



Yhteenvedoraportti MINERA–projektissa tehdyistä ruokasienten metallipitoisuustutkimuksista Luikonlahdella 2010

Summary report of the survey of metal concentrations in edible mushrooms conducted as a part of MINERA project in Luikonlahti in 2010

Sari Makkonen, Päivi Roivainen ja Anne-Marja Nerg



Vipuvoimaa
EU:lta
2007–2013



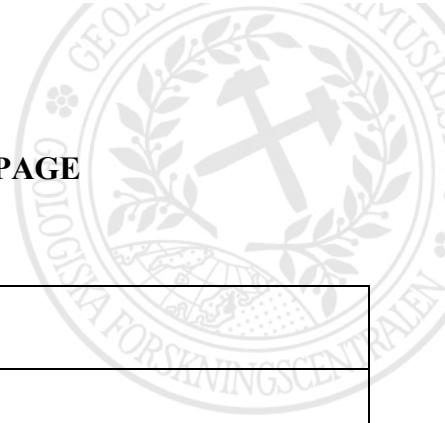
GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS • GEOLOGISKA FORSKNINGSCENTRALEN • GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

PL/PB/P.O. Box 96 PL/PB/P.O. Box 1237 PL/PB/P.O. Box 97 PL/PB/P.O. Box 77
FI-02151 Espoo, Finland FI-70211 Kuopio, Finland FI-67101 Kokkola, Finland FI-96101 Rovaniemi, Finland

Puh. 029 503 0000 • Tel. +358 29 503 0000 • www.gtk.fi • Y-tunnus / FO-nummer / Business ID: 0244680-7

3.4.2013 / Dnro

Tekijät Sari Makkonen, Päivi Roivainen ja Anne-Marja Nerg		Raportin laji	
		Toimeksiantaja	
Raportin nimi Yhteenvetoraportti MINERA-projektissa tehdyistä ruokasienten metallipitoisuustutkimuksista Luikonlahdella 2010			
Tiivistelmä Geologian tutkimuskeskuksen (GTK), Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) sekä Itä-Suomen yliopiston (UEF) yhteinen MINERA-hanke (Metallikaivostoiminnan ympäristöriskinarviointiosaamisen kehittäminen) toteutettiin vuosina 2010-2013. MINERA-hankkeen tavoitteena oli kehittää ympäristöriskinarviointien menetelmiä kaivosympäristöjä varten, laatia kaivoskohteiden ympäristöriskinarviointiin käsitteellinen kokonaismalli. Malli sisältää päästöjen, sekä ihmisten ja ympäristön eliöiden altistumisen ja vaikutusten arvioinnin. Pääasiallinen tarkasteltava kohde oli metallimalmikaivosten lähiympäristö. Ympäristöriskinarviointimallin testaamista varten projektin kohdetutkimusalueeksi valittiin Luikonlahden kaivosalue Kaavilla. Luikonlahden metallikaivostoiminta on kohdistunut kuparin, nikkelin, koboltin ja sinkin tuotantoon. Ympäristöriskinarviointimallin kehittämisen lisäksi projektissa tehtiin tarkentavia tutkimuksia mallinnuksen kehittämistä varten. Tässä raportissa kuvataan Luikonlahden kaivosalueella ja sen ympäristössä v. 2010 tehty sieninäytteiden keräys ja niiden metallipitoisuustulokset. Sienten alkuainepitoisuudet analysoitiin ICP-MS menetelmällä. Sienet kerättiin Luikonlahden kaivoksen toiminta-alueelta ja sen lähiympäristöstä noin 2 km × 2 km alueelta. Sienien metallipitoisuuksia verrattiin GTK:n samoilta alueilta vv. 2010-2011 määrittämiin humuksen metallipitoisuuksiin.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) ruokasienet, alkuainepitoisuudet, metallit, biokertyvyys, kaivosympäristö, altistuminen			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä)			
Karttalehdet			
Muut tiedot			
Arkistosarjan nimi		Arkistotunnus Arkistoraportti 98/2013	
Kokonaissivumäärä 34	Kieli	Hinta	Julkisuus
Yksikkö ja vastuualue Itä-Suomen yksikkö, Maankäyttö ja ympäristö		Hanketunnus 3241000	
Allekirjoitus/nimen selvitys Raimo Nevalainen Toimialapäällikkö 		Allekirjoitus/nimen selvitys Tommi Kauppila Johtava tutkija 	



Authors Sari Makkonen, Päivi Roivainen ja Anne-Marja Nerg		Type of report	
		Commissioned by	
Title of report Summary report of the survey of metal concentrations in edible mushrooms conducted as a part of MINERA project in Luikonlahti in 2010			
Abstract The MINERA project (Improving environmental risk assessments for metal mines) was carried out in collaboration between the Geological Survey of Finland (GTK), the National Institute for Health and Welfare (THL) and the University of Eastern Finland (UEF) during 2010–2013. The aim of the project was to develop methods for environmental risk assessment at metal mine sites, and develop a conceptual model for mine site risk assessment. The model includes evaluation of contaminant concentrations in various media in the surroundings of a mine, exposure assessments for humans and biota, and the description of eventual ecological and health risks. The main focus of the project was on the immediate surroundings of a mine. The MINERA –model was tested in Luikonlahti mine in Kaavi. In order to further develop the environmental risk assessment model for mine sites additional case studies were conducted in Luikonlahti mine area. This report describes the collection and analyzing methods and the results of metal concentrations in edible mushrooms in the Luikonlahti mine area and its surroundings in 2010. The mushroom samples were collected within 2 km × 2km grid area established at the mine site. The element concentrations of mushrooms were analyzed with ICP-MS method and the results were compared with the metal concentrations of humus layer analyzed by GTK in Luikonlahti in 2010-2011.			
Keywords edible mushrooms, element concentrations, metals, bioaccumulation, mine site, exposure			
Geographical area			
Map sheet			
Other information			
Report serial		Archive code Arkistoraportti 98/2013	
Total pages 34	Language	Price	Confidentiality
Unit and section Itä-Suomen yksikkö, Maankäyttö ja ympäristö		Project code 3241000	
Signature/name Raimo Nevalainen Toimialapäällikkö		Signature/name Tommi Kauppila Johtava tutkija	

3.4.2013



Sisällysluettelo

Kuvailulehti
Documentation page
Lyhenteet ja määritelmät

1	JOHDANTO	1
2	TUTKIMUSAINEISTOT	2
2.1	Näytteenotto	2
2.2	Tulosten laskeminen	6
2.2.1	Biokertyvyys	6
3	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	8
3.1	Kerättyjen sienien kuvaus	8
3.2	Sienten alkuainepitoisuudet	9
3.3	Bioakkumulaatio- ja biokonsentraatiokertoimet	13
3.4	Sienten käyttö ruokasieninä	15
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	18
5	VIITTEET	19

LIITTEET

3.4.2013

**Lyhenteet ja määritelmät**

Termi	Englanninkielinen termi	Selite
ADI	Acceptable Daily Intake	Hyväksyttävä päivittäinen saanti elinikäisen altistumisen yhteydessä, mg/kg rp
BAF	Bioaccumulation Factor	Bioakkumulaatiokerroin, aineen kertyvyys eliöön suhteessa ympäristön pitoisuuteen
BCF	Bioconcentration Factor	Biokonsentraatiokerroin, aineen kertyvyys eliöön suhteessa vesiympäristön pitoisuuteen tasapainotilassa
dw	Dry Weight	Kuivapaino, kg
fw	Fresh Weight	Tuorepaino, kg
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level)	Haitaton vaikutustaso
PTWI	Provisional Tolerable Weekly Intake	Väliaikainen korkein siedettävä viikottainen saanti, µg/kg rp/ viikko
rp	Body weight, bw	Kehon paino, kg
TDI	Tolerable Daily Intake	Korkein siedettävä päivittäinen saanti elinikäisen altistumisen yhteydessä, µg/kg rp/ vrk
TWI	Tolerable Weekly Intake	Korkein siedettävä viikoittainen saanti elinikäisen altistumisen yhteydessä, µg/kg rp/ viikko

1 JOHDANTO

Sienet ovat toisenvaraisia eliöitä, jotka saavat ravintonsa joko hajottamalla orgaanista ainesta tai olemalla symbioosissa kasvien kanssa. Suurin osa sienestä koostuu maanalaisesta sienirihmastosta, joka voi levitä useiden neliömetrien alueelle. Monien mykoritsalajien rihmasto on runsaampaa metsämaan orgaanisessa kerroksessa mineraalimaan yläpuolella, mutta sienirihmasto ja sienijuuria on myös mineraalimaassa (Lucac ja Godbold 2011). Laajan rihmastonsa avulla sieni ottaa kivennäisaineita maaperästä tehokkaasti, ja voi sen vuoksi sisältää suuria määriä metalleja verrattuna moniin kasveihin (Kalač ja Svoboda 2000). Metallien kertymisessä on metallikohtaisia ja sienilajien välisiä eroja (Kalač ja Svoboda 2000, Nikkarinen ja Mertanen 2004). Esimerkiksi herkkutatin (Järvinen 2003), kangastatin sekä korvasienten (Pelkonen ym. 2006) on raportoitu keräävän kadmiumia tehokkaasti verrattuna muihin syötäviin sieniin.

Kaivosympäristössä metalleja on luontaisesti tavanomaista enemmän ja ne voivat levitä maaperän pintakerrokseen eri toiminnoista johtuen joko pölyämisen kautta tai pinta- ja pohjavesien välityksellä. Maaperästä metallit voivat kulkeutua edelleen luonnonkasveihin ja -sieniin. Monet syötävät makrosienet voivat rikastaa itiöemiinsä suuria määriä terveydelle haitallisia metalleja, esimerkiksi elohopeaa, kadmiumia ja lyijyä (Pelkonen ym. 2006). Tässä tutkimuksessa määritettiin Luikonlahden kaivosalueen ja sen ympäristöstä kerättyjen ruokasienten metallipitoisuudet.

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös onko humuksen kokonais- tai helppoliukoisen metallipitoisuuden ja sienten metallipitoisuuden välillä riippuvuutta. Sienten ja humuksen alapuolisen kivennäismaaperän metallipitoisuuksien välistä yhteyttä ei tässä yhteydessä selvitetty. Sienten metallipitoisuuteen voivat vaikuttaa maan metallipitoisuuden lisäksi monet fysikaalis-kemialliset tekijät, jotka muuttavat metallien biosaatavuutta maaperässä, sekä sienten omat biologiset mekanismit, jotka säätelevät alkuaineiden ottoa (Gadd 1993, Kalač ja Svoboda 2000).



Kuva 1. Luikonlahden kaivosalueen ja lähiympäristön kasvillisuus on pääosin nuorta sekametsää. Kuva: Sari Makkonen, Itä-Suomen yliopisto.

2 TUTKIMUSAINEISTOT

2.1 Näytteenotto

Luikonlahden kaivospiirin ja lähiympäristön kasvillisuus on pääosin nuorta sekametsää, ja alueen kasvillisuustyyppi on tuore mustikkatyyppin (MT, *Myrtillus*-tyyppi) kangas. Reunavaikutteisten metsäalueiden osuus on suuri, koska alueella on paljon hakkuuaukeita, teitä tai muuten käsiteltyjä alueita (Kuva 1). Sivukiven läjitykseen käytetyillä alueilla valtalajeina ovat harmaaleppä, koivut ja erilaiset heinäkasvit (Jäntti 2012).

