

ARSEENI POHJAVESISISSÄ

Birgitta Backman ja Pertti Lahermo

Backman, Birgitta ja Lahermo, Pertti 2004. Arseeni pohjavesissä. *Arseeni Suomen luonnossa, ympäristövaikutukset ja riskit. Geologian tutkimuskeskus, 105–112*, viisi kuvaa ja kolme taulukkoa.

Lähteiden ja rengaskaivojen vedessä arseenipitoisuudet ovat hyvin pieniä. Savenalaisista maakerroksista peräisin olevassa pohjavedessä on muiden liuenneiden aineiden ohella enemmän myös arseenia. Hiekkakerrostumiin kaivettujen rengaskaivojen vedessä on vähemmän arseenia kuin moreenialueilla, missä maa-aineksen vedenjohtavuus on pienempi ja viipymä pitempi kuin hyvin vettä johtavassa hiekassa. Eniten arseenia on porakaivojen vedessä, joka edustaa hydrologisesti vanhempaa, pitkän viipymän pohjavettä. Paitsi mineraalien ja veden suoralla vuorovaikutuksella, myös maarakeiden ja kalliorakojen seinämien sekundäärisillä raudan ja mahdollisesti muiden metallien saostumilla ja kiteytymillä on vaikutusta pohjaveden arseenin pitoisuuksiin ja sen geokemialliseen käyttäytymiseen.

Kalliopohjavedessä on paikoin poikkeuksellisen suuria arseenipitoisuuksia Pirkanmaalla mm. Lempäälän ja Oriveden seuduilla. Myös Kirkkonummen ja Espoon alueella on kallioperävyöhykkeitä, joissa on porakaivojen veden käyttöä ajatellen haitallisen suuria arseenipitoisuuksia. Sosiaali- ja terveysministeriö (STM) on määrittänyt talousveden suurimmaksi sallituksi pitoisuudeksi 10 µg/L. GTK:n pohjavesitietokannassa, jossa on tiedot kautta maan kerätystä 9376 näytteestä, tämä enimmäispitoisuus ylittyy maaperän pohjavedessä vain satunnaisesti, mutta porakaivovesissä se ylittyy 12,2 %:ssa näytteitä. Prosenttilukua kohottavat tietokannassa olevat poikkeuksellisen arseenipitoisilta alueilta erillistutkimuksissa kootut näytteet. Vuonna 1999 toteutetussa tuhannen kaivon kartoitushankkeessa, jossa vesinäytteet jakautuivat tasaisemmin koko maan alueelle, vain 3 % porakaivohavainnoista ylitti STM:n talousvedelle asettaman 10 µg/L:n enimmäismäärän. Arseeni on kuitenkin huomionarvoinen haja-asutusalueiden paikallinen vesihuollon ongelma.

Backman, Birgitta and Lahermo, Pertti 2004. Arsenic in groundwater. *Arsenic in Finland: Distribution, Environmental Impacts and Risks. Geological Survey of Finland, 105–112*, five figures and tree tables.

Arsenic concentrations are invariably low in spring water and in water from shallow ring wells dug into overburden, which represent rapidly circulating very fresh groundwater. Concentrations are higher, along with those of other dissolved solids, in groundwater flowing in aquifers confined by clay and silt deposits. Well water from pervious sand and gravel deposits contains less arsenic than groundwater from till deposits, the most common soil type in Finland. The highest As concentrations are met in water from wells drilled into bedrock representing groundwater with long retention time in overburden and in fractured bedrock. Although the interaction of As-rich minerals with circulating groundwater is a most important mechanism for the mobilization of arsenic, an important role is played by iron and other secondary amorphous or partly crystallized precipitations in controlling the concentration levels and geochemistry of the dissolved element.

Exceptionally high As concentrations in groundwater occur in wells drilled into bedrock in the Pirkanmaa area, most notably the Lempäälä and Orivesi areas, southern Finland. Furthermore, there are some geological zones in Kirkkonummi and Espoo to the West of Helsinki where the water in drilled wells often contains harmfully high amounts of arsenic. According to the decree of the Ministry of Social Affairs and Health, the upper permissible safe concentration of arsenic for household water in Finland is 10 µg/L. In the groundwater data base of the Geological Survey of Finland, containing 9376 water samples from all over Finland, this limit concentration is exceeded only very occasionally in spring water and water from shallow wells dug into overburden. In water from drilled bedrock wells the upper permissible concentration was exceeded in 12.2% of the sample population. The high percentage is somewhat distorted by the numerous samples from exceptionally arsenic-rich case study areas. In a survey performed in 1999 and characterized by a more even nation-wide sampling grid, only 3% of analyses of water from drilled bedrock wells exceeded the safe concentration limit set. Arsenic nevertheless poses a noteworthy water supply problem in some rural areas.

Key words: (GeoRef Thesaurus, AGI): arsenic, ground water, soils, bedrock, water wells, drilled wells, Finland.

