



Rikkiyhdisteiden vaikutusten arviointi - Sulka-hankkeen loppuraportti

**Raija Pietilä, Taina Eloranta, Marja-Liisa Räisänen, Anna Tornivaara,
Tuomo Törmänen ja Ulpu Väisänen**



31.12.2014



GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUVAILULEHTI

31.12.2014

Tekijät Raija Pietilä, Taina Eloranta, Marja-Liisa Räisänen, Anna Tornivaara, Tuomo Törmänen, Ulpu Väisänen		Raportin laji Arkistoraportti	
		Toimeksiantaja GTK	
Raportin nimi Rikkiyhdisteiden vaikutusten arviointi – Sulka-hankkeen loppuraportti			
Tiivistelmä Sulka-hanke toteutettiin 1.7.2012-31.12.2014 välisenä aikana Euroopan aluekehitysrahaston rahoittamana ja Oulun yliopiston Prosessi- ja ympäristötekniikan osaston koordinoimana. Hankkeessa GTK:n osuutena oli tutkia kaivostoiminnasta mahdollisesti lähtöisin olevien rikin yhdisteiden ympäristövaikutuksia maaperään, sammaliin, pinta- ja pohjavesiin sekä puro- ja järvisedimentteihin. Case-tutkimuskohteena oli Kevitsan sulfidimetallikaivoksen ympäristö. Ympäristönäytteet projektia varten kerättiin vuosina 2012-2013. Kohteet sijaitsivat kaivosalueen lähivaikutusalueen ulkopuolella. Pääasiallinen tarkoituksena oli analysoida rikkiä eri menetelmillä, mutta samalla saatiin myös yli 40 muun alkuaineen tulokset. Pintavesien tulokset osoittavat, että Kevitsan kaivostoiminnan vaikutus Mataraojan eteläosan suolaionipitoisuuteen oli tämän tutkimuksen ajankohtana pienempää kuin mitä se oli ennen kaivostoimintaa malmivyöhykkeen maankäsittelyn aiheuttamana (liittyen maaperän geokemiallisiin ominaisuuksiin). Vuoden 1994 tutkimusten suolaionipitoisuuksien kasvu on todennäköisesti aiheutunut malmialueen tutkimusojituksen, metsäojitusten tai muun maanmuokkauksen johdosta, mikä on pintamaan hapettumisen (kuivatuksen) myötä lisännyt maaperästä irtoavien ionien liukoisuutta. Kaivoksen lähimmän järven, Saiveljärven, sedimenteissä ei ollut havaittavissa kaivosalueen valumavesien aiheuttamaa kontaminaatiota. Muut järvet olivat kaivoksen vaikutuksen ulkopuolella. Myöskään purosedimenteissä ei ollut merkkejä rikin kertymisestä Kevitsan poistovesistä. Sammal-aineistossa näkyi hieman kohonnut rikkipitoisuus, mikä todennäköisesti johtuu lehvästösadannan vaikutuksesta, sillä korkeimmat mitatut arvot olivat Louejoen lähellä, 8 kilometrin päässä kaivosalueelta itään, päätuulensuuntien ulkopuolella. Maaperätuloksien mukaan rikki on yhteydessä podsolimaannoksen ravinteisiin ja erityisesti orgaaniseen ainekseen. Kaivostoiminnasta johtuvaa happamoitumisvaikutusta ei ole todettavissa.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Rikki, sulfaatti, geokemia, moreeni, sammalet, pintavesi, järvisedimentti, purosedimentti, pohjavesi, ympäristövaikutukset			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Suomi, Lappi, Sodankylä, Kevitsa			
Karttalehdet U443, U444, U521, U522			
Muut tiedot			
Arkistosarjan nimi		Arkistotunnus 10/2015	
Kokonaissivumäärä 77 s. + 2 liitettä	Kieli suomi	Hinta	Julkisuus julkinen
Yksikkö ja vastuualue Pohjois-Suomen yksikkö, VA 502		Hanketunnus 3242005	
Allekirjoitus/nimen selvennys Raija Pietilä		Allekirjoitus/nimen selvennys	



GTK



Sisällysluettelo

Kuvailulehti

1	JOHDANTO	1
2	HANKKEEN TAUSTA JA ORGANISOINTI	1
2.1	Rahoitus ja aikataulu	2
2.2	Yhteistyötahot	2
2.3	Työpaketti 8:n tavoite ja aikataulu	2
2.4	Tutkimusalueen sijainti	2
3	KAIVOSTOIMINNAN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINNISTA	3
4	RIKKI JA RIKIN YHDISTEET	4
4.1	Rikin prosessit maaperässä	5
4.2	Rikin prosessit vedessä	6
4.3	Ilmaperäinen rikki	7
5	TUTKIMUSALUEEN KALLIOPERÄN JA MAAPERÄN YLEISPIIRTEET	7
5.1	Kallioperä	7
5.1.1	Malmigeologia	9
5.2	Maaperä	10
5.2.1	Topografia, maanpeitteen paksuus, rakenne ja koostumus	10
5.2.2	Turvekerrostumat	13
5.3	Natura-alueet	14
6	HYDROLOGISET OLOSUHTEET	15
6.1	Valuma-alueet ja pohja- ja pintavesien virtaussuunnat	15
6.2	Pohjavesi	17
7	TUTKIMUSMENETELMÄT JA NÄYTTEENOTTO	18
7.1	Maaperä ja humus	18
7.2	Pinta- ja pohjavedet	19
7.3	Orgaaninen ja mineraalinen purosedimentti	21
7.4	Järvisedimentit	22
7.5	Sammalet	24
8	ANALYYSIMENETELMÄT	25
8.1	Maaperä	25
8.2	Pinta- ja pohjavedet	26
8.3	Mineraaliset ja orgaaniset purosedimentit	26





8.4	Järvisedimentit	27
8.5	Sammalet	27
9	ANALYYSITULOSTEN KÄSITTELY	28
10	TULOKSET	28
10.1	Maaperän ja metsämaannoksen ominaispiirteet	28
10.2	Pohjavedet	37
10.3	Pintaveden geokemiaa	37
10.3.1	Pintavesien fysikaalinen ja kemiallinen koostumus	37
10.3.2	Rikin esiintyminen pintavesissä	43
10.4	Orgaaninen ja mineraalinen purosedimentti	45
10.4.1	Purosedimenttien kemiallinen koostumus	45
10.4.2	Rikin esiintyminen purosedimenteissä	52
10.5	Järvisedimentit	54
10.5.1	Järvisedimenttien sedimentaationopeus ja ikä	54
10.5.2	Järvisedimenttien fysikaalinen ja kemiallinen koostumus	54
10.5.3	Rikin esiintyminen sedimenttinäytteissä	60
10.6	Sammalet	61
11	TULOSTEN TULKINTA	63
11.1	Rikki ympäristönvaikutusten ja happamoitumisriskin arvioinnissa	63
12	KIITOKSET	64
13	KIRJALLISUUSLUETTELO	65

1 JOHDANTO

Rikin yhdisteet kaivostoiminnassa – ympäristövaikutusten arviointi, mittaus ja minimointi – Sulka toteutettiin 1.7.2012 – 31.12.2014 välisenä aikana Euroopan aluekehitysrahaston rahoittamana hankkeena, johon osallistui Geologian tutkimuskeskuksen lisäksi koordinaattorina Oulun yliopiston Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, CEMIS-Oulu, Sotkamon yksikkö, Kokkolan yliopistokeskus Chydenius ja Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu (1.1.2014 lähtien Lapin ammattikorkeakoulu). Rikkiä esiintyy metallituotannon kaikissa vaiheissa aina louhinnasta jalostusprosessiin asti. Vapautuessaan tuotannon eri vaiheissa ilmaan, veteen ja maaperään, rikin yhdisteet (sulfidi, sulfaatti ja sulfiitti) aiheuttavat ympäristö- ja terveysongelmia, kuten happamoitumista, hajuhaittoja, vesien suolaantumista, rikkipitoisia jätteitä ja syöpymistä. Rikin yhdisteet ovat yksi sulfidimalmikaivosten suurimmista haasteista ja ympäristöhaittojen aiheuttajista. Niiden muodostumisen estämiseen, luontoon kohdistuvien haittojen minimointiin, seurantaan ja vaikutusten arviointiin tarvitaan uusia ratkaisuja. Hankkeen yleisenä tavoitteena oli kaivosalalla toimivien yritysten ja tutkimustahojen tietotaidon kasvu rikkiyhdisteiden mittaukseen ja käsittelyyn liittyvässä osaamisessa.

2 HANKKEEN TAUSTA JA ORGANISOINTI

Sulka -hanke liittyy Oulu Mining School:n, SkyPro Oulu -osaamiskeskittymän sekä Ympäristö ja energia -innovaatiokeskittymän toimintaan. Hanke toteutettiin ylimaakunnallisena ja osallistuneita toimijoita oli Pohjois-Pohjanmaalta, Lapista, Kainuusta sekä Keski-Pohjanmaalta.

Hanketta hallinnoi Oulun yliopiston (OY) Prosessi- ja ympäristötekniikan osaston (PYO) lämpö- ja diffuusioteknikan laboratorio. Hankkeen vastuuhenkilönä toimi professori Riitta Keiski ja koordinaattorina Satu Pitkäaho. Osatoteuttajina olivat PYO (TP0: Projektin koordinointi, TP1: Uusien rikkiyhdisteille soveltuvien mittaus- ja minimointimenetelmien kartoittaminen, TP2: Kaasumittausten kehittäminen, TP5: Rikkipitoisten kaasupäästöjen minimointi, TP7: Kalvoerotuksen kehittäminen vesien käsittelyyn, TP9: Kestävän kehityksen arviointimenetelmien kehittäminen), CEMIS-Oulun Sotkamon yksikkö (TP3: Vesimittausten kehittäminen), Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu (1.1.2014 lähtien Lapin ammattikorkeakoulu (Lapin AMK)) (TP4: Kriittisyysanalyysi ympäristönäkökulmasta ja tietämyksen hallinta rikkipäästöjen ehkäisyssä), Kokkolan yliopistokeskus Chydenius (TP6: Rikkipitoisten vesipäästöjen minimointi) ja Geologian tutkimuskeskus (GTK) (TP8: Rikkiyhdisteiden ympäristövaikutusten arviointi).

Ohjausryhmä

Pj (2012-keväät 2013) Eine Pöllänen, Talvivaara

Pj. (kesä 2013-2014) Tuomas van der Meer, Outotec

Vpj. (kesä 2013-2014) Arttu Ohtonen, Sotkamo Silver

Jäsen Ville Heikkinen, Talvivaara

Jäsen Jukka Hiltunen, OY, PYO

Jäsen Peter Johansson, GTK

Jäsen Risto Laitinen, OY, Kemian laitos

Jäsen Matias Penttinen, Kemira

Jäsen Pekka Tervonen, OY, CEE

Jäsen Matti Uusimäki, Lapin AMK

Jäsen Juha Saari, Kemira

2.1 Rahoitus ja aikataulu

Sulka-hanke oli Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoittama. Hankkeen alkuperäinen aikataulu oli kaksivuotinen 1.7.2014–30.6.2014, mutta hankkeelle haettiin ja saatiin keväällä 2014 jatkoaikaa Pohjois-Pohjanmaan liitosta 31.12.2014 saakka.

2.2 Yhteistyötahot

CTS Engtec, Ehovoc Oy, Gasera Oy, Kemira Oyj, Outotec Oyj, PAC-Solution, Sotkamo Silver Oy ja Talvivaara Oy osallistuivat hankkeeseen osarahoituksella.

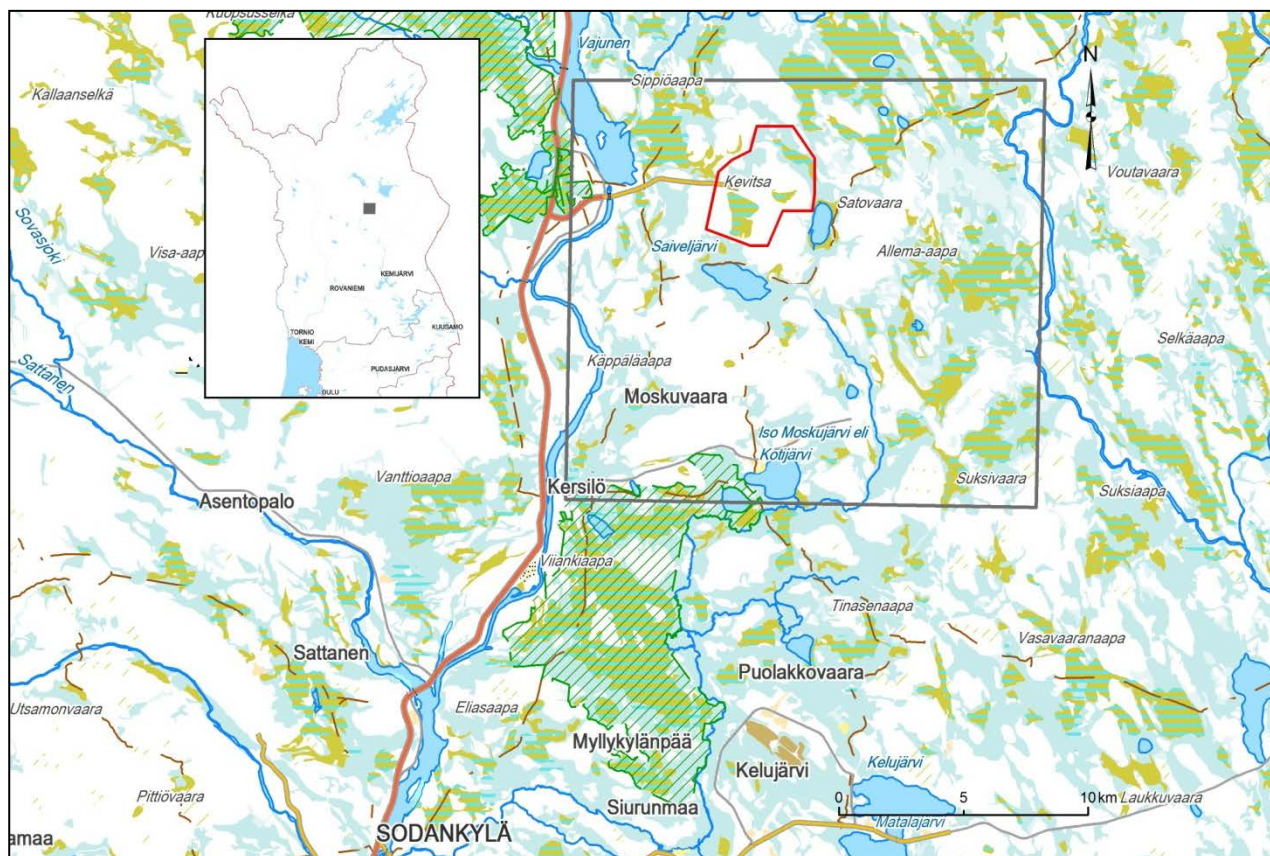
2.3 Työpaketti 8:n tavoite ja aikataulu

Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) vetämän työpaketin (TP8) tavoitteena oli selvittää sulfidimalmien hyödyntämisessä syntyvien rikkiyhdisteiden vaikutuksia ympäröivään maaperään, pinta- ja pohjavesiin, puro- ja järvisedimentteihin sekä sammaliin. Tarkoituksena oli tutkia sekä kehittää rikin ja rikkiyhdisteiden geokemiallisia tutkimusmenetelmiä edellä mainituissa materiaaleissa sekä esimerkinomaisesti testata menetelmiä kaivosympäristössä valituissa case-kohteissa. Malmi- ja kaivostyyppinsä vuoksi case-tutkimuskohteeksi valittiin Sodankylän Kevitsan kaivoksen ympäristö, koska alueelta oli saatavilla vertailuaineistoksi soveltuvaa, ennen kaivostoimintaa kerättyä tutkimusaineistoa. Kaivoksen rakentaminen Kevitsaan alkoi 2010 ja tuotanto käynnistyi 2012. Kevitsan alueen ensimmäiset geologisia tutkimukset tehtiin 1980-luvulla, joita täydennettiin laajempialaisella näytteenotolla 1994-1995 käynnissä olleessa GTK:n hankkeessa. Tuolloin tehtiin geologista kartoitusta, kairauksia ja geofysikaalisia mittauksia sekä otettiin ja analysoitiin pinta- ja pohjavesinäytteitä sekä maaperänäytteitä. Sulka-hankkeen puitteissa keskityttiin pääasiassa kahteen asiakokonaisuuteen: 1) rikkiyhdisteet ja maaperän happamoituminen ja 2) rikkiyhdisteet vesistöissä ja sedimenteissä.

Sulka-hanke käynnistyi heinäkuun alussa 2012 ja päättyi joulukuun lopussa 2014. Työpaketin kannalta olennaisten näytteiden keruu ja analysointi tehtiin vuosien 2012 ja 2013 aikana. Vesi-, purosedimentti- ja sammalnäytteet kerättiin elokuussa 2012 ja analyysit valmistuivat syys-lokakuussa 2012. Järvivesi ja -sedimenttinäytteet otettiin huhtikuussa 2013 ja niiden analyysit valmistuivat toukokuussa 2013. Maaperänäytteet otettiin elokuussa 2013 ja niiden analyysit valmistuivat syys-lokakuussa 2013.

2.4 Tutkimusalueen sijainti

Kevitsan tutkimusalue sijaitsee Rovaniemeltä noin 140 kilometriä koilliseen (Kuva 1). Näytteitä kerättiin pääosin noin 256 km² kokoiselta alueelta, kuvaan 1 punaisella rajatun kaivospiirin ulkopuolelta. Lisäksi neljä sammalnäytettä kerättiin kauempaa varsinaisen tutkimusalueen ulkopuolelta.



Kuva 1. Tutkimusalueen kartta. Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 2014 aineistoa.

3 KAIVOSTOIMINNAN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINNISTA

Kaivostoiminta aiheuttaa aina muutoksia ympäristöönsä. Ympäristömuutokset voivat alkaa jo malminetsinnän aikana, mutta silloin haitat ovat vähäisiä. Ympäristömuutokset ovat suurimmat kaivoksen perustamis- ja toimintavaiheessa. Kaivostoiminta muuttaa pysyvästi alueen maisemakuva, varsinkin, jos kyseessä on avolouhintaan perustuvaa toimintaa. Muita merkittäviä vaikutuksia aiheuttavat mm. maansiirtotyöt, työkoneet, räjäytykset ja sivukiven ja rikastushiekan varastointi. Toiminnan jälkeen voi sivukiven ja rikastushiekan varastoinnista aiheutua ympäristövaikutuksia vielä pitkään. Kaivostoiminnan ympäristövaikutusten laajuuteen ja laatuun vaikuttavat mm. kaivoksen sijainti, alueelle läjitettyjen jätteiden määrä ja laatu, käytetty louhinta- ja rikastusmenetelmä sekä louhittava malmityyppi. Haitallisia vaikutuksia voidaan minimoida hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella (Salminen ym. 2000, Heikkinen ym. 2008, Kauppila ym. 2011).

Ympäristövaikutusten arvioiminen on olennainen osa kaivoksen elinkaarta ja sitä tehdään jatkuvasti toiminnan eri vaiheissa. Kaivoksen suunnittelu- ja perustamisvaiheessa tehdään perustilaselvitys, jossa kerätään tietoja ympäristön tilasta ennen toiminnan aloittamista (YM 2014). Kaivostoiminnan aiheuttamia ympäristövaikutuksia arvioidaan esimerkiksi kaivoshankkeen YVA-ohjelmassa ja haitalliset ympäristövaikutukset pyritään minimoimaan (YVA-laki 468/1994 ja Vna 713/2006). Toimintavaiheessa pyritään vähentämään ympäristöön kohdistuvia riskejä erilaisilla riskinhallintatoimilla ja seurantanäytteenotoilla. Kaivoksen sulkemisen yhteydessä tehdään nykytilaselvitys, jossa kartoitetaan kaivosalueen nykyhetken mukaiset, toteutuneet ympäristövaikutukset sekä selvitetään vaikutusten syitä, jotta ympäristönkuormitusta voitaisiin vähentää ja kaivos sulkea turvallisesti. Ympäristövaikutusten laajuuden ja laadun arvioimiseksi nykytilaselvityksen tuloksia verrataan perustilaselvitykseen ja alueelta kerättyihin seurantatietoihin (Kauppila ym. 2011).

Ympäristövaikutusten arvioinnin kannalta tarkasteltava alue rajataan laajuudeltaan sellaiseksi, että kaikki merkittävät vaikutukset pystytään huomioimaan. Rajaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kaivoksen toiminta-alue, valuma-alueen laajuus, pintavesien ominaisuudet, pohjavesien tasot ja virtaussuunnat, pölyn kulkeutumissuunnat ja -etäisyydet sekä maaperän kemialliset ominaisuudet (Heikkinen ym. 2008).

Kaivosten ympäristövaikutukset ovat sidoksissa louhittavaan malmityyppiin. Suomessa hyödynnetyt malmit voidaan ympäristövaikutusten haitallisuuden perusteella jakaa karkeasti sulfidipitoisiin malmeihin ja malmeihin, jotka eivät sisällä sulfideja, kuten oksidimalmit sekä teollisuusmineraalit. Ympäristön kannalta vakavimmat riskit aiheutuvat sulfidipitoisten malmien louhimisesta ja rikastamisesta (Salminen ym. 2000). Näiden malmien ympäristöriskit liittyvät sulfidimineraalien määrään ja rapautumisherkyyteen maan pinnan olosuhteissa. Sulfidimineraalien altistuminen hapelle ja vedelle johtaa niiden hapettumiseen ja happamien, metalleja, puolimetalleja ja sulfaattia sisältävien vesien muodostumiseen. Happamuuden kasvu liuottaa edelleen metalleja myös muista kiviaineksen sisältämistä mineraaleista. Sulfidimineraalien altistumista rapautumiselle voi tapahtua louhosten seinämissä, rikastusprosessissa, rikasteen varastokasoissa, sivukivikasoissa, rikastushiekka-alueilla sekä alueilla, joihin on levinnyt sulfidipitoista pölyä. Sulfidimineraalien hapettumisen hallinta kaivostoiminnan aikana ja sen päätyttyä on yksi keskeisimmistä haasteista metallikaivosten ympäristökuormituksen vähentämisessä. (Kauppila ym. 2011)

4 RIKKI JA RIKIN YHDISTEET

Rikki (S) on erilaisissa yhdisteissä yleisesti esiintyvä happiryhmään kuuluva epämetalli. Rikin kiertokulku luonnossa on moninainen, sillä se esiintyy luonnossa sekä epäorgaanisena että orgaanisina yhdisteinä useissa hapetusasteissa ja sitä tavataan niin vedessä, kaasussa kun kiinteässä aineessa. Rikin kierto maanpinnalla on vuorovaikutuksessa fosforin, hapen, hiilen, typen ja vedyn kanssa. Rikki on sekä taloudellisessa mielessä ja että ympäristövaikutusten kannalta merkittävä alkuaine, jonka kiertokulkuun vaikuttavat useat eri tekijät, kuten mineralisaatio, hapettumis- ja pelkistymisreaktiot, liukoisuus, adsorptio, kasvien ravinteiden otto, maapallon endogeeniset prosessit ja eroosio. Tärkeimmät hapetusasteet rikille ovat sulfidien -2 ja sulfaattien +6. Luonnossa sulfidinen rikki hapettuu sulfiitiksi ja edelleen välivaiheiden kautta helposti liikkuvaksi sulfaatiksi seuraavan mallin mukaisesti (suluissa hapetusluvut):



Sulfaatti voi pelkistävässä olosuhteissa muuttua takaisin sulfidi-ioniksi (S^{2-}), ja yhtyä metallien kanssa vaikealiukoiseksi metallisulfidiksi tai muuttua haihtuvaksi rikkivedyksi (H_2S). Rikki voi esiintyä luonnossa myös puhtaana (S^0), bisulfaattina (HSO_4^-), tiosulfaattina ($S_2O_3^{2-}$), bisulfidina (HS^-), polysulfidina ja polytionaattina. Hapettomissa olosuhteissa rikki voi esiintyä lisäksi tioleina (merkaptaneina) ja orgaanisina yhdisteinä (Lahermo ym. 1996). Rikin liikkuvuuteen vaikuttavatkin ympäröivät olosuhteet, eli se liukenee huonosti pelkistävässä olosuhteissa ja herkemmin hapettavissa happamissa, neutraaleissa ja emäksisissä olosuhteissa (Plant & Raiswell 1983).

Kallioperässä rikki on jakaantunut epätasaisesti, vaikkakin sitä esiintyy lähestulkoon kaikkialla. Rikkiä esiintyy etenkin eloperäistä ainesta sisältävissä sedimenttikivissä kuten kivihiilessä, liuskeissa ja evaporaateissa sekä kallioperän sulfidirikkaissa vyöhykkeissä (Salminen ym. 2004). Magmakivissä sulfideja on eniten mafisissa ja ultramafisissa kivissä ja vähiten graniiteissa. Tavallisimpia rikkimineraaleja ovat rikkikiisu (FeS_2) ja markasiitti (FeS_2 ; alhaisen lämpötilan muunnos), magneetikiisu (FeS), kuparikiisu $[(CuFe)S_2]$, borniitti (Cu_5FeS_4), pentlandiitti $[(Fe,Ni)_9S_8]$, molybdeenihohde (MoS_2) arseenikiisu ($FeAsS$) ja lyijyhohde (PbS). Rikkiä esiintyy lisäksi rapautumisjäännöksinä kuten suoloina ja amorfisina yhdisteinä (kipsiyhdisteet, baryytti, ferrihydroksidit) sekä mineraalien pinnalle adsorboituneena (esim. gibsiitti, götiitti sekä muut vesipitoiset oksidit ja savimineraalit).

Rikin kiertokulun tärkeimmät primääriset mineraalit ovat magnetiitti- ja rikkikiisu, joiden hajoaminen käsittää mm. hapetus-pelkistys- ja hydrolyysireaktioita. Sulfidimineraalien kemiallisella koostumuksella ja fysikaalisilla ominaisuuksilla on suuri vaikutus mineraalien rapautumisherkkyyteen ja siten ympäröivien vesien kemiaan. Veden, hapen ja bakteeritoiminnan lisäksi hapettumista voi lisätä esimerkiksi rakeen suurempi pinta-ala, rakenteen epämuotoisuus ja kemiallinen epäpuhtaus. Vaikka rikkikiisu sisältää kaksinkertaisesti rikkiä, on magneettikiisun todettu olevan herkempi rapautumaan ja se voidaan siten aiheuttaa kaivosalueilla nopeammin havaittavia vaikutuksia ympäröivien vesien happamuuteen. Myös sulfaattimineraalien liukoisuus vaihtelee laajasti, aina niukkaliukoisesta bariumsulfaattista helposti liukenevaan kipsiin (Price 2009).

4.1 Rikin prosessit maaperässä

Rikin lähteitä maaperässä ovat primääristen mineraalien lisäksi, sekundääriset rapautumistuotteet, kuollut kasvi- tai eläinjäte, merisuolat, rikkilaskeuma sekä rikkipitoisten lannoitteiden käyttö. Ravinnekierrossa rikki on välttämätön, mutta sitä esiintyy eloperäisessä luonnossa kuitenkin suhteellisen vähän ja jotkin muodot voivat olla jopa elämälle haitallisia. Rikki osallistuu bakteerien katalysoiman metallikierron (esim. Fe, Mn, As) lisäksi biologiseen kiertoon, jossa kasvit pelkistävät juurilla maanesteestä imemäänsä sulfaattirikkiä orgaaniseksi rikiksi foto- ja kemosynteseissä. Kasvit myös hyödyntävät jonkin verran ilmakehän rikkidioksidia lehtien ja neulasten ilmarakojen kautta. Maaperän ylimmissä osissa (O- ja A-horisonteissa), rikistä voi olla yli 95 % orgaanisessa muodossa. Kuitenkin epäorgaaninen rikki (sulfaatti) toimii aerobisissa olosuhteissa kasvien pääasiallisena rikin lähteenä, ollen maaperän yleisin anioni (Kiviaho 1998).

Rikin esiintymismuoto ja hapetusaste riippuvat ympäristön pH:sta ja hapetus-pelkistysolosuhteista: esimerkiksi neutraalissa ja emäksisissä olosuhteissa sulfaatti on pääosin maavedessä, kun taas happamassa voimakkaasti rapautuneessa maaperässä, yli 50 % kokonaisrikistä on adsorboitunutta sulfaattia, etenkin jos maaperässä on paljon alumiini- ja rautahydroksideja. Rikin geokemialliseen kiertoon ja olomuotoon ja sulfidimineraalien hapettumiseen vaikuttavat myös bakteerit (kuten *Acidithiobacillus thiooxidans*). Hapettuminen alkaa yleensä epäorgaanisesti mutta bakteerien läsnäolo katalysoi reaktiota moninkertaisesti. Bakteerien toimesta sulfidin ferroraudan tai orgaanisen rikin hapettuminen voi tapahtua vähähappisissakin olosuhteissa ja alhaisessa pH-olosuhteissa (> 4,5), ja kun pH laskee alle 2,5 hapettuminen etenee lähinnä bakteerien katalysoimana (Gould ym. 1994, Kelly & Wood 2000). Pelkistävissä olosuhteissa viihtyvät rikkibakteerit voivat saostaa orgaanisen aineksen sisältämää rikkiä myös sulfideiksi. Tästä toimenpiteestä syntyy reaktiotuloksena hiilidioksidia ja rikkivetyä, joka muuttuu edelleen sulfaattirikiksi hapellisessa ympäristössä.

Rikkikiisun hapettuminen:

- 1.) $\text{FeS}_2 + 7/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2 \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{H}^+$
- 2.) $\text{Fe}^{2+} + 1/4 \text{O}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 1/2 \text{H}_2\text{O}$
- 3.) $\text{FeS}_2 + 14 \text{Fe}^{3+} + 8 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 15 \text{Fe}^{2+} + 2 \text{SO}_4^{2-} + 16 \text{H}^+$

Reaktion 3. ferro-rauta jatkaa hapettumista reaktiosarjan toiselta riviltä taas uudelleen eteenpäin (Singer & Stumm 1970, Lottermoser 2007).

Suomessa yleisen podsolimaannosprofiilin yläosissa on hapettavat olosuhteet. Alimmassa osassa eli muuttuneessa pohjamaassa on vähemmän happea ja rikki esiintyy myös sulfideina. Hapelliset olosuhteet ja muun muassa siihen vaikuttava pohjaveden korkeus säätelevät primääristen sulfidimineraalien hapettumista sulfaateiksi, kuten myös rikin uudelleen pelkistymistä sekundäärisiksi sulfideiksi (Kiviaho 1998).

Rikki on jakautunut kallioperän lisäksi epätasaisesti myös maaperään, sitä voidaan kuitenkin olettaa olevan maaperässä keskimäärin 800 mg/kg ja moreenin hienoaineksessa (<0,06 mm) 40–320 mg/kg (Koljonen ym. 1992). Vuonna 1992 tehdyssä moreenitutkimuksessa rikkipitoisuudet olivat pieniä Itä- ja Pohjois-Suomen graniitti- ja gneissialueilla, ja kohonneita liuskealueilla ja suurimpia Keski-Pohjanmaan rannikkoseudulla, jossa Litorinameren aikaiset sulfidisavet ovat yleisiä. Rannikoiden happamien savikoiden lisäksi sulfaatteja huuhtoutuu veteen myös hajoavasta kasviaineksen biokemiallisten reaktioiden kautta.

Rikkiä sitoutuu maaperän humukseen ja hienorakeiseen maa-ainekseen, turpeeseen sekä vesipitoisiin rauta- ja alumiinioksidiin. Pohjoisten alueiden geokemiallisessa kartoituksessa on käynyt ilmi, että B- ja C-horisonttien rikkipitoisuudet ovat pitkälti sidoksissa alueen geologiaan, mutta esimerkiksi sammalen korkeat rikkipitoisuudet indikoivat todennäköisemmin teollisuuspäästöjen vaikutuksia (Reimann ym. 1998). Luonnollisesti rikkiä poistuu maaperästä huuhtoutumisen ja kasvien adsorboinnin kautta, mutta myös vähemmässä määrin kaasuyhdisteiden haihtumisena. Esimerkiksi löyhästi maahan sitoutuneet sulfaatit voivat pH:n laskiessa mobilisoitua alumiinin kanssa ja kulkeutua veden mukana eteenpäin. Muita yleisiä sulfaattimineraalien kationeja ovat magnesium, kalsium, strontium, barium, lyijy ja sinkki (Price 2009).

4.2 Rikin prosessit vedessä

Maankuoren rapautumisen seurauksena rikkiä kulkeutuu suuria määriä meriin, jossa sitä löytyy runsaasti sulfaatteina (SO_4^{2-}). Merivedessä on arvioitu olevan 905 mg litraa kohti rikkiä (Reimann ym. 1998), joka muun muassa rikastuu merivedestä suolamuodostumiin esimerkiksi kipsinä ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Syntyneet sekundäärimineraalit kerrostuvat eliöjäänteiden kanssa meren savi- ja silttikerrokseen. Meriveteen päätyy rikkiä myös merenalaisissa tulivuorenpurkauksista sekä ilmakehään vapautuneen rikin kuiva- ja märkälasseumana. Hapettomassa ympäristössä sulfaatin pelkistymisen voi aiheuttaa ilmakehään vapautuvia kaasuja ja muodostaa sedimenttikerrokseen rikkikiisua (Schlesinger 1997).

Suomen purovesien sulfaattipitoisuuden (SO_4^{2-}) keskiarvo on 7,7 mg/l ja mediaani 3,5 mg/l, vaihteluväli on kuitenkin kohtalaisen suuri (standardipoikkeama 24,9 mg/l). Rannikkovyöhykkeellä on selvästi muuta maata korkeampi anomalia (40–100 mg/l), suurimpien pitoisuuksien ollessa Vaasan seudulla (Lahermo ym. 1996). Rannikon rikki on peräisin etenkin happamista sulfidisavista, mutta kallioperän sulfidit ovat merkittävä sulfaattilähde Pori-Vammala-vyöhykkeellä, osissa Laatokka-Raahe-vyöhykettä, Outokumpu-jaksolla sekä Peräpohjan, Kuusamon ja Keski-Lapin liuskealueilla (mm. kiisumineraalien määrän vuoksi). Geologisen ympäristön lisäksi purovesien ja etenkin pienten latvajärvien laatuun vaikuttavat rikkilasseuman alueellinen jakauma sekä paikallisesti muun muassa teollisuuden päästöt.

Sulfaatteja ja muita haitta-aineita päätyy ympäristöön alueellisesti merkittäviä määriä esimerkiksi kaivosalueiden rikastamo- ja hulevesien sekä jätealueiden valumavesien kautta. Liennut rikki saostuu hapettavissa olosuhteissa sulfaattina ja pelkistävissä sulfidina tai huuhtoutuu sulfaatteina pohja- ja pintavesiin. Kiisujen rapautuminen laskee veden pH-arvoa ja alhaiset pH-olosuhteet lisäävät muun muassa rauta- ja alumiinisulfaattien saostumista, kun taas kalsiitin tai kalkin käyttö neutraloinnissa lisää liennutta kalsiumia saaden aikaan rikin sitoutumisen saostuvaan kipsiin (Price 2009). Kaivosympäristön jätealueiden rapautumisolosuhteiden ymmärtäminen on tärkeässä osassa pitkäaikaisvaikutusten arvioinnissa. Suomen orgaanisissa purosedimenteissä on valtakunnallisen purosedimenttikartoituksen analyysien mukaan rikkiä tavallisesti 0,04–0,50 % (keskiarvo. 0,17 % ja mediaani 0,13 %) (Lahermo ym. 1996).

Purovesien sulfaattipitoisuuksien ja purosedimenttien rikkipitoisuuksien alueellisella jakaumalla voidaan havaita samoja piirteitä, jonka lisäksi niillä on luonnollisesti samoja piirteitä myös pohjaveden sulfaattipitoisuuksien ja moreenin sisältämän rikin kanssa. Purosedimenttituloksien tarkastelussa

huomattiin, että mikäli alueen sedimenttien hiilipitoisuus on suuri, puroveden sulfaatin kanssa korreloi paremmin purosedimentin rikin ja hiilen suhde kuin sen rikkipitoisuus (Lahermo ym. 1996). Kalsiumin puute ja natriumin ja magnesiumin läsnäolo mahdollistavat suuremman liuenneen sulfaatin osuuden vesissä. Viljelymaat sisältävät useimmiten liian vähän rikkiä, ja koska rikkilaskeuma ei yleensä riitä korvaamaan kasvien rikin tarvetta, lisätään lannoitteisiin rikkiä. Eläimet hapettavat ruoassa olevan rikin, ja esimerkiksi karjanlannassa on runsaasti rikkiä. Kaivosteollisuuden päästöjen lisäksi maataloilta ja peltojen viljelystä peräisin olevaa rikkiä huuhtoutuu vesiin, kuten myös metsämailta ja soilta.

4.3 Ilmaperäinen rikki

Tulivuorten purkauksista ilmakehään vapautuu vulkaanisperäistä rikkiä. Rikkiä kantautuu ilmaan ja maaperään myös mereltä tuulten mukana, ja sillä voi olla paikoin merkittävä alueellinen vaikutus maaperän sulfaattipitoisuuteen (Anderson ym. 1995). Ihmistoiminnan rikin lähteitä ilmakehään ovat muun muassa kaivostoiminnan ja teollisuuden päästöt ja orgaanisten polttoaineiden käyttö. Teollisuudesta ilmaan vapautuvista rikkiyhdisteistä (SO_2 , SO_3 , H_2S) esimerkiksi rikkidioksidi hapettuu vedessä rikkihapoksi, josta vapautuu H^+ -kationeja ja SO_4^{2-} -anioneja kemiallisiin reaktioihin. Seurauksena on happamia sateita ja rikkipitoisia partikkelilaskeumia (kuivalaskeumat), ja siksi sulfaatti onkin yksi voimakkaimmista maaperän happamoittajista. Ihmisperäisen happamoitumisen indikaattoriyhdisteenä luonnonvesissä voidaan käyttää laskeumaperäistä sulfaattia. Ihmistoiminta on karkeasti arvioiden kaksinkertaistanut rikin kierron maapallon pinnalla ja lisännyt happamoitumista esim. kaivosympäristöissä sekä vähentänyt metsien kasvua ja merten tuottavuutta (Schlesinger 1997). On arvioitu, että luontainen SO_2 -laskeuma olisi 20 milj. tonnia vuodessa ja ihmisen aiheuttama noin 150 milj. tonnia vuodessa (Reimann ym. 1998). Suomen ympäristökeskuksen havaintoasemilla mitaama rikkilaskeuma (pääosin märkälasseumaa) on noin 2–4 kg/ha. Rikkilaskeuma on kuitenkin vähentynyt puolella 1980-luvun määristä. Suomen 2000-luvun alun rikkilaskeumasta 83 % oli peräisin ulkomailta sijaitsevista päästölähteistä, lähinnä Venäjältä ja Baltian maista (Parviainen ym. 2007).

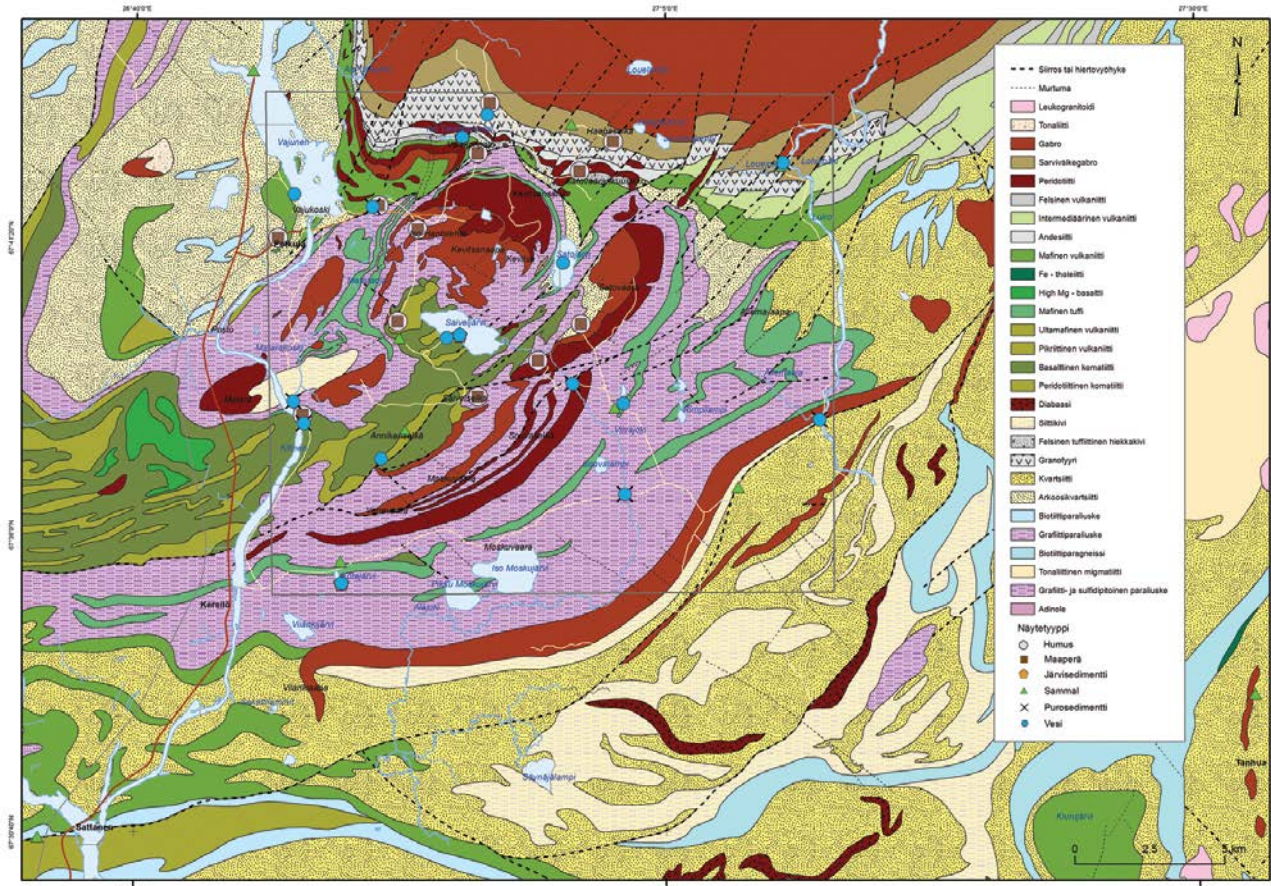
5 TUTKIMUSALUEEN KALLIOPERÄN JA MAAPERÄN YLEISPIIRTEET

Kevitsan kaivosalueen ympäristössä on tehty monia maaperä-, kallioperä- ja hydrogeologisia tutkimuksia. Ne ovat painottuneet sekä malminetsinnän että ympäristögeotekniikan tarpeisiin (Peuranen & Hietala 2007). Tässä raportissa on hyödynnetty GTK:n ja Lapin Vesitutkimus Oy:n (LVT) tutkimusaineistoja maaperästä on hyödynnetty tässä raportissa. GTK:n aineistot ovat 1990-luvulla tehtyyn maaperäkartoitukseen liittyviä maaperähavaintoja, kairaus- ja koekuoppatietoja sekä vuonna 2013 kuoppänäytteenä otettuja geokemiallisia aineistoja. GTK on julkaissut alueelta myös 1:50000 maaperäkartan (Manninen ym. 1996). LVT:n aineistot sisältävät tutkimustietoa koekuopista (rakeisuusanalyysit ja vedenläpäisevyysmittaukset) ja turvekerrostumien paksuudesta sekä Scandinavian Gold Ltd:n toimeksiannosta tehtyjä maaperä- ja pohjavesiselvityksiä. Ne on suunniteltu LVT:n laatiman Kevitsan kaivoshankkeen YVA-ohjelman pohjalta, ja niiden tarkoitus on ollut selvittää alueen maaperän soveltuvuus kaivosalueen eri toimintojen sijoitusvaihtoehdoille ja luoda perustietoa mahdollisten päästöjen leviämisen arviointia varten. Maastotutkimuksilla on selvitetty maaperän kerrosjärjestystä, maalajikoostumusta ja maaperän vedenläpäisevyyttä (Häyrynen & Hietala 2005, Peuranen & Hietala 2007).

5.1 Kallioperä

Tutkimusalueen kallioperä koostuu pääasiassa eri-ikäisistä vulkaanis-sedimenttisistä liuskejaksoista, kvartsiiteista sekä mafisista-ultramafisista intrusioista. Alueen vanhimmat liuskejaksot edustavat Sallan (2.44 Ga) ja Kuusamon ryhmiä (DigiKp200, Räsänen & Huhma 2001). Ne koostuvat pääosin happamista,

intermediäärisistä ja mafisista vulkaniiteista, jotka reunustavat kapeina vyöhykkeinä Koitelaisen kerrosintruusiota, tutkimusalueen pohjoisosassa (Kuva 2).



Kuva 2. Tutkimusalueen kallioperä ja tutkimuskohteet näytetyypeittäin. Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 2014 aineistoa.

