

Enwin

- Vision Keeper -

YMPÄRISTÖPALVELUT HELMI

Haapavesi



Haapaveden kaupungin ilman bioindikaattoriseuranta
vuonna 2016



29.9.2016



Enwin Oy

FM Ari Tamminen

FM, TkL Tarja Tamminen

ENWIN OY
Kivipöytälan kuja 2
33920 Pirkkala
Puh/Fax: **03-2664 396**
ari.tamminen@enwin.fi
tarja.tamminen@enwin.fi

www.enwin.fi

ALV -rek
Y- tunnus
1721084-8

TIIVISTELMÄ

Enwin Oy toteutti Ympäristöpalvelut Helmin tilaaman Haapaveden ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksen vuonna 2016. Tässä bioindikaattoriselvityksessä tehtiin seuraavat vaikutustutkimukset kymmeneltä näytealalta:

- a. Neulasten rikkipitoisuudet (S)
- b. Seinäsammalen sinkki- ja arseenipitoisuudet (Zn ja As)
- c. Puuston vointiluokitus

Näytealat ja tutkimukset olivat samat kuin edellisessä selvityksessä vuodelta 2011. Kahdelta näytealalta oli puut hakattu, joten näyteala siirrettiin viereiseen metsään (alat 42 ja 54).

Neulas- ja sammalnäytteet kerättiin 10.-11. toukokuuta 2016 ennen uuden kasvukauden alkua. Samalla tehtiin myös mäntypuuston visuaalinen vauriokartoitus ja elinvoimaisuuden arviointiin liittyvät tutkimukset.

Analysoitujen pitoisuuksien trendi on laskeva Haapavedellä sekä neulasten rikin, että sammalen sinkin ja arseenin osalta. Koko Suomessa rikkipäästöt ovat vähentyneet 90 %, sinkkipäästöt 77 % ja arseenipäästöt 92 % vuodesta 1990 vuoteen 2014. Päästöjen lasku näkyy myös Haapaveden tuloksissa, joskin lievempanä. Haapaveden neulasten rikkipitoisuudet ovat laskeneet 37 %, sinkkipitoisuudet 9% arseenipitoisuudet 71 % vuoden 1995 tilanteeseen verrattuna. Haapaveden neulasten rikkipitoisuuksien keskiarvo 711 mgS/kg on taustan tasoa. Seinäsammalen keskimääräinen sinkkipitoisuus 27 mgZn/kg on Haapavedellä alhaisempi kuin keskimäärin Suomessa (31.1 mgZn/kg). Haapaveden sammalten keskimääräinen arseenipitoisuus 0.14 mgAs/kg oli lievästi korkeampi kuin keskimäärin Suomessa (0.11 mgAs/kg). Esimerkiksi poltettavan turpeen rikki-, sinkki- ja arseenipitoisuudet vaihtelevat huomattavasti suolta ja kerrostumasta toiseen.

Havupuiden vointi oli mäntyjen vointiluokituksen ja harsuuntumistutkimuksen mukaan Haapavedellä yleisesti hieman heikompi verrattuna tilanteeseen vuonna 2011. Neulasvuosikertoja alueella oli keskimäärin 2.5 (3.5 v.2011) ja harsuuntumisen keskiarvo oli 2.4 (1.4 v. 2011). Heikentymisen syynä ovat todennäköisesti poikkeukselliset sääolosuhteet talvikaudella 2015-16. Suomen mittaushistorian korkeimmat marraskuun ja joulukuun lämpötilat mitattiin vuonna 2015. Tammikuussa 2016 oli maassamme kireä, reilut kolme viikkoa kestänyt, pakkasjakso. Edellinen vähintään yhtä ankara ja pitkäkestoinen tammikuinen pakkasjakso havaittiin maassamme vuonna 1987. Sääolosuhteet talvella 2015-16 olivat vieläkin ankarammat kuin talvella 1986-87.

Koska tutkimuksessa havaittu puiden kunnon heikkeneminen on todennäköisesti talven 2015-16 poikkeuksellisten sääolosuhteiden aiheuttamaa, on tutkimus syytä uusida myös jatkossa viiden vuoden välein. Kuitenkin rikin lisäksi suositellaan neulasten typpianalyysijä sekä tässä tutkimuksessa käytetyn herkemmän arseenianalyysin käyttöä.

Sisältö

1.	Johdanto	4
2.	Rikki, arseeni ja sinkki ympäristössä.....	5
3.	Biologiset vaikutustutkimukset ja noudatetut standardit ja ohjeistot.....	7
3.1	Neulasnäytteiden ottaminen, esikäsittely ja analysointi	7
3.2	Sammalnäytteiden ottaminen, esikäsittely ja analysointi.....	7
3.3	Mäntypuuston visuaalinen vauriokartoitus - elinvoimaisuuden arviointi.....	8
3.3.1	Vauriokartoitus neulasvuosikertojen ja puuston näkyvien oireiden perusteella.....	8
3.3.2	Havupuiden neulaskadon arvioiminen.....	9
3.4	Bioindikaattorimenetelmien luotettavuus ja virhelähteet.....	10
4.	Bioindikaattoritutkimusten tulokset	12
4.1	Neulasten rikkipitoisuudet ja vertailu aiempiin selvityksiin	12
4.2	Sammaleen sinkki- ja arseenipitoisuudet ja vertailu aiempiin selvityksiin	14
4.3	Puuston vaurioluokitus ja vertailu aiempiin selvityksiin	18
5.	Yhteenveto ja suositukset	21
	Kirjallisuus.....	22

LIITE 1: Enwin Oy:n vuoden 2016 näytealojen koordinaatit Haapavedellä

LIITE 2: Laktiumin analyysitulokset

Bibliografinen viite: Tamminen, A., Tamminen T., Haapaveden kaupungin ilman bioindikaattoriseuranta vuonna 2016. Ympäristöpalvelut HELMI. Enwin Oy, Pirkkala, 2016

1. Johdanto

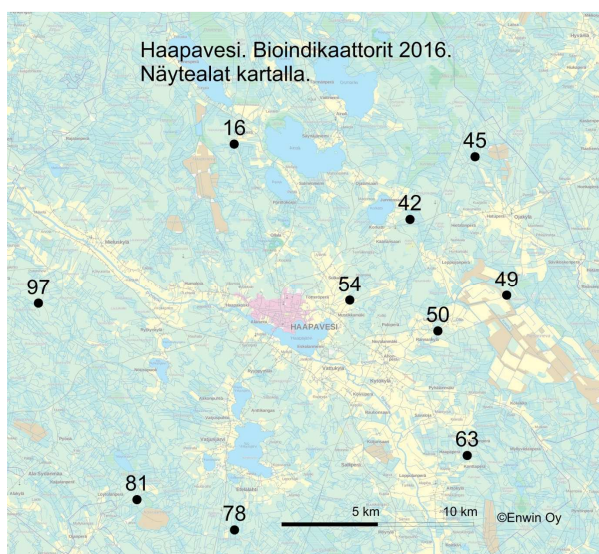
Enwin Oy toteutti Ympäristöpalvelut Helmin tilaaman Haapaveden ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksen vuonna 2016. Tämä on järjestyksessä kolmas 5 vuoden välein tehtävä 10 pisteen tutkimusverkostoon perustuva bioindikaattoritutkimus Haapavedellä. Työ on toteutettu aiemmin vuosina 2011 ja 2006 (Pöyry).

Vuosina 1988 sekä 1995–1996 kartoitettiin mäntyjen kuntoa, männynneulasten rikkipitoisuuksia ja sammalen metallipitoisuuksia yhteensä sadalta (100) näytealueelta, jotka sijaittivat eri puolilla Haapaveden kaupungin aluetta 1995–1996 (Niskanen, I.) ja 1988 (Metsäntutkimuslaitos).

Tässä bioindikaattoriselvityksessä tehtiin seuraavat vaikutustutkimukset kymmeneltä näytealalta:

- d. Neulasten rikkipitoisuudet (S)
- e. Seinäsammalen sinkki- ja arseenipitoisuudet (Zn ja As)
- f. Puuston vointiluokitus

Näytealat ja tutkimukset olivat pääosin samat kuin edellisessä selvityksessä vuodelta 2011. Kahdelta näytealalta oli puut hakattu, joten näyteala siirrettiin viereiseen metsään (alat 42 ja 54), kuva1 ja liite 1.



Näyteala	Sijainti
16	Keltaperä
42*	Hietalanperä
45	Paskoneva
49	Piipsanneva
50	Piipsanneva
54*	Mustikkamäki
63	Metsonperä
78	Kesonmäki
81	Löytölänperä
97	Kankaanneva

Kuva 1. Näytealat Haapaveden ympäristössä. Numerointi sama kuin aiemmissa selvityksissä.

Neulas- ja sammalnäytteet kerättiin 10.-11. toukokuuta 2016 ennen uuden kasvukauden alkua. Samalla tehtiin myös puuston vaurioluokitus näytealoittain.

2. Rikki, arseeni ja sinkki ympäristössä

Koko Suomessa rikkipäästöt ovat vähentyneet 90 % vuodesta 1990 ja ovat uusimpien v. 2014 tietojen mukaan rikkidioksidioksidina ilmoitettuna n. 44000 tSO₂/vuosi. Haapaveden alueella rikkipäästöt ovat peräisin pääasiassa energiantuotannosta. Haapavesi sijaitsee EMEP-ruudulla (50 km * 50 km), jonka rikkipäästöt ovat tasolla 1000 - 5000 kgSO₂/vuosi, kun kuormitetuimmilla alueilla Suomessa päästöt ovat 10 -kertaiset, yli 10 000 kgSO₂/v. (Kuva 2)

Rikkipuutoksia ei Suomen metsistä tunneta. (Reinikainen ym. 1998.) Humuksesta mitattuna rikki kuvaa kasvupaikan viljavuutta (Tamminen 1998). Rikki on sivuravinne, jota kasvi käyttää valkuaisaineisiin ja sulfolipidien osana kalvorakenteisiin. Rikkikuormituksen indikaattorina käytetään epifyyttikälkien lisäksi neulasten ja sammalten rikkipitoisuuksia. Rikki voi kulkeutua ilmakehässä suhteellisen kauas päästölähteestään, ja se esiintyy ilmassa useimmiten kaasumaisena. Rikkidioksidi aiheuttaa hapanta laskeumaa.

