



# ASROCKS-hankkeen heikkouuttomenetelmien vertailu

**Timo Tarvainen, Tarja Hatakka, Birgitta Backman, Terhi Ketola ja  
Paavo Härmä**



LIFE10 ENV/FI/000062 ASROCKS  
*With the contribution of the LIFE  
Financial Instrument of the European  
Community*





## GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

## KUVAILULEHTI

Päivämäärä / Dnro

28.8.2014

Tekijät Timo Tarvainen, Tarja Hatakka, Birgitta Backman, Terhi Ketola ja Paavo Härmä		Raportin laji Arkistoraportti	
		Toimeksiantaja GTK ja Tampereen teknillinen yliopisto	
Raportin nimi Ascrocks-hankkeen heikkouuttomenetelmien vertailu			
Tiivistelmä Asrocks-hankeessa selvitetään arseenin mahdollisesti aiheuttamaa riskiä Pirkanmaan ja Kanta-Hämeen alueella sijaitsevilla kalliokiviaineksen, soran ja hiekan tuotantopaikoilla sekä rakennuskohteissa ja laaditaan ohjeistus maa- ja kiviainestuottajille sekä viranomaisten käyttöön. Hankkeen toteuttavat Geologian tutkimuskeskus, Tampereen teknillinen yliopisto ja Suomen ympäristökeskus. Hanke on osittain Euroopan Unionin Life+ ympäristöpolitiikka ja –hallinto –ohjelman rahoittama. Asrocks-hankeessa tutkittiin arseenin liukenemista kalliokiviainestuotteista ja maaperänäytteistä erilaisilla heikkouutoilla ja liukoisuustesteillä. Heikkouuttoanalyysien ja liukoisuustestien tulokset eivät aina korreloi positiivisesti.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Ympäristögeologia, geokemialliset tutkimukset, kiviaines, maaperä, alkuaineet, arseeni, Pirkanmaa, Kanta-Häme			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Pirkanmaa, Kanta-Häme			
Karttalehdet			
Muut tiedot			
Arkistosarjan nimi		Arkistotunnus 77/2014	
Kokonaissivumäärä 13	Kieli suomi	Hinta	Julkiisuus julkinen
Yksikkö ja vastuualue Etelä-Suomen yksikkö VA 211, 212		Hanketunnus 3263000 LIFE10ENV/FI/000062 ASROCKS	
Allekirjoitus/nimen selvennys		Allekirjoitus/nimen selvennys	





## GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

## DOCUMENTATION PAGE

Date / Rec. no.

28.8.2014

Authors Timo Tarvainen, Tarja Hatakka, Birgitta Backman, Terhi Ketola and Paavo Härmä		Type of report Archive Report	
		Commissioned by GTK and Tampere University of Technology	
Title of report ASROCKS Project: Comparison of weak extraction methods			
Abstract The main objective of the EU Life+ ASROCKS project is to provide guidelines and risk management tools for the exploitation of natural aggregate resources (crushed bedrock, sand and gravel) in areas with naturally elevated arsenic concentrations in the bedrock and soil in the Tampere-Häme region in southern Finland. In addition, guidelines are also developed for the re-use of aggregates in construction areas with elevated arsenic concentration. The guidelines and tools produced during the project are targeted both for the aggregate producers and environment authorities. Project partners are Geological Survey of Finland, Finnish Environment Institute and Tampere University of Technology. Easily mobile fraction of arsenic concentrations was evaluated using various weak extraction methods and leaching tests. The results of weak extraction methods and standard leaching tests do not always correlate positively			
Keywords environmental geology, geochemical surveys, aggregate, soil, chemical elements, arsenic, Pirkanmaa, Kanta-Häme			
Geographical area Pirkanmaa, Kanta-Häme			
Map sheet			
Other information			
Report serial		Archive code 77/2014	
Total pages 13	Language Finnish	Price	Confidentiality Public
Unit and section Southern Finland Unit		Project code 3263000 LIFE10ENV/FI/000062 ASROCKS	



28.8.2014



## Sisällysluettelo

### Kuvailulehti Documentation page

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TUTKIMUKSET</b>	<b>1</b>
2.1	Tutkimuskohteet ja näytteet	1
2.2	Kemialliset analyysit	1
2.3	Liukoisuustesti	2
<b>3</b>	<b>TULOKSET</b>	<b>2</b>
3.1	Liukoisuudet eri uutoilla	2
3.2	Heikkouuttojen ja liukoisuustestien tarkastelu	4
<b>4</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>KIRJALLISUUS</b>	<b>9</b>



28.8.2014

## 1 JOHDANTO

Asrocks-hankkeessa selvitetään arseenin mahdollisesti aiheuttamaa riskiä Pirkanmaan ja Kanta-Hämeen alueella sijaitsevilla kalliokiviaineksen, soran ja hiekan tuotantopaikoilla sekä rakennuskohteissa ja laaditaan ohjeistus maa- ja kiviainestuottajille sekä viranomaisten käyttöön. Hankkeen toteuttavat Geologian tutkimuskeskus, Tampereen teknillinen yliopisto ja Suomen ympäristökeskus. Hanke on osittain Euroopan Unionin Life+ ympäristöpolitiikka ja –hallinto –ohjelman rahoittama.

