

Tutkimusprofessori Hannu Komulainen
Terveysten ja hyvinvoinnin laitos (THL)
Ympäristöterveyden osasto

Erikoistutkija Anne Kousa
Geologian tutkimuskeskus (GTK)

Tutkija Anna Tornivaara
Geologian tutkimuskeskus (GTK)

Kainuun kaivovedet

Tiivistelmä

Kainuun alueella on todettu kaivoveden laatu paikoin heikoksi, josta johtuen Kainuun maakunta-kuntayhtymä ryhtyi selvittämään laajamittaisen näytteenoton avulla alueen kaivovesien nykytilaa. Tutkittiin myös kallioperän vihreäkivi- ja mustaliuskevyöhykkeiden mahdollista vaikutusta veden laatuun. Vesien kemiallista laatua tutkittiin 8 kunnan alueella 117 kaivosta, joista 99 oli pora- ja 18 rengaskaivoa. Vesinäytteistä tutkittiin laajasti epäorgaaniset aineet ja veden kemiallisen laadun parametrit. Vesien laatu arvioitiin kaivokohtaisesti myös terveystarpeen kannalta. Useimpien kaivojen veden laatu oli hyvä ja kemiallinen laatu vastasi suomalaisten kaivojen keskimääräistä laatua. Kuitenkin 15 % kaivoista (kaikki porakaivoja) veden laatu arvioitiin huonoksi: Vettä ei suositeltu käytettäväksi juoma-/talousvetenä, lähinnä korkeiden mangaani- tai rautapitoisuuksien takia. Vihreäkivialueiden vesi oli hieman parempilaatuista kuin mustaliuskealueella, mutta molemmilla alueilla esiintyi suuria mangaani- ja rautapitoisuuksia.

Tutkimusalueen kallioperän erityispiirteet

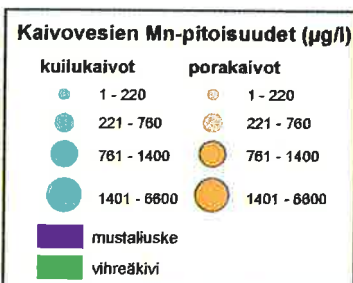
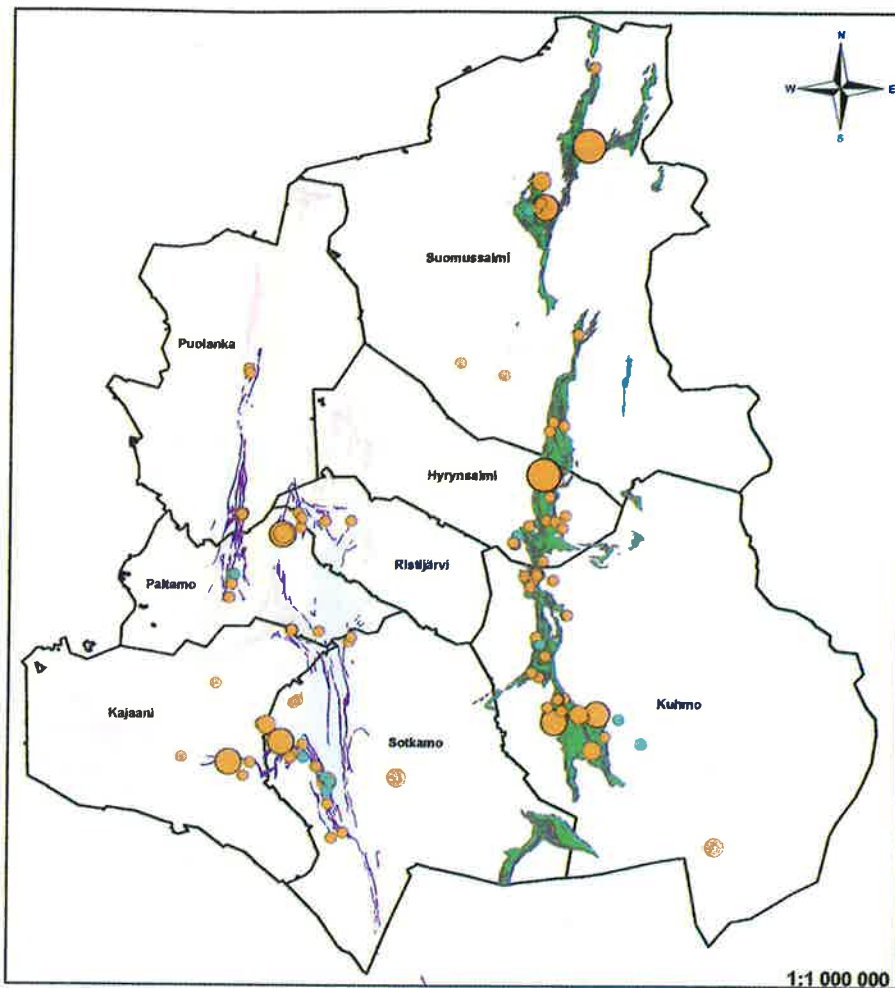
Alueen geologiset piirteet vaikuttavat pohjaveden kemiallisen koostumukseen, pohjaveden happamuuteen, sähkönjohtokykyyn ja alkaliteettiin (Lahermo ym. 1990). Yleisiä pääosin kallio- ja maaperän mineraaleista lähtöisin olevia veteen liuenneita aineita ovat mm. Al, As, Ca, F, Fe, HCO_3^- , K, Mg, Mn, Na, Rn, SiO_2 , SO_4^{2-} , Th ja U. Alumiinia, mangaania ja rautaa liukenee veteen usein myös sekundäärisistä saostumista, joiden muodostuminen ja uudelleen liukeneminen riippuu useista tekijöistä. Kainuussa pohjaveden laadullisia ongelmia voi esiintyä etenkin sulfidipitoisten kivilajien alueella sekä mahdollisesti myös graniittialueilla, joissa esiintyy paikoin kohonneita radon-, uraani- ja fluoripitoisuuksia (Kinnunen 2005). Geologian merkitys kaivoveden laatuun näkyy myös kalkkikivien ja tummien vulkaniittien suhteellisen osuuden lisäntyydessä. Tällöin liuenneiden aineiden määrä kasvaa samoin kuin siihen verrannollinen sähkönjohtavuus. Kainuun pohjavesien on todettu olevan lievästi happamia ja tämän