Vaikka rikkipitoisuuden on havaittu kohoavan lähellä päästölähteitä ja laskevan kauempana sekä sammalissa että neulasissa, niitä ei pidetä erityisen hyvinä rikin kertymäindikaattoreina. Koska Suomen rikkipäästöt ovat vähentyneet 90 % vuoden 1990 tasosta, on myös rikkipäästöjen korrelaatio ympäristövaurioihin ja neulasten rikkipitoisuuksiin heikentynyt. Esimerkiksi männyillä rikin on havaittu kuvaavan ensisijaisesti ravinnetilannetta, eikä ilman rikkidioksidi-pitoisuuden ja neulasten pitoisuuksien välillä ole aina havaittu yhteyttä (Innes 1995, Rautjärvi ja Raitio 2003). Lisäksi kasvien aktiiviset fysiologiset prosessit kontrolloivat rikin kertymistä (Moser ym. 1993). Neulasten värivikoja aiheuttavat ravinnepuutokset, hyönteistuhot (esim. kaarnakuoriaiset), sienet (esim. ruskopilkukkariste, männynharmaakariste ja männyn juurikäpä) sekä abioottiset tekijät, esim. ahava. Myös rikki- ja typpipäästöt voivat aiheuttaa värivikaisuutta. (Metla 2012.)

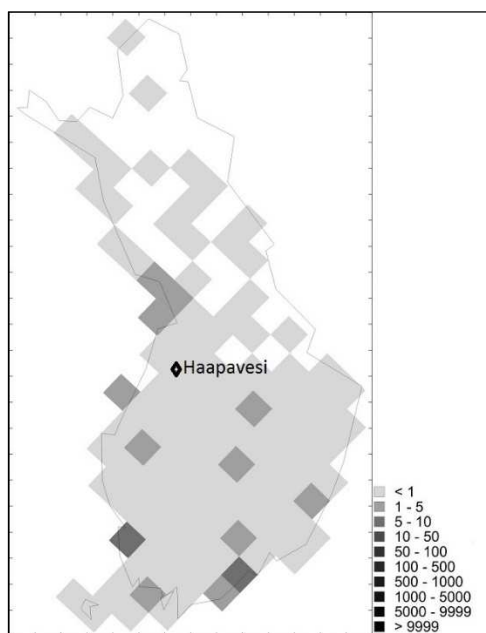
Sinkki on luonnossa yleinen metalli, jota esiintyy luontaisesti runsaasti sulfidipitoisen kallioperän alueella (mustaliuskealueet) ja sulfidimailla, jotka ovat yleisiä Pohjanmaalla. Maaperän happamoituminen ja alumiinin liukoisuuden kasvu lisäävät sinkin kulkeutuvuutta. Sinkki on eläimille ja kasveille tarpeellinen hivenaine, mutta tietyt sinkkiyhdisteet ovat hyvin myrkyllisiä vesieliöille. Korkeat sinkkipitoisuudet voivat johtaa fosforin puutteeseen (Reinikainen 1998).

Sinkkiä käytetään runsaasti metalliteollisuudessa, esim. raudan ja teräksen pinnoituksessa ja messinkiseoksissa. (Reinikainen 2007, 101.) Suomen sinkkipäästöt ovat vähentyneet 77 % vuodesta 1990 lähtien, ja ovat viimeisimmän v. 2013 tietojen mukaan n. 130 t/vuosi. Suomessa ja Haapaveden alueella sinkkipäästöt ovat peräisin pääasiassa energiantuotannosta (74%). Haapavesi sijaitsee EMEP-ruudulla (50 km * 50 km), jonka sinkkipäästöt ovat tasolla 100- 500 kg/vuosi, kun kuormitetuimmilla alueilla Suomessa päästöt ovat 50 -kertaiset, yli 5000 kg/vuosi.

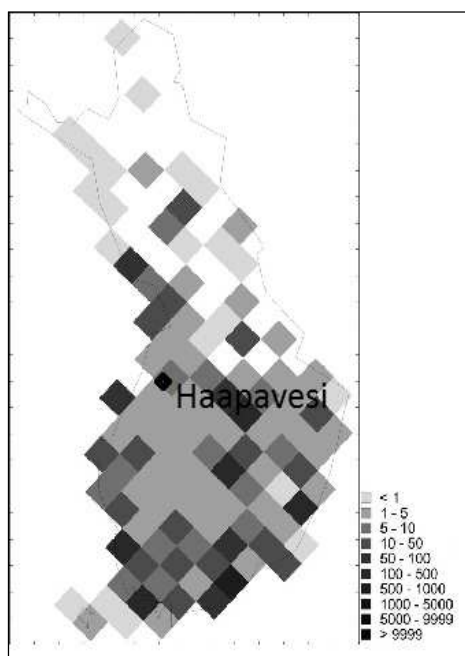
Arseeni on luonnossa yleinen, tavallisimmin sulfidimineraalien kanssa esiintyvä puolimetalli. Arseeni on erittäin myrkyllistä vesieliöille, ja se sitoutuu tavallisesti maaperän oksideihin, orgaaniseen ainekseen ja savimineraaleihin. Karkearakeisissa maalajeissa arseeni voi olla helposti liikkuvaa ja kulkeutua pohjaveteen. Arseenia käytetään mm. elektroniikkateollisuudessa. Suomessa maaperän paikallista arseenikuormitusta on aiheuttanut lähinnä arseenin käyttö puunsuojaukseen CCA-kyllästeinä. (Reinikainen 2007, 93.)

Suomen arseenipäästöt ovat vähentyneet 92 % vuodesta 1990 lähtien, ja ovat viimeisimmän v. 2014 tietojen mukaan n. 2.4 t/vuosi. Haapavesi sijaitsee EMEP-ruudulla (50 km * 50 km), jonka alueella

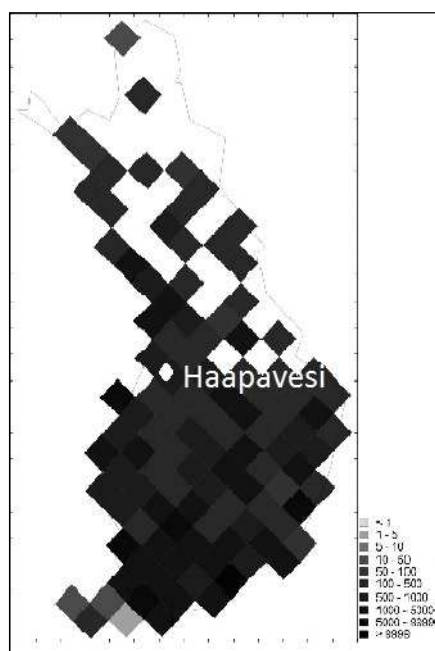
arseenin päästöt ovat tasolla 5- 10 kg/vuosi, kun kuormitetuimmilla ruuduilla Suomessa päästöt ovat satakertaiset, yli 500 kg/v. (Kuva 2)



Rikki(SO₂:na)



Sinkki (Zn)



Arseeni (As)

Kuva 2. Rikkidioksidin (SO₂), arseenin (As) ja sinkin (Zn) päästöjen (ktonni) alueellinen jakautuminen Suomessa vuonna 2012 (Suomen ympäristökeskus 2016).

3. Biologiset vaikutustutkimukset ja noudatetut standardit ja ohjeistot

Haapaveden havaintoalat on alun perin perustettu jo vuonna 1988 tehdyssä laajassa bioindikaattoritutkimuksessa. Näytealojen sijainnit paikannettiin GPS -laitteistolla. Havaintoalat sijaitsivat suhteellisen harvoissa männiköissä, joissa aluspuuston aiheuttama varjostus oli mahdollisimman vähäistä. Kahdesta kohteesta (nro 42 Hietalanperä ja nro 54 Mustikkamäki) oli puusto kaadettu, jolloin lähialueelta otettiin uusi näyteala. Havaintoalat (10 kpl) on esitetty kuvassa 1.

Biologiset vaikutustutkimukset perustuvat standardoitujen tai yleisessä käytössä olevien bioindikaattorimenetelmien käyttöön. Tässä työssä käytettiin seuraavia menetelmiä:

- *SFS 5669 Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten kokonaisrikkipitoisuus. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen.*
- *SFS 5781 Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten rikkipitoisuuden määrittäminen ICP-emissiospektrometrillä*
- *SFS 5671 "Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen"*
- *Näkyvien mäntyvaurioiden luokitteluperusteet (Jokinen 1972, Salemaa 1993).*
- *Harsuuntumislukitus (Jukola-Sulonen et al., 1990, Salemaa 1991).*

3.1 Neulasnäytteiden ottaminen, esikäsittely ja analysointi

Neulasnäytteet otettiin 10.-11.5. 2016 yhteensä 10 koealalta viidestä puusta kolme oksaa kustakin ja esikäsiteltiin erottamalla niistä 2. vuosikerran neulaset. Kustakin näytepuusta katkaistiin 3 - 4 oksaa eri puolilta latvustoa 8 - 12 metrin korkeudelta. Havaintoalan kokoomanäytteet säilytettiin muovipusseissa ulkolämpötilassa näytteiden esikäsittelyyn asti. Erotellut toisen vuosikerran neulasnäytteet toimitettiin laboratorioon analysointia varten.

Neulasten rikkipitoisuudet analysoi Labtium Oy, joka on Mittatekniikan keskuksen akkreditoima laboratorio T025. Laboratoriossa neulasten rikkipitoisuus määritettiin ICP-OES-tekniikalla standardin SFS-EN ISO 11885 mukaan (*SFS-EN ISO 11885:2007 Water quality -- Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)*). Rikkipitoisuuden määrittämisraja oli 20 mgS/kg. Menetelmä vastaa standardia SFS 5781.

3.2 Sammalnäytteiden ottaminen, esikäsittely ja analysointi

Sammalnäytteet otettiin standardin *SFS 5671 Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen* mukaisesti. Näytelajina käytettiin seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*). Seinäsammalnäytteet kerättiin havaintoaloilta tippuvesivyojhykkeen ulkopuolelta näytepusseihin. Esikäsittelyssä sammaleesta erotettiin analyysiä varten sammaleen vihreä osa. Sammaleen elävä, vihreä osa kertoo n. 3 vuoden ilmalaskeumasta keväästä 2013 – näytteenottoajankohtaan 5/2016.

