuilu Kumpu-muodostumaan. Kaivoksen asema vahvistui edelleen 1930-luvun lopulla, kun malmioon avattiin Mökkivaaran kaivos (1939–1954). 1950-lukua voidaan sanoa outokumpulaisen kaivannaiskulttuurin kulta-ajaksi. Keretin kaivos (1954–1989) valmistui malmion länsipäähän luoteesta kaakkoon ulottuvalle harjumuodostumalle (Kuva 16) ja se oli tuolloin Euroopan toiseksi suurin kuparikaivos. Esiintymä oli tyypiltään sulfidinen sinkki-kuparimalmio. Kummun kaivosalue on nykyisin kaivoseumana. (Saksela 1948, Hakapää ym. 1955, Papunen 1986, Räisänen ym. 2015a)



Kuva 16. Outokummun kaivoksen museoalueen ja Keretin kaivosalueen rikastushiekan jätealuiden sijainti (oranssi katkoviiva), pintaveden virtaussuunnat (sininen nuoli), jätealuiden suotautumisen (oranssi nuoli) ja pohjaveden virtaussuunnat (tummansininen nuoli). Vihreällä katkoviivalla on rajattu lajittuneiden maalajien pohjavesialueet, joita reunustavat moreenimuodotumat. (Räisänen ym. 2015a)

Tutkimusasetelma (Lohilahti ym. 2009): Tutkimuksessa selvitettiin Outokummun kaivoksesta kalakannoille ja kalastukselle aiheutuneita haittoja. Tutkitut vesistöt olivat Sysmäjärvi välittömässä kaivoksen läheisyydessä, Taipaleenjoki ja Sysmäjoki (Sysmäjärven laskujoki) sekä

Heposelkä. Sysmäjärveen laskevat lännestä ja etelästä Ruutunjoki, Kuusjoki ja Kesselinpuro sekä pohjoisesta Lahenjoki. Sysmäjärven luusua sijaitsee järven kaakkoisosassa, josta alkavaa Sysmänojokea pitkin järven vedet laskevat Taipaleenjokeen, joka on puolestaan Viinijärven las-
kujoki. Taipaleenjoesta vedet laskevat Oriveden Heposelkään.

Vedenlaatu: Pitkään jatkuneen kuormituksen vuoksi sulfaattipäästöjen vaikutukset näkyivät Heposelällä asti (etäisyys linnuntietä 25 km) veden suolaantumisen ja kerrostumisen.

Vesistöjen käyttökelpoisuusluokituksessa Sysmäjärvi on vedenlaadultaan luokiteltu huonoksi. Vesipuitteiden mukaisessa ensimmäisessä pintavesien ekologisen tilan luokituksessa ma-
taliin humusjärviin kuuluvasta Sysmäjärvestä oli käytettävissä arviointikaudelta tietoja vain kasviplanktonista ja vesikasveista. Näiden perusteella järven laskennallinen ekologinen tila on hyvä, kuten myös veden laadun osalta (kokonaisfosfori ja -typpi), mutta järveen kohdistuvan kuormituksen ja huonon happitilanteen perusteella järvi luokiteltiin tyydyttävään ekologiseen tilaan. (Lohilahti ym. 2009)

Vuosina 1928–1938 Sysmäjärveen johdettiin Ruutunjokea pitkin Keretin kaivosalueelta emäk-
sisiä, runsaasti metalleja sisältäviä jätevesiä. Tämän jälkeen vuosina 1938–1964 Keretin kaivok-
sen jätevedet olivat puolestaan hyvin happamia, minkä seurauksena kalakannat ja kasvi- ja
eläinplanktonin biomassat romahtivat. Kaivosjätevesien neutralointi aloitettiin vuonna 1964.
Nykyisin Sysmäjärven veden pH-arvot vaihtelevat 6 ja 7 välillä. Sysmäjärveltä on mitattu kor-
keita sulfaatti-, rauta- ja raskasmetallipitoisuuksia sekä vedestä että sedimentistä. Erityisesti
nikkelin suurilla pitoisuuksilla voi olla haitallisia vaikutuksia järven vesieliöille. (Lohilahti ym.
2009)

Sysmäjärven happitilanne on ollut huono. Lähellä Lahenjokisuuta on ollut käytössä hapetin
vuodesta 1997 lähtien. Tästä huolimatta järveltä mitataan edelleen hyvin alhaisia talvisia hap-
pipitoisuuksia. Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy otti talvella 2004 happinäytteitä Sysmä-
järven syvänteessä olevan hapettimen ympäriltä kolmesta havaintopaikasta maaliskuu-, touko-
elo- ja lokakuussa. Maaliskuussa päällysveden happipitoisuus vaihteli 4,8–5,5 mg/l ja alusve-
den pitoisuus välillä 2,6–4,2 mg/l. Tästä voidaan päätellä, että hapetin ei riittänyt hapetta-
maan koko vesimassaa. Kokonaisuutena happitilannetta maaliskuussa 2004 voitiin pitää vält-
tävänä/huonona (Puranen 2005).

Taulukko 14. Saalis pinta-alaa kohden kg/ha Sysmäjärvellä vuonna 2005 sekä kokonaissaalis
(kg) vuosina 2005, 2000 ja 1996 (Hartikainen 1997, 2003 ja 2006).

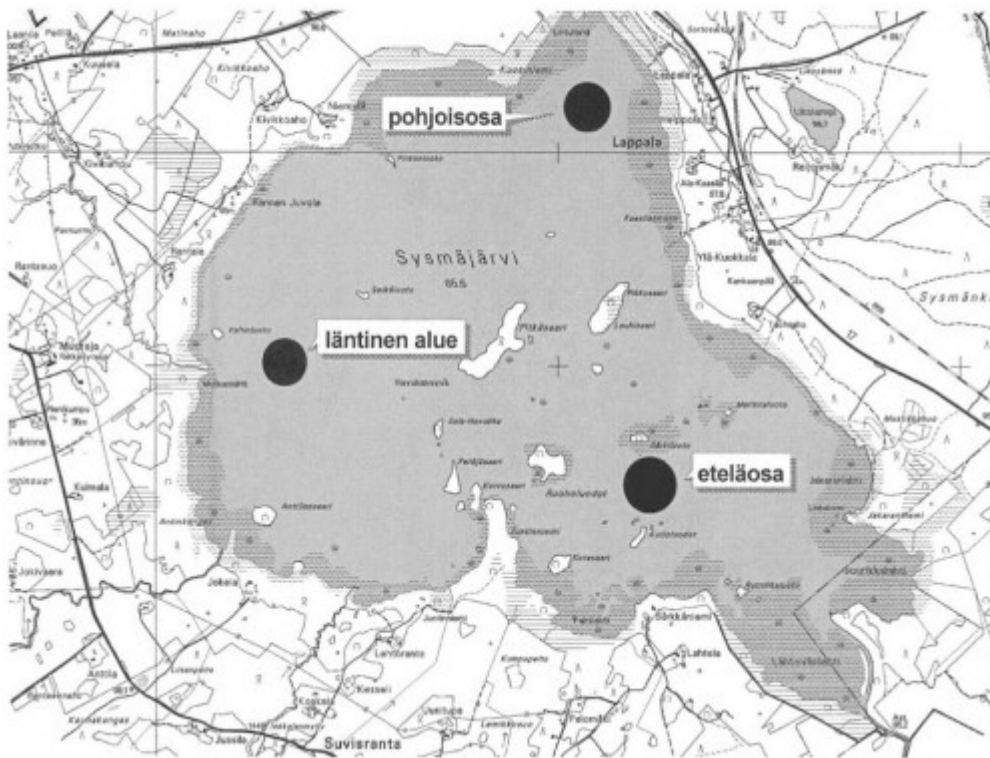
	kg/ha	kok. saalis (kg) 2005	kok. saalis (kg) 2000	kok. saalis (kg) 1996
Ahven	0,75	519	725	124
Hauki	0,81	560	454	409
Särki	0,71	491	142	99
Lahna	0,81	560	229	967
Muut	0,09	65	-	-
Yhteensä	3,18	2194	1550	1599

Tulokset: Pohjois-Karjalan Sysmäjärvi ja lähivesistöt sekä Outokummun kuparikaivoksen lähei-
set pohjavedet pilaantuivat 1930-luvulta alkaen kaivoksen ja sen rikastamon happamien ja

raskasmetallipitoisten jätevesien seurauksena. Tiedot Sysmäjärven kalastosta ja saalismääristä perustuvat Mondo Minerals Oy:n, Outokumpu Mining Oy:n, Outokummun kaupungin sekä Viinijärven kalalaitoksen kalataloudellisen yhteistarkkailuohjelman raportteihin (Hartikainen 1997, 2003 ja 2006). Tutkimusmenetelminä on käytetty kirjanpitokalastusta, koekalastusta, kalastustiedustelua sekä raskasmetallitutkimuksia. Sysmäjärven kalakanta on ollut vuosina 1996–2006 rehevälle järvelle ominainen ja se on säilynyt tarkastelujakson aikana suhteellisen ennallaan. Sysmäjärvellä särjen ohella kolme merkittävintä saalislajia ovat ahven, hauki ja lahna (Taulukko 14). Vuonna 2000 ahvensaalis muodosti lähes puolet kokonaissaaliista. Vuoden 2005 särkisaalis oli noin viisinkertainen verrattuna vuoteen 1996. Vuonna 2005 särkeä saatiin runsaimmin järven pohjoisosasta. Sysmäjärven kokonaissaalis oli kasvanut edellisiin kalastustiedusteluihin verrattuna. Sysmäjärveen on istutettu säännöllisesti vuodesta 1995 lähien karpia, josta ei ole kuitenkaan kirjanpitokalastuksen yhteydessä saatu havaintoja. Kalaston perusteella arvioituna Sysmäjärven ekologinen tila on hyvä/tydyttävä (EQR-indeksi 0,68). Rehevyydelle herkkien muuttujien (kalaston biomassa, lukumäärä, särkikalajien biomassa ja indikaattorilajit) perusteella järven ekologista tilaa voidaan pitää hyvänä (EQR_4-indeksi 0,70). (Hartikainen 1997, 2003 ja 2006)

Kalojen raskasmetallitutkimusten mukaan Sysmäjärven näytekalajien arseeni- ja nikkelpitoisuudet olivat vuonna 2006 vuosien 2000 ja 2003 tapaan alle määritysrajan (0,1 mg/kg). Sysmäjärven ahvenissa sinkkipitoisuudet olivat keskimäärin 3,0 mg/kg, hauessa 8,0 mg/kg ja särjessä 2,7 mg/kg. Tulosten mukaan ahvenen ja särjen sinkkipitoisuudet Sysmäjärvellä eivät juurikaan ole muuttuneet 1980-luvun tilanteesta. Sysmäjärvestä pyydettyjen kalajien käyttöä elintarvikkeeksi ei ole tarpeen rajoittaa, koska niiden metallipitoisuudet ovat niin pieniä. (Hartikainen 1997, 2003 ja 2006)

Tutkimusasetelma (Sarpakunnas 2018): Sysmäjärven kalaston rakennetta ja mahdollisia muutoksia on seurattu koekalastuksella joka kolmas vuosi vuodesta 2009 lähtien. Koekalastusalueita oli kolme (Kuva 17). Samoina vuosina on tehty Sysmäjärven ja Sysmäjärven alapuolisen Heposelän kaloista raskasmetallimäärityksiä sekä sähkökalastuksia Sysmäjärven alapuolisen Sysmänjoen ja Taipaleenjoen virtavesikalaston tilan seuraamiseksi (Kuva 18).



Kuva 17. Koekalastusalueet Sysmäjärvellä (Sarpakunnas 2018).

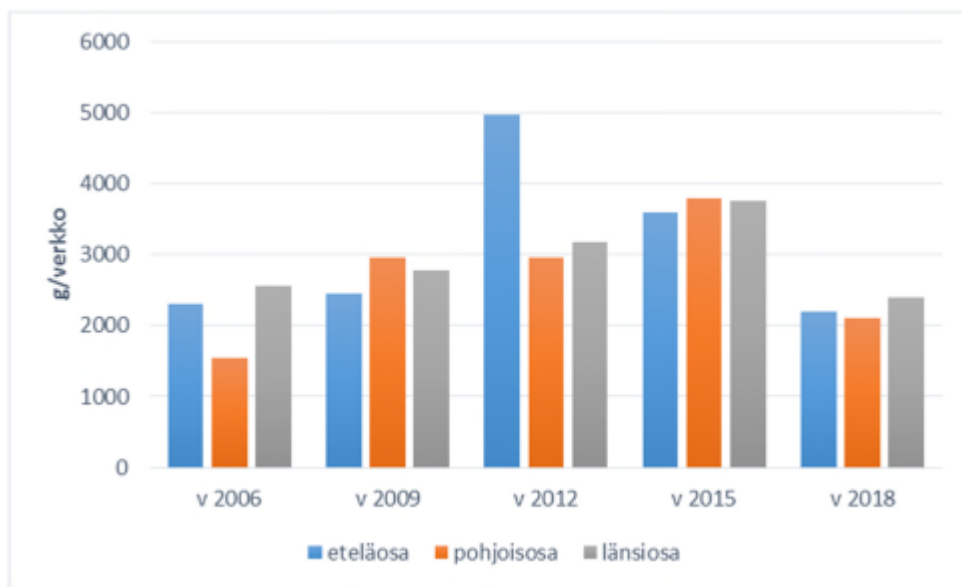


Kuva 18. Sähkökalastusalueet Sysmän- ja Taipaleenjoessa (Sarpakunnas 2018).

Tulokset: Kalasto oli vuonna 2018 aiempien vuosien tavoin miltei samanlainen koko järven alueella ja saaliissa esiintyivät pääsääntöisesti samat kalalajit. Kappalemääräisestä saaliista särjen osuus oli kaikilla alueilla selkeästi suurin, noin 55–65 %. Ahvenen kappalemääräinen osuus oli toiseksi suurin, noin 16–25 %. Lahnan osuus oli noin 10–15 %. Biomassan osalta ahvenen osuus oli kuitenkin särkeä suurempi, noin 40–60 %. Särki ja ahven muodostivat kaikilla

alueilla noin 80 % saaliin biomassasta. Ahvenen, särjen ja lahnan ohella järvestä tavattiin pieniä määriä kiiskeä, haukea, salakkaa ja ruutanaa. Yksikkösaaliit Sysmäjärvestä olivat vuonna 2018 aiempien koekalastusten tavoin runsaita, mutta pienempiä kuin vuosina 2009, 2012 ja 2015 (Kuva 19). Yksikkösaaliit (grammaa/verkko) olivat kasvaneet kaikilla alueilla vuodesta 2006 vuoteen 2015. (Sarpakunnas 2018)

Yhteenvetona koekalastuksen tuloksista voidaan todeta Sysmäjärven kalaston olevan edelleen biomassaltaan rehevälle järvelle ominaisella tasolla. Kalamäärää kuvaavat yksikkösaaliit ovat kasvaneet 2000-luvun ajan, mutta vuoden 2018 saaliit hieman pienenevät. Koekalastuksen aikaan vallinnut hellejakso on tosin voinut heikentää kalojen liikkumista ja verkkoon jäämistä järvestä. Eri alueiden välillä ei ole koekalastustuloksissa merkittäviä eroja. Koekalastustuloksia onkin mielekästä tarkastella koko järven kattavana kokonaisuutena. (Sarpakunnas 2018)



Kuva 19. Verkkokoekalastuksen yksikkösaalis (grammaa/verkko) Sysmäjärven eri alueilla

Sysmäjärven ja Sysmäjärven alapuolisen Heposelän osalta **raskasmetallimääritykset** on pyritty tekemään viidestä hauki- ja ahvennäytteestä. Vuonna 2018 näytteitä saatiin suunniteltu määrä muilta osin, mutta Sysmäjärvestä saatiin määritykseen vain ahvenet. (Sarpakunnas 2018)

Tulokset: Sekä Sysmäjärvestä että Heposelällä nikkelipitoisuudet olivat alle määritysrajan. Myös kalojen arseenipitoisuudet molempien alueiden kalanäytteissä olivat alhaisia. Arseenipitoisuus on viime vuosina ollut keskimäärin hieman suurempi Heposelällä kuin Sysmäjärvellä, mutta arseenipitoisuudet Sysmäjärvellä ja Heposelässä ovat kaikilla tutkimuskerroilla jääneet selvästi raja-arvon (5 mg/kg) alle. Sinkkipitoisuudet Sysmäjärvellä ahvenessa olivat vuonna 2018 keskimäärin 4,46 mg/kg (vuonna 2015 4,2 mg/kg). Heposelällä vastaavat pitoisuudet olivat ahvenessa 4,48 mg/kg (v. 2015: 4,2 mg/kg) ja hauessa 10,1 mg/kg (v. 2015: 9,4 mg/kg). Tulosten mukaan ahvenen ja hauen sinkkipitoisuudet molemmilla alueilla näyttäisivät hieman kasvaneen. (Sarpakunnas 2018)

