

Petri Koskela

Nelly Turunen

**KAIVOSTEN LÄHIALUEIDEN  
RASKASMETALLIEN KERTYMINEN  
LUONNONTUOTTEISIIN**  
Lieksan Mätäsvaaran ja Tainiovaaran kaivokset

Opinnäytetyö  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma


Joulukuu 2015




**MAMK**

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 4.12.2015
<b>Tekijä(t)</b> Petri Koskela ja Nelly Turunen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Ympäristötekniologia
<b>Nimeke</b> Kaivosten lähialueiden raskasmetallien kertyminen luonnontuotteisiin - Lieksan Mätäsvaaran ja Tainiovaaran kaivokset	
<b>Tiivistelmä</b> <p>Raskasmetallien tiedetään kulkeutuvan ympäristöstä kasveihin ja sieniin, ja kaivosympäristöissä metalleja on jo luontaisesti enemmän. Luonnontuotteiden sisältämiä ja rikastamia raskasmetalleja on tutkittu Suomessa jo aikaisemminkin, ja muutamia tutkimuksia on tehty nimenomaan kaivosalueiden näkökulmasta. Taustaerotteluun perustuvia tutkimuksia on tehty vähemmän, joten ongelmallista on ollut se, kuinka iso osa luonnontuotteiden raskasmetalleista on peräisin luontaisesti maa- ja kallioperästä.</p> <p>Tutkimuksen kohteena olivat Lieksan Mätäsvaaran ja Tainiovaaran vanhojen kaivosalueiden marjojen ja ruokasienten raskasmetallipitoisuudet. Tavoitteena oli tuottaa tietoa siitä, missä määrin raskasmetallit kertyvät kaivosalueiden lähiympäristöstä maaperän ja ilman kautta luonnontuotteisiin ja arvioida, onko niiden käyttö turvallista. Tutkimus toteutettiin keräämällä humus-, rikastushiekka-, sammal-, marja- ja sieninäytteitä molempien kaivosalueiden lähiympäristöstä sekä niiden geologiselta verrokialueelta ja analysoimalla niistä raskasmetallipitoisuudet. Analysoidut raskasmetallit olivat antimoni, arseeni, elohopea, kadmium, kromi, kupari, lyijy, molybdeeni, nikkeli, seleeni, sinkki, tina ja vanadiini. Analysoinnit toteutettiin röntgenfluoresenssimenetelmään (XRF) perustuvalla kenttäanalyysointilaitteella ja tulosten luotettavuus tarkistettiin Ramboll Analytics:n analysoimilla vertailunäytteillä.</p> <p>Näytteiden kenttäanalyysointilaitteella mitatut raskasmetallipitoisuuksien lukuarvot todettiin vertailunäytteiden perusteella liian suuriksi. Niiden pitoisuuksista voitiin kuitenkin laskea yleisiä trendejä lajikohtaisista kertyvyksistä ja levinneisyyksistä kaivosalueilla sekä vertailla kaivos- ja verrokialueiden raskasmetallipitoisuuksia. Näiden havaintojen ja vertailunäytteistä laskettujen turvallisten syöntimäärien perusteella todettiin, että vanhojen kaivosten lähialueiden luonnontuotteiden käyttämisestä ravintona ei tutkittujen raskasmetallipitoisuuksien perusteella aiheudu merkittävää terveyshaittaa normaalin kulutuksen puitteissa.</p> <p>Tutkimuksella tuotettiin tietoa Pohjois-Karjalan kaivosympäristön luonnontuotteiden ja talousvesien raskasmetallit -hankkeelle. Tutkimustuloksista on hyötyä myös kaivosten lähiseutujen asukkaille ja mahdollisille luonnontuotealan yrityksille, jotka keräävät luonnontuotteita kaivosalueiden läheisyydestä.</p>	
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> kaivokset, raskasmetallit, biokertyminen, marjat, sienet, XRF	
<b>Sivumäärä</b> 66 + 22	<b>Kieli</b> suomi
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b> 8 liitettä	
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Arto Sormunen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Pohjois-Karjalan Ympäristöterveys

## DESCRIPTION

	<b>Date of the bachelor's thesis</b> 4.12.2015
<b>Author(s)</b> Petri Koskela and Nelly Turunen	<b>Degree programme and option</b> Environmental Engineering
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Accumulation of heavy metals to natural products near mining areas – Mätäsvaara's and Tainiovaara's mines in Lieksa	
<b>Abstract</b> <p>It is known that heavy metals accumulate to plants and mushrooms from the environment and in mining areas occurs naturally more heavy metals than other areas. There are many previous studies about natural products' heavy metal concentrations and couple of them handles mining areas. However, only few studies take into account how much natural products accumulate heavy metals naturally from the ground.</p> <p>This thesis examined heavy metal concentrations in berries and mushrooms in old mining areas in Lieksa Mätäsvaara ja Tainiovaara. The aim was to produce knowledge how environment's heavy metals accumulate to the natural products in these areas and is it safe to eat them. The study was executed by collecting samples of humus, enrichment sand, bryophyte, berries and mushrooms from mining areas' and reference area's nature and analysing their heavy metal concentrations. The heavy metals that were analysed by a field analyser based on X-ray fluorescence (XRF) were antimony, arsenic, mercury, cadmium, chromium, copper, lead, molybdenum, nickel, selenium, zinc, tin and vanadium. The results were verified by comparing them to control samples analysed by Ramboll Analytics.</p> <p>The heavy metal concentrations measured by the field analyzer were discovered to be too approximate. Still, it was possible to calculate general trends about species specific accumulations and distributions of heavy metals and compare the concentration in mining areas and reference area. Based on these observations and calculated safe eating amounts, it was stated that by eating these old mining areas' natural products there aren't significant health risks in the frame of normal consumption.</p> <p>This thesis provided information to a project that examines heavy metals in natural products and drinking water in North Karelia's mining areas. The results also benefits residents and companies who picks natural products near the mining areas.</p>	
<b>Subject headings, (keywords)</b> mines, heavy metals, bioaccumulation, berries, mushrooms, XRF	
<b>Pages</b> 66 + 22	<b>Language</b> Finnish
<b>Remarks, notes on appendices</b> 8 appendices	
<b>Tutor</b> Arto Sormunen	<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Pohjois-Karjalan Ympäristöterveys

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	RASKASMETALLIT .....	2
2.1	Ominaisuudet ja päästölähteet .....	2
2.2	Kulkeutuminen ja pitoisuudet ympäristössä.....	10
2.2.1	Kulkeutuminen ympäristöön kaivostoiminnan vaikutuksesta.....	10
2.2.2	Käyttäytyminen maaperässä.....	12
2.2.3	Kertyminen kasveihin .....	15
2.2.4	Kertyminen sieniin.....	18
2.2.5	Biokertyvyyskertoimet.....	20
2.3	Terveysvaikutukset .....	22
2.3.1	Terveysriskit .....	22
2.3.2	Saantisuositukset.....	26
3	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	28
3.1	Tutkimusalueet.....	28
3.2	Näytteenotto sekä näytteiden kuljetus ja säilytys .....	31
3.3	Näytteiden esikäsittely .....	34
3.4	Pitoisuuksien mittaaminen XRF-analysaattorilla .....	37
3.4.1	Niton XL3t 980 GOLDD+ .....	37
3.4.2	Analysaattoriin liittyvät rajoitukset .....	39
3.4.3	Mittausten suorittaminen.....	40
3.5	Ramboll Analytics:n vertailunäytteet.....	41
3.6	Aineiston käsittely Microsoft Excel -ohjelmistolla .....	42
4	TULOKSET .....	44
4.1	Näytteiden raskasmetallipitoisuudet .....	44
4.2	BAF- ja korrelaatiokertoimet.....	47
4.3	Ilmansuuntavaikutus .....	48
4.4	Etäisyysvaikutus .....	50
4.5	Vertailunäytteiden raskasmetallipitoisuudet.....	51
4.6	Turvalliset syöntimäärät vertailunäytteistä laskettuna .....	52
5	TULOSTEN TARKASTELU.....	53
5.1	Raskasmetallipitoisuudet eri näytelajeissa .....	53
5.2	Raskasmetallien kertyminen marjoihin ja sieniin .....	54

5.2.1	Marjat .....	55
5.2.2	Sienet.....	55
5.3	Riskialueiden tunnistaminen.....	56
5.3.1	Mätäsvaara.....	57
5.3.2	Tainiovaara.....	58
5.4	Turvalliset syöntimäärät .....	58
5.5	Tulosten luotettavuus ja käyttökelpoisuus.....	59
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	61
	LÄHTEET .....	63

#### LIITTEET

- 1 Ruokasienten raskasmetallipitoisuuksia Suomessa
- 2 Pohjois-Karjalan metalliset malmit ja pääkivilajit
- 3 Näytteenottosolujen ympäristökuvaukset
- 4 Näytteenottosolujen koordinaatit
- 5 Näytetiedot
- 6 Laskelmien ilmansuunta- ja etäisyystiedot
- 7 Ensimmäisten mittausten tulokset
- 8 Uusintamittausten 12 min tulokset

## 1 JOHDANTO

Raskasmetallien tiedetään kulkeutuvan ympäristöstä edelleen luonnonkasveihin ja sieniin, ja kaivosympäristöissä metalleja on jo luontaisesti enemmän. Marjojen ja sienien sisältämiä ja rikastamia raskasmetalleja on tutkittu Suomessa jo aikaisemminkin ja muutamia tutkimuksia on tehty nimenomaan kaivosalueiden näkökulmasta. Tutkimukset osoittavat, että metallien kertymisessä on lajikohtaisia eroja sekä kasvien että sienien osalta. Ongelmallista on kuitenkin selvittää, kuinka iso osa luonnontuotteiden raskasmetalleista on peräisin luontaisesti maa- ja kallioperästä. Tämän selvittämiseksi tarvitaan lisää taustaerotteluun perustuvia tutkimuksia, joissa kerätään vertailuaineistoa kaivosten vaikutuspiirin ulkopuolelta, samankaltaiselta maa- ja kallioperäalueelta. (Arresto & Pennanen 2015.)

Opinnäytetyön tutkimuksen taustalla oli Pohjois-Karjalan kaivosympäristön luonnontuotteiden ja talousvesien raskasmetallit -hanke. Kyseisen hankkeen tavoitteina ovat olemassa olevan tiedon kartoittaminen, raskasmetallipitoisuuksien mittaaminen koelaitteilla kaivosalueiden lähimaastosta ja mahdollisten jatkotoimenpiteiden määrittely tulosten perusteella. Viime kädessä hankkeen tavoitteena on myös lisätä luonnontuotteiden turvallista käyttöä ja hankkeen tuloksista hyötyvät niin kaivos- ja luonnontuotealan yritykset, kaivosten lähiseutujen asukkaat kuin viranomaisetkin. (Mt.)

Lähtökohtaisesti tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa hankkeelle tietoa siitä, miten raskasmetallit kertyvät Lieksan Mätäsvaaran ja Tainiovaaran vanhojen kaivosalueiden lähiympäristöstä maaperän ja ilman kautta marjoihin ja ruokasieniin. Tutkimus toteutettiin keräämällä humus-, rikastushiekka-, sammal-, marja- ja sieninäytteitä molempien kaivosalueiden lähiympäristöstä sekä niiden geologiselta verrokkialueelta ja analysoimalla niistä raskasmetallipitoisuudet Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratoriossa. Tulosten perusteella pyrittiin lisäämään kaivosalueiden luonnontuotteiden turvallista käyttöä esimerkiksi riskialueita tunnistamalla tai suositeltavia käyttömääriä laskemalla. Mahdollisuuksien mukaan pyrittiin myös tuottamaan lajikohtaista tietoa raskasmetallien kertymisestä ja tunnistamaan riskilajeja terveyden kannalta.

Tutkimuksella haettiin vahvistusta kolmelle päähypoteesille. Ensimmäinen päähypoteesi oli, että kaivoksien lähiympäristön luonnontuotteissa on suuremmat raskasmetallipitoisuudet kuin verrokkialueella, johon kaivostoiminta ei vaikuta. Toinen päähypo-

teesi oli, että luonnontuotteiden raskasmetallipitoisuudet kasvavat sitä korkeammiksi, mitä lähempänä ollaan kaivosten toiminta-alueita. Viimeinen hypoteesi oli, että eri marja- ja sienilajit rikastavat eri tavoin raskasmetalleja.

## 2 RASKASMETALLIT

Raskasmetalleihin kuuluu yli 70 ainetta. EU:n komission päätöksen 532/2000/EY mukaan raskasmetalleja ovat antimoni-, arseeni-, elohopea-, kadmium-, kromi-, kupari-, lyijy-, nikkeli-, seleeni-, tallium-, telluuri- ja tinayhdisteet sekä näiden metalliset muodot, jos ne ovat asetuksen ensimmäisen kohdan mukaisia vaarallisia aineita. Lähteestä riippuen raskasmetalleja ovat myös esimerkiksi molybdeeni, sinkki ja vanadiini. Raskasmetallit ovat ympäristömyrkkijä, mutta monet niistä ovat eliöille välttämättömiä hivenaineita. Pysyvyys ja rikastuminen ravintoketjuun lisäävät niiden haitallisuutta. (Arresto & Pennanen 2015; Eurola 1996; Poikolainen & Rautio 2012; Rautiainen 2012.)

### 2.1 Ominaisuudet ja päästölähteet

Raskasmetallit ovat alkuainemetalleja, joilla on veteen verrattuna suhteellisen korkea tiheys. Useimmiten niiden tiheyden rajaksi on määritelty  $4 \text{ g/cm}^3$ , mutta kirjallisuudessa on käytetty useita eri määritelmiä, kuten  $4,5$  tai  $5 \text{ g/cm}^3$ . Raskasmetalleja esiintyy ympäristössä kaikkialla niin ilmassa, maa- ja kallioperässä, vesistöissä kuin eliöissäkin. Raskasmetallilähteitä ovat esimerkiksi kaivokset, sulattamot, metalliteollisuus, lääketeollisuus, öljyn, hiilen ja jätteiden poltto, liikenne ja maatalous. Niillä on myös luontaisia lähteitä kuten tulivuoret, metsäpalot ja raskasmetalleja sisältävien mineraalien rapautuminen. (Arresto & Pennanen 2015; Eurola 1996; Poikolainen & Rautio 2012; Rautiainen 2012; Tchounwou ym. 2014.)

#### *Antimoni*

Antimoni (Sb) luokitellaan puolimetalliksi, jolla on kaksi esiintymismuotoa. Metallisessa muodossa se on kirkas, hopeinen, kova ja hauras, kun taas puolimetallisessa muodossa se on harmaata jauhetta. Luonnossa antimoni on yleisimmin hapetusmuodossa +3, mutta satunnaisesti myös hapetusmuotoja +5 ja -3 esiintyy. Antimonia esiin-

tyy ympäristössä luonnollisesti ja sitä on maankuoressa noin 0,00002 prosenttia. Suomen kallioperässä sitä esiintyy kuitenkin vähän. (Antimony 2015; Arresto & Pennanen 2015; Reinikainen 2007.)

Pääasiallisesti antimonia esiintyy luonnonkivissä sulfidimineraaleissa, antimonihohhteessa tai seosmetallina arseeni-, hopea-, kulta-, kupari-, lyijy-, palladium- ja vismutti-sulfideissa. Sitä voi löytyä myös oksidimineraaleista. Maailman antimonivarannot ovat yli viisi miljoonaa tonnia. Suomestakin löytyy alkuainemuodossa olevia antimoniesiintymiä. Puhtaasta antimonista valmistetaan puolijohteita, kuten infrapunaimaisia. Antimoniseoksia käytetään esimerkiksi lyijyluodeissa, paristoissa, painokirjaimissa ja kaapelien päällysteissä. Lisäksi antimoniyhdisteitä voidaan käyttää maalien, lasin, saviastioiden ja tulenkestävien materiaalien valmistukseen. (Mt.)

### *Arseeni*

Arseeni (As) on puolimetalli, jota esiintyy kolmena muotona: keltaisena, harmaana ja mustana. Arseeni on stabiilissa muodossa hopean harmaa, kiinteä, hauras ja kiteinen aine, joka tummuu nopeasti ilmakosketuksessa. Sen epämetallimuoto on vähemmän aktiivinen. Maaperässä sitä esiintyy tavallisesti hapetusasteilla 0, +3 ja +5. Arseenitrioksidi eli arsenikki on erittäin myrkyllinen yhdiste, mutta muiden arseeniyhdisteiden myrkyllisyys vaihtelee hapetusasteesta riippuen. Arseenia esiintyy luonnollisesti pieniä määriä kaikkialla luonnossa. (Arseeni (As) 2013; Arsenic 2015; Arresto & Pennanen 2015; Reinikainen 2007.)

Arseenia on eniten arseenikiisussa, mutta myös muissa sulfidimineraaleissa, kuten kupari- ja rikkikiisussa, lyijyhohteessa ja sinkkivälkkeessä, esiintyy pieniä määriä arseenia. Jo pelkästään kupari- ja lyijymalmien arseenivarannot maailmassa ovat yli 10 miljoonaa tonnia. Luonnollisia arseenin ilmapäästölähteitä ovat tulivuoret ja mikroorganismit, jotka vapauttavat herkästi haihtuvaa metyyliarseenia. Luonnollisesti paikallaan pysyvät arseenit ovat ihmisen toiminnasta johtuen päässeet liikkeelle ja niiden kierto on laajentunut. Pääasialliset syyt tähän ovat kaivostoiminta ja metallisulatot, joiden sivutuotteina arseenia syntyy. Arseenia on käytetty tai käytetään edelleen myös esimerkiksi maataloudessa, puun suoja-aineissa, lasin valmistuksessa, väriaineissa sekä elektroniikka- ja lääkealan tuotteissa. (Mt.)



### *Elohopea*

Elohopea (Hg) on huoneenlämmössä hopean valkoista ja painavaa nestemäistä metallia, joka seostuu helposti eri metallien, kuten hopean, kullan ja tinan, kanssa. Nestemäisenä se myös höyrystyy ja leviää helposti ympäristöön. Elohopeaa esiintyy luonnollisesti ympäristössä, jossa sen esiintymismuotoja ovat alkuainemuoto sekä erilaiset epäorgaaniset ja orgaaniset yhdisteet. Se esiintyy yleensä metallisena elohopeana, elohopeasulfidina tai haitallisena metyylielohopeana. Maa- ja kallioperässä elohopeaa on yleensä vähän, mutta eniten sitä löytyy mustaliuskeperäisessä kallioperässä. Luonnollisesti sitä kulkeutuu ympäristöön mineraalien rapautuessa tuuli- ja vesieroosion johdosta tai metsäpalojen ja tulivuorenpurkauksien seurauksesta. (Arresto & Pennanen 2015; Elohopea (Hg) 2013; Mercury 2015; Reinikainen 2007.)

Elohopeaa pääsee ympäristöön myös teollisuuden, energiantuotannon fossiilisten polttoaineiden käytön ja jätteiden polton johdosta. Sitä pääsee suoraan maaperään tai veteen muun muassa teollisuuden jätevesien poiston sekä maatalouden lannoitteiden käytön vuoksi. Elohopeaa tai sen yhdisteitä on käytetty tai käytetään esimerkiksi sähkölaitteissa, paristoissa, maaleissa, hyönteismyrkyissä, rotanmyrkyissä, desinfiointiaineissa, ilmapuntareissa, painemittareissa, lämpömittareissa, amalgaamipaikoissa, kullan irrotusaineena malmista, paperiteollisuuden puu- ja paperimassan limoittumisen estoaineena, viljan peittäusaineena ja jopa ihovoiteissa. Elohopean käytön ja sen päästöjen tehokas rajoittaminen on laskenut ympäristön elohopeapitoisuuksia. (Elohopea (Hg) 2013; Euroala 1996; Järvinen 2003; Mercury 2015; Reinikainen 2007.)

### *Kadmium*

Kadmium (Cd) on hopean valkoinen, kiiltävä, taipuisa ja helposti muotoiltava metalli, jota voi leikata veitsellä. Se tummenee ilmakosketuksessa ja höyrystyessään muuttuu helposti kadmiumoksidiksi. Kadmium on haitallinen raskasmetalli, joka rikastuu ravintoketjussa ja luokitellaan ympäristölle haitalliseksi kemikaaliksi. Kadmiumia esiintyy pääasiassa maankuoressa, mutta maaperäpitoisuudet ovat yleensä pieniä. Runsaimmin sitä löytyy sulfidimineraaleista, kuten sinkkivälkkeestä ja lyijyhohteesta. Paikoitellen suuria kadmiumpitoisuuksia voi esiintyä turve- ja savimaissa. Kadmiumia vapautuu ympäristöön luonnollisestikin suuria määriä, esimerkiksi rapautumisen, tuli-

palojen ja tulivuorenpurkauksien johdosta. (Arresto & Pennanen 2015; Cadmium 2015; Kadmium (Cd) 2013; Järvinen 2003; Reinikainen 2007.)

Kadmiumpäästöistä pääosa on ihmisperäisiä. Ihmisen toiminnasta johtuvia kadmiumin päästölähteitä ovat teollisuus, energiantuotanto, jätteiden poltto ja liikenne. Kadmiumia ei louhita malmina, koska sitä muodostuu riittävästi sinkin, lyijyn ja kuparin sivutuotteena. Esimerkiksi sinkkivälkkeessä kadmiumsulfidi on merkittävä epäpuhtaus. Kadmiumia käytetään esimerkiksi metallien pintakäsittelyssä, akuissa, paristoissa, muovien valmistuksessa stabilisaattorina, väriaineissa ja tuholaismyrkyissä. Sitä pääsee maahan muun muassa joidenkin fosforilannoitteiden sekä viherrakentamiseen tai maanparannusaineena käytettävien jätevesilietteiden mukana. Kadmiumin suurin yksittäinen päästölähde on fossiilisten polttoaineiden käyttö. (Eurola 1996; Cadmium 2015; Kadmium (Cd) 2013; Järvinen 2003; Reinikainen 2007.)

### *Kromi*

Kromi (Cr) on metalli, joka on sinertävän tai vaaleanharmaan väristä, kiiltävää, kovaa ja haurasta. Sen happiepävakauden vuoksi se tuottaa ilmakosketuksessa välittömästi ohuen happea läpäisemättömän oksidikerroksen, joka suojaa alla olevaa metallia. Luonnossa kromia esiintyy hapetusasteilla +3 ja +6. Kuudenarvoista kromia syntyy kolmenarvoisen kromin hapettuessa emäksisessä tai happamassa ympäristössä ja sen yhdisteiden on todettu olevan haitallisempia eliöille. Kolmenarvoinen kromi on välttämätön hivenaine, mutta sen haitallisuus lisääntyy vesiliukoisuuden kasvaessa. (Arresto & Pennanen 2015; Chromium 2015; Kromi (Cr) 2013; Reinikainen 2007.)

Suurin osa kromista esiintyy kallio- ja maaperässä oksidimineraaleissa ja vähäisessä määrin silikaattimineraaleissa. Tummissa emäksisissä kivilajeissa on kromia keskimäärin 100–2300 mg/kg, kun taas graniiteissa sitä esiintyy keskimäärin vain 4–20 mg/kg. Kromia louhitaan kromiittimalmina ja sen varantojen arvioidaan olevan yli miljardi tonnia. Kromin ympäristöpäästölähteitä ovat muun muassa ferrokromin ja muiden kromiyhdisteiden tuotanto, rauta-, teräs-, kemikaali-, nahka- ja tekstiiliteollisuus, energiantuotantolaitokset, kaivokset ja jätteenpoltto. Kromia käytetään esimerkiksi ruostumattoman teräksen valmistukseen, puunsuojaukseen, pinnoittamiseen, ruostumisen estämiseen, värien ja maalien valmistukseen, nahan parkintaan ja magneettinauhujen valmistukseen. (Mt.)

## *Kupari*

Kupari (Cu) on punertava metalli, joka on sitkeä, taipuisa, venyvä ja muovailtava. Kupari muodostaa kosteassa ilmassa hitaasti vihertävän patinapinnan ruostumisen estämiseksi. Se on pieninä annoksina välttämätön hivenaine kaikille organismeille. Kupari esiintyy luonnossa vapaassa muodossa sekä erilaisina yhdisteinä hapetusluvuilla 0, +1 ja +2. Kuparia esiintyy maaperässä sulfidimineraaleissa, silikaattimineraaleissa, erilaisissa rauta-, alumiini- ja mangaanioksidisaostumissa sekä orgaanisessa aineksessa. Tärkeimmät kuparia sisältävät mineraalit ovat kuparikiisu, kuparihohde ja malakiitti. Maailman käytettävät kuparivarannot ovat noin 300 miljoonaa tonnia. (Arresto & Pennanen 2015; Copper 2015; Kupari (Cu) 2013; Reinikainen 2007.)

Kuparia päätyy ympäristöön niin luonnollisista syistä kuin ihmisenkin toiminnan kautta ja siksi se on levinnyt laajalle. Luonnollisia syitä kuparin leviämislle ovat muun muassa tuulen mukana liikkuva pöly, metsäpalot, mädäntyvä kasvillisuus ja merestä haihtuvat aerosolit. Ihmisen toiminnasta kuparipäästöjä syntyy kaivosteollisuuden, metalli- ja elektroniikkateollisuuden, maatalouden ja voimalaitoksien toimista sekä liikenteestä (polttoaineiden päästöt sekä renkaiden ja muiden osien kuluminen). Sitä ja sen yhdisteit (pronssi, messinki jne.) käytetään esimerkiksi sähköjohdoissa, vesijohdotputkissa, rakennusten katoissa, puutavaran kyllästysaineissa, väripigmenteissä, kolikoissa ja aseissa. Usein kuparia löytyy kaivos-, teollisuus-, kaatopaikka- ja jätteenpoistoalueiden ympäristöistä. (Mt.)

## *Lyijy*

Lyijy (Pb) on sinertävän harmaa ja kiiltävä metalli, joka on hyvin pehmeää ja muotoiltavaa. Se tummuu ilmakosketuksessa ja höyrystyy kuumennettaessa helposti. Luonnossa lyijy esiintyy hapetusluvuilla +2 ja +4. Lyijy on yksi luonnolle haitallisimmista raskasmetalleista ja se kertyy ravintoketjussa. Alkuperäinen lyijy on luonnossa harvinaista, mutta sitä esiintyy sinkin, hopean, kuparin ja kadmiumin seuralaisena sulfidi-, karbonaatti- ja silikaattimineraaleissa. Lyijyä louhitaan pääasiassa lyijyhohteesta, mutta myös lyijykarbonaatista ja anglesiitista. Maailman lyijyvaroiksi on arvioitu noin 85 miljoonaa tonnia. (Arresto & Pennanen 2015; Lead 2015; Lyijy (Pb) 2013; Reinikainen 2007.)

Suurin osa ympäristön lyijystä on peräisin ihmisen toiminnasta. Sen päästölähteitä ovat rauta-, teräs-, lasi- ja kemianteollisuus, metallisulatot, energiantuotanto ja liikenne. Lyijyä on käytetty muun muassa ammuksissa (luodit ja haulit), autojen akuissa, lasitteiden väriaineissa, uruissa, elektrolyysiprosessien elektronina, tietokoneiden ja televisioiden näyttöissä, kaapeleissa, juottamisessa, lyijykristallitavaroissa, laakereissa ja maalien valmistuksessa. Autojen lyijyllisen bensiinin käyttö on ollut yksi suurimpia lyijyn päästölähteitä, mutta sen myynti lopetettiin 1990-luvun alkupuolella Suomessa ja monissa Euroopan maissa. Tämän jälkeen lyijypäästöt ovat huomattavasti pienentyneet. (Euroola 1996; Järvinen 2003; Lead 2015; Lyijy (Pb) 2013; Reinikainen 2007.)

### *Molybdeeni*

Molybdeeni (Mo) luokitellaan siirtymämetalliksi, joka on hopeanvalkoista ja erittäin kovaa. Sillä on puhtaiden alkuaineiden yksi korkeimmista sulamispisteistä. Sitä esiintyy hapetusasteilla +2, +3, +4, +5 ja +6, joista yleisimmät ovat +4 ja +6. Molybdeeni on tärkeä seosaine. Se esimerkiksi parantaa karkaistujen ja lämpökäsiteltyjen terästen kovettumiskykyä ja kestävyyttä sekä teräksen lujuutta korkeissa lämpötiloissa. Sitä käytetään myös esimerkiksi muissa metalliseoksissa, elektrodeissa, katalysaattorina, ohjuksissa, lentokoneosissa, raakaöljyn jalostuksessa, elektroniikan kuituaineena, piirilevyissä, mikroaaltolaitteissa ja voiteluaineena korkeissa lämpötiloissa. (Molybdenum 2015; Pelkonen ym. 2008.)

### *Nikkeli*

Nikkeli (Ni) hopean valkoinen metalli, joka on kovaa, sitkeää, muokattavaa ja taottavaa. Se on myös melko hyvä lämmön- ja sähkönjohdin, kestää hyvin syövyttäviä aineita sekä muodostaa monia monimutkaisia yhdisteitä. Nikkeliä esiintyy useilla hapetusasteilla. Luonnossa sen tavallisin hapetusaste on +2. Se on pieninä annoksina välttämätön hivenaine, mutta tietyt nikkeliyhdisteet voivat olla syöpävaarallisia, etenkin hengitettäessä. Nikkeliä esiintyy yleisesti pieninä pitoisuuksina ympäristössä. (Arresto & Pennanen 2015; Nickel 2015; Nikkeli (Ni) 2013; Reinikainen 2007.)

Nikkeliä löytyy useimmiten sulfidi- ja silikaattimineraaleista, mutta sitä erotaan eniten rauta-nikkelisulfideista, kuten pentlandiitista. Sitä löytyy myös rikastuneena raakaöljyyn. Nikkelin suurimpia ihmisperäisiä päästölähteitä ovat kaivos- ja metalliteollisuus,

energiantuotanto sekä kivihiilen ja öljyn poltto. Sitä käytetään esimerkiksi ruostumattoman teräksen ja erilaisten metalliseosten valmistukseen, metallien galvanointiin, paristoihin, katalysaattoreihin, metallirahoihin, kaasuturbiineihin, rakettimoottoreihin, veneiden potkureihin ja koruihin. Nikkeliyhdisteet ovat lujia sekä korroosion ja kuumuuden kestäviä. (Mt.)

### *Seleeni*

Seleeni (Se) luokitellaan epämetalliksi ja sitä esiintyy useissa erilaisissa kemiallisissa muodoissa. Yleisimpiä ovat punainen amorfinen jauhe, punainen kristallinen materiaali sekä harmaa kristallinen ja metallinen seleeni. Seleeniä esiintyy hapetusasteilla -2, 0, +2, +4 ja +6. Seleeni on yksi Maan harvinaisimmista alkuaineista ja sitä on vain vähän tavallisissa syväkivissä ja metamorfisissa kivilajeissa, mutta mustaliuskeessa sitä voi esiintyä enemmän. Tavallisesti se esiintyy yhdessä esimerkiksi kuparin, sinkin ja lyijyn kanssa sulfidimalmeissa. Seleeniä vapautuu ympäristöön sekä luonnollisten että ihmisten toimien kautta. Sitä käytetään esimerkiksi elektroniikassa, lasiteollisuudessa, akkujen lyijylevyissä, eläinten ruoissa, lannoitteissa, ruokalisissä ja hilseshampoissa. (Arresto & Pennanen 2015; Pelkonen ym. 2008; Selenium 2015.)

### *Sinkki*

Sinkki (Zn) on sinertävän valkoinen ja kiiltävä metalli, joka on normaaleissa lämpötiloissa hauras ja kristallinen. Kuumennettaessa 110–150 asteeseen se muuttuu taipuisaksi ja muokattavaksi. Sinkki esiintyy luonnossa hapetusasteella +2 ja se reagoi melko helposti hapen ja muiden epämetallien kanssa. Se on tarpeellinen hivenaine kaikille eliöille. Sinkki esiintyy ympäristössä luonnollisesti ja se on yksi maaperän ja vesien runsaimmista raskasmetalleista. Maaperässä sinkkiä on paljon sulfidipitoisen kallioperän alueilla sekä myös jonkin verran tavallisissa silikaattimineraaleissa. Tärkein sinkkimalmi on sinkkivälke. Maailman taloudellisesti kannattavat sinkkivarannot ylittävät 100 miljoonaa tonnia. (Arresto & Pennanen 2015; Reinikainen 2007; Sinkki (Zn) 2013; Zinc 2015.)

Sinkin suurimpia päästölähteitä ovat metalli- ja kaivosteollisuus, energiantuotantolaitokset, jätteenpolto ja liikenne. Sitä käytetään muun muassa raudan ja teräksen pinnoituksessa, erilaisissa metalliseoksissa (messinki, pronssi, uushopea jne.), akuissa ja

paristoissa, katoissa ja ränneissä, kolikoissa, autoteollisuuden painevaluissa, väriaineissa (maalit, vesivärit, muovit, kosmetiikka, tulostinpaperit, tapetit, tulostinvärit jne.) sekä kumin vulkanoinnissa. Alueiden, joissa sinkkiä louhitaan tai jalostetaan tai käytetään lannoitteena teollisuuden jäteliejuja, maaperä on usein voimakkaasti saastunut sinkistä. (Mt.)

### *Tina*

Tina (Sn) on hopean valkoinen metalli, joka on pehmeää ja taipuisaa. Suojaavan hapettuvan kerroksen vuoksi se ei syövy helposti. Orgaaniset tinayhdisteet ovat hyvin pysyviä ja heikosti biohajoavia, joten ne voivat säilyä luonnossa pitkään. Tinaa esiintyy maaperässä graniiteissa, pegmatiiteissa, silikaattikiteissä ja rapakivigraniitin fluoriitissa ja hyvin pieninä määrinä myös vesissä. Tärkein tinamineraali on kassiteriitti ja käytettävät tinavarannot ovat noin 4 miljoonaa tonnia. Tinaa ja tinayhdisteitä käytetään esimerkiksi purkkien päällysteenä, kellometallina, putkien ja sähköpiirien juottamisessa, magneeteissa, keramiikassa ja kaasusensoreissa. (Arresto & Pennanen 2015; Tin 2015.)

### *Vanadiini*

Vanadiini (V) on hopeanharmaa metalli, joka on pehmeää, taottavaa ja vaikeasti sulavaa. Se kestää hyvin syöymistä pinnan suojaavan hapetuskerroksen ansiosta. Sen tyypillisiä hapetusasteita ovat +2, +3, +4 ja +5 ja sen myrkyllisyys kasvaa suhteessa hapetuslukuun. Vanadiini on kuitenkin pieninä pitoisuuksina välttämätön hivenaine. Se on harvinainen metalli, jota esiintyy luonnossa vain erilaisina yhdisteinä. Vanadiini on kallio- ja maaperässä sitoutunut yleensä oksidimineraaleihin ja kiillemineraaleihin. Myös esimerkiksi raakaöljy, kivihili, öljyliuske ja öljyhiekka sisältävät vanadiinia. (Arresto & Pennanen 2015; Reinikainen 2007; Vanadiini (V) 2013; Vanadium 2015.)