Sammaleen sinkki- ja arseenimäärityksen suoritti Labtium Oy, joka on Mittatekniikan keskuksen akkreditoima laboratorio T025. Sammaleen sinkkipitoisuus määritettiin ICP-OES-tekniikalla standardin SFS-EN ISO 11885 mukaan (*SFS-EN ISO 11885:2007 Water quality -- Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)*). Sinkin määritysraja oli 1 mgZn/kg. Arseenin osalta aiemmissa tutkimuksissa 2006 ja 2011 sammalnäytteiden arseenipitoisuudet jäivät kaikilla näytealoilla alle määritysrajan (0.2 mg/kg), joten tässä uudessa 2016 tutkimuksessa päätettiin valita herkempi analyysimenetelmä. Sammaleen arseenipitoisuus analysoitiin ICP-MS –tekniikalla, jolloin arseenin määritysraja oli 0.05 mgAs/kg.

3.3 Mäntypuuston visuaalinen vauriokartoitus - elinvoimaisuuden arviointi

Tutkimusalueen mäntyjen näkyvät vauriot arvioitiin visuaalisesti edellä mainituilta 10 havaintoalueelta. Puuston vauriokartoitus tehtiin samoilla aiemmissa Haapaveden tutkimuksissa käytetyillä menetelmillä **neulasvuosikertojen määrään ja kuntoon** perustuen ja **suhteellisen neulaskadon eli harsuuntumisen** arvioinnilla.

Havupuiden neulaskato ei ilmennä nimenomaisesti ilman epäpuhtauksien vaikutuksia, vaan ensisijaisesti puun yleistä elinvoimaisuutta. Puun kasvupaikka, ikä, ilmasto-olosuhteet, sienitaudit, hyönteiset ja muut tuhonaiheuttajat vaikuttavat myös neulaskatoon. Epäpuhtauksienkuormitus yhdessä näiden tekijöiden kanssa voi johtaa suurempaan neulaskatoon kuin mitä tavattaisiin puhtaassa elinympäristössä (Jussila ym. 1999, Lindgren 2007). Vaikka neulaskato ilmentääkin ilmanlaatua jokseenkin huonosti, on se kuitenkin selkeä puiden yleiskunnon mittari. Lisäksi neulaskadon arviointi on menetelmänä helppo ja nopea toteuttaa, ja sitä käytetäänkin paljon kansainvälisessä metsien tilan seurannassa. Arviot puun neulaskadon määrästä kirjattiin prosentteina, ja lisäksi arvioitiin neulasvuosikertojen määrä, mahdolliset tuhot ja taudit sekä neulasten väriasiat (kellastuminen tai ruskettuminen).

3.3.1 Vauriokartoitus neulasvuosikertojen ja puuston näkyvien oireiden perusteella

Näytteiden esikäsittelyn yhteydessä kirjattiin muistiin oksien neulasvuosikertojen määrä, neulasissa mahdollisesti havaitut värimuutokset sekä tarkempi arvio oksien pinnoilla esiintyneistä jäkälistä ja viherlevistä. Neulasvuosikertojen ja neulasvaurioiden määrät laskettiin 15 osanäytteen keskiarvona. Neulasten värimuutokset kertovat neulasvaurioiden määrästä. Neulasissa esiintyvien kellertävien ja ruskeiden laikkujen sekä ruskeakärkisten neulasten osuudet arvioitiin taulukossa 2 esitetyn luokittelun mukaisesti. Lisäksi laskettiin nekroottisten neulasten osuudet.

Kunkin havaintoalueen puusto luokitellaan taulukon 1 mukaisiin vointiluokkiin, mikäli yli puolet alueen puista täytti vaurioluokan kriteerit.

Esimerkiksi ensimmäisen vointiluokan havaintoalueella, joka edustaa ns. taustaa, vähintään puolet puista tulee olla vailla näkyviä vaurioita. Havaintoalueille laskettiin luokka-arvo eri vointiluokkiin kuuluvien puiden osuuksien perusteella painotettuna keskiarvona.

Taulukko 1. Neulasvaurioiden arvioinnissa käytetty luokittelu (Hyvärinen ym. 1993).

Luokka	Kuvaus
0	ei havaittavia muutoksia
1	< 10 % neulasissa näkyviä muutoksia
2	10-50 % neulasista näkyviä muutoksia
3	yli 50 % neulasissa näkyviä muutoksia

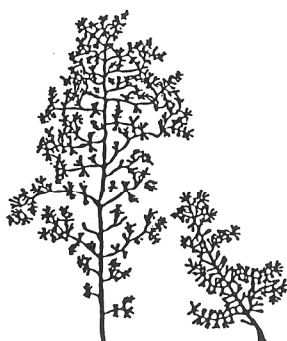
3.3.2 Havupuiden neulaskadon arvioiminen

Havupuiden neulaskadon määrää eli harsuuntumista arvioitiin näytteenoton yhteydessä metsäntutkimuslaitoksen (Metla) arviointiohjeiden mukaisesti (esim. Hyvärinen ym. 1993).

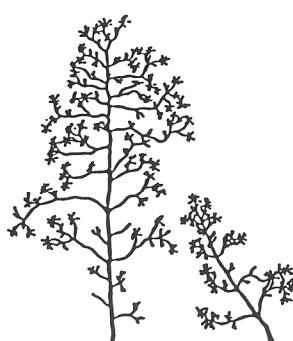
Neulaskadon arvioinnissa tarkasteltavan puun neulasmassaa verrattiin suhteessa samalle kasvupaikalle kuvitellun täysin terveen puun kanssa. Alle 20 % harsuuntuneen männyn katsotaan olevan vielä terve tai lähes vaurioitumaton (luokat 1 ja 2) (Salemaa et al., 1991). Tällöin neulaskadon katsotaan kuuluvan luontaisen neulasmäärän vaihteluun. Harsuuntumista arvioitiin tarkastelemalla kohdepuuta puun eri puolilta noin puun pituuden etäisyydeltä. Neulaskadon määrää arvioitiin elävän latvuksen ylimmästä 2/3-osasta. Havainnot puiden neulaskadosta tehtiin puukohtaisesti viidessä neulaskatoluokissa taulukon 2 mukaisesti. Kuvassa 3 nähdään eriasteista neulaskatoa.

Taulukko 2. Neulaskadon arvioinnissa käytetty luokittelu.

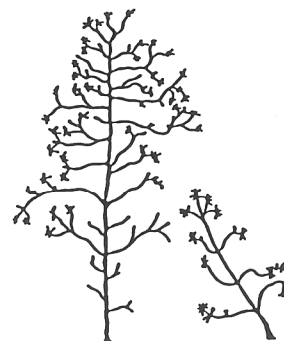
Luokka	Neulaskadon osuus %
1	0-20
2	21-40
3	41-60
4	61-80
5	81-100



Terve mänty
neulaskato 0 %
neulasvuosikertoja 4



Selvästi harsuuntunut
neulaskato 30 – 50 %
neulasvuosikertoja 2



Pahasti harsuuntunut
neulaskato > 80 %
neulasvuosikertoja 1

Kuva 3. Harsuuntuminen eli neulaskato männyllä (Salemaa et al., 1991).

3.4 Bioindikaattorimenetelmien luotettavuus ja virhelähteet

Neulasten rikkipitoisuudet

Neulasten rikkipitoisuuksien määrittämisellä pyritään selvittämään ilman kautta leviävien epäpuhtauksien kuormituksen alueellisia eroja.

Neulasten rikkipitoisuudet kuvastavat osittain ilman kautta tulevaa kuormitusta. Nämä aineet kulkeutuvat neulasiin myös maaperästä, joten myös kasvupaikka vaikuttaa niiden pitoisuuksiin neulasissa. Puhtailla alueilla neulasten rikkipitoisuus vaihtelee 400-900 mgS/kg (Huttunen et al. 1980,1985). Rikkipitoisuuden katsotaan olevan koholla, kun se ylittää 900 mgS/kg. Euroopassa (YK/ECE) on esitetty alimmaksi rajaksi 1100 mgS/kg (YK/ECE 2003). Puhtailla alueilla neulasten rikkipitoisuus vähenee neulasten vanhetessa. Kuormitetuilla alueilla pitoisuus sen sijaan kasvaa neulasten vanhetessa (Jussila ym. 1999). Myös näytteenottojaksoa edeltävät sääolosuhteet vaikuttavat neulasten rikkipitoisuuteen. Talvella neulaset keräävät pinnalleen rikkiä, mikä voi nopeasti huuhtoutua sateiden vaikutuksesta (Huttunen et al. 1985). Koska Suomen rikkipäästöt ovat vähentyneet 90 % vuoden 1990 tasosta, on myös rikkipäästöjen korrelaatio ympäristövaurioihin ja neulasten rikkipitoisuuksiin heikentynyt.

Keski-Euroopan metsiin sovellettavissa luokitusarvoissa on annettu joidenkin alkuaineiden pitoisuuksille myös pitoisuuksien ylärajat, neulasten rikkipitoisuudelle se on 1800 mgS/kg. Nämä luokitteluarvot on laadittu Keski-Euroopan olosuhteisiin sopiviksi, joten ne eivät välttämättä päde Suomessa, koska luonnonolosuhteet ovat erilaiset (Jussila ym. 1999).

Sammaleen sinkki - ja arseenipitoisuudet

Mattomaisena kasvustona kasvavat sammaleet soveltuvat hyvin ilmaperäisen raskasmetallilaskeuman tutkimiseen. Pohjoismaisissa tutkimuksissa on yleensä käytetty seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*) tai kerrossammalta (*Hylocomium splendens*), jotka molemmat ottavat ravinteensa lähes yksinomaan sadevedestä. Seinä- ja kerrossammaleen lehdet suodattavat tehokkaasti sateen mukana ja kuivalaskeumana tulleita hiukkasia. Sammalmaton elävä osa on 3-5 vuotta vanha, jolta ajalta on saatavissa tietoa ilmaperäisestä laskeumasta.

Männyn neulasvuosikerrat ja neulasten kunto

Männyn neulasvuosikertojen laskenta on suhteellisen yksinkertaista ja luotettavaa, johtuen vuosikasvaimien kasvutavasta. Sen sijaan neulasten kunnon luokitus on aina subjektiivista ja voi vaihdella riippuen arvioijan asettamasta skaalasta.

Havupuiden neulaskato eli harsuuntuminen

Havupuiden neulaskatoon vaikuttavat ilmansaasteiden lisäksi monet luonnolliset tekijät, mm. puun ikä, kasvupaikka, sääolosuhteet, tuholaiset ja kasvitaudit. Puun neulaskadon määrää pidetäänkin lähinnä sen elinvoimaisuuden kuvaajana. Neulaskadon arvioinnissa harsuuntuneeksi katsotaan puut, joiden neulaskato on yli 20 %. Tätä pienemmän neulaskadon katsotaan kuuluvan luontaiseen neulasmäärän vaihteluun (Salemaa et al. 1991).