Pääosa tutkimusalueen vulkaanis-sedimenttisistä jaksoista kuuluvat Sodankylä-ryhmään (2.2 Ga) ja sitä nuorempaan Savukoski-ryhmään (2.05 Ga) (Hanski ym. 2001, Räsänen & Huhma 2001). Sodankylän ryhmään kuuluvia orto-, arkoosi- ja serisiittikvartsiitteja, serisiitti- ja kiilleliuskeita (Lehtonen ym. 1998) esiintyy tutkimusalueen itä- ja eteläosissa, sekä alueen luoteisosassa. Tutkimusalueen keskiosan vulkaanis-sedimenttiset kivilajit kuuluvat lähes yksinomaan Savukoski-ryhmään, joka jaetaan kahteen tyyppimuodostumaan: Matarakosken muodostumaan ja Sattasvaaran muodostumaan. Matarakosken muodostuman kivet ovat pääasiassa fylliittejä ja mustaliuskeita, joissa esiintyy paikoin välikerroksina mafisia tuffeja/tuffiitteja, grauvakoita, sekä satunnaisesti myös dolomiitteja. Sattasvaaran muodostuma koostuu komatiittisista vulkaniiteista sekä komatiittisista basalteista.

Tutkimusalueella esiintyy useita mafisia-ultramafisia intruusioita. Alueen pohjoisosaa hallitsee laaja 2.44 Ga ikäinen (Mutanen & Huhma 2001) Koitelaisen kerrosintruusio, joka koostuu lähinnä gabrosta, magnetiittigabrosta ja intruusiota reunustavasta granofyyristä (Mutanen 1997). Tutkimusalueen keskellä sijaitsee 2.05 Ga ikäinen Kevitsa-Satovaara intruusiokompleksi, joka koostuu ultramafisista, peridotitiittisista kumulaattikivistä sekä gabroista. Kevitsa-Satovaara-kompleksin eteläpuolella, Moskuvaaran alueella esiintyy useita 6–10 km pitkiä, muutamasta kymmenestä metrillä kuuteensataan metriin paksuja kerrosjuonia, joista osa on koostumukseltaan gabroidisia ja osa peridotitiittisia. Nämä kerrosjuonet, samoin kuin Koitelaisen ja Kevitsa intruusion välillä sijaitsevat kerrosjuonet rinnastetaan

Kevitsa-Satovaara kompleksiin. Tutkimusalueen kaakkoisosassa sijaitsee Rantavaaran 2.15 Ga ikäinen, yli 20 km pitkä juonimainen gabrointruusio (Räsänen & Huhma 2001).

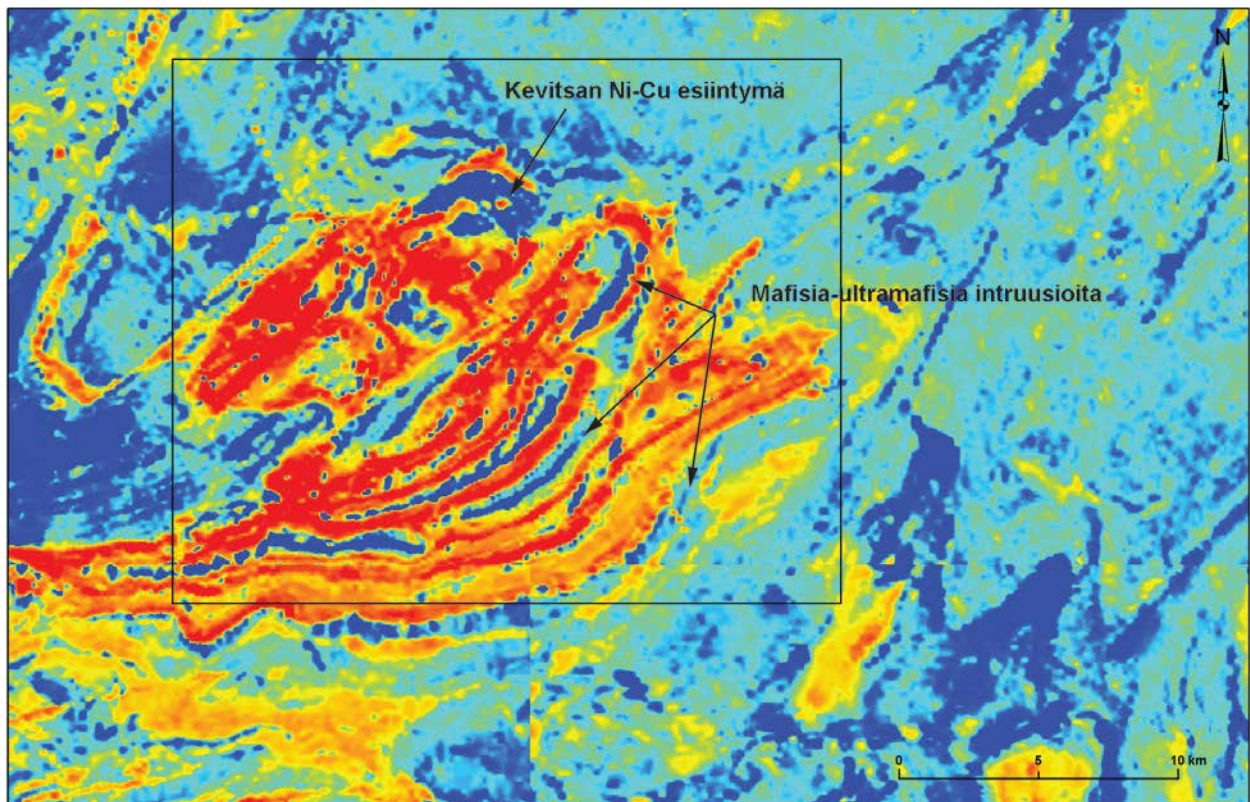
5.1.1 Malmigeologia

Tutkimusalueen kallioperän potentiaaliset rikkilähteet voidaan karkeasti jakaa kahteen pääryhmään: 1. Sulfidimineralisaatiot, jotka liittyvät mafisiin-ultramafisiin intruusioihin ja 2. Rikki- ja hiilipitoiset Matarakosken muodostuman mustaliuskeet ja fylliitit.

Alueen merkittävien intruusioihin liittyvä sulfidiesiintymä on Kevitsan Ni-Cu-PGE esiintymä, Kevitsan kerrosintruusiossa. Sulfidiesiintymä ulottuu kallion pintaosiin intruusion ultramafisen osan keskellä, noin 300 x 400 metrin alueella. Mineralisaatio on tyypiltään pirotteinen ja sen rikkipitoisuus on keskimäärin 1–3 %. Pääsulfidimineraalit ovat magneettikiisu (FeS), kuparikiisu ((Cu,Fe)S₂) ja pentlandiitti ((Ni,Fe)₉S₈). Ni-Cu-PGE mineralisaation lisäksi Kevitsan intruusion alueella esiintyy useita pienempiä pintapuhkeamia nk. ”false-ore” tyyppiä. Näiden yhteenlaskettu pinta-ala vastaa laajuudeltaan päämineralisaatiota. False-ore tyyppin rikkipitoisuus on selvästi Ni-Cu-PGE mineralisaatiota korkeampi, 8–30 % (Mutanen 1997). False-ore koostuu pääasiassa magneettikiisusta, sekä pienistä määristä kuparikiisua ja pentlandiittia. Myös Kevitsan itäpuoleisessa Satovaaran intruusiossa esiintyy heikko, pirotteinen sulfidimineralisaatio, jossa paikoin voi esiintyä 1–1,5 prosentin rikkipitoisuuksia (Korvuo 1998). Kairaustietojen perusteella mineralisaatio voisi ulottua kallionpintaan intruusion gabroidisessa osassa, mutta sen laajuudesta ei ole tarkempaa tietoa.

Alueen muiden intruusioiden yhteydessä, lähinnä niiden alakontaktien läheisyydessä esiintyy satunnaisesti sulfideja. Kairausten yhteydessä on tavattu lyhyitä, 0,5–1,5 metrin lävistyksiä, joissa rikkipitoisuudet voivat olla 1–3 %. Kevitsan intruusion länsipuolella, muun muassa Puittelilammen alueella esiintyy paikoin albiitti-karbonaattikiviä ja -breksioita, joihin liittyy usein kohonneita rikkipitoisuuksia. Useimmiten pitoisuudet ovat 0,5 % luokkaa, mutta paikoitellen rikkipitoisuudet voivat olla useita prosentteja, maksimissaan 8,34 % yhden metrin matkalla. Kairausten perusteella sulfidimineralisoituma ulottuu kallion pintaan.

Toisen alueella esiintyvän merkittävän rikkilähteen muodostavat Matarakosken muodostuman fylliitit ja erityisesti niiden yhteydessä esiintyvät mustaliuskeet. Sekä fylliiteissä että mustaliuskeissa esiintyy yleisesti rikkiä; tyypilliset pitoisuudet ovat luokkaa 0,5–3 %. Sulfidirikkaissa raidoissa ja kerroksissa pitoisuudet voivat olla huomattavasti korkeampiakin. Kivissä esiintyvät sulfidimineraalit ovat lähinnä rikki- (FeS₂) ja magneettikiisua. Kivien sulfidipitoisuus heijastuu myös Matarakosken muodostuman sähköisiin ominaisuuksiin ja ne erottuvat ympäristöään johtavampana yksikkönä myös aerogeofysiikan reaalikomponenttikartalla (Kuva 3).



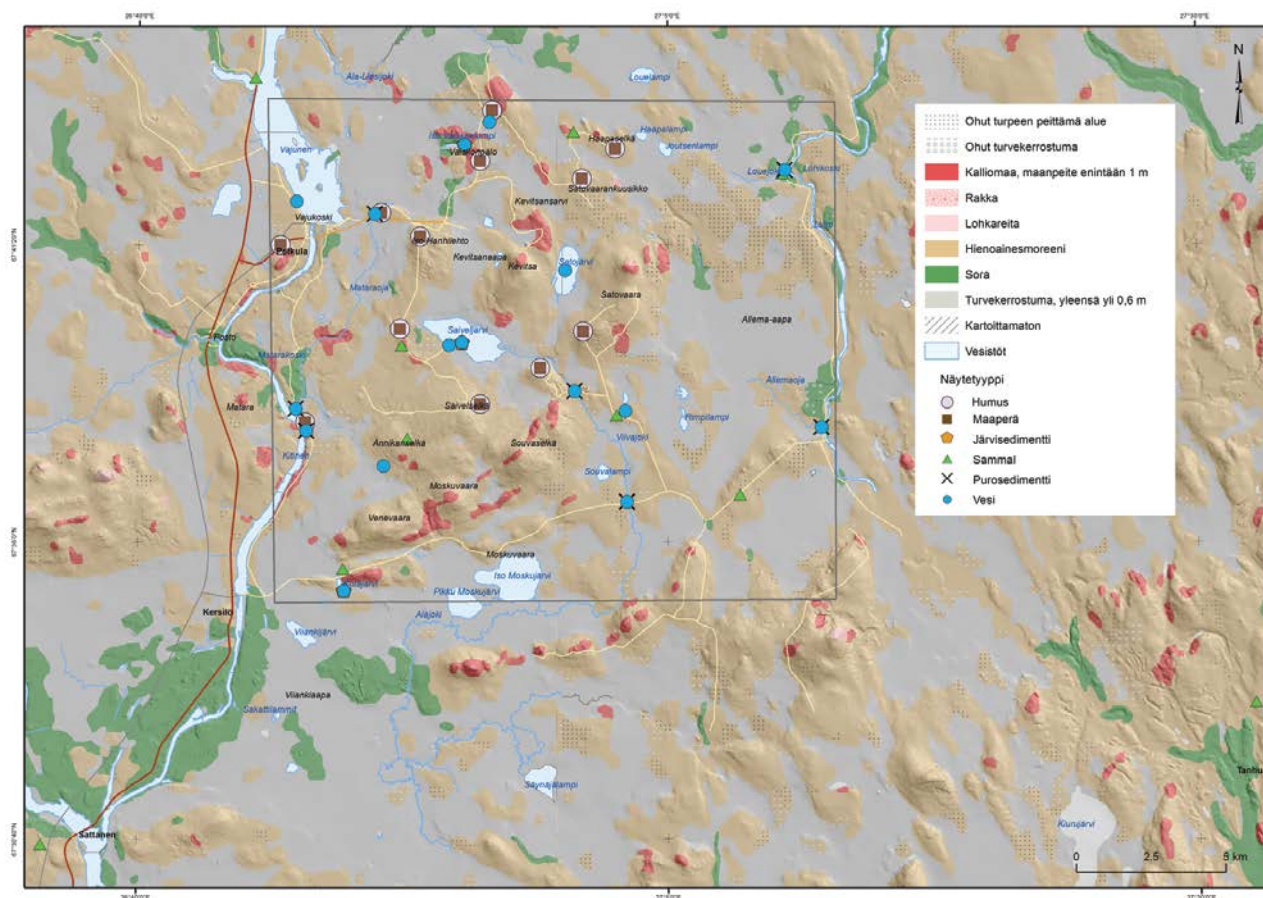
Kuva 3. Aerogeofysiikan reaalikomponenttikartta tutkimusalueelta

5.2 Maaperä

Kevitsan alue sijoittuu Keski-Lapissa olleeseen viimeisen jääkauden jäänjakajavyöhykkeeseen (Johansson ym. 2011). Alue on Keski-Lapille tyypillistä loivaa suo-, mäki- ja vaaramaisemaa, jonka kasvillisuutta luonnehtivat valtatyyppinä sekametsät. Mäkien ja vaarojen välisillä alueilla on monimuotoisia soita. Kallioalueet sijaitsevat osaksi laaksoissa ja uomamaisissa painanteissa, missä jäätiköltä virranneet sulamisvedet sekä myöhemmin Kitisen ja Luiron jokieroosio ovat kuluttaneet irtaimet maalajit pois paljastaen kallion (Manninen ym. 1996).

5.2.1 Topografia, maanpeitteen paksuus, rakenne ja koostumus

Korkeuserot Kevitsan alueella ovat enimmäkseen muutamia kymmeniä metrejä, mutta maksimissaan lähes 100 m. Kevitsansarvi ja sen ympäristö ovat n. 220–240 m mpy, Kevitsanvaaran laki n. 310 m mpy ja sen itäpuolella sijaitsevat Satovaarankuusikon ja Satovaaran alueet noin 220–280 m mpy. Alueen korkein kohta, Satovaaran laki on 315 m mpy. Kevitsan ja Satovaaran välissä sijaitsee Satojärvi, jonka pinnankorkeus on 222 m mpy ja Kevitsan eteläpuolella Saiveljärvi 219 m mpy.



Kuva 4. Tutkimusalueen maaperäkartta. Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 2014 aineistoa.

Kevitsansarvi on 2,5 km pitkä ja 0,5 km leveä kaarimainen muodostuma. Geologisesti se jaetaan kahteen osaan, varsinaiseen Kevitsansarven alueeseen pohjoisosassa, missä maaperä on moreenia, sekä sieltä Kevitsanvaaraan ulottuvaan harjanteeseen (Peuranen & Hietala 2007). Kevitsansarven alueella esiintyy paikoin kivikkoa ja kalliopaljastumia, joiden pintaosat ovat rapautuneet (Manninen ym. 1996). Kevitsansarven keskiosassa maapeite on laajalla alueella ohut, alle metrin paksuisen moreenikerroksen peittämää (Kuva 4). Moreenissa ei erotu morfologisia erityispiirteitä, eikä merkittäviä lajittuneen aineksen (hiekkä, hieta, hiesu) linssejä tai kerroksia (Hirvas ym. 1994). Moreenialueiden välissä on enimmäkseen turvetta (Häyrynen & Hietala 2005). Kevitsansarven kallioisen alueen reunoilla moreenin paksuus on 1,5–3 metriä. Kallioharjanteen lakiosat ovat laajalti muuttuneet pakkasrapautumisen johdosta rakaksi. Kevitsansarven länsiosassa moreenikerrostumat ovat paksumpia, keskimäärin 2–4 m (Kuva 5, Peuranen & Hietala 2007).

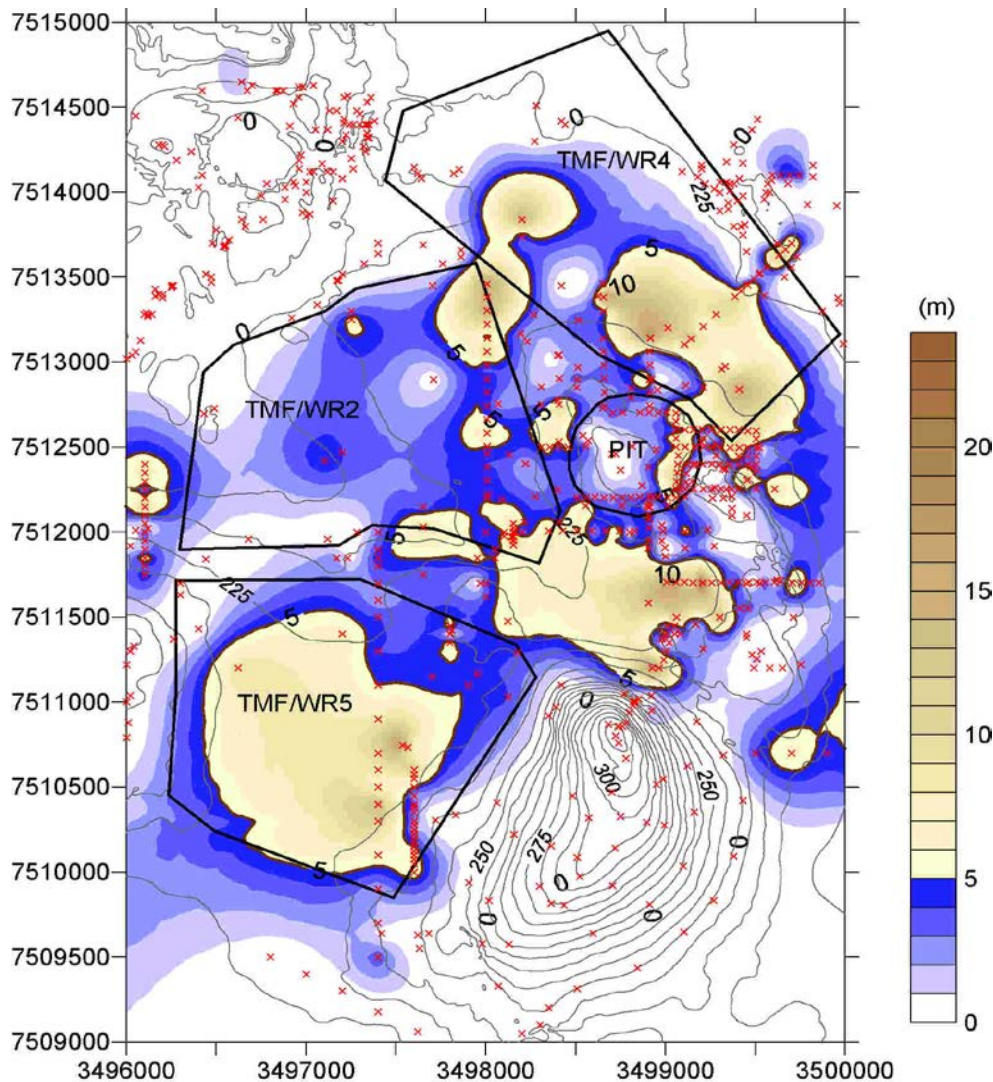
LVT:n tutkimusten mukaan Kevitsansarven maaperä on pääosin vettä huonosti läpäisevää hienoainesmoreenia. Tutkituista maaperänäytteistä 72 % on siltistä hiekkamoreenia (hienoainesmoreenia). Osa näytteistä on hiekkamoreenia ja soraista hiekkamoreenia. Maaperänäytteiden vedenläpäisevyydet olivat $1,5\text{--}9,5 \times 10^{-9}$ m/s. Vedenläpäisevyyden keskiarvo oli $4,8 \times 10^{-9}$ m/s (Häyrynen & Hietala 2005).

Kevitsansarven pohjoisosassa moreenipeitteen paksuus on 1,9–4,6 metriä (Kuva 5). Paksumman moreenipeitteen alueilla erotetaan kaksi eri-ikäistä ja ominaisuuksiltaan toisistaan selvästi eroavaa pohjamoreenikerrostumaa. Alempi eli vanhempi moreeni on harmaata, tiivistä ja runsaskivistä ainesta, jonka paksuus vaihtelee 0,6 metrissä yli 3,2 metriin. Ylempi, pintaan ulottuva nuorempi moreeni on

ruskeanharmaata, hienoainespitoisempaa ja rakenteeltaan löyhempää. Moreenikerrostumien välinen raja on selvä ja niiden rajapinnalla on yleensä runsaskivinen kerros. Vanhemman moreenin ja rapakallion välissä on terävä eroosiokontakti (Peuranen & Hietala 2007). Kumpikin moreenikerrostuma on raekoostumukseltaan hienoainesmoreenia. Vanhemmassa moreenissa hienoaineksen (raekoko < 0,06 mm) määrä on 41 % ja saveksen (raekoko < 0,002 mm) määrä 5 %. Nuoremmissa moreenissa hienoainesta on 49 % ja savesta 7 % (Peuranen & Hietala 2007).

Moreenin kivilajilaskujen perusteella Kevitsan moreeneja kuvaavat seuraavat piirteet Hirvaksen ym. (1994) mukaan: jäätikön vanhempi virtaus on ollut kiviaineksen pääasiallinen kuljettaja. Nuorempi virtausvaihe on ollut selvästi heikompi ja on pääasiassa kerrostanut vanhempaa moreenia uudelleen. Myös nuoremman moreenin vähäinen kerrospaksuus viittaa heikkoon virtausvaiheeseen. Moreenin kivistä 57 % on kulkeutunut yli kaksi kilometriä ja 30 % yli 10 km. Tällä tiedolla on merkitystä lähinnä selvitettäessä Kevitsan malmin esiintymistä moreeneissa Kevitsan kaakkoispuolella.

Vanhemman moreenin kerrostuessa jäätikkö virtasi luoteesta, suunnasta 305°–320°. Nuoremman moreenin kerrostuessa jäätikkö virtasi länsilounaasta, suunnasta 230°–270°. Jäätikön virtaussuunnat ja moreenin kerrosjärjestys vastaavat yleistä Pohjois-Suomen ja Lapin moreenistratigrafiaa ja sen perusteella tehtyä jäätikön eri virtausvaiheiden kuvausta. Tutkimusalueen vanhempi ja nuorempi moreeni ovat yleisimmin Lapista tavattavat moreenikerrostumat (Hirvas 1991, Hirvas ym. 1994).



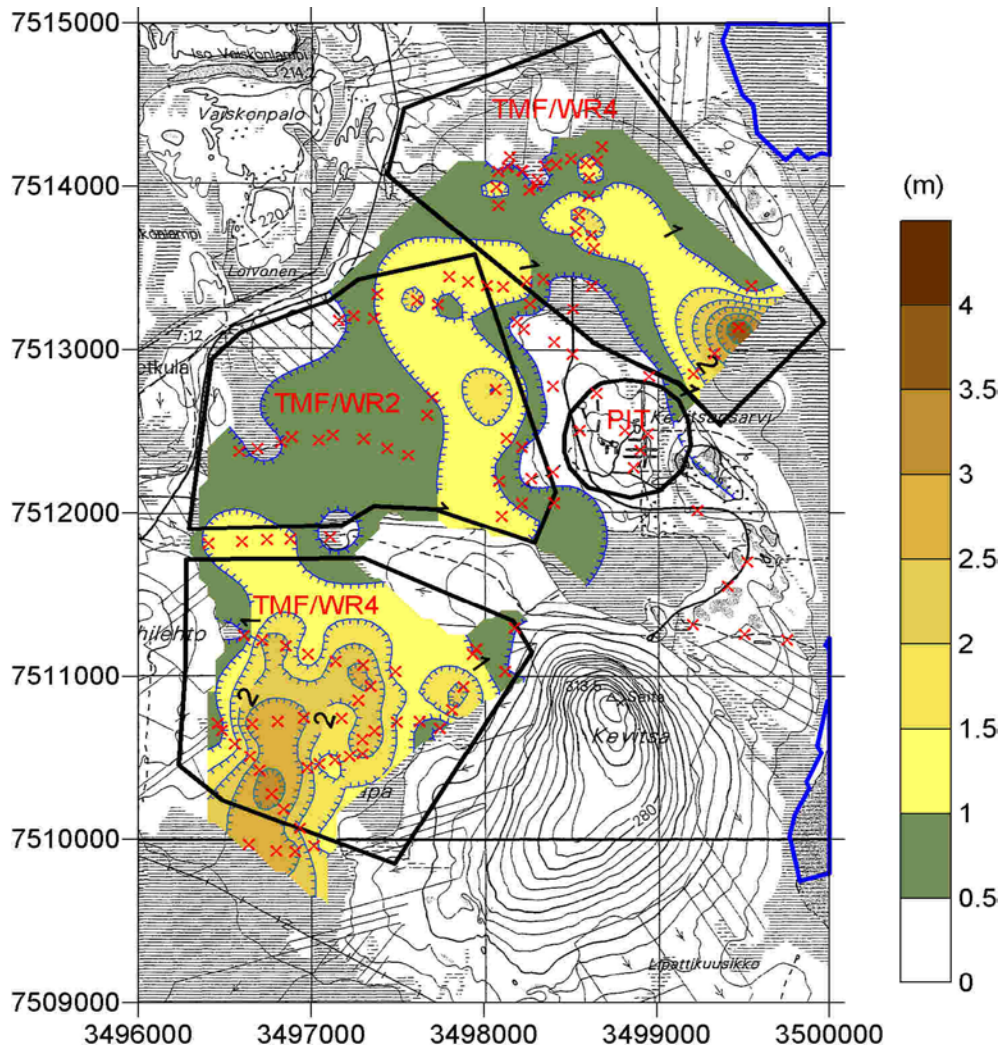
Kuva 5. Kevitsan alueen irtomaakerroksen paksuus. Havaintopisteet maapeitteen paksuudesta merkitty punaisiin rasteihin (raportista Väisänen & Lanne 2005, julkaistu tekijän luvalla). Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan ja LVT 39 koekuopan aineistoa.

5.2.2 Turvekerrostumat

Kevitsan laajoilla aapasuoalueilla esiintyy pääasiassa saraturvetta. Rahkaturvetta esiintyy yleensä vaarojen rinteillä ja kapeissa suojuoteissa, kuten Saiveljärven eteläpuolella. Kevitsansarven ympäristössä turvekerrostumien paksuus on 0,23–3,4 m (Kuva 6, Väisänen & Lanne 2005), turpeen paksuuden ollessa keskimäärin 1–1,5 m. Etelämpänä, Viiankiaavan pohjoisosassa ja Moskujärven ympäristössä on yli neljän metrin paksuisia turvekerrostumia. Kevitsasta pohjoiseen ja itään, kuten Loue-, Lautakko- ja Allema-aavan laajoilla soilla sekä luoteisosassa Sippiaavalla turvetta on yleensä 1–1,5 m, mutta niiden keskiosissa allasmaisilla alueilla turpeen paksuus on 2–3 m. Turvekerrostumien alla on paikoin ohut jääjärvisedimenttikerros ja sen alla moreenia. Loue- ja Allema-aavalla turpeen alla on myös hiekkaa (Manninen ym. 1996).

Kevitsansarven koillispuolella yhdessä koekuopassa turvepaksuus oli yli 4,2 m, tässä kohteessa turpeen alapuolista kovaa pohjaa ei saavutettu (Kuva 6). Muualla turpeen alla oli hietaa ja hiesua ja paikoin hienoainesmoreenia. Niiden alapuolella oli karkeampirakeista moreenia. Kevitsansarven länsipuolella turvekerrostumien paksuus on enimmillään noin 2 m, yhdessä tutkimuspisteessä yli 2,1 m. Myös tällä

alueella turpeen alapuolella esiintyy hienoaineksista moreenia ja sen alla soramoreenia tai soraista hiekkamoreenia (Häyrynen & Hietala 2005). Turvekerrostumien paksuus on mitattu Kevitsansarven länsi- ja pohjoispuolella kaikkiaan 88 kohteessa. Kerrostumien paksuudet on esitetty kuvassa 6 (Väisänen & Lanne 2005).



Kuva 6. Kevitsan alueen turvekerrostumien paksuus. Havaintopisteet merkitty punaisin rastein (raportista Väisänen & Lanne 2005, julkaistu tekijän luvalla). Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan aineistoa.

5.3 Natura-alueet

GTK on tutkinut Kevitsan ympäristön maaperää myös Koitelaisen Natura-alueeseen kuuluvalla Huutamoaavalla, kaivosalueesta koilliseen sekä Satojärven pohjoispuolella. Koitelaisen Natura-alueen koko on 43 938 hehtaaria. Tutkimuksessa selvitettiin maaperän koostumusta, turvekerrostumien paksuutta ja koostumusta sekä pinta- ja pohjavesien virtaussuuntia. Tarkoituksena oli saada uutta tietoa ja entistä tarkempi käsitys vesien virtauksista ja maaperän vedenjohtavuudesta, ja sen avulla arvioida kaivostoiminnan vaikutusta soiden vesitalouteen tällä alueella (Väisänen ym. 2008).

Turvetutkimuksia tehtiin kairaamalla sekä vaaittamalla vuonna 2006. Tutkimuspisteissä kairattiin turvekerrostumien paksuus ja tehtiin maastohavaintoja. Huomiota kiinnitettiin turpeen maatumaisuuteen, erityisesti pohjaturpeen maatumisasteeseen ja sen kerrospaksuuteen. Luokittelussa käytettiin arvoja:

hyvin maatonut (H7-8), kohtalaisesti maatonut (H5-6) ja heikosti maatonut (H4). Huutamoavaan eteläosassa tutkittiin maaperää 18 pisteessä ja Satojärven pohjoispuolella 47 tutkimuspisteessä (Väisänen & Muurinen 2006).

Suotyypit ovat rimpinevaa ja rimpilettoa. Paksuin turvekerrostuma on 2,1 m. Pohjaturve on yleensä hyvin maatonut (H7-8), havainnoista 73 % on tätä luokkaa. Pohjaturpeen paksuus on 20–40 cm, paikoin on myös 60–80 cm:n paksuisia turvekerrostumia. Kohtalaisesti maatonut (H5-6) havaintoja on 20 %. Vain yhdessä pisteessä on 50 cm heikosti maatonut (H4) pohjaturvetta. Pohjamaa on tutkituissa pisteissä suurimmaksi osaksi moreenia (72 % havainnoista), hiesu- ja hietamoreenia. Havainnoista noin puolet on rakenteeltaan hyvin tiivistä pohjamoreenia. Muut havainnot ovat pinnaltaan hietta- ja hiekkapohjaisia, tai kairaus päättyi kiveen (Väisänen & Muurinen 2006).

Satojärven kehitykseen on vaikuttanut siellä tehty vedenpinnan lasku 1900-luvun alkupuolella. Satojärven lähialueilla, ennen järven pinnan laskemista vanhan rannan paikkeilla, on turvetta vain 30 cm, sen alla on liejua paksuimmillaan 220 cm. Pohjaturpeet ovat yleensä rahkavaltaisia. Havaintopisteissä Satojärven pohjoispuolella hyvin maatonut (H7-8) pohjaturpeen paksuus on 20–60 cm (68 % havainnoista). Kohtalaisesti maatonut (H5-6) pohjaturpeen paksuus on 20–50 cm (27 % havainnoista). Vain yhdellä pisteellä turve on heikosti maatonut (H4). Sen turvepaksuus on 40 cm.

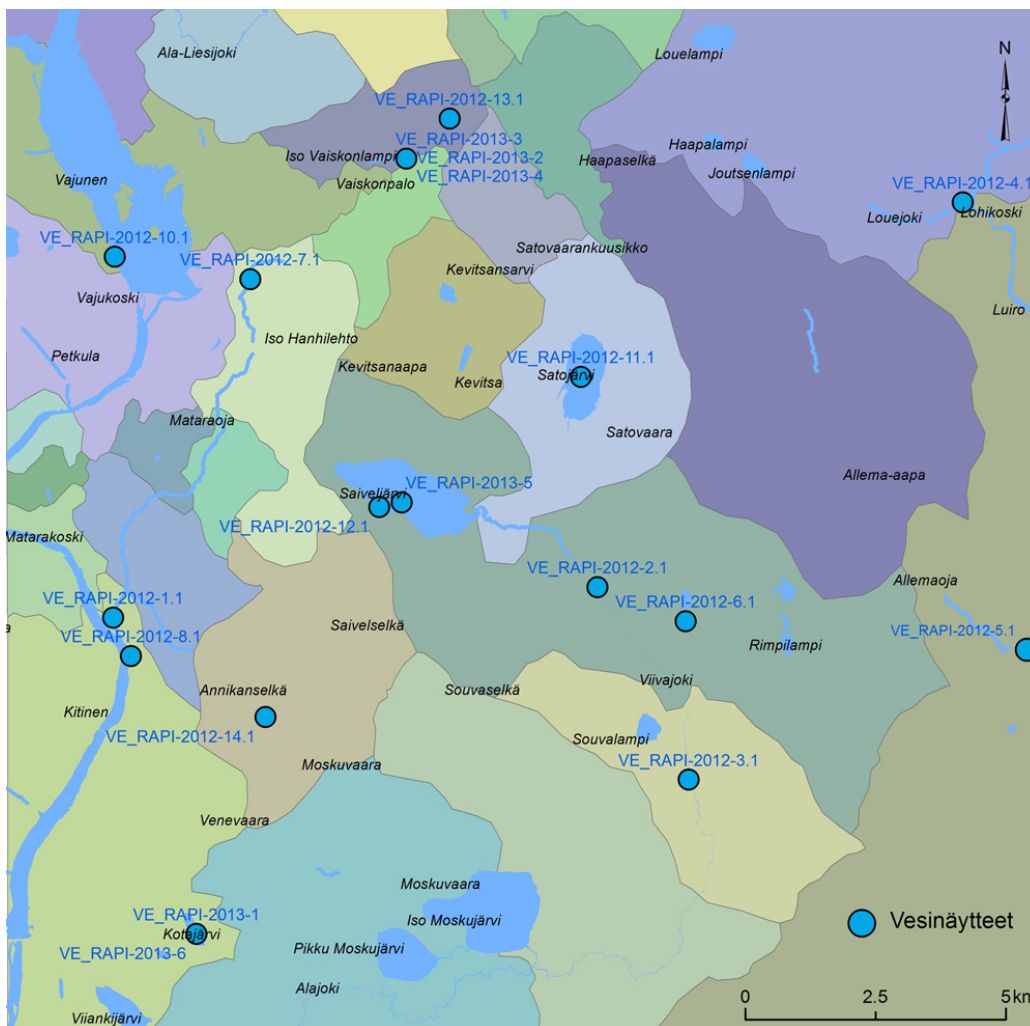
Tällä alueella turvekerrostumien alla on suurimmaksi osaksi moreenia (60 % havainnoista), mistä yli puolet on vettä huonosti läpäisevää, tiivistä hienoainesmoreenia. Lähempänä Satojärveä, ilmeisesti vanhan järven pohjalle, on kerrostunut hiekkaa (21 % havainnoista), jota on paikoitellen yli 40 cm:n paksuudelta. Muissa kairauspisteissä pohjamaa on hietaa tai moreenia (Väisänen & Muurinen 2006).

Turpeen vedenläpäisevyys (K) vaihtelee suuresti, riippuen turvelajista ja maatonuudesta. Helposti vettä läpäiseviä ovat heikosti maatonut rahkaturpeet. Pitkälle maatonuudessa rahkaturpeessa vedenläpäisevyys on lähes olematonta, $K = \text{noin } 1\text{--}2 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ (Päivänen 1982, Korpijaakko 2000). Soiden pohjaturpeet ovat yleensä hyvin maatonut. Rimpisten soiden keskiosat ovat kaltevuudeltaan loivia, joten reunoilta keskiosaan valuvat lumien sulamisvedet ja sadevesi viipyvät suolla pitkään.

6 HYDROLOGISET OLOSUHTEET

6.1 Valuma-alueet ja pohja- ja pintavesien virtaussuunnat

Kevitsan alue koostuu useista valuma-alueista, jotka on esitetty kuvassa 7. Valuma-alueajaukset on mallinnettu ArcGIS-ohjelmistolla topografian ja pintavesien virtaussuuntien perusteella. Maapeitteen ohuuden vuoksi topografia kuvastaa pääpiirteissään myös kallionpinnan muotoja sekä pohja- ja pintaveden virtaussuuntia. Ojitukset voivat muuttaa jonkin verran vesien virtaussuuntia. Suoalueilla, missä korkeuserot ovat hyvin pieniä, vedenjakajien tarkka määrittäminen on hankalaa. Valuma-alueet ovat tärkeitä kaivosalueen hydrogeologisia olosuhteita ja vaikutusalueita selvittäessä.



Kuva 7. Tutkimusalueen valuma-alueet ja vesinäytteiden kohteet. Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 2014 aineistoa.

Alueen pohjoisosan valuma-alueilla vesien virtaussuunta on pohjoiseen ja luoteeseen, kohti Ala-Liesijokea ja edelleen Kitiseen. Koillis- ja itäosissa vesien virtaussuunta on itään ja kaakkoon kohti Luiroa, muun muassa Louejoen ja Allemaojan kautta. Keski- ja eteläosissa vesien virtaussuunta on etelään ja kaakkoon kohti Viivajokea ja sieltä Ympärysjoen, Ylijoen ja Kelujoen kautta Kitiseen. Lounaisosassa vesien virtaussuunta on etelään, Ison Moskujärven kautta Ympärysjokeen, Ylijokeen, Kelujokeen ja edelleen Kitiseen. Osa alueen vesistä virtaa lounaaseen kohti Kitistä. Luoteisosassa vesien virtaussuunta on länteen kohti Mataraojaa ja sieltä Kitiseen.

Hienorakeisten maalajien ja paikoin ohuen maapeitteen vuoksi Kevitsan alueella muodostuvan pohjaveden määrän arvioidaan olevan suhteellisen vähäinen. Kallion päällä tavattu karkearakeisempi moreeni tai rapautunut kallio on huomattavasti paremmin vettä johtavaa kuin pintakerroksen hienoainespitoinen moreeni.

Valuma-alueiden väliset vedenjakajat ja alueiden korkeussuhteet säätelevät pinta- ja pohjavesien virtaussuuntia. Valuma-alueiden välinen raja kaivosalueen ja Satojärven välillä kulkee Kevitsansarven ja Kevitsan vaaran keskiosien kautta suunnilleen koillinen-lounas-suuntaisena. Tämän vedenjakajan itäpuolella vesien virtaussuunta on Satojärveen ja länsipuolella länteen Kitisen suuntaan. Vedenjakaja

toimii esteenä pohjavesien virtauksille sen itäpuolelle, Satojärven alueelle. Suoalueilla pohjavesien virtaussuunta noudattanee pintavesien virtaussuuntia.

Kevitsan kaivosalueen ja Satojärven välillä on geofysikaalisten tutkimusten perusteella luode-kaakko-suuntainen murrosvyöhyke (Väisänen & Lanne 2005). Jos kallioperän murrosvyöhykkeet ovat nk. avoimia ruhjeita, ne ovat yleensä vettä hyvin johtavia ja toimivat pohjavesien virtausreitteinä. Murrosvyöhykkeiden ja rakoilun avoimuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat kallioperässä olevat jännitykset. Geodeettisten havaintojen perusteella murrosalueilla vallitsee puristusvoimailmiö (Chen 1991), tässä tapauksessa luode-kaakko-suuntainen. Tämä voi aiheuttaa sen, että murrosvyöhykkeisiin liittyvät luode-kaakko-suuntaiset raot ovat avoimia, eli murrosvyöhykkeet olisivat teoriassa vettä hyvin johtavia (Väisänen & Lanne 2005).

Jos siirrokset ovat yhteydessä louhosalueelle, niiden aiheuttama hydraulinen gradientti aiheuttaa veden virtaamisen louhokseen päin. Tässä tapauksessa haitta-aineiden leviäminen ulospäin louhosalueelta on epätodennäköistä. Mikäli alueella on avoimia murrosvyöhykkeitä, niitä pitkin tapahtuva kalliopohjavesien virtaus louhokseen tai maanalaiseen kaivokseen voi aiheuttaa pohjavedenpinnan alenemista lähialueilla. Mikäli murrosvyöhykkeet eivät ole avoimia, kalliopohjaveden virtaukset ovat vähäisiä ja vaikutukset ympäristön hydrogeologiaan olosuhteisiin vähäiset (Väisänen & Lanne 2005).

Kevitsan kaivoksen lounaispuolella olevaa serpentiniittiä pidetään louhinnan kannalta erittäin ongelmallisena. Mikäli kivilaji on rikkonaista, se murtuu rasituksen vaikutuksesta melko herkästi. Tällöin sen vedenjohtavuus voi vaihdella ja olla myös suuri. Intruusion ympäristössä olevista kivilajeista metasedimentit, kuten liuskeet ja kvartsiitit, ovat Lapissa usein pintaosistaan erittäin rikkonaisia. Kalliopohjavesi pääsee virtaamaan tällaisissa olosuhteissa melko helposti (Mutanen 2005).

Kallioperässä, missä ei ole ruhjevyöhykkeitä, rakosysteemeissä olevan veden määräksi on arvioitu 0,1–0,5 % kokonaistilavuudesta. Kallioperässä raot ovat avonaisia lähinnä 100 metrin syvyyteen, mistä alaspäin tilavuus pienenee nopeasti. Tällöin kallioperän raot ovat suuren paineen takia yhteen puristuneita ja kalliopohjaveden virtaukset hyvin vähäisiä. Ruhjevyöhykkeissä esiintyy avoimia rakoja syvemmilläkin (Mälkki 1986).

6.2 Pohjavesi

Veden kemialliseen laatuun pohjavesissä, kuten pintavesissäkin, vaikuttaa alueen kallioperä. Myös maan pinnan rapautuneella ja humuspitoisella maannoksella on tärkeä merkitys pohjaveden muodostumisessa, sen laadun kehityksessä ja pohjavettä suojaavana vyöhykkeenä. Osa alkuaineista on peräisin useimmiten kallio- tai maaperästä (esim. fluori ja arseeni), osa hienojakoisiin rannikkosedimentteihin sitoutuneista vanhan meriveden suoloista (esim. boori) ja osa pääosin ihmisen toiminnasta (esim. nitraatti ja seleeni). Myös putkistoista liukenee metalleja veteen (esim. sinkki ja kupari). Mitä enemmän maa-aineksessa on hienoaainesta ja mitä kauemmin pohjavesi maa- ja kallioperässä viipyy, sitä tehokkaampi on veden ja mineraalien välinen geokemiallinen vuorovaikutus ja sitä enemmän liuenneita aineita joutuu pohjaveteen (Lahermo ym. 2002).

Kevitsan alueen pohja- ja pintavedet ovat luontaisesti joko lähes neutraaleja tai lievästi happamia. Vuonna 1994 otettujen pohjavesinäytteiden (7) pH:n keskiarvo ja -mediaani olivat 6,8 ja pintavesinäytteiden (7) 7,2 (Manninen ym. 1996). Ne olivat korkeammat kuin Suomen vesissä keskimäärin Lahermo ym. (1990) mukaan. Sähkönjohtavuudet olivat pohjavesissä 4,6–16,2 mS/m ja pintavesissä 4,2–20,2 mS/m.

Yleisesti vesien kemialla luonnehtii pienet pää- ja hivenalkuainepitoisuudet. Vuoden 1994 tehdyn tutkimuksen näytteistä vain muutamassa pohjavesinäytteessä oli suuria alumiini-, rauta- ja mangaanipitoisuuksia, jotka ylittivät talousvedelle asetetut raja-arvot. Maksimipitoisuudet olivat Al 521 µg/l, Fe 0,99 mg/l ja Mn 165 µg/l. Alumiinin raja-arvo on 200 µg/l, raudan 200 µg/l tai 400 µg/l

(vesilaitokset tai yksityiskaivot) ja mangaanin 50 µg/l tai 100 µg/l (vesilaitokset tai yksityiskaivot) (STM 442/2014, STM 401/2001). Pohjavesinäytteet on otettu Kevitsan kaivosalueen itä-, länsi- ja eteläpuolelle vuonna 1994 asennetuista pohjaveden havaintoputkista. Ne sijaitsevat 0,5–4 km:n etäisyydellä Kevitsansarvesta. Raudan ja alumiinin maksimipitoisuudet olivat Kevitsanvaarasta 1,5 km länteen sijaitsevassa havaintoputkessa ja suurin mangaanipitoisuus Kevitsansarvesta 0,5 km länteen. Poikkeavat pitoisuudet kuvastavat soistuneilla alueilla happaman maaperän vaikutusta vesien laatuun, esim. alumiinipitoisuuksissa (Manninen ym. 1996).

7 TUTKIMUSMENETELMÄT JA NÄYTTEENOTTO

7.1 Maaperä ja humus

Yleensä kaivostoiminnan maaperää pilaavaa kuormitusta syntyy lähinnä sivukivien ja rikastushiekan varastointialueilla sekä pölyämisen kautta mahdollisesti myös laajemmilla alueilla vallitsevan tuulen suuntaisesti. Sivukivikasoista ja rikastushiekka-altaasta maaperään suotautuvat alkuaineet ja yhdisteet voivat muuttaa maaperän kemiallista koostumusta ja aiheuttaa maaperän pilaantumista.

Hankkeessa tehty maaperätutkimus kohdentuu selvittämään geologisten tekijöiden ja Kevitsan kaivostoiminnan pölypäästöjen vaikutusta metsämaannoksen eli maaperän pintaosan kemiaan. Näytteenottopaikat pyrittiin sijoittamaan tämän hetkisen toiminta-alueen läheisyyteen ja alueille, joissa maaperä on moreenia. Lisäksi muutamia pisteitä sijoitettiin kauemmas kaivosalueesta, jotta normaalit taustapitoisuudet saatiin määritettyä. Vuosina 1994–1995 otetut maaperänäytteet huomioitiin suunnittelussa ja uudet pisteet pyrittiin sijoittamaan niiden läheisyyteen niissä tapauksissa, joissa vanha näytekin oli moreenia. Näytepisteitä suunniteltiin yhteensä 11 kappaletta, joista yhdestä kohteesta otettiin joka syvyydeltä rinnakkaisnäytteet.