Vanadiinia saadaan muiden malmien sivutuotteena, joten mitään vanadiinimalmeja ei louhita vanadiinin vuoksi. Suurimpia vanadiinipäästöjä ympäristöön aiheuttavat muun muassa rautatehtaat, öljynjalostamot sekä öljyä ja kivihiltä polttavat energiantuotantolaitokset. Vanadiinia käytetään erilaisiin metalliseoksiin sen keveyden ja sitkeyden vuoksi. Sitä käytetään esimerkiksi teräksen, raudattomien metalliseosten ja kemikaalien seosaineena. Vanadiiniyhdisteitä käytetään kestävyyttä vaativissa laitteissa, kuten

autojen ja lentokoneiden moottoreissa, lentokoneiden rungoissa, akseleissa, hammasrattaissa ja ydinreaktoreissa. Sen yhdisteitä on myös käytetty lasin valmistuksessa, keramiikkateollisuudessa ja erilaisissa väriaineissa. (Mt.)

## **2.2 Kulkeutuminen ja pitoisuudet ympäristössä**

Raskasmetallit leviävät ympäristössä monia eri reittejä. Ne voivat kulkeutua esimerkiksi ilmassa pölyn mukana tai maan pinnalla ja maaperässä vesien välityksellä. Ympäristön raskasmetallit voivat siirtyä edelleen kasveihin ja sieniin. Raskasmetallien kulkeutuvuuteen ja ympäristöpitoisuuksiin vaikuttavat monet eri tekijät. Lisäksi ne poikkeavat toisistaan kulkeutuvuutensa perusteella. (Arresto & Pennanen 2015; Makkonen ym. 2013; Ranta 1999.)

### **2.2.1 Kulkeutuminen ympäristöön kaivostoiminnan vaikutuksesta**

Raskasmetallien esiintyminen ja määrä vaihtelee malmiesiintymittäin ja -tyypeittäin. Niitä esiintyy usein sulfidimineraaleissa, arsenideissa ja silikaattimineraaleissa. Keskeinen kaivostoiminnan ympäristöhuoli on se, että haitallisia alkuaineita tai yhdisteitä pääsee vesi- tai pölypäästöjen kautta vesiin tai maaperään, jossa ne aiheuttavat ympäristö- tai terveyshaittaa. Malmiesiintymän geologialla, arvoaineen pitoisuudella, koolla ja muodolla, haitallisten aineiden määrällä, louhinta- ja rikastusmenetelmillä, puhdistustekniikoilla sekä toiminnanharjoittajan asenteella ympäristöpäästöjen vähentämiseen on kuitenkin suuri vaikutus kaivostoiminnan päästöjen ja ympäristövaikutusten laatuun ja laajuuteen. (Itä-Suomen yliopisto 2015; Opasnet 2012.)

Merkittävin osa kaivostoiminnan päästöistä syntyy kaivoksen tuotantovaiheessa, yleensä rikastusprosessin aikana, ja niiden vaikutukset kohdistuvat kaivoksen lähialueille. Tuotantovaiheen ilmapäästöjä ovat esimerkiksi mineraalipöly (jauhautunutta malmia ja sen sivukiviä), räjähdyskaasut, pakokaasut ja prosessointikaasut, joita syntyy räjäytyksistä, malmin käsittelystä (murskaus, hienonnus, rikastus ja kuivaus), lämmöntuotannosta, kuljetuksista sekä kaivannaisjätteen läjittämisestä ja varastoinnista. Lähialueiden vesiin voi aiheutua kuormitusta kaivoksen kuivanapitovesistä, rikastusprosessista, kaivannaisjätteen varastoinnista, kaivospölyn leviämisestä tai maaperäpäästöistä. (Mt.)

Kaivostoiminnan tuotantovaiheessa muodostuvia kaivannaisjätteitä ovat sivukivi ja rikastushiekka. Sivukivet ovat malmiesiintymän taloudellisesti arvomineraalipitoisuudeltaan köyhiä kiviä, jotka on louhittu pois varsinaisen malmin saavuttamiseksi. Varastoiduista tai loppusijoitetuista sivukivikasoista saattaa aiheutua pöly- tai vesipäästöjä. Riskiä sivukivikasojen tuulieroosiolle ja pölyhaitoille lisäävät kasojen suuri korkeus, kiviaineksen rapautuminen ja päällyskasvillisuuden puute. Rikastushiekka on rikastusprosessissa syntyvää jätettä, jossa on hienoksi jauhautunutta malmi- ja sivukivimineraaleja sekä rikastuskemikaalien jäämiä. Tavallisesti rikastushiekka varastoidaan vesilietteenä altaaseen, joka on ympäröity padoilla. Rikastushiekka-alueista voi päästä päästöjä pinta- ja pohjavesiin jätevesijuoksutuksen tai vesien suotautumisen vaikutuksesta. (Opasnet 2012.)

Kaivoksen tuotannon päättyessä päästöjen määrä vähenee, mutta ympäristövaikutuksia voi ilmetä vielä pitkäänkin jälkihoitotoimenpiteistä riippumatta. Jäljelle jääneistä louhostiloista ja jälkihoidetuista kaivannaisjättekasoista voi kohdistua kuormitusta laajalle alueelle pinta- ja pohjavesiin esimerkiksi louhostilojen kaivosvesien ylivuotona tai valumavesien suotautuessa jätealtaan patojen tai pohjan läpi. Vesikuormituksen lisäksi sellaisista vanhoista kaivosalueista, joissa ei ole vielä edellytetty nykyänsäädännön mukaisia sulkemis- ja jälkihoitotoimia, voi aiheutua myös pölypäästöjä ympäristöön jälkihoitamattomilta alueilta tai peittämättömiltä rikastushiekkakentiltä. Avo-louhoksena toimineen kaivosalueen palautuminen ennalleen kestää pidempään kuin maanalaisen kaivoksen, koska se muuttaa luontoa huomattavasti enemmän. (Itä-Suomen yliopisto 2015; Opasnet 2012.)

Yleensä merkittävimmät ympäristöriskit liittyvät rapautumisherkkiin sulfidimalmiesiintymiin, joita ovat esimerkiksi kupari-, lyijy-, nikkeli- ja sinkkimalmiesiintymät. Ne hapettuvat altistuessaan ilmakehän hapelle ja vedelle ja niistä muodostuu happamia, metalleja, puolimetalleja ja sulfaattia sisältäviä vesiä, jotka voivat levitä ympäristöön. Sulfidimineraalien rapautuminen ja metallien vapautuminen on pienemmän raekoon vuoksi nopeampaa rikastushiekkassa kuin sivukivissä. Se nopeutuu etenkin, jos rikastushiekka säilötään kuivana. Tavallisesti oksidimineraalit, joita ovat esimerkiksi kromi ja vanadiinimalmit, ovat heikommin rapautuvia ja niiden kemialliset ympäristövaikutukset ovat vähäisempiä. (Opasnet 2012.)



### 2.2.2 Käyttäytyminen maaperässä

Raskasmetallien liikkuvuuteen ja sitoutumiseen maaperän eri kerroksissa vaikuttavat maaperän happamuus sekä hapetus- ja redox- eli pelkistymispotentiaali. Maaperässä raskasmetalleja liikuttaa maavesi, joten merkittävässä asemassa ovat maaperän koostumus, kerrostuneisuus, vedenläpäisevyys ja kemialliset olosuhteet. Maaveden kuljettaessa raskasmetalleja merkittäviä vaikuttavia tekijöitä ovat myös maaveden liikenopeus, saturaatio eli kyllästyminen mahdollisista aineista ja ionin koko. Raskasmetallien pidättymiseen maaperässä vaikuttavat maaperän aineisiin ja organismeihin sitoutuminen sekä mineraaleihin ja hydrokseihin saostuminen. Ilmastollisista olosuhteista taas esimerkiksi lämpötilalla ja sademäärällä on merkitystä niiden liikkuvuuden ja pidättäytymisen kannalta. (Rautiainen 2012.)

Fysikaalisia ilmiöitä, jotka vaikuttavat raskasmetallien liikkuvuuteen, ovat advektio, diffuusio, dispersio ja haihtuminen. Advektiossa raskasmetalli kulkeutuu maaveden virtauksen tai pintavalunnan mukana muiden partikkeleiden pinnalla tai orgaanisten kappaleiden rakenteissa yleensä kontaminoituneilta alueilta uusille alueille. Diffuusio vaikuttaa kontaminoituneen alueen sisällä ja reunavyöhykkeillä ja se kuljettaa ainetta suuremmasta pitoisuudesta kohti pienempää pitoisuutta. Dispersiossa advektiona kulkeutuvasta raskasmetallista diffusoituu ainetta ympäristöön, joka johtuu veden virtausnopeuden vaihtelusta ja mekaanisesta sekoittumisesta. Haihtumisessa raskasmetalli kaasuuntuu maaperän pintakerroksissa ja siihen vaikuttavat raskasmetallin ominaisuudet, maaveden raskasmetallipitoisuus sekä maaperän huokoisuus, kosteus ja lämpötila. Tärkeä kemiallinen ilmiö, joka aiheuttaa metallien kulkeutumista, on niiden kompleksinmuodostuskyky. (Mt.)

Raskasmetallien kivennäismaahan pidättäytymiseen vaikuttavat esimerkiksi maaperän fysikaaliset ominaisuudet (lajite- ja mineraalikoostumus jne.), partikkeleiden pinta-ala ja pinnan ominaisuudet, ioninvaihtokapasiteetti sekä kemialliset ominaisuudet (pH, hapetus- ja pelkistysolosuhteet jne.). Raskasmetallit voivat pidättäytyä kivennäismaahan adsorptiolla, absorptiolla, kompleksinmuodostuksella, kationinvaihdolla ja saostumalla. Myös humuskerroksella on merkittävä osuus raskasmetallien pidättäytymisessä. Raskasmetallien pidättäytymiseen kangasmailla ja turvemaileda vaikuttavat samat tekijät, mutta niiden käyttäytymisessä turvemaileda on joitakin merkittäviä erikoispiirteitä. Turvemaiden raskasmetallipitoisuudet korreloivat yleisesti kallioperän ja pohjamaan

pitoisuuksien kanssa, mutta hydrologiset olosuhteet vaikuttavat raskasmetallien liikkuvuuteen. (Mt.)

Raskasmetallien maaperässä kulkeutuvuudessa ja pidättäytymisessä on vaihtelua. Sinkki on herkästi maaperässä liikkuva raskasmetalli ja sen kulkeutuvuutta lisäävät happamat olosuhteet ja alumiinin liukoisuuden kasvu. Sinkin liukoisuutta ja liikkuvuutta taas pienentävät emäksiset ja voimakkaasti pelkistävät olosuhteet. Se sitoutuu maaperässä orgaaniseen ainekseen, alumiini-, mangaani- ja rautaoksidisaostumiin sekä savimineraaleihin. Antimoni voi olla hyvin kulkeutuvaa maaperässä happamissa ja hapettavissa olosuhteissa. Sitä sitovat maaperän alumiini- ja rautahydroksidioksidit, fosfaatit ja humus. Arseenikin voi olla helposti liikkuvaa etenkin karkearakeisissa maalajeissa. Se voi olla liukoisessa muodossa sekä hapettavissa että pelkistävässä oloissa. Tavallisesti arseeni sitoutuu oksideihin, orgaaniseen ainekseen ja savimineraaleihin ja sitoutuminen tehostuu pH:n laskiessa. (Arresto & Pennanen 2015; Reinikainen 2007.)

Kadmium kulkeutuu maaperässä suhteellisen helposti. Sen liikkuvuutta lisäävät maaperän happamuus sekä orgaanisen aineen ja metalleja sitovien saostumien vähäisyys. Kadmium liikkuu helpoiten pH:ssa 4,5–5,5 ja on lähes liikkumatonta pH:n ollessa yli 7,5. Se sitoutuu rautaoksideihin, orgaanisiin yhdisteisiin ja saveen. Nikkeli on liikkuvaa happamissa ja hapettavissa olosuhteissa. Happamissa ja pelkistävässä olosuhteissa se voi saostua nikkelisulfidina ja emäksisissä olosuhteissa rautayhdisteiden kanssa. Nikkeliä pidättyy orgaaniseen ainekseen sekä savi- ja oksidimineraaleihin. Vastaavasti vanadiini on hapettavissa ja happamissa oloissa kohtalaisen liikkuvaa. Toisaalta se on liikkuvaa myös emäksisissä oloissa. Pelkistävässä oloissa vanadiini on erittäin heikosti liikkuva ja sitä sitoutuu orgaaniseen ainekseen, rautaoksideihin ja saviin. Molybdeeni taas on liukoisempi emäksisissä olosuhteissa kuin happamissa. (Arresto & Pennanen 2015; Cadmium 2015; Molybdenum 2015; Nickel 2015; Reinikainen 2007.)

Seleeni on melko liikkumaton maaperässä, mutta maaperän happipitoisuus ja happamuus lisäävät sen liikkuvuutta jonkin verran. Seleenin kulkeutumisen nopeuteen vaikuttavat myös vesiliukoisen seleenin pitoisuus, lämpötila, kosteus, orgaanisen aineksen määrä ja mikrobiologinen aktiivisuus. Kupaarikaan ei ole erityisen liikkuva metalli maaperässä, mutta maaperän happamuus lisää sen kulkeutuvuutta. Se muodostaa niukkaliukoisia yhdisteitä ja sitoutuu voimakkaasti esimerkiksi orgaaniseen ainekseen,

saviin, rauta- ja mangaanioksideihin sekä amorfisiin raudan ja alumiinin hydrokseihin. Vastaavasti lyijynkin kulkeutuvuus maaperässä on yleensä heikkoa. Se sitoutuu orgaaniseen ainekseen, saviin ja rautasaostumiin. Lyijyn liukoisuutta parantavat kompleksoituminen liukosiin yhdisteisiin sekä hapettavat ja happamat olosuhteet. (Arresto & Pennanen 2015; Copper 2015; Reinikainen 2007; Selenium 2015.)

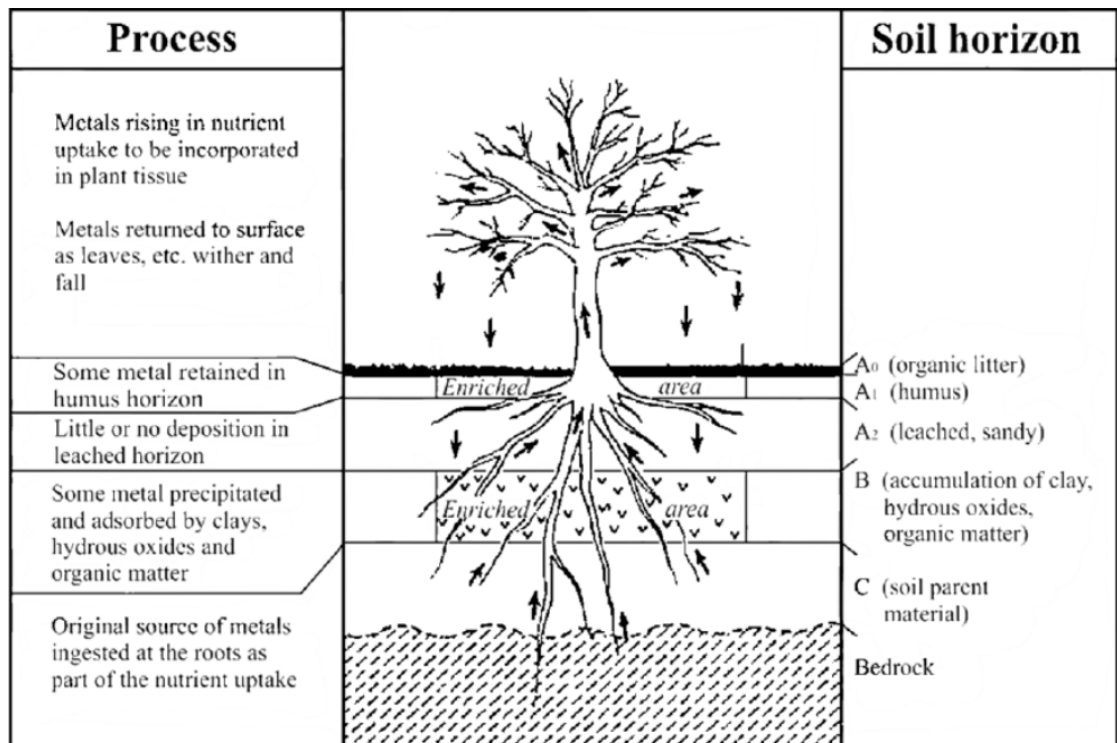
Elohopea on niukkaliukoinen, mutta voi muodostaa joitakin liukoisia epäorgaanisia yhdisteitä. Se pidättäytyy helposti orgaaniseen ainekseen, hienojakoiseen saveen sekä mangaani- ja rautahiukkasiin. Kromi on maaperässä tiukasti sitoutuneena partikkeleihin ja vain hyvin pieni osa on liukoisessa muodossa. Se sitoutuu humukseen, saveen ja rautaoksideihin. Maaperän pH:n ollessa yli 5,5 kolmenarvoinen kromi saostuu hydroksideina. Kromin liukoisuus kasvaa pH:n pienentyessä ja tutkimusten mukaan kuudenarvoinen kromi on kolmenarvoista kromia helpommin kulkeutuva. Tina on liukenematon ja vastustaa rapautumista voimakkaasti. (Arresto & Pennanen 2015; Chromium 2015; Reinikainen 2007; Tin 2015.) Taulukossa 1 on esitetty joidenkin maaperän yleisten raskasmetallien luontaisia pitoisuuksia maaperässä kuiva-ainetta kohden.

**TAULUKKO 1. Eräiden raskasmetallien luontaisia pitoisuuksia maaperässä (Reinikainen 2007)**

Aine	Pitoisuus (mg/kg)	Vaihteluväli (mg/kg)
As	1	0,1–25
Cd	0,03	0,01–0,15
Cr	31	6–170
Cu	22	5–110
Hg	0,005	<0,005–0,05
Ni	17	3–100
Pb	5	0,1–5
Sb	0,02	0,01–0,2
V	38	10–115
Zn	31	8–110

### 2.2.3 Kertyminen kasveihin

Kasvit saavat raskasmetalleja ilman tai maaperän kautta pölyn tai veden välityksellä. Ne kulkeutuvat kasveihin joko kationinvaihtoperiaatteella aktiivisesti tai diffuusion avulla passiivisesti. Kuvassa 1 on esitetty maaperän ja kasvillisuuden välinen biokemiallinen sykli. Raskasmetallit nousevat maaperästä kasviin ravinteidenoton yhteydessä ja palaavat taas maahan lehtien ja muiden kasvinosien pudotessa. Raskasmetalleja pääsee kasvien juuristoon maaperän eri kerroksista, joita ovat karikkekerros ( $A_0$ ), humuskerros ( $A_1$ ), uuttumiskerros ( $A_2$ ), rikastumiskerros (B), muuttumaton pohjakerros (C) ja peruskallio. (Arresto & Pennanen 2015; Rautiainen 2012.)



**KUVA 1. Maaperän ja kasvillisuuden välinen biokemiallinen sykli (Arresto & Pennanen 2015)**

Raskasmetallien kulkeutuminen kasveihin riippuu suuresti niiden liukoisuudesta ja useimmiten metallien rikastuminen kasveihin kasvaa ympäristön pH:n pienentyessä. Arseeni, elohopea, kromi, lyijy ja nikkeli eivät kulkeudu helposti kasveihin, vaikka niiden pitoisuudet maaperässä olisivat korkeita. Pääosa kasvien sisältämästä elohopeasta, kromista ja lyijystä on ilmalaskeumana niiden lehtien pinnoilla tai ainakin elohopean ja lyijyn tapauksessa myös niiden juuristossa. Kadmium, kupari ja sinkki taas kulkeutuvat kasveihin verrattain helposti. Kasvien kadmiumin- ja sinkinoton on arvi-

oitu usein olevan suoraan verrannollisia maaperän kadmium- ja sinkkipitoisuuksiin. Lisäksi on tutkittu, että maaperän korkea sinkkipitoisuus vähentää kasvin kadmiuminottoa. Raskasmetallipitoisuudet voivat vaihdella myös vuodenajan ja saateisuuden mukaan. Yleensä kasveissa on korkeimmat raskasmetallipitoisuudet keväällä kasvien aktiivisimman kasvun aikana. (Arresto & Pennanen 2015; Chromium 2015; Euroola 1996; Järvinen 2003; Nickel 2015; Ranta 1999; Tuominen 1997.)

Kasvien metallipitoisuudet vaihtelevat kasvilajeista ja jopa kasvilajikkeista riippuen. Ensinnäkin eri kasveilla juuret ulottuvat maaperässä eri syvyyksille, jolloin metallin lähde voi olla eri. Sellaiset kasvit, joiden juuret yltävät vain lähelle maanpintaa, ottavat metalleja enemmän sadevedestä ja ilmakehän osuus on tällöin suurempi kuin syvemmälle maaperään ulottuvilla kasveilla. Toiseksi, metallit rikastuvat eri kasveissa eri kasvinosiin. Toiset keräävät raskasmetalleja esimerkiksi juuriin ja toiset lehtiin. Kolmanneksi, eri kasvit ottavat eri määrän metalleja maasta, koska kasvien ravinnetarpeet vaihtelevat lajien välillä. Hyperakkumulaattoreiksi kutsutut kasvit ottavat jopa satoja kertoja enemmän metalleja maasta kuin kasvit yleensä. Neljänneksi, useilla kasveilla on raskasmetallien ottoa ja liikkuvuutta rajoittavia tekijöitä juuristossaan, joka on etu esimerkiksi raskasmetalleilla kontaminoituneessa maaperässä. (Arresto & Pennanen 2015; Ranta 1999; Rautiainen 2012.)

Kanervakasveihin, kuten mustikkaan ja puolukkaan, kertyy raskasmetalleja useimmiten vain vähän ja hitaasti niiden fysiologisten ja ekologisten erityispiirteiden ansiosta. Kuitenkin jo pitkään voimakkaasti saastuneilla alueilla raskasmetalleja kertyy lähinnä maaperän kautta marjoihin. (Tuominen 1997.) Taulukossa 2 on esitetty mustikan ja puolukan marjojen raskasmetallipitoisuuksia kuiva-ainetta kohti eri tutkimuksissa. Sininen väri tarkoittaa mustikkanäytettä ja punainen puolukanäytettä. Tulokset osoittavat ainakin kadmiumin, kromin, kuparin ja nikkelin osalta, että kuormitetuilta alueilta (Loviisa, Kuolan niemimaa ja Harjavallan tehdasalue) kerättyjen marjojen raskasmetallipitoisuudet ovat suurempia kuin kuormittamattomilla alueilla (Lappi ja ruokakoritutkimus). Lisäksi näyttäisi siltä, että verrattaessa mustikan ja puolukan marjojen raskasmetallipitoisuuksia lajien välisesti, ero ei ole merkittävä.

**TAULUKKO 2. Mustikan ja puolukan raskasmetallipitoisuuksia (Arresto & Pennanen 2015; Tuominen 1997)**

Alue (vuosi)	Aine (mg/kg)							
	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Sb	Se
Loviisa, metallisuoni (2011)	2,2	2,5	1,6	273,6	25	17,4	0,1	<1
Lappi (1990)		0,02 0,01	0,24 0,08	6,96 6,23	0,90 0,55			
Kuolan niemimaa (1990)		0,02	0,09	11,06	7,07			
Harjavallan tehdasalue (1984)				10,0 20,0				
Suomi, ruokakori (1976)		0,017 0,02	0,84 0,07	6,58 4,89	0,84 0,34			

Sammalilla ei ole juuria vaan ne ottavat aineita lähinnä ilman kautta sadevedestä ja hiukkasista. Tästä syystä sammalten sisältämät raskasmetallit kuvastavat pääasiassa ilmalaskeuman kautta tulevaa kuormitusta eikä maaperän. Sammalten raskasmetallien ottotehokkuus kuitenkin riippuu muun muassa niiden rakenteesta ja laskeuman laadusta, joten raskasmetalleja ei kerry niihin laskeuman kanssa samassa suhteessa. Kuitenkin ne heijastelevat raskasmetallilaskeumaa ja antavat siitä suhteellisen kuvan. Lisäksi humuksen raskasmetallipitoisuuksien on todettu korreloivan sammalien raskasmetallipitoisuuksien kanssa ainakin kadmiumin, kromin, kuparin, nikkelin, lyijyn ja sinkin osalta. (Arresto & Pennanen 2015; Poikolainen & Rautio 2012; Rautiainen 2012.)

Taulukossa 3 on esitetty Suomen keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet kuivaainetta kohti viiden vuoden välein vuosina 1985–2010. Vuonna 2010 Pohjois-Karjalassa keskimääräiset seinäsammalten raskasmetallipitoisuudet olivat seuraavat: arseeni 0,16 mg/kg, kadmium 0,16 mg/kg, kromi 1,7 mg/kg, kupari 5,2 mg/kg, lyijy 1,9 mg/kg, nikkeli 2,5 mg/kg, sinkki 38 mg/kg ja vanadiini 1,6 mg/kg (Arresto & Pennanen 2015).

**TAULUKKO 3. Sammalten keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet Suomessa (Sammalten raskasmetallipitoisuuksista...2013)**

Vuosi	Aine (mg/kg)								
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
1985	-	0,37	1,49	5,99	-	2,24	15,50	4,76	38,10
1990	-	0,28	1,59	5,98	-	1,97	10,20	3,48	36,50
1995	0,26	0,18	1,54	5,28	0,053	1,94	6,22	2,39	38,40
2000	0,19	0,12	1,25	3,96	0,048	1,83	3,37	1,45	28,80
2005	0,12	0,15	1,13	4,11	0,044	1,87	2,96	1,43	32,92
2010	0,11	0,12	0,97	5,03	0,042	2,51	2,05	1,09	31,01

#### 2.2.4 Kertyminen sieniin

Raskasmetallit voivat akkumuloitua sieniin suoraan ilmasta ilmakehän saasteiden mukana tai sienirihmaston kautta, joka kerää raskasmetalleja maaperästä. Raskasmetalleista esimerkiksi arseenin, kadmiumin ja nikkelin pääreitti sieneen on rihmaston kautta ja esimerkiksi lyijy taas absorboituu pääasiassa ilman kautta. Sienten laaja rihmasto ja nopea kasvuvauhti mahdollistavat niiden tehokkaan raskasaineiden oton kasvualustasta. Muita tekijöitä, joilla on vaikutusta sienten ainepitoisuuksiin, ovat sienen kasvuvaihe ja proteiinisäältö, ympäristön raskasmetallipitoisuudet ja maaperän pH. Happamissa oloissa raskasmetallit ovat yleensä liukoisempia ja helpommin myös sienten saatavilla. Tavallisia sieniin rikastuvia raskasmetalleja ovat elohopea, kadmium, seleni, kupari ja sinkki, joista kaksi viimeistä ovat välttämättömiä hivenaineita sienille. (Arresto & Pennanen 2015; Eurola 1996; Pelkonen ym. 2006.)

Sienet keräävät tiettyjä raskasmetalleja paljon suurempia pitoisuuksia kuin kasvit. Erityisesti arseeni-, kadmium- ja lyijypitoisuudet ovat yleensä korkeampia kuin vihreissä kasveissa. Lisäksi sienten on todettu keräävän raskasmetalleja valikoivammin kuin kasvien, joiden konsentraatiot tyypillisesti korreloivat paremmin maaperän ainepitoisuuksien kanssa. Joidenkin sienilajien on todettu sisältävän korkeita raskasmetallipitoisuuksia (esim. elohopeaa) jopa sellaisilla alueilla, joilla ei ole merkittäviä saastutuslähteitä ja maaperän pitoisuudet ovat pieniä. Tämä johtunee raskasmetallien ja hivenaineiden samanlaisesta kulkeutumisesta sieneen, jolloin raskasmetallit voivat korvata tärkeitä hivenaineita. (Eurola 1996; Pelkonen ym. 2006.)

Ympäristön vaikutusta sienten raskasmetallipitoisuuksiin on tutkittu esimerkiksi erilaisten kallioperien ja kuormituslähteiden alueilla. Nikkasen ja Mertasen (2004) tutkimuksessa tutkittiin kahdelta geokemiallisesti erilaiselta alueelta, Itä-Suomen metallisulfidivyöhykkeeltä ja Keski-Suomen granitoidikompleksialueelta (matalat metallipitoisuudet), kerättyjä sieniä. Metallipitoisemman alueen sienissä havaittiin suurempia pitoisuuksia arseenia, kuparia, lyijyä, nikkeliä ja sinkkiä. Kuormituslähteiden vaikutusta on tutkittu laajasti esimerkiksi kaupunki-, tie-, teollisuus- ja kaivosalueilla. Sienten raskasmetallipitoisuudet voivat olla tausta-alueisiin verrattuna moninkertaisia kuormitetuilla alueilla ja tutkijat eivät yleensä suosittele sienten keräämistä kuormituslähteiden läheltä. (Arresto & Pennanen 2015; Nikkarinen & Mertanen 2004.) Taulukossa 4 on esitetty joidenkin raskasmetallien pitoisuuksia ruokasienissä kuiva-ainetta kohti kuormitetuilla alueilla.

**TAULUKKO 4. Ruokasienten raskasmetallipitoisuuksia kuormitetuilla alueilla (Eurola 1996; Makkonen ym. 2013)**

Aine	Kuormituslähde (pitoisuus mg/kg)					
	Kaivos- alue	Lyijy- teollisuus	Lyijy- sulatto	Kloorialkali- teollisuus	Helsingin kaupunki	Mikkelin kaupunki
<b>As</b>	0,059–2,74					
<b>Cd</b>	0,060–15,8	<0,2–56	1,6–29		1,52±0,88	0,3–5,4
<b>Cr</b>	<0,05–12,2					
<b>Cu</b>	8,15–222					
<b>Hg</b>		<0,1–2	0,3–12	1,4–100,2	0,01–1,3	<0,02–200
<b>Mo</b>	<0,02–1,05					
<b>Ni</b>	0,355–9,02					
<b>Pb</b>	<0,05–2,78	<0,5–300	2,3–176		5,8±1,7	<0,5–2,8
<b>Sb</b>	<0,05–86,2					
<b>Se</b>	0,05–46,3					
<b>V</b>	<0,1–0,191					
<b>Zn</b>	47,9–184					
Tutkimus	Makkonen ym. 2013	Liukko- nen-Lilja ym. 1983	Kalac ym. 1991	Rauter 1975	Laaksovirta & Alakuijala 1978	Lodeni- us ym. 1981



Sienen eri osilla on erilaiset kyvyt akkumuloida raskasmetalleja. Monien aineiden, kuten elohopean, kadmiumin, seleenin ja sinkin pitoisuudet ovat runsaampia lakissa kuin jalassa. Korkeimmat pitoisuudet kertyvät kuitenkin sienten itiöitä muodostaviin osiin eli helttoihin ja pillikkeisiin. Raskasmetallien kertyvyyttä sienten eri osiin on tutkittu esimerkiksi herkkutatilla. Niissä kadmiumpitoisuudet ovat korkeammat nimenaan lakissa eikä jalassa, mutta vielä huomattavasti korkeammat itiölavassa. Myös arseenin, lyijyn ja nikkelin pitoisuudet olivat jonkin verran korkeammat lakissa kuin jalassa ja pitoisuudet olivat hieman näitä runsaammat itiölavassa. (Arresto & Pennanen 2015; Eurola 1996; Pelkonen ym. 2006.)

Sienten raskasmetallien ottokyky on myös perinnöllisesti määräytynyt. Yleiset suomalaiset ruokasienet jakautuvat pääasiassa kahteen ekologiseen ryhmään, lahottaja- ja mykorritsasieniin. Mykorritsasienet voivat muodostaa symbioosisuhteita ja ottaa ravinteita syvemältä kuin lahottajasienet, jotka tyypillisesti ottavat aineita ilmapäästöjä sisältävästä maaperän pintakerroksesta. Lahottajasienten raskasmetallipitoisuudet, etenkin elohopea-, kadmium- ja lyijypitoisuudet, ovat usein korkeampia kuin mykorritsasienten. (Mt.)

Lisäksi raskasmetallien ottokyvyssä on suuria vaihteluita sienilajien välillä. Esimerkiksi elohopeaa runsaasti rikastavia lajeja on herkkusienten, herkkutatien ja tuhkeloiden suvuissa, kun taas pienempiä pitoisuuksia löytyy haperoista, rouskuista ja kantarelleista. Kadmiumia runsaasti kerääviä lajeja on taas etenkin haperoiden, herkkusienten, herku- eli kivitattien, mustesienien, tuhkeloiden ja ukonsienten suvuissa. Syötävistä sienilajeista herkkutatien, kangastatin ja korvasienen on todettu tehokkaimmin keräävän kadmiumia. Toisaalta taas esimerkiksi kromi- ja lyijypitoisuudet vaihtelevat vähemmän lajista riippuen. (Arresto & Pennanen 2015; Eurola 1996; Makkonen ym. 2013; Pelkonen ym. 2006.) Liitteessä 1 on esitelty eri tutkimuksien tuloksia joidenkin ruokasienten raskasmetallipitoisuuksista kuiva-ainetta kohden Suomessa.

### **2.2.5 Biokertyvyyskertoimet**

Maaperäeliöiden kykyä kerätä aineita maaperästä kuvataan yksiköttömillä biokonsentraatio- ja bioakkumulaatiokertoimilla, joiden avulla pystytään arvioimaan eliöiden metallipitoisuuksia tunnettaessa pintamaan pitoisuudet. Biokonsentraatiokertoimella (BCF) kuvataan humuksen helpoliukoiseen metallipitoisuuteen perustuvaa kerrointa,

joka edustaa saatavilla olevan huokosveden ainepitoisuutta. Bioakkumulaatiokertoimella (BAF) taas kuvataan pintamaan kokonaismetallipitoisuuden perustuvaa kerrontaa, vaikka eliöt eivät siihen suoraan reagoisikaan ja myös muiden reittien kautta altistuminen on mahdollista. (Makkonen ym. 2013.)

Kertoimen ollessa yli yhden alkuaineen katsotaan olevan kertyvää ja ei-kertyvää, jos se on alle yksi. Alkuaineiden kertyminen eliöihin ei ole yleensä lineaarista humuksen metallipitoisuuksien kanssa. Pienissä humuksen pitoisuuksissa alkuaineet kertyvät tehokkaammin kasveihin ja sieniin ja kertyvyys vähenee rajusti maaperän pitoisuuden kasvaessa. Monien metallien biokertyvyyskertoimet voivat olla myös pieniä, vaikka itse eliön metallipitoisuus olisi korkea. (Mt.)

Eri alkuaineiden biokertyvyyksissä on myös lajikohtaisia eroja. Taulukossa 5 on esitetty Luikonlahden kaivosalueen sienten keskimääräisiä bioakkumulaatiokertoimia ja niiden vaihteluvälejä. Tulosten perusteella kaivostoimintaan liittyvistä raskasmetalleista kadmium ja sinkki kertyivät maaperästä sieniin tehokkaimmin. Arseenin, kromin, lyijyn ja nikkelin bioakkumulaatiokertoimet olivat taas reippaasti alle yhden eliön eivät kertyneet maaperästä sieniin merkittävästi. Myöskään kuparin kertyminen maaperästä sieniin ei ollut keskimääräisesti merkittävää vaikkakin myös yli yhden olevia kertoimia määritettiin. (Mt.)