Kalaston koostumus: **Salvukoskessa** tavattiin särkeä, ahventa sekä kolme haukea. Saalis on aiempina vuosina ollut saman tyyppinen: lähinnä särkiä ja ahvenia, mateita ja haukia vain

satunnaisesti. Lohikaloja tai kivisimppuja ei sähkökalastuksissa ole saatu. **Siikakoskessa** kalasto oli runsastunut vuodesta 2015 etenkin vaateliampien virtavesilajien osalta. Taimenia oli runsaimmin koko tutkimusjakson aikana ja joukossa oli myös yksi kesänvanha, todennäköisesti luonnonkudusta syntynyt poikanen. Kaikki taimenet olivat rasvaevällisiä, joten käytännössä niiden on oltava joko mäti-istutuksista tai luonnonkudusta peräisin. Mätiä kohteeseen ei ole istutusrekisterin perusteella kuitenkaan istutettu viime vuosina. Lisäksi saatiin kivennuoliainen ja kivisimppuja, joiden tiheys oli noin 10 yksilöä/aari. Tiheydet olivat kaikkien näiden lajien osalta suurimpia, joita tutkimusjaksolla on havaittu. Sähkökoekalastuksen aikaan virtaama oli erityisen pieni, mikä on osaltaan voinut parantaa etenkin kivisimpun ja kivennuoliaisen pyydystettävyyttä, mutta ainakin taimenkannan kohdalla on tapahtunut jonkin asteista elpymistä. (Sarpakunnas 2018)

5.5. Nikel, Kuola

Kuolan niemimaalla sijaitsevan Nikelin (ent. Kolosjoki) kaivoksen nikkeli-kuparimalmion hyödyntäminen aloitettiin 1930-luvulla, jolloin Petsamo kuului Suomelle (Kuva 20). Suomen ja Neuvostoliiton välisten sotatoimien vuoksi kaivokseen liittyvä toiminta pysäytettiin kuitenkin marraskuun lopussa 1939. Kaivoksessa tuotettiin nikkeliä kohtuullisella menestyksellä suomalais-saksalaisin voimin vuosina 1940–1944, jona aikana malmin kokonaislouhinta ylitti 400 000 tonnia. Tuosta määrästä oli nikkeliä 16 000 tonnia ja kuparia 8 000 tonnia. Toisessa maailmansodassa kaivos siirtyi venäläisille, jotka jatkoivat toimintaa. (Hanski 1992)

Venäläinen kaivosjätti Nornickel on sulkenut nikkelisulattonsa Nikelin kaupungissa Norjan rajan tuntumassa vuoden 2020 lopussa. Tehdas on päästöillään pilannut vuosikymmenien ajan ilmaa, vesiä ja muuta luontoa. Vaikutukset ovat tuntuneet paitsi Venäjällä, myös Norjan puolella, missä ilman rikkidioksidin raja-arvot ovat välillä rikkoutuneet. Nikkelimalmin jalostus on siirretty Nikelistä suurimmalta osin Nornickelin Montšegorskin tehtaille. Montšegorsk on reilun sadan kilometrin päässä Suomen rajasta. (Nilsen 2020)



Kuva 20. Nikelin kaupungin sijainti (Harri Vähäkangas / Yle).

Nikelin tehtaat ovat aiheuttaneet päästöjä ympäristöön ennen kaikkea raskasmetallipölyn ja happaman laskeuman (rikkidioksidi) kautta. Pahimmillaan 1970-luvulla tehtaalta pääsi ilmaan 400 000 tonnia rikkidioksidia vuodessa. Vaikka nykyisin Petsamon nikkeliteollisuuden päästöt ovat vain neljäsnes 1970-luvun hirmuvuosista, ne rikkovat Norjan soveltamat EU:n terveystasot (NILU – Norsk institutt for luftforskning). NILU:n mukaan myös raskasmetallien kuten nikkelin, kuparin, koboltin ja arseenin päästöt ovat merkittäviä. (Ilmatieteenlaitos 2014)

Tutkimusasetelma (Lukin ym. 2002): Kuotsjärven ekosysteemi on ollut Pechenganickel kaivosyhtiön toiminnan aiheuttaman voimakkaan saastuttamisen kohteena yli 50 vuoden ajan. Tutkimuksessa tarkasteltiin vanhentunutta tekniikkaa käyttävän kupari-nikkelisulaton päästöjen vaikutuksia subarktiseen järvi-ekosysteemiin.

Tulokset: Kuuden vuoden tutkimukset paljastivat muutoksia kaikilla ekosysteemitasoilla. Järven sedimenttien raskasmetallipitoisuudet (Cu, Ni jne.) olivat kymmeniä kertoja tausta-arvoja korkeammat. Kasvi- ja eläinplanktonyhteisöt olivat epävakaassa tilassa, ja kaloilla oli sairauksia toiminnallisesti tärkeissä elimissä (kidukset, maksa ja munuaiset). Nikkelin pitoisuus pohjaeliöstössä ja kaloissa korreloi sen kertymistä sedimentteihin.

Tutkimusasetelma (Amundsen ym. 1997): Lihaksen, maksan ja kidusten Cd-, Cu-, Cr-, Hg-, Ni- ja Zn-pitoisuuksia tutkittiin siialla, ahvenella, hauella, taimenella, mateella ja muikulla kolmelta järviolueelta: Norjan ja Venäjän väliseltä raja-alueelta, kaivostoiminnan läheltä ja metallisulattojen läheisyydestä.

Tulokset: Kalan kudosten Cd- ja Ni-pitoisuudet olivat korkeampia sulattojen läheisyydessä, mutta muiden alkuaineiden pitoisuuksissa ei ollut eroa kolmen paikan välillä. Kalojen raskasmetallipitoisuudet olivat muista metallien saastuttamista järvistä raportoitujen tulosten kaltaisia ja korkeampia kuin havainnot saastumattomista ekosysteemeistä.

Raskasmetallipitoisuudet olivat yleensä alhaisimpia lihaksissa ja korkeimpia maksassa tai kiduksissa. Kalalajien välillä havaittiin merkittäviä metallipitoisuustasojen eroja, mutta Hg oli ainoa metalli, jossa lajien väliset erot liittyivät mahdollisesti biomagnifikaatioon eli kemikaalin kykyyn rikastua ravintoketjussa. Muiden alkuaineiden pitoisuudet näyttivät yleensä olevan käänteisessä suhteessa kalalajin trofiatasoon.

Tutkimusasetelma (Amundsen ym. 2011): Paatsjoen vesistö Suomen, Norjan ja Venäjän raja-alueella sijaitsee Pechenganickel-kaivosyhtymän läheisyydessä, ja Nikel-sulatoista valuma menee suoraan Kuotsjärven läpi Paatsjokeen. Raskasmetallien (Ni, Cu, Cd, Zn, Pb ja Hg) pitoisuuksia ympäristössä (vesi ja sedimentit) ja siian (*Coregonus lavaretus*) kudoksissa (kidukset, maksa, munuaiset ja lihakset) vertailtiin viiden järvialueen välillä, jotka sijaitsevat 5–100 km päässä sulatoista.

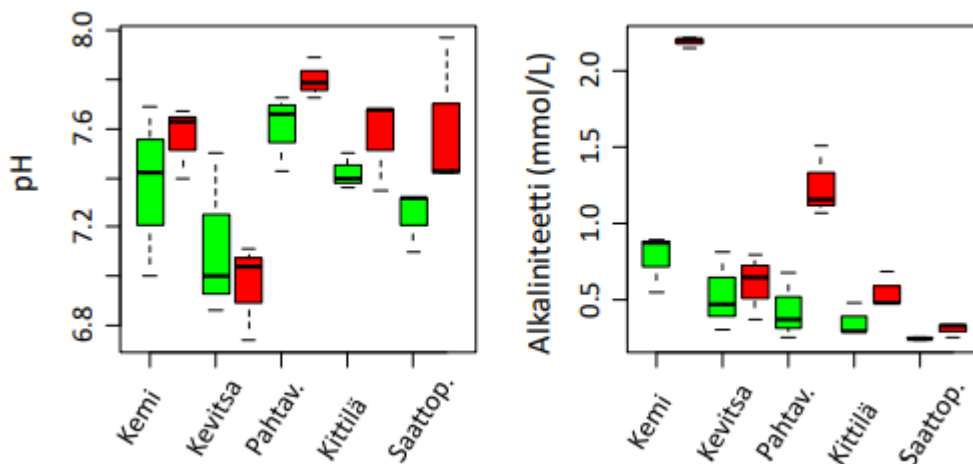
Tulokset: Raskasmetallipitoisuudet, erityisesti Ni-, Cu- ja Cd-pitoisuudet olivat korkealla Kuotsjärvellä, mutta laskivat jyrkästi etäisyyden kasvaessa sulattoihin ja olivat kohtalaisia tai matalia muilla neljällä paikkakunnalla. Tutkimus osoitti, että suurin osa metallipäästöistä ja valumista laskeutui saastelähteen lähelle, ja vain vähäisiä määriä raskasmetalliepäpuhtauksia näytti kulkeutuvan kauemmaksi. Elohopean kertymistä tapahtui kaikissa tutkituissa kudoksissa: planktonia syöville siioilla oli korkeammat Hg-pitoisuudet kuin pohjaeläimiä syöville olevilla siioilla. Lisäksi kalojen selkivesillä tapahtuvan ravinnonhaun todettiin liittyvän korkeampaan elohopean biomagnifikaatiotasoon. Korkean raskasmetallikontaminaation mahdollisia populaatioekologisia vaikutuksia havaittiin pääasiassa Kuotsjärven siialla, mikä näkyi vähenemisenä kasvunopeudessa, kuntokertoimessa sekä sukukypsyyskoossa ja -iässä.

5.6. Lapin Kaiku -projekti

Lapin kaivoskeskittymän kumulatiivisten ympäristövaikutusten arviointi ja hallinta -projekti (Lapin kaiku) oli GTK:n ja SYKE:n yhteinen hanke, jossa tuotettiin tutkimustietoa Lapin alueen alkuainepitoisuuksista maaperässä ja pohjavedessä, Lapin malmipotentialisista alueista sekä arvioitiin alueen luontaista ekologista tilaa ottaen huomioon luonnolliset taustapitoisuudet. Ekologisen tilan arvioinnissa käytettiin pohjan piilevien, pohjaeläinten ja vesikasvien kartoitus-tietoja sekä kalastokartoituksia (sähkökoekalastus).

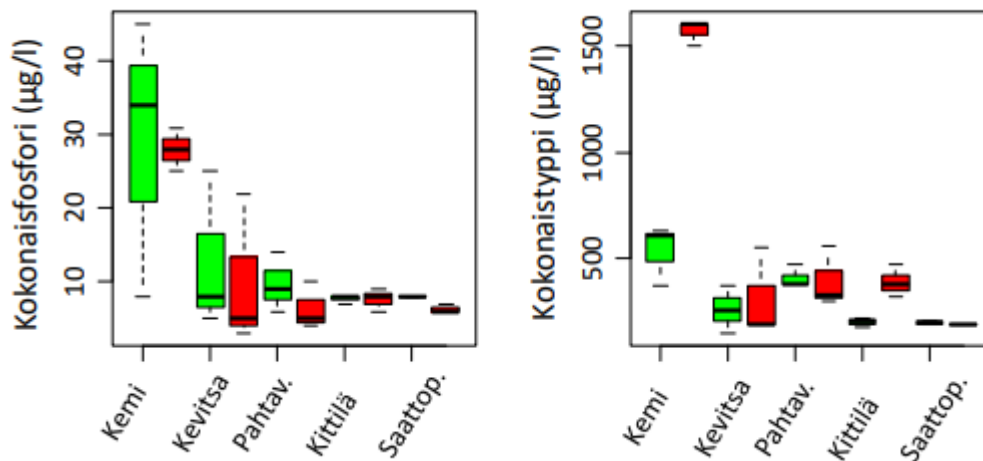
Tutkimusasetelma: Tarkoituksena oli selvittää nykyisten ja käytöstä poistettujen kaivosten kalastovaikutuksia koekalastusten avulla. Koekalastuksia tehtiin Kemien, Kevitsan, Pahtavaaran, Saattoporan, Suurikuusikon ja Soklin alueilla v. 2017 pohjaeläinnäytteenottoa paikkojen lähellä. Kaivoksista Pahtavaara ja Saattopora eivät ole enää toiminnassa, Soklin alueen apatiittimalmin hyödyntämistä vasta selvitetään. Kaikista kohteista valittiin tarkasteluun vaikutusalue ja vertailualue.

Vedenlaatu: Kaivostoiminnalla ei havaittu tutkimuksen yhteydessä otettujen näytteiden perusteella vaikutusta alapuolisten jokivesien happamuuteen, sillä veden pH-arvot sekä kaivosten vaikutusalueella että vertailualueilla olivat neutraaleja tai lievästi emäksisiä. Veden happamuuden puskurointikykyä kuvaava alkaliniteetti oli korkea kaivosten vaikuttamissa vesissä (Kuva 21). (Hatakka ym. 2019)



Kuva 21. Veden pH ja alkaliniteetti kaivosalueilla. Vertailualueet on merkitty vihreällä ja vaikutusalueet punaisella (Hatakka ym. 2019).

Keskeisimmistä ravinteista veden kokonaisfosfori- tai fosfaattipitoisuudet eivät poikenneet merkittävästi vertailualueiden pitoisuuksista (Kuva 21). Soklin alueen virtavesissä fosforipitoisuudet olivat selvästi muita alueita korkeampia (kokonaisfosfori keskimäärin 33 µg/l), mikä kuvastaa alueen kallioperän merkittäviä fosforivarantoja. Veden typpipitoisuudet olivat selvästi korkeampia Kemien ja Kittilän kaivosten vaikuttamissa vesissä kuin näiden vertailualueilla (Kuva 22). Typpikuormitus koostui pääosin nitriitti-nitraattitypeistä. (Hatakka ym. 2019)



Kuva 22. Veden kokonaisfosforin ja -typen pitoisuudet kaivosalueilla. Vertailualueet on merkitty vihreällä ja vaikutusalueet punaisella (Hatakka ym. 2019).

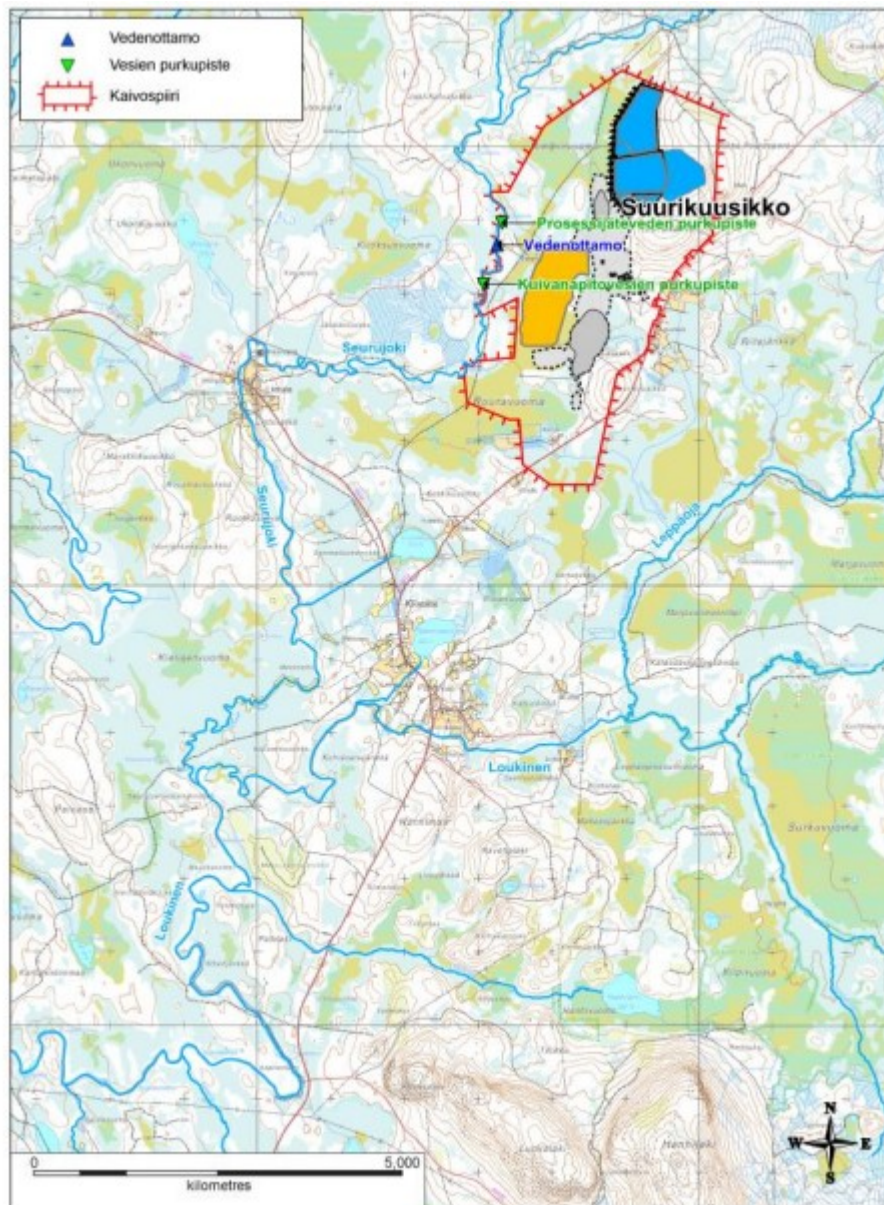
Muiden alkuaineiden suhteen kaivosten alapuolisissa tutkimuskohteissa oli kohonneita pitoisuuksia bariumia (Ba), booria (B), kaliumia (K), kalsiumia (Ca), magnesiumia (Mg), natriumia (Na), strontiumia (Sr) ja rikkiä. Erityisesti näiden alkuaineiden pitoisuudet olivat vertailualueisiin verrattuna hyvin korkeita Kemin kaivoksen alapuolisessa Iso Ruonanojassa. Valtioneuvoston asetuksella (868/2010) vesiympäristölle vaarallisiksi ja haitallisiksi määritetyistä alkuaineista kadmiumin (raja-arvo: 0,2 µg/l), nikkelin (raja-arvo: 20 µg/l) ja lyijyn (raja-arvo: 7,2 µg/l) pitoisuudet jäivät tutkimuskohteissa selvästi alle haitallisten raja-arvojen. Rikin muodoista sulfaatin pitoisuudet olivat selvästi korkeammat kaivosten (sekä aktiivisten että lopetettujen kaivosten) vaikutusalueella olevissa vesistöissä kuin vertailualueilla. (Hatakka ym. 2019)

