

Vastaanottaja
Terrafame Oy

Asiakirjatyyppi
Bioindikaattoritutkimus

Päivämäärä
22.8.2017

TERRAFAME OY

TERRAFAMEN ALUEEN

BIOINDIKAATTORITUTKIMUS

VUOSINA 2012 JA 2016



Päivämäärä **22.8.2017**
Laatija **Kirsi Lehtinen**
Tarkastaja **Jussi Mäkinen**
Kuvaus **Bioindikaattoritutkimus Terrafamen kaivosalueen
ympäristössä vuosina 2012 ja 2016**

Viite 1510028556

Kannen kuva Talvivaarantien pohjoispuolelta havaintoalalta 6 vuonna 2012.

SISÄLTÖ

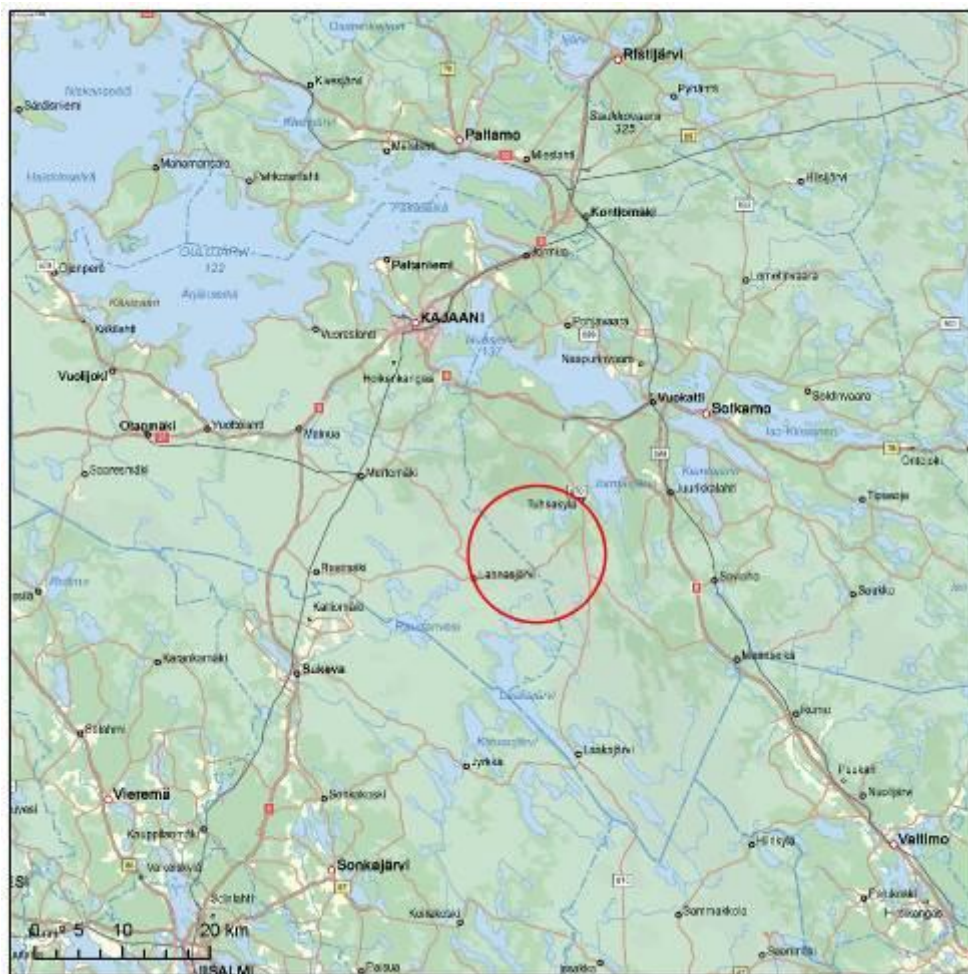
1.	JOHDANTO	1
2.	AINEISTO JA MENETELMÄT	2
2.1	Havaintoalat	2
2.2	Havupuiden neulaskadon, eli harsuuntuneisuuden arvioiminen	3
2.3	Neulasten alkuainepitoisuudet	4
2.4	Sammalnäytteiden alkuainepitoisuudet	5
2.5	Humuksen alkuainepitoisuudet	6
2.6	Aineiston käsittely	6
3.	TULOKSET	7
3.1	Havaintoalojen tiedot ja mäntyjen elinvoimaisuus	7
3.2	Neulasten alkuainepitoisuudet vuosina 2012 ja 2016	9
3.3	Sammalten alkuainepitoisuudet vuosina 2012 ja 2016	18
3.4	Humuksen alkuainepitoisuudet vuosina 2012 ja 2016	25
3.5	Vertailu alueella aikaisemmin ja muualla tehtyihin tutkimuksiin	34
3.5.1	Männyn neulaskato	34
3.5.2	Neulasten alkuainepitoisuudet	35
3.5.3	Sammalten alkuainepitoisuudet	37
3.5.4	Humuksen alkuainepitoisuudet	38
4.	TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	40

1. JOHDANTO

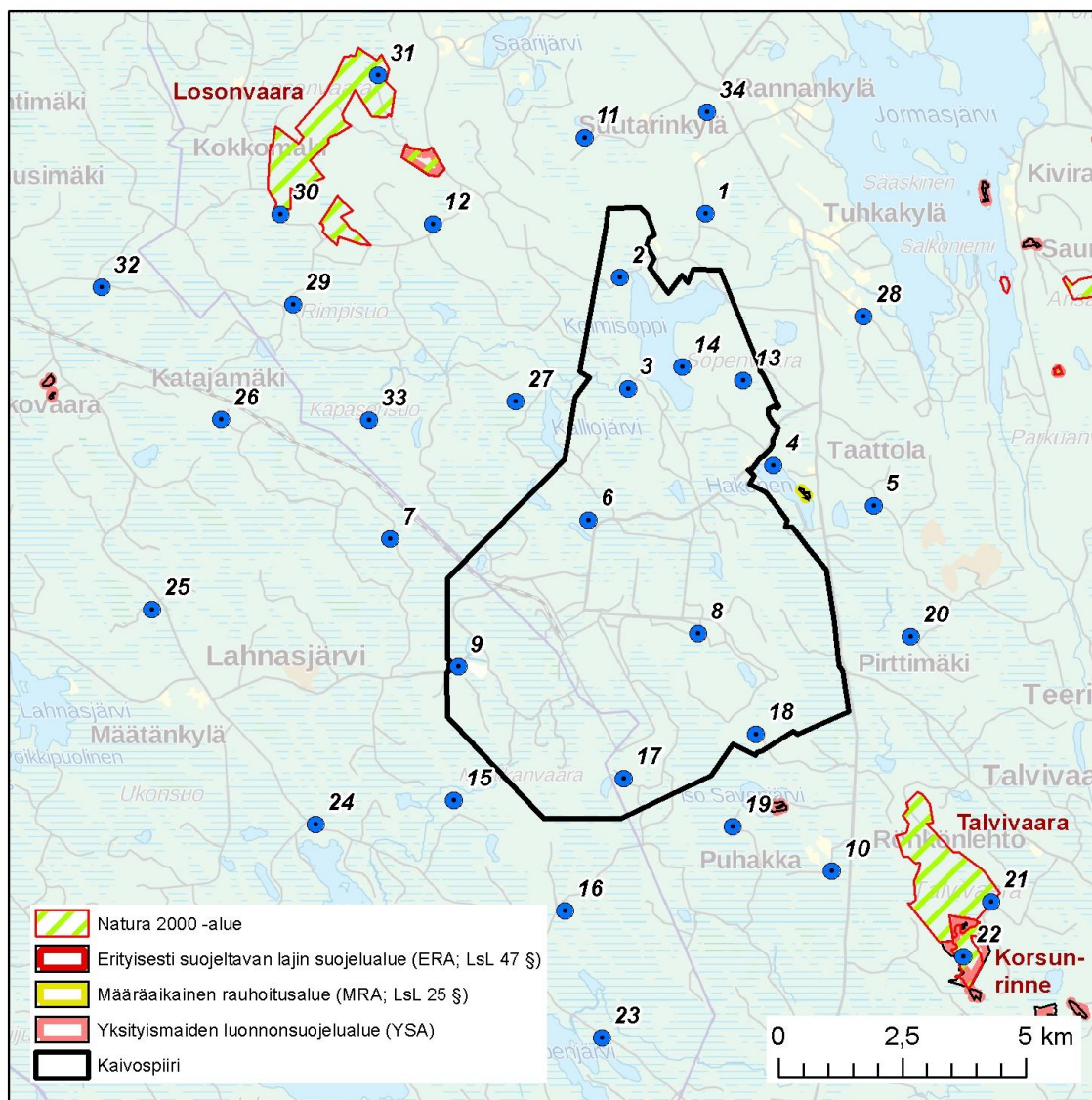
Bioindikaattori on eliö, osa eliötä tai eliöyhteisöä, joka sisältää tietoa ympäristön ja ekosysteemin laadusta, niihin kohdistuvasta stressistä ja toimivuudesta (Lodenius ym. 2002, Markert ym. 2004). Bioindikaattorin rakenteen, toiminnan, kemiallisen koostumuksen tai alkuainepitoisuuden muutoksen perusteella voidaan osoittaa esimerkiksi epäpuhtauksien esiintymistä, levinneisyyttä ja vaikutuksia ympäristössä (SFS 5670). Tyypillisimpiä bioindikaattoreita ovat mm. metsän yleisimmät sammaleet ja jäkälät, jotka keräävät tehokkaasti ilman epäpuhtauksia.

Terrafamen kaivosalueen lähiympäristön tilaa selvitettiin bioindikaattorimenetelmin ensimmäisen kerran vuonna 2009. Tuolloin selvitettiin männyn neulasten, seinäsammalen ja humuskerroksen alkuainepitoisuuksia. Vuonna 2012 laaditussa tutkimuksessa hyödynnettiin ja laajennettiin vuonna 2009 perustettua havaintoalaverkostoa siten, että se kattoi myös tuolloin haetun kaivospiirin laajennusalueen lähiympäristöineen. Lisäksi Losonvaaran, Talvivaaran ja Korsunrinteen Natura-alueille sijoitettiin havaintoaloja. Tutkimus toistettiin vuonna 2016 käyttäen vuoden 2012 havaintoalaverkostoa. Männyn neulasten, seinäsammalen ja humuskerroksen alkuainepitoisuuksien lisäksi tutkimuksessa selvitettiin ilman epäpuhtauksien vaikutuksia männyn elinvoimaisuuteen harsuuntumistutkimuksen avulla.

Tässä raportissa on kuvattu sekä vuoden 2012 että 2016 selvitys. Vuoden 2012 selvityksen maastotöistä vastasi metsätalousinsinööri Tuomas Männistö Ramboll Finland Oy:stä. Vuoden 2016 selvityksessä maastotöistä vastasivat metsätalousinsinööri Tuomas Männistö, metsätalousinsinööri Hannu Sillanpää ja ympäristösuunnittelija Tapani Pirinen Ramboll Finland Oy:stä. Näytteet analysoitiin Ramboll Analyticsin toimesta ja analytiikasta on vastannut FM kemisti Sami Tyräinen. Raportin laadinnasta on vastannut FM Kirsi Lehtinen.



Kuva 1-1. Selvitysalueen sijainti.



Kuva 2-2. Sammal- ja humusnäytealojen sijainti vuonna 2012. n=34. Vuonna 2016 kahta näytealaa siirrettiin hieman metsänhakkuiden seurauksena.

2.2 Havupuiden neulaskadon, eli harsuuntuneisuuden arvioiminen

Puuston harsuuntuminen, eli neulaskato, on puiden yleistä terveydentilaa kuvaava tunnus (Jukola-Sulonen 1993). Puun elinvoimaisuuden heikentyessä sen neulas- tai lehtimassa yleensä vähenee, eli latvus harsuuntuu. Latvus muuttuu neulasten varisemisen sekä oksien katkeilun ja kuolemisen johdosta harvaksi ja valoa helposti läpäiseväksi. Harsuuntumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat ilman epäpuhtauksien lisäksi mm. puuston ikääntyminen, kasvupaikan olosuhteet, ilmasto ja säätilat, sekä sien- ja hyönteistuhot.

Harsuuntuneiksi katsotaan puut, joiden suhteellinen neulaskato on yli 20 tai 25 % täystiheään latvukseen verrattuna. Tällöin puun oletetaan alkavan kärsiä neulasten menetyksestä. Tätä pienemmän vaihtelun katsotaan kuuluvan puun luontaisen neulasmäärän vaihtelun piiriin. Männyllä harsuuntuminen voi alkaa vanhimpien neulasvuosikertojen tasaisella varisemisella koko latvuksesta tai se saattaa kohdistua vain yksittäisiinoksiin. Harsuuntuneisuuden myötä usein puun neulasvuosikertojen määrä myös vähenee. Harsuuntuneisuuden arvioidaan silmävaraisesti.



Kuva 2-3. Hyväkuntoinen (vas.), kohtalaisesti (kesk.) ja vakavasti (oik.) harsuuntunut mänty (Metla 2011).

Männyn neulaskatoa eli harsuuntuneisuutta arvioitiin 13.-17.8.2012 ja 22.-24.8.2016 mäntyhavaintoaloilla Metsäntutkimuslaitoksen arviointiohjeiden mukaisesti (Lindgren ja Salemaa 1999, Nevalainen ym. 2011). Neulaskatoa arvioitiin viideltä puulta tarkastelemalla kiikarein kunkin puun ylintä 2/3 osaa elävästä latvuksesta puun eri puolilta. Tarkasteltavan puun neulasmassaa vertailtiin samalle kasvupaikalle kuvitellun samanikäisen ja samaa latvustyyppiä edustavan harsuuntumattoman puun neulasmassaan. Harsuuntuneisuus arvioitiin prosentin tarkkuudella. Lisäksi määritettiin kunkin puun harsuuntumistyyppi sekä laskettiin neulasvuosikertojen määrä. Neulasten väri viati (kellastuminen ja rusketuminen) arvioitiin asteikolla 1–3, jossa luokassa 1 neulasista 1–5 % on värikkäisiä, luokassa 2 neulasista 6–10 % on värikkäisiä ja luokassa 3 yli 10 % neulasista on värikkäisiä.

Männyn neulasten alkuaineanalyysiä varten tarvittavia oksanäytteitä tarkasteltiin silmämääräisesti. Kunkin oksan ensimmäisen ja toisen vuosikerran neulasten keskimääräinen pituus mitattiin, lisäksi arvioitiin kellastuneiden/keltapäisten ja ilmarakovaurioituneiden neulasten määrää ensimmäisessä ja toisessa vuosikasvaimessa.

2.3 Neulasten alkuainepitoisuudet

Männyn neulasnäytteiden alkuainepitoisuudet kuvaavat osin ilman kautta tulevaa kuormitusta. Alkuaineita kertyy neulasiin myös maaperästä juuriston kautta, joten kasvupaikka ja pitoisuudet maaperässä vaikuttavat myös neulasiin kertyviin pitoisuuksiin. Lisäksi lukuiset eri tekijät, kuten neulasten ikä, neulasten asema latvuksessa ja vuodenaikaisvaihtelut, aiheuttavat luontaista vaihtelua neulasten kemiallisessa koostumuksessa (Nieminen ym. 1993).

Alkuaineista erityisesti rikki ja typpi kuvaavat ilman epäpuhtauksien aiheuttamaa kuormitusta (Jussila 1999). Havupuiden neulasten normaalina kokonaisrikkipitoisuutena pidetään 900 mg/kg. Neulasten alkuainepitoisuuksille ei ole annettu yksiselitteisiä ohjearvoja, vaan arvot vaihtelevat eri lähteissä. Jukan (1988) luokittelemat männyn neulasten ravinnepitoisuuksien ohjearvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Männyn neulasten ravinnepitoisuuksien ohjearvoja kuivahkoilla ja kuivilla kankailla. Jukka 1988.

Ravinnetila	typpi g/kg	fosfori g/kg	kalium g/kg	boori mg/kg
alhainen	< 11,0	< 1,2	< 3,5	< 5,0
välttävä	11,0–13,9	1,2–1,44	3,5–3,9	5,0–7,9
sopiva	≥ 14,0	≥ 1,45	≥ 4,0	≥ 8,0

Neulasnäytteenotto toteutettiin standardin SFS 5669 mukaisesti 30.-1.11.2012 ja 24.11-1.12.2016 välisenä aikana kullakin mäntyhavaintoalalla. Kustakin tutkimuspuusta katkaistiin oksasaksilla 3–4 oksaa eri puolilta latvustoa. Näytteet yhdistettiin havaintoaloittain kokoomanäytteiksi muovipusseihin ja säilytettiin viileässä näytteiden esikäsittelyyn asti. Näytteistä erotettiin laboratoriossa toiseksi viimeiset vuosikerrat, jotka kuivattiin vakiopainoon (40 °C). Kuivatut näytteet homogenisoitiin ja hajotettiin mikroaaltomärkäpolttolaitteistolla väkevässä typpihapossa. Alkuainepitoisuudet määritettiin ICP-MS -tekniikalla perustuen SFS-EN ISO 17294-2 standardiin ja typpipitoisuus määritettiin Variomax CHN-analysaattorilla soveltaen standardia SFS-EN 15104. Näytteistä määritettiin typen (N), fosforin (P), kaliumin (K), kalsiumin (Ca), magnesiumin (Mg), alumiinin (Al), natriumin (Na), rikin (S), boorin (B), mangaanin (Mn), raudan (Fe), lyijyn (Pb), kuparin (Cu), koboltin (Co), sinkin (Zn), kromin (Cr), nikkelin (Ni), vanadiinin (V) ja elohopean (Hg), kadmiumin (Cd) pitoisuudet.

2.4 Sammalnäytteiden alkuainepitoisuudet

Metsän yleisimpiä sammalia, kuten metsäkerrossammalta (*Hylocomium splendens*) ja tässä työssä analysoitua seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*) on käytetty bioindikaattoriselvityksissä jo useiden vuosikymmenten ajan. Sammalten yleinen käyttö kasvimateriaalin alkuainepitoisuuksia kartoittavissa tutkimuksissa perustuu osaltaan siihen, että sammalet ottavat tarvitsemansa veden ja ravinteet pääosin suoraan sadevedestä pintasolukkonsa läpi. Juuriston ja suojaavan kutikulan puuttumisen johdosta ilman epäpuhtaudet kulkeutuvat sammaleeseen putkilokasveja tehokkaammin.

Useimpien raskasmetallien pitoisuudet sammalissa ovat laskeneet Suomessa vuosien 1985–2010 välillä (Metsäntutkimuslaitos 2012). Suomessa esiintyvät sammalten alkuainepitoisuudet ovat peräisin paitsi lähellä sijaitsevista pistemäisistä lähteistä myös kaukokulkeutumasta. Voimakkainta on ollut lyijypitoisuuksien lasku, joka johtuu lyijyttömään bensiiniin siirtymisestä 1990-luvun alussa. Lyijyn ohella lisäksi erityisesti kadmium- ja vanadiinipitoisuudet ovat laskeneet valtakunnallisella tasolla. Tekniikan kehittyminen ja päästörajojen tiukentaminen ovat vaikuttaneet siihen, että mm. kupari-, kromi-, sinkki- ja rautapitoisuudet ovat vähentyneet suurimpien pistemäisten päästölähteiden läheisyydessä.

Sammalnäytteet kerättiin standardin SFS 5671 mukaisesti elokuussa 2012 ja 22.-24.8. 2016. Kullakin sammal- ja humushavaintoalalla kerättiin seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*) mahdollisimman puhtailta kasvustoilta viidestä eri kohtaa tippuvesivyojhykkeen ulkopuolelta. Osanäytteet puhdistettiin roskista ja yhdistettiin yhdeksi havaintoalakohtaiseksi kokoomanäytteeksi. Sammalnäytteistä erotettiin laboratoriossa vihreä osuus, mikä vastaa noin kahden-kolmen vuoden kasvua.

Sammalnäytteet kuivattiin vakiopainoon (40 °C). Kuivatut näytteet homogenisoitiin ja hajotettiin mikroaaltomärkäpolttolaitteistolla väkevässä typpihapossa. Alkuainepitoisuudet määritettiin ICP-MS -tekniikalla perustuen SFS-EN ISO 17294-2 standardiin ja typpipitoisuus määritettiin Variomax CHN-analysaattorilla soveltaen standardia SFS-EN 15104. Näytteistä määritettiin typen (N), alumiinin (Al), arseenin (As), boorin (B), kalsiumin (Ca), kadmiumin (Cd), koboltin (Co), kromin (Cr), kuparin (Cu), raudan (Fe), kaliumin (K), magnesiumin (Mg), mangaanin (Mn), natriumin (Na), nikkelin (Ni), fosforin (P), lyijyn (Pb), rikin (S), sinkin (Zn), vanadiinin (V) ja elohopean (Hg) pitoisuudet.

