

# Enwin

- Vision Keeper -

13.SYYSKUUTA 2021

YMPÄRISTÖPALVELUT HELMI  
Haapavesi



## HAAPAVEDEN KAUPUNGIN ILMANLAADUN BIOINDIKAATTORISEURANTA 2021

Enwin  
- Vision Keeper -

ENWIN OY, 2021

Kivipöytälanukuja 2

33920 Pirkkala

[www.enwin.fi](http://www.enwin.fi)

## TIIVISTELMÄ

---

Enwin Oy toteutti Ympäristöpalvelut Helmin tilaaman Haapaveden ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksen vuonna 2021. Tässä bioindikaattoriselvityksessä tehtiin seuraavat vaikutustutkimukset kymmeneltä näytealalta:

- Neulasten rikkipitoisuus (S)
- Seinäsammaleen arseenipitoisuus (Zn)
- Seinäsammalen sinkkipitoisuus (As)
- Puuston vointiluokitus

Neulas- ja sammalnäytteet kerättiin 8.-9.6. 2021. Samalla tehtiin myös mäntypuuston visuaalinen vauriokartoitus ja elinvoimaisuuden arviointiin liittyvät havainnot.

Analysoitujen pitoisuuksien keskimääräiset pitkäaikaistrendit (1995→2021) ovat edelleen laskevia Haapavedellä sekä neulasten rikkipitoisuuden että sammaleen sinkki- ja arseenipitoisuuksien osalta.

Neulasten rikkipitoisuudet olivat kuitenkin vuonna 2021 hieman korkeammat kuin vuonna 2016 eri havaintoaloilla. Keskimäärin neulasten rikkipitoisuus oli 2021 tutkimuksessa +13 % korkeampi kuin vuonna 2016. Samantyyppistä rikkipitoisuuden nousua on ollut nähtävissä myös mm. Kokkola-Pietarsaaren ja Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimuksissa viimeisimmissä viiden vuoden seurantajaksoissa. Haapavedellä neulasten rikkipitoisuuksien keskiarvo oli 810 mgS/kg (v.2016 715 mgS/kg), mikä on edelleen neulasten luontaisen rikkipitoisuuden tasoa (400-900 mgS/kg).

Vuonna 2021 Haapavedellä sammaleen sinkkipitoisuuden keskiarvo oli 23.9 mgZn/kg, kun se Suomessa on keskimäärin 31 mgZn/kg. Vastaavasti sammaleen arseenipitoisuuden keskiarvo oli 0.09 mgAs/kg, mikä on alempi kuin Suomessa keskimääräinen (0.11 mgAs/kg). Vuoden 2016 tilanteeseen verrattuna Haapavedellä sammaleen sinkkipitoisuus oli laskenut keskimäärin -12 % ja sammaleen arseenipitoisuus keskimäärin -43 %.

Havupuiden vointi oli mäntyjen vointiluokituksen ja harsuuntumistutkimuksen mukaan Haapavedellä yleisesti hieman parempi verrattuna tilanteeseen vuonna 2016. Neulasvuosikertoja alueella oli keskimäärin 2.6 (2.5 v.2016) ja harsuuntumisen keskiarvo oli 1.7 (2.4 v. 2016). Tilanne on lähes sama kuin 10 vuotta aikaisemmin, mikä kertoo, että vuoden 2016 raportissa mainittu poikkeuksellinen pakkasjakso todennäköisesti heikensi puiden kuntoa tilapäisesti ja puiden kunto on palautunut normaaliksi.

## Sisältö

---

TIIVISTELMÄ.....	1
1. Johdanto.....	3
2. Rikki, sinkki ja arseeni päästöissä ja ympäristössä .....	4
2.1 Neulasten rikkipitoisuudet Suomessa .....	6
2.2 Sammaleen sinkki- ja arseenipitoisuudet Suomessa .....	6
3. Biologiset vaikutustutkimukset ja noudatetut standardit ja ohjeistot .....	8
3.1 Neulasnäytteiden ottaminen, esikäsittely ja analysointi .....	8
3.2 Sammalnäytteiden ottaminen, esikäsittely ja analysointi.....	9
3.3 Mäntypuuston visuaalinen vauriokartoitus - elinvoimaisuuden arviointi .....	9
3.3.1 Vauriokartoitus neulasvuosikertojen ja puuston näkyvien oireiden perusteella .....	9
3.3.2 Havupuiden neulaskadon arvioiminen .....	10
3.4 Bioindikaattorimenetelmien luotettavuus .....	11
4. Bioindikaattoritutkimusten tulokset.....	14
4.1 Neulasten rikkipitoisuudet ja vertailu aiempiin selvityksiin .....	14
4.2 Sammaleen sinkkipitoisuudet ja vertailu aiempiin selvityksiin .....	17
4.3 Sammaleen arseenipitoisuudet ja vertailu aiempiin selvityksiin .....	20
4.4 Puuston vaurioluokitus ja vertailu aiempiin selvityksiin .....	22
5. Yhteenveto ja suositukset .....	26
Kirjallisuus.....	28
LIITE 1. Näytealojen koordinaatit Haapavedellä 2021.....	31

Copyrights2021©ENWIN OY

Lähdeviite:

Tamminen A., Tamminen A., Haapaveden kaupungin bioindikaattoriseuranta  
2021, Ympäristöpalvelut HELMI, Enwin Oy, 13.9.2021, p. 32

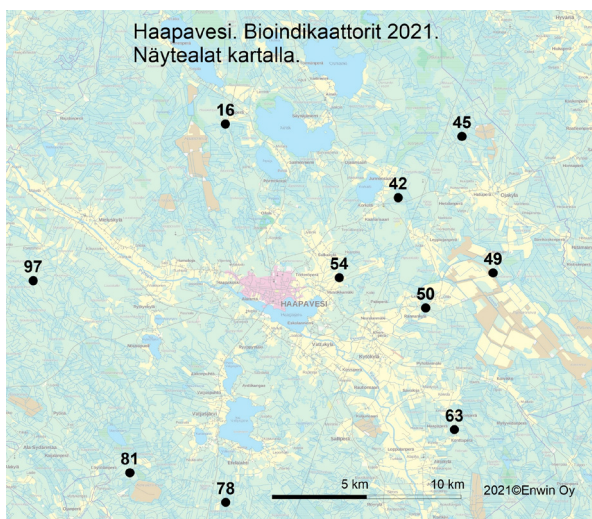
## 1. Johdanto

Enwin Oy toteutti Ympäristöpalvelut Helmin tilaaman Haapaveden ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksen vuonna 2021. Tämä on järjestyksessä neljäs 5 vuoden välein tehtävä 10 pisteen tutkimusverkostoon perustuva bioindikaattoritutkimus Haapavedellä. Työ on toteutettu aiemmin vastaavanlaisena vuosina 2016, 2011 ja 2006. Aiemmissä tutkimuksissa vuosina 1988 sekä 1995-1996 kartoitettiin mäntyjen kuntoa, männynneulasten rikkipitoisuuksia ja sammalen metallipitoisuuksia yhteensä sadalta (100) näytealueelta, jotka sijaitsivat eri puolilla Haapaveden kaupungin aluetta.

Tässä bioindikaattoriselvityksessä tehtiin seuraavat vaikutustutkimukset kymmeneltä näytealalta:

- Neulasten rikkipitoisuudet (S)
- Seinäsammalen sinkki- ja arseenipitoisuudet (Zn ja As)
- Puuston vointiluokitus

Näytealat olivat 2021 samat kuin edellisessä selvityksessä vuonna 2016, kuva 1 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 aiemmissä selvityksissä.

Neulas- ja sammalnäytteet kerättiin 8.-9.6.2021. Samalla tehtiin myös puuston vaurioluokitus näytealoittain.

## 2. Rikki, sinkki ja arseeni päästöissä ja ympäristössä

---

**Rikki(S)** on sivuravinne, jota kasvi käyttää valkuaisaineisiin ja sulfolipidien osana kalvorakenteisiin. Rikkipuutoksia ei Suomen metsistä tunneta (Reinikainen ym. 1998.). Humuksesta mitattuna rikki kuvaa kasvupaikan viljavuutta (Tamminen 1998). Rikkikuormituksen indikaattorina käytetään epifyyttijäkälien 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 rikkidioksidipäästöt ovat vähentyneet 88 % vuoden 1990 tasosta, on myös rikkipäästöjen korrelaatio ympäristövaurioihin ja neulasten rikkipitoisuuksiin heikentynyt.

Suomen rikkipäästöt ovat uusimpien v. 2019 tietojen mukaan rikkidioksidina ilmoitettuna n. 28 900 tSO<sub>2</sub>/vuosi<sup>1</sup>. Haapaveden alueella rikkidioksidipäästöt ovat peräisin pääasiassa energiantuotannosta. Vuonna 2015 Haapaveden rikkipäästö oli rikkidioksidina 220 t, josta se vuoteen 2019 vähentynyt 65 % tasolle 78 t/v (Kuva 2).