Maaperä- ja humusnäytteenotto suoritettiin elokuussa 2013. Humusnäyte otettiin osittain maatuneesta osasta kärkekerroksen alta (Kuva 8). Joissain kohteissa humusta oli hyvin ohuesti tai se oli huonosti maatunut; tällöin näyte kerättiin noin 10x10 m alueelta kokoomänäytteenä edustavuuden parantamiseksi. Maaperän pintaosan ja moreeninäytteet otettiin kaivamalla lapiolla noin 50 cm syvä kuoppa. Jokaisesta kuopasta otettiin kaksi näytettä: toinen noin 30 cm syvyydeltä rikastumiskerroksesta (erotettiin silmämääräisesti värin perusteella) ja toinen sen alapuolelta noin 50 cm syvyydeltä. Alin näytekерros oli useimmiten rikastumiskerroksen ja pohjamaan vaihtumisvyöhykettä tai muutamassa kohteessa pohjamaata (Kuva 8).



Kuva 8. Moreeninäytteenoton tutkimuskuoppa (piste GK_RAPI-2013-14), josta erottuvat pintaosasta karike- ja humuskerros, ja niiden alapuolelta tuhkan harmaa huuhtoutumiskerros (A) sekä ruskea rikastumiskerros (B). Kuopan pohjalta erottuu myös vaalean ruskea BC-kerros (Valokuva Raija Pietilä).

7.2 Pinta- ja pohjavedet

Kaivostoiminnalla saattaa olla merkittäviä vaikutuksia vesistöihin. Kuormitus muodostuu kaivoksen kuivanapitovesistä, rikastamon jätevesistä, rakennetun alueen hulevesistä, sekä sivukivialueiden ja rikastushiekka-altaan valumavesistä. Kaivostoiminnan päästöt sisältävät tyypillisesti kiintoainetta, rikastuskemikaalijäämiä (maa-alkali- ja alkalimetalleja, sulfaattia), tyyppä (räjähdysainejääminä) sekä malmista ja sivukivistä peräisin olevia metalleja ja rikin yhdisteitä.

Tässä tutkimuksessa pinta- ja pohjavesien näytteenottokohteet sijoitettiin kaivosympäristön lähialueille ja vaikutusalueen ulkopuolelle sijaitseviin pinta- ja pohjavesikohteisiin (Kuva 7). Tutkimuskohteena olivat Vajunen, Kitinen, Mataraoja, Viivajoki ja Luirojoki. Järvivesinäytteet otettiin Saiveljärvestä, Iso-Vaiskonlammesta ja Kotajärvestä. Lisäksi pohjavesinäytteet otettiin kahdesta lähteestä. Taulukosta selviää vesinäytteiden tunnuksat, koordinaatit ja näytteenottosyvyydet järvivesien osalta (Taulukko 1).

Pinta- ja pohjavesinäytteenotto suoritettiin elokuussa 2012, jolloin vesinäytteitä otettiin 14 kappaletta (yksi näyte oli rinnakkaisnäyte). Järvivesinäytteet otettiin järvisedimenttinäytteenoton yhteydessä huhtikuussa 2013. Tällöin näytteitä otettiin kolmesta pisteestä, yhteensä 6 kappaletta. Kaikista näytteistä mitattiin maastossa lämpötila, pH, Eh, EC ja liuennut happi (Kuva 9). Järvinäytteenoton yhteydessä nämä mittaukset tehtiin useilta eri syvyyksiltä. Vesinäytteitä otettiin valittujen analyysimenetelmien mukaisesti tarvittava määrä ja ne esikäsiteltiin menetelmien vaatimien kriteerien mukaan jo maastossa (kestävyinti, suodatus).

Taulukko 1. Vesinäytteiden tunnukset, koordinaatit ja näytteenottosyvyydet

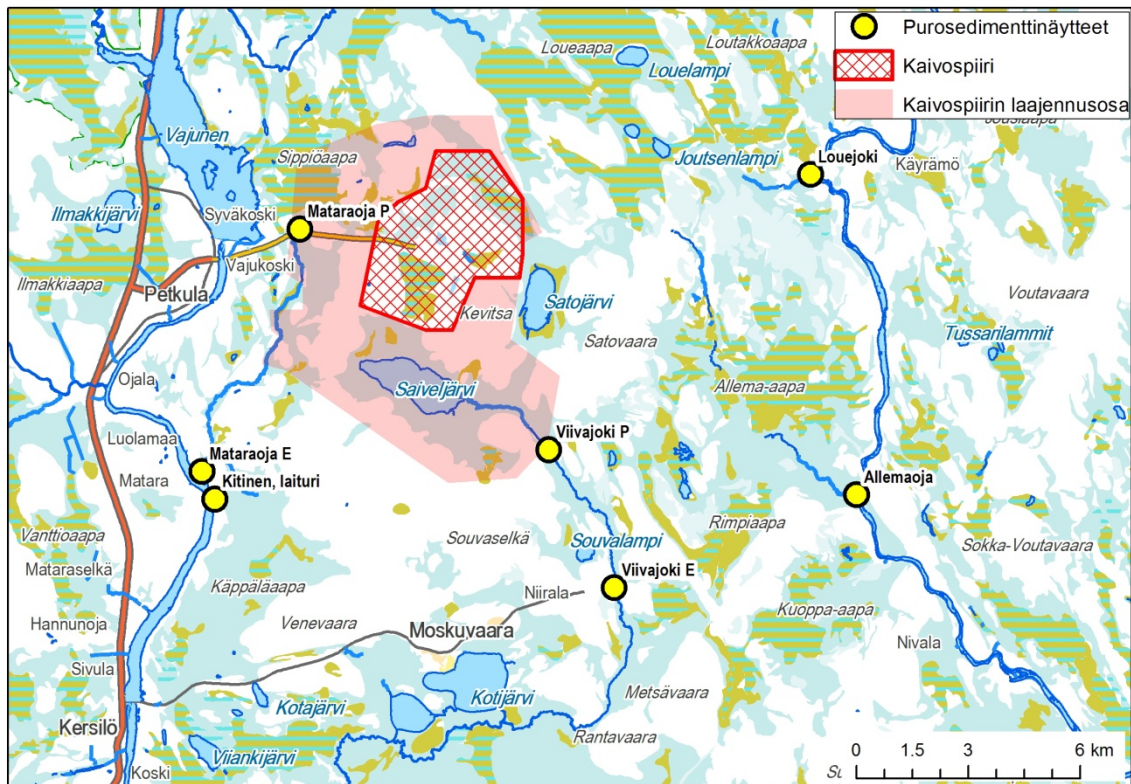
Näytetunnus	Paikka	x_euref	y_euref	Pvm	Syvyys_m
VE_RAPI-2012-1.1	Mataraoja E	491113.32	7502775.99	13.08.2012	
VE_RAPI-2012-2.1	Viivajoki P	500422.05	7503361.68	16.08.2012	
VE_RAPI-2012-3.1	Viivajoki E	502171.36	7499669.13	15.08.2012	
VE_RAPI-2012-4.1	Louejoki	507439.20	7510737.39	14.08.2012	
VE_RAPI-2012-5.1	Allemaoja	508668.44	7502157.88	16.08.2012	
VE_RAPI-2012-6.1	Ruijantien puro	502117.62	7502708.28	15.08.2012	
VE_RAPI-2012-7.1	Mataraoja P	493753.12	7509267.05	14.08.2012	
VE_RAPI-2012-8.1	Kitinen, laituri	491456.99	7502038.35	13.08.2012	
VE_RAPI-2012-9.1R	Kitinen, laituri	491456.99	7502038.35	13.08.2012	
VE_RAPI-2012-10.1	Vajunen	491145.75	7509696.78	14.08.2012	
VE_RAPI-2012-11.1	Satojärvi	500102.31	7507393.35	16.08.2012	
VE_RAPI-2012-12.1	Saiveljärvi	496227.48	7504893.88	14.08.2012	
VE_RAPI-2012-13.1	Lähde, Kevitsa P	497579.88	7512346.30	14.08.2012	
VE_RAPI-2012-14.1	Lähde, Annikanselkä E	494041.60	7500866.92	13.08.2012	
Järvivesinäytteet					
VE_RAPI-2013-1	Kotajärvi	492713.54	7496706.75	18.04.2013	3
VE_RAPI-2013-6	Kotajärvi	492713.54	7496706.75	18.04.2013	12
VE_RAPI-2013-2	Iso-Vaiskonlampi	496750.88	7511580.77	17.04.2013	3
VE_RAPI-2013-3	Iso-Vaiskonlampi	496750.88	7511580.77	17.04.2013	11
VE_RAPI-2013-4	Iso-Vaiskonlampi	496750.88	7511580.77	17.04.2013	18
VE_RAPI-2013-5	Saiveljärvi	496657.94	7504988.42	16.04.2013	1.4

**Kuva 9.** Vesinäytteenoton yhteydessä mitattiin pH, Eh, EC ja liuennut happi (Valokuva Raija Pietilä).

7.3 Orgaaninen ja mineraalinen purosedimentti

Purojen pohjan sedimenttien alkuaineiden pitoisuudet ovat pysyvämmässä muodossa kuin veden. Sedimenttien koostumusmuutokset liittyvät lähinnä eroosion ja/tai uudelleen sedimentoitumiseen. Oletuksena on, että kaivostoiminnan vesipäästöistä osa alkuaineista sitoutuu purojen ja ojien sedimentteihin ja osa muodostaa saostumasedimenttiä. Näytteitä kerättiin erikseen purojen pohjalle kertyneestä orgaanisesta ja mineraalisesta aineksesta. Tässä tavoitteena oli selvittää rikin ja muiden alkuaineiden pitoisuuksia ja arvioida sedimenttinäytemateriaalien kelpoisuus ympäristötutkimuksissa. Tutkimuskohteita oli seitsemän (Kuva10).

Purosedimenttinäytteenotto tehtiin elokuussa 2012. Orgaanisen aineksen näytteenotossa uoman pohjaa sekoitettiin siten, että pohjalle kertynyt hienojakoinen pinnan orgaaninen aines saatiin leijumaan veteen, josta se kerättiin haaviin (haavin silmäkoko Ø 0,06 mm). Jokainen näyte koottiin useasta osanäytteestä noin 20 metrin matkalta vesiuomasta (Kuva 11). Mineraalinen purosedimenttinäyte otettiin lapiolla kaivamalla uoman pohjamaasta. Mineraaliset näytteet seulottiin pesuseulalla (Ø 0,175 mm, Kuva 12) ja koottiin vähintään viidestä osanäytteestä noin 20 metrin matkalta vesiuomaa.



Kuva 10. Purosedimenttien näytekohteet. Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 2014 aineistoa.



Kuva 11. Orgaaninen purosedimenttinäyte otettiin haavilla.



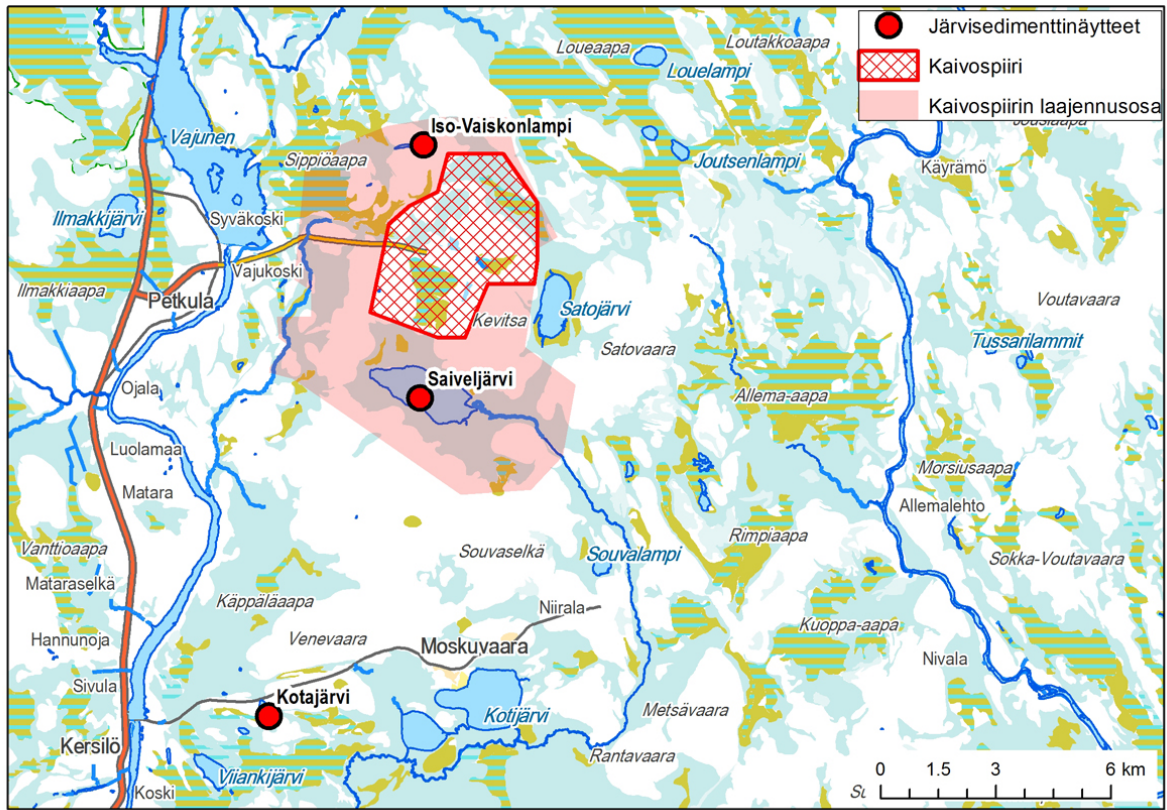
Kuva 12. Mineraalinen purosedimenttinäyte seulottiin paikan päällä pesuseulalla. (Valokuvat Ulpu Väisänen).

7.4 Järvisedimentit

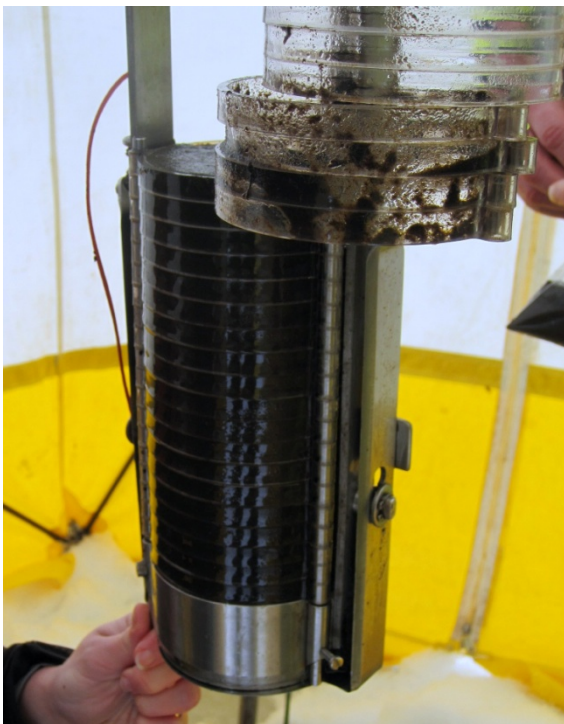
Järvisedimentit edustavat keskiarvoa kaikesta järivialtaaseen kulkeutuneesta, uudelleenkerrostuneesta tai syntyneestä aineksesta ja kuvaavat järven sedimentaation kehityshistoriaa. Kaivostoiminnasta aiheutuneet päästöt ovat pieni osa järven pohjasedimentin pintaan kerrostuneesta aineksesta. Kevitsan kaksi vuotta kestäneen kaivostoiminnan mahdolliset vaikutukset näkyisivät oletettavasti aivan sedimentin pintaosassa.

Näytteenottopaikoiksi valittiin kolme järveä kaivospiirin läheisyydestä (Kuva 13). Aikaisempia vertailunäytteitä alueen järvistä ei ole. Näytteenotto suoritettiin huhtikuussa 2013, kun järvet olivat vielä jäässä. Alun perin yhdeksi näytteenottopaikaksi oli suunniteltu Satojärveä, mutta järvi oli jäänyt pohjaan asti, joten näytettä ei pystytty ottamaan ja näytepaikka siirrettiin Kotajärveen.

Kustakin järvikohteesta otettiin kaksi näytesarjaa Limnos-tyyppisellä näytteenottimella. Alkuainemäärittelyksiin erotettiin limnosnäytteenottimesta neljän senttimetrin kerrosnäytteet kolmelta eri syvyydeltä (0–4 cm, 4–8 cm ja 8–12 cm, Kuva 14). Sedimentaationopeuden ajoituksiin näytteet erotettiin toisesta limnosotoksesta sentin välein 13 cm:n syvyydelle. Kaikista näytteistä mitattiin pH-, redox- ja sähkönjohtokykyarvot paikan päällä. Näytteet säilytettiin kylmässä mittausten jälkeen.



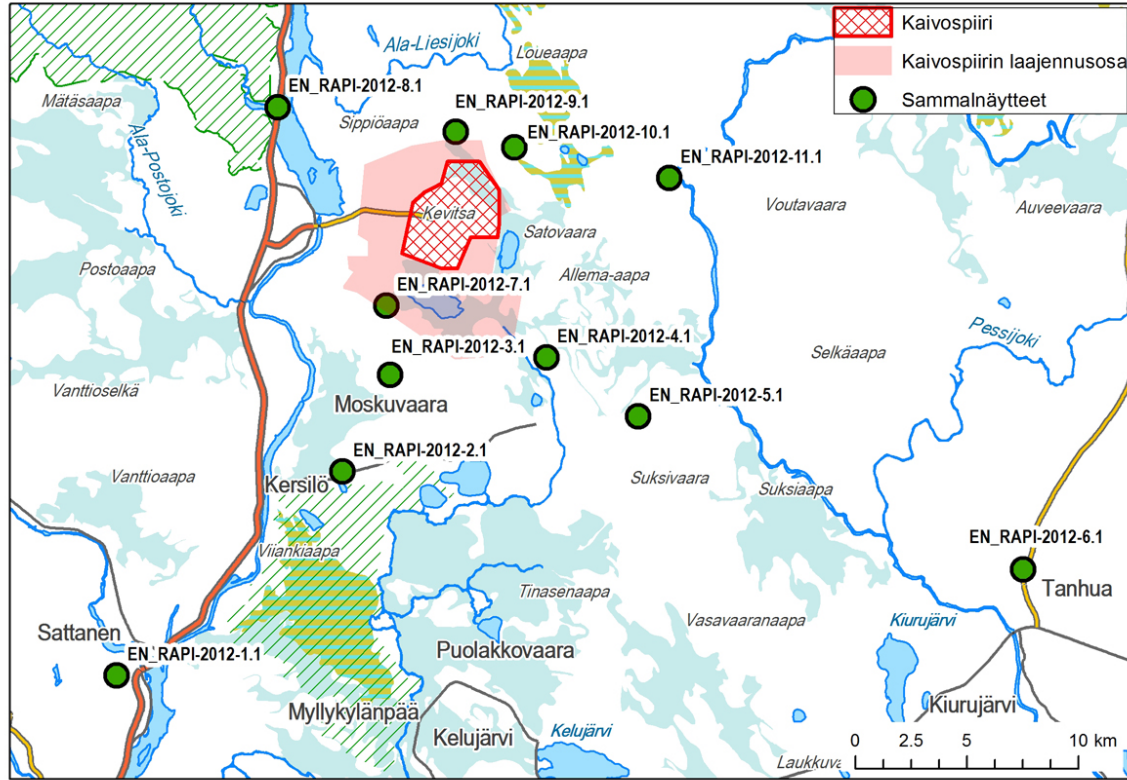
Kuva 13. Järvisedimenttien näytepaikat merkitty alueen karttaan punaisin ympyröin. Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 2014 aineistoa.



Kuva 14. Järvisedimentit siivutettiin yhden senttimetrin siivuihin ikämäärittelyä varten (Valokuva Ulpu Väisänen).

Malmin louhinta

Sammeleita käytetään yleisesti ilmakehän laskeuman määrittämiseen ja tarkkailuun, sillä sammelet





Kuva 16. Sammalnäytteenottoa tutkimusalueella (Valokuva Raija Pietilä).

8 ANALYYSIMENETELMÄT

8.1 Maaperä

Moreeninäytteistä orgaaniset humus- että mineraalimaanäytteet analysoitiin syys-lokakuussa 2013 Labtium Oy:n FINAS-akkreditoidussa laboratoriossa Kuopiossa (analyysitilausnro 47593, myöhemmin suluissa Labtium Oy:n menetelmätunnus). Ennen kemian analyysijä näytteet kuivattiin alle 40°C:ssa ja sen jälkeen seulottiin alle 2 mm fraktioon.

Ilmakuivatuista humus- ja mineraalimaanäytteistä mitattiin pH potentiometrisesti 1M KCl-uuttomenetelmällä (208I) ja 0,01M CaCl₂-uuttomenetelmällä (209I). KCl- ja CaCl₂-uutossa kiintoaines-uuttoliuossuhde oli 1:10. Humusnäytteistä mitattiin pH (222I) myös 0,01 M BaCl₂-uutteista ennen alkuainepitoisuuksien ICP-määrittäyksiä (222PM). Sekä humus-että mineraalimaanäytteistä alkuainepitoisuudet määritettiin 1 M ammoniumasetaatti pH 4,5 menetelmällä (201PM). BaCl₂-uutossa kiintoaines-uuttoliuossuhde oli 1:20 ja asetaattiuutossa 1:60 (Schultz ym. 2004, Heikkinen & Räisänen 2009). Molemmista uutteista alkuainepitoisuudet mitattiin ICP-OES- ja MS-ICP-laitteilla.

Mineraalimaanäytteistä määritettiin hehkutushäviö ja tuhkapitoisuus (LOI gravimetrisesti, 818G). Alkuaineiden happoliukoiset pitoisuudet määritettiin kuumalla kuningasvesiuuttomenetelmällä (90°C) käyttäen ICP-OES ja MS-ICP-tekniikkaa (512PM). Humusnäytteiden happoliukoiset alkuainepitoisuudet määritettiin väkevällä typpihappouuttomenetelmällä käyttäen ICP-OES- ja MS-ICP-tekniikkoja (503PM)

(Niskavaara 1995). Sulfidinen kokonaisriikki määritettiin S-analysaattorilla (menetelmä 810L) ja CHN-määritys pyrolyytisesti (820L).

Lisäksi maastossa mitattiin kuivaamattomista näytteistä kannettavalla Olympus Innov-X Delta 6000 -analysaattorilla Soil ja Mining Plus -moodeilla 33 eri alkuainetta 3*20 sekunnin mittausajoilla. Vastaavasti samat XRF-mittaukset tehtiin myös pakastettuna säilytetyille, vuonna 1994 otetuille 137 Kevitsan alueen maaperänäytteelle, joista ei ole aiemmin tehty kemiallisia määrittelyksiä.

8.2 Pinta- ja pohjavedet

Vesinäytteistä kaksi oli pohjavesinäytettä ja ne oli otettu tutkimusalueen lähteistä. Loput 12 vesinäytettä oli otettu vuonna 2012 alueen purojen, jokien ja järvien pintavesistä. Tämän lisäksi järvesinäytteitä otettiin sedimenttinäytteenoton yhteydessä jään alta eri syvyyksiltä vuonna 2013.

Vuoden 2012 14 vesinäytteestä, joista yksi oli rinnakkaisnäyte, määritettiin maastossa lämpötila, liuennut happi, pH, sähkönjohtokyky ja hapetus-pelkistyspotentiaali. Kestävöimättömistä vesinäytteistä määritettiin laboratoriossa fosfaatti (PO_4) spektrofotometrisenä (Labtium Oy:n menetelmä 143C) ja anionit Br, Cl, F, SO_4 , ja NO_3 IC-tekniikalla (143R). Alkaliteetti ja KMnO_4 -luku määritettiin titrimetrisesti (143T). Typpihapolla kestävädyistä (0,5 ml/100 ml näyte) ja suodatetuista näytteistä määritettiin 34 alkuainetta ICP-MS-tekniikalla (139M, liukoiset alkuaineet). Näytteet suodatettiin maastossa 0,45 μm :n suodattimella näytteenoton yhteydessä.

Vuoden 2013 järvesinäytteistä (6 kpl) määritettiin maastossa lämpötila, liuennut happi, pH, sähkönjohtokyky ja hapetus-pelkistyspotentiaali. Kestävöimättömistä näytteistä määritettiin laboratoriossa anionit Br, Cl, F, SO_4 , ja NO_3 IC-tekniikalla (143R), fosfaatti (PO_4) spektrofotometrisenä (menetelmä 143C), kiintoaine (0,45 μm suodatin, 143G) ja titrimetrisesti alkaliteetti ja/tai KMnO_4 -luku (143T). Fosforihapotetun suodattamattoman näytteen (1 ml/100 ml näyte) kokonaisorgaanisen (TOC) ja suodatetun näytteen liukoisen orgaanisen hiili (DOC) määrittelyn lisäksi (142L), mitattiin myös ferreraudan osuus (Fe^{2+}) spektrofotometrisesti (095C) suolahapotetusta näytteestä (4ml/100 ml näyte). ICP-OES/MS-tekniikalla (139PM) mitattiin 34 alkuaineen pitoisuudet maastossa suodatetuista ja typpihapolla kestävädyistä näytteistä. Lisäksi suodattamattomista kestävädyistä ja märkäpoltetuista vesinäytteistä mitattiin 33 alkuaineen nk. kokonaispitoisuudet (150M). ICP-määrittelysten järvesinäytteiden suodatus ja kestäväointi tehtiin samalla tavalla kuin yllä mainittujen pintavesinäytteiden.

Kaikki yllämainitut laboratoriomääritykset (Labtium Oy:n analyysitilausnumerot 113634 ja 47546) tehtiin Labtium Oy:n FINAS-akkreditoidussa laboratoriossa Espoossa.

8.3 Mineraaliset ja orgaaniset purosedimentit

Mineraaliset purosedimenttinäytteet esikäsiteltiin kuivaamalla näyte alle 40°C lämpötilassa ja seulomalla alle 2 mm fraktioon. Ilmakuivattujen sedimenttinäytteiden pH mitattiin 0,01 M CaCl_2 -uuttomenetelmällä, missä kiintoaine:uuttoliuossuhde on 1:10 (Labtium Oy:n menetelmä 209L). Mitattua pH:ta kutsutaan aktiivi-pH:ksi, koska se kuvaa uutossa liuenneiden alkuaineiden emäs- (lähinnä Ca, Mg, K, Na) ja/tai happo-ominaisuuksien (Al, Fe, Mn) vaikutusta pH-tasoon niiden hydrolysoituessa. Uutto tehtiin uuttosuhteella 3 g näytettä per 30 ml uuttoliuosta.

Sedimenttien helppoliukoisten alkuainepitoisuudet määritettiin 1M ammoniumasetaattiuuttomenetelmällä (puskuroitu pH 4,5, 201P). Kiintoaine-uuttoliuossuhde oli 1:10, mitä käytetään yleisesti määrittäessä kasveille käyttökelpoisessa muodossa olevia alkuainepitoisuuksia (kationinvaihtokykyinen).

Happoliukoisten alkuaineiden (33) pitoisuudet määritettiin kuumalla (90°C) kuningasvesiuuttomenetelmällä (512PM). Molemmista uutteista alkuaineiden pitoisuudet mitattiin ICP-OES- ja MS-ICP-laitteilla. Lisäksi määritettiin kokonaisrikkipitoisuus pyrolyytisesti rikkianalysaattorilla (810L). Hehkutushäviö määrittäminen tehtiin gravimetrisesti (550°C) ja tuhkan prosenttiosuudet on laskettu 70°C:ssa kuivattua näytettä kohti.

Orgaaniset purosedimentit esikäsiteltiin kuivaamalla näyte alle 40 °C lämpötilassa ennen näytteen hienontamista leikkaavalla myllyllä. pH mitattiin vastaavasti kuin orgaanisista sedimenttinäytteistä 0,01 M CaCl₂-uuttomenetelmällä (209L). Happoliukoisten alkuaineiden 1M ammoniumasetatti-uuttomenetelmällä (pH 4,5, 201 P) kiintoaine-uuttoliuossuhteen ollessa 1:10. Happoliukoisten alkuaineiden pitoisuudet määritettiin väkevällä typpihappouuttomenetelmällä (EPA 3051, 502PM, Niskavaara 1995). Alkuaineipitoisuudet mitattiin asetaatti- ja typpihappouutteista ICP-OES- ja MS-ICP-laitteilla. Lisäksi näytteistä määritettiin kokonaisrikkipitoisuus pyrolyytisesti rikkianalysaattorilla (810L). Hehkutushäviö määrittäminen tehtiin gravimetrisesti (550°C) ja tuhkan prosenttiosuudet on laskettu 70°C:ssa kuivattua näytettä kohti.

Kaikki yllämainitut uutot ja määrittäykset tehtiin FINAS-akkreditoidussa Labtium Oy:n laboratoriossa Kuopiossa.

8.4 Järvisedimentit

Kemian analyysiin otetut järvisedimenttinäytteet kylmäkuivattiin, jonka jälkeen ne seulottiin alle 2 mm fraktioon. Näytteiden esikäsittelyt ja alla kuvatut analyysit tehtiin Labtium Oy:n laboratoriossa Kuopiossa.

Kylmäkuivatuista järvisedimenttinäytteistä määritettiin alkuaineiden pitoisuudet fysikaalisessa adsorptiofraktiossa 0,01M BaCl₂-uuttomenetelmällä (222PM, kiintoaines-uuttoliuossuhde 1:20), kemiallisessa adsorptiofraktiossa 1M ammoniumasetatti-uuttomenetelmällä (201PM, kiintoaines-uuttoliuossuhde 1:60, Schultz ym. 2004, Heikkinen & Räisänen 2009). Happoliukoiset alkuaineet määritettiin typpihappouuttomenetelmällä (503 PM) ja alkuainepitoisuudet mitattiin uutteista ICP-OES- ja ICP-MS-laitteilla.

¹³⁷Cs-isotooppi- ja ²¹⁰Pb-määrittäykset tehtiin kylmäkuivatuista, yhden sentin paksuisista sedimenttinäytteistä (paino vaihteli 0,49-6,36 g). ¹³⁷Cs-määrittäyksen tehtiin ensin GTK:n isotooppilaboratoriossa Espoossa ja sen jälkeen näytteet lähetettiin Säteilyturvakeskuksen Pohjois-Suomen laboratorioon, jossa niistä mitattiin HPGe/BEGe-ilmaisimilla radionuklidit ²¹⁰Pb, ¹³⁷C ja ²²⁶Ra. Mittausaika vaihteli 4 tunnista 5 päivään. GTK:n laboratoriossa Cs-analyysi tehtiin monikanava-analyysaattori Ortec Ace-laitteella (NaI(Tl) ilmaisimella) ja mittausaika oli 0,5 h/näyte.

Myös yhden sentin kerrosnäytteistä mitattiin maastossa suoraan näytteestä pH ja laboratoriossa BaCl₂-uuttomenetelmällä (222I) potentimetrisesti. Maastossa mitattiin lisäksi sähkönjohtavuus, lämpötila ja hapetus-pelkityspotentiaali. Näytteistä määritettiin hehkutushäviö (LOI) ja tuhkapitoisuus gravimetrisesti (818G) sekä hiili- ja typpi-pitoisuudet pyrolyytisesti (820L).

8.5 Sammalet

Kerrossammalnäytteet toimitettiin paperipusseissa Labtium Oy:n laboratorioon analysoitavaksi elokuussa 2012. Näytteet kuivattiin ensin alle 40°C:ssa, jonka jälkeen ne hienonnettiin leikkaavalla terällä. Koska leikkurointi ei onnistunut muoviterillä, laboratorio käytti teräksistä leikkuria. Happoliukoiset alkuainepitoisuudet määritettiin typpihappouuttomenetelmällä (EPA 3051) käyttäen ICP-OES/ICP-MS-

tekniikoita (Labtium Oy:n menetelmä 503PM, Niskavaara 1995). Kokonaisrikkipitoisuus määritettiin pyrolyytisesti rikkianalysaattorilla (810L). Näytteiden jäännöskosteus määritettiin hienonnetusta näytteestä.

9 ANALYYSITULOSTEN KÄSITTELY

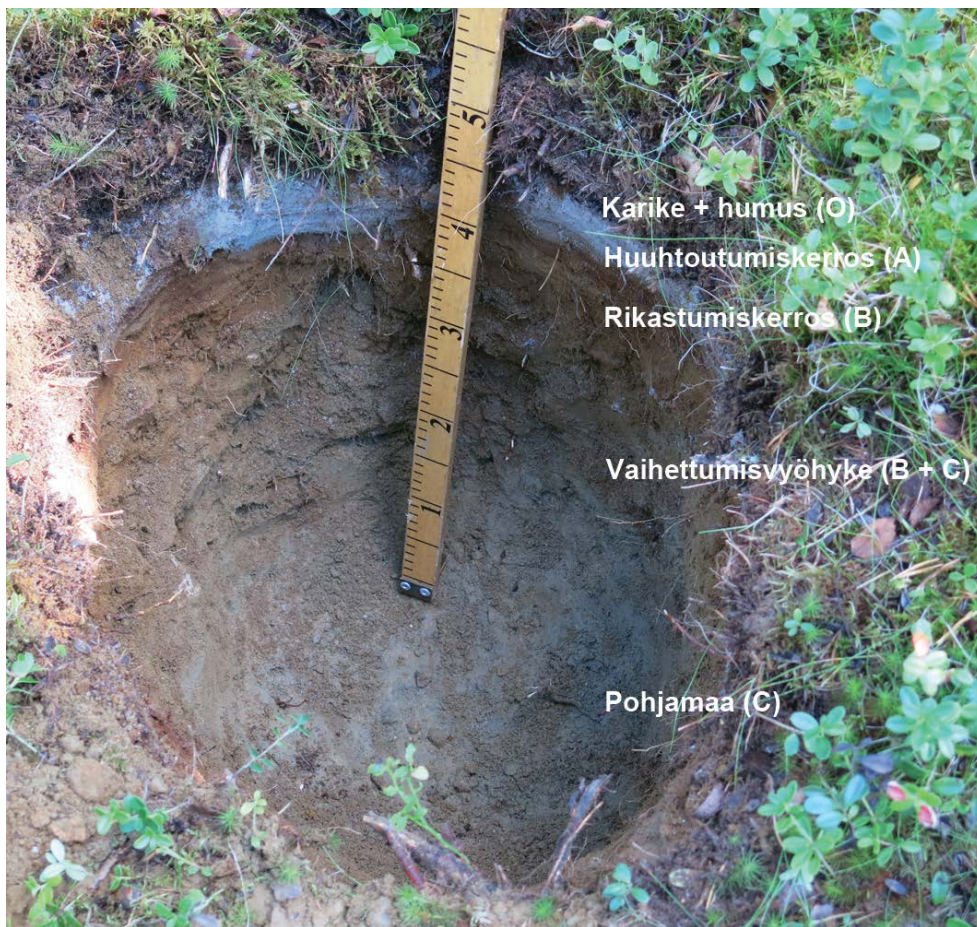
Analyysituloksia on tarkasteltu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla ja SPSS-tilasto-ohjelmalla. SPSS-ohjelmaa käytettiin muun muassa hajontadiagrammien laatimiseen ja Pearsonin korrelaatiolaskuihin. Lisäksi alkuainepitoisuuksista laskettiin tilastollisia tunnuslukuja, kuten keskiarvo, mediaani, minimi- ja maksimiarvot.

Näytepisteiden sijainti määritettiin ja tallennettiin maastossa maastotietokoneen GPS-laitteella. Paikkatiedot ja analyysitulokset yhdistettiin ArcGIS-ohjelmistolla, jolla on tuotettu myös kaikki alueen karttakuvat ja valuma-aluehallinnus (Spatial analyysin Hydrology-työkalu). Koska näyteverkko on harva, tuloksia on tarkasteltu yksittäisinä kohteina, eikä alueellisia tunnusarvoina. Kaikki analyysitulokset on kerätty yhteen Access-tietokannaksi.

10 TULOKSET

10.1 Maaperän ja metsämaannoksen ominaispiirteet

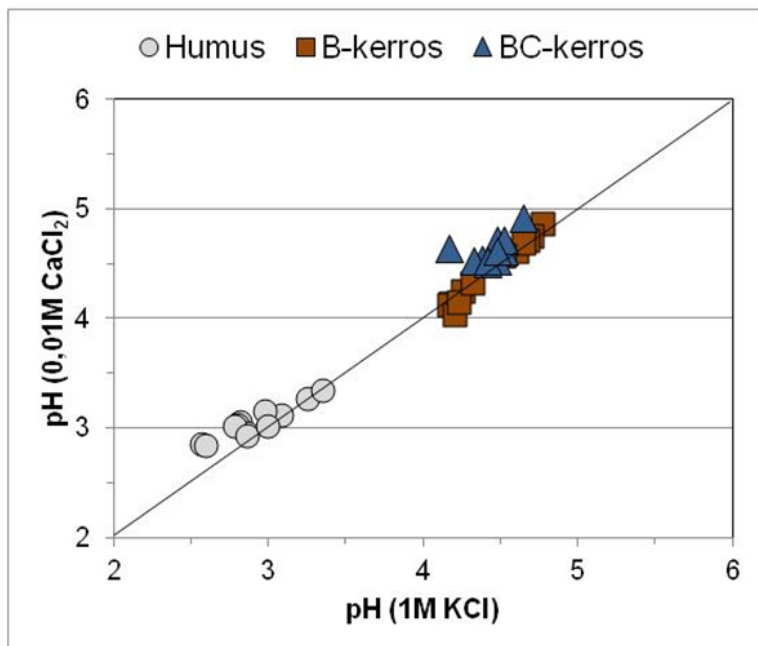
Podsolimaannos syntyy kylmän ja kostean ilmaston alueella pitkällä aikavälillä tapahtuvan maaperän luontaisen happamoitumisen tuloksena. Karike- ja humuskerroksesta (O) sadeveten liuenneet humushapot rapauttavat pintamaan mineraaleista rautaa, piitä ja alumiinia ja kivennäisravinteita kasvillisuuden käyttöön (Melkerud ym. 2000). Humuskerroksen alapuolista, osittain rapautunutta pintamaakerrosta kutsutaan huuhtoutumiskerrokseksi (A / E). Kirjainlyhennettä A käytetään runsaasti orgaanista ainesta sisältävästä, väriltään tumman harmaasta huuhtoutumiskerroksesta ja E-lyhennettä vähän orgaanista ainesta sisältävästä, väriltään tuhkan harmaasta huuhtoutumiskerroksesta (Kuva 17). Vapautunut rauta, alumiini ja pii kulkeutuvat liukoisina orgaanisina kompleksyhdisteinä ja osaksi myös epäorgaanisina geelityyppisinä yhdisteinä alaspäin ja saostuvat kiintoainemuotoon muodostaen rautayhdisteiden värjäämän ruosteenruskean tai punertavan ruskean rikastumiskerroksen (B, Lundström et al. 2000). Alumiinia kulkeutuu usein rautaa runsaammin rikastumiskerroksen alla olevaan nk. vaihettumisvuohykkeeseen (BC, Räisänen 1994). BC-kerros on väriltään kellan ruskea ja se päättyy harmaaseen, usein ruskehtavia laikkuja sisältävään varsinaiseen pohjamaahan (C). Rapautumisprosessissa vapautuu myös muun muassa kalsiumia, magnesiumia, natriumia ja fosforia, jotka pääosin sitoutuvat humukseen ja kulkeutuvat ravinteiksi kasveille (Lundström ym. 2000). Ne voivat myös varastoitua mineraalimaahan riippuen humusaineksen määrästä ja savimineraalien kationinvaihto-ominaisuuksista tai huuhtoutua pohjavesiin saakka (Righi ym. 1997).



Kuva 17. Näytteenottokuoppa ja podsolimaannoksen kerrosjärjestys (Valokuva Raija Pietilä).

Tässä tutkimuksessa otetut maaperänäytteet edustavat hienorakeista moreenimaalajia. Koska hienoaineksen pinta-ala on suurempi, ja on oletettavaa, että hienoainespitoinen maa sisältää karkearakeista maa-ainesta runsaammin vaihtokykyisiä kationeja ja on vastustuskykyisempi (puskuri- ja happamointikykyisempi) happamoitumiselle.

Tämän tutkimuksen maaperätulosten mukaan humuskerroksen happamuus on merkittävästi suurempi kuin mineraalimaakerrosten (B, BC, Taulukko 2 ja Kuva 18). Humuksen KCl-uuhteiden pH on keskimäärin 2,9 (2,6–3,3) ja CaCl₂-uuhteiden 3,0 (2,8–3,3). Vesiuutteiden pH vaihtelee edellä mainittujen pH-arvojen tasolla. Mineraalimaan rikastumiskerrosten (B) ja vaihtumisvyöhykkeen (BC) KCl- ja CaCl₂-uuhteiden pH on yli yksi pH yksikköä korkeampi kuin humuskerrosten vastaavat. B-kerroksen KCl-uuhteiden pH on keskimäärin 4,5 (4,2–4,8) ja CaCl₂-uuhteiden 4,5 (4,0–4,9), kun taas BC-kerroksen syvyydellä pH-lukemat ovat vastaavasti 4,4 (4,2–4,7) ja 4,6 (4,5–4,9). KCl-uuhteista mitatut pH-arvot heijastavat paremmin alumiinin liukenemistä ja sen pH:ta alentavaa vaikutusta kuin mitä CaCl₂-uuhteiden pH-arvot osoittavat (Räisänen 1996). Kuten kuvasta 18 ilmenee, erot eri pH-mittausmenetelmien välillä ovat pieniä. Humus- tai mineraalimaanäytteiden pH-jakaumista ei voida tunnistaa kaivostoiminnan sulfidipitoisten pölyjen happamoittavaa vaikutusta. Humusten alhaiset pH-arvot (< 3) ovat seurausta luontaisten orgaanisten happoyhdisteiden esiintymisestä (Lundström ym. 2000). Lundströmin ym. (2000) mukaan orgaanisten happojen runsaus ja ominaisuudet heijastuvat myös mineraalimaakerrosten kemiallisiin ominaisuuksiin.



Kuva 18. KCl- ja CaCl₂-uutteiden pH jakautumat maaperän eri maannoskerroksissa (humuskerroksessa, rikastumiskerroksessa (B) ja vaihtumisvyöhykkeessä (BC)) Kevitsan alueella, Sodankylässä.

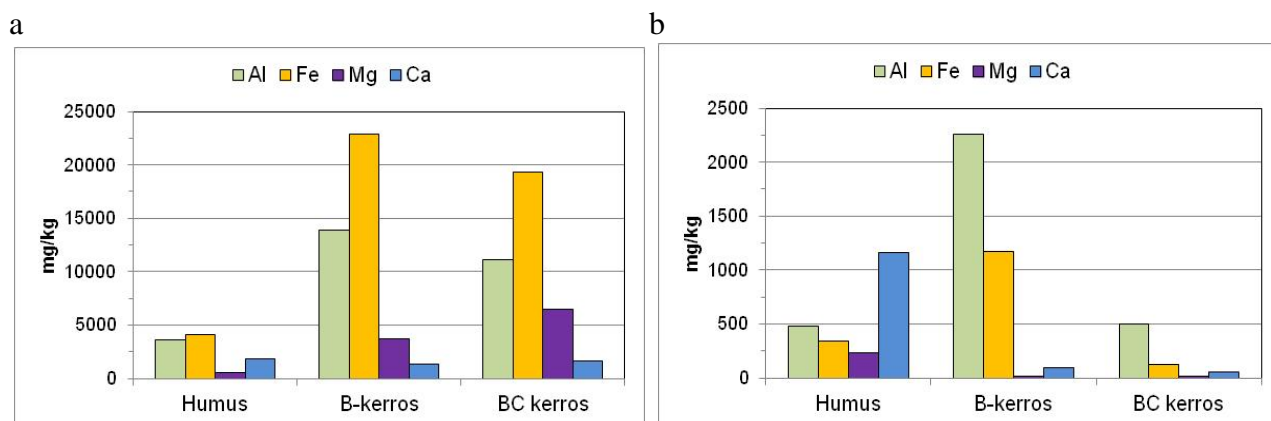
Taulukko 2. Humus- ja mineraalimaanäytteiden (B- ja BC-kerrosten) fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet Kevitsan alueella, Sodankylässä. Lukuarvot ovat 12 näytteen keskiarvoja.