Tulokset: Koekalastuksissa kaloja saatiin suhteellisen pieniä määriä ja kuudelta alalta ei tavattu kaloja lainkaan. Taimen oli selvästi yleisin laji erinomaiseksi luokitelluilla kohteilla, minkä lisäksi myös simppejen ja harjuksen esiintyminen liittyi erinomaiseen tilaan. Heikoimmiksi luokitelluilta paikoilta tavattiin vain yksittäisiä vesistöissä tapahtuvia muutoksia kestäviksi luokiteltuja lajeja, useimmiten ahvenia tai särkiä. Heikentynyttä ekologista tilaa havaittiin sekä kaivosvaikutteisilta että vertailupaikoilta. Iso Ruonanojassa kalaston heikentynyt ekologinen tila liittyy todennäköisesti elinympäristön muutoksiin, kuten oli havaittavissa myös piilevien ja pohjaeläinten osalta. Kaloja saatiin useimmiten vain pieniä määriä ja kokonaan kalattomia koealueita oli paljon. Näistä syistä kalastoon perustuvan ekologisen tilan seuranta soveltuu heikosti pienimpien latvavesien tilan arviointiin.

6. Velvoitetarkkailut ja kalastoseurannat

6.1. Kittilän kaivoksen kalataloudellinen tarkkailu

Kaivosyhtiö Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kaivos sijaitsee noin 35 km Kittilän keskustasta koilliseen Rouravaaran kylässä yhdellä Euroopan suurimmista kultaesiintymistä. Kittilän Suurkuusikon kultakaivoksen (Kuva 23) toiminta käynnistyi 2008. Kalataloudellista tarkkailua tehdään sähkökoekalastuksilla, piilevätarkkailulla, pohjaeläintarkkailulla, kirjanpitokalastuksella, kalastuskyselyllä sekä mädin haudontakokeilla. (Agnico Eagle Finland Oy 2022)



Kuva 23. Kittilän Suurkuusikon kaivosalueen, kaivosvesien purkupisteiden ja vedenottamon sijainti (Ramboll 2018a).

Kaivostoiminnan vaikutus on näkynyt Seurujoen **vedenlaadussa** mm. taustapitoisuuksia suurempina typpi-, sulfaatti-, kloridi- sekä metallipitoisuuksina, kun puhdistetut kaivosvedet on aiemmin johdettu pintavalutuskenttien kautta Seurujokeen. Vuonna 2017 on tehty pitkän aikavälin tarkastelu kaivostoiminnan vesistövaikutuksista (Ramboll 2018a). Raportin mukaan kaivoksen vesistökuormitus Seurujoessa on kasvanut useimpien tarkasteltujen parametrien suhteen:

- Seurujoen veden sulfaattipitoisuus on kasvanut alle 10 mg/l (ennen kaivosta) → 70 mg/l
- Kokonaistyyppipitoisuus on kasvanut 200 µg/l (ennen kaivosta) => 800 µg/l
- Kloridipitoisuus on kasvanut 1 mg/l (ennen kaivosta) => 6 mg/l
- pH on säilynyt keskimäärin samana kuin ennen kaivosta.

Kun purkupiste on muutettu Loukiseen (18.12.2020 alkaen), kaikkien em. muuttujien osalta pitoisuudet ovat laskeneet taustapitoisuuksien tasolle sekä kaivoksen ylä- että alapuolisilla seurantapisteillä eikä Seurujoella ole koko uoman matkalla havaittavissa kaivoksen aiheuttamaa kuormitusta. Esim. kokonaistypen osalta pitoisuudet vaihtelivat Seurujoella vuonna 2021 välillä 78–189 µg/l, kun vuonna 2020 kaivoksen ensimmäisellä alapuolisella pisteellä pitoisuudet olivat 1000–2100 µg/l. Sama laskeva trendi on havaittavissa muidenkin parametrien osalta. (Agnico Eagle Finland Oy 2022)

Nykyisen purkupisteen alapuolisilla havaintopaikoilla Loukisen alaosilla sulfaatin, kloridin, sähkönjohtavuuden, typen yhdisteiden sekä muutamien metallien pitoisuustasot ovat sekoittumisvyöhykkeen jälkeisellä pisteellä enintään puolet aiemmin Seurujoen ensimmäisellä kaivoksen alapuolisella seurantapisteellä havaituista pitoisuuksista. Sekoittumisvyöhykkeen seurantapisteellä sulfaattipitoisuus oli keskimäärin 26–34 mg/l. Sähkönjohtavuuden ja kloridin osalta trendit olivat vastaavat kuin sulfaatilla. (Agnico Eagle Finland Oy 2022)

Viimeisimmän raportin (Agnico Eagle Finland Oy 2022) mukaan kokonaistypen ja typen muiden yhdisteiden osalta pitoisuudet Seurujoella palautuivat vuonna 2021 taustapitoisuuksien tasolle ja olivat näin ollen yhtenäisiä koko joenuoman matkalla. Loukisella, vesien purkupisteen alapuolisella pisteellä, kokonaistyyppipitoisuus oli keskimäärin 468 µg/l, kun edellisinä vuosina pitoisuudet olivat n. 300 µg/l-tasolla. Purkupisteen yläpuolisilla pisteillä tyyppipitoisuudet olivat samalla tasolla kuin taustapisteilläkin. Ounasjoella, Loukisen jokisuun ensimmäisellä alimmalla havaintopaikalla, kokonaistyyppipitoisuus oli keskimäärin 256 µg/l eli lähes sama pitoisuus (240 µg/l) kuin kaivosvesien vaikutusalueen ulkopuolella olevalla havaintopisteellä Ounasjoen Könkäällä.

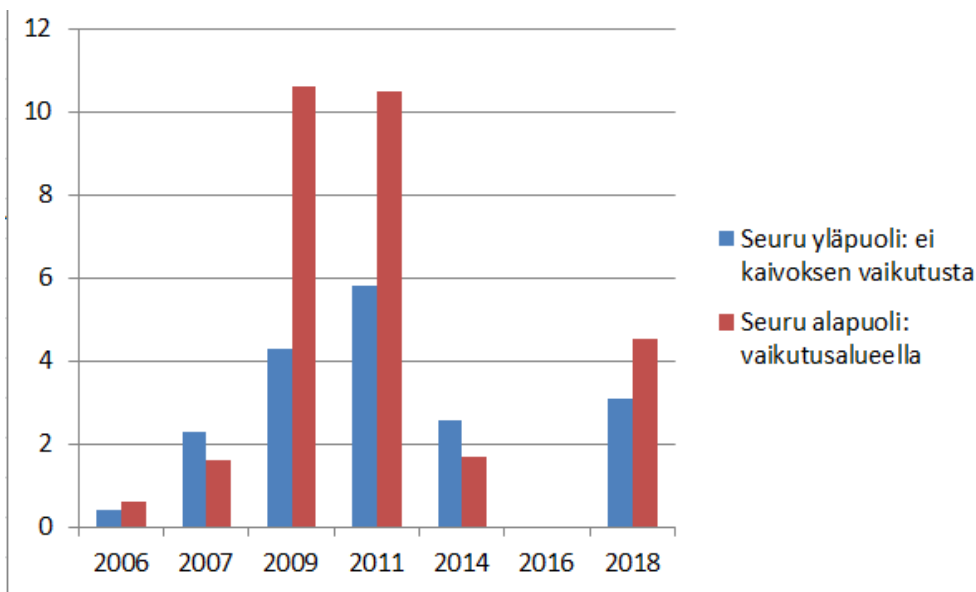
Metallien osalta havainnot ovat samansuuntaisia kuin yllä mainituilla parametreilla: kaivosvesien johtaminen on havaittavissa Loukisen alaosan pisteillä hieman kohonneina pitoisuuksina, mutta pitoisuudet ovat selvästi alhaisempia kuin aiemmin Seurujoella havaitut pitoisuudet sekä alittavat reilusti metalleille asetutut haitallisuus-/pitoisuusraja-arvot. (Agnico Eagle Finland Oy 2022)

Kittilän kaivoksesta kaivettava kulta on sitoutunut arseenikiisuun, joten arseenia liukenee rikastusprosessissa jätevesiin. Kun purkuvedet johdettiin Seurujokeen, arseenin ja antimonin pitoisuuksista ei Rambollin arvion mukaan aiheutunut biologisia vaikutuksia (mitatut pitoisuudet olivat pääosin alle ohjearvon 5 µg/l) ts. vesieliöstöön kohdistuneiden paineiden arvioitiin olevan pieniä. (Ramboll 2018a)

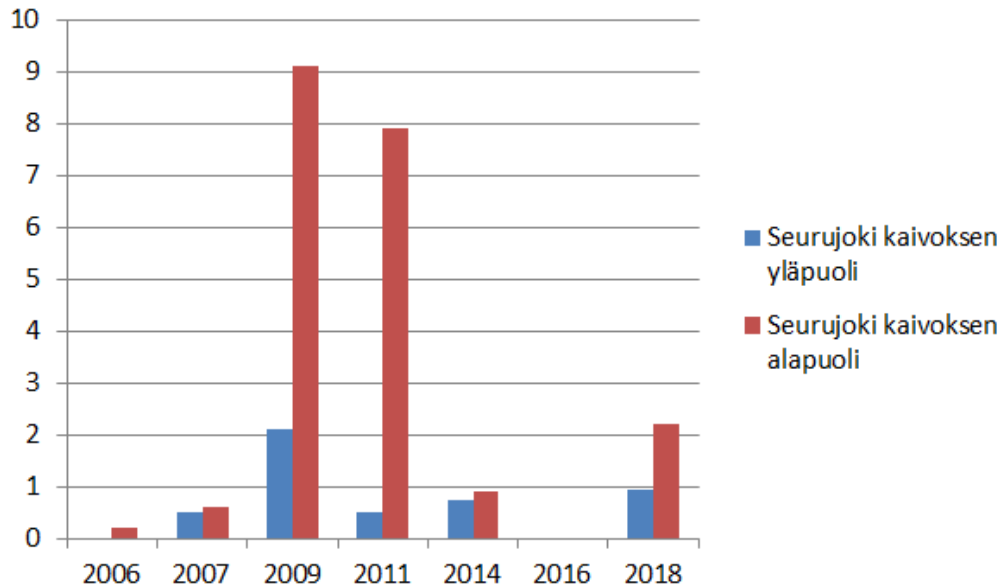
Kokonaisuutena pohjaeläimistön koostumus kaivosvesien vaikutusalueella kuvastaa pääosin hyvää virtavesien ekologista tilaa ja vedenlaadun muutokset eivät ole toistaiseksi merkittävästi vaikuttaneet pohjaeläimistöön. Piileväseurannan perusteella voidaan todeta lajien välisen runsaussuhteiden muuttuneen jonkin asteisesti kaivosvesien vaikutusalueella: suolaista vettä sietävät lajit ovat lisääntyneet. (Ramboll 2018a)

Kuvissa 24 ja 25 on esitetty **sähkökoekalastuksen tuloksia** taimenen osalta Seurujoessa vuodesta 2006 alkaen. Rambollin (2018a) mukaan tarkkailutulosten perusteella ei voida luotettavasti arvioida pistekuormituksen vaikutusta arvokalakantojen tai pyynnin kohteena olevien kalalajien tilaan. Seurujoen koealoista erityisesti juuri kaivoksen jäteveden poistopisteen alapuolella oleva koeala vaikuttaisi olevan vuodesta toiseen kaikista paras ympäristö taimenelle ja sen poikasille (Ramboll 2018a).

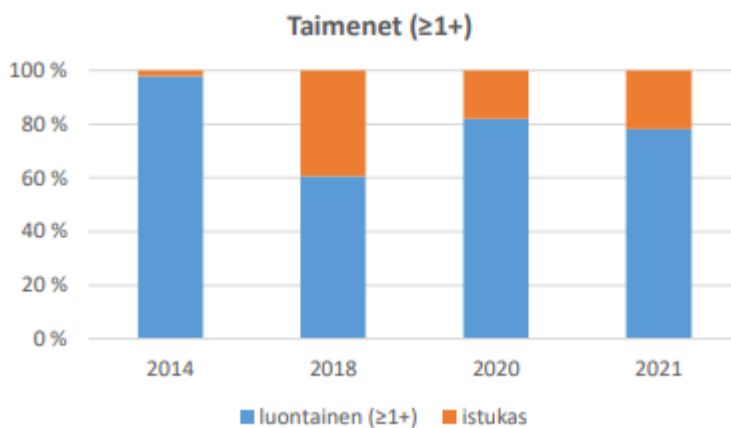
Vuonna 2021 sähkökalastuksissa saatu taimenten kokonaismäärä (56 kpl) oli vuodesta 2014 lähtien toteutettujen sähkökalastusten toiseksi suurin. Seurujoella taimenen poikastiheydet olivat tarkkailuhistoriassa toiseksi parhaimmat ja nyt taimensaaliissa esiintyi jälleen myös luontaisesta lisääntymisestä peräisin olevia kesänvanhoja poikasia (0+ ikäluokka). Tyypillinen valtalaji koealoilla oli edelleen kirjoeväsimmu. (Agnico Eagle Finland Oy 2022)



Kuva 24. Kaikkien luonnonkudusta peräisin olevien taimenten yksilötiheys (yks/100m²) Seurujoessa (Ramboll 2018a).



Kuva 25. Taimenen kesänvanhojen luonnonpoikasten yksilötiheys (yks/100m²) Seurujoessa (Ramboll 2018a).



Kuva 26. Luontaisten ja istutettujen taimenten %-osuudet (≥1+ taimenet) Seurujoen ja Loukisen sähkökalastussaliissa v. 2014 (N=47), 2018 (N=33), 2020 (N=28) ja 2021 (N=46) (Agnico Eagle Finland Oy 2022).