vuoksi useilla alueen vedenottamoilla vedet alkaloidaan. Kainuussa vesilaitoksiin oli vuosituhaten vaihteessa liittynyt noin 80 % talouksista (Schroderus-Härkönen & Markkanen 1999). Kesäasuntojen lisäksi useat kunnan asukkaista hankkivat talusvetensä yksityisistä kaivoista.

Tutkimusalueen kallioperä sisältää mustaliuske- ja vihreäkivivyöhykkeitä (Kuva 1). Kainuun mustaliuskealue kuuluu noin 200 kilometriä pitkään ja noin 40 kilometriä leveään pohjois-eteläsuuntaiseen karjalaiseen liuskejaksoon, joka koostuu pääosin kvartsiiteista, kiilleliuskeista, emäksisistä

lioperän

teet vaikuttavat pohjastumukseen, pohjäsähköjohtokykyyn (Mäkelä ym. 1990). Yleisiä kallioperän mineraaleista liuenneita aineita ovat esimerkiksi F, Fe, HCO₃⁻, K, Mg, Ca, Th ja U. Alumiinia, joka liukenee veteen usein happaustumista, joiden seurauksena liukeneminen lisääntyy. Kainuussa pohjavesissä on ongelmia voi esiintyä esimerkiksi kivilajien alueella ja myös graniittialueilla, joiden kohonneita radon-, uraanin ja kadmiumin pitoisuuksia (Kinnunen 1999). Kivityyden vaikutus kiviä kertyy kaivoveden laatuun esimerkiksi tummien kivilajien ja tummien kivilajien osuuden lisääntymisen vuoksi. Kainuun pohjavesien on tunnettu happamampia ja tämän



Pohjakartta: © Maanmittauslaitos lupanro 13/MML/08, Logica Suomi Oy
Suomen kallioperä - DigikP. Espoo: Geologian tutkimuskeskus [viikattu 24.5.2012], Versio 1.0

Kuva 1. Kaivovesien mangaanipitoisuudet Kainuun alueella (Karppinen ym. 2012).