Hankkeessa tutkittiin kiviaines- ja maanäytteiden arseenin kokonaispitoisuutta (kuningasvesiliuotus) ja veteen mahdollisesti liukenevaa arseenipitoisuutta (heikkouutot ja liukoisuustestit). Hankkeessa käytettiin pääasiallisena heikkouuttomenetelmänä hapanta ammoniumasetaatti-EDTA-uuttoa. Kesällä 2014 tilattiin Labtium Oy:n laboratoriosta kolmeen muuhun heikkouuttoon perustuvat lisäanalyysit, jotta tuote- ja maaperänäytteisiin eri tavalla sitoutuneena olevan arseenin esiintymisestä saataisiin lisätietoa.

## 2 TUTKIMUKSET

### 2.1 Tutkimuskohteet ja näytteet

Heikkouuttojen ja liukoisuustestien tutkimuksiin valittiin kolmelta alueelta otettuja näytteitä. Nokia ja Marjamäki ovat kalliokiviaineksen tuotantokohteita ja Pirkkalan Koivisto on suunniteltu rakennuskohte. Nokian ja Marjamäen alueelta otettiin kummastakin näytteitä kolmesta eri kiviainestuotteesta. Koiviston analyysit tehtiin laboratoriossa tuotetuista kiviainestuotteista (0 – 4 mm ja 4 – 8 mm). Koivistosta tutkittiin myös kolme maaperänäytettä. Heikkouuttojen vertailututkimukseen valittiin yhteensä 11 näytettä, joista kolme oli maaperänäytteitä ja loput kiviainestuotteita.

### 2.2 Kemialliset analyysit

Tämän tutkimuksen näytteistä on määritetty aikaisemmin Labtium Oy:ssä alkuaineiden todellisia kokonaispitoisuuksia XRF-menetelmällä, pitkällä aikavälillä happamassa ympäristössä mahdollisesti liukenevia pitoisuuksia kuningasvesiuutolla sekä helppoliukoisia pitoisuuksia happamalla ammoniumasetaatti-EDTA-uutolla (1 M ammoniumasetaatti+Na<sub>2</sub>-EDTA-uutto, pH 4.5). Maaperänäytteet on seulottu alle 2 mm raekokoon. Tuotenäytteet on tarvittaessa hienomurskattu alle 2 mm raekokoon. Arseenin kuningasvesiliukoiset pitoisuudet olivat lähellä todellisia kokonaispitoisuuksia ja kuningasvesiliuotukseen perustuvan analyysimenetelmän määrittämisraja oli pienempi kuin XRF-mittauksen määrittämisraja 20 mg/kg. Siksi tässä raportissa käytetään kokonaisarseenipitoisuuden arvona kuningasvesiliukoista pitoisuutta. Arseenin lisäksi on selvitetty kaikkien pilaantuneita maita koskevan asetuksen metallien ja puolimetallien pitoisuudet elohopeaa lukuun ottamatta sekä muita ominaisuuksia kuten maaperän hiilipitoisuus.

Koska hapan ammoniumasetaatti-EDTA-uutto liuotukseen perustuvat arseenipitoisuudet mittaavat enemmän kasvien käytössä olevia alkuainepitoisuuksia kuin veteen helposti liukenevia pitoisuuksia, Asrocks-hanke päätti teettää kesällä 2014 11 näytteen vertailututkimuksen, jossa teetettiin seuraavat lisä-uutot:



28.8.2014

- 0.01 M ammoniumkloridiuutto (Uutto on tehty uuttosuhteella 2 g näytettä : 100 ml uuttoliuosta)
- 0.01 M BaCl<sub>2</sub>-uutto (Uutto on tehty uuttosuhteella 3 g näytettä : 30 ml uuttoliuosta)
- Hapan 0.2 M ammoniumoksalattiuutto (Uutto on tehty uuttosuhteella 1 g näytettä : 100 ml uuttoliuosta).

Arsenimääritys on tehty kaikista edellä mainituista heikkouutoista ICP-MS-tekniikalla.