	Humus	B-kerros	BC kerros
TUHKKA %	-	94,9	98,6
LOI %	-	5,08	1,46
C %, totaali	31,7	1,90	0,23
N %, totaali	0,84	0,07	0,01
pH (KCl)	2,9	4,4	4,4
pH (CaCl ₂)	3,1	4,4	4,6
S mg/kg, totaali	918	147	50
Happoliukoiset alkuaineet (mg/kg)			
Fe	4059	22900	19325
Al	3628	13852	11095
Ca	1833	1361	1652
Mg	590	3743	6519
K	445	463	747
Na	54	126	152
P	625	240	131
Cr	23	115	145
Rikki ja sulfidiset hivenmetallit (mg/kg)			
S	761	122	17
Mn	37	83	111
Ni	8,6	34	59
Zn	23	16	14
Cu	5,7	15	30
Pb	15	1,4	1,3
Co	2,0	7,2	12
As	1,5	1,7	1,8
Mo	0,13	0,17	0,16
Cd	0,27	0,04	0,03

Humusten orgaanisen hiilen pitoisuus on keskimäärin 31,7 % ja mineraalisten kerrosten, 1,9 % (B) ja 0,2 % (BC) (Taulukko 2). Typen osuus on suurin humuskerroksessa, keskimäärin 0,8 %, kun mineraalisissa kerroksissa se on alle 0,1 %. Kivennäisalkuaineista eniten on rautaa ja alumiinia niin humus- kuin mineraalisissa maakerroksissa. Sulfidisten hivenalkuaineiden (Ni+Zn+Cu+Pb+Co+As+Mo+Cd) määrä on humuskerroksessa keskimäärin 56 mg/kg, B-kerroksessa 75 mg/kg ja BC-kerroksessa 118 mg/kg. Huomionarvoista on, että sinkkiä ja lyijyä lukuun ottamatta hivenalkuaineiden pitoisuudet kasvoivat maannoskerroksissa alaspäin ja ovat suurimmat BC-kerroksessa (Taulukko 2).

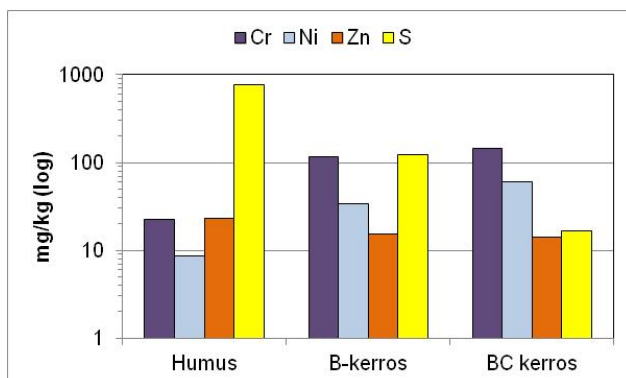
Podsolimaannostuminen ja sitä seuraava mineraalien rapautuminen erottuivat selkeästi eri alkuaineiden jakautumisessa humus- ja mineraalimaakerrokseen. Raudan ja alumiinin kertyminen B-kerrokseen erottui niin happoliukoissa kuin asetaattiliukoissa pitoisuuksissa (Kuva 19a-b, Taulukot 2 ja 3). Mineraalien rapautumisvoimakkuutta kuvaa parhaiten happoliukoisen magnesiumin ja kaliumin jakautuminen. Kummallakin pitoisuudet kasvoivat humuskerroksesta alempiin mineraalimaakerrokseen päin ja ovat suurimmat pohjamaata edustavassa vaihettumisvyöhykkeessä (BC-kerroksessa). Tämä selittyy sillä, että podsolisaation aiheuttamana kiilteistä mm. biotiitti ja savimineraaleista kloriitti rapautuvat asteittain mineraalimaan pintakerroksista alaspäin mentäessä (Righi ym. 1997). Righin ym. mukaan (1997) näiden mineraalien rapautuminen on voimakkainta heti humuksen alapuolella huuhtoutumiskerroksessa (ei erillistä näytettä) ja pienintä BC-kerroksessa ja pohjamaassa (C-kerroksessa, josta ei erillistä näytettä).

Kivennäisravinteita, kuten kalsiumia, magnesiumia ja kaliumia sekä hivenmetalleja siirtyy humukseen kasvien ravinnonoton kautta (Kuvat 19-20), mutta mahdollisesti myös diffuusion kautta maan ollessa vettyneenä lumien sulamisen aikaan (Räisänen 1996). Asetaattiliukoisia (kasveille käyttökelpoisia) kivennäisravinteita, Ca, Mg, ja K sekä fosforia on eniten humuskerroksessa (> 400 mg/kg), kun taas mineraalimaakerrosten pitoisuudet ovat kymmenesosa humuskerrosten pitoisuuksista (Taulukko 3, kuva 20). Fosforin osalta ero on kuusinkertainen. Vastaavasti myös useimpien hivenalkuaineiden pitoisuudet ovat monta kertaa suuremmat humuskerroksessa kuin mineraalimaakerroksissa (B, BC, Taulukko 3, Kuva 20b). Luontaisen, mineraaliaineksesta peräisin olevan alkuperän lisäksi lyijyn kertyminen humukseen voi olla merkki myös ilmateitse kulkeutuvasta antropogeenisestä lyijystä (Kuva 20a-b). Muista poiketen asetaattiliukoinen rikki, kupari ja kromi olivat kertyneenä mineraalimaan rikastumiskerrokseen todennäköisesti saostumamineraaleihin adsorboituneena.

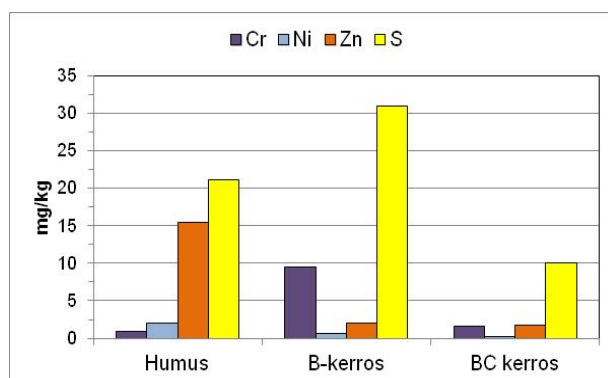


Kuva 19. (a) Happoliukoisten ja (b) asetaattiliukoisten Al-, Fe-, Mg- ja Ca-pitoisuuksien keskiarvot humuskerroksessa, mineraalimaan rikastumiskerroksessa (B) sekä vaihettumisvyöhykkeessä (BC) Kevitsan alueella, Sodankylässä.

a



b



Kuva 20. (a) Happoliukoisten ja (b) asetaattiliukoisten Cr-, Ni-, Zn- ja S-pitoisuuksien keskiarvot humuskerroksessa, mineraalimaan rikastumiskerroksessa (B) ja vaihtumisvyöhykkeessä (BC) Kevitsan alueella, Sodankylässä.

Taulukko 3. Asetaattiliukoisten alkuaineiden keskiarvopitoisuudet humusnäytteissä ja mineraalisten maakerrosten B ja BC näytteissä Kevitsan alueella, Sodankylässä.

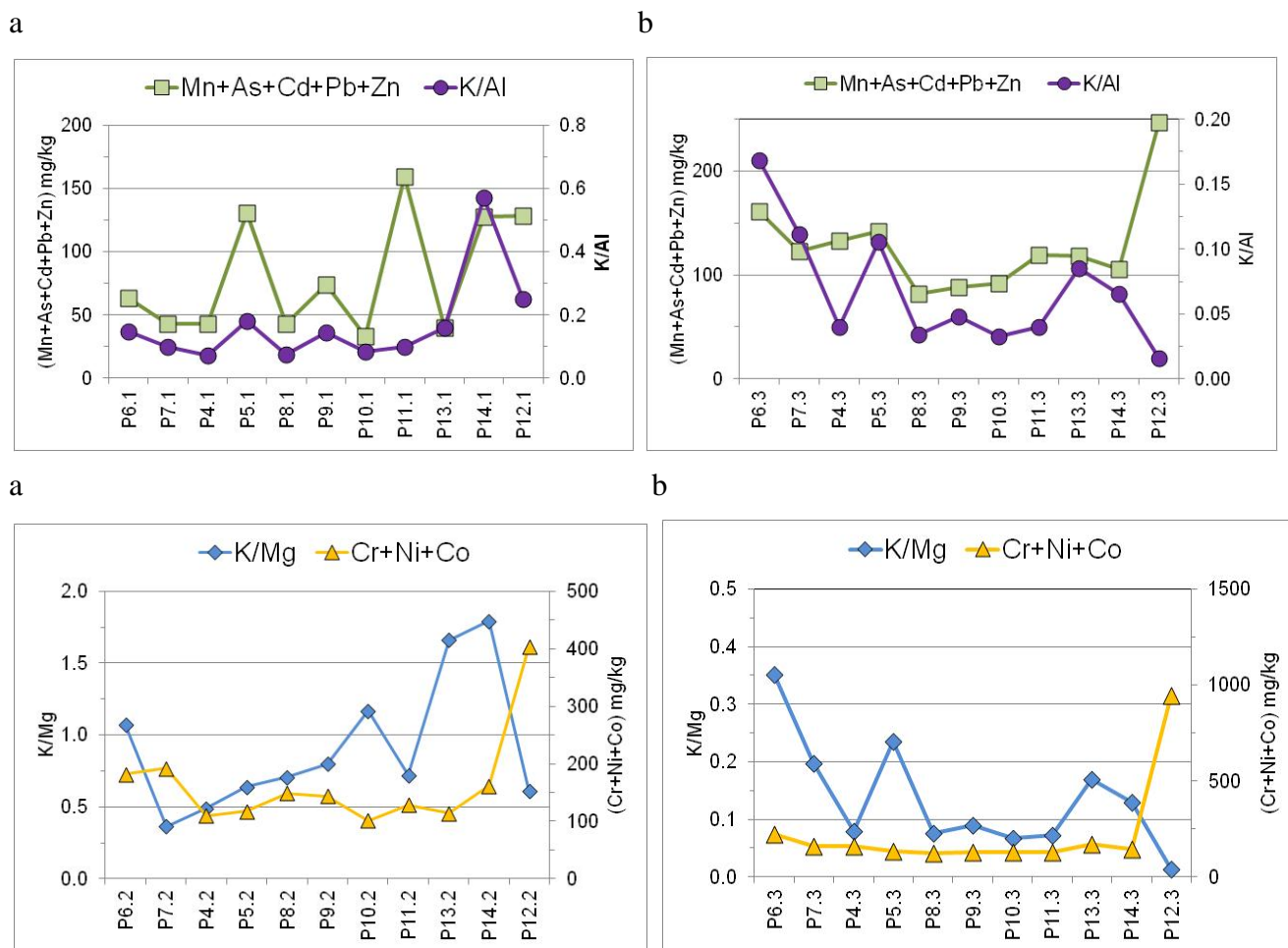
	Humus	B-kerros	BC kerros
Pääalkuaineet, fosfori ja kromi			
Al	483	2255	501
Fe	338	1176	128
Ca	1159	94	56
Mg	233	11	13
K	287	10	10
Na	37	16	18
P	67	11	10
Cr	1,0	9,5	1,6
Rikki ja hivenalkuaineet (mg/kg)			
S	21	31	<20
Mn	18	2,7	0,94
Ni	2,0	0,65	0,21
Zn	15	2,0	1,8
Cu	0,59	1,1	1,0
Pb	6,2	0,17	0,13
Co	0,97	0,12	0,07
As	0,14	0,08	0,04
Mo	<0,01	<0,01	<0,01
Cd	0,20	0,01	<0,006

Kalium-pitoisia kiilteitä sisältävien liuskekivikallioperän vaikutusta näytekohteiden humus- ja B- sekä BC-kerrosten geokemiaan tarkasteltiin happoliukoisten K- ja Mg-pitoisuuksien suhteen avulla. Oletuksena on, että suhdeluku kuvaisi K-pitoisten kiillemineraalien ja kloriittisavimineraalien suhteellisia

osuuksia näytteissä. Happoliukoisen K- ja Al-pitoisuuksien suhde oletetaan myös liittyvän K-pitoisten kiilteiden runsaampaan esiintymiseen suhteessa kloriitin määrään. Toisaalta suhteen pienentyessä ($Al \gg K$) se voi kuvata myös mineraalimaan K-kiilteiden rapautumisintensiteettiä, mistä seuraa Al-pitoisuuden kasvu eli alumiinisaostumien kertyminen B- ja mahdollisesti myös BC-kerrokseen.

Kuvissa 21 on esitetty liuskekilville tunnusomaisten sulfidisten hivenalkuaineiden (Mn, As, Cd, Pb, Zn) happoliukoisten pitoisuuksien summan jakautuminen sekä mafisille kiville tunnusomaisten Cr, Ni- sekä Co-pitoisuuksien summan jakautuminen näytekohteittain verrattuna yllämainittuihin suhdelukujen jakaumiin. Kuvista ilmenee, että jakaumien vastaavuus on heikoin humuskerroksessa. Tulosten mukaan voidaan päätellä sulfidipitoisten liuskekilvien heijastuvan pisteiden 6, 7, 5, 9 (heikkona), 13 ja 14 maaperän hivenmetallipitoisuuksiin. Sen sijaan mafisten kallioperän vaikutus näkyisi voimakkaimmin pisteen 12 ja sitä heikommin pisteen 6 maannoskerrosten Cr- ja Ni- sekä Co-pitoisuuksissa.

Humus-, B- ja BC-kerrosten happoliukoiset Mg-pitoisuudet korreloivat positiivisesti (Mg-Cr: merkitsevä, Mg-Ni 0,05 taso, 0,01 taso) kromin ja nikkelin kanssa, mikä viittaisi maannoskerrosten Ni- ja Co-pitoisuuksien seuraavan moreenin Mg-valtaisten kiille- ja savimineraalien määriä heijastaen mafisen kallioperävaikutusta. Magnesiumpitoisuuksien ja Cr, Ni ja Co-pitoisuuksien summan jakaumien näytepisteittäinen vastaavuus on paremmin tunnistettavissa B- ja BC-kerroksista kuin humuskerroksista (Kuva 21a-b). Sammal- ja humusnäytteet eivät korreloi raudan, magnesiumin, kromin, nikkelin ja koboltin osalta keskenään (Taulukko 4).



Kuva 21. Happoliukoisten Mn-, As-, Cd-, Pb- ja Zn-pitoisuuksien summan ja happoliukoisista pitoisuuksista laskettu K/Mg-suhteen jakauma (a) humuksen ja (b) BC-kerroksen näytteenottokohteissa Kevitsan alueella, Sodankylässä.

Taulukko 4. Humus ja sammal-näytteiden Fe, Mg, Co, Cr, Ni-korrelaatiot

		Fe (humus) mg/kg	Mg (humus) mg/kg	Co (humus) mg/kg	Cr (humus) mg/kg	Ni (humus) mg/kg	Co (sammal) mg/kg	Cr (sammal) mg/kg	Ni (sammal) mg/kg	Fe (sammal) mg/kg	Mg (sammal) mg/kg
Fe (humus) mg/kg	Pearson Correlation	1	,573	,433	,436	,511	-,315	-,032	-,214	,115	-,171
	Sig. (2-tailed)		,065	,184	,180	,108	,346	,925	,528	,735	,615
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Mg (humus)mg/kg	Pearson Correlation	,573	1	,192	,615*	,882**	-,255	-,041	-,180	-,053	,099
	Sig. (2-tailed)	,065		,572	,044	,000	,449	,905	,597	,876	,771
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Co (humus) mg/kg	Pearson Correlation	,433	,192	1	,391	,386	,181	,242	,016	,376	-,317
	Sig. (2-tailed)	,184	,572		,234	,241	,595	,474	,963	,255	,342
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Cr (humus)mg/kg	Pearson Correlation	,436	,615*	,391	1	,622*	-,051	,086	-,067	,209	-,529
	Sig. (2-tailed)	,180	,044	,234		,041	,881	,803	,844	,537	,094
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Ni (humus) mg/kg	Pearson Correlation	,511	,882**	,386	,622*	1	-,135	,044	-,152	,028	,088
	Sig. (2-tailed)	,108	,000	,241	,041		,693	,897	,656	,934	,797
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Co (sammal) mg/kg	Pearson Correlation	-,315	-,255	,181	-,051	-,135	1	,944**	,952**	,850**	-,296
	Sig. (2-tailed)	,346	,449	,595	,881	,693		,000	,000	,001	,376
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Cr (sammal) mg/kg	Pearson Correlation	-,032	-,041	,242	,086	,044	,944**	1	,952**	,939**	-,280
	Sig. (2-tailed)	,925	,905	,474	,803	,897	,000		,000	,000	,404
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Ni (sammal) mg/kg	Pearson Correlation	-,214	-,180	,016	-,067	-,152	,952**	,952**	1	,865**	-,207
	Sig. (2-tailed)	,528	,597	,963	,844	,656	,000	,000		,001	,542
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Fe (sammal) mg/kg	Pearson Correlation	,115	-,053	,376	,209	,028	,850**	,939**	,865**	1	-,336
	Sig. (2-tailed)	,735	,876	,255	,537	,934	,001	,000	,001		,312
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Mg (sammal) mg/kg	Pearson Correlation	-,171	,099	-,317	-,529	,088	-,296	-,280	-,207	-,336	1
	Sig. (2-tailed)	,615	,771	,342	,094	,797	,376	,404	,542	,312	
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Haponneutralointikapasiteetti ilmaisee kuinka paljon happokuormitusta maaperä kestää neutralointikyvyn toimiessa. Maaperän alueellista puskurointikykyä ilmaistaan vaihtuvien (asetaatiliukoisten) emäskationien milliekvivalenttien summalla ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+}$ mekv/kg) (Kuva 22a-b).

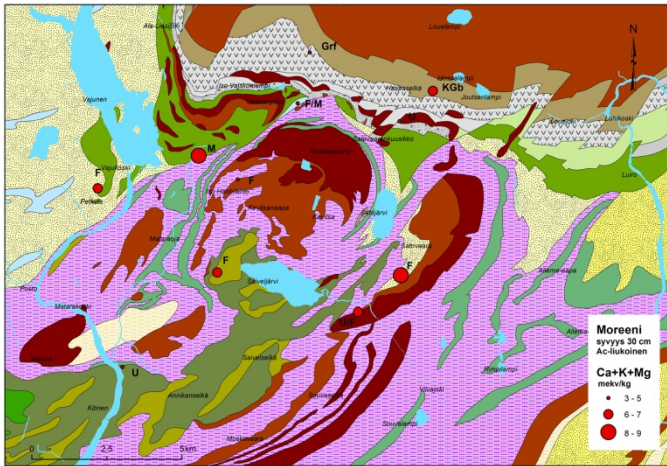
Happamoitumisherkkyyys voidaan arvioida vaihtokykyisen alumiinin ja emäskationien summan suhteella ($\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+}$). Mitä korkeampi suhdeluku, sen suurempi on happamoitumisherkkyyys (Kuva 23a-b). Asetaatiliukoinen kalium on kaikissa mittauspisteissä alle määritysrajan 20 mg/kg, joten laskennassa on käytetty puolitettyä arvoa. Happamoitumisen lisääntyessä emäskationien lisäksi myös alumiinin liukeneminen nopeutuu. Alumiinin hydrolyysireaktiot alkavat noin pH:ssa 4,4.

Korrelaatioanalyysin mukaan alumiinin pidäytyminen humukseen nostaa pH:ta (0,791** ja 0,0,695**, 0,01-taso), kun taas rikin pidäytyminen humukseen laskisi pH:ta (-0,686** ja -0,684**, 0,01-taso).

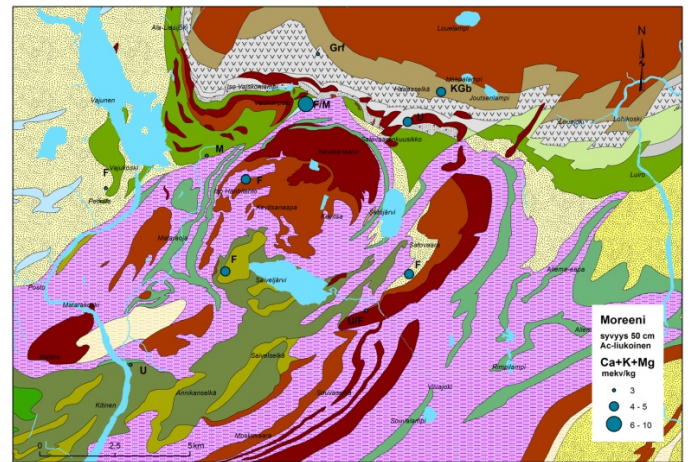
Puskurointikyky ja happamoitumisherkkyyys on laskettu vastaavasti myös happoliukoisten (kuningasvesiuutto) emäskationien ja alumiinin suhteella (Kuvat 24-25).

Asetaatiliukoissa puskurointikyky 30 cm:ssä on suurinta Kevitsan intrusioon länsipuolella ja Viivajoen varrella, joissa molemmissa puolestaan happamoitumisherkkyyys on pieni. Mataraojan läheltä otetun maaperänäytteen puskurointikyky sekä happamoitumisherkkyyys ovat molemmat pieniä 30 cm:ssä, mutta 50 cm:ssä happamoitumisherkkyyys on lisääntynyt. KCl-liuoksessa mitatun pH:n ja CaCl_2 -liuoksessa mitatun pH-arvon erot ovat kasvaneet, mikä indikoi alumiinin liukenemista maannoshorisontissa, eikä kalsiumin määrä riitä puskurointiin.

a

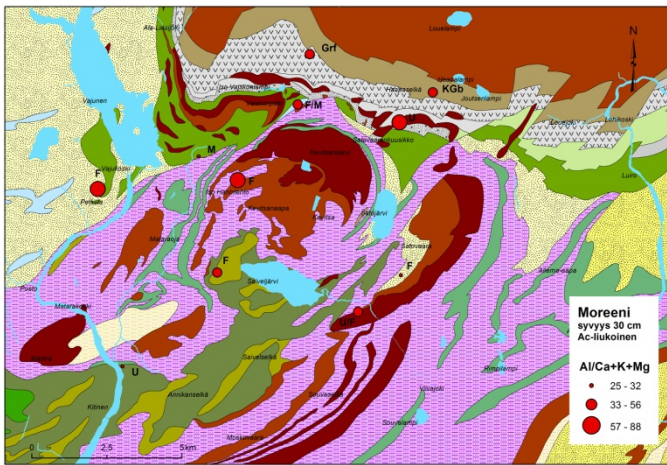


b

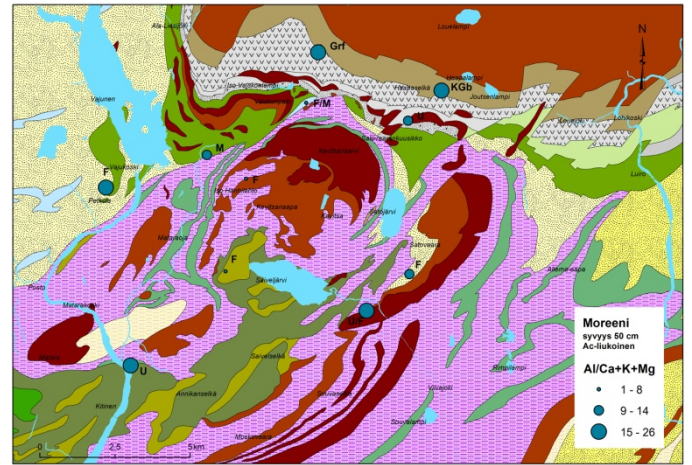


Kuva 22. Maaperän puskurointikyky a) 30 cm b) 50 cm syvyydellä (Ac-liukoinen). Taustalla kallioperäkartta. Kivilajilyhenteet: F = felsinen, U = ultramafinen, KGb = Koitelaisen gabro, Grf = Koitelaisen granofyyri, M = mafinen

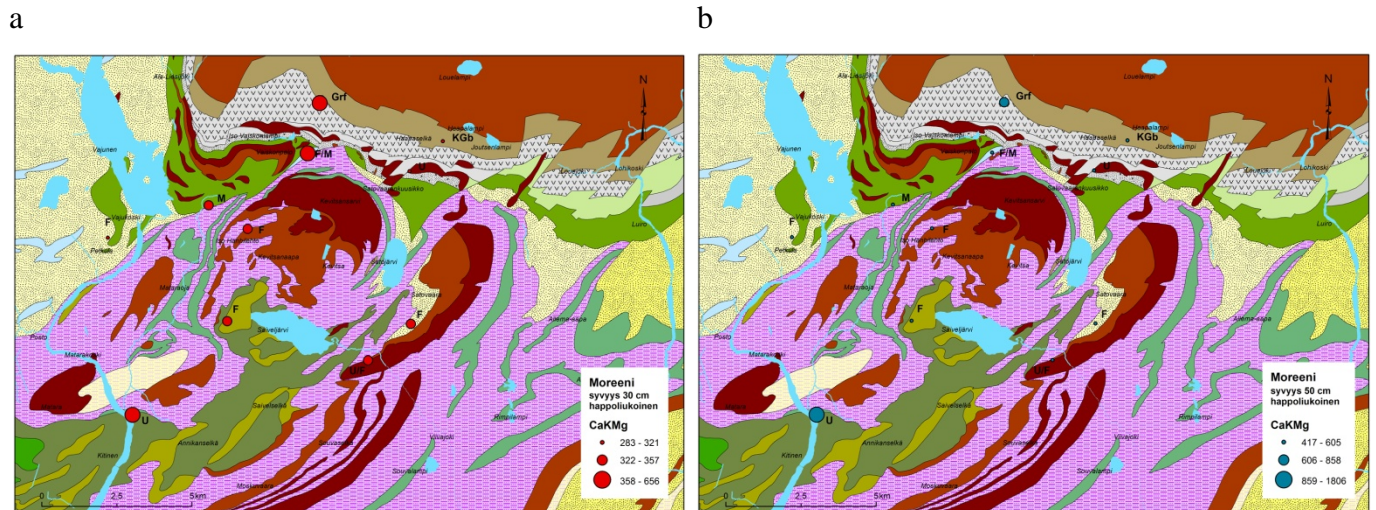
a



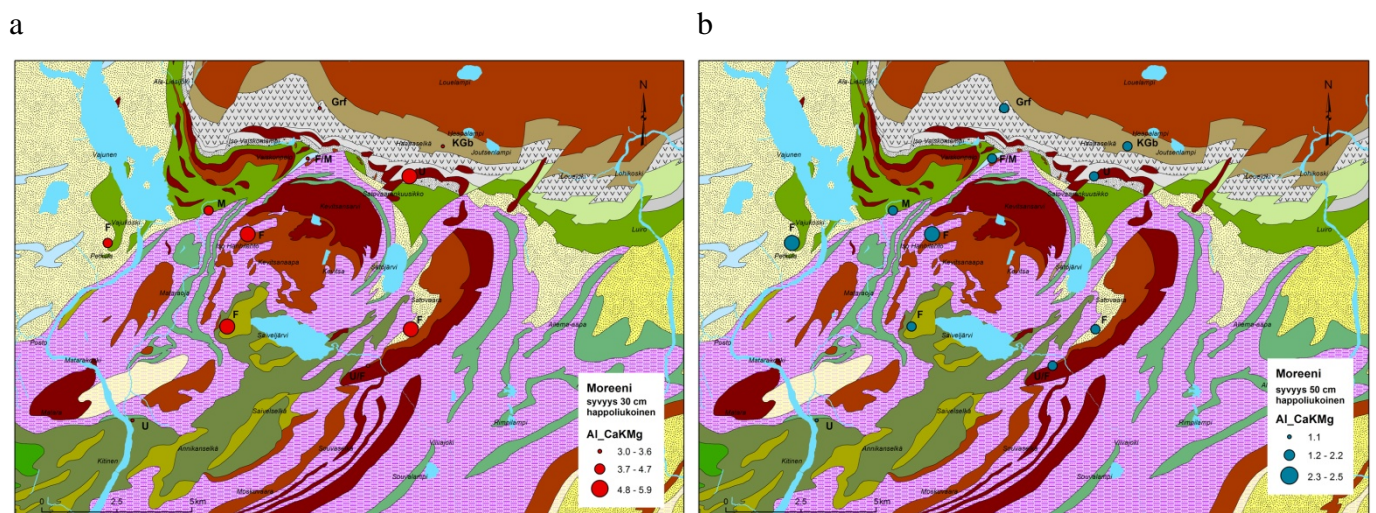
b



Kuva 23. Maaperän happamoitumisherkyys a) 30 cm ja b) 50 cm syvyydellä (Ac-liukoinen). Taustalla kallioperäkartta. Kivilajilyhenteet: F = felsinen, U = ultramafinen, KGb = Koitelaisen gabro, Grf = Koitelaisen granofyyri, M = mafinen



Kuva 24. Maaperän puskurointikyky a) 30 cm b) 50 cm syvyydellä (happoliukoinen). Taustalla kallioperäkartta. Kivilajilyhenteet: F = felsinen, U = ultramafinen, KGb = Koitelaisen gabro, Grf = Koitelaisen granofyyri, M = mafinen



Kuva 25. Maaperän happamoitumisherkyys a) 30 cm ja b) 50 cm syvyydellä (happoliukoinen). Taustalla kallioperäkartta. Kivilajilyhenteet: F = felsinen, U = ultramafinen, KGb = Koitelaisen gabro, Grf = Koitelaisen granofyyri, M = mafinen

10.2 Pohjavedet

Kahden pohjavesinäytteen, eli lähdevesien (Kevitsa P, ID-nro VE_RAPI-2012-13.1 ja Annikanselkä, ID-nro VE_RAPI-2012-14.1) koostumusta on käsitelty jonkin verran myös jäljempänä pintavesien geokemiaa käsittelevässä osassa. Geokemiallinen koostumus (keskiarvoina) on esitetty taulukossa 5. Kevitsan (P) lähdeveden sähkönjohtavuus on 3 mS/m ja Annikanselän (E) lähdeveden 12 mS/m. Näytteenoton yhteydessä mitatut lämpötilat osoittavat, että Kevitsa P:n veden vaihtuvuus lähteessä on vähäinen (+13,3°C), mutta Annikanselkä E:n veden vaihtuvuus ja siten myös antoisuus ovat hyvät (lämpötila +4,4°C).

Lähdevesien suolapitoisuus oli Kevitsa P:n näytteessä 6,5 mg/l ja Annikanselkä E:n näytteessä 25,5 mg/l. Veteen liuenneiden anionien (fluoridi, kloridi, nitraatti, sulfaatti) pitoisuudet ovat hyvin pieniä.

Molempien näytteiden bromidi- ja fluoridipitoisuudet ja Kevitsa P:n nitraattipitoisuus ovat alle määrittämissärajien. Myös hivenmetalli- ja muut hivenalkuainepitoisuudet ovat hyvin pieniä. Hopea-, berylli-, vismutti-, jodi- ja seleenipitoisuudet ovat molemmissa lähdevesissä alle määrittämissärajien. Kevitsa P:n arseeni-, kadmium-, antimoni- ja vanadiinipitoisuudet ovat alle määrittämissärajien. Annikanselkä E:n koboltti-, fosfori-, torium- ja rautapitoisuudet ovat alle määrittämissärajien.

Kaliumpermanganaattiluku (KMnO_4 -luku) 24,65 mg/l Kevitsa P:n vedessä ylittää hyvälle talousvedelle asetetun suosituksen (20 mg/l). Veden kemiallinen hapenkulutus mitataan käytännössä KMnO_4 -luvulla ja se ilmentää veden liuenneen ja kolloidisen humuksen ja muiden hapettumiskykyisten orgaanisten ja epäorgaanisten aineiden kokonaismäärää (Lahermo ym. 2002). Kaikilta muilta osin vedet täyttävät hyvälle talousvedelle asetetut laatuvaatimukset ja -tavoitteet (STM 442/2014).

10.3 Pintaveden geokemiaa

10.3.1 Pintavesien fysikaalinen ja kemiallinen koostumus

Tutkimusalueen purojen, jokien ja järvien pintavedet ovat tulosten mukaan neutraaleja tai lähes neutraaleja (Taulukko 5). Puro- ja jokivesien pH-keskiarvo on suurempi tutkimusalueen länsi-(7,5) kuin itäosassa (6,8) tai järvien pinta- (7,1) ja alusvesissä (6,8). Vertailuryhmän, lähdevesien pH-arvot vaihtelevat melkoisesti. Kevitsan pohjoispuolen lähdeveden pH oli 6,0 ja tutkimusalueen eteläpuolen Annikanselän lähteen pH oli 7,8. Suurin happamuuden puskurointikyky alkaliteettiarvojen perusteella on järvien alusvesillä (1,56 mmol/l). Järvien pintavesien, puro- ja jokivesien ja lähdevesien puskurikyky oli keskimäärin puolta pienempi (0,7–0,8 mmol/l).

Sähkönjohtokyky on keskimäärin hieman suurempi länsi- (9,60 mS/m) kuin itäosan (6,52 mS/m) puro- ja jokivesissä tai järvivesien pinta- (4,11 mS/m) ja alusvesissä (7,95 mS/m, Taulukko 5). Kahden lähdevesinäytteiden sähkönjohtavuudet eroavat toisistaan melkoisesti, samoin kuin pH- ja alkaliteettiarvot. Kevitsan pohjoispuolen lähdeveden johtavuus on 3,0 mS/m ja Annikanselän 12,0 mS/m.

Fosfaattifosforin (liukoisen fosforin) esiintymistä pintavesissä on tarkasteltu suodatetuista vesinäytteistä ICP-MS-menetelmällä määritettyjen fosforipitoisuuksien perusteella. Spektrofotometrisesti määritetyn fosfaattifosforin pitoisuudet alittavat lähes kaikissa vesinäytteissä paitsi yhdessä fosfaatin alimman määrittämissärajien, 0,02 mg/l. Fosforipitoisuudet ja niiden vaihtelu ovat suurempia järvivesinäytteissä kuin puro- ja jokivesi- tai vertailuryhmän lähdevesinäytteissä (Liite 1). Suurin fosforipitoisuus (208 µg/l) on Saiveljärven alusvesinäytteestä. Saiveljärven ja Satojärven pintavedessä fosforia oli kymmenesosa alusveden pitoisuudesta (Kuva 26). Kotajärven sekä Iso-Vaiskojärven pintavesissä P-pitoisuus vaihtelee välillä 33–69 µg/l ja alusvesissä välillä 38–85 µg/l. Lähdevesikohteissa fosforin pitoisuus on suurimmillaan 15,3 µg/l (Kevitsan pohjoispuolen lähde) ja pienimmillään alle 10 µg/l (Anikkanselän lähde, Liite 1).

Taulukko 5. Pinta- ja lähdevesien fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet Kevitsan alueella, Sodankylässä. Pintavesinäytteiden syvyydet ovat 0,2 m Sato- ja Saiveljärvessä, 3 m Kotajärvessä ja Iso-Vaiskolammessa, sekä alusvesinäytteet (alemmat vesikerrokset) 1,4 m Saiveljärvessä, 11 m ja 18 m Iso-Vaiskolammessa ja 12 m Kotajärvessä.

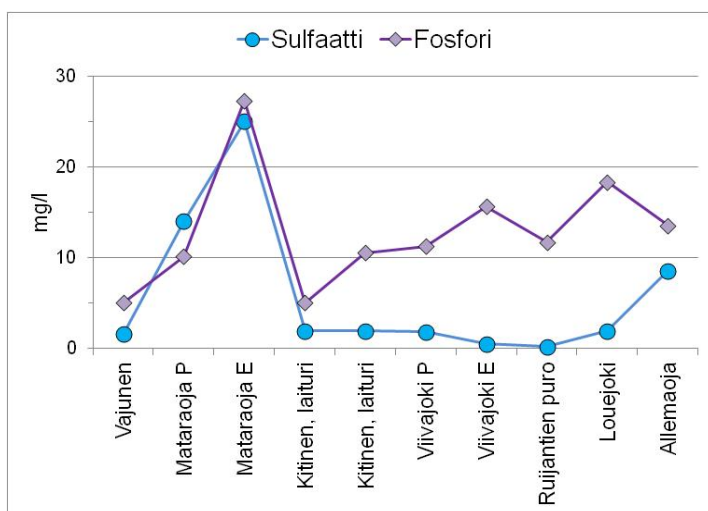
		Länsiosa		Itäosa		Järvivedet		Lähde
		Joki- ja purovesi		Joki- ja purovesi		Pintavesi	Alusvesi	vesi
		1994	2012	1994	2012	2012		2012
		n=5	n=5	n=7	n=5	n=4	n=3	N=2
pH		7,6	7,5	7,2	6,8	7,1	6,8	6,9
EC	mS/m	14,6	9,60	8,16	6,52	4,11	7,95	7,51
Happi	mg/l	-	9,35	-	9,14	8,48	0,58	6,47
Hapen kyllästysaste	%	-	96	-	95	80	4,3	55
Alkaliteetti	mmol/l	1,08	0,82	0,65	0,66	0,68	1,56	0,72
KMnO₄	mg/l	21	27	26	41	35	-	13
NO₃	mg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PO₄	mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02
Br	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
I	µg/l	-	<2	-	<2	<2	4,39	<2
F	mg/l	<0,05	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cl	mg/l	1,07	1,11	0,70	0,52	0,65	0,79	0,50
SO₄	mg/l	15,8	8,86	4,64	2,57	1,98	2,00	2,08

		Länsiosa		Itäosa		Järvi		Lähde
		Joki- ja purovesi		Joki- ja purovesi		Pintavesi	Alusvesi	vesi
		1994	2012	1994	2012	2012		2012
		n=5	n=5	n=7	n=5	n=4	n=3	N=2
Ca	mg/l	16,3	9,91	8,49	6,67	6,38	16,4	8,18
Mg	mg/l	6,92	4,55	4,00	2,99	2,67	4,95	2,71
Na	mg/l	2,00	1,65	1,69	1,32	1,21	1,69	1,61
K	mg/l	1,31	0,70	0,78	0,41	0,75	2,27	0,88
Si	mg/l	6,79	3,59	3,65	2,42	2,44	6,57	5,06
Fe	mg/l	0,48	0,55	0,48	1,03	3,67	8,50	0,08
S	mg/l	-	3,28	-	1,00	0,84	0,68	0,73
P	µg/l	-	16,0	-	14,1	39,5	110	10,2
Al	µg/l	12,9	18,8	18,1	41,2	29,6	27,0	15,3
Mn	µg/l	57,4	56,6	27,3	30,4	140	2793	3,47
Zn	µg/l	17,6	6,00	22,0	4,75	3,24	4,59	6,91
Cr	µg/l	2,13	0,43	0,50	0,69	0,62	0,81	6,86
Cu	µg/l	0,34	0,48	0,36	0,33	0,52	0,24	0,38
Co	µg/l	0,19	0,12	0,13	0,24	0,42	2,87	0,10
Ni	µg/l	3,29	0,90	0,84	1,46	0,43	<0,05	3,00
As	µg/l	0,14	0,15	0,19	0,22	0,21	0,34	0,42
Pb	µg/l	0,06	0,12	0,12	0,24	0,12	<0,05	0,14
Mo	µg/l	0,28	0,26	0,05	0,05	0,05	0,50	0,08
Sb	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,08
Cd	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

Tutkimusalueen länsiosan puro- ja jokivesien fosforipitoisuuksien keskiarvo (16 µg/l) ei merkittävästi poikkea itäosan pitoisuuksien keskiarvosta (14 µg/l), kun huomioi mittauksen virhemarginaalin ($\pm 12\%$). Muista puroista poikkeava P-pitoisuus esiintyy Mataraojan eteläisessä kohteessa, jossa liukoista fosforia on 27 µg/l. Samasta kohteesta mitattiin myös muita puro- ja jokivesiä suurempi sulfaattipitoisuus (Kuva 26). Pitoisuudet eivät ylitä geologisesti poikkeavan alueen ojituksen aiheuttamasta kuormituksesta. Ennen kaivostoimintaa, vuonna 1994 Mataraojan eteläosan vedessä oli enimmillään 36 mg/l sulfaattia. Fosforipitoisuutta ei ollut mitattu vuoden 1994 näytteistä.

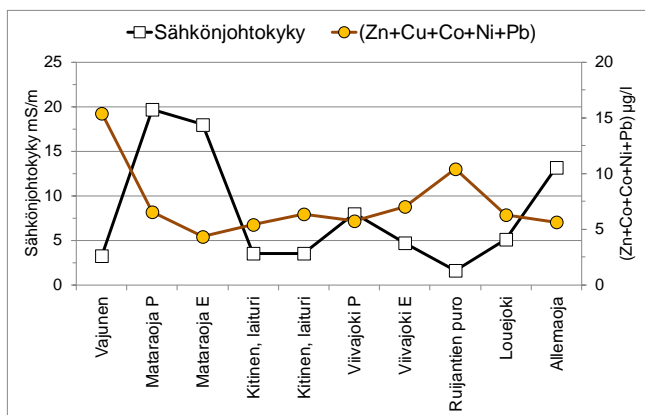
Nitraatin, bromidin, jodin, fluoridin pitoisuudet alittavat niiden alimmat määrittämissrajat lähes kaikissa tutkimuskohteissa (Taulukko 5). Poikkeuksena ovat järvikohteiden alusvesinäytteet, joissa on jodia keskimäärin 4,4 µg/l (vaihteluväli 3,5–5,8 µg/l).

Kaliumpermanganaattilukujen perusteella voidaan arvioida veden humusaineiden määrää ja niihin liittyvää hapen kulutusta. Itäosan puro- ja jokivesikohteissa on keskimäärin kolmasosa ja järvikohteiden pintavesissä neljäsosa enemmän humusaineita (KMnO₄-luku 41 mg/l) kuin länsiosan puro- ja jokivesikohteissa (27 mg/l, taulukko 5). Lähdevesissä on edellä mainittuja kohteita vähemmän humusaineita (13 mg/l). Järvien alusvesien vesinäytteistä ei voitu mitata KMnO₄-lukua veden voimakkaan värin vuoksi (titrausta häiritsevä ominaisuus), mikä viittaa järvivesien sisältävän runsaasti happea kuluttavia humusaineita.

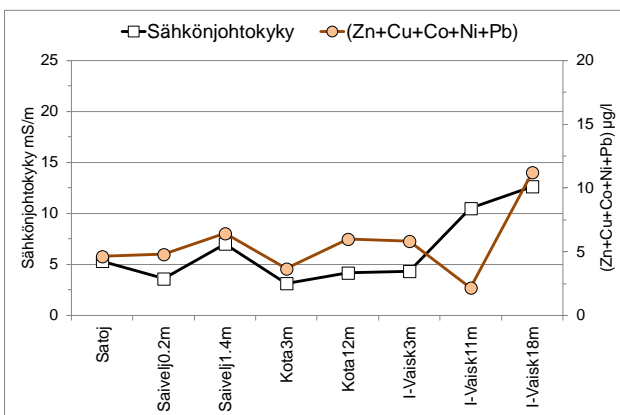


Kuva 26. Liukoisen fosforin ja sulfaattipitoisuuksien jakautuma puro- ja jokivesissä, Sodankylässä.

a

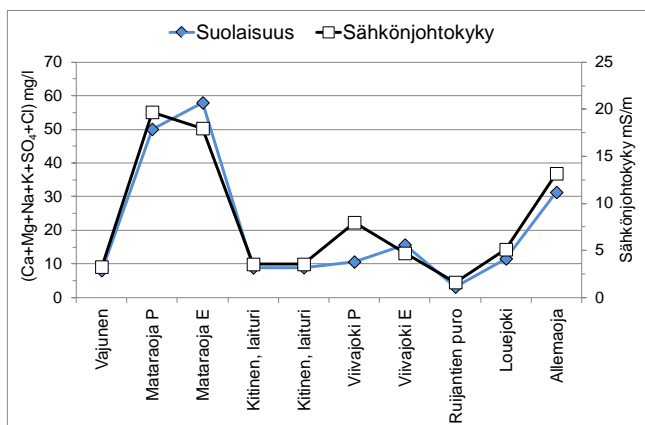


b

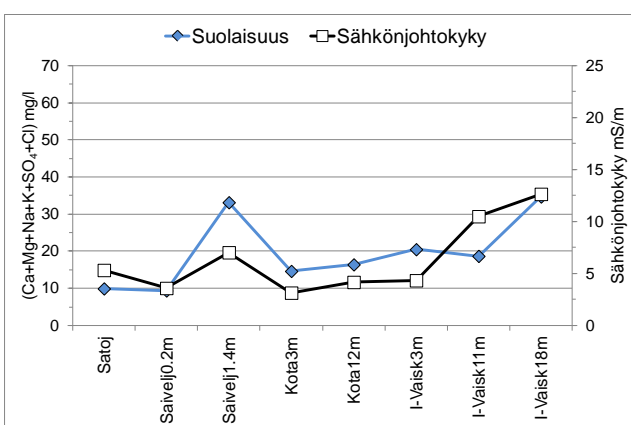


Kuva 27. Sähkönjohtokyvyn ja liukoisten hivenmetallipitoisuuksien (Zn+Cu+Co+Ni+Pb) summan jakautuminen (a) puro- ja jokivesissä sekä (b) järvivesissä Kevitsan alueella, Sodankylässä. Järvikohteiden selitykset on esitetty kuvassa 29.

a



b



Kuva 28. Suolaisuuden (Ca+Mg+Na+K+SO₄+Cl) ja sähkönjohtokyvyn jakautuminen puro- ja jokivesissä sekä (b) järvivesissä Kevitsan alueella, Sodankylässä. Järvikohteet: Satoj = Satojärvi, Saivelj0.2m = Saiveljärvi, näytesyvyys 0,2 m, Saivelj1.4m = Saiveljärvi, syvyys 1,4 m, Kota3m = Kotajärvi, syvyys 3 m, Kota13m = Kotajärvi, syvyys 12 m, I-Vaisk3m = Iso-Vaiskojarvi, syvyys 3 m, I-Vaisk11m = Iso-Vaiskojarvi, syvyys 11 m ja I-Vaisk18m = Iso-Vaiskojarvi, syvyys 18 m.

Suurimmat rauta- ja mangaanipitoisuudet esiintyvät järvikohteiden alimmissa, pelkistävissä vesikerroksista. Alusvesien raudan keskiarvo on 6,5 mg/l ja mangaanin 2,1 mg/l, kun taas vastaavat keskiarvot pintavesille ovat 3,7 mg/l ja 0,14 mg/l (Taulukko 5). Puro- ja jokivesissä raudan ja mangaanin pitoisuudet ovat useimmissa kohteissa samaa tasoa tai pienempiä kuin järvien pintavesissä. Rautaan ja mangaaniin verrattuna alumiinipitoisuudet ovat pieniä, useimmiten <0,04 mg/l. Suurimmat alumiinipitoisuudet esiintyvät Ruijantien puron vedessä, 0,14 mg/l ja Iso-Vaiskonlammen välikerroksessa, 0,08 mg/l.