2.5 Humuksen alkuainepitoisuudet

Humuskerroksen raskasmetallipitoisuuksien katsotaan kuvaavan metsäsammalien tavoin sekä ilman kautta leviävää kuormitusta että maaperästä peräisin olevien epäpuhtauksien määrää. Laskeuman epäpuhtaudet kerääntyvät metsämaiden humuskerrokseen, jossa ne ovat mukana myös maaperän kationinvaihtoprosesseissa muuttaen maaperän kemiallista koostumusta.

Humusnäytteet kerättiin elokuussa 2012 ja 2016. Kultakin sammal- ja humushavaintoalalta otettiin viisi osanäytettä aukkopaikoilta tippuvesivyöhykkeen ulkopuolelta ja noin 2-5 metrin etäisyydeltä lähimmistä puista.

Humusnäytteet kuivattiin (40 °C) ja homogenisoitiin. Näytteet hajotettiin mikroaaltomärkäpolttolaitteistolla väkevässä typpihapossa. Alkuainepitoisuudet määritettiin ICP-MS -tekniikalla perustuen SFS-EN ISO 17294-2 standardiin ja typpipitoisuus määritettiin Variomax CHN-analysaattorilla soveltaen standardia SFS-EN 15104. Näytteistä määritettiin typen (N), alumiinin (Al), arseenin (As), boorin (B), kalsiumin (Ca), kadmiumin (Cd), koboltin (Co), kromin (Cr), kuparin (Cu), raudan (Fe), kaliumin (K), magnesiumin (Mg), mangaanin (Mn), natriumin (Na), nikkelin (Ni), fosforin (P), lyijyn (Pb), rikin (S), sinkin (Zn), vanadiinin (V) ja elohopean (Hg) pitoisuudet. PH määritettiin vesilietteestä tuorenäytteistä.

2.6 Aineiston käsittely

Aineisto koottiin kaikkien alkuaineiden osalta kuvaajiin ja taulukoihin ja sitä verrattiin alueella aikaisemmin, sekä muualla Suomessa toteutettujen bioindikaattoriselvityksien tuloksiin. Terrafamen malmiesiintymän osalta keskeisimpien alkuaineiden kuparin, nikkelin, sinkin ja koboltin, sekä rikin ja typen osalta laadittiin havaintoalakohtaisia pitoisuuskarttoja paikkatieto-ohjelmalla.

3. TULOKSET

3.1 Havaintoalojen tiedot ja mäntyjen elinvoimaisuus

Valtaosa havaintoaloista sijaitsi varttuneissa (40-70 -vuotta) tuoreen kankaan (VMT, DeMT) ja kuivahkon kankaan (EVT) mäntymetsissä. Havaintoaloilla kasvoi pääpuulajina pääsääntöisesti mäntyä. Männyen sekapuuna tai alikasvoksena kasvoi usein kuusta tai koivua. Kaksi havaintoaloista sijaitsi turvemaalla.

Vuonna 2012 mäntyjen keskimääräinen neulasvuosikertojen lukumäärä oli 3,3 ja harsuuntumisaste 20,7 % (Taulukko 3). Noin 38 % männyistä voitiin luokitella harsuuntuneiksi kun harsuuntuneisuuden rajana käytettiin 20 % (Kuva 3-1). Käytettäessä rajana 25 % neulaskatoa, harsuuntuneiksi arvioitujen puiden määrä oli 24 %. Havaintoalakohtaisissa keskimääräisissä tuloksissa 20 %:n harsuuntuneisuuden raja ylittyi yhdeksällä alalla. Männyt olivat harsuuntuneet vaihdellen tasaisesti, alalattvuksesta sekä oksittaisesti. Värvikaisuutta neulasissa oli keskimäärin vain vähän, lähes 70 % männyistä sijoittui luokkaan 1, jossa värvikaisuutta oli 1–5 % neulasista. Noin kahdeksan prosenttia männyistä sijoittui luokkaan 3, jossa yli 10 % neulasista oli värvikaisia.

Vuonna 2016 mäntyjen keskimääräinen neulasvuosikertojen lukumäärä oli 2,9 harsuuntumisaste 25,5 %. Havaintoalakohtaisissa tuloksissa 20 %:n harsuuntuneisuuden raja ylittyi noin 63 % havaintoaloista (Kuva 3-1). Havaintoalakohtaisissa keskimääräisissä tuloksissa 20 %:n harsuuntuneisuuden raja ylittyi 13 alalla. Kun raja-arvona käytetään 25 %, noin 39 % männyistä voitiin luokitella harsuuntuneiksi. Keskimäärin männyt sijoittuivat värvikaisuusluokkaan 2 tai 3, jossa värvikaisia neulasia oli 6-10 % tai yli 10 %. Prosenttiasteikolla mäntyjen neulasten keskimääräinen värvikaisuus oli noin 17 %.

Taulukko 2. Mäntykohtainen harsuuntuminen ja neulasvuosikertojen määrä tutkimusalueella. Tutkimuspuiden kokonaismäärä 105 mäntyä.

Vuosi	n=105	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
2012	Harsuuntuneisuus %	20,7	0	50	6,5
	Neulasvuosikerta	3,3	2,4	4,2	0,4
	Värvikaisuus %	5,0	1,0	20	0,3
2016	Harsuuntuneisuus %	25,5	4	44	10
	Neulasvuosikerta	2,9	2,4	3,5	0,3
	Värvikaisuus %	17,7	9,6	28	6,2

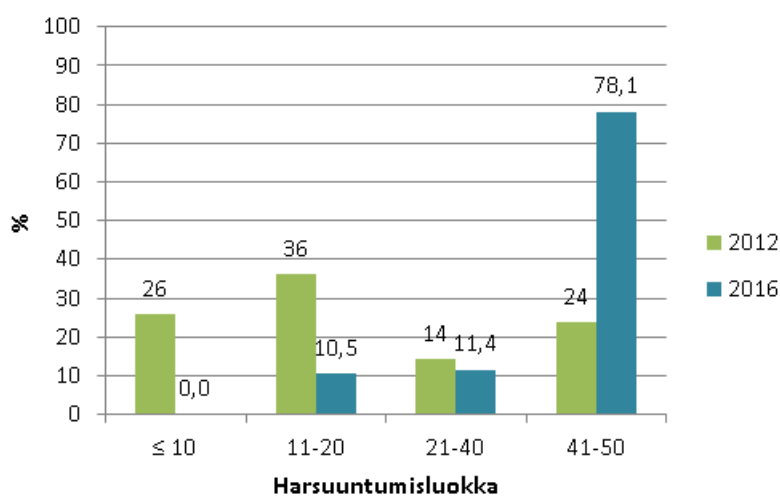
Kemialliseen analyysiin lähetettyjä oksanäytteitä tarkasteltiin myös silmämääräisesti ensimmäisen ja toisen vuosikasvaimen osalta.

Vuonna 2012 neulaskato ensimmäisessä ja toisessa vuosikasvaimessa oli keskimäärin varsin pientä, noin 4 ja 6 % (Taulukko 3). Sen sijaan noin kolmannes ensimmäisen vuosikasvaimen neulasista oli keltakärkisiä. Toisen vuosikasvaimen neulasista noin 40 % oli keltakärkisiä. Ilmarakovaurioita neulasissa arvioitiin olevan noin kuudessa prosentissa ensimmäisen vuosikasvaimen neulasista ja noin 13 prosentissa toisen vuosikasvaimen neulasista. Viimeisen vuosikasvaimen neulasten pituus vaihteli 4 ja 9 cm välillä ollen keskimäärin 6,7 cm.

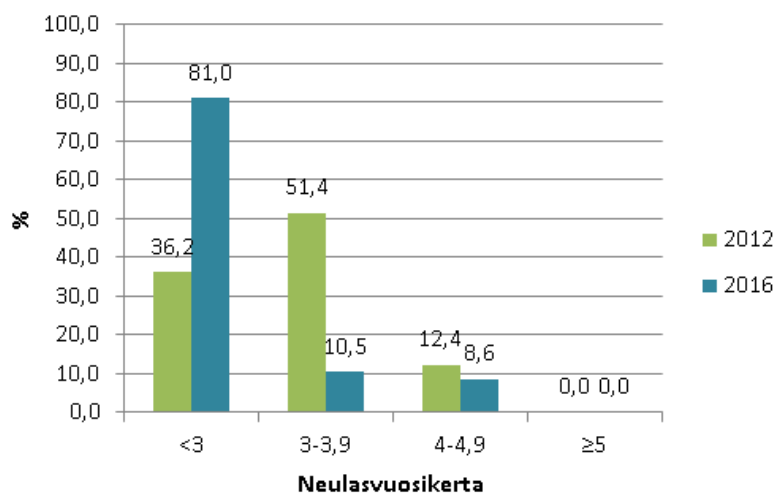
Vuonna 2016 ensimmäisen ja toisen vuosikasvaimen osalta neulaskato oli 11 ja 23 % (Taulukko 3). Keltakärkisten neulasten osuus oli 11 % kummankin vuosikasvaimen osalta. Ilmarakovaurioiden neulasten määrä oli vähäinen, vain 1,6 % ensimmäisen vuosikasvaimen neulasista. Toisen vuosikasvaimen osalta 12 % neulasista oli ilmarakovaurioita. Viimeisen vuosikasvaimen neulasten pituus vaihteli 3-7 cm välillä ollen keskimäärin 4,7 cm.

Taulukko 3. Näyteoksien silmämääräinen neulaskato, keltapäisyys, ilmarakovauriot ja viimeisen vuosikasvaimen pituus. Näyteoksien kokonaismäärä 105 oksaa.

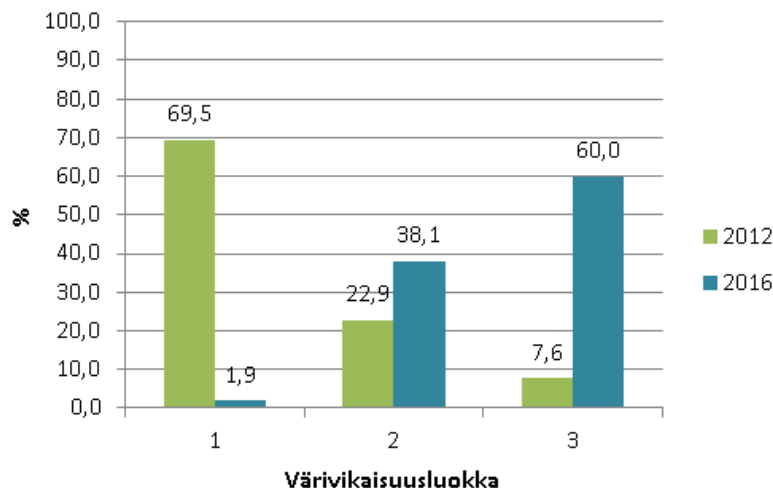
Vuosi	n=105	keskiarvo	pienin	suurin	keskihajonta
2012	Näyteoksat neulaskato, 1 vsk %	3,9	0	70	8,2
	Näyteoksat neulaskato, 2 vsk %	6,1	0	90	15,8
	Näyteoksat, keltapäisyys, 1 vsk %	28	0	90	25,6
	Näyteoksat, keltapäisyys, 2 vsk %	40,5	0	90	22,4
	Näyteoksat, ilmarakovauriot, 1 vsk %	5,7	0	70	8,9
	Näyteoksat, ilmarakovaurioita, 2 vsk %	12,9	0	70	7,7
	Näyteoksat, viim. vuosikasvaimen pituus cm	6,7	4	9	1,32
2016	Näyteoksat neulaskato, 1 vsk %	11	0	80	13
	Näyteoksat neulaskato, 2 vsk %	23	0	80	15
	Näyteoksat, keltapäisyys, 1 vsk %	11	0	50	2,4
	Näyteoksat, keltapäisyys, 2 vsk %	11	0	40	7,3
	Näyteoksat, ilmarakovauriot, 1 vsk %	1,6	0	20	1,6
	Näyteoksat, ilmarakovaurioita, 2 vsk %	12	0	50	7,4
	Näyteoksat, viim. vuosikasvaimen pituus cm	4,7	0	7	0,6



Kuva 3-1. Tutkimusmäntyjien jakaantuminen eri harsuuntumislukkiin vuosina 2012 ja 2016. N=105.



Kuva 3-2. Tutkimusmäntyjien jakaantuminen eri neulasvuosikertaluokkiin vuosina 2012 ja 2016. N=105.



Kuva 3-3. Tutkimusmänttyjen jakaantuminen värvikaisuusluokkiin vuosina 2012 ja 2016 (luokka 1; 1–5 % neulasista värvikaisia, luokka 2; 6–10 % neulasista värvikaisia ja luokka 3; yli 10 % neulasista värvikaisia). N=105.

3.2 Neulasten alkuainepitoisuudet vuosina 2012 ja 2016

Neulasnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta on esitetty oheisissa taulukoissa (Taulukko 4 ja Taulukko 5). Neulasten rikki-, typpi-, kupari-, nikkeli-, sinkki- ja kobolttipitoisuuksien osalta on esitetty myös teemakartat.

Vuonna 2012

Neulasnäytteiden keskimääräinen typpipitoisuus oli 13,2 g/kg (vaihteluväli 11-18 g/kg, Taulukko 4). Alhaisimmat typpipitoisuudet (11 g/kg) mitattiin kaivospiirin keskiosalta (Havu 6; Kuva 3-4), Mustalammen lounaispuolelta (Havu 9) ja Sirviönlehdontien varresta (Havu 13). Pääosin kaivosalueen ja sen laajennoksen neulasnäytteiden typpipitoisuudet asettuivat tasolle 11-14 g/kg, yli 14 g/kg pitoisuuksia mitattiin Losonvaaran läheisyydestä aloilta Havu 19, -20 ja -21.

Neulasnäytteiden keskimääräinen rikkipitoisuus oli 903,3 mg/kg (vaihteluväli 760-1 200 mg/kg). Suurin rikkipitoisuus (1 200 mg/kg) mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydessä sijaitsevalta näytealalta Havu 8 (Kuva 3-4). Pienimmät rikkipitoisuudet mitattiin Losonvaaran Natura-alueella ja sen läheisyydessä sijainneilta näytealoilta Havu 20 ja -21.

Kuparipitoisuus oli keskimäärin 2,8 mg/kg (vaihteluväli 2,3-4,4 mg/kg). Suurin kuparipitoisuus mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydessä näytealalta Havu 8 (4,4 mg/kg, Kuva 3-5). 3,4-3,6 mg/kg pitoisuudet mitattiin Mustalammen Havu 6 ja Hakosen Havu 4 läheisyydestä. Pienimmät kuparipitoisuudet (2,3-2,5 mg/kg) mitattiin Losonvaaran havu 19 - 21, Talvivaaran ja Korsunrinteen (Havu 10, Havu 11 ja Havu 12) ympäristössä kaivospiirin kaakkois- ja luoteispuolella.

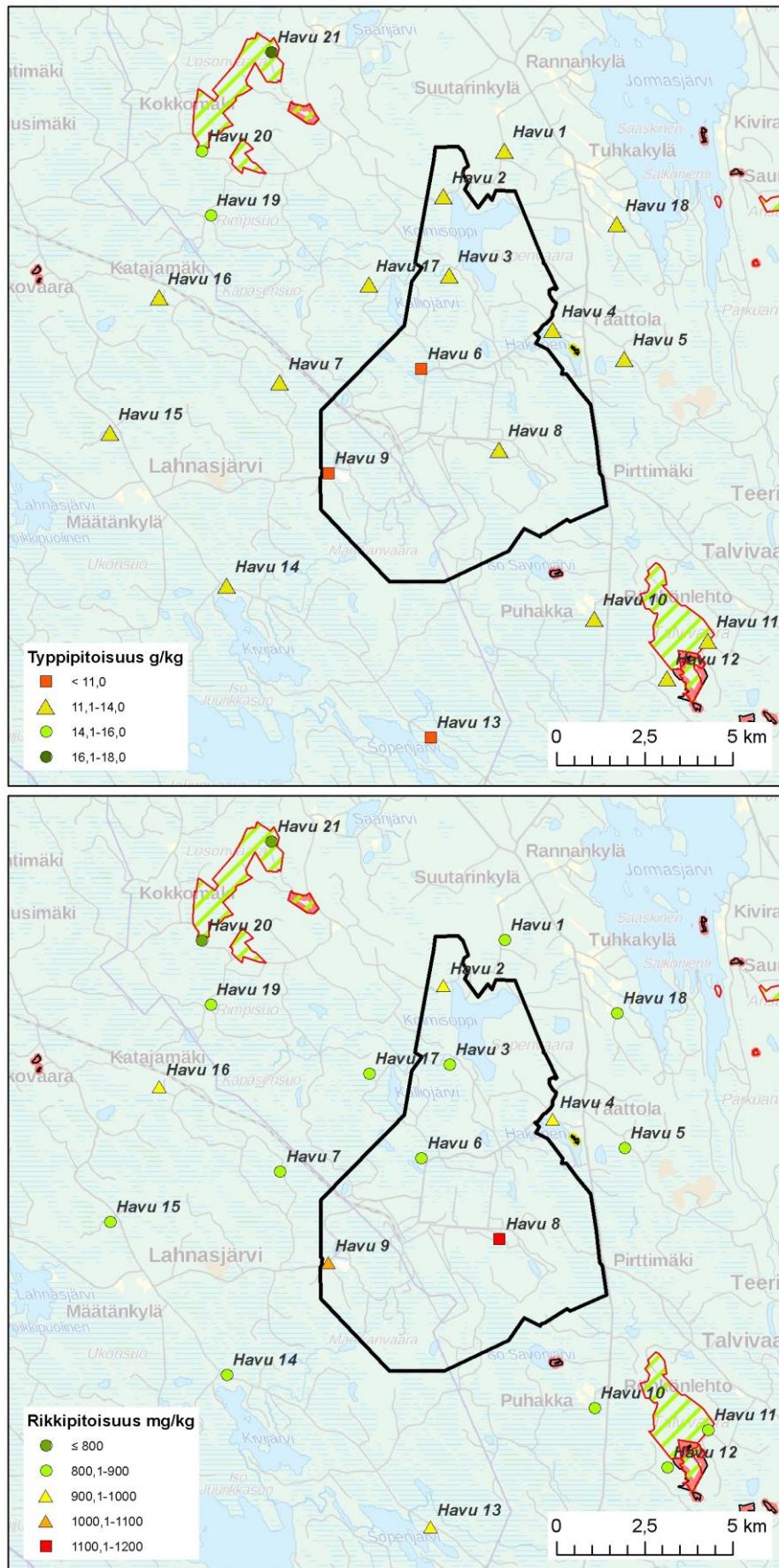
Keskimääräinen nikkelpitoisuus oli 1,1 mg/kg (vaihteluväli 0,2-4,4 mg/kg). Suurimmat nikkelpitoisuudet mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä Havu 8 (4,4 mg/kg, Kuva 3-5) ja Hakosen pohjoispuolelta (3,6 mg/kg, Havu 4). Ympäristöstään kohonneita nikkelpitoisuuksia mitattiin myös Mustalammen läheisyydestä (2,2 mg/kg, Havu 9), kaivospiirin keskiosasta (1,7 mg/kg, Havu 6), sekä Naurismäestä (1,9 mg/kg, Havu 5). Pienimmät nikkelpitoisuudet mitattiin Natura-alueiden läheisyydestä, sekä kaivospiiristä kaakkoon ja luoteeseen.

Sinkkipitoisuuden keskiarvo oli 46,1 mg/kg (vaihteluväli 34-65 mg/kg). Suurimmat sinkkipitoisuudet mitattiin Losonvaaran Havu 21 (Kuva 3-6) ja Korsunrinteen Natura-alueilta Havu 11, sekä voimajohdon länsipuolella sijainneelta näytealalta Havu 7 (61-65 mg/kg).