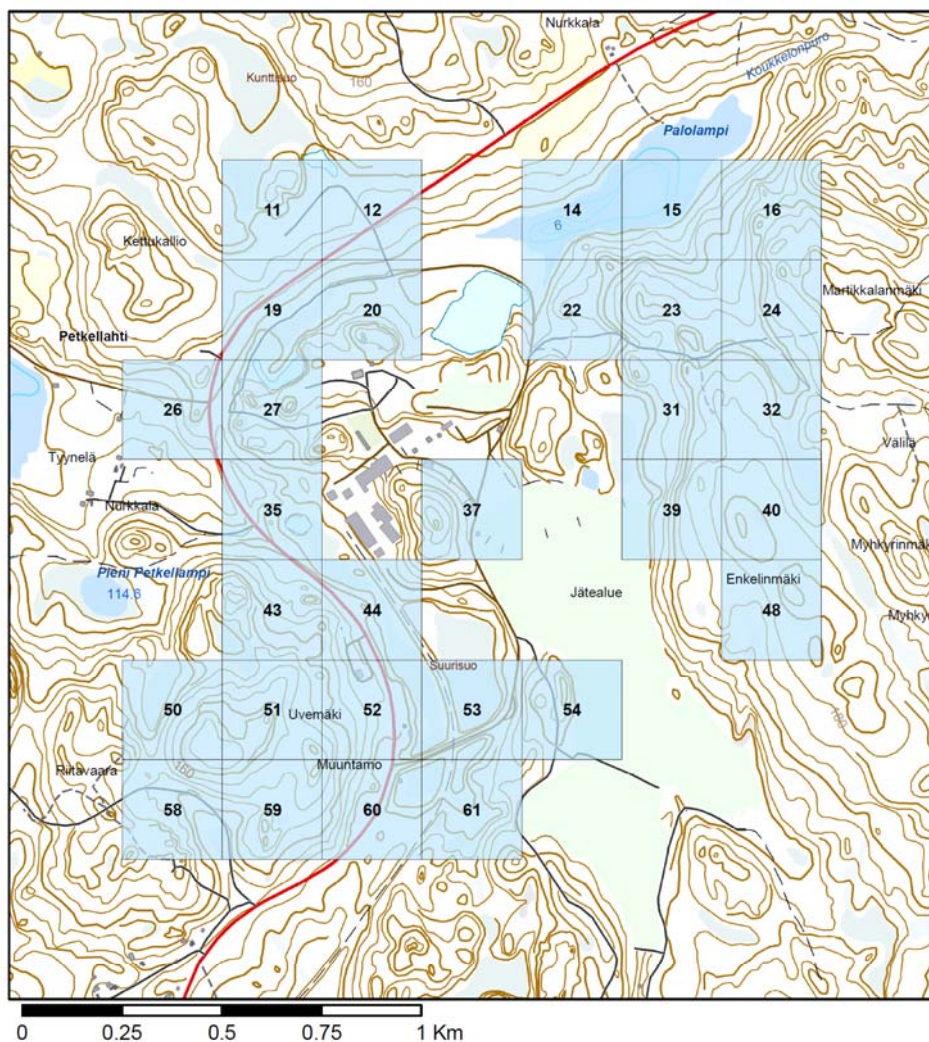
Luikonlahden kaivoksen toiminta-alue ja sen lähiympäristö noin 4 km² alueelta jaettiin tutkimusta varten 250 m x 250 m soluihin (Nikkarinen ja Karlsson 2012). Nuoria ruokasieniä, jotka kaikki olivat mykoritsasieniä, kerättiin yhteensä 30 eri solusta syys-lokakuussa 2010 (Kuva 2). Kaivoksen alueelta määritettiin yhteensä 78 sieninäytettä. Kerättyjä sienilajeja olivat herkkutatti (*Boletus edulis*), männynherkkutatti (*Boletus pinophilus*), eri punikkitatit (*Leccinum* spp.), voitatti (*Suillus luteus*), kangas-tatti (*Suillus variegatus*), kantarelli (*Cantharellus cibarius*), kangassieni (*Lactarius rufus*) ja karvarousku (*Lactarius torminosus*) (Taulukko 1, Kuvat 3-5). Jokaisen sienilajin näytteeseen yhdistettiin kaikki yhden solun sisältä kerätyt itiömät (1–28 kpl/ näyte). Sienet säilytettiin keräyksen jälkeen kylmiössä (+5 °C) yön yli. Sieninäytteeseen otettiin mukaan lakki ja jalka. Sienestä poistettiin jalan multainen tyviosa ja pinnan irtonaiset roskat sekä tarvittaessa vioittuneet osat ja pintakelmu. Sienet pilkottiin ja punnittiin näytteen tuorepaino. Näytteet kuivattiin lämpökaapissa +60 °C 3 vrk tai +45 °C

3 vrk ja sen jälkeen +60 °C 1 vrk ja punnittiin kuivapaino. Tuore- ja kuivapainosta (+105 °C) määritettiin näytteen vesipitoisuus.

Kuivatut sieninäytteet jauhettiin analyysimyllyllä hienoksi jauheeksi alkuainemäärytyksiä varten. Näytteet uutettiin väkevällä typpihapolla mikroaaltouunissa (EPA3051). Alkuaineiden Al, B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Rb, S, Sr, Ti, V ja Zn pitoisuudet määritettiin induktiivisesti kytketyllä plasma-atomiemissiospektrometrilla (ICP-AES, Thermo Jarrel Ash Iris). Alkuaineiden Ag, As, Ba, Cd, Cr, Co, Li, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Tl ja U pitoisuudet määritettiin plasma-massaspektrometrilla (ICP-MS, Perkin Elmer Sciex Elan 6000). Hiilen ja typen pitoisuudet analysoitiin hiili-typpianalysaattorilla (ISO 13878, CEN 15104). Kaikki analyysit tehtiin Labtium Oy:n laboratoriossa.

Jokaisesta näytteenottosolusta, josta kerättiin sieninäytteet, otettiin myös noin 1-10 cm paksuinen humusnäyte pintamaasta sylinterimäisellä näytteenottimella. Humuskakun päältä poistettiin elävät maa- tumattomat kasvinosat ja suuremmat juuret ja alapuolelta mineraalimaa, jos sitä oli tullut näytteen mukana. Kustakin näytteenottosolusta otettiin 3-9 osanäytettä, riippuen humuskerroksen paksuudesta, noin 20 x 20 m alalta näytesolun sisältä.

Luikonlahden sieninäytteiden näytteenottosolut 2010



Pohjakartat: © Maanmittauslaitos, lupa nro 13/MML/12
Logica Suomi Oy

Kuva 2. Luikonlahden sieninäytteiden näytteenottosolut vuonna 2010.

Humusnäytteistä analysoitiin yllämainittujen alkuaineiden kokonaispitoisuus (uutto väkevällä typpi-hapolla) sekä ammoniumasetaattiliukoinen pitoisuus (uutto 1 M ammoniumasetaatilla, pH 4.5) ICP -menetelmillä kuivapainoa kohden. Lisäksi humusnäytteistä määritettiin pH, kationinvaihtokapasiteetti (CEC) ja tuhkapitoisuus. (Nikkarinen ja Karlsson 2012)

Taulukko 1. Luikonlahden näytteenottosoluista kerätyt sienilajit

Sienilaji	Näytteenottosolu
Herkkutatti	11, 12, 14, 15, 20, 22, 23, 24, 26, 27, 31, 32, 35, 40, 43, 44, 48, 50, 51, 52, 58, 59, 60
Männynherkkutatti	24, 37, 39,
Punikkitatit	14, 16, 22, 24, 27, 35, 37, 40, 44, 48, 50, 51, 53, 54, 59, 60, 61
Voitatti	11, 19, 23, 24, 35, 48
Kangastatti	39, 40, 50, 58
Kangassieni	20, 39, 43, 48, 51, 54, 58, 59, 60
Karvarousku	11, 14, 15, 35, 37, 43, 44, 48, 51, 52, 59, 61
Kantarelli	32, 40, 53, 61



Kuva 3. Kantarelleja (*Cantharellus cibarius*). Kuva: Sari Makkonen, Itä-Suomen yliopisto.

2.2 Tulosten laskeminen

2.2.1 Biokertyvyys

Metallien kertymistä sieniin määritetään biokonsentraatiokertoimella (BCF, *bioconcentration factor*), joka on koko itiöemän, lakin tai jalan kuivapainon metallipitoisuuden (mg/kg dw) suhde pintamaan kuivapainon kokonaismetallipitoisuuteen (mg/kg dw) (Frankowska ym. 2010; Gucia ym. 2012). Yksikötön kerroin kuvaa sienen kykyä kerätä alkuaineita maaperästä ja sen avulla arvioidaan sienten metallipitoisuus, kun pintamaan pitoisuus tunnetaan. Yleensä alkuaineen katsotaan olevan kertyvää, jos kerroin on yli yksi, ja ei biokertyvää, jos suhde jää alle yhden. Monien metallien kohdalla kertyvyyskertoimet voivat olla pieniä, vaikka sienen metallipitoisuus on korkea (Frankowska ym. 2010).

Maaperäeliöiden biokertyvyyskertoimen laskemisessa käytetään useimmiten haitta-aineen kokonaispitoisuutta pintamaassa. Käytännössä eliöt eivät välttämättä reagoi suoraan haitta-aineen kokonaispitoisuuteen ja altistuminen voi tapahtua useampia reittejä. Huokosveden haitta-ainepitoisuudella saattaa olla keskeisempi rooli biokertyvyyteen kuin maan kokonaispitoisuudella, koska liukoisten metallien oletetaan olevan paremmin eliöiden saatavilla (Allen 2000).

Tässä raportissa humuksen alkuaineen kokonaispitoisuuden perusteella laskettua kertyvyystekijää kutsutaan bioakkumulaatiokertoimeksi (BAF, *bioaccumulation factor*). Humuksen helppoliukoiseen (ammoniumasetaatti uutto) metallipitoisuuteen perustuvaa kerrointa kutsutaan puolestaan biokonsentraatiokertoimeksi ja sen oletetaan edustavan helpommin eliöiden saatavilla olevaa huokosveden alkuainepitoisuutta. Kertoimien laskemisessa käytettiin alkuainepitoisuuksia sienen ja humuksen kuiva-aineksessa.

2.2.2. Sienten turvallinen käyttömäärä

Kaivosympäristöstä kerättyjen tattien ja rouskujen metallipitoisuuksista (mg/kg tuorepainossa) arvioitiin alueen ruokasienten viikoittainen turvallinen käyttömäärä (kg fw/vko), jossa alkuaineiden enimmäissaanti sienten tuorepainossa ei vielä ylity. Laskelmissa hyödynnettiin Eviran (2010) ja Suomen ympäristökeskuksen julkaisuissa (Reinikainen 2007, Pelkonen ym. 2008) raportoituja eri kirjallisuuslähteistä kerättyjä terveysperusteisia metallien sallittuja enimmäissaannin arvoja pitkäaikaisessa altistuksessa. Laskuissa käytetyt alkuaineiden siedettävät saantiarvot on esitetty liitteessä 1. Korkein viikoittainen siedettävä saanti jaettiin sienen tuorepainon alkuainepitoisuudella (sekä maksimi- että mediaanipitoisuudella), josta saatiin sienille viikossa syötäväksi suositeltava enimmäismäärä (kg fw/vko).



Kuva 4. Karvarouskuja (*Lactarius torminosus*). Kuva: Sari Makkonen, Itä-Suomen yliopisto.



Kuva 5. Männyn herkkutatti (*Boletus pinophilus*). Kuva: Sari Makkonen, Itä-Suomen yliopisto.

3 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

3.1 Kerättyjen sienien kuvaus

Sieninäytteiden keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus vaihteli välillä 4,7–9,4 % (Taulukko 2). Sienten vesipitoisuus vastasi siten tuoreiden ruokasienien keskimääräistä vesipitoisuutta (90–95 %; Härkönen ym. 1995). *Suillus*-sukuun kuuluvien voitatin ja kangastatin kuiva-ainepitoisuus oli pienempi kuin muiden sienisukujen (Kruskall-Wallis + Mann-Whitney Bonferroni-korjauksella, $p < 0,05$). Punikkittattien (*Leccinum*) kuiva-ainepitoisuus oli suurempi kuin *Lactarius*-sukuun kuuluvien kangassienen ja karvarouskun.

Taulukko 2. Sienten keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus (%), n= näytteiden lukumäärä

Laji	n	Kuiva-ainepitoisuus (%)
Herkkutatti	23	8,1
Männynherkkutatti	3	7,4
Punikkittatti	17	9,4
Voitatti	6	4,7
Kangastatti	4	5,6
Kangassieni	9	7,6
Karvarousku	12	7,5
Kantarelli	4	8,0

3.2 Sienten alkuainepitoisuudet

Koko sieniaineiston alkuainepitoisuudet kuivapainoa kohden on esitetty taulukossa 3 ja tuorepainoa kohden taulukossa 4. Alkuainepitoisuudet kuivapainoa kohden on esitetty myös sieniryhmittäin: kantarelli (*Cantharellus cibarius*, Liite 1), tatit (*Boletus*, *Leccinum*, *Suillus*, Liite 2) ja rouskut (*Lactarius*, Liite 3) eri etäisyyksillä kaivoksen toiminta-alueelta (etäisyys < 350 m, 350–700 m ja >700 m). Kerättyjen tattien ja rouskujen jakauma tutkimusalueella oli melko tasainen, mutta 350–700 m etäisyydeltä oli eniten sieninäytteitä.