Puro- ja jokivesissä on hivenmetalleista eniten liukoista sinkkiä (2,6–14,5 µg/l, Liite 1). Muiden hivenmetallien (Ni, Co, Cu, Cr, Pb, Mo) ja arseenin liukoiset pitoisuudet ovat enemmistössä näytteitä pieniä (<3 µg/l). Kadmiumin ja antimonin liukoiset pitoisuudet ovat useassa näytteessä alle alimman määrittäysrajan (<0,02 µg/l). Järvivesien pintavesissä hivenmetallien ja arseenin pitoisuudet ovat lähes samaa tasoa tai hieman suuremmat kuin puro- ja jokivesissä (Taulukko 5, Kuva 27). Sen sijaan alusvesien

pelkistävässä oloissa pitoisuudet ovat hieman suurempia kuin pintavesissä (Kuva 27). Pintavesistä poikkeavia hivenmetallipitoisuuksia on analysoitu Annikanselän lähdevedestä, missä nikkeliä on 5,9 µg/l ja kromia 13,3 µg/l, ja Vajusen vedestä, missä sinkkiä on noin 14 µg/l (Liite 1).

Vesien suolaisuutta on tässä tutkimuksessa arvioitu liukoisten maa-alkali (Ca, Mg) ja alkali (Na, K)-metallipitoisuuksien sekä sulfaatin (SO₄) ja kloridin pitoisuuksien summana (Kuva 28). Muiden anionien (F, Br, I, NO₃, PO₄) pitoisuudet alittavat määritysrajat yksittäisiä näytteitä lukuun ottamatta (Liite 1). Korrelaatioanalyysin mukaan veden sähkönjohtokyky määräytyy ensi sijaisesta edellä mainittujen suolaionien runsauden mukaan (merkittävä korrelaatiokerroin 0,908**, Taulukko 6). Sen sijaan hivenmetallipitoisuuksilla ei ollut vaikutusta veden johtavuuteen (Taulukko 6, Kuva 27).

Eniten suolaioneja on Mataraojan vedessä (suolaionipitoisuus 50–58 mg/l, johtavuus 18–20 mS/m, Kuvat 28–29). Tausta-alueen kohteista (kaivostoiminnan vaikutusalueen ulkopuolella) suurimmat suolaionipitoisuudet esiintyvät Allemaojan vedestä ja Iso-Vaiskolammen alusvedessä (31–35 mg/l, sähkönjohtavuus 13 mS/m, Kuva 28). Muissa pintavesikohteissa suolaionipitoisuudet vaihtelevat välillä 3,2–20,5 mg/l. Ennen Kevitsan kaivostoimintaa, vuonna 1994 Mataraojasta otettujen vesinäytteiden suolaionien pitoisuudet vaihtelivat välillä 16,8–75,8 mg/l (suurin ojan eteläosassa) ja Allemaojan vedessä välillä 29,6–43,5 mg/l. Tulokset osoittavat, että Kevitsan kaivostoiminnan vaikutus Mataraojan eteläosan suolaionipitoisuuteen oli tämän tutkimuksen ajankohtana pienempää kuin mitä se oli ennen kaivostoimintaa malmivyöhykkeen maankäsittelyn aiheuttamana (liittyen maaperän geokemiallisista ominaisuuksiin). Vuoden 1994 tutkimusten suolaionipitoisuuksien kasvu on todennäköisesti aiheutunut malmialueen tutkimusojituksen, metsäojitusten tai muun maanmuokkauksen johdosta, mikä on pintamaan hapettumisen (kuivatuksen) myötä lisännyt maaperästä irtoavien ionien liukoisuutta. Tutkimuskaivanto-ajat oli tehty 1980-luvun puolivälissä ja loppupuolella.

Veden happamuuteen vaikuttaa korrelaatioanalyysin mukaan merkittävästi liukoisen alumiinin pitoisuus: veden pH-arvo laskee, kun liukoisen alumiinin pitoisuus kasvaa (Taulukko 6). Tutkituissa näytteissä rautapitoisuus ei säätele veden pH:ta, mikä yleensä on tunnusomaista varsinkin sulfidipitoisten kaivosalueiden valumavesille. Raudan, mangaanin ja fosforin liukenevuus kasvaa varsinkin järvien alusvesissä, kun veden happipitoisuus ja redox-arvo (hapetus-pelkistyspotentiaali) pienenee. Pelkistävät olot lisäävät veden puskurikykyä (alkaliteettia).

Korrelaatioanalyysi osoitti myös, että Fe- ja Mn-pitoisuuksien kasvaessa lisääntyvät myös Co-, Mo- ja As-pitoisuudet (Taulukko 6). Sen sijaan pH-arvolla, sähkönjohtavuudella ja happipitoisuudelle on näitä heikompi vaikutus liukoisten hivenmetallien tai arseenin esiintymiseen. Alumiinipitoisuuden kasvua seuraa Ni-, Pb- ja Cr-pitoisuuksien kohoaminen, mikä osoittaa näiden hivenmetallien liukenevuuden kytkeytyvän Al-silikaattien rapautumiseen (maannostuminen) ja/tai vanhojen Al-pitoisten rapautumaisiin esiintymiseen (esim. Al-pitoiset savimineraalit ja -saostumat).

Taulukko 6. Järvi-, puro- ja jokivesinäytteiden pH-arvojen, sähkönjohtavuuden (EC), happipitoisuuden, alkaliteetin, Cl-, SO₄-, Fe-, Al-, Mn-, P-pitoisuuksien ja suolaionien (Ca+Mg+Na+K+SO₄+Cl) sekä hivenmetallien (Zn, Cu, Co, Ni, Pb) pitoisuuksien summien väliset korrelaatiokertoimet (SPSS, Pearsonin, 2-suuntainen korrelaatioanalyysi).

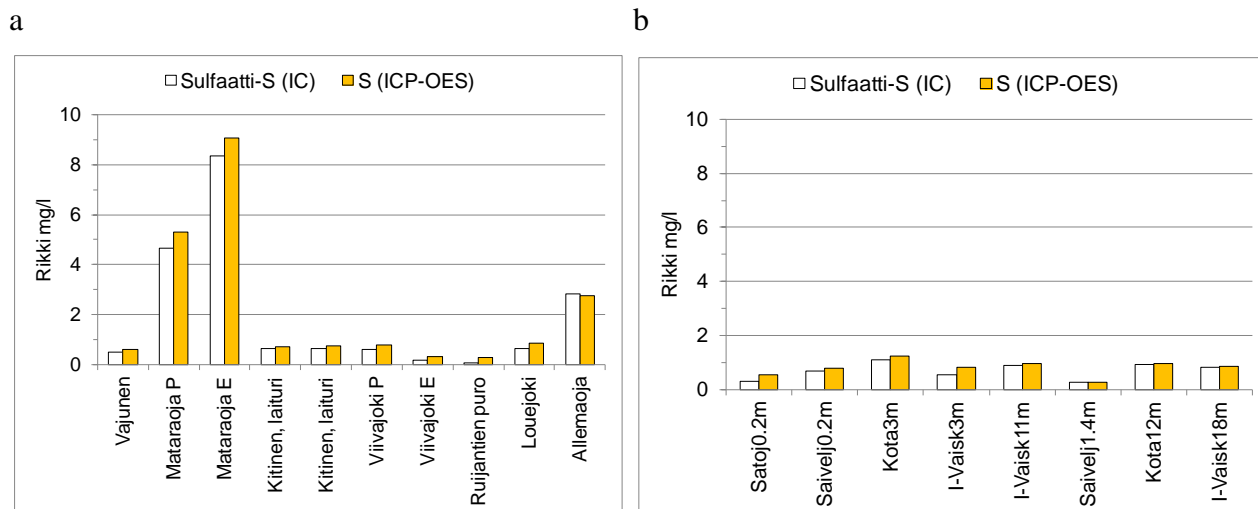
		pH	EC mS/m	Happi mg/l	Alkaliteetti mmol/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	Fe mg/l	Al µg/l	Mn µg/l	P µg/l	(Ca+Mg+Na+K+ SO ₄ +Cl) mg/l	(Zn+Cu+Co+ Ni+Pb) µg/l
pH	Pearson Correlation	1	.440	.439	.096	.200	.441	-.251	-.707**	-.268	-.343	.348	-.134
	Sig. (2-tailed)		.068	.068	.703	.427	.067	.316	.001	.283	.164	.156	.596
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
EC mS/m	Pearson Correlation	.440	1	-.116	.683**	.748**	.804**	-.065	-.327	.059	-.052	.908**	-.166
	Sig. (2-tailed)	.068		.646	.002	.000	.000	.799	.185	.817	.836	.000	.512
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Happi mg/l	Pearson Correlation	.439	-.116	1	-.520*	-.091	.201	-.449	-.231	-.796**	-.633**	-.188	.024
	Sig. (2-tailed)	.068	.646		.027	.720	.424	.061	.357	.000	.005	.456	.926
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Alkaliteetti mmol/l	Pearson Correlation	.096	.683**	-.520*	1	.646**	.391	.568*	-.315	.626**	.578*	.829**	-.047
	Sig. (2-tailed)	.703	.002	.027		.004	.109	.014	.203	.005	.012	.000	.854
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Cl mg/l	Pearson Correlation	.200	.748**	-.091	.646**	1	.611**	.130	-.273	.056	.061	.763**	-.097
	Sig. (2-tailed)	.427	.000	.720	.004		.007	.607	.273	.827	.810	.000	.701
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
SO ₄ mg/l	Pearson Correlation	.441	.804**	.201	.391	.611**	1	-.197	-.288	-.165	-.140	.835**	-.222
	Sig. (2-tailed)	.067	.000	.424	.109	.007		.434	.246	.513	.580	.000	.375
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Fe mg/l	Pearson Correlation	-.251	-.065	-.449	.568*	.130	-.197	1	-.047	.662**	.856**	.216	.023
	Sig. (2-tailed)	.316	.799	.061	.014	.607	.434		.854	.003	.000	.390	.929
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Mn µg/l	Pearson Correlation	-.268	.059	-.796**	.626**	.056	-.165	.662**	-.083	1	.777**	.269	.188
	Sig. (2-tailed)	.283	.817	.000	.005	.827	.513	.003	.744		.000	.281	.454
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

10.3.2 Rikin esiintyminen pintavesissä

Rikki esiintyy pintavesissä sulfaattimuodossa. Ionikromatografialla mitatun sulfaattipitoisuudesta laskettu rikkipitoisuus (SO₄/2,996) on enemmistössä näytteitä hieman pienempi kuin ICP-OES-tekniikalla mitattu rikkipitoisuus (Kuva 30). Tämä voi selittyä osin mittausten menetelmien erilaisesta mittaustarkkuudesta ja osin näytteen kestäväinnillä. Sulfaattimäärityksen näytettä ei kestävoidä maastossa näytteenoton yhteydessä, kun taas ICP-määrittelyn suodatettu näyte kestävoidään heti, mikä estää sulfaattimuotoisen rikin pidättymistä veden kiintoainekseen esim. saostumiin matkalla laboratorioon ja säilytyksen aikana ennen mittausta.

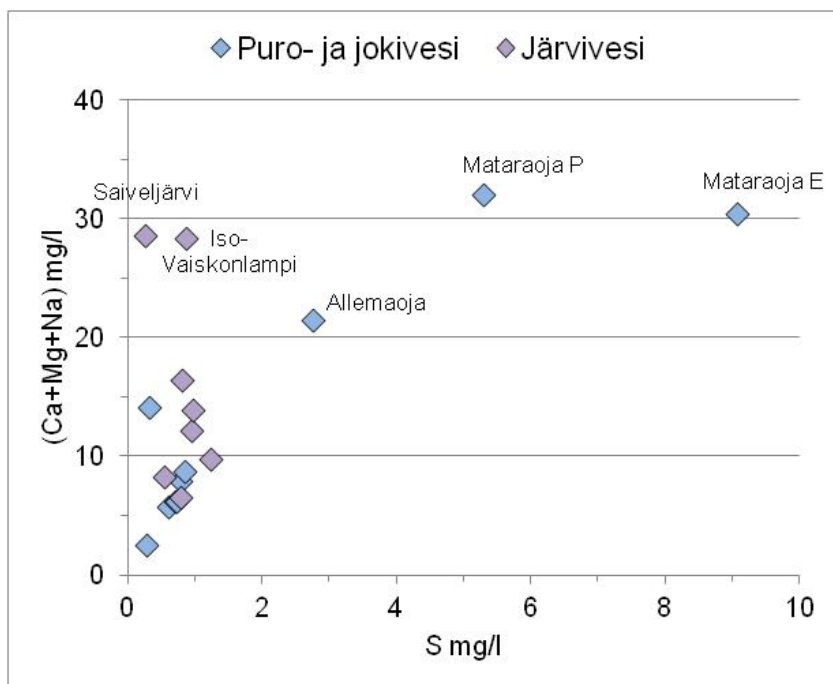


Kuva 29. Sulfaattipitoisuuksista lasketun rikkipitoisuuden (IC-määritys) ja ICP-OES-menetelmällä suodatetusta vesinäytteestä määritetyn liukoisen rikkipitoisuuden jakaumat (a) puro- ja jokivesissä sekä (b) järvivesissä Kevitsan alueella, Sodankylässä. Sulfaatti-S on sulfaattipitoisuus/2,996.

Tutkimusalueen länsiosan puro- ja jokivesien sulfaattipitoisuuden keskiarvo (8,86 mg/l) on nelinkertainen verrattuna itäosan vastaavaan (2,57 mg/l, Taulukko 5). Suurimmat sulfaattipitoisuudet esiintyy Mataraojan eteläosan kohteessa (25 mg/l). Muissa taustaa edustavissa puro- ja jokivesissä sekä Kitisen jokivedessä ne olivat < 2 mg/l. Tästä poikkeuksena on Allemaoja, missä sulfaattipitoisuus on 8,5 mg/l (Kuva 29). Mataraojan sulfaatti- (kuin myös rikki-) pitoisuus ylittää taustapitoisuuden kaksin- tai kolminkertaisesti. Huomionarvoista on, että edellä mainittuja suurempia sulfaattipitoisuuksia (31–36 mg/l) esiintyy Mataraojan eteläosan vedessä ennen kaivostoimintaa mahdollisesti alueen malminetsintätutkimusojituksen ja metsäojituksen aiheuttamana.

Järvivesien sulfaatti- ja rikkipitoisuudet olivat keskimäärin puro- ja jokivesien pitoisuuksia pienempiä. Järvien pintavesien rikkipitoisuuden (ICP-OES) keskiarvo oli 0,84 mg/l (laskettuna sulfaatiksi 2,52 mg/l) ja alusveden 0,68 mg/l (sulfaattina 2,04 mg/l). Sulfaattipitoisuuksien keskiarvoissa vesikerrosten välinen ero oli pienempi, mikä voi selittyä kestäväimättömässä näytteessä kuljetuksen ja säilytyksen aikana tapahtuneesta sulfaatin pidäytymisestä kiintoainekseen (Taulukko 5). Lähdevesien rikkipitoisuuksien keskiarvo oli 0,73 mg/l (laskettuna sulfaatiksi 2,19 mg/l).

Korrelaatioanalyysin mukaan rikkipitoisuus korreloivat positiivisesti sähkönjohtokyvyn, Cl- ja Ca-, Mg- sekä Na-pitoisuuksien kanssa (ei K-pitoisuuden, Taulukko 6). Osassa puro- ja jokivesiä rikkipitoisuus kasvoi Ca-, Mg- ja Na-pitoisuuksien kasvaessa (Kuva 30). Sen sijaan järvivesissä vastaava riippuvuutta ei esiinny. Puro- ja jokivesien parempi korrelaatio voi selittyä rikin lähdeaineksella, mikä voi olla joko kaivostoimintaan liittyvä kemikaalijäämä (Mataraoja) tai maannostumiseen liittyvä rapautumiskemia (Allemaoja). Postglasiaaliajalla maannostumisessa sulfidimineraalit rapautuvat ja sitä seuraava happamuus puskuroituu silikaattimineraalien rapautumisella (liukenee mm. Ca, Mg, Na). Huomionarvoista on, ettei korrelaatioanalyysin perusteella sulfaatin tai liukoisen rikin pitoisuus liity hivenmetallien tai raudan ja mangaanin esiintymiseen.



Kuva 30. Puro-, joki- ja järvivesinäytteiden Ca-, Mg- ja Na-pitoisuuksien summan ja liukoisen rikkipitoisuuden riippuvuussuhde xy-kuvaajana Kevitsan alueella, Sodankylässä.

10.4 Orgaaninen ja mineraalinen purosedimentti

Mineraalinen purosedimentti koostuu pääasiassa silikaattisesta kiintoaineksesta vastaten yleensä paikallista moreenin mineralogista koostumusta (kvartsi, maasälvät, kiilteet ja vaihtelevasti amfiboli- ja/tai pyrokseenimineraaleja). Koska tässä tutkimuksessa mineraalisen purosedimentin kemiallinen koostumus mitattiin kuningasvesiuuttomenetelmällä käyttäen ICP-OES ja MS-tekniikkaa, heijastaa se pääasiassa kuningasveteen liukenevien kiille- ja kloriittimineraalien sekä rauta- ja/tai alumiinipiisaostumien ja muiden sekundaaristen saostumien koostumusta (Dolezal ym. 1968, Räisänen ym. 1992). Näiden lisäksi mineraalisissa purosedimenttinäytteissä on pieniä määriä orgaanista ainesta, yleensä < 5%.

Orgaaninen purosedimentti koostuu silikaattisen kiintoaineksen lisäksi hieno- ja karkearakeisista kasvin- ja eläinjäänteistä, humuspartikkeleista, rauta-, mangaani- ja alumiinisaostumista sekä pieneliöistä. Näytteenottomenetelmästä johtuen orgaaninen purosedimentti edustaa puro- tai jokivedessä kulkeutuvaa sedimenttiainesta, jonka koostumus voi muuttua ajallisesti vesieroosion vaihtelun mukaan vesiuoman eri osissa. Veden mukana kulkeutuvia aineksia sitoutuu sedimenttiainekseen, josta ne voivat olosuhteiden muuttuessa vapautua jälleen veteen (Lahermo ym. 1996). Myös hydrometeorologiset vaihtelut vaikuttavat orgaanisen sedimentin kulkeutumiseen ja kerrostumiseen sekä veden ja sedimentin väliseen ionitasapainotilaan, mistä syystä sedimentin koostumus voi vaihdella vuoden aikojen mukaan (Lestinen 1979).

10.4.1 Purosedimenttien kemiallinen koostumus

Tutkimusalueen orgaaninen purosedimentti sisältää orgaanista ainesta keskimäärin 19,3 % ja mineraalinen purosedimentti 2,6 % (ks. LOI-%, Taulukko 7a). Orgaanisten sedimenttinäytteiden LOI-arvot vaihtelevat huomattavasti enemmän kuin mineraalisten sedimenttinäytteiden, mikä heijastaa

valuma-alueilta puroon ja jokeen kulkeutuvan sedimentin koostumuseroja, mutta myös kohdekohtaisia sedimentin esiintymiseroja kuten Kitisen kohteesta otetun kahden eri näytteen koostumuserot osoittavat (Kuva 31a). Orgaaniset purosedimentit ovat keskimäärin hieman happamampia (pH 5,8) kuin mineraaliset (pH 5,4).

Mineraalisen purosedimentin happoliukoinen aines sisältää orgaanisen aineksen lisäksi lähinnä silikaattiseen mineraaliainekseen sitoutunutta rautaa (2,13 %), alumiinia (0,60 %), magnesiumia (0,58 %) ja kalsiumia (0,19 %) (Taulukko 7a). Orgaanisessa purosedimentissä on mineraalista purosedimenttiä runsaammin rautaa, keskimäärin 4,25 %, alumiinia 0,72 % ja kalsiumia 0,51 %, mutta hieman vähemmän magnesiumia (0,45 %). Mineraalisen sedimentin kaliumpitoisuuden keskiarvo (0,03 %) on hieman pienempi kuin orgaanisessa sedimentissä (0,04 %, Taulukko 7).

Happoliukoisten pääalkuaineiden pitoisuuksien perusteella voidaan arvioida, että Mataraojan pohjoisen ja Kitisen toisen kohteen purosedimentit sisälsivät suhteellisesti enemmän kloriittia kuin biotiittia (Kuva 30a). Arvio perustuu happoliukoisten Mg-, Al- ja K-pitoisuuksien keskinäisiin suhteisiin: jos kloriittia on enemmän kuin K-kiillettä (biotittia), on $Mg > Al$ ja $Mg >> K$ (Räisänen ym. 1995). Mafisen (kloriittirikkaan) kallioperän vaikutus näkyisi myös Viivajoen pohjoisen kohteen mineraalisen purosedimentin koostumuksessa (Kuva 30a), mutta orgaanisen sedimentin koostumus ei puolestaan sisällä vastaavantasoisia Mg/Al- tai Mg/K-jakaumaa.

Taulukko 7. (a) Mineraalisen ja orgaanisen purosedimentin pH-, tuhka- ja LOI-arvojen sekä rikin kokonaispitoisuuksien ja happoliukoisten alkuainepitoisuuksien keskiarvot, minimi- ja maksimipitoisuudet sekä (b) asetaattiliukoiset alkuainepitoisuudet (kemiallinen adsorptiofraktio). Vertailuarvoina on taulukossa a esitetty Pohjois-Suomen Nordkalottialueen ja valtakunnallisen purosedimenttiatlaksen keskiarvopitoisuuksia (Bölviken ym. 1985, Lahermo ym. 1996).

a

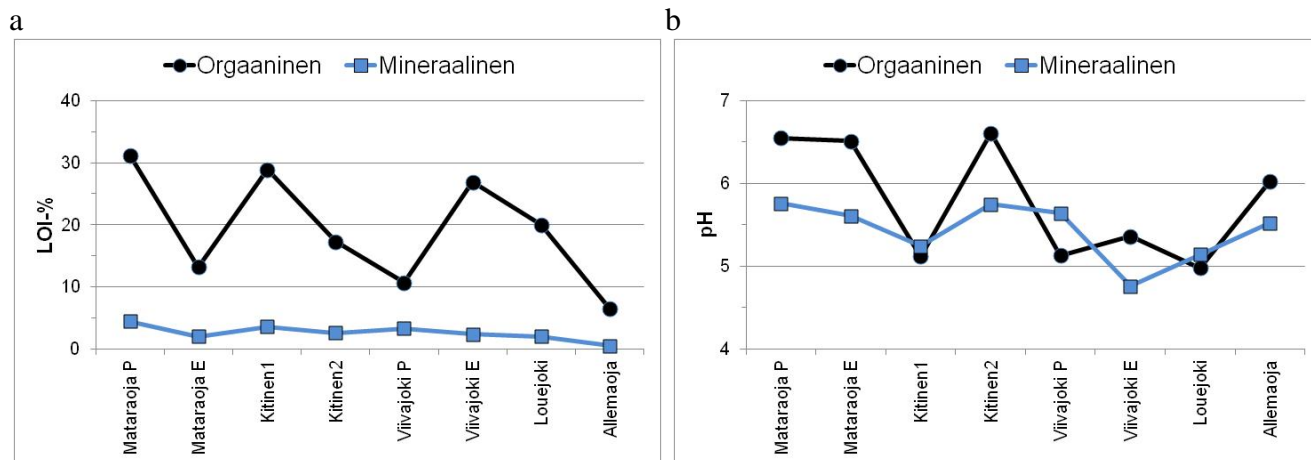
		Mineraalinen purosedimentti				Orgaaninen purosedimentti			
		P-Suomi ¹⁾	keskiarvo	minimi	maksimi	Suomi ²⁾	keskiarvo	minimi	maksimi
pH	pH	-	5.4	4.8	5.8		5.8	4.98	6.61
TUHKA	p-%	-	97	96	100		81	68.8	93.5
LOI	p-%	-	2.61	0.52	4.46		19.3	6.45	31.2
S (leco)	p-%	-	0.02	<0.01	0.03		0.18	0.05	0.32
Happoliukoinen (silikaattinen / oksidinen)									
S	p-%	-	-	-	-	0.18	0.15	0.04	0.23
Fe	p-%	1.14	2.13	0.66	5.94	3.27	4.25	1.68	10.6
Al	p-%	0.63	0.60	0.26	1.64	1.36	0.72	0.47	1.12
Ca	p-%	0.27	0.19	0.14	0.34	0.60	0.51	0.26	0.78
Mg	p-%	0.24	0.58	0.13	1.67	0.43	0.45	0.23	0.97
K	mg/kg	466	302	125	586	2218	386	199	688
Na	mg/kg	-	103	71	162	303	109	85	145
P	mg/kg	439	225	108	463	959	523	218	751
Sr	mg/kg	11	6.8	4.2	10	38	22	9.8	35
Ti	mg/kg	-	375	288	557	1312	506	386	851
Ba	mg/kg	29	63	14	164	111	171	42	346
V	mg/kg	20	28	11	70	47	36	18	74
Cr	mg/kg	19	184	22	598	35	116	42	276
Se	mg/kg	-	0.2	0.1	0.2	1.0	0.6	<0.3	1.2
U	mg/kg	-	0.3	0.1	0.5	4.3	0.6	0.2	1.1
Happoliukoinen (sulfidinen³⁾)									
Mn	mg/kg	239	1550	111	4090	1533	6071	1030	13700
Zn	mg/kg	15	30	8.7	64	58	60	22	98
Ni	mg/kg	8.7	58	10	172	17	55	18	132
Co	mg/kg	5.2	13	3.4	31	14	29	9.3	82
Cu	mg/kg	12	9.5	3.5	26	16	11	4.8	22
As	mg/kg	-	3.1	1.1	7.2	5.4	6.4	3.3	11
Pb	mg/kg	-	1.2	0.6	2.5	10.3	3.9	1.3	11
Cd	mg/kg	-	0.1	0.02	0.1	0.2	0.2	0.1	0.4
Mo	mg/kg	1.5	0.3	0.1	0.8	1.5	0.6	0.2	1.3
¹⁾ Geochemical ATLAS of Northern Fennoscandia 1980-1986, 1:4 000 000, Bölviken et al. 1985									
²⁾ Suomen geokemian ATLAS, Osa 3: ympäristögeokemia- purovedet ja sedimentit, Lahermo et al. 1996									
³⁾ Mn voi olla lähtöisin myös titaniitista									

b

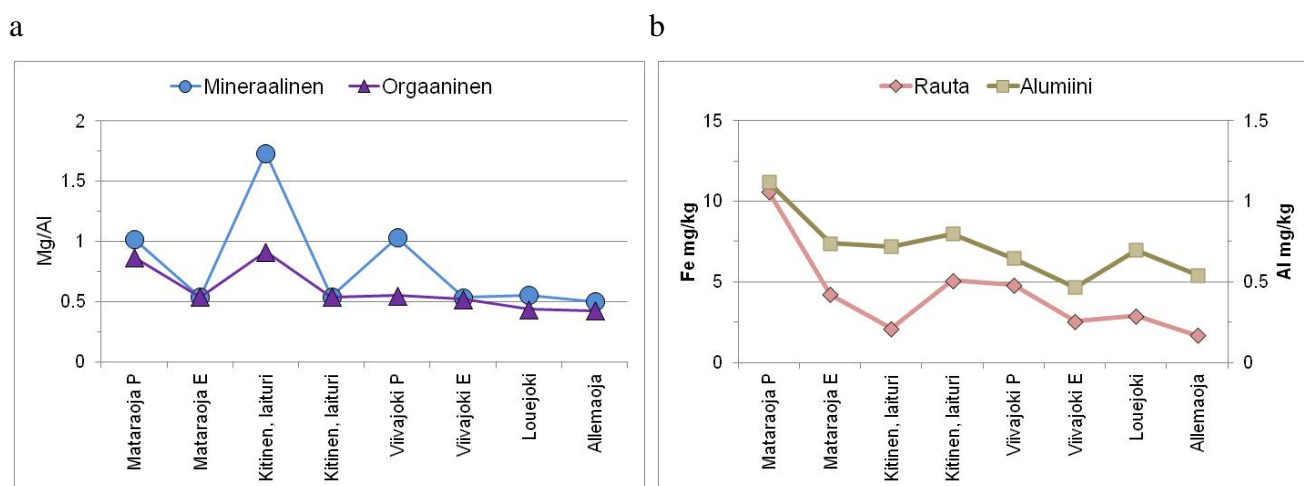
		Mineraalinen purosedimentti			Orgaaninen purosedimentti		
		keskiarvo	minimi	maksimi	keskiarvo	minimi	maksimi
Asetaattiliukoinen							
Ca	mg/kg	565	151	946	3006	937	5030
Mn	mg/kg	190	16	473	2402	200	5280
Fe	mg/kg	371	128	1000	1833	519	3760
Mg	mg/kg	107	36	270	547	177	1480
Al	mg/kg	44	17	105	186	113	249
S	mg/kg	16	5.8	29	114	17	223
K	mg/kg	13	<10	20	96	33	176
Ba	mg/kg	18	6.1	37	50	19	96
Na	mg/kg	6.9	4.9	10	24	10	43
Zn	mg/kg	3.6	0.8	5.7	15	3.4	27
P	mg/kg	4.7	<2	22	12	4.9	21
Sr	mg/kg	2.6	0.7	4.2	11	3.7	22
Ni	mg/kg	1.3	0.1	2.3	5.7	0.9	13
Co	mg/kg	0.5	<0.1	1.5	5.2	0.3	15
Cr	mg/kg	0.8	<0.1	4.8	1.3	0.2	5.5
V	mg/kg	<0.1	<0.1	1.8	0.6	<0.1	3.0
Ti	mg/kg	<0.1	<0.1	0.9	0.4	<0.1	1.8
Cu	mg/kg	<0.1	<0.1	1.2	0.3	<0.1	0.8
Pb	mg/kg	<0.5	<0.5	-	0.7	<0.5	2.2
Cd	mg/kg	<0.05	<0.05	-	0.1	<0.05	0.2
As	mg/kg	<0.5	<0.5	-	<0.5	<0.5	-
Mo	mg/kg	<0.2	<0.2	-	<0.2	<0.2	-

Molemmat purosedimenttityypit sisältävät runsaasti happoliukoista rautaa suhteessa alumiiniin (Kuva 32b), mikä viittaa sedimenttien sisältävän myös rautaoksideja (esim. hematitiittiä) ja -oksihydroksideja (esim. lepidokrosiittiä, götiittiä, ferrihydriittiä), mutta vähän alumiinisaostumamineraaleja (Kuva 32b). Happoliukoisesta alumiinin osuus on lähes kymmenesosa rautapitoisuudesta. Asetaattiliukoissa pitoisuuksissa ero on lähes samansuuruinen (Taulukko 7b).

Mineraalisen ja orgaanisen sedimentin koostumuserot ilmenevät myös happoliukoisesta kalsiumin, mangaanin ja joidenkin hivenmetallien sekä arseenin pitoisuuksissa (Taulukko 7a). Mineraalisen purosedimentin Ca- ja Mn-pitoisuudet ovat keskimäärin 1860 mg/kg ja 1550 mg/kg. Orgaanisen sedimentin Ca-pitoisuus on lähes kolminkertainen (5140 mg/kg) ja Mn-pitoisuus lähes nelinkertainen (6070 mg/kg). Nikkeliä ja kuparia lukuun ottamatta muiden hivenmetallien (Zn, Co, Pb, Cd, Mo, U) ja arseenin pitoisuudet ovat lähes kaksinkertaiset orgaanisessa kuin mineraalisessa purosedimentissä (Taulukko 7a). Verrattuna Pohjois-Suomen keskiarvopitoisuuksiin Kevitsan alueen mineraalisten purosedimenttien Mn-, Cr- ja Ni-pitoisuudet ovat kymmenkertaiset, kun taas kalsiumin ja muiden hivenmetallien osalta pitoisuudet ovat joko hieman suurempia tai lähes samaa luokkaa. Alueellisia keskiarvoja pienempiä pitoisuuksia esiintyy vanadiinilla, kuparilla, lyijyllä ja molybdeenilla.

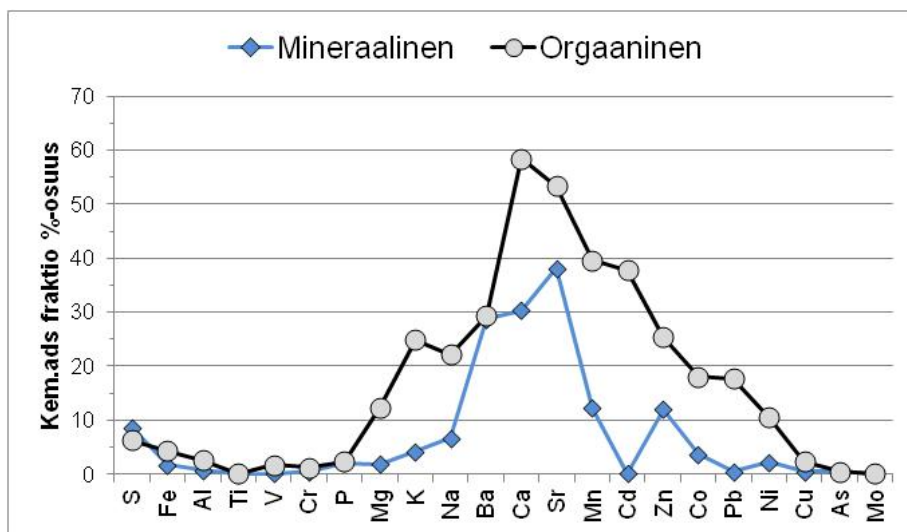


Kuva 31. Orgaanisen ja mineraalisen purosedimentin (a) hehkutushäviön (LOI-%) ja (b) pH(CaCl₂)-arvojen jakautumat näytteenottokohteissa Kevitsan alueella, Sodankylässä.



Kuva 32. (a) Happoliukoisten Mg- ja Al-pitoisuuksien suhteen jakautuminen purosedimenteissä ja (b) happoliukoisten Fe- ja Al-pitoisuuksien jakautuminen orgaanisessa purosedimentissä Kevitsan alueella, Sodankylässä.

Mineraalisen purosedimentin happoliukoista alkuaineista keskimäärin 4 % ja orgaanisen purosedimentin osalta 12 % on sitoutuneena kemialliseen adsorptiofraktioon (asetaatiliukoisia). Kemiallinen adsorptiofraktio sisältää kiintoaineksen pintaan sitoutuneita ja useimmiten ioninvaihtokykyisiä alkuaineita, jotka voivat liueta veteen puro-/jokiympäristön pH- ja redox-arvojen muuttuessa. Kemiallinen adsorptiofraktio koostuu pääasiassa pääalkuaineista (Ca, Mg, Fe, Al, K ja Na) ja mangaanista (96–97 %). Rikin osuus on hieman yli 1% (1,2–1,4 %) ja hivenmetallien osuus on alle 0,5 % (Kuva 32). Huomionarvoista on, että muihin alkuaineisiin verrattuna suurin osa happoliukoisesta kalsiumista ja mangaanista (< 50 %) on kemiallisesti adsorboitunut, kun taas rauta ja alumiini ovat lähes täysin niukkaliukoisia, silikaatteihin ja kiteisiin saostumamineraaleihin sitoutuneita (> 95 %, Kuva 33). Kemiallisesti adsorboituneiden hivenmetallien (Cd, Zn, Co, Pb ja Ni) osuus niiden happoliukoista pitoisuuksista vaihtelee alle 5 %:sta noin 40 %:iin.



Kuva 33. Kemiallisesti adsorboituneiden alkuaineiden keskiarvopitoisuuksien prosenttiosuudet niiden happoliukoisista keskiarvopitoisuuksista mineraalisessa (sininen viiva, salmiakkikuvio) ja orgaanisessa purosedimentissä (musta viiva, harmaan ympyrä) Kevitsan alueella, Sodankylässä. Rikin osuus on laskettu rikin kokonaispitoisuudesta (LECO-rikkimääritys).

Pearssonin korrelaatioanalyysin perusteella purosedimenttien pH-arvoon vaikuttaa enemmän mangaanin kuin raudan kemiallinen käyttäytyminen, kun taas orgaanisen aineksen määrällä ei olisi tässä aineistossa vaikutusta sedimentin happamuuteen (Taulukko 8). Sen sijaan useimpien hivenmetallien pitoisuudet kasvavat sedimentin orgaanisen aineksen määrän kasvaessa. Hivenalkuaineiden esiintyminen voi olla kytköksessä myös rautasaostumien runsauteen ja osa voi olla sidoksissa Al-silikaatteihin (esim. sulkeumina). Muista hivenmetalleista poiketen Cr-pitoisuus ei korreloi lainkaan happoliukoisesta raudan vaan alumiinin pitoisuuden kanssa. Tämä viittaisi kromin olevan sitoutuneena Al-silikaatteihin (kloriitti, kiille). Osa happoliukoisesta kromista voi olla sitoutuneena osittain rapautuneisiin oksidimineraaleihin.

Taulukko 8. Purosedimentinäytteiden (a) happoliukoisten, valikoitujen alkuainepitoisuuksien, pH- ja LOI-arvojen ja (b) asetaattiliukoisten (Ac-liuk) alkuainepitoisuuksien keskinäiset korrelaatiot (SPSS-Pearsson-, 2-suuntainen korrelaatioanalyysi). N = 16 on näytteiden lukumäärä.

a

		pH	Fe mg/kg	Al mg/kg	Mn mg/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Mo mg/kg	Pb mg/kg	Se mg/kg	U mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Zn mg/kg	S mg/kg	LOI %
pH	Pearson Correlation	1	,598*	,391	,848**	,567*	,007	,066	-,371	,579*	,387	,589*	-,012	,298	,223	,440	,243	,218
	Sig. (2-tailed)		,014	,134	,000	,022	,981	,808	,157	,030	,138	,016	,964	,263	,405	,088	,365	,418
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	14	16	16	16	16	16	16	16	16
Fe mg/kg	Pearson Correlation	,598*	1	,755**	,771**	,959**	,283	,273	-,055	,535*	-,139	,957**	,391	,697**	,613*	,802**	,414	,548*
	Sig. (2-tailed)	,014		,001	,000	,000	,288	,306	,841	,049	,607	,000	,134	,003	,012	,000	,111	,028
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	14	16	16	16	16	16	16	16	16
Al mg/kg	Pearson Correlation	,391	,755**	1	,470	,732**	,196	,200	,015	,285	-,270	,680**	,736**	,921**	,829**	,724**	,189	,301
	Sig. (2-tailed)	,134	,001		,066	,001	,468	,457	,956	,323	,312	,004	,001	,000	,000	,002	,483	,257
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	14	16	16	16	16	16	16	16	16
Mn mg/kg	Pearson Correlation	,848**	,771**	,470	1	,767**	,320	,264	-,122	,772**	,375	,779**	,031	,434	,323	,725**	,476	,492
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,066		,001	,227	,323	,653	,001	,153	,000	,908	,093	,222	,001	,062	,053
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	14	16	16	16	16	16	16	16	16
LOI %	Pearson Correlation	,218	,548*	,301	,492	,635**	,907**	,441	,696**	,711**	,125	,616*	,029	,414	,208	,794**	,911**	1
	Sig. (2-tailed)	,418	,028	,257	,053	,008	,000	,088	,003	,004	,644	,011	,915	,111	,439	,000	,000	
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	14	16	16	16	16	16	16	16	16

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

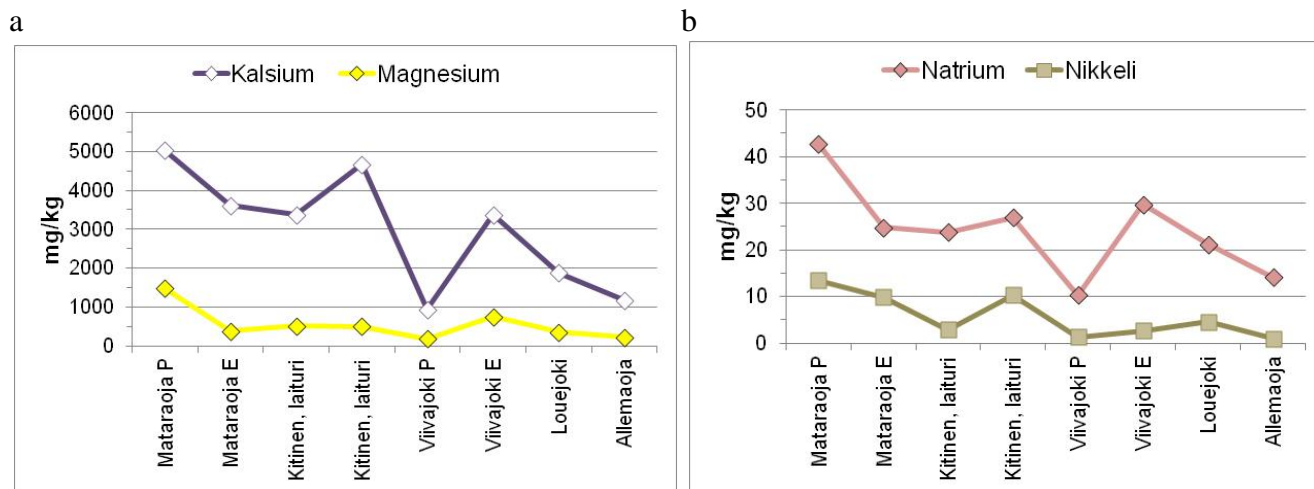
b

		pH	LOI %	S Ac- liuk	Fe Ac- liuk	Mn Ac- liuk	Al Ac- liuk	Ca Ac- liuk	Mg Ac- liuk	K Ac- liuk	Na Ac- liuk	Ba Ac- liuk	Sr Ac- liuk	P Ac- liuk	Zn Ac- liuk	Ni Ac- liuk	Co Ac- liuk	Pb Ac- liuk	Cd Ac- liuk	Cr Ac- liuk	Cu Ac- liuk
pH	Pearson Correlation	1	,218	,330	,336	,801**	,031	,614*	,473	,512*	,519*	,730**	,655**	-,262	,237	,747**	,510**	-,192	,089	-,292	,234
	Sig. (2-tailed)		,418	,212	,203	,000	,909	,011	,064	,043	,039	,001	,006	,327	,376	,001	,044	,477	,742	,273	,384
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
LOI %	Pearson Correlation	,218	1	,747**	,858**	,572**	,800**	,870**	,861**	,851**	,924**	,679**	,707**	,643**	,804**	,634**	,742**	,689**	,495	,312	,244
	Sig. (2-tailed)	,418		,001	,000	,021	,000	,000	,000	,000	,000	,004	,002	,007	,000	,008	,001	,003	,051	,240	,362
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
S Ac- liuk	Pearson Correlation	,330	,747**	1	,878**	,662**	,714**	,750**	,608**	,718**	,788**	,628**	,680**	,541**	,833**	,727**	,782**	,380	,286	,015	,157
	Sig. (2-tailed)	,212	,001		,000	,005	,002	,001	,012	,002	,000	,009	,004	,030	,000	,001	,000	,146	,283	,957	,560
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Fe Ac- liuk	Pearson Correlation	,336	,858**	,878**	1	,631**	,694**	,781**	,861**	,759**	,890**	,688**	,583**	,484	,718**	,753**	,918**	,425	,182	,071	,329
	Sig. (2-tailed)	,203	,000	,000		,009	,003	,000	,000	,001	,000	,003	,018	,057	,002	,001	,000	,100	,500	,794	,214
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Mn Ac- liuk	Pearson Correlation	,801**	,572**	,662**	,631**	1	,419	,879**	,689**	,728**	,792**	,943**	,896**	,134	,625**	,969**	,790**	,141	,360	-,057	,379
	Sig. (2-tailed)	,000	,021	,005	,009		,106	,000	,003	,001	,000	,000	,000	,620	,010	,000	,000	,602	,171	,833	,148
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Al Ac- liuk	Pearson Correlation	,031	,800**	,714**	,694**	,419	1	,639**	,549**	,619**	,692**	,474	,554**	,670**	,699**	,460	,577**	,532**	,450	,388	,182
	Sig. (2-tailed)	,909	,000	,002	,003	,106		,008	,028	,011	,003	,064	,026	,004	,003	,073	,019	,034	,080	,138	,500
	N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tulokset eivät osoittaneet Kevitsan kaivosalueen valumavesien vaikutusta purosedimentin kemialliseen laatuun. Kaivosvesivaikutuksen indikaattorina voidaan pitää kemikaalijäämiä, kohonneita Ca-, Mg- ja Na-pitoisuuksia (kalkki, Na-ksantaatti) ja malmikiveen liittyvistä hivenmetalleista kohonneita Ni-pitoisuuksia (Kuva 34).