Birgitta Backman¹ and Pertti Lahermo²

¹ Geological Survey of Finland, P.O. Box 96, FI-02151 Espoo, Finland
birgitta.backman@gtk.fi

² Vanha sotilastie 8, FI-00850 Helsinki
pertti.lahermo@kolumbus.fi

JOHDANTO

Geologian tutkimuskeskuksessa (GTK) tehdyissä alueellisissa pohjavesitutkimuksissa on todettu arseenipitoisuuksien olevan tietyillä alueilla haitallisen korkeita (Backman *et al.* 1994a, 1994b, Idman 1996, Loukola-Ruskeeniemi *et al.* 1999). Ongelmallisia alueita on tähän mennessä todettu olevan erityisesti Pirkanmaalla (Juntunen *et al.* 2004, tässä julkaisussa). Myös Kittilässä on pohjavedessä tavallista korkeampia arseenipitoisuuksia (Tanskanen *et al.* 2004, tässä julkaisussa). Näillä alueilla myös moreenin hienoaineksessa on ympäristöään selvästi suurempia arseenipitoisuuksia (Koljonen 1992).

Pirkanmaalla on todettu korkeita As-pitoisuuksia kalliopohjavesissä. Myös rengaskaivovesissä on ollut hieman muuta maata suurempia pitoisuuksia, vaikka ne ovat selvästi pienempiä kuin porakaivovesissä. Geologian tutkimuskeskus (GTK) on tehnyt Pirkanmaalla useille kunnille ja kuntayhtymille pohjaveden riskikarttoja, jotta porakai-

vojen rakentamista kriittisille alueille voitaisiin välttää.

Kittilässä on analysoitu suuria As-pitoisuuksia lähdevesistä, jotka edustavat nopeasti vaihtuvaa maaperän pohjavettä. Suuret arseenipitoisuudet ovat sekä Pirkanmaan että Kittilän alueilla yksinomaan geologista alkuperää. Arseenia liukenee arseeniisupitoisesta kallioperästä ja maaperästä pohjaveden tietyissä hydrogeologisissa olosuhteissa. Arseenia voi joutua maaperään ja pohjaveden myös ihmisen toiminnan seurauksena. Puukyllästämissä käytetyt arseenipitoiset kemikaalit, kasvihuoneissa käytetyt arseenipitoiset kasvi- ja hyönteismyrkyt sekä eräät kaatopaikkajätteet, kuten lyijyakut, saattavat maahan päätyessään aiheuttaa maaperän ja pohjavesien likaantumista. Pohjaveden arseenin poistoa on tutkittu vertailemalla eri menetelmiä (Kahelin *et al.* 1998). Mikään testatuista menetelmistä ei kuitenkaan ole poistanut arseenia riittävän tehokkaasti pitemmäksi ajaksi.

Näytteenotto

Geologian tutkimuskeskuksen pohjavesitutkimuksissa otetaan näytteitä lähteistä, rengaskaivoista, havaintoputkista ja porakaivoista. Tutkimuk-

sen tavoitteen ja alueen luonteen mukaan vesinäytteitä on otettu myös kairanrei'istä, maaputkikaivoista, vedenottamoista ja pohjavesilammikoista.

Lähteistä ja matalista kaivoista näyte otetaan ämpärillä, havaintoputkista ja kairanrei'istä näytteenottopumpulla tai erityisellä tarkoitukseen suunnitellulla noutimella. Porakaivoista ja maaputkikaivoista voidaan ottaa näyte vain vesijohdosta, koska näytteenotin ei mahdu kaivoon. Näissä tapauksissa vettä juoksetetaan niin kauan, että veden lämpötila on tasaantunut ja vesi on mahdollisimman muuttumatonta pohjavettä.

GTK:n pohjavesitutkimuksissa vesinäytteitä otetaan kertänäytteinä alueellisia kartoitustöitä varten ja toistuvaisnäytteinä seurantatutkimuksia varten. Seuranta-alueita on tällä hetkellä kautta maan 39 pohjaveden valuma-alueella. Näistä kohteista otetaan näytteet neljä kertaa vuodessa. Pisimmät aikasarjat alkavat vuodesta 1969.

Näytteenotto paikalla vedestä mitataan lämpötila, pH, sähkönjohtavuus ja happikylläisyys. Myös hiilidioksidipitoisuus titrataan välittömästi näytteen-

oton yhteydessä. Laboratorioanalyysijä varten otetaan 500 ml:n muovipulloon käsittelemätön näyte, josta mitataan pH ja sähkönjohtavuus, titrataan alkaliteetti ja määritetään KMnO_4 - ja väriluku sekä tehdään anionimääritykset (Lahermo *et al.* 2002). Hapopestyyn 100 ml:n pulloon otetaan suodatettu ($0,45 \mu\text{m}$) ja typpihapolla kestävä näyte kationien määrittämistä varten. Näytteet kuljetetaan kylmälaukuissa laboratorioon. Kaikki analyysit tehdään GTK:n kemian laboratoriossa (H. Kahelin, tässä julkaisussa).

Arseenipitoisuuden määrittäminen on kuulunut GTK:n pohjavesitutkimuksien vakiomäärityksiin vuodesta 1992 lähtien. Arseenin lisäksi vesistä määritetään tällä hetkellä 53 alkuainetta, yhdistettä tai ominaisuutta. Aineiston käsittelyä ja raportointia varten analyysitulokset tallennetaan GTK:n ALKEMIA-tietokannan erilliseen pohjavesirekisteriin.