**TAULUKKO 5. Sienten BAF-kertoimia ja vaihteluvälejä (Makkonen ym. 2013)**

<b>Aine</b>	<b>Tatit</b>	<b>Rouskut</b>	<b>Keltavahvero</b>
<b>As</b>	0,068 0,008–0,396	0,096 0,006–0,261	0,033 0,012–0,061
<b>Cd</b>	5,1 0,335–21,3	0,608 0,15–2,8	0,34 0,115–0,45
<b>Cr</b>	0,01 0,0003–0,123	0,006 0,0005–0,014	0,016 0,003–0,044
<b>Cu</b>	0,621 0,051–2,36	0,25 0,025–0,847	0,64 0,248–1,29
<b>Mo</b>	0,278 0,003–1,3	0,1 0,007–0,485	0,19 0,047–0,343
<b>Ni</b>	0,031 0,003–0,127	0,035 0,005–0,104	0,04 0,022–0,074

<b>Pb</b>	0,005 0,0004–0,056	0,008 0,001–0,03	0,037 0,001–0,141
<b>Se</b>	23,4 0,564–149	1,51 0,071–3,9	0,591 0,277–0,88
<b>Zn</b>	1,32 0,145–3,76	1,14 0,482–2,09	0,885 0,77–1,05

### 2.3 Terveysvaikutukset

Jotkin raskasmetallit ovat pieninä pitoisuuksina välttämättömiä hivenaineita ihmiselle, joita tarvitaan erilaisiin biokemiallisiin ja fysiologisiin toimintoihin. Näitä ovat esimerkiksi arseeni, kromi, kupari, molybdeeni, nikkeli, seleeni, sinkki, tina ja vanadiini. Joillakin raskasmetalleilla on kuitenkin erittäin kapea pitoisuusalue hyödyllisten ja myrkyllisten vaikutusten välillä ja osalla ei ole ollenkaan hyödyllisiä vaikutuksia ihmisen elintoimintoihin. Siksi niille on säädetty erilaisia saantisuosituksia. (Tchounwou ym. 2014.)

#### 2.3.1 Terveysriskit

Raskasmetallien aiheuttamiin myrkytyksiin ja karsinogeenisuuteen liittyy monia mekanismeja, joista kaikista ei olla vielä selvillä tai ymmärretä niitä. Kuitenkin jokaisella metallilla tiedetään olevan ainutlaatuisia ja fysikaaliskemiallisia ominaisuuksia, jotka antavat niille niiden tietyt toksikologiset toimintatavat. Joillakin raskasmetalleilla tiedetään olevan vakavia toksikologisia vaikutuksia ihmisten terveydelle jopa hyvin pienillä pitoisuuksilla (muutama  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Yleensä niiden terveysvaikutukset tulevat esiin pitkäaikaisessa altistuksessa, mutta myös akuutteja oireita voi esiintyä korkeille raskasmetallipitoisuuksille altistuessa. (Pelkonen ym. 2006; Tchounwou ym. 2014.)

Pidemmän aikaa altistuminen verrattain korkeille antimonin pitoisuuksille ( $9 \text{ mg}/\text{m}^3$  ilmaa) voi aiheuttaa ärsytystä silmissä, ihosta ja keuhkoissa. Altistumisen jatkuessa vakavampia terveyshaittoja, kuten keuhkotauteja, sydänongelmia, ripulia, voimakasta oksentelua ja vatsahaavaumia, voi ilmetä. Antimonin ei tiedetä yksinään aiheuttavan syöpää tai lisääntymishäiriöitä, mutta tupakoivilla se voi nostaa keuhko- ja ihosyöpäriskiä. (Antimony 2015; National Organization for Rare Disorders 2006.)

Arseeni on yksi kaikkein myrkyllisimmistä alkuaineista mitä on olemassa, vaikka se saattaa olla myös tärkeä hivenaine ihmiselle. Riippuen sen esiintymismuodosta sekä altistusajasta ja -määrästä, se voi aiheuttaa muun muassa päänsärkyä, uneliaisuutta, sekavuutta, lihaskipua ja -kouristuksia, kuumetta, keuhkojen ärsytystä, vatsakipuja, pahoinvointia, ripulia, ihomuutoksia, sydänongelmia, pienentyttä veren puna- ja valkosolutuotantoa sekä aivovaurioita. Epäorgaanisen arseenin on todettu olevan orgaanista arseenia myrkyllisempää kerääntyen maksaan, pernaan, munuaisiin, keuhkoihin ja sisäelimiin. On ehdotettu, että altistuminen huomattaville epäorgaanisen arseenin pitoisuuksille voi tehostaa syövän, varsinkin iho-, keuhko-, maksa- ja imusolmukesyövän, kehittymistä. Hyvin korkeat pitoisuudet epäorgaanista arseenia voivat aiheuttaa myös lapsettomuutta, keskenmenoja ja DNA:n vahingoittumista. (Arsenic 2015; National Organization for Rare Disorders 2006.)

Elohopea on ihmiselle myrkyllinen alkuaine kaikissa esiintymismuodoissaan, mutta erityisesti sen hapettuneet muodot ovat erittäin myrkyllisiä. Se voi vaikuttaa keuhkoihin, munuaisiin, aivoihin, keskushermostoon ja ihoon. Yleensä epäorgaaniselle elohopealle altistuminen aiheuttaa munuaisvaurioita, kun taas orgaaninen metyylielohopea vaikuttaa pääasiassa keskushermostoon. Riippuen sen esiintymismuodosta sekä altistusajasta ja -määrästä, se voi aiheuttaa muun muassa uupumusta, masennusta, ärtyneisyyttä, äkkipikaisuutta, päänsärkyä, keskittymisen puutetta, muistinmenetystä, hengitystieoireita, ihomuutoksia, näkö- ja kuulo-ongelmia, vatsa- ja sisäelinhäiriöitä, veristä ripulia, lihaksiston koordinaatio-ongelmia, munuaisvaurioita, lisääntymisongelmia sekä DNA- ja kromosomivaurioita. (Elohopea (Hg) 2013; Euroala 1996; Järvinen 2003; National Organization for Rare Disorders 2006; Mercury 2015.)

Kadmium on myrkyllistä ihmisille jo suhteellisen pienissä pitoisuuksissa. Se kertyy ensisijaisesti maksan kautta munuaisiin, josta sen poistuminen kestää hyvin kauan. Riippuen sen altistusajasta ja -määrästä, se voi aiheuttaa muun muassa uupumista, päänsärkyä, pahoinvointia, oksentelua, vatsakrampeja, ripulia, kuumetta, epätavallisen nopeaa sykettä, anemiaa, hengityselinvaurioita, luuston haurastumista, munuaisten toimintahäiriöitä, keskushermostovaurioita, immuunijärjestelmän vaurioita sekä lisääntymisongelmia. Se on myös mutageeninen ja karsinogeeninen. Yleensä akuutit myrkytysoireet ilmenevät vasta muutaman milligramman pitoisuuksissa painokiloa kohden, jollaista annosta ei voi normaalin ruoan mukana saada. (Cadmium 2015;

Kadmium (Cd) 2013; National Organization for Rare Disorders 2006; Pelkonen ym. 2006; Reinikainen 2007.)

Kromin terveyshaitat riippuvat sen hapetusasteesta. Kolmenarvoinen kromi on pieninä pitoisuuksina ihmisille tärkeä hivenaine. Suurina pitoisuuksina se kuitenkin aiheuttaa terveysongelmia, kuten ihottumaa. Erityisesti kuudenarvoinen kromi taas on ihmisille vaarallinen aine, joka vaikuttaa lähinnä hengitysteiden kautta. Hengitettäessä se voi aiheuttaa haavaumia ja reikiä limakalvoille nenän väliseinässä, ärsytystä nielussa ja kurkunpäässä, astmaattista keuhkoputkentulehdusta sekä ilmatiehyiden ahtaumaa ja turvotusta. Muita kuuden arvoisen kromin terveysvaikutuksia ovat: ihottuma, mahaki-pu ja vatsahaava, hengitysongelmat, heikentynyt immuunijärjestelmä, munuais- ja maksavauriot, DNA-muutokset ja keuhkosityöpä. (Chromium 2015; Kromi (Cr) 2013; National Organization for Rare Disorders 2006.)

Vaikka kupari on välttämätön hivenaine ja ihmiset voivat kestää suhteellisen korkeita kuparipitoisuuksia, liiallinen kuparin määrä voi aiheuttaa huomattavia terveysvaiku-tuksia. Pitkäaikainen altistuminen kuparille voi aiheuttaa ärtymystä nenässä, suussa ja silmissä sekä aiheuttaa päänsärkyä, vatsakipua, huimausta, oksentelua ja ripulointia. Erittäin korkea ja pitkäaikainen kuparin saanti voi aiheuttaa myös maksa- ja munuais-vaurioita sekä Wilsonin tautia, jonka oireita ovat maksakirroosi, aivovauriot, munuais-ten vajaatoiminta ja kuparin kerrostuminen sarveiskalvolle. Lisäksi eräiden tutkimus-ten mukaan pitkäaikaisen ja määrällisesti suuren kuparialtistuksen ja heikentyneen älykkyyden välillä olisi yhteyttä. Kuparin karsinogeenisuutta ei ole vielä määritetty. (Copper 2015.)

Lyijy on yksi vahingollisimmista metalleista ihmisen terveydelle. Se kertyy maksaan, munuaisiin, luihin ja hampaisiin ja sen terveydelliset haittavaikutukset kohdistuvat etenkin aivoihin, keskushermostoon, luustoon ja munuaisiin. Lyijymyrkytyksen vaiku-tukset vaihtelevat riippuen altistuvan yksilön iästä ja altistumisen määrästä. Se voi vaikuttaa vakavasti jo sikiöön istukan kautta. Lyijyn yliannostus voi aiheuttaa esimer-kiksi päänsärkyä, uupumusta, oksentelua, vatsakipua, ummetusta, anoreksiaa, anemi-aa, kouristuksia, tajunnan tason muutoksia, koordinaatio-ongelmia, velttoutta, oppi-mishäiriöitä, muistihäiriötä, käytöshäiriöitä, hedelmällisyshäiriötä, munuaissairauksia sekä aivovaurioita. Joissain tapauksissa oireet voivat olla hengenvaarallisia. Lisäksi

jotkin lyijy-yhdisteet voivat olla karsinogeenisia. (Lead 2015; Lyijy (Pb) 2013; National Organization for Rare Disorders 2006; Pelkonen ym. 2006.)

Molybdeeni on tärkeä aine kaikkien eliöiden elintoiminnoille. Kuten muillekin hivenaineille, se mikä on tärkeää pieninä pitoisuuksina voi olla hyvin myrkyllistä korkeampina annoksina. Joitain todisteita molybdeenin aiheuttamista maksan toimintahäiriöistä bilirubiinin kanssa on esitetty liittyen työmiesten krooniseen altistumiseen Neuvostoliittolaisessa molybdeeni-kuparilaitoksessa. Lisäksi merkkejä kihdistä on löydetty tehdastyöläisistä ja asukkaista Armenian molybdeenirikkailla alueilla. Pääpiirteitä olivat muun muassa nivelkivut polvissa, käsissä ja jaloissa, nivelten sijoiltaan meneminen sekä monimuotoinen punavihoittuma -ihosairaus. (Molybdenum 2015.)

Pienet nikkelpitoisuudet ovat välttämättömiä ihmisen elintoiminnoille, mutta liian korkea saanti voi aiheuttaa vaaraa terveydelle. Kaasumainen nikkeli on jo pieninä annoksina hengenvaarallista. Riippuen nikkelin esiintymismuodosta sekä altistusajasta ja -määrästä, se voi aiheuttaa muun muassa huimausta, keuhkoveritulppia, hengitysteiden vaurioitumista, astmaa, kroonista keuhkoputkentulehdusta, sydänongelmia sekä keuhko-, nenä-, kurkunpää- ja eturauhassyöpää. Altistuminen nikkelille ja sen yhdisteille voi herkillä henkilöillä aiheuttaa myös pysyvän ihotulehduksen kehittymisen, joka tunnetaan nikkelikutinana. (Nickel 2015; Nikkeli (Ni) 2013.)

Seleeni on ihmiselle hivenaine, mutta liian korkeat pitoisuudet aiheuttavat terveysongelmia. Seleenin eri muotojen terveysvaikutukset voivat vaihdella haurastuneista hiuksista ja epämuodostuneista kynsistä haavaumiin, ihon turvotukseen ja ääreishermoston vaurioihin. Sen silmiin joutuminen aiheuttaa silmien polttelua, ärtymistä ja vuotoa. Seleenihöyryjen yliannostus voi aiheuttaa nesteen kerääntymistä keuhkoihin, keuhkoputkentulehdusta, keuhkokuumetta, astmaa, pahoinvointia, kylmiä väreitä, kuumetta, päänsärkyä, hengitysteiden ärsytystä, oksentelua, vatsakipua, ripulointia ja maksan laajentumista. (National Organization for Rare Disorders 2006; Selenium 2015.)

Vaikka sinkki on tärkeä hivenaine ja ihminen voi kestää sen suhteellisen korkeita pitoisuuksia, liian suuri altistus voi aiheuttaa huomattavia terveysongelmia. Se aiheuttaa esimerkiksi ihon ärtymystä, vatsakrampeja, oksentelua, pahoinvointia ja anemiaa. Hyvin suuret määrät sinkkiä voi myös vahingoittaa haimaa, häiritä proteiiniaineen-

vaihdunnaa, aiheuttaa valtimonkovettumatautia sekä maksan toimintahäiriöitä. Mittava altistuminen sinkkikloridille aiheuttaa hengityshäiriöitä. Sinkki voi lisäksi olla vaarallinen syntymättömille ja vastasyntyneille lapsille. Äitien altistuessa korkeille sinkkimäärille, lapsi voi altistua sille veren tai maidon kautta. (Sinkki (Zn) 2013; Zinc 2015.)

Pienet tinapitoisuudet ovat välttämättömiä ihmisen elintoiminnoille, mutta liian korkea saanti voi aiheuttaa vaaraa terveydelle. Orgaaniset tinayhdisteet ovat kaikkein vaarallisimpia tinamuotoja ihmiselle. Tinayhdisteiden saanti voi aiheuttaa sekä akuutteja että pitkäkestoisia vaikutuksia. Akuutteja vaikutuksia ovat silmien ja ihon ärsytys, päänsärky, vatsakipu, pahoinvointi, huimaus, voimakas hikoilu, hengitysvaikeudet ja virtsausvaikeudet. Pitkäaikaisia vaikutuksia taas ovat muun muassa masennus, nukumishäiriöt, muistihäiriöt, hallusinaatiot, psykoottinen käytös, vapina, kouristukset, maksavauriot, immuunijärjestelmän häiriöt ja DNA-vauriot. (National Organization for Rare Disorders 2006; Tin 2015.)

Vanadiini on ihmiselle hivenaine, mutta liian korkeina pitoisuuksina se on myrkyllistä. Vanadiinialtistukseen liitetyt terveystriskit riippuvat sen hapetusasteesta ja esiintymismuodosta. Se voi aiheuttaa muun muassa silmien, nenäonteloiden, kurkun ja keuhkojen ärsytystä, ihottumaa, kalpeutta, päänsärkyä, nenäverenvuotoa, huimausta, pahoinvointia, keuhkoputkentulehdusta, keuhkokuumetta, sydän- ja verenkiertosairauksia, maha- ja sisäelintulehduksia, hermostovaurioita, vapinaa sekä halvauksia riippuen sen altistusajasta ja määrästä. Vanadiini kertyy esimerkiksi keuhkoihin pitkäaikaisessa altistuksessa. (Vanadiini (V) 2013; Vanadium 2015.)

### **2.3.2 Saantisuositukset**

Eri raskasmetalleille on määritelty erilaiset turvalliset saantimäärät. Taulukossa 6 on esitetty eräiden raskasmetallien saantisuosituksia ja korkeimpia siedettäviä viikoittaisia saantiarvoja 60 kilogramman painoiselle henkilölle. TDI-arvolla tarkoitetaan aineen korkeinta siedettävää päivittäistä saantia ruumiinpainoa kohden elinikäisen altistumisen yhteydessä. PTWI-arvo taas kuvastaa aineen korkeinta väliaikaista siedettävää saantia viikossa ruumiinpainoa kohden. (Arresto & Pennanen 2015; Makkonen ym. 2013.)

**TAULUKKO 6. Eräiden raskasmetallien saantisuosituksen ja korkein siedettävä viikoittainen saanti 60 kg painoiselle henkilölle (Arresto & Pennanen 2015; Makkonen ym. 2013; Pelkonen ym. 2006; Reinikainen 2007; WHO 2015)**

Aine	Peruste	mg/kg (vrk/vko)	mg/vko/60 kg
<b>As</b>	TDI	0,001 (vrk)	0,42
	PTWI	0,015 (vko)	0,90
<b>Cd</b>	TDI	0,0005 (vrk)	0,21
	PTWI	0,007 (vko)	0,42
<b>Cr</b>	TDI	0,005 (vrk)	2,1
<b>Cu</b>	TDI	0,14 (vrk)	58,8
<b>Hg</b>	TDI	0,0001 (vrk)	0,042
<b>Mo</b>	TDI	0,01 (vrk)	4,2
<b>Ni</b>	TDI	0,05 (vrk)	21
<b>Pb</b>	TDI	0,0018 (vrk)	0,756
	PTWI	0,025 (vko)	1,5
<b>Sb</b>	TDI	0,0004 (vrk)	0,168
<b>Se</b>	TDI	0,005 (vrk)	2,1
<b>Sn</b>	PTWI	14 (vko)	840
<b>V</b>	TDI	0,009 (vrk)	3,78
<b>Zn</b>	TDI	0,5 (vrk)	210

Joillekin elintarvikkeille on lisäksi annettu omia raja-arvoja joidenkin haitta-aineiden esiintyvyydessä. EU:n komission asetuksessa 1881/2006/EY on säädetty viljeltyjen sienten lyijypitoisuuden enimmäisarvoksi 0,3 mg/kg tuorepainossa ja asetuksessa 629/2008/EY muiden kuin viljeltyjen sienten kadmiumin enimmäispitoisuudeksi 1,0 mg/kg tuorepainossa. Kauppa- ja teollisuusministeriön asetuksessa 237/2002 on sienten kuparipitoisuuksien enimmäismääräksi asetettu 10 mg/kg tuorepainossa. EU:n komission asetuksessa 1881/2006/EY on säädetty myös raja-arvoja vihanneksille ja hedelmille, jotka ovat kadmiumin osalta 0,05 mg/kg ja lyijyn 0,2 mg/kg tuorepainossa. Marjoihin voidaan soveltaa näitä arvoja. (Arresto & Pennanen 2015; Bezabeh ym. 2007; Makkonen ym. 2013.)



### 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksia varten kerättiin humus-, rikastushiekka-, sammal-, marja- ja sieninäytteitä kahdelta kaivosalueelta sekä niiden verrokkialueelta. Näytteenotot suoritettiin Lieksassa 21.–23.9.2015, jonka jälkeen näytteet kuljetettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratorioon esikäsittelyitä ja tutkimuksia varten. Näytteiden raskasmetallipitoisuudet mitattiin XRF-analysaattorilla 29.9.–8.10.2015 ja 17.–18.11.2015. Analysaattorin antamien tulosten luotettavuuden arvioimiseksi lähetettiin lisäksi vertailunäytteet akkreditoituun laboratorioon tutkittavaksi. Tutkimusaineiston käsittely suoritettiin pääasiassa Microsoft Excel -ohjelmiston (myöhemmin Excel) toimintoja hyödyntäen.

#### 3.1 Tutkimusalueet

Ympäristön ja luonnontuotteiden raskasmetallipitoisuuksia tutkittiin kolmella eri alueella Lieksassa. Kuvassa 2 on vasemmalla karttakuva, jossa näkyy kaikkien tutkimuskohteiden sijainnit, ja oikealla topografikartat jokaisesta kohteesta. Varsinaisia tutkimusalueita olivat Lieksan Mätäsvaaran ja Tainiovaaran vanhat kaivokset ja niiden lähiympäristö. Yhteistä vanhoilla kaivoksilla on se, että kummassakin on jätetty alueiden jälkihoitotoimet aikoinaan suurimmaksi osaksi tekemättä.



KUVA 2. Tutkimuskohteiden sijainnit (Koskela & Turunen 2015)

Kaivosalueiden verrokkialueeksi valittiin metsäalue, joka sijaitsee noin 20 kilometriä Lieksan keskustasta kaakkoon. Verrokkialueen maaperä vastaa Geologian tutkimuskeskuksen tietojen mukaan geologisilta erityispiirteiltään Mätäsvaaran ja Tainiovaaran alueita eikä alueen lähiympäristössä ole tai ole ollut kaivostoimintaa. Liitteessä 2 on esitetty Pohjois-Karjalan kartta, johon on merkitty alueen pääkivilajit ja metalliset malmiesiintymät (Arresto & Pennanen 2015).

Mätäsvaaran vanha avolouhos sijaitsee noin 25 kilometriä Lieksan keskustasta luoteeseen. Se tuotti molybdeenia vuosina 1903, 1910–1919, 1920–1922, 1932–1933 ja 1939–1947. Kokonaisuudessaan louhintamäärä oli noin 1,19 Mt. Toiminnasta ei syntynyt sivukiveä, mutta rikastushiekkaa syntyi 1 Mt. 1960–1980-luvuilla tutkittiin kaivoksen uudelleen avaamismahdollisuuksia, mutta se todettiin taloudellisesti kannattamattomaksi malmin hajanaisuuden ja heikkolaatuisuuden vuoksi. Kaivosalueella on yksi pysyvä jätealue (rikastushiekkakenttä) ja sen ympäristöriskeiksi on mainittu metallipitoinen valumavesi ja pölyäminen, mutta jätealueen nykytilaa ei ole ilmeisesti kuitenkaan selvitetty. (Mt.) Itse louhokseen on osittain syntynyt kaivoslampi. Louhoksen toisella puolella on konserttilava istumapaikkoineen ja vanhat kaivostunnelit ovat avoinna kaivosnäyttelylle. Kuvassa 3 on näkymä avolouhoksen reunalta alas.



**KUVA 3.** Näkymä Mätäsvaaran avolouhokseen (Koskela & Turunen 2015)



Mätäsvaaran rikastushiekkakentällä on vähässä käytössä oleva ampumarata sekä sitä käytetään parkkipaikkana silloin, kun kaivoksella järjestetään esimerkiksi konsertteja. Laajalla kentällä on lisäksi järjestetty luvattomia moottoriajoja. Rikastushiekkakentältä on myös haettu luvalla ja luvatta jätehiekkää erilaisiin tarpeisiin, mutta korkeammat penkat ja hiekanottoaikat on jätetty nykytilaansa palvelemaan kaivosnäyttelyä ja törmäpääskyjen pesintää ilman maisemointia. Kaivoksen maastosta löytyy edelleen erilaista metallirojua, koska jätehiekkä-alueella on ollut vielä 1990-luvulla valvoton kyläkaatoaika. (Arresto & Pennanen 2015.) Kuvassa 4 on esitetty pieni osa rikastushiekkakentästä.



**KUVA 4. Mätäsvaaran rikastushiekkakenttä (Koskela & Turunen 2015)**

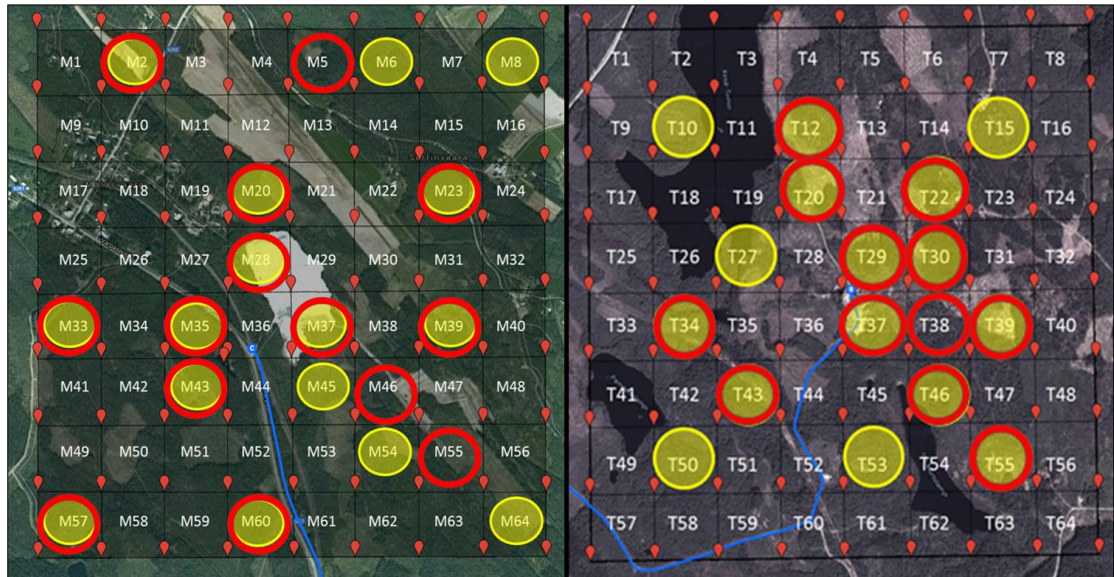
Tainiovaaran vanhan kaivoksen avolouhos sijaitsee noin 6 kilometriä Lieksan keskustasta pohjoiseen. Se oli toiminnassa vain vuonna 1989, jolloin sieltä louhittiin nikkeliä ja kuparia. Esiintymän arvella 450000 tonnin malmimäärästä louhittiin noin 20000 tonnia. Alueella on nähtävissä lammeksi muotoutuneen louhoksen vieressä kaivostoiminnan sivukiveä (Kuva 5). Louhoksen vierestä on myös otettu maa-aineksia. Maisemoinnitta jättämisen seurauksena alueella on sekä kaivostoiminnan että maa-aineiden oton jälkeensä jättämää kiveä paljaaltaan useassa eri paikassa. (Arresto & Pennanen 2015.) Tainiovaaran kaivosalue on Mätäsvaaran aluetta paljon pienempi eikä siellä ole vastaavaa ympäristöriskiä metallipitoisesta pölystä tai valuntavesistä.



**KUVA 5. Tainiovaaran kaivoslampi ja sivukiveä (Koskela & Turunen 2015)**

### **3.2 Näytteenotto sekä näytteiden kuljetus ja säilytys**

Mätäsvaaran ja Tainiovaaran kaivoksien toiminta-alueet ja niiden lähiympäristöt jaettiin näytteenottoa varten 4 km<sup>2</sup> alueelta 250 m x 250 m soluihin (64 kpl). Soluista pyrittiin valitsemaan kartta- ja ilmakuvien perusteella 16 edustavinta solua (per kaivos), joista näytteet päätettiin kerätä. Solujen valinnassa kiinnitettiin huomiota muun muassa seuraaviin asioihin: soluissa tuli olla mahdollisimman paljon metsää, solut jakautuivat eri etäisyyksille ja solut edustivat eri ilmansuuntia. Lisäksi Mätäsvaaran tutkimusalueelta valittiin soluja hieman pidemmältä etäisyydeltä rikastushiekan pölyämisen vuoksi. Kuvassa 6 on esitetty keltaisella ympyrällä alustavasti valitut näytteenottosolut ja punaisella renkaalla näytteenotossa toteutuneet solut (Mätäsvaara vasemmalla). Verrokkialuetta käsiteltiin yhtenä 1000 m x 1000 m soluna (1 km<sup>2</sup>). Liitteessä 3 on esitetty kaikkien näytteenottosolujen ympäristökuvaukset solukohtaisesti.



**KUVA 6. Kaivosalueiden näytteenottosolut (Koskela & Turunen 2015)**

Näytteenottoalueilla liikuttiin jalkaisin tai autolla ja näytteenottosolujen rajat tunnistettiin maastossa solujen kulmakoordinaattien ja GPS:n avulla. Näytteenotto pyrittiin mahdollisuuksien mukaan aloittamaan suunnistamalla solun keskuskoordinaattiin, jonka jälkeen etsittiin sopivia näytteitä tai näytteenottokohtia käymällä solu läpi kiertämällä koko ajan laajenevaa kehää. Kaivosten näytteenottosolujen koordinaatit on esitetty liitteessä 4 (P=pohjoista leveyttä, E=itäistä pituutta ja K=keskuskoordinaatti). Verrokkialueen rajakoordinaatit olivat pohjoista leveyttä 63.17084–63.16175 ja itäistä pituutta 30.15974–30.17927 sekä keskuskoordinaatit pohjoista leveyttä 63.16659 ja itäistä pituutta 30.16942.

Humusnäytteet kerättiin kaikista näytteenottosoluista. Humusnäytteenotto aloitettiin poistamalla kenttälapionla valitusta näytteenottokohdasta pintamaa kasvustoineen ja irtoroskineen ja kaivamalla noin 1–10 senttimetrin syvyinen kuoppa (Kuvassa 7 vasemmalla). Kuopan pohjalta otettiin humusta (ei mineraalimaata) arviolta vähintään 200 grammaa pakastuspussiin (3 l), johon merkittiin näytteenottosolun numero (Kuvassa 7 oikealla). Kaivosten näytteenottosoluista otettiin kolme ja verrokista viisi osanäytettä eri puolilta soluja. Vastaavalla tavalla kerättiin Mätäsvaaran rikastushiekka-kentän hiekkänäytteet kentän molemmilta puolilta (solut M28 ja M37). Sammalnäytteitä kerättiin muovipussillinen (30 l) per solu erikseen valituista näytteenottosoluista (M2, M20, M23, M28, M35, M37, M39, M46, M60, T12, T20, T22, T46, T55 ja V). Kerätyt valtalajit olivat rahka-, metsäkerros-, seinä- ja kangaskarhunsammal.





**KUVA 7. Humusnäytteenotto (Koskela & Turunen 2015)**

Marja- ja sieninäytteitä pyrittiin keräämään kaikista näytteenottosoluista. Marjanäytteitä kerättiin arviolta vähintään 200 grammaa Minigrip-pusseihin (1 l), joihin merkittiin näytteenottosolujen numerot. Mustikka- ja puolukkanäytteet kerättiin ja pussitettiin erikseen ja seasta poistettiin suurimmat roskat. Sieninäytteenotossa keskityttiin keräämään tunnettuja ruokasieniä ja löydettyjä lajeja olivat isohapero, herkkutatti, kalvashaaparousku, kangasrousku, karvarousku, keltavahvero, koivunpunikitatti, mustarousku, nokitatti, viinihapero ja voitatti. Kaikki solusta löydetyt hyväkuntoiset sienet kerättiin ilman painorajoitusta. Näytteisiin otettiin mukaan koko sieni, mutta jalan multainen tyviosa, pinnan irtorokkat ja pilaantuneet osat poistettiin (Kuvassa 8 vasemmalla). Sienet kerättiin solukohtaisesti paperipusseihin näytteiden pilaantumisen estämiseksi (Kuvassa 8 oikealla) ja pusseihin merkittiin näytteenottosolun numero.



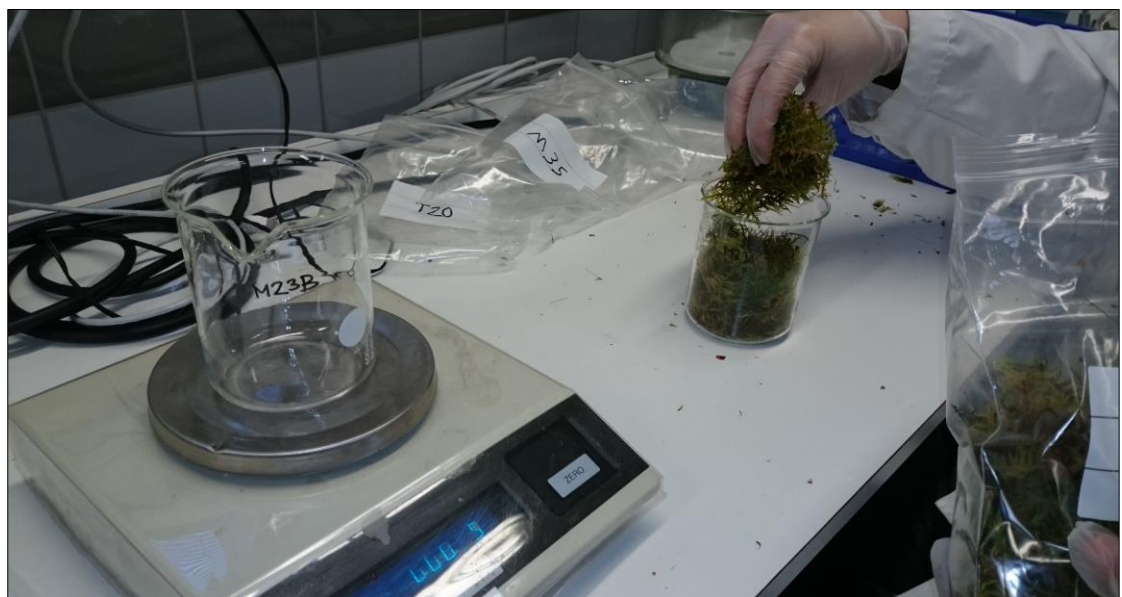
**KUVA 8. Sieninäytteenotto (Koskela & Turunen 2015)**

Näytteet säilytettiin näytteenottojen ja kuljetuksen ajan näytepusseissa autossa ilman erillistä kylmäsäilytystä. Mikkelissä helposti pilaantuvat marja- ja sieninäytteet siirrettiin jääkaappiin, kunnes ne kuljetettiin MAMK:n ympäristölaboratorion kylmiöön muiden näytteiden kanssa. Näytteitä säilytettiin kylmiössä niiden esikäsittelyyn asti.

### 3.3 Näytteiden esikäsittely

Maaperänäytteistä poistettiin roskat ja juuret. Jokaisen solun osanäytteet yhdistettiin dekanterilasiin yhdeksi solua edustavaksi kokoomanäytteeksi. Kokoomanäytteisiin punnittiin Denver Instrument XS-410 -vaa'alla ( $e = 0,01 \text{ g}$ ) jokaista osanäytettä yhtä paljon siten, että kaivosten kokoomanäytteiden tuorepainoiksi tuli noin 90 ja verrokki-alueen 100 grammaa. Tuorepainojen punnituksen jälkeen näytteet kuivattiin Termaks-lämpökaapissa  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ :ssa noin neljä vuorokautta. Kuivauksen jälkeen punnittiin näytteiden kuivapainot ja ne homogenisoitiin ja sekoitettiin huolellisesti morttelissa.

Sammalnäytteistä poistettiin huolellisesti roskat ja multaiset juuriosat, mutta eri sammallajeja ei eroteltu toisistaan. Sammalnäytteet siirrettiin dekanterilaseihin ja niiden tuorepainot punnittiin (Kuva 9). Näytteitä kuivattiin lämpökaapissa ensin  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ :ssa noin vuorokausi, jonka jälkeen lämpötila nostettiin  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ :een vielä kahdeksi vuorokaudeksi. Kuivaamisen jälkeen punnittiin näytteiden kuivapainot ja ne homogenisoitiin ja sekoitettiin huolellisesti morttelissa.



**KUVA 9.** Sammalten punnitus Denver Instrument XS-410 -vaa'alla (Koskela & Turunen 2015)

Marjanäytteistä poistettiin roskat ja pilaantuneet marjat. Myös eri marjalajien edustajat kuin halutut poistettiin näytteistä. Kokonaiset marjat siirrettiin dekantterilaseihin ja niiden tuorepainot punnittiin. Marjanäytteitä kuivattiin lämpökaapissa 105 °C:ssa noin kolme vuorokautta (Kuva 10). Kuivaamisen jälkeen punnittiin näytteiden kuivapainot ja ne homogenisoitiin ja sekoitettiin huolellisesti morttelilla.