Etäisyys kaivoksesta vaikutti selkeimmin tattien ja rouskujen nikkelpitoisuuksiin, jotka pienenevät merkittävästi kaivosalueelta etäännyttäessä (Kruskall-Wallis, $p < 0,05$). Myös tattien kobolttipitoisuus ja rouskujen hopeapitoisuus olivat kohonneita lähempänä kaivoksen toiminta-alueella. Kuvassa 6 on esimerkki eri sieniryhmien nikkelpitoisuuksien (mg/kg kuivapainossa) vaihtelusta näytealueella 0–350 m, 350–700 m ja yli 700 m etäisyyksillä kaivoksesta.

Taulukko 3. Luikonlahden ruokasienten alkuainepitoisuus (mg/kg kuivapainossa), aritmeettinen keskiarvo (M), geometrinen keskiarvo (G), mediaani (Md), minimi (min) ja maksimi (max). n=78

Alkuaine	M	G	Md	min	max
Ag	2,70	0,576	0,823	< 0,01	19,1
Al	14,7	9,79	10,1	< 5	97,6
As	0,307	0,223	0,205	0,059	2,74
B	< 1	< 1	< 1	< 1	4,55
Ba	0,600	0,518	0,495	0,156	2,74
Ca	99,9	88,8	83,9	39,4	466
Cd	1,74	0,797	0,785	0,060	15,8
Co	0,361	0,217	0,206	< 0,05	2,60
Cr	0,507	0,228	0,190	< 0,05	12,2
Cu	37,5	29,2	31,5	8,15	222
Fe	113	32,0	23,3	16,2	1860
K	25900	25400	25000	15500	46800
Li	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,122
Mg	742	725	690	443	1300
Mn	12,3	11,2	11,1	5,24	31,1
Mo	0,216	0,146	0,130	< 0,02	1,05
Na	173	76,3	66,4	< 20	1310
Ni	1,55	1,28	1,40	0,355	9,02
P	5380	5280	5500	3370	9010
Pb	0,202	0,089	0,078	< 0,05	2,78
Rb	333	301	291	113	1060
S	4600	3450	4810	690	11200
Sb	1,14	< 0,05	< 0,05	< 0,05	86,2
Se	6,08	1,84	1,24	0,050	46,3
Sr	0,307	0,259	0,267	< 0,01	1,75
Ti	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,14
Tl	0,037	0,022	0,023	< 0,01	0,182
U	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,033
V	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,191
Zn	103	99,0	99,2	47,9	184
C (%)	44,9	44,9	44,9	42,8	47,4
N (%)	4,32	4,20	4,09	2,48	6,74

< #, alkuaineen pitoisuus alle määritysrajan

n = näytteiden lukumäärä

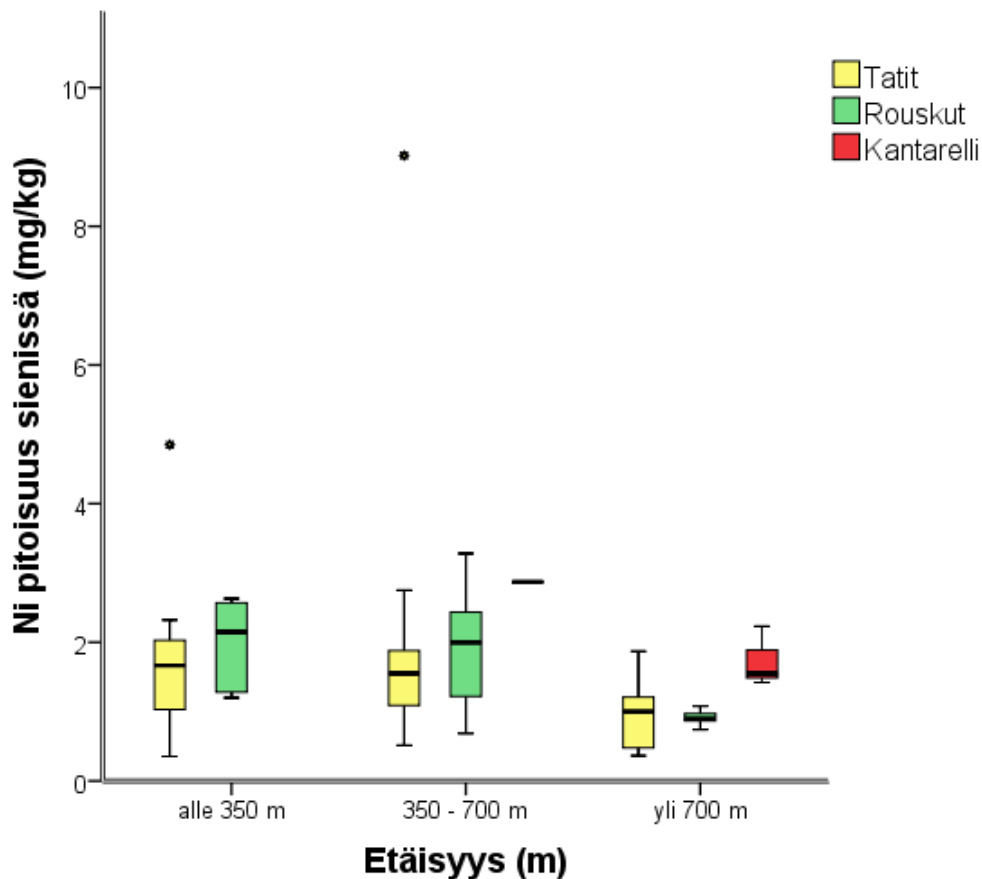
Taulukko 4. Luikonlahden ruokasienten alkuainepitoisuus (mg/kg tuorepainossa), aritmeettinen keskiarvo (M), geometrinen keskiarvo (G), mediaani (Md), minimi (min) ja maksimi (max). n = 78

Alkuaine	M	G	Md	min	max
Ag	0,215	0,043	0,076	bdl	1,49
Al	0,983	0,735	0,709	0,195	3,98
As	0,023	0,017	0,017	0,004	0,187
B	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,550
Ba	0,045	0,039	0,038	0,010	0,185
Ca	7,59	6,66	6,44	2,27	28,2
Cd	0,145	0,060	0,065	0,006	1,038
Co	0,029	0,016	0,015	n.a.	0,224
Cr	0,030	0,017	0,015	n.a.	0,492
Cu	3,04	2,19	2,45	0,437	14,1
Fe	7,02	2,40	1,93	0,729	151
K	2046	1906	2000	584	4736
Li	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,122
Mg	57,4	54,5	56,3	21,6	125,6
Mn	0,962	0,839	0,836	0,203	3,13
Mo	0,011	0,017	0,010	n.a.	0,114
Na	12,9	5,73	5,01	n.a.	107
Ni	0,113	0,096	0,102	0,014	0,364
P	415	396	392	176	716
Pb	0,015	0,007	0,006	n.a.	0,223
Rb	26,1	22,6	23,8	6,71	81,8
S	378	259	406	49	976
Sb	1,14	n.a.	n.a.	n.a.	6,73
Se	0,490	0,138	0,085	0,004	3,37
Sr	0,023	0,019	0,020	n.a.	0,118
Ti	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,106
Tl	0,003	0,002	0,002	n.a.	0,015
U	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,002
V	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,016
Zn	8,07	7,43	7,69	1,81	20,4
C (%)	3,50	3,37	3,63	1,69	5,82
N (%)	0,341	0,315	0,324	0,119	0,718

n.a., ei analysoitu, koska alkuaineen pitoisuus alle määrittysrajan

n = näytteiden lukumäärä

Verrattaessa kaivosympäristön koko sieniaineiston metallipitoisuuksia (mg/kg kuivapainossa) pääkaupunkiseudun kauppasienten alkuainepitoisuushavaintoihin (Järvinen 2003), keskimääräiset pitoisuudet olivat pääosin joko yhtä suuria (Mn, Ni, Cu, Zn, Mo ja Cd) tai pienempiä (Cr, As, Ba, V ja Pb). Helsingin keskuspuiston sienten keskimääräiset Cr- ja As-pitoisuudet olivat 3-4 -kertaiset ja Ba-, V- ja Pb-pitoisuudet 7-10 -kertaisia verrattuna Luikonlahden sieniin. Järvisen (2003) tutkimuksessa sienten raskasmetallipitoisuudet olivat kohonneita erityisesti vilkkaasti liikennöityjen teiden varsilla. Kaivosalueella liikennepäästöjen merkitys raskasmetallilaskeuman aiheuttajana on pääkaupunkiseutuun verrattuna vähäisempi ja voi selittää pienemmät lyijy- ja vanadiinipitoisuudet sienissä. Koska lyijyä ei enää tule liikennepäästöistä, sen kohonneet pitoisuudet sienissä kuvastavat todennäköisesti vanhaa liikenneperäistä laskeumaa maaperässä.



Kuva 6. Sienten nikkelpitoisuuden (mg/kg kuivapainossa, mediaani) jakauma sieniryhmittäin eri etäisyyksillä Luikonlahden kaivoksen toiminta-alueelta. * = poikkeava havainto; molemmat tapaukset tateissa.

Itiöemien alkuainepitoisuuksiin voi vaikuttaa alueellinen maaperän geokemiallinen vaihtelu. Nikkarisen ja Mertasen (2004) tutkimuksessa havaittiin kahdesta geokemialliselta ominaisuudeltaan erilaisilta kasvupaikoilta Itä-Suomesta (metallisulfidipitoinen vyöhyke) ja Keski-Suomesta (granitoidikompleksi alue) kerättyjen herkkutattien ja haaparouskujen eroavan merkittävästi hivenainepitoisuuksiensa suhteen. Sienet, jotka kasvoivat metallisulfidipitoisen kallioperän alueella, sisälsivät kohonneita Zn- ja Cu-pitoisuuksia (keskiarvo tateilla 91,6 mg Zn/kg dw ja 42,2 mg Cu/kg dw) verrattuna referenssinä käytetyn granitoidikompleksi-alueen sieniin (tateilla 63,6 mg Zn/kg dw ja 20,4 mg Cu/kg dw). Sulfidimalmivyöhykkeen tateissa olivat myös keskimääräiset Ag, Cd ja Se pitoisuudet (15,6 mg Ag/kg dw, 3,4 mg Cd/kg dw ja 18,5 mg Se/kg dw) korkeampia kuin vertailualueella (4,33 mg Ag/kg dw, 1,40 mg Cd/kg dw ja 7,47 mg Se/kg dw) (Nikkari ja Mertanen 2004).

Alla on yksityiskohtaisemmin tarkasteltu yksittäisten Luikonlahden kaivostoimintaan liittyvien alkuainepitoisuuksia sienten kuivapainossa.

Rikki

Luikonlahden sienten rikkipitoisuudet vaihtelivat välillä 690–11200 mg/kg dw (keskiarvo 4600 mg/kg dw). Tattien keskimääräinen rikkipitoisuus oli samansuuruinen kuin sulfidimalmivyöhykkeen herkkutattien (Nikkari ja Mertanen 2004). Tattien maksimipitoisuus (11200 mg/kg dw) sijaitsi solussa 20 ja rouskujen (2080 mg/kg dw) solussa 43.

Kupari

Luikonlahden sienten Cu-pitoisuus vaihteli välillä 8,2–222 mg/kg dw (keskiarvo 38 mg/kg dw). Luikonlahden kallioperässä esiintyy metallisulfidipitoista malmikiveä (Kylylahti Copper Oy 2011), ja alueen tattien keskimääräinen kuparipitoisuus oli samansuuruinen Liperistä sulfidimalmivyöhykkeeltä kerättyjen herkkutattien Cu-pitoisuuden kanssa (Nikkarinen ja Mertanen 2004). Ainoastaan vanhan kaivoksen toiminta-alueella (0–350 m vyöhykkeellä) tattien Cu-pitoisuus oli korkeampi (keskiarvo 64,6 mg/kg dw, vaihteluväli 19,7–222 mg/kg dw). Tattien maksimipitoisuudet 131 ja 222 mg/kg dw sijoittuvat entisen louhosalueen läheisyyteen (solu 20) ja entisen rikastuslaitoksen lähelle (solu 35). Rouskujen kuparipitoisuus oli tattien pitoisuutta selvästi pienempi ja maksimipitoisuus oli 32,6 mg/kg dw (solu 43).