Koko maan tulokset

Vuodesta 1992 lähtien, jolloin arseenipitoisuus on määritetty vesinäytteistä, on pohjavesinäytteenotto GTK:ssa painottunut Etelä-Suomen alueelle. Koko maan kattava pohjavesikartoitus on kuitenkin tehty vuonna 1999, jolloin pohjavesinäytteet otettiin tuhannesta kaivosta koko maan alueelta (Lahermo *et al.* 2002). Kaikki kertaluonteiset porakaivo- ja rengaskaivonäytteet, joista on määritetty arseenipitoisuus, on merkitty karttaan (kuvat 1 ja 2). Kuvien aineisto on jaettu kahteen pitoisuusluokkaan: alle ja yli $10 \mu\text{g/L}$:n pitoisuus. Sosiaali- ja terveysministeriön (STM) asetuksen Suomen talousvesien laatuvaatimuksista mukaisesti arseenipitoisuuden tulisi olla alle $10 \mu\text{g/L}$ (STM 2001).

Karttakuvista näkyy, että suuret arseenipitoisuudet keskittyvät Pirkanmaalle mm. Lempäälän ja

Oriveden alueelle, Kirkkonummen ja Espoon alueelle sekä paikoin myös Turun ympäristöön. Lisäksi kartoista käy ilmi, että GTK:n alueelliset pohjavesitutkimukset ovat kohdentuneet vuoden 1992 jälkeen mm. Tampereen, Turun, Espoon, Lahden ja Porvoon ympäristöön. Muualla maassa näytteenottotiheys on pienempi.

Taulukkoon 1 on koottu arseenipitoisuudet erilaisissa pohjavesiympäristöissä. Niissä lähteissä ja rengaskaivoissa, jotka edustavat maaperän pohjavettä, arseenipitoisuudet ovat pieniä verrattuna kalliopohjavettä edustavien porakaivovesien pitoisuuksiin. Kalliopohjavedessä arseenipitoisuudet ovat suurempia ja arvojen hajonta on suuri.

Koko maan aineiston perusteella lähdevesistä 0,8 %, rengaskaivovesistä 0,4 % ja porakaivove-

Taulukko 1. Erilaisten kaivotyyppien vesien arseenipitoisuuden tilastollisia tunnuslukuja.

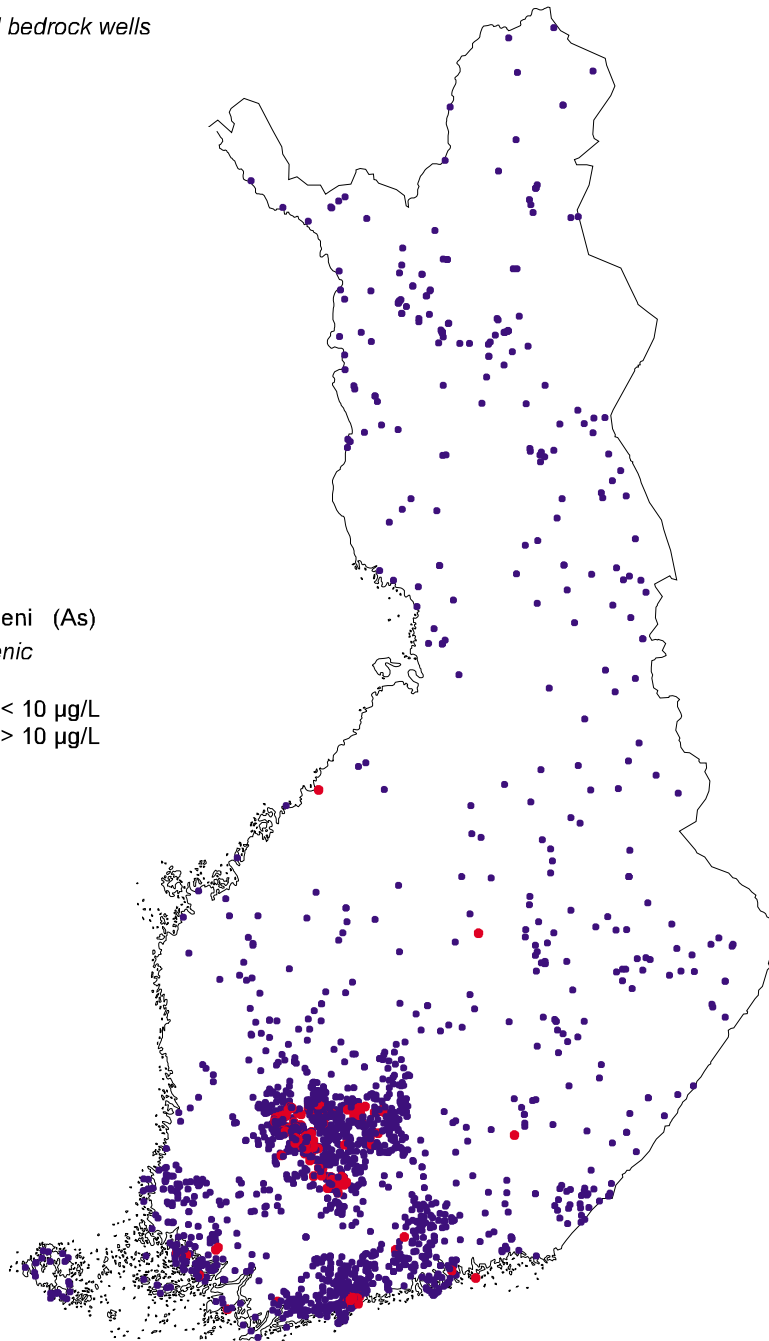
Table 1. Statistical figures for arsenic concentrations in water from springs and captured springs and in water from wells dug into overburden and drilled into bedrock.