### 2.3 Liukoisuustesti

Vertailuaineistona käytettiin erilaisia liukoisuustestejä, joita oli tehty aiemmin kiviaines- ja maaperänäytteistä Tampereen teknillisen yliopiston laboratoriossa. Seitsemästä kalliokiviainesnäytteestä tehtiin liukoisuustesti ravistelutestimenetelmällä SFS-EN 12457-3. Arseenin, sulfaatin ja 11 muun alkuaineen liukoisuudet määritettiin L/S-suhteilla 2 ja 10. Tässä vertailussa on käytetty L/S-suhteella 10 määritettyjä liukoisen arseenin pitoisuuksia. Ravistelutestiin valittiin pääasiassa sellaisia kalliomursketuotteita, joiden suurin raekoko oli 3 tai 4 mm. Muutaman testatun tuotteen suurin raekoko oli isompi, jolloin testissä käytettiin alle 16 mm raekokoon katkaistua jaetta. Samoista tuotteista tehtiin myös läpivirtaustesti CEN/TS 14405 eli niin sanottu kolonnitesti. Läpivirtaustestin kesto on tyypillisesti ollut 18 – 22 vuorokautta. Myös läpivirtaustestin tuloksista on tässä vertailussa käytetty L/S-suhteella 10 määritettyjä arseenipitoisuuksia. Läpivirtaustestin kesto on pidempi kuin muiden testien ja L/S-suhteella 10 testattavan aineksen kanssa kosketuksiin tulleen veden määrä vastaa varsin pitkäaikaista sateen määrää. Läpivirtaustesti kuvastaa keskipitkän aikavälin liukenemista, tosin se ei täysin kuvasta sulfidien hapettumisen aiheuttamaa metallien liukoisuuden lisääntymistä. Läpivirtaustestin käyttöä on kuvattu lisää teoksessa Wahlström ja Laine-Ylijoki 1996.

Lisäksi kolmesta näytteestä tehtiin kiviainesten liukoisuustesti SFS-EN 1744-3 ja neljästä tässä vertailussa mukana olleesta näytteestä pH vaikutustesti CEN/TS 14997 neljässä eri pH:ssa: tuotteen omassa pH:ssa, pH 4:ssä, pH 7:ssä ja pH 9:ssä.

## 3 TULOKSET

### 3.1 Liukoisuudet eri uutoilla

Eri heikkouuttomenetelmät ja liukoisuustestit mittaavat eri asioita. Taulukossa 1 on verrattu eri menetelmällä tehtyjen heikkouuttojen ja liukoisuustestien arseenipitoisuuksia kyseisen näytteen kokonaisarseenipitoisuuteen (kuningasvesiliukoiseen pitoisuuteen). Heikkouuttojen ja liukoisuustestien perusteella määritetyt arseenipitoisuudet on ilmoitettu prosentteina arseenin kokonaispitoisuudesta (kuningasvesiliukoisesta pitoisuudesta). Kahden näytteen ammoniumoksalattiukoiset pitoisuudet ovat yli 100 % kuningasvesiliukoisista pitoisuuksista. Kuningasvesiliukoinen pitoisuus ei ole aivan sama kuin arseenin todellinen kokonaispitoisuus ja näiden näytteiden osalta ammoniumoksalattiuutto on lähempänä todellista kokonaispitoisuutta. Ammoniumoksalattiuuttoa käytetään erityisesti rautasaostumiin sitoutuneen ar-



28.8.2014

seenipitoisuuden arviointiin, joten näissä näytteissä arseeni lienee sitoutunut rautasaostumiin. Heikkouuttoista 0.01 M BaCl<sub>2</sub>-uutto kuvastaa fysikaalisesti mineraalirakeiden pinnoille sitoutunutta herkkäliukoista, eliöiden käytössä olevaa fraktiota. Ammoniumkloriduuutto on samankaltainen kuin BaCl<sub>2</sub>-uutto. Ammoniumasetaattuuutto kuvaa mineraalien pinnoille kemiallisesti sitoutunutta, vaihtokykyistä fraktiota (Heikkinen ym. 2005). Tässä vertailussa käytetty ammoniumasetaatti-EDTA-uutto kuvaa lähinnä kasvien käytössä olevaa metallipitoisuutta.

Taulukossa 1 ei ole esitetty kiviaineksen liukoisuustestin ja pH-vaikutustestin tuloksia, koska kyseisiä testejä oli vain muutamista näytteistä. Kiviainesten liukoisuustestin CEN/TS 14997 perusteella määritetyt arseeni liukoisuudet olivat kaikissa tapauksissa pienemmät kuin ravistelu- tai läpivirtaustestin perusteella määritetyt arseenin liukoisuudet. pH-vaikutustesteissä havaittiin erityisesti Nokian ja Koiviston tuotteiden arseenin olevan helppoliukoisempia pH-arvoilla 4 ja 9.