vulkaniiteista, konglomeraateista, rautamuodostumista ja mustaliuskeista (Laajoki 1998). Mustaliuske on kiilleliuskeen kaltainen hienorakeinen metamorfinen kivilaji, joka sisältää kiilteiden lisäksi mm. kvartssia, grafiittia sekä usein sulfidimineraaleja, kuten rikki- ja magneettikiisua (n. 1–3 %). Kainuun mustaliuskevyöhykkeen malmipotentialin muodostavat nikkeli, kupari, sinkki ja koboltti, joiden pitoisuudet ovat tyypillistä mustaliuskealuetta korkeampia (Loukola-Ruskeeniemi 1991, Koljonen 1992). Alueeseen liittyy mm. Talvivaaran sulfidipitoinen mustaliuskevyöhyke, jossa osa mangaanista esiintyy harvinaisena sulfidina, alabandiittina (MnS), nostaen alueen Mn-pitoisuutta (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2011). Itä-Suomen mustaliuskeen keskimääräinen hiilipitoisuus on 7 % (Loukola-Ruskeeniemi 1992). Etenkin mustaliuskeen rapautuneet ja sulfidien hapettumisen myötä ruskeaksi värjäytyneet rakopinnat aiheuttavat ongelmia esiintymisalueidensa pohjaveden laatuun.

Kainuun maakuntakiveksikin valittu vihreäkivi, on hienorakeinen kivilaji, jonka päämineraaleja ovat plagioklaasi, kvartsi, karbonaatti, serpentiini, sarvivälke, epidootti ja kloriitti. Vihreäkivivyöhykkeeseen tyypillisimmin rikastuneita alkuaineita ovat rauta, mangaani, uraani, kupari, nikkeli, kulta ja kromi (Koljonen 1992). Kainuun vihreäkivet muodostavat maksimissaan

100 kilometriä pitkiä ja 10 kilometriä leveitä vyöhykkeitä (Kuva 1).

Tutkimusmenetelmät

Tutkimus toteutettiin kahdeksan kunnan alueella Kainuussa: Hyrynsalmi, Kajaani, Kuhmo, Paltamo, Puolanka, Ristijärvi, Sotkamo ja Suomussalmi (Kuva 1, Karppinen ym. 2012). Kaivovesihankkeesta ilmoitettiin paikallisissa tiedotusvälineissä, jolloin aiheesta kiinnostuneet kaivon omistajat saivat mahdollisuuden ilmoittautua mukaan tutkimukseen. Tutkimusalueelta otettiin vesinäytteet 117 kaivosta, joista 99 oli porakaivoja (Taulukko 1). Kallioperäkartta-aineiston perusteella kaivot luokiteltiin vihreäkivi- ja mustaliuskealueilla sijaitseviin sekä näiden alueiden ulkopuolisiin kaivoihin. Maastossa ei tehty tarkempaa arviointia kaivokohteen kallioperästä.

Vesinäyte otettiin veden käyttäjälle tulevasta vesipisteestä. Näytteistä analysoitiin kattavasti kaivoveden kemiallista laatua kuvaavat parametrit (Karppinen ym. 2012). Terveysriskinarviossa vesianalyseissa saatuja pitoisuuksia verrattiin kaivokohtaisesti yksityiskaivoja koskeviin asetuksen (401/2001) talousveden laatuvaatimukseen ja suositukseen (STM 2001) sekä uraanin ja bariumin osalta WHO:n raja-arvosuositukseen (WHO 2011). Kaivojen omistajat saivat kaivokohtaisen raportin tuloksista ja terve-

Taulukko 1. Kainuun kaivovesitutkimuksessa mukana olleiden kaivojen lukumäärät.

Kivilaji	Porakaivot, lkm	Rengaskaivot, lkm
Mustaliuskevyöhyke	39	9
Vihreäkivivyöhyke	52	6
Muu alue	8	3
Kaivoja yhteensä (117 kpl)	99	18

) kilometriä leveitä

ahdeksan kunnan rynsalmi, Kajaani, Ika, Ristijärvi, Sotkuva 1, Karppinen <keesta ilmoitettiin lineissä, jolloin aivon omistajat saivat otettua mukaan asalueelta otettiin a, joista 99 oli po. Kallioperäkartta-kaivot luokiteltiin skealueilla sijaitseiden ulkopuolisiin i tehty tarkempaa kallioperästä.

en käyttäjälle tulle-
tteistä analysoitiin
kemiallista laatua
arppinen ym. (2012).

vesianalyyseissa
rattiin kaivokohtai-
oskeviin asetuksen
laatuvaatimuksiin
(01) sekä uraanin ja
n raja-arvosuosituks-
jen omistajat saivat
n tuloksista ja terve-

ysriskinarvion veden laadusta. Kaivovesien analyysituloksia verrattiin myös GTK:n valtakunnallisen kaivovesitutkimuksen tuloksiin (Lahermo ym. 2002).