Nikkeli

Luikonlahden sienten Ni-pitoisuus vaihtelivat välillä 0,36–9,0 mg/kg dw (keskiarvo 1,5 mg/kg dw). Ni-pitoisuudet Luikonlahden tateissa olivat samaa suuruusluokkaa sulfidimalmivyöhykkeen herkkutattien Ni-pitoisuuksien kanssa (Nikkarinen ja Mertanen 2004), mutta pitoisuuksien vaihteluväli oli kuitenkin Luikonlahdessa suurempi. Tattien maksimipitoisuudet 9,0 ja 4,9 mg/kg dw esiintyivät vanhan kaivoksen ympäristössä (solut 11 ja 19). Rouskujen maksimipitoisuus oli 3,3 mg/kg dw (solu 52). Pienimmät pitoisuudet esiintyivät yli 700 m etäisyydellä kaivosalueesta.

Koboltti

Luikonlahden sienten Co-pitoisuus vaihteli välillä < 0,05–2,6 mg/kg dw (keskiarvo 0,36 mg/kg dw), ja vastasi suuruudeltaan sulfidimalmivyöhykkeeltä kerättyjen herkkutattien pitoisuutta (Nikkarinen ja Mertanen 2004). Tattien maksimipitoisuudet esiintyivät kaivostoiminta-alueen ulkopuolella soluissa 50 (2,6 mg/kg dw), 52 (1,8 mg/kg dw) ja 11 (1,8 mg/kg dw). Rouskujen maksimipitoisuus oli 0,71 mg/kg dw (solu 20).

Sinkki

Sienten Zn-pitoisuus oli koko Luikonlahden kaivosalueella tasainen (vaihteluväli 48–184 mg/kg, keskiarvo 103 mg/kg). Tattien Zn-pitoisuus vastasi sulfidimalmivyöhykkeen herkkutattien keskimääräistä Zn-pitoisuutta (Nikkarinen ja Mertanen 2004). Tattien maksimipitoisuudet 184 mg/kg ja 180 mg/kg esiintyivät soluissa 54 ja 48. Rouskujen maksimipitoisuus oli 169 mg/kg (solu 61).

Arseeni

Luikonlahden sienten As-pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,06–2,7 mg/kg dw (keskiarvo 0,31 mg/kg dw). Luikonlahden tattien keskimääräinen As-pitoisuus oli noin kaksinkertainen sulfidimalmivyöhykkeen herkkutattien keskimääräiseen pitoisuuteen verrattuna (Nikkarinen ja Mertanen 2004), mutta pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa Etelä-Suomesta kerättyjen tattien kanssa (Pelkonen ym. 2006). Kuten humuksessa (ks. Nikkarinen ja Karlsson 2012) arseenin maksimipitoisuudet tateissa (1,4 ja 1,3 mg/kg dw) ja rouskuissa (2,7 ja 1,6 mg/kg dw) esiintyivät rikastushiekka-altaan lähialueella (solut 40 ja 39, 37 ja 61).

Kromi

Luikonlahden sienten Cr-pitoisuudet vaihtelivat välillä <0,05–12 mg/kg dw (keskiarvo 0,51 mg/kg dw). Sienten keskimääräinen Cr-pitoisuus oli Luikonlahdessa pienempi kuin Helsingin keskuspuiston mykorrhizassienissä (keskiarvo 1,5 mg/kg dw; Järvinen 2003), mutta maksimipitoisuus oli lähes kaksinkertainen pääkaupunkiseudun sienten maksimipitoisuuteen (6,9 mg/kg dw) verrattuna. Luikonlahden tattien keskimääräinen kromipitoisuus oli huomattavasti korkeampi verrattuna sulfidimalmivyöhykkeen herkkutatteihin, joiden Cr-pitoisuuden keskiarvo oli 0,01 mg/kg dw (Nikkarinen ja Mertanen 2004) Tattien maksimipitoisuudet 12 mg/kg ja 5,6 mg/kg dw sijaitsivat soluissa 11 ja 19, joissa Outokumpuassosiaation kromipitoiset kivilajit ovat vallitsevina (viite, Kallioperäkarta tarkista). Maksimipitoisuus rouskuissa oli 1,2 mg/kg dw (solu 37).



Kadmium

Luikonlahden sienten Cd-pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,06–16 mg/kg dw (keskiarvo 1,7 mg/kg dw). Keskimääräinen Cd-pitoisuus Luikonlahden tateissa oli hieman pienempi kuin sulfidimalmivyöhykkeen tattien kadmiumpitoisuus (3,7 mg/kg dw) (Nikkarinen ja Mertanen 2004). Tattien maksimipitoisuudet (16 ja 9,3 mg/kg dw) sijaitsivat vanhan kaivosalueen ympäristössä (solu 12 ja 27). Rouskujen kadmiumpitoisuus oli selvästi pienempi verrattuna tatteihin. Rouskujen maksimipitoisuus (1,1 mg/kg dw) sijaitsi lähellä rikastusallasta (solu 39).

Lyijy

Luikonlahden sienten lyijypitoisuudet vaihtelivat välillä <0,05–2,8 mg/kg dw (keskiarvo 0,20 mg/kg dw). Tattien keskimääräinen Pb-pitoisuus vastasi Keski-Suomen graniittialueen sienten lyijypitoisuuksia (Nikkarinen ja Mertanen 2004) ja oli pienempi kuin Etelä-Suomesta kerättyjen sienien lyijypitoisuus (Pelkonen ym. 2006). Tattien maksimipitoisuus (2,4 mg/kg dw) sijaitsi vanhan kaivoksen ympäristössä (solu 19).

Antimoni

Luikonlahden sienten antimonipitoisuudet vaihtelivat välillä <0,05 -86,2 mg/kg dw. Tattien maksimipitoisuus (86,2 mg/kg dw) havaittiin punikkitateilla kaivospiirin ulkopuolella yhdessä solussa Uvemäen alueella (solu 51). Samaisessa solussa myös herkkutattien Sb -pitoisuus oli hieman kohonnut (1,14 mg/kg dw), mutta rouskuissa pitoisuus jäi alle määritysrajan. Kaikissa muissa näytesoluissa sienten Sb -pitoisuudet olivat alle määritysrajan. Ruokasienten antimonipitoisuuksista on raportoitu vähän, vaikka tämän puolimetallin yhdisteet mm. antimonitri- ja pentakloridi on arvioitu ympäristö- ja terveysvaaralliseksi ja antimonitrioksidi syöpävaaralliseksi (Reinikainen 2007). Kaivos- ja sulattoalueilta kerättyistä mykoritsasienistä on mitattu jopa 100- 1400 mg/kg dw antimonipitoisuuksia, kun taas tausta-alueilla sienten Sb -pitoisuudet ovat yleensä alle 0,1 mg/kg dw (Borovicka ym. 2006).

3.3 Bioakkumulaatio- ja biokonsentraatiokertoimet

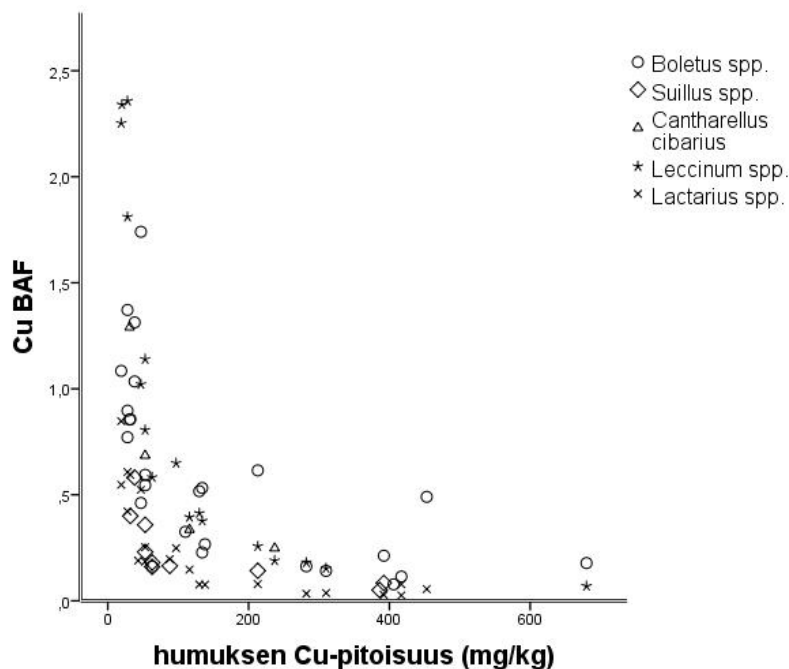
Luikonlahden sienten bioakkumulaatio- ja biokonsentraatiokertoimet eri metalleille on esitetty Liitteissä 4 ja 5. Tarkastelusta on jätetty pois ne alkuaineet, joiden pitoisuudet jäivät sienissä alle määritysrajan. Pienempään helppoliukoiseen humuksen alkuainepitoisuuteen perustuvat biokonsentraatiokertoimet olivat suurempia kuin bioakkumulaatiokertoimet, mutta molemmat BCF- ja BAF -kertoimet kuvasivat samalla tavalla alkuaineiden kertyvyyttä sieniin. Helppoliukoinen pitoisuus ei toisin sanoen oleellisesti parantanut kokonaispitoisuudella saatua arviota metallien kertyvyydestä.

Sienten biokertyvyyskertoimien perusteella kaikkiin sieniin selvästi kertyviä alkuaineita olivat pääravinteet, esimerkiksi kalium (BAF >10), rikki ja fosfori (BAF > 1). Alkuaineiden biokertyvydessä oli sienilajikohtaisia eroja. Kaivostoimintaan liittyvistä metalleista sieniin kertyivät tehokkaimmin kadmium (BAF tateilla vaihteluväli 0,34–21,3, keskiarvo 5,1 ja rouskuilla 0,15–2,8, ka 0,61) ja sinkki (BAF tateilla 0,15–3,8, ka 1,3 ja rouskuilla 0,48–2,1, ka 1,1). Arseenin, koboltin, kromin, nikkelin ja lyijyn bioakkumulaatiokertoimet olivat kaikki selvästi alle yhden, eli näillä alkuaineilla ei näyttäisi olevan taipumusta kertyä ylimäärin sieniin maaperän kautta. Tosin biokonsentraatiokertoimen mukaan sienten kromipitoisuus oli korkeampi kuin helppoliukoinen pitoisuus humuksessa.

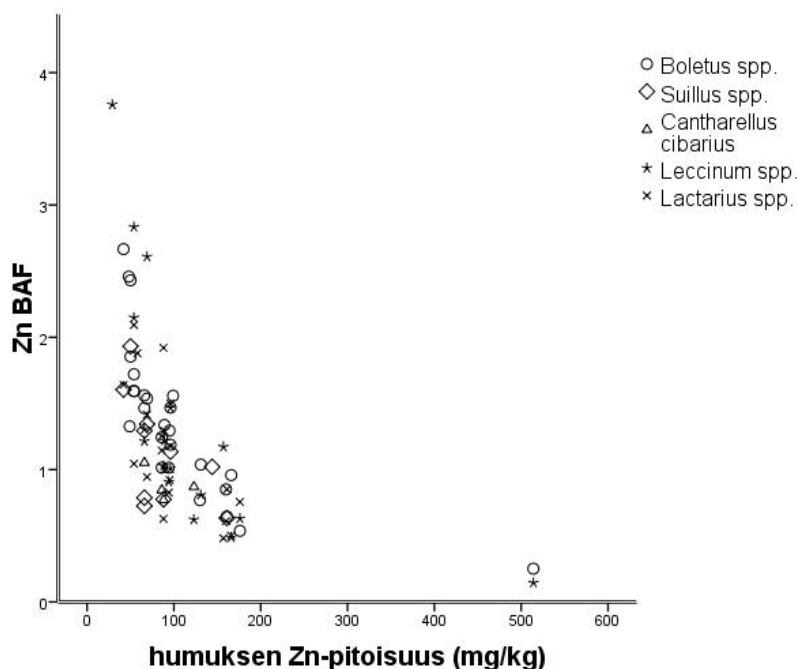
Sienten kuparipitoisuus oli keskimäärin pienempi kuin humuksen kokonaiskuparipitoisuus. Myös yli yhden olevia BAF-arvoja määritettiin tateille (maksimi 2,4) ja kantarelleille (maksimi 1,3) lähinnä humuksen pienillä kuparipitoisuuksilla. Sienten keskimääräinen kuparipitoisuus oli kuitenkin suurempi kuin humuksen helppoliukoinen Cu-pitoisuus. Kuvissa 7 ja 8 on esimerkkeinä esitetty sienten bioakkumulaatiokertoimet kuparille ja sinkille suhteessa metallien kokonaispitoisuuteen humuksessa.