Laajassa valtakunnallisessa metsien terveydentilan seurannassa metsikön ikä, puuston läpimitta ja kasvupaikan viljavuus selittivät yli 60 % männyn harsuuntuneisuuden vaihtelusta. Mäntyjen harsuuntuneisuus näytti olevan pienintä siellä, missä rikki- ja kokonaistyyppilaskeumat olivat pienimmät, mutta harsuuntuneisuus ei kuitenkaan lisääntynyt suoraviivaisesti laskeuman lisääntyessä. Pohjois-Suomen aineistossa männyn neulasten typpi- ja fosforipitoisuudet pienenevät ja booripitoisuus nousi harsuuntuneisuuden kasvaessa. Etelä-Suomessa kuparipitoisuuden todettiin kasvavan harsuuntuneisuuden myötä (Lindgren et al. 1998).

Männyllä neulaskato ilmenee usein epätasaisena eli puussa voi olla yksittäisiä oksia, jotka ovat selvästi voimakkaammin harsuuntuneita kuin muut oksat. Voimakkaassa neulaskadossa latvus harsuuntuu yleensä tasaisemmin. Myös neulasvuosikertojen määrää voidaan pitää puun elinvoimaisuutta kuvaavana tunnuksena. Neulaskadon lisääntyessä yleensä myös puun neulasvuosikertojen määrä vähenee.

Latvuksen kunnon arvioiminen on subjektiivista ja arviointitulokseen vaikuttavat monet virhelähteet, jotka voivat aiheutua esimerkiksi metsikön tiheydestä, sääoloista ja valaistuksesta. Subjektiivisuudestaan huolimatta harsuuntumisen arviointi on käyttökelpoinen ja suhteellisen nopea menetelmä arvioitaessa puiden elinvoimaisuutta. Menetelmän subjektiivisuudesta johtuvia eroja voidaan vähentää arvioijien koulutuksella. Eri paikkakunnilla tehtyjen tutkimusten tulosten vertailukelpoisuutta vähentävät mm. arvioijien väliset erot, puiden erilaiset ikä- ja kokojakaumat ja sekä erilaiset kasvupaikat (Salemaa et al., 1993).

Metsäntutkimuslaitoksen arvioijien vertailussa on todettu, että 90 % yksittäisistä puista arvioidaan yhden neulaskatoluokan (± 10 %) virhemarginaalien sisälle. Näissä vertailuissa ei ole todettu tilastollisia eroja eri arvioijien välillä verrattaessa eri harsuuntumislukoihin luokiteltujen puiden osuuksia (Salemaa et al., 1993).

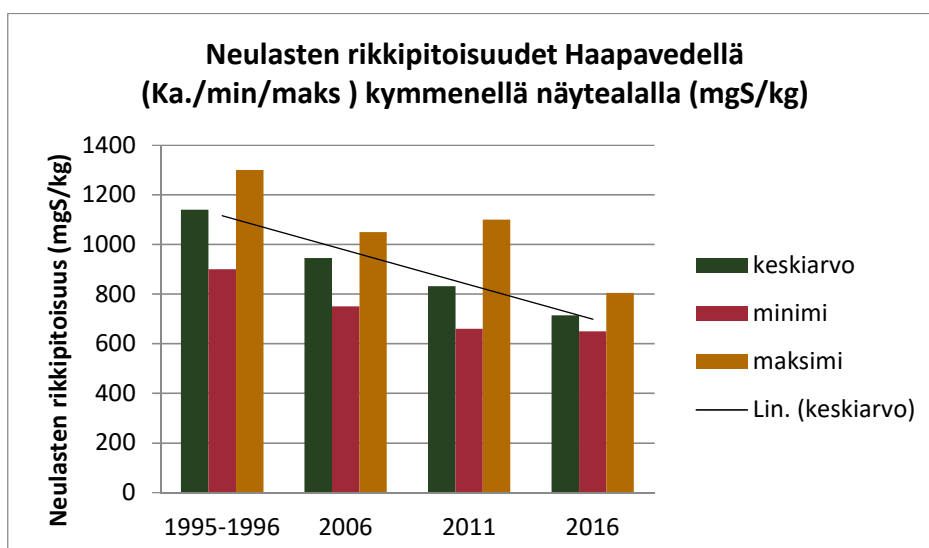
4. Bioindikaattoritutkimusten tulokset

4.1 Neulasten rikkipitoisuudet ja vertailu aiempiin selvityksiin

Neulasten rikkipitoisuudet analysoitiin 2. vuosikerran neulasista ja tulokset taulukoitu havaintoalakohtaisesti taulukossa 3, jossa tuloksia on verrattu myös aiempiin tutkimuksiin havaintoaloittain. Neulasten rikkipitoisuuden keskiarvot sekä minimi- ja maksimipitoisuudet on esitetty kuvassa 4, josta näkyy myös neulasten rikkipitoisuuden trendi eri vuosien tutkimuksissa.

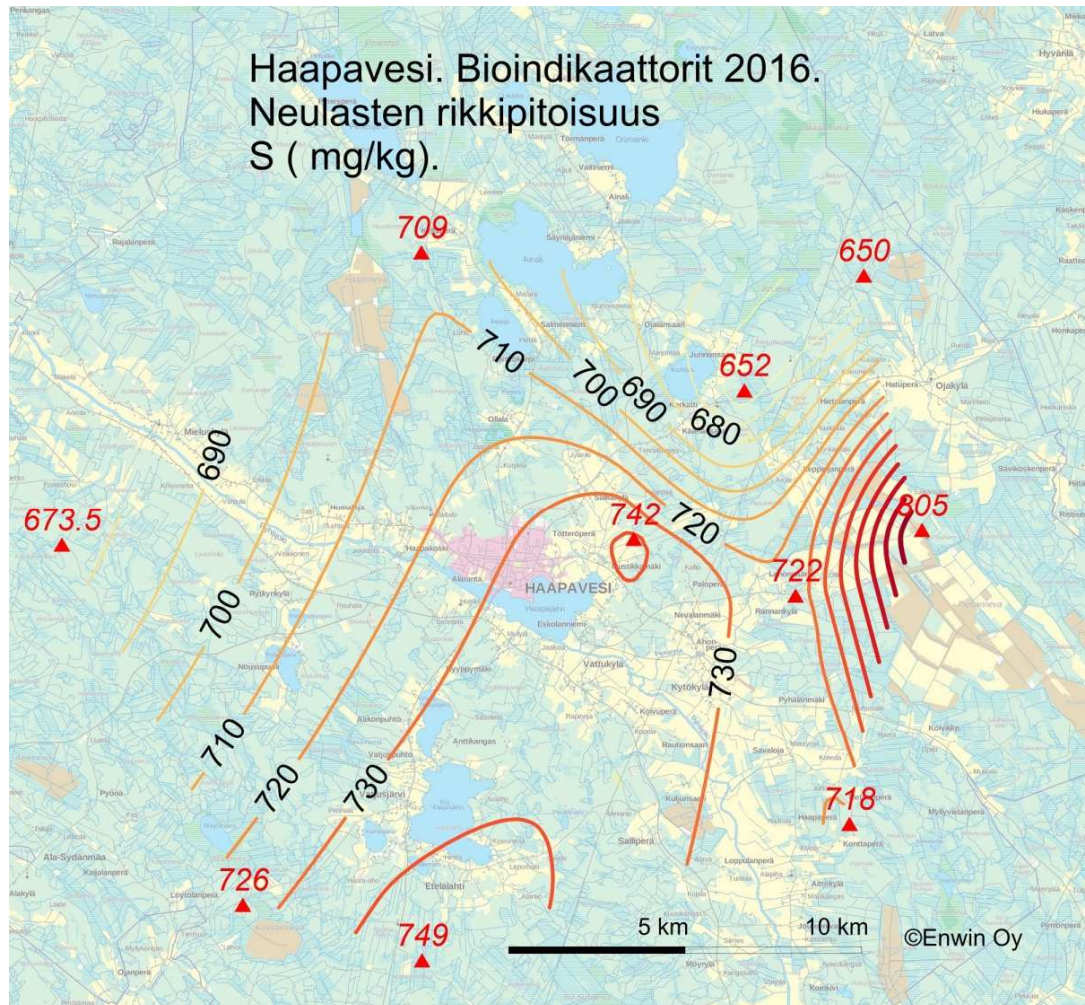
Taulukko 3. Männynneulasten 2. vuosikasvaimen kokonaisrikkipitoisuudet (mgS/kg). Vuoden 2016 bioindikaattoritutkimuksen tulokset verrattuna aikaisempiin tutkimuksiin. (suurin pitoisuus on lihavoituna kursivilla)				
Näyteala	1995-1996	2006	2011	2016
	mgS/kg	mgS/kg	mgS/kg	mgS/kg
16	1000	880	930	709
42*	1300	910	760	652
45	1200	750	660	650
49	1300	1040	1100	805
50	1300	1010	920	722
54*	1200	950	840	742
63	900	1050	780	718
78	1000	1000	730	749
81	1100	910	770	726
97	1100	950	820	674
keskiarvo	1140	945	831	715
minimi	900	750	660	650
maksimi	1300	1050	1100	805

*alat 42 ja 54 oli hakattu, siirretty viereen v. 2016



Kuva 4. Männyn neulasten rikkipitoisuuden kehitystrendi Haapavedellä.

Kuvassa 5 on neulasten rikkipitoisuuksista piirretty havainnollinen aluejakaumakuva Haapaveden kaupungin ympäristössä.



Kuva 5. Neulasten rikkipitoisuus (mgS/kg) aluejakaumakuvana vuoden 2016 bioindikaattoritutkimuksessa Haapavedellä.

Puhtailla alueilla neulasten rikkipitoisuus vaihtelee 400-900 mgS/kg (Huttunen et al. 1980¹1985²). Rikkipitoisuuden katsotaan olevan koholla kun se ylittää 900 mgS/kg. Euroopassa (YK/ECE) on esitetty alimmaksi rajaksi 1100 mgS/kg (YK/ECE 2003³). Neulasten rikkipitoisuudet alittivat Haapavedellä kaikilla havaintoaloilla 900 mgS/kg pitoisuuden (650 - 805 mkgS/g).