Taulukon 1 mukaan arseenin liukoisuus on keskimäärin hyvin pieni ammoniumkloridi- ja bariumkloriduuutoissa. Ammoniumasetaatti-EDTA-uuttoon liukenee puolestaan enemmän arseenia kuin liukoisuustesteissä. Ammoniumoksaalaattiuuton arseenipitoisuudet vaihtelevat eniten: jos arseeni on sitoutunut rautasaostumiin niin ammoniumoksaalaattiin voi liueta jopa enemmän arseenia kuin kuningasvesiuuttoon.

Taulukossa liukoisuudet on esitetty usean desimaalin tarkkuudella. Tuloksia arvioitaessa on huomattava, että sekä heikkouuttoihin että liukoisuustesteihin perustuvat arseenipitoisuudet ovat yleensä hyvin pieniä ja analyysituloksiin liittyy mittausepävarmuutta. Jos heikkouutto- tai liukoisuustestin arseenipitoisuus on ollut pienempi kuin analyysimenetelmän määrittämissä raja-arvoissa, taulukon liukoisuusprosentin laskennassa on käytetty arseenipitoisuuden arvona määrittämissä raja-arvoissa.



28.8.2014

**Taulukko 1.** Asrocks-hankkeen valikoitujen kiviaines- ja maaperänäytteiden arseenin liukenevuus eri heikkouuttomenetelmillä ja liukoisuustesteissä.  $ACI/AR$  = ammoniumkloridiuutolla ( $ACI$ ) määritetty arseenipitoisuus jaettuna kuningasvesiliukoisella arseenipitoisuudella ( $AR$ ) prosentteina;  $BaCl_2/AR$  =  $BaCl_2$ -liukoinen pitoisuus jaettuna  $AR$ -liukoisella pitoisuudella prosentteina;  $AOks/AR$  = ammoniumoksalaattiliukoinen pitoisuus jaettuna  $AR$ -liukoisella pitoisuudella prosentteina;  $AA-EDTA/AR$  = ammoniumasetatti-EDTA-liukoinen pitoisuus jaettuna  $AR$ -liukoisella pitoisuudella prosentteina;  $rav/AR$  = ravistelutestin arseenipitoisuus jaettuna  $AR$ -liukoisella pitoisuudella prosentteina ja  $kol/AR$  = läpivirtaustestin arseenipitoisuus jaettuna  $AR$ -liukoisella pitoisuudella.

Näytetyyppi	As liuk. % ACI/AR	As liuk. % BaCl <sub>2</sub> /AR	As liuk. % AOks/AR	As liuk. % AA-EDTA/AR	As liuk. % rav/AR	As liuk. % kol/AR
Koivisto tuote 0-4 mm	0,11	0,134	1,0	0,4	0,35	0,40
Koivisto tuote 4 -8 mm	0,07	0,087	0,6	0,1	0,08	0,04
Koivisto pintamaa	0,05	0,030	109,4	1,4		
Koivisto pohjamaa 180-210 cm	0,03	0,019	93,9	1,3		
Koivisto pohjamaa 134-194 cm	0,02	0,004	106,5	1,5	0,01	0,02
Marjamäki tuote 3-6 mm	0,73	0,176	14,4	5,2	0,46	0,39
Marjamäki tuote 0-3 mm	0,05	0,008	45,0	15,3	0,01	0,12
Marjamäki tuote 0-56 mm	0,19	0,043	5,4	2,6	0,27	0,25
Nokia Nokia tuote 0-4 mm	0,26	0,078	18,4	8,6	0,97	2,39
Nokia Nokia tuote 0-16 mm	0,08	0,106	6,3	3,9	0,78	1,27
Nokia Nokia tuote 4-8 mm	0,30	0,126	5,5	3,8	0,32	0,48
Liukoisuus-% mediaani	0,08	0,078	14,40	2,61	0,32	0,39