Alkuaineet kertyvät sieniin tehokkaammin pienissä humuksen pitoisuuksissa ja kertyvyys vähenee jyrkästi ja lopulta tasaantuu humuksen metallipitoisuuden kasvaessa, eli kertyminen sieniin ei ole lineaarisesti verrannollinen humuksen metallipitoisuuteen. Myös kasveilla tehtyjen tutkimusten perusteella tiedetään, että ravinteet siirtyvät tehokkaimmin pienissä maaperäpitoisuuksissa (Marschner, 1995), ja useiden ei-välttämättömien alkuaineiden on havaittu käyttäytyvän samoin (Sheppard ja Sheppard 1985. Simon ja Ibrahim,1987, Tuovinen ym. 2011).

Liitteeseen 6 on kerätty kirjallisuudesta saatuja tietoja sienten bioakkumulaatiokertoimista metalleille. Kirjallisuustiedot perustuvat Puolasta, Italiasta ja Kreikasta kerättyihin sieniaineistoihin. Luikonlahden sienten kertoimet kaliumille ja natriumille olivat selkeimmin kirjallisuuden arvoja suurempia ja sinkin sekä magnesiumin kertoimet puolestaan pienempiä. Rouskujen bioakkumulaatiokerroin kuparille oli samansuuruinen, mitä Kreikassa on raportoitu tausta-alueen *Lactarius* -lajeille. Sen sijaan taitien bioakkumulaatiokertoimet kuparille olivat huomattavasti pienempiä kuin Puolan tausta-alueen *Boletus*-lajeissa, joissa maksimiarvot olivat 14–20 kertaisia Luikonlahden verrattuna (Liite 6).



Kuva 7. Sienten bioakkumulaatiokerroin kuparille (Cu BAF) humuksen kuparin kokonaispitoisuuden (mg/kg dw) funktiona. Symbolit edustavat eri sienisukuja.



Kuva 8. Sienten bioakkumulaatiokerroin sinkille (Zn BAF) humuksen sinkin kokonaispitoisuuden (mg/kg dw) funktiona. Symbolit edustavat eri sienisukuja.

Humuksen ominaisuuksien (pH, kationinvaihtokapasiteetti, tuhkapitoisuus) tilastollisesti merkitsevät vaikutukset bioakkumulaatiokertoimeen (Spearmanin järjestyskorrelaatio, $p < 0,05$) on esitetty taulukossa 5. Korrelaatiokertoimet bioakkumulaatiokertoimien ja humuksen ominaisuuksien välillä olivat pääasiassa negatiivisia eli bioakkumulaatiokertoimet olivat suurempia maaperän pH:n, kationinvaihtokapasiteetin sekä tuhkapitoisuuden ollessa matalampia. Poikkeuksena olivat fosforin, rikin ja hopean bioakkumulaatiokertoimet, jotka olivat suurempia vähemmän orgaanista ainesta sisältävässä humuksessa.

Taulukko 5. Alkuaineet, joilla bioakkumulaatiokerroin sienen ja humuksen välillä korreloi (Spearmanin järjestyskorrelaatio, $p < 0,05$) tilastollisesti merkitsevästi humuksen ominaisuuksien kanssa. Kaikki korrelaatiokertoimet ovat negatiivisia.

	pH	kationinvaihtokapasiteetti (cmol^+/kg)	tuhkapitoisuus (%)
As, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn		As, Cu, Mg, Ni, P, Pb, S, Se, Zn	Al, Ca, Fe, Mg, Mn

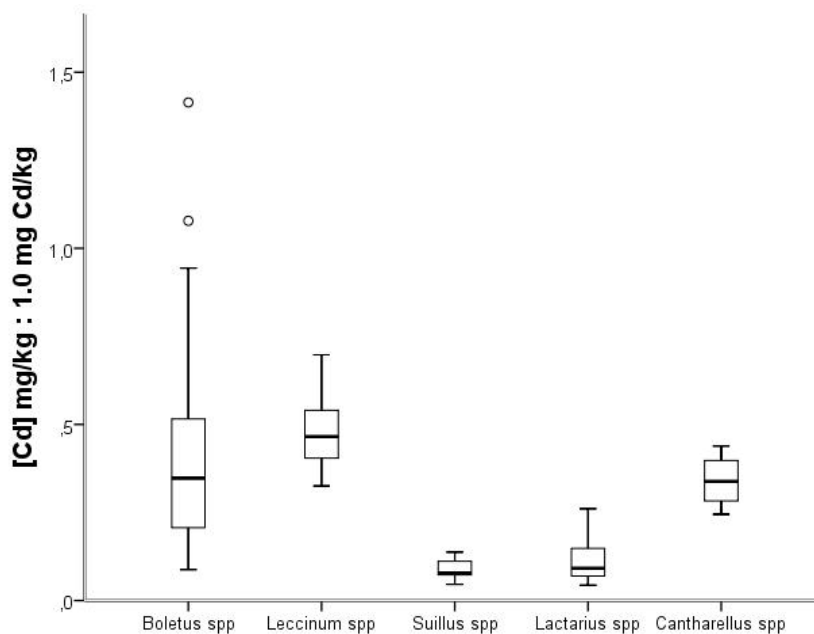
3.4 Sienten käyttö ruokasieninä

Komission asetuksessa (EY) N:o 1881/2006 säädetään viljeltyjen sienten (*Agaricus bisporus* (herkkusieni), *Pleurotus ostreatus* (osterivinokas), *Lentinula edodes* (siitake)) enimmäislyijypitoisuudeksi 0,3 mg/kg tuorepainossa ja kadmiumille 0,2 mg/kg tuorepainossa. Asetuksen muutoksessa (EY) N:o 629/2008 muille kuin viljellyille sienille, esimerkiksi syötäville metsäsienille, kadmiumin enimmäispitoisuudeksi on säädetty 1,0 mg/kg tuorepainossa. Kuparin enimmäismääräksi sienissä on asetettu 10 mg/kg tuorepainossa (KTMa 237/2002 eräiden vieraiden aineiden enimmäismääristä elintarvikkeessa, muutos 517/2005).

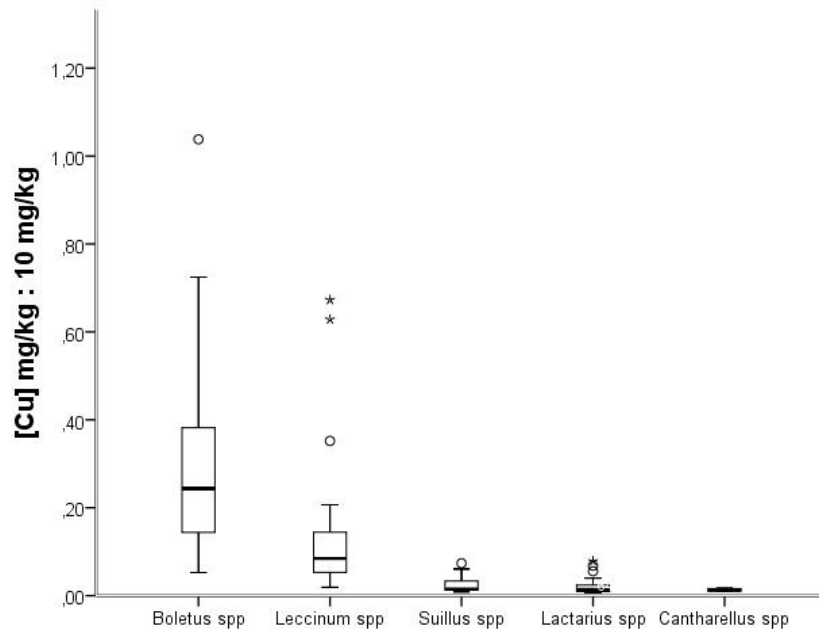
Kadmiumin sallittu enimmäispitoisuus muille kuin viljellyille sienille (1,0 mg/kg fw) ylittyi yhdessä herkkutattinäytteessä (solu 12) ja muissa näytteissä pitoisuudet olivat selvästi rajan alapuolella (Kuva

9). Viljelylle sienille asetettu kadmiumin enimmäismäärä 0,2 mg/kg fw ylittyi noin 50% tutkituissa herkkutattinäytteissä ja muutamassa punikkittinäytteessä. Kuparin enimmäispitoisuus ylittyi kahdessa herkkutattinäytteessä, jotka oli kerätty vanhan kaivostoiminnan alueelta (solut 20 ja 35) (Kuva 10). Lyijylle säädetty enimmäispitoisuus ei ylittynyt Luikonlahden sieninäytteissä.

Korkeimman siedettävän saannin perusteella alkuaineille laskettu arvio Luikonlahden sienien turvalliseen käyttömäärälle vaihtelee sadoista grammoista satoihin kiloihin tuorepainossa viikossa riippuen alkuaineesta (Taulukko 6). Laskennassa käytetyt alkuainekohtaiset siedettävät saantiarvot on esitetty Liitteessä 7. Eviran (2010) ja RiskHuman-malliin koottuja TDI (tolerable daily intake)-arvoja (Reinikainen 2007) voidaan pitää kohtalaisen luotettavina. Siedettävä saanti tarkoittaa annosta, joka voidaan saada koko eliniän ilman että siitä tiedetään aiheutuvan haittaa. Monille alkuaineille näitä arvoja ei kuitenkaan ole saatavilla. Täten esimerkiksi hopean ja raudan kohdalla laskenta perustuu epävarmimpiin lähtöarvoihin. Hopean, kadmiumin ja seleenin maksimipitoisuuden perusteella tuoreiden sienien käyttömäärä rajoittuisi alle yhteen kiloon viikossa. Arseenin, koboltin, kromin, kuparin, raudan ja sinkin maksimipitoisuuksilla sieniä voisi käyttää 2–10 kg viikossa. Luikonlahdessa korkeimmat metallipitoisuudet rajoittuivat lähinnä kaivospiirin alueelle. Mediaanipitoisuuksilla tattien kadmium-, hopea- ja seleenipitoisuus rajoittaisivat sienien hyödyntämistä ravinnoksi noin 2–9 kg viikossa. Muilla tarkastelluilla alkuaineilla sieniä voisi nauttia yli 20 kg viikossa (Taulukko 6) ennen kuin niiden turvalliseksi tiedetty saanti ylittyy. Alkuaineilla voi olla myös yhteisvaikutuksia, mitkä tulisi ottaa huomioon terveysturvien arvioinnissa.



Kuva 9. Luikonlahden sienien kadmiumpitoisuudet ([Cd] mg/kg tuorepainossa) suhteessa kadmiumin sallittuun enimmäispitoisuuteen (1,0 mg Cd/kg tuorepainossa). °,* = poikkeava havainto.



Kuva 10. Luikonlahden sienten kuparipitoisuudet ([Cu] mg/kg tuorepainossa) suhteessa kuparin sallittuun enimmäispitoisuuteen (10 mg Cu/kg tuorepainossa). °, * = poikkeava havainto.

Taulukko 6. Luikonlahden kaivosalueen ja sen ympäristön ruokasienten viikoittainen käyttömäärä (kg fw/vko), jossa alkuaineiden suositeltava enimmäisaanti ravinnon kautta ei ylity. Viikoittainen enimmäismäärä on annettu tattien ja rouskujen alkuaineen mediaani- ja maksimipitoisuuksille tuorepainossa (mg/kg fw).