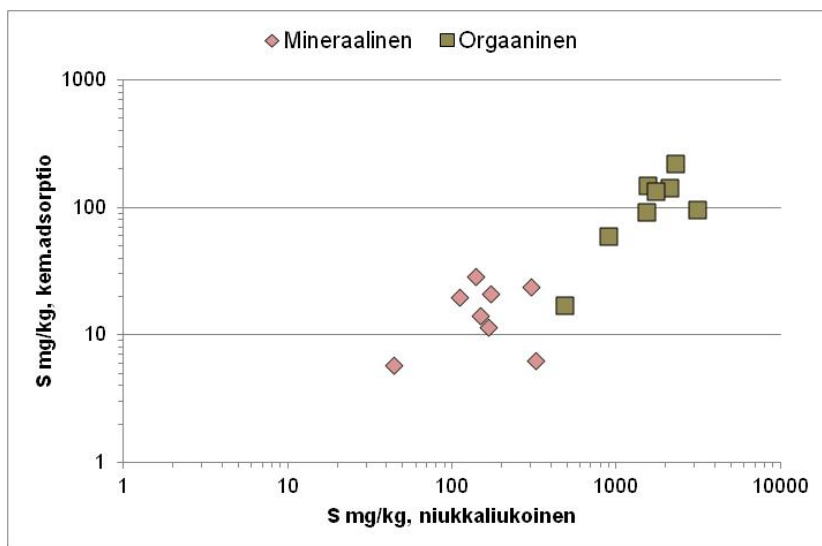


Kuva 34. Asetaattiliukoisten (a) Ca- ja Mg- sekä (b) Na- ja Ni-pitoisuuksien jakautuminen tutkimuskohteissa Kevitsan alueella, Sodankylässä.

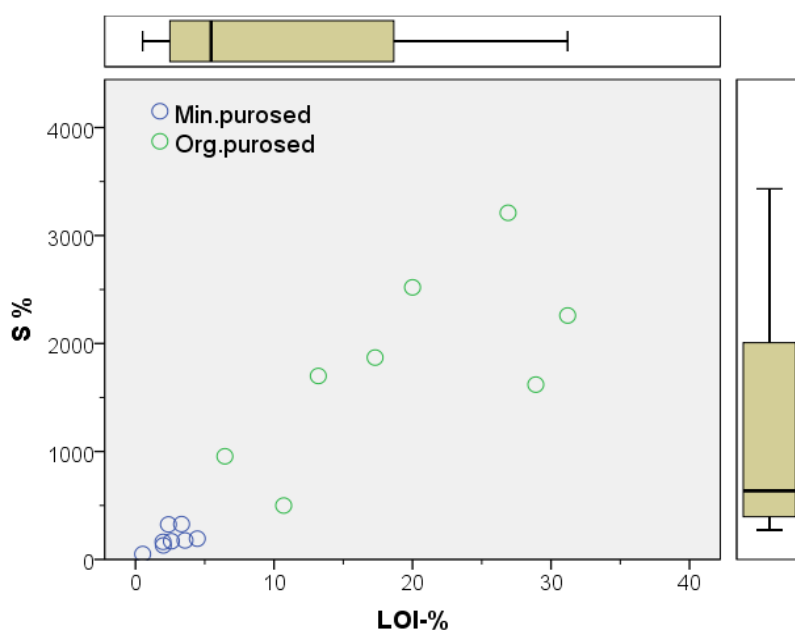
10.4.2 Rikin esiintyminen purosedimenteissä

Mineraalisen purosedimentin rikin kokonaispitoisuus on keskimäärin kymmenesosaa pienempi (0,02 %) kuin orgaanisen purosedimentin rikkipitoisuus (0,18 %, Taulukko 7a). Suurin rikin kokonaispitoisuus (0,32 %) on eteläisessä Viivajoen orgaanisessa sedimentissä ja pienin (<0,01 %) Allemaojan mineraalisessa sedimentissä. Asetaattiliukoisen rikin pitoisuus on joko kymmenes- tai sadasosa kokonaisrikkipitoisuudesta (Kuva 35).

Rikin kokonaispitoisuus korreloi merkitsevästi LOI-arvoa, mikä viittaisi rikin olevan suurelta osin ravinnelähtöistä. Rikkipitoisuus kasvaa orgaanisen aineksen kasvaessa purosedimentissä (Kuva 36). Sen sijaan rikkipitoisuudella ei ole vaikutusta sedimentin happamuuteen. Sulfidisista hivenmetalleista ainoastaan sinkin ja lyijyn happoliukoiset pitoisuudet korreloivat rikin kokonaispitoisuuden kanssa, kun taas nikkelin, koboltin, lyijyn tai arseenin happoliukoisilla pitoisuuksilla ei ole korrelaatioanalyysin mukaan yhteyttä rikin kokonaispitoisuuteen.



Kuva 35. Purosedimenttinäytteiden kemiallisesti adsorboituneen, asetaattiliukoisen rikkipitoisuuden ja rikin kokonaispitoisuuksien välinen suhde xy-diagrammina esitettynä Kevitsan alueella, Sodankylässä.



Kuva 36. Rikin kokonaispitoisuuden ja LOI-arvojen jakautuminen mineraalisissa ja orgaanisissa purosedimenttinäytteissä Kevitsan alueella, Sodankylässä.

Purosedimentin rikistä suurin osa on niukkaliukoista, mikä viittaa rikin esiintyvän kiteisissä mineraaleissa tai ravinnerikkinä orgaanisessa aineksessa. Happoliukoisten pitoisuuksien korrelaatioanalyysituloksista poiketen asetaattiliukoisten alkuaineiden korrelaatioanalyysi osoittaa, että osassa näytekohteita adsorboituneen (asetaatiliukoisen) rikin kasvaessa myös hivenmetallin adsorboituminen kiintoaineksen pintaan kasvaisi (Taulukko 8). Rikkiä ja hivenmetalleja on adsorboituneena niin orgaaniseen ainekseen kuin myös rauta-, mangaani- ja alumiinisaostumiin (positiiviset korrelaatiot, Taulukko 8). Tuloksista ei voi kuitenkaan päätellä, onko asetaattiliukoinen rikki lähtöisin pintaveden mukana liukoisenä vai kiintoainekseen sitoutuneesta rikistä. Myöskään tulokset eivät osoita Kevitsan kaivosalueen

sulfaattipitoisten valumavesien vaikutusta Mataraojan eteläisen kohteen ja Kitisen purosedimenttien asetaattiliukoiseen rikkipitoisuuteen.

10.5 Järvisedimentit

10.5.1 Järvisedimenttien sedimentaationopeus ja ikä

^{137}Cs -ikämäärittysten mukaan kolmen järven, Kotajärven, Saiveljärven ja Iso-Vaiskonlammen vuotuinen sedimentaatio on vaihdellut välillä 1,1–1,7 mm. ^{210}Pb -ikämäärittysten perusteella sedimentaatiovaihtelu on ollut tätä suurempi 0,5–2,8 mm (Taulukko 9, Liite 2). Ajoitusten perusteella Iso-Vaiskonlammessa 12 cm paksuinen sedimenttikerros olisi muodostunut keskimäärin 60 vuodessa, Saiveljärvessä vajaassa 90 vuodessa ja Kotajärvessä vajaassa 160 vuodessa (Taulukko 9). ^{210}Pb -määrittysten mukaan sedimentaationopeus on ollut tasaisinta Iso-Vaiskonlammessa, kun taas Kotajärven ja Saiveljärven sedimentin pintaosan lyijyisotooppiipitoisuus vaihteli. Lyijyisotooppijakaumiin perustuvat ajoitus poikkeaa hieman ^{137}Cs -määrittäisiin perustuvasta ajoituksesta (Liite 2). Ajoitusmenetelmien vastaavuutta heikentää ja siten sedimentaationopeuksien vaihtelua lisää sedimentin erodoituminen ja uudelleen sedimentoituminen (Mäkinen ym. 2010, Mäkinen & Ojala 2013). Myös valuma-alueen talousmetsän käsittelyn muutokset (aukkohakkuu, maanmuokkaus, ojitus) ovat voineet lisätä sedimentaatiota.

Taulukko 9. Kotajärven, Saiveljärven ja Iso-Vaiskonlammen järvisedimenttikerrosten ikä ja vuotuinen sedimentaatio ^{210}Pb ja ^{137}Cs -isotooppimäärittysten mukaan. Isotooppimääritykset on tehty Säteilyselvityskeskityksen (STUK) laboratoriossa Rovaniemellä. Tutkija Antti Kallio (STUK) on vastannut ajoituksen tulkinnasta.

	Depth	Sedimentaatio-kerrosten ikä	Sedimentatio-nopeus (^{210}Pb)	Sedimentatio-nopeus (^{137}Cs)
Kotajärvi	0-4 cm	1984-2013	0.9 mm/y	
	4-8 cm	1937-1984	2.8 mm/y	1.1 mm/y
	8-12 cm	1857-1937	0.5 mm/y	
Saiveljärvi	0-4 cm	1984-2013		
	4-8 cm	1955-1984	1.4 mm/y	1.3 mm/y
	8-12 cm	1926-1955		
Iso-Vaiskonlampi	0-4 cm	1993-2013		
	4-8 cm	1973-1993	2 mm/y	1.7 mm/y
	8-12 cm	1953-1973		

10.5.2 Järvisedimenttien fysikaalinen ja kemiallinen koostumus

Järvisedimenttikerrosten orgaanisen hiilen pitoisuus vaihtelee välillä 18–35 %, kokonaistyyppipitoisuus välillä 0,9–3,0 % ja happoliukoinen rikkipitoisuus 0,3–1,0 % (Taulukko 10). Hiilen, typen ja rikin pitoisuudet pienenevät hieman sedimenttisarjassa pinnasta alaspäin Saiveljärveä lukuun ottamatta. Saiveljärven sedimenttisarjassa syvyydellä 4-8 cm rikin pitoisuus on lähes kolmasosaa pienempi kuin alimmassa näytekeroosessa (8-12 cm) tai pintakerroosessa (0–4 cm, Taulukko 10).

Sedimenttikerrosten huokosvesistä maastossa mitatut pH-arvot ovat lähes kaksi pH yksikköä suuremmat (7,1–7,7) kuin bariumkloridiuutteesta mitattu pH (5,0–5,6). Uutteiden pienemmät pH-arvot ovat seurausta

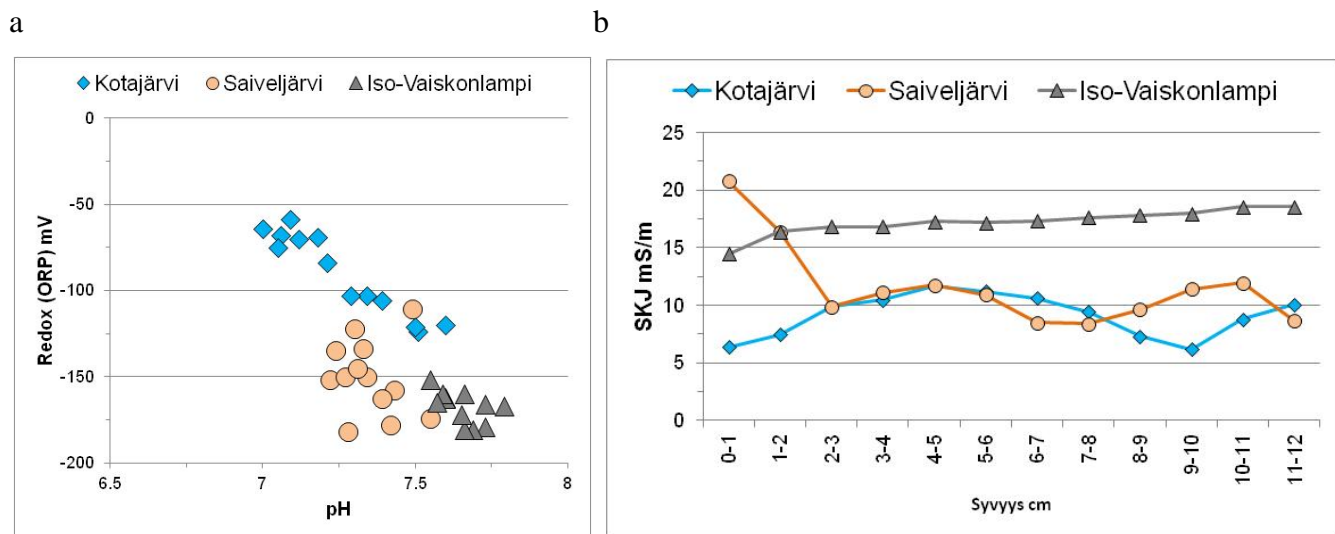
suolauutteeseen liukenevien alkuaineiden hydrolysointireaktioista, joissa liukenee happamuutta lisääviä protoneja. Tällaisia alkuaineita ovat mm. rauta, mangaani ja alumiini (ks. myös kappale 10.3).

Redox-arvojen mukaan sedimenttien kerrostumisolot ovat kaikissa järvissä pelkistäviä (Taulukko 10). Alhaisimmat redox-arvot (< -150 mV) mitattiin Iso-Vaiskonlammen sedimenttinäytteistä ja osasta Saiveljärven sedimenttinäytteitä, kun taas Kotajärven sedimenttinäytteiden redox-arvot ovat kolmasosaa korkeammat. Kotajärven sedimenttisarjan redox-arvot laskevat alemmista kerroksista pintaan päin, kun muissa järvissä alempien ja pintakerrosten redox-erot ovat pieniä (Kuva 37a).

Saiveljärven sedimenttisarjassa sähkönjohtokyky kasvaa kaksinkertaiseksi aivan pintakerroksessa (0–2 cm) alempiin kerroksiin verrattuna, kun taas Iso-Vaiskonlammessa ja Kotajärvessä pintakerroksen sähkönjohtavuus on vain hieman pienempi kuin alempien sedimenttikerrosten (Kuva 37b). Sentin paksuisista sedimenttinäytteistä mitatut johtavuudet poikkeavat jonkin verran 4 cm:n näytteistä mitatuista johtavuusarvoista (vrt. Kuva 37b ja Taulukko 10). Kemian analyysihin otetuissa näytteissä on keskimäärin alemmat johtavuusluvut kuin sentin viipalenäytteistä. Kemian analyysihin otetut näytesarjat on otettu hieman eri kohteesta kuin ikämäärytyksiin erotetut 1 cm:n viipalenäytteet, joista myös mitattiin sähkönjohtavuudet.

Taulukko 10. Kotajärven, Saiveljärven ja Iso-Vaiskonlammen järvisedimenttikerroksinäytteiden (0–4 cm, 4–8 cm, 8–12 cm) fysikaaliset ominaisuudet ja kokonaishiili- ja kokonaistyyppipitoisuudet Kevitsan alueella, Sodankylässä.

		Kotajärvi			Saiveljärvi			Iso-Vaiskonlampi		
		0-4cm	4-8 cm	8-12 cm	0-4cm	4-8 cm	8-12 cm	0-4cm	4-8 cm	8-12 cm
Lämpötila		5,2	5,3	5,4	6,7	6,6	5,3	3,8	3,8	3,9
pH (maasto)		7,5	7,3	7,1	7,4	7,3	7,4	7,7	7,6	7,7
pH (BaCl₂)		5,0	5,1	5,0	5,1	5,1	5,1	5,5	5,5	5,6
Redox (maasto)	mV	-118	-90	-68	-150	-147	-146	-177	-165	-163
SKJ	mS/m	8,56	10,8	8,11	14,6	9,89	10,4	16,2	17,4	18,2
LOI	%	61	61	64	48	29	44	39	39	39
TUHKA	%	39	40	37	52	71	56	61	61	62
C	%	33	33	35	27	18	25	19	20	20
N	%	2,07	2,02	2,14	2,95	2,07	2,49	0,93	0,99	0,90
S	%	1,00	0,91	0,76	0,45	0,32	0,49	0,78	0,80	0,64



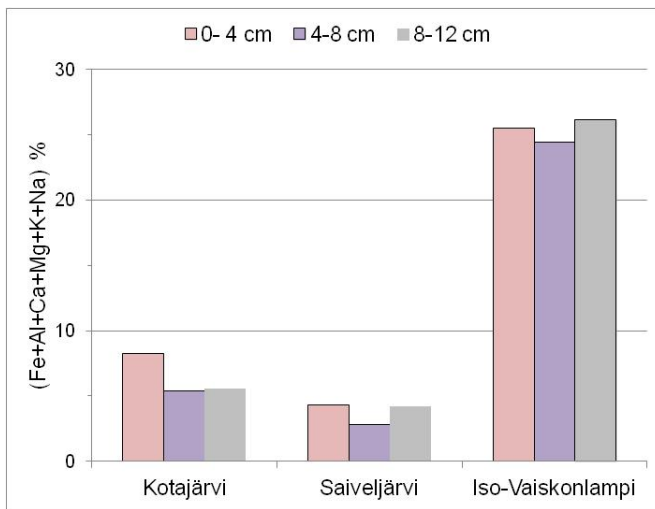
Kuva 37. (a) pH- ja redox-arvojen sekä (b) sähkönjohtokyvyn (SKJ mS/m) jakautuminen Sodankylän Kotajärven, Saiveljärven ja Iso-Vaiskonlammen sedimenteissä.

Happoliukoisia pääalkuaineita (Fe, Al, Ca, Mg, K, Na) on eniten Iso-Vaiskonlammen sedimenteissä ja vähiten Saiveljärven sedimenttinäytteissä (Taulukko 11, Kuva 38a). Iso-Vaiskonlammen sedimenttien rautapitoisuus on kymmenkertainen (22,3–24,2 %) ja kalsiumpitoisuus puolta tai kolmasosaa suurempi (1,0–1,2 %) kuin Saiveljärven sedimenteissä (Fe: 1,8–3,0 %, Ca: 0,4–0,6 %). Kotajärven sedimenttien Fe-pitoisuudet ovat 3,4–6,1 % ja Ca-pitoisuudet 0,8–1,0 %. Happoliukoista fosforia on myös eniten Iso-Vaiskonlammen sedimenttinäytteissä (3400–830 mg/kg). Kotajärven ja Saiveljärven sedimenttisarjojen pintakerroksessa fosforia on 1090 mg/kg ja 1540 mg/kg pitoisuuksien ollessa alemmissa kerroksissa näitä pienempiä (620–1000 mg/kg).

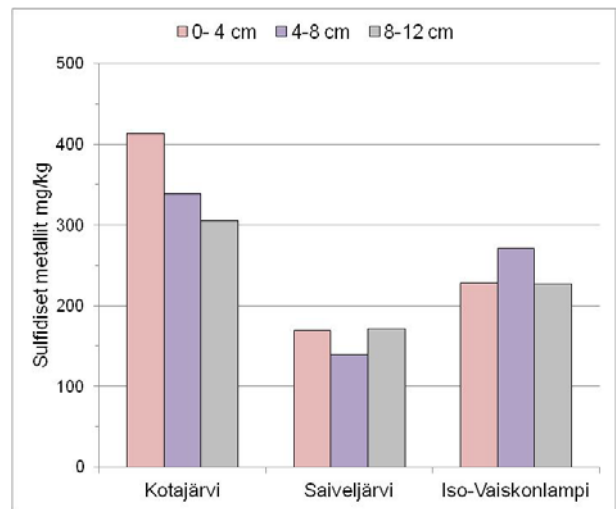
Hivenmetallien (Mn, Zn, Co, Cu, Cr, Ni, Pb, Mo, Cd) jakautuminen järvikohteittain poikkeaa pääalkuaineiden jakautumisesta (Kuva 37). Sulfidisia metalleja (Zn, Ni, Co, Cu, Pb) ja kromia on eniten Kotajärvellä ja vähiten Saiveljärvellä (Kuva 39). Mangaania on eniten Iso-Vaiskonlammen sedimenteissä ja vähiten Saiveljärven sedimenteissä (Taulukko 11b). Ainoastaan Kotajärven pintasedimenttikerrokseen (0–4 cm) on kertynyt sulfidisia hivenmetalleja enemmän kuin alempiin sedimenttikerrokseen (Kuva 38b), kun muissa järvissä hivenmetallipitoisuuksissa kerrosten väliset erot ovat pieniä.

Kaikissa kolmessa järvessä fosforia on eniten 4 cm:n pintakerroksessa kuin sen alapuolisissa sedimenttikerroksissa (Taulukko 11). Fosforin ja metallien kertyminen sedimentin pintaan on seurausta valuma-alueella tapahtuneista maankäyttömuutoksista. Neljän senttimetrin pintakerros edustaa iältään Kotajärvessä ja Saiveljärvessä 1980-luvun ja Iso-Vaiskonlamassa 1990-luvun puolivälin jälkeistä ajanjaksoa. Alemmista kerroksista selkeästi erottuva fosforin ja metallien pintakertymä viittaa myös Kotajärven sedimentin olevan vähemmän sekoittunutta (vähän eroosiota/uudelleen sedimentoitunutta) kuin Saiveljärven ja Iso-Vaiskonlammen pintasedimenttien.

a

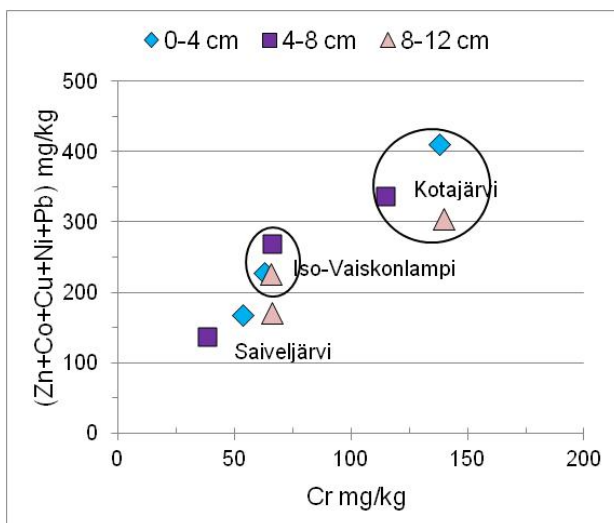


b

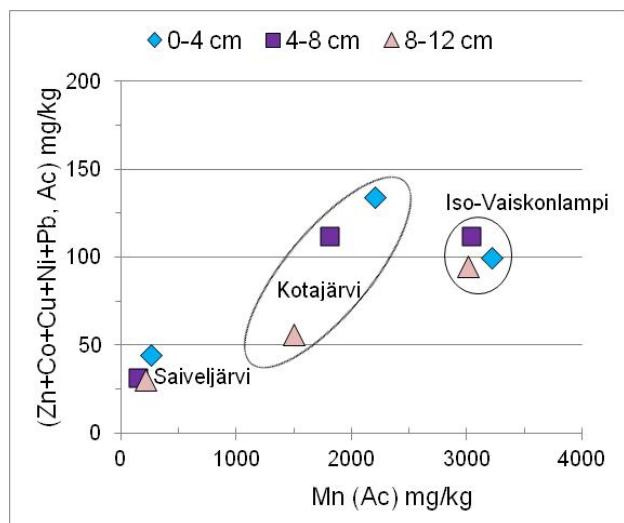


Kuva 38. (a) Pääalkuaineiden ja (b) sulfidisten hivenmetallien (Zn, Ni, Co, Pb, Cu, Mo, Cd) happoliukoisten pitoisuuksien summat Sodankylän Kotajärven, Saiveljärven ja Iso-Vaiskonlammen sedimenttinäytteissä (0–4 cm, 4–8 cm, 8–12 cm).

a



b



Kuva 39. (a) Happoliukoisten sulfidisten metallipitoisuuksien (Zn, Co, Cu, Ni, Pb) summan ja kromipitoisuuden jakautuminen sekä (b) asetaattiliukoisten sulfidisten metallipitoisuuksien ja mangaanipitoisuuksien jakautuminen Sodankylän Kotajärven, Saiveljärven ja Iso-Vaiskonlammen sedimentteissä.

Sedimenttien kemiallinen adsorptiofraktio, joka kuvaa asetaattiliukoisten, amorfisten (ei-kiteisten) saostumien, kompleksisidoksisten ja ioninvaihtokykyisten alkuaineiden pitoisuuksia, sisältää suurimmaksi osaksi rautaa ja kalsiumia (Taulukko 11). Happoliukoisesta raudasta vajaa puolet tai kolmasosa on kemiallisessa adsorptiofraktiossa eli amorfisena saostumana tai sitoutuneena orgaanisiin komplekseihin. Happoliukoisesta kalsiumista on ≥ 80 % joko saostumana ja kemiallisesti adsorboituneena. Sen sijaan alumiinista vain 10 % on kemiallisessa adsorptiofraktiossa.

Sulfidisista metalleista mangaani on suurimmaksi osaksi (80–100 %) kemiallisessa adsorptiofraktiossa, mikä merkitsee sen esiintyvän ei-kiteisenä Mn-saostumana (Taulukko 11). Muiden sulfidisten hivenmetallien osuus kemiallisessa adsorptiofraktiossa vaihtelee 5–70 %. Eniten kemiallisesti adsorboituneita sulfidisia metalleja on Kotajärven ja Iso-Vaiskonlammen sedimenteissä (Kuva 39b). Fysikaalisesti adsorboituneita, vesiliukoisia hivenmetalleja oli < 10 %. Poikkeuksena on mangaani, jota oli 20–50 % happoliukoisesta pitoisuudesta vesiliukoisena.

Tutkittujen kolmen järven sedimentit koostuvat suurimmaksi osaksi mineraalisesta aineksesta. Mineraalisen sedimenttiaineksen osuus on suurin Iso-Vaiskonlammessa, noin 80 % ja pienin alle 70 % Kotajärvessä. Mineraalinen aines koostuu pääasiassa silikaattisista mineraaleista (happoliukoiset kloriitti ja K-kiilteet), suola- ja saostumamineraaleista. Sedimenttien negatiiviset redox-arvot (< -100 mV) viittaisivat rauta- ja mahdollisesti muiden metallisulfidien esiintymiseen. Pearsonin korrelaatioanalyysi ei kuitenkaan osoita raudan ja rikin välistä riippuvuussuhdetta, mikä viittaisi raudan olevan sitoutuneena enimmäkseen saostumiin ja silikaattiseen ainekseen. Rauta ei korreloi myöskään orgaanisen aineksen kanssa, mikä puoltaisi rautasaostumien olevan pääasiassa epäorgaanisia. Sen sijaan alumiinista osa olisi sitoutuneena orgaaniseen ainekseen (Al-C korrelaatiokerroin 0,718* 0,05 taso) ja loput silikaatteihin. Fosfori on sedimenteissä suurimmaksi osaksi niukkaliukoisena (happoliukoisena). Ainoastaan Iso-Vaiskonlammen sedimenteissä on merkittäviä määriä (21–23 %) kemiallisesti adsorboitunutta fosforia, mikä viittaisi sen olleen sitoutuneena joko rautasaostumiin tai orgaaniseen ainekseen.

Järvikohteen kallioperän vaikutus voidaan erottaa selkeimmin vain Kotajärven sedimenteistä. Sulfidisten hivenmetallien ja kromin (myös Mg) kertymät Kotajärven sedimentin pintaosassa viittaisivat metallisulfidipitoisten liuskekivien mutta myös kromipitoisen mafisen kallioperän vaikutukseen. Vaikka Saiveljärven valuma-alueen kallioperä koostuu ultramafisista ja mafisista kivilajeista, ei niiden vaikutus erotu sedimenttien geokemiallisesta koostumuksesta tässä tutkimuksessa käytettyjen analyysimenetelmien perusteella. Saiveljärven sedimenttien geokemia ei myöskään osoittanut kaivostoiminnan vaikutusta. Iso-Vaiskonlammen sedimenttien koostumus viittaisi sen valuma-alueella esiintyvän karbonaattipitoista kivilajia. Sen sijaan sedimentin koostumus ei osoittanut selkeitä viitteitä mafisiin vulkaniitteihin tai syväkiviin.

Taulukko 11. Sodankylän Kevitsan alueen Kotajärven, Saiveljärven ja Iso-Vaiskonlammen sedimenttinäytteiden happoliukoiset alkuainepitoisuudet ja (b) alkuaineiden liukoisuusprosentit asetaatti- (Ac-liuk %) ja BaCl₂-uuttoliuokseen (BaCl₂-liuk %). Asetaattiliukoinen pitoisuus kuvaa kemiallisesti adsorboituneen tai ei-kiteisiin saostumiin sitoutuneen alkuaineen osuutta ja BaCl₂-liukoinen pitoisuus fysikaalisesti adsorboituneen (vesiliukoisen) alkuaineen osuutta.

		Kotajärvi			Saiveljärvi			Iso-Vaiskonlampi		
		0-4 cm	4-8 cm	8-12 cm	0-4 cm	4-8 cm	8-12 cm	0-4 cm	4-8 cm	8-12 cm
Pääalkuaineet ja fosfori										
Fe	mg/kg	60700	34100	34100	29700	18200	27000	233000	223000	242000
Ac-liuk	%	46	56	36	36	33	32	48	48	53
BaCl ₂ -liuk	%	1	2	1	1	4	1	1	1	1
Al	mg/kg	10400	8950	8930	5370	3980	6750	8700	8760	7390
Ac-liuk	%	15	15	13	8	7	5	10	9	7
BaCl ₂ -liuk	%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ca	mg/kg	8660	7900	9850	5930	4170	6130	11400	10200	10400
Ac-liuk	%	84	102	84	90	79	79	82	81	81
BaCl ₂ -liuk	%	42	50	41	51	55	48	31	33	31
K	mg/kg	603	446	460	577	255	296	374	356	302
Ac-liuk	%	37	30	26	79	53	38	55	47	41
BaCl ₂ -liuk	%	22	14	15	58	35	22	23	19	17
Mg	mg/kg	2280	2190	2100	1610	1240	1730	1600	1620	1520
Ac-liuk	%	28	32	33	46	39	43	65	58	61
BaCl ₂ -liuk	%	19	21	22	34	31	32	44	39	40
Na	mg/kg	98.5	75.3	79.4	105	85.4	87.2	98.6	86	82.1
Ac-liuk	%	58	79	69	65	39	45	92	90	95
BaCl ₂ -liuk	%	49	57	57	53	30	39	72	75	74
P	mg/kg	1090	613	856	1540	1000	775	3830	3400	3530
Ac-liuk	%	5	3	<1	10	5	4	21	22	23
BaCl ₂ -liuk	%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

jatkuu

		Kotajärvi			Saiveljärvi			Iso-Vaiskonlampi		
		0-4 cm	4-8 cm	8-12 cm	0-4 cm	4-8 cm	8-12 cm	0-4 cm	4-8 cm	8-12 cm
Rikki ja sulfidiset hivenalkuaineet										
S	mg/kg	9960	9080	7620	4500	3240	4870	7780	7950	6410
Ac-liuk	%	11	10	5	4	4	4	6	6	5
BaCl ₂ -liuk	%	3	3	1	1	1	<1	2	2	1
Mn	mg/kg	2370	1550	1600	290	165	238	4130	3960	3840
Ac-liuk	%	93	100	94	90	92	89	78	77	78
BaCl ₂ -liuk	%	41	48	37	35	43	38	20	20	19
Zn	mg/kg	169	133	124	73,5	71,5	75,5	92,9	113	93
Ac-liuk	%	5	30	17	34	23	21	35	28	26
BaCl ₂ -liuk	%	3	3	1	3	2	1	1	<1	<1
Co	mg/kg	33,5	36,5	25,7	8,56	8,57	11,8	57,5	70	64,4
Ac-liuk	%	41	36	20	23	14	17	60	61	61
BaCl ₂ -liuk	%	10	6	3	5	3	3	6	6	5
Cu	mg/kg	41,6	29,9	28,4	13,3	6,58	11	19,7	19,8	14,9
BaCl ₂ -liuk ¹⁾	%	5	7	8	24	63	30	5	7	8
Ni	mg/kg	127	99,7	94	56,4	37,3	64,1	36,3	36,2	28,4
Ac-liuk	%	37	32	15	18	17	12	57	57	60
BaCl ₂ -liuk	%	5	4	1	2	2	1	3	3	2
Pb	mg/kg	39,9	38,1	31,7	16,3	13,7	8,22	20,5	30,4	24,7
Ac-liuk	%	52	67	50	44	55	49	56	57	58
BaCl ₂ -liuk	%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
As	mg/kg	7	6	6	<5	<5	<5	12	9	14
Cd	mg/kg	0,86	0,77	0,61	0,51	0,58	0,42	0,41	0,50	0,42
Mo	mg/kg	1,06	1,28	0,92	0,39	0,31	0,45	0,80	1,23	0,84
Muut hivenalkuaineet										
Cr	mg/kg	138,0	115,0	140,0	53,4	38,4	66,0	63,0	66,1	65,5
Ac-liuk	%	12	8	5	2	2	2	25	25	29
V	mg/kg	44,9	35,7	27,2	17,1	14,9	20,8	42,3	41,3	39,5
Ac-liuk	%	31	34	23	25	24	23	36	36	36
Se	mg/kg	4,4	4,2	4,0	1,4	1,0	1,5	6,5	6,0	6,0
Th	mg/kg	1,08	0,91	0,86	0,67	0,49	0,83	0,88	0,99	0,78
U	mg/kg	0,53	0,52	0,71	0,22	0,17	0,25	2,31	2,53	2,75

¹⁾Kuparin liukenevuus asetaattiuutossa heikompi (<2 % happoliukoisuudesta) kuin BaCl₂-uutossa

10.5.3 Rikin esiintyminen sedimenttinäytteissä

Happoliukaisen rikin pitoisuudet vaihtelevat välillä 0,3–1,0 %. Eniten rikkiä on Kotajärven ja vähiten Saiveljärven sedimenttinäytteissä (Taulukko 10). Suurin osa rikistä on niukkaliukoista (happoliukoista). Rikin osuus kemiallisessa adsorptiofraktiossa on alle 10 % ja fysikaalisessa adsorptiofraktiossa (vesiliukoista) vain ≤ 3 % (Taulukko 11).

Korrelaatioanalyysitulosten perusteella rikin esiintyminen seuraa alumiinia (happoliukoiset Al-S korrelaatio 0,971** 0,01 taso, Ac-liukoiset ks. Taulukko 12). Myös kemiallisesti adsorboitunut rikki korreloi positiivisesti alumiinin kanssa. Lisäksi rikillä on positiiviset, merkittävät korrelaatiokertoimet useimpien sulfidisten metallien (Cu, Ni, Pb ja Zn) kanssa, muttei esimerkiksi mangaanin tai koboltin

kanssa. Nikkeliä lukuun ottamatta sulussa mainittujen metallien happoliukoiset pitoisuudet korreloivat myös happoliukoisen rikin kanssa. Tästä huolimatta metallisulfidien esiintyminen on epätodennäköistä. Tätä päätelmää puoltaa myös se seikka, ettei rikki korreloi raudan kanssa lainkaan. Oletettavaa on, että rikin ja useiden sulfidisten metallien liukenevuutta ja pidättymistä sedimenttiin säätelee samanlaiset tekijät ja tässä alumiinin kemiallisella käyttäytymisellä esim. happamuuden säätelijänä voi olla merkittävä rooli. Korrelaatioanalyysin tulos voi viitata rikin kulkeutuneen järvisedimentteihin valuma-alueiden metsämaannosten (podsoli-) rapautumistuotteiden mukana (alumiinisilikaattien rapautuminen sulfidien hapettuessa). Rikin ja raudan välisen yhteyden selvittäminen edellyttäisi sedimenttien mineralogista tarkastelua, mitä ei valittu kustannussyistä tähän tutkimukseen.

Taulukko 12. Sodankylän Kotajärven, Saiveljärven ja Iso-Vaiskonlammen sedimenttinäytteiden pH- ja redox-arvojen sekä asetaattiliukoisten rikki-, alumiini-, rauta-, kalsium- ja hivenmetallipitoisuuksien korrelaatiokertoimet.

		pH (maasto)	Redox (maasto)	Al (Ac) mg/kg	As (Ac) mg/kg	Ca (Ac) mg/kg	Co (Ac) mg/kg	Cr (Ac) mg/kg	Cu (Ac) mg/kg	Fe (Ac) mg/kg	Mn (Ac) mg/kg	Ni (Ac) mg/kg	S (Ac) mg/kg	Pb (Ac) mg/kg	Zn (Ac) mg/kg
pH (maasto)	Pearson Correlation	1	-,828**	-,183	,336	,142	,499	,416	-,379	,539	,360	,122	-,014	-,144	,279
	Sig. (2-tailed)		,006	,637	,377	,716	,172	,265	,315	,134	,342	,755	,971	,712	,468
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Redox (maasto)	Pearson Correlation	-,828**	1	,569	-,432	-,037	-,623	-,338	,749*	-,709*	-,334	,266	,384	,390	,145
	Sig. (2-tailed)	,006		,110	,246	,925	,073	,373	,020	,033	,379	,490	,307	,300	,711
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
S (Ac) mg/kg	Pearson Correlation	-,014	,384	,916**	,314	,489	,184	,544	,885**	,024	,461	,985**	1	,866**	,952**
	Sig. (2-tailed)	,971	,307	,001	,411	,182	,635	,130	,002	,951	,212	,000		,003	,000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Al (Ac) mg/kg	Pearson Correlation	-,183	,569	1	,261	,608	,106	,460	,895**	-,052	,448	,878**	,916**	,866**	,834**
	Sig. (2-tailed)	,637	,110		,497	,082	,786	,212	,001	,895	,226	,002	,001	,003	,005
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Fe (Ac) mg/kg	Pearson Correlation	,539	-,709*	-,052	,929**	,659	,973**	,827**	-,368	1	,868**	,112	,024	,160	,138
	Sig. (2-tailed)	,134	,033	,895	,000	,053	,000	,006	,330		,002	,775	,951	,680	,724
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Ca (Ac) mg/kg	Pearson Correlation	,142	-,037	,608	,835**	1	,719*	,803**	,276	,659	,893**	,499	,489	,641	,488
	Sig. (2-tailed)	,716	,925	,082	,005		,029	,009	,472	,053	,001	,171	,182	,063	,183
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

**merkitsevä korrelaatiotasolla 0,01(2-suuntainen)

*merkitsevä korrelaatiotasolla 0,05(2-suuntainen)

10.6 Sammalet

Ilmaperäinen kokonaislaskeuma jaetaan märkä- ja kuivalaskeumaksi. Kuivalaskeuman muodostavat muun muassa mineraali- ja siitepöly sekä nokihiukkaset. Kuivalaskeuman määrää kokonaislaskeumasta voidaan arvioida vertaamalla avoimelle paikalle sataneen veden ja kuivalaskeumaa keränneen tiheään puuston läpi sataneen (lehvästösadanta) veden ainespitoisuuksia. Märkälaskeuman muodostavat lumi- ja vesisade. Sadevesi syntyy pintavesistä, maasta ja kasvillisuudesta haihtuvasta ja tiivistyvistä vedestä. Sadeveden syntypaikka vaikuttaa sadeveden koostumukseen, sillä ilmassa sadeveteen liukenee ja

sekoittuu mekaanisesti mineraalipölyä, kaasuja, merestä kulkeutuvia aerosoleja sekä kasvillisuudesta ja maaperästä haihtuvia aineita.

Rikin ja typen oksidit ovat Suomessa merkittävimpiä saastepäästöjä. Ilmassa rikkidioksidi muuttuu osittain sulfaatiksi ja reagoidessaan veden kanssa rikkihapoksi. Kaasumaiset rikin oksidit ovat lyhytkestoisia ja kohdistuvat päästölähteiden lähistölle (Pihlström & Myllyvirta 2001.)

Sammaleita on käytetty ilmateitse tapahtuvien kuiva- ja märkälasseumien ympäristötutkimuksissa 1960-luvulta lähtien (Rühling & Tyler 1968), sillä ne ottavat ravinteensa pääasiassa suoraan sadevedestä ja ilman kautta kulkeutuvista partikkeleista. Sodankylän Kevitsan alueella vallitsevat tuulensuunnat ovat lounaasta koilliseen ja etelästä pohjoiseen (<http://tuuliatlas.fmi.fi/>). Vuosittainen sadanta vaihteli Lapin ilmatieteen tutkimuskeskuksen Sodankylän mittausasemalla keskimäärin vajaasta 500 mm:stä hieman yli 600 mm:iin tarkasteluajanjaksona elokuusta 2009 elokuuhun 2012 (Ilmatieteenlaitos – vuositilastot <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>).

Tässä tutkimuksessa kerättiin kerrossammalnäytteitä (*Hylocomium splendens*) mahdollisimman aukeilta paikoilta, pyrkien minimoimaan lehvästösadannan vaikutukset (Suomen Standardisoimisliitto SFS 1990). Eniten latvuksista huuhtoutuu puiden aineenvaihduntaan osallistuvaa kaliumia ja mangaania (Helmisaari 1990). Rikkipitoisuudet lehvästösadannassa ovat lähes kaksinkertaiset ja natriumpitoisuudet lähes puolitoistakertaiset avonaisen paikan sadeveteen verrattuna (Kallio & Kauppi 1990, Lepistö & Seuna 1990).

Leco-rikkianalysaattorilla (Labtium Oy:n menetelmä 810L) määritetyn rikin pitoisuudet vaihtelevat eri kohteista otetuissa näytteissä 0,07–0,11 % välillä, suurimman pitoisuuden ollessa Louejoen varren näytepisteessä 11, noin 8 kilometrin päässä Kevitsan kaivosalueesta itään. Rikkipitoisuuksien vaihtelut ovat otetuissa näytteissä pieniä, sekä keskiarvo että mediaani ovat 0,8 % (800 mg/kg). Louejoen kohteen kasvillisuus on rehevää ja näytteet on otettu lähempää puustoa ja pensaita kuin mitä SFS:n 1990 - standardissa suositellaan. Vuosina 1988 ja 1990 Rovaniemeltä kerättyjen kerrossammalnäytteiden samalla menetelmällä analysoidut rikkipitoisuudet vaihtelivat kaupungin alueella 0,6–0,16 % välillä (Äyräs & Niskavaara 1992). Suurimmat pitoisuudet mitattiin lämpövoimaloiden vaikutusalueilta, jopa 10 kilometrin päähän. Kolarin Hannukaisen kaivoksen YVA-selvityksen mukaan (Northland Mines Oy 2013) kerrossammalista analysoidut rikkimäärät ovat Sahavaaran ja Tapulin tausta-alueilla 0,6 % luokkaa ja kaivosalueella 0,7 % luokkaa. Kevitsan alueen kaikissa, myös taustaa edustavissa kohteissa pitoisuudet ovat korkeammat ja erot selittyvät kallioperän eroavuuksilla. Hannukaisen malmin rikkipitoisuudet ovat alhaisemmat kuin Kevitsan.

Pearssonin korrelaatioanalyysin perusteella rikkianalysaattorilla määritetyn rikin arvoon vaikuttavat merkittävästi bariumin, kalsiumin, kaliumin, mangaanin, strontiumin ja sinkin esiintyminen ja käyttäytyminen (Taulukko 13). Näissä alkuaineissa korkeimmat pitoisuudet esiintyvät juuri Louejoen läheisyydestä kerätyistä sammalnäytteistä. Varsinkin kaliumin, mangaanin, kalsiumin ja magnesiumin selkeästi muita korkeammat pitoisuudet indikoivat lehvästösadannan vaikutuksia ja niiden lisäksi mm. barium kuuluu kasvin rakenneosiin (Äyräs & Niskavaara 1992). Strontium ja barium voivat kalsiumin tavoin olla myös maasälpäiden rapautumisessa syntyneitä alkuaineita ja kulkeutua kasvien ravinnonoton ja tippuveden kautta sammaliin. Kabata-Pendiaksen (2001) mukaan ne eivät kuitenkaan korvaa kalsiumia hivenaineena. Strontium esiintyy kasveissa pääosin oksissa ja kaarnassa.

Noin puolentoista kilometrin päässä kaivosalueen rajalta koilliseen ja pohjoiseen, kohteista 10 ja 9 otetuissa sammalnäytteissä rikin pitoisuudet ovat samaa tasoa tai alhaisempi kuin loppuissa näytepisteissä (lukuun ottamatta kohdetta 13). Näytteestä 10 mitattiin muita kohteita selkeästi korkeampia Co-, Cr-, Ni- ja Cu-pitoisuuksia, koboltin ja nikkelin ollessa yli kolminkertainen taustanäytteeksi luokiteltavien sammalnäytteiden mediaaniin nähden. Näytteessä ei ole havaittavissa samoja lehvästösadannan vaikutuksen merkkejä kuin kohteessa 11, jossa ei puolestaan näy kohonneita Co-, Cr-, Ni- ja Cu-

pitoisuuksia, vaikka kallioperä on samaa Koitelaisen kerrosintruusiota reunustavia sarvivälkegabroa ja granofyyriä. Kohonneet pitoisuudet esiintyvät päätuulensuuntaan otetuissa näytteissä, joten voidaan päätellä niiden olevan kaivoksen avolouhoksen ja sivukivialueen sekä metsätöiden pölyämisen vaikutusta. Näytteet edustavat sammalien kolmen vuoden kasvukautta 2009–2012. Vuosina 1988 ja 1990 Rovaniemeltä kerättyjen kerrossammalnäytteiden Co-, Cr-, Ni-, Cu-, Fe-, Mg-, Pb- ja Al-pitoisuuksien vaihteluvälit sekä Hannukaisen kaivoksen, Sahavaaran ja Tapulin alueen mediaanit on esitetty taulukossa 14 yhdessä näytekohteiden 9, 10 ja 11 pitoisuuksien kanssa (Äyräs & Niskavaara 1992, Northland Mines Oy 2013).

Kevitsan taustanäytteiden mediaanit ovat lyijyä lukuun ottamatta suuremmat kuin Sahavaaran ja Tapulin taustapitoisuudet ja koboltin, kromin, nikkelin, kuparin ja magnesiumin osalta suuremmat kuin Hannukaisen sammalnäytteiden pitoisuudet. Sen sijaan kaikki pitoisuudet, myös koholla olevat, ovat Rovaniemen kaupungin alueella tehdyn tutkimuksen tuloksiin verrattuna alhaiset (Taulukko 14).

Taulukko 13. Sammalnäytteiden 9, 10 ja 11 Co-, Cr-, Ni-, Cu-, Fe-, Mg-, Pb-, Al-, Ba-, Ca-, K-, Mn-, Sr-, Zn- ja S-pitoisuudet sekä rikin kanssa merkittävästi 0,01 tasolla korreloivat alkuaineet (**). Keltaisella merkitty aineiston korkein pitoisuus ja harmaalla toiseksi korkein pitoisuus.