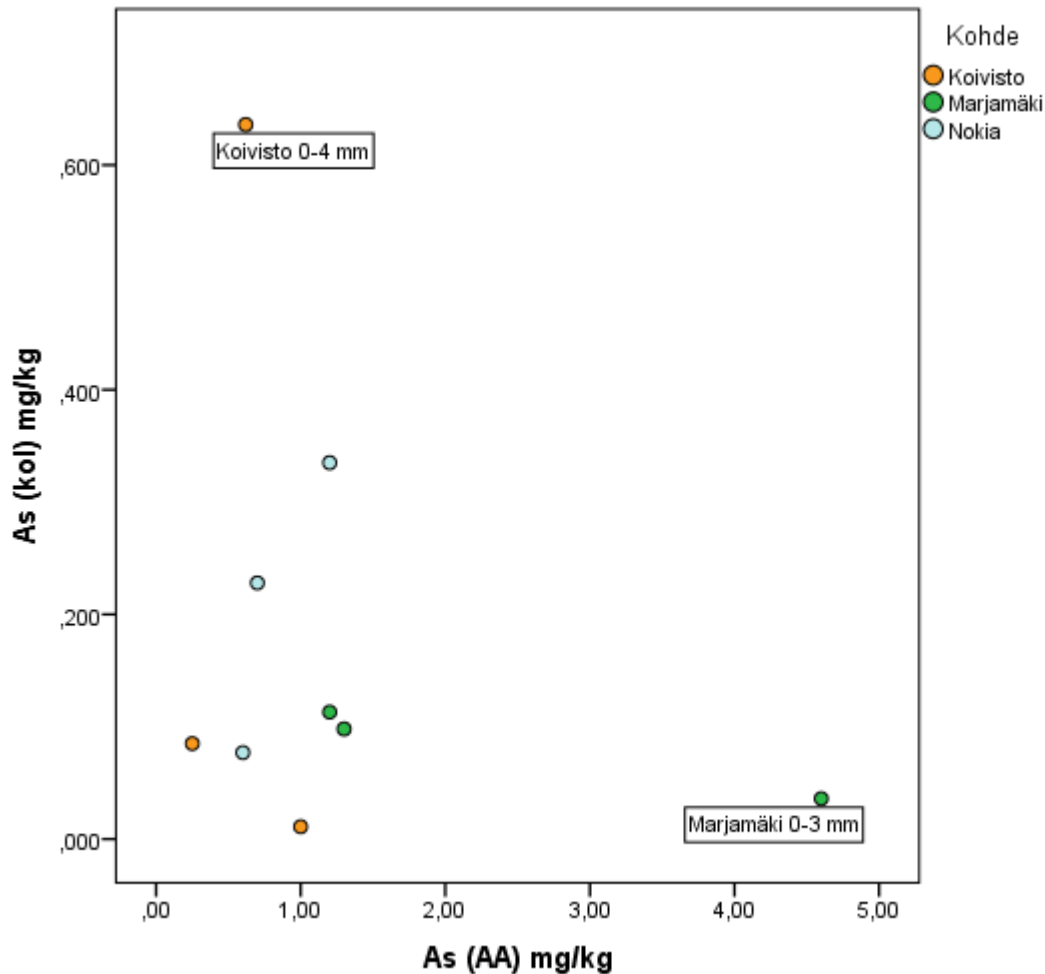
### 3.2 Heikkouuttojen ja liukoisuustestien tarkastelu

Kuvassa 1 on esitetty arseenin liukenevuus ammoniumasetatti-EDTA-uuttoon ja läpivirtaustestillä määritetty liukoisen arseenin pitoisuus ( $L/S$ -suhde 10). Ammoniumasetatti-EDTA-uutolla määritetyt arseenipitoisuudet ovat suurempia kuin liukoisuustestiin perustuvat arseenipitoisuudet. Kuvasta havaitaan tulosten välistä korrelaatiota, mutta kaksi näytettä poikkeaa selvästi muista. Koiviston 0 – 4 mm:n tuote ei liukene kovin hyvin ammoniumasetatti-EDTA-uutossa, mutta liukoisuustestissä saatiin suurin liukoisen arseenin pitoisuus. Koiviston tuote on tehty Tampereen teknillisen yliopiston laboratoriossa gabrosta, jossa arseenipitoista sulfidia on pirotteena koko kivessä. Läpivirtaustesti kuvastaa paremmin pitkäaikaista liukenemistä kuin ammoniumasetatti-EDTA-uutto. Marjamäen 0 - 3 mm:n tuotteen arseni taas liukenee helposti ammoniumasetatti-EDTA-uutolla, mutta liukoisuustestillä määritetty arseenipitoisuus on pieni. Mineralogisen tutkimusten mukaan Marjamäen arseenipitoiset rakeet olivat yhtä löllingiitti-raetta lukuun ottamatta As-kiisua, joka on miltei aina muuttunut reunoiltaan skorodiitiksi. Ammoniumasetatti-EDTA-uutto irrottaa nopeasti mineraalirakeiden pinnalle kemiallisesti sitoutuneen arseenin, mutta pitkäaikaisessa liukoisuustestissä liukenevan arseenin kokonaismäärä jää suhteellisen pieneksi.





