

MÄNNYN RUNKOJÄKÄLÄ- JA NEULASVUOSIKERTAKARTOITUS SAVONLINNASSA VUOSINA 2011 - 2012



SAVONLINNAN KAUPUNKI
Ympäristönsuojelupalvelut
2012

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
1.1	Bioindikaattorit	3
1.2	Jäkälät bioindikaattoreina	3
1.3	Mäntyjen neulasvuosikerrat	4
1.4	Tutkimuksen tavoitteet	5
2	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	6
2.1	Tutkimuspisteet	6
2.2	Mäntyjen runkojäkälien ja neulasvuosikertojen kartoitus	6
2.3	Analysointi	8
3	TULOKSET	9
3.1	Sormipaisukarveen vaurioluokitus	9
3.2	Pistefrekvenssijakaumat	10
3.3	MS-indeksi	12
3.4	Jäkäliden esiintyminen tutkimuspisteissä	12
3.5	Neulasvuosikertojen lukumäärä	13
3.6	Tulosten tulkintaa	14
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	15
4.1	Jäkäläkartoituksen virhelähteet ja luotettavuus	15
4.2	Ilmanlaatu Savonlinnassa	16
	Lähteet	17

1 JOHDANTO

1.1 Bioindikaattorit

Bioindikaattoreiden avulla voidaan havainnoida ympäristön tilaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Indikaattoreina käytetään herkästi kohonneeseen kuormitukseen tai kuormituksen muutokseen ympäristössään reagoivia eliöitä, eliöyhdyskuntia tai niiden osia. Muutokset näkyvät esimerkiksi eliön tai eliöyhteisön rakenteen toiminnassa, kemiallisessa koostumuksessa tai määrän ja levinneisyyden muutoksina. Muutoksilla voidaan havaita ilman epäpuhtauksien esiintymistä, levinneisyyttä tai vaikutuksia.

Bioindikaattorit sopivat pitkäaikaiseen ympäristön tilan seurantaan ja voivat myös paljastaa hetkellisiä suuria haitta-ainepitoisuuksia. Bioindikaattoreilla tehtävä tutkimus on yleensä edullista toteuttaa ja tuloksia saadaan nopeasti. Bioindikaattoreiden käyttämisestä kuitenkin vaikeuttavat ekosysteemien monimutkaisuus, lajien väliset vuorovaikutukset, eliöiden sisäinen geneettinen vaihtelu sekä menetelmien vakiintumattomuus. Lisäksi haitta-ainepitoisuuksista ei saada täsmällistä tietoa, pahoin saastuneilta alueilta bioindikaattorit voivat puuttua kokonaan eikä kaikille muutoksille ole olemassa sopivaa indikaattoria.

Koska elollisen luonnon vauriot eivät useinkaan johdu pelkästään saasteista, bioindikaattoritutkimuksissa on tärkeää pyrkiä erottamaan toisistaan yksilöiden luontaisesta vaihtelusta, kasvupaikasta ja ilman epäpuhtauksista johtuvat vaihtelut. Vaikka bioindikaattoritutkimukset ovat usein varsin hyödyllisiä, ne eivät korvaa suoria mittauksia päästöjen leviämisen epäpuhtauspitoisuuksista, leviämismallilaskelmia ja laskeumia kuvaavina menetelminä.

1.2 Jäkälät bioindikaattoreina

Jäkälät koostuvat levän ja sienen symbioosista, joka on herkkä muutoksille. Puiden rungolla kasvavat, ns. epifyytiset jäkälät soveltuvat erityisen hyvin ilmansaasteiden vaikutusten tutkimiseen, sillä ne reagoivat herkästi ilman epäpuhtauksiin sekä ulkomuodollaan, että lajiston koostumuksen ja määrän muutoksilla. Epifyytijäkälillä puunrunko on myös suhteellisen tasalaatuinen kasvualusta ja jäkälät ovat alttiita ilmansaasteille ympäri vuoden. Koska jäkälät ottavat tarvitsemansa ravintoaineet ohuen pintasolukkonsa läpi ilmasta, sadevedestä tai runkoa pitkin valuvasta vedestä, mahdolliset ilman epäpuhtaudet joutuvat suoraan jäkälien aineenvaihduntaan. Pitkäikäiset jäkälät kasvavat hitaasti ja saasteet voivat kertyä niihin pitkän ajan kuluessa, minkä vuoksi jäkäläkartoitukset soveltuvat erityisen hyvin pitkän aikavälin muutosten kuvaamiseen.