**KUVA 10. Marjojen kuivaaminen Termaks-lämpökaapissa (Koskela & Turunen 2015)**

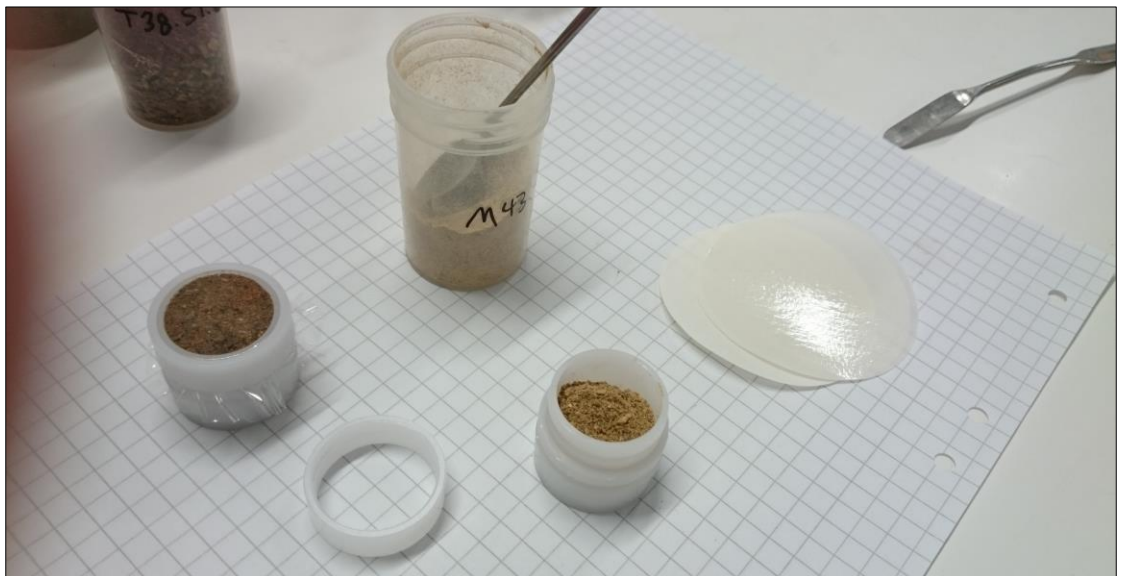
Sienistä puhdistettiin niihin mahdollisesti jääneet roskat ja pilaantuneet osat, jonka jälkeen ne lajiteltiin lajikohtaisesti. Jokaiseen sienilajin näytteeseen yhdistettiin kaikki yhden solun sisältä kerätyt itiöemät ja sienet pilkottiin pieneksi paloiksi poistamatta niiden pintakelmua. Näytteet siirrettiin lasisiin petrialjoihin (Kuvassa 11 vasemmalla) ja niiden tuorepainot punnittiin. Sieniä kuivattiin lämpökaapissa ensin 50 °C:ssa noin 3 vuorokautta, jonka jälkeen lämpötila nostettiin 105 °C:een vielä 1,5 tunniksi. Kuivaamisen jälkeen punnittiin näytteiden kuivapainot ja ne homogenisoitiin ja sekoitettiin huolellisesti morttelilla (Kuvassa 11 oikealla). Niiden solujen osalta, joissa näyttemäärä oli liian pieni raskasmetallien määrittäystä varten, yhdistettiin eri lajeja keskenään.





**KUVA 11. Sienten esikäsittelyt (Koskela & Turunen 2015)**

Kaikkien näytteiden näytetiedot (solu, laji, tuorepaino, kuivapaino, kuivaprosentti ja raekoko) on esitetty liitteessä 5. Humusnäytteitä oli yhteensä 26 kpl, rikastushiekkanäytteitä 2 kpl ja sammalnäytteitä 15 kpl. Marjanäytteitä oli 16 kpl 12 eri solusta ja sieninäytteitä 16 kpl 13 eri solusta. Esikäsitellyt näytteet siirrettiin muovisiin näytekuppeihin. Kuppiin pyrittiin valitsemaan näytteen mahdollisimman pienirakeiset osat, jotta suuret rakeet eivät häiritsisi määrittäksiä. Näytekuppi pakattiin täyteen mahdollisimman tiiviisti ja sen päälle asetettiin kalvo, joka puristettiin kiinni muovirenkaalla. Kuvassa 12 on esitetty näytekuppien kokoaminen.



**KUVA 12. Näytekuppien kokoaminen (Koskela & Turunen 2015)**

### 3.4 Pitoisuuksien mittaaminen XRF-analysaattorilla

Näytteistä mitattiin seuraavien 13 raskasmetallin pitoisuudet: antimoni, arseeni, elohopea, kadmium, kromi, kupari, lyijy, molybdeeni, nikkeli, seleeni, sinkki, tina ja vanadiini. Mittauksiin käytettiin Niton XL3t 980 GOLDD+ -kenttäanalyysointilaitetta.

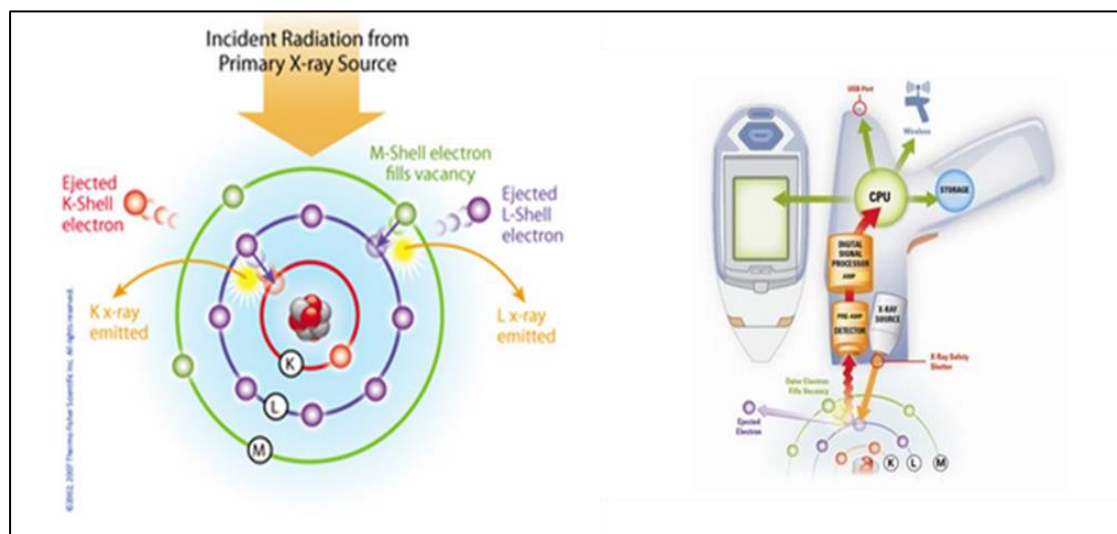
#### 3.4.1 Niton XL3t 980 GOLDD+

Niton XL3t 980 GOLDD+ (Kuva 13) on Thermo Fisher Scientific yhtiön valmistama kannettava energiaa hajottava XRF-analysointilaitte (EDXRF). Laitteessa on Silicon Drift -detektori (SSD), jonka tarkkuus on pienempi kuin 185 elektronivoltia (eV) 60 000 pulssilla sekunnissa (CPS), ja röntgensädelähteenä 50 kV:n ja 200 uA:n röntgensädeputki. Se pystyy havaitsemaan alkuaineita magnesiumista uraaniin. Analysointilaitetta voidaan hallita kosketusnäytön kautta tai tietokoneohjelman kautta etänä. Laitteen ohjelmisto mahdollistaa useita eri analyysitiloja erilaisille näytteille. (Golubev 2015.)



KUVA 13. Niton XL3t 980 GOLDD+ (Koskela & Turunen 2015)

Analysaattorin käyttämä röntgenfluoresenssimenetelmä (XRF-menetelmä) perustuu siihen, että jokaisella alkuaineella on tyypillinen elektronikonfiguraatio ja elektroneilla niille tyypillinen energia. Säteilylähteen röntgensäteilyn energia sinkoaa atomin sisemmän kuoren elektronin pois, jolloin poistunut elektroni korvautuu ulomman kuoren elektronilla, jonka energiasta osa vapautuu (Kuvassa 14 oikealla). Koska siirtymä on jokaiselle alkuaineelle erilainen, kullekin alkuaineelle syntyy tunnusomainen säteily (fluoresenssi), jonka energia riippuu säteilyn aallonpituudesta. Raskaiden alkuaineiden synnyttämän energian intensiteetti on suurempi kuin keveiden alkuaineiden. (MAMK 2015.)



**KUVA 14. XRF-analysaattorin toimintaperiaate (MAMK 2015)**

XRF-analysaattorissa fluoresenssisäteily ohjautuu laitteen detektorille, jossa säteily ionisoi detektorin atomeja synnyttäen sähkövirtaa, jonka perusteella laite määrittää alkuaineiden pitoisuudet (Kuvassa 14 vasemmalla). Laite antaa analyysin tulokset mittausvirheen kanssa, joka on kaksi keskihajontaa eli toisin sanoen 2-sigma. Tulos tällä virheellä on noin 95 prosentin luottamusvälin alueella. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi, jos kloridin pitoisuudeksi on mitattu 1500 ppm 2-sigma virheen ollessa  $\pm 30$  ppm, niin on 95 prosentin todennäköisyys, että todellinen kloridin pitoisuusarvo on välillä 1470 mg/kg ja 1530 mg/kg. Laite voi antaa tuloksen myös LOD-arvona eli pienimpänä havaittavana rajana, jolloin tulos on tätä lukemaa pienempi. (Golubev 2015; MAMK 2015; Thermo Fisher Scientific 2010.)

### 3.4.2 Analysaattoriin liittyvät rajoitukset

Luonnollisesti kenttäanalysaattoreiden tarkkuus ei yllä samalle tasolle kuin laboratorioanalyysien. Teknisesti XRF-analysaattori voi antaa erilaisia tuloksia johtuen sen rajoituksista. Näitä ovat esimerkiksi laitteen tarkkuus, mittausaika, analyysisyvyys, etäisyys näytteeseen, näytteen kosteus, partikkelikoko ja matriisin spektrivaikutus. Lisäksi myös näytteen tiiviydellä ja laitteen sisälle päässeellä pölyllä voi olla merkitystä tulosten luotettavuuteen. (Golubev 2015; MAMK 2015.)

XRF-analysaattorin tarkkuus on numeerinen arvo (yksikkö eV), joka esittää lähimpien alkuaineiden spektrihiippujen eroa, joita mittari erottaa näytteestä. Esimerkiksi natriumin ja magnesiumin spektrihiippujen ero on 214 eV. Jos laitteen tunnistimen tarkkuus on suurempi kuin 214 eV, se aiheuttaa ongelmia erottaa toisistaan nämä kaksi alkuainetta. Energiaa hajottavan XRF-laitteen tarkkuus on 150–300 eV ja siitä ylöspäin. (Golubev 2015.)

Mittausaika on yksi kriittisimmistä tekijöistä XRF-teknologiassa. Se riippuu mitattavasta aineesta ja näytetyypistä. Yleensä mitä kevyempi alkuaine on, sitä pidempi analyysiaika tarvitaan. Mitä pidempi analyysiaika on, sitä tarkempia tuloksia myös saadaan. Tämä perustuu siihen, että pidemmällä mittausajalla tuotetaan enemmän lukuja sekunnissa. Matemaattisesti esimerkiksi, jos näyte analysoidaan neljä kertaa pidempään, LOD kasvaa kaksinkertaiseksi. (Golubev 2015; MAMK 2015.)

Röntgensäteiden läpäisyvyvyyteen vaikuttaa kolme asiaa. Ensinnäkin mitä suurempi laitteen röntgensäteiden fotonin energia on, sitä suurempi on mittaussyvyys. Toiseksi, pienen tiheyden omaavat materiaalit mahdollistavat syvemmän röntgensädeulonnan verrattuna materiaaleihin, joiden tiheys on suurempi. Kolmanneksi analyysin syvyys on eri jokaiselle alkuaineelle johtuen aineen viritystilan tasosta. Mitä korkeampi alkuaineen atomin energia on, sitä syvemmältä näytettä se pystytään havaitsemaan. Myös etäisyys XRF-analysaattorin ja näytteen välillä vaimentaa röntgensäteiden fotonien määrää. Parhaan tuloksen saamiseksi suositellaan suoraa kontaktia testattavaan materiaaliin. (Golubev 2015.)

Näytteen sisältämä vesi tai sen pinnassa oleva kosteus vaikuttavat erillisinä esteinä röntgensäteelle. Suhteellisen luotettavia tuloksia saadaan, kun näytteessä on alle 10

tilavuusprosenttia vettä. Näytteen vesipitoisuudella on sitä suurempi vaikutus tuloksiin, mitä kevyempi alkuaine on, mutta raskaissa alkuaineissa vesipitoisuuden vaikutus on suoraan verrannollinen näytteen kosteusprosenttiin. Esimerkiksi, kun näytteessä on 30 tilavuusprosenttia vettä, tulokset ovat 30 % tavallista pitoisuutta alhaisempia. (Golubev 2015; MAMK 2015.)

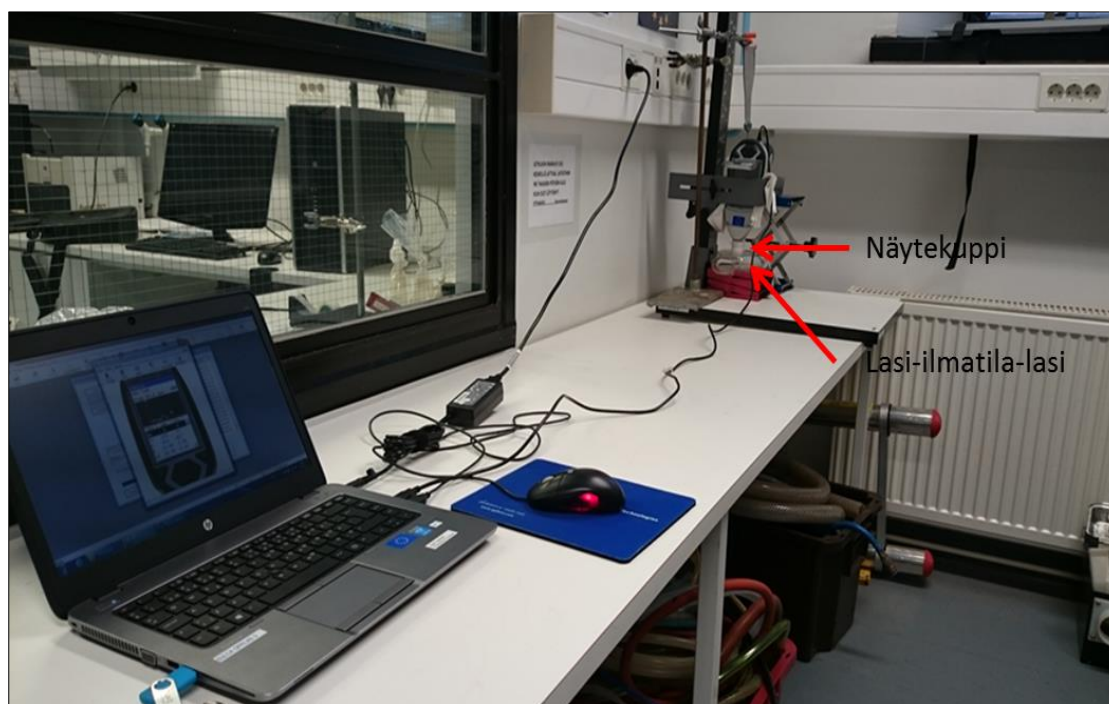
Luonnollisesti partikkelikoolla on suuri vaikutus analyysituloksiin. Ensimmäiseksi, luonnollisissa matriisissa alkuaineet eivät ole jakaantuneet tasaisesti, joten suuret partikkelit eivät edusta koko näytettä. Toiseksi, heterogeeninen matriisi hajottaa röntgensäteen pois XRF-laitteen tunnistimesta, joka madaltaa analyysin määrällistä tulosta. Näytteen huolellinen homogenisointi on suositeltua tarkempien tulosten saamiseksi. Hienon homogeenisen aineksen tapauksessa röntgensäde voi tavoittaa partikkelit, jotka olisivat muuten suurien kappaleiden takana, mahdollistaen näin edustavamman analyysin. (Golubev 2015.)

Matriisin spektrivaikutuksiin liittyviin virhelähteitä on kolme. Spektrilinjojen limittyminen aiheutuu, kun analysoidut alkuaineet lähettävät fluoresoivia fotoneita samalla aallonpituudella. Kohennuksen aikana analysaattori voi näyttää todellisuutta suurempia pitoisuuksia joistakin alkuaineista, koska niiden sitovat energiat ovat pienempiä kuin muiden näytteessä olevien alkuaineiden fluoresoivat röntgensäteet. Analysaattorin röntgensäteen lisäksi näistä fluoresoivista röntgensäteistä tulee toissijainen röntgensädelähde niille alkuaineille, joilla on pienempi energia. On olemassa myös muutamia alkuaineita, jotka absorboivat tai hajottavat muiden alkuaineiden fluoresoivia röntgensäteitä, jolloin analysaattori näyttää todellisuutta pienempiä lukemia. (Mt.)

### **3.4.3 Mittausten suorittaminen**

Mittauksien suorittamista varten rakennettiin kuvan 15 mukainen koejärjestely, jossa XRF-analysaattori asetettiin telineeseen ja sitä hallittiin Thermo Scientific NDTr -tietokoneohjelman kautta etänä säteilyvaaran vähentämiseksi. Analysaattorin mittausohjelmaksi valittiin Soils-ohjelma, joka pystyy määrittämään näytteestä pienempiä raskasmetallipitoisuuksia kuin esimerkiksi TestAll Geo -ohjelma, joka sisältää myös Mining-ohjelmien suurien pitoisuuksien mittaamisen (Thermo Fisher Scientific 2010). Tulokset siirrettiin laitteelta sähköisesti Microsoft Excel -ohjelmistoon käyttäen Thermo Scientific NDT -ohjelmaa.





**KUVA 15. Koejärjestely (Koskela & Turunen 2015)**

Ensimmäisissä mittauksissa kaikkien näytteiden raskasmetallipitoisuudet kuiva-ainetta kohti mitattiin yhden minuutin mittausajalla. Uusintamittauksissa viiden eri näytteen (humusnäyte solusta M55, rikastushiekkänäyte solusta M37, sammalnäyte solusta M2, marjanäyte solusta M33 ja sieninäyte solusta M2) raskasmetallipitoisuudet kuiva-ainetta kohti määritettiin mittausajan vaikutuksen tutkimiseksi yhden, kolmen ja 12 minuutin mittausajalla. Kaikissa yhden ja kolmen minuutin mittauksissa mittaus toistettiin kuusi kertaa tulosten uskottavuuden tarkistamiseksi. 12 minuutin mittauksissa toistomittaukset tehtiin kolme kertaa. Ennen jokaisen mittauskerran aloittamista analysaattorin toiminta testattiin mittaamalla standardinäyte ja vertaamalla tuloksia sen tunnettuihin metallipitoisuuksiin.

### **3.5 Ramboll Analytics:n vertailunäytteet**

Kenttämittareiden määrittämisokyky on yleisesti epätarkempi kuin laboratorioanalyysien. Tutkimuksen tulosten luotettavuuden tarkistamiseksi lähetettiin vertailunäytteet Ramboll Analytics:n Lahden laboratorion analysoitavaksi. Vertailunäytteiksi valittiin näytteitä eri näytetyypeistä analysaattorin toiminnan luotettavuuden tarkistamiseksi eri näytetyyppien osalta, koska tutkimuksissa käytetty XRF-analysaattori ei ole ensisijaisesti tarkoitettu puhtaasti bionäytteiden tutkintaan.

Valitut näytetyypit olivat humus, marja ja sieni. Vertailunäytteitä lähetettiin kaksi kappaletta kustakin näytetyypistä siten, että toinen näyte oli aina Mätäsvaaran kaivoksen ja toinen Tainiovaaran kaivoksen alueelta. Humusnäytteet lähetettiin soluista M55 ja T20, marjanäytteet soluista M33 ja T37 ja sieninäytteet soluista M2 ja T29. Vertailunäytteet esikäsiteltiin ennen lähettämistä edellä kuvatuilla tavoilla. Ramboll Analytics määrittä näytteistä raskasmetallipitoisuudet kuiva-ainetta kohti ICP-MS -menetelmällä eli induktiivisesti kytketyllä plasma-massaspektrometri -menetelmällä, joka perustuu standardiin SFS-EN ISO 17294-2: 2005 (Tyrväinen 2015).

### 3.6 Aineiston käsittely Microsoft Excel -ohjelmistolla

XRF-analysaattorin antamat LOD-tulokset muutettiin lukuarvoiksi, jotta niitä pystyttiin käsittelemään numeerisesti Excelissä yhdessä muiden numeroarvojen kanssa. Lukuarvomuuotos suoritettiin analysaattorin käyttöohjeen mukaisesti kertomalla mittauksen virhe arvolla 1,5. Koska LOD-arvo on aina mittauskohtainen, laskenta suoritettiin jokaiselle mittaukselle erikseen tulosten tarkkuuden säilyttämiseksi.

Tämän jälkeen jokaisen näytteen osamittausten (6 tai 3 kpl) tuloksista laskettiin näytekohtaiset raskasmetallien tunnusluvut (keskiarvo, minimi, maksimi, virhe, LOD/6 ja LOD/3). Keskiarvo laskettiin osamittausten tuloksista Excelin kaavalla =KESKIARVO(luku1; [luku2];...), minimi kaavalla =MIN(luku1; [luku2];...) ja maksimi kaavalla =MAKS(luku1; [luku2];...). Näytteen keskimääräinen virhe laskettiin osamittausten virhetuloksista keskiarvolla. Tunnusluvut LOD/6 ja LOD/3 tarkoittavat osamittausten LOD-arvojen määrää kuudesta tai kolmesta mittauksesta. Kun yksikin osamittauksen arvo oli LOD-arvo, saatiin näytteen lopulliseksi keskiarvoksi lukuarvo, joka oli suurin mahdollinen keskimääräinen pitoisuus näytteelle.

Näytelajikohtaiset (humus, rikastushiekka, sammal, marja ja sieni) keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet laskettiin näytteiden keskiarvopitoisuuksista huomioimalla kaikki näytelajin näytteet. Marjojen ja sienten laji- ja sukukohtaiset (mustikka, puolukka, tatit, rouskut ja keltavahvero) vastaavat pitoisuudet laskettiin huomioimalla vain ne solut, joissa kyseisiä lajeja tai sukuja esiintyi yksinään. Esimerkiksi sellainen solu, jossa on ollut sekä tatteja että rouskuja, on huomioitu vain sienten keskimääräisissä pitoisuuslaskuissa.

Marjojen ja sienten BAF-kertoimet eri raskasmetalleille laskettiin ensiksi näytekohtaisesti kuiva-aineesta (dw) jakamalla solun maaperäeliön keskimääräinen metallipitoisuus saman solun humuksen keskimääräisellä metallipitoisuudella. Tämän jälkeen on laskettu keskimääräiset näytelajikohtaiset (marjat ja sienet) sekä laji- ja sukukohtaiset (mustikka, puolukka, tatit, rouskut ja keltavahvero) BAF-kertoimet. Marjojen ja sienten raskasmetallipitoisuuksien korrelaatiokertoimet humuksen suhteen on laskettu Excelin kaavalla =KORRELAATIO(matriisi1; matriisi2) näytteiden keskimääräisistä pitoisuuksista.

Raskasmetallipitoisuuksien ilmansuuntavaikutusta eli pitoisuuksien suuruutta eri ilmansuunnissa Mätäsvaarassa ja Tainiovaarassa tutkittiin Excelin Pivot kaavio -toiminnalla. Aluksi määritettiin näytesolujen ilmansuunnat keskipisteestä katsottuna siten, että Mätäsvaaran keskipiste oli rikastushiekkakentällä ja Tainiovaaran louhoksella (Liite 6). Ilmansuunnat muutettiin numeroarvoiksi siten, että pohjoinen sai arvon 0°, koillinen 45°, itä 90°, kaakko 135°, etelä 180°, lounas 225°, länsi 270° ja luode 315°. Tämän jälkeen näytesolujen ilmansuunnat ja näytteiden keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet syötettiin näytelajikohtaisesti Pivot kaavio -toimintoon, jossa piirrettiin tietojen perusteella sädekaaviot (ilmaruusut).

Mätäsvaaran ja Tainiovaaran raskasmetallipitoisuuksien etäisyysvaikutusta eli pitoisuuksien suuruutta eri etäisyyksillä tutkittiin myös Pivot kaavio -toiminnalla. Aluksi määritettiin näytesolujen etäisyydet keskipisteestä katsottuna siten, että Mätäsvaaran keskipiste oli rikastushiekkakentällä ja Tainiovaaran louhoksella (Liite 6). Keskusalueen etäisyys oli <250, ensimmäisen kehän 250–500, toisen kehän 500–750 ja kolmannen kehän 750–1000 metriä. Tämän jälkeen näytesolujen etäisyydet ja näytteiden keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet syötettiin näytelajikohtaisesti Pivot kaavio -toimintoon, jossa piirrettiin tietojen perusteella pylväskaaviot.

Tutkimuksessa saatujen tulosten ja Ramboll Analytics:n vertailutulosten vastaavuutta tutkittiin laskemalla, kuinka monta kertaa suurempia tutkimuksen tulokset olivat verrattuna vertailutuloksiin. Nämä laskettiin raskasmetallikohtaisesti jakamalla saman näytteen keskimääräinen tutkimustulos vertailutuloksella. Laskelmat tehtiin sekä ensimmäisten mittausten yhden minuutin tuloksilla että uusintamittausten 12 minuutin tuloksilla.



Kaivosalueiden marjojen ja sienten turvalliset syöntimäärät viikossa laji- ja sukukoh-  
teisesti laskettiin vertailunäytteiden pitoisuuksista jokaiselle raskasmetallille erikseen.  
Turvalliset syöntimäärät laskettiin 60 kilogramman painoiselle henkilölle hyödyntäen  
taulukon 6 kolmannen sarakkeen arvoja. Kaikkien muiden paitsi tinan osalta käytettiin  
TDI-arvoihin perustuvaa korkeinta siedettävää saantimäärää ja tinan osalta PTWI-  
arvoon perustuvaa korkeinta siedettävää saantimäärää. Laskelmia varten näytteiden  
pitoisuudet muutettiin tuorepainoa kohden kertomalla näytteen raskasmetallipitoisuus  
kuiva-ainetta kohden näytteen kuiva-ainepitoisuudella. Tämän jälkeen marjojen ja  
sienten viikossa syötäväksi suositeltavat enimmäismäärät 60 kilogramman painoiselle  
henkilölle saatiin jakamalla korkein viikoittainen siedettävä saanti näytteen raskasme-  
tallipitoisuudella tuorepainossa.

## **4 TULOKSET**

Tuloksissa on esitetty tutkimuksen kaikkien näytteiden raskasmetallipitoisuudet kui-  
va-ainetta kohti ja niiden yhteenvedot. Marjojen ja sienten BAF- ja korrelaatiokerto-  
illa humuksen suhteen on pyritty kuvaamaan raskasmetallien kertymistä luonnon-  
tuotteisiin. Ilmansuunta- ja etäisyysvaikutuksilla on selvitetty raskasmetallien leviä-  
mistä kaivosalueilta ympäristöön. Vertailutuloksilla on kuvattu tutkimustulosten luo-  
tettavuutta ja käyttökelpoisuutta. Kaivosalueiden luonnontuotteiden turvallisuutta on  
kuvattu niiden turvallisten syöntimäärien avulla vertailutuloksista laskemalla.

### **4.1 Näytteiden raskasmetallipitoisuudet**

Liitteessä 7 on esitetty ensimmäisten mittausten tulokset kuiva-ainetta kohti (keskiar-  
vo, minimi, maksimi, virhe ja LOD/6) kaikissa näytteissä erikseen näytelajijärjestyk-  
ssä. Eniten hajontaa toistomittauksissa löytyi humuksen osalta kromi-, kupari-, nik-  
keli-, sinkki- ja vanadiinimittauksissa, sammalten osalta kromi-, kupari- ja sinkkimit-  
tauksissa ja sienten osalta kupari- ja sinkkimittauksissa. Marjanäytteiden toistomitta-  
uksissa ei juuri ollut hajontaa. Uusintamittausten viiden eri näytteen 12 minuutin mit-  
tausten tulokset kuiva-ainetta kohti (keskiarvo, minimi, maksimi, virhe ja LOD/3) on  
esitetty liitteessä 8. Uusintamittausten toistomittauksissa hajontaa ei ollut juuri min-  
kään näytelajin kohdalla.

Taulukkoon 7 on laskettu yhteenveto liitteen 7 Mätäsvaaran näytteiden keskimääräisistä raskasmetallipitoisuuksista kuiva-ainetta kohden humuksen, sammalten, marjojen ja sienten osalta. Marjojen ja sienten osalta on eritelty lisäksi mustikoiden, puolukoiden, tattien ja rouskujen keskimääräiset pitoisuudet erikseen. Mätäsvaaran kahden rikastushiekkanäytteen keskiarvoiset raskasmetallipitoisuudet olivat seuraavat: arseeni 9,63 mg/kg, kadmium 20,87 mg/kg, kromi 35,81 mg/kg, kupari 105,27 mg/kg, elohopea 11,86 mg/kg, molybdeeni 77,66 mg/kg, nikkeli 68,10 mg/kg, lyijy 52,81 mg/kg, antimoni 29,38 mg/kg, seleeni 5,76 mg/kg, tina 27,63 mg/kg, vanadiini 45,88 mg/kg ja sinkki 103,91 mg/kg.

**TAULUKKO 7. Mätäsvaaran näytteiden raskasmetallipitoisuuksien yhteenveto**

	Keskimääräinen raskasmetallipitoisuus kuiva-aineessa (mg/kg)							
	Humus	Sammal	Marja			Sieni		
	Kaikki	Kaikki	Kaikki	Mustikka	Puolukka	Kaikki	Tatit	Rouskut
<b>As</b>	<7,88	<4,95	<3,05	<3,10	<3,01	<3,71	<3,83	<3,44
<b>Cd</b>	<15,91	<12,59	<8,19	<8,34	<8,05	<10,97	<11,34	<10,03
<b>Cr</b>	<51,95	<47,50	<60,02	<58,94	<61,11	<43,72	<42,10	<46,15
<b>Cu</b>	<143,66	<36,93	<13,83	<13,96	<13,70	<34,19	31,81	<14,13
<b>Hg</b>	<9,76	<9,60	<6,21	<6,25	<6,18	<7,40	<7,81	<6,70
<b>Mo</b>	<71,41	15,03	8,06	9,73	6,40	<6,14	7,11	<3,95
<b>Ni</b>	<27,86	<25,68	<18,57	<18,62	<18,52	<20,86	<21,57	<19,53
<b>Pb</b>	48,62	<7,41	<4,06	<4,15	<3,98	<4,95	<5,13	<4,84
<b>Sb</b>	<15,79	<12,26	<7,98	<8,13	<7,84	<10,67	<11,04	<9,86
<b>Se</b>	<4,72	<4,39	<3,10	<3,11	<3,09	<4,25	<4,87	<3,32
<b>Sn</b>	<15,53	<11,63	<7,50	<7,66	<7,35	<10,08	<10,42	<9,32
<b>V</b>	<59,77	<35,64	<40,94	<40,87	<41,01	<29,11	<27,88	<30,21
<b>Zn</b>	292,11	156,05	8,97	9,55	8,39	111,15	80,52	71,88
	14 näytettä	9 näytettä	4 näytettä	2 näytettä	2 näytettä	7 näytettä	4 näytettä	1 näyte

Taulukkoon 8 on laskettu yhteenveto liitteen 7 Tainiovaaran näytteiden keskimääräisistä raskasmetallipitoisuuksista kuiva-ainetta kohden humuksen, sammalten, marjojen ja sienten osalta. Marjojen ja sienten osalta on eritelty lisäksi mustikoiden, puolukoiden, tattien ja rouskujen keskimääräiset pitoisuudet erikseen. Tainiovaaran yksittäisen keltavahveronäytteen pitoisuudet olivat seuraavat: arseeni 3,94 mg/kg, kadmium 10,83 mg/kg, kromi 46,21 mg/kg, kupari 41,63 mg/kg, elohopea 7,02 mg/kg, molyb-

deeni 4,21 mg/kg, nikkeli 20,86 mg/kg, lyijy 4,97 mg/kg, antimoni 10,61 mg/kg, seleeni 3,45 mg/kg, tina 10,02 mg/kg, vanadiini 30,48 mg/kg ja sinkki 80,47 mg/kg.

**TAULUKKO 8. Tainiovaaran näytteiden raskasmetallipitoisuuksien yhteenveto**

	Keskimääräinen raskasmetallipitoisuus kuiva-aineessa (mg/kg)							
	Humus	Sammal	Marja			Sieni		
	Kaikki	Kaikki	Kaikki	Mustikka	Puolukka	Kaikki	Tatit	Rouskut
<b>As</b>	<7,30	<4,40	<3,05	<3,04	<3,04	<3,94	<4,10	<3,85
<b>Cd</b>	<18,03	<11,42	<8,31	<8,36	<8,26	<10,70	<11,67	<10,08
<b>Cr</b>	<40,88	<49,35	<59,67	<59,22	<60,09	<45,14	<41,89	<47,00
<b>Cu</b>	<21,10	24,88	<13,80	<13,81	<13,84	<29,28	43,72	<15,12
<b>Hg</b>	<10,14	<8,88	<6,22	<6,21	<6,24	<7,27	<8,16	<6,83
<b>Mo</b>	<5,44	11,61	5,86	5,92	6,01	<4,77	6,88	<3,70
<b>Ni</b>	<30,14	<23,82	<18,52	<18,53	<18,46	<20,80	<22,44	<19,98
<b>Pb</b>	28,67	<4,80	<4,07	<4,07	<4,02	<5,49	<5,46	<5,40
<b>Sb</b>	<18,07	<11,13	<8,07	<8,11	<8,03	<10,42	<11,30	<9,83
<b>Se</b>	<4,99	<4,09	<3,11	<3,11	<3,12	<3,62	<3,99	<3,42
<b>Sn</b>	<18,00	<10,47	<7,59	<7,64	<7,55	<9,87	<10,71	<9,34
<b>V</b>	<57,47	<34,65	<40,65	<40,14	<41,18	<29,85	<27,59	<31,24
<b>Zn</b>	32,48	94,53	<8,31	<8,13	9,30	85,53	79,83	65,42
	11 näytettä	5 näytettä	10 näytettä	6 näytettä	3 näytettä	7 näytettä	2 näytettä	2 näytettä

Taulukkoon 9 on kerätty liitteen 7 verrokkialueen näytteiden keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet humuksen, sammalten, mustikoiden, puolukoiden, tattien ja rouskujen osalta. Marja- ja sieninäytteistä on lisäksi laskettu keskimääräiset näytelajikohtaiset pitoisuudet. Tulokset on esitetty kuiva-ainetta kohden.