Tutkimushanke toteutettiin Kainuun maakuntakuntayhtymän koordinoimana hankkeena, yhteistyössä Terveyden- ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) ja Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) kanssa. Hanke sai rahoitusta Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR). Veden kemiallisen laadun laboratorioanalyysit teki Ympäristötutkimuskeskus Ambiotica (Jyväskylä). Tutkimuksen yksityiskohdat, kuten vesinäytteiden otto, näytteiden käsittely, kaivokohtaiset tulokset, tulosten analysointi ja yhteenvedot on kuvattu hankkeen loppuraportissa Karppinen ym. (2012).

Tulokset ja niiden arviointia

Veden yleinen laatu

Tutkitut kaivovedet olivat pääasiassa hyvälaatuisia. Lakisääteinen vedenlaatumnormi (STM 2001) täyttyi vähintään 75 % kullekin parametrille koko kaivoaineistossa. Vesissä oli vähän aineita, joihin tiedetään liittyvän terveysriski.

Vedenlaatuongelmat liittyivät pääosin porakaivoihin, joissa arseeni (4 % kaivoista), nikkeli (6 %) ja nitraatti (2 %) ylittivät paikoin talousveden lakisääteisen laatuvaatimuksen. Yleisin laatu poikkeama oli hapen vesi (pH < 6,5; 27 % porakaivoista). Muut merkittävimmät poikkeamat laatu suosituksista olivat lisääntynyt väri vedessä (27 %), sekä koholla olevat mangaani (26 %) ja rautapitoisuudet (18 %). Kahdessa porakaivossa veden radonpitoisuus (2 000 ja 2 100 Bq/l) ylitti sallitun enimmäissuosituksen 1 000 Bq/l (STM 2001). Laadultaan täysin moitteettomia porakaivoja oli 33 %. Tutkimuksen kannalta keskeisten vedenlaatu parametrien tunnuslukuja porakaivoissa on esitetty taulukossa 2.

Myös rengaskaivojen vedet olivat happamia (28 % kaivoista). Vesissä ei ollut tavallisuudesta poikkeavia pitoisuuksia alkuaineita, mutta veden väriluku (11 % kaivoista) ja permanganaattiluku (KMnO₄, 17 %) olivat osassa kaivoja koholla. Ainoastaan yhdessä rengaskaivossa ylittyi laatuvaatimus (Ni-pitoisuus 82 µg/l). Rengaskaivojen vesi oli kemialliselta laadultaan keskimäärin hieman parempaa kuin porakaivojen vesi. Veden laadultaan täysin moitteettomia rengaskaivoja oli 50 % tutkituista kaivoista.

Kaivojen sijainnilla (mustaliuske-, vih-

Taulukko 2. Tutkimuksessa mukana olleiden pora- (n=99) ja rengaskaivojen (n=18) kemiallisen laadun tunnuslukuja (2 % prosenttipiste, Med Mediaani, KA keskiarvo, SD keskihajonta, Max maksimi) keskeisten muuttujien osalta (Karppinen ym. 2012).

Muuttuja	Porakaivot, n=99					Rengaskaivot, n=18				
	2%	Med	KA	SD	Max	2%	Med	KA	SD	Max
Väri Pt mg/l	<5	<5	10,38	17,98	100	<5	<5	6,25	6,43	25,00
pH	5,9	6,9	6,86	0,54	8,2	5,5	6,6	6,59	0,43	7,40
Mn µg/l	<2	7	232,06	763,44	5400	<2	4,00	21,89	35,11	110,00
Fe µg/l	<5	62	645,57	2072,26	17000	<5	51,50	80,28	101,77	390,00
Rn Bq/l	<50	58	142,66	307,58	2100	<50	<50	<50	34,77	170,00
Ni µg/l	<0,2	1	4,31	8,41	37,0	0,20	1,80	7,96	18,99	82,00
U µg/l	0,01	0,06	0,98	3,38	25,00	0,01	0,05	0,08	0,10	0,38
As µg/l	<0,05	0,11	1,2	4,99	44,00	<0,05	0,11	0,17	0,15	0,64
F ⁻ mg/l	<0,01	0,03	0,05	0,08	0,6	0,01	0,02	0,03	0,03	0,10