	Ba mg/kg	Ca mg/kg	K mg/kg	Mn mg/kg	Sr mg/kg	Zn mg/kg	S %	S mg/kg
EN_RAPI-2012-1.1	11.7	2200	3830	418	4.1	24.0	0.075	750
EN_RAPI-2012-6.1	16.2	2800	4190	409	6.3	28.1	0.082	820
EN_RAPI-2012-9.1	17.4	2720	4060	466	3.4	25.3	0.079	790
EN_RAPI-2012-10.1	11.4	2590	4610	436	4.3	26.9	0.081	810
EN_RAPI-2012-11.1	42,1**	4320**	5220**	909**	11,3**	41,6**	0.105	1050
Koko aineiston keskiarvo	17.8	2884	4248	488	5.6	28.2	0.082	820
** Pearsonin korrelaatio, 0,01								

Taulukko 14. Co-, Cr-, Ni-, Cu-, Fe-, Mg-, Pb- ja Al-pitoisuudet tutkimusalueen kohteissa sekä Rovaniemen 1988 ja 1990 tutkimuksissa (Äyräs & Niskavaara 1992) ja Hannukaisen kaivoksella ja tausta-alueilla (Northland Mines Oy 2013).

	Co mg/kg	Cr mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mg mg/kg	Pb mg/kg	Al mg/kg
EN_RAPI-2012-9.1	0.51	2.5	4.0	8.1	280	989	1.09	161
EN_RAPI-2012-10.1	0.70	2.8	5.2	9.4	341	960	1.02	196
EN_RAPI-2012-11.1	0.24	<1	1.8	5.1	137	1240	1.00	96
Taustanäytteiden mediaani	0.21	1.2	1.5	4.4	175	1070	1.02	139
Rovaniemi 1988 vaihteluväli	0.17-1.43	1.46-18.1	2.44-19.8	5.64-12.8	269-2640	637-2080	5.97-64.8	221-1740
Rovaniemi 1990 vaihteluväli	0.16-5.04	1.45-431	1.96-14.5	3.69-13.8	237-5770	593-5130	3.35-34	223-3240
Hannukainen mediaani	0.16	0.63	1.30	4.00	190	920	2	150
Sahavaara ja Tapuli tausta mediaani	0.12	0.53	0.88	3.00	110	970	1.4	100

11 TULOSTEN TULKINTA

11.1 Rikki ympäristövaikutusten ja happamoitumisriskin arvioinnissa

Rikin kiertoon, kuten sulfidien hapettumiseen, haponmuodostukseen ja neutralointikapasiteettiin sekä ympäröivien vesien pH-arvoon vaikuttavat monet geologiset ja ympäristölliset tekijät sekä kaivosympäristössä monet kaivostekniset ratkaisut. Sulfidien hapettuminen ei aina tarkoita happamien valumavesien muodostumista, mikäli itse kohteessa tai sen ylä- tai alavirralla on tarpeeksi happamuutta

puskuroivia mineraaleja helposti liukenevassa muodossa, kuten Mataraojan tutkimuskohteessa. Mikäli alueen haponmuodostus on kuitenkin neutralointikapasiteettia suurempi ja saatavilla riittävästi vettä yhdisteiden kuljettamiseen, muodostuu alueella happamia valumavesiä. Happaman valuman syntymiseen voi mennä useita vuosia. Rapautuneet yhdisteet voivat saostua sekundäärimineraaleiksi pian rapautumisen jälkeen esimerkiksi jo jätealueelle, ja vasta olosuhteiden tarpeeksi muuttuessa aiheuttaa ympäristöön happamia valumavesiä (Price 2009). Tämän tutkimuksen maaperänäytteiden pH-arvojen jakaumista ei ole tunnistettavissa sulfidipitoisten pölyjen happamoittavaa vaikutusta, vaan humusten alhaiset pH-pitoisuudet ovat seurausta luontaisesta orgaanisten happoyhdisteiden vaikutuksesta, joka heijastuu myös mineraalimaakerrosten kemiallisiin ominaisuuksiin (Lundström ym. 2000).

Vaikka kasvit kestävät korkeitakin sulfaattipitoisuuksia maaperässä, voi rikkivetypitoinen maaperä aiheuttaa niihin vaurioita. Ympäristölainsäädäntö ei aseta yksittäistä raja-arvoa kaivoksen rikkipäästöille, vaan se määritetään lupaehdoissa erikseen. Lupaehdot perustuvat kuitenkin siihen, että kaivokselta pois juoksettavien vesien pitoisuudet pitää saattaa haitta-aineiden osalta sellaiseksi, että niillä ei ole haitallisia vaikutuksia alueen vesistöön. Valtioneuvoston asetuksessa vesienhoidon järjestämisessä (Vna 341/2009 asetuksen muutos) annetaan pohjaveden sulfaattipitoisuuden ympäristölaatu normiksi (EQS) 150 mg/l, mikä on alhaisempi kuin sosiaali- ja terveysministeriön talousveden laatusuosituksiksi antama sulfaatin enimmäisraja-arvo 250 mg/l (STM 442/2014). Suosituksessa huomiona on kuitenkin, että vesijohtomateriaalin syöpymisen ehkäisemiseksi sulfaattipitoisuuden tulisi olla alle 150 mg/l. Rikille ei ole annettu PIMA-asetuksessa raja- tai ohjearvoja, mutta rikin ympäristövaikutusten arvioinnissa ja maaperän pilaantuneisuuden tutkimisessa käytetään sulfidisen rikin osalta yleisesti kaivannaisjäteasetuksen liitteen pitoisuusraja-arvoa 0,1 %:a tutkitusta aineksesta (Vna 190/2013). Asetuksen antamaa rikin raja-arvoa käytetään myös yhtenä osatekijänä kaivannaisjätteen luokittelussa pysyväksi. Oleellista vaikutusten arvioinnissa on myös selvittää alueen rikkipitoisuuden tausta-arvot (sekä maaperästä että pohja- ja pintavesistä). Viranomaisten myöntämässä ympäristöluvassa tulisi käydä ilmi raja-arvot kaivosalueelta poisjuoksettavan veden sulfaattipitoisuudelle. On hyvä muistaa, että useimmiten malmikriittisillä alueilla on jo ennen kaivostoimintaa paikallisesti kohonneita maaperän ja pohjaveden metallipitoisuuksia korkeiden kiisumineraalimäärien rapautumisen johdosta. Nykyisin ennen kaivostoiminnan aloittamista toiminnanharjoittaja veloitetaan tekemään kattava ympäristöselvitys alueen perustilan ja taustapitoisuuksien selvittämiseksi.

12 KIITOKSET

Hannu Hirvasniemi ja Pentti Kouri ovat olleet merkittävässä roolissa tutkimuksen näytteenotossa. Järvisedimenttinäytteenotossa apua on saatu lisäksi Pekka Forsmanilta ja Kaisa Turuselta. Järvisedimenttien ²¹⁰Pb- ja ¹³⁷Cs-isotooppimääritykset ja ajoituksen tulkinnot on tehty Säteilyturvakeskuksen Pohjois-Suomen aluelaboratorion erikoistutkija Ari-Pekka Leppäsen ja tutkija Antti Kallion asiantuntemuksella ja ajoitusmääritysten arvioimisen taustatyöhön ovat osallistuneet myös GTK:n tutkimuslaboratorion Satu Mertanen ja Satu Vuoriainen. Viena Arvolalla on ollut hankkeessa olennainen osa julkaisujen, kuvien ja postereiden valmistuksessa. Suuret kiitokset myös Pertti Saralalle ja Anne Taivalkoskelle tekstien lukemisesta ja kommentteista.

13 KIRJALLISUUSLUETTELO

- Anderson, H., Peacock, S., Berg, A. & Ferrier, R. C. 1995.** Interactions between anthropogenic sulphate and marine salts in the Bs horizonz of acidic soils in Scotland. *Water, Air, & Soil Pollution*, 85, (3), 1083-1088
- Bølviken, B. ym. 1985.** Regional geochemical mapping in Northern Finland, Norway and Sweden. 11th International Geochemical Exploration symposium, April 28 – May 2, 1985 Metro Toronto Convent Centre, Toronto, Ontario, Canada
- Chen R. 1991.** On the Horizontal Crustal Deformations in Finland, Reports of the Finnish Geodetic Institute, report 91:1.
- Doležal, J., Povondra, P., Šulcek, Z. 1968.** Decomposition Techniques in Inorganic Analysis. London Iliffe books Ltd, London.
- Gould, W. D., Béchard, G. & Lortie, L. 1994.** The Nature and Role of Microorganisms in the Tailings Environment. In: Jambor, J. L. & Blowes, D. W. (Eds) Short Course Handbook on Environmental Geochemistry of Sulfide Mine-wastes. Mineral Association of Canada, 22, 185-199.
- Hanski, E., Huhma, H., Rastas, P. ja Kamenetsky, V. S. 2001.** The Paleoproterozoic komatiite-picrite association of Finnish Lapland. *J. Petrol.* 42, 855-876.
- Heikkinen, P. & Räisänen, M. L. 2009.** Heavy metal and As fractionation in sulphide mine tailings – indicators of sulphide oxidation in active tailings impoundments. *Applied Geochemistry* 24, 1224-1237.
- Helmisaari, Heljä-Sisko, 1990.** Nutrient retranslocation within pinus sylvestris, Joensuu : Joensuun yliopisto : Toivo & Toivo
- Kallio K. ja Kauppi L. 1990.** Ion budgets of small forested basins, In: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (eds), *Acidification in Finland*, Springer-Verlag, Berlin pp. 811-823
- Häyrynen, A. & Hietala, J. 2005.** Kevitsan kaivosalueen maaperätutkimus. *Lapin Vesitutkimus Oy*. 14 s.
- Hirvas H. 1991.** Pleistocene stratigraphy of Finnish Lapland. *Geological Survey of Finland, Bulletin* 354, 123 p.
- Hirvas H., Saarnisto M., Hakala P., Huhta P., Johansson P., Pulkkinen E. 1994.** Maaperän kerrosjärjestys ja Geokemia Keivitsassa. *Geologian tutkimuskeskus, maaperäosasto. Raportti*. 44 s.
- Ilmatieteenlaitos – vuositilasto** <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>
- Johansson, P., Lunkka, J.P. & Sarala, P. 2011.** The Glaciation of Finland. Teoksessa: Ehlers, J., Gibbard, P.L. & Hughes, P.D. (toim.), *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology – A closer look*. Elsevier B.V., *Developments in Quaternary Sciences*, vol 15, chapter 9, 105-116.

- Kabata-Pendias, A 1992.** Trace elements in soils and plants. CRC Press, Florida. 365 s.
- Kauppi, P., Räisänen, M.L., Myllyoja, S. (Toim.) 2011.** Metallikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt. Suomen ympäristö 29. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. 213 s.
- Kelly, D. P. & Wood, A. P. 2000.** Reclassification of some species of *Thiobacillus* to the newly designated genera *Acidithiobacillus* gen. nov., *Halothiobacillus* gen. nov. and *Thermithiobacillus* gen. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 50. 511-516.
- Kiviaho, P. 1998.** Rikin eri esiintymismuotojen määrittäminen maaperänäytteistä. Oulun yliopisto, kemian laitos, pro gradu -tutkielma. 98 s.
- Koljonen, T., Gustavsson, N., Noras, P. & Tanskanen, H. 1992.** Alkuainekuvaukset ja geokemialliset kartat. Teoksessa: Koljonen, T. (toim.) Suomen geokemian atlas osa 2: Moreeni. Geologian tutkimuskeskus. s. 190-191.
- Korpijaakko, M. Nykänen, H. & Martikainen, P. 2000.** The effect of depth and mire gases on the hydraulic conductivity of peat. *International Peat Congress*. Quebec.
- Korvuo, E. 1998.** Kaivoslain 19§ mukainen tutkimustyöselostus lapin läänissä Sodankylän kunnassa valtausalueilla Satovaara S, Keivitsa 79, Keivitsa 80, Keivitsa 83, Keivitsa 84, Keivitsa 86, Keivitsa 89, Keivitsa 90, Keivitsa 93 Keivitsa 94 Keivitsa 95 suoritetuista malmitutkimuksista. Outokumpu Oy, tutkimustyöselostus 080/3714/14/EK/98. 4 s.
- Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. & Taka, M. 1990.** Suomen Geokemian Atlas, osa 1. Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. The Geochemical Atlas of Finland, Part 1 Groundwater. Geological Survey of Finland. 66 s.
- 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 p.
- Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B., Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen, M., Vesterback, P., Väisänen, U. & Suomela, P. 2002.** Tuhat kaivoa – Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen laatu vuonna 1999. Geologian tutkimuskeskus, Espoo 2002. ISBN 951-690-842-X. ISSN 0781-4240. 92 s.
- Lehtonen, M., Airo, M-L., Eilu, P., Hanski, E., Kortelainen, V., Lanne, E., Manninen, T., Räsänen, J. ja Virransalo, P. 1998.** Kittilän vihreäkivialueen geologia. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 140, 144 s.
- Lepistö, A ja Seuna, P. 1990.** Hydrological characteristics affecting the runoff water acidity. In: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (eds), *Acidification in Finland*, Springer-Verlag, Berlin pp.825-847
- Lestinen, P 1979.** Orgaanisten purosedimenttien raskasmetallipitoisuuksissa näytteenottokauden aikana tapahtuva vaihtelu. Teoksessa: Salminen, R (toim): Geokemiallisten puro- ja

järvisedimenttitutkimusten tuloksiin ja niiden tulkintaan vaikuttavista tekijöistä. Geologinen tutkimuslaitos. Tutkimusraportti N:o 34. s. 61-73

Lottermoser B. G. 2007. Mine Wastes, Characterization, Treatment, Environmental Impacts. 2nd ed. Springer. 304 p.

Lundström, U. S., van Breemen N., Bain D. C., van Hees P. A. W., Giesler R., Gustafsson J. P., Ilvesniemi H., Karlton E., Melkerud, P.-A., Olsson, M., Riise, G., Wahlberg, O., Bergelin, A., Bishop, K., Finlay, R., Jongmans, A. G., Magnusson, T., Mannerkoski, H., Nordgren, A., Nyberg, L., Starr, M. & Tau Strand, L. 2000. Advances in understanding the podzolization process resulting from a multidisciplinary study of three coniferous forest soils in the Nordic Countries. *Geoderma* 94, 335-353.

Manninen, T., Hyvönen, E., Johansson, P., Kontio, M., Päänttjä, M. & Väisänen, U. 1996. Keivitsan alueen geologia. Geologian tutkimuskeskus, Pohjois-Suomen aluetoimisto. Arkistoraportti K/21.42/96/1. 28 s. 5 liit.

Melkerud, P.-A., Bain, D., Jongmans, A. G. & Tarvainen, T. 2000. Chemical, mineralogical and morphological characterization of three podzols developed on glacial deposits in Northern Europe. *Geoderma* 94, 125-148.

Mutanen, T. 1997. Geology and ore petrology of the Akanvaara and Koitelainen mafic layered intrusions and the Keivitsa-Satovaara layered complex, northern Finland. *Geol. Surv. Finland, Bulletin* 395. 233 p.

Mutanen, T. ja Huhma, H. 2001. U-Pb geochronology of the Koitelainen, Akanvaara and keivitsa mafic layered intrusions and related rocks. Teoksessa: Vaasjoki, M. (ed.) Radiometric age determinations from Finnish Lapland and their bearing on the timing of Precambrian volcano-sedimentary sequences. Geological Survey of Finland, Special Paper 33, p. 229-264.

Mäkinen, J. & Ojala, A. E. K. 2013. Sedimentation dynamics and metal loading in Lake Pyhäjärvi, Finland. *Journal of Paleolimnology* 50(1), 1-13.

Mäkinen, J., Kauppila, T., Loukola-Ruskeeniemi, K., Mattila, J. & Miettinen, J. 2010. Impacts of point source and diffuse metal and nutrient loading on three northern boreal lakes. *Journal of Geochemical Exploration* 104, 47-60.

Mälkki, E. 1986. Pohjavesi. Teoksessa: Mustonen, S. (toim.) Sovellettu hydrologia. Helsinki. Vesiyhdistys ry., 101-118.

Niskavaara, H. 1995. A comprehensive scheme of analysis for soils, sediments, humus and plant samples using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). In: S. Autio (Ed.), Geological Survey of Finland, Current Research 1993-1994, Special Paper 20, pp. 167-175.

Northland Mines Oy 2013. Hannukaisen kaivosshanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. YVA-konsultti, Ramboll Finland OY, 689 p.

- Parviainen, J., Västilä, S. & Suominen, S. (toim.) 2007.** Suomen metsät 2007, Kestävän metsätalouden kriteereihin ja indikaattoreihin perustuen. Maa- ja metsätalousministeriö 7/2007. 99 s.
http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/5qouP1Jhv/Suomen_metsat.pdf
- Peuranen, P. & Hietala, J. 2007.** Kevitsa Mining AB, Kevitsan kaivosalueen maaperägeologia. Lapin Vesitutkimus Oy. 13 s.
- Pihlström, Mikael & Myllyvirta, Tero, 2001.** Ilman epäpuhtauksien leviämis- ja vaikutustutkimus 1999-2000. Porvoo: Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys ry.)
- Plant, J.A. & Raiswell, R. 1983.** Principles of environmental geochemistry. In: Thornton, I. (ed.) Applied environmental geochemistry. London Academic Press, pp. 1–39.
- Price, W. A. 2009.** Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials, MEND report 1.20.1. CANMET- Mining and Mineral Sciences Laboratories, Smithers, British Columbia. Natural Resources, Canada. Chapter 5, p. 1-35.
- Päivänen, J. 1982.** Turvemaan fysikaaliset ominaisuudet. Helsingin yliopiston suomensäätieteen laitoksen julkaisuja 2. Helsinki.
- Reimann, C., Äyräs, M., Chekushin, V., Bogatyrev, I., Boyd, R., Caritat, P. de, Dutter, R., Finne, T.E., Halleraker, J.H., Jæger, Ø., Kashulina, G., Lehto, O., Niskavaara, H., Pavlov, V., Räisänen, M.L., Strand, T. & Volden T. 1998.** Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region. Geological Survey of Norway. 745 p.
- Righi, D. Räisänen, M. L. & Gillot, F. 1997.** Clay transformations in podzolized tills in central Finland. Clay Minerals 32, 531-544.
- Räisänen, M L, Tenhola, M and Mäkinen, J 1992.** Relationship between mineralogy and the physico-chemical properties of till in central Finland. Bull. Geol. Soc. Finland 64, Part 1, 35-58.
- Räisänen, M. L. 1994.** Reflection of bedrock on the soil geochemistry and weathering in the tundra region of northernmost Finland. In: J.M. Kimble and R.J. Ahrens (eds.) Proceedings of the Meeting on the Classification, Correlation, and Management of Permafrost-affected Soils- July 1994. USDA, Soil Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 99-111.
- Räisänen, M. L., Tarvainen T. & Aatos, S. 1995.** NORMA - a program to calculate a normative mineralogy for glacial sediments and rocks from chemical analyses. Geologiska Föreningens i Stockholm Föreläsningar 117, 215-224.
- Räisänen, M. L. 1996.** Geochemistry of podzolized tills and the implications for aluminium mobility near industrial sites: A study in Kuopio, eastern Finland. Geological Survey of Finland Bulletin 387, 72 p.
- Salminen, R., Chekushin, V., Tenhola, M., Bogatyrev, I., Glavatskikh, S.P., Fedotova, E., Gregorauskiene, V., Kashulina, G., Niskavaara, H., Polischuok, A., Rissanen, K., Slenok, L.,**

- Tomilina, O. & Zhdanova, L. 2004.** Geochemical Atlas of the Eastern Barents Region. Elsevier, 548 p.
- Räsänen, J. & Huhma, H. 2001.** U-Pb datings in the Sodankylä schist area, central Finnish Lapland. Teoksessa: Vaasjoke, M. (ed.) Radiometric age determinations from Finnish Lapland and their bearing on the timing of Precambrian volcano-sedimentary sequences. Geological Survey of Finland, Special Paper 33, p. 153-188.
- Rühling, Åke & Tyler, Germund., 1968.** An ecological approach to the lead problem. Botaniska Notiser 121:321-342
- Salminen, R., Heikkinen, P., Nikkarinen, M., Parkkinen, J., Sipilä, P., Suomela, P. & Wennerström, M. 2000.** Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn opas kaivoshankkeisiin. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 20/1999. 80 s.
- Schlesinger, W. H. 1997.** Biogeochemistry : an analysis of global change. 2nd edition. Academic Press. 588 p.
- Schultz, E., Joutti, A., Räsänen, M. L., Lintinen, P., Martikainen, E. & Lehto, O. 2004.** Extractability of metals and ecotoxicity of soils from two old wood impregnation sites in Finland. Science of the Total Environment 326, 71-84 pp.
- Singer, P. C. & Stumm, W. 1970.** Acidic Mine Drainage: The Rate-Determining Step, Science 167, 1121-1123.
- STM 461/2000.** Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Annettu Helsingissä 19 päivänä toukokuuta 2000. Liite 1/2.
- STM 442/2014.** Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista annetun sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen muuttamisesta. Annettu Helsingissä 2 päivänä kesäkuuta 2014
- Sosiaali- ja terveysministeriö 2001.** Päätös pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 17.5.2001. STMp 401/01.
- Standardisoimisliiton SFS, 1990.** Ilmansuojelu, bioindikaatio, sammalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen.
- Suomen tuuliatlas** <http://tuuliatlas.fmi.fi>
- YM 2014.** Ympäristösuojelulain mukainen perustilaselvitys. Ohje toiminnanharjoittajalle sekä lupa- ja valvontaviranomaiselle. Ympäristöhallinnon ohjeita 8 / 2014, Ympäristön suojelu, Ympäristöministeriö. 39 s.
- Vna 190/2013.** Valtioneuvoston asetus kaivannaisjätteistä. Annettu Helsingissä 14 päivänä maaliskuuta 2013. Liite 1.

Vna 341/2009. Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä annetun asetuksen muuttamisesta. Annettu Helsingissä 20 päivänä toukokuuta 2009. Liite 7.

Vna 713/2006. Valtioneuvoston asetus ympäristövaikutusten arviointimenettelystä. Annettu Helsingissä 17 päivänä elokuuta 2006.

Väisänen, U. & Lanne E. 2005. Kevitsan hydrogeologinen selvitys. Geologian tutkimuskeskus, Pohjois-Suomen yksikkö. Arkistoraportti R/814/42/2005. 18 s.

Väisänen, U. & Muurinen, T. 2006. Kevitsan maaperän lisäselvitys. Geologian tutkimuskeskus, Pohjois-Suomen yksikkö. Arkistoraportti R/851/42/2006. 6 s.

Väisänen, U., Lanne E. & Lehmuspelto, P. 2008. Kevitsan Natura-alueen suotovesiarviointi. Geologian tutkimuskeskus, Pohjois-Suomen yksikkö. Arkistoraportti R/82/42/2008. 7 s.

YVA-laki 468/1994. Laki ympäristövaikutusten arviomenettelystä. Ympäristöministeriö. Voimaantulo 1.9.1994.

Äyräs, M. Ja Niskavaara H., 1992. Kerrossammal (*Hylocomium splendens*) raskasmetallien bioindikaattorina Rovaniemen kaupungin alueella. Tutkimusraportti 108, Geologian tutkimuskeskus, Espoo

Liite 1.

Näytetunnus	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Th	Ti	U	Al	Ca
Moreeninäytteet	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201P	mg/kg 201P
GK_RAPI-2013-4.3	0.10	0.7	3.18	<0.06	<0.07	<0.006	0.09	11.4	1.1	<0.06	<0.01	0.8	0.15	0.11	<0.03	0.11	0.95	0.17	<0.006	0.039	2690	113
GK_RAPI-2013-4.4R	0.10	0.9	3.55	<0.06	<0.07	0.006	0.09	10.6	1.1	<0.06	<0.01	0.8	0.17	0.11	<0.03	0.10	0.98	0.18	<0.006	0.038	2320	111
GK_RAPI-2013-4.5	0.04	0.8	6.80	<0.06	<0.07	<0.006	0.12	2.0	1.1	<0.06	<0.01	0.4	0.11	0.25	<0.03	<0.09	0.55	0.13	<0.006	0.022	740	58
GK_RAPI-2013-4.6R	<0.03	0.8	5.85	<0.06	<0.07	<0.006	0.10	2.1	1.0	<0.06	<0.01	0.3	0.11	0.19	<0.03	<0.09	0.50	0.13	<0.006	0.020	738	52
GK_RAPI-2013-5.2	0.04	0.8	6.83	0.08	<0.07	<0.006	0.06	6.2	1.1	<0.06	<0.01	0.3	0.15	0.19	<0.03	<0.09	0.61	0.15	<0.006	0.043	2320	68
GK_RAPI-2013-5.3	<0.03	0.8	9.11	<0.06	<0.07	<0.006	0.04	0.7	1.1	<0.06	<0.01	<0.2	0.12	0.42	<0.03	<0.09	0.57	0.14	<0.006	0.052	431	60
GK_RAPI-2013-6.2	0.06	0.8	6.00	0.07	<0.07	0.010	0.06	4.8	1.5	<0.06	<0.01	0.3	0.24	0.54	<0.03	0.13	0.43	0.32	<0.006	0.113	1900	62
GK_RAPI-2013-6.3	0.04	0.8	8.04	<0.06	<0.07	<0.006	0.08	1.2	1.3	<0.06	<0.01	<0.2	0.19	0.89	<0.03	<0.09	0.35	0.19	<0.006	0.100	702	49
GK_RAPI-2013-7.2	0.04	0.9	4.12	0.07	<0.07	<0.006	0.07	9.2	1.3	<0.06	<0.01	0.5	0.17	0.20	<0.03	<0.09	0.51	0.24	<0.006	0.065	1590	56
GK_RAPI-2013-7.3	0.03	0.8	8.00	<0.06	<0.07	<0.006	0.05	0.7	1.1	<0.06	<0.01	0.3	0.15	0.55	<0.03	<0.09	0.85	0.10	<0.006	0.060	134	111
GK_RAPI-2013-8.2	0.05	0.8	4.48	0.10	<0.07	<0.006	0.07	9.3	1.4	<0.06	<0.01	0.5	0.16	0.16	<0.03	<0.09	0.40	0.32	<0.006	0.099	2290	45
GK_RAPI-2013-8.3	0.03	0.8	6.59	<0.06	<0.07	<0.006	0.04	0.9	1.1	<0.06	<0.01	<0.2	0.17	0.30	<0.03	<0.09	0.53	0.14	<0.006	0.099	280	66
GK_RAPI-2013-9.2	0.08	0.9	4.26	0.07	<0.07	0.008	0.09	10.5	1.1	<0.06	<0.01	0.5	0.31	0.21	<0.03	0.11	1.10	0.24	<0.006	0.063	2540	157
GK_RAPI-2013-9.3	0.03	0.8	5.63	<0.06	<0.07	<0.006	0.05	1.1	1.3	<0.06	<0.01	<0.2	0.12	0.25	<0.03	<0.09	0.43	0.18	<0.006	0.042	345	52
GK_RAPI-2013-10.2	0.13	0.8	4.66	0.08	<0.07	<0.006	0.07	13.8	1.2	<0.06	<0.01	0.7	0.19	0.18	<0.03	0.16	0.98	0.41	<0.006	0.081	3640	100
GK_RAPI-2013-10.3	<0.03	0.8	4.67	<0.06	<0.07	<0.006	0.03	1.8	1.1	<0.06	<0.01	<0.2	0.18	0.26	<0.03	<0.09	0.38	0.22	<0.006	0.047	649	46
GK_RAPI-2013-11.2	0.04	0.8	5.49	0.08	<0.07	0.006	0.09	6.4	1.1	<0.06	<0.01	0.5	0.13	0.16	<0.03	<0.09	0.71	0.19	<0.006	0.063	2000	87
GK_RAPI-2013-11.3	0.03	0.9	4.56	<0.06	<0.07	<0.006	0.04	0.7	1.0	<0.06	<0.01	<0.2	0.11	0.23	<0.03	<0.09	0.44	0.11	<0.006	0.081	289	51
GK_RAPI-2013-12.2	0.04	0.8	4.01	<0.06	<0.07	0.011	0.48	12.1	1.2	<0.06	<0.01	0.9	0.18	0.16	<0.03	<0.09	0.51	0.09	<0.006	0.033	1140	60
GK_RAPI-2013-12.3	0.15	0.9	5.04	<0.06	<0.07	0.007	0.10	3.5	1.4	<0.06	<0.01	0.5	0.12	0.14	<0.03	<0.09	0.30	0.07	<0.006	0.034	584	38
GK_RAPI-2013-13.2	0.13	<0.7	3.85	<0.06	<0.07	0.012	0.08	10.7	0.8	<0.06	<0.01	0.9	0.13	0.19	<0.03	0.12	0.89	0.16	<0.006	0.062	2400	107
GK_RAPI-2013-13.3	0.05	<0.7	3.29	<0.06	<0.07	<0.006	0.03	3.2	0.5	<0.06	<0.01	0.3	0.04	0.26	<0.03	<0.09	0.37	0.21	0.010	0.029	651	42
GK_RAPI-2013-14.2	0.05	<0.7	5.63	0.08	<0.07	0.032	0.28	7.8	0.7	<0.06	<0.01	0.8	0.11	0.25	<0.03	<0.09	0.87	0.16	0.006	0.061	2080	157
GK_RAPI-2013-14.3	0.03	<0.7	3.96	<0.06	<0.07	<0.006	0.12	1.1	0.4	<0.06	<0.01	0.2	0.10	0.32	<0.03	<0.09	0.47	0.16	<0.006	0.050	465	53

Liite 1.

Näytetunnus	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Ti	V	Zn	pH	pH	Ag	As	Be	Bi	Cd	Mo	Pb	Sb
Moreeninäytteet	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	pH	pH	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	208I	209I	+ 512M	+ 512M	+ 512M	+ 512M	+ 512M	+ 512M	+ 512M	+ 512M
GK_RAPI-2013-4.3	1830	<20	14	<1	<20	<20	26	58.1	7.4	0.7	2.0	4.20	4.04	<0.06	1.10	0.088	<0.02	0.02	0.06	1.1	<0.1
GK_RAPI-2013-4.4R	1790	<20	13	<1	23	<20	24	54.2	6.9	0.6	1.8	4.23	4.15	<0.06	1.11	0.088	<0.02	0.02	0.07	1.1	<0.1
GK_RAPI-2013-4.5	277	<20	11	1.3	<20	<20	<20	117.0	2.6	<0.5	1.9	4.42	4.50	<0.06	1.50	0.125	0.02	0.03	0.08	1.3	<0.1
GK_RAPI-2013-4.6R	288	<20	<10	1.1	<20	<20	<20	115.0	2.6	<0.5	1.5	4.48	4.53	<0.06	1.44	0.113	0.02	0.03	0.08	1.3	<0.1
GK_RAPI-2013-5.2	807	<20	<10	<1	22	<20	48	206.0	2.1	<0.5	1.5	4.60	4.61	<0.06	1.55	0.192	0.02	0.04	0.11	1.4	<0.1
GK_RAPI-2013-5.3	65	<20	11	<1	<20	<20	<20	71.4	4.6	<0.5	1.6	4.38	4.54	<0.06	1.65	0.172	0.02	0.04	0.12	1.4	<0.1
GK_RAPI-2013-6.2	885	<20	<10	<1	<20	<20	46	118.0	6.1	0.6	2.2	4.32	4.33	<0.06	2.08	0.199	0.03	0.05	0.17	1.6	<0.1
GK_RAPI-2013-6.3	138	<20	<10	1.2	22	<20	<20	81.1	5.3	<0.5	2.1	4.33	4.53	<0.06	2.14	0.204	0.02	0.06	0.18	1.6	<0.1
GK_RAPI-2013-7.2	753	<20	11	<1	20	<20	24	128.0	2.8	<0.5	1.7	4.51	4.57	<0.06	1.60	0.194	0.03	0.04	0.22	1.8	<0.1
GK_RAPI-2013-7.3	54	<20	56	<1	<20	<20	<20	<50	2.6	<0.5	1.9	4.17	4.64	<0.06	1.55	0.163	0.03	0.03	0.16	1.5	<0.1
GK_RAPI-2013-8.2	811	<20	<10	<1	22	<20	64	331.0	3.4	<0.5	2.0	4.65	4.69	<0.06	1.64	0.189	0.03	0.04	0.16	1.6	<0.1
GK_RAPI-2013-8.3	59	<20	22	<1	23	<20	<20	<50	3.9	<0.5	1.9	4.42	4.52	<0.06	1.53	0.166	0.03	0.03	0.14	1.3	<0.1
GK_RAPI-2013-9.2	1110	<20	10	<1	22	<20	<20	206.0	3.1	0.5	2.0	4.52	4.58	<0.06	1.82	0.157	0.03	0.03	0.16	1.7	<0.1
GK_RAPI-2013-9.3	74	<20	<10	<1	21	<20	<20	58.4	5.1	<0.5	2.0	4.48	4.62	<0.06	1.34	0.134	0.02	0.03	0.15	1.2	<0.1
GK_RAPI-2013-10.2	2490	<20	12	<1	<20	23	29	107.0	9.8	1.1	1.7	4.26	4.25	<0.06	1.07	0.123	0.02	0.02	0.12	1.5	<0.1
GK_RAPI-2013-10.3	193	<20	<10	<1	24	<20	<20	98.9	3.8	<0.5	1.7	4.44	4.58	<0.06	1.55	0.153	0.03	0.03	0.14	1.4	<0.1
GK_RAPI-2013-11.2	665	<20	12	<1	23	<20	75	328.0	2.3	0.6	1.8	4.77	4.86	<0.06	1.72	0.197	0.03	0.03	0.19	1.2	<0.1
GK_RAPI-2013-11.3	62	<20	13	<1	24	<20	<20	52.3	3.8	<0.5	2.0	4.48	4.71	<0.06	1.53	0.146	0.06	0.03	0.18	1.0	<0.1
GK_RAPI-2013-12.2	268	<20	20	13.0	21	<20	<20	164.0	1.3	0.6	2.5	4.70	4.75	<0.06	3.81	0.154	0.08	0.06	0.34	1.7	<0.1
GK_RAPI-2013-12.3	46	<20	12	2.1	21	<20	<20	114.0	2.2	<0.5	1.6	4.65	4.92	<0.06	4.52	0.122	0.20	0.04	0.30	0.8	<0.1
GK_RAPI-2013-13.2	1780	<20	13	<1	<20	<20	<20	<50	7.3	0.8	1.8	4.18	4.14	<0.06	1.51	0.115	0.03	0.03	0.24	1.3	<0.1
GK_RAPI-2013-13.3	232	<20	<10	<1	21	<20	<20	99.5	3.1	<0.5	1.5	4.52	4.62	<0.06	1.73	0.146	0.02	0.03	0.22	1.3	<0.1
GK_RAPI-2013-14.2	320	<20	16	17.0	<20	<20	28	214.0	1.6	<0.5	2.6	4.67	4.71	<0.06	1.44	0.213	0.05	0.06	0.17	1.5	<0.1
GK_RAPI-2013-14.3	54	<20	10	2.0	21	<20	<20	70.5	3.7	<0.5	1.5	4.52	4.71	<0.06	1.36	0.151	0.04	0.04	0.18	1.3	<0.1

Liite 1.

Näytetunnus	Se	Ti	U	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Sr	Ti
Moreeninäytteet	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	+ 512M	+ 512M	+ 512M	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P	+ 512P
GK_RAPI-2013-4.3	0.30	<0.3	0.21	9170	<5	10.3	1400	5.1	78.6	9.1	14100	212	2530	49	137	26	156	102	5.2	481
GK_RAPI-2013-4.4R	0.30	<0.3	0.20	9030	<5	10.4	1380	5.3	78.1	8.9	14200	235	2590	49	133	27	156	90	5.2	502
GK_RAPI-2013-4.5	0.42	<0.3	0.30	9990	<5	19.6	1900	11.0	102.0	17.1	16100	402	5090	119	192	49	112	<20	6.8	906
GK_RAPI-2013-4.6R	0.38	<0.3	0.28	9510	<5	17.4	1790	10.4	92.3	14.9	15400	290	4380	108	181	44	96	<20	6.5	858
GK_RAPI-2013-5.2	0.36	<0.3	0.20	16700	<5	23.5	1520	7.5	82.9	14.4	24800	423	2760	63	153	27	261	135	5.2	713
GK_RAPI-2013-5.3	0.52	<0.3	0.39	12100	<5	44.1	2510	12.2	82.2	35.0	20500	1280	5430	127	227	40	150	<20	8.7	1280
GK_RAPI-2013-6.2	0.52	<0.3	0.33	17500	<5	43.2	2460	11.1	128.0	27.2	40300	1710	5950	108	235	43	445	146	5.9	1560
GK_RAPI-2013-6.3	0.67	<0.3	0.43	16000	<5	67.9	3200	23.3	142.0	44.0	31800	2690	7660	143	283	57	338	44	7.8	1620
GK_RAPI-2013-7.2	0.42	<0.3	0.30	14300	<5	24.3	1630	8.4	143.0	22.9	27100	815	4820	76	154	40	232	109	5.7	1040
GK_RAPI-2013-7.3	0.56	<0.3	0.39	9520	<5	35.2	1920	9.9	110.0	27.9	18800	1060	5350	108	170	41	101	<20	7.4	1130
GK_RAPI-2013-8.2	0.39	<0.3	0.35	17000	<5	15.4	1200	6.1	111.0	9.9	22500	262	3370	57	112	31	256	175	4.2	777
GK_RAPI-2013-8.3	0.46	<0.3	0.57	9250	<5	17.7	1230	6.5	86.9	16.2	16100	319	4220	69	113	32	97	<20	4.8	953
GK_RAPI-2013-9.2	0.39	<0.3	0.28	15000	<5	14.4	1170	6.0	108.0	11.6	23700	346	3520	56	97	30	235	110	4.6	728
GK_RAPI-2013-9.3	0.34	<0.3	0.46	8860	<5	18.6	1340	7.1	87.9	16.0	14000	427	4730	73	110	33	127	<20	4.8	898
GK_RAPI-2013-10.2	0.40	<0.3	0.39	12000	<5	13.0	872	4.5	75.2	10.2	15200	281	3290	52	75	21	145	112	3.8	633
GK_RAPI-2013-10.3	0.43	<0.3	0.52	10500	<5	15.9	1050	7.0	90.6	19.1	15900	343	5040	75	94	33	91	<20	4.6	979
GK_RAPI-2013-11.2	0.38	<0.3	0.31	17100	<5	16.1	1140	6.0	95.6	10.7	22700	272	3550	60	97	27	288	184	4.0	725
GK_RAPI-2013-11.3	0.42	<0.3	0.49	8970	<5	14.8	1120	8.5	90.3	17.8	15900	356	4860	105	106	29	102	<20	4.3	948
GK_RAPI-2013-12.2	0.38	<0.3	0.35	15100	<5	18.1	1100	14.0	312.0	22.5	34100	301	6070	241	112	78	422	93	4.1	1120
GK_RAPI-2013-12.3	0.38	<0.3	0.42	18400	<5	19.1	782	26.5	647.0	91.6	30600	293	21400	206	78	272	118	41	2.7	659
GK_RAPI-2013-13.2	0.31	<0.3	0.30	9870	<5	12.0	1210	5.2	80.6	14.0	16800	388	3360	55	104	28	122	100	4.3	810
GK_RAPI-2013-13.3	0.37	<0.3	0.42	9940	<5	17.1	1550	11.1	113.0	29.2	18500	847	5000	103	131	46	151	24	4.9	964
GK_RAPI-2013-14.2	0.40	<0.3	0.30	17000	<5	19.8	1420	8.6	118.0	17.1	24900	356	3260	153	122	35	282	125	5.3	794
GK_RAPI-2013-14.3	0.40	<0.3	0.37	10100	<5	20.4	1430	8.7	98.0	29.1	18300	661	5070	91	136	38	95	<20	5.2	994

Liite 1.

Näytetunnus	V	Zn	S	LOI	TUHKKA	C	N
Moreeninäytteet	mg/kg	mg/kg	%	%	%	%	%
	+ 512P	+ 512P	+ 810L	818G	818G	+ 820L	+ 820L
GK_RAPI-2013-4.3	34.2	8	0.01	5.48	94.50	2.39	0.08
GK_RAPI-2013-4.4R	33.0	7	0.01	4.89	95.10	2.13	0.07
GK_RAPI-2013-4.5	34.7	11	<0.01	1.41	98.60	0.26	<0.02
GK_RAPI-2013-4.6R	33.8	10	<0.01	1.37	98.60	0.25	<0.02
GK_RAPI-2013-5.2	46.1	16	0.02	5.25	94.80	1.65	0.06
GK_RAPI-2013-5.3	48.6	12	<0.01	1.31	98.70	0.17	<0.02
GK_RAPI-2013-6.2	53.1	18	0.02	5.40	94.60	1.85	0.08
GK_RAPI-2013-6.3	46.7	15	<0.01	2.03	98.00	0.42	0.02
GK_RAPI-2013-7.2	45.1	15	0.02	4.00	96.00	1.42	0.06
GK_RAPI-2013-7.3	37.5	12	<0.01	1.06	98.90	0.12	<0.02
GK_RAPI-2013-8.2	45.0	14	0.02	4.79	95.20	1.64	0.06
GK_RAPI-2013-8.3	38.5	11	<0.01	1.18	98.80	0.16	<0.02
GK_RAPI-2013-9.2	49.2	13	0.01	4.96	95.00	1.70	0.07
GK_RAPI-2013-9.3	35.3	13	<0.01	1.12	98.90	0.12	<0.02
GK_RAPI-2013-10.2	36.3	11	0.01	6.70	93.30	2.70	0.09
GK_RAPI-2013-10.3	41.2	13	<0.01	1.47	98.50	0.27	<0.02
GK_RAPI-2013-11.2	47.6	14	0.02	4.47	95.50	1.87	0.06
GK_RAPI-2013-11.3	40.6	12	<0.01	1.05	99.00	0.14	<0.02
GK_RAPI-2013-12.2	85.9	40	0.01	3.62	96.40	0.98	0.04
GK_RAPI-2013-12.3	83.4	35	<0.01	2.52	97.50	0.37	<0.02
GK_RAPI-2013-13.2	54.9	11	0.01	5.76	94.20	2.32	0.09
GK_RAPI-2013-13.3	45.7	13	<0.01	1.44	98.60	0.27	<0.02
GK_RAPI-2013-14.2	51.2	22	0.02	5.00	95.00	1.69	0.07
GK_RAPI-2013-14.3	41.5	12	<0.01	1.50	98.50	0.25	<0.02

Liite 1.