Haapavedellä neulasten rikkipitoisuus on laskenut bioindikaattoritutkimusten aloittamisesta lähtien, vuodesta 1995 nykypäivään. Samanaikaisesti mm. rikkipitoisten polttoaineiden käyttö on jatkuvasti vähentynyt mm. energiantuotannossa ja liikenteessä.

Neulasten rikkipitoisuuksien vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin

Taulukossa 4 on esitetty neulasten rikkipitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot Haapavedellä verrattuna Hämeen 2014, Tampereen 2013, Kokkola-Pietarsaari-alueen 2012 JA Kemijärven 2005 neulastutkimuksiin. Haapavedellä neulasten rikkipitoisuudet ovat pienimmät näihin vertailualueisiin verrattuna (Ruuth, 2016, Aro, 2013, Huuskonen, 2013, Tamminen,T.,2005)

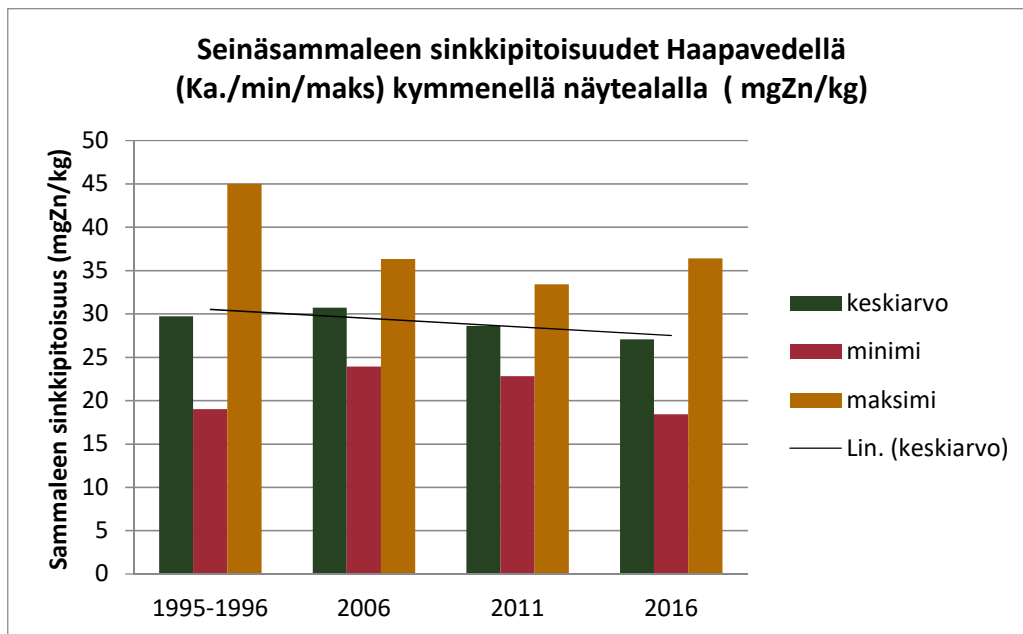
Taulukko4. Neulasten rikkipitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot Haapavedellä verrattuna Hämeen, Tampereen, Kokkola-Pietarsaari-alueen ja Kemijärven neulastutkimuksiin.			
S mg/kg	keskiarvo	pienin	suurin
Haapavesi 2016	711	650	805
Häme 2014	1060	750	1650
Tampere 2013	1032	909	1180
Kokkola-Pietarsaari -alue 2012	947	710	1400
Kemijärvi 2005	864	729	1068

Metsäntutkimuslaitoksen neulastutkimuksissa typpipitoisuuksien on havaittu kasvavan Metlan neulastutkimuksen havaintoaloilla Suomessa (Merilä,P. 2013). Syynä voi olla se, että Suomen rikkipäästöt ovat pienentyneet 1/10 -osaan vuodesta 1990, mutta typpipäästöt vain puolittuneet samassa ajassa. Jatkossa rikin lisäksi suositellaan neulasten typpianalyysijä Haapavedellä.

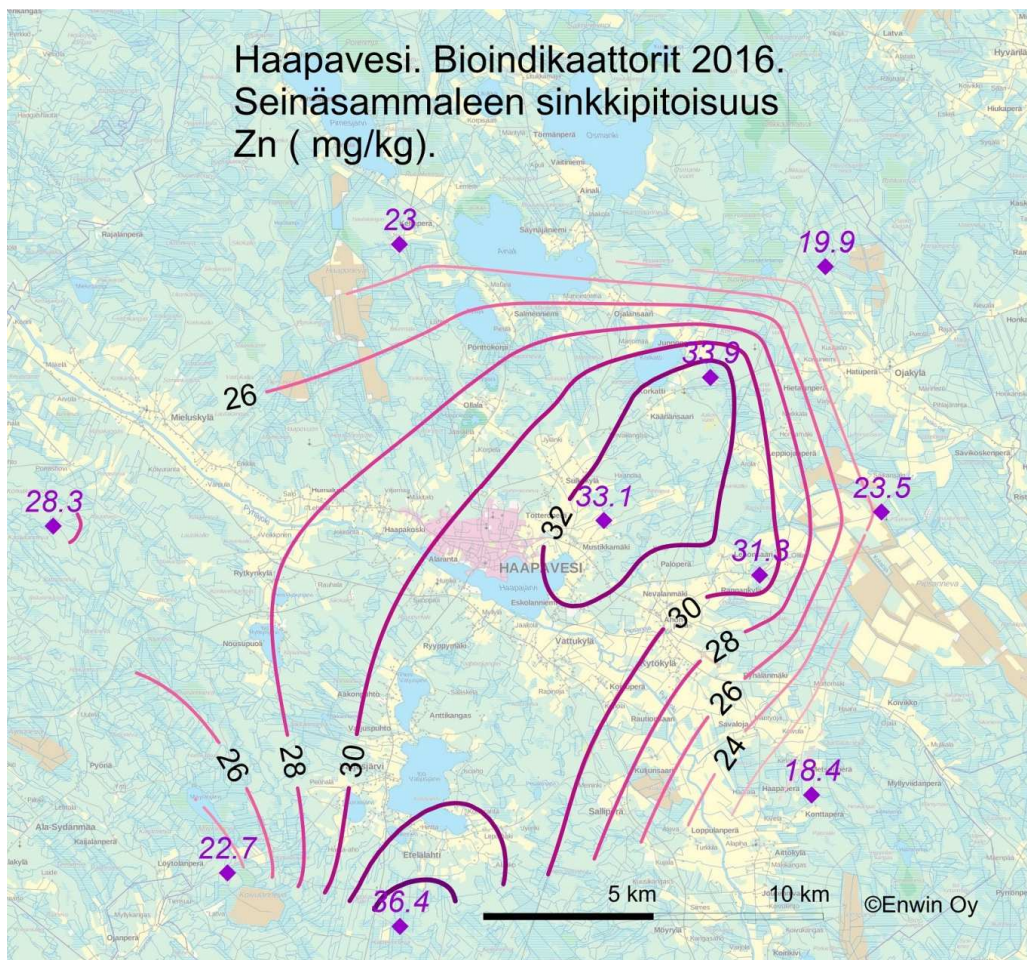
4.2 Sammaleen sinkki- ja arseenipitoisuudet ja vertailu aiempiin selvityksiin

Taulukossa 5 on sammaleen sinkkipitoisuudet (mgZn/kg) havaintoaloittain vuoden 2016 tutkimuksessa ja vertailu edellisiin tutkimuksiin. Kuvassa 6 on esitetty sammaleen sinkkipitoisuuden kehitystrendi Haapavedellä perustuen eri vuosien analyysituloksiin. Kuvassa 7 on aluejakaumakuva sammaleen sinkkipitoisuudesta vuonna 2016 kymmenen näytealan perusteella Haapavedellä.

Taulukko 5. Seinäsammaleen sinkkipitoisuudet (mgZn/kg). Vuoden 2016 bioindikaattoritutkimuksen tulokset verrattuna aikaisempiin. (suurin pitoisuus on lihavoituna kursivilla) *alat 43 ja 54 oli hakattu, siirretty viereen v. 2016				
Näyteala	1995-1996	2006	2011	2016
	mgZn/kg	mgZn/kg	mgZn/kg	mgZn/kg
16	19	30.1	25.6	23.0
42*	29	36.3	28.0	33.9
45	45	30.5	22.8	19.9
49	42	23.9	24.8	23.5
50	24	33	29.8	31.3
54*	24	30.9	33.4	33.1
63	29	33.7	28.1	18.4
78	28	33.4	28.5	36.4
81	23	25.5	32.0	22.7
97	34	29.8	32.7	28.3
keskiarvo	29.7	30.7	28.6	27.05
minimi	19	23.9	22.8	18.40
maksimi	45	36.3	33.4	36.40



Kuva 6. Sammaleen sinkkipitoisuuden (mgZn/kg) kehitystrendi Haapavedellä.



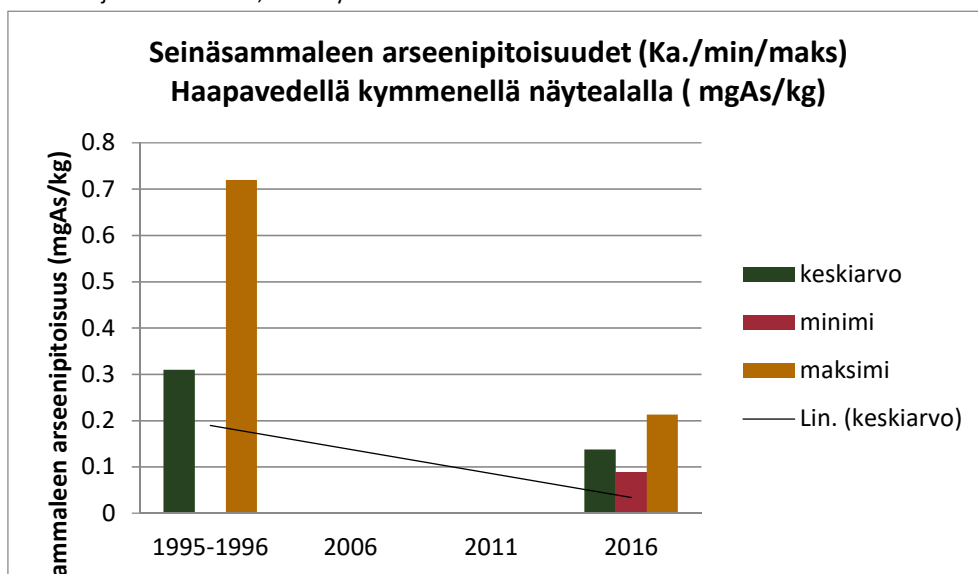
Kuva 7. Sammaleen sinkkipitoisuus (mgZn/kg) aluejakaumakuvana vuoden 2016 bioindikaattoritutkimuksessa Haapavedellä.