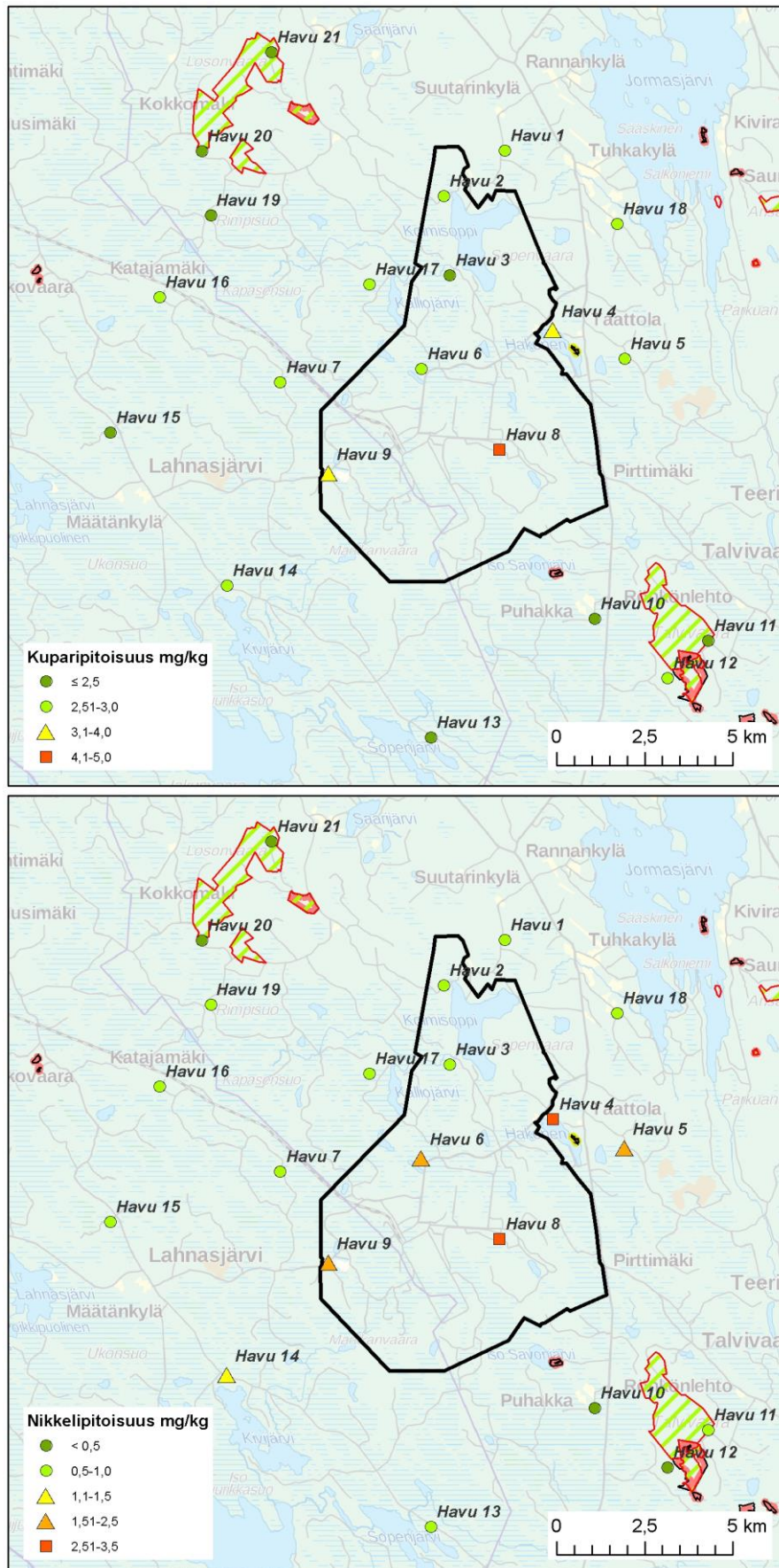
Kobolttipitoisuuden keskiarvo oli 0,2 mg/kg (vaihteluväli <0,1-0,5 mg/kg). Suurimmat pitoisuudet mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä (Havu 8, Kuva 3-6), sekä Kolmisopen eteläpuolelta (Havu 3) ja Hakosen pohjoispuolelta (0,27-0,52 mg/kg, Havu 4).

Taulukko 4. Neulasnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta vuonna 2012, n=21

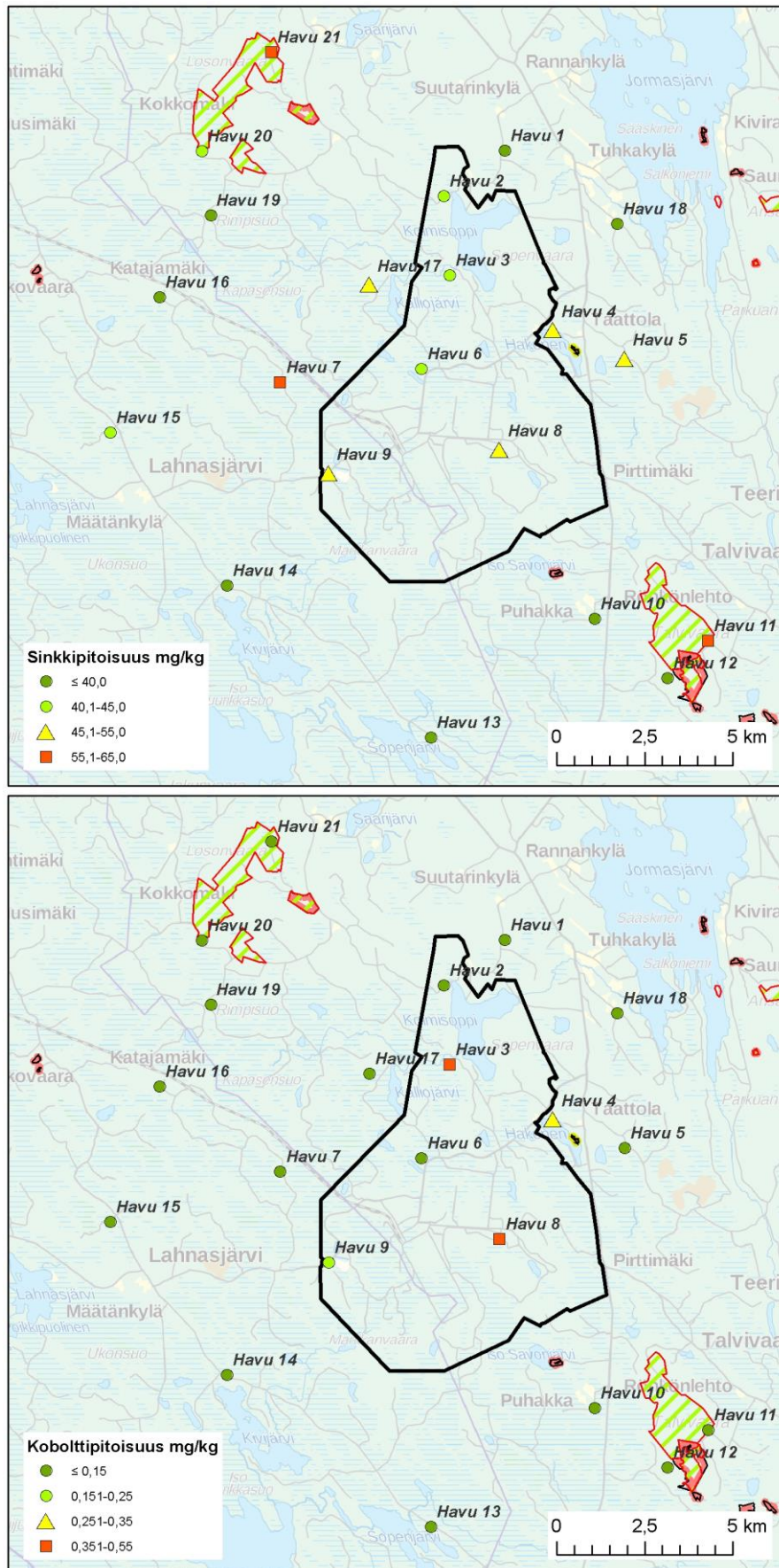
	N	Al	As	B	Hg	P	Cd
	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	13,2	265,3	0,1	8,4	0,021	1307,1	0,1
pienin	11	32	<0,05	<5	0,012	950	<0,05
suurin	18	420	0,1	13,0	0,03	1400	0,2
hajonta	1,7	107,1	0,0	2,7	0,005	107,6	0,0
	K	Ca	Co	Cr	Cu	Pb	Mg
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	4861,9	3619,0	0,2	0,2	2,8	0,2	893,3
pienin	4100	2000	<0,1	<0,1	2,3	0,07	690
suurin	5700	5900	0,5	0,6	4,4	0,7	1200
hajonta	417,7	945,3	0,1	0,1	0,5	0,2	140,2
	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	665,2	35,2	1,1	92,1	903,3	46,1	0,2
pienin	290	<30	0,2	27	760	34	<0,1
suurin	1100	140	3,3	500	1200	65	1,2
hajonta	190,8	24,0	0,9	109	100,3	9,3	0,3



Kuva 3-4. Männyn neulasten typi- ja rikkipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2012. n=21.



Kuva 3-5. Männyn neulasten kupari- ja nikkelipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2012. n=21.



Kuva 3-6. Männyn neulasten sinkki- ja kobolttipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2012. n=21.

Vuonna 2016

Neulasnäytteiden keskimääräinen typpipitoisuus oli 16,8 g/kg (vaihteluväli 14-19 g/kg, Taulukko 5). Alhaisin typpipitoisuus (14 g/kg) mitattiin Taattolan eteläpuolelta (Havu 5, Kuva 3-7). Pääosin neulasnäytteiden typpipitoisuuksista asettui tasolle 16-19 g/kg.

Neulasnäytteiden keskimääräinen rikkiipitoisuus oli 1022 mg/kg (vaihteluväli 860-1 300 mg/kg). Suurimmat rikkiipitoisuudet (1 300 mg/kg ja 1 200 mg/kg) mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydessä sijaitsevalta näytealalta (Havu 8) ja sekundääriliuotuskentän läheisyydestä näytealalta (Havu 6, Kuva 3-7). Pienimmät rikkiipitoisuudet mitattiin Losonvaaran Natura-alueella ja sen läheisyydessä sijainneilta näytealoilta (Havu 20 ja 21).

Keskimääräinen kuparipitoisuus oli 3,6 mg/kg (vaihteluväli 2,4-11,0 mg/kg). Suurin kuparipitoisuus mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydessä näytealalta (Havu 8, 11 mg/kg, Kuva 3-8), mikä oli noin puolet suurempi kuin tutkimusalueella mitatut muut pitoisuudet. Pienimmät kuparipitoisuudet mitattiin Losonvaaran (Havu 20 ja 21), Talvivaaran ja Korsunrinteen ympäristössä (Havu 10, 11 ja 12), sekä kaivospiirin länsipuolella (Havu 7, 14, 15, 16, 17 ja 19).

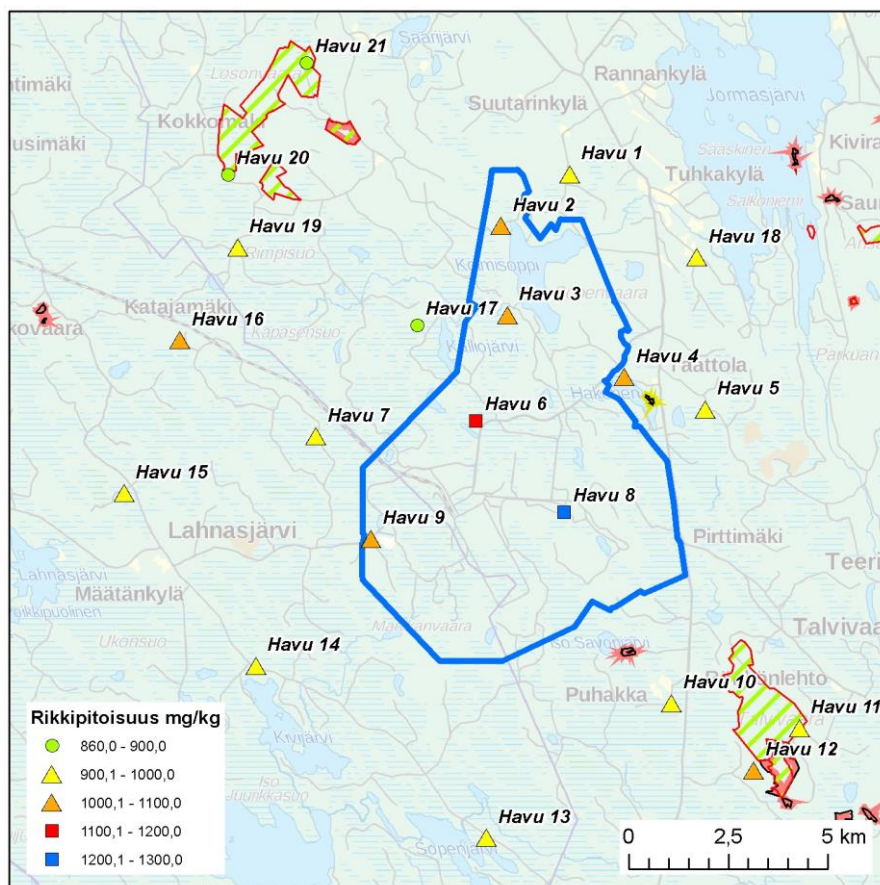
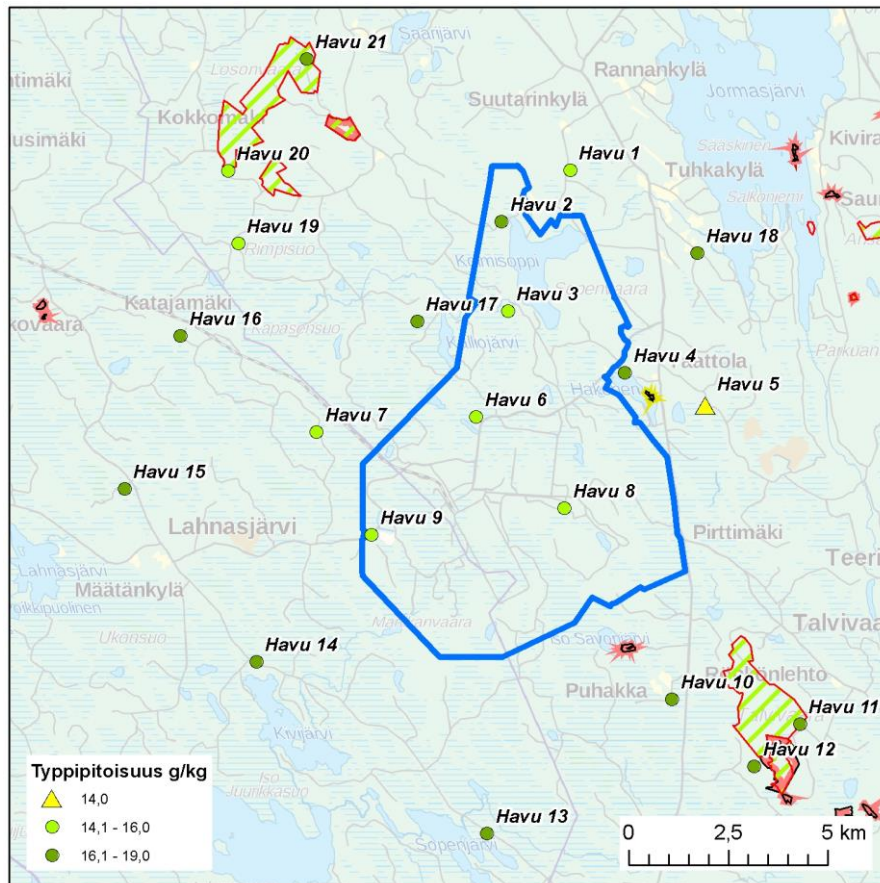
Nikkelipitoisuus oli keskimäärin 2,2 mg/kg (vaihteluväli 0,6-13,0 mg/kg). Suurin nikkelipitoisuus mitattiin useiden raskasmetallien tapaan kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä näytealalta Havu 8 (13 mg/kg; Kuva 3-8) ja sekundääriliuotuskentän läheisyydestä näytealalta Havu 6 (6 mg/kg). Ympäristöstään kohonneita nikkelipitoisuuksia mitattiin myös kaivospiirin itäpuolelta näytealoilta Havu 4 ja 5 (3,4 ja 3 mg/kg). Pitoisuudet ovat moninkertaisia verrattuna kaivospiirin länsi-, luoteis- ja kaakkoispuolelta mitattuihin pienimpiin pitoisuuksiin 0,6-1,0 mg/kg).

Sinkkipitoisuuden keskiarvo oli 51 mg/kg (vaihteluväli 30-80 mg/kg). Suurimmat sinkkipitoisuudet mitattiin Losonvaaran ja Korsunrinteen Natura-alueilta (Havu 20, 57 mg/kg) kaivospiirin keskiosassa sijaitsevalta näytealalta (Havu 6, 64 mg/kg) sekä kaivosvarikon murskaamon läheisyydessä sijaitsevalta näytealalta (Havu 8, Kuva 3-9).

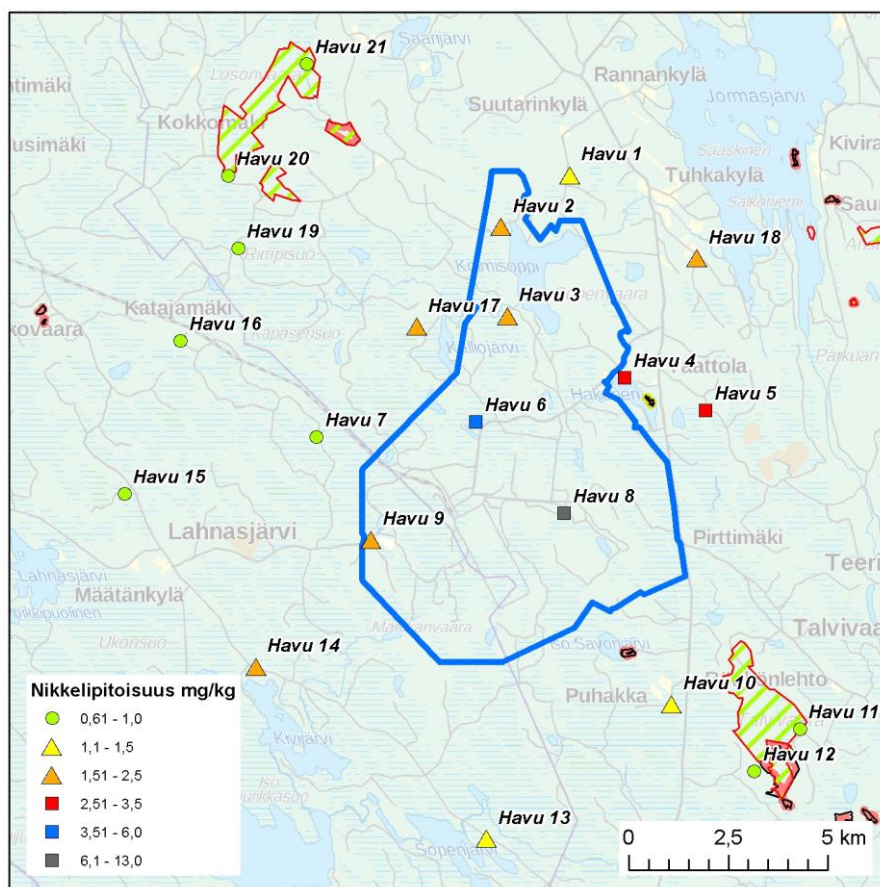
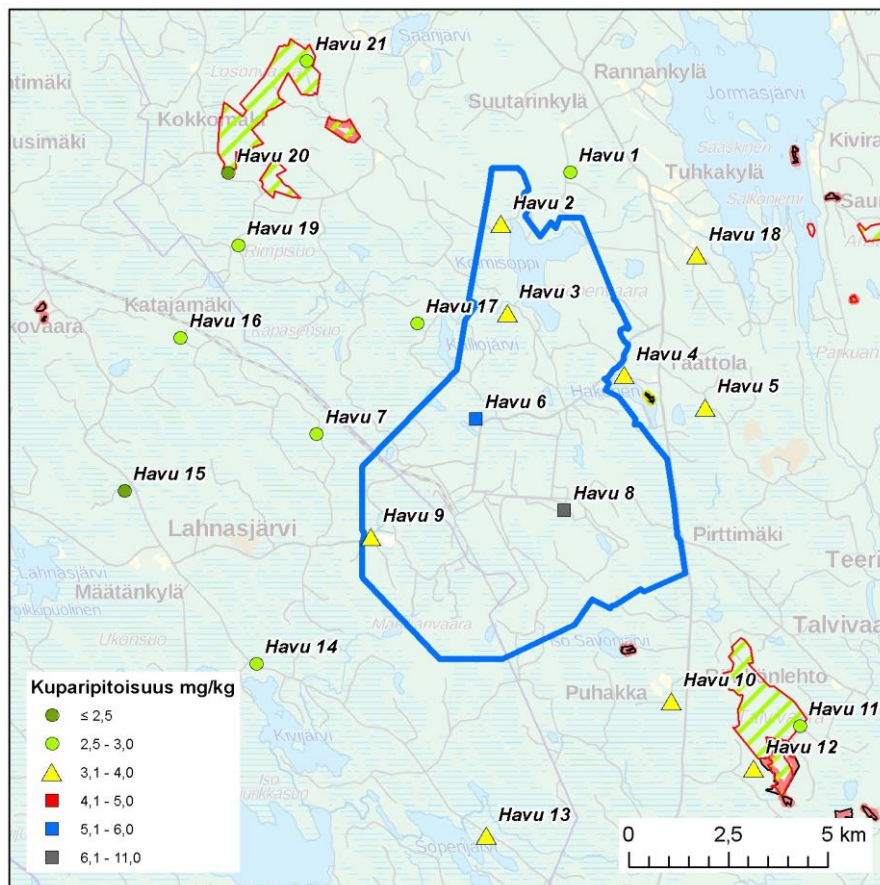
Kobolttipitoisuuden keskiarvo oli edellisen tutkimuskerran tapaan 0,2 mg/kg (vaihteluväli 0,06-0,7 mg/kg). Suurimmat pitoisuudet mitattiin kaivospiirin alueella sijainneilta näytealoilta (Havu 6 ja 8, 0,36-0,73 mg/kg, Kuva 3-9).