Näytetunnus	Ag	Al	As	B	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	I	K	Li	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Rb	Sb	Se
Pinta- ja	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Pohjavedet	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M
VE_RAPI-2012-1.1	<0.01	16.3	0.15	2.22	<0.1	<0.02	<0.02	0.07	0.41	0.2	<2	1.23	0.89	32.1	0.09	1.4	27.3	0.08	1.92	0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-2.1	<0.01	16.6	0.19	1.6	<0.1	<0.02	<0.02	0.13	0.38	0.26	<2	0.43	0.45	21.6	0.03	1.15	11.2	0.2	0.81	0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-3.1	<0.01	19.6	0.22	1.77	<0.1	<0.02	<0.02	0.41	0.54	0.18	<2	0.36	0.53	67.3	0.03	0.71	15.6	0.18	0.34	0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-4.1	<0.01	19.4	0.21	1.61	<0.1	<0.02	<0.02	0.13	0.64	0.42	<2	0.43	0.58	20.4	0.04	1.21	18.3	0.2	0.8	0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-5.1	<0.01	15.3	0.22	2.12	<0.1	<0.02	<0.02	0.15	0.51	0.1	<2	0.75	0.77	31.7	0.1	0.64	13.5	0.13	0.97	<0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-6.1	<0.01	135	0.28	2.28	<0.1	<0.02	<0.02	0.4	1.37	0.68	<2	0.08	0.19	11.2	<0.02	3.57	11.7	0.49	0.28	0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-7.1	<0.01	6.82	0.13	1.31	<0.1	<0.02	<0.02	0.23	0.39	0.62	<2	1.12	0.95	126	0.04	1.99	10.1	0.1	3.53	<0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-8.1	<0.01	22.7	0.16	1.63	<0.1	<0.02	<0.02	0.09	0.44	0.64	<2	0.37	0.38	42.7	0.38	0.31	<10	0.14	0.68	0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-9.1R	<0.01	24	0.16	1.68	<0.1	<0.02	<0.02	0.12	0.47	0.61	<2	0.39	0.42	41.7	0.4	0.4	10.5	0.14	0.7	0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-10.1	<0.01	24.2	0.16	1.65	<0.1	<0.02	<0.02	0.08	0.46	0.31	<2	0.38	0.41	40.3	0.37	0.38	<10	0.13	0.68	0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-11.1	<0.01	36.2	0.14	1.85	<0.1	<0.02	<0.02	0.18	0.3	0.29	<2	0.42	0.36	7.72	0.03	0.62	14.7	0.1	0.52	0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-12.1	<0.01	11.9	0.2	1.5	<0.1	<0.02	<0.02	0.08	0.43	0.34	<2	0.37	0.39	4.01	0.03	1.04	19.4	0.25	0.82	0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-13.1	<0.01	23.3	<0.05	2.07	<0.1	<0.02	<0.02	0.19	0.41	0.53	<2	0.33	0.36	6.77	0.03	0.07	15.3	0.19	0.32	<0.02	<0.5
VE_RAPI-2012-14.1	<0.01	7.38	0.42	2.2	<0.1	<0.02	0.02	<0.02	13.3	0.22	<2	1.42	1.22	0.16	0.13	5.93	<10	0.09	4.24	0.14	<0.5

Näytetunnus	Sr	Th	Tl	U	V	Zn	Ca	Fe	Mg	Na	Si	Ba	S	PO4	Br	Cl	F	SO4	NO3	Alk	KMnO4
Pinta- ja	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l	mg/l
Pohjavedet	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139P	+139P	+139P	+139P	+139P	+139P	+139P	143C	+143R	+143R	+143R	+143R	+143R	143T	143T
VE_RAPI-2012-1.1	82	0.01	0.01	0.1	0.08	2.58	21.9	0.4	6.42	2.13	5.79	0.009	9.07	<0.02	<0.1	1.3	<0.1	25	<0.2	1.29	25.28
VE_RAPI-2012-2.1	12.4	<0.01	<0.01	0.01	0.13	4	4.7	0.78	2.15	1.09	1.3	0.004	0.79	<0.02	<0.1	0.46	<0.1	1.8	<0.2	0.47	36.97
VE_RAPI-2012-3.1	26.7	0.01	0.01	0.02	0.1	5.55	9.18	2.16	3.18	1.79	4.62	0.01	0.32	<0.02	<0.1	0.72	<0.1	0.5	<0.2	0.96	NA
VE_RAPI-2012-4.1	12.3	0.01	<0.01	0.01	0.13	4.33	4.98	0.8	2.58	1.2	1.23	0.004	0.85	<0.02	<0.1	0.47	<0.1	1.9	<0.2	0.53	37.6
VE_RAPI-2012-5.1	43.6	0.01	<0.01	0.1	0.13	4.62	13.6	0.85	5.95	1.88	4.73	0.014	2.75	<0.02	<0.1	0.64	<0.1	8.5	<0.2	1.18	27.81
VE_RAPI-2012-6.1	5.27	0.03	0.01	0.01	0.13	5.27	0.87	0.58	1.08	0.64	0.24	0.003	0.27	0.04	<0.1	0.32	<0.1	0.2	<0.2	0.18	59.72
VE_RAPI-2012-7.1	29.6	0.01	<0.01	0.01	<0.05	3.61	16.6	0.9	12.7	2.76	4.73	0.011	5.3	<0.02	<0.1	2.9	<0.1	14.0	<0.2	1.76	32.86
VE_RAPI-2012-8.1	12.4	0.02	<0.01	0.11	0.14	4.23	3.81	0.5	1.25	1.11	2.52	0.003	0.71	<0.02	<0.1	0.44	<0.1	1.9	<0.2	0.32	27.49
VE_RAPI-2012-9.1R	12.4	0.02	<0.01	0.11	0.15	5.09	3.83	0.48	1.26	1.1	2.52	0.003	0.73	<0.02	<0.1	0.45	<0.1	1.9	<0.2	0.37	25.6
VE_RAPI-2012-10.1	12.3	0.02	<0.01	0.1	0.16	14.5	3.42	0.47	1.14	1.15	2.39	0.003	0.6	<0.02	<0.1	0.48	<0.1	1.5	<0.2	0.36	24.65
VE_RAPI-2012-11.1	8.88	<0.01	0.01	0.01	0.11	3.44	4.62	0.18	2.55	1.09	0.33	0.003	0.55	<0.02	<0.1	0.33	<0.1	0.9	<0.2	0.50	40.76
VE_RAPI-2012-12.1	10.6	0.01	<0.01	0.01	0.12	3.08	3.94	0.73	1.7	0.94	0.73	0.003	0.78	0.02	<0.1	0.45	<0.1	2.0	<0.2	0.37	42.34
VE_RAPI-2012-13.1	12.4	0.01	0.01	0.01	<0.05	6.54	2.95	0.14	0.75	1.83	4.07	0.004	0.18	0.03	<0.1	0.4	<0.1	0.2	<0.2	0.30	24.65
VE_RAPI-2012-14.1	82.9	<0.01	0.01	0.02	1.04	7.28	13.4	<0.03	4.66	1.38	6.05	0.013	1.28		<0.1	0.6	<0.1	4.0	0.3	1.13	2.24

Liite 1.

Näytetunnus	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	K	I	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Rb	Sb	Se
Järvivesi	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M
VE-RAPI-2013-1	<0.01	33.6	0.15	2.56	1.80	<0.1	<0.02	0.02	<0.02	1.03	0.93	0.88	<2	2.55	0.08	<0.05	54.8	<0.05	0.96	0.02	<0.5
VE-RAPI-2013-2	<0.01	36.5	0.35	1.65	13.5	<0.1	<0.02	0.02	1.41	0.72	0.53	1.34	6.24	545	0.07	<0.05	68.9	0.10	1.82	0.03	<0.5
VE-RAPI-2013-3	<0.01	78.6	0.07	2.08	10.8	<0.1	<0.02	0.03	0.09	0.77	0.52	1.42	2.56	65.1	0.17	<0.05	44.4	<0.05	0.86	0.02	<0.5
VE-RAPI-2013-4	<0.01	20.2	<0.05	2.57	87.5	<0.1	<0.02	<0.02	3.92	0.30	0.11	3.05	3.52	2690	0.61	<0.05	37.9	<0.05	0.41	<0.02	<0.5
VE-RAPI-2013-5	<0.01	26.7	0.53	1.97	138	<0.1	<0.02	<0.02	3.19	0.40	<0.1	2.93	3.84	3200	0.83	<0.05	208	<0.05	0.40	<0.02	<0.5
VE-RAPI-2013-6	<0.01	34.0	0.14	1.91	11.5	<0.1	<0.02	0.03	1.50	1.72	0.37	0.84	5.81	2490	0.06	0.55	85.0	0.07	0.91	<0.02	<0.5

Näytetunnus	Sr	Th	Tl	U	V	Zn	Ca	Fe	Li	Mg	Na	S	Si	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Cd	Ag
Järvivesi	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139M	+139P	+139P	+139P	+139P	+139P	+139P	+139P	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M
VE-RAPI-2013-1	15.2	<0.01	0.01	<0.01	0.07	2.67	6.75	0.15	<0.005	1.91	1.15	1.23	3.58	37.7	0.33	<4	1.900	<0.5	2.71	<0.1	0.06
VE-RAPI-2013-2	29.9	<0.01	0.01	<0.01	0.23	3.76	10.2	13.6	<0.005	4.50	1.67	0.81	5.12	53.6	0.60	<4	18.5	<0.5	2.54	<0.1	0.07
VE-RAPI-2013-3	22.4	0.01	<0.01	0.04	0.12	1.51	9.66	0.49	<0.005	2.85	1.35	0.96	4.95	97.8	<0.2	<4	11.7	<0.5	2.17	<0.1	<0.05
VE-RAPI-2013-4	41.0	<0.01	<0.01	0.18	0.32	7.14	20.0	4.17	<0.005	6.39	1.96	0.86	7.09	37.5	<0.2	<4	94.2	<0.5	1.85	<0.1	<0.05
VE-RAPI-2013-5	41.9	<0.01	<0.01	0.11	1.18	3.14	20.4	18.4	<0.005	6.26	1.94	0.25	7.80	44.9	0.56	<4	146	<0.5	1.72	<0.1	<0.05
VE-RAPI-2013-6	20.1	0.01	<0.01	<0.01	0.28	3.50	8.77	2.92	<0.005	2.20	1.17	0.94	4.82	42.4	<0.2	<4	8.87	<0.5	1.62	<0.1	<0.05

Näytetunnus	Co	Cr	Cu	K	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Th	Tl	U	V	Zn	Ca	Fe	Li	Mg
Järvivesi	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150M	150P	150P	150P	150P
VE-RAPI-2013-1	0.67	1.05	<1	0.77	4.87	<0.2	<3	<0.6	0.89	<0.2	<5	14.6	<0.2	<0.02	0.01	<0.5	13.7	6.89	0.21	<0.005	1.88
VE-RAPI-2013-2	2.19	1.12	<1	1.43	642	<0.2	<3	<0.6	1.92	<0.2	<5	36.5	<0.2	<0.02	<0.01	<0.5	11.4	12.2	23.0	<0.005	5.59
VE-RAPI-2013-3	0.60	1.19	1.06	1.48	78.3	0.24	<3	<0.6	0.89	<0.2	<5	23.3	<0.2	<0.02	0.05	<0.5	8.26	10.0	0.58	<0.005	2.83
VE-RAPI-2013-4	4.54	<1	<1	2.95	2860	0.68	<3	<0.6	0.42	<0.2	<5	41.4	<0.2	<0.02	0.18	<0.5	3.35	20.8	5.02	<0.005	6.44
VE-RAPI-2013-5	3.54	<1	<1	2.92	3290	0.83	<3	<0.6	0.42	<0.2	<5	42.7	<0.2	<0.02	0.13	1.21	10.5	21.2	19.3	<0.005	6.33
VE-RAPI-2013-6	1.29	1.59	<1	0.82	1850	<0.2	<3	<0.6	0.89	<0.2	<5	19.3	<0.2	<0.02	<0.01	<0.5	11.4	8.93	1.86	<0.005	2.16

Näytetunnus	Na	P	S	Si	PO4	Br	Cl	F	SO4	NO3	Alk	KMnO4	Kiinto-	TOC	DOC	Fe++	Syvyys	Paikka
Järvivesi	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mmol/l	mg/l	aine	mg/l	mg/l	mg/l	m	
	150P	150P	150P	150P	143C	+143R	+143R	+143R	+143R	+143R	143T	143T	143G	+142L	+142L	095C		
VE-RAPI-2013-1	1.15	<0.3	1.24	2.75	<0.02	<0.1	0.7	<0.1	3.3	0.5	0.80	18	<10	7.6	6.9	0.1	3	Kotajärvi
VE-RAPI-2013-2	1.75	<0.3	0.75	5.05	<0.02	<0.1	1.1	<0.1	1.7	<0.2	1.05	40	20	23	19	10	3	Iso-Vaiskonlampi
VE-RAPI-2013-3	1.37	<0.3	1.02	3.88	<0.02	<0.1	0.8	<0.1	2.6	<0.2	0.89	12	<10	10	9.9	0.3	11	Iso-Vaiskonlampi
VE-RAPI-2013-4	1.95	<0.3	0.92	5.68	<0.02	<0.1	0.8	<0.1	2.5	<0.2	1.81	-	<10	4.9	4.5	3.3	18	Iso-Vaiskonlampi
VE-RAPI-2013-5	1.96	0.3	0.26	6.20	0.33	<0.1	0.9	<0.1	0.8	<0.2	2.06	-	18	9.4	8.4	16	1.4	Saiveljärvi
VE-RAPI-2013-6	1.21	<0.3	1.08	3.71	<0.02	<0.1	0.7	<0.1	2.8	0.7	0.82	-	<10	7.0	6.9	1.5	12	Kotajärvi

Liite 1.

Näytetunnus	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S
Mineraalinen	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
purosedimentti	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P
PSM_RAPI-2012-1.1	35	<0.5	<0.5	11.2	<0.05	621	<0.05	<0.1	0.2	0.1	353	18	<0.05	68	172	<0.2	6.0	1.5	<2	<0.5	19.8
PSM_RAPI-2012-2.1	40	<0.5	<0.5	27.4	<0.05	743	<0.05	0.2	0.5	0.1	278	15	0.05	116	120	<0.2	6.6	1.0	2	<0.5	6.3
PSM_RAPI-2012-3.1	38	<0.5	<0.5	9.3	<0.05	198	<0.05	0.5	<0.1	<0.1	287	<10	<0.05	50	66	<0.2	4.9	0.9	5	<0.5	24.1
PSM_RAPI-2012-4.1	46	<0.5	<0.5	11.3	<0.05	324	<0.05	0.3	0.2	<0.1	301	10	<0.05	69	107	<0.2	5.4	1.0	5	<0.5	14.1
PSM_RAPI-2012-5.1	17	<0.5	<0.5	6.1	<0.05	151	<0.05	<0.1	0.2	<0.1	128	<10	<0.05	36	16	<0.2	5.7	0.1	<2	<0.5	5.8
PSM_RAPI-2012-7.1	33	<0.5	<0.5	36.8	<0.05	946	<0.05	0.4	0.4	0.4	1000	20	<0.05	270	393	<0.2	10.3	2.3	<2	<0.5	21.0
PSM_RAPI-2012-8.1	105	<0.5	<0.5	29.1	<0.05	842	<0.05	1.5	4.8	1.2	285	15	<0.05	164	473	<0.2	10.1	1.5	22	0.6	11.6
PSM_RAPI-2012-9.1R	37	<0.5	<0.5	14.3	<0.05	695	<0.05	0.1	0.2	0.1	337	14	<0.05	79	174	<0.2	6.3	2.2	<2	<0.5	29.0

Näytetunnus	Sb	Sr	Ti	V	Zn	pH	Ag	As	Bi	Cd	Mo	Pb	Sb	Se	Ti	U	Al	B	Ba	Be	Ca
Mineraalinen	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	pH	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
purosedimentti	201P	201P	201P	201P	201P	209I	+512M	+512M	+512M	+512M	+512M	+512M	+512M	+512M	+512M	+512M	+512P	+512P	+512P	+512P	+512P
PSM_RAPI-2012-1.1	<2	3.9	<0.1	<0.1	2.66	5.61	<0.06	2.44	<0.02	0.04	0.25	0.9	<0.1	0.22	<0.3	0.41	4210	<5	48.7	<0.2	1680
PSM_RAPI-2012-2.1	<2	3.4	<0.1	<0.1	5.70	5.64	<0.06	4.48	<0.02	0.08	0.82	1.2	<0.1	0.16	<0.3	0.30	5850	<5	134.0	<0.2	2530
PSM_RAPI-2012-3.1	<2	0.7	<0.1	<0.1	3.03	4.76	<0.06	1.09	<0.02	0.06	0.07	1.4	<0.1	0.17	<0.3	0.48	2660	<5	26.7	<0.2	1400
PSM_RAPI-2012-4.1	<2	1.2	<0.1	<0.1	4.30	5.14	<0.06	1.80	<0.02	0.06	0.09	1.3	<0.1	0.16	<0.3	0.43	3370	<5	24.3	<0.2	1380
PSM_RAPI-2012-5.1	<2	0.7	<0.1	<0.1	0.76	5.52	<0.06	1.50	<0.02	0.02	0.07	0.6	<0.1	0.13	<0.3	0.50	2640	<5	13.6	<0.2	1350
PSM_RAPI-2012-7.1	<2	3.2	<0.1	<0.1	5.58	5.76	0.09	7.25	<0.02	0.07	0.26	0.7	<0.1	0.24	<0.3	0.10	16400	<5	164.0	<0.2	3440
PSM_RAPI-2012-8.1	<2	4.2	0.9	1.8	3.55	5.24	<0.06	3.46	7.21	0.06	0.22	2.5	<0.1	0.13	<0.3	0.21	8200	<5	42.5	<0.2	1470
PSM_RAPI-2012-9.1R	<2	3.5	<0.1	<0.1	3.28	5.75	<0.06	2.74	<0.02	0.04	0.22	0.8	<0.1	0.17	<0.3	0.36	4280	<5	52.7	<0.2	1650

Näytetunnus	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zn	S	LOI	TUHK
Mineraalinen	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%	%
purosedimentti	+512P	+512P	+512P	+512P	+512P	+512P	+512P	+512P	+512P	+512P	+512P	+512P	+512P	+512P	+810L	818G	818G
PSM_RAPI-2012-1.1	7.0	36.5	5.6	15600	369	2260	2290	74	17	141	8.5	432	23.6	21	0.01	2.01	98.00
PSM_RAPI-2012-2.1	22.0	208.0	10.2	30900	586	6040	2760	162	69	324	9.1	371	32.4	42	0.03	3.32	96.70
PSM_RAPI-2012-3.1	4.2	22.2	3.5	6740	140	1420	275	101	12	164	4.4	288	12.7	17	0.03	2.38	97.60
PSM_RAPI-2012-4.1	6.6	36.3	4.1	10400	172	1860	440	89	16	198	4.2	357	14.0	24	0.02	1.99	98.00
PSM_RAPI-2012-5.1	3.4	31.3	3.8	6590	180	1320	111	106	10	108	4.8	300	10.6	9	<0.01	0.52	99.50
PSM_RAPI-2012-7.1	30.5	512.0	25.5	59400	479	16700	4090	149	153	463	9.7	557	39.3	64	0.02	4.46	95.50
PSM_RAPI-2012-8.1	20.9	598.0	17.9	24800	125	14200	772	76	172	267	6.3	310	70.0	44	0.02	3.57	96.40
PSM_RAPI-2012-9.1R	8.8	31.5	5.7	15700	361	2310	1660	71	18	136	7.5	383	21.0	20	0.02	2.59	97.40

Liite 1.

Näytetunnus	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Sr
Orgaaninen	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
purosedimentti	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P	201P
PSO_RAPI-2012-1.1	143	<0.5	<0.5	75	<0.05	3610	0.07	5.2	0.2	0.3	1460	106	0.12	378	4930	<0.2	24.8	9.8	8	<0.5	150.0	<2	18.0
PSO_RAPI-2012-2.1	244	<0.5	<0.5	19	<0.05	937	0.05	0.3	1.5	<0.1	519	33	<0.05	177	200	<0.2	10.3	1.3	5	<0.5	17.1	<2	3.7
PSO_RAPI-2012-3.1	175	<0.5	<0.5	26	<0.05	3370	<0.05	1.5	0.4	<0.1	1690	176	<0.05	755	739	<0.2	29.7	2.6	21	0.7	97.2	<2	9.6
PSO_RAPI-2012-4.1	249	<0.5	<0.5	26	<0.05	1880	<0.05	7.4	1.1	0.2	3090	66	<0.05	358	829	<0.2	21.2	4.6	21	0.8	223.0	<2	5.6
PSO_RAPI-2012-5.1	113	<0.5	<0.5	20	<0.05	1180	<0.05	2.2	0.8	<0.1	922	46	<0.05	221	708	<0.2	14.1	0.9	6	<0.5	59.3	<2	4.2
PSO_RAPI-2012-7.1	185	<0.5	<0.5	96	<0.05	5030	<0.05	15.1	0.8	0.8	3760	158	0.14	1480	5280	<0.2	42.7	13.4	8	0.6	144.0	<2	14.2
PSO_RAPI-2012-8.1	207	<0.5	<0.5	55	<0.05	3370	0.16	3.8	5.5	0.3	1680	61	0.05	510	1250	<0.2	23.8	2.9	21	2.2	91.9	<2	14.5
PSO_RAPI-2012-9.1R	168	<0.5	<0.5	83	<0.05	4670	0.09	6.0	0.5	0.3	1540	122	0.06	494	5280	<0.2	26.9	10.3	9	0.6	133.0	<2	22.0

Näytetunnus	Ti	V	Zn	pH	Ag	As	Be	Bi	Cd	Mo	Pb	Sb	Se	Th	Tl	U	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu
Orgaaninen	mg/kg	mg/kg	mg/kg	pH	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
purosedimentti	201P	201P	201P	209I	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P
PSO_RAPI-2012-1.1	0.13	<0.1	20.8	6.51	<0.02	6.42	<0.2	<0.2	0.19	0.58	1.38	<0.1	0.7	1.05	<0.02	0.77	7390	<5	285	5230	29.0	53.3	9.9
PSO_RAPI-2012-2.1	<0.1	<0.1	4.0	5.13	<0.02	7.91	<0.2	<0.2	0.16	1.06	3.54	<0.1	<0.3	1.21	<0.02	0.46	6450	<5	98	2660	19.9	123.0	5.6
PSO_RAPI-2012-3.1	0.15	0.2	11.9	5.36	<0.02	4.66	<0.2	<0.2	0.31	0.26	5.85	<0.1	0.6	0.92	<0.02	0.30	4660	<5	79	6080	12.2	42.4	6.8
PSO_RAPI-2012-4.1	0.27	1.0	21.4	4.98	<0.02	5.34	<0.2	<0.2	0.32	0.21	4.85	<0.1	0.7	1.41	<0.02	0.43	6970	<5	69	4540	23.3	76.8	11.3
PSO_RAPI-2012-5.1	0.40	0.4	3.4	6.03	<0.02	3.32	<0.2	<0.2	0.06	0.18	1.27	<0.1	<0.3	4.99	<0.02	0.80	5420	<5	42	2600	9.3	54.6	4.8
PSO_RAPI-2012-7.1	0.23	<0.1	14.5	6.55	<0.02	11.30	<0.2	<0.2	0.22	0.41	1.74	<0.1	0.7	1.32	<0.02	0.24	11200	<5	346	7800	81.8	276.0	21.7
PSO_RAPI-2012-8.1	1.76	3.0	27.3	5.12	0.023	4.42	<0.2	<0.2	0.45	1.30	11.00	<0.1	0.5	0.90	0.05	0.61	7190	<5	131	5210	20.2	249.0	17.1
PSO_RAPI-2012-9.1R	0.13	0.1	19.3	6.61	<0.02	7.65	<0.2	<0.2	0.26	0.64	1.94	<0.1	1.2	1.09	<0.02	1.09	7970	<5	318	6980	33.3	56.1	12.6

Näytetunnus	Fe	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Rb	S	Sr	Ti	V	Zn	S	LOI	TUHK
Orgaaninen	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%	%
purosedimentti	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+810L	818G	818G
PSO_RAPI-2012-1.1	42200	604	5.0	3980	12400	85	54	355	4.7	1190	27.9	395	32.0	66	0.17	13.20	86.80
PSO_RAPI-2012-2.1	48000	199	2.3	3540	2300	130	38	467	<1	413	9.8	441	31.5	39	0.05	10.70	89.30
PSO_RAPI-2012-3.1	25600	357	2.1	2420	2180	120	27	751	1.3	2270	20.8	386	18.6	45	0.32	26.90	73.10
PSO_RAPI-2012-4.1	29000	381	2.4	3020	1230	145	38	741	1.7	2090	17.8	541	31.5	64	0.25	20.00	80.00
PSO_RAPI-2012-5.1	16800	236	3.7	2290	1030	99	18	218	1.6	739	11.1	393	18.0	22	0.10	6.45	93.50
PSO_RAPI-2012-7.1	1E+05	327	4.3	9710	13700	109	132	519	1.0	1810	24.5	851	47.0	98	0.23	31.20	68.80
PSO_RAPI-2012-8.1	21100	297	2.0	6580	2230	97	75	673	3.2	1430	25.1	601	74.4	77	0.16	28.90	71.10
PSO_RAPI-2012-9.1R	50900	688	5.4	4270	13500	88	58	462	5.4	1660	35.0	436	36.7	73	0.19	17.30	82.70

Liite 1.

Näytetunnus	As	Be	Bi	Cd	Cu	Li	Mo	Sb	Se	Th	Ti	U	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Fe
Järvisedimentti- näytteet	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201M	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P
GK_RAPI-2013-1.1	3.08	<0.1	<0.1	0.14	0.6	<0.1	<0.02	<0.06	0.3	0.10	0.05	0.27	1510	<5	65	7260	13.9	16.4	28000
GK_RAPI-2013-1.2	3.66	<0.1	<0.1	0.14	0.6	<0.1	0.03	<0.06	<0.2	0.09	0.03	0.31	1360	<5	51	8090	13.2	8.8	19100
GK_RAPI-2013-1.3	2.58	<0.1	<0.1	0.08	0.4	<0.1	<0.02	<0.06	<0.2	0.06	0.03	0.38	1130	<5	39	8300	5.1	6.4	12200
GK_RAPI-2013-2.1	1.36	<0.1	<0.1	0.09	<0.4	<0.1	<0.02	<0.06	<0.2	0.04	0.04	0.10	429	<5	34	5340	2.0	1.2	10700
GK_RAPI-2013-2.2	1.29	<0.1	<0.1	0.04	<0.4	<0.1	<0.02	<0.06	<0.2	<0.02	0.03	0.06	277	<5	19	3310	1.2	0.6	6030
GK_RAPI-2013-2.3	1.61	<0.1	<0.1	0.04	<0.4	<0.1	<0.02	<0.06	<0.2	0.03	0.03	0.10	356	<5	32	4870	2.0	1.0	8590
GK_RAPI-2013-3.1	5.07	<0.1	<0.1	0.07	<0.4	<0.1	0.04	<0.06	0.3	0.15	0.05	1.19	875	<5	372	9300	34.5	15.6	112000
GK_RAPI-2013-3.2	5.01	<0.1	<0.1	0.06	<0.4	<0.1	0.07	<0.06	0.2	0.18	0.05	1.28	800	<5	317	8260	42.5	16.4	108000
GK_RAPI-2013-3.3	5.89	<0.1	<0.1	0.05	<0.4	<0.1	0.04	<0.06	0.2	0.14	0.03	1.50	484	<5	315	8380	39.2	18.8	129000

Näytetunnus	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Ti	V	Zn	pH	As	Be	Bi	Cd	Co
Järvisedimentti- näytteet	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	mg/kg 201P	pH 222I	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M
GK_RAPI-2013-1.1	221	631	2200	58	46.8	58	20.6	1060	721	19	1.3	13.9	52	4.96	0.11	<0.02	<0.05	<0.02	3.410
GK_RAPI-2013-1.2	134	692	1810	59	32.2	21	25.6	880	386	21	<1	12.2	40	5.05	0.09	<0.02	<0.05	<0.02	2.330
GK_RAPI-2013-1.3	121	689	1500	55	14.3	<20	15.7	363	268	20	<1	6.1	21	5.03	0.08	<0.02	<0.05	<0.02	0.871
GK_RAPI-2013-2.1	456	740	261	68	10.1	148	7.1	192	270	16	<1	4.3	25	5.11	0.11	<0.02	<0.05	<0.02	0.392
GK_RAPI-2013-2.2	136	486	151	34	6.3	54	7.5	141	133	10	<1	3.6	16	5.07	0.05	<0.02	<0.05	<0.02	0.225
GK_RAPI-2013-2.3	112	741	213	39	7.8	31	4.0	172	211	13	<1	4.9	16	5.10	0.05	<0.02	<0.05	<0.02	0.358
GK_RAPI-2013-3.1	204	1040	3220	90	20.7	807	11.5	447	3270	21	1.9	15.4	33	5.51	0.14	<0.02	<0.05	<0.02	3.310
GK_RAPI-2013-3.2	168	935	3040	78	20.8	763	17.4	450	3020	19	1.5	14.7	31	5.51	0.13	<0.02	<0.05	<0.02	4.490
GK_RAPI-2013-3.3	124	929	3010	78	17.1	823	14.3	343	3430	19	1.7	14.4	24	5.55	0.14	<0.02	<0.05	<0.02	3.200

Näytetunnus	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Th	Ti	U	Al	B	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na
Järvisedimentti- näytteet	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222M	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg 222P
GK_RAPI-2013-1.1	<0.001	1.98	0.02	<0.1	6.83	<0.008	<0.02	0.19	<0.005	0.006	<0.001	7	<5	3680	810	131	440	983	48
GK_RAPI-2013-1.2	0.009	2.04	0.02	<0.1	3.64	<0.008	<0.02	0.19	<0.005	0.006	<0.001	5	<5	3950	531	61	456	747	43
GK_RAPI-2013-1.3	<0.001	2.23	<0.02	<0.1	1.31	0.010	<0.02	0.20	<0.005	0.005	<0.001	<5	<5	4030	286	68	467	596	45
GK_RAPI-2013-2.1	<0.001	3.18	<0.02	<0.1	0.92	<0.008	<0.02	0.34	<0.005	0.006	<0.001	<5	<5	3010	221	332	544	102	56
GK_RAPI-2013-2.2	<0.001	4.15	<0.02	<0.1	0.67	<0.008	<0.02	0.37	<0.005	0.005	<0.001	<5	<5	2290	223	90	389	71	25
GK_RAPI-2013-2.3	<0.001	3.30	<0.02	<0.1	0.68	<0.008	<0.02	0.31	<0.005	0.005	<0.001	<5	<5	2920	217	65	545	90	34
GK_RAPI-2013-3.1	<0.001	1.08	0.04	<0.1	1.03	<0.008	<0.02	0.12	<0.005	0.004	<0.001	<5	<5	3520	2240	86	697	832	71
GK_RAPI-2013-3.2	0.005	1.29	0.04	<0.1	1.07	<0.008	<0.02	0.12	<0.005	0.004	<0.001	<5	<5	3370	2160	67	637	800	65
GK_RAPI-2013-3.3	<0.001	1.20	0.03	<0.1	0.62	<0.008	<0.02	0.12	<0.005	0.004	<0.001	<5	<5	3200	2800	52	609	714	61

Liite 1.

Näytetunnus	P	S	Si	Sr	V	Ti	Zn	Be	Bi	Cd	Li	Mo	Sb	Se	Th	Tl	U	Al	As
Järvisedimentti-näytteet	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg 222P	mg/kg + 503M	mg/kg + 503M	mg/kg + 503M	mg/kg + 503M	mg/kg + 503M	mg/kg + 503M	mg/kg + 503M	mg/kg + 503M	mg/kg + 503M	mg/kg + 503M	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P
GK_RAPI-2013-1.1	<10	261	138	8.9	<0.2	<0.5	4.7	<0.4	<0.4	0.86	2.1	1.06	<0.2	4.4	1.08	0.20	0.53	10400	7
GK_RAPI-2013-1.2	<10	247	92	9.2	<0.2	<0.5	3.4	<0.4	0.4	0.77	2.3	1.28	<0.2	4.2	0.91	0.17	0.52	8950	6
GK_RAPI-2013-1.3	<10	50	90	9.1	<0.2	<0.5	1.6	<0.4	<0.4	0.61	2.0	0.92	<0.2	4.0	0.86	0.14	0.71	8930	6
GK_RAPI-2013-2.1	18	37	87	9.0	<0.2	<0.5	1.9	<0.4	<0.4	0.51	0.7	0.39	<0.2	1.4	0.67	0.08	0.22	5370	<5
GK_RAPI-2013-2.2	<10	28	51	6.3	<0.2	<0.5	1.5	<0.4	<0.4	0.58	0.7	0.31	<0.2	1.0	0.49	0.08	0.17	3980	<5
GK_RAPI-2013-2.3	<10	23	73	7.6	<0.2	<0.5	1.1	<0.4	<0.4	0.42	0.8	0.45	<0.2	1.5	0.83	0.09	0.25	6750	<5
GK_RAPI-2013-3.1	<10	136	347	6.9	<0.2	<0.5	0.6	<0.4	<0.4	0.41	0.4	0.80	<0.2	6.5	0.88	0.12	2.31	8700	12
GK_RAPI-2013-3.2	<10	142	325	6.7	<0.2	<0.5	<0.5	<0.4	<0.4	0.50	0.6	1.23	<0.2	6.0	0.99	0.13	2.53	8760	9
GK_RAPI-2013-3.3	<10	82	322	6.4	<0.2	<0.5	<0.5	<0.4	<0.4	0.42	0.5	0.84	<0.2	6.0	0.78	0.11	2.75	7390	14

Näytetunnus	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Sr	Ti	V	Zn
Järvisedimentti-näytteet	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P	mg/kg + 503P
GK_RAPI-2013-1.1	6	103	8660	33.5	138.0	41.6	60700	603	2280	2370	99	127	1090	40	9960	24.1	275	44.9	169
GK_RAPI-2013-1.2	<5	68	7900	36.5	115.0	29.9	34100	446	2190	1550	75	100	613	38	9080	21.1	255	35.7	133
GK_RAPI-2013-1.3	6	65	9850	25.7	140.0	28.4	34100	460	2100	1600	79	94	856	32	7620	24.9	210	27.2	124
GK_RAPI-2013-2.1	<5	47	5930	8.6	53.4	13.3	29700	577	1610	290	105	56	1540	16	4500	18.7	212	17.1	74
GK_RAPI-2013-2.2	<5	26	4170	8.6	38.4	6.6	18200	255	1240	165	85	37	1000	14	3240	13.6	207	14.9	72
GK_RAPI-2013-2.3	<5	45	6130	11.8	66.0	11.0	27000	296	1730	238	87	64	775	8	4870	17.8	265	20.8	76
GK_RAPI-2013-3.1	<5	583	11400	57.5	63.0	19.7	233000	374	1600	4130	99	36	3830	21	7780	27.7	179	42.3	93
GK_RAPI-2013-3.2	<5	486	10200	70.0	66.1	19.8	223000	356	1620	3960	86	36	3400	30	7950	24.6	217	41.3	113
GK_RAPI-2013-3.3	<5	480	10400	64.4	65.5	14.9	242000	302	1520	3840	82	28	3530	25	6410	24.9	163	39.5	93

Näytetunnus	LOI	TUHK	C	N	Kuiva-	Märkä-
Järvisedimentti-näytteet	% 818G	% 818G	% + 820L	% + 820L	paino,g 90	paino,g 94
GK_RAPI-2013-1.1	61.30	38.70	33.40	2.07	11.40	253
GK_RAPI-2013-1.2	60.50	39.50	33.30	2.02	12.90	216
GK_RAPI-2013-1.3	63.50	36.50	35.00	2.14	11.90	228
GK_RAPI-2013-2.1	48.20	51.80	27.20	2.95	12.30	224
GK_RAPI-2013-2.2	29.20	70.80	18.40	2.07	26.30	271
GK_RAPI-2013-2.3	44.10	55.90	25.10	2.49	18.60	271
GK_RAPI-2013-3.1	38.90	61.10	19.40	0.93	6.21	237
GK_RAPI-2013-3.2	39.10	61.00	19.60	0.99	8.32	252
GK_RAPI-2013-3.3	38.50	61.50	19.50	0.90	10.20	267

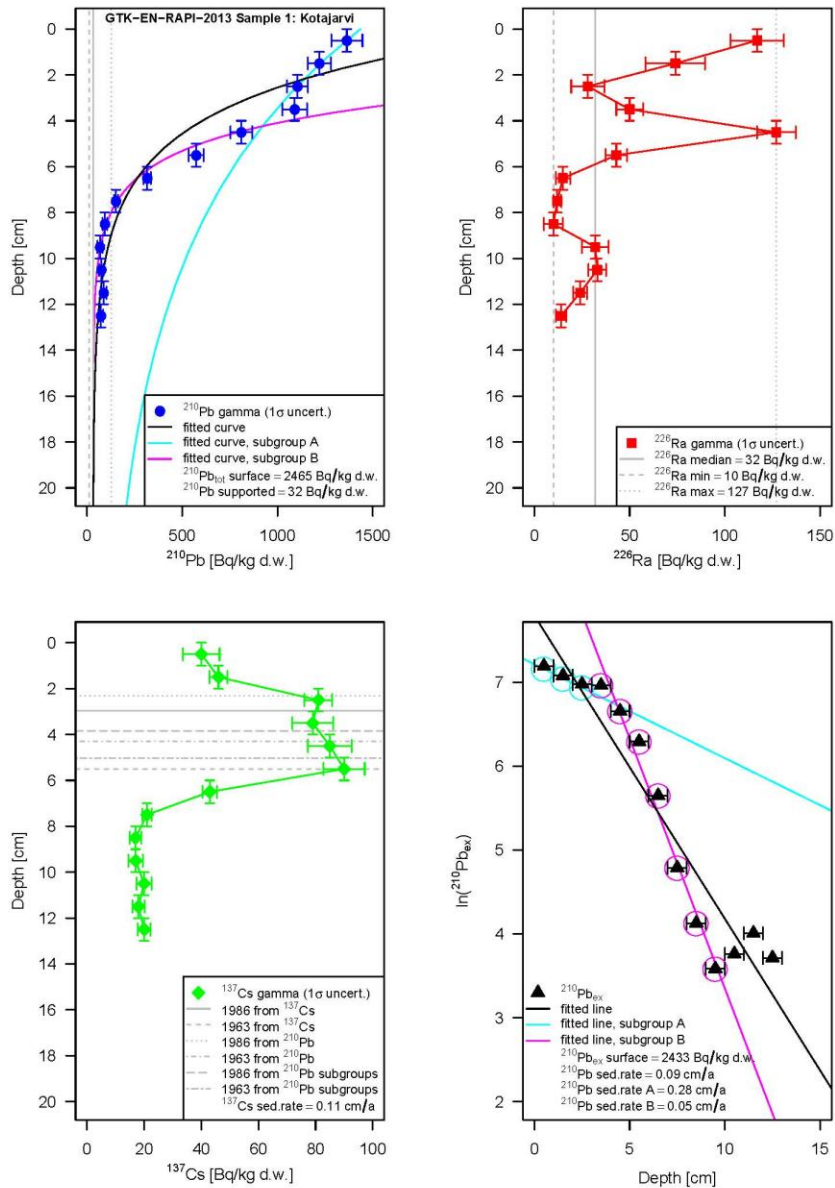
Liite 1.

Näytetunnus	Ag	As	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Li	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Th	Ti	U	Al	B	Ba	Ca
Sammalnäytteet	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503M	+503P	+503P	+503P	+503P
EN_RAPI-2012-1.1	<0.02	<0.1	<0.2	<0.2	0.07	0.15	<1	<0.2	<0.04	<0.6	1.00	<0.1	<0.3	<0.04	0.03	<0.02	140	<5	11.7	2200
EN_RAPI-2012-2.1	<0.02	<0.1	<0.2	<0.2	0.09	0.18	<1	<0.2	<0.04	0.9	0.95	<0.1	<0.3	<0.04	0.02	<0.02	112	<5	20.2	2890
EN_RAPI-2012-3.1	<0.02	0.11	<0.2	<0.2	0.08	0.22	1.2	<0.2	<0.04	2.0	1.19	<0.1	<0.3	<0.04	0.02	<0.02	184	<5	21.1	3040
EN_RAPI-2012-4.1	<0.02	<0.1	<0.2	<0.2	0.07	0.25	1.3	<0.2	<0.04	1.4	0.90	<0.1	<0.3	<0.04	0.03	<0.02	189	<5	14.7	3140
EN_RAPI-2012-5.1	<0.02	<0.1	<0.2	<0.2	0.09	0.21	1.1	<0.2	<0.04	1.5	1.13	<0.1	<0.3	<0.04	0.03	<0.02	180	<5	20.2	2770
EN_RAPI-2012-6.1	<0.02	<0.1	<0.2	<0.2	0.09	0.20	<1	<0.2	<0.04	<0.6	1.05	<0.1	<0.3	<0.04	0.02	<0.02	113	<5	16.2	2800
EN_RAPI-2012-7.1	<0.02	<0.1	<0.2	<0.2	0.10	0.41	1.6	<0.2	<0.04	2.2	1.42	<0.1	<0.3	<0.04	0.04	<0.02	213	<5	10.1	3060
EN_RAPI-2012-8.1	<0.02	<0.1	<0.2	<0.2	0.07	0.21	<1	<0.2	<0.04	0.7	0.87	<0.1	<0.3	<0.04	0.02	<0.02	118	<5	16.4	2880
EN_RAPI-2012-9.1	<0.02	<0.1	<0.2	<0.2	0.08	0.51	2.5	<0.2	<0.04	4.0	1.09	<0.1	<0.3	<0.04	<0.02	<0.02	161	<5	17.4	2720
EN_RAPI-2012-10.1	<0.02	<0.1	<0.2	<0.2	0.07	0.70	2.8	<0.2	<0.04	5.2	1.02	<0.1	<0.3	<0.04	0.03	<0.02	196	<5	11.4	2590
EN_RAPI-2012-11.1	<0.02	<0.1	<0.2	<0.2	0.10	0.24	<1	<0.2	<0.04	1.8	1.00	<0.1	<0.3	<0.04	0.02	<0.02	96	<5	42.1	4320

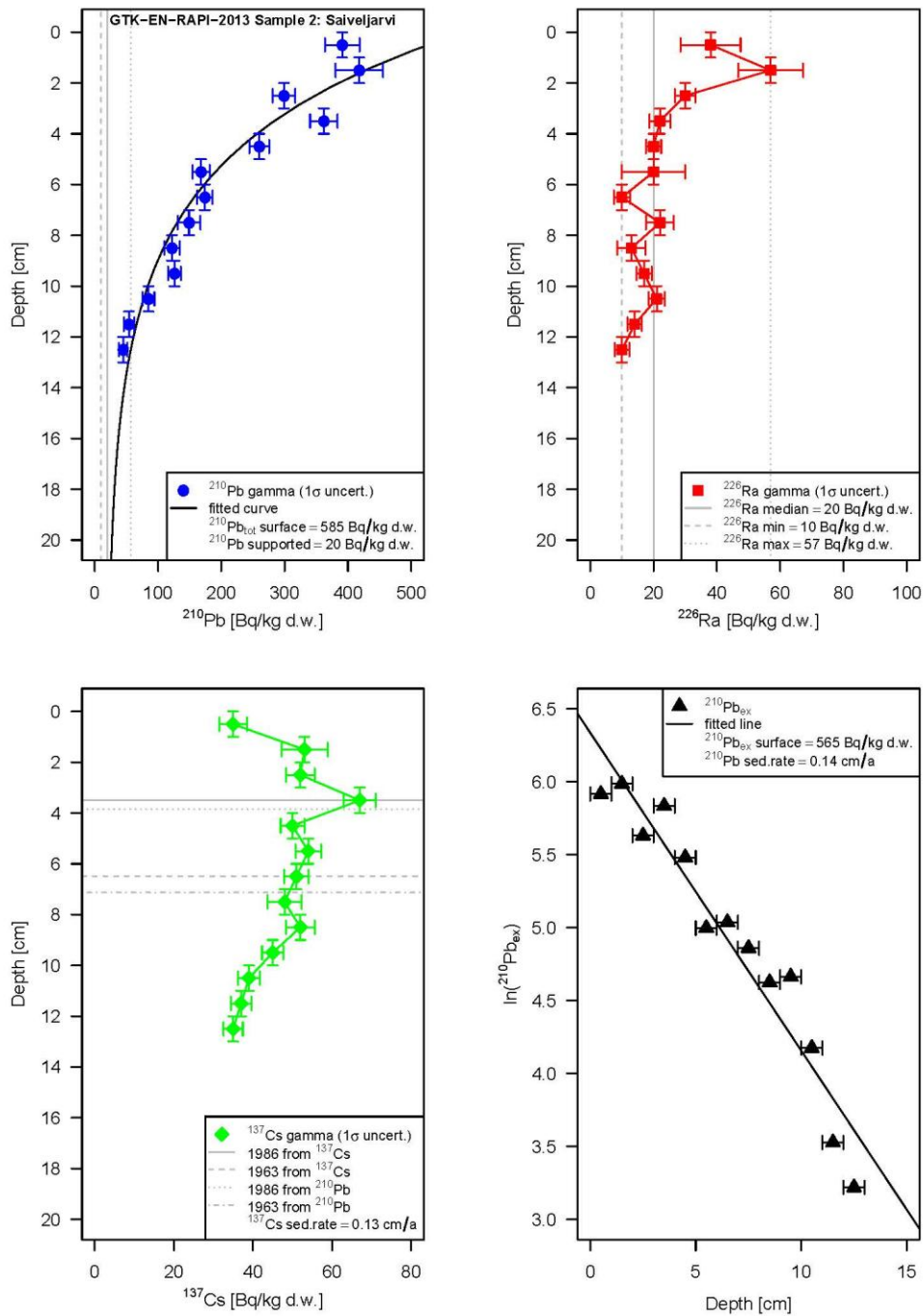
Näytetunnus	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Rb	Sr	Ti	V	Zn	S	Kosteus
Sammalnäytteet	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%
	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+503P	+810L	814G
EN_RAPI-2012-1.1	3.9	174	3830	802	418	62	1160	11	4.1	8	0.6	24.0	0.07	9.12
EN_RAPI-2012-2.1	4.1	105	4580	1150	579	44	1500	14	5.4	4	0.5	37.6	0.08	7.67
EN_RAPI-2012-3.1	4.4	221	3390	1070	490	44	1050	13	5.3	11	0.9	25.1	0.08	8.02
EN_RAPI-2012-4.1	5.4	234	4200	1380	298	51	1310	16	5.1	9	0.8	25.4	0.08	9.47
EN_RAPI-2012-5.1	4.4	203	3870	1050	555	48	1140	14	4.1	10	0.8	25.1	0.08	7.54
EN_RAPI-2012-6.1	4.0	104	4190	1130	409	57	1250	14	6.3	4	0.6	28.1	0.08	8.43
EN_RAPI-2012-7.1	5.6	266	4600	864	507	49	1090	24	5.0	8	1.1	28.7	0.08	8.31
EN_RAPI-2012-8.1	4.6	140	4460	1070	367	50	1430	16	8.1	4	0.6	27.0	0.09	7.97
EN_RAPI-2012-9.1	8.1	280	4060	989	466	48	1220	13	3.4	8	0.8	25.3	0.08	8.33
EN_RAPI-2012-10.1	9.4	341	4610	960	436	54	1160	18	4.3	8	0.8	26.9	0.08	8.32
EN_RAPI-2012-11.1	5.1	137	5220	1240	909	58	1330	12	11.3	4	0.6	41.6	0.11	8.51

Kotajärven (a), Saiveljärven (b) ja Iso-Vaiskonlammen (c) järvisedimenttisarjojen ^{210}Pb - ja ^{137}Cs -määritykset sekä arvio vuosittaisesta sedimentaatiosta Kevitsan alueella, Sodankylässä. Isotooppimääritykset on tehty Säteilyturvakeskuksen laboratoriossa Rovaniemellä ja tulosten tulkinnasta on vastannut STUK:n tutkija Antti Kallio.

(a)



(b)



(c)