**Sinkki (Zn)** 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 81 % vuodesta 1990 lähtien, ja ovat viimeisimmän vuoden 2019 tietojen mukaan n. 130 t/vuosi. Haapaveden alueella sinkkipäästöt ovat peräisin pääasiassa ns. muusta energiantuotannosta<sup>2</sup>, kuten pienistä kattiloista ja asuntojen lämmönlähteistä(65%). Vuonna 2015 Haapaveden sinkkipäästö oli 140 kg (0.13 kg/km<sup>2</sup>), josta

---

<sup>1</sup> [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat\\_ja\\_tilastot/ilman\\_epapuhauksien\\_paastot](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/ilman_epapuhauksien_paastot)

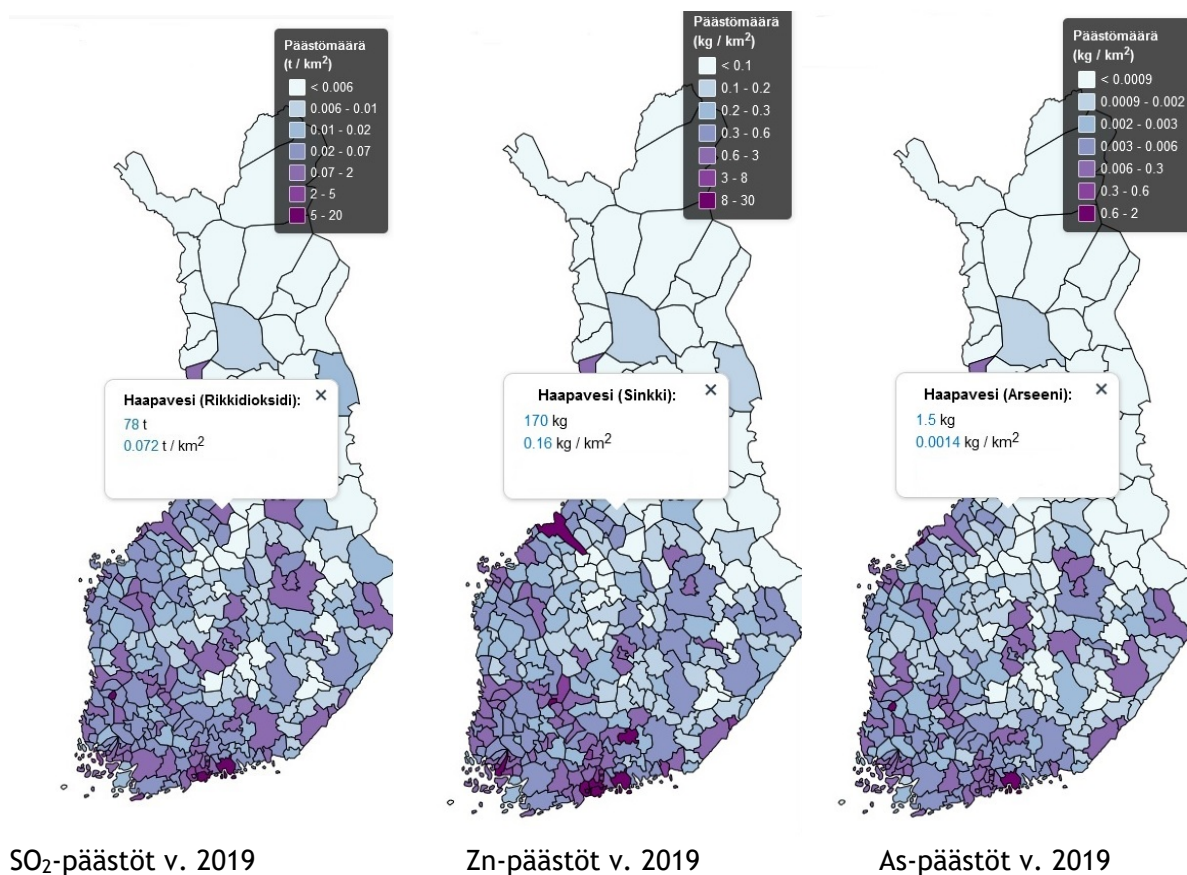
<sup>2</sup> *Muu energiantuotanto* =pienet lämmityskattilat, kuten kaupallisten ja julkisten rakennusten sekä asutuksen lämmönlähteet. Tähän luokkaan kuuluvat myös puun pienpolton tulisijat, sekä muuta tilastoitua polttoaineen käyttöä, jota ei voida kohdistaa yksittäisiin polttolaitoksiin.

13.9.2021

kasvua 21 % vuoteen 2019 tasolle 170 kg/v (0.16 kg/km<sup>2</sup>). Kuormitetuimmalla alueella (Helsinki) päästöt ovat yli 150 kertaiset, 25 kg/km<sup>2</sup>.

**Arseeni (As)** 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 94 % vuodesta 1990 lähtien, ja ovat viimeisimmän v. 2019 tietojen mukaan n. 2.06 t/vuosi. Vuonna 2015 Haapaveden arseenipäästö oli 2 kg. Vuonna 2019 arseenipäästö laski 25 % tasolle 1.5 kg/v (0.0014 kg/km<sup>2</sup>), kun kuormitetuimmalla alueella (Harjavalta) päästö on 1200-kertainen, 1.7 kg/km<sup>2</sup> (Kuva 2).



Kuva 2. Rikkidioksidin, sinkin ja arseenin päästöt Haapavedellä vuonna 2019. Alueellinen jakautuminen vuonna 2019 kuntajakona tai EMEP-grid-ruudukoissa (7 km\*11 km) (Suomen ympäristökeskus 2021)./Lähde: SYKE <sup>3/</sup>

## 2.1 Neulasten rikkipitoisuudet Suomessa

Männyllä rikin on havaittu kuvaavan ensisijaisesti ravinnetilannetta, eikä ilman rikkidioksidipitoisuuden ja neulasten pitoisuuksien välillä ole aina havaittu yhteyttä (Innes 1995, Rautjärvi ja Raitio 2003). Kasvien aktiiviset fysiologiset prosessit kontrolloivat rikin kertymistä (Moser ym. 1993). Neulasten värikoja aiheuttavat ravinnepuutokset, hyönteistuhot (esim. kaarnakuoriaiset), sienet (esim. ruskopilkukkariste, männynharmaakariste ja männyn juurikäpää) sekä abioottiset tekijät, esim. ahava. Myös rikki- ja typpipäästöt voivat aiheuttaa värikkaisuutta. (Metla 2012.)

Männyn neulasten luontainen rikkipitoisuus vaihtelee 400-900 mgS/kg (Huttunen et al. 1980<sup>4</sup>1985<sup>5</sup>). Rikkipitoisuuden katsotaan olevan kohonnut, kun se ylittää 900 mgS/kg. Puiden kasvun kannalta parhaimmat pitoisuudet ovat jonkin verran tätä korkeampia (mm. Jussila ym. 1999<sup>6</sup>). Euroopassa (YK/ECE) on esitetty alimmaksi rajaksi 1100 mgS/kg (YK/ECE 2003<sup>7</sup>).

## 2.2 Sammaleen sinkki- ja arseenipitoisuudet Suomessa

Taulukossa 1 on Metlan (Metsäntutkimuslaitos, nykyisin kuuluu Luonnonvarakeskukseen LUKE) tekemien raskasmetallilaskeman tuloksia vuosilta 1985-2010 sammaleen sinkki- ja arseenipitoisuuksien osalta<sup>8</sup>. Taulukosta nähdään, että näiden raskasmetallien pitoisuuksissa on laskeva trendi vuosina 1985→2010.

---

[https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat\\_ja\\_tilastot/ilman\\_epapuhtauksien\\_paastot](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/ilman_epapuhtauksien_paastot)

<sup>4</sup>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.

<sup>5</sup>Huttunen S. et al.: Seasonal sulphur contents of pine needles as indices of air pollution. Ann. Bot. Fennici 22:342-359, 1985

<sup>6</sup>Jussila, I., Joensuu, E. ja Laiho, P. 1999. Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Helsinki.

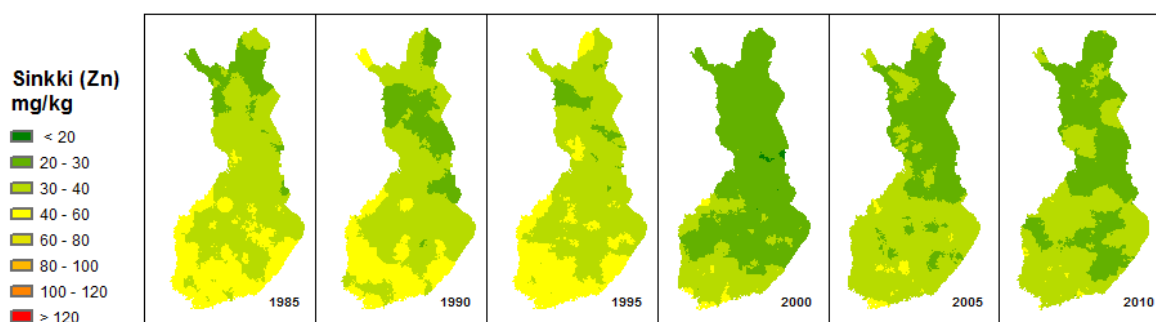
<sup>7</sup>Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio, Metsien tila Euroopassa, kertomus vuodelta 2003, Geneve ja Bryssel 2003

<sup>8</sup>Raskasmetalli- ja typpilaskeuma Suomessa - *kartoitus sammalten pitoisuuksien perusteella 1985-2010*; Metla <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/index.htm>

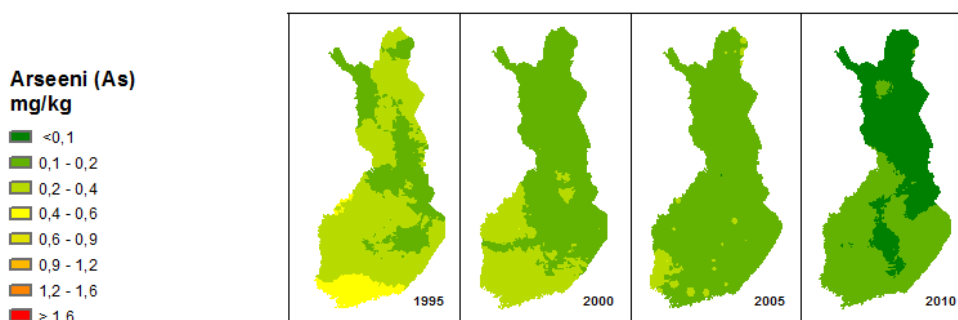
13.9.2021

Vuosi	As (mg/kg)	Zn (mg/kg)
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

Kuvissa 3-4 on sinkin ja arseenin laskeumakartat Suomessa eri vuosina tehtyjen kartoitusten perusteella / Lähde: Metla <sup>9</sup>/.