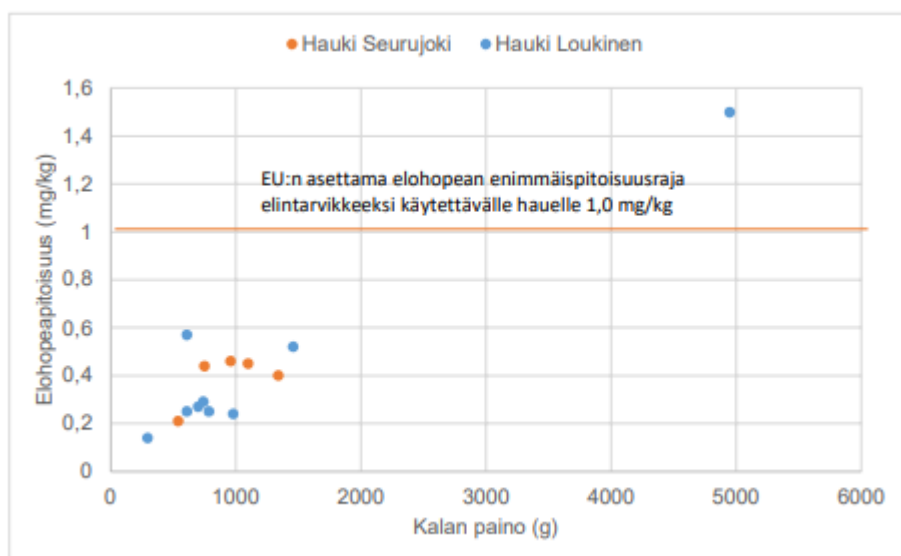
Kalatalousvelvoite: Vuonna 2021 Seurujokeen istutettiin kaivosyhtiön veloitteena kesäkuussa 2021 1-vuotiaita Ounasjoen purotaimenkantaa olevia taimenenpoikasia 2350 kpl. Myöhemmin syksyllä 2021 istutettiin 1-kesäisiä (0+) taimenenpoikasia Seurujoelle ja Nuutijoen yhteensä 2915 kpl sekä Kapsajokeen neljälle eri alueelle yhteensä 6160 kpl ja Loukiseen purkuputken alapuolelle 1540 kpl. (Agnico Eagle Finland Oy 2022)

Viime vuosien sähkökoekalastusten perusteella Seurujoen ja Loukisen taimenista noin 80 % on luonnonkudusta peräisin ja loput istukkaita (Kuva 26). Harjuksia on kaivoksen velvoiteistuksina istutettu vuodesta 2018 lähtien ja istutusten tuloksellisuutta tutkittiin nyt ensimmäistä kertaa. Harjusnäytteiden pyynti osoittautui erittäin haasteelliseksi ja näytemäärä jäi vielä vähäiseksi (19 kpl). Kaikki näytecharjuksista oli luontaisesta lisääntymisestä peräisin. (Agnico Eagle Finland Oy 2022)

Kirjanpitokalastuksen avulla ei ole saatu luotettavasti selville kalakannan vahvuutta ja muutossuuntia, mikä johtuu mm. kirjanpitokalastajien vähäisestä määrästä, vaihtuvuudesta, pyyntitapojen muutoksista ja kokemiskertojen vähäisestä määrästä. Vuoden 2018 raportin (Ramboll 2018a) mukaan kokonaissaalismäärä voi olla laskussa, mutta toisaalta vuodesta 2015 lähtien taimenen ja harjuksen saalis näyttäisi olevan nousussa. Aluekohtaisten saaliiden voidaan katsoa vaihdelleen pääosin eri pyyntivälineiden pyyntiponnistuksessa tapahtuneiden muutosten seurauksena. Vuonna 2021 Seurujoella ja Loukisella kalastaneiden kalastuskirjanpitäjien saalis oli edellisvuosien tapaan lähinnä haukea (46 %), harjusta (29 %) ja taimenta (21 %). Ounasjoella saalis oli lähinnä haukea (57 %), siikaa (25 %) ja harjusta (15 %). (Agnico Eagle Finland Oy 2022)

Kittilän kaivoksen vesistö- ja kalatalousraportissa 2017 (Ramboll 2018a) todetaan pitemmän aikavälin seurannasta **kalastuskyselyllä** seuraavasti: "Vaikutusalueella vuonna 2015 kalastaneiden henkilöiden (n=15) näkemyksen mukaan ko. jokialuetta pidettiin huonona kalavetenä (60 % ko. vesialuetta koskeneeseen kyselyyn vastanneista). Hyväksi tai tyydyttäväksi alueen tässä suhteessa arvosti 26 % vastanneista." Taimenen ja harjuksen nousu Seurujokeen oli kyselyn vastausten mukaan vähentynyt takavuosiin verrattuna. Kyseisellä joenosalla kalastaneet olivat havainneet pohjakaasvustojen huomattavaa vähenemistä kaivosvesien purkupaikan alapuolella (noin 0,5 km matkalla), mutta seurannassa kyseistä havaintoa ei ollut osoitettu. (Ramboll 2018a)

Kalojen metallipitoisuudet: Kaikkien pyydettyjen näytekalojen sekä em. lajien ravintokalana käyttämien simppejen lihasnäytteistä määritetyt lyijy-, nikkeli-, kromi- ja kadmiumpitoisuudet olivat alle määritysrajan. Elohopeapitoisuudet olivat kokonaisuudessaan EU:n komission asetuksessa (EY N:o 1881/2006 ja sen muutosasetukset) annettuja kalatuotteiden sallittuja enimmäispitoisuuksia pienempiä paitsi yhden Loukisesta saadun liki viisikiloisen hauen osalta (Kuva 27). Näytekalojen metallimääritysten perusteella voidaan edelleen todeta, että Seurujoen ja Loukisen kalat olivat vuonna 2021 täysin ihmisravinnoksi kelpaavia. (Agnico Eagle Finland Oy 2022)



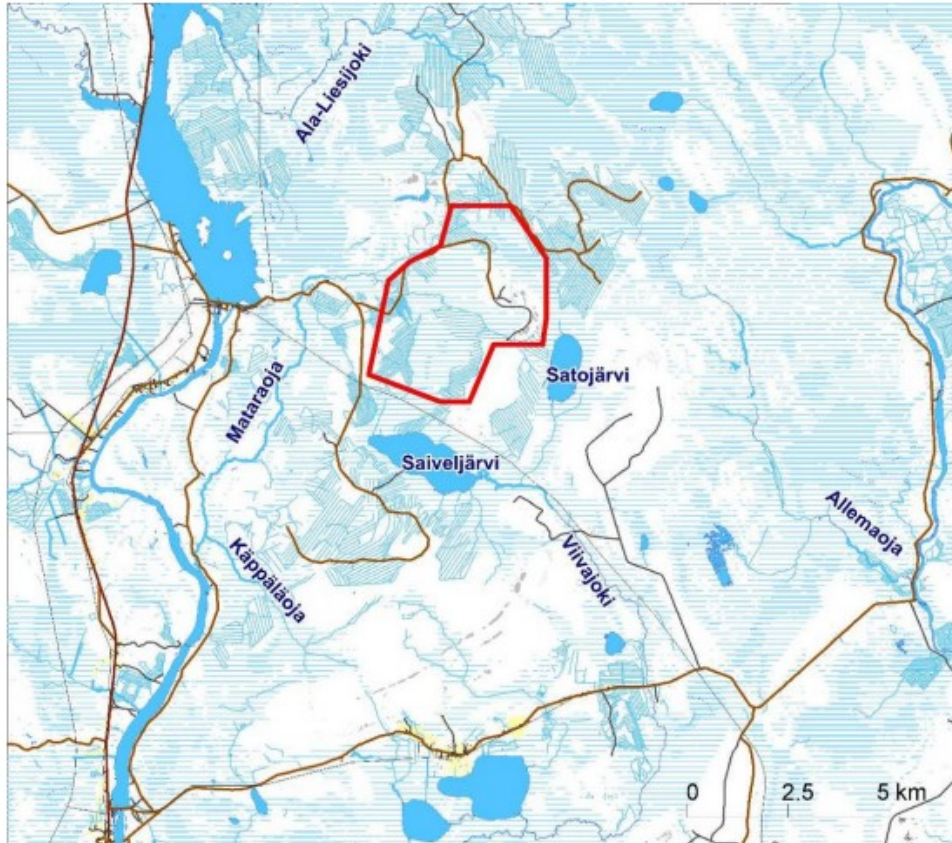
Kuva 27. Seurujoen ja Loukisen näytehaukien elohopeapitoisuudet (mg/kg tuorepaino) kalojen painoluokittain (g) (Agnico Eagle Finland Oy 2022).

Mädin selviämistä Seurujoessa ja Loukisessa talven yli on tutkittu taimenen **mädin haudontakokeilla** kaivoksen vaikutusalueella ja vaikutusalueen ulkopuolella. Aiempina vuosina (2016 ja 2018) mädinhaudontakokeet on toteutettu Seurujoella kahdella havaintopaikalla (Roura-vaara ja Lintula) sekä Loukisella yhdellä Ala-Könkään havaintopaikalla. Vuonna 2021 uusina pisteinä tulivat Loukiselta Kiistalan ja Tuohirannan havaintopisteet, joista Tuohiranta sijaitsee kaivosvesien purkupisteen alapuolella. Mädin haudontakokeen perusteella kaikilla Seurujoen ja Loukisen haudontapaikoilla mätimunat kuoriutuivat normaalisti (kuoriutumistulokset: 96–100 %), eikä tavanomaista suurempaa kuolleisuutta havaittu. (Agnico Eagle Finland Oy 2022)

6.2. Kevitsan kaivoksen kalataloudellinen tarkkailu

Sodankylässä sijaitsevan Kevitsan monimetallikaivoksen (nikkeli, kupari, platinaryhmän metallit) toiminta alkoi vuonna 2012 (Pöyry 2018). Kaivoksen jätevedet lasketaan Kitisen Vajukosken altaan alaosaan. Kalataloudellista tarkkailua on tehty kalastuskirjanpidolla, kalastustiedusteluilla, verkkokoekalastuksilla, sähkökoekalastuksilla sekä tutkimalla kalojen metallipitoisuuksia. Kalastusselvitysten kohdevesistöt on esitelty kuvassa 28.

Kalataloudellisen tarkkailun ohella on käytetty myös muita biologisia seurantamenetelmiä: Vajusen ja Kelukosken altaasta on tutkittu sedimenttiä, sekä pohjaeläimiä virtavesissä (Mataraoja, Viivajoki, Kitinen) ja Saiveljärvestä. Myös piilevyhteisöjä on tutkittu virtavesissä, kasviplanktonia Saiveljärvestä ja Satojärvestä sekä vesisammalten metallipitoisuutta Mataraojassa. (Ramboll 2018b)



Kuva 28. Kevitsan kaivokseen toimintaan liittyvien kalastusselvitysten kohdevesistöt (Ramboll 2018b).

Rambollin pintavesien tarkkailuraportin (2018b) mukaan voidaan yleisesti todeta, että kaivoksella on vain vähän vaikutusta **vedenlaatuun** Kitisessä, Mataraojassa, Satojärvässä tai Saiveljärvässä (Taulukko 15). Veden laadun muutoksista on tehty seuraavia havaintoja:

- Kevitsan kaivoksen vaikutus oli todettavissa mm. sähkönjohtavuuden sekä kiintoaineen ja nikkelin pitoisuuksien nousuina Mataraojan eteläisessä haarassa. On mahdollista, että pintavalutuskentältä suotautuu vähäisessä määrin vesiä Matarojaan. Mataraojan alajuoksulla vedenlaatuun vaikuttaa kuitenkin enemmän alajuoksun valuma-alueen kuormitus kuin kaivoksen vaikutus.
- Kitisessä nk. **ylitevesien** (eli purkuputkeen johdettavien vesien) johtamisen vaikutus on nähtävissä sekoittumisvyöhykkeellä mm. sulfaatin ja kloridin hieman korkeampina pitoisuuksina taustapisteeseen verrattuna. Pitoisuudet olivat kaikkiaan kuitenkin alhaisia.
- Nikkelipitoisuuksissa on havaittavissa vähittäistä nousua kaivoksen täysimääräisen toiminnan aloittamisesta eli vuodesta 2013 lähtien. Pitoisuudet ovat edelleen alhaisia ja analysointitekniikan kehittyessä, yhä pienemmät pitoisuudet saadaan määritettyä luotettavasti. Todennäköinen syy pitoisuuden nousulle on kaivosalueelta peräisin oleva laskeuma, joka päättyy vähitellen vesistöihin sulamisvesien ja pintavalunnan seurauksena. Saiveljärven ja Satojärven humuspitoisuus ja ravinteisuus ovat olleet suuria koko tarkkailujakson ajan. Raportissa ei esitetä, että kaivoksella olisi tähän vaikutusta.
- Kokonaistyyppi- ja fosforipitoisuuksien korkeat arvot vuonna 2011 ovat mahdollisesti alueen laajojen metsähakkuiden seurausta.
- Mataraojassa ionipitoisuudet ja sähkönjohtavuus ovat alueen vesistöistä suurimpia. Mataraojassa kaivoksen kuormitus näkyy vesistöistä herkimmin ja voimakkaimpana. Vajukosken ja Mataraojan pohjoisosan vesien pitoisuuksiin kaivoksen toiminnalla on alueen vesistöistä vähäisimmät vaikutukset.
- Mataraojasta virtaavat vedet kasvattavat Kitisen veden ionipitoisuuksia ja sähkönjohtavuutta. Mataraojasta virtaava vesi kohottaa myös Kitisen mangaani- ja typpipitoisuutta.
- Kaivoksen tuotannon aikana nikkelpitoisuudessa on kasvua Mataraojan keski- ja pohjoisosissa ja Saiveljärvässä. Ennen kaivoksen perustamista korkeita nikkelpitoisuuksia on kuitenkin mitattu Saiveljärvässä ja Kersilössä.
- Useimmilla tarkastelualueen pisteillä humus-, rauta- ja mangaanipitoisuus on ollut pääosin kasvussa kaivoksen tuotannon käynnistymisen jälkeen vuodesta 2013 lähtien. Samaan aikaan ionipitoisuudet ja sähkönjohtavuus on kääntynyt laskuun.
- Vesistöjen pitoisuuksiin vaikuttavat alueen maa- ja kallioperän luonne sekä vesistön koko, syvyys ja veden virtavuus. Myös vuodenajalla, vesikasvillisuudella ja ilmastotekijöillä, kuten sadannalla, tuulella ja veden jäätymisellä, on ajoittain vaikutusta pitoisuuksiin.
- Kevitsan alueella maa- ja kallioperän paljastuminen rakennustöiden, metsätalouden ja ojitusten seurauksena vaikuttaa ionipitoisuuksiin ja sähkönjohtavuuteen.

Taulukko 15. Vesianalyysituloksia Kevitsan kaivoksen lähivesistä (Valta 2020).

	Lahermo, 90 %	Lahermo, Kevitsa	Matar- oja, P	Matar- oja, K	Matar- oja, E	Saivel- järvi	Vajukos- ken allas	Matar- ojan AP	Kersilö
n kpl	1122–1162	10	4	5	5	6	4	4	9
Kiintoaine mg/L			0,5–1,6	1–12	1–2,1	5,6–6,3	1–2,1	1–1,3	1–12
Ec mS/m	2–22	2,8–10,4	8,8–19,7	8,0–12	12–20,2	2,9–4,4	3–3,5	3,4–4,7	3,2–6
pH	4,7–6,6	6,6–6,69	6,94–7,26	6,68–7,52	6,95–7,8	6,3–7,8	6,95–7,2	6,85–7,53	6,87–7,4
COD mg/l	2,53–30,38	3,9–15,4	9,2–12	9,7–10	5,9–12	14–19	8,3–8,7	8,2–8,3	6,5–13
Väri mg Pt/l	15–300	20–90	55–73	60–160	15–100	35–150	55–80	55–69	45–90
Alk. mmol/l	0,01–1	0,16–0,99	0,78–1,15	0,95–1,76	0,72–1,29	0,18–0,37	0,2–0,36	0,21–0,32	0,2–0,37
Al µg/l	20–250	7,9–71,2		6,82–10,3	3,75–16,3	11,9–16,4	21–24,2	20–23	
Ca mg/l	1,7–18	3,32–12,2	9,3–9,8	10,2–16,6	16–28,7	3,37–3,94	3–3,42	3,3–3,81	3,7
Cd µg/l	0,004–0,04	0–0,02	<0,03	<0,03	0,01–0,02	0,01–0,02	<0,03	<0,03	
Cl mg/l	0,5–15	0,5–1,6	0,8–1,2	1–3	0,8–1,3	0,45–1,4	0,48–0,9	0,25–1,9	0,7–1,4
Co µg/l	0,03–1	0,02–0,54			0,02–0,07	0,08–0,21	0,05–0,08	0,09–0,5	
Cr µg/l	0,15–1,4	0,31–1,69	<3	0,25–0,53	0,29–0,67	0,43–0,6	0,25–0,46	0,25–0,44	<1
Cu µg/l	0,17–2,35	0,24–1,04	0,5–2,3	0,25–0,62	0,2–0,32	0,25–0,59	0,25–0,31	0,57–0,64	<1
Fe µg/l	60–2600	110–1910	310–870	644–3000	190–1100	620–770	470–820	500–810	470–2200
K mg/l	0,24–4	0,31–1,08	0,96–1,2	1,08–1,12	0,85–1,5	0,37–0,48	0,38–0,47	0,38–0,63	0,57
Mg mg/l	0,6–7	1,07–6,21	3,8–6,4	5,7–12,7	3,5–6,42	1,48–1,7	1–1,14	1,2–1,25	1,3
Mn µg/l	2–145	2,51–213	20–170	88,5–530	6,03–93	4,01–37	26–41	23–50	19–120
Na mg/l	1,3–14	1,29–2,16	1,2–1,9	1,78–2,76	1,7–2,41	0,91–0,94	1,1–1,4	1,11–2,1	1,6
Ni µg/l	0,14–4	0,11–2,18	1,7–3,5	0,94–2,2	0,19–1,9	1,04–1,4	0,31–0,38	0,31–0,38	<1
Pb µg/l	0,08–0,8	0,12–4	<0,1	0,05–0,15	0,03–0,08	0,05–0,2	0,05–0,13	0,05–0,14	
Zn µg/l	1,5–25	1,12–3,92			1,6–2,58	2,03–3,08	0,5–14,5	1,2–4,23	
SO ₄ mg/l	1–35	0,5–7,6	0,71–1	0,84–14	17–57	1–2	1,5–2,7	1,9–4,2	2,3–4,9
Ptot µg/l			3,7–6	3,7–10,1	3,7–27,3	15–46	7–18	7–15	5–42
Ntot µg/l			160–360	170–480	140–430	480–940	240–340	270–320	260–440

Valta 2020: Joidenkin näytteiden analyysituloksissa on ilmoitettu tutkimuksessa käytetyn menetelmän alin määrittäysraja, jota ei ole analyysissä ylitetty. Tällöin kyseisen vaihteluvälin rajana on käytetty kyseistä määrittäysrajaa puolitettuna. Jos kaikki näytepisteen eri vuosien mittaukset ovat olleet alle määrittäysrajan, on se merkitty taulukkoon sellaisenaan. Taulukon ensimmäiseen sarakkeeseen (Lahermo 90 %) on merkitty Lahermon ym. (1996) koko Suomen purovesinäytteiden tulokset ja toiseen sarakkeeseen (Lahermo, Kevitsa) Kevitsan kaivosta lähimmän kymmenen näytteen tulokset.