**TAULUKKO 9. Verrokkialueen näytteiden raskasmetallipitoisuudet**

	Keskimääräinen raskasmetallipitoisuus kuiva-aineessa (mg/kg)							
	Humus	Sammal	Marja			Sieni		
	Kaikki	Kaikki	Kaikki	Mustikka	Puolukka	Kaikki	Tatit	Rouskut
<b>As</b>	<6,45	<4,49	<2,99	<3,02	<2,95	<3,48	<3,47	<3,50
<b>Cd</b>	<12,64	<11,69	<8,14	<8,18	<8,09	<10,12	<10,49	<9,76
<b>Cr</b>	<44,82	<42,42	<62,46	<62,17	<62,75	<47,56	<46,56	<48,56
<b>Cu</b>	<16,68	29,37	<13,72	<13,73	<13,71	28,13	36,89	19,37

<b>Hg</b>	<8,14	<9,41	<6,12	<6,14	<6,11	<6,95	<7,11	<6,79
<b>Mo</b>	5,42	12,40	6,00	5,54	6,46	<5,35	6,76	<3,93
<b>Ni</b>	<23,21	<24,68	<18,50	<18,51	<18,48	<19,69	<19,89	<19,48
<b>Pb</b>	29,52	<4,91	<3,96	<4,04	<3,88	<4,89	<4,88	<4,89
<b>Sb</b>	<12,53	<11,41	<7,90	<7,95	<7,85	<9,87	<10,20	<9,54
<b>Se</b>	<3,97	<4,25	<3,09	<3,10	<3,08	<3,44	<3,53	<3,35
<b>Sn</b>	<11,93	<10,74	<7,42	<7,44	<7,39	<9,33	<9,70	<8,96
<b>V</b>	<48,77	<33,17	<42,09	<42,76	<41,42	<31,05	<30,30	<31,81
<b>Zn</b>	60,08	97,77	7,16	6,45	7,87	56,37	36,17	76,57
	1 näyte	1 näyte	2 näytettä	1 näyte	1 näyte	2 näytettä	1 näyte	1 näyte

#### 4.2 BAF- ja korrelaatiokertoimet

Taulukossa 10 on esitetty keskimääräiset BAF-kertoimet yleisesti marjoille ja sienille sekä erikseen mustikalle, puolukalle, tateille, rouskuille ja keltavahverolle. Marjojen BAF-kertoimet vaihtelivat raskasmetallista riippuen välillä 0,15–1,49. Sienien BAF-kertoimet vaihtelivat välillä 0,19–1,97 riippuen raskasmetallista.

**TAULUKKO 10. Keskimääräiset BAF-kertoimet marjoille ja sienille**

Aine	Marjat	Mustikka	Puolukka	Sienet	Tatit	Rouskut	Keltavahvero
<b>As</b>	0,43	0,43	0,43	0,52	0,54	0,54	0,55
<b>Cd</b>	0,49	0,47	0,47	0,70	0,79	0,75	0,53
<b>Cr</b>	1,49	1,48	1,54	0,94	0,88	0,95	0,86
<b>Cu</b>	0,66	0,66	0,67	1,49	1,73	0,94	1,78
<b>Hg</b>	0,63	0,61	0,62	0,77	0,85	0,80	0,62
<b>Mo</b>	1,00	0,98	1,11	0,74	0,87	0,60	0,74
<b>Ni</b>	0,65	0,63	0,65	0,76	0,82	0,80	0,66
<b>Pb</b>	0,15	0,16	0,16	0,19	0,17	0,18	0,26
<b>Sb</b>	0,48	0,46	0,46	0,69	0,77	0,74	0,51
<b>Se</b>	0,65	0,63	0,64	0,86	1,03	0,82	0,63
<b>Sn</b>	0,46	0,44	0,43	0,67	0,76	0,73	0,50
<b>V</b>	0,75	0,72	0,77	0,51	0,51	0,53	0,34
<b>Zn</b>	0,24	0,24	0,27	1,97	1,55	1,75	2,50
	16 näytettä	9 näytettä	6 näytettä	16 näytettä	7 näytettä	4 näytettä	1 näyte

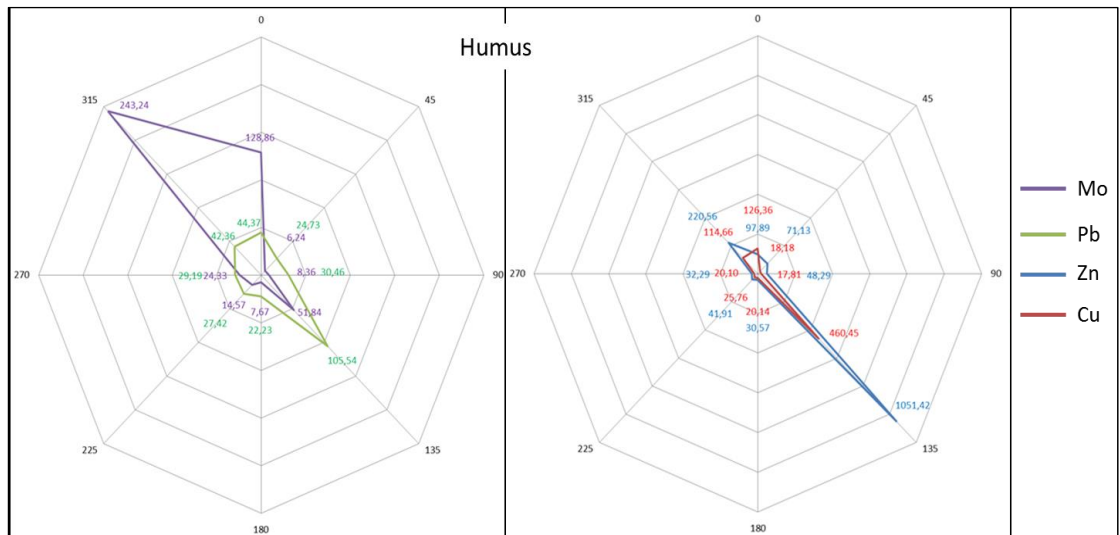
Taulukossa 11 on esitetty marjojen ja sienten korrelaatiokertoimet ja niiden selityssasteet ( $r^2$ ) humuksen suhteen. Marjojen osalta eri raskasmetallien korrelaatiokertoimet ovat pääosin positiivisia vaihdellen välillä -0,06–0,95. Sienten korrelaatiokertoimet taas ovat pääosin negatiivisia vaihdellen välillä -0,34–0,85.

**TAULUKKO 11. Marjojen ja sienten korrelaatiokertoimet humuksen suhteen**

Aine	Marjat	Sienet
As	0,47 ( $r^2=0,22$ )	- 0,34 ( $r^2=0,12$ )
Cd	0,23 ( $r^2=0,05$ )	- 0,08 ( $r^2=0,01$ )
Cr	0,08 ( $r^2=0,01$ )	0,01 ( $r^2=0,0002$ )
Cu	0,40 ( $r^2=0,16$ )	- 0,22 ( $r^2=0,05$ )
Hg	0,56 ( $r^2=0,31$ )	- 0,28 ( $r^2=0,08$ )
Mo	0,95 ( $r^2=0,90$ )	- 0,01 ( $r^2=0,0001$ )
Ni	- 0,06 ( $r^2=0,004$ )	- 0,16 ( $r^2=0,03$ )
Pb	0,46 ( $r^2=0,22$ )	- 0,25 ( $r^2=0,06$ )
Sb	0,25 ( $r^2=0,06$ )	- 0,08 ( $r^2=0,01$ )
Se	0,36 ( $r^2=0,11$ )	- 0,32 ( $r^2=0,10$ )
Sn	0,21 ( $r^2=0,04$ )	- 0,08 ( $r^2=0,01$ )
V	- 0,09 ( $r^2=0,01$ )	0,11 ( $r^2=0,01$ )
Zn	- 0,16 ( $r^2=0,03$ )	0,85 ( $r^2=0,72$ )
	16 näytettä	16 näytettä

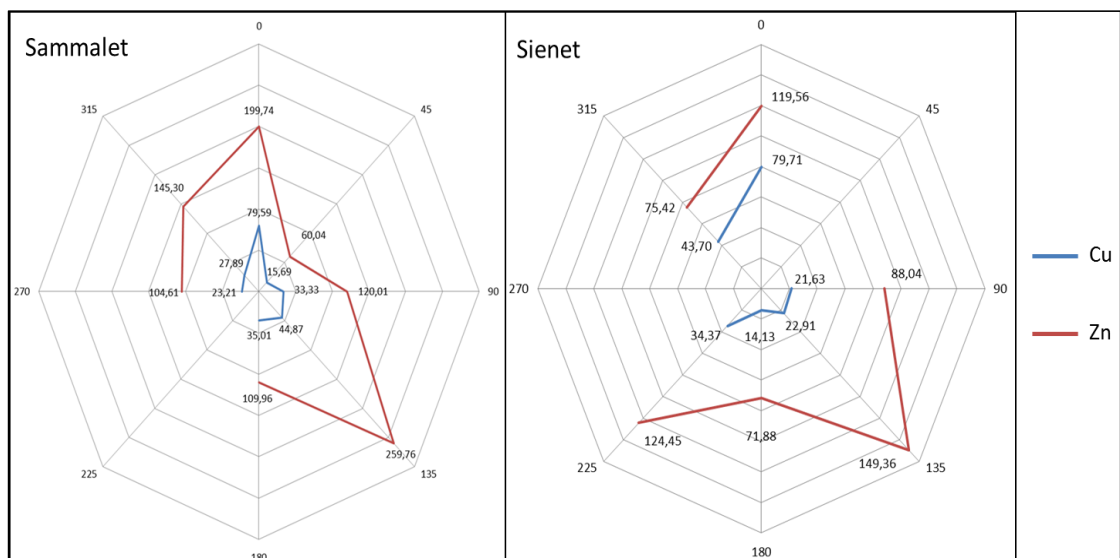
### 4.3 Ilmansuuntavaikutus

Mätäsvaaran humusnäytteissä selvää ilmansuuntavaihtelua löytyi vain kuparin, lyijyn, molybdeenin ja sinkin osalta (Kuva 16). Humuksen kuparipitoisuudet ilmansuunnittain suurimmasta pienimpään noudattivat seuraavaa järjestystä: kaakko, pohjoinen, luode, lounas, etelä, länsi, koillinen ja itä. Lyijyn vastaava järjestys oli kaakko, pohjoinen, luode, itä, länsi, lounas, koillinen ja etelä, molybdeenin luode, pohjoinen, kaakko, länsi, lounas, itä, etelä ja koillinen sekä sinkin kaakko, luode, pohjoinen, koillinen, itä, lounas, länsi ja etelä. Lisäksi kromin (suurimmat pitoisuudet kaakossa, luoteessa ja etelässä) ja vanadiinin (etelässä) osalta löytyi pientä ilmansuuntavaihtelua.



**KUVA 16. Humuksen tuuliruuusut Mätäsvaarassa (Koskela & Turunen 2015)**

Mätäsvaaran sammal- ja sieninäytteissä selvää vaihtelua ilmansuunnittain oli vain kuparin ja sinkin pitoisuuksissa (Kuva 17). Sammalnäytteissä lounas ja sieninäytteissä koillinen ja länsi eivät olleet edustettuina. Sammalten kuparipitoisuudet ilmansuunnittain suurimmasta pienimpään noudattivat seuraavaa järjestystä: pohjoinen, kaakko, etelä, itä, luode, länsi ja koillinen. Vastaava sinkin järjestys oli kaakko, pohjoinen, luode, itä, etelä, länsi ja koillinen. Sienten kuparipitoisuudet ilmansuunnittain suurimmasta pienimpään noudattivat seuraavaa järjestystä: pohjoinen, luode, lounas, kaakko, itä ja etelä. Sinkin osalta vastaava järjestys oli kaakko, lounas, pohjoinen, itä, luode ja etelä. Mätäsvaaran marjanäytteissä oli edustettuina vain kaksi ilmansuuntaa eikä ilmansuuntavaihtelua pystytty toteamaan.

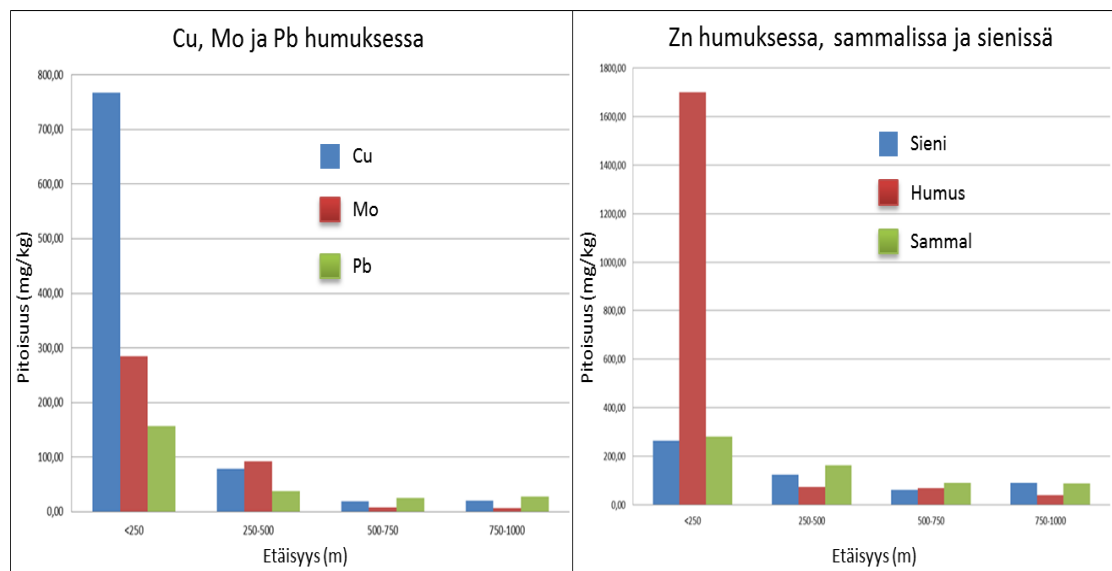


**KUVA 17. Sammalten ja sienten tuuliruuusut Mätäsvaarassa (Koskela & Turunen 2015)**

Tainiovaaran humusnäytteissä oli edustettuna pohjoinen, koillinen, itä, kaakko, lounas ja länsi ja hyvin pientä ilmansuuntavaihtelua pystyttiin toteamaan lyijyn (suurimmat pitoisuudet lounaassa), sinkin (lounaassa) ja vanadiinin (pohjoisessa ja kaakossa) osalta. Sammalnäytteissä oli edustettuna vain kolme ilmansuuntaa (pohjoinen, koillinen, kaakko) ja näiden perusteella pystyttiin huomaamaan vain sinkin muita hieman suuremmat pitoisuudet kaakossa. Tainiovaaran marjanäytteissä oli edustettuina vain pohjoinen, itä, kaakko, lounas eikä näiden perusteella havaittu vaihtelua minkään raskasmetallin osalta. Sieninäytteissä suurimmat kupari- ja sinkkipitoisuudet esiintyivät kaakossa, mutta edustettuina oli vain kolme ilmansuuntaa (koillinen, itä ja kaakko).

#### 4.4 Etäisyysvaikutus

Mätäsvaarassa raskasmetallien etäisyysvaihtelua löydettiin kuparin, lyijyn, molybdeenin ja sinkin osalta (Kuva 18). Kuparin, lyijyn ja molybdeenin etäisyysvaihtelu ilmeni humuksessa kuparin vaihtelun ollessa huomattavin. Sinkin etäisyysvaihtelua esiintyi humuksessa, sammalissa sekä sienissä humuksen sinkkipitoisuuksien vaihtelun ollessa huomattavin. Mätäsvaaran marjanäytteissä ei havaittu etäisyysvaihtelua vaan pitoisuudet olivat tasaiset. Tainiovaaran osalta ei havaittu etäisyysvaihtelua minkään raskasmetallin osalta missään näytelajissa.



**KUVA 18.** Kuparin, lyijyn, molybdeenin ja sinkin etäisyysvaihtelu Mätäsvaarassa (Koskela & Turunen 2015)

#### 4.5 Vertailunäytteiden raskasmetallipitoisuudet

Taulukossa 12 on esitetty vertailunäytteiden Ramboll Analytics:n määrittämät raskasmetallipitoisuudet kuiva-ainetta kohden. Suuria pitoisuuksia kuparia ja sinkkiä löytyi kaikista näytteistä. Humuksesta ja jonkin verran myös sienistä löytyi kromia ja nikkeliä. Humuksessa esiintyi lisäksi suuria lyijy- ja vanadiinipitoisuuksia. Pääasiallisesti suurempia pitoisuuksia löytyi Mätäsvaaran kaivoksen näytteistä.

**TAULUKKO 12. Vertailunäytteiden tulokset kuiva-ainetta kohti**

Aine	Humus (mg/kg)		Marja (mg/kg)		Sieni (mg/kg)	
	M55	T20	M33	T37	M2	T29
As	1,9	1,1	<0,10	<0,10	<0,10	0,10
Cd	0,26	0,11	<0,010	<0,010	0,30	0,21
Cr	48	24	2,4	0,30	7,7	3,0
Cu	18	6,9	4,5	6,0	23	12
Hg	0,12	0,091	<0,050	<0,050	0,57	0,16
Mo	6,0	0,71	0,47	<0,20	0,39	<0,20
Ni	22	9,4	1,5	1,3	4,8	2,0
Pb	19	12	0,073	0,054	0,13	0,19
Sb	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Se	0,74	0,73	<0,20	<0,20	0,96	<0,20
Sn	<0,20	0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
V	49	25	0,14	0,11	0,13	0,18
Zn	72	32	11	11	46	51

Taulukossa 13 on esitetty, kuinka monta kertaa suurempia oman tutkimuksemme vastaavien näytteiden yhden ja 12 minuutin mittausten raskasmetallipitoisuudet olivat verrattuna vertailunäytteiden pitoisuuksiin. Kun verrattiin oman tutkimuksemme yhden minuutin keskimääräisiä tuloksia vastaaviin vertailutuloksiin, tuloksemme olivat 1,2–848,0 kertaa suurempia. Kun taas verrattiin 12 minuutin keskimääräisiä tuloksia vastaaviin vertailutuloksiin, tuloksemme olivat vieläkin 0,5–190,0 kertaa suurempia. Suurimmat erot olivat näytelajikohtaisesti marjoissa ja raskasmetallikohtaisesti kadmiumissa, kromissa, elohopeassa, lyijyssä, antimonissa, tinassa ja vanadiinissa.



**TAULUKKO 13. Tutkimuksen tulokset suhteessa vertailutuloksiin**

	Humus			Marja			Sieni		
	M55		T20	M33		T37	M2		T29
	1min	12min	1min	1min	12min	1min	1min	12min	1min
<b>As</b>	3,9x	1,4x	6,4x	30,0x	9,8x	30,8x	38,6x	12,7x	38,4x
<b>Cd</b>	77,0x	16,5x	180,2x	803,3x	190,0x	848,0x	37,9x	8,3x	47,7x
<b>Cr</b>	1,5x	1,6x	2,0x	26,1x	4,8x	194,4x	5,3x	1,1x	16,1x
<b>Cu</b>	1,3x	1,0x	3,3x	3,0x	1,0x	2,3x	1,9x	1,8x	1,3x
<b>Hg</b>	95,5x	28,6x	124,1x	122,7x	40,3x	125,5x	14,5x	4,5x	42,9x
<b>Mo</b>	1,5x	1,6x	7,6x	12,6x	14,3x	29,8x	19,4x	22,2x	17,2x
<b>Ni</b>	1,6x	0,5x	3,3x	12,4x	4,0x	14,4x	4,6x	1,5x	10,0x
<b>Pb</b>	1,2x	1,2x	1,5x	54,2x	17,8x	75,7x	41,1x	19,4x	26,6x
<b>Sb</b>	202,6x	43,3x	202,8x	78,3x	18,5x	82,1x	111,5x	24,1x	97,3x
<b>Se</b>	7,6x	2,4x	7,7x	15,3x	5,1x	15,8x	4,1x	1,3x	17,0x
<b>Sn</b>	99,8x	21,3x	102,1x	36,8x	8,7x	38,7x	52,7x	11,4x	46,3x
<b>V</b>	1,7x	1,7x	3,1x	303,0x	55,2x	356,6x	204,0x	42,2x	177,8x
<b>Zn</b>	1,2x	1,1x	1,3x	0,7x	0,6x	0,8x	1,6x	1,5x	1,6x

**4.6 Turvalliset syöntimäärät vertailunäytteistä laskettuna**

Taulukossa 14 on esitetty Mätäsvaaran ja Tainiovaaran kaivosympäristöistä kerättyjen puolukoiden, mustikoiden, tattien ja rouskujen turvalliset syöntimäärät viikossa raskasmetallikohtaisesti 60 kilogramman painoiselle henkilölle vertailunäytteiden tuloksista laskettuna. Puolukoiden turvalliset syöntimäärät viikossa vaihtelivat raskasmetallista riippuen 4,6–22951 kilogramman välillä ja mustikoiden 6,2–30882 kilogramman välillä. Tattien turvallinen syöntimäärä vaihteli raskasmetallista riippuen 1,1–62687 kilogramman välillä ja rouskujen 5,6–89362 kilogramman välillä.

**TAULUKKO 14. Turvalliset syöntimäärät viikossa 60 kg painoiselle henkilölle**

	Viikossa syötäväksi suositellut enimmäismäärät (kg)			
Aine	Puolukka (M33)	Mustikka (T37)	Tatit (M2)	Rouskut (T29)
<b>As</b>	23	31	63	89
<b>Cd</b>	115	154	10	21
<b>Cr</b>	4,8	51	4,1	15

<b>Cu</b>	71	72	38	104
<b>Hg</b>	4,6	6,2	1,1	5,6
<b>Mo</b>	49	154	161	447
<b>Ni</b>	77	119	65	223
<b>Pb</b>	57	103	87	85
<b>Sb</b>	9,2	12	25	36
<b>Se</b>	57	77	33	223
<b>Sn</b>	22951	30882	62687	89362
<b>V</b>	148	253	434	447
<b>Zn</b>	104	140	68	88

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

Kaikista näytteistä löytyi keskimääräisesti eniten kromia, sinkkiä, vanadiinia, kuparia ja nikkeliä. Tulosten perusteella kaivosalueiden luonnontuotteisiin ei kuitenkaan kerääntynyt haitallisia määriä raskasmetalleja, vaikka maaperän pitoisuudet olisivatkin kohonneita, ja näiden turvalliset syöntimäärät tuskin ylittyvät normaalikäytössä. Tutkimuksen tulosten lukuarvojen käyttökelpoisuutta rajoittaa kuitenkin niiden huono luotettavuus.

### 5.1 Raskasmetallipitoisuudet eri näytelajeissa

Verrattaessa humus-, sammal-, marja- ja sieninäytteitä keskenään keskimäärin suurimmat raskasmetallipitoisuudet löytyivät humuksesta ja sammalista. Ne ottavatkin raskasmetalleja tehokkaasti ilmalaskeumasta. Näiden jälkeen suurimmat pitoisuudet olivat sienissä, jotka pystyvät keräämään joitakin raskasmetalleja tehokkaasti laajalla rihmastollaan. Pienemmät pitoisuudet löytyivät marjoista. Kanervakasveihin kuuluvat mustikka ja puolukka eivät yleisesti kerää raskasmetalleja kovin tehokkaasti.

Raskasmetallikohtaisesti kaikki näytelajit sisälsivät eniten kromia, sinkkiä, vanadiinia ja kuparia. Kromia oli eniten marjoissa ja muiden näytelajien kromipitoisuudet olivat keskenään tasaisempia. Sinkkiä oli eniten sammalissa, humuksessa ja sienissä, mutta marjoissa pitoisuudet olivat näitä pienempiä. Vanadiinia esiintyi eniten humuksessa, seuraavaksi marjoissa ja sammalissa ja vähiten sienissä. Kuparia oli eniten humukses-

sa, sammalissa ja sienissä ja vähiten marjoissa. Kaikissa näytteissä esiintyi myös verrattain paljon nikkeliä ja humuksessa lyijyä.

Vertailunäytteissä (humus, marja ja sieninäytteet) keskimääräiset suurimmat raskasmetallipitoisuudet löytyivät humuksesta, sitten sienistä ja viimeiseksi marjoista. Trendi vastasi tutkimuksen löydöksiä. Raskasmetallikohtaisesti suurimmat pitoisuudet löytyivät sinkin, kromin, vanadiinin ja kuparin osalta kaikista näytteistä. Kaikissa vertailunäytteistä oli verrattain paljon myös nikkeliä ja humuksessa lyijyä. Myös tämä trendi vastasi tutkimuksen tuloksia.

Lisäksi tiedetään, että kromia, sinkkiä, vanadiinia, kupari, nikkeliä ja lyijyä löytyy luonnosta yleisesti. Suurin osa näistä on myös välttämättömiä hivenaineita kasveille ja sienille. Aikaisemmissa tutkimuksissa sammalissa on havaittu suuria pitoisuuksia kuparia, nikkeliä, kromia, vanadiinia ja sinkkiä. Etenkin kupari ja sinkki kulkeutuvat kaikkiin kasveihin helposti. Kromi ja nikkeli eivät kulkeudu helposti kasveihin vaikka pitoisuudet olisivat korkeita maaperässä. Niiden suuret pitoisuudet voivat selittyä kuitenkin ilmalaskeumalla. Sieniin kerääntyy tavallisesti välttämättöminä hivenaineina suuria määriä kuparia ja sinkkiä.

Mätäsvaaran rikastushiekkanäytteissä esiintyi eniten sinkkiä, kuparia, molybdeenia, nikkeliä, lyijyä, vanadiinia ja kromia. Molybdeenin suuri pitoisuus oli odotettavissa, sillä kaivos tuotti nimenomaan sitä. Muita löytyneitä raskasmetalleja esiintyy luonnossa yleisesti, kuten edellä todettiin.

## **5.2 Raskasmetallien kertyminen marjoihin ja sieniin**

Keskimääräisesti sienet keräsivät marjoja tehokkaammin raskasmetalleja, mikä on niille tyypillistä. Sienten raskasmetallipitoisuuksista löytyi jonkin verran myös sukukohtaista vaihtelua, kun taas mustikoiden ja puolukoiden pitoisuudet eivät juuri eronneet toisistaan. Pääasiassa marjojen ja sienten raskasmetallipitoisuudet olivat pienempiä kuin humuksessa, eikä korrelaatioita humuspitoisuuksien kanssa löytynyt muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta.

### 5.2.1 Marjat

Marjoihin kerääntyi keskimääräisten pitoisuustuloksien perusteella selvästi eniten kromia, vanadiinia, nikkeliä ja kuparia. Muiden raskasmetallien pitoisuudet olivat verrattain pienempiä ja melko samansuuruisia. Lajikohtaisesti mustikan ja puolukan raskasmetallipitoisuuksien kertymisessä ei ollut juuri eroa. Vertailutulosten perusteella edellä mainitut löydökset toteutuivat muuten, paitsi että marjoihin kerääntyi (ainakin näiden kahden vertailunäytteen perusteella) eniten sinkkiä, eikä vanadiinia juuri ollenkaan. Myös aikaisemmat tutkimukset (Taulukko 2) tukivat löydöksiä ainakin kromin, kuparin ja nikkelin suurien pitoisuuksien osalta. Lisäksi Loviisassa metallisuonten lähistöillä tehdyt tutkimukset osoittivat, että muidenkin raskasmetallien pitoisuudet marjoissa voivat olla kuormittuneilla alueilla suurempia.

Tutkimuksessa marjojen BAF-kertoimet olivat pääasiassa alle yhden eli kasvien raskasmetallipitoisuudet olivat pienempiä kuin humuksen. Ainoastaan kromin ja molybdeenin BAF-kertoimet saivat arvon yksi tai sen yli eli näiden tulosten mukaan ne olivat marjoissa biokertyviä. Mustikan ja puolukan BAF-kertoimille ei kuitenkaan löydetty vertailtavia arvoja. Korrelaatiokertoimilla arvioituna todettiin, että arseenin, kuparin, elohopean, lyijyn ja seleenin pitoisuuksissa oli kohtalaista positiivista korrelaatiota ( $0,30 < r < 0,70$ ) eli humuksen raskasmetallipitoisuuden noustessa myös marjojen pitoisuudet nousivat. Näiden selitysteet olivat kuitenkin huonot eli korrelaatiota ei juuri ollutkaan. Molybdeenin osalta positiivinen korrelaatio oli voimakasta ( $r > 0,70$ ) ja selityste oli suhteellisen hyvä (0,90). Muiden raskasmetallien osalta ei löydetty korrelaatioita.

### 5.2.2 Sienet

Sieniin kerääntyi keskimääräisten pitoisuustulosten perusteella selvästi eniten sinkkiä, kromia, kuparia, vanadiinia ja nikkeliä. Muiden raskasmetallien pitoisuudet olivat verrattain pienempiä ja melko samansuuruisia. Lajikohtaisesti katsottuna raskasmetallien keräämisessä oli eroja lähinnä vain kuparin ja sinkin osalta. Yleensä keltavahverot ja tatit keräsivät rouskuja enemmän kuparia, mutta sinkin osalta lajiero ei ollut ihan näin selkeä. Vertailunäytteiden tulosten perusteella edellä mainitut toteutuivat muuten, paitsi että vanadiinia ei kerääntynyt (ainakaan näiden kahden näytteen perusteella) juurikaan sieniin. Myös aikaisemmat tutkimukset (Taulukko 4 ja Liite 1) tukivat löy-

döksiä ainakin kuparin, nikkelin ja sinkin suurempien pitoisuuksien osalta. Pääasiassa muiden raskasmetallien pitoisuudet ovat olleet pienempiä, kuten tässäkin tutkimuksessa, jos ei huomioida kromia ja vanadiinia.

Tutkimuksessa sienten BAF-kertoimet olivat pääasiassa alle yhden eli sienten raskasmetallipitoisuudet olivat pienempiä kuin humuksessa. Ainoastaan kuparin ja sinkin BAF-kertoimet saivat yli yhden suuruiset arvot eli näiden tulosten mukaan ne olivat sienissä biokertyviä. Myös kromin BAF-kerroin lähestyi yhtä. BAF-kertoimet osoittivat keltavahveroiden ja tattien keräävän kuparia rouskuja selvästi tehokkaammin. Vertaattaessa tutkimuksen BAF-kertoimia Luikonlahden tutkimuksen kertoimiin (Taulukko 5) voitiin todeta, että tattien osalta kadmiumin, kuparin, molybdeenin, seleenin ja sinkin keskimääräiset kertoimet osuivat samalle vaihteluvälille ja arseenin, kromin, nikkelin ja lyijyn kertoimet olivat suurempia. Rouskujen osalta arseenin, kromin, seleenin ja sinkin keskimääräiset kertoimet osuivat vaihteluvälille ja kromin, kuparin, molybdeenin, nikkelin ja lyijyn kertoimet olivat suurempia. Keltavahveron osalta vain seleenin kerroin osui samalle vaihteluvälille muiden ollessa suurempia. Tutkimuksessa keltavahveroita edusti kuitenkin vain yksi näyte.

Korrelaatiokertoimilla arvioituna todettiin, että sienten arseenin ja seleenin pitoisuuksissa oli kohtalaista negatiivista korrelaatiota ( $-0,30 < r < -0,70$ ) eli humuksen raskasmetallipitoisuuksien laskiessa sienten pitoisuudet kasvoivat ja sama ilmiö nähtiin heikommin myös kuparin, elohopean, nikkelin ja lyijyn osalta. Näiden selitysasteet olivat kuitenkin huonot eli korrelaatiota ei juuri ollutkaan. Sinkin osalta löydettiin voimakas positiivinen korrelaatio ( $r > 0,70$ ) eli humuksen sinkkipitoisuuden kasvaessa myös sienten sinkkipitoisuudet kasvoivat. Korrelaation selitysaste oli melko hyvä (0,72). Muiden raskasmetallien osalta ei löydetty korrelaatioita.

### 5.3 Riskialueiden tunnistaminen

Mätäsvaaran ja Tainiovaaran kaivosalueiden riskialueiden tunnistaminen kohonneiden raskasmetallipitoisuuksien osalta tehtiin ilmansuunta- ja etäisyysvaikutusten sekä verrokkialuevertailun perusteella. Viime kädessä pohdintaan vaikuttivat kaivosten lähi-alueiden luonnontuotteiden raskasmetallipitoisuudet.

### 5.3.1 Mätäsvaara

Tutkimalla Mätäsvaaran raskasmetallipitoisuuksia ilmansuunnittain huomattiin, että löydettyissä ilmansuuntavaikutuksissa (humuksessa molybdeeni, lyijy, sinkki ja kupari sekä sammalissa ja sienissä sinkki) kaikille yhteistä oli korkeampien pitoisuuksien keskittyminen kaakkoon sekä luode-pohjoinen-sektorille. Tämä voi johtua monestakin tekijästä. On mahdollista, että alueella on luontaisesti luode-kaakko-suunnassa enemmän näitä raskasmetalleja maaperässä. Ottaen huomioon alueen topografiset piirteet, on kuitenkin todennäköisempää, että tuulet tai valumavedet pääsevät kuljettamaan rikastushiekkakentältä raskasmetalleja ympäristöön. Mätäsvaaran kaivosalueen länsi- ja itäpuolella sekä pohjoisessa maasto kohoaa tehden juuri luode-kaakko-suuntaisen alanteen. Lisäksi juuri näitä raskasmetalleja löydettiin suurempia määriä rikastushiekasta.

Samoilta raskasmetalleilta löydettiin myös etäisyysvaihtelua (humuksessa molybdeeni, lyijy, sinkki ja kupari sekä sammalissa ja sienissä sinkki). Näiden havaintojen perusteella kuparin, lyijyn, molybdeenin ja sinkin pitoisuudet olivat suurempia alle 250 metrin päässä rikastushiekkakentän keskustasta. Etäisyyden kasvaessa pitoisuudet vähenivät ensin rajusti (250–500 metriä) ja laskivat vielä tämänkin jälkeen.

Kun verrattiin Mätäsvaaran ja verrokkialueen eri näytelajien vastaavia keskimääräisiä raskasmetallipitoisuuksia toisiinsa, huomattiin, että lähinnä vain humuksen pitoisuuksissa oli eroja joidenkin raskasmetallien kohdalla. Mätäsvaaran humuksen keskimääräiset pitoisuudet olivat verrokkialuetta suurempia kuparin, molybdeenin, lyijyn ja sinkin osalta. Eroa Mätäsvaaran ja verrokkialueen luonnontuotteiden keskimääräisissä raskasmetallipitoisuuksissa ei kuitenkaan juuri ollut edes näiden raskasmetallien osalta. Ainoat poikkeukset olivat Mätäsvaaran verrokkialuetta korkeammat sammalien ja tattien sinkkipitoisuudet, jotka voivat selittyä näytteiden sisältämällä eri lajeilla tai pienillä näytemäärillä. Esimerkiksi verrokkialueen tattinäytteessä oli vain koivunpunikkitatteja, kun taas Mätäsvaaran näytteissä oli lisäksi nokitatteja ja herkkutatti. Kaiken kaikkiaan näiden havaintojen perusteella siis Mätäsvaaran luonnontuotteissa ei ollut keskimääräisesti sen enempää raskasmetalleja kuin verrokkialueellakaan.

### 5.3.2 Tainiovaara

Tainiovaaran ilmansuuntavaikutuksen tutkimuksessa eivät olleet edustettuina kaikki ilmansuunnat missään näytelajissa. Humusnäytteiden kuuden ilmansuunnan osalta pystyttiin kuitenkin arvioimaan, että kaivosalueella tuskin on suuria raskasmetallipitoisuseroja eri ilmansuunnissa eli pitoisuudet ovat selvästi tasaisempia kuin Mätäsvaarassa. Arviointia tukee se, että Tainiovaarassa ei myöskään havaittu raskasmetallien etäisyysvaihtelua missään näytelajissa.