Kuva 3. Sinkin laskeumakartta Suomessa 1985→2010./Metla



Kuva 4. Arseenin laskeumakartta Suomessa 1995-2010./Metla

<sup>9</sup> <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/index.htm>  
2021©ENWIN OY



### 3. Biologiset vaikutustutkimukset ja noudatetut standardit ja ohjeistot

---

Haapaveden havaintoalat on alun perin perustettu jo vuonna 1988 tehdyssä laajassa bioindikaattoritutkimuksessa. Näytealojen sijainnit paikannettiin GPS:llä. Havaintoalat sijaitsivat suhteellisen harvoissa männiköissä, joissa aluspuuston aiheuttama varjostus oli mahdollisimman vähäistä.

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-EN 16414-en. Ambient air. Biomonitoring with mosses. Accumulation of atmospheric contaminants in mosses collected in situ: from the collection to the preparation of samples*

*Näkyvien mäntyvaurioiden luokitteluperusteet (Jokinen 1972, Salemaa 1993).*

*Harsuuntumislukitus (Jukola-Sulonen et al., 1990, Salemaa 1991, Hyvärinen 1993, EU European comission 1997 YK/ECE).*

#### 3.1 Neulasnäytteiden ottaminen, esikäsittely ja analysointi

Neulasnäytteet otettiin 8.-9.6.2021 yhteensä 10 koelalta 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.

13.9.2021

Neulasten rikkipitoisuudet analysoi Eurofins Labtium Oy, joka on Mittatekniikan keskuksen akkreditoima laboratorio T025. Laboratoriossa neulasten rikkipitoisuus määritettiin ICP-OES-tekniikalla akkreditoidulla Labtium menetelmällä 503P. Rikkipitoisuuden määrittämisraja oli 20 mgS/kg. Menetelmä vastaa standardia SFS 5781.

## 3.2 Sammalnäytteiden ottaminen, esikäsittely ja analysointi

Sammalnäytteet otettiin standardin *SFS-EN 16414-en. Ambient air. Biomonitoring with mosses. Accumulation of atmospheric contaminants in mosses collected in situ: from the collection to the preparation of samples* mukaisesti. Näytelajina käytettiin seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*). Seinäsammalnäytteet kerättiin havaintoaloilta tippuvesivyöhykkeen ulkopuolelta näytepusseihin. Esikäsittelyssä sammaleesta erotettiin analyysiä varten sammaleen vihreä osa. Sammaleen elävä, vihreä osa kertoo n. 3 vuoden ilmalaskeumasta kevästä 2019-näytteenottoajankohtaan 06/2021.

Sammaleen sinkki- ja arseenimäärityksen suoritti Eurofins Labtium Oy, joka on Mittatekniikan keskuksen akkreditoima laboratorio T025. Sammaleen sinkkipitoisuus ja arseenipitoisuudet määritettiin ICP-MS-tekniikalla akkreditoidulla Labtium menetelmällä 503M. Sinkin määrittämisraja oli 0.3 mgZn/kg. Arseenin määrittämisraja oli 0.05 mgAs/kg. Arseenin osalta aiemmissa tutkimuksissa 2006 ja 2011 sammalnäytteiden arseenipitoisuudet jäivät kaikilla näytealoilla alle määrittämisrajan (0.2 mg/kg), joten vuodesta 2016 lähtien päätettiin valita herkempi analyysimenetelmä (ICP-MS).

## 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.

### 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

13.9.2021

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 2 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 2. 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

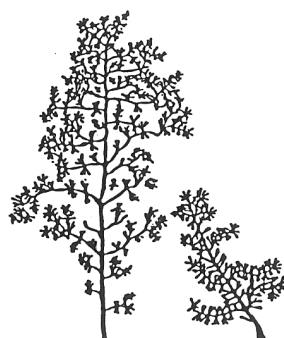
### 3.3.2 Havupuiden neulaskadon arvioiminen

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

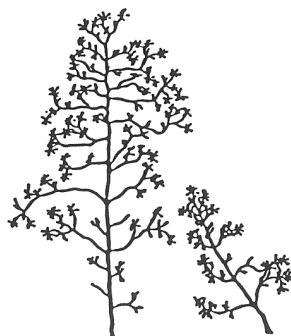
Neulaskadon arvioinnissa tarkasteltavan puun neulasmassaa verrattiin suhteessa samalle kasvupaikalle kuvitellun täysin terveeseen puun kanssa. Alle 20 % harsuuntuneen männyn katsotaan olevan vielä terve tai lähes vaurioitumaton (Salemaa et al., 1991). Tällöin neulaskadon katsotaan kuuluvan luontaisen 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 3 mukaisesti. Vertailtavuuden takia käytettiin samaa luokitusta kuin aiemmissa bioindikaattoriselvityksissä. Kuvassa 5 nähdään eriasteista neulaskatoa.

13.9.2021

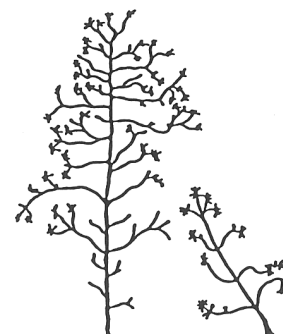
Taulukko 3. Neulaskadon arvioinnissa käytetty luokittelu.	
Luokka	Neulaskadon osuus %
1	0-20
2	21-40
3	41-60
4	61-80
5	81-100



**Terve mänty**  
neulaskato 0 %  
neulasvuosikertoja 4



**Selvästi harsuuntunut**  
neulaskato 30 - 50 %  
neulasvuosikertoja 2



**Pahasti harsuuntunut**  
neulaskato > 80 %  
neulasvuosikertoja 1

Kuva 5. Harsuuntuminen eli neulaskato mänyllä (Salemaa et al., 1991).

Havupuiden neulaskato eli harsuuntuminen ei ilmennä nimenomaisesti ilman epäpuhtauksien vaikutuksia, vaan ensisijaisesti puun yleistä elinvoimaisuutta. Puun kasvupaikka, ikä, ilmasto-olosuhteet, sienitaudit, hyönteiset ja muut tuhonaiheuttajat vaikuttavat myös neulaskatoon. Epäpuhtauksien kuormitus yhdessä näiden tekijöiden kanssa voi johtaa suurempaan neulaskatoon kuin mitä tavattaisiin puhtaassa elinympäristössä. Vaikka neulaskato ilmentääkin ilmanlaatua jokseenkin huonosti, on se kuitenkin selkeä puiden yleiskunnon mittari. Arviot puun neulaskadon määrästä kirjattiin prosentteina, ja lisäksi arvioitiin neulasvuosikertojen määrä, mahdolliset tuhot ja taudit sekä neulasten väriviat (kellastuminen tai ruskettuminen).

### 3.4 Bioindikaattorimenetelmien luotettavuus

#### Neulasten rikkipitoisuudet

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

13.9.2021

Neulasten rikkipitoisuudet kuvastavat osittain ilman kautta tulevaa kuormitusta. Rikkiä kulkeutuu neulasiin myös maaperästä, joten myös kasvupaikka vaikuttaa niiden pitoisuuksiin neulasissa. Männyn neulasten luontainen rikkipitoisuus vaihtelee 400-900 mgS/kg (Huttunen et al. 1980,1985). Rikkipitoisuuden katsotaan olevan koholla, kun se ylittää 900 mgS/kg. Puiden kasvun kannalta parhaimmat pitoisuudet ovat jonkin verran tätä korkeampia (mm. Jussila ym. 1999<sup>10</sup>). 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 lähes 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 schreben*) 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. Sammalet voivat kuitenkin saada mm. sinkkiä todennäköisesti myös muualta kuin ilmasta käsin, mm. maaperän pölystä.

### Männyn neulasvuosikerrat ja neulasten kunto

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

---

<sup>10</sup> Jussila, I., Joensuu, E. ja Laihonon, P. 1999. Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Helsinki.  
2021©ENWIN OY

13.9.2021

### 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 pienenivät 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 ( $\pm 10$  %) virhemarginaalien sisälle. Näissä vertailuissa ei ole todettu tilastollisia eroja eri arvioijien välillä verrattaessa eri harsuuntumislukkiin 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 taulukoissa 4. Taulukossa 5 tuloksia on verrattu aiempiin tutkimuksiin havaintoaloittain.