Taulukko 5. Neulasnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta vuonna 2016, n=21

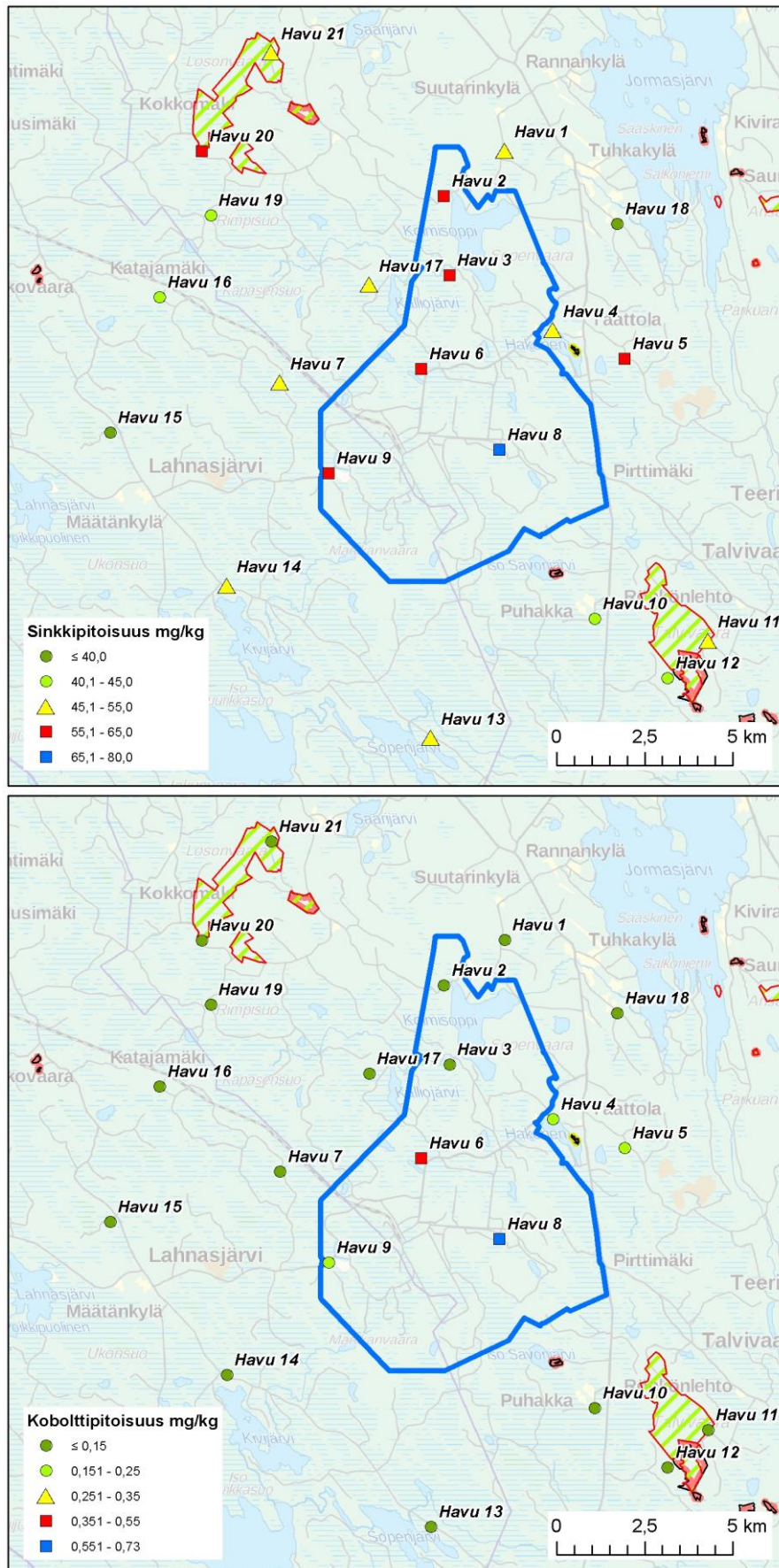
	N	Al	As	B	Hg	P	Cd
	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	16,8	287,4	0,07	6,9	0,03	1310	0,1
pienin	14	65	<0,05	<5,0	0,02	1100	0,04
suurin	19	510	0,3	12,0	0,04	1600	0,3
hajonta	1,3	112,2	0,1	2,1	0,004	113,6	0,1
	K	Ca	Co	Cr	Cu	Pb	Mg
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	4952	4000	0,2	0,8	3,6	0,2	844
pienin	4100	2300	0,06	0,22	2,4	0,09	510
suurin	5900	5800	0,7	2,3	11,0	1,0	1100
hajonta	521	853	0,1	0,5	1,9	0,2	170,8
	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	656	30,8	2,2	117	1022	51	0,3
pienin	290	<30,0	0,6	41	860	30	<0,1
suurin	1000	46	13	690	1300	80	2,1
hajonta	189,5	3,5	2,8	142	109,3	10,4	0,5



Kuva 3-7. Männyn neulasten typpi- ja rikkipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2016. n=21.



Kuva 3-8. Männyn neulasten kupari- ja nikkelipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2016. n=21.



Kuva 3-9. Männyn neulasten sinkki- ja kobolttipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2016. n=21.

3.3 Sammalten alkuainepitoisuudet vuosina 2012 ja 2016

Sammalnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta on esitetty oheisissa taulukoissa (Taulukko 6 ja Taulukko 7). Sammalen rikki-, kupari-, nikkeli-, sinkki- ja kobolttipitoisuuksien osalta on esitetty myös teemakartat.

Vuonna 2012

Sammalnäytteiden keskimääräinen rikkipitoisuus oli 808 mg/kg (vaihteluväli 550-1 700 mg/kg, Taulukko 6). Suurin rikkipitoisuus (1 700 mg/kg) mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä näytealalla 8 (Kuva 3-10).

Kuparipitoisuuden keskiarvo oli 8,2 mg/kg (4,3-28 mg/kg). Suurin kuparipitoisuus mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä (Sammal 8, 28 mg/kg) ja kaivospiirin keskivaiheilta (Sammal 6, 21 mg/kg, Kuva 3-10). Pienimmät pitoisuudet mitattiin kaivospiirin luoteispuolelta (Sammal 29 ja 32).

Keskimääräinen nikkelpitoisuus oli 14,3 mg/kg (vaihteluväli 2,1-91 mg/kg). Suurimmat nikkelpitoisuudet mitattiin kaivospiirin alueelta (Sammal 6 ja 8, 17-91 mg/kg) ja Hakosen pohjoispuolelta (Sammal 4, 24 mg/kg, Kuva 3-11). Pienimmät pitoisuudet mitattiin kaivospiirin kaakkois- ja luoteispuolelta.

Sinkkipitoisuuden keskiarvo oli 64,6 mg/kg (vaihteluväli 26-270 mg/kg). Suurimmat sinkkipitoisuudet mitattiin kaivospiirin alueelta kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä (Sammal 8, 270 mg/g), kaivospiirin keskivaiheilta (Sammal 6, 210 mg/kg), sekä Kolmisopen, Mustalammen ja Hakosen läheisyydestä (70-97 mg/kg, Kuva 3-11).

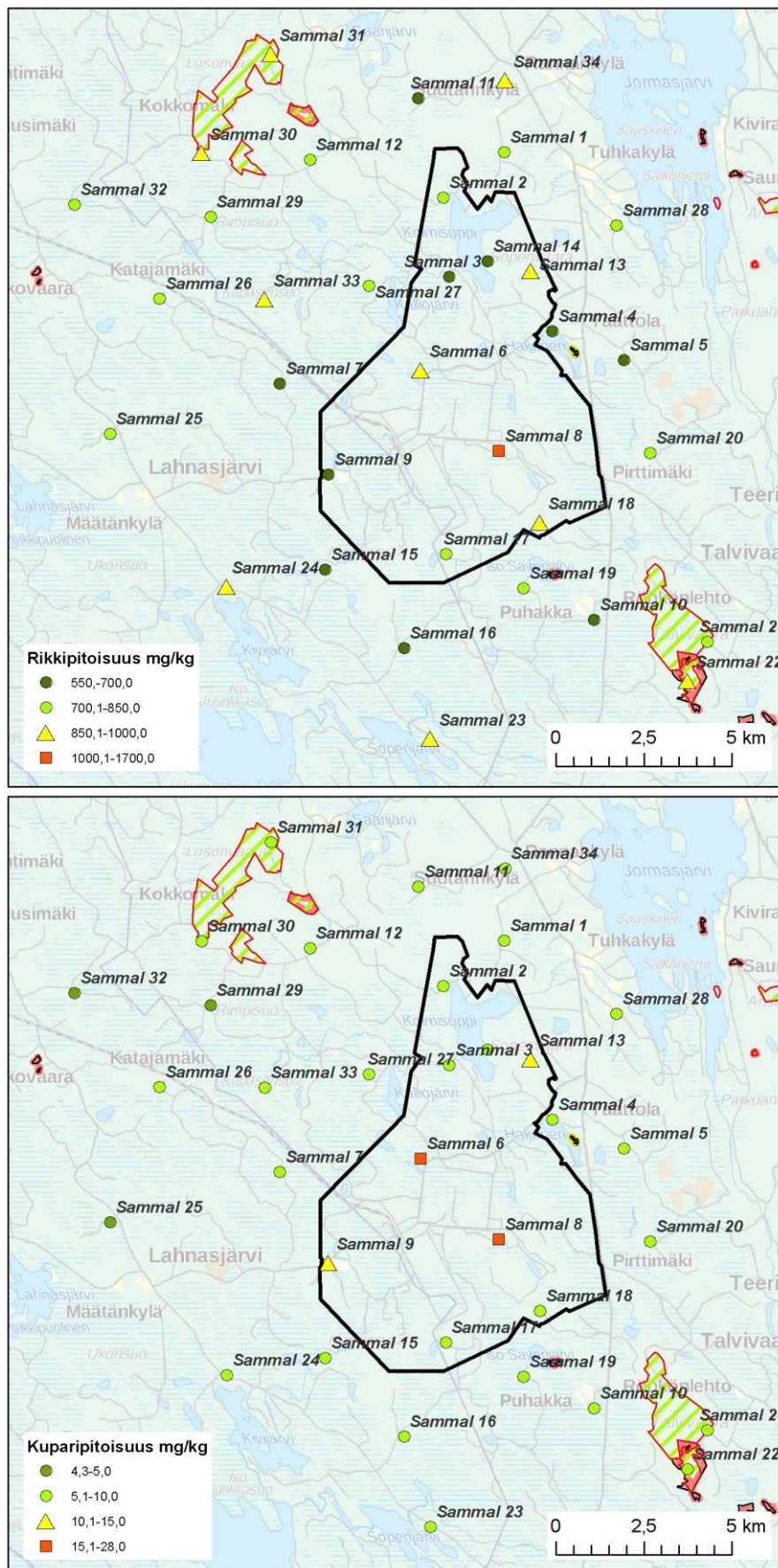
Kobolttipitoisuuden keskiarvo oli 0,7 mg/kg (0,1-4 mg/kg). Suurimmat pitoisuudet mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä (Sammal 8), Mustalammen lounaispuolelta (Sammal 9) sekä kaivospiirin keskivaiheilta (Sammal 6). Pienimmät kobolttipitoisuudet mitattiin kaivospiirin luoteis- ja kaakkoispuolelta.

Taulukko 6. Sammalnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta vuonna 2012, n=34.

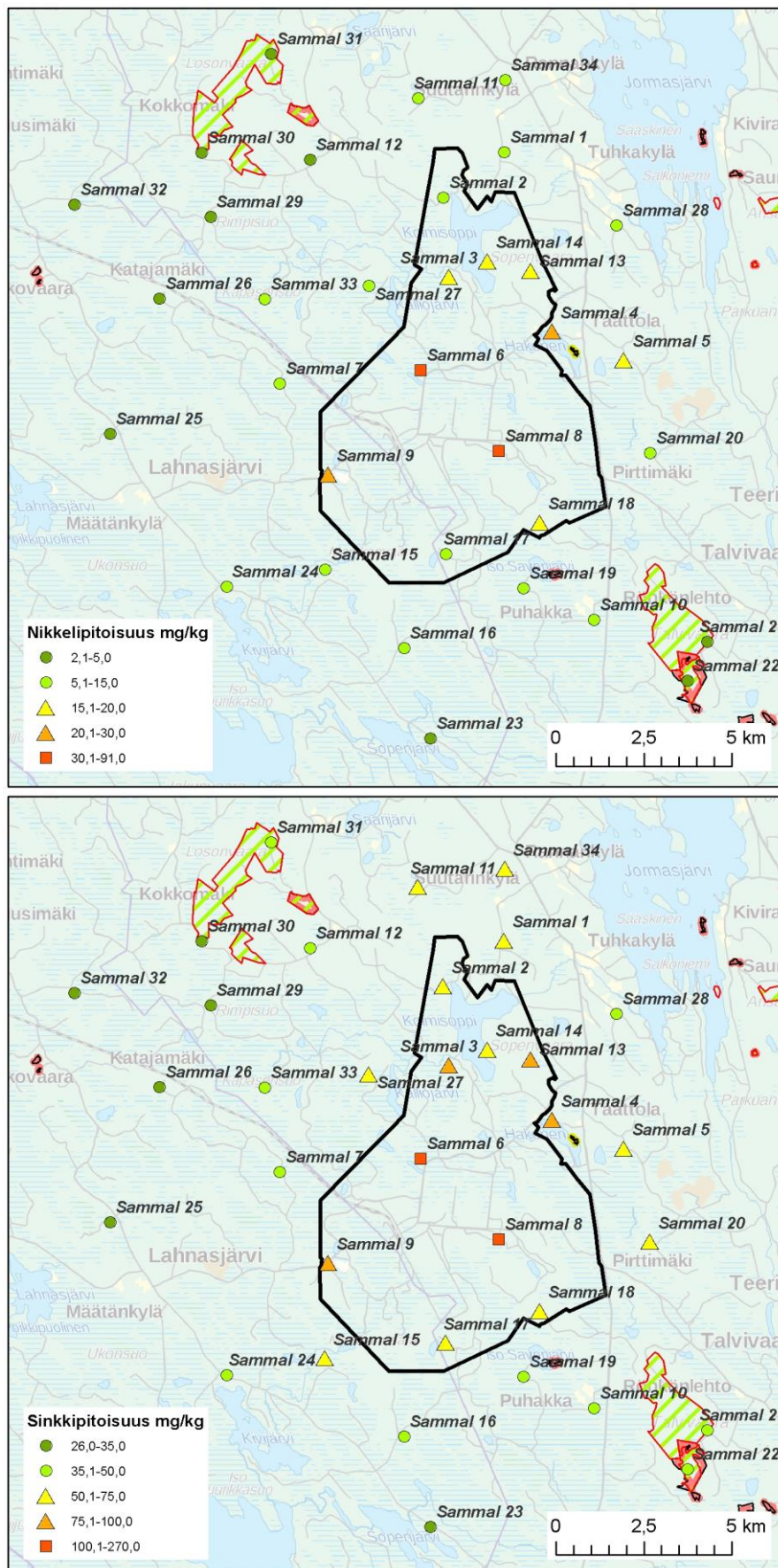
	N	Al	As	B	Hg	P	Cd
	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	8,5	188	0,1	<5	0,02	1419	0,3
pienin	6,1	36	<0,05	<5	<0,01	950	0,11
suurin	14	1800	0,42	<5	0,046	2700	1,3
keskihajonta	1,7	312	0,08	0	0,010	353	0,2

	K	Ca	Co	Cr	Cu	Pb	Mg
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	7365	2374	0,7	1,7	8,2	1,1	1137
pienin	5500	1500	0,1	0,1	4,3	0,7	830
suurin	13000	7900	4	13	28	2,5	2000
keskihajonta	1655	1048	0,8	2,2	4,6	0,4	228

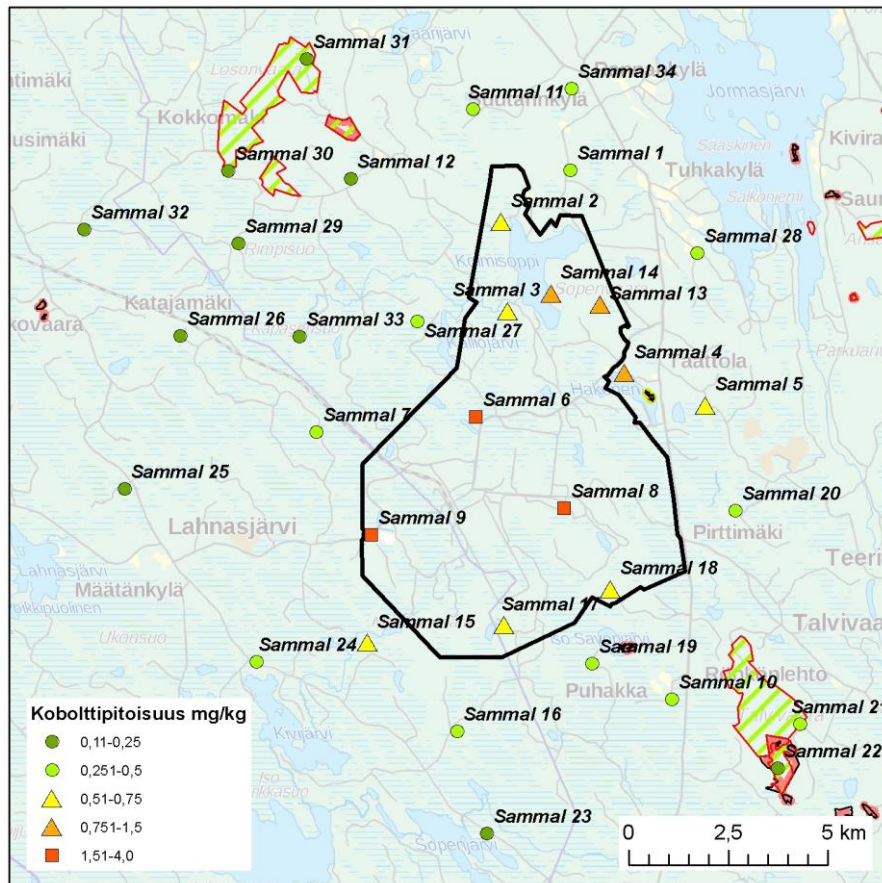
	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	442	301	14,3	322	808	65	1,1
pienin	210	180	2,1	61	550	26	0,3
suurin	680	400	91	2700	1700	270	6,5
keskihajonta	117	68	18,6	499	207	48,6	1,3



Kuva 3-10. Sammalen rikki- ja kuparipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2012. n=34.



Kuva 3-11. Sammalen nikkeli- ja sinkkipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2012. n=34.



Kuva 3-12. Sammalen kobolttipitoisuus TerraFamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2012. n=34.

Vuonna 2016

Sammalnäytteiden keskimääräinen rikkipitoisuus oli 985 mg/kg (vaihteluväli 640-3 400 mg/kg Taulukko 7). Suurin rikkipitoisuus (3 400 mg/kg) mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä näytealalta 8 (Kuva 3-13). Muut suurimmat pitoisuudet mitattiin sekundääriliuotuskentän läheisyydestä näytealalla 6 (1 600 mg/kg), näytealalla 9 (1 100 mg/kg), näytealalla 13 (1 100 mg/kg) ja kaivospiirin itäpuolella näytealoilla 4 ja 5 (1 200 ja 1 100 mg/kg). Pienimmät pitoisuudet olivat kaivospiirin luoteispuolella näytealoilla 32 ja 33 (640 ja 670 mg/kg).