	Lukumäärä Number	2 %	Arseeni ($\mu\text{g/L}$)		Arsenic ($\mu\text{g/L}$)		
			Mediaani Median	Keskiarvo Mean	98 %	Maksimi Maximum	Keskihajonta St. deviation
Lähteet, lähdekaivot Springs, captured springs	741	< 0,05	0,10	0,58	4,65	36,2	2,81
Rengaskaivot Dug ring-wells	1721	0,05	0,20	0,52	3,31	45	1,96
Porakaivot Drilled bedrock wells	2229	0,05	0,61	17,7	187	2230	117

PORAKAIVOT
Drilled bedrock wells

Arseeni (As)
Arsenic

- < 10 µg/L
- > 10 µg/L



Kuva 1. Porakaivovesien arseenipitoisuudet Suomessa.
Figure 1. Arsenic concentrations in water from wells drilled into bedrock in Finland.

sistä 12,2 % ylittää STM:n talousveden laatuvaatimuksen arseenin raja-arvon 10 µg/L. Pirkanmaan arseenikriittisten alueiden porakaivoista on kerätty paljon vesinäytteitä, joissa on monin paikoin poikkeuksellisen suuria arseenipitoisuuksia. Tämä kohoaa huomattavasti koko tietokannan arseenipitoisuuden keskiarvoa ja 10 µg/L:n raja-arvon ylittävien porakaivojen lukumäärää.

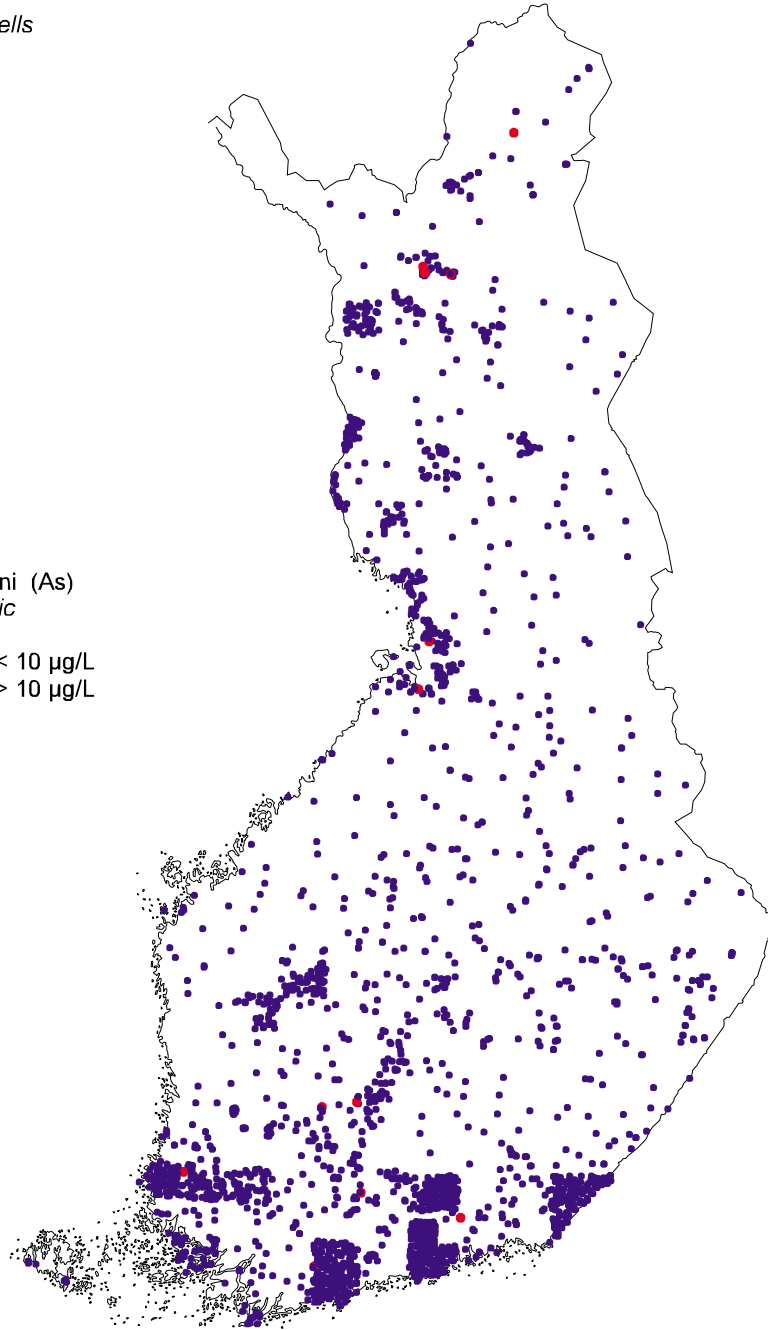
Maalajilla on huomattava vaikutus maaperän pohjaveden arseenipitoisuuteen (taulukko 2). Hiekka-