**Taulukko 4. Männynneulasten 2. vuosikasvaimen kokonaisrikkipitoisuudet (mgS/kg). Vuoden 2021 bioindikaattoritutkimuksen tulokset verrattuna aikaisempiin tutkimuksiin. (suurimmat pitoisuudet vv. 1995-1996)**

Näyteala	1995-1996	2006	2011	2016	2021
	mgS/kg	mgS/kg	mgS/kg	mgS/kg	mgS/kg
16	1000	880	930	709	780
42	1300	910	760	652	837
45	1200	750	660	650	755
49	1300	1040	1100	805	873
50	1300	1010	920	722	862
54	1200	950	840	742	830
63	900	1050	780	718	728
78	1000	1000	730	749	884
81	1100	910	770	726	735
97	1100	950	820	674	813
keskiarvo	1140	945	831	715	810
minimi	900	750	660	650	728
maksimi	1300	1050	1100	805	884

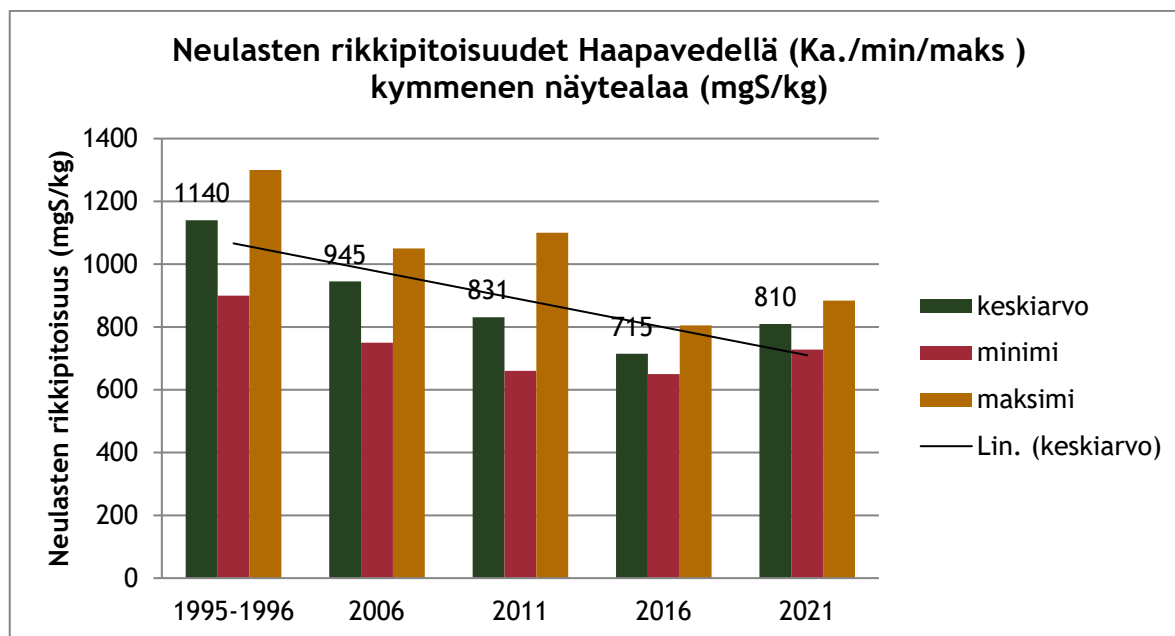
\*alat 42 ja 54 oli hakattu 2011 jälkeen, siirretty viereen v. 2016

**Taulukko 5. Vuoden 2021 bioindikaattoritutkimuksen neulasten kokonaisrikkipitoisuuden (mgS/kg) muutos-% verrattuna aikaisempiin tutkimuksiin**

Näyteala	Näytealan nimi	Muutos-% 25v	Muutos-% 15v	Muutos-% 10v	Muutos-% 5v
16	Keltaperä	-22%	-11%	-16%	10%
42	Hietalanperä	-36%	-8%	10%	28%
45	Paskoneva	-37%	1%	14%	16%
49	Piipsanneva	-33%	-16%	-21%	8%
50	Piipsanneva	-34%	-15%	-6%	19%
54	Mustikkamäki	-31%	-13%	-1%	12%
63	Metsonperä	-19%	-31%	-7%	1%
78	Kesonmäki	-12%	-12%	21%	18%
81	Löytölänperä	-33%	-19%	-5%	1%
97	Kankaanneva	-26%	-14%	-1%	21%
Ka.	Keskiarvo	-29%	-14%	-3%	13%

13.9.2021

Neulasten rikkipitoisuuden keskiarvot sekä minimi- ja maksimipitoisuudet on esitetty kuvassa 6, josta näkyy myös neulasten rikkipitoisuuden trendi eri vuosien tutkimuksissa.



Kuva 6. Männyn toisen vuosikerran neulasten rikkipitoisuudet (mgS/kg) ja rikkipitoisuuden keskiarvon kehitystrendi Haapaveden kymmenellä näytealalla (mgS/kg) 1995/96 → 2021.

Haapavedellä neulasten keskimääräinen rikkipitoisuus laski bioindikaattoritutkimusten aloittamisesta lähtien, vuodesta 1995 vuoteen 2016. Vuonna 2021 rikkipitoisuudet olivat kuitenkin keskimäärin +13 % korkeampia kuin vuonna 2016. Koska rikkipitoisten polttoaineiden käyttö on Suomessa vähentynyt mm. energiantuotannossa ja liikenteessä, voivat rikkipitoisuuksien lievää nousua selittää lähialueen paikalliset päästölähteet.

Männyn neulasten luontainen rikkipitoisuus vaihtelee 400-900 mgS/kg (Huttunen et al. 1980<sup>11</sup>1985<sup>12</sup>). Rikkipitoisuuden katsotaan olevan kohonnut, kun se ylittää 900 mgS/kg. Puiden kasvun kannalta parhaimmat pitoisuudet ovat jonkin verran tätä korkeampia (mm. Jussila ym. 1999<sup>13</sup>). Vuonna 2021 kerättyjen 2. vuosikerran neulasten rikkipitoisuudet alittivat Haapavedellä kaikilla havaintoaloilla 900 mgS/kg pitoisuuden (vaihtelu 728-884 mkgS/g).

<sup>11</sup>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.

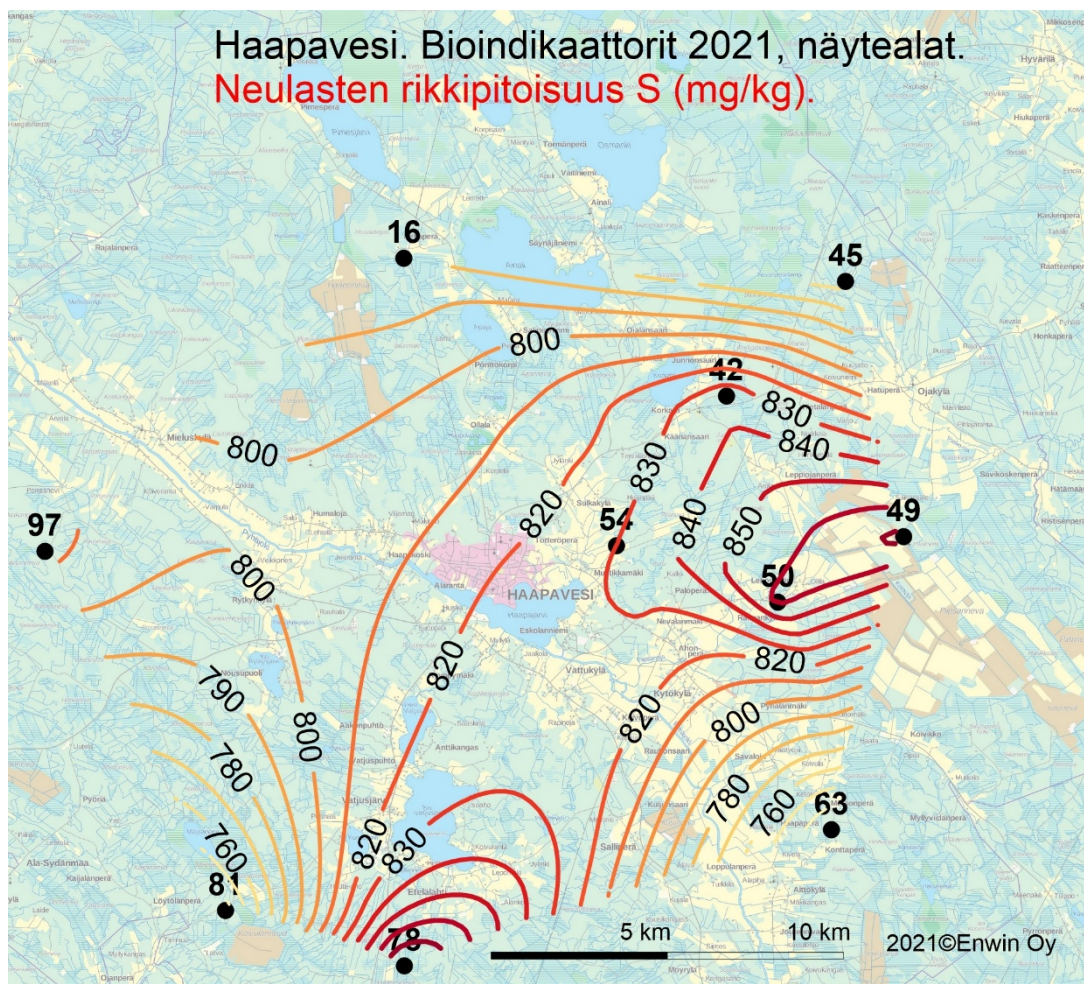
<sup>12</sup>Huttunen S. et al.: Seasonal sulphur contents of pine needles as indices of air pollution. Ann. Bot. Fennici 22:342-359, 1985

<sup>13</sup>Jussila, I., Joensuu, E. ja Laiho, P. 1999. Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Helsinki.  
2021©ENWIN OY



13.9.2021

Kuvassa 7 on neulasten rikkipitoisuuksista piirretty havainnollinen aluejakaumakuva Haapaveden kaupungin ympäristössä.



Kuva 7. Neulasten rikkipitoisuus (mgS/kg) aluejakaumakuvana vuoden 2021 bioindikaattoritutkimuksessa Haapavedellä.