Kuparipitoisuuden keskiarvo oli 9,8 mg/kg (3,7-80 mg/kg). Suurimmat kuparipitoisuudet mitattiin kaivospiirin alueella näytealoilla 6 ja 8 (18 ja 80 mg/kg, Kuva 3-13). Muilta osin pitoisuudet olivat alle 15 mg/kg ja pienimmillään kaivospiirin luoteispuolella (3,7-4,7 mg/kg).

Keskimääräinen nikkelpitoisuus oli 12,2 mg/kg (vaihteluväli 1,8-150 mg/kg). Suurimmat nikkelpitoisuudet mitattiin kaivospiirin alueelta näytealalta 8 (150 mg/kg) ja näytealalta 6 (39 mg/kg, Kuva 3-14). Sammalen kolmanneksi suurin nikkelpitoisuus (22 mg/kg) mitattiin näytealalta 4 Hakosen läheisyydestä. Muilla näytepisteillä mitatut pitoisuudet olivat 1,8-15,0 mg/kg luokkaa.

Sinkkipitoisuuden keskiarvo oli 59,2 mg/kg (vaihteluväli 29-380 mg/kg). Kaivoksen välittömässä läheisyydessä sijainneilla näytepisteillä 6 ja 8 mitattiin suurimmat pitoisuudet (120 ja 380 mg/kg, Kuva 3-14). Kaivospiirin alueella ja sen läheisyydessä sinkkipitoisuudet olivat 50,1-100 mg/kg luokkaa. Muualla selvitysalueella pitoisuudet asettuivat 29-50 mg/kg tasolle.

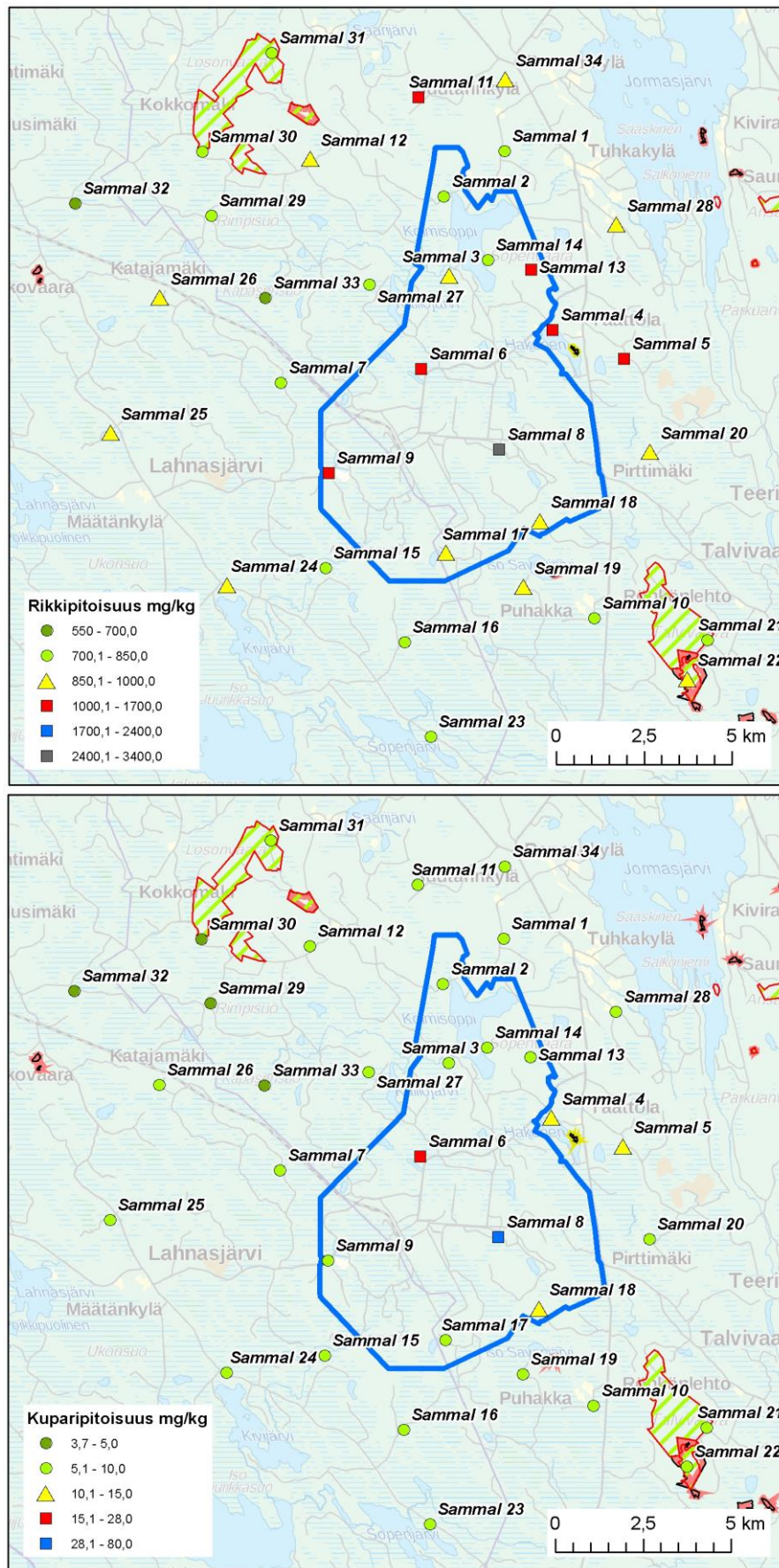
Kobolttipitoisuuden keskiarvo oli 0,6 mg/kg (0,1-6,6 mg/kg). Suurimmat kobolttipitoisuudet mitattiin useiden muiden raskasmetallien tavoin näytealoilla 6 ja 8 (1,8 ja 6,6 mg/kg, Kuva 3-15). Kaivospiirin alueella ja sen itäpuolella mitattiin 0,51-1,5 mg/kg pitoisuuksia. Pienimmät pitoisuudet (0,13-0,5 mg/kg) mitattiin kaivospiirin luoteis- ja kaakkoispuolelta.

Taulukko 7. Sammalnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta vuonna 2016, n=34.

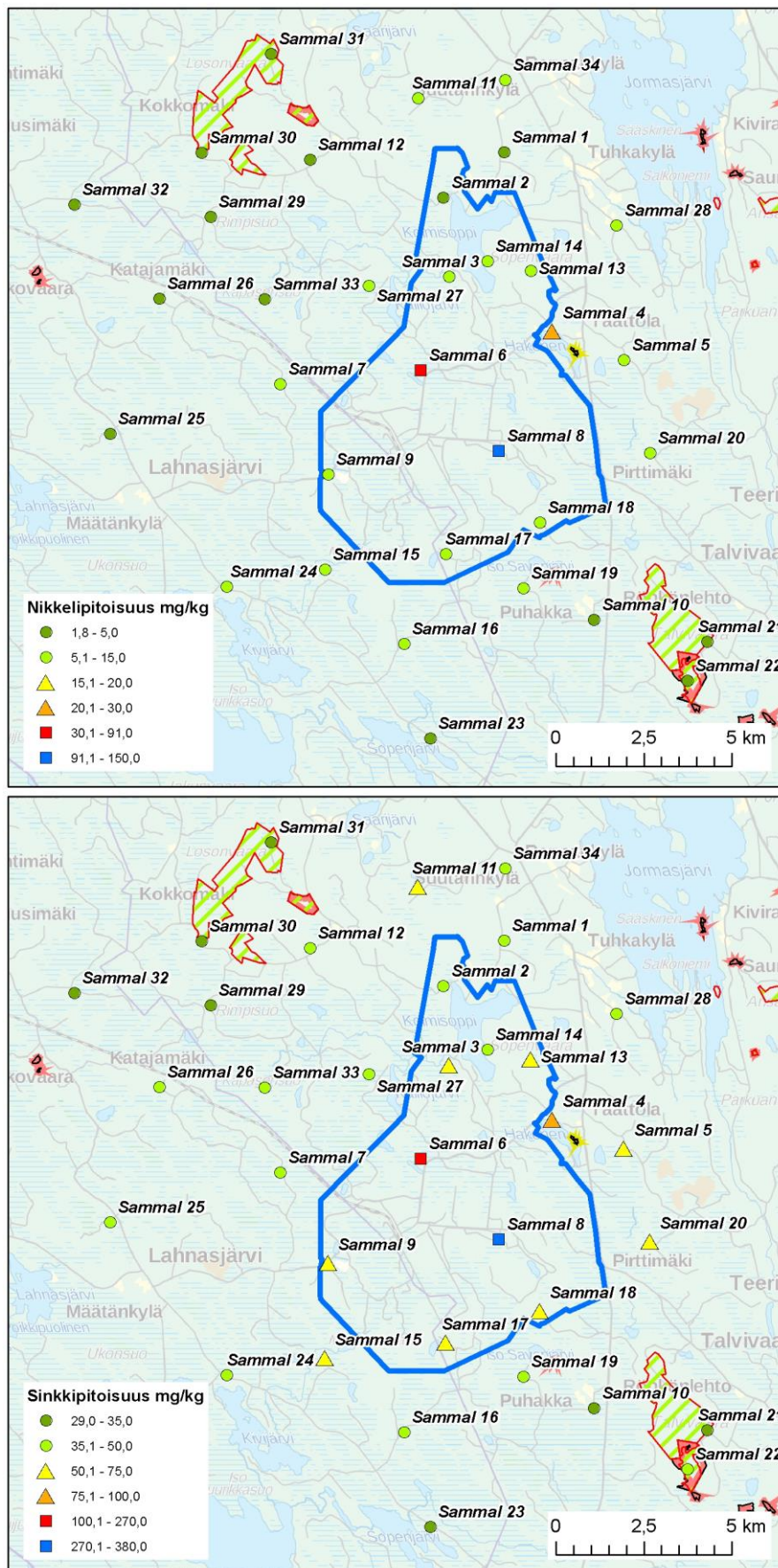
	N	Al	As	B	Hg	P	Cd
	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	8,2	255	0,2	5	0,01	1379	0,2
pienin	6	77	<0,05	<5,0	<0,01	710	0,08
suurin	14	1900	1,7	<5,0	0,042	2500	1,7
keskihajonta	1,7	315	0,3	0	0,008	429	0,3

	K	Ca	Co	Cr	Cu	Pb	Mg
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	7829	2826	0,6	2,0	9,8	1,0	1216
pienin	4900	2000	0,1	0,58	3,7	0,4	790
suurin	12000	4900	6,6	10	80	2,5	2500
keskihajonta	1613	625	1,1	1,6	12,8	0,4	306

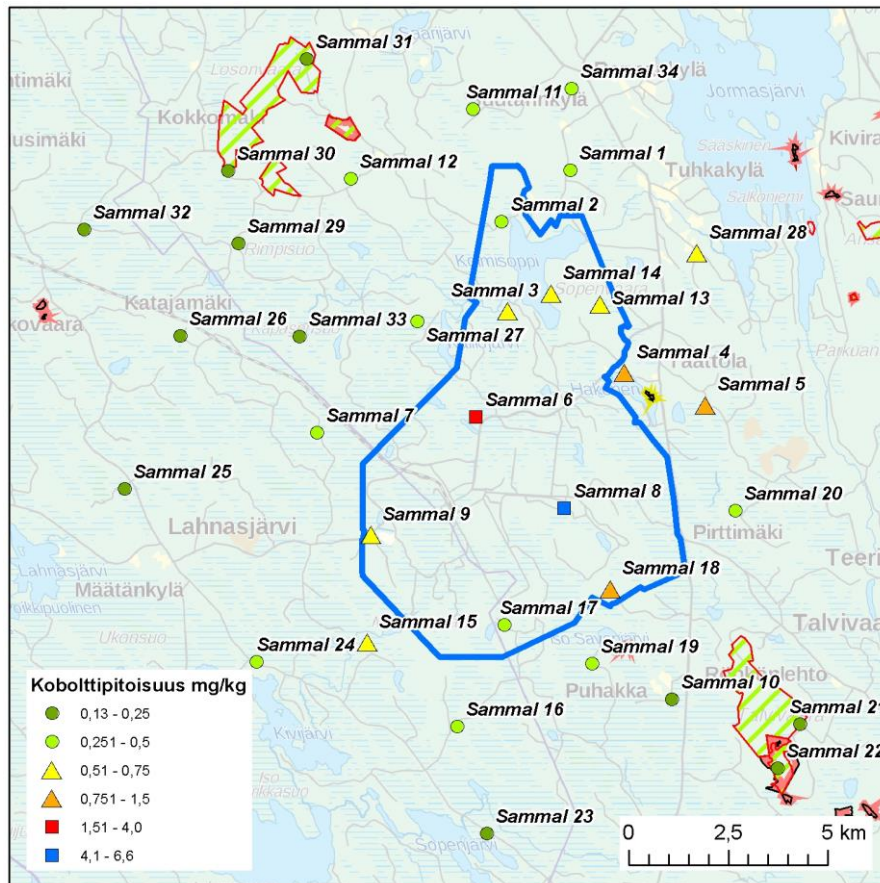
	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	453	121	12,2	504	985	59	1,9
pienin	190	66	1,8	110	640	29	0,4
suurin	710	300	150	4600	3400	380	17
keskihajonta	121	53,1	25,4	774	464	59,6	2,9



Kuva 3-13. Sammalen rikki- ja kuparipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2016. n=34.



Kuva 3-14. Sammalen nikkeli- ja sinkkipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2016. n=34.



Kuva 3-15. Sammalen kobolttipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2016. n=34.

3.4 Humuksen alkuainepitoisuudet vuosina 2012 ja 2016

Humusnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihaajonta on esitetty oheisissa taulukoissa (Taulukko 8 ja Taulukko 9). Humuksen rikki-, kupari-, nikkel-, sinkki- ja kobolttipitoisuuksien osalta on esitetty myös teemakartat.

Vuonna 2012

Humuksen keskimääräinen rikkipitoisuus oli 1315 mg/kg (vaihteluväli 390-2800 mg/kg). Suurin rikkipitoisuus 2 800 mg/kg mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä alalta Humus 8 (Kuva 3-16).

Humusnäytteiden keskimääräinen kuparipitoisuus oli 14,6 mg/kg (vaihteluväli 2,8-140 mg/kg). Suurin kuparipitoisuus mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä alalta Humus 8 (140 mg/kg, Kuva 3-16). Pienimmät kuparipitoisuudet mitattiin Kolmisopen ympäristössä (mg/kg).

Nikkelipitoisuuden keskiarvo oli 23,9 mg/kg (vaihteluväli 2,2-220 mg/kg). Suurin nikkelipitoisuus mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä (Humus 8, Kuva 3-17) sekä kaivospiirin eteläosasta. Pienimmät pitoisuudet mitattiin kaivospiirin etelä- ja pohjoisosasta sekä niiden ympäristöstä.

Keskimääräinen sinkkipitoisuus oli 77,9 mg/kg (vaihteluväli 23-600 mg/kg). Suurin sinkkipitoisuus mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydessä (Humus 8, 600 mg/kg, Kuva 3-17). Kaivospiirin alueella mitattiin 70-140 mg/kg pitoisuuksia.

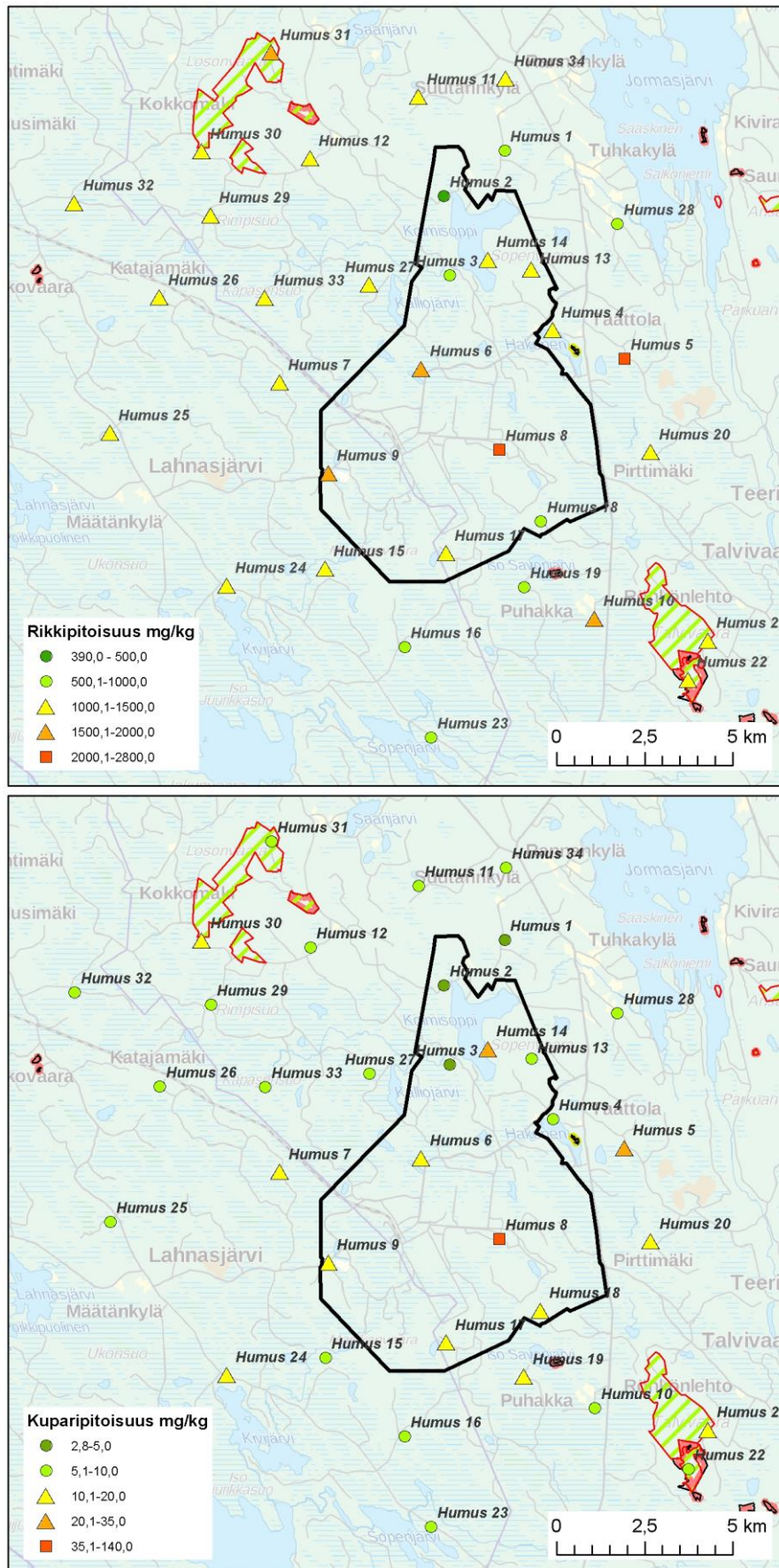
Kobolttipitoisuuden keskiarvo oli 1,7 mg/kg (vaihteluväli 0,4-15 mg/kg). Suurin pitoisuus mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä (Humus 8, 15 mg/kg, Kuva 3-18).

Taulukko 8. Humusnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta vuonna 2012, n=34.