Kun verrattiin Tainiovaaran ja verrokkialueen eri näytelajien vastaavia keskimääräisiä raskasmetallipitoisuuksia toisiinsa huomattiin, että lähinnä vain jotkin humuksen raskasmetallipitoisuudet olivat verrokkialuetta hieman korkeampia. Näiden erot eivät olleet merkittäviä ja vielä vähemmän eroa löytyi alueiden luonnontuotteiden raskasmetallipitoisuuksista. Suurin alueiden välinen ero oli, että verrokkialueen humuksessa oli Tainiovaaraa enemmän sinkkiä. Eroa oli sinkin osalta hieman myös sieninäytteissä, mutta eron selittää todennäköisesti näytteiden lajijakauma tai pienet näytemäärät. Kaiken kaikkiaan näiden havaintojen perusteella siis Tainiovaaran luonnontuotteissa ei ollut keskimääräisesti sen enempää raskasmetalleja kuin verrokkialueellakaan.

### 5.4 Turvalliset syöntimäärät

Mätäsvaaran kaivoksen lähialueen mustikoiden ja puolukoiden turvallinen syöntimäärä viikossa arvioitiin karkeasti vertailunäytteen perusteella olevan 60 kilogramman painoiselle henkilölle noin 4,6 kilogrammaa. Rajoittavana tekijänä oli elohopea. Mustikoiden ja puolukoiden turvallisen syöntimäärän arvioitiin olevan lähes sama, koska tässä ja aikaisemmissa tutkimuksissa niiden raskasmetallipitoisuuksissa ei ole todettu juuri vaihtelua. Solu M33, josta kyseiset näytteet kerättiin, sijaitsi tutkimusalueen ulkoreunalla eli 750–1000 metrin päässä rikastushiekkakentästä, mutta tutkimuksessa ei löydetty marjojen osalta etäisyysvaihtelua raskasmetallipitoisuuksissa. Näin ollen arvioituna turvallista syöntimäärää voitiin pitää sopivana myös läheltä rikastushiekkakenttää kerätyille marjoille.

Edellä mainituin perustein Tainiovaaran kaivoksen lähialueen mustikoiden ja puolukoiden turvallinen syöntimäärä viikossa arvioitiin karkeasti vertailunäytteen perusteella olevan 60 kilogramman painoiselle henkilölle noin 6,2 kilogrammaa. Rajoittavana

tekijänä oli elohopea. Lisäksi voitiin todeta, että solu T37, josta kyseiset näytteet kerättiin, oli aivan louhoksen tuntumassa.

Mätäsvaaran kaivoksen lähialueen tattien turvallinen syöntimäärä viikossa arvioitiin karkeasti vertailunäytteen perusteella olevan 60 kilogramman painoiselle henkilölle noin 1,1 kilogrammaa. Rajoittavana tekijänä oli elohopea. Koska rouskujen elohopeapitoisuuksien oli tässä ja aikaisemmissa tutkimuksissa arvioitu olevan jonkin verran tatteja pienempiä, arvioitiin rouskujen turvallisen syöntimäärän viikossa olevan vielä tatteja suurempi. Solu M2, josta kyseiset näytteet kerättiin, sijaitsi tutkimusalueen reunalla, mutta tutkimuksessa ei löydetty etäisyysvaihtelua sienten elohopeapitoisuuksien osalta. Näin ollen arvioituja turvallisia käyttömääriä voitiin pitää sopivana myös läheltä rikastushiekkakenttää kerätyille marjoille.

Tainiovaaran kaivoksen lähialueiden rouskujen turvallinen syöntimäärä viikossa arvioitiin karkeasti vertailunäytteen perusteella olevan 60 kilogramman painoiselle henkilölle noin 5,6 kilogrammaa. Rajoittavana tekijänä oli elohopea. Edellä mainituin perusteiden Tainiovaaran tattien turvallinen syöntimäärä arvioitiin olevan jonkin verran tätä määrää pienempi. Lisäksi voitiin todeta, että solu T29, josta kyseiset näytteet kerättiin, oli aivan kaivoksen vieressä.

Marjojen ja sienten turvallisia käyttömääriä pohtiessa on lisäksi hyvä huomata, että yleensä raskasmetalleista johtuvia haitallisia terveysvaikutuksia esiintyy vain, kun altistuminen niille on säännöllistä ja pitkäaikaista eli päivittäistä ja useita kuukausia kestävä (Pelkonen ym. 2006). Normaalisti marjat ja sienet ovat kausituotteita, joita harvoin syödään päivittäin, ja vaikka syötäisiinkin, niiden määrät eivät ole suuria. Normaalikulutuksessa Mätäsvaaran ja Tainiovaaran marjojen ja sienten turvalliset syöntimäärät tuskin ylittyvät. Näin ollen marjojen ja sienten kerääminen kaivosten ympäristöistä on todennäköisesti turvallista myös kaivosten vanhojen toiminta-alueiden välittömästä läheisyydestä.

## **5.5 Tulosten luotettavuus ja käyttökelpoisuus**

Tutkimuksessa näytteiden keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet olivat vastaavia vertailunäytteitä osin huomattavasti korkeampia. Minuutin mittauksissa ero oli jopa 800-kertainen. 12 minuutin mittauksissa pitoisuudet olivat edelleen osin huomattavan



korkeita vaikkakin laskivat korkeimmillaan 190-kertaisiksi. Kenttämittarin mittausaikaa pidentämällä ei siis päästy vieläkään lähellä laboratorioanalyysien tarkkuutta. Tämä johtunee pääosin siitä, että käytetyssä XRF-analysaattorissa ei ollut puhtaasti bio-näytteille soveltuva ohjelmaa ja suurin osa tuloksista saatiin LOD-arvoina, jotka olivat tarkkuudeltaan huonoja. Korjaavia toimenpiteitä testattiin analysaattorin eri ohjelmilla ja näytekuppeilla näytekuppien sijaan, mutta vaikutusta ei ollut.

Muita mahdollisia virheitä aiheuttavia tekijöitä ovat voineet olla esimerkiksi näytteiden suuri raekoko, jolloin mittauksissa voi olla epäedustavuutta. Etenkin joissakin marja- ja sieninäytteissä oli suurempia kappaleita riippuen näiden homogenisointiherkkyydestä ja tällöin juuri mittauskohtaan on voinut sattua juuri suurempi kappale. Laboratorioanalyseissa tällaiset tekijät häviävät. Toisaalta eroa voi selittää jonkin verran myös se, että vaikka vertailunäytteet olivat samojen solujen näytteistä, eivät ne olleet aivan täsmälleen samasta kohdasta näytettä. Näytteiden huolellinen homogenisointi ja sekoittaminen kuitenkin vähensivät tällaisen virheen mahdollisuutta.

Keskimääräisesti eniten eroa tutkimuksen ja vertailunäytteiden pitoisuuksissa oli marjojen osalta. Humuksen ja sienten pitoisuuserojen järjestys ei ollut niin selkeästi todettavissa. Suurimmat erot raskasmetallikohtaisesti olivat kadmiumin, kromin, elohopean, lyijyn, antimonin, tinan ja vanadiinin pitoisuuksissa ja pienimmät kuparin, nikkelin, seleenin ja sinkin pitoisuuksissa. Tutkimuksen tuloksien eroamisessa vertailunäytteiden tuloksista ei kuitenkaan löydetty sellaisia säännönmukaisuuksia eri raskasmetallien tai näytetyyppien osalta, että tutkimuksen tuloksia olisi voitu korjata esimerkiksi prosentuaalisesti. Tähän olisi ehkä tarvittu laajemmat uusintamittaukset.

Sammalien ja rikastushiekan osalta erillisiä vertailunäytteitä ei ollut. Sammalten pitoisuuksien luotettavuutta oli täten hankala todentaa, mutta todennäköisesti myös niiden pitoisuudet olivat todellisuutta suurempia. Rikastushiekan tuloksia voidaan siinä mielessä pitää suhteellisen luotettavina, että ne olivat puhtaita mineraalinäytteitä, joiden mittaukseen XRF-analysaattori soveltuu. Lisäksi voidaan kaikkien näytteiden osalta todeta, että jokaisella mittauskerralla XRF-analysaattorin toiminta varmistettiin tunnetulla standardinäytteellä, ja tulokset osuivat sallitulle välille. Minkään näytteen toisomittauksissa ei myöskään ollut kovin suurta hajontaa.

Vaikka tutkimuksen näytteiden raskasmetallipitoisuudet humuksen, sammalten, marjojen ja sienien osalta olivat lukuarvoina liian suuripirteisiä, voitiin niiden perusteella laskea kuitenkin yleisiä trendejä, koska pitoisuuksien määrälliset suhteet eivät yleisesti ottaen muuttuneet. Yleisten trendien tasolla pystyttiin selvittämään raskasmetallien lajikohtaisia kertyvyyksiä ja levinneisyyksiä kaivosalueilla sekä vertailemaan kaivos- ja verrokkialueiden raskasmetallipitoisuuksia. Suurin osa löydöksistä pystyttiin toteamaan suuntaa antaviksi vertailunäytteiden ja aikaisempien tutkimuksien pohjalta. Lisäksi vertailunäytteiden raskasmetallipitoisuuksista pystyttiin arvioimaan, vaikkakin karkeasti yksittäisistä näytteistä, turvallisia syöntimääriä kaivoalueiden marjoille ja sienille.

On kuitenkin todettava, että etenkin sieninäytteiden osalta joidenkin sienilajien edustajien määrät sekä näytteiden kokonaismäärät olivat melko pieniä johtuen huonosta sienisadosta. Marjojen osalta näytteenotto onnistui suhteessa paremmin. Toisaalta edustavaa näytteenottoa häiritsivät jonkin verran sopivien marja- ja sieninäytteiden löytymisen lisäksi näytteenoton kiireellinen aikataulu ja maastoesteet, jolloin joidenkin solujen näytteenottoa ei saatu toteutettua suunnitellusti. Nämä tekijät ovat voineet aiheuttaa tutkimuksen tuloksiin sattumanvaraisuutta.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaivosympäristöissä etenkin pölyn kautta tapahtuva kertyminen luonnontuotteisiin voi olla merkittävää, mutta sen mahdollinen vaikutus niiden pitoisuuksiin riippuu esikäsittelytavoista ennen niiden hyödyntämistä (Makkonen ym. 2013). Vaikka yleisesti luonnontuotteita ei suositella kerättäväksi kuormittuneilta alueilta, voidaan tutkimuksen yleisten trendien perusteella todeta, että Mätäsvaaran ja Tainiovaaran vanhojen kaivosten lähialueiden luonnontuotteiden käyttämisestä ravintona ei tutkittujen raskasmetallipitoisuuksien perusteella aiheudu merkittävää terveyshaittaa. Kaivokset ovat olleet käyttämättöminä niin kauan, että edes niiden välittömästä läheisyydestä kerätyistä luonnontuotteista ei löytynyt suuria pitoisuuksia.

Näytteiden XRF-kenttäanalyysointilla mitatut raskasmetallipitoisuuksien lukuarvot todettiin Ramboll Analytics:n analyysoimien vertailunäytteiden perusteella liian suuripirteisiksi. Raskasmetallipitoisuuksien yleisten trendien avulla saatiin kuitenkin vas-

taukset tutkimuksen kaikkiin kolmeen päähypoteesiin. Ensimmäinen hypoteesi ”kaivoksien lähiympäristön luonnontuotteissa on suuremmat raskasmetallipitoisuudet kuin verrokkialueella, johon kaivostoiminta ei vaikuta” kumoutui. Kaivosten ja verrokki-alueiden luonnontuotteiden pitoisuudet olivat keskimääräisesti samansuuruisia. Myös toinen hypoteesi ”luonnontuotteiden raskasmetallipitoisuudet kasvavat sitä korkeammiksi, mitä lähempänä ollaan kaivosten toiminta-alueita” kumoutui. Luonnontuotteiden raskasmetallipitoisuuksissa ei havaittu etäisyysvaihtelua. Kolmas hypoteesi ”eri marja- ja sienilajit rikastavat eri tavoin raskasmetalleja” toteutui tämän tutkimuksen perusteella osittain sienien osalta. Marjojen osalta ei löydetty eroja raskasmetallien kerääntymisessä, mutta mustikan ja puolukan keräämiskyvyt voivatkin olla vastaavia.

Raskasmetallien terveysvaikutusten arvioiminen ei ole yksinkertaista. Arvioitaessa raskasmetallien myrkyllisyyttä ja altistustason ylittymisestä aiheutuvaa riskiä on tärkeää ottaa huomioon niiden myrkyllisyyteen vaikuttavat tekijät. Esimerkiksi kadmium vähentää yleisesti kuparin ja sinkin absorboitumista. Lisäksi kadmium vaikuttaa entsyymireaktioihin häiritsemällä sinkin roolia tärkeissä elintoiminnoissa. Toisaalta korkeiden sinkkitasojen uskotaan antavan suojaa kadmiumin haitallisia vaikutuksia vastaan. (Pelkonen ym. 2006).

## LÄHTEET

Antimony. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti.

<http://www.lenntech.com/periodic/elements/sb.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

Arresto, Anu & Pennanen, Hanna 2015. Pohjois-Karjalan kaivosympäristön luonnon-  
tuotteiden ja talousvesien raskasmetallit -hanke: Taustaselvitys. PDF-dokumentti.

<http://www.joensuu.fi/documents/11127/24817/Kaivos Hankkeen+taustaselvitys/f6776deb-99f7-4cc3-9667-839b40c76191>. Ei päivitystietoa. Luettu 5.9.2015.

Arseeni (As). 2013. Metla. WWW-dokumentti.

<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-arseeni.htm>. Päivitetty 16.10.2013. Luettu 15.10.2015.

Arsenic. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti.

<http://www.lenntech.com/periodic/elements/as.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

Bezabeh, Wulita, Ollus, Fredrik & Finell, Mattias 2007. Sienien ja marjojen raskasmetallipitoisuuksien tutkiminen Pietarsaaren seudulla. PDF-dokumentti.

[https://www.sochv.jakobstad.fi/index.php?use=document&cmd=download\\_file&file=6917](https://www.sochv.jakobstad.fi/index.php?use=document&cmd=download_file&file=6917). Päivitetty 22.11.2007. Luettu 15.10.2015.

Cadmium. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti.

<http://www.lenntech.com/periodic/elements/cd.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

Chromium. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti.

<http://www.lenntech.com/periodic/elements/cr.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

Copper. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti.

<http://www.lenntech.com/periodic/elements/cu.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

Elohoepa (Hg). 2013. Metla. WWW-dokumentti.

<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-elohopea.htm>. Päivitetty 16.10.2013. Luettu 15.10.2015.

Eurola, Merja, Pääkkönen, Kirsti & Varo, Pentti 1996. Raskasmetallit sienissä. Elin-  
tarvikevirasto. Tutkimuksia 7/1996. Helsinki: Edita.

Golubev, Vitali 2015. Biofuel quality control by portable XRF-analyser. Mikkelin  
ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-  
dokumentti.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93279/Vitaly\\_Golubev\\_Biofuel\\_portable\\_XRF.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93279/Vitaly_Golubev_Biofuel_portable_XRF.pdf?sequence=1). Päivitetty 11.5.2015. Luettu 14.10.2015.

Itä-Suomen yliopisto 2015. Ympäristövaikutukset. WWW-dokumentti.

<http://www2.uef.fi/fi/kaivostutkimus/ymparistovaikutukset>. Ei päivitystietoa. Luettu 4.9.2015.

Järvinen, Antti 2003. Helsingin Keskuspuiston sienten vierasaineet vuonna 1999. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2003. PDF-dokumentti. <http://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-02-03.pdf>. Ei päivitystietoa. Luettu 13.10.2015.

Kadmium (Cd). 2013. Metla. WWW-dokumentti. <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-kadmium.htm>. Päivitetty 16.10.2013. Luettu 15.10.2015.

Kromi (Cr). 2013. Metla. WWW-dokumentti. <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-kromi.htm>. Päivitetty 16.10.2013. Luettu 15.10.2015.

Kupari (Cu). 2013. Metla. WWW-dokumentti. <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-kupari.htm>. Päivitetty 16.10.2013. Luettu 15.10.2015.

Lead. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti. <http://www.lenntech.com/periodic/elements/pb.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

Lyijy (Pb). 2013. Metla. WWW-dokumentti. <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-lyijy.htm>. Päivitetty 16.10.2013. Luettu 15.10.2015.

Makkonen, Sari, Roivainen, Päivi & Nerg, Anne-Marja 2013. Yhteenvetoraportti MINERA-projektissa tehdyistä ruokasienten metallipitoisuustutkimuksista Luikonlahdella 2010. PDF-dokumentti. [http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/98\\_2013.pdf](http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/98_2013.pdf). Päivitetty 3.4.2013. Luettu 13.10.2015.

MAMK 2015. NITON XRF:n pikaohje. Moniste. Mikkelin ammattikorkeakoulun ympäristölaboratorio.

Mercury. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti. <http://www.lenntech.com/periodic/elements/hg.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

Molybdenum. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti. <http://www.lenntech.com/periodic/elements/mo.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

National Organization for Rare Disorders 2006. Heavy Metal Poisoning. WWW-dokumentti. <https://rarediseases.org/rare-diseases/heavy-metal-poisoning/>. Ei päivitystietoa. Luettu 13.10.2015.

Nickel. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti. <http://www.lenntech.com/periodic/elements/ni.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

Nikkarinen, Maria & Mertanen, Enni 2004. Impact of geological origin on trace element composition of edible mushrooms. *Journal of Food Composition and Analysis* 17 (2004), 301–310.

Nikkeli (Ni). 2013. Metla. WWW-dokumentti.

<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-nikkeli.htm>. Päivitetty 16.10.2013. Luettu 15.10.2015.

Opasnet 2012. Metallimalmikaivostoiminnan päästöt. WWW-dokumentti.

[http://fi.opasnet.org/fi/Metallimalmikaivostoiminnan\\_p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t](http://fi.opasnet.org/fi/Metallimalmikaivostoiminnan_p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t). Päivitetty 25.7.2012. Luettu 13.10.2015.

Pelkonen, Riina, Alftham, Georg & Järvinen, Olli 2006. Cadmium, lead, arsenic and nickel in wild edible mushrooms. *The Finnish Environment* 17/2006. PDF-dokumentti.

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38752/FE17\\_2006.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38752/FE17_2006.pdf?sequence=1). Ei päivitystietoa. Luettu 7.10.2015.

Pelkonen, Riina, Alftham, Georg & Järvinen, Olli 2008. Element Concentrations in Wild Edible Mushrooms in Finland. *The Finnish Environment* 25/2008. PDF-dokumentti.

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38380/FE\\_25\\_2008.pdf?sequence=3](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38380/FE_25_2008.pdf?sequence=3). Ei päivitystietoa. Luettu 13.10.2015.

Poikolainen, Jarmo & Rautio, Pasi 2012. Ympäristön kuormittuminen Lapissa bioindikaattoriseurantojen perusteella. *Acta Lapponica Fenniae* 24/2012, 61-73. PDF-dokumentti.

<http://www.lapintutkimusseura.fi/files/Acta%20Lapponica%20Fenniae%2024.pdf>. Ei päivitystietoa. Luettu 15.10.2015.

Ranta, Eija-Leena 1999. Helsingin viljelyspalsta-alueiden raskasmetallipitoisuudet. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 10/1999. PDF-dokumentti.

<http://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-10-99.pdf>. Ei päivitystietoa. Luettu 15.10.2015.

Rautiainen, Olli 2012. Raskasmetallit kasvillisuudessa ampumaradalla. Helsingin yliopisto. Metsätieteiden laitos. Pro gradu -tutkielma. PDF-dokumentti.

<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37855/Raskasmetallit%20kasvillisuudessa%20ampumaradalla.pdf?sequence=1>. Ei päivitystietoa. Luettu 15.10.2015.

Reinikainen, Jussi 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäysperusteet. Suomen ympäristö 23/2007. PDF-dokumentti.

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38431/SY\\_23\\_2007.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38431/SY_23_2007.pdf?sequence=4). Ei päivitystietoa. Luettu 13.10.2015.

Sammalten raskasmetallipitoisuuksista Suomessa vuosina 1985–2010. 2013. Metla. WWW-dokumentti.

<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/tulokset.htm>. Päivitetty 14.6.2013. Luettu 15.10.2015.

Selenium. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti.

<http://www.lenntech.com/periodic/elements/se.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

Sinkki (Zn). 2013. Metla. WWW-dokumentti.

<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-sinkki.htm>. Päivitetty 16.10.2013. Luettu 15.10.2015.

Tchounwou, Plau, Yedjou, Clement, Patlolla, Anita & Sutton, Dwayne 2014. Heavy Metals Toxicity and the Environment. WWW-dokumentti.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4144270/>. Päivitetty 6.8.2014. Luettu 13.10.2015.

Thermo Fisher Scientific 2010. XL3 Analyzer. User's Guide, Version 7.0.1. PDF-dokumentti. <http://www.tttenviro.com/wp-content/uploads/Manual-XL3-Series-v7.0.11.pdf>. Ei päivitystietoa. Luettu 29.9.2015.

Tin. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti.

<http://www.lenntech.com/periodic/elements/sn.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

Tuominen, Terhi 1997. Metsämarjojen raskasmetallipitoisuus. PDF-dokumentti.

<http://elektra.helsinki.fi/ezproxy.mikkeli.amk.fi:2048/se/1/0024-7383/101/3/metsamar.pdf>. Ei päivitystietoa. Luettu 15.10.2015.

Tyrväinen, Sami 2015. Sähköpostiviesti 23.11.2015. Kemisti. Ramboll Analytics.

Vanadiini (V). 2013. Metla. WWW-dokumentti.

<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-vanadiini.htm>. Päivitetty 16.10.2013. Luettu 15.10.2015.

Vanadium. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti.

<http://www.lenntech.com/periodic/elements/v.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

WHO 2015. Tin. WWW-dokumentti. <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=515>.

Ei päivitystietoa. Luettu 11.11.2015.

Zinc. 2015. Lenntech. WWW-dokumentti.

<http://www.lenntech.com/periodic/elements/zn.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 14.10.2015.

## Ruokasienten raskasmetallipitoisuuksia Suomessa

Laji/suku	Tutkimus	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Se (mg/kg)	V (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Haperot ( <i>Russula</i> )	Järvinen 2003 (puisto)	0,7	0,7	1,3	37	0,1	0,05	0,9	3,5		0,5	116
	Kuusi ym. 1981 (tausta)								3,6			
Keltavahvero ( <i>Cantharellus cibarius</i> )	Eurola ym. 1996 (tausta)		0,29		44	0,04			0,26			86
	Kuusi ym. 1981 (tausta)		0,5		42	0,02			0,7			97
	Lodenius ym. 1981 (kaupunki)		1						1,7			
	Pelkonen ym. 2006 (kuormitus+tausta)	0,22	0,58					2,14	2,21			
	Pelkonen ym. 2008 (kuormitus+tausta)			1,09	44,7	0,12	0,08			0,18	0,4	94,9
	Varo ym. 1980 (tausta)	0,01	0,24			0,045		0,1	1,1			
Kivitatit ( <i>Boletus</i> )	Eurola ym. 1996 (tausta)		1,62						0,24			
	Järvinen 2003 (puisto)	1,5	4	1,2	50	1,5	0,2	1,2	1,5		0,3	147
	Kuusi ym. 1981 (tausta)		1,3			0,18			0,9			
	Lodenius ym. 1981 (kaupunkialue)		5,3						1,1			
	Pelkonen ym. 2006 (kuormitus+tausta)	0,45	4,27					1,66	0,81			
	Pelkonen ym. 2008 (kuormitus+tausta)			1,17	35,2	3,22	0,11			14,7	0,10	127



## Ruokasienten raskasmetallipitoisuuksia Suomessa

Laji/suku	Tutkimus	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Se (mg/kg)	V (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Herkkutatti ( <i>Boletus edulis</i> )	Eurola ym. 1996 (tausta)		1,62		27	0,86			0,24			90
	Hinneri 1975 (tausta)				67							130
	Kuusi ym. 1981 (tausta)		1,3			0,72			0,9			
	Nikkanen & Mertanen 2004 (kuormitus+tausta)	0,11	3,4	0,01	42,24			1,82	0,18	18,52		
	Lodeniuss ym. 1981 (kaupunki)		2,9						0,9			
	Varo ym. 1980 (tausta)	0,01	1,95		20,5	0,85		0,1	0,3			101
Punikki- ja lehmäntatit ( <i>Leccinum</i> )	Eurola ym. 1996 (tausta)		1,57		45	0,5			0,28			110
	Pelkonen ym. 2006 (kuormitus+tausta)	0,4	1,84					0,51	0,72			
	Pelkonen ym. 2008 (kuormitus+tausta)			1,02	50,6	0,49	0,38			1,33	0,08	106
Rouskut ( <i>Lactarius</i> )	Järvinen 2003 (puisto)	1,0	0,5	2,1	24	0,2	0,1	1,6	1,5		0,5	127
	Kuusi ym. 1981 (tausta)		0,8			0,09			1,8			
	Lodeniuss ym. 1981 (kaupunki)		1						3,3			
	Pelkonen ym. 2006 (kuormitus+tausta)	0,88	0,64					1,24	1,42			
	Pelkonen ym. 2008 (kuormitus+tausta)			1,05	23,1	0,28	0,01			0,81	0,17	127

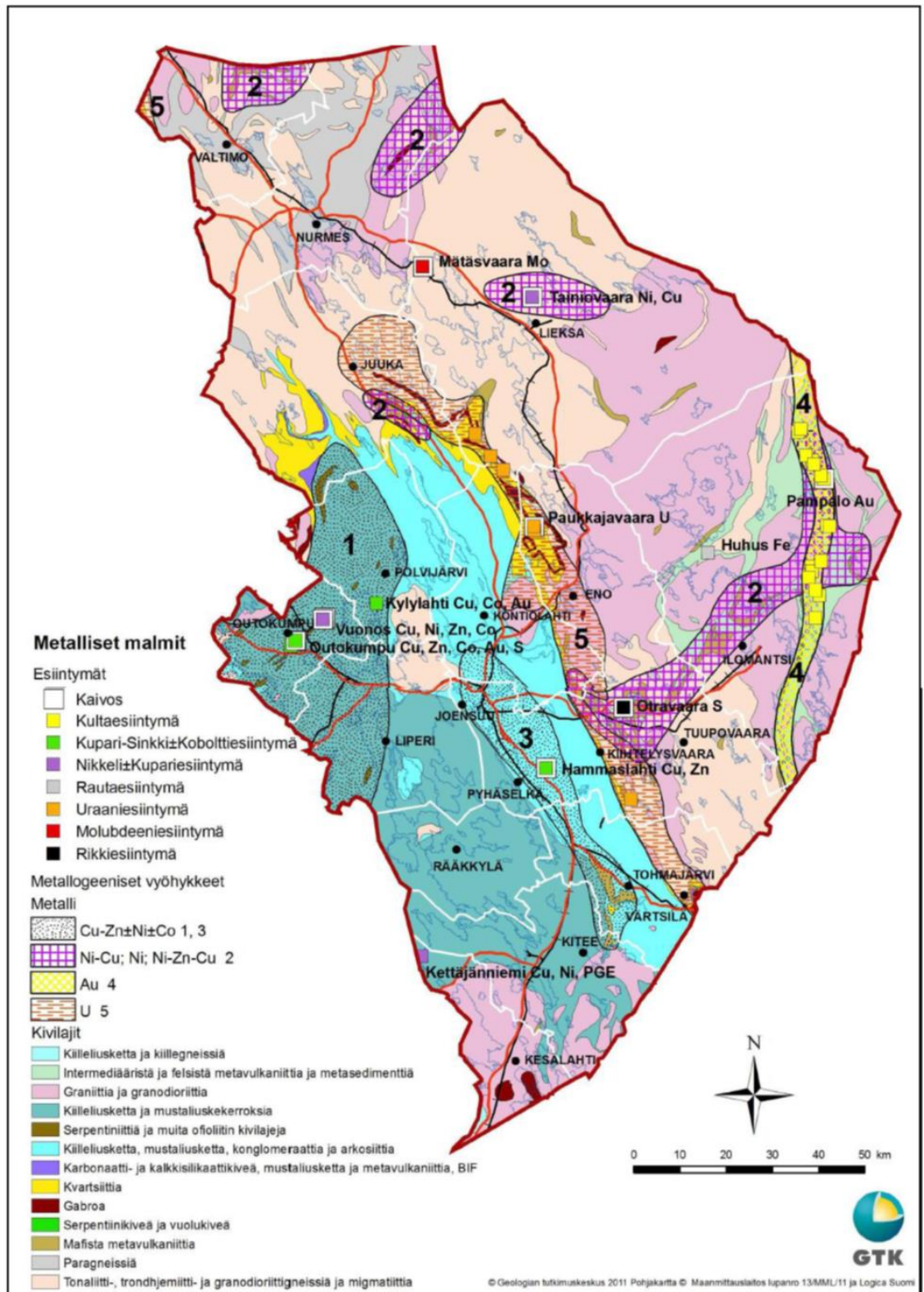
## Ruokasienten raskasmetallipitoisuuksia Suomessa

Laji/suku	Tutkimus	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Se (mg/kg)	V (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Haaparousku ( <i>Lactarius trivialis</i> )	Eurola ym. 1996 (tausta)		0,26		25	0,22			0,33			76
	Nikkanen & Mertanen 2004 (kuormitus+tausta)	0,53	0,27	0,12	34,13			1,97	0,23	>0,5		
	Varo ym. 1980 (tausta)		0,233		22	0,285			0,92			80
Kangasrousku ( <i>Lactarius rufus</i> )	Ohtonen 1982 (tausta)				9							65
	Varo ym. 1980 (tausta)	0,01	0,54		18,6	0,056		0,05	1,48			84
Karvarousku ( <i>Lactarius torminosus</i> )	Varo ym. 1980 (tausta)	0,02	0,22		8,9	0,19		0,1	1,6			100

Tulokset kerätty lähteistä: Arresto & Pennanen 2015, Eurola 1996, Järvinen 2003, Pelkonen ym. 2006 ja Pelkonen ym. 2008

Pitoisuudet on esitetty kuiva-ainetta kohden

Pohjois-Karjalan metalliset malmit ja pääkivilajit



## Näytteenottosolujen ympäristökuvaukset

Solu	Ympäristön kuvaus
M2	Sekametsää (nuoria mäntyjä, koivuja jne.), pelto, ”sienimetsää”
M5	Kuusikkoa, pieni pelto, ”sienimetsää”
M20	Sekametsää (nuorta kuusikkoa, koivuja jne.), suoalue, oja, ”sienimetsää”
M23	Mäntykangasta, mustikanvarpuja, ”sieni- ja marjametsää”
M28	Rikastushiekkakenttä, reunassa sekametsää, ”sienimetsää”
M33	Laaja hakkuualue, kuusikkoa, ”marjametsää”
M35	Mäntykangasta, louhos solun reunassa, ”marjametsää”
M37	Rikastushiekkakenttä, kuusikkoa ja sekametsää, vanha laitton kaatopaikka (metalliromua), suo, ”sienimetsää”
M39	Kuusikkoa (nuorta ja vanhaa), koivikkoa, ”sienimetsää”
M43	Mäntykangasta, louhos solun reunassa, ”marjametsää”
M46	Kuusikkoa, suo, oja, peltoa
M55	Nuorta heinittynyttä koivikkoa, nuorta kuusikkoa, ”sienimetsää”
M57	Hakkuualue, havumetsää, ”marjametsää”
M60	Heinittynyttä sekametsää, kuusikkoa, ”sienimetsää”
T12	Hakkuualue, louhikkoa, mäntykangasta, ”marjametsää”
T20	Sekametsää, hakkuualue, louhikkoa, ”marjametsää”
T22	Kuusikkoa, ”sienimetsää”
T29	Nuorta heinittynyttä koivikkoa, kuusikkoa, louhikkoa, kallioista, sivukivikasoja, louhos solun reunassa, ”sieni- ja marjametsää”
T30	Nuorta heinittynyttä koivikkoa, louhikkoa, kuusikkoa, ”sienimetsää”
T34	Kuusivaltaista sekametsää, mäntykangasta, sähkölinja, ”sieni- ja marjametsää”
T37	Louhosalue (louhoslampi, sivukivikasoja, ajettu hiekka/sorakenttä), nuorta sekametsää, mäntykangasta, ”marjametsää”
T39	Nuorta heinittynyttä sekametsää, kuusikkoa, ”marjametsää”
T43	Mäntykangasta, hakkuualue, suomaista aluetta, sähkölinja, ”marjametsää”
T46	Kuusivaltaista sekametsää, suomaista aluetta, ”marjametsää”
T55	Kuusikkoa, sekametsää, suomaista aluetta, ”sieni- ja marjametsää”
V	Mäntyvaltaista kangasmaista sekametsää, kuusivaltaista suomaista aluetta, ”sieni- ja marjametsää”