### Neulasten rikkipitoisuuksien vertailu muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin

Taulukossa 6 on esitetty neulasten rikkipitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot Haapavedellä 2016 ja 2021 verrattuna läheisen Kokkola-Pietarsaari-alueen 2012<sup>14</sup> ja 2018<sup>15</sup> ja

<sup>14</sup> Huuskonen, M.,Lehkonen,E.,Laita M. 2013 Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2012.Ympäristntutkimuskeskuksen tiedonantoja/Jyväskylän Yliopisto 2012

<sup>15</sup> Eurofins Ahma Oy. Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaatoriseuranta vuonna 2018

13.9.2021

hieman kauempana sijaitsevan Seinäjoen seudun 2012<sup>16</sup> ja 2017<sup>17</sup> neulastutkimuksiin. Haapavedellä neulasten rikkipitoisuudet ovat keskimäärin pienemmät näihin vertailualueisiin verrattuna. Kuitenkin nouseva trendi (↑) neulasten rikkipitoisuuksissa 5 vuoden aikana on havaittavissa kaikissa näissä bioindikaattoritutkimuksissa. Haapavedellä pitoisuudet jäivät alle 900 mgS/kg.

<b>Taulukko 6. Neulasten rikkipitoisuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot Haapavedellä verrattuna esim. Kokkola-Pietarsaari-alueen ja Seinäjoen seudun neulastutkimuksiin. (↑) = Noussut 5 vuodessa, (↓) laskenut 5 vuodessa</b>			
<b>S mg/kg</b>	<b>keskiarvo</b>	<b>pienin</b>	<b>suurin</b>
<b>Haapavesi 2021</b>	<b>810 (↑)</b>	<b>728 (↑)</b>	<b>884 (↑)</b>
<b>Haapavesi 2016</b>	<b>711</b>	<b>650</b>	<b>805</b>
Kokkola-Pietarsaari -alue 2018	985 (↑)	730 (↑)	1410 (↑)
Kokkola-Pietarsaari -alue 2012	947	710	1400
Seinäjoen seutu 2017	943 (↑)	690 (↑)	1170 (↓)
Seinäjoen seutu 2012	898	590	1500

## 4.2 Sammaleen sinkkipitoisuudet ja vertailu aiempiin selvityksiin

Taulukossa 7 on sammaleen sinkkipitoisuudet (mgZn/kg) havaintoaloittain vuoden 2021 tutkimuksessa ja vertailu edellisiin tutkimuksiin. Kuvassa 8 on esitetty sammaleen sinkkipitoisuuden kehitystrendi Haapavedellä perustuen eri vuosien analyysituloksiin.

Sammaleen sinkkipitoisuudet ovat tutkimustulosten perusteella keskimäärin edelleen laskeneet Haapavedellä. Näytealojen keskiarvopitoisuus oli 23.9 mgZn/kg, minimi 18.6 9 mgZn/kg ja maksimi 30.4 mgZ/kg. Vuonna 2010 tehdyn kartoituksen perusteella sammaleen sinkkipitoisuus oli keskimäärin Suomessa 31 mgZn/kg (vrt. taulukko 1, Metla).

Kuvassa 9 on aluejakaumakuva sammaleen sinkkipitoisuudesta vuonna 2021 kymmenen näytealan perusteella Haapavedellä.

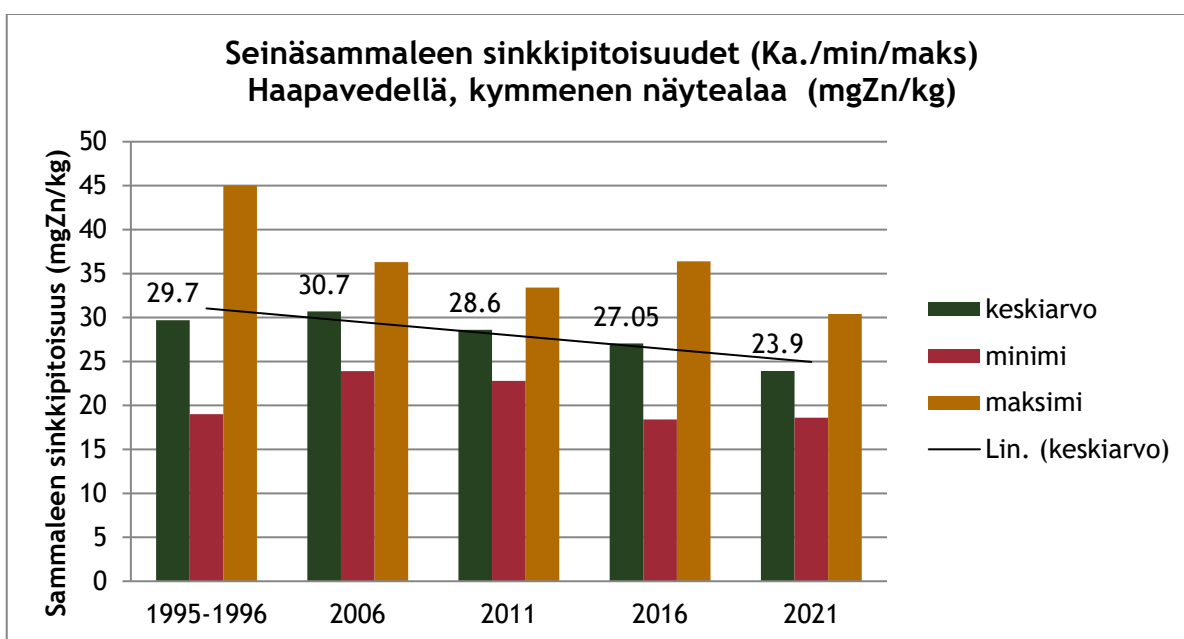
<sup>16</sup> Lehtinen, K. , Lepola A. Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimus 2012. Tutkimusraportti. Ramboll.

<sup>17</sup> Ahma Ympäristö Oy. Seinäjoen seudun ja Etelä-Pohjanmaan bioindikaattoritutkimus 2017. Tutkimusraportti.

13.9.2021

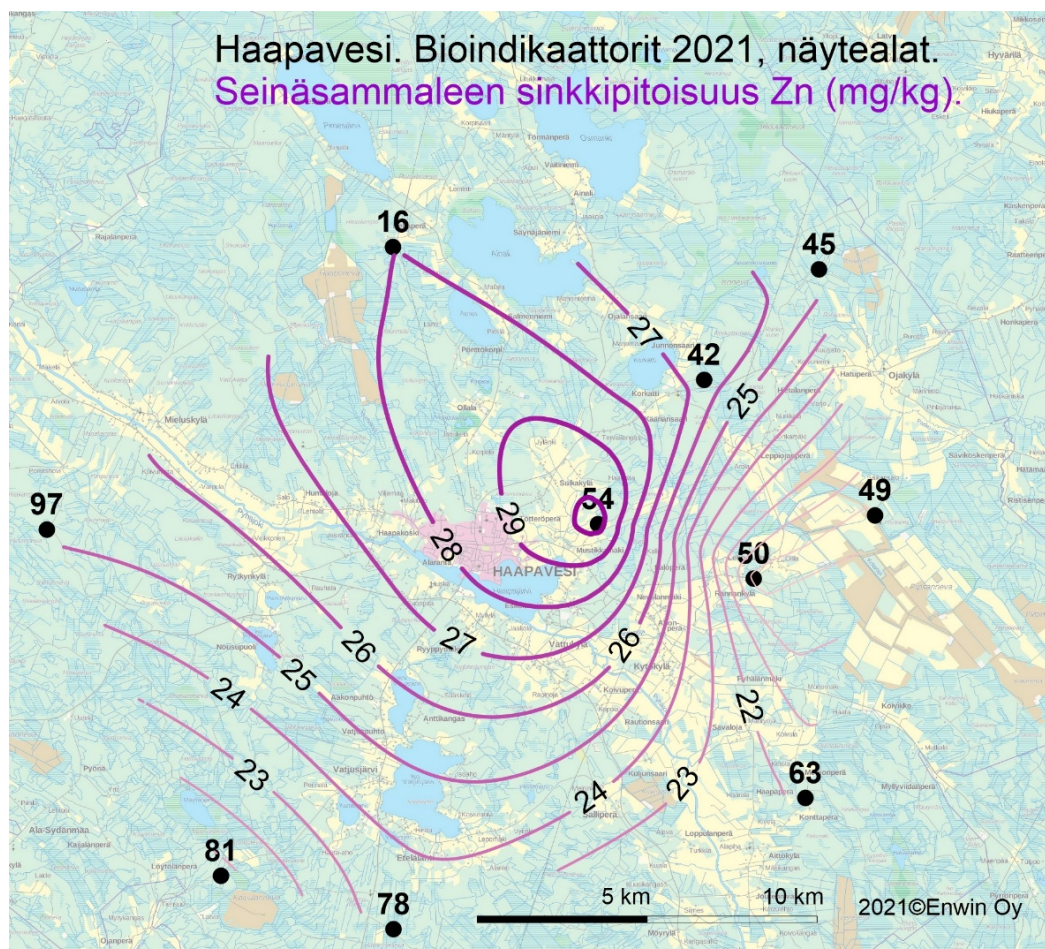
**Taulukko 7. Seinäsammaleen sinkkipitoisuudet (mgZn/kg). Vuoden 2021 bioindikaattoritutkimuksen tulokset verrattuna aikaisempiin (suurin pitoisuus on lihavoituna kursivoilla). (↑) = Noussut 5 vuodessa, (↓) laskenut 5 vuodessa 2016-2021. \*alat 43 ja 54 oli hakattu ennen vuotta 2016, siirretty viereen v. 2016**

Näyteala	1995-1996	2006	2011	2016	2021
	mgZn/kg	mgZn/kg	mgZn/kg	mgZn/kg	mgZn/kg
16	19	30.1	25.6	23.0	<b>28.0 (↑)</b>
42	29	36.3	28.0	33.9	<b>26.7 (↓)</b>
45	45	30.5	22.8	19.9	<b>25.6 (↑)</b>
49	42	23.9	24.8	23.5	<b>18.6 (↓)</b>
50	24	33	29.8	31.3	<b>18.7 (↓)</b>
54	24	30.9	33.4	33.1	<b>30.4 (↓)</b>
63	29	33.7	28.1	18.4	<b>21.9 (↑)</b>
78	28	33.4	28.5	<b>36.4</b>	<b>23.5 (↓)</b>
81	23	25.5	32.0	22.7	<b>20.6 (↓)</b>
97	34	29.8	32.7	28.3	<b>25.2 (↓)</b>
keskiarvo	29.7	30.7	28.6	27.1	<b>23.9 (↓)</b>
minimi	19	23.9	22.8	18.40	<b>18.6 (↑)</b>
maksimi	45	36.3	33.4	36.40	<b>30.4 (↓)</b>



Kuva 8. Sammaleen sinkkipitoisuuden (mgZn/kg) keskiarvon kehitystrendi Haapavedellä 1995→2021.