Kalastuskirjanpito: Vajukosken ja Matarakosken kirjanpitokalastus on tehty vuonna 2019 osana vuosittaista ympäristövaikutusten tarkkailua. Kirjanpitokalastajien vuosittaisissa kalansaaliissa ja saaliskoostumuksissa ei ole havaittavissa merkittäviä muutoksia, vaan saaliit ovat vaihdelleet eri vuosina ilman selkeää suuntaa. Kirjanpitokalastus on ollut melko vähäistä ja sen jatkumiseen tuo haasteita kalastajien ikääntyminen ja verkkokalastuksen vähentyminen. Pienet pyyntimäärät ja muutokset kirjanpitokalastajien määrässä sekä käytetyissä

pyyntimenetelmissä vähentävät tulosten luotettavuutta. Myös kunakin vuonna istutettujen kalojen määrät vaikuttavat saalismääriin. (Paksuniemi 2019a)

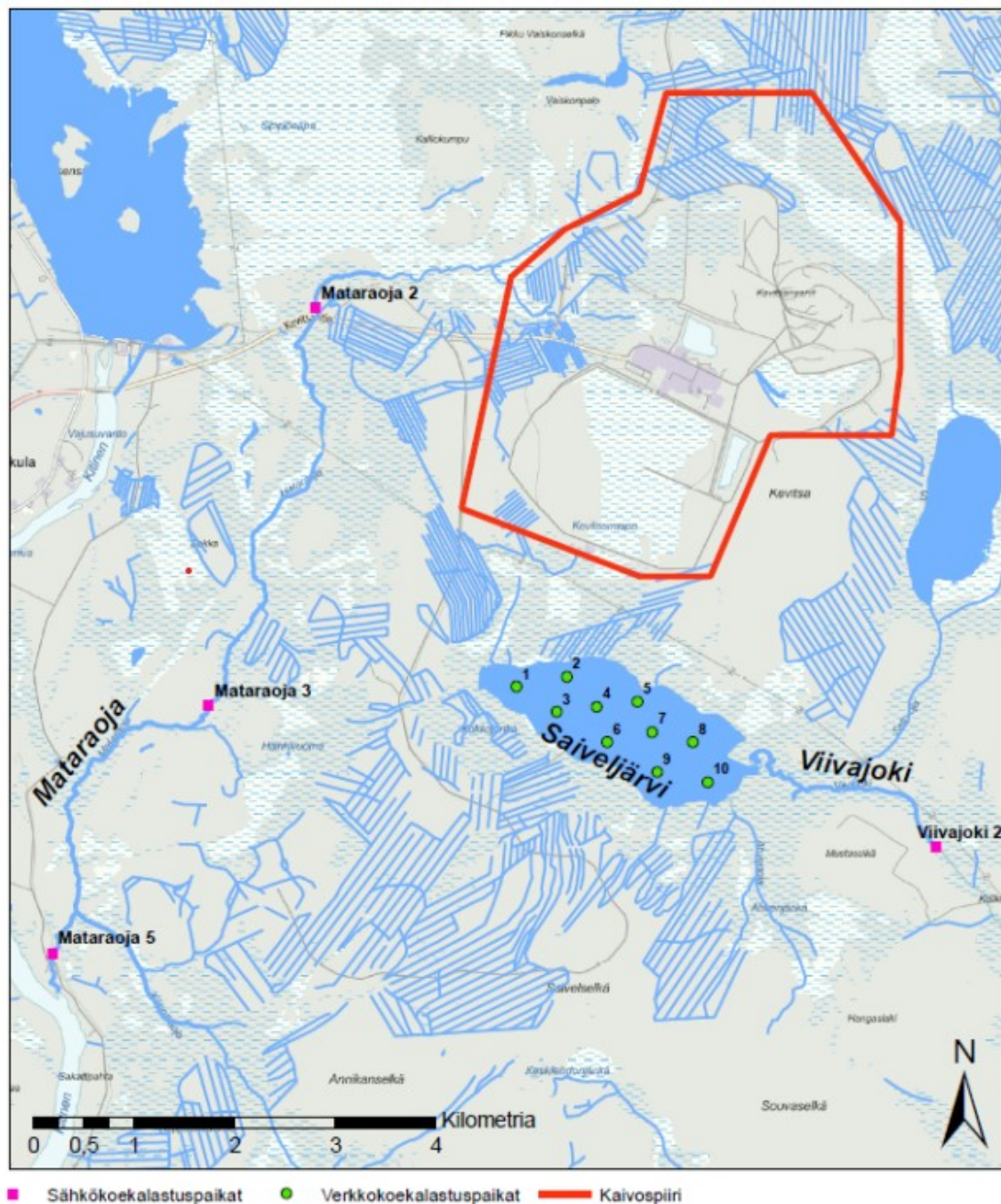
Kalastustiedustelu on tehty vuonna 2013. Mataraojassa kalastaneet (6 kalastajaa 7:stä) arvioivat että kaivos vaikuttaa kalakantoihin ja veden laatuun heikentävästi ja haittaa siten kalastusta. (Ramboll 2014)

Verkkokoekalastuksia on tehty Saivelfjärvellä vuosina 2004 (Paksuniemi 2004a), 2011 (Paksuniemi 2011), 2012 (Paksuniemi 2012a), 2015 (Hakala & Peltonen 2016) ja 2018 (Paksuniemi 2019b). Kaikkina tarkkailuvuosina yleisimpiä saalislajeja verkkokoekalastussaaliissa ovat olleet särki, ahven ja kiiski. Särki on ollut yleisin saalislaji: sen osuus särki-ahven-kiiski-saaliissa on ollut 50–74 %. Kaikkina tarkkailuvuosina särkikannassa ovat vallinneet vanhemmat ikäluokat. Ahvenen osuus on ollut noin 40 %, paitsi vuonna 2015, jolloin ahventen osuus oli 25 %. Saaliiksi saatiin tuolloin poikkeuksellisesti kesänvanhoja (0+) ahvenia. Kiisken osuus Saivelfjärven kalastossa näyttäisi vähentyneen tarkkailuvuosien aikana: vuonna 2004 osuus oli 9 % ja vuosina 2012–2018 se vaihteli 0,5–2 %. Haukea on eri vuosien verkkokoekalastuksissa saatu satunnaisesti: 2004 kuusi yksilöä, 2012 ei yhtään, 2015 kaksi yksilöä ja 2018 kuusi yksilöä. Vuonna 2018 saalisosuudet (%/kpl) olivat: särki 53,4 %, ahven 39,8 %, kiiski 5,7 % ja hauki 1,1 % %. Kuvassa 28 on esitelty vuoden 2018 kalataloudellisen tarkkailututkimuksen kalastuspaikkojen sijoittuminen kartalla (Paksuniemi 2019b). Em. raporttien perusteella Saivelfjärvessä ei näytä tapahtuneen kaivoksesta johtuvia kalastomuutoksia.

Sähkökoekalastuksia on tehty Mataraojassa ja Viivajoessa vuodesta 2005 lähtien. Sähkökoekalastusraporttien (Paksuniemi 2010, Hakala & Peltonen 2016, Paksuniemi 2019b) perusteella ei voi tehdä johtopäätöksiä kalaston muuttumisesta Mataraojassa tai Viivajoessa. Mataraojan ylimmällä koealalla (Mataraoja 2) on tarkkailuvuosina saatu saaliiksi lähinnä pieniä mäteitä ja haukia (Kuva 29). Vuonna 2005 saaliissa oli muutamia istutusperäisiä taimenenpoikasista. Koekalastusten yhteydessä on Mataraojan yläjuoksulla (Mataraoja 2) havaittu vuodesta 2010 lähtien pohjalla runsaasti ruosteenruskeaa sakkaa, joka todennäköisesti aiheutuu kaivostoiminnasta. Kiviportin koealalta (Mataraoja 3) saaliiksi on saatu kaikkina tarkkailuvuosina pieniä määriä kivisimppuja ja mäteitä. Satunnaisesti saaliissa on esiintynyt myös taimenia, seipiä, haukia ja mutuja. Tälläkin koealalla on vuodesta 2010 lähtien havaittu pohjalla sakkaa ja veden ajoittaista sameutta. Kivisimppu on esiintynyt valtalajina Mataraojan alimmalla koealalla (Mataraoja 5) tarkkailuvuosien aikana. Vuodesta 2011 lähtien on tällä koealalla tavattu säännöllisesti myös taimenia: vuoden 2011 taimenet olivat kesänvanhoja luonnonpoikasista, tämän jälkeen havaitut taimenet ovat olleet enimmäkseen istukkaita, mutta osa on ollut peräisin luonnonlisääntymisestä (Mataraojan vesistö, Käppäläoja: luonnontaimenkanta ja Kitinen ja Ala-Postojoki: taimenen velvoiteistutukset). Viivajoen koealalla (Viivajoki 2) tyypillisimpiä saaliskaloja ovat olleet ahvenet ja kivisimput. Ahvensaalis on ollut huomattava vuodesta 2012 lähtien ja vuonna 2018 kesänvanhoja ahvenia oli poikkeuksellisen paljon. Mitä todennäköisimmin ahvenet olivat peräisin Saivelfjärvestä tai Satojärvestä, joista ainakin Saivelfjärvessä oli koeverkkokalastusten perusteella vahva ahvenen kesänvanha ikäluokka. Viivajoen koealalla on esiintynyt satunnaisesti myös harjuksen poikasista. Taimenta esiintyy Mataraojassa lähinnä satunnaisesti, ja ainakin alaosassaan näyttäisi olevan satunnaista luonnonlisääntymistäkin.

Kalojen metallipitoisuuksia määritellään 2–3 vuoden välein Vajukosken, Matarakosken ja Kelukosken altaiden kaloista Kitisessä. Kalojen elohopeapitoisuudet jäivät selkeästi EU:n asettaman raja-arvon alapuolelle ja muiden metallien pitoisuudet pääosin alle määritysrajan.

Kalojen metallipitoisuuksissa ei ole havaittu muutoksia vuosien saatossa. (Eurofins Ahma Oy 2019b)



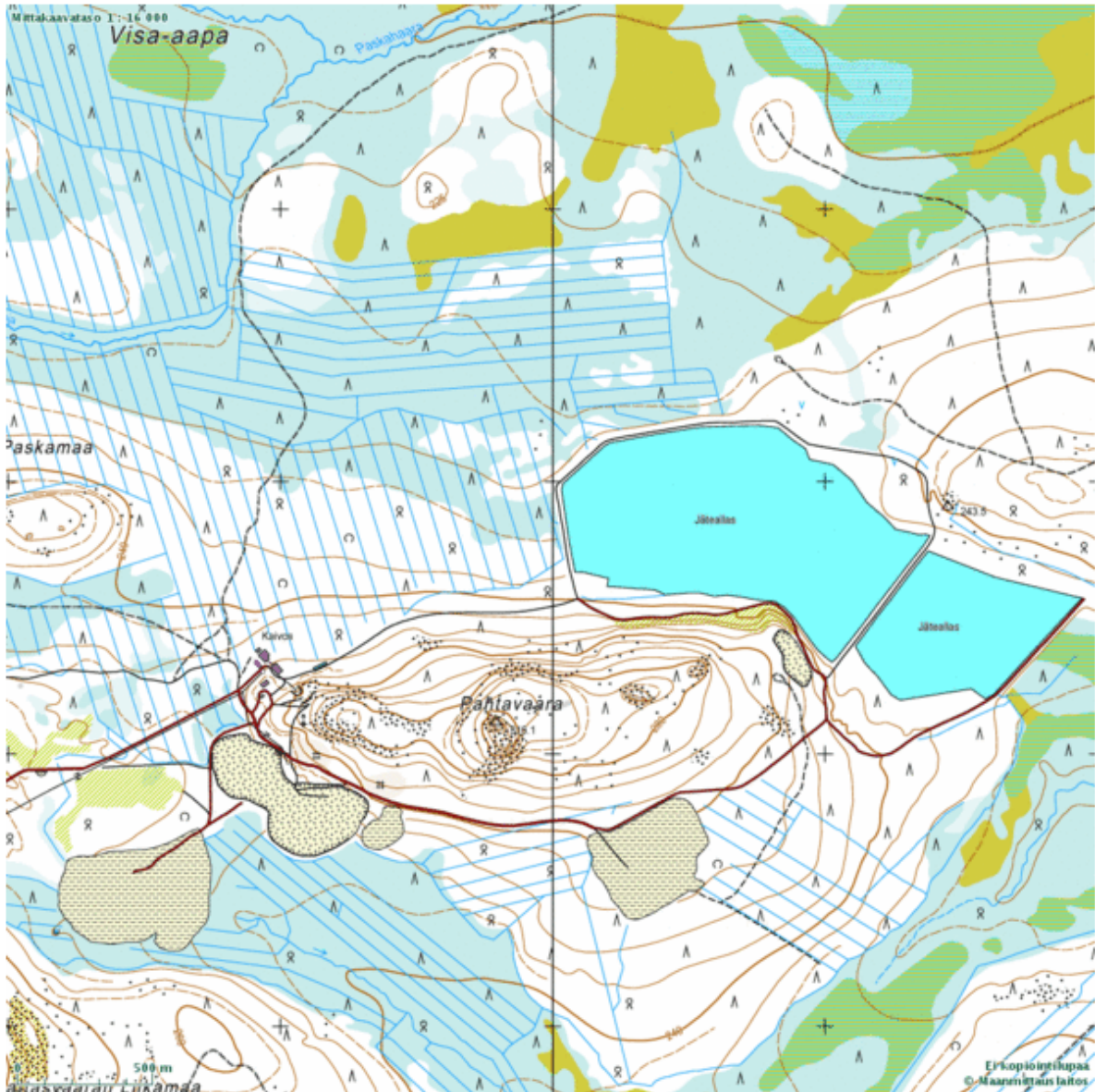
Kuva 29. Vuoden 2018 Kevitsan lähialueen kalataloudellisen tarkkailututkimuksen kalastuspaikat kartalla (Paksuniemi 2019b).

6.3. Pahtavaaran kaivoksen kalataloudellinen tarkkailu

Sodankylässä sijaitsevan Pahtavaaran kultakaivoksen (Kuva 30) toiminta käynnistyi 1996, jonka jälkeen kaivos on ollut välillä toiminnassa ja välillä suljettuna heikon kannattavuuden ja kaivosyhtiöiden konkurssien vuoksi. Viimeksi Pahtavaaran kaivos on ollut toiminnassa vuonna

2014. Jätevesien purku tapahtuu pääosassa Koserusojaan ja siitä Ala-Postonjoen kautta Kitiiseen. Osa jätevesistä johdetaan Pitkänkosenojan kautta Sattaseen. (Eurofins Ahma Oy 2021)

Pahtavaaran kaivoksen vedenkäyttöön liittyvässä selvityksessä on tutkittu Sattas- ja Sovasjoen kalastoa, kalastusta sekä rantojen ja vesistön käyttöä mm. kalastustiedusteluilla ja sähkökoekalastuksilla (Paksuniemi 2004b). Kitisen Kelukosken voimalaitoksen rakentamiseen liittyen on selvitetty kevätkutuisten kalojen vaellusta Kelukosken voimalaitosalta Sattasjokeen (Huttula & Autti 2004, Autti & Huttula 2008). Em. selvityksiin on sisältynyt myös sähkökalastuksia Sattasjoella.



Kuva 30. Pahtavaaran kartta. (http://fi.opasnet.org/fi/Tiedosto:Pahtavaaran_kartta.gif)

Ympäristöhallinnon HERTTA-järjestelmässä on Sattasjoelta vedenlaatuanalyysiin perustuvaa **vedenlaatutietoa** ajalta 1971–2004. Sattasjoki on laskujokeensa Kitiiseen verrattuna kirkas- ja kylmävetinen joki. Fosfori- ja typpipitoisuuksien mukaan Sattasjoki voidaan luokitella niukkaravinteiseksi. Esimerkiksi vuoden 2001 elokuussa Sattasjoen alajuoksun veden

kokonaisfosforipitoisuus oli 10 µg/l. Veden väriarvojen mukaan Sattasjoki voidaan luokitella keskiumuksiseksi, lievästi ruskeavetiseksi joeksi: väriluku on vaihdellut eri vuoden aikoina 10–90 mg Pt/l.