kaivojen

kaivot,

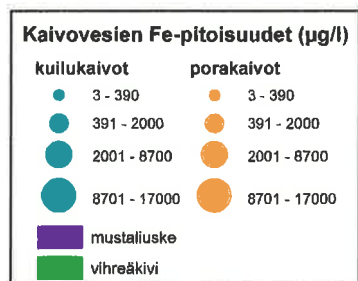
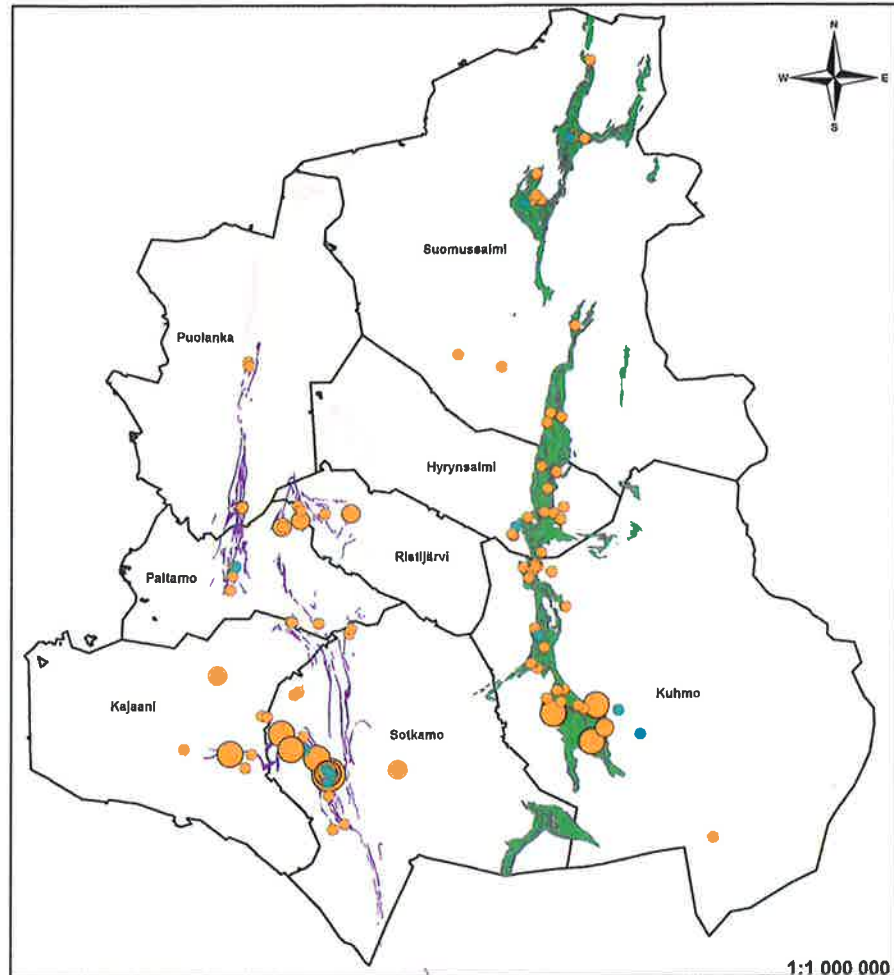
n

}

reäkivialue, muu alue) ei ollut merkittävää vaikutusta vedenlaatuun. Esimerkiksi suuria mangaanipitoisuuksia esiintyi sekä mustaliuske- että vihreäkivialueilla (Kuva 1). Suuria rautapitoisuuksia esiintyi myös molemmilla alueilla, mutta ne painottuivat

tutkimusalueen eteläosiin (Kuva 2). Tutkimuksessa kävi ilmi, että veden kemiallinen laatu voi vaihdella jopa vierekkäisillä ton-teilla. Se vuoksi veden laatu on aina määrit-tävä kaivokohtaisesti.