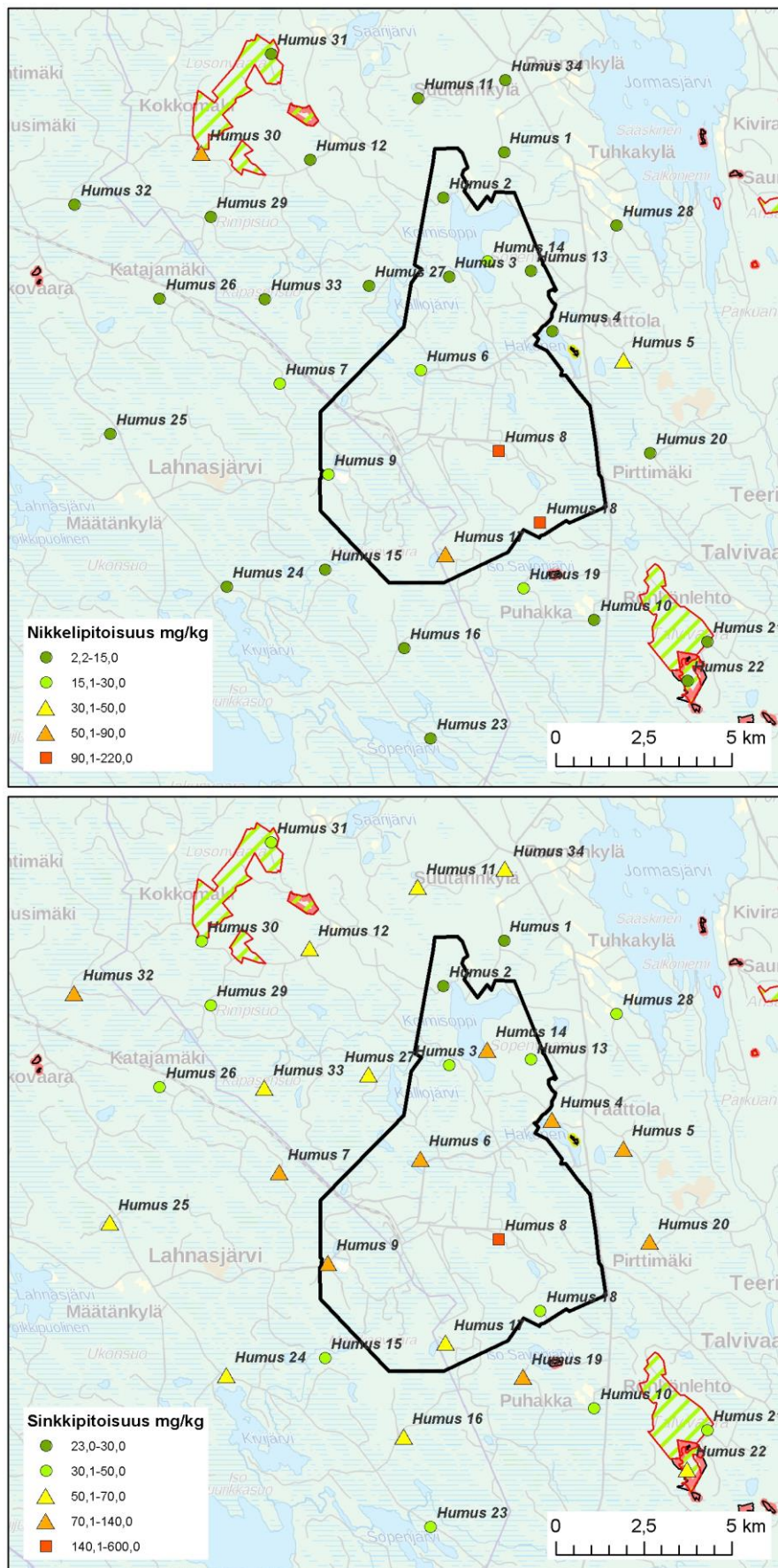
	N	Al	As	B	Hg	P	Cd
	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	13,5	2042,9	2,8	5	0,3	771,8	0,6
pienin	7,6	610	0,5	<5	0,1	310	0,2
suurin	45	5500	35	<5	0,8	1400	3
keskihajonta	5,9	1279,3	6,1	0	0,1	243,8	0,5

	K	Ca	Co	Cr	Cu	Pb	Mg
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	964,7	3057,4	1,7	19,6	14,6	35,1	671,8
pienin	320	850	0,4	1,3	2,8	9	160
suurin	2100	5700	15	160	140	65	2400
keskihajonta	415,7	1209,8	2,5	32,1	23,0	14,7	449,0

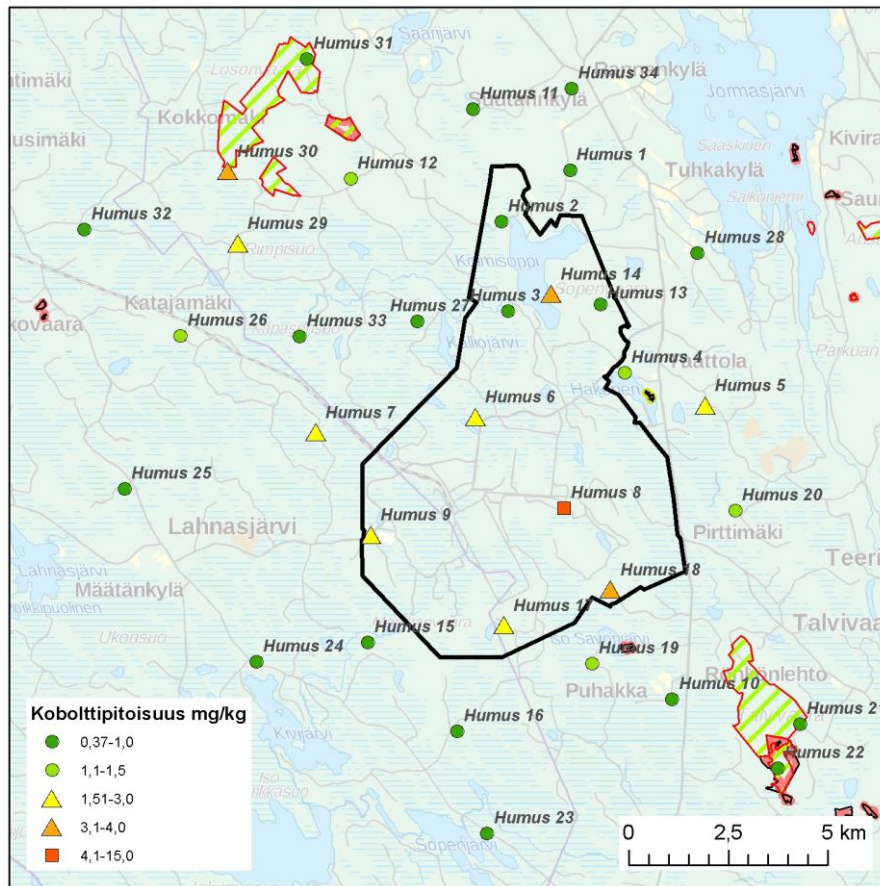
	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	285,0	54,7	23,9	3451,5	1315,3	77,9	9,3
pienin	54	<30	2,2	610	390	23	1,4
suurin	1000	130	220	19000	2800	600	69
keskihajonta	220,2	28,6	40,6	3865,6	489,8	97,1	12,0



Kuva 3-16. Humuksen rikki- ja kuparipitoisuus TerraFamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2012. n=34.



Kuva 3-17. Humuksen nikkeli- ja sinkkipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2012. n=34.



Kuva 3-18. Humuksen kobolttipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2012. n=34.

Vuonna 2016

Humuksen keskimääräinen rikkipitoisuus oli 1 157 mg/kg (vaihteluväli 270-5 200 mg/kg). Suurin rikkipitoisuus mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydessä sijainneelta näytealalta 8 (5 200 mg/kg, Kuva 3-19). Kaivospiirin alueella rikkipitoisuudet asettuivat tasolle 1 000-1 500 mg/kg, pohjoisosassa mitattiin hieman alhaisempia pitoisuuksia (830 ja 1 100 mg/kg). Kaivospiirin ympäristössä humuksen rikkipitoisuudet vaihtelivat paikkakohtaisesti 270-2 000 mg/kg välillä.

Humusnäytteiden keskimääräinen kuparipitoisuus oli 26,4 mg/kg (vaihteluväli 4,2-460 mg/kg). Suurin kuparipitoisuus mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydestä (Humus 8, 460 mg/kg, Kuva 3-19). Pitoisuudet vaihtelivat muualla kaivospiirin alueella ja sen ympäristössä 5,1 ja 140 mg/kg välillä. Pienin pitoisuus (4,2 mg/kg) mitattiin kaivospiirin länsipuolelta Katajämäestä.

Nikkelipitoisuuden keskiarvo oli 25 mg/kg (vaihteluväli 4,9-200 mg/kg). Suurin nikkelipitoisuus mitattiin näytealalla 8 (200 mg/kg, Kuva 3-20). Pienimmät humuksen nikkelipitoisuudet mitattiin kaivospiirin, länsi-, luoteis-, etelä- ja kaakkoispuolella (4,9-15 mg/kg). Kaivospiirin alueella ja sen lähiympäristössä pitoisuudet olivat 14- 46 mg/kg luokkaa.

Keskimääräinen humuksen sinkkipitoisuus oli 84,4 mg/kg (vaihteluväli 35-440 mg/kg). Suurin pitoisuus mitattiin kaivosvarikon murskaamon läheisyydessä (400 mg/kg, Kuva 3-20) näytealalla 8, muut suurimmat kaivoksen lähiympäristössä mitatut pitoisuudet olivat 150-180 mg/kg luokkaa. Sinkkipitoisuudet vaihtelivat kaivospiirin alueella ja sen ympäristössä paikkakohtaisesti.

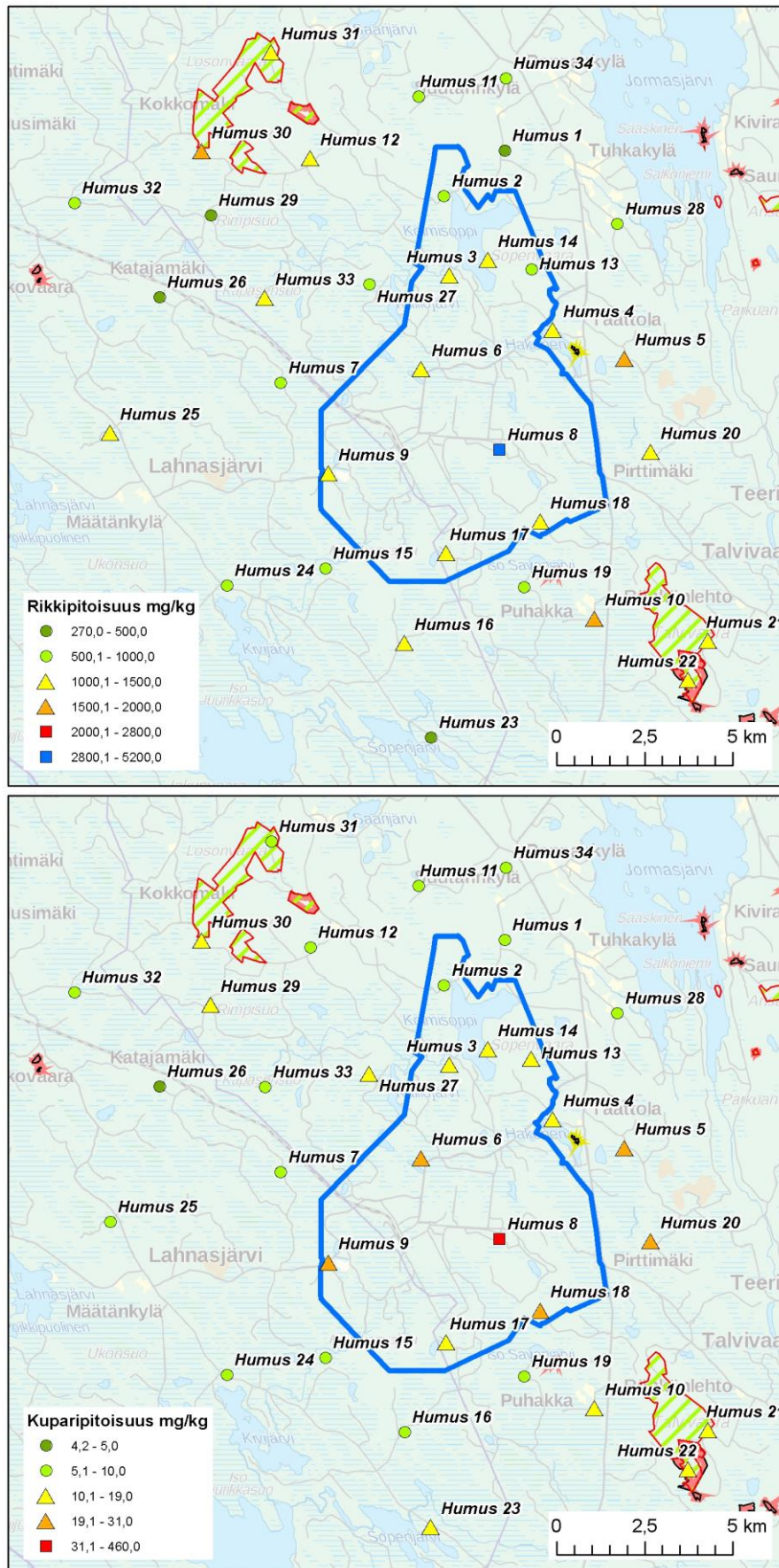
Kobolttipitoisuuden keskiarvo oli 1,7 mg/kg (vaihteluväli 35-440 mg/kg). Suurimmat pitoisuudet mitattiin näytealoilla 8 ja 9 (4,4 ja 15 mg/kg, Kuva 3-21). Luokan 1,5 mg/kg pitoisuuksia mitattiin vaihtelevasti kaivospiirin alueella ja sen ympäristössä, sekä Losonvaaralla. Vastaavasti pienimpiä pitoisuuksia mitattiin Losonvaaralla ja Talvivaaralla, sekä kaivospiirin länsipuolella (0,5-1 mg/kg).

Taulukko 9. Humusnäytteiden alkuainepitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot sekä keskihajonta vuonna 2016, n=34.

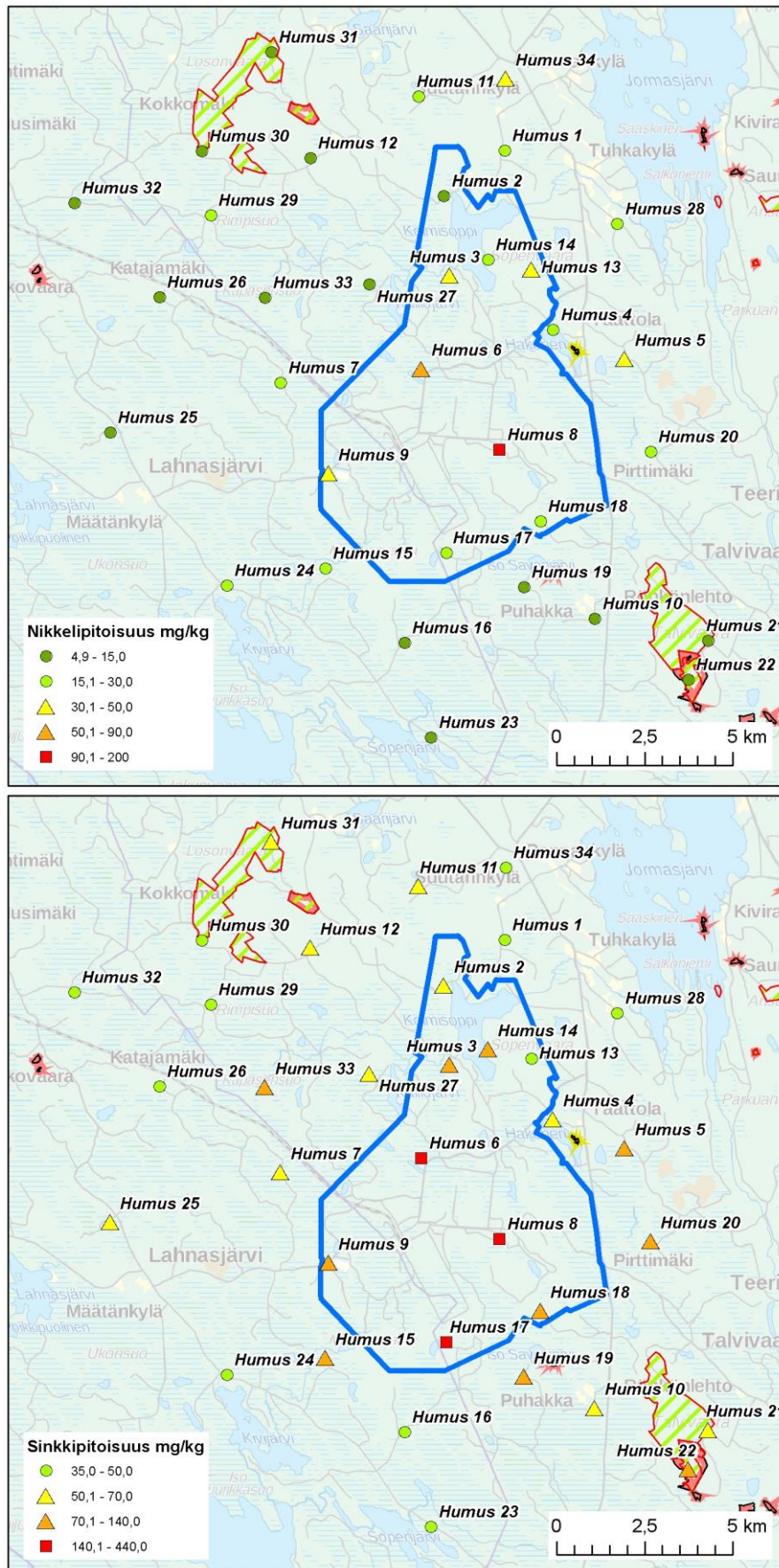
	N	Al	As	B	Hg	P	Cd
	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	12,3	2589	2,0	5,0	0,2	810	0,5
pienin	5,9	390	0,5	<5,0	<0,05	480	0,1
suurin	22	8900	16	<5,0	0,5	1500	2,1
keskihajonta	4,0	1752	2,9	0,00	0,1	247	0,3

	K	Ca	Co	Cr	Cu	Pb	Mg
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	868	2609	1,9	23,5	26,4	21,9	876
pienin	360	1300	0,5	2,6	4,2	8,3	370
suurin	3900	5500	15	86	460	42	6200
keskihajonta	616	988	2,4	18,0	76,9	7,5	1032

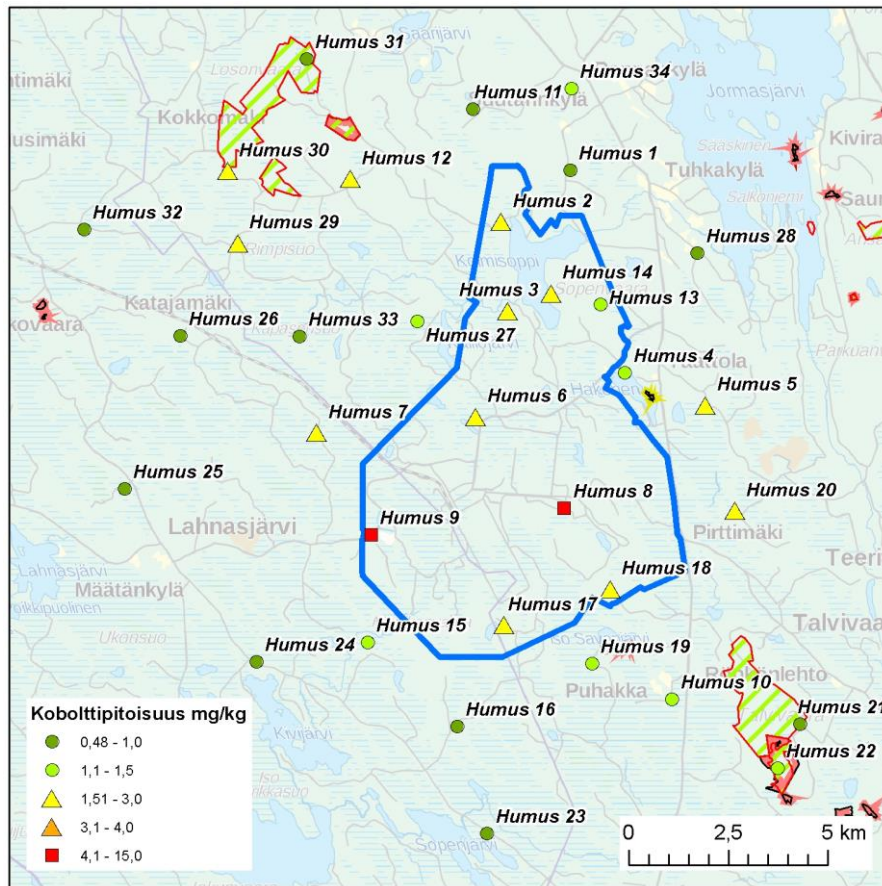
	Mn	Na	Ni	Fe	S	Zn	V
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
keskiarvo	344	55,2	25	4837	1157	84,4	14,7
pienin	56	<30	4,9	550	270	35	2,4
suurin	2000	110	200	31000	5200	440	220
keskihajonta	356	21,4	32,9	5528	815,7	72,0	19,9



Kuva 3-19. Humuksen rikki- ja kuparipitoisuus TerraFamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2016. n=34.



Kuva 3-20. Humuksen nikkeli- ja sinkkipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2016. n=34.



Kuva 3-21. Humuksen kobolttipitoisuus Terrafamen kaivosalueen ympäristössä vuonna 2016. n=34.