Sammaleen sinkkipitoisuudet ovat tutkimustulosten perusteella keskimäärin edelleen laskeneet Haapavedellä. Kesonmäellä (havaintopiste nro 78) esiintyvä korkein pitoisuus (36.4 mgZn/kg) aiheutuu todennäköisesti paikallisista päästöistä (pienpoltto).

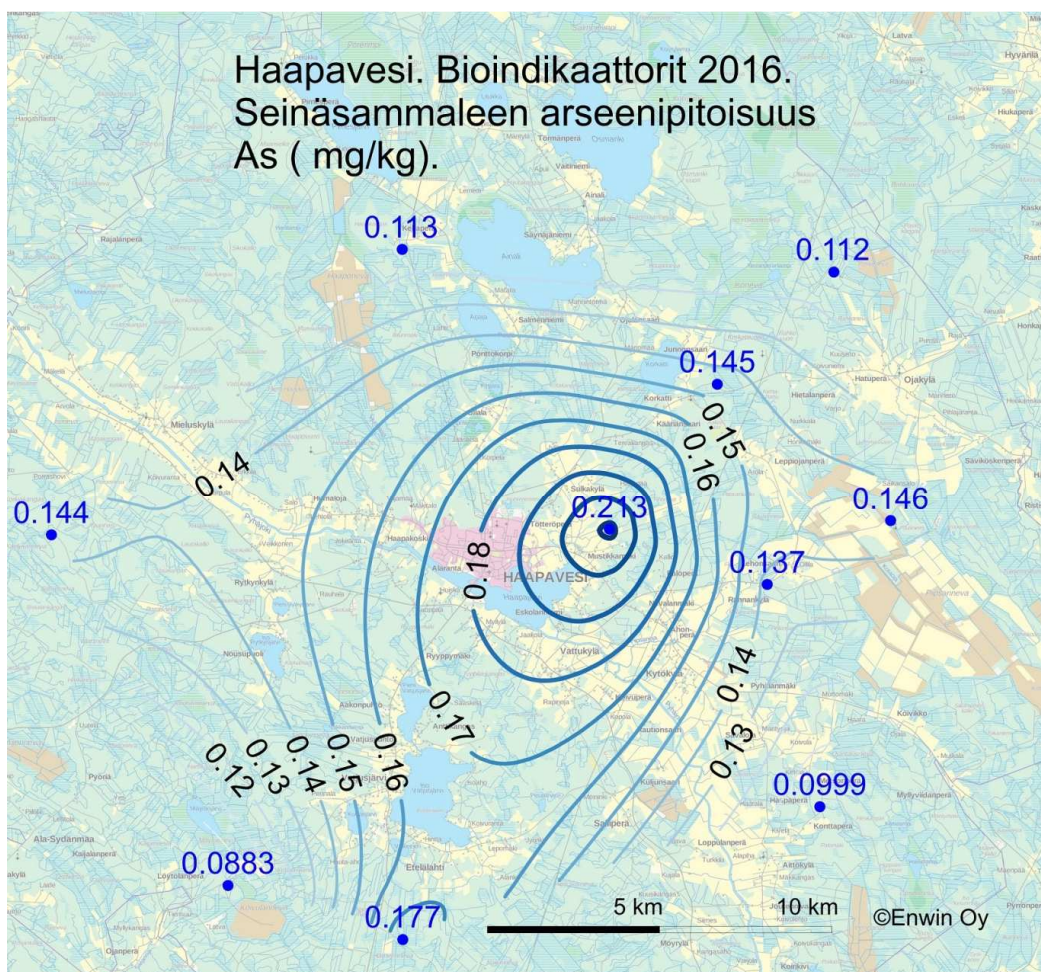
Taulukossa 6 on sammaleen arseenipitoisuudet (mgAs/kg). Haapavedellä vuoden 2016 tutkimuksissa ja vertailu edellisiin tutkimuksiin samoilla havaintoaloilla. Vuosina 2006 ja 2011 tulokset olivat ale havaintorajan (0.2 mgAs/kg). Sinkkipitoisuuden kehitystrendi 90-luvulta nykypäivään näyttää kuitenkin laskevalta (kuva 8). Kuvassa 9 on sammaltutkimuksen arseenin aluejakauma Haapavedellä kymmenen havaintoalan perusteella.

Taulukko 6. Seinäsammaleen arseenipitoisuudet (mgAs/kg). Vuoden 2016 bioindikaattoritutkimuksen tulokset verrattuna aikaisempiin. (suurin pitoisuus on lihavoituna kursivilla)				
Näyteala	1995-1996	2006	2011	2016
	mgAs/kg	mgAs/kg	mgAs/kg	mgAs/kg
16	<0.1	<0.2	<0.2	0.113
42*	0.63	<0.2	<0.2	0.145
45	0.31	<0.2	<0.2	0.112
49	0.33	<0.2	<0.2	0.146
50	0.72	<0.2	<0.2	0.137
54*	0.17	<0.2	<0.2	0.213
63	0.29	<0.2	<0.2	0.100
78	<0.1	<0.2	<0.2	0.177
81	<0.1	<0.2	<0.2	0.088
97	0.37	<0.2	<0.2	0.144
keskiarvo	0.31	<0.2	<0.2	0.14
minimi	<0.1	<0.2	<0.2	0.09
maksimi	0.72	<0.2	<0.2	0.21

*alat 43 ja 54 oli hakattu, siirretty viereen v. 2016



Kuva 8. Sammaleen arseenipitoisuuden (mg/kg) kehitystrendi Haapavedellä. Vuosina 2006 ja 2011 analyysitulokset olivat alle silloisen määrittäysrajan (<0.2 mg/kg). Vuonna 2016 analyysin määrittäysraja oli 0.05 mgAs/kg.



Kuva 9. Sammaleen arseenipitoisuus (mgAs/kg) aluejakaumakuvana vuoden 2016 bioindikaattoritutkimuksessa Haapavedellä.

Seinäsamman keskimääräinen sinkkipitoisuus on Haapavedellä alhaisempi kuin keskimäärin Suomessa ($27.05 < 31.1$ mgZn/kg). /vrt. Taulukko 7 vuoden 2010 Metlan tilaston mukaan (Metsäntutkimuslaitos 2013). Sammaleen arseenipitoisuuksissa Haapavedellä on kokonaisuutena nähtävissä laskeva trendi 90-luvulta nykypäivään. Haapaveden sammalten arseenipitoisuuden keskiarvo on kuitenkin lievästi korkeampi kuin keskimäärin sammalten arseenipitoisuus Suomessa ($0.14 > 0.11$ mgAS/kg).

Taulukko 7. Sammalten keskimääräiset arseeni- ja sinkkipitoisuudet Suomessa /Metla 2013

Vuosi	Aine (mg/kg)	
	As	Zn
1985	-	38.10
1990	-	36.50
1995	0.26	38.40
2000	0.19	28.80
2005	0.12	32.92
2010	0.11	31.01

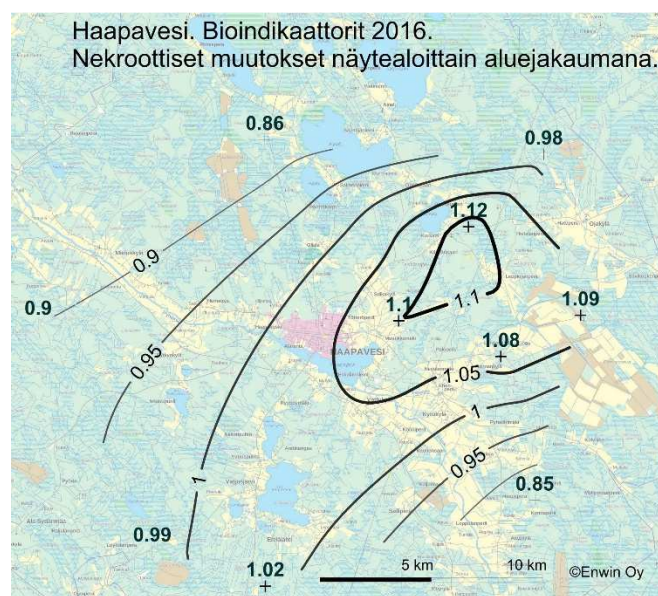
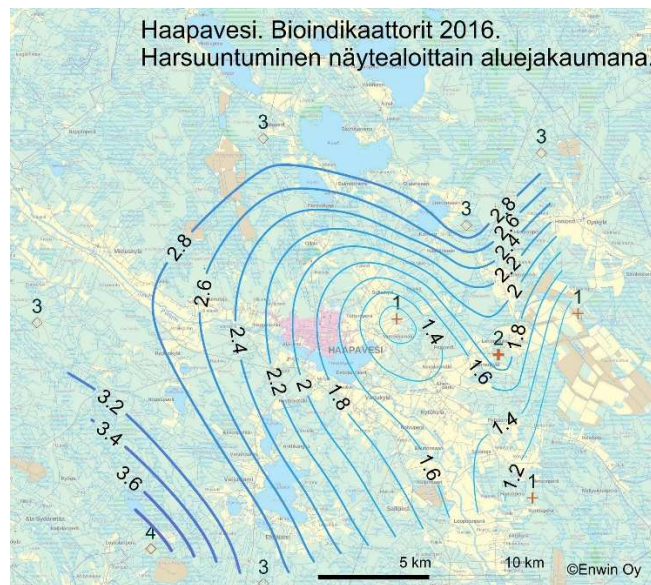
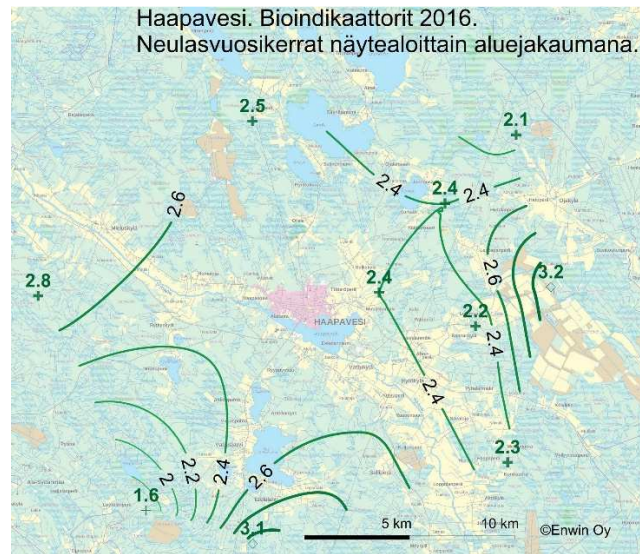
4.3 Puuston vaurioluokitus ja vertailu aiempiin selvityksiin

Puuston vaurioluokituksen tulokset (neulasvuosikerrat, harsuuntuminen ja neulasten nekroottiset muutokset) on esitetty havaintoaloittain taulukossa 8.