## Näytteenottosolujen koordinaatit

<b>M1</b> P 63.44922–63.44696 E 29.57493–29.58004 K 63.44811 29.57742	<b>M2</b> P 63.44922–63.44696 E 29.58004–29.58515 K 63.44822 29.58253	<b>M3</b> P 63.44922–63.44696 E 29.58515–29.59013 K 63.44816 29.58768	<b>M4</b> P 63.44922–63.44696 E 29.59013–29.59485 K 63.44816 29.59253	<b>M5</b> P 63.44922–63.44696 E 29.59485–29.60012 K 63.4482 29.59755	<b>M6</b> P 63.44922–63.44696 E 29.60012–29.60532 K 63.44824 29.60274	<b>M7</b> P 63.44922–63.44696 E 29.60532–29.61030 K 63.4482 29.60768	<b>M8</b> P 63.44922–63.44696 E 29.61030–29.61523 K 63.44818 29.61266
<b>M9</b> P 63.44696–63.44475 E 29.57493–29.58004 K 63.4459 29.57746	<b>M10</b> P 63.44696–63.44475 E 29.58004–29.58515 K 63.446 29.58274	<b>M11</b> P 63.44696–63.44475 E 29.58515–29.59013 K 63.44592 29.58755	<b>M12</b> P 63.44696–63.44475 E 29.59013–29.59485 K 63.41588 29.59257	<b>M13</b> P 63.44696–63.44475 E 29.59485–29.60012 K 63.44577 29.59742	<b>M14</b> P 63.44696–63.44475 E 29.60012–29.60532 K 63.44588 29.60266	<b>M15</b> P 63.44696–63.44475 E 29.60532–29.61030 K 63.44586 29.60781	<b>M16</b> P 63.44696–63.44475 E 29.61030–29.61523 K 63.44588 29.61274
<b>M17</b> P 63.44475–63.44250 E 29.57493–29.58004 K 63.44369 29.57755	<b>M18</b> P 63.44475–63.44250 E 29.58004–29.58515 K 63.44367 29.58249	<b>M19</b> P 63.44475–63.44250 E 29.58515–29.59013 K 63.44358 29.58772	<b>M20</b> P 63.44475–63.44250 E 29.59013–29.59485 K 63.44367 29.59261	<b>M21</b> P 63.44475–63.44250 E 29.59485–29.60012 K 63.44369 29.59755	<b>M22</b> P 63.44475–63.44250 E 29.60012–29.60532 K 63.44364 29.60266	<b>M23</b> P 63.44475–63.44250 E 29.60532–29.61030 K 63.44356 29.60776	<b>M24</b> P 63.44475–63.44250 E 29.61030–29.61523 K 63.44364 29.61274
<b>M25</b> P 63.44250–63.44026 E 29.57493–29.58004 K 63.44139 29.57755	<b>M26</b> P 63.44250–63.44026 E 29.58004–29.58515 K 63.44147 29.58257	<b>M27</b> P 63.44250–63.44026 E 29.58515–29.59013 K 63.44147 29.58764	<b>M28</b> P 63.44250–63.44026 E 29.59013–29.59485 K 63.44147 29.59257	<b>M29</b> P 63.44250–63.44026 E 29.59485–29.60012 K 63.44147 29.59764	<b>M30</b> P 63.44250–63.44026 E 29.60012–29.60532 K 63.44143 29.6027	<b>M31</b> P 63.44250–63.44026 E 29.60532–29.61030 K 63.44145 29.60776	<b>M32</b> P 63.44250–63.44026 E 29.61030–29.61523 K 63.44151 29.61283
<b>M33</b> P 63.44026–63.43806 E 29.57493–29.58004 K 63.43917 29.57755	<b>M34</b> P 63.44026–63.43806 E 29.58004–29.58515 K 63.4393 29.58257	<b>M35</b> P 63.44026–63.43806 E 29.58515–29.59013 K 63.43913 29.58751	<b>M36</b> P 63.44026–63.43806 E 29.59013–29.59485 K 63.43922 29.59266	<b>M37</b> P 63.44026–63.43806 E 29.59485–29.60012 K 63.43922 29.59768	<b>M38</b> P 63.44026–63.43806 E 29.60012–29.60532 K 63.43922 29.60266	<b>M39</b> P 63.44026–63.43806 E 29.60532–29.61030 K 63.4392 29.60785	<b>M40</b> P 63.44026–63.43806 E 29.61030–29.61523 K 63.4393 29.61274
<b>M41</b> P 63.43806–63.43581 E 29.57493–29.58004 K 63.43698 29.57759	<b>M42</b> P 63.43806–63.43581 E 29.58004–29.58515 K 63.43702 29.58253	<b>M43</b> P 63.43806–63.43581 E 29.58515–29.59013 K 63.43698 29.58755	<b>M44</b> P 63.43806–63.43581 E 29.59013–29.59485 K 63.43692 29.5927	<b>M45</b> P 63.43806–63.43581 E 29.59485–29.60012 K 63.437 29.59781	<b>M46</b> P 63.43806–63.43581 E 29.60012–29.60532 K 63.43704 29.60283	<b>M47</b> P 63.43806–63.43581 E 29.60532–29.61030 K 63.43696 29.60785	<b>M48</b> P 63.43806–63.43581 E 29.61030–29.61523 K 63.4369 29.61283
<b>T49</b> P 63.43581–63.43357 E 29.57493–29.58004 K 63.43477 29.57755	<b>T50</b> P 63.43581–63.43357 E 29.58004–29.58515 K 63.43479 29.58261	<b>T51</b> P 63.43581–63.43357 E 29.58515–29.59013 K 63.43466 29.58764	<b>T52</b> P 63.43581–63.43357 E 29.59013–29.59485 K 63.43473 29.59274	<b>T53</b> P 63.43581–63.43357 E 29.59485–29.60012 K 63.43469 29.59776	<b>T54</b> P 63.43581–63.43357 E 29.60012–29.60532 K 63.43477 29.6027	<b>T55</b> P 63.43581–63.43357 E 29.60532–29.61030 K 63.43469 29.60776	<b>T56</b> P 63.43581–63.43357 E 29.61030–29.61523 K 63.43475 29.61287
<b>T57</b> P 63.43357–63.43132 E 29.57493–29.58004 K 63.43253 29.57764	<b>T58</b> P 63.43357–63.43132 E 29.58004–29.58515 K 63.43256 29.58266	<b>T59</b> P 63.43357–63.43132 E 29.58515–29.59013 K 63.43247 29.58755	<b>T60</b> P 63.43357–63.43132 E 29.59013–29.59485 K 63.43247 29.59274	<b>T61</b> P 63.43357–63.43132 E 29.59485–29.60012 K 63.43254 29.59781	<b>T62</b> P 63.43357–63.43132 E 29.60012–29.60532 K 63.43247 29.60266	<b>T63</b> P 63.43357–63.43132 E 29.60532–29.61030 K 63.43251 29.60763	<b>T64</b> P 63.43357–63.43132 E 29.61030–29.61523 K 63.43253 29.61287



## Näytteenottosolujen koordinaatit

<b>T1</b> P 63.3781- 63.37586 E 30.0378 - 30.04306 K 63.37707 30.0406	<b>T2</b> P 63.37818-63.37586 E 30.04305-30.04796 K 63.37714 30.04541	<b>T3</b> P 63.37818-63.37586 E 30.04792-30.05296 K 63.37708 30.0517	<b>T4</b> P 63.37818-63.37586 E 30.05292-30.05789 K 63.37716 30.05541	<b>T5</b> P 63.37818-63.37586 E 30.05785-30.06304 K 63.37716 30.06043	<b>T6</b> P 63.37818-63.37586 E 30.06297-30.06806 K 63.37717 30.06552	<b>T7</b> P 63.37818-63.37586 E 30.06803-30.07304 K 63.37717 30.07048	<b>T8</b> P 63.37818-63.37586 E 30.07297-30.07774 K 63.37723 30.07528
<b>T9</b> P 63.37586-63.37367 E 30.03783-30.04306 K 63.37489 30.04059	<b>T10</b> P 63.37586-63.37367 E 30.04305-30.04796 K 63.37482 30.04565	<b>T11</b> P 63.37586- 63.37367 E 30.04792 - 30.05296	<b>T12</b> P 63.37586-63.37367 E 30.05292-30.05789 K 63.37495 30.05541	<b>T13</b> P 63.37586-63.37367 E 30.05785-30.06304 K 63.37494 30.0605	<b>T14</b> P 63.37586-63.37367 E 30.06297-30.06806 K 63.37494 30.06558	<b>T15</b> P 63.37586-63.37367 E 30.06803-30.07304 K 63.37495 30.07063	<b>T16</b> P 63.37586-63.37367 E 30.07297-30.07774 K 63.37495 30.07543
<b>T17</b> P 63.37367-63.37157 E 30.03783-30.04306 K 63.37272 30.04058	<b>T18</b> P 63.37367-63.37157 E 30.04305-30.04796	<b>T19</b> P 63.37367-63.37157 E 30.04792-30.05296 K 63.37266 30.05106	<b>T20</b> P 63.37367-63.37157 E 30.05292-30.05789 K 63.3728 30.05548	<b>T21</b> P 63.37367-63.37157 E 30.05785-30.06304 K 63.37277 30.06056	<b>T22</b> P 63.37367-63.37157 E 30.06297-30.06806 K 63.3728 30.06565	<b>T23</b> P 63.37367-63.37157 E 30.06803-30.07304 K 63.37288 30.07063	<b>T24</b> P 63.37367-63.37157 E 30.07297-30.07774 K 63.37288 30.07556
<b>T25</b> P 63.37157-63.36923 E 30.03783-30.04306 K 63.3705 30.04064	<b>T26</b> P 63.37157-63.36923 E 30.04305-30.04796 K 63.37009 30.04509	<b>T27</b> P 63.37157-63.36923 E 30.04792-30.05296 K 63.3705 30.05067	<b>T28</b> P 63.37157-63.36923 E 30.05292-30.05789 K 63.37058 30.05546	<b>T29</b> P 63.37157-63.36923 E 30.05785-30.06304 K 63.37062 30.06058	<b>T30</b> P 63.37157-63.36923 E 30.06297-30.06806 K 63.3706 30.06565	<b>T31</b> P 63.37157-63.36923 E 30.06803-30.07304 K 63.37054 30.07065	<b>T32</b> P 63.37157-63.36923 E 30.07297-30.07774 K 63.37063 30.0755
<b>T33</b> P 63.36923-63.36695 E 30.03783-30.04306 K 63.3682 30.04056	<b>T34</b> P 63.36923-63.36695 E 30.04305-30.04796 K 63.36819 30.04563	<b>T35</b> P 63.36923-63.36695 E 30.04792-30.05296 K 63.36817 30.05071	<b>T36</b> P 63.36923-63.36695 E 30.05292-30.05789 K 63.36827 30.05565	<b>T37</b> P 63.36923-63.36695 E 30.05785-30.06304 K 63.3682 30.06065	<b>T38</b> P 63.36923-63.36695 E 30.06297-30.06806 K 63.36817 30.06567	<b>T39</b> P 63.36923-63.36695 E 30.06803-30.07304 K 63.36828 30.07078	<b>T40</b> P 63.36923-63.36695 E 30.07297-30.07774 K 63.36829 30.0756
<b>T41</b> P 63.36695-63.36469 E 30.03783-30.04306 K 63.36535 30.03928	<b>T42</b> P 63.36695-63.36469 E 30.04305-30.04796 K 63.36589 30.04563	<b>T43</b> P 63.36695-63.36469 E 30.04792-30.05296 K 63.36593 30.05061	<b>T44</b> P 63.36695-63.36469 E 30.05292-30.05789 K 63.36595 30.05567	<b>T45</b> P 63.36695-63.36469 E 30.05785-30.06304 K 63.36595 30.06067	<b>T46</b> P 63.36695-63.36469 E 30.06297-30.06806 K 63.36607 30.06576	<b>T47</b> P 63.36695-63.36469 E 30.06803-30.07304 K 63.36594 30.07082	<b>T48</b> P 63.36695-63.36469 E 30.07297-30.07774 K 63.36608 30.07573
<b>T49</b> P 63.36469-63.36243 E 30.03783-30.04306 K 63.36366 30.04067	<b>T50</b> P 63.36469-63.36243 E 30.04305-30.04796 K 63.36369 30.04559	<b>T51</b> P 63.36469-63.36243 E 30.04792-30.05296 K 63.36373 30.05061	<b>T52</b> P 63.36469-63.36243 E 30.05292-30.05789 K 63.36378 30.05573	<b>T53</b> P 63.36469-63.36243 E 30.05785-30.06304 K 63.36367 30.06069	<b>T54</b> P 63.36469-63.36243 E 30.06297-30.06806 K 63.36376 30.0658	<b>T55</b> P 63.36469-63.36243 E 30.06803-30.07304 K 63.36383 30.0708	<b>T56</b> P 63.36469-63.36243 E 30.07297-30.07774 K 63.36392 30.0758
<b>T57</b> P 63.36243-63.36012 E 30.03783-30.04306 K 63.36138 30.04071	<b>T58</b> P 63.36243-63.36012 E 30.04305-30.04796 K 63.36136 30.04565	<b>T59</b> P 63.36243-63.36012 E 30.04792-30.05296 K 63.36147 30.05076	<b>T60</b> P 63.36243-63.36012 E 30.05292-30.05789 K 63.36155 30.05565	<b>T61</b> P 63.36243-63.36012 E 30.05785-30.06304 K 63.36152 30.06071	<b>T62</b> P 63.36243-63.36012 E 30.06297-30.06806 K 63.36151 30.06593	<b>T63</b> P 63.36243-63.36012 E 30.06803-30.07304 K 63.36159 30.07095	<b>T64</b> P 63.36243-63.36012 E 30.07297-30.07774 K 63.36156 30.07597

## Maaperänäytteet

Solu	Laji	Tuorepaino (g)	Kuivapaino (g)	Kuiva-%	Raekoko (mm)
M2	Humus	90,58	32,83	36,2	<1
M5	Humus	90,82	44,99	49,5	<1
M20	Humus	92,59	25,41	27,4	<1
M23	Humus	90,85	25,03	27,6	<1
M28H	Humus	91,81	46,85	51,0	<1
M28R	Hiekka	90,26	84,37	93,5	<1
M33	Humus	91,19	41,90	45,9	<1
M35	Humus	90,69	33,38	36,8	<1
M37H	Humus	90,26	21,45	23,8	<1
M37R	Hiekka	92,44	80,51	87,1	<1
M39	Humus	91,95	22,59	24,6	<1
M43	Humus	90,28	20,59	22,8	<1
M46	Humus	91,26	24,90	27,3	<1
M55	Humus	92,99	40,01	43,0	<1
M57	Humus	91,21	58,25	63,9	<1
M60	Humus	90,39	25,21	27,9	<1
T12	Humus	90,61	42,40	46,8	<1
T20	Humus	91,31	51,47	56,4	<1
T22	Humus	90,02	60,84	67,6	<1
T29	Humus	90,38	40,47	44,8	<1
T30	Humus	91,55	57,29	62,6	<1
T34	Humus	91,17	39,51	43,3	<1
T37	Humus	90,09	55,10	61,2	<1
T39	Humus	92,03	55,21	60,0	<1
T43	Humus	90,40	36,76	40,7	<1
T46	Humus	90,41	41,49	45,9	<1
T55	Humus	90,77	53,28	58,7	<1
V	Humus	100,19	24,93	24,9	<1
Humusnäytteiden kuiva-%:n keskiarvo 43,1 vaihteluvälin ollessa 22,8–67,6					
Hiekkänäytteiden kuiva-%:n keskiarvo 90,3 vaihteluvälin ollessa 87,1–93,5					

## Sammalnäytteet

Solu	Tuorepaino (g)	Kuivapaino (g)	Kuiva-%	Raekoko (mm)
M2	110,38	19,25	17,4	<2
M20	162,02	21,64	13,4	<2
M23	88,18	13,55	15,4	<2
M28	55,95	8,45	15,1	<2
M35	56,70	9,14	16,1	<2
M37	57,42	10,02	17,5	<2
M39	84,17	10,12	12,0	<2
M46	71,58	11,33	15,8	<2
M60	125,80	15,08	12,0	<2
T12	106,33	16,39	15,4	<2
T20	83,67	18,50	22,1	<2
T22	65,44	11,66	17,8	<2
T46	112,27	13,45	12,0	<2
T55	87,13	13,99	16,1	<2
V	100,45	18,83	18,7	<2
Lajit: rahka-, metsäkerros-, seinä- ja kangaskarhunsammal				
Kuiva-%:n keskiarvo 15,8 vaihteluvälin ollessa 12,0–22,1				

## Marjanäytteet

Solu	Laji	Tuorepaino (g)	Kuivapaino (g)	Kuiva-%	Raekoko (mm)
M33	Puolukka	484,53	88,43	18,3	<2
M35	Mustikka	317,46	47,68	15,0	<2
M43	Mustikka	755,11	103,60	13,7	<2
M57	Puolukka	676,77	126,01	18,6	<2
T12A	Mustikka	459,04	69,68	15,2	<2
T12B	Puolukka	424,53	73,53	17,3	<2
T20A	Mustikka	422,97	66,07	15,6	<2
T20B	Puolukka	403,57	71,96	17,8	<2
T37	Mustikka	635,73	86,65	13,6	<2
T39A	Mustikka	262,33	38,35	14,6	<2
T39B	Puolukka	205,66	38,58	18,8	<2
T43	M+P	415,43	64,72	15,6	<2
T46	Mustikka	362,52	50,61	14,0	<2
T55	Mustikka	533,79	69,87	13,1	<2



**LIITE 5(3).****Näytetiedot**

<b>VA</b>	Mustikka	659,21	95,26	14,5	<2
<b>VB</b>	Puolukka	557,74	93,76	16,8	<2
Näytteiden kuiva-%:n keskiarvo 15,8 vaihteluvälin ollessa 13,1–18,8					

**Sieninäytteet**

<b>Solu</b>	<b>Laji</b>	<b>Lkm</b>	<b>Tuorepaino (g)</b>	<b>Kuivapaino (g)</b>	<b>Kuiva- %</b>	<b>Raekoko (mm)</b>
<b>M2</b>	Koivunpunikkittatti	7	678,18	45,70	6,7	<4
<b>M5</b>	Viinihapero	3	94,11	4,78	5,1	<3
	Voitatti	2				
<b>M37</b>	Karvarousku	5	163,76	11,08	6,8	<2
	Nokitatti	1				
<b>M39</b>	Nokitatti	2	203,29	12,42	6,1	<6
<b>M43</b>	Herkkutatti	1	122,77	11,31	9,2	<1
<b>M55</b>	Koivunpunikkittatti	1	106,86	8,21	7,7	<1
<b>M60</b>	Kalvashaaparousku	2	154,61	7,70	5,0	<4
<b>T29</b>	Kalvashaaparousku	2	668,96	31,18	4,7	<2
	Karvarousku	3				
<b>T30</b>	Isohapero	2	148,81	9,13	6,1	<3
	Kalvashaaparousku	1				
	Mustarousku	1				
<b>T38A</b>	Koivunpunikkittatti	1	200,14	17,64	8,8	<3
<b>T38B</b>	Karvarousku	5	269,52	14,91	5,5	<4
<b>T46</b>	Koivunpunikkittatti	3	308,85	18,70	6,1	<3
<b>T55A</b>	Kalvashaaparousku	1	299,87	18,29	6,1	<3
	Karvarousku	3				
	Koivunpunikkittatti	2				
<b>T55B</b>	Keltavahvero	5	117,94	7,61	6,5	<3
<b>VA</b>	Kalvashaaparousku	4	250,50	16,34	6,5	<6
	Kangasrousku	3				
<b>VB</b>	Koivunpunikkittatti	2	348,83	22,74	6,5	<3
Kuiva-%:n keskiarvo 6,5 vaihteluvälin ollessa 4,7–9,2						

## Laskelmien ilmansuunta- ja etäisyystiedot

<b>Solu</b>	<b>Ilmansuunta</b>	<b>Etäisyys</b>
<b>M2</b>	Luode (315°)	750–1000
<b>M5</b>	Pohjoinen (0°)	750–1000
<b>M20</b>	Pohjoinen (0°)	250–500
<b>M23</b>	Koillinen (45°)	500–750
<b>M28</b>	Luode (315°)	<250
<b>M33</b>	Länsi (270°)	750–1000
<b>M35</b>	Länsi (270°)	250–500
<b>M37</b>	Kaakko (135°)	<250
<b>M39</b>	Itä (90°)	500–750
<b>M43</b>	Lounas (225°)	250–500
<b>M46</b>	Kaakko (135°)	250–500
<b>M55</b>	Kaakko (135°)	500–750
<b>M57</b>	Lounas (225°)	750–1000
<b>M60</b>	Etelä (180°)	750–1000
<b>T12</b>	Pohjoinen (0°)	500–750
<b>T20</b>	Pohjoinen (0°)	250–500
<b>T22</b>	Koillinen (45°)	250–500
<b>T29</b>	Koillinen (45°)	<250
<b>T30</b>	Itä (90°)	250–500
<b>T34</b>	Länsi (270°)	500–750
<b>T37</b>	Kaakko (135°)	<250
<b>T39</b>	Itä (90°)	500–750
<b>T43</b>	Lounas (225°)	250–500
<b>T46</b>	Kaakko (135°)	250–500
<b>T55</b>	Kaakko (135°)	500–750

## Ensimmäisten mittausten tulokset

	Raskasmetallipitoisuudet HUMUKSESSA JA RIKASTUSHIEKASSA (dw mg/kg)												
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
<b>M2</b>													
Ka	<7,10	<12,33	<50,13	18,92	<8,52	12,39	<23,90	43,27	<12,02	<4,09	<11,42	<53,41	66,69
Min	5,45	11,72	48,50	16,02	8,39	11,21	23,58	40,40	11,45	4,01	10,94	40,75	62,46
Max	9,09	12,90	52,04	22,51	8,69	14,24	24,41	47,03	12,62	4,23	11,96	56,60	69,26
Virhe	3,78	8,22	33,42	8,47	5,68	2,11	15,94	4,34	8,01	2,73	7,61	35,20	6,51
LOD/6	1	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	5	0
<b>M5</b>													
Ka	<6,50	<16,76	<38,01	<20,01	<9,56	<4,83	<28,42	20,88	<17,09	<4,71	<16,63	<43,69	37,20
Min	6,39	15,93	36,86	19,56	9,30	3,97	27,41	19,23	16,32	4,55	15,99	32,49	35,95
Max	6,81	17,93	40,49	20,31	10,10	5,49	29,12	21,56	18,36	4,80	17,19	47,55	38,65
Virhe	4,33	11,17	25,34	13,34	6,37	2,81	18,95	3,73	11,39	3,14	11,08	27,97	5,99
LOD/6	6	6	6	6	6	3	6	0	6	6	6	4	0
<b>M20</b>													
Ka	<10,06	<15,90	<59,08	232,71	<9,88	252,88	<29,08	67,87	<15,93	<5,07	<15,36	<71,17	158,58
Min	9,95	15,47	55,88	224,37	9,62	251,23	28,62	64,86	15,53	4,86	14,85	57,70	153,89
Max	10,20	16,46	60,86	239,78	10,08	254,07	29,79	71,78	16,32	5,22	15,78	75,78	166,87
Virhe	6,71	10,60	39,39	15,15	6,58	4,60	19,39	5,76	10,62	3,38	10,24	46,49	9,96
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	5	0
<b>M23</b>													
Ka	<6,37	<12,80	<45,42	18,18	<8,41	6,24	<23,72	24,73	<12,68	<4,00	<12,04	<47,21	71,13
Min	6,29	12,30	44,94	14,56	8,25	4,92	23,37	22,54	12,20	3,92	11,66	46,04	67,03
Max	6,50	13,35	46,17	20,98	8,67	7,50	23,87	26,65	13,32	4,10	12,68	47,63	75,32
Virhe	4,24	8,53	30,28	8,40	5,61	2,03	15,81	3,58	8,45	2,67	8,03	31,47	6,63
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	6	0
<b>M28</b>													
Ka	<9,01	<19,94	69,85	210,40	<11,51	474,08	<32,87	41,45	<19,89	<5,55	<19,89	67,49	<374,43
Min	8,70	19,31	53,91	200,06	11,25	468,41	24,81	38,76	19,14	5,43	19,37	60,66	366,13
Max	9,30	20,58	89,99	217,75	11,87	480,67	34,62	46,37	20,25	5,72	20,24	78,68	381,03
Virhe	6,01	13,29	25,32	16,17	7,68	6,47	21,74	5,20	13,26	3,70	13,26	38,83	15,49
LOD/6	6	6	0	0	6	0	5	0	6	6	6	1	0
<b>M28, rh</b>													
Ka	<8,85	<20,56	<34,18	98,79	<11,70	33,54	70,77	42,96	27,53	<5,60	27,20	<39,87	100,33
Min	8,64	16,35	33,44	87,99	11,45	32,42	57,02	41,13	19,55	5,46	21,81	38,88	95,55
Max	9,17	22,17	34,71	108,12	12,08	34,68	82,40	45,18	34,03	5,75	33,22	40,82	103,27
Virhe	5,90	12,81	22,79	13,30	7,80	2,86	16,00	5,18	9,92	3,73	10,15	26,58	9,03
LOD/6	6	4	6	0	6	0	0	0	0	6	0	6	0
<b>M33</b>													
Ka	<6,53	<16,27	<39,29	<20,12	<9,49	6,00	<27,71	29,34	<16,42	<4,55	<15,84	<42,91	28,05
Min	5,66	15,27	37,28	19,70	9,24	4,64	26,82	27,03	15,83	4,46	15,24	35,55	23,98
Max	7,37	17,43	42,05	20,69	9,77	7,65	28,59	33,11	17,13	4,61	16,55	47,43	35,06
Virhe	4,06	10,85	26,19	13,41	6,32	2,23	18,47	4,08	10,95	3,03	10,56	27,72	5,55
LOD/6	3	6	6	6	6	0	6	0	6	6	6	4	0

## Ensimmäisten mittausten tulokset

	Raskasmetallipitoisuudet HUMUKSESSA JA RIKASTUSHIEKASSA (dw mg/kg)												
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
<b>M35</b>													
Ka	<7,21	<16,06	<36,63	20,08	<9,51	42,66	<27,75	29,05	<16,02	<4,63	<15,67	<48,66	36,53
Min	7,07	15,36	36,09	14,89	9,36	41,83	27,27	27,71	15,59	4,49	15,17	47,12	33,64
Max	7,32	16,67	37,20	25,89	9,78	44,74	28,10	30,75	16,35	4,85	15,90	50,25	39,68
Virhe	4,81	10,71	24,42	9,39	6,34	2,70	18,50	4,09	10,68	3,09	10,45	32,44	5,94
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	6	0
<b>M37</b>													
Ka	<16,35	<16,21	<50,98	1324,31	<11,92	96,52	<29,97	273,10	<16,14	<5,29	<15,69	<62,31	3025,36
Min	12,82	15,75	49,37	1282,86	11,67	94,42	29,66	267,15	15,80	5,13	15,18	59,93	3011,82
Max	18,90	16,74	51,84	1342,73	12,17	98,29	30,51	280,83	16,47	5,43	16,16	63,66	3047,09
Virhe	10,39	10,81	33,98	31,37	7,94	3,41	19,98	10,88	10,76	3,52	10,46	41,54	39,78
LOD/6	3	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	6	0
<b>M37, rh</b>													
Ka	<10,41	<21,18	<37,44	111,75	<12,02	121,77	65,42	62,66	31,22	<5,93	28,06	<51,90	107,50
Min	10,22	16,03	36,33	105,69	11,73	119,39	62,33	59,89	25,87	5,72	23,24	49,59	102,19
Max	10,62	22,55	38,96	117,47	12,36	123,54	70,33	65,87	35,23	6,11	34,28	53,63	112,67
Virhe	6,94	13,99	24,96	14,12	8,02	3,95	16,49	6,16	10,30	3,95	10,51	34,60	9,54
LOD/6	6	5	6	0	6	0	0	0	0	6	0	6	0
<b>M39</b>													
Ka	<6,98	<14,56	<49,10	17,81	<8,88	8,36	<25,80	30,46	<14,33	<4,27	<13,90	<57,32	48,29
Min	6,20	13,92	47,43	14,11	8,61	6,40	25,31	28,63	13,85	4,05	13,49	49,93	45,77
Max	7,32	15,08	50,64	23,78	9,21	9,89	26,25	32,78	14,87	4,38	14,46	65,40	51,30
Virhe	4,27	9,70	32,73	8,92	5,92	2,18	17,20	4,03	9,55	2,85	9,27	33,01	6,18
LOD/6	4	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	2	0
<b>M43</b>													
Ka	<6,53	<11,62	<49,96	29,80	<8,28	23,58	<22,93	32,55	<11,39	<4,02	<10,86	<53,14	50,50
Min	5,11	11,31	49,44	24,24	8,13	22,11	22,67	30,42	11,21	3,92	10,59	52,61	48,11
Max	7,05	11,90	51,27	34,02	8,51	25,05	23,18	34,13	11,61	4,13	11,18	53,96	54,51
Virhe	4,10	7,75	33,30	8,58	5,52	2,19	15,29	3,85	7,59	2,68	7,24	35,43	5,86
LOD/6	4	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	6	0
<b>M46</b>													
Ka	<6,31	<14,65	<65,38	34,14	<8,77	49,78	<26,92	20,85	<14,46	<4,38	<13,95	67,32	45,87
Min	6,11	14,24	62,87	27,86	8,55	48,73	26,48	18,95	14,04	4,34	13,34	57,86	41,47
Max	6,45	15,42	66,77	39,96	9,02	50,97	27,39	22,51	15,23	4,43	14,78	82,39	52,34
Virhe	4,21	9,77	43,59	9,28	5,85	2,63	17,95	3,57	9,64	2,92	9,30	38,73	6,00
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	0	0
<b>M55</b>													
Ka	<7,43	<20,02	73,39	<22,91	<11,46	9,21	<34,17	22,66	<20,26	<5,61	<19,97	81,15	83,03
Min	5,56	19,62	63,96	19,48	11,22	8,67	33,83	20,01	19,83	5,51	19,55	64,91	76,49
Max	8,00	20,73	87,55	28,04	11,69	10,10	34,80	26,21	20,55	5,78	20,24	100,20	90,46
Virhe	4,92	13,35	24,17	12,25	7,64	2,67	22,78	4,40	13,51	3,74	13,31	37,48	8,66
LOD/6	5	6	0	1	6	0	6	0	6	6	6	0	0

## Ensimmäisten mittausten tulokset

	Raskasmetallipitoisuudet HUMUKSESSA JA RIKASTUSHIEKASSA (dw mg/kg)												
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
<b>M57</b>													
Ka	<7,24	<20,24	<40,40	<21,73	<11,04	<5,56	<28,49	22,29	<19,00	<5,33	<21,02	<60,71	33,32
Min	7,07	19,62	39,41	17,43	10,68	5,52	22,62	20,67	14,65	5,27	19,86	56,15	29,84
Max	7,44	20,91	41,79	23,91	11,48	5,61	33,63	26,10	22,01	5,43	21,72	67,33	38,92
Virhe	4,82	13,49	26,93	13,92	7,36	3,71	18,60	4,16	12,47	3,55	14,02	29,74	6,43
LOD/6	6	6	6	4	6	6	3	0	4	6	6	1	0
<b>M60</b>													
Ka	<6,70	<15,43	<59,66	<20,14	<9,38	7,67	<28,32	22,23	<15,40	<4,53	<15,16	<80,36	30,57
Min	6,59	14,96	46,84	16,11	9,15	5,25	27,84	20,66	14,91	4,43	14,67	62,22	25,63
Max	6,81	16,50	62,90	24,89	9,57	9,25	28,80	24,65	16,40	4,62	16,19	91,47	36,74
Virhe	4,47	10,29	39,33	10,01	6,25	2,25	18,88	3,79	10,27	3,02	10,10	42,71	5,68
LOD/6	6	6	5	1	6	0	6	0	6	6	6	1	0
<b>T12</b>													
Ka	<7,64	<18,59	<35,27	<21,54	<10,25	<5,43	<30,28	40,91	<18,85	<4,93	<18,59	<51,53	26,44
Min	5,76	18,14	34,07	21,11	9,87	5,33	29,84	38,35	18,38	4,79	17,90	38,74	23,55
Max	8,70	18,77	36,77	21,87	10,53	5,52	30,84	44,11	19,26	5,04	19,02	58,05	31,97
Virhe	5,05	12,39	23,51	14,36	6,83	3,62	20,19	4,78	12,57	3,29	12,39	33,47	5,76
LOD/6	4	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	4	0
<b>T20</b>													
Ka	<7,07	<19,82	46,83	<22,56	<11,29	<5,37	31,22	18,57	<20,28	<5,59	<20,41	78,57	40,10
Min	6,83	19,07	38,22	17,35	11,03	4,26	23,84	17,01	19,26	5,48	19,55	63,69	36,17
Max	7,40	20,30	64,21	24,24	11,57	5,96	42,55	19,79	20,81	5,73	20,79	91,89	45,81
Virhe	4,71	13,22	22,32	14,91	7,53	3,50	15,57	4,04	13,52	3,73	13,61	32,12	6,83
LOD/6	6	6	0	5	6	4	0	0	6	6	6	0	0
<b>T22</b>													
Ka	<7,03	<19,14	<39,58	<22,01	<10,10	<5,73	<31,21	21,64	<19,42	<5,14	<19,40	53,24	18,67
Min	6,77	18,51	38,22	21,81	7,42	5,67	27,32	19,65	18,90	4,98	18,98	46,54	15,57
Max	7,37	19,88	41,33	22,37	10,82	5,78	32,57	25,54	20,22	5,24	20,22	67,91	20,98
Virhe	4,69	12,76	26,39	14,67	6,69	3,82	20,18	3,99	12,95	3,42	12,93	26,41	5,55
LOD/6	6	6	6	6	5	6	5	0	6	6	6	0	0
<b>T29</b>													
Ka	<6,98	<12,14	<49,27	<16,17	<8,02	5,98	<22,95	35,45	<11,85	<3,92	<11,32	<56,76	50,69
Min	6,80	11,67	47,97	11,98	7,79	4,44	22,50	32,53	11,43	3,81	11,00	55,14	47,55
Max	7,14	12,62	50,57	17,82	8,18	7,80	23,28	37,99	12,33	4,01	11,76	57,87	54,01
Virhe	4,65	8,09	32,85	10,48	5,35	2,01	15,30	3,94	7,90	2,61	7,55	37,84	5,79
LOD/6	6	6	6	4	6	0	6	0	6	6	6	6	0
<b>T30</b>													
Ka	<6,75	<19,91	<38,98	<22,94	<10,48	<5,58	<32,90	19,76	<20,30	<5,26	<19,28	<49,06	29,95
Min	5,29	19,28	36,90	22,19	7,92	5,54	32,42	17,59	19,35	5,10	13,38	37,97	27,08
Max	7,23	20,97	39,96	23,52	11,09	5,63	33,42	22,13	21,72	5,46	21,71	57,41	33,68
Virhe	4,44	13,28	25,99	15,29	6,93	3,72	21,93	3,95	13,53	3,50	12,82	28,94	6,21
LOD/6	5	6	6	6	5	6	6	0	6	6	5	2	0

## Ensimmäisten mittausten tulokset

	Raskasmetallipitoisuudet HUMUKSESSA JA RIKASTUSHIEKASSA (dw mg/kg)												
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
<b>T34</b>													
Ka	<7,89	<17,12	<36,16	<20,23	<9,82	<5,31	<29,39	37,12	<17,29	<4,92	<17,26	<47,82	19,07
Min	7,79	16,67	34,47	17,65	9,74	3,94	28,59	33,47	16,89	4,79	16,98	38,45	11,01
Max	7,98	17,39	37,86	21,18	9,98	5,61	29,81	43,55	18,05	5,03	17,81	57,72	24,19
Virhe	5,26	11,41	24,11	13,12	6,55	3,52	19,59	4,54	11,53	3,28	11,50	29,49	5,30
LOD/6	6	6	6	5	6	5	6	0	6	6	6	2	0
<b>T37</b>													
Ka	<7,02	<19,05	<38,98	<23,06	<10,77	<5,40	34,04	21,12	<17,85	<5,24	<19,59	52,55	33,49
Min	6,72	18,69	37,53	21,64	10,62	5,36	23,57	19,02	13,65	4,98	19,43	42,82	30,35
Max	7,26	19,58	40,35	25,76	10,91	5,48	45,13	23,12	19,76	5,55	19,74	64,66	36,46
Virhe	4,68	12,70	25,99	13,61	7,18	3,60	14,80	4,00	11,66	3,49	13,06	25,08	6,29
LOD/6	6	6	6	4	6	6	0	0	4	6	6	0	0
<b>T39</b>													
Ka	<7,24	<19,75	<34,04	<22,46	<10,77	<5,75	<32,65	23,19	<19,88	<5,26	<20,26	<50,69	24,59
Min	6,98	19,26	32,93	21,45	10,43	5,67	32,01	20,83	18,41	5,09	19,92	46,78	20,09
Max	7,46	20,31	35,87	23,06	11,06	5,88	34,07	26,30	20,49	5,51	20,61	52,31	26,75
Virhe	4,83	13,16	22,69	14,97	7,18	3,84	20,51	4,12	12,75	3,51	13,51	32,44	5,93
LOD/6	6	6	6	6	6	6	5	0	5	6	6	5	0
<b>T43</b>													
Ka	<8,29	<15,19	<38,06	<18,99	<8,93	<4,49	<26,13	49,69	<15,15	<4,32	<14,72	<50,17	43,67
Min	8,13	14,58	36,36	18,33	8,82	3,67	25,91	48,22	14,70	4,14	14,33	48,38	41,04
Max	8,42	16,14	39,56	19,43	9,00	4,97	26,40	51,99	15,87	4,52	15,41	51,56	46,56
Virhe	5,53	10,13	25,37	12,66	5,96	2,58	17,42	4,77	10,10	2,88	9,82	33,45	5,96
LOD/6	6	6	6	6	6	2	6	0	6	6	6	6	0
<b>T46</b>													
Ka	<7,31	<17,07	<38,54	<18,86	<9,84	<5,12	<29,21	29,18	<17,28	<4,83	<17,20	<52,50	38,49
Min	7,13	16,31	36,71	14,30	9,68	3,83	28,41	26,90	16,56	4,73	16,56	37,99	33,50
Max	7,62	18,33	39,99	21,36	9,99	5,43	29,87	36,64	18,32	4,98	18,11	57,41	42,39
Virhe	4,88	11,38	25,69	12,41	6,56	3,39	19,48	4,19	11,52	3,22	11,47	33,18	6,14
LOD/6	6	6	6	4	6	5	6	0	6	6	6	4	0
<b>T55</b>													
Ka	<7,11	<20,58	53,95	<23,33	<11,26	<5,68	<31,58	18,78	<20,63	<5,49	<19,93	89,27	32,15
Min	6,99	19,79	43,31	22,76	11,04	5,58	25,20	17,28	19,96	5,33	15,50	67,64	26,19
Max	7,20	21,29	59,21	23,85	11,37	5,72	37,69	20,22	21,09	5,67	21,23	109,20	35,93
Virhe	4,74	13,72	22,47	15,55	7,50	3,79	17,84	4,03	13,13	3,66	13,15	34,65	6,46
LOD/6	6	6	0	6	6	6	2	0	5	6	5	0	0
<b>V</b>													
Ka	<6,45	<12,64	<44,82	<16,68	<8,14	5,42	<23,21	29,52	<12,53	<3,97	<11,93	<48,77	60,08
Min	5,27	12,21	43,64	12,15	7,86	4,33	22,68	28,45	12,09	3,87	11,72	47,06	57,17
Max	6,78	13,26	46,07	18,00	8,28	6,21	23,49	31,59	13,19	4,01	12,27	50,69	63,86
Virhe	4,21	8,42	29,88	11,11	5,42	2,01	15,47	3,75	8,35	2,65	7,96	32,51	6,19
LOD/6	5	6	6	5	6	0	6	0	6	6	6	6	0