13.9.2021



Kuva 9. Sammalen sinkkipitoisuus (mgZn/kg) aluejakaumakuvana vuoden 2021 bioindikaattoritutkimuksessa Haapavedellä.

Taulukossa 8 on esitetty sammalen sinkkipitoisuuden kehityksen vertailu Haapavedellä Kokkola-Pietarsaari ja Seinäjoen seudun tutkimuksiin. Vertailussa havaitaan, että Haapavedellä sammalen sinkkipitoisuudet ovat keskimäärin laskeneet, mutta Kokkola-Pietarsaari alueella ja Seinäjoen seudulla hieman nousseet tai pysyneet samalla tasolla viiden vuoden tarkastelujaksolla. Seinäsammalen keskimääräinen sinkkipitoisuus on Haapavedellä ollut jo aiemminkin alhaisempi kuin keskimäärin Suomessa (Metsäntutkimuslaitos 2013).

Taulukko 8. Seinäsammaleen sinkkipitoisuudet (mgZn/kg). keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot Haapavedellä verrattuna Kokkola-Pietarsaari-alueen ja Seinäjoen seudun sammaltutkimuksiin. (↑) = Noussut 5 vuodessa, (↓) laskenut 5 vuodessa.

S mg/kg	keskiarvo	pienin	suurin
Haapavesi 2021	24 (↓)	19	30 (↓)
Haapavesi 2016	27	18	36
Kokkola-Pietarsaari -alue 2018	80 (↑)	24 (↑)	540 (↓)
Kokkola-Pietarsaari -alue 2012	74	21	560
Seinäjoen seutu 2017	32	20	62 (↑)
Seinäjoen seutu 2012	32	21	48

### 4.3 Sammaleen arseenipitoisuudet ja vertailu aiempiin selvityksiin

Taulukossa 9 on esitetty sammaleen arseenipitoisuudet (mgAs/kg). Haapavedellä vuoden 2021 tutkimuksissa ja vertailu edellisiin tutkimuksiin samoilla havaintoaloilla.

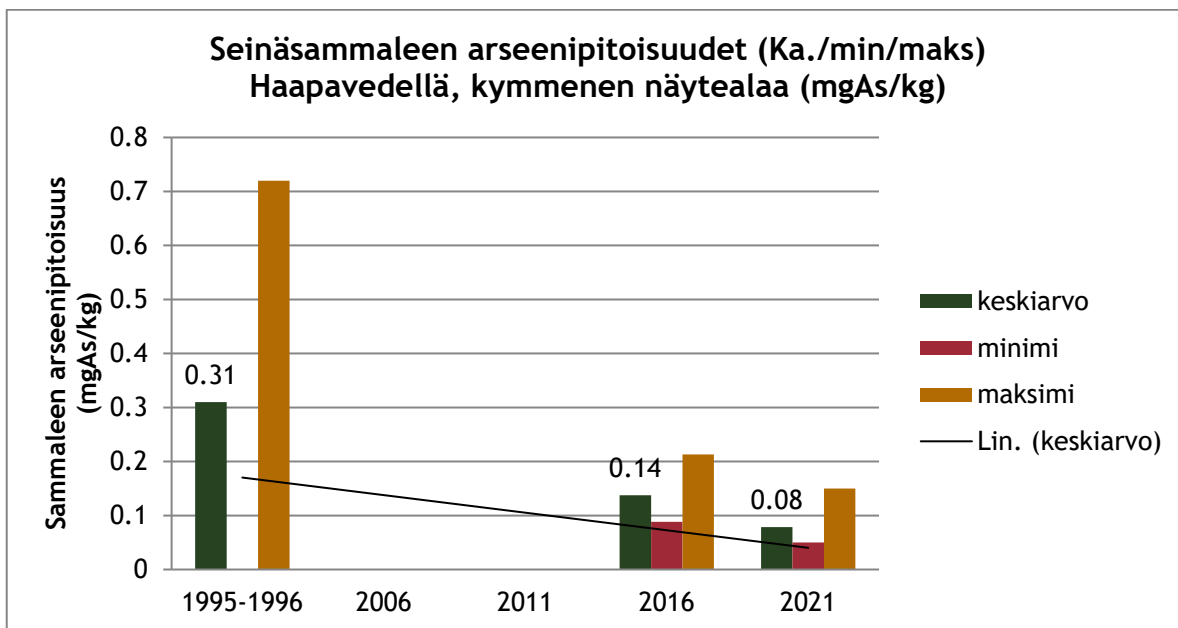
Vuosina 2006 ja 2011 tulokset olivat alle käytetyn analyysimenetelmän havaintorajan (0.2 mgAs/kg), vuosina 2016 ja 2021 arseenin havaintoraja oli 0.05 mgAs/kg. Arseenipitoisuuden kehitystrendi 90-luvulta nykypäivään on laskeva Suomessa (vrt. Kuva 4) ja tulosten mukaan myös Haapavedellä (Kuva10 pylväsdiagrammi).

Sammaleen arseenipitoisuus oli keskimäärin Haapavedellä vuonna 2021 0.09 mgAs/kg, (min <0.05 mgAs/kg, maks. 0.19 mgAs/kg), mikä on keskimäärin hieman pienempi kuin Suomessa keskimääräinen sammaleen arseenipitoisuus (0.11 mgAs/kg (2010), taulukko 1/ Metla).

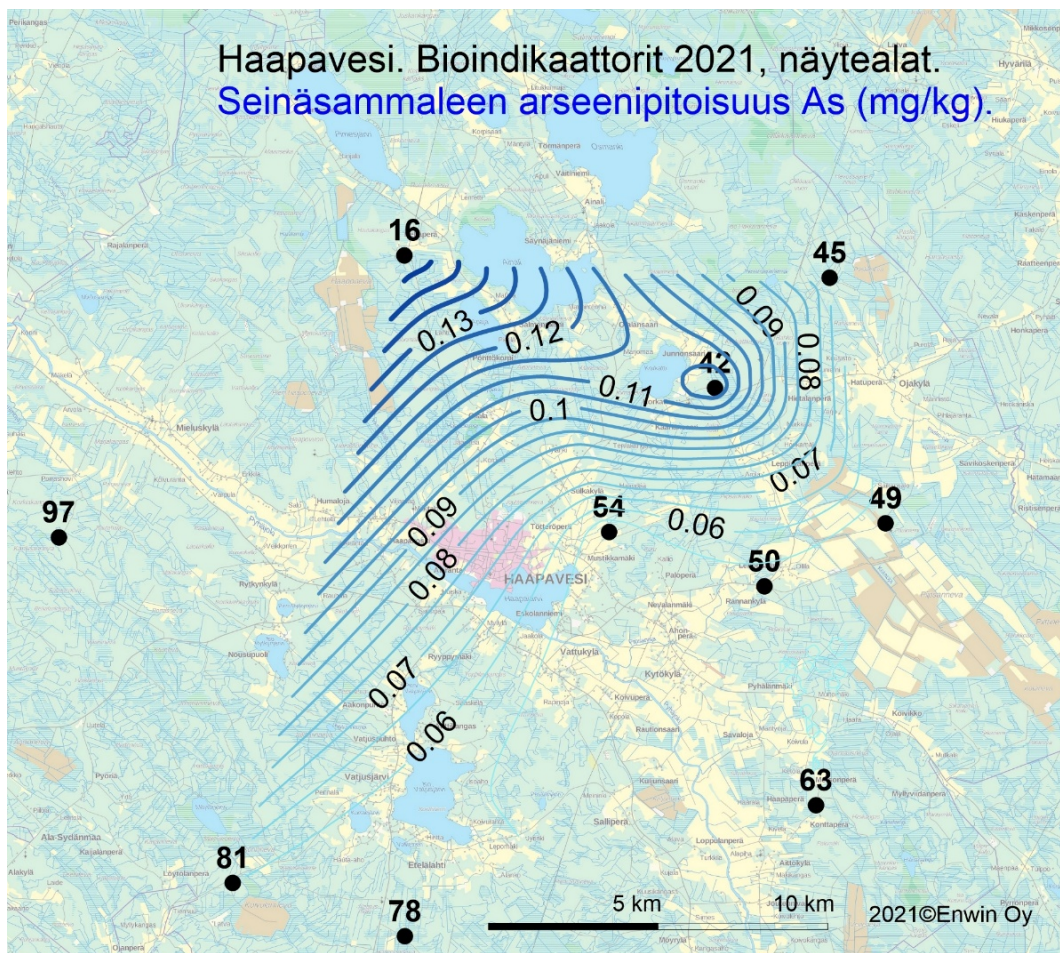
Taulukko 9. Seinäsammaleen arseenipitoisuudet (mgAs/kg). Vuoden 2021 bioindikaattoritutkimuksen tulokset verrattuna aikaisempiin.					
Näyteala	1995-1996	2006	2011	2016	2021
	mgAs/kg	mgAs/kg	mgAs/kg	mgAs/kg	mgAs/kg
16	<0.1	<0.2	<0.2	0.113	<b>0.15(↑)</b>
42	0.63	<0.2	<0.2	0.145	<b>0.12(↓)</b>
45	0.31	<0.2	<0.2	0.112	<b>0.07(↓)</b>
49	0.33	<0.2	<0.2	0.146	<b>0.05(↓)</b>
50	0.72	<0.2	<0.2	0.137	<b>&lt;0.05(↓)</b>
54	0.17	<0.2	<0.2	0.213	<b>0.05(↓)</b>
63	0.29	<0.2	<0.2	0.100	<b>0.05(↓)</b>
78	<0.1	<0.2	<0.2	0.177	<b>&lt;0.05(↓)</b>
81	<0.1	<0.2	<0.2	0.088	<b>0.06(↓)</b>
97	0.37	<0.2	<0.2	0.144	<b>&lt;0.05(↓)</b>
keskiarvo	0.31	<0.2	<0.2	0.14	<b>0.09(↓)</b>
minimi	<0.1	<0.2	<0.2	0.09	<b>&lt;0.05(↓)</b>
maksimi	0.72	<0.2	<0.2	0.21	<b>0.19(↓)</b>