Jäkäläaineisto ilmentää kaikkien ilmansaasteiden yhteisvaikutusta, eri epäpuhtauksien osuutta ei voida pelkän jäkäläaineiston perusteella luotettavasti arvioida. Paitsi ilmanlaatu, jäkälien runsauteen ja lajistoon vaikuttavat myös ilmastolliset ja paikalliset kasvuolosuhteet. Talvella esimerkiksi lämpötilojen vaihtelu ja kevättalven auringonpaiste rasittavat erityisesti lumipeitteen yläpuolella kasvavia runkojäkäläitä. Paikallisesti puiden lajikoostumus, ikärakenne, tiheys ja maaperätekijät voi-

vat vaikuttaa jäkälälajistoon. Maaperän kemialliset ominaisuudet voivat vaikuttaa kaarnan ominaisuuksiin ja sitä kautta runkojäkäliin.

Jäkäläkasvillisuuden peittävyysprosentti ei indikoi ilmanlaatua, koska saastunutta ilmaa sietävät ja jopa siitä hyötyvät lajit valtaavat alaa herkemmltä. Peittävyyttä mitattaessa onkin käytettävä vain tiettyjä, samalla tavalla ilmansaasteisiin reagoivia lajeja. Sormipaisukarve on erityisen hyvä ilman epäpuhtauksien indikaattori, sillä se kestää hyvin suuriakin saastepitoisuuksia, mutta ilmentää niitä morfologisilla muutoksilla, joita voidaan arvioida vaurioasteen avulla. Kuormitustason kasvaessa sormipaisukarve voi vahvana kilpailijana vallata kasvualaa, mikä näkyy lajin peittävyuden kasvamisena lievässä kuormitustasossa. Sormipaisukarve kestää kuitenkin kuormitusta vain tiettyyn pisteeseen asti, jonka jälkeen sen vauriot pahenevat ja peittävyys pienenee.

Tärkein jäkäliin vaikuttava ilman epäpuhtaus on rikkidioksidi, mutta myös typpiyhdisteillä on vaikutusta, samoin alkalisilla päästöillä, jotka muuttavat erityisesti havupuulla kasvavien jäkälien normaalisti hapanta kasvualustaa emäksisemmäksi. Hiilivedyt, raskasmetallit ja orgaaniset epäpuhtaudet ovat myös vahingollisia jäkälille.

Yleisesti tutkittujen jäkälälajien herkkyys rikkidioksidille.

Herkkiä: naava (*Usnea sp*), luppo (*Bryoria sp*)

Melko herkkiä: kalpeatyvikarve (*Imshaugia aleurites*), harmaatyvikarve (*Parmeliopsis hyperopta*), harmaahankakarve (*Pseudevernia furfuracea*), harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*), raidanisokarve (*Parmelia sulcata*)

Melko kestäviä: keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*), sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*), ruskoröyhelö (*Cetraria chlorophylla*), keltaröyhelö (*Cetraria pinastri*)

Kestäviä: vihersukkulajäkälä + levät (*Scoliciosporum chlorococcum* + *algae*), seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*)

Seinäsuomujäkälä, vihersukkulajäkälä sekä sini- ja viherlevät ovat ilman saastumisesta, etenkin typpilaskeumasta, **hyötyviä** lajeja.

1.3 Mäntyjen neulasvuosikerrat

Havupuilla vanhimpien neulasten variseminen on luonnollinen ilmiö, esimerkiksi männyn neulasen elinikä on Etelä-Suomessa 3-5 vuotta. Mänty varistaa neulasensa yleensä ikäluokka kerrallaan elo-syyskuussa. Neulasten elinikään ja siten neulavuosikertojen määrään vaikuttavat kasvupaikan ominaisuudet ja maantieteellinen sijainti (Suomessa elinikä kasvaa pohjoista kohti), sääolot, sien- ja hyönteistuhot, puun ikä ja perinnölliset ominaisuudet, mutta myös ihmistoiminnan seu-

raukset, kuten ilmansaasteet. Koska havupuut ovat vihreitä talvellaikin, neulaset ovat runkojäkälien tapaan alttiina saasteille ympäri vuoden.

Ilmansaasteet voivat vaikuttaa puun neulasvuosikertojen määrään sekä suorilla neulasvaurioilla että välillisesti maaperän kautta. Ilmansaasteet vaurioittavat neulasta peittävää vahakerrosta ja neulasten ilmarakojen toimintaa, jolloin neulasten vanheneminen nopeutuu ja variseminen aikaistuu. Epäsuorasti ilmansaasteet vaikuttavat neulasiin esimerkiksi maan happamoitumisen kautta. Maan happamuiden kasvu lisää ravinteiden huuhtoutumista maaperästä ja puille myrkyllisten raskasmetallien vapautumista maahiukkasista. Tämä saattaa häiritä puiden ravinne- ja vesitasapainoa, jolloin puun vastustuskyky erilaisia stressitekijöitä vastaan heikkenee.

1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Ilmanlaatua on seurattu Savonlinnan alueella 1980-luvulta lähtien suorien pitoisuusmittausten lisäksi käyttäen ilmentäjinä havupuita ja niiden rungoilla kasvavia jäkäliä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ilmansaasteiden vaikutusta männyn runkojäkälien määrään ja lajikoostumukseen sekä neulasvuosikertojen lukumäärään. Lisäksi selvitettiin sitä, miten eri alueet eroavat ilman laadun suhteen. Vastaava tutkimus on aikaisemmin tehty vuosina 1989, 1993, 1997, 2002 ja 2005. Vuosina 2011 - 2012 tutkimuksen suoritti ympäristösuunnittelija Anne Väänänen.



2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

2.1 Tutkimuspisteet

Jäkäläkartoitus suoritettiin huhtikuussa 2011 ja maaliskuussa 2012. Eri puolilla Savonlinnaa sijaitsevia tutkimuspisteitä oli yhteensä 27. Tutkimukseen valittiin pääosin samat pisteet kuin aikaisempien vuosien vastaavissa tutkimuksissa. Tutkimuspisteiden sijainti on esitetty liitteissä 1-3. Pisteet jaettiin kolmeen alueeseen: ydinkeskustaan, keskustan ympäristöön ja haja-asutusalueeseen. Jaon perusteena käytettiin pisteen etäisyyttä Savonlinnan ydinkeskustan läpi kulkevasta Olavinkadusta. Koska jakoa ei voida pitää yksiselitteisenä, sen antamaa informaatiota tarkasteltava vain suuntaa-antavana.

Kriteerit jäkäläkartoituksessa käytettävälle metsikölle on esitetty Suomen Standardisoimisliiton standardissa SFS 5670. Tärkeimpiä ovat metsikön ikä, puuston tiheys sekä aluskasvillisuuden esiintyminen. Valintakriteerien suhteen optimaaliset havaintoalat sijaitsevat kuivahkoilla tai kuivilla kankailla, joilla aluskasvillisuus on matalaa ja metsä melko harvaa. Havaintoalojen valinnalla pyritään eliminoimaan luontaiset jäkälälajiston koostumukseen sekä vaurioihin vaikuttavat mikroilmastolliset tekijät, joista tärkein on valoisuuden ja varjoisuuden suhde. Havaintopuiksi valittiin läpimitaltaan vähintään 20 cm olevia puita. Tutkimukseen valikoituneiden puiden keskimääräinen läpimitta oli 30,7 cm.

2.2 Mäntyjen runkojäkälien ja neulasvuosikertojen kartoitus

Tutkimuksessa kustakin tutkimuspisteestä valittiin satunnaisesti viisi mäntyä, joista tehtiin jäkälähavainnoinnit ja neulasvuosikertojen laskennat. Jäkäläkartoituksessa määritettiin jäkälälajien esiintyminen, sormipaisukarveen vaurioluokka sekä sormipaisukarveen ja luppojen suhteellinen peittävyys pistefrekvenssimenetelmällä. Indikaattorilajeina käytettiin 12:ta männyillä yleisesti kasvavaa jäkälälajia (taulukko 1).

Seurattujen jäkälälajien esiintyminen tai puuttuminen puun rungoilta havainnoitiin 100 - 200 cm:n korkeudelta. Harmaatyvi- ja tuhkakarvetta ei eroteltu omiksi lajikkeeseen lajiparin samankaltaisuuden ja vaikean lajilleen määrittämisen vuoksi. Jäkälähavainnoinnissa sovellettiin standardia SFS 5670.

Sormipaisukarveen ja luppojen pistefrekvenssilaskennat tehtiin puun itäkoillispuolelta sekä länsi-lounaispuolelta. Pistefrekvenssilaskennassa puun runkoon kiinnitettiin 120 – 160 cm:n korkeudelle 30*40 cm:n muovikalvo, joka oli jaettu sataan ruutuun. Lajin esiintyminen havainnoitiin ruutujen alareunan keskipisteen kohdalta. Siten suurin mahdollinen pistefrekvenssi yksittäiselle puulle oli 100 ja tutkimuspisteelle 1000, jolloin puunrunko olisi käytännössä ollut yhtenäisen jäkäläistön peittämä.

Taulukko 1. Tutkimuksessa seurattu jäkälälajisto.

Tieteellinen nimi	Suomenkielinen nimi
Hypogymnia physodes	Sormipaisukarve
Parmeliopsis ambigua	Keltatyvikarve
P. hyperopta & Imshaugia aleurites	Harmaatyvi- ja tuhkakarve
Hypocenomyce scalaris	Seinäsuomujäkälä
Bryoria spp.	Lupot
Usnea spp.	Naavat
Platismatia glauca	Harmaaröyhelö
Cetraria pinastri	Keltaröyhelö
C. chlorophylla	Ruskoröyhelö
Pseudevernia furfuracea	Hankakarve
Scoliosporum chlorocommum + algae	Viherkuprajäkälä + leväpeite

Yleisimmän lajin, sormipaisukarveen vaurioluokka (taulukko 2) määritettiin koko rungolta välillä 100 - 200 cm. Ongelmana sormipaisukarveen vaurioluokan käytössä ilmanlaadun mittarina voidaan pitää sitä, että menetelmä on alun perin tarkoitettu ilmansuojelun selvityksiin ja seurantaan erityisesti taajamissa sekä teollisuuslaitosten ympäristössä ja sen soveltaminen haja-asutusalueilla on jokseenkin hankalaa.

Taulukko 2. Sormipaisukarveen vaurioluokitus.

Luokitus		Määritelmä
I	normaali	Jäkälät terveitä tai lähes terveitä (mustia täpliä saa esiintyä)
II	lievä vaurio	Lievästi kitukasvuisia ja vähäisiä värimuutoksia
III	selvä vaurio	Kitukasvuisia, selvästi vihertyneitä tai tummentuneita
IV	paha vaurio	Pieniä, ryppyisiä, vihertyneitä tai tummentuneita
V	kuollut tai puuttuu	

Ilmanlaadun vaikutuksia arvioitiin laskemalla MS-indeksi (Mean Sensitivity). MS-indeksi on näytepuulla esiintyvien lajien herkkyysarvojen keskiarvo, johon lajien runsaudet eivät vaikuta. Koska indeksi ei ota huomioon lajiston runsaussuhteita, indeksin arvoon vaikuttaa eniten herkkien lajien osuus kokonaislajimäärästä. Siten sekä pienillä peittävyyksillä esiintyvät lajit että yleiset ja runsaat lajit vaikuttavat indeksin arvoon samalla tavalla.

MS-indeksi laskettiin seuraavan Liun (1996) esittämän kaavan mukaan:

$$MS = 1/n \sum S_i$$

Jossa MS = näytepuun indeksi

S_i = lajin i herkkyysarvo (taulukko 4.)

i = laji $i = 1, \dots, n$

n = lajien kokonaismäärä

Taulukko 3. Seurattujen jäkälälajien (lukuun ottamatta viherkuprujäkälää ja levää) herkkyysarvot.

Laji / suku	Herkkyysarvo S_i
Hypogymnia physodes (Sormipaisukarve)	2
Parmeliopsis ambigua (Keltatyvikarve)	2
Parmeliopsis hyperopta & Imshaugia aleurites (Harmaatyvi- ja tuhkakarve) ¹⁾	5
Hypocenomyce scalaris (Seinäsuomujäkälä)	2
Bryoria spp. (Lupot)	6
Usnea spp. (Naavat)	6
Platismatia glauca (Harmaaröyhelö)	4
Cetraria pinastri (Keltaröyhelö)	4
Cetraria chlorophylla (Ruskoröyhelö)	4
Pseudevernia furfuracea (Hankakarve)	4

¹⁾Keskiarvo harmaatyvikarveen (= 3) ja tuhkakarveen (= 7) arvosta

Tutkimukseen valittujen jäkälien herkkyysarvoista johtuen MS-indeksin arvo pystyi vaihtelemaan kahden ja kuuden välillä. Minimiarvon indeksi sai silloin, kun puulla esiintyi pelkästään jäkälälajeja, joiden herkkyysarvo on kaksi ja maksimiarvon silloin, kun puulla esiintyi pelkästään naavoja ja/tai luppoja.

Neulasvuosikerrat tutkittiin jokaisesta näytepuusta erikseen tarvittaessa kiikaria avuksi käyttäen. Neulasvuosikertojen määräksi otettiin puussa havaittujen vuosikertojen keskiarvo. Vuosikerta katsottiin oksan päästä runkoon päin havaittavana haaraumanneulastuksena. Viimeinen haaraumanneulastus laskettiin täytenä mukaan, jos haaravälillä oli vielä noin 50 % neulasista jäljellä. Jos vanhimmalla haaravälillä oli alle 50 % neulasista jäljellä, se merkittiin +:la (esim. neulasvuosikertoja 3+).

2.3 Analysointi

Maastokartoituksen tulokset kirjattiin Excel –taulukkolaskentaohjelmaan. Yhteyttä tutkimuspisteen sijainnin (ydinkeskusta, keskustan ympäristö tai haja-asutusalue) ja mäntyjen jäkälälajiston lajikoostumuksen, lajien esiintymisrunsauden, jäkälien vaurioasteen sekä MS-indeksin välillä testattiin korrelaatioanalyysillä.

3 TULOKSET

3.1 Sormipaisukarveen vaurioluokitus

Sormipaisukarveen vaurioaste vaihteli tutkimusalueella terveestä kuolleeseen tai puuttuvaan, kaikkien tutkimuspisteiden keskimääräisen vaurioasteen ollessa 2,5. Keskimääräinen vaurioaste oli suurin keskustaa ympäröivällä alueella (2,9) ja pienin haja-asutusalueella (2) sijaitsevilla tutkimuspisteillä. Ydinkeskustassa vaurioaste oli 2,5.

Vaurioaste on luokiteltu havaintoaloittain ja havaintopuittain taulukossa 4. Suurimmalla osalla (45 %) havaintopisteistä sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta. Sormipaisukarve oli tervettä 7 %:lla, selvästi vaurioitunutta 41 %:lla ja pahasti vaurioitunutta 7 %:lla havaintopisteistä. Sormipaisukarve puuttui tai oli kuollutta yhdellä, Sulosaaressa sijaitsevalla havaintopisteellä. Tutkimuspuittain tarkasteltuna sormipaisukarve oli tervettä 10 %:lla havaintopisteistä. Suurella osalla (44 %) tutkimuspuista sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta, 33 %:lla vauriot olivat selviä ja 11 %:lla puista pahoja. Rungoista 2 %:lla sormipaisukarve oli kuollutta tai puuttui.

Sormipaisukarveen osalta normaaliksi luokiteltavaa jäkäläpeitettä havaittiin Kyrönniemen, Kesamonsaaren, Kallislahden, Niittylahden, Ikoinniemen ja Loikansaaressa sijaitsevilla tutkimuspisteillä. Sormipaisukarveen esiintymistä oli havaittavissa myös vaurioita. Lievää tai selvää vauriota sormipaisukarveessa oli Verkkosaaren, jätevedenpuhdistamon, Parkkolanmäen, Nojanmaan pururadan, Talvisalon pururadan, Alttarkiven, Lypsyniemen, Pölläskylän, Nikaniemen, Hirvasjärventien, Oravin ja Tappuvirran tutkimuspisteillä. Pahasti vaurioituneita sormipaisukarveja havaittiin Karkulahden, Pääskyniemen hautausmaan, Sulosaaren, Ensolan, Kotilahden, Pitkäniemen, Ritalan, Talvisalon hautausmaan ja Laukunkankaan tutkimuspisteillä.

Verrattuna vuoden 2005 tutkimukseen luokkaan normaali kuuluvia jäkäläliä oli tässä tutkimuksessa selvästi vähemmän (v. 2005: 36 % pisteistä ja 29 % puista). Selviä vaurioita jäkälissä oli enemmän (v. 2005: 8 % pisteistä ja 12 % puista).

Taulukko 4. Sormipaisukarveen havaittu vaurioluokitus

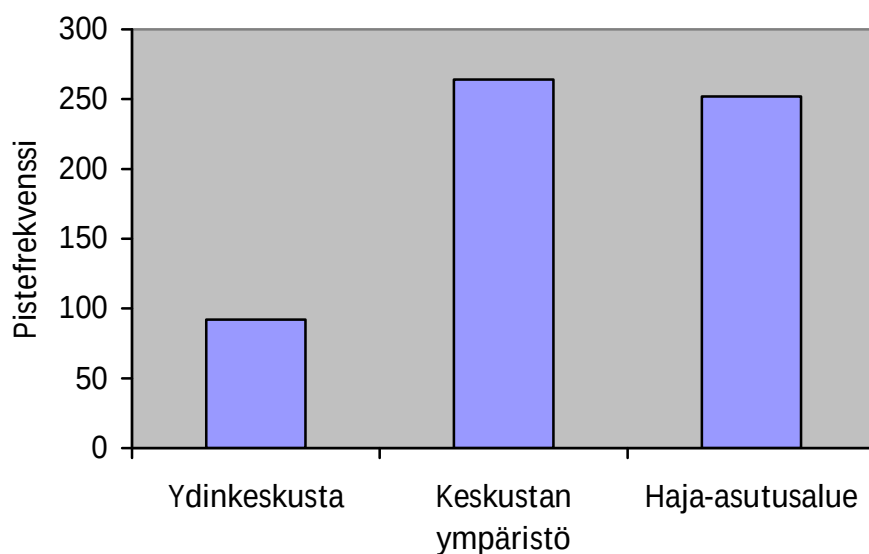
Luokka	Piste (lkm)	% pisteistä	Puu (lkm)	% puista
I normaali	2	7	14	10
II lievä vaurio	12	45	59	44
III selvä vaurio	11	41	45	33
IV paha vaurio	2	7	15	11
V autio	-	-	2	2
Yhteensä	27	100	135	100

3.2 Pistefrekvenssijakaumat

Kaikissa tutkimuspisteissä esiintyi sormipaisukarvetta (taulukko 5). Runsaimmin sormipaisukarvetta oli Ensolan (pistefrekvenssi 600), Parkkolanmäen (451) ja Talvisalon pururadan (433) tutkimuspisteissä. Viiden puun pistefrekvenssi oli keskimäärin 233 (v. 2005 keskimäärin 175). Yksittäisillä puilla puun itä-pohjoispuolella kasvoi jäkälää hieman runsaammin kuin puun länsi-eteläpuolella. Keskimääräinen pistefrekvenssi puun itä-pohjoispuolella oli 126 ja länsi-eteläpuolella 107. Frekvenssijakauma on tässä tutkimuksessa tasaisempi kuin vuoden 2005 tutkimuksessa. Ydinkeskustassa sormipaisukarvetta esiintyi vähemmän kuin muilla kaupungin keskustan ympäristössä tai haja-asutusalueilla (kuva 2).

Taulukko 5. Sormipaisukarveen pistefrekvenssijakauma tutkimuspisteissä.

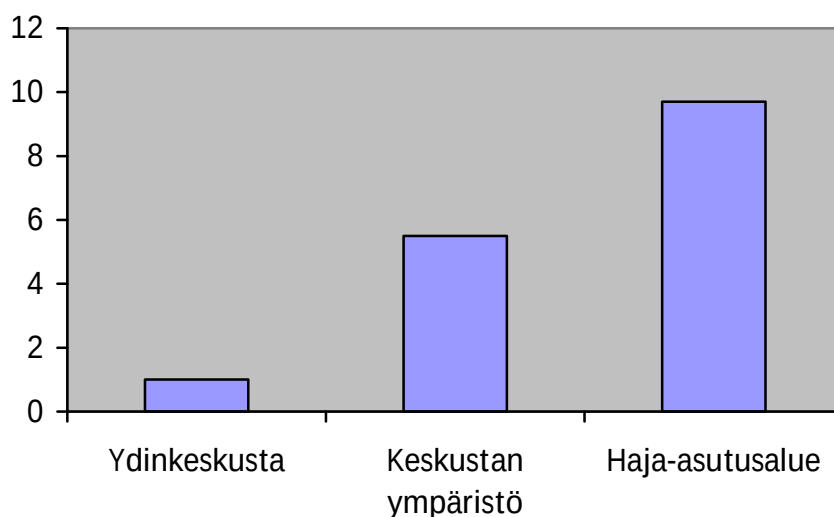
Pistefrekvenssi (max.=800)	Piste (lkm)	% pisteistä
0	-	-
1 – 100	5	19
101 – 200	7	26
201 – 300	6	22
301 – 400	6	22
yli 400	3	11
Yhteensä	27	100



Kuva 2. Sormipaisukarveen pistefrekvenssi (keskiarvo) ydinkeskustassa sekä keskustan ympäristö- ja haja-asutusalueilla.

Naavoja ja luppoja esiintyi selvästi enemmän ydinkeskustasta haja-asutusalueelle siirryttäessä. Edellisessä tutkimuksessa vuonna 2005 esiintyminen oli hyvin epätasaista eikä eroa kaupungin ydinkeskustan ja keskustan ympäristön välillä ollut havaittavissa. Haja-asutusalueen tutkimuspisteissä pistefrekvenssi oli kuitenkin noin kolme kertaa suurempi kuin ydinkeskustan ja keskustan ympäristön.

Tässä tutkimuksessa ydinkeskustan keskimääräinen pistefrekvenssi oli 1; keskustan ympäristössä 5,5 ja haja-asutusalueella 9,7 (kuva 3). Keskimäärin naavojen ja luppojen viiden puun pistefrekvenssi oli 6,8 (vuonna 2005: 1,5).



Kuva 3. Naavojen ja luppojen pistefrekvenssi (keskiarvo) ydinkeskustassa sekä keskustan ympäristö- ja haja-asutusalueilla.

Runsaimmin naavoja ja luppoja esiintyi Niittylahden (pistefrekvenssi 14) ja Pölläskylän (12) pisteissä. Tutkimuspisteistä 78 %:lla naavoja tai luppoja ei esiintynyt lainkaan (taulukko 6).

Taulukko 6. Naavojen ja luppojen pistefrekvenssijakauma tutkimuspisteissä.

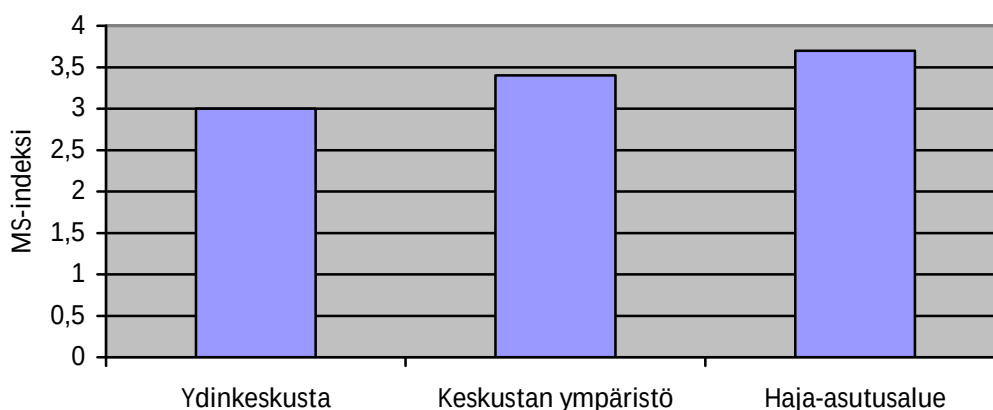
Pistefrekvenssi (max.=800)	Piste (lkm)	% pisteistä
0	21	78
1 – 10	4	15
11 – 20	2	7
21 – 30	-	-
31 – 40	-	-
yli 40	-	-
Yhteensä	27	100

3.3 MS-indeksi

MS-indeksin arvoksi tuli kaksi Lypsyniemen tutkimuspisteellä. Yli neljän MS-indeksin arvoja saivat pisteet Karkulahti, Tappuvirta, Niittylahti ja Pölläskylä. Keskimääräinen MS-indeksin arvo kaikissa tutkimuspisteissä oli 3,5. Arvot jakautuivat hyvin samantyyppisesti kuin vuonna 2005 (taulukko 7). Ydinkeskustan tutkimuspisteet saivat keskimäärin alhaisempia arvoja kuin muut pisteet (kuva 4).

Taulukko 7. MS-indeksin arvojen jakautuminen tutkimuspisteillä

Luokka	Piste (lkm)	% pisteistä
2	1	4
2,1 - 3	5	18
3,1 - 4	17	63
yli 4	4	15
Yhteensä	27	100



Kuva 4. MS-indeksi (keskiarvo) ydinkeskustassa, keskustan ympäristö- ja haja-asutusalueilla.

3.4 Jäkälien esiintyminen tutkimuspisteissä

Sormipaisukarve ja keltatyvikarve olivat yleisimmät tutkimuspisteillä esiintyvät jäkälälajit (taulukko 8). Lajeja havaittiin jokaisella tutkimuspisteellä. Jäkälien kunto ja määrä vaihtelivat kuitenkin merkittävästi pisteiden välillä. Toiseksi yleisimpänä havaittiin harmaatyvi- ja tuhkakarvetta. Rusko- ja harmaaröyhelöt olivat seuratuista lajeista harvinaisimpia. Keskimäärin puun rungolla havaittiin 6,0 jäkälälajia. Ydinkeskustan ja keskustan ympäristön tutkimuspisteiden keskimääräinen lajimäärä puuta kohden oli täysin sama: 5,8 lajia. Haja-asutusalueella lajeja tavattiin hieman enemmän, keskimäärin kuusi lajia puuta kohden.

Lajimäärissä on havaittavissa muutoksia vuoden 2005 tutkimukseen verrattuna. Hankakarvetta havaittiin tässä tutkimuksessa enemmän (2005: 12 % puista) ja

kuormitusta kestävä keltatyvikarvetta huomattavasti enemmän (2005: 23 %). Herkähköä harmaatyvi- ja tuhkakarvetta havaittiin selvästi vähemmän (2005: 76 %). Typpilaskeumasta hyötyvää seinäsuomujäkälää havaittiin vähemmän (2005: 39 %) ja myös lisääntynyttä typpilaskeumaa indikoivaa viherkuprajäkälää ja leväpeitettä havaittiin huomattavasti vähemmän (2005: 39 %). Ilmansaasteille herkkien loppojen ja naavojen määrät olivat vastaavia kuin vuonna 2005.

Taulukko 8. Tutkimukseen valittujen jäkälälajien esiintymisen jakautuminen tutkimuspisteillä.

Laji/suku	Piste (lkm)	% pisteistä	Puu (lkm)	% puista
Sormipaisukarve	27	100	133	99
Keltatyvikarve	27	100	123	91
Harmaatyvi- ja tuhkakarve	23	85	66	49
Seinäsuomujäkälä	12	44	32	24
Lupot	9	33	13	10
Naavat	16	59	42	31
Keltaröyhelö	18	67	47	35
Ruskoröyhelö	4	15	4	3
Harmaaröyhelö	4	15	5	4
Hankakarve	16	59	42	31
Viherkuprajäkälä + leväpeite	3	11	7	5

Viherkuprajäkälää ja leväpeitettä esiintyi kaupungin ydinkeskustan tutkimuspisteillä Talvisalon hautausmaa ja Lypsyniemi sekä keskusta-alueen tutkimuspisteellä Kotilahti. Tutkimuspisteistä 89 %:lla leväpeitettä ei tavattu lainkaan. Leväpeitteen ja viherkuprajäkälän lisäksi seinäsuomujäkälä hyötyy ilmansaasteista. Seinäsuomujäkälää esiintyi 44 %:lla tutkimuspisteistä. Eniten sitä havaittiin kaikissa ydinkeskustan tutkimuspisteissä ja keskustan ympäristön tutkimuspisteillä Sulo-saari ja Ritala.

3.5 Neulasvuosikertojen lukumäärä

Koko tutkimusalueella männyn neulasvuosikertojen määrä vuonna 2012 oli keskimäärin 2+ (taulukko 9). Pisteet, joissa neulasvuosikertoja oli yli kaksi, olivat Kyronniemi, Talvisalon hautausmaa, Parkkolanmäki, Laukunkangas, Nojanmaan pururata, Loikansaari, Ensola, jätevedenpuhdistamo, Ritala, Kesamonsaari, Tappuvirta, Lypsyniemi, Kotilahti, Pitkäniemi ja Kallislahti. Yhteyttä pisteiden sijainnin ja neulasvuosikertojen määrän välillä ei ole havaittavissa. Edellisessä tutkimuksessa vuonna 2005 neulasvuosikertojen määrä oli keskimäärin 2.