Taulukko 8. Puuston vaurioluokituksen tulokset 2016.					
Näyteala	Sijainti	Neulas- vuosikerrat	Harsuun- tuminen	Nekroottiset muutokset	Ulkoiset havainnot neulasista (mm. viherlevä)
16	Keltaperä	2.5	3	0.86	Ei viherlevää eikä jäkäliä. Vähän ilmarakovaurioita. Hyväkuntoisia neulasia.
42	Hietalanperä	2.4	3	1.12	Ei viherlevää. Runsaasti jäkäliä. Ilmaraoissa jonkin verran vaurioita.
45	Paskoneva	2.1	3	0.98	Ei viherlevää, vähän jäkäliä. Kellertäviä neulasia vähän. Vähän ilmarakovaurioita.
49	Piipsanneva	3.2	1	1.09	Ei viherlevää tai jäkäliä. Vähän kellertäviä neulasia. Vähän ilmarakovaurioita.
50	Piipsanneva	2.2	2	1.08	Ei viherlevää. Ei jäkäliä. Yksittäisiä kellertäviä neulasia. Vähän ilmarakovaurioita.
54	Mustikkamäki	2.4	1	1.1	Ei viherlevää eikä jäkäliä. Kellertäviä neulasia jonkun verran. Vähän ilmarakovaurioita.
63	Metsonperä	2.3	1	0.85	Ei viherlevää. yksittäisiä jäkäliä. Vähän ilmarakomutoksia. Vähän kellertäviä neulasia.
78	Kesonmäki	3.1	3	1.02	Ei viherlevää. Ei jäkälää. Vähän kellertäviä neulasia. Vähän ilmarakovaurioita.
81	Löytölänperä	1.6	4	0.99	Ei viherlevää. Vähän jäkälää. Vähän ilmarakovaurioita.
97	Kankaanneva	2.8	3	0.9	Ei viherlevää. Ei jäkälää. Vähän kellertäviä neulasia. Hieman ilmarakovaurioita.

Neulasvuosikertoja alueella oli keskimäärin 2.5 (3.5 v.2011) ja harsuuntumisen keskiarvo oli 2.4 (1.4 v. 2011). Erittäin voimakasta vauriota tai kuollutta puustoa ei kartoituksessa havaittu.

Kuvasarjassa 10 on havaintopisteiden mukaan piirretyt alueelliset jakaumat neulasvuosikertojen määrästä, mäntyjen harsuuntumisesta ja neulasten nekroottisista muutoksista. Keskimmaisestä aluejakaumakuvasta nähdään, että Haapaveden pohjois- ja lounaispuolella oli havaittavissa luokan 3-4 mukaista suhteellisen voimakastakin harsuuntumista oksastossa. Samalla neulasvuosikertojen määrä oli pääosin 2-3. Sen sijaan nekroottiset muutokset olivat melko vähäisiä kaikilla havaintoaloilla ja erot niissä olivat pieniä.



Kuva 10. Puiden elinvoimaisuuden arvioinnin aluejakaumat 10 näytealan suhteen.
2016©ENWIN OY

Edelliseen puuston vauriotutkimukseen (v. 2011) verrattuna puuston kunto näyttää hieman heikentyneen, kun vauriokartoituksen perustana on neulasvuosikertojen määrä ja harsuuntuminen (kts. Taulukko 8). Nekroottisissa muutoksissa ei ole merkittävää muutosta havaittavissa vuoden 2011 ja 2016 tulosten välillä. Harsuuntuminen voi johtua monesta syystä: esimerkiksi äkillisistä tuhoista, sienitaudeista tai kuivuudesta. Myös paikalliset olosuhteet, kuten lämmityskauden pienpoltto havaintoalojen läheisyydessä voivat vaikuttaa ilmasto-olosuhteiden lisäksi puustoon.

Lisääntyvää harsuuntumista havaittiin myös viimeisessä Metsien tila – tutkimuksessa vuonna 2012 (Heino, ym. 2013, Nevalainen 2013). Uusimmassa Hämeen bioindikaattoritutkimuksessa Kanta-Hämeessä neulaskadon osuus kasvoi erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$) vuodesta 2002 vuoteen 2014, toisaalta Päijät-Hämeessä neulaskato väheni selvästi verrattuna vuosien 1994 ja 1999 tutkimuksiin (Ruuth, 2014).

Haapavedellä puiden voinnin heikkenemisen syynä eivät ole todennäköisesti ilmapäästöt, vaan poikkeukselliset sääolosuhteet etenkin talvikaudella 2015-16, jolloin pitkän lämpimän jakson jälkeen tuli kova pakkasjakso maan ollessa lumeton. Suomen mittaushistorian korkeimmat marraskuun ja joulukuun lämpötilat mitattiin vuonna 2015. Tammikuussa 2016 oli maassamme kireä, reilut kolme viikkoa kestänyt, pakkasjakso. Edellinen vähintään yhtä ankara ja pitkäkestoinen tammikuinen pakkasjakso havaittiin maassamme vuonna 1987. (Ilmastokatsaukset 12/2015 ja 1/2016). Kesällä 1987 havaittiin toistaiseksi suurimmat neulasvauriot Suomessa (Tikkanen, 1990). Sääolosuhteet talvella 2015-16 olivat vieläkin ankarammat kuin talvella 1986-87.

Taulukko 8. Vuosien 2011 ja 2016 vauriotutkimusten vertailu.						
	2011			2016		
Näyteala nro	Neulas-vuosikerrat	Harsuun-tuminen	Nekroottiset muutokset	Neulas-vuosikerrat	Harsuun-tuminen	Nekroottiset muutokset
16	3.3	1	0.73	2.5	3	0.86
42	3.7	1	1.13	2.4	3	1.12
45	3.6	1	1	2.1	3	0.98
49	3.5	2	1.07	3.2	1	1.09
50	3.5	1	1.07	2.2	2	1.08
54	3.5	1	1.13	2.4	1	1.1
63	3.7	1	0.8	2.3	1	0.85
78	3.3	2	1	3.1	3	1.02
81	3.1	3	1	1.6	4	0.99
97	3.7	1	0.93	2.8	3	0.9
keskiarvo	3.5	1.4	0.99	2.5	2.4	1.02

5. Yhteenveto ja suositukset

Haapavedellä neulasten rikkipitoisuudet ovat pienimmät verrattuna Hämeen 2014, Tampereen 2013 ja Kokkola-Pietarsaari-alueen 2012 neulastutkimuksiin ja vastaavat nykyisin puhtaan taustan arvoja Haapavedellä. Puhtailla alueilla neulasten rikkipitoisuus vaihtelee 400-900 mgS/kg, Euroopassa on esitetty alimmaksi raja-arvoksi 1100 mgS/kg. Jatkossa rikin lisäksi suositellaan neulasten tyyppianalyysijä Haapavedellä.

Erittäin voimakasta vauriota tai kuollutta puustoa ei kartoituksessa havaittu. Haapaveden pohjois- ja lounaispuolella oli havaittavissa luokan 3-4 mukaista suhteellisen voimakastakin harsuuntumista oksastossa. Samalla neulasvuosikertojen määrä oli keskimäärin 2.5. Sen sijaan nekroottiset muutokset olivat melko vähäisiä kaikilla havaintoaloilla ja erot niissä olivat pieniä.

Havupuiden vointi oli mäntyjen vointiluokituksen ja harsuuntumistutkimuksen mukaan Haapavedellä yleisesti hieman heikompi verrattuna tilanteeseen vuonna 2011. Vastaavaa lisääntyvää harsuuntumista havaittiin myös viimeisimmässä Metlan Metsien tila – tutkimuksessa vuonna 2012 ja Hämeen bioindikaattoritutkimuksessa 2014. Harsuuntuminen voi johtua monesta syystä: esimerkiksi äkillisistä tuhoista, sienitaudeista tai kuivuudesta. Haapavedellä syynä ovat mahdollisesti myös poikkeukselliset sääolosuhteet talvikaudella 2015-16, jolloin historiallisen lauhan marras-joulukuun jälkeen tulivat poikkeuksellisen kovat tammikuun pakkaset käytännössä vähäisen tai olemattoman lumipeitteen aikana.

Analysoitujen pitoisuuksien trendi on laskeva Haapavedellä sekä neulasten rikin, että sammalen sinkin ja arseenin osalta. Koko Suomessa rikkipäästöt ovat vähentyneet 90 %, sinkkipäästöt 77 % ja arseenipäästöt 92 % vuodesta 1990 vuoteen 2014. Päästöjen lasku näkyy myös Haapaveden tuloksissa, joskin lievempänä. Haapaveden neulasten rikkipitoisuudet ovat laskeneet 37 %, sinkkipitoisuudet 9% arseenipitoisuudet 71 % vuoden 1995 tilanteeseen verrattuna. Seinäsammalen keskimääräinen sinkkipitoisuus 27 mgZn/kg on Haapavedellä alhaisempi kuin keskimäärin Suomessa (31.1 mgZn/kg). Haapaveden sammalten keskimääräinen arseenipitoisuus 0.14 mgAs/kg oli lievästi korkeampi kuin keskimäärin Suomessa (0.11. mgAs/kg). Esimerkiksi poltettavan turpeen rikki-, sinkki- ja arseenipitoisuudet vaihtelevat huomattavasti suolta ja kerrostumasta toiseen (Parviainen, 2007)

Sammaltutkimuksessa päätettiin Enwin Oy:n toimesta vaihtaa arseenille aiempaa herkempi analyysimenetelmä, koska vuosien 2006 ja 2011 tulokset jäivät kaikilla näytealoilla alle määritysrajan (0.2 mg/kg)., joten tässä uudessa 2016 tutkimuksessa päätettiin valita herkempi analyysimenetelmä. Sammaleen arseenipitoisuus analysoitiin ICP-MS –tekniikalla, jolloin arseenin määritysraja oli 0.05 mgAs/kg.