3.5 Vertailu alueella aikaisemmin ja muualla tehtyihin tutkimuksiin

3.5.1 Männyn neulaskato

Terrafamen kaivoksen ympäristössä vuonna 2009 toteutetussa bioindikaattoriseurannassa (Pöyry 2009) mäntyjen elinvoimaisuutta arvioitiin tarkastelemalla ainoastaan näyteoksien neulaskatoa, eikä sitä voida suoraan verrata muualla Suomessa tehtyihin selvityksiin. Vuonna 2009 neulaskato näyteoksien ensimmäisen vuosikasvaimen neulasten osalta oli 20-30 %, kun taas vuonna 2012 vain 3,9 %. Vuonna 2016 neulaskato ensimmäisen vuosikasvaimen osalta oli 11 %.

Neulaskatoa arvioitaessa harsuuntuneiksi katsotaan puut, joiden neulaskato on yli 20 % tai 25 %. Tätä pienemmän vaihtelun katsotaan kuuluvan luontaiseen neulasmäärän vaihtelun piiriin. Maastossa tehtyjen havaintojen mukaan tutkimusalueen mäntyjen keskimääräinen neulaskato oli lisääntynyt hieman vuosien 2012 (20,7 %) ja 2016 (25,5 %) tutkimusajankohtien välillä. Tulos vastaa myös näyteoksien perusteella tehtyä arviointia neulaskadosta. Vuosina 2012 ja 2016 saadut tulokset olivat usean prosenttiyksikön suurempia kuin keskimäärin Suomessa Metsäntutkimuslaitoksen vuonna 2011 toteuttamassa metsien terveydentilan seurannassa (14 %) (Metsätuhotietopalvelu 2011) ja muissa 2000-luvulla laadituissa bioindikaattoriseurannoissa eri puolilla Suomea.

Vuonna 2012 harsuuntuneiksi (neulaskato >20 %) männyistä arvioitiin 38 % ja vuonna 2016 jopa 63 % havaintoaloista. Useissa muissa 2000-luvulla toteutetuissa bioindikaattoritutkimuksissa vastaava luku oli 12-15 %. Mikäli harsuuntuneisuuden rajana käytetään >25 %, vuonna 2012 24 % puista arvioitiin harsuuntuneiksi ja vuonna 2016 39 %. Kuormittuneillakin alueilla havupuiden neulaskato on kuitenkin hyvin paikallinen ilmiö. Pääkaupunkiseudun ilmanlaadun bioindikaattoriseurannassa mäntynäytealojen keskimääräisen neulaskadon on todettu edustavan vain kyseistä näytealaa, sillä tulosten yleistettävyyttä oli alle 0,3 km (Partanen ja Veijola 1996).

Mahdollisesta neulaskadon lisääntymisestä huolimatta neulasten keltakärkisyyttä ja ilmarakovauriot olivat kuitenkin vähentyneet verrattuna edellisiin tutkimusajankohtiin; vuonna 2009 yli 50 %:ssa ensimmäisen vuosikasvaimen neulasista oli nähtävissä keltaisuutta kun taas vuonna 2012 noin kolmannes neulasista oli kellertynyt. Vuonna 2016 keltapäisiksi arvioitiin 11 % näyteoksien ensimmäisen vuosikasvaimen neulasista. Ilmarakovaurioiden neulasten osuus oli laskenut lähes 50 %:sta kuuteen prosenttiin ja edelleen runsaaseen prosenttiin tutkimusajankohtien välillä.

Neulasten värivirheellisyyttä aiheuttaa mm. typen riittämätön saanti. Neulasten kemiallisen analyysin perusteella vuonna 2012 pääosalla näytealoista neulasten ravinnetila typen osalta oli välttävää, kun vuonna 2016 kaikilla näytealoilla neulasten typpipitoisuus oli vähintään sopiva (luku 3.2 ja Taulukko 1).

Taulukko 10. Mäntyjen keskimääräinen neulaskato ja harsuuntuneeksi (neulaskato >20 % ja >25 %) arvioitujen puiden osuus eri puolilla Suomea tehdyissä tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Ruuth ym. 2016, Nab Labs 2016, Huuskonen ym. 2013, Ramboll 2012, Metsätuhotietopalvelu 2011, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b, Laita ym. 2008c, Laita ym. 2008c, .

Alue	n	Vuosi	Neulaskato ka, %	Harsuuntuneiden puiden osuus, %
Terrafame	105	2016	25,5	63 (39*)
Pori-Harjavalta	107	2015	18	17*
Kanta- ja Päijät-Häme	304	2014	18,6	12*
Talvivaara	105	2012	20,7	38 (24*)
Seinäjoen seutu	939	2012	13	14
Metla	717	2011	14	-
Länsi-Suomi	3 968	2006	14	6
Kokkola	1 210	2006	14	7
Suupohja	220	2006	15	3
Vaasa	590	2006	12	6

(*) Harsuuntuneisuuden raja >25 %

3.5.2 Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasten keskimääräinen typpipitoisuus oli vuonna 2016 suurempi (16,8 g/kg) kuin aikaisempaan tutkimusvuonna 2012 (13,2 g/kg, Taulukko 11). Vuoden 2016 neulasnäytteiden perusteella alueella ei esiinny typen puutosta (<13 g/kg), vaan Jukan (1988) ravinnepitoisuusluokituksen mukaan neulasten typpipitoisuudet olivat vähintään sopivalla tasolla ($\geq 14,0$ g/kg). Vuonna 2012 seitsemällä alalla neulasten typpipitoisuus oli alle 13 g/kg. Verrattuna Suomessa tehtyihin muihin vastaaviin selvityksiin, olivat typpipitoisuudet Terrafamen ympäristössä keskimääräisellä tasolla tai hieman sitä suurempia.

Neulasten keskimääräinen rikkipitoisuus säilyi alueella vastaavalla tasolla kaikkina tutkimusvuosina (2009, 2012 ja 2016). Pitoisuudet asettuivat samalle tasolle kuin muissa Suomessa laadituissa bioindikaattoriseurannoissa.

Kun huomioidaan kaikki tutkimukseen osallistuneet havaintoalat, keskimääräinen neulasten kuparipitoisuus vaihteli tutkimusvuosien 2009-2016 aikana 2,8-5,3 mg/kg välillä ollen vastaavalla tasolla tai hieman suurempi kuin Suomessa tehdyissä muissa tutkimuksissa (Taulukko 11, Kuva 3-22). Keskimääräisessä pitoisuudessa ei vuosien 2012 ja 2016 välillä tapahtunut juuri muutosta.

Vuonna 2016 keskimääräinen neulasten nikkelipitoisuus (2,2 mg/kg) oli kaksinkertainen verrattuna aikaisempaan tutkimusvuonna 2012 (1,1 mg/kg) mitattuun pitoisuuteen. Verrattuna vuoteen 2009 (4,2 mg/kg), keskimääräinen nikkelipitoisuus oli kuitenkin selvästi alhaisempi kun huomioidaan kaikki tutkimukseen sisältyneet alat. Vuonna 2016 keskimääräistä nikkelipitoisuutta nostavat erityisesti yksittäisillä kaivospiirin alueella ja sen itäpuolella sijaitsevilla näytealoilla mitatut aikaisempiin vuosiin verrattuna suuremmat ja kohonneet pitoisuudet. Muualla Suomessa mitattuja keskimääräisiä neulasten nikkelipitoisuuksia esiintyi erityisesti kaivospiirin luoteis- ja kaakkoispuolella.

Keskimääräinen sinkkipitoisuus vaihteli alueella 44-51 mg/kg tutkimusvuosien 2009-2016 aikana. Pitoisuudet asettuvat vastaavalle tasolle kuin muualla Suomessa laadituissa selvityksissä.

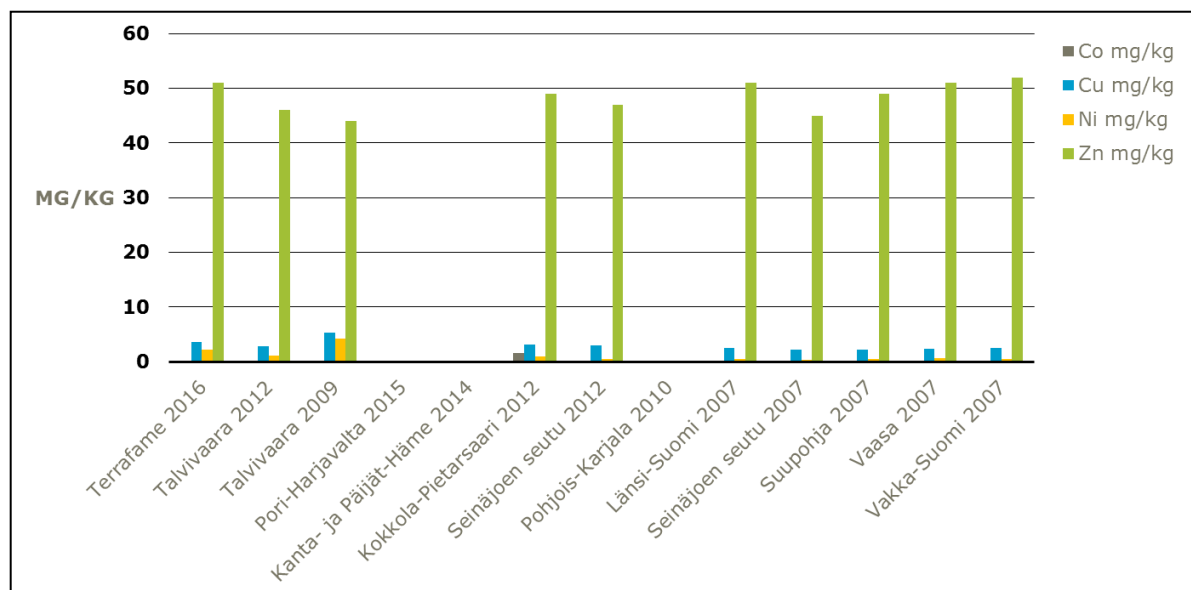
Keskimääräinen kobolttipitoisuus säilyi vastaavana (0,2 mg/kg) vuosien 2012 ja 2016 selvityksessä. Erilaisten määrittämisrajojen takia vertailu vuoden 2009 selvitykseen on hankalaa.

Männyn neulasten typpi-, rikki-, kupari- ja sinkkipitoisuudet olivat keskimäärin vastaavalla tasolla tai hieman suurempia kuin muissa eri puolilla Suomea 2000-luvulla laadituissa bioindikaattoritutkimuksissa. Nikkelin osalta pitoisuudet olivat noin kaksin-nelinkertaisia verrattuna muissa tutkimuksissa mitattuihin pitoisuuksiin.

Taulukko 11. Neulasten keskimääräisiä alkuainepitoisuuksia Terrafamen alueella vuosina 2009, 2012 ja 2016 selvityksissä verrattuna muissa eri puolilla Suomea 2000-luvulla toteutetuissa tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Ruuth ym. 2016, Nab Labs 2016, Huuskonen ym. 2013, Ramboll 2012, Lehkonen ym. 2011, Pöyry 2009, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b ja Laita ym. 2008d, Laita ym. 2008e.

Alue	n	Vuosi	N g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	P mg/kg	Cr mg/kg	Co mg/kg
Terrafame	105	2016	16,8	6,9	0,1	4 952	4 000	1310	0,8	0,2
Pori-Harjavalta	107	2015	14	-	-	4 363	4 363	-	-	-
Kanta- ja Päijät-Häme	304	2014	9,4	-	-	4560	-	-	-	-
Kokkola-Pietarsaari	238	2012	14	16,3	0,13	5 499	2 881	1 355	0,16	1,6
Talvivaara	21	2012	13,2	8,4	0,1	4 862	3 619	1 307	0,2	0,2
Seinäjoen seutu	95	2012	11,5	14,6	0,08	5 077	3 434	1 386	0,2	-
Pohjois-Karjala (kuormitettu)	5	2010	-	-	-	-	-	-	-	-
Talvivaara	10	2009	-	12,6	<0,3	5 326	2 108	1 534	<2	<1
Länsi-Suomi	398	2007	14,9	16,6	0,12	5 200	3 300	1 500	0,15	-
Seinäjoen seutu	90	2007	15,2	15,4	0,08	4 697	3 218	1 461	0,13	-
Suupohja	22	2007	15,1	16,2	0,12	4 396	3 447	1 463	0,14	-
Vaasa	59	2007	15,3	19,3	0,12	5 254	3 475	1 527	0,16	-
Vakka-Suomi	103	2007	15,7	19,0	-	5 077	3 524	1 531	0,095	-

Alue	n	Vuosi	Cu mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Fe mg/kg	S mg/kg	Zn mg/kg
Terrafame	105	2016	3,6	844	656	2,2	117	1022	51
Pori-Harjavalta	107	2015	-	760	700	-	-	1 098	-
Kanta- ja Päijät-Häme	304	2014	-	830	-	-	-	1060	-
Kokkola-Pietarsaari	238	2012	3,2	783	388	0,94	94	947	49
Talvivaara	21	2012	2,8	893	665	1,1	92	903	46
Seinäjoen seutu	95	2012	3,05	895	392	0,5	91	898	47
Pohjois-Karjala (kuormitettu)	5	2010	-	-	-	-	-	1 065	-
Talvivaara	10	2009	5,3	974	407	4,2	126	1 029	44
Länsi-Suomi	398	2007	2,5	840	490	0,51	75	1 000	51
Seinäjoen seutu	90	2007	2,2	879	413	0,41	68	971	45
Suupohja	22	2007	2,2	892	604	0,52	63	1 011	49
Vaasa	59	2007	2,4	880	519	0,6	74	1 037	51
Vakka-Suomi	103	2007	2,6	887	564	0,47	58	1 088	52



Kuva 3-22. Neulasten koboltin, kuparin, nikkelin ja sinkin pitoisuuksien vertailu muihin Suomessa vii-meaikoina tehtyjen tutkimusten tuloksiin.

3.5.3 Sammalten alkuainepitoisuudet

Sammalen keskimääräinen rikkipitoisuus vaihteli alueella vuosien 2009, 2012 ja 2016 välillä 808-1 298 mg/kg. Suurimmillaan keskimääräinen pitoisuus oli vuonna 2009 kun huomioidaan kaikki tutkimukseen osallistuneet alat. Rikkipitoisuudet asettuivat vastaavalle tasolle muiden Suomessa toteutettujen bioindikaattoriselvitysten tulosten kanssa (Taulukko 12).

Sammalen keskimääräinen kuparipitoisuus oli vuosina 2012 ja 2016 hieman suurempi kuin muissa Suomessa toteutetuissa selvityksissä keskimäärin (Taulukko 12, Kuva 3-23). Pitoisuus oli kuitenkin alle kolmasosa kuparipitoisuuksien osalta kuormittuneeseen Porin-Harjavallan alueeseen verrattuna.

Vuonna 2016 sammalen keskimääräinen nikkelpitoisuus (12,2 mg/kg) oli alhaisempi kuin alueella aikaisemmin toteutetuissa selvityksissä (14,3 ja 37,7 mg/kg). Pitoisuus oli kuitenkin edelleen moninkertainen verrattuna muualla Suomessa mitattuihin pitoisuuksiin ja suurempi kuin nikkelpitoisuuksien osalta kuormittuneella Porin-Harjavallan alueella.

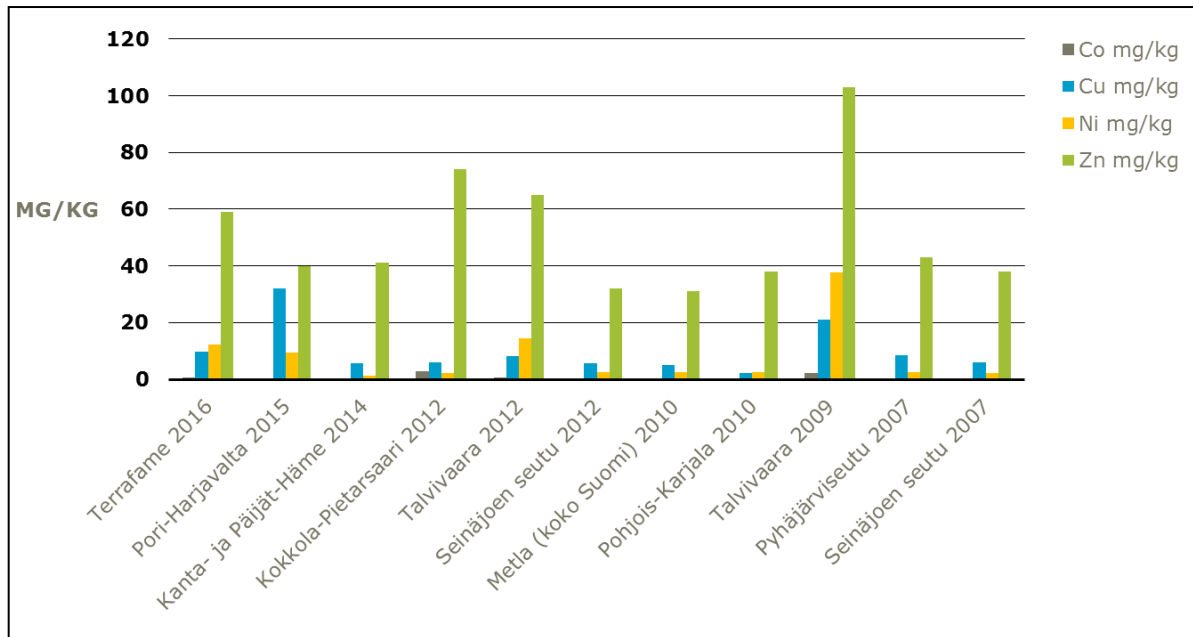
Keskimääräinen sammalen sinkki- ja kobolttipitoisuus oli laskenut alueella tutkimusvuosina 2012-2016. Pitoisuus oli sinkin osalta osin hieman suurempi kuin muualla Suomessa toteutetuissa selvityksissä. Kobolttipitoisuus asettuu vuorostaan vastaavalle tasolle.

Sammalen keskimääräiset kupari- ja nikkelpitoisuudet olivat selvästi suurempia verrattuna Metsäntutkimuslaitoksen vuonna 2010 toteuttaman valtakunnallisen inventoinnin keskimääräisiin tuloksiin (Metsäntutkimuslaitos 2012). Kummankin raskasmetallin osalta Terrafamen alueelta mitattut pitoisuudet olivat kuitenkin selvästi koko maasta mitattujen maksimipitoisuuksien alapuolella. Kuparin osalta valtakunnallisella tasolla tai sen läheisyydessä olevia pitoisuuksia mitattiin kaivospiirin luoteispuolelta ja nikkelin osalta luoteis- ja kaakkoispuolelta.

Taulukko 12. Sammalten alkuainepitoisuuksia Terrafamen alueella vuosina 2009, 2012 ja 2016 verrattuna muissa eri puolilla Suomea toteutetuissa tutkimuksissa. Tulokset lähteistä Ruuth ym. 2016, Nab Labs 2016, Huuskonen ym. 2013, Ramboll 2012, Metsäntutkimuslaitos 2012, Lehtonen 2011, Pöyry 2009, Laita ym. 2008a, Huuskonen ym. 2009.

Alue	n	Vuosi	Al mg/kg	As mg/kg	B mg/kg	Hg mg/kg	P mg/kg	Cd mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg
Terrafame	34	2016	255	0,2	5	0,01	1379	0,2	7829	2826	0,6	2,0
Pori-Harjavalta	107	2015	-	0,59	-	0,04	-	0,37	-	-	-	0,9
Kanta- ja Päijät-Häme	104	2014	-	-	-	0,04	-	0,17	-	-	-	1,12
Kokkola-Pietarsaari	238	2012	268	0,23	1,24	0,05	1336	0,24	6236	2270	2,88	1,09
Talvivaara	34	2012	188	0,1	<5	0,02	1419	0,3	7 365	2 374	0,7	1,7
Seinäjoen seutu	41	2012	285	0,4	5,1	0,03	1 552	0,1	8 739	2 873	0,35	3,6
Metla (koko Suomi)		2010		0,1		0,042		0,1				0,97
Pohjois-Karjala	100	2010	-	0,2	-	-	-	0,1	-	-	-	1,4
Talvivaara	20	2009	470	<3	<4	-	1 151	<0,3	5424	2748	2,2	4,8
Pyhäjärvisseutu	28	2007						0,2				0,7
Seinäjoen seutu	40	2007	348	0,5	2,26	0,04	1 559	0,1	6 381	2 435	0,4	1,2

Alue	n	Vuosi	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	Fe mg/kg	S mg/kg	Zn mg/kg	V mg/kg
Terrafame	34	2016	9,8	1,0	1216	453	121	12,2	504	985	59	1,9
Pori-Harjavalta	107	2015	32	2,49	-	-	-	9,5	321	-	40	0,9
Kanta- ja Päijät-Häme	104	2014	5,8	3,08	-	-	-	1,4	-	-	41	1,4
Kokkola-Pietarsaari	238	2012	6,0	2,6	1084	302	82	2,1	435	979	74	1,1
Talvivaara	34	2012	8,2	1,1	1 137	442	301	14,3	322	808	65	1,1
Seinäjoen seutu	41	2012	5,76	1,1	1 389	262	89	2,56	439	945	32	1,2
Metla (koko Suomi)		2010	5,03	2,1				2,51	243		31	1,1
Pohjois-Karjala	100	2010	2,2	2,2	1 171	-	-	2,5	431	922	38	1,6
Talvivaara	20	2009	20,9	<3	1 354	517	102	37,7	1 126	1 298	103	4,8
Pyhäjärvisseutu	28	2007	8,6	2,1				2,4	282		43	1,6
Seinäjoen seutu	40	2007	6,1	1,8	1 271	292	53	2,3	537	1101	38	3,7



Kuva 3-23. Sammalen koboltin, kuparin, nikkelin ja sinkin pitoisuuksien vertailu muihin Suomessa vii-meaikoina tehtyjen tutkimusten tuloksiin.