Alkuaine	Ruokasienten käyttömäärä (kg fw/vko)			
	Mediaanipitoisuus		Maksimipitoisuus	
	Tatit	Rouskut	Tatit	Rouskut
Ag	5,2	65	0,38	0,96
Al	84	96	15	45
As	27	23	6,5	2,2
Cd	1,8	15	0,20	2,7
Co	40	30	2,6	7,7
Cr	150	164	4,3	27
Cu	17	64	4,2	23
Fe	63	63	0,79	8,8
Mg	54	43	33	22
Mn	105	111	33	41
Mo	305	1380	81	37
Ni	209	205	58	73
Pb	163	101	7,8	11
Se	8,7	53	0,62	19
Zn	26	30	13	10

Kadmium-, koboltti- ja seleenipitoisuuksien terveys- ja ympäristövaikutukset ovat erityisen huolen aiheena, koska niillä on taipumus kertyä maa-kasvi-eläin –ravintoketjussa. Lisäksi niiden haittavaikutukset ihmiselle ja eläimille esiintyvät sellaisissa pitoisuuksissa, mistä ei ole vielä haittaa kasveille. Arseni kertyy pääasiassa kasvin juuriin eikä siirry helposti kasvin maanpäällisiin osiin, joten terveysriski ravinnonkautta altistumiselle on vähäinen. Ihmisten ja eläinten altistuminen arsenille tapahtuu maasta lähinnä maansyönnin tai pintapölyn kautta (Allen 2000). Kasvien ja mahdollisesti sienten maanpäälliset osat eivät kerää maasta hopeaa tai kromia, jotka ovat yleensä voimakkaasti maahan pi-

dättyneinä. Hopean ja kromin korkeat pitoisuudet viittaavat useimmiten kasvien pinnalle kertyneeseen pölyyn tai maahiukkasiin (Allen 2000).

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Luikonlahden sienten keskimääräiset alkuainepitoisuudet eivät eroa huomattavasti muualta Suomesta tausta-alueilta kerättyjen sienien pitoisuuksista. Luikonlahden kaivostoiminnan kivilajiassoosiaatioon liittyvistä metalleista arseenin ja kromin pitoisuudet olivat kuitenkin Luikonlahden sienissä selvästi suurempia kuin pitoisuudet vastaavalta metallisulfidivähykkeeltä kerätyissä sienissä (Nikkarinen ja Mertanen 2004).

Luikonlahden sienituloksien tarkastelu rajoittuu ainoastaan epäorgaanisiin yhdisteisiin, joten mahdolliset muut terveydelle haitalliset aineet, esimerkiksi orgaaniset yhdisteet ovat tutkimuksen ulkopuolella. Sieniin potentiaalisesti kertyvistä epäorgaanisista aineista elohopeaa ei tutkimuksessa analysoitu. Yleisesti ottaen ruokasieniä ei ole suositeltavaa kerätä, kaupunkien keskustoissa, vilkasliikenteisten väylien ja teollisuusalueiden lähioilta. Kaivosalueen välitöntä lähialuetta lukuun ottamatta, Luikonlahden ympäristön sienten käyttämisestä ravintona ei metallipitoisuuksien perusteella aiheudu merkittävää terveyshaittaa. Hopeaa, kadmiumia ja seleeniä lukuun ottamatta, ruokasienten sallitut käyttömäärät korkeimpien siedettävien saantimäärien mukaan laskettuna ja alkuaineiden mediaanipitoisuuksiin perustuen olivat pääasiassa suuria, kymmenistä kiloista satoihin kiloihin. Näin ollen sienien käyttö Luikonlahden ympäristössä on todennäköisesti turvallista yhden kilometrin säteellä kaivosalueen ulkopuolella. Kuitenkin on huomattava, että etenkin maksimipitoisuuksiin perustuen saantirajat muutamille alkuaineille (Ag, Cd, Fe, Se) ylittyivät jo hyvin pienillä sienimäärillä. Todennäköisyys, että ruokasieniä kerättäisiin kaivoksen toiminta-alueen välittömästä läheisyydestä, mistä maksimipitoisuudet mitattiin, on kuitenkin vähäinen.

Sienten ja humuksen alkuainepitoisuuksien välillä ei ollut selvää lineaarista suhdetta. Sienet ja kasvit ottavat sekä tarvitsemiaan ravinteita että ei-välttämättömiä aineita tehokkaammin maan pienillä alkuainepitoisuuksilla (Gadd 1993, ECHA 2008) ja pystyvät näin säätelemään ravinnepitoisuuksiaan tarpeitaan vastaaviksi. Myös tässä tutkimuksessa BAF- ja BCF -kertyvyyskertoimien havaittiin pienenevän humuksen alkuainepitoisuuksien kasvaessa. Tärkeitä ravinteita (K, P, S, Zn) lukuun ottamatta alkuaineiden bioakkumulaatiokertoimet olivat pääasiassa alle yhden, eli sienten metallipitoisuudet olivat pienempiä kuin humuksen. Alkuainepitoisuuksissa ja bioakkumulaatiokertoimissa oli kuitenkin suurta hajontaa sekä sienilajien sisällä että sieniryhmien välillä, ja yksittäisissä sieninäytteissä oli merkittäväkin metallikertymä. Tattien kadmiumpitoisuus oli selvästi korkeampi kuin muilla sienilajeilla, mikä näkyi myös suurempana bioakkumulaatiokertoimena. Herkkutatun on raportoitu myös muissa tutkimuksissa keräävän kadmiumia tehokkaasti (Järvinen 2003).

Sienten metallipitoisuuksien arvioiminen humuksen metallipitoisuuden perusteella ei ole yksinkertaista, koska alkuaineiden kertymiseen sieniin vaikuttaa sekä sienilaji että maan ominaisuudet (pH, CEC ja orgaanisen aineksen määrä). Käytettäessä julkaistuja BAF-kertoimia sienten pitoisuuksien mallinnuksessa kannattaa huomioida millaisissa humuksen metallipitoisuuksissa valitut kertoimet on alun perin määritetty.

Tässä tutkimuksessa oli oletuksena, että suurin osa sienten alkuaineista tulee maan kautta. Sienten pintakelmun poistaminen suurimmasta osasta sienistä vähensi laskeuman ja pölyn kautta tulevien alkuaineiden osuutta. Pölyn kautta tapahtuva kertyminen voi olla kaivosympäristössä kuitenkin merkittävää ja sen mahdollinen vaikutus ruokasienten pitoisuuteen riippuu sienten esikäsittelytavoista. Myös

sieniä ravintonaan käyttäville eläimille altistumisreitti pölyn ja maan syönnin kautta voi olla huomattava. Sienten keruuajankohtana syksyllä 2010 Luikonlahden kaivostoiminta oli pysähdyksissä, joten pölypäästöt ovat olleet pienempiä kuin varsinaisen toiminnan aikana. Sillä perusteella voidaan olettaa, että esitetyt tulokset kuvaavat suurimmaksi osaksi maasta tai maavedestä tulevia pitoisuuksia.

5 VIITTEET

Allen, H. E. 2002. Bioavailability of metals in terrestrial ecosystems: importance of partitioning for bioavailability to invertebrates, microbes and plants. ISBN 1-880611-46-5. Pensacola, FL: SETAC Press, 158 pp.

Borovicka, J., Randa, Z. & Jelinek, E. 2006. Antimony content of macrofungi from clean and polluted areas, *Chemosphere* 64: 1837-1844.

ECHA 2008. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Appendix R.7.13-2: Environmental risk assessment for metals and metal compounds. European Chemicals Agency.

Falandysz, J. 2008. Selenium in edible mushrooms. *Journal of Environmental Science and Health, Part C: Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews* 26:256–299.

Frankowska, A., Ziolkowska, J., Bielawski, L. & Falandysz, J. 2010. Profile and bioconcentration of minerals by King Bolete (*Boletus edulis*) from the Plocka Dale in Poland. *Food Additives and Contaminants: Part B: Surveillance* 3:1–6.

Evira 2010. Elintarvikkeiden ja talousveden kemialliset vaarat, uudistettu painos. Eviran julkaisuja 15/2010.

Euroopan unionin virallinen lehti 364, 20.12.2006. Komission asetus (EY) N:o 1881/2006 annettu 19 päivänä joulukuuta 2006, tietyjen elintarvikkeissa olevien vierasaineiden enimmäismäärien vahvistamisesta.

Euroopan unionin virallinen lehti 173, 3.7.2008. Komission asetus (EY) N:o 629/2008, tehty 2 päivänä heinäkuuta 2008, tietyjen elintarvikkeissa olevien vierasaineiden enimmäismäärien vahvistamisesta annetun asetuksen (EY) N:o 1881/2006 muuttamisesta.

Gadd, G. M. 1993. Interaction of fungi with toxic metals. *New Phytologist* 124:25–60.

Gucia, M., Jarzyńska, G., Rafal, E., Roszak, M., Kojta, A. K., Osiej, I. & Falandysz, J. 2012. Multivariate analysis of mineral constituents of edible Parasol Mushroom (*Macrolepiota procera*) and soils beneath fruiting bodies collected from northern Poland. *Environmental Science and Pollution Research* 19:416–431.

Jääntti, T. 2012. Kuparin, nikkelin ja sinkin vaikutukset maaperän hajotustoimintaan Luikonlahden kaivosympäristössä. Itä-Suomen yliopisto, pro gradu.

Järvinen, A. 2003. Helsingin keskuspuiston sienten vierasaineet vuonna 1999. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2003.

Kalač, P. & Svoboda, L. 2000. A review of trace element concentrations in edible mushrooms. *Food chemistry* 69:273–281.

Kauppa- ja teollisuusministeriö 2002. Kauppa- ja teollisuusministeriön asetus eräiden vieraiden aineiden enimmäismääristä elintarvikkeessa 23/2002, 5.4.2002.

Kylylahti Copper Oy 2011. Luikonlahden rikastamon rikastuskapasiteetin lisääminen. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma (20.9.2011).

Lukac, M. & Godbold, D. L. 2011. Soil ecology in northern forests: A belowground view of a changing world. pISBN: 9780521886796. Cambridge University Press. Cambridge, GBR. 274 s.

Nikkarinen, M. & Karlsson, T. 2012. Yhteenvertoraportti Luikonlahden humustutkimuksista vv. 2010–2011. Geologian tutkimuskeskus, Kuopio.

Nikkarinen, M. & Mertanen, E. 2004. Impact of geological origin on trace element composition of edible mushrooms. *Journal of Food Composition and Analysis* 17:301–310.

Pelkonen, R., Alfthan, G. & Järvinen, O. 2006. Cadmium, lead, arsenic and nickel in wild edible mushrooms. The Finnish Environment Institute publication series The Finnish Environment, Environmental Protection, no. 17/2006

Pelkonen, R., Alfthan, G. & Järvinen, O. 2008. Element concentrations in wild edible mushrooms in Finland. The Finnish Environment Institute publication series, The Finnish Environment, Environmental Protection, no. 25/2008.

Sheppard, M. I. & Sheppard, S. C. 1985. The plant concentration ratio concept as applied to natural U. *Health Physics* 48:494–500.

Simon, S. L. & Ibrahim, S. A. 1987. The plant/soil concentration ratio for calcium, radium, lead, and polonium: Evidence for non-linearity with references to substrate concentration. *Journal of Environmental Radioactivity* 5:123–142.

Tuovinen, T. S., Roivainen, P., Makkonen, S., Kolehmainen, M., Holopainen, T. & Juutilainen, J. 2011. Soil-to-plant transfer of elements is not linear: Results for five elements relevant to radioactive waste in five boreal forest species. *Science of the Total Environment* 410:191–197.

LIITTEET

Liite 1. Kantarellien alkuainepitoisuus (mg kg^{-1} dw)

Liite 2. Tattien alkuainepitoisuus (mg kg^{-1} dw).

Liite 3. Rouskujen alkuainepitoisuus (mg kg^{-1} dw)

Liite 4. Tattien, rouskujen ja kantarellin bioakkumulaatiokertoimet eri alkuaineille

Liite 5. Tattien, rouskujen ja kantarellin biokonsentraatiokertoimet eri alkuaineille

Liite 6. Kirjallisuudessa eri alkuaineille raportoituja tattien (*Boletus*, *Suillus*) ja rouskujen (*Lactarius*) bioakkumulaatiokertoimia (BAF)

Liite 7. Alkuaineiden korkein siedettävä viikoittainen saanti (mg/vko) 60 kg painoiselle henkilölle



Liite 1.