Sattasjoella on tehty kunnostuksiin sekä velvoitetarkkailuun liittyviä **sähkökoekalastuksia** (Kuva 31). Ennen Sattasjoen kunnostamista vuosina 1987–1988 ja vuonna 1993 koskialueiden keskimääräinen taimentiheys vaihteli välillä 50–230 yks/ha. Vuosien 1994–2006 aikana oli virtavesialueilla kesänvanhoja (0+) taimenen poikasia noin 60 yks/ha ja kaikkien taimenikäluokkien kokonaistiheys oli noin 175 yks/ha. (Huhtala 2008)

Vuoden 2012 Sattasjoen sähkökalastuksissa taimenen kesänvanhoja (0+) poikasten esiintymistiheys virta-alueilla oli noin 6 yks/ha ja kaikkien taimenikäluokkien 74 yks/ha eli molemmat olivat selvästi heikompia kuin vuosien 1994–2006 aikana keskimäärin. Harjusten poikasmäärä oli vuonna 2012 noin 49 yks/ha, kun taas vuosina 1987–1988 ja 1993 se oli noin 6 yks/ha ja vuosina 1994–2000, 2003 ja 2006 noin 33 yks/ha (Huhtala 2008). Näin ollen vuoden 2012 harjusten poikastiheys oli aikaisemmin havaittuja määriä parempi. Kivisimppu on Sattasjoella koskikalastossa kappalemääräisesti yleisin ja yleensä sen määrät koskialueilla pysyvät melko vakaalla tasolla vuodesta toiseen. Vuoden 2012 sähkökoekalastusten perusteella kivisimppujen esiintymistiheys oli 1008 yks/ha, mikä oli selvästi vuosien 1987–2003 keskimääristä tiheyttä (2300–2400 yks/ha; Huhtala 2008) heikempi. (Paksuniemi 2012b)

Pahtavaaran kaivostoiminnan ympäristölupahakemukseen liittyen Sattasjoen kalastuksesta tehtiin **tiedustelu** joen rantatilojen omistajilta vuoden 2003 kalastuksesta (Kuva 31). Tuolloin Sattasjoella oli kalastanut 45 taloutta (vastaajamäärä laajentamaton), joiden kokonaissaalis oli 1262 kg. Tavallisimmat saalislajit olivat harjus (39 %), hauki (24 %) ja taimen (20 %). (Paksuniemi 2004b)

Vuonna 2008 tehdyn kalastustiedustelun (Autti ym. 2011) mukaan Sattasjoella arvioitiin kalastaneen 70 taloutta (vastaaja määrä laajennettu), joiden kokonaissaalis oli 306 kg. Saalislajit olivat hauki (38 %), siika (18,8 %), ahven (11 %), harjus (7,5 %), taimen (6,9 %) ja kirjolohi (1,8 %).

Sattasjoella sähkökoekalastettiin vuonna 2012 kuusi koealaa Sovasjokisuun alapuolella. Tulosten perusteella taimenen eri ikäisten poikasten esiintymistiheys oli keskimäärin 74 yks/ha ja harjuksen kesän vanhojen (0+) poikasten esiintymistiheys oli keskimäärin 49 yks/ha. Esiintymistiheyksiä voidaan pitää alhaisina. (Paksuniemi 2012b)

Vuosina 2008–2012 on Sattasjoen alaosille istutettu Kemijoki Oy:n **velvoiteistutuksina** taimenia ja eri siikalajeja.



Kuva 31. Sattasjoen sähkökalastuspaikkojen sekä kalastustiedustelun kohdevesistöjen sijainti (Paksuniemi 2012b).

Sähkökoekalastuksia on tehty vuodesta 1993 lähtien. Kalastovaikutuksien arviointia vaikeuttaa:

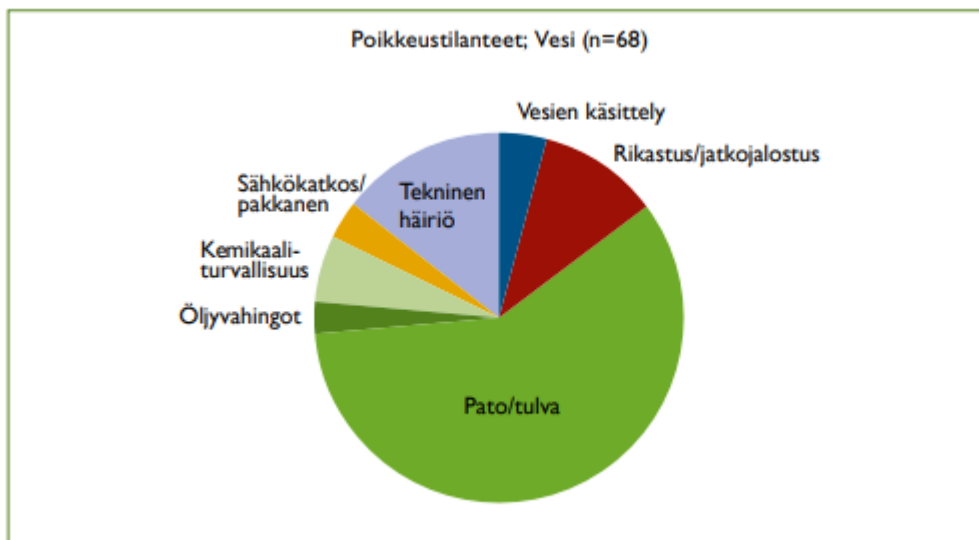
- alkuaikojen raporttien puuttuminen (ei tietoa lähtötilanteesta)
- taimenen ja harjusten istuttaminen alueelle
- taimenen ja harjuksen nollikkaita ei ole eritelty aineistossa

Sähkökoekalastusraporttien perusteella on erittäin hankala vetää johtopäätöksiä Pahtavaaran kaivoksen kalastovaikutuksista. Tarkasteltaessa vuosittaista koealojen saalismäärää, vaihtelu on voimakasta ja yllä olevat tekijät tuovat lisää epävarmuutta tarkasteluun. Kivisimpun osalta tarkasteluun jää epävarmuustekijäksi alkuaikojen raporttien puuttuminen.

7. Kaivosten poikkeustilanteet, onnettomuudet ja varautuminen

7.1. Kaivosten stressitestit

Talvivaaran kipsisakka-altaiden vuoden 2012 vuotojen jälkeen Ympäristöministeriö toteutti pääasiassa metallimalmikaivosten riskiarviointia ns. stressitestin muodossa vuonna 2013. Stressitestit koostuivat taulukon 16 mukaisista kysymyksistä kaivoksille. Näiden avulla pyrittiin arvioimaan kaivostoiminnan kykyä selviytyä erilaisten poikkeustilanteiden tai riskien realisoidumisesta (Kuva 32). Tarkoituksena oli myös tunnistaa uusia riskejä. Kysymysten pohjana käytettiin kaivosten vahinkoselvityksiä vuosilta 2005–2012. Ympäristöriskitilanteita oli rajausten jälkeen 128 kpl, joista yli puolet (68 kpl) kohdistui vesiasioihin. Tyypillisiä tilanteita olivat mm. patovuodot, altainen ylitäytöt, pienet onnettomuus- ja häiriötilanteet, putkirikot sekä rikastamon tai hydrometallurgisen prosessin häiriöt. (Välisalo ym. 2014)



Kuva 32. Suomen metallimalmikaivoksissa vuosina 2005–2012 tapahtuneiden, kaivosvesiin liittyneiden poikkeustilanteiden osuudet (Välisalo ym. 2014).

Stressitestissä arvioitiin seuraavia skenaarioita

- Poikkeuksellisen suuren sadannan seurauksena vesienkäsittely ylikuormittuu tai patorakenteet eivät kestä
- Haitta-aineiden liukeneminen tai huuhtoutuminen kaivosalueelta pinta- tai pohjavesiin
- Sähkökatkoksen aiheuttamat prosessihäiriöt, jolloin haitta-aineita pääsee ympäristöön
- Kaivoksen omat resurssit eivät riitä arvioimaan ympäristövahingon laajuutta
- Poikkeustilanteen /ympäristöongelmatilanteen viestintä ei tavoita asianosaisia
- Ilkivallan tai sabotaasin aiheuttama ympäristöongelma

Stressitestien perusteella patorakenteiden hallinta, pato- ja pohjavaurioiden hätäkorjaukseen varautuminen, haitallisten päästöjen tunnistaminen, sähkökatkoksiin ja ilkivaltaan varautuminen sekä poikkeustilanteista tiedottamiseen oli varauduttu parhaiten. Kyselyiden perusteella suurimmat puutteet olivat erityisesti vesien hallinnassa

- riittämätön varoallastilavuus
- pohjarakenteen valvonta
- Kaivannaisjätteiden kemiallisen muuttumisen tunnistaminen, ymmärtäminen ja tarkkailu

Raportissa todetaan, että vaatimus prosessinomaisesta jätevesien käsittelystä olisi tarpeen myönnettäessä lupia uusille kaivoksille. Jokaisella toimijalla tulisi olla käytössään toimivat varajärjestelmät pato- ja pohjavuotojen varalle. Raportissa suositellaan että pato- ja pohjarakenteiden toimivuuden valvontaan tulisi sisällyttää suotoveden määrän seuranta, kemiallisen laadun seuranta sekä pohjaveden tarkkailu jätealtaiden ympäristössä. Uusien jätealtaiden pohjarakenteiden valvontaan tulisi lisätä päivittäisten valvontakierrosten lisäksi ennakoivia seurantajärjestelmiä, joilla vuodot havaitaan mahdollisimman varhain. (Välisalo ym. 2014)

Stressitestien tuloksia tukee myös Oulun Yliopiston kaivannaisalan tiedekunnan johtaja Saija Luukkasen arvio onnistuneesta ympäristöasioiden hallinnasta: jos kaivosprojekti toteutetaan riittävän huolellisesti, pitkäjänteisesti ja jos kaivosten rakenteet (esim. jätealtaat) rakennetaan tarpeeksi varmoiksi, ympäristöongelmia voidaan tehokkaasti estää. Lisäksi oikeaan tietoon perustuva rikastus ja prosessinhallinta ennaltaehkäisee vesiongelmaa. (Suullinen tiedonanto Saija Luukkanen 22.10.2019)

Taulukko 16. Kysymyspatteriston riskitilanteet ja kysymykset (Välisalo ym. 2014).

RISKITILANNE/KYSYMYS
Riski 1: Poikkeuksellisen suuri sadanta tai valunta vaikeuttaa vesien käsittelyä, varastointia ja poisjohtamista ja aiheuttaa merkittävää kaivoksen ympäristökuormituksen kasvua. • Miten kaivos seuraa eri vuodenaikoina hydrologisia olosuhteita (sadanta, sulanta, valunta) • Miten kaivos varautuu ja millaisia varotoimia on suunniteltu (käsittely, varastointi ja poisjohtaminen) hydrologisiin ääritilanteisiin (poikkeuksellinen vuosi- tai kuukausitason sadanta ja kevättulva sekä vuorokausitason rankkasadetapahtuma)?
Riski 2: Patoaltaiden rakenteet (pato, synteettinen pohjatiivistä tai muu pohjarakenne, reunaluiska, patojen korotus) tai niihin liittyvät laitteistot (esim. dekanterikaivot, salaojat, pumppaamot, putkistot, ke-räysojat, juurisalaojat) eivät kestä poikkeuksellisen suuren vesimäärän aiheuttamaa rasitusta. • Miten kaivoksella tarkkaillaan pato- ja pohjarakenteiden sekä jätelietteen pumppaus- ja vedenhallintalaitteistojen kuntoa? • Miten pato- ja pohjavaurioiden hätäkorjaukseen on varauduttu (mm. korjausmateriaalien saatavuus)? • Miten estetään jätelietteen ja -vesien pääsy ympäristöön pato- tai pohjavaurion ilmetessä? • Miten estetään tai mitkä ovat varotoimet, ettei pistemäinen, eroosiota aiheuttava kuormitus (esim. patorakenteen päällä rikkoutuneesta putkesta valuva rikastushiekka/vesi) pääse aiheuttamaan patorakenteeseen vauriota?
Riski 3: Haitta-aineita (mukaan lukien radioaktiiviset aineet) liukenee tai huuhtoutuu kaivokselta normaaliin verrattuna merkittävästi suurempia määriä, ja ne kulkeutuvat kaivospiirin ulkopuolisiin pinta- tai pohjavesiin tai syntyy muita merkittävästi ympäristöä pilaavia päästöjä (ml. ilmapäästöt). • Mitä ympäristön kannalta merkittäviä vaarallisten tai haitallisten aineiden päästöjä (vesiin ja ilmaan, poikkeukselliset tilanteet mukaan lukien) kaivos on tunnistanut oman toimintansa voivan aiheuttaa? Luettele myös tarkkailuohjelmiin kuulumattomat haitta-ainepäästöt. • Miten käytössä olevaa tarkkailuohjelmaa noudattaen havaitaan normaalista poikkeavat haitallisten aineiden määrät ja kulkeutuminen ympäristöön (mm. jätealueen tarkkailuasemien riittävyys potentiaalisten vuotokohtien määrään verrattuna)? • Muuttuuko rikastushiekka- ja/tai saostumajäteaineiden ja/tai sivukiven kemiallinen koostumus, miten se muuttuu ja mitä haitallisia vaikutuksia muutoksilla on ympäristöön pitkällä aikavälillä? Miten kemiallista muuntumista tarkkaillaan?
Riski 4: Myrskyistä tai muista syistä johtuvan pitkäkestoisen sähkökatkoksen vuoksi rikastusprosessit ja jätevesien käsittely eivät mm. pumppausongelmien vuoksi toimi ja haitta-aineita pääsee kaivosalueelta ympäristöön. • Miten kaivos on varautunut myrskyihin ja niiden mahdollisesti aiheuttamiin pitkäkestoisiin sähkökatkoihin? • Kuvaile pitkäkestoisen sähkökatkon vaikutukset haitallisten aineiden pääsulle ympäristöön, erityisesti vesistöihin (esim. jätelietteen vuoto ympäristöön)?
Riski 5: Kaivoksen omat resurssit eivät riitä ongelmatilanteissa arvioimaan ympäristövaikutusten vakavuutta ja vaikutuksia (ekologiset ja ympäristöterveysriskit). • Millaiset menettelyt ja resurssit kaivoksella on käytettävissä mahdollisten ongelmatilanteiden vakavuuden, vaikutusten ja tarvittavien toimenpiteiden arviointiin?
Riski 6: Kaivoksen viestintä työntekijöille, viranomaisille, medialle ja lähialueen asukkaille ei ympäristöongelman ilmetessä toimi (tietojen puutteellisuus, väärinkäsitykset jne.). • Miten varmistetaan alueella olevien työntekijöiden tiedonsaanti ja varmistetaan että he toimivat tilanteen edellyttämällä tavalla? • Miten ja minkälaisissa tilanteissa kaivos hoitaa tiedottamisen lähiympäristön asukkaiden, viranomaisten ja median/yleisön suuntaan mahdollisen ympäristöongelman/ poikkeustilanteen ilmetessä?
Riski 7: Ilkivalta tai sabotaasi aiheuttaa vakavan ympäristövahingon. • Miten kaivos on varautunut ympäristövahinkoja aiheuttavan ilkivallan ja sabotaasin riskiin?

8. Yhteenveto ja johtopäätökset

Raportissa kuvataan kaivoshankkeen koko elinkaarta kaivostoimintaa edeltävästä malminetsinnästä kaivoksen sulkemiseen ja jälkihoitoon saakka, esitellään Suomen kaivostoimintaa, tarkastellaan kaivosprosesseja, kaivosten vesistöpäästöjä, jäteveden laatua ja sen laadun ennustamista sekä päästöjen vaikutuksia pinta- ja pohjavesiin. Raportissa käsitellään myös metallien, sulfaatin ja rikastuksessa käytettävien kemikaalien vaikutusta kaloihin ja vesiympäristöön ja esitellään kaivostoimintaa koskevaa lainsäädäntöä ja kaivostoiminnan poikkeustilanteita ja niihin varautumista. Useimmissa kaivosvesien vaikutuksia selvittäneissä tutkimuksissa keskitytään haitta-aineiden vaikutuksiin kaloihin ja niiden lisääntymiseen, kalojen kudosten metallipitoisuuksiin sekä kalojen käyttöön elintarvikkeena. Kaivosten vaikutusta kalakantojen tilaan selvittäviä tutkimuksia on vähemmän.

Raportissa tarkastellut tutkimukset osoittavat, että kaivosten jätevedet ovat yleensä happamia ja suolaisia sekä sisältävät raskasmetalleja. Jätevesien määrät ovat usein myös suuria ja ylimääräinen vesi joudutaan johtamaan vesistöihin. Suurina pitoisuuksina kaivoksen suolapitoiset jätevedet voivat aiheuttaa alapuolisessa vesistössä kemiallista kerrostuneisuutta, koska liuenneet ionit (esim. Na^+ ja SO_4^{2-}) lisäävät veden tiheyttä ja raskaampi suolaliuos painuu pohjan läheiseen vesikerrokseen. Tästä voi varsinkin järvidesissä aiheutua hapen puutetta ja osmoottista stressiä vesieliöille, erityisesti kaloille. Esimerkiksi Talvivaaran kaivoksen sulfaattipäästöt ovat Suomen mittakaavassa suuria ja voimakasta suolaantumista on havaittu kaivoksen lähimmissä järvissä. Suolainen kaivosvesi on muuttanut myös kauempana järviketjussa olevan järven vesikemiaa, mikä osoittaa kaivospäästöjen voivan vaikuttaa hyvinkin laajalti alapuoliseen vesistöön.