Kuvassa 11 on sammaltutkimuksen arseenin aluejakauma Haapavedellä kymmenen havaintoalan perusteella vuonna 2021.

13.9.2021



Kuva 10. Samman arseenipitoisuuden (mg/kg) kehitystrendi Haapavedellä. Vuosina 2006 ja 2011 analyysitulokset olivat alle silloisen määrittärajän (<0.2 mg/kg). V.2016 ja 2021 analyysin määrittärajä oli 0.05 mgAs/kg.



Kuva 11. Samman arseenipitoisuus (mgAs/kg) aluejakaumakuvana vuoden 2021 bioindikaattoritutkimuksessa Haapavedellä.

13.9.2021

Taulukossa 10 on esitetty sammalen arseenipitoisuuden kehityksen vertailu Haapavedellä Kokkola-Pietarsaari ja Seinäjoen seudun tutkimuksiin. Vertailussa havaitaan, että Haapavedellä sammaleen arseenipitoisuudet ovat keskimäärin laskeneet ja selvästi pienempiä kuin näissä vertailututkimuksissa. Kokkola-Pietarsaari alueella arseenipitoisuudet ovat viiden vuoden seurantajaksolla hieman laskeneet, mutta Seinäjoen seudulla nousseet selvästi.

<b>Taulukko 10. Seinäsammaleen arseenipitoisuudet (mgZn/kg). keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot Haapavedellä verrattuna Kokkola-Pietarsaari-alueen ja Seinäjoen seudun sammaltutkimuksiin. (↑) = Nousut 5 vuodessa, (↓) laskenut 5 vuodessa</b>			
<b>S mg/kg</b>	<b>keskiarvo</b>	<b>pienin</b>	<b>suurin</b>
<b>Haapavesi 2021</b>	0.09 (↓)	0.05 (↓)	0.19(↓)
<b>Haapavesi 2016</b>	0.14	0.09	0.21
Kokkola-Pietarsaari -alue 2018	0.20(↓)	0.04 (↓)	1.5(↓)
Kokkola-Pietarsaari -alue 2012	0.23	0.05	2.5
Seinäjoen seutu 2017	0.70 (↑)	0.06 (↑)	5.50 (↑)
Seinäjoen seutu 2012	0.38	<0.05	0.37

#### 4.4 Puuston vaurioluokitus ja vertailu aiempiin selvityksiin

Puuston vaurioluokituksen tulokset (neulasvuosikerrat, harsuuntuminen ja neulasten nekroottiset muutokset) on esitetty havaintoaloittain taulukossa 11. Neulasvuosikertoja alueella oli keskimäärin 2.6 (2.5 v.2016) ja harsuuntumisen keskiarvo oli 1.7 (2.4 v. 2016). Kartoituksessa ei havaittu erittäin voimakasta vauriota tai kuollutta puustoa.

Havupuiden vointi on mäntyjen vointiluokituksen ja harsuuntumistutkimuksen mukaan Haapavedellä vuonna 2021 hieman parempi verrattuna tilanteeseen vuonna 2016. Neulasvuosikertoja alueella on keskimäärin 2.6 (2.5 v.2016) ja harsuuntumisen keskiarvo on 1.7 (2.4 v. 2016). Tilanne on lähes sama kuin 10 vuotta aikaisemmin, mikä kertoo, että vuoden 2016 raportissa mainittu poikkeuksellinen pakkasjakso heikensi puiden kuntoa tilapäisesti ja puiden kunto on palautunut normaaliksi.

Harsuuntuminen voi johtua kuivuudesta, mutta myös luonnontuhoista, tuholaisista ja sienitaudeista. Myös paikalliset olosuhteet, kuten lämmityskauden pienpoltto havaintoalojen läheisyydessä voivat vaikuttaa ilmasto-olosuhteiden lisäksi puustoon.

13.9.2021

Taulukko 11. Puuston vaurioluokituksen tulokset vuonna 2021 Haapavedellä.					
Näyte-ala	Sijainti	Neulas- vuosikerrat	Harsuun- tuminen	Nekroottiset muutokset	Ulkoiset havainnot neulasista (mm. viherlevä)
16	Keltaperä	2.6	2	0.73	Ei viherlevää eikä jäkäliä. Ei ilmarakovaurioita. Hyväkuntoisia neulasia.
42	Hietalanperä	2	2	1.13	Ei viherlevää. Runsaasti jäkäliä. Ilmaraoissa jonkin verran vaurioita.
45	Paskoneva	2	2	1.13	Ei viherlevää, vähän jäkäliä. Kellertäviä neulasia vähän. Vähän ilmarakovaurioita.
49	Piipsanneva	2.67	2	1.2	Ei viherlevää tai jäkäliä. Vähän kellertäviä neulasia. Vähän ilmarakovaurioita.
50	Piipsanneva	2.33	2	1.87	Ei viherlevää. Ei jäkäliä. Yksittäisiä kellertäviä neulasia. Jonkin verran ilmarakovaurioita.
54	Mustikkamäki	2.87	1	0.8	Ei viherlevää eikä jäkäliä. Kellertäviä neulasia jonkun verran. Vähän ilmarakovaurioita.
63	Metsonperä	2.4	2	1.13	Ei viherlevää. yksittäisiä jäkäliä. Vähän ilmarakomuutoksia. Vähän kellertäviä neulasia.
78	Kesonmäki	3	1	0.47	Ei viherlevää eikä jäkäliä. Vähän ilmarakovaurioita. Hyväkuntoisia neulasia.
81	Löytölänperä	2.73	2	0.87	Ei viherlevää eikä jäkäliä. Vähän ilmarakovaurioita. Hyväkuntoisia neulasia.
97	Kankaanneva	3.33	1	0.4	Ei viherlevää eikä jäkäliä. Vähän ilmarakovaurioita. Hyväkuntoisia neulasia.
<b>keskiarvo 2021</b>		<b>2.6</b>	<b>1.7</b>	<b>0.97</b>	
<i>keskiarvo 2016</i>		<i>2.5</i>	<i>2.4</i>	<i>1.02</i>	



13.9.2021

Taulukossa 12 on vauriotutkimusten vertailua 2011-2016-2021 Haapavedellä.

Taulukko 12. Vuosien 2011 → 2021 vauriotutkimusten vertailu Haapavedellä									
Näyte- ala	2011			2016			2021		
	Neulas- vuosi- kerrat	Harsuun- tuminen	Nekroottiset muutokset	Neulas- vuosi- kerrat	Harsuun- tuminen	Nekroottiset muutokset	Neulas- vuosi- kerrat	Harsuun- tuminen	Nekroottiset muutokset
16	3.3	1	0.73	2.5	3	0.86	2.6	2	0.73
42	3.7	1	1.13	2.4	3	1.12	2	2	1.13
45	3.6	1	1	2.1	3	0.98	2	2	1.13
49	3.5	2	1.07	3.2	1	1.09	2.67	2	1.20
50	3.5	1	1.07	2.2	2	1.08	2.33	2	1.87
54	3.5	1	1.13	2.4	1	1.1	2.87	1	0.80
63	3.7	1	0.8	2.3	1	0.85	2.4	2	1.13
78	3.3	2	1	3.1	3	1.02	3	1	0.47
81	3.1	3	1	1.6	4	0.99	2.73	2	0.87
97	3.7	1	0.93	2.8	3	0.9	3.33	1	0.40
<b>keski arvo</b>	3.5	1.4	0.99	2.5	2.4	1.02	2.6	1.7	0.97

Metsien tila -tutkimuksessa vuonna 2012 (Heino, ym. 2013<sup>18</sup>, Nevalainen 2013<sup>19</sup>) havaittiin lisääntyvää harsuuntumista. Myös esimerkiksi Hämeen bioindikaattoritutkimuksessa Kanta-Hämeessä neulaskadon osuus kasvoi erittäin merkittävästi ( $p < 0,001$ ) vuodesta 2002 vuoteen 2014, mutta toisaalta Päijät-Hämeessä neulaskato väheni selvästi verrattuna vuosien 1994 ja 1999 tutkimuksiin (Ruuth,2014)<sup>20</sup>.

