

## 1. Johdanto

Kirsti Loukola-Ruskeeniemi

Teknillinen korkeakoulu, Geoympäristötekniikka, PL 6200, 02015 TKK

Arseeni on alkuaine, jota on luontaisesti pieniä määriä kallioperässä ja maaperässä. Kallioperästä arseenia saattaa siirtyä pohjaveteen. Ihmisen kannalta haitallista on, jos juomavedessä on arseenia. Suomessa pohjaveden arseenipitoisuuden selvitykset aloitettiin jo 1990-luvulla.



RAMAS-hanketta suunniteltaessa tarkasteluun päätettiin sisällyttää sekä geologisessa ympäristössä luontaisesti esiintyvät arseenipitoisuudet että ihmisen toiminnasta johtuvat arseenipäästöt. Tavoitteena oli laatia alueellinen riskinarvointi ja riskinhallintamalli. Rahoitushakemus valmisteltiin EU:n LIFE Environment-ohjelmaan, jonka piiriin suunniteltu hanke tuntui luontevasti istuvan. Vuonna 2004 saatiin myönteinen päätös ja vielä saman vuoden lopulla kolmivuotinen RAMAS-hanke käynnistettiin. Lyhenne 'RAMAS' muodostuu hankkeen englanninkielisestä nimestä "Risk Assessment and Risk Management Procedure for Arsenic in the Tampere Region". Kohdealueena on Pirkanmaa, jossa on noin 470 000 asukasta.

Kun RAMAS-hanke käynnistyi joulukuussa 2004, pohjaveden arseenipitoisuuteen liittyviä tutkimuksia oli tehty Suomessa kymmenen vuoden ajan. Lähtölaukauksena asian selvittämiseen tulivat maailman terveysjärjestön WHO:n uudet ohjeet juomaveden arseenipitoisuudesta vuonna 1993. Nämä ohjeet perustuivat kansainvälisiin tutkimuksiin, joissa oli todettu yhteys eräiden syöpälajien esiintymisen ja runsaasti arseenia sisältävän juomaveden käytön välillä. Koska Geologian tutkimuskeskuksen tutkijat olivat havainneet korkeita arseenipitoisuuksia porakaivovedessä tietyissä Pirkanmaan kunnissa, Sosiaali- ja terveysministeriö päätti vuonna 1994 tilata selvityksen kalliopohjaveden arseenipitoisuuksista näillä alueilla (Back-

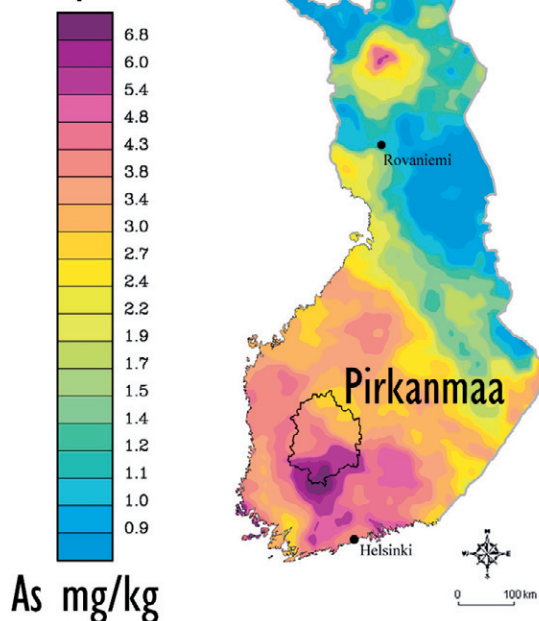
man *et al.* 1994). Tutkimustulosten perusteella monet Pirkanmaan kunnat ja paikalliset vesiyhdistykset tekivät uusia vesihuoltoratkaisuja. Ne porakaivot, joiden vedessä oli korkea arseenipitoisuus, suljettiin. Koska porakaivot yleistyivät vasta 1980-luvulla ja arseeniongelmaan puututtiin vuodesta 1994 alkaen, suurin osa niistä kaivoista, joiden vedessä oli korkea arseenipitoisuus, oli käytössä alle kymmenen vuoden ajan. Suomen viranomaiset toimivat nopeasti monien muiden maiden viranomaisiin verrattuna. Esimerkiksi Unkarissa, Romaniassa, Ranskassa, Espanjassa ja Ruotsissa viranomaiset eivät ottaneet yhtä aktiivista roolia, vaikka myös näissä maissa on alueita, joissa on korkeita arseenipitoisuuksia pohjavedessä.

Pohjaveden kemiallinen koostumus heijastaa kallioperän ja maaperän kemiallista koostumusta. Tämän vuoksi alueellisesti voidaan kallioperän ja maaperän arseenipitoisuuksien perusteella rajata ne alueet, joissa todennäköisyys arseenin korkeille pitoisuuksille kalliopohjavedessä on suurempi kuin muilla alueilla. Moreenin hienoaineksessa on korkeita arseenipitoisuuksia Pirkanmaan eteläosassa (kuva 1).

Arseenia ja arseenipitoisia yhdisteitä on käytetty esimerkiksi puutavaran lahonsuojauksessa. Syyskuulle 2006 asti voitiin käyttää kuparia, kromia ja arseenia sisältäviä puunkyllästeaineita. Pirkanmaan alueellinen ympäristökeskus oli tehnyt selvityksiä Pirkanmaan puunkyllästämisalueilla ennen RAMAS-hankkeen alkua. Neljässä kohteessa tutkimukset johtivat kunnostuspäätökseen. Arseenipitoisuuksia oli ennen RAMAS-hankkeen alkamista tutkittu myös Ylöjärven kupari-volframi-arseeni-kaivoksen alueella (Carlson *et al.* 2002). Toimintansa lopettaneen kaivoksen rikastushiekka-alueella on arseenia, jota kulkeutuu sieltä pintavesien mukana ympäristöön. Muista ihmisen toiminnan aiheuttamista arseenipäästöistä ei juurikaan ollut tietoja ennen RAMAS-hankkeen alkamista.

Laaja kooste arseenin esiintymisestä Suomessa julkaistiin samaan aikaan, kun RAMAS-hanke alkoi. Kirja 'Arseeni Suomen luonnossa, ympäristövaikutukset ja riskit' koostuu artikkeleista, joissa kuvataan arseenin esiintymistä Suomen kallioperässä ja malmiesiintymissä,

## Moreenin arseenipitoisuus



**Kuva 1.** Arseenin kokonaispitoisuudet moreenin hienoaineksessa (raekoko alle 0,06 mm). Pirkanmaan alue on rajattu karttaan. Pirkanmaan eteläosasta korkean arseenipitoisuuden alue jatkuu itään ja etelään. Myös Kittilässä on korkeita arseenipitoisuuksia (Koljonen *et al.* 1992).

maaperässä, kasvillisuudessa ja vesissä (Loukola-Ruskeeniemi & Lahermo 2004). Monet artikkelien kirjoittajista kuuluvat RAMAS-tutkimusryhmään. Kirjan tulokset antoivat hyvän tietopohjan RAMAS-hankkeen riskinarvointiin ja riskinhallintaan painottuville tavoitteille.

## Kirjallisuus

- Backman, B., Hiisvirta, L., Ilmasti, M. & Lahermo, P. 1994.** Arseenin ja muiden raskasmetallien sekä näihin liittyvien anionien esiintyminen porakaivoissa. Summary: Occurrence of arsenic, other heavy metals and associated anions in drilled wells. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. Raportti 1.10.1994, 36 s.
- Carlson, L., Hänninen, P. & Vanhala, H. 2002.** Ylöjärven Paroistenjärven kaivosalueen nykytilan selvitys. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti, S/41/0000/3/2002, 54 s.
- Koljonen, T., Gustavsson, N., Noras, P. & Tanskanen, H. 1992.** The Geochemical Atlas of Finland, Part 2 – Till. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 218 s.
- Loukola-Ruskeeniemi, K. & Lahermo, P. (toim.) 2004.** Arseeni Suomen luonnossa – ympäristövaikutukset ja riskit. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 173 s.

## 2. Arseeni maailmanlaajuisena ongelmana

Kirsti Loukola-Ruskeeniemi

Teknillinen korkeakoulu, Geoympäristötekniikka, PL 6200, 02015 TKK

Juomaveden liian korkea arseenipitoisuus on ongelma monessa maailman maassa ja vaikuttaa haitallisesti miljoonien ihmisten terveyteen. Arseenin poistomenetelmät ovat usein liian kalliita kehitysmaiden ihmisille. RAMAS-hankkeen tavoitteena on kehittää riskinhallintamallia, jota voi soveltaa Suomen lisäksi myös muissa Euroopan maissa.



Tunnetuin arseenin aiheuttama kansanterveydellinen ongelma on Bangladeshissa (Ratan Kr. Dhar *et al.* 1997, Nickson *et al.* 1998, Smedley & Kinniburgh 2002): siellä juomavesi ja riisin kasteluun käytetty kaivovesi sisältävät arseenia, mikä on lisännyt eräiden syöpien määrää väestössä. Bangladesh on tiheään asuttu maa, ja väestön ruokavalio koostuu pääasiassa riisistä. Kuumen ilmanalan vuoksi vettä juodaan paljon, ja arseenin päivittäinen saanti on suuri. Lisäksi kaivovesi sisältää enimmäkseen hapestusteeltaan kolmenarvoista arseenia  $As^{3+}$ , joka on eräiden tutkimusten mukaan terveydelle haitallisempaa kuin viidenarvoinen arseeni  $As^{5+}$ . UNICEFin arvion mukaan 12 miljoonaa ihmistä käytti runsaasti arseenia sisältävää vettä Bangladeshissa vuonna 2006. Aasian lisäksi arseeni on merkittävä ongelma muun muassa latinalaisessa Amerikassa, jossa on arvioitu

neljän miljoonan ihmisen altistuvan arseenille (Bundschuh *et al.* 2006). USA:n ympäristöviranomaisen (Environment Protection Agency) on arvioinut, että noin 13 miljoonaa ihmistä etupäässä USA:n läntisissä osavaltioissa altistuu juomaveden kautta arseenille.

Myös Euroopassa on vakavia arseeniin liittyviä ongelmia. Esimerkiksi Unkarin pustalla on lähes 400 kylää ja kaupunkia, joissa juomavesi sisältää WHO:n ohjearvoa enemmän arseenia. Euroopassa onkin alueita, joilla on korkeita arseenipitoisuuksia maaperässä (kuva 2). Näillä alueilla on myös mahdollista, että pohjaveden arseenipitoisuus on paikoin WHO:n ohjearvoa suurempi.

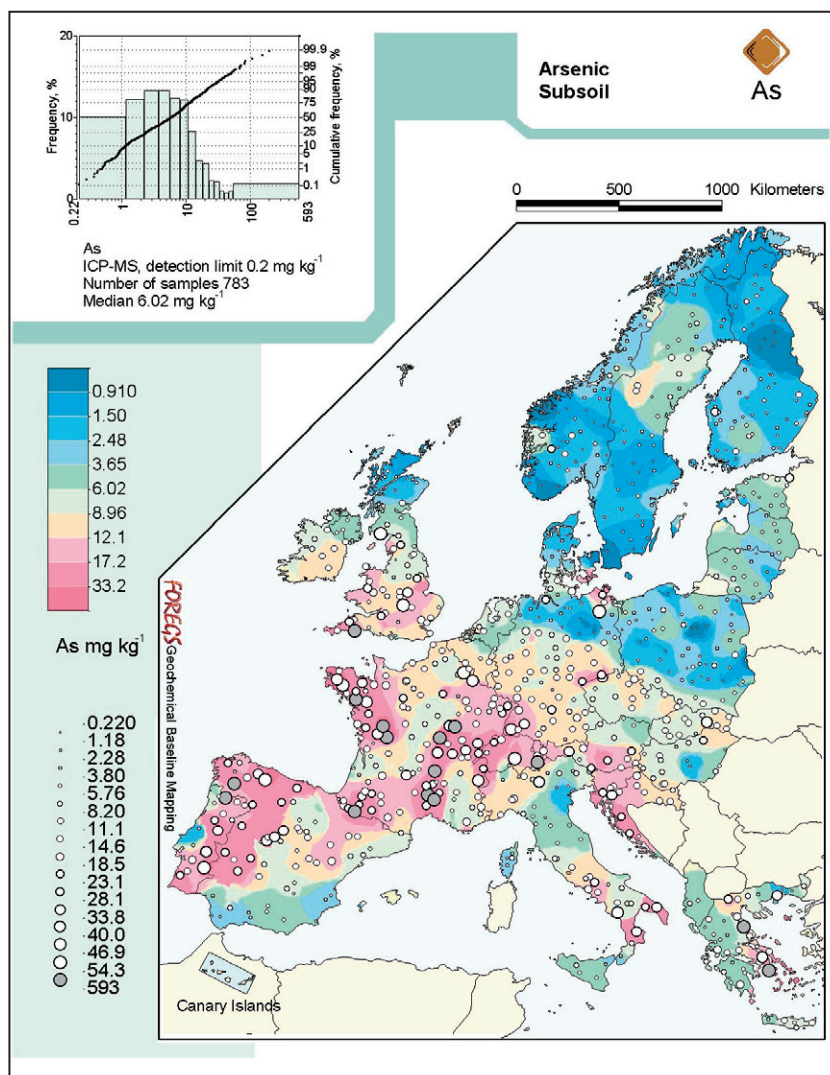
Useimmiten arseeniongelma aiheutuu geologisessa ympäristössä luontaisesti esiintyvistä arseenista. Joillakin alueilla kuitenkin ihmisen toiminnasta voi aiheutua korkeita arseenipitoi-

suuksia pohjaveteen tai pintavesiin. Kaivosten rikastushiekka-alueilta voi kulkeutua arseenia pintavesiin ja pohjaveteen. Myös arseenipitoisten lannoitteiden ja torjunta-aineiden runsas käyttö ovat aiheuttaneet ongelmia monessa maassa. Tämän vuoksi esimerkiksi USA:ssa ja Kanadassa on asetettu rajoituksia lannoitteista johtuvalle arseenikuormitukselle. Niiden mukaan vuotuinen arseenilisäys ei saa ylittää 333 g/ha (WSDA 2001).

Arseeniongelmaan on pyritty löytämään ratkaisuja, mutta toistaiseksi se ei ole täysin onnistunut. Korvaavia pohjavesivarastoja, jossa

veden arseenipitoisuus olisi ohjearvoa pienempi, on esimerkiksi Bangladeshissa ja Unkarissa usein vaikea löytää riittävän läheltä. Arseenin poistomenetelmät eivät ole vielä riittävän tehokkaita. Tilanne on vaikein kehitysmaiden syrjäseuduilla. Yksittäisille talouksille kehitetyissä arseenin poistotekniikoissa on sekä teknisiä että toiminnallisia puutteita, ja ne ovat liian kalliita useimmille kehitysmaiden ihmisille.

RAMAS-hankkeen tavoitteena on ollut lisätä tietoa Pirkanmaan arseenilähteistä ja kehittää arseeniriskin hallintaan mallia, jota voi soveltaa Suomen lisäksi myös muualla Euroopassa.



**Kuva 2.** Arseenin pitoisuus maaperässä 50-200 cm syvyydellä FOREGS-kartoitukseen osallistuneissa Euroopan maissa. Näyte on otettu muuttumattomasta pohjamaasta. Suomen maaperän arseenipitoisuudet ovat alhaisia moneen muuhun Euroopan alueeseen verrattuna (Salminen *et al.* 2005). Kuvassa on palloilla esitetty näytenpisteiden sijainti ja arseenipitoisuus. Sen lisäksi väreillä on yhdistetty näytteiden tuloksia laajemmiksi alueiksi. Näyteverkko on harva, minä vuoksi kaikki arseenia runsaasti sisältävät alueet eivät tule esiin.

## Kirjallisuus

- Bundschuh, J., Garcia, M.E. & Birkle, P. 2006.** Rural Latin America: a forgotten part of the global groundwater arsenic problem. In: Proceedings of the As 2006 International Congress: "Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America", 20-24 June 2006, Mexico City, Mexico.
- Nickson, R., McArthur, J., Burgess, W., Ahmed, K.M., Ravenscroft, P. & Rahman, M. 1998.** Arsenic poisoning in Bangladesh groundwater. *Nature* 395, 388 p.
- Ratan Kr. Dhar, Bhajan Kr. Biswas, Gautam Samanta Badal, Kr. Mandal, D. Chakraborti, Shibtoosh Roy, Abu Jafar, Ariful Islam, Gulshan Ara, Saifull Kabir, A. Wadad Khan, S Akther Ahmed & Abdul Hadi. 1997.** Groundwater arsenic calamity in Bangladesh. *Current Science*, 73 (1), 48-59.
- Salminen, R. (ed.), Batista, M. J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Grego-  
rauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P. J., Olsson, S. Å., Ottesen, R.T., Petersell, V., Plant, J. A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steenfelt, A., and Tarvainen, T. 2005.** Geochemical atlas of Europe. Part 1: Background information, methodology and maps. Geological Survey of Finland, Espoo, 525 p.
- Smedley, P.L. & Kinniburgh, D.G. 2001.** A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry* 17, 517-568.
- WSDA, 2001.** A report on the plant uptake of metals from fertilisers. The Washington State Department of Agriculture. December 31, 2001. Available in the internet. [www.wa.gov/agr/pmd](http://www.wa.gov/agr/pmd)