kerrostumiin tehtyjen rengaskaivojen vedessä on vähemmän arseenia kuin moreenialueilla, missä maa-aineksen vedenjohtavuus on pienempi ja viipymä pitempi kuin hyvin vettä johtavassa hiekassa. Hienorakeisten savi- ja silttikerrostosten peittämissä kerrostumissa veden viipymä on pitkä, joten vesi ehtii reagoida pidempään mineraaliaineksen kanssa. Peitteisissä kerrostumissa tai huonosti vettä johtavissa maissa liuennut happi on usein kulu-
nut, ja niissä vallitsevat pelkistyneet olosuhteet.

MAAKAIVOT
Dug wells

Arseeni (As)
Arsenic

- < 10 µg/L
- > 10 µg/L



Kuva 2. Maaperän pohjaveden (lähteiden ja rengaskaivojen) arseenipitoisuudet Suomessa.
Figure 2. Arsenic concentrations in water from springs and from wells dug into overburden in Finland.

GTK:n vuonna 1999 tekemän tuhannen kaivon kartoituksessa (Lahermo *et al.* 2002) rengas- ja porakaivoista koottujen vesinäytteiden arseenin mediaanipitoisuudet ovat liki samansuuruisia, mutta porakaivoveden As-pitoisuuden keskiarvo on liki kolminkertainen verrattuna rengaskaivojen As-pitoisuuksien keskiarvoihin. Vielä suurempi ero on verrattaessa 98 %:n prosenttipisteen As-pitoisuuksia, mikä osoittaa sen, että porakaivovesissä on lukuisammin suuria As-pitoisuuksia (taulukko 3).

Koko maata edustava tuhannen kaivon tutkimuksen näytenpisteverkosto on harva, joten pienet As-pitoisia mineraaleja tavallista enemmän sisältävät kallio- ja maaperäalueet eivät aina näy pohjaveden arseenipitoisuuksissa. GTK:ssa on tutkittu tarkemmin mm. Pirkanmaan tavallista enemmän arseenia sisältäviä porakaivovesiä (Juntunen *et al.* 2003). Pirkanmaalla moreenin hienoaineksen (alle 0,064 mm) arseenin totaalipitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat kuin ympäristössä (Koljo-

Taulukko 2. Erilaisilla maalajialueilla olevien rengaskaivojen vesien arseenipitoisuuden tilastollisia tunnuslukuja.
Table 2. Statistical figures for arsenic concentrations in water from wells dug into different types of overburden.

	Lukumäärä Number	2 %	Arseeni (µg/L) Arsenic (µg/L)				Keskihajonta St. deviation
			Mediaani Median	Keskiarvo Mean	98 %	Maksimi Maximum	
Hiekka-alueen kaivot Wells dug into sand and gravel	408	< 0,05	0,15	0,35	2,52	13,4	0,89
Moreenialueen kaivot Wells dug into till	848	0,05	0,19	0,47	2,43	44,9	1,98
Savipeitteisten alueiden kaivot Wells in clay-covered aquifers	248	0,06	0,37	0,93	6,50	19,7	1,88

Taulukko 3. Vuonna 1999 otettujen rengas- ja porakaivovesien arseenipitoisuuden tilastollisia tunnuslukuja koko maan alueelta (Lahermo et al. 2002).

Table 3. Statistical figures for arsenic concentrations in water from wells dug into overburden and drilled into bedrock (Lahermo et al. 2002).

	Lukumäärä Number	2 %	Arseeni (µg/L) Arsenic (µg/L)				Keskihajonta St. deviation
			Mediaani Median	Keskiarvo Mean	98 %	Maksimi Maximum	
Rengaskaivot Suomessa, vuonna 1999 Dug ring-wells in Finland	739	< 0,05	0,14	0,35	2,51	19,7	1,00
Porakaivot Suomessa, vuonna 1999 Drilled bedrock wells in Finland	263	< 0,05	0,16	1,00	11,4	23,6	2,82
Pirkanmaan porakaivot, vuonna 2002 Drilled bedrock wells in Pirkanmaa	237	< 0,05	1,81	9,67	104	235	26,7

nen 1992). Tämä osoittaa, että alueen kallioperäsä on tavallista enemmän arseeniä, mikä selittää myös kallioon porattujen kaivojen tavallista korkeammat arseenipitoisuudet. Pirkanmaan porakaivovesien arseenin mediaanipitoisuudet ovat yli 11-kertaisia ja keskiarvot lähes 10-kertaisia koko