Tutkimuksessa mukana olleiden Kainuun



Pohjekartta: © Maanmittauslaitos lupanro 13/MML/09, Logica Suomi Oy
Suomen kalliooperä - DigIKP. Espoo: Geologian tutkimuskeskus [viitattu 24.5.2012]. Versio 1.0

Kuva 2. Kaivovesien rautapitoisuudet Kainuun alueella (Karppinen ym. 2012).

keuhkosityöpää. Kaivoveden radon lisää sisätiloissa radonaltistumista, mutta varmaa näyttöä juomaveden radonin syöpäriskistä ei ole osoitettu (Säteily, Opasnet.fi 2014).

Veden happamuus

Veden happamuus ei yksin aiheuta terveysriskiä, mutta hapan vesi voi liuottaa kallioperästä, putkistosta ja vesikalusteista metalleja. Tulosten perusteella saatiin viitteitä, että veden ollessa hapanta, kuparia liukeni veteen myös kupariputkistosta. Kuparia on erityisen runsaasti mustaliuskeissa ja sen liukeneminen tehostuu happamassa ympäristössä (Lahermo ym. 2002). Veden kuparipitoisuus ei kuitenkaan ylittänyt terveysperusteista laatuvaatimusta (2 000 µg/l) yhdessäkään vesinäytteessä. Suurin todettu pitoisuus porakaivoissa oli 600 µg/l. Veden happamuuden tavoiteväliksi on asetettu pH 6,5–9,0 (STM 2001).

Uraani, nikkeli, arseeni ja muut epäorgaaniset aineet

Ohjearvoilyityksillä tarkasteltuna kaivoveden laatu oli samanlaista kuin keskimäärin muualla Suomessa alueilla, joissa pohjavedessä ei ole maa-/kallioperästä johtuvia poikkeuksellisia pitoisuuksia esimerkiksi arseenia, uraania tai fluoridia. Esimerkiksi uraanin (25 µg/l) ja nikkelin (82 µg/l) suurimpiinkin todettuihin pitoisuuksiin ei oleteta liittyvän terveysriskiä.

Lopuksi

Kainuun kaivovesitutkimus antaa hyvän yleiskuvan tutkittujen aineiden pitoisuuksista. Tuloksia ei voida kuitenkaan yleistää alueen kaivovesiin, joista kemiallista määrittystä ei ole tehty. Pitoisuuserot mustaliuske- ja vihreäkivivyöhykkeiden kaivoissa eivät olleet merkittäviä. Tutkimusalueen kivilajirajat perustuivat karkeaan kallioperägeologiseen karttatulkintaan, joten kallioperävyöhykkeiden jakoa voidaan pitää vain suuntaa antavana. Juomaveden korkea mangaanipitoisuus on terveysriski (Komu-

lainen 2014), joka on syytä ottaa huomioon käytettäessä kaivovettä talousvetenä.

Kirjallisuus

- Karppinen, H., Komulainen, H., Kousa, A., Nikkarinen, M. & Tornivaara, A. 2012. Haitalliset alkuaineet Kainuun kaivovesissä -hanke 2/2011–12/2012: Loppuraportti. Kainuun maakunta-kuntayhtymä D:54. <http://www.elykeskus.fi/documents/10191/1145691/Haitalliset+aineet+-loppuraportti.pdf/0a5f2c19-0504-4c9f-86f0-4fa6-c2a0ad98>
- Kinnunen, T. (toim.) 2005. Pohjavesitutkimusopas, käytännön ohjeita. Suomen vesiyhdistys ry. 194 s.
- Koljonen, T. 1992. Kallioperä. Teoksessa: Koljonen, T. (toim.) Suomen geokemiallinen atlas, Osa 2: Moreeni. Geologian tutkimuskeskus, 50–59.
- Komulainen, H. 2014. Juomaveden mangaaniin liittyy terveysriski. Ympäristö ja Terveys-lehti 2: 20–24.
- Laajoki, K. 1998. Karjalaiset liuskealueet – mantereen ikivanha pintakivipeite. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P. & Rämö, T. (toim.). 3000 vuosimiljoonaa – Suomen kallioperä. Suomen geologinen seura, 106–139.
- Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. & Taka, M. 1990. Suomen geokemian atlas. Osa 1: Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. Geologian tutkimuskeskus. 66s.
- 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. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 155. Geologian tutkimuskeskus. 92s.
- Loukola-Ruskeeniemi, K. 1991. Geochemical evidence for the hydrothermal origin of sulphur, base metals and gold in Proterozoic metamorphosed black shales, Kainuu and Outokumpu areas, Finland. Mineralium Deposita 26, 152–164.