28.8.2014

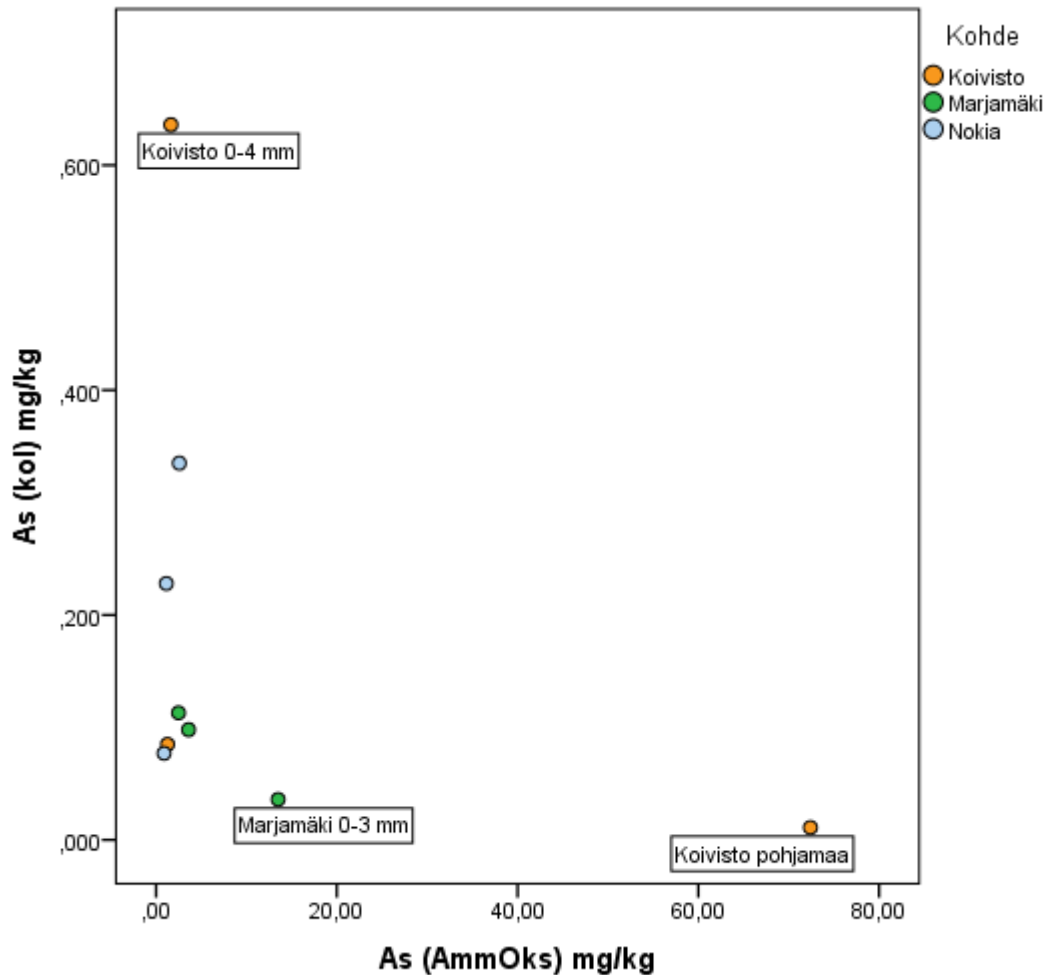


**Kuva 1.** Ammoniumasetatti-EDTA-liukoinen arseenipitoisuus (As (AA) vaaka-akselilla) ja läpivirtaustestillä määritetty liukoisen arseenin määrä (As (kol) pystyakselilla). Kohteet ovat Asrocks-hankkeen tutkimusalueita.

Kuvassa 2 on tarkasteltu ammoniumoksalattiin liunneen arseenin pitoisuutta ja läpivirtaustestillä määritettyä liukoisen arseenin pitoisuutta. Koiviston 0 – 4 mm:n tuote ei liukene kovin paljon oksalaattiuutossa, mutta liukoisuustestissä saatiin suurin keskipitkän aikavälin liukoisen arseenin pitoisuus. Koiviston gabrossa arseenia on pirtteena esiintyvissä sulfidimineraaleissa. Koiviston pohjamaanäytteen arseni ja Marjamäen 0 - 3 mm:n tuotteen arseni liukenee helposti ammoniumoksalattiuutolla, mutta liukoisuustestillä määritetty arseenipitoisuus on pieni. Ammoniumoksalattiuuton perusteella sekä Koiviston pohjamaanäytteessä että Marjamäen 0 – 3 mm:n tuotenäytteessä arseni esiintyy pääosin rautaan sitoutuneena.