Koska tutkimuksessa havaittu puiden kunnon heikkeneminen on todennäköisesti poikkeuksellisten sääolosuhteiden aiheuttamaa, on tutkimus syytä uusida myös jatkossa viiden vuoden välein. Rikin lisäksi suositellaan neulasten tyyppianalyysijä sekä tässä tutkimuksessa käytetyn herkemmän ICP-MS -arsenianalyysimenetelmän käyttöä.

Kirjallisuus

Heino, E., & Pouttu, A. (toim.). 2013. Metsätuhot vuonna 2012. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 269. 19 s. ISBN 978-951-40-2422-1(PDF).

Huttunen S. et al.: Dispersion and effects of air pollutants in forest environments. Air pollutants as additional stress factors under northern conditions. Tutkimusraportti. Oulun yliopiston kasvitieteen laitos Oulu 1980, 119 s.

Huttunen S. et al.: Seasonal sulphur contents of pine needles as indices of air pollution. Ann. Bot. Fennici 22:342-359, 1985

Huuskonen, I., Lehtonen, E., Laita, M. Kokkolan Ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattorisuranta vuonna 2012. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 177. 2013

Hyvärinen, ym. 1993: Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. & Nieminen, T. 1993: Metsäluonto ja ilmansaasteet. – Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446. Helsinki.

Ilmastokatsaus 12/2015:

<http://ilmatieteenlaitos.fi/documents/30106/54230464/Katsaus122015.pdf/97f1945f-fab0-41bb-8ab6-7361145feb3e>

Ilmastokatsaus 1/2016: <http://www.ilmastokatsaus.fi/2016/03/28/tammikuun-kirean-pakkasjakson-poikkeuksellisuus-nykyilmastossa/>

Innes, J.L. 1995. Influence of air pollution on the foliar nutrition of conifers in Great Britain. Environmental Pollution 88: 183-192.

Jokinen, J. 1972, Näkyvien mäntyvaurioiden luokitteluperusteet Jokinen J., Kaupunkiyhdyskunta puustovaurioiden aiheuttajana. Helsingin ilman epäpuhtausluonnehdintaa havupuuselvittelyjen valossa. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 74, Helsinki, 55 s.(1972).

Jukola-Sulonen E-L, Havupuiden vauriokartoitus, Ohjeet havupuiden harsuuntumisen arvioinnissa ILME-projektia varten 1985, Metsäntutkimuslaitos, metsänhoidon tutkimusosasto. Moniste, (1985).

Lindgren et al. 1998: Finland. In: Forest condition in Europe. Results of the 1997 crown condition survey. UN/ECE & European Commission, p. 79-80

Merilä, P. Increase in nitrogen concentrations in needles. Metla Bulletin 14.5.2013.

Metsäntutkimuslaitos 1998: Haapaveden kaupungin bioindikaattoritutkimus 1998.

Metsäntutkimuslaitos 2012: <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys>

Metsäntutkimuslaitos 2013: Sammalten raskasmetallipitoisuuksista Suomessa vuosina 1985–2010. 2013. <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/tulokset.htm>.

Moser, B., Punz, W. ja Maier, R. 1993. Inmissionskartierung im Gebieth des Südöstlichen Niederösterreichs anhand des Fichtenborkentests. Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft Österreich 130: 135–155.

Nevalainen, S. Artikkelissa: "Neulaskato yleistynyt Etelä-Suomessa". 14.3.2013.
<http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsä/neulaskato-yleistynyt-etelä-suomessa>

Niskanen, I. 1997: Haapaveden kaupungin ilman laadun bioindikaattoriseuranta vuosina 1995/1996. – Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti 44/ 1997. Jyväskylä.

Parviainen, T., Ruokohelpiviljelyn optimointi suopohjilla. Turvetuotantoalueiden geologisen ympäristön, pohjaturpeen sekä kierrätyslannoitteiden käytön vaikutus ruokohelpin käyttämiin alkuaineisiin ja satoon. Acta Univ. Oul. A 485, 2007

Rautjärvi ja Raitio 2003: Neulasten alkuainepitoisuudet sekä niiden suhde näytepuiden neulaskatoon ja epifyyttijäkäliin Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueella vuosina 2000 ja 2001. Uudenmaan ympäristökeskus, monisteita nro 120. Helsinki.

Reinikainen ym. 1998: Puiden ravinnepuutokset - metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688

Pöyry Finland Oy 2011: Ympäristöpalvelut HELMI, Haapaveden kaupungin ilman bioindikaattoriseuranta vuonna 2011. 25.11.2011

Pöyry Environment Oy 2006: Siikalatvan Ympäristöpalvelut – Haapaveden kaupungin ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta v. 2006.

Reinikainen 2007, 93: Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäysperusteet. Suomen ympäristö 23/2007. Suomen ympäristökeskus, Helsinki

Reinikainen 2007, 101: Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittäysperusteet. Suomen ympäristö 23/2007. Suomen ympäristökeskus, Helsinki

Ruuth, J., Toivanen, H., Kuhmonen, I., Leppänen, E., Kiljunen, A. Kanta- ja Päijät-Hämeen Ilmanlaadun Bioindikaattoritutkimus vuonna 2014. Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 6. 2016

Salemaa, M., Jukola-Sulonen, E.-L. & Lindgren, M. 1991. Forest condition in Finland, 1986–1990. Silva Fennica 25(3): 147–175.

Salemaa et al., 1993 Salemaa, M., Jukola-Sulonen, E.-L., Nieminen, T. & P. Nöjd 1993. Latvustunnukset ja puun kasvu elinvoimaisuuden ilmentäjinä. Teoksessa Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja T. Nieminen (toim.). Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446. Helsinki, Gummerus. ISBN 951-40-1270-4. S. 75-92.

SFS 5669 Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten kokonaisrikkipitoisuus. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen.

SFS 5781 Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten rikkipitoisuuden määrittäminen ICP-emissiospektrometrillä

SFS 5671 "Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen"

SFS-EN ISO 11885 mukaan (SFS-EN ISO 11885:2007 Water quality -- Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)

Suomen ympäristökeskus 2016: [http://www.ymparisto.fi/fi-](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhauksien_paastot/Ilman_epapuhauksien_paastot_Suomessa)

[FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhauksien_paastot/Ilman_epapuhauksien_paastot_Suomessa](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhauksien_paastot/Ilman_epapuhauksien_paastot_Suomessa)

Tamminen, P. 1998. Maaperätekijät. Teoksessa Mähkönen, E. (toim.) Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691. S. 64-82.

Tamminen, T., Tamminen A. :Kemijärven Ilmanlaatu ja päästöjen vaikutustarkkailu 2005. Enwin Oy, Pirkkala, 28.11.2005

Tikkanen, E.: Ilmastostressi ja ilmansaasteet - kesän 1987 neulaskadon syitä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 1990 s. 34-42.

Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio, Metsien tila Euroopassa, kertomus vuodelta 2003, Geneve ja Bryssel 2003

nro	Nimi	Pohjoista leveyttä	Itäistä pituutta
16	Keltaperä	64.219426	25.31234
97	kankaanneva	64.142393	25.10772
81	Löytölänperä	64.052371	25.21884
78	Kesonmäki	64.039550	25.32362
63	Metsonperä	64.076776	25.56965
54	Mustikkamäki	64.147788	25.44052
50	Piipsanneva 2	64.134358	25.53541
49	piipsanneva	64.151757	25.60809
45	Paskoneva	64.216336	25.57089
42	Hietalanperä	64.186469	25.50273

Raporttinumero: 000880

1 (2)

8.6.2016

Saaja:

Enwin Oy
Kivipöytälankeja 2
33920 Pirkkala

Tilauksen tiedot:

Asiakas: Enwin Oy
Tilaus:
Asiakkaan viite: Tamminen Ari
Vastaanottopvm: 26.5.2016

Results

Suorite: 503M(1, 1)
Suorituksen kuvaus: Monialkuainemääritys ICP-MS-tekniikalla
Standardiviite:

Analysis method code	503M *
Parameter	As *
Yksikkö	mg/kg
Määritysraja	>0.05
Näytetunnus / LIMS sample id	
Sammal 16 / S16006962	0.113
Sammal 42 / S16006963	0.145
Sammal 45 / S16006964	0.112
Sammal 49 / S16006965	0.146
Sammal 50 / S16006966	0.137
Sammal 54 / S16006967	0.213
Sammal 63 / S16006968	0.0999
Sammal 78 / S16006969	0.177
Sammal 81 / S16006970	0.0883
Sammal 97 / S16006971	0.144

Suorite: 503P(1, 1)
Suorituksen kuvaus: Monialkuainemääritys ICP-OES-tekniikalla
Standardiviite: SFS-EN ISO 11885

Analysis method code	503P *	503P *
Parameter	S *	Zn *
Yksikkö	mg/kg	mg/kg
Määritysraja	>20	>1
Näytetunnus / LIMS sample id		
Sammal 16 / S16006962		23.0
Sammal 42 / S16006963		33.9
Sammal 45 / S16006964		19.9
Sammal 49 / S16006965		23.5
Sammal 50 / S16006966		31.3
Sammal 54 / S16006967		33.1
Sammal 63 / S16006968		18.4
Sammal 78 / S16006969		36.4
Sammal 81 / S16006970		22.7
Sammal 97 / S16006971		28.3
Neulanen 16 / S16006972	709	

Analysis method code	503P *	503P *
Parameter	S *	Zn *
Yksikkö	mg/kg	mg/kg
Määrittäysraja	>20	>1
Näytetunnus / LIMS sample id		
Neulanen 42 / S16006973	652	
Neulanen 45 / S16006974	650	
Neulanen 49 / S16006975	805	
Neulanen 50 / S16006976	722	
Neulanen 54 / S16006977	742	
Neulanen 63 / S16006978	718	
Neulanen 78 / S16006979	749	
Neulanen 81 / S16006980	726	
Neulanen 97 / S16006981	668	
Neulanen 97 (2) / S16006981 (2)	679	

* Akkreditoitu

8.6.2016

Timo Myöhänen
Kemisti

Jakelu

Enwin Oy

2016©ENWIN OY