tä,ottaa huomioon
talousvetenä.

nen, H., Kousa,
örnivaara, A.
ineet Kainuun
'2011–12/2012:
in maakunta
tp://www.ely-
10191/1145691/
puraportti.
f-86f0-4fa6-

5. Pohjavesitutki-
hjeita. Suomen

perä. Teoksessa:
omen geokemial-
eeni. Geologian
).
omaveden man-
riski. Ympäristö ja

iset liuskealueet –
intakivipeite. Teok-
urmi, P. & Rämö,
iljoonaa – Suomen
ologinen seura,

, Juntunen, R. &
n geokemian atlas.
esien hydrogeo-
. Geologian tutki-

T., Hatakka, T.,
n, R., Kortelainen,
arinen, M., Ves-
, U. & Suomela, P.
uomen kaivovesien
laatu vuonna 1999.
eskus. Tutkimusra-
utkimuskeskus. 92s.
K. 1991. Geochemi-
ydrothermal origin
ls and gold in Pro-
sed black shales,
pu areas, Finland.
26, 152–164.

i-lehti 6-2014, 45. vsk.

Loukola-Ruskeeniemi, K. 1992. Geoche-
mistry of Proterozoic metamorphosed
black shales in eastern Finland, with
implications for exploration and environ-
mental studies. Väitöskirja. Geologian
tutkimuskeskus. 86 p.

Loukola-Ruskeeniemi, K., Hyvonen, E., Ai-
ro, M.-L., Arkimaa, H., Eskelinen, J.,
Lerssi, J., Vanne, J. & Vuoriainen, S. 2011.
Onko Suomessa uusia Talvivaara-tyyppi-
sia malmeja? Geofysikaalisiin ja geokemi-
allisiin tutkimuksiin perustuva Suomen
mustaliuskekartta. Geologi 63 (3), 68–79.
Schroderus-Härkönen, S. & Markkanen,
S.-L. (toim.) 1999. Kainuun ympäristön
laadun kuvaus. Suomen ympäristö 356,
Kainuun ympäristökeskus, 312 s.

STM 2001. Sosiaali- ja terveysministeriön
asetus pienten yksiköiden talousveden
laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuk-
sista 401/2001.

Säteily. Opasnet.fi. 31.3.2014 ([http://
fi.opasnet.org/fi/S%C3%A4teily#cite_
note-WHW-8](http://fi.opasnet.org/fi/S%C3%A4teily#cite_note-WHW-8))

Tietoa mangaanista 2013. ([http://
www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/
Rakennushanke/Talotekniset_
jarjestelmat_LVI/Vedenhankinta_
kaivosta](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset_jarjestelmat_LVI/Vedenhankinta_kaivosta))

WHO 2011. World Health Organization.
Guidelines for drinking-water quality,
4th Edition. ([http://www.who.int/wa-
ter_sanitation_health/publications/2011/
dwq_guidelines/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/)) ■

ADUCATE

10 vuotta
veden vaaroja



Ajankohtaisia luentoja, case-tapauksia, keskustelua ja verkostoitumista
vesialan ammattilaisille ja kuntien valvontaviranomaisille. Yhteisessä ilta-
ohjelmassa mukana myös **Halavatun Papat Duo**. Tervetuloa mukaan!
Katso tarkempi ohjelma ja ilmoittaudu: www.aducate.fi/vedenvaarat

VEDEN VAARAT

10-VUOTISJUHLASEMINAARI KUOPIOSSA
12.–13.11.2014 (Sokos Hotel Puijonsarvi)



Pidämme ympäristöä puhtaana

Materiaalikierrätyksen edelläkävijä



Veikko Lehti Oy, Teljänkatu 10, 28130 Pori, puh. 02 631 6100

Meiltä kaikki
jätehuollon
palvelut.

Ympäristö ja Terveys-lehti 6-2014, 45. vsk.