3.5.4 Humuksen alkuainepitoisuudet

Humuksen keskimääräinen rikkipitoisuus oli hieman pienempi vuonna 2016 (1 157 mg/kg) kuin aikaisempina tutkimusvuosina 2012 ja 2009 (1 300 ja 1 285 mg/kg, Taulukko 13, Kuva 3-24). Keskimääräinen kuparipitoisuus (26,4 mg/kg) oli yli kaksinkertainen verrattuna aiempiin tutkimusvuosiin (8,9 mg/kg ja 10 mg/kg). Luku on hieman suurempi kuin esimerkiksi Kanta- ja Päijät-Hämeen alueella ja noin kolminkertainen verrattuna koko Suomea ja pääkaupunkiseutua koskevaan arvoon. Mainittua suurempia kuparipitoisuuksia mitattiin Kokkolan-Pietarsaaren alueella.

Vuoden 2016 nikkelpitoisuus (25 mg/kg) oli suurempi kuin Terrafamen alueella aiempina vuosina mitattu keskimääräinen pitoisuus (11 ja 6,2 mg/kg). Vuoden 2016 nikkelpitoisuus on kolminkertainen verrattuna pääkaupunkiseutua ja viisinkertainen koko Suomea koskevaan arvoon, mutta pienempi kuin Kokkolan-Pietarsaaren alueelta mitattu pitoisuus (29,7 mg/kg).

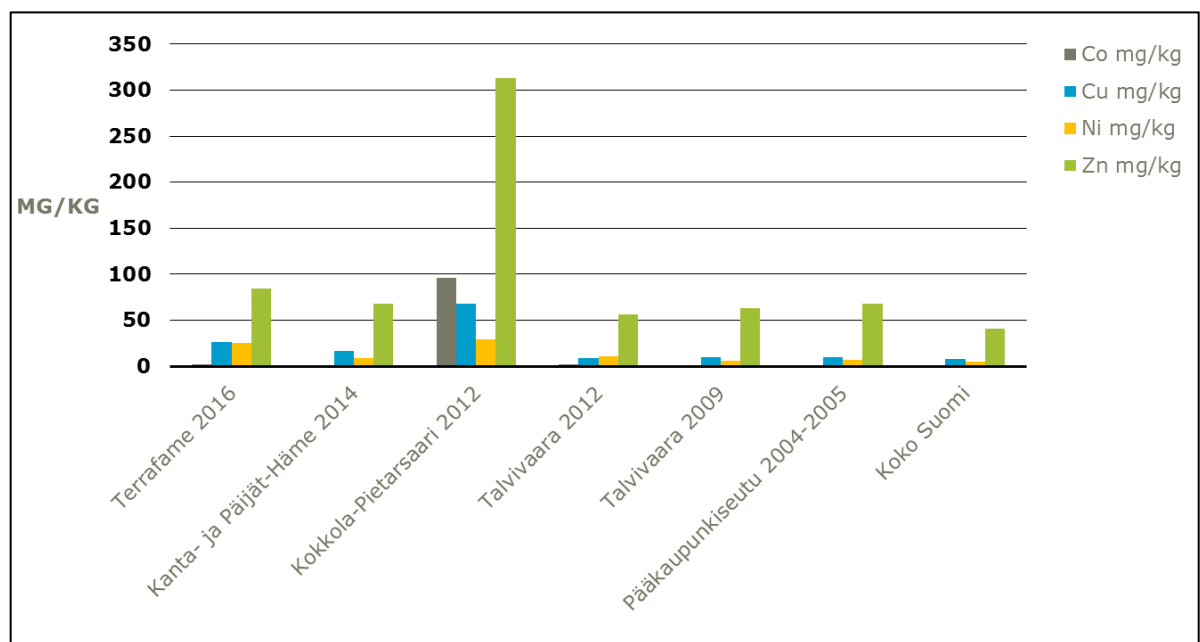
Vuonna 2016 keskimääräinen sinkkipitoisuus (84,4 mg/kg) oli myös suurempi kuin alueella aikaisemmin mitatut pitoisuudet (56 ja 63,5 mg/kg), jotka asettuivat vastaavalle tasolle kuin pääkaupunkiseudulla. Kobolttipitoisuus oli säilynyt alueella vastaavalla tasolla vuosina 2012 ja 2016.

Taulukko 13. Humuksen alkuainepitoisuuksia Terrafamen alueella vuosina 2009, 2012 ja 2016 verrattuna muissa eri puolilla Suomea toteutettuihin tutkimuksiin (Ruuth ym. 2016, Huuskonen ym. 2013; Tarvainen ym. 2006; Salminen ym. 2003).

Alue	n	Vuosi	pH	N g/kg
Kanta- ja Päijät-Häme	104	2014	4,2	-
Kokkola-Pietarsaari	238	2012	4	-
Talvivaara	34	2012	4,03	13
Talvivaara	20	2009	-	-
Pääkaupunkiseutu		2004-2005	3,5	

Alue	n	Vuosi	Al mg/kg	As mg/kg	B mg/kg	Hg mg/kg	P mg/kg	Cd mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg
Terrafame	34	2016	2589	2,0	5,0	0,2	810	0,5	868	2609	1,9	23,5
Kanta- ja Päijät-Häme	104	2014	-	-	-	-	-	0,38	-	-	-	11,1
Kokkola-Pietarsaari	238	2012	42	16	-	2,5	-	2,03	481	1483	96	4,4
Talvivaara	34	2012	2042	2,8	5	0,3	771	0,6	965	3057	1,7	19,6
Talvivaara	20	2009	2152	3	<4	-	950	0,4	1180	3070	1	14
Pääkaupunkiseutu		2004										
		2005	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	8,5
Koko Suomi			-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	3,9

Alue	n	Vuosi	Cu mg/kg g	Pb mg/kg g	Mg mg/kg g	Mn mg/kg g	Na mg/kg g	Ni mg/kg g	Fe mg/kg g	S mg/kg g	Zn mg/kg g	V mg/kg g
Terrafame	34	2016	26,4	21,9	876	344	55,2	25	4837	1157	84,4	14,7
Kanta- ja Päijät-Häme	104	2014	17	51,02	-	-	-	9,4	-	-	68	19,5
Kokkola-Pietarsaari	238	2012	68	33	290	-	37	29,7	9750	-	313	19,5
Talvivaara	34	2012	8,9	34,5	550	230	45,5	11	1950	1300	56	6,3
Talvivaara	20	2009	10	27	710	395	81	6,2	2395	1285	63,5	8
Pääkaupunkiseutu		2004										
		2005	10	55	-	-	-	7,45	-	-	68,4	15,9
Koko Suomi			7,9	31	-	-	-	4,6	-	-	40,5	6,9



Kuva 3-24. Humuksen koboltin, kuparin, nikkelin ja sinkin pitoisuuksien vertailu muihin Suomessa vii-meaikoina tehtyjen tutkimusten tuloksiin.

4. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Terrafamen kaivoksen malmiesiintymän keskeisimmät alkuaineet ovat kupari, nikkeli, sinkki ja koboltti. Näiden osalta esimerkiksi pölyn mukana leviävät alkuaineet laskeutuvat pääasiassa nykyisten toiminta-alueiden läheisyyteen, minkä johdosta useiden raskasmetallien suurimmat pitoisuudet mitattiin kaivospiirin alueella sijainneilta havaintoaloilta. Lisäksi havaintoaloilta mitatuissa pitoisuuksissa oli havaittavissa todennäköinen vallitsevan tuulen suunnan mukainen vaikutus kaivospiirin alueelta koilliseen. Tällä alueella kallioperän mustaliuskealueen läheisyys voi vaikuttaa myös kasvillisuuteen ja humuskerrokseen kertyviin pitoisuuksiin. Kasvimateriaalin osalta pienimpiä alkuainepitoisuuksia mitattiin odotetusti nykyisen kaivospiirin pohjois- ja luoteispuolelta Lo-sonvaaran alueelta sekä kaivospiirin etelä- ja kaakkoispuolelta. Näillä alueilla paikalliset olosuhteet esimerkiksi kasvupaikan osalta voivat aiheuttaa vaihtelua mitattuihin alkuainepitoisuuksiin ja puuston elinvoimaisuuteen.

Terrafamen kaivospiirin alueella ja sen ympäristössä tutkituissa bioindikaattoreissa oli nähtävissä sekä myönteisiä että kielteisiä kehityssuuntia verrattuna alueella aikaisemmin toteutettuihin selvityksiin. Terrafamen kaivosalueen ympäristössä toteutettiin nyt toisen kerran männyn latvuksen elinvoimaisuutta kuvaava harsuuntumistutkimus. Sekä maastossa että laboratoriossa tehdyn viisuaalisen arvioinnin mukaan havaintoalojen mäntyjen neulaskato oli lisääntynyt hieman tutkimusajankohtien välillä. Neulaskadon arvioitiin olevan usean prosenttiyksikön suurempi kuin keskimäärin Suomessa. Neulaskato on kuitenkin hyvin paikallinen ilmiö ja se edustaa lähinnä vain tarkasteltuja näytealoja. Neulasten keltakärkisyyden ja ilmarakovauriot olivat sitä vastoin vähentyneet ja neulasnäytteiden typpipitoisuus oli ravinnetasoltaan sopivalla tasolla.

Männyn neulasten alkuainepitoisuudet olivat pääosin säilyneet vastaavalla tasolla verrattuna aiempiin tutkimus ajankohtiin. Pitoisuudet olivat typen, rikin, kuparin ja sinkin osalta keskimäärin vastaavalla tasolla tai hieman suurempia kuin muissa eri puolilla Suomea laadituissa bioindikaattoritutkimuksissa. Nikkelin osalta koko aluetta koskeva keskimääräinen pitoisuus oli noin kaksinkertainen verrattuna tutkimusvuoteen 2012, mutta noin puolet vuoden 2009 pitoisuuksista. Nikkelipitoisuudet olivat kohonneet erityisesti yksittäisillä kaivospiirin alueella ja sen itäpuolella sijaitsevilla näytealoilla. Muualla Suomessa mitattuja keskimääräisiä pitoisuuksia esiintyi erityisesti kaivospiirin luoteis- ja kaakkoispuolella.

Analysoidut sammalnäytteet kuvaavat alkuaineiden keskimääräistä pitoisuutta noin 2-3 vuoden osalta. Vastoin kuin neulasnäytteissä, seinäsammalien keskimääräinen nikkelipitoisuus oli alhaisempi kuin aikaisempina tutkimusvuosina. Pitoisuus oli kuitenkin edelleen moninkertainen verrattuna muualla Suomessa mitattuihin keskimääräisiin pitoisuuksiin. Muiden raskasmetallien osalta keskimääräiset pitoisuudet olivat vastaavalla tasolla tai hieman suurempia kuin muualla Suomessa toteutetuissa selvityksissä. Terrafamen alueella mitatut pitoisuudet alittavat kuitenkin selvästi muualta Suomesta mitatut maksimipitoisuudet.

Humuskerroksen kokonaisalkuainepitoisuus ilmentää metsäsammalien tavoin sekä maaperän että ilman kautta tulevaa kuormitusta ja alueella mitattujen kupari- ja nikkelipitoisuuksien voidaan arvioida olevan koholla koko maan keskimääräisiin pitoisuuksiin verrattuna.

LÄHTEET

- Huuskonen, I., Lehtonen, E. ja Ellonen, T. (2009). Pyhäjärvisuuden ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2007-2008. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 175. Jyväskylän yliopisto.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E., Keskitalo, T. ja Laita, M. (2010). Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2009. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 4/2010.
- Huuskonen I., Lehtonen E. ja Laita M. 2013. Kokkolan ja Pietarsaaren suuden ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2012. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 177. Jyväskylän yliopisto, ympäristötutkimuskeskus.
- Jokinen, J., Haarala, S. ja Anttila, T. (1995). Seinäjoen suuden bioindikaattoritutkimukset vuonna 1995 männyn vauriokartoitusmenetelmällä. Ilmatieteen laitos, ilmanlaatuosasto, Helsinki.
- Jukka, L. 1988. Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. Samerka Oy. Helsinki
- Jukola-Sulonen, E.-L. (1993). Puiden elinvoimaisuuden arvioiminen. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja Nieminen, T. (toim.). Metsäluento ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki. Gummerus, Jyväskylä.
- Jussila, I. (1997). Porin-Harjavallan ja Pohjois-Satakunnan alueen ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuosina 1996-1997. Turun yliopisto, Satakunnan ympäristötutkimuskeskus. Sykesarja B 12.
- Jussila, I., Joensuu, E. ja Laiho, P. (1999). Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Edita, Helsinki. ISBN 1238-8602.
- Kalliola, R. (1973). Suomen kasvimaantiede. WSOY, Porvoo.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T. ja Lehtonen, E. (2008a). Seinäjoen suuden ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristötutkimuslaitoksen tiedonantoja 168. Jyväskylän yliopisto
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehtonen, E., ja Ellonen, T. (2008b). Länsi-Suomen alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Jyväskylän yliopisto, ympäristötutkimuskeskus.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T. & Lehtonen, E. (2008c). Kokkolan suuden ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja. Jyväskylän yliopisto.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T. & Lehtonen, E. (2008d). Vaasan suuden ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 168. Jyväskylän yliopisto.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehtonen, E., ja Ellonen, T. (2008e). Vakka-Suomen alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 164. Jyväskylän yliopisto.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehtonen, E. ja Ellonen, T. (2008f). Suupohjan alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006-2007. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 166. Jyväskylän yliopisto, ympäristötutkimuskeskus.
- Lehtonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Nevalainen, S., Poikolainen, J. ja Laita, M. (2011). Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2010. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011.
- Lindgren, M. ja Salemaa, M. (1999). Metsäpuiden elinvoimaisuuden arviointi. Vuotuisen

seurannan (ICP level 1) ja ympäristön yhdennetyn seurannan koealat 1999. Metsäntutkimuslaitos.

Lodenius, M., Manninen, S., Nieminen, T., Raiskinen, H., Ranta, P. ja R. Willamo (2002). Bioindikaattorit. Ympäristönsuojelun opetusmonisteita N:o 21. Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos.

Markert, B.M., Fraenzle, S. ja Fomin, A. (2004). From the biological system of the elements to biomonitoring. Teoksessa Merian, E., Anke, M., Inhat, M. ja Stoeppler, M. (toim.): Elements and their compounds in the environments. Wiley-Vch.

Metsäntutkimuslaitos (2012). Raskasmetalli- ja typpilaskeuma Suomessa, kartoitus sammalten pitoisuuksien perusteella 1985–2010. Met-info, Metsien terveys.
<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/tulokset.htm>. Päivitetty 13.09.2012

Metla (2011). Puiden kunnon vuotuinen seuranta ekstensiivisellä (Level I) ja intensiivisellä (Level II) tasolla. Lehti- ja neulaskadon arviointi. Metsien terveydentilan arvioinnin koulutus. Moniste.

Metsätuhotietopalvelu (2011). Metsätuhot vuonna 2011.
<http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/metsientila/metsatuhot2011.htm>. Päivitetty 17.08.2012.

Nevalainen, S. 2011. Metsien terveydentilan seurannan tuloksia Pohjois-Karjalassa, verrattuna koko maan tuloksiin. Metsäntutkimuslaitos, Muhos. Teoksessa Lehtonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Nevalainen, S., Poikolainen, J. ja Laita, M. (2011). Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2010. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011.

Nieminen, T., Raitio, H. ja Salemaa, M. (1993). Neulasten kemiallinen koostumus elinvoimatunnuksena. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja Nieminen, T. (toim.). Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446, Helsinki. Gummerus, Jyväskylä.

Nevalainen, S., Lindgren, M., Pouttu, A., Rantanen, H. ja Salemaa, M. (2011). Metsäpuiden elinvoimaisuuden arviointi 2011. Maasto-ohjeet laaja-alaisen seurannan koaloille. Metsäntutkimuslaitos.

Niskanen, I., Ellonen, T. ja Nousiainen, O. (2001). Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2000 ja 2001. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki. Alueelliset ympäristöjulkaisut 238. ISBN 952-11-0999-8.

Partanen, P. ja Veijola, H. 1996. Bioindikaattoriseurannan tilastollinen arviointi. YTV, Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996:18.

Polojärvi, K., Niskanen, I., Haahla, A. ja Ellonen, T. (2005). Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueen ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuosina 2004 ja 2005. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki. Alueelliset ympäristöjulkaisut 385.

Pöyry 2009. Talvivaaran alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna.

Ramboll (2012). Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimus vuonna 2012.

Raitio, H. (1987). Neulasvuosikertojen merkitys neulasanalyysin tulkinnessa. Silva Fennica, vol. 21, nro 1: 11-16.

Raitio, H. (2001). Seinäjoen seudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä vuonna 2000. Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema.

Raitio, H., Kärkkäinen, K. ja Osmo, J. (2002). Ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta Vaasan seudulla vuonna 2000. Metsäntutkimuslaitos.

Ruuth, J., Toivonen, H., Kuhmonen, I., Leppänen, E., ja Kiljunen, A. (2016). Kanta- ja Päijät-Hämeen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus. Hämeen Ely-keskuksen, raportteja 6/2016

Räsänen, I. ja Lepola, A. (1990). Seinäjoen, Nurmon ja Ilmajoen alueen päästöjen tarkkailuryhmä. Bioindikaattoritutkimukset 1989 sammalmenetelmällä. Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy.

Salemaa, M., Jukola-Sulonen, E-L., Nieminen, T. ja P. Nöjd (1993). Latvustunnukset ja puun kasvu elinvoimaisuuden ilmentäjinä. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E-L., Mikkela, H. ja T. Nieminen (toim.). Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446. Helsinki, Gummerus.

Salminen, R., Bogatyrev, I., Chekuskin, V., Glavatskikh, S.P., Grerauskiene, V., Niskavaara, H., Selenok, Tenhola, M. ja Tomilina, O. 2003. Barents ecogeochemistry - a large scale geochemical base study of heavy metals and other elements in surficial deposits, NW-Russia and Finland. Teoksessa Autio, S. (toim.) Geological survey of Finland, Current Research 2001-2002. Geological Survey of Finland, Special Paper 36, 45-52.

Seinäjoen, Nurmon ja Ilmajoen alueen päästöjen tarkkailuryhmä (1990). Bioindikaattoritutkimukset 1990: männyn vauriokartoitus ja neulasten rikkipitoisuus. Insinööritoimisto Paavo Ristola. 31.8.1990.

SFS 5669 (1990). Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten kokonaisrikkipitoisuus. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.

SFS 5670 (1990). Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.

SFS 5671 (1990). Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.

SFS 5794 (1994). Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalpallomenetelmä. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.

Tamminen, P. (1998). Maaperätekijät. Teoksessa Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691.

Tarvainen, T. (toim.), Eklund, M., Haavisto-Hyvärinen, M., Hatakka, T., Jarva, J., Karttunen, V., Kuusisto, E., Ojalainen, J. ja Teräsvuori, E. 2006. Alkuaineiden taustapitoisuudet pääkaupunkiseudun kehyskuntien maaperässä. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 163.

Tuuliatlas (2009). Ilmatieteenlaitos.

Äyräs, M. ja Pohjola, R. (1996). Seinäjoen ympäristön bioindikaattoritutkimus. Geologian tutkimuskeskus, Pohjois-Suomen aluetoimisto.

OIVA- ympäristö- ja paikkatietopalvelu. Poiminnat 1/2013 ja 3/2017.