Kaivostoiminnan aiheuttamat vesiluonnolle haitallisten aineiden pitoisuuksien lisäykset joki- ja järvidesissä sekä pohjasedimentissä voivat aiheuttaa muutoksia kaikilla ekosysteemitasoilla. Tästä esimerkkeinä ovat muuan muassa Kostamuksen rautakaivoksen ja Nikelin nikkelisulattojen lähivedet, joiden kasviplankton- ja eläinplanktonyhteisöjen tilan on havaittu muuttuneen ja kalojen kärsivän sairauksista toiminnallisissa elimissä (kidukset, maksa, munuaiset). Kaivostoiminnalla voi olla haitallisia vaikutuksia myös kalojen lisääntymiseen. Esimerkkinä tästä on välittömästi Rautuvaaran kaivoksen alapuolisessa vedessä toteutettu haudontakoe, jossa lähes kaikki mätimunat kuolivat. Syyksi todettiin mätimunien pinnalle kerääntynyt ferrihydroksidi-sakka, joka esti hengityskaasujen vaihdon.

Kalojen kudoksiin kertyvät raskasmetallit (erityisesti Hg) vaikuttavat kalojen käyttöön elintarvikkeena, mutta tehdyissä tutkimuksissa ei ole toistaiseksi havaittu kaivostoiminnan lisänneen raskasmetallipitoisuuksia niin paljon, että ne ylittäisivät suositukset kalojen elintarvikekäytölle. Esimerkiksi Kittilän ja Kevitsan kaivosten purkuvesistöistä pyydettyjen näytekalojen lihasnäytteiden metallipitoisuudet ovat alle määritysrajan, joten tällä perusteella Seurujoen ja Loukisen, samoin kuin Saiveljärven ja Kitisen kalojen todetaan olevan täysin ihmisravinnoksi kelpaavia.

Kalataloustarkkailuissa käytettyjä menetelmiä olivat kalastuskirjanpito, kalastustiedustelut, verkkokoekalastus ja sähkökoekalastus. Tarkkailuraporteissa todettiin käytetyistä menetelmistä, että kalastuskirjanpidolla ei saatu luotettavasti selville kalakannan runsautta tai muutossuuntaa, koska kirjanpitokalastajien määrä oli vähäinen, saaliit vaihtelivat vuosittain ilman selkeää suuntaa ja pyyntitavoissa oli muutoksia. Näin ollen kalastuskirjanpidolla ei myöskään voitu saada selville kaivostoiminnan mahdollisia vaikutuksia kalakannan tilaan.

Kalastustiedusteluissa esim. Kittilän ja Kevitsan kaivosten lähivesillä kalastaneet arvioivat kaivostoiminnan vaikuttaneen veden laatuun ja kalakantoihin ja haitanneen siten kalastusta. Verkkokoekalastustulosten perusteella ei kyseisillä vesialueilla kuitenkaan havaittu kaivoksesta johtuvia kalastomuutoksia. Myös sähkökoekalastusten osalta todettiin yleisesti, ettei niistä voi tehdä johtopäätöksiä kalaston mahdollisesta muuttumisesta. Näin ollen varsinaiset aineistot kalaston runsaudesta ja mahdollisista muutoksista, saati niiden yhteyksistä kaivospäästöihin, näyttävät olleen tyypillisesti liian vähäisiä ollakseen tarkoitukseensa käyttökelpoisia.

Kalataloustarkkailujen tilanteeseen 2020-luvun alussa tehtiin laaja katsaus (Lappalainen ym. 2022). Selvityksessä arvioitiin sekä tarkkailuraporttien laatua että tarkkailuohjelmien mahdollisuuksia tuottaa laadukasta tietoa toiminnan kalatalousvaikutuksista. Lisäksi selvityksessä esitettiin ehdotuksia tarkkailuohjelmien kehittämiseksi. Heikkisen ym. (2022) raportin mukaan tarkkailuissa kerättävien aineistojen riittävyttä mahdollisten vaikutusten havaitsemiseen tai niiden olemassaolon poissulkemiseen ei tarkkailujen yhteydessä arvioida. Edellä mainittuja raportteja kannattaisi hyödyntää uusien tarkkailuohjelmien laatimisessa.

Kaivosteollisuuden kasvun myötä kaivosten ympäristövaikutusten piirissä oleva kokonaisalue Suomessa laajenee ja samalla erityisen arvokkaiden ja herkkien vesiekosysteemien joutuminen kaivostoiminnan vaikutusten piiriin yleistyy. Tästä syystä toiminnan ympäristövastuullisuus tulisi korostua. Kaivostoiminnan ympäristövaikutukset ovat sidoksissa alueen geologiaan, louhittavaan malmiin, louhintatapaan ja valittuun rikastusprosessiin. Suomesta ja muualta maailmalta kerätyt tiedot osoittavat kuinka suunnitellun mukaisessa kaivostoiminnassa syntyy toisinaan ennakoimattomia päästöjä ja erilaisia ympäristöriskitilanteita esiintyy yleisesti. Kaivosyritysten olisikin aiempaa paremmin ennustettava toiminnasta aiheutuvat ympäristövaikutukset, minimoitava ympäristökuormitus sekä varauduttava huolella poikkeuksellisiin tilanteisiin. Kaivosyritys on vastuussa toimintansa ympäristövaikutuksista koko elinkaarensa ajan: malminetsinnästä kaivoksen rakentamisvaiheeseen, tuotantovaiheeseen ja jälkihoitovaiheeseen.

Viitteet

- Agnico Eagle Finland Oy 2022. Kittilän kaivoksen ympäristönsuojelun vuosiraportti 2021.
- Amundsen, P.-A., Staldvik, F.J., Lukin, A.A., Kashulin, N.A., Popova, O.A. & Reshetnikov, Y.S. 1997. Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia the Science of the Total Environment 201: 211–224.
- Amundsen, P.-A., Kashulin, N.A., Terentjev, P., Gjelland, K. Ø., Koroleva, I.M., Dauvalter, V.A., Sandimirov, S., Kashulin, A. & Knudsen, R. 2011. Heavy metal contents in whitefish (*Coregonus lavaretus*) along a pollution gradient in a subarctic watercourse. Environmental Monitoring and Assessment 182: 301–316. DOI 10.1007/s10661-011-1877-1
- Arizona Chemical 2008. SylvapineTM421. Safety data sheet. http://www.arizonachemical.com/Global/MSDS/EU_MSDS/SYLVAPINE%e2%84%a2%20421_English.pdf. Accessed 26.5.2010.
- Arola, H.E., Karjalainen, J., Vehniäinen, E.-R., Väisänen, A., Kukkonen, J.V.K. & Karjalainen, A.K. 2017. Tolerance of whitefish (*Coregonus lavaretus*) early life stages to manganese sulfate is affected by the parents. Environmental Toxicology and Chemistry 36: 1343–1353. DOI: 10.1002/etc.36672.
- Arola, H.E., Karjalainen, A.K., Syrjänen, J.T., Hannula, M., Väisänen, A. & Karjalainen, J. 2018. Fish embryo survival and growth in natural boreal streams and downstream a multi-metal mine using a bioheap-leaching technique. Archives of Environmental Contamination and Toxicology <https://doi.org/10.1007/s00244-018-0558-2>
- Arola, H.E., Karjalainen, A.K., Syrjänen, J.T., Hannula, M., Väisänen, A. & Karjalainen, J. 2019. Assessment of fish embryo survival and growth by in situ incubation in acidic boreal streams undergoing biomining effluents. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 76(1). DOI: [10.1007/s00244-018-0558-2](https://doi.org/10.1007/s00244-018-0558-2)
- ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry) 2022. The ATSDR 2022 Substance Priority List. <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/previous/05list.html>
- Autti, J. & Huttula, E. 2008. Selvitys kalastuksesta Ounasjoella vuonna 2007. Tutkimusraportti nro 11, Kemijoki Oy.
- Autti, J., Huttula, E. & Mehtälä, J. 2011. Kemijoen jokialueen kalatalousvelvoitteen tarkkailutuloset vuosina 2005–2009. Tutkimusraportti 15. Kemijoki Oy, Rovaniemi.
- Bach, L., Norregaard, R.L., Hansen, V. & Gustavson, K. 2016. Review on environmental risk assessment of mining chemicals used for mineral separation in the mineral resources industry and recommendations for Greenland. Aarhus University, Danish Centre for Environment and Energy, Report 203.
- Bertills, U., Björklund, I., Borg, H. & Hörnström, E. 1986. Biological effects of xanthates. Report no 3112 from the National Swedish Environment Protection Board, Solna, Sweden. EU KOMMISSION ASETUS (EY) N:o 1881/2006. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1881&from=ES>

- Eurofins Ahma Oy 2019. Boliden Kevitsa Mining Oy. Vuoden 2019 kirjanpitokalastuksen tulokset.
- Eurofins Ahma Oy 2021. Rupert Finland Oy. Pahtavaaran kaivoksen tarkkailu 2020 osa II. Pahtavaaran kaivoksen käyttö-, päästö- ja vaikutustarkkailu 2020.
- Groves, D.I. & Bierlein, F.P. 2007. Geodynamic settings of mineral deposit system. *Journal of the Geological Society* 164(1):19–30. DOI: 10.1144/0016-76492006-065
- GTK. http://en.gtk.fi/information/services/exploration/active_mines.html; viitattu 10.12.2019
- GTK. <https://kaiva.fi/geologia/mineraalivarannot/>; viitattu 13.10.2022
- Hakala, A. & Peltonen, H. 2016. FQM Kevitsa Mining Oy: Sähkö- ja verkkokoekalastukset 2015. Ramboll Finland Oy.
- Hakapää, E., Tanner, H. & Vähätalo, V. 1955. Outokummun kaivos. *Vuoriteollisuus* 13 (2): 13–32.
- Hanski, E. 1992. Petrology of the Pechenga ferropicrites and cogenetic, Ni-bearing gabbro-wehrilite intrusions, Kola Peninsula, Russia. *Geological Survey of Finland, Bulletin 367*. Geologian tutkimuskeskus. Espoo 1992.
- Hartikainen, J. 1997. Jätevesien vaikutusalueen kalataloudellinen yhteistarkkailu. Savo-Karjalan vesiensuojeluyhdistys ry. 37 s.
- Hartikainen, J. 2003. Sysmäjärven, Taipaleenjoen ja Heposelän kalataloudellinen yhteistarkkailu 1997–2003. Savo-Karjalan Vesiensuojeluyhdistys ry., työ B 3093.100
- Hartikainen, J. 2006. Sysmäjärven, Taipaleenjoen ja Heposelän kalataloudellinen yhteistarkkailu 1997–2006. Mondo Minerals Oy, Outokumpu Mining Oy, Outokummun kaupunki, Viinijärven kalalaitos. Savo-Karjalan ympäristötutkimus Oy. 31 s + liitteet.
- Hatakka, T., Nykänen, V., Pietilä, R. & Karjalainen, S.M. (toim.) 2019. Lapin kaivoskeskittymän kumulatiivisten ympäristövaikutusten arviointi ja hallinta Lapin Kaiku -projektin loppuraportti. GTK:n työraportti 66/2019. Geologian tutkimuskeskus. 240 s. + 6 liitettä
- Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. *Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 150*. 74 s.
- Heikkinen, J., Rajala, T., Ruokonen, T., Keskinen, T. & Lappalainen, A. 2022. Kalataloustarkkailuiden tilastollinen voima : Esimerkkitarkasteluja koekalastusaineistojen riittävydestä johtopäätösten tekemiseen. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2022*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 39 s.
- Heikkinen, P.M (Ed.), Noras, P. (Ed.), Mroueh, U.-M., Vahanne, P., Wahlström, M., Kaartinen, T., Juvankoski, M., Vestola, E., Mäkelä, E., Leino, T., Kosonen, M., Hatakka, T., Jarva, J., Kauppila, T., Leveinen, J., Lintinen, P., Suomela, P., Pöyry, H., Vallius, P., Nevalainen, J., Tolla, P. & Komppa, V. 2005. Kaivoksen sulkemisen käsikirja. *Geological Survey of Finland*. http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_053.pdf

- Huhtala J. 2008. Jokiuitosta kalataloudellisiin kunnostuksiin – Eräiden uiton jälkeisten velvoitekunnostusten kalataloudellisesta vaikuttavuudesta. Sattasjoki. Suomen ympäristö 29/2008. <http://hdl.handle.net/10138/38379>
- Huttula, E. & Autti, J. 2004: Selvitys kalastuksesta Ounasjoella vuonna 2001. Tutkimusraportti nro 7, Kemijoki Oy & Voimalohi Oy.
- Ilmatieteenlaitos 2014. Kuolan kaivosteollisuus saastuttaa yhä. <https://yle.fi/uutiset/3-7162588>. Viitattu 13.10.2022
- Jantunen, J. & Kauppila, T. (toim.), Räisänen, M.L., Komulainen, H., Kauppila, P., Kauppinen, T., Törmä, H., Leppänen, M., Tornivaara, A., Pasanen, A., Kemppainen, E., Raunio, A., Marttunen, M., Mustajoki, J., Kauppi, S., Ekholm, P., Huttula, T., Makkonen, H. & Loukola-Ruskeeniemi, K. 2013. Ympäristövaikutusten arviointimenettely kaivoshankkeissa. TEM oppaat ja muut julkaisut 3/2015. Työ- ja elinkeinoministeriö. 96 s
- Jenkin, G.R.T., Lusty, P.A.J., McDonald, I., Smith, M.P., Boyce, A.J. & Wilkinson, J.J. (eds.) 2015. Ore Deposits in an Evolving Earth. Geological Society, London, Special Publications, 393: 9–21. <http://dx.doi.org/10.1144/SP393.14>
- Jennings, S.R., Neuman, D.R. & Blicher, P.S. 2008. Acid Mine Drainage and Effects on Fish Health and Ecology: A Review. Reclamation Research Group Publication, Bozeman, MT.
- Kaiva, kaivannaistiedon verkkosivusto www.kaiva.fi; viitattu 3.12.2019
- Kallioinen, J. 2019. Vaahdotusmenetelmän perusteet. GTK.
- Karjalainen, J., Arola, H.E., Wallin, J., Väisänen, A. & Karjalainen, A.K. 2020. Condition and sperm characteristics of perch *Perca fluviatilis* inhabiting boreal lakes receiving metal mining effluents. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 79(2): 270–281. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00752-9>
- Kauppila, P., Räisänen M.L. & Myllyoja, S. 2011. Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt. Suomen ympäristökeskus.
- Kauppila, T. (toim.) 2015. [Hyviä käytäntöjä kaivoshankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnissa](#). Tutkimusraportti 222, Geologian tutkimuskeskus, s. 141.
- Kislov, D. 2012. Kostomuksha mine abstracts. stbur.ru. 2012. Retrieved 2013-06-19
- Korhonen, P.K., Venäläinen, E.-R. & Eriksson-Kallio, A.M. 2016. Talvivaaran nikkelikaivoksen jätevesipäästöjen vaikutukset kaloihin: Loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19, Luonnonvarakeskus (Luke). s. 30.
- Konnunaho, J., Eerola, T., Karinen, T., Niiranen, T., Nykänen, V., Rasilainen, K., Salmirinne, H., Törmänen, T., Arvola, V., Aarrevaara, T., Tulppo, P., Vaaramaa-Hiltunen, M. & Ohran-kämmen, V. 2021. Malminetsintä ja Itä-Lapin mineraalipotentiali sekä niiden alueloudelliset vaikutukset ja hyödyntäminen alueen elinkeinoelämässä. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimustyöraportti 62/2021. 124 s.