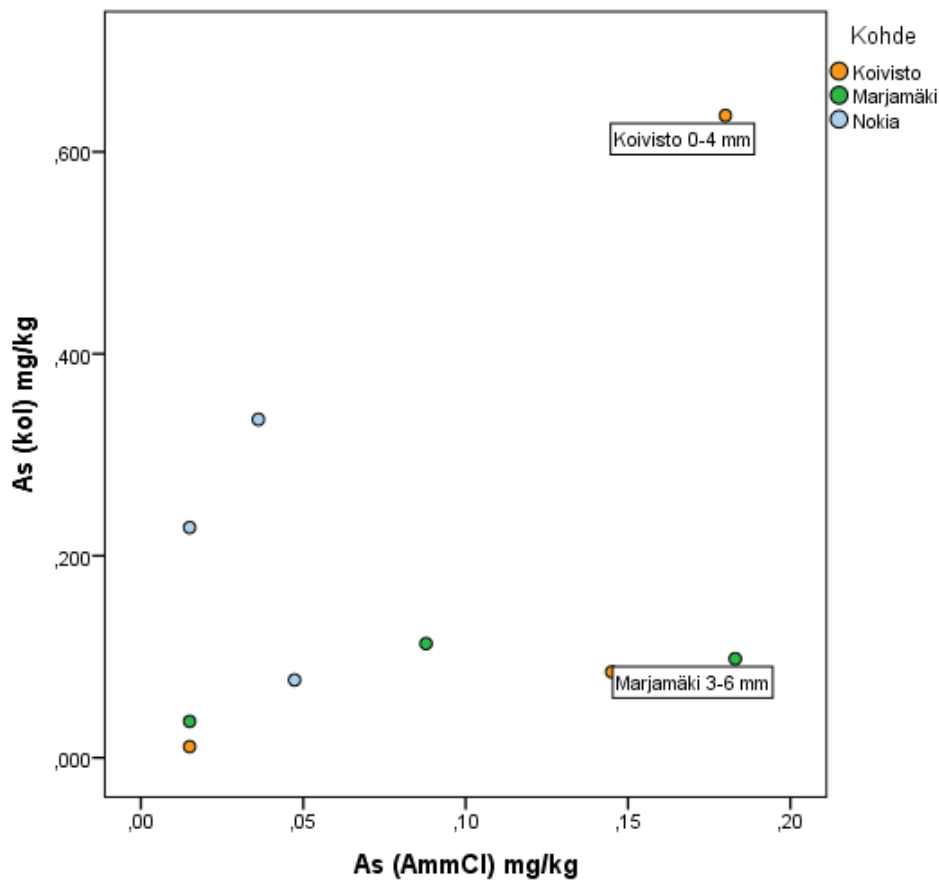
Kuvassa 3 on tarkasteltu ammoniumkloridiuutolla määritettyä arseenipitoisuutta ja läpivirtaustestillä määritettyä liukoisen arseenin pitoisuutta. Marjamäen 0 - 3 mm:n tuotteen arseni liukenee helposti ammoniumkloridiuutolla, mutta liukoisuustestillä määritetty arseenipitoisuus on pieni. Sen sijaan Koiviston 0- 4 mm:n tuotteen arseni liukenee sekä ammoniumkloridiuutolla että liukoisuustestissä.

28.8.2014



**Kuva 2.** Ammoniumoksalaattiliukoinen arseenipitoisuus (As (AmmOks) vaaka-akselilla) ja läpivirtaustestillä määritetty liukoisen arseenin määrä (As (kol) pystyakselilla). Kohteet ovat Asrocks-hankkeen tutkimusalueita.