Kantarellien alkuainepitoisuus (mg kg^{-1} dw), aritmeettinen keskiarvo (M), geometrinen keskiarvo (G), mediaani (Md), minimi (min) ja maksimi (max). Tulokset on ryhmitelty keräysruudun ja tehdasalueen välisen etäisyyden perusteella.

	Etäisyys 350–700 m (n = 1)			Etäisyys yli 700 m (n = 3)		
		M	G	Md	min	max
Ag	0,549	0,483	0,413	0,393	0,213	0,844
Al	25,7	42,5	40,6	47,4	26,3	53,7
As	0,317	0,126	0,120	0,122	0,083	0,172
B	3,38	1,58	1,47	1,23	1,05	2,45
Ba	1,06	1,49	1,12	1,36	0,382	2,74
Ca	466	230	224	199	185	306
Cd	0,180	0,175	0,162	0,210	0,092	0,223
Co	0,529	0,447	0,397	0,309	0,264	0,769
Cr	0,329	0,720	0,643	0,593	0,376	1,19
Cu	58,8	38,4	38,4	39,0	36,3	40,0
Fe	56,1	48,6	47,3	49,6	34,4	61,9
K	46800	36000	35700	33700	32100	42100
Li	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mg	1090	793	791	779	735	866
Mn	19,8	21,1	20,3	21,4	14,2	27,8
Mo	0,128	0,160	0,141	0,175	0,068	0,238
Na	25,9	64,2	39,5	44,7	< 20	138
Ni	2,87	1,73	1,70	1,55	1,42	2,23
P	4590	3730	3730	3700	3570	3930
Pb	0,078	0,961	0,175	0,078	< 0,05	2,78
Rb	797	466	461	452	396	549
S	856	715	715	725	690	730
Sb	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Se	0,231	0,222	0,221	0,220	0,218	0,227
Sr	0,875	1,03	0,834	1,02	0,325	1,75
Ti	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Tl	0,103	0,047	0,038	0,060	0,013	0,069
U	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
V	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Zn	107	70,0	70,0	69,5	67,8	72,7
C (%)	45,6	45,1	45,1	45,0	44,9	45,3
N (%)	3,07	2,56	2,56	2,59	2,48	2,62

Liite 2. Tattien alkuainepitoisuus (mg kg⁻¹ dw), aritmeettinen keskiarvo (M), geometrinen keskiarvo (G), mediaani (Md), minimi (min) ja maksimi (max). Tulokset on ryhmitelty keräysruudun ja tehdasalueen välisen etäisyyden perusteella.

	Etäisyys alle 350 m (n = 12)					Etäisyys 350–700 m (n = 23)					Etäisyys yli 700 m (n = 18)				
	M	G	Md	min	max	M	G	Md	min	max	M	G	med	min	max
Ag	4,72	2,54	3,32	0,221	13,7	4,04	0,905	2,55	< 0,01	19,1	2,59	1,16	1,28	< 0,01	8,00
Al	16,2	8,38	9,34	< 5	97,6	17,5	11,4	13,6	< 5	83,0	11,0	7,81	8,10	< 5	31,2
As	0,232	0,206	0,229	0,059	0,399	0,239	0,185	0,188	0,071	1,29	0,285	0,219	0,191	0,119	1,39
B	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,90	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Ba	0,526	0,484	0,537	0,232	1,15	0,556	0,485	0,491	0,156	1,38	0,585	0,220	0,477	0,254	1,29
Ca	90,7	82,2	87,8	42,7	199	94,1	86,3	84,8	39,4	177	72,2	69,8	63,9	50,7	120
Cd	1,88	1,11	0,896	0,210	5,20	2,95	1,59	1,65	0,201	15,8	2,14	1,62	1,93	0,341	6,74
Co	0,348	0,217	0,203	< 0,05	1,07	0,540	0,321	0,248	0,050	2,60	0,200	0,290	0,092	< 0,05	1,11
Cr	0,713	0,285	0,227	0,095	5,64	0,795	0,256	0,234	0,073	12,2	0,176	0,141	0,140	< 0,05	0,454
Cu	64,6	51,4	47,7	19,7	222	42,1	34,6	36,8	10,1	121	38,1	33,6	35,0	12,2	81,8
Fe	25,5	24,4	24,3	16,6	52,3	171	33,9	22,0	16,2	1760	200	35,6	21,4	17,9	1860
K	26800	26400	27300	19500	37500	24800	24500	24600	18100	32400	22700	22500	23400	15500	27500
Li	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,122	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,122
Mg	749	736	706	580	1180	664	655	637	443	856	643	640	620	545	806
Mn	11,1	10,1	8,42	5,74	22,3	12,4	11,2	11,8	5,87	31,1	11,2	10,4	11,8	5,24	21,4
Mo	0,259	0,210	0,266	0,087	0,568	0,249	0,199	0,167	0,077	0,704	0,255	0,208	0,174	0,088	0,539
Na	164	102	134	< 20	364	260	136	173	< 20	1310	253	107	156	< 20	806
Ni	1,73	1,42	1,67	0,355	4,85	1,82	1,49	1,55	0,513	9,02	0,903	0,802	1,00	0,363	1,87
P	5770	5650	5540	4520	9010	4980	4870	5250	3370	6570	5260	5190	5440	3980	6740
Pb	0,263	0,077	0,075	< 0,05	2,39	0,085	0,058	0,054	< 0,05	0,353	0,136	0,085	0,086	< 0,05	0,556
Rb	355	326	335	152	806	293	278	281	161	591	287	279	271	178	413
S	6510	5710	6340	1660	11200	6160	5250	7220	1400	9490	5680	5030	6360	1340	8140
Sb	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,161	3,78	< 0,05	< 0,05	< 0,05	86,2	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,043
Se	6,44	3,23	4,29	0,553	18,3	12,4	5,04	6,11	0,472	46,3	5,46	2,91	1,68	0,583	16,7
Sr	0,250	0,213	0,232	< 0,1	0,517	0,293	0,252	0,262	0,085	0,684	0,230	0,102	0,219	0,121	0,414
Ti	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,788	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,14
Tl	0,024	0,014	0,015	< 0,01	0,091	0,053	0,028	0,042	< 0,01	0,182	0,035	0,021	0,022	< 0,01	0,092
U	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,018	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
V	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,191	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Zn	119	116	110	81,0	159	104	100	102	52,0	184	100	96,3	94,1	47,9	180
C (%)	45,0	45,0	45,1	43,0	46,6	44,2	44,3	44,4	42,9	46,5	44,4	44,4	44,4	42,8	46,4
N (%)	4,96	4,84	4,56	3,59	6,74	4,48	4,36	4,54	2,67	6,17	4,77	4,66	5,08	3,07	6,02

Liite 3. Rouskujen alkuainepitoisuus (mg kg⁻¹ dw), aritmeettinen keskiarvo (M), geometrinen keskiarvo (G), mediaani (Md), minimi (min) ja maksimi (max). Tulokset on ryhmitelty keräysruudun ja tehdasalueen välisen etäisyyden perusteella.

	Etäisyys alle 350 m (n = 6)					Etäisyys 350–700 m (n = 8)					Etäisyys yli 700 m (n = 7)				
	M	G	Md	min	max	M	G	Md	min	max	M	G	Md	min	max
Ag	1,79	0,415	0,241	0,131	9,56	0,098	0,027	0,031	< 0,01	0,339	0,123	0,087	0,134	< 0,01	0,205
Al	11,7	10,6	9,76	6,47	21,7	9,47	9,24	9,93	6,88	11,8	7,82	6,60	8,01	< 5	13,6
As	0,687	0,371	0,312	0,100	2,74	0,335	0,294	0,319	0,139	0,706	0,441	0,290	0,286	0,112	1,55
B	< 1	< 1	< 1	< 1	1,46	< 1	< 1	< 1	< 1	1,19	1,08	< 1	< 1	< 1	4,55
Ba	0,599	0,513	0,420	0,293	1,30	0,568	0,518	0,467	0,336	1,05	0,497	0,477	0,456	0,327	0,844
Ca	114	109	117	61,8	169	87,3	84,9	81,3	57,9	124	100	95,8	94,4	60,9	172
Cd	0,219	0,201	0,164	0,138	0,354	0,348	0,244	0,168	0,116	1,12	0,316	0,236	0,237	0,060	0,661
Co	0,371	0,310	0,273	0,146	0,713	0,312	0,028	0,238	0,191	0,706	0,202	0,158	0,130	0,060	0,448
Cr	0,558	0,394	0,322	0,172	1,23	0,301	0,228	0,279	0,068	0,715	0,187	0,142	0,111	0,077	0,613
Cu	17,7	15,9	14,2	9,50	32,6	13,4	12,7	10,8	8,20	24,1	16,1	15,5	17,0	9,80	24,6
Fe	67,3	46,0	34,2	20,2	222	26,6	25,4	25,2	17,4	47,7	24,3	24,0	24,6	18,6	30,8
K	29400	28500	27800	21800	38500	25000	24900	24600	22000	28100	27100	26400	26500	18800	35700
Li	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mg	992	974	993	690	1300	837	829	882	621	977	846	829	814	584	1040
Mn	11,0	10,1	9,60	6,40	21,7	11,1	10,4	9,04	5,81	18,8	14,7	13,3	12,4	6,96	24,0
Mo	0,125	0,070	0,060	0,028	0,479	0,170	0,052	0,040	0,010	1,05	0,104	0,070	0,055	0,034	0,389
Na	34,7	28,5	25,7	< 20	65,4	40,2	34,9	42,7	< 20	63,9	37,6	25,8	20,2	< 20	110
Ni	2,00	1,90	2,15	1,20	2,63	1,91	1,70	2,00	0,686	3,28	0,913	0,907	0,896	0,740	1,08
P	6130	6100	5910	5430	7340	5550	5540	5570	4990	6090	6300	6250	5820	5550	7850
Pb	0,213	0,104	0,065	< 0,05	0,668	0,233	0,146	0,119	< 0,05	0,662	0,296	0,197	0,305	< 0,05	0,743
Rb	406	313	322	113	1060	312	267	317	132	644	378	336	407	168	624
S	1700	1680	1640	1350	2080	1490	1480	1440	1260	1910	1640	1640	1590	1430	1930
Sb	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Se	0,805	0,646	0,751	0,159	1,64	0,635	0,430	0,657	0,050	1,47	0,403	0,334	0,288	0,163	0,711
Sr	0,350	0,320	0,320	0,146	0,589	0,240	0,232	0,247	0,160	0,319	0,299	0,289	0,310	0,199	0,425
Ti	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,66	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Tl	0,030	0,023	0,020	< 0,01	0,060	0,019	0,018	0,019	< 0,01	0,030	0,030	0,021	0,019	< 0,01	0,071
U	0,011	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
V	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Zn	111	109	103	83,1	144	93,4	89,0	98,3	55,3	137	97,5	92,7	89,1	65,2	169
C (%)	46,4	46,3	46,4	45,6	47,4	45,4	45,9	45,3	44,4	47,2	46,0	45,9	45,9	45,1	46,9
N (%)	3,83	3,81	3,84	3,27	4,38	3,55	3,82	3,39	3,25	4,08	3,82	3,82	3,76	3,58	4,14

Liite 4.

Tattien, rouskujen ja kantarellin bioakkumulaatiokertoimet eri alkuaineille. Aritmeettinen keskiarvo (M), geometrinen keskiarvo (G), mediaani (Md), minimi (min) ja maksimi (max), otoskoko (n).