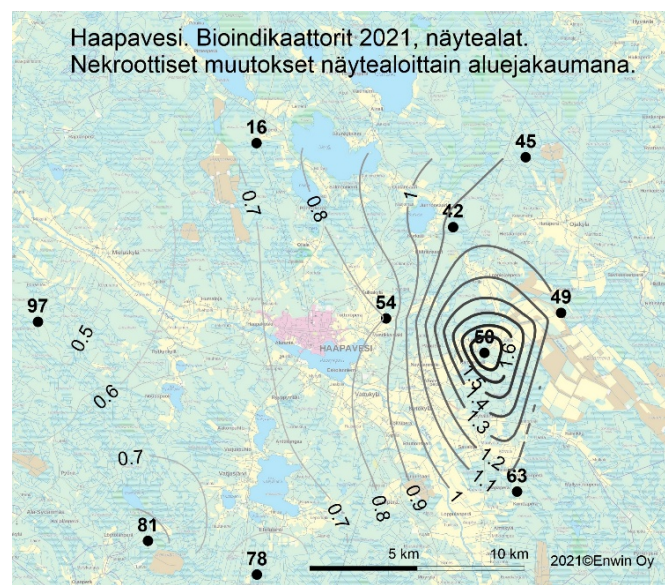
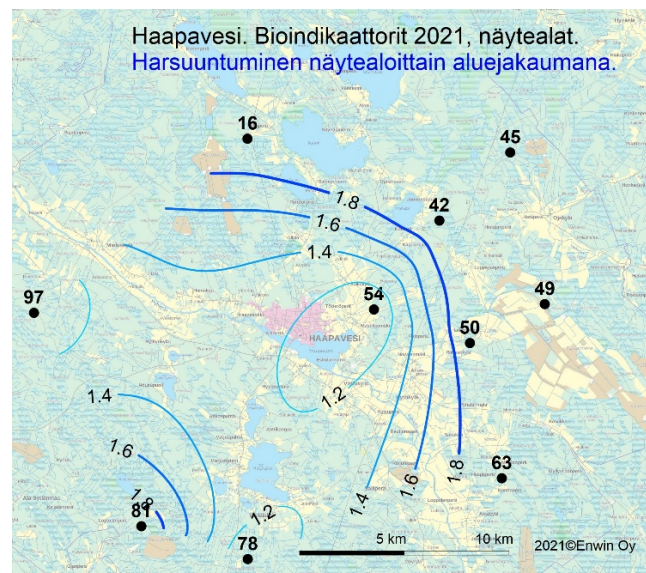
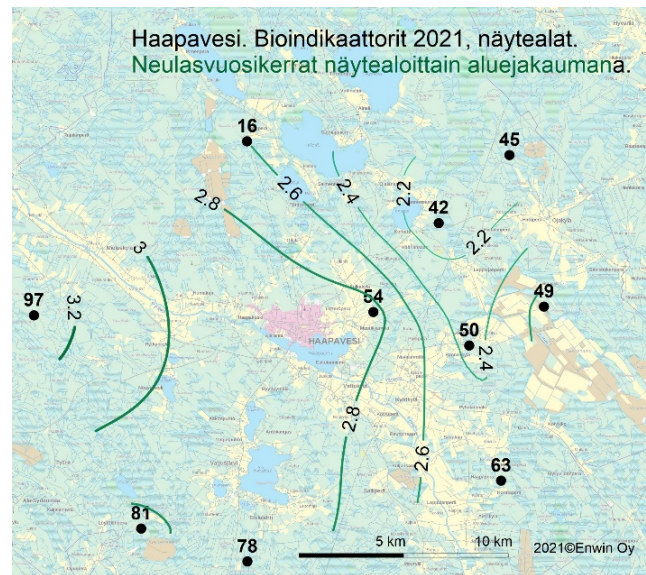
Kuvasarjassa 12 on vielä havaintopisteiden mukaan piirretyt alueelliset jakaumat neulasvuosikertojen määrästä, mäntyjen harsuuntumisesta ja neulasten nekroottisista muutoksista.

<sup>18</sup> 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).

<sup>19</sup> Nevalainen, S. Artikkelissa: ”Neulaskato yleistynyt Etelä-Suomessa”. 14.3.2013. <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsä/neulaskato-yleistynyt-Etelä-Suomessa>

<sup>20</sup> 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  
2021©ENWIN OY

13.9.2021



Kuva 12. Puiden elinvoimaisuuden arvioinnin aluejakaumat v. 2021 Haapavedellä.

## 5. Yhteenveto ja suositukset

---

Enwin Oy toteutti Ympäristöpalvelut Helmin tilaaman Haapaveden ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksen vuonna 2021. Tässä bioindikaattoriselvityksessä tehtiin seuraavat vaikutustutkimukset kymmeneltä näytealalta:

- Neulasten rikkipitoisuus (S)
- Seinäsammalen sinkkipitoisuus (As)
- Seinäsammaleen arseenipitoisuus (Zn)
- Puuston vointiluokitus

Neulas- ja sammalnäytteet kerättiin 8.-9.6. 2021. Samalla tehtiin myös mäntypuuston visuaalinen vauriokartoitus ja elinvoimaisuuden arviointiin liittyvät havainnot. Näytealat ja tutkimukset olivat samat kuin vuonna 2016.

Analysoitujen pitoisuuksien keskimääräiset pitkäaikaistrendit (1995→2021) ovat edelleen laskevia Haapavedellä sekä neulasten rikkipitoisuuden että sammaleen sinkki- ja arseenipitoisuuksien osalta.

Neulasten rikkipitoisuudet olivat kuitenkin vuonna 2021 hieman korkeammat kuin vuonna 2016 eri havaintoaloilla. Keskimäärin neulasten rikkipitoisuus oli 2021 tutkimuksessa +13 % korkeampi kuin vuonna 2016. Samantyyppistä rikkipitoisuuden nousua on ollut nähtävissä myös mm. Kokkola-Pietarsaaren ja Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimuksissa viimeisimmissä viiden vuoden seurantajaksoissa. Haapavedellä neulasten rikkipitoisuuksien keskiarvo oli 810 mgS/kg (v.2016 715 mgS/kg), mikä on edelleen neulasten luontaisen rikkipitoisuuden tasoa (400-900 mgS/kg). Euroopassa on esitetty alimmaksi raja-arvoksi 1100 mgS/kg.

Vuonna 2021 Haapavedellä sammaleen sinkkipitoisuuden keskiarvo oli 23.9 mgZn/kg, kun se Suomessa on keskimäärin 31 mgZn/kg. Vastaavasti sammaleen arseenipitoisuuden keskiarvo oli 0.09 mgAs/kg, mikä on alempi kuin Suomessa keskimääräinen (0.11 mgAs/kg). Vuoden 2016 tilanteeseen verrattuna Haapavedellä sammaleen sinkkipitoisuus oli laskenut keskimäärin -12 % ja sammaleen arseenipitoisuus keskimäärin -43 %.

Erittäin voimakasta vauriota tai kuollutta puustoa ei kartoituksessa havaittu. Havupuiden vointi oli mäntyjen vointiluokituksen ja harsuuntumistutkimuksen mukaan Haapavedellä yleisesti

13.9.2021

hieman parempi verrattuna tilanteeseen vuonna 2016. Neulasvuosikertoja alueella oli keskimäärin 2.6 (2.5 v.2016) ja harsuuntumisen keskiarvo oli 1.7 (2.4 v. 2016). Tilanne on lähes sama kuin 10 vuotta aikaisemmin, mikä kertoo, että vuoden 2016 raportissa mainittu poikkeuksellinen pakkasjakso todennäköisesti heikensi puiden kuntoa tilapäisesti ja puiden kunto on palautunut normaaliksi.

Sammaleen arseenipitoisuus analysoitiin ICP-MS -tekniikalla, jolloin arseenin määrittäysraja oli 0.05 mgAs/kg. Alhaisten arseenipitoisuuksien takia jatkossakin suositellaan tässä tutkimuksessa käytetyn herkemmän ICP-MS -arseenianalysimenetelmän käyttöä.

Tutkimus suositellaan uusittavan 5-10 vuoden välein. Näytealojen sijainteja tulee seuraavassa seurantatutkimuksessa arvioida uudelleen, koska puusto osassa näytealoja kasvaa jo melko korkeana männikkönä.

## Kirjallisuus

---

Ahma Ympäristö Oy. Seinäjoen seudun ja Etelä-Pohjanmaan bioindikaattoritutkimus 2017. Tutkimusraportti 22.12.2017.

Eurofins Ahma Oy. Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2018

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 bioindikaattoriseuranta vuonna 2012. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 177, Jyväskylän Yliopisto. 2013

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

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).

Jussila, I., Joensuu, E. ja Laiho, P. 1999. Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Helsinki.

Lehtinen, K., Lepola A. Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimus 2012. Tutkimusraportti. Ramboll.

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

13.9.2021

Moser, B., Punz, W. ja Maier, R. 1993. Inmissionskartierung im Gebiet 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-EN 16414-en. Ambient air. Biomonitoring with mosses. Accumulation of atmospheric contaminants in mosses collected in situ: from the collection to the preparation of samples SFS

13.9.2021

Suomen ympäristökeskus 2021:

[https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat\\_ja\\_tilastot/ilman\\_epapuhtauksien\\_paastot](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/ilman_epapuhtauksien_paastot)

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

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

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

## LIITE 1. Näytealojen koordinaatit Haapavedellä 2021

---

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



*Enwin*  
- Vision Keeper -

13.9.2021

---

2021©ENWIN OY