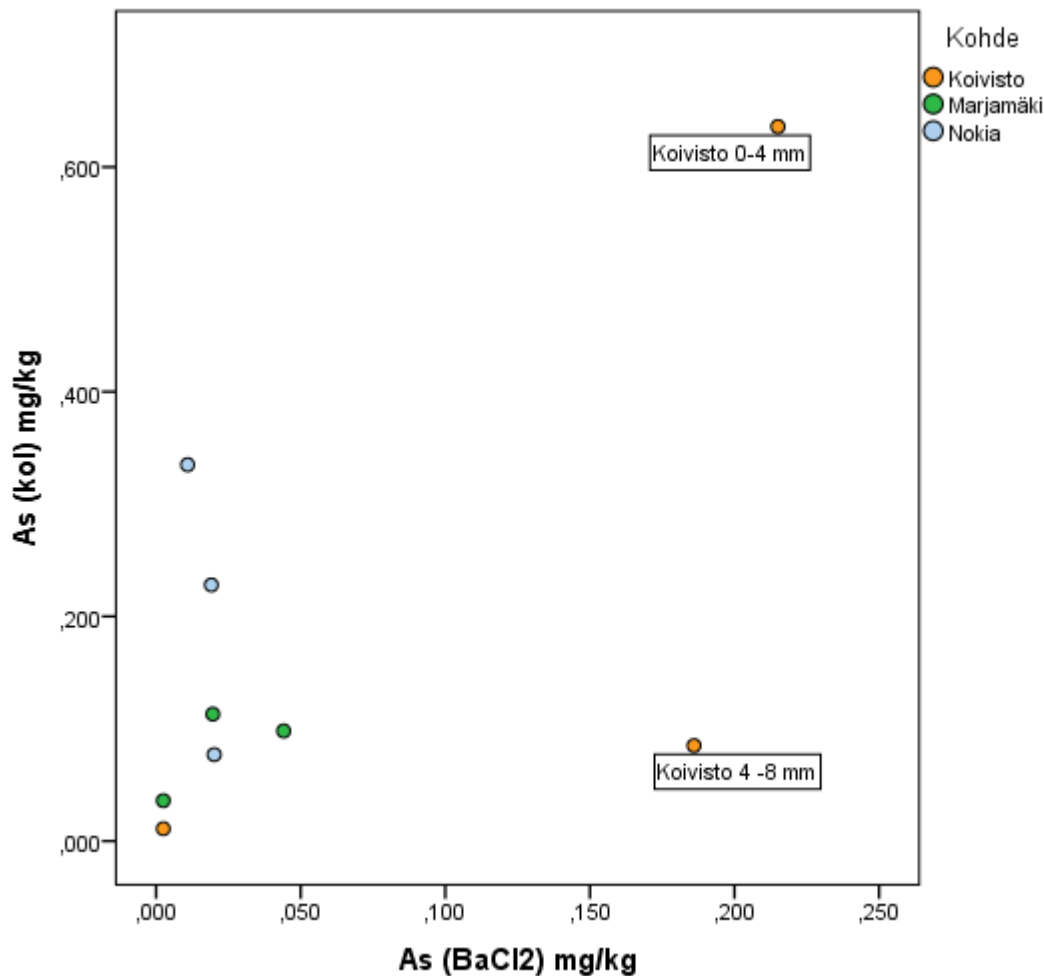
28.8.2014



**Kuva 3.** Ammoniumkloridiliukoinen arseenipitoisuus (As (AmmCl) vaaka-akselilla) ja läpivirtaustestillä määritetty liukoisen arseenin määrä (As (kol) pystyakselilla). Kohteet ovat Asrocks-hankkeen tutkimusalueita.

Kuvassa 4 on tarkasteltu bariumkloridiuutolla määritettyä arseenipitoisuutta ja läpivirtaustestillä määritettyä liukoisen arseenin pitoisuutta. Muutamat Nokian tuotantoalueen näytteet liukenevat helpommin liukoisuustestissä kuin bariumkloridiuutolla. Koiviston karkeampi tuotenäyte 4 – 8 mm liukenee suhteessa helpommin bariumkloridiuutolla kuin liukoisuustestissä.

28.8.2014



**Kuva 4.** Bariumkloridiliukoinen arseenipitoisuus (As (BaCl<sub>2</sub>) vaaka-akselilla) ja läpivirtaustestillä määritetty liukoisien arseenin määrä (As (kol) pystyakselilla). Kohteet ovat Asrocks-hankkeen tutkimusalueita.

#### 4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Heikkouutot ovat usein edullisempia ja nopeampia menetelmiä määrittää heikkoliukoisien arseenin määrä kuin varsinaiset liukoisuustestit. Arseenin sitoutuminen kiviin tai maaperään on erilainen eri kivilajeissa ja eri maalajeissa. Asrocks-hankkeen tulosten perusteella eri heikkouuttomenetelmät liuottavat eri tavalla sitoutunutta arseenia ja heikkouutoilla määritetyt arseenipitoisuudet eivät aina korreloi positiivisesti liukoisuusteillä määritetyn liukoisien arseenipitoisuuden kanssa. Yhden tutkimusalueen kivituhkassa oli liukoisuustestien perusteella suhteellisen paljon liukoista arseenia, mutta arseenin liukoisuutta ei olisi voinut arvioida ammoniumasetaatti-EDTA-uutolla tai ammoniumoksalaaattiuutolla. Tämän pienen, 11 näytteen perustuvan tarkastelun perusteella ammoniumkloridi- ja bariumkloridiuutot ovat lupaavimmat heik-

28.8.2014

kouuttomenetelmät, joita kannattaisi vertailla liukoisuustestien tuloksiin suuremmalla näytemäärällä. Ammoniumoksaattiutuo voi kuvastaa rautaoksideihin sitoutuneen arseenin määrää.

## 5 KIRJALLISUUS

Heikkinen, P. M. (ed.); Noras, P. (ed.); Mroueh, U.-M.; Vahanne, P.; Wahlström, M.; Kaartinen, T.; Juvankoski, M.; Vestola, E.; Mäkelä, E.; Leino, T.; Kosonen, M.; Hatakka, T.; Jarva, J.; Kauppila, T.; Leveinen, J.; Lintinen, P.; Suomela, P.; Pöyry, H.; Vallius, P.; Nevalainen, J.; Tolla, P.; Komppa, V. 2005. Kaivoksen sulkemisen käsikirja. Abstract: Handbook for mine closure. Espoo: Outokumpu : Tieliikelaitos : Maa ja Vesi : GTK : VTT. 165 p

Wahlström, M. ja Laine-Ylijoki, J. 1997. Ympäristötekijät ja niiden tutkiminen maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien liukoisuuteen. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 1852, 76 s. + 9 liitettä.