	Tatit (n = 53)					Rouskut (n = 21)					Kantarelli (n = 4)				
	M	G	Md	min	max	M	G	Md	min	max	M	G	Md	min	max
Al	0,004	0,003	0,003	0,0002	0,023	0,003	0,003	0,003	0,001	0,005	0,023	0,017	0,021	0,006	0,043
As	0,068	0,045	0,048	0,008	0,396	0,096	0,064	0,071	0,006	0,261	0,033	0,027	0,029	0,012	0,061
Ba	0,006	0,005	0,005	0,001	0,019	0,006	0,005	0,005	0,002	0,020	0,015	0,011	0,011	0,004	0,032
Ca	0,026	0,022	0,020	0,008	0,102	0,026	0,024	0,026	0,011	0,053	0,097	0,079	0,084	0,033	0,187
Cd	5,10	2,99	3,03	0,335	21,3	0,608	0,464	0,433	0,150	2,80	0,340	0,300	0,398	0,115	0,450
Co	0,041	0,018	0,020	0,001	0,394	0,033	0,023	0,023	0,004	0,109	0,049	0,045	0,051	0,022	0,070
Cr	0,010	0,0004	0,004	0,0003	0,123	0,006	0,004	0,005	0,0005	0,014	0,016	0,009	0,009	0,003	0,044
Cu	0,621	0,404	0,413	0,051	2,36	0,250	0,149	0,185	0,025	0,847	0,640	0,521	0,511	0,248	1,29
Fe	0,029	0,004	0,003	0,0003	0,452	0,004	0,003	0,003	0,002	0,011	0,011	0,008	0,011	0,003	0,020
K	29,1	28,1	28,5	15,5	50,0	31,5	30,6	31,7	17,3	49,9	33,9	33,5	34,4	26,8	40,0
Mg	0,318	0,230	0,248	0,029	1,04	0,422	0,315	0,359	0,041	1,15	0,342	0,300	0,330	0,130	0,577
Mn	0,050	0,032	0,027	0,004	0,231	0,048	0,031	0,026	0,009	0,323	0,069	0,062	0,063	0,032	0,116
Mo	0,278	0,171	0,189	0,003	1,30	0,100	0,052	0,038	0,007	0,485	0,190	0,138	0,185	0,047	0,343
Na	3,87	1,79	1,72	0,143	24,7	0,594	0,459	0,445	0,104	2,20	1,27	0,605	0,539	0,146	3,87
Ni	0,031	0,021	0,023	0,003	0,127	0,035	0,025	0,026	0,005	0,104	0,040	0,036	0,033	0,022	0,074
P	6,65	6,18	6,19	2,16	18,2	7,08	6,94	6,70	4,83	10,9	4,29	4,27	4,19	3,95	4,83
Pb	0,005	0,002	0,002	0,0004	0,056	0,008	0,004	0,004	0,001	0,030	0,037	0,005	0,002	0,001	0,141
S	4,71	3,79	4,30	0,710	15,4	1,15	1,08	1,03	0,575	2,29	0,447	0,439	0,445	0,332	0,567
Se	23,4	8,49	6,88	0,564	149	1,51	0,991	1,15	0,071	3,90	0,591	0,517	0,603	0,277	0,880
Sr	0,011	0,009	0,009	0,002	0,036	0,013	0,011	0,012	0,004	0,035	0,045	0,035	0,039	0,011	0,089
Zn	1,32	1,15	1,22	0,145	3,76	1,14	1,05	1,04	0,482	2,09	0,885	0,879	0,858	0,770	1,05

Liite 5.

Tattien, rouskujen ja kantarellin biokonsentraatiokertoimet eri alkuaineille, aritmeettinen keskiarvo (M), geometrinen keskiarvo (G), mediaani (Md), minimi (min) ja maksimi (max)

	Tatit (n = 53)					Rouskut (n = 21)					Kantarelli (n = 4)				
	M	G	Md	min	max	M	G	Md	min	max	M	G	Md	min	max
Al	0,085	0,044	0,042	0,004	0,643	0,062	0,049	0,062	0,012	0,186	0,322	0,253	0,258	0,123	0,649
Ba	0,013	0,011	0,011	0,003	0,058	0,014	0,011	0,010	0,005	0,058	0,032	0,027	0,026	0,012	0,063
Ca	0,046	0,037	0,033	0,011	0,164	0,043	0,039	0,041	0,015	0,082	0,144	0,116	0,129	0,046	0,273
Cd	19,1	7,46	6,72	0,457	141	1,91	1,42	1,19	0,360	6,22	0,640	0,544	0,703	0,184	0,970
Co	0,122	0,058	0,060	0,004	0,867	0,111	0,077	0,070	0,013	0,450	0,141	0,131	0,154	0,067	0,187
Cr	1,05	0,400	0,329	0,046	18,2	0,462	0,321	0,297	0,097	1,53	2,85	1,44	1,59	0,279	7,93
Cu	30,5	8,05	7,13	0,433	468	11,8	2,70	3,29	0,162	85,0	41,3	14,2	15,1	1,80	133
Fe	1,82	0,099	0,065	0,006	44,3	0,201	0,077	0,058	0,012	1,29	0,867	0,344	0,688	0,024	2,07
K	62,0	54,1	49,1	19,9	209	62,1	57,3	54,5	31,1	123	49,3	48,2	46,4	37,5	67,1
Mg	0,836	0,659	0,661	0,104	2,50	1,12	0,862	0,978	0,099	3,02	0,611	0,573	0,602	0,347	0,893
Mn	0,088	0,060	0,049	0,009	0,389	0,086	0,056	0,059	0,021	0,543	0,095	0,087	0,084	0,055	0,157
Na	39,3	13,8	14,6	0,329	335	7,42	4,31	4,80	0,329	39,7	4,94	1,98	1,84	0,329	15,7
Ni	0,145	0,100	0,103	0,010	0,579	0,162	0,114	0,114	0,026	0,482	0,184	0,158	0,150	0,076	0,360
P	704	276	326	39,0	5640	850	319	316	57,3	5790	115	96,9	110	51,5	189
Pb	0,014	0,007	0,007	0,001	0,198	0,029	0,012	0,012	0,002	0,189	0,097	0,014	0,006	0,003	0,375
S	1670	234	180	11,5	9490	517	107	34,1	4,00	1930	224	22,9	18,4	1,56	856
Sr	0,022	0,018	0,017	0,004	0,082	0,025	0,020	0,020	0,007	0,063	0,080	0,064	0,078	0,021	0,146
Zn	2,55	2,21	2,13	0,481	7,96	2,13	1,99	1,91	0,778	4,16	1,56	1,52	1,49	1,21	2,04

Liite 6.

Kirjallisuudessa eri alkuaineille raportoituja tattiin (*Boletus*, *Suillus*) ja rouskujen (*Lactarius*) bioakkumulaatiokertoimia (BAF)

	<i>Boletus</i> spp.			<i>Lactarius</i> spp.			<i>Suillus</i> spp.					
	BAF	Paikka	Viite	BAF	Paikka	Viite	BAF	Paikka	Viite			
Al	0,001-0,10	Puola, tausta	1,4,6	1,0-2,7	Puola, tausta	3	0,07-3,1	Puola, tausta	3			
				1,3	Puola, tehdasalue	3				0,97	Puola, tehdasalue	3
Ba	0,001-0,03	"	1,4,6									
Ca	0,03-1,5	"	1,4,6									
Cd	0,7-42	"	1,4,6	14-26	Puola, tausta	3	13-29	Puola, tausta	3			
				17	Puola, tehdasalue	3				15	Puola, tehdasalue	3
Cr				0,0003-0,03	Kreikka, tausta	5	0,0002-0,0013	Kreikka, tausta	5			
Cu	0,65-52	"	1,4,6	0,23-0,34	"	5	0,36-0,44	"	5			
	0,65-5,0									Italia, tausta	2	
Fe	0,008-0,12	Puola, tausta	1,4,6	1,3-2,6	Puola, tausta	1,29-2,62	0,77-1,5	Puola, tausta	3			
				2,7	Puola, tehdasalue	3				2,0	Puola, tehdasalue	3
				0,0005-0,001	Kreikka, tausta	5				0,0004-0,0008	Kreikka, tausta	5
K	1,5-6,6	"	1,4,6									
Mg	0,7-7,2	"	1,4,6									
Mn	0,02-0,59	"	1,4,6	1,5-1,7	Puola, tausta	3	0,62-0,71	Puola, tausta	3			
				3,6	Puola, tehdasalue	3				2,0	Puola, tehdasalue	3
				0,004-0,008	Kreikka, tausta	5				0,004-0,02	Kreikka, tausta	5
Na	0,01-0,16	"	1,4,6									
Ni				0,001-0,04	"	5	0,002-0,003	"	5			
Pb				2,8	Puola, tehdasalue	3	0,04	Puola, tehdasalue	3			
				0,97-2,8	Puola, tausta	3				0,12-2,6	Puola, tausta	3
				0,002-0,005	Kreikka, tausta	5				0,006-0,009	Kreikka, tausta	5
Se	15-150	Italia, tausta	2									
Sr	0,002-0,11	Puola, tausta	1,4,6									
Zn	1,8-19	"	1,4,6	47-49	Puola, tausta	3	27-34	Puola, tausta	3			
				214	Puola, tehdasalue	3				180	Puola, tehdasalue	3
				1,0-1,6	Kreikka, tausta	5				0,55-0,99	Kreikka, tausta	5



Viitteet

- Frankowska, A., Ziolkowska, J., Bielawski, L. & Falandysz, J. 2010.** Profile and bioconcentration of minerals by King Bolete (*Boletus edulis*) from the Plocka Dale in Poland. Food Additives and Contaminants: Part B: Surveillance 3:1–6.
- Giannaccini, G., Betti, L., Palego, L., Mascia, G., Schmid, L., Lanza, M., Mela, A., Fabbrini, L., Biondi, L. & Lucacchini, A. 2012.** The trace element content of top-soil and wild edible mushroom samples collected in Tuscany, Italy. Environmental Monitoring and Assessment, in press. DOI 10-1007/s10661-012-2520-5
- Rudawska, M. & Leski, T. 2005.** Trace elements in fruiting bodies of ectomycorrhizal fungi growing in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Poland. Science of the Total Environment 339:103–115.
- Falandysz, J., Frankowska, A., Jarzyńska, G., Dryzalowska, A., Kojta, A. K. & Zhang, D. 2011.** Survey on composition and bioconcentration potential of 12 metallic elements in King Bolete (*Boletus edulis*) mushroom that emerged at 11 spatially distant sites. Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes 46:231–246.
- Aloupi, M., Koutrotsios, G., Koulousaris, M. & Kalogeropoulos, N. 2012.** Trace metal contents in wild edible mushrooms on serpentine and volcanic soils on the island of Lesbos, Greece. Ecotoxicology and Environmental Safety 78:184–194.
- Zhang, D., Frankowska, A., Jarzyńska, G., Kojta, A. K., Drewnowska, M., Wydmańska, D., Bielawski, L., Wang, J. & Falandysz, J. 2010.** Metals of King Bolete (*Boletus edulis*) Bull.: Fr. collected at the same site over two years. African Journal of Agricultural Research 5:3050–3055.

3.4.2013

Liite 7.

Alkuaineiden korkein siedettävä viikoittainen saanti (mg /vko) 60 kg painoiselle henkilölle.

Alkuaine	mg/vko	Peruste	Lähde
Ag	0,56	ADI ¹	Pelkonen 2008
Al	60	TWI ²	Evira 2010
As	0,42	TDI ³	Reinikainen 2007
Cd	0,15	TWI ²	Evira 2010
Co	0,59	TDI ³	Reinikainen 2007
Cr	2,1	"	"
Cu	58,8	"	"
Fe	119	NOAEL ⁴	Pelkonen 2008
Mg	2800	"	"
Mn	84	"	"
Mo	4,2	TDI ³	Reinikainen 2007
Ni	21	"	"
Pb	1,5	PTWI ⁵	Evira 2010
Se	2,1	TDI ³	Reinikainen 2007
Zn	210	"	"

¹ADI = Hyväksyttävä päivittäinen saanti (Acceptable Daily Intake) elinikäisen altistumisen yhteydessä, mg/kg rp

²TWI = Korkein siedettävä viikoittainen saanti (Tolerable Weekly Intake) elinikäisen altistumisen yhteydessä, µg/kg rp/ viikko

³TDI = Korkein siedettävä päivittäinen saanti (Tolerable Daily Intake) elinikäisen altistumisen yhteydessä, µg/kg rp/ vrk.

⁴NOAEL = Haitaton vaikutustaso (No observed adverse effect level)

⁵PTWI = Väliaikainen korkein siedettävä viikoittainen saanti, (Provisional Tolerable Weekly Intake), µg/kg rp/ viikko

Viitteet

Evira 2010. Elintarvikkeiden ja talousveden kemialliset vaarat, uudistettu painos. Eviran julkaisuja 15/2010.

Pelkonen, R., Alfthan, G. & Järvinen, O. 2008. Element concentrations in wild edible mushrooms in Finland. Suomen ympäristökeskus 25/2008.

Reinikainen, J. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämissuhteet. Suomen ympäristökeskus 23/2007.