## Ensimmäisten mittausten tulokset

	Raskasmetallipitoisuudet SAMMALISSA (dw mg/kg)												
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
<b>M2</b>													
Ka	<4,68	<12,57	40,96	28,38	<10,04	12,60	<26,20	<5,68	<12,29	<4,48	<11,57	<32,37	64,23
Min	4,58	11,57	31,20	24,58	9,86	10,41	25,91	4,57	11,61	4,31	10,77	31,95	63,18
Max	5,09	13,34	46,70	32,68	10,25	13,50	26,51	6,08	13,16	4,68	12,24	32,96	66,38
Virhe	3,12	8,38	19,06	10,10	6,69	2,33	17,47	3,59	8,19	2,99	7,72	21,58	7,22
LOD/6	6	6	0	0	6	0	6	4	6	6	6	6	0
<b>M20</b>													
Ka	<5,92	<13,90	56,18	79,59	<10,91	21,97	<28,67	9,73	<13,41	<4,91	<12,94	<32,29	199,74
Min	5,72	13,56	45,89	72,66	10,76	20,36	28,05	7,62	13,17	4,68	12,54	23,97	192,26
Max	6,08	14,24	68,03	85,16	11,00	23,01	29,07	12,25	13,70	5,04	13,25	35,46	206,30
Virhe	3,94	9,26	18,42	12,55	7,27	2,61	19,11	3,30	8,94	3,27	8,63	21,36	11,59
LOD/6	6	6	0	0	6	0	6	0	6	6	6	5	0
<b>M23</b>													
Ka	<4,05	<10,83	<48,89	<15,69	<7,67	10,01	<21,43	4,00	<10,55	<3,69	<9,93	<36,76	60,04
Min	3,98	10,41	46,04	11,78	7,49	8,84	21,08	3,54	10,23	3,56	9,63	35,21	51,86
Max	4,13	11,54	51,39	17,75	7,95	10,87	22,08	4,58	11,15	3,84	10,56	38,48	67,01
Virhe	2,70	7,22	32,59	8,41	5,11	1,96	14,29	2,34	7,03	2,46	6,62	24,51	5,98
LOD/6	6	6	6	1	6	0	6	0	6	6	6	6	0
<b>M28</b>													
Ka	<4,33	<10,85	<51,87	27,40	<7,64	15,41	<21,43	6,84	<10,60	<3,61	<10,05	<44,26	226,38
Min	4,17	10,37	49,71	24,33	7,43	14,51	20,94	4,68	10,37	3,50	9,89	42,83	223,27
Max	4,50	11,12	52,85	32,38	7,85	16,10	21,81	8,38	10,71	3,69	10,25	45,11	231,41
Virhe	2,88	7,23	34,58	8,04	5,10	2,00	14,29	2,47	7,07	2,41	6,70	29,50	9,76
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	6	0
<b>M35</b>													
Ka	<4,38	<11,48	<46,16	23,21	<8,56	12,42	<23,65	<5,12	<11,20	<4,03	<10,53	<32,30	104,61
Min	4,08	11,13	44,36	19,19	8,33	10,81	22,98	3,99	11,01	3,87	10,34	31,26	99,43
Max	4,47	11,84	47,27	31,24	8,87	14,33	24,08	5,84	11,43	4,11	10,77	33,29	108,05
Virhe	2,92	7,66	30,77	8,88	5,71	2,14	15,76	2,75	7,46	2,69	7,02	21,53	7,79
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	1	6	6	6	6	0
<b>M37</b>													
Ka	<5,96	<12,97	<45,59	44,36	<9,67	20,44	<25,74	17,64	<12,67	<4,44	<12,07	<41,77	336,84
Min	4,96	12,68	43,40	37,97	9,51	19,46	25,11	16,32	12,32	4,35	11,66	40,05	333,20
Max	6,35	13,28	46,38	54,78	9,83	21,28	26,28	19,15	13,04	4,62	12,54	42,99	340,40
Virhe	3,89	8,65	30,39	10,25	6,44	2,37	17,16	3,50	8,45	2,96	8,05	27,85	13,31
LOD/6	5	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	6	0
<b>M39</b>													
Ka	<4,95	<13,83	41,98	33,33	<10,80	12,18	<28,23	<5,98	<13,47	<4,87	<12,84	<30,14	120,01
Min	4,77	13,49	34,99	28,72	10,53	11,25	27,84	4,87	13,26	4,65	12,47	28,26	106,15
Max	5,09	14,07	49,11	37,01	10,94	13,90	28,92	6,45	13,92	5,12	13,17	32,13	127,14
Virhe	3,30	9,22	17,35	11,12	7,20	2,47	18,82	3,94	8,98	3,24	8,56	20,09	9,49
LOD/6	6	6	0	0	6	0	6	5	6	6	6	6	0
<b>M46</b>													
Ka	<5,17	<13,20	<41,35	45,39	<10,28	17,27	<27,39	5,67	<12,87	<4,66	<12,08	<40,57	182,67
Min	5,01	12,98	33,05	40,89	10,14	16,04	27,03	4,35	12,68	4,44	11,67	39,21	178,15
Max	5,30	13,34	45,00	51,64	10,52	18,24	27,74	7,39	13,14	4,80	12,44	41,73	186,17
Virhe	3,45	8,80	24,20	10,98	6,85	2,45	18,26	2,92	8,58	3,11	8,05	27,04	10,78
LOD/6	6	6	3	0	6	0	6	0	6	6	6	6	0

## Ensimmäisten mittausten tulokset

	Raskasmetallipitoisuudet SAMMALISSA ( $d_w$ mg/kg)												
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
<b>M60</b>													
Ka	<5,12	<13,70	54,53	35,01	<10,83	12,94	<28,38	<6,03	<13,33	<4,82	<12,64	<30,30	109,96
Min	4,86	13,23	45,14	28,40	10,59	12,08	27,98	4,96	13,16	4,53	12,48	28,94	104,67
Max	5,27	14,33	60,74	39,79	11,03	14,72	28,62	6,50	13,50	5,01	12,75	32,21	114,41
Virhe	3,41	9,13	17,28	11,18	7,22	2,48	18,92	3,61	8,89	3,21	8,42	20,20	9,17
LOD/6	6	6	0	0	6	0	6	3	6	6	6	6	0
<b>T12</b>													
Ka	<4,11	<10,60	<50,01	19,04	<8,01	11,64	<22,15	<4,75	<10,37	<3,76	<9,76	<35,43	72,10
Min	4,01	10,31	48,47	16,55	7,82	10,30	21,95	4,25	10,20	3,62	9,56	33,63	67,81
Max	4,19	11,24	53,28	21,02	8,18	13,55	22,46	5,42	10,83	3,93	10,14	37,67	79,08
Virhe	2,74	7,07	33,34	8,16	5,34	2,02	14,77	2,74	6,91	2,51	6,51	23,62	6,48
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	2	6	6	6	6	0
<b>T20</b>													
Ka	<4,37	<11,44	<41,90	24,77	<8,80	11,52	<23,56	4,68	<11,08	<4,11	<10,36	<34,49	78,32
Min	4,26	11,15	33,79	19,21	8,60	10,85	23,19	4,22	10,82	4,07	10,02	33,45	74,01
Max	4,43	11,84	47,10	31,53	9,03	13,30	24,17	5,27	11,64	4,14	10,85	36,86	81,72
Virhe	2,92	7,63	26,37	8,97	5,87	2,14	15,71	2,55	7,38	2,74	6,91	22,99	7,08
LOD/6	6	6	3	0	6	0	6	0	6	6	6	6	0
<b>T22</b>													
Ka	<4,15	<10,74	<50,10	24,76	<8,28	10,41	<22,27	<5,01	<10,47	<3,81	<9,81	<38,40	85,82
Min	4,08	10,53	47,45	17,50	7,91	8,76	21,87	4,25	10,26	3,74	9,63	36,06	81,32
Max	4,34	11,18	51,66	30,43	8,45	12,42	22,77	5,53	10,73	3,90	10,22	40,70	91,56
Virhe	2,77	7,16	33,40	8,46	5,52	2,03	14,85	2,95	6,98	2,54	6,54	25,60	7,00
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	3	6	6	6	6	0
<b>T46</b>													
Ka	<4,22	<11,18	<47,42	21,52	<8,57	11,46	<22,94	<4,67	<10,94	<3,95	<10,25	<33,29	72,79
Min	4,11	10,98	45,53	12,86	8,36	10,21	22,73	3,63	10,62	3,78	9,90	31,38	69,48
Max	4,31	11,36	48,53	28,16	8,73	13,04	23,39	5,40	11,21	4,04	10,40	34,49	77,49
Virhe	2,82	7,46	31,62	8,65	5,71	2,10	15,29	3,01	7,29	2,63	6,83	22,19	6,77
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	3	6	6	6	6	0
<b>T55</b>													
Ka	<5,13	<13,14	57,32	34,29	<10,75	13,02	<28,19	4,91	<12,80	<4,82	<12,16	<31,64	163,61
Min	5,04	12,90	41,24	20,51	10,67	12,47	27,50	4,27	12,59	4,70	11,75	30,08	152,12
Max	5,33	13,41	76,22	41,51	10,88	14,16	28,67	6,03	13,07	4,95	12,42	32,58	169,10
Virhe	3,42	8,76	18,60	11,00	7,16	2,45	18,79	2,91	8,53	3,21	8,11	21,10	10,58
LOD/6	6	6	0	0	6	0	6	0	6	6	6	6	0
<b>V</b>													
Ka	<4,49	<11,69	<42,42	29,37	<9,41	12,40	<24,68	<4,91	<11,41	<4,25	<10,74	<33,17	97,77
Min	4,41	11,43	32,59	25,29	9,27	10,80	24,35	3,92	11,19	4,05	10,52	31,25	91,01
Max	4,59	12,00	58,76	37,21	9,56	13,30	25,08	5,73	11,66	4,35	10,97	34,46	104,53
Virhe	3,00	7,79	24,49	9,57	6,28	2,23	16,46	3,19	7,60	2,83	7,16	22,11	7,94
LOD/6	6	6	2	0	6	0	6	3	6	6	6	6	0



## Ensimmäisten mittausten tulokset

	Raskasmetallipitoisuudet MARJOISSA (dw mg/kg)												
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
<b>M33</b>													
Ka	<3,00	<8,03	<62,72	<13,54	<6,13	5,92	<18,54	<3,96	<7,83	<3,05	<7,36	<42,42	7,61
Min	3,03	8,02	62,52	13,59	6,14	6,26	18,53	3,98	7,78	3,08	7,34	41,95	7,44
Max	2,87	7,89	61,34	13,28	6,00	4,33	18,29	3,74	7,68	2,94	7,19	40,37	6,25
Virhe	2,00	5,36	41,81	9,03	4,09	1,71	12,36	2,64	5,22	2,03	4,91	28,28	3,44
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>M35</b>													
Ka	<3,05	<8,35	<59,83	<13,94	<6,22	11,90	<18,61	<4,09	<8,15	<3,09	<7,69	<41,41	9,24
Min	2,91	8,06	58,38	13,76	5,99	10,80	18,44	3,90	7,97	3,08	7,46	39,83	6,80
Max	3,15	8,70	61,07	14,10	6,45	13,79	18,81	4,25	8,46	3,14	8,06	42,47	12,38
Virhe	2,03	5,57	39,88	9,29	4,15	1,78	12,41	2,73	5,44	2,06	5,12	27,61	3,52
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>M43</b>													
Ka	<3,15	<8,33	<58,06	<13,99	<6,27	7,56	<18,63	<4,21	<8,10	<3,14	<7,63	<40,32	9,86
Min	3,02	8,15	56,40	13,37	6,12	6,61	18,15	3,95	7,85	3,05	7,50	39,27	6,96
Max	3,30	8,49	59,87	14,42	6,47	9,30	19,02	4,62	8,34	3,27	7,74	41,43	12,17
Virhe	2,10	5,55	38,71	8,94	4,18	1,74	12,42	2,81	5,40	2,09	5,09	26,88	3,58
LOD/6	6	6	6	5	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>M57</b>													
Ka	<3,02	<8,06	<59,50	<13,86	<6,22	6,88	<18,49	<3,99	<7,84	<3,13	<7,34	<39,61	9,17
Min	2,96	7,94	57,60	13,29	6,08	6,29	18,26	3,80	7,71	3,02	7,19	37,97	7,47
Max	3,09	8,33	61,86	14,25	6,30	7,49	18,75	4,19	8,19	3,21	7,64	41,64	11,32
Virhe	2,02	5,37	39,66	9,24	4,15	1,73	12,33	2,66	5,23	2,09	4,89	26,40	3,54
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>T12A</b>													
Ka	<3,05	<8,31	<57,83	<13,79	<6,19	5,98	<18,51	<4,13	<8,04	<3,11	<7,59	<39,54	<6,91
Min	2,88	8,19	56,37	13,61	6,11	5,00	18,26	3,92	7,91	3,09	7,46	37,10	5,70
Max	3,21	8,57	60,51	13,88	6,35	7,04	18,95	4,37	8,24	3,15	7,68	42,06	7,53
Virhe	2,04	5,54	38,55	9,19	4,13	1,72	12,34	2,75	5,36	2,08	5,06	26,36	4,42
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	4
<b>T12B</b>													
Ka	<3,04	<8,33	<58,28	<14,05	<6,17	6,15	<18,38	<4,00	<8,10	<3,12	<7,60	<39,40	7,02
Min	2,96	8,24	57,66	14,00	6,09	4,24	18,09	3,89	7,92	3,02	7,53	38,46	5,33
Max	3,11	8,45	59,04	14,13	6,32	7,55	18,59	4,16	8,21	3,29	7,68	40,71	8,08
Virhe	2,03	5,55	38,85	9,37	4,11	1,72	12,25	2,66	5,40	2,08	5,07	26,26	3,44
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>T20A</b>													
Ka	<3,02	<8,30	<61,53	<13,68	<6,25	5,84	<18,54	<4,03	<8,06	<3,12	<7,62	<42,20	<7,74
Min	2,94	8,15	60,17	13,34	6,05	4,53	18,03	3,87	7,79	3,05	7,49	38,64	5,39
Max	3,09	8,39	63,20	14,18	6,44	7,28	19,17	4,22	8,18	3,20	7,74	43,86	10,87
Virhe	2,01	5,53	41,02	9,12	4,17	1,71	12,36	2,68	5,38	2,08	5,08	28,13	3,72
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	1
<b>T20B</b>													
Ka	<2,99	<8,28	<61,36	<13,64	<6,29	5,47	<18,45	<3,98	<8,08	<3,17	<7,57	<42,45	10,37
Min	2,88	8,15	60,15	13,50	6,14	4,03	17,96	3,75	8,01	3,09	7,50	41,12	8,96
Max	3,06	8,51	62,21	13,83	6,41	7,61	19,01	4,20	8,16	3,29	7,65	44,40	11,14
Virhe	2,00	5,52	40,90	9,10	4,19	1,71	12,30	2,65	5,39	2,11	5,04	28,30	3,61
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0

## Ensimmäisten mittausten tulokset

	Raskasmetallipitoisuudet MARJOISSA (dw mg/kg)												
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
<b>T37</b>													
Ka	<3,08	<8,48	<58,32	<14,06	<6,28	5,96	<18,76	<4,09	<8,21	<3,15	<7,73	<39,23	8,96
Min	2,96	8,33	55,79	13,77	6,17	4,84	18,57	3,87	8,07	3,08	7,50	37,23	6,52
Max	3,24	8,67	61,17	14,39	6,41	7,10	19,02	4,50	8,45	3,23	7,92	40,35	11,87
Virhe	2,06	5,65	38,88	9,37	4,18	1,73	12,51	2,73	5,48	2,10	5,15	26,15	3,54
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>T39A</b>													
Ka	<3,05	<8,28	<59,76	<13,78	<6,17	5,90	<18,37	<4,09	<8,02	<3,10	<7,53	<40,05	8,50
Min	2,97	8,15	57,32	13,44	6,00	5,32	18,00	3,92	7,97	2,99	7,43	38,76	6,47
Max	3,09	8,34	62,39	14,09	6,38	6,94	18,84	4,26	8,12	3,17	7,64	41,45	9,87
Virhe	2,03	5,52	39,84	9,18	4,12	1,71	12,25	2,72	5,35	2,06	5,02	26,70	3,49
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>T39B</b>													
Ka	<3,08	<8,17	<60,65	<13,81	<6,25	6,41	<18,55	<4,08	<7,93	<3,07	<7,49	<41,69	10,52
Min	3,00	8,01	59,55	13,55	6,12	4,47	18,36	3,99	7,86	3,02	7,43	40,23	8,99
Max	3,24	8,33	62,69	14,22	6,44	7,50	18,72	4,16	8,01	3,14	7,55	42,38	12,59
Virhe	2,05	5,45	40,43	9,21	4,17	1,72	12,37	2,72	5,29	2,04	4,99	27,79	3,60
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>T43</b>													
Ka	<3,16	<8,19	<61,08	<13,60	<6,16	5,09	<18,63	<4,22	<7,89	<3,10	<7,41	<42,07	6,45
Min	3,09	8,09	59,10	13,28	6,06	4,42	18,47	4,10	7,77	3,06	7,25	40,35	5,44
Max	3,27	8,34	62,87	13,88	6,30	6,23	18,80	4,38	8,01	3,15	7,53	44,28	7,38
Virhe	2,11	5,46	40,72	9,06	4,11	1,71	12,42	2,81	5,26	2,07	4,94	28,05	3,42
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>T46</b>													
Ka	<3,04	<8,41	<59,70	<13,86	<6,18	6,16	<18,44	<4,09	<8,19	<3,10	<7,71	<40,64	9,10
Min	2,90	8,15	57,05	13,55	6,06	5,22	18,15	3,86	8,03	2,97	7,53	38,91	7,40
Max	3,17	8,78	61,55	14,12	6,30	7,48	18,83	4,26	8,45	3,23	8,03	41,73	10,04
Virhe	2,02	5,61	39,80	9,24	4,12	1,71	12,29	2,73	5,46	2,07	5,14	27,09	3,51
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>T55</b>													
Ka	<2,98	<8,38	<58,21	<13,72	<6,22	5,68	<18,54	<3,99	<8,17	<3,10	<7,67	<39,22	7,57
Min	2,85	8,27	56,16	13,26	6,08	4,72	18,17	3,83	8,01	3,02	7,52	37,94	6,28
Max	3,09	8,48	59,72	13,89	6,38	6,90	18,89	4,16	8,28	3,17	7,83	40,73	8,65
Virhe	1,98	5,59	38,81	9,15	4,15	1,71	12,36	2,66	5,44	2,06	5,11	26,14	3,47
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>VA</b>													
Ka	<3,02	<8,18	<62,17	<13,73	<6,14	5,54	<18,51	<4,04	<7,95	<3,10	<7,44	<42,76	6,45
Min	2,94	8,00	60,21	13,47	5,96	4,18	18,33	3,86	7,83	3,02	7,31	41,43	5,51
Max	3,11	8,43	64,44	13,95	6,27	6,88	18,78	4,26	8,09	3,18	7,64	44,00	7,22
Virhe	2,01	5,46	41,45	9,15	4,09	1,70	12,34	2,69	5,30	2,06	4,96	28,50	3,39
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>VB</b>													
Ka	<2,95	<8,09	<62,75	<13,71	<6,11	6,46	<18,48	<3,88	<7,85	<3,08	<7,39	<41,42	7,87
Min	2,84	7,89	61,22	13,35	5,97	4,90	18,03	3,72	7,70	2,99	7,22	40,41	6,63
Max	3,06	8,39	64,56	14,03	6,30	7,97	18,68	4,14	8,12	3,23	7,73	42,96	9,88
Virhe	1,97	5,39	41,83	9,14	4,07	1,71	12,32	2,59	5,23	2,05	4,93	27,61	3,45
LOD/6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	6	6	6	0

## Ensimmäisten mittausten tulokset

	Raskasmetallipitoisuudet SIENISSÄ (dw mg/kg)												
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
<b>M2</b>													
Ka	<3,86	<11,37	<40,57	43,70	<8,24	7,56	<22,04	<5,34	<11,15	<3,98	<10,55	<26,52	75,42
Min	3,72	11,07	39,66	36,96	8,06	6,51	21,65	5,15	10,67	3,86	10,28	25,95	69,46
Max	4,10	11,79	41,63	53,26	8,58	8,10	22,67	5,55	11,49	4,10	11,00	27,62	79,78
Virhe	2,58	7,58	27,04	8,92	5,49	2,00	14,70	3,42	7,43	2,65	7,03	17,68	6,63
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	5	6	6	6	6	0
<b>M5</b>													
Ka	<3,76	<10,71	<45,48	79,71	<7,00	5,40	<20,38	<4,60	<10,37	<3,53	<9,82	<30,89	119,56
Min	3,71	10,28	44,39	73,67	6,77	4,58	19,76	3,54	10,01	3,41	9,47	29,36	116,03
Max	3,83	11,33	46,79	87,15	7,23	5,89	20,84	5,46	10,85	3,60	10,29	31,91	124,82
Virhe	2,51	7,14	30,32	9,02	4,66	1,85	13,59	2,99	6,92	2,35	6,54	20,59	7,25
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	3	6	6	6	6	0
<b>M37</b>													
Ka	<3,43	<10,67	<46,05	18,28	<6,89	5,17	<19,81	<4,66	<10,30	<3,43	<9,77	<31,16	264,56
Min	3,32	10,41	44,06	13,96	6,72	4,45	19,58	4,43	9,90	3,30	9,24	30,15	255,29
Max	3,50	10,91	47,75	24,57	7,01	5,77	20,10	4,88	10,65	3,54	10,07	32,15	270,25
Virhe	2,29	7,11	30,70	7,16	4,59	1,79	13,21	3,11	6,87	2,28	6,51	20,78	9,90
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>M39</b>													
Ka	<4,11	<12,34	<38,71	21,63	<8,83	10,18	<24,02	<5,35	<12,04	<4,15	<11,31	<25,76	88,04
Min	4,05	12,11	37,94	18,90	8,64	9,08	23,66	5,19	11,69	3,98	10,86	25,11	85,86
Max	4,17	12,59	39,95	27,80	9,02	11,53	24,66	5,55	12,23	4,31	11,60	26,36	90,08
Virhe	2,74	8,23	25,81	9,03	5,88	2,15	16,01	3,57	8,03	2,77	7,54	17,17	7,45
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>M43</b>													
Ka	<3,85	<11,03	<43,59	34,37	<7,25	5,25	<20,33	<5,10	<10,63	7,84	<10,06	<29,08	124,45
Min	3,69	10,76	42,63	30,93	7,16	4,18	20,06	4,22	10,25	6,78	9,81	27,60	118,64
Max	3,95	11,48	44,48	38,42	7,43	6,80	20,54	5,57	11,01	8,35	10,32	30,39	128,76
Virhe	2,57	7,35	29,06	7,91	4,83	1,86	13,55	3,29	7,08	1,98	6,70	19,39	7,42
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	4	6	0	6	6	0
<b>M55</b>													
Ka	<3,49	<10,63	<45,53	27,54	<6,93	5,44	<19,90	<4,75	<10,34	<3,52	<9,75	<30,16	34,16
Min	3,44	10,28	44,43	22,64	6,72	5,04	19,59	4,65	10,02	3,42	9,36	29,28	32,42
Max	3,56	10,86	46,55	35,04	7,10	6,05	20,30	4,88	10,53	3,60	10,02	31,70	35,52
Virhe	2,33	7,09	30,35	7,56	4,62	1,81	13,27	3,17	6,89	2,35	6,50	20,11	4,80
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	6	6	6	6	6	0
<b>M60</b>													
Ka	<3,44	<10,03	<46,15	<14,13	<6,70	<3,95	<19,53	<4,84	<9,86	<3,32	<9,32	<30,21	71,88
Min	3,36	9,59	44,43	10,28	6,59	2,96	19,07	4,77	9,29	3,21	8,81	29,07	61,04
Max	3,56	10,53	48,24	15,24	6,84	4,42	20,34	4,97	10,49	3,42	10,01	31,55	78,30
Virhe	2,30	6,69	30,73	9,40	4,46	1,93	13,02	3,23	6,57	2,21	6,21	20,14	5,82
LOD/6	6	6	6	5	6	1	6	6	6	6	6	6	0
<b>T29</b>													
Ka	<3,84	<10,01	<48,41	15,33	<6,87	<3,44	<19,99	<5,06	<9,73	<3,40	<9,27	<32,00	81,95
Min	3,72	9,45	47,22	12,10	6,72	2,77	19,73	4,00	9,20	3,36	8,87	30,99	74,02
Max	3,92	10,58	50,04	18,56	7,11	4,18	20,27	5,85	10,28	3,47	9,69	33,95	85,66
Virhe	2,56	6,67	32,28	7,06	4,58	1,97	13,33	2,67	6,49	2,27	6,18	21,33	6,22
LOD/6	6	6	6	0	6	1	6	1	6	6	6	6	0

## Ensimmäisten mittauksen tulokset

	Raskasmetallipitoisuudet SIENISSÄ (dw mg/kg)												
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
<b>T30</b>													
Ka	<4,10	<10,61	<45,75	24,80	<7,10	4,14	<20,30	6,73	<10,21	<3,58	<9,69	<30,31	98,65
Min	4,01	10,40	43,20	19,53	7,04	3,46	19,97	5,41	9,99	3,51	9,33	29,07	96,75
Max	4,29	10,80	47,73	30,10	7,22	5,51	20,69	9,93	10,37	3,66	9,98	31,49	103,41
Virhe	2,73	7,08	30,50	7,58	4,73	1,90	13,53	2,72	6,81	2,39	6,46	20,20	6,76
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	0	6	6	6	6	0
<b>T38A</b>													
Ka	<4,36	<12,37	<39,47	44,71	<8,66	6,86	<23,74	<5,67	<11,98	<4,15	<11,34	<26,22	50,34
Min	4,28	12,15	37,88	41,87	8,43	4,95	23,34	4,68	11,66	4,10	11,03	24,90	43,99
Max	4,50	12,71	41,19	47,07	8,88	8,14	24,12	6,24	12,21	4,22	11,58	27,59	52,55
Virhe	2,91	8,24	26,31	9,60	5,77	2,16	15,83	3,47	7,99	2,76	7,56	17,48	6,17
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	3	6	6	6	6	0
<b>T38B</b>													
Ka	<3,86	<10,15	<45,58	<14,91	<6,79	<3,97	<19,97	<5,74	<9,93	<3,43	<9,42	<30,49	48,90
Min	3,74	9,89	44,06	14,70	6,71	3,25	19,58	4,33	9,75	3,32	9,18	29,54	47,68
Max	3,96	10,56	48,00	15,15	6,89	4,17	20,28	7,17	10,40	3,59	9,90	31,94	50,78
Virhe	2,58	6,77	30,39	9,94	4,53	2,60	13,31	2,73	6,62	2,29	6,28	20,32	5,23
LOD/6	6	6	6	6	6	5	6	1	6	6	6	6	0
<b>T46</b>													
Ka	<3,84	<10,97	<44,32	42,73	<7,67	6,91	<21,14	<5,25	<10,61	<3,84	<10,08	<28,96	109,33
Min	3,72	10,59	42,66	38,02	7,34	6,17	20,69	4,97	10,37	3,75	9,84	27,75	102,43
Max	4,02	11,36	45,78	48,27	7,89	8,05	21,48	5,40	11,00	3,90	10,38	29,93	117,06
Virhe	2,56	7,32	29,55	8,51	5,11	1,94	14,09	3,37	7,07	2,56	6,72	19,31	7,29
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	5	6	6	6	6	0
<b>T55A</b>													
Ka	<3,64	<10,00	<46,21	20,85	<6,82	<3,89	<19,63	<5,04	<9,86	<3,52	<9,30	<30,48	129,05
Min	3,44	9,47	44,19	17,08	6,57	3,07	19,26	4,39	9,39	3,45	8,72	29,16	119,95
Max	3,77	10,28	47,85	22,66	6,90	4,08	20,09	5,31	10,14	3,57	9,71	31,71	134,78
Virhe	2,43	6,66	30,81	7,16	4,55	2,55	13,09	3,27	6,57	2,35	6,20	20,32	7,29
LOD/6	6	6	6	0	6	5	6	5	6	6	6	6	0
<b>T55B</b>													
Ka	<3,94	<10,83	<46,21	41,63	<7,02	<4,21	<20,86	<4,97	<10,61	<3,45	<10,02	<30,48	80,47
Min	3,83	10,73	44,85	39,18	6,89	4,16	20,46	4,18	10,44	3,35	9,78	29,51	74,10
Max	4,07	11,06	47,61	43,38	7,11	4,28	21,26	6,06	10,82	3,57	10,26	31,46	84,15
Virhe	2,63	7,22	30,80	8,03	4,68	2,81	13,91	2,78	7,07	2,30	6,68	20,32	6,29
LOD/6	6	6	6	0	6	6	6	1	6	6	6	6	0
<b>VA</b>													
Ka	<3,50	<9,76	<48,56	19,37	<6,79	<3,93	<19,48	<4,89	<9,54	<3,35	<8,96	<31,81	76,57
Min	3,44	9,41	46,67	16,44	6,66	3,10	19,02	4,79	9,23	3,26	8,73	30,20	74,52
Max	3,56	10,11	49,97	23,66	6,98	5,16	20,06	5,01	9,87	3,44	9,24	34,19	78,21
Virhe	2,33	6,51	32,37	7,13	4,53	1,94	12,99	3,26	6,36	2,24	5,98	21,21	6,00
LOD/6	6	6	6	0	6	1	6	6	6	6	6	6	0
<b>VB</b>													
Ka	<3,47	<10,49	<46,56	36,89	<7,11	6,76	<19,89	<4,88	<10,20	<3,53	<9,70	<30,30	36,17
Min	3,35	10,23	45,44	33,50	7,04	5,33	19,68	4,79	9,87	3,41	9,35	29,61	33,52
Max	3,59	10,82	47,40	39,22	7,16	8,19	20,15	5,15	10,49	3,65	9,92	31,04	38,03
Virhe	2,31	6,99	31,04	7,88	4,74	1,85	13,26	3,26	6,80	2,36	6,47	20,20	4,91
LOD/6	6	6	6	0	6	0	6	6	6	6	6	6	0

## Uusintamittausten 12 min tulokset

	Raskametallipitoisuudet (dw mg/kg)												
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn
<b>Humus M55</b>													
Ka	9,58	23,50	<1,79	2,69	<3,43	79,38	17,54	<10,96	75,45	82,73	<4,33	<4,25	<4,28
Min	9,42	23,15	1,79	2,63	2,95	77,62	15,11	10,92	73,75	78,75	4,28	4,20	4,26
Max	9,73	23,78	1,80	2,75	3,68	80,72	19,03	10,98	77,16	86,17	4,37	4,28	4,31
Virhe	0,86	1,42	1,19	1,12	2,18	2,73	3,57	7,30	5,12	7,95	2,88	2,83	2,85
LOD/3	0	0	3	0	2	0	0	3	0	0	3	3	3
<b>Hiekka M37</b>													
Ka	76,22	61,57	<1,89	<3,33	<3,82	128,12	115,67	52,01	<6,67	13,11	32,83	28,90	13,89
Min	75,73	59,84	1,88	3,30	3,45	127,37	113,04	49,27	6,51	11,68	31,12	28,21	13,62
Max	76,57	63,00	1,89	3,35	4,21	128,90	117,68	54,63	6,81	13,93	34,21	30,01	14,11
Virhe	1,11	1,96	1,26	2,22	1,98	3,25	4,55	5,17	4,45	3,91	2,24	2,28	2,15
LOD/3	0	0	3	3	1	0	0	0	3	0	0	0	0
<b>Sammal M2</b>													
Ka	11,97	3,18	<1,45	<1,51	<3,19	63,05	29,25	<8,39	42,92	7,40	<2,60	<2,46	<2,66
Min	11,73	2,48	1,44	1,49	3,17	61,75	27,14	8,37	41,41	6,27	2,58	2,45	2,64
Max	12,10	3,89	1,46	1,52	3,21	64,28	30,71	8,42	43,76	8,77	2,61	2,48	2,67
Virhe	0,75	0,85	0,97	1,00	2,12	2,31	3,25	5,59	4,04	3,11	1,73	1,64	1,77
LOD/3	0	0	3	3	3	0	0	3	0	0	3	3	3
<b>Marja M33</b>													
Ka	6,71	<1,30	<1,01	<0,98	<2,02	6,78	<4,47	<5,95	<11,41	<7,73	<1,85	<1,74	<1,90
Min	6,51	1,28	1,01	0,96	2,00	6,33	4,44	5,90	11,22	7,56	1,83	1,73	1,89
Max	6,85	1,32	1,02	0,99	2,03	7,39	4,49	6,00	11,51	7,86	1,86	1,76	1,92
Virhe	0,56	0,87	0,67	0,65	1,34	1,11	2,98	3,97	7,61	5,15	1,23	1,16	1,27
LOD/3	0	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3
<b>Sieni M2</b>													
Ka	8,68	2,52	<1,30	<1,27	<2,59	69,09	40,51	<7,11	<8,34	<5,49	<2,41	<2,28	<2,49
Min	8,20	2,23	1,29	1,26	2,57	67,01	40,05	7,10	8,13	5,39	2,39	2,25	2,46
Max	8,96	2,70	1,31	1,28	2,60	70,83	40,92	7,13	8,58	5,64	2,43	2,31	2,51
Virhe	0,66	0,80	0,86	0,85	1,72	2,09	2,87	4,74	5,56	3,66	1,61	1,52	1,66
LOD/3	0	0	3	3	3	0	0	3	3	3	3	3	3