- Kuipers, J.R., Maest, A.S., MacHardy, K.A & Lawson, G. 2006. Comparison of Predicted and Actual Water Quality at Hardrock Mines: The reliability of predictions in Environmental Impact Statements. Kuipers & Associates, PO Box 641, Butte, MT USA 59703.
- Lahermo, P., Väänänen, T., Tarvainen, T. & Salminen, R. 1996. Suomen geokemian atlas, osa 3: Ympäristögeokemia – purovedet ja sedimentit. The Geochemical Atlas of Finland, Part 3: Environmental Geochemistry – Stream Waters and Sediments. Geological Survey of Finland. 149 s.
- Lappalainen, A., Ruokonen, T. & Keskinen, T. 2022. Kalataloustarkkailut Suomessa vuonna 2020 : Tarkkailuohjelmien ja raportoinnin laatu sekä ehdotuksia toiminnan kehittämiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 16/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 39 s.
- Leppänen, J., Weckström, J. & Korhola, A., 2017. Multiple mining impacts induce widespread changes in ecosystem dynamics in a boreal lake. Environmental Change Research Unit (ECRU), Department of Environmental Sciences, University of Helsinki. doi.org/10.1038/s41598-017-11421-8
- Leppänen, J., Luoto, T.P. & Weckström, J. 2019. Spatio-temporal impact of salinated mine water on Lake Jormasjärvi, Finland. [Environmental Pollution 247](#). pp. 1078–1088. doi.org/10.1038/s41598-017-11421-8
- Lohilahti, H., Kontkanen, H. & Hämäläinen, J. 2009. Sysmäjärven Natura 2000 -alueen hoito- ja käyttösuunnitelma Sysmä-järvi ja Sääperi – Pohjois-Karjalan lintuvesien aatelia. Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen raportteja 1 | 2009, s. 14–15, 21–22.
- Lozovik, P.A., Markkanen, S.-L. & Regerand, T. 2001. Kalevalanpiirin ja Kostamuksen alueen pintavedet ja kuormituksen vaikutus niihin. Petrozavodsk. 168 pp. [In Finnish and in Russian].
- Lukin, A., Dauvalter, V., Kashulin, N., Yakovlev, V., Sharov, A. & Vandysh, O. 2002. Assessment of copper-nickel industry impact on a subarctic lake eco-system. Science of the Total Environment 306(1-3): 73–83. doi: 10.1016/S0048-9697(02)00485-0.
- Morozov, A., 1998. Obshaja haracteristika I himicheskii sostavvodi. Galava 7. Vodoemi raiona Kostomukshi/Sovremennoesostojanie vodnih objectov Respubliki Karelia. (General description and chemical composition of water. Chapter 7. Water bodies in the area of the Kostomuksha. In Current State of water objectsin the Republic of Karelia. Result of monitoring, 1992–1997), Petrozavodsk. pp. 122–134 [In Russian with English summary].
- Muniruzzaman, M., Kauppila, P.M. & Karlsson, T. 2018. Water quality prediction of mining waste facilities based on predictive models. GTK Open File Research Report 16/2018.
- Nikkarinen, M. 2011. Kaivannaisjätteiden määrittely, määrä ja hyötykäytön problematiikka, GTK. Kestävä kaivostoiminta kutsuseminaari, Kajaani. <https://docplayer.fi/176345-Kaivannaisjatteiden-maarittely-maara-ja-hyotykayton-problematiikka.html>. Viitattu 9.12.2019.

- Nilsen, T. 2020. Christmas Day brings final end to Barents region's largest air polluter. The Independent Barents Observer AS. <https://thebarentsobserver.com/en/industry-and-energy/2020/11/christmas-day-brings-final-end-barents-regions-largest-air-polluter>. Viitattu 13.10.2022
- Paksuniemi, S. 2004a. Scandinavian Gold Limited: Selvitys Kevitsan lähialueen vesistöjen kalastusta ja kalastuksesta. Lapin Vesitutkimus Oy, Rovaniemi.
- Paksuniemi, S. 2004b. Lapin Vesitutkimus Oy. Sattasjoen ja Sovasjoen sekä Pahtavaaran kaivoksen alapuolisten purkuvesistöjen kalasto, kalastus sekä rantojen sekä vesistön käyttö.
- Paksuniemi, S. 2010. Kevitsa Mining Ab: Mataraojan ja Viivajoen sähkökalastusten tulokset v. 2010. Lapin Vesitutkimus Oy, Rovaniemi.
- Paksuniemi, S. 2011. Kevitsa Mining Oy: Kevitsan kalataloudellisen tarkkailun tulokset vuodelta 2011.
- Paksuniemi, S. 2012a. FQM Kevitsa Mining Oy: Mataraojan sähkökalastusten ja Saiveljärven koeverkkokalastusten tulokset 2012. Lapin Vesitutkimus Oy, Rovaniemi.
- Paksuniemi, S. 2019a. Boliden Kevitsa Mining Oy. Vuoden 2018 kirjanpitokalastuksen tulokset. Eurofins Ahma Oy.
- Paksuniemi, S. 2019b. Boliden Kevitsa Oy. Sähkö- ja verkkokoekalastukset 2018. Eurofins Ahma Oy.
- Papunen, H. 1986. Suomen metalliset malmiesiintymät. Teoksessa: Papunen, H., Haapala, I. & Rouhunkoski, P. (toim.). Suomen malmigeologia. Metalliset malmiesiintymät. Suomen geologinen seura ry. Mäntä Kirjapaino Oy, Mänttä, 133–214.
- Pasanen, A., Lyytikäinen, M., Solismaa, L. & Keronen J. 2011. Nonyylifenolietoksyylaatin kulkeutuminen ja haitallisuuden arviointi Yara Suomi Oy:n Siilinjärven tehdas- ja kaivosalueella. Tutkimusraportti. Minera -hanke. GTK.
- Puranen, T. 2005. Vuonosjoen, Taipaleenjoen sekä Sysmäjärven ja sen alapuolisen vesistön tarkkailun yhteenveto vuodelta 2005. Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy. Kuopio 10.5.2005. Moniste. 20 s.
- Pöyry 2018. Boliden Kevitsa Mining Oy. Kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelman päivitys 5.12.2018.
- Ramboll 2014. FQM Kevitsa Mining Oy: lähialueen pienvesien kalastustiedustelu 2013.
- Ramboll Finland Oy 2018a. Agnico Eagle Finland Oy. Kittilän kaivoksen vesistö- ja kalatalous-tarkkailu vuosiraportti 2017.
- Ramboll Finland Oy 2018b. Boliden Kevitsa Mining Oy. Kevitsan kaivoksen pintavesien tarkkailu vuonna 2017.
- Reinikainen, J. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäysperusteet. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 23. 90 s.

- Räisänen, M.L., Beucher A., Tornivaara, A. & Kauppila, P. 2015a. Suljettujen ja hylättyjen metallikaivosalueiden nykytila ja arvio jätealueiden ympäristöriskipotentiaalista. Arkistoraportti 46/2015. Geologian tutkimuskeskus.
- Räisänen, M.L., Väisänen, U., Lanne, E., Turunen, P. & Väänänen, J. 2015b. Rautuvaaran suljetun kaivoksen rikastushiekan jätealueen kemiallinen nykytila, vaikutukset pinta ja pohjavesiin vuosina 2005–2006 sekä suositukset jälkihoidolle. Arkistoraportti 64/2015, Geologian tutkimuskeskus. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42780/-YMra_2_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Saksela, M. 1948. Outokummun kuparimalmin löytö. English summary: The discovery of Outokumpu Ore Field. Geological Survey of Finland, Geoteknillisiä julkaisuja 47. 36 s.
- Sarpakunnas, M. 2018. Sysmäjärvi-Heposelkä alueen kalataloudellinen yhteistarkkailu vuonna 2018. Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy B 3093.100
- Stenberg, M. 1990. Järvien kunnostusten vaikutus elohopean metylaatioon, Vesitalous 31 (2): 42–44.
- [Tkatcheva, V.](#), [Holopainen, I.J.](#) & [Hyvärinen, H.](#) 2002. Effects of mining waste waters on fish in lakes of NW Russia. Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie 28: 484–487.
- Tkatcheva, V. 2007. Effects of mining industry waste waters on fish in the Kostomuksha area, NW Karelia, Russia. Academic Dissertation No: 48. University of Joensuu.
- Tolppi, R. 2015. Rikastusprosessit ja prosessien käsittely metallimalmikaivoksissa. Lapin ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201502092001>
- Tukes 2018. Vuoriteollisuustilasto, www.tukes.fi. Viitattu 3.12.2019
- Tuomela, A. 2016. Synteettiset materiaalit kaivosten allasrakenteiden tiivisrakenteena. Vesi- ja ympäristötekniikan tutkimusryhmä, Oulun yliopisto.
- Tuomisto, J. 2020. Elohopea – elon vai kuolon aine? DUODECIM Terveyskirjasto. <https://www.terveyskirjasto.fi/asy00221>
- Valta, R.-O. 2020. Kaivostoiminnan aiheuttama vesistökuormitus Kevitsan kaivoksen ympäristössä. Pro gradu. Teknillinen tiedekunta, Oulun yliopisto. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202002191177.pdf>
- Verta, M., Kauppila, T., Londesborough, S., Mannio, J., Porvari, P., Rask, M., Vuori, K.-M. & Vuorinen, P.J. 2010. Metallien taustapitoisuudet ja haitallisten aineiden seuranta Suomen pintavesissä. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12. Suomen ympäristökeskus (SYKE).
- Virtanen, K. & Markkanen, S.-L. 2000. Monitoring the Kostomuksha mining combine waste waters and water quality in the receiving water system 1990–1998. Mimeo-graphed series of Kainuu Regional Environment Centre 6: 3–28 [In Finnish, abstract in English]

- Voigt, H.-R. 2008. Kaloissamme todettuja lyijypitoisuuksia. *Ympäristö ja Terveys* 39(7–8): 103–106. <http://hdl.handle.net/1975/9324>
- Vuorinen, P. 1981. Rautaruukki Oy:n Rautuvaaran kaivoksen jätevesien vaikutuksesta taimenen alkionkehitykseen ja poikasiin. RKTL 1984.
- Vähäkangas, H. 2021. Nikelin kaupungin sijainti. <https://yle.fi/a/3-11804650>
- Välisalo, T., Jouttijärvi, T., Kallio, A., Kauppi, S., Kauppila, P., Komulainen, H., Laasonen, J., Laine-Ylijoki, J., Leppänen, M., Reinikainen, J. & Wahlström, M. 2014. Kaivosten stressitestit 2013. Ympäristöministeriön raportteja 2. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/42780>
- Väänänen, K. 2017. Adverse effects of metal mining on boreal lakes : metal bioavailability and ecological risk assessment. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Forestry and Natural Sciences 284.
- Wahlström, M., Kaartinen, T., Mäkinen, J., Punkkinen, H., Häkkinen, A., Mamelkina, M., Tuunila, R., Lamberg, P., Gonzales, M. S., Sandru, M., Johnsen, H., Andreassen, J-P., Harðardóttir, V., Franzson, H., Sund, C. & Jansson, K. 2017. Water Conscious Mining (WASCIOUS). TemaNord 2017:525, 195 pp. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1108991/-FULLTEXT02.pdf>

Liite

Keskeiset kaivoshankkeiden ympäristönsuojeluun liittyvät lait ja asetukset

Laki, asetus tai päätös	Numero	Mitä kaivoksen päästöjä tai toimintoja erityisesti koskee
Kaivoslaki*	621/2011	kaivosmineraalien etsintään ja hyödyntämiseen liittyvät säädökset
Ympäristönsuojelulaki	86/2000	pilaantumisen estämisen yleislaki
Ympäristönsuojeluasetus	169/2000	
Laki ympäristövaikutusten arvioinnista	486/1994	YVA-laki
Asetus ympäristövaikutusten arvioinnista	713/2006	
Luonnonsuojelulaki	1096/1996	alueiden käyttöön vaikuttavat suojelusäännökset
Luonnonsuojeluasetus	160/1997	alueiden käyttöön vaikuttavat suojelusäännökset
Vesilaki	587/2011	vesistöön rakentaminen, veden ottaminen, rakentamisen vaikutukset pohjavesiin ja vesistöihin
Laki vesien hoidon ja merenhoidon järjestämisestä	1299/2004	rakentamisen vaikutukset vesistöön
Patoturvallisuuslaki	494/2009	vesi- ja jätepatoja koskevat vaatimukset
VNA vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista, asetuksen muutos 2010	1022/2006 868/2010	päästöt vesiin (sis. nikkelin ympäristölaatuunormin)
VNA yhdyskuntajätevesistä	888/2006	päästöt vesiin (talousjätevedet)
VNA kivenlouhimoiden, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristönsuojelusta	800/2010	em. toimintaa koskevat vaatimustasot keskeisten päästöjen suhteen
VNA ilmanlaadusta	711/2001	päästöt ilmaan
VNA ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä	164/2007	päästöt ilmaan
VNA polttoaineteholtaan alle 50 MW:n energian tuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista	445/2010	energiantuotantoyksiköt
VNA raskaan polttoöljyn, kevyen polttoöljyn ja meriliikenteessä käytettävän kaasuoiljyn rikkipitoisuudesta	689/2006	päästöt ilmaan
VNP ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista	480/1996	päästöt ilmaan
VNA nestemäisten polttoainelajien jakeluasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista	444/2010	jakeluasemia koskevat vaatimustasot keskeisten päästöjen suhteen
VNP melutason ohjearvoista	993/1992	melupäästöt
VNA maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista	214/2007	päästöt maaperään, kiviaineksen ja kaivannaisjätteen hyödyntäminen
Jätelaki	646/2011	jätteet
Jäteasetus	1390/1993	jätteet
VNA kaivannaisjätteistä	379/2008	kaivannaisjätteet
VNA kaivannaisjätteistä annetun asetuksen muuttamisesta	717/2009	kaivannaisjätteet (liitteet)
VNP öljyjätehuollosta	101/1997	jätteet
VNP rakennusjätteistä	295/1997	jätteet
VNP kaatopaikoista	861/1997	jätteet
VNP ongelmajätteistä annettavista tiedoista sekä ongelmajätteiden pakkaamisesta ja merkitsemisestä	659/1996	jätteet
YMA yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelosta	1129/2001	jätteet
Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista	59/1999	kemikaalit
VNA räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta	644/2011	räjähteet
Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta	390/2005	kemikaalit ja räjähteet

* Kaivoslakiin valmistella olevat asetukset: kaivosasetus, kaivosturvallisuusasetus ja asetus kaivosten nostolaitoksista.

Laki, asetus tai päätös	Numero	Mitä kaivoksen päästöjä tai toimintoja erityisesti koskee
Kaivoslaki*	621/2011	kaivosmineraalien etsintään ja hyödyntämiseen liittyvät säädökset
Ympäristönsuojelulaki	86/2000	pilaantumisen estämisen yleislaki
Ympäristönsuojeluasetus	169/2000	
Laki ympäristövaikutusten arvioinnista	486/1994	YVA-laki
Asetus ympäristövaikutusten arvioinnista	713/2006	
Luonnonsuojelulaki	1096/1996	alueiden käyttöön vaikuttavat suojelusäännökset
Luonnonsuojeluasetus	160/1997	alueiden käyttöön vaikuttavat suojelusäännökset
Vesilaki	587/2011	vesistöön rakentaminen, veden ottaminen, rakentamisen vaikutukset pohjavesiin ja vesistöihin
Laki vesien hoidon ja merenhoidon järjestämisestä	1299/2004	rakentamisen vaikutukset vesistöön
Patoturvallisuuslaki	494/2009	vesi- ja jätepatoja koskevat vaatimukset
VNA vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista, asetuksen muutos 2010	1022/2006 868/2010	päästöt vesiin (sis. nikkelin ympäristölaatu normin)
VNA yhdyskuntajätevesistä	888/2006	päästöt vesiin (talousjätevedet)
VNA kivenlouhimoiden, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristönsuojelusta	800/2010	em. toimintaa koskevat vaatimustasot keskeisten päästöjen suhteen
VNA ilmanlaadusta	711/2001	päästöt ilmaan
VNA ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä	164/2007	päästöt ilmaan
VNA polttoaineteholtaan alle 50 MW:n energian tuotantoyksikköjen ympäristönsuojeluvaatimuksista	445/2010	energiantuotantoyksiköt
VNA raskaan polttoöljyn, kevyen polttoöljyn ja meriliikenteessä käytettävän kaasuöljyn rikkipitoisuudesta	689/2006	päästöt ilmaan
VNP ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista	480/1996	päästöt ilmaan
VNA nestemäisten polttoaineiden jakeluasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista	444/2010	jakeluasemia koskevat vaatimustasot keskeisten päästöjen suhteen
VNP melutason ohjearvoista	993/1992	melupäästöt
VNA maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista	214/2007	päästöt maaperään, kiviaineksen ja kaivannaisjätteen hyödyntäminen
Jätelaki	646/2011	jätteet
Jäteasetus	1390/1993	jätteet
VNA kaivannaisjätteistä	379/2008	kaivannaisjätteet
VNA kaivannaisjätteistä annetun asetuksen muuttamisesta	717/2009	kaivannaisjätteet (liitteet)
VNP öljyjätehuollosta	101/1997	jätteet
VNP rakennusjätteistä	295/1997	jätteet
VNP kaatopaikoista	861/1997	jätteet
VNP ongelmajätteistä annettavista tiedoista sekä ongelmajätteiden pakkaamisesta ja merkitsemisestä	659/1996	jätteet
YMA yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelosta	1129/2001	jätteet
Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista	59/1999	kemikaalit
VNA räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta	644/2011	räjähteet
Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta	390/2005	kemikaalit ja räjähteet

* Kaivoslakiin valmisteilla olevat asetukset: kaivosasetus, kaivosturvallisuusasetus ja asetus kaivosten nostolaitoksista.



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi