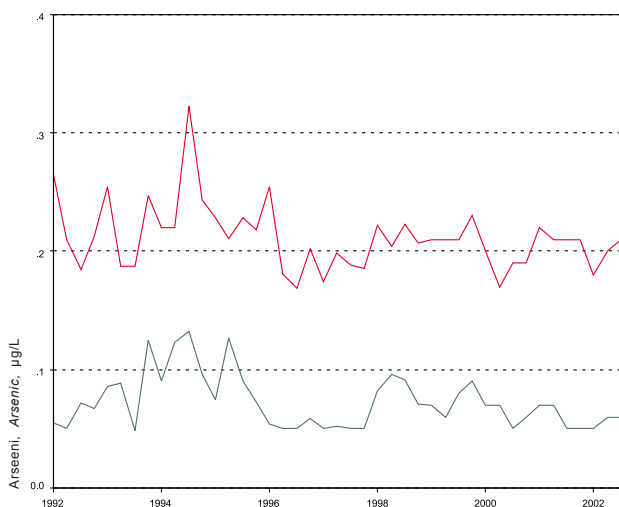
maata edustavan tuhannen kaivon tutkimuksen porakaivovesiin verrattuna (taulukko 3). Koska tuhannen kaivon tutkimuksen yhteydessä otetut näytteet jakautuvat melko tasaisesti koko maan alueelle, vain 3 % porakaivohavainnoista ylittää STM:n talousvedelle asettaman 10 µg/L:n enimmäismäärän.

Seurantatulokset

GTK tekee pohjaveden laadun seurantatutkimuksia 39 kohteessa maan eri puolilla (Backman et al. 1999). Pisimmät aikasarjat ovat Lammin ja Hämeenkosken kuntien alueelta Etelä-Hämeessä. Tällä alueella kaikki seurantakohteet ovat lähteitä tai rengaskaivoja, jotka edustavat maaperän pohjavettä. Kuvassa 3 ja 4 on esitetty Hämeenkosken kunnassa sijaitsevien kolmen eri seurantakohteen arseenipitoisuudet vuosina 1992–2002. Kellolähde on runsasvetinen lähde (virtaama 10–15 l/s) miltei luonnontilaisella Kukonharjulla. Toinen kohde on peltoviljelyn vaikutusalueella, harjun päässä oleva pieni Koivuahon lähde (2 l/s). Molempien lähteiden vedessä arseenipitoisuudet ja niiden vuotuiset vaihtelut ovat pieniä (alle 0,5 µg/L). Kolmas kohde on moreenipeitteisellä rinteellä oleva rengaskaivo. Kaivon yläpuolisella alueella on useita

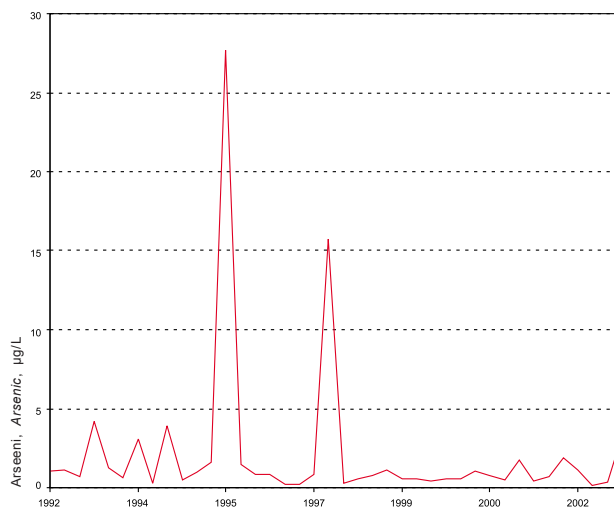
asuinrakennuksia, vanha kasvihuone, suuri navetta ja karjan laidunalueet. Tässä kohteessa veden arseenipitoisuudet ovat suurempia kuin muissa seurantakohteissa. Pitoisuudet vaihtelevat paljon, ja ajoittain aikasarjassa nähdään suuria pitoisuuspiikkejä. Tässä kohteessa pääosa arseenista on peräisin ihmisen aiheuttamasta kuormituksesta.

Pirkanmaan Orivedellä lyhytkestoisien seurantatutkimusten kohteeksi valittiin viisi porakaivoa, joiden vedessä oli suuria arseenipitoisuuksia. Vesien arseenipitoisuutta seurattiin 1990-luvun puolivälin aikana ottamalla kaivovesistä näytteitä muutamia peräkkäisiä kertoja. Kaivovesiä oli kahdentyyppiä: niitä, joissa arseenipitoisuus oli jatkuvasti korkea, ja niitä, joiden arseenipitoisuus oli korkea mutta vaihteli suuresti. Esimerkiksi Orivedellä olevaan 170 metrin syvyisen porakaivon vedessä ar-



Kuva 3. Hämeenkosken Kellolähden ja Koivuahon lähteen veden arseenipitoisuudet vuosina 1992–2002. Vuosittain on otettu neljä vesinäytettä.

Figure 3. Arsenic concentrations in the Kellolähde and Koivuaho spring water in Hämeenkoski municipality, southern Finland, during 1992–2002. Four water samples were collected annually.



Kuva 4. Hämeenkoskella, maatalouden kuormittamalla alueella olevan rengaskaivon veden arseenipitoisuus vuosina 1992–2002. Vuosittain on otettu neljä vesinäytettä.

Figure 4. Arsenic concentrations in a ring well strongly affected by human activity in Hämeenkoski municipality, southern Finland, during 1992–2002. Four water samples were collected annually.

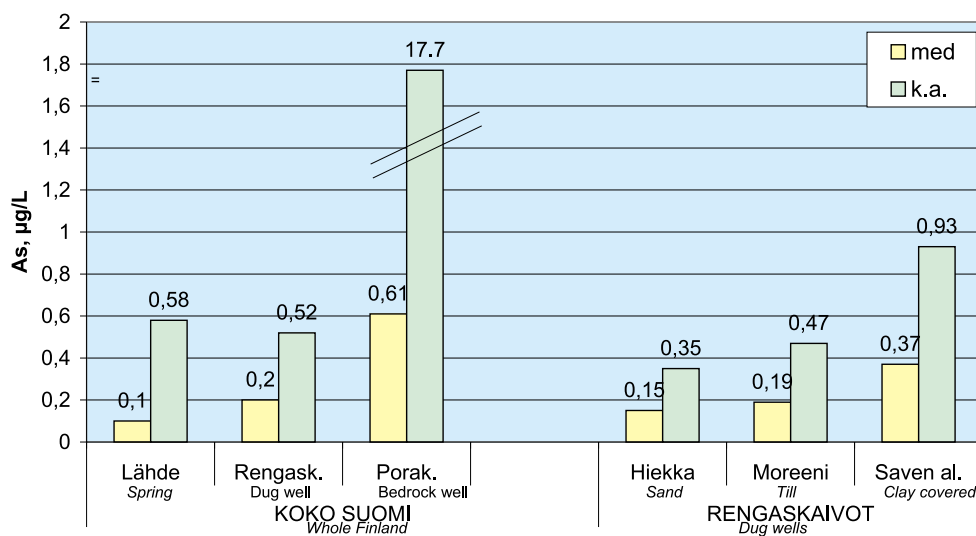
seenipitoisuus pysyi korkeana joulukuusta 1995 lokakuulle 1996 asti. Pitoisuudet vaihtelivat vain vähän 170:n ja 147:n µg/L:n välillä. Toisessa 47 metrin syvyydessä porakaivossa arseenipitoisuus

vaihteli kesäkuusta 1994 toukokuulle 1995 paljon. Pitoisuus oli korkeimmillaan 1620 µg/L ja matalimmillaan 230 µg/L.

Johtopäätökset

Lähteissä ja rengaskaivoissa, jotka edustavat lähellä maanpintaa esiintyvää maaperän pohjavettä, arseenipitoisuudet ovat hyvin pieniä. Pohjaveden arseenipitoisuus on riippuvainen veden viipymästä

(kuva 5). Hiekka- ja sorakerrostumissa pohjavesi virtaa nopeasti, kun taas moreenimailla veden virtausnopeus on yleensä pienempi. Molemmissa maajäympäristöissä lähteet edustavat usein vain vä-



Kuva 5. Arseenipitoisuudet erilaisten kaivotyyppien ja erilaisen maaperän pohjavedessä.

Figure 5. Arsenic concentrations in water representing different well and soil types in Finland.

hän aikaa maaperässä viipynyttä pohjavettä. Kai-
vovesi edustaa, kaivon syvyyden mukaan, tätä
kauemmin maaperässä viipynyttä pohjavettä. Sa-
venalaisista maakerroksista peräisin oleva pohja-
vesi ja erityisesti porakaivojen kalliopohjavedet
edustavat Suomessa vanhempaa, pitkän viipymän
pohjavettä.

Mitä kauemmin pohjavesi on maassa viipynyt,
sitä pidempään se on ehtinyt reagoida maarakei-
den ja kalliorakojen seinämien primäärisen mine-
raaliaineksen ja sekundääristen saostumien ja ki-
teytymien kanssa ja sitä enemmän veteen on liuen-
nut alkuaineita ja yhdisteitä. Erityisesti raudan ve-
sipitoiset oksidit ovat tärkeitä arseenin geokemial-
lisen käyttäytymisen kannalta. Hapettumiskykyiset
epäorgaaniset ja orgaaniset aineet ovat kuluttaneet
veteen liunneen hapen vähiin syvällä maa- ja kal-
lioperän pohjavedessä. Näin syntyneet pelkisty-
neet olosuhteet edistävät alemmalla hapetusasteel-
la helposti liikkuvien aineiden (rauta-, mangaani-
ja rikkiyhdisteiden) liukenemista veteen. Rauta-
saostumien mukana myös niihin sitoutunutta arsee-
nia voi liueta pohjaveteen.

Kalliopohjavedessä on paikoin haitallisen suuria
arsenipitoisuuksia. STM on määrittänyt talous-
käytössä olevalle vedelle Suomessa suurimmaksi
sallituksi pitoisuudeksi 10 µg/L. GTK:n koko maan
pohjavesitietokannassa tämä pitoisuus ylittyy maa-
perän pohjavedessä vain satunnaisesti, mutta po-
rakaivovesissä pitoisuus ylittyy 12,2 %:ssa näyt-
teitä. Prosenttilukua kohottavat tietokannassa ole-
vat poikkeuksellisen arseenipitoisilta alueilta eril-
listutkimuksissa kootut näytteet. Porakaivovesien
10 µg/L:n ylitykset keskittyvät tietyille alueille Pir-
kanmaalla, mm. Lempäälän ja Oriveden seuduille.
Myös Kirkkonummen ja Espoon alueella on sel-
laisia vyöhykkeitä, joissa on porakaivojen veden
käyttöä ajatellen haitallisen suuria arseenipitoisuuksia.
Edellä mainittujen alueiden porakaivovesiä on
tutkittu paljon. Muualla maassa suuret pitoisuudet
ovat satunnaisia. Arseenipitoisten vesien sijainti tai
ennuste tunnetaan jo hyvin ja vesihuollon suunnit-
telua ja toteutusta voidaan tältä osin ohjeistaa si-
ten, että vedenhankinnassa vältetään arseenikriitti-
siä alueita.

KIRJALLISUUS – REFERENCES

- STM 2001.** Sosiaali- ja terveysministeriön asetus pienten yksi-
köiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatut-
kimuksista. N:o 401/2001 (annettu Helsingissä 17 päivänä
toukokuuta 2001). 4 s., liite I ja II.
- Backman, B., Hiisvirta, L., Ilmasti, M. & Lahermo, P. 1994a.**
Arseenin ja muiden raskasmetallien sekä näihin liittyvien anio-
nien esiintyminen porakaivoissa. Geologian Tutkimuskeskus,
Etelä-Suomen aluetoimisto. Raportti 7.10.1994. 36 s.
- Backman, B., Hiisvirta, L., Ilmasti, M. & Lahermo, P. 1994b.**
Arseenin ja muiden raskasmetallien sekä näihin liittyvien anio-
nien esiintyminen porakaivoissa. Summary: Occurrence of
arsenic, other heavy metals and associated anions in drilled
wells. *Vesitalous* 35 (5), 11–18. 39.
- Backman, B., Lahermo, P., Väisänen, U., Juntunen, R.,
Karhu, J., Paukola, T., Pullinen, A., Rainio, H. & Tans-
kanen, H. 1999.** Geologian ja ihmisen toiminnan vaikutus
pohjaveteen. Seurantatutkimuksen tulokset vuosilta 1969–
1996. Summary: The effect of geological environment and
human activities on groundwater in Finland. The results of
monitoring in 1969–1996. Geologian tutkimuskeskus,
Geological Survey of Finland. Tutkimusraportti, Report of
Investigations 147. 261 s.
- Idman, H. 1996.** Luonnollisen arseenipitoisuuden vaihtelu pohja-
vesissä ja siihen vaikuttavat tekijät. Abstract: Naturally
occurring arsenic in groundwaters and factors affecting to its
concentration. Sivut 17–22 Ympäristögeologian sovelluksia.
- GTK-SYKE ympäristötutkimusseminaari 1.10.1996 (toim. T.
Nystén, T. Suokko, & T. Tarvainen). Suomen ympäristö 71.
- Kahelin, H., Järvinen, K., Forsell, P., & Valve, M. 1998.**
Arseeni porakaivovesissä – poistomenetelmien vertailututki-
mus. Summary: Arsenic in drilled wells – comparison of ar-
senic removal methods. Geologian tutkimuskeskus, Geolo-
gical Survey of Finland. Tutkimusraportti, Report of Investi-
gation 141. 27 s.
- Koljonen, T. 1992 (toim.).** Suomen Geokemian Atlas. Osa 2.
Moreeni. The Geochemical Atlas of Finland. Part 2. Till.
Geologian tutkimuskeskus, Geological Survey of Finland,
Espoo. 218 s.
- Lahermo, P., Tarvainen, T., Hatakka, T., Backman, B.,
Juntunen, R., Kortelainen, N., Lakomaa, T., Nikkarinen,
M., Vesterbacka, P., Väisänen, U. & Suomela, P. 2002.**
Tuhat kaivoa – Suomen kaivovesien fysikaalis-kemiallinen
laatu vuonna 1999. Summary: One thousand wells – the
physical-chemical quality of Finnish well waters in 1999.
Geologian tutkimuskeskus, Geological Survey of Finland. Tut-
kimusraportti, Report of Investigation 155. 92 s.
- Loukola-Ruskeeniemi, K., Tanskanen, H., Lahermo, P.
1999.** Anomalously high arsenic concentrations in spring
waters in Kittilä, Finnish Lapland. Sivut 97–102 teoksessa:
Current Research 1997–1998, Geological Survey of Finland
(toim. S. Autio), Geological Survey of Finland. Special Paper
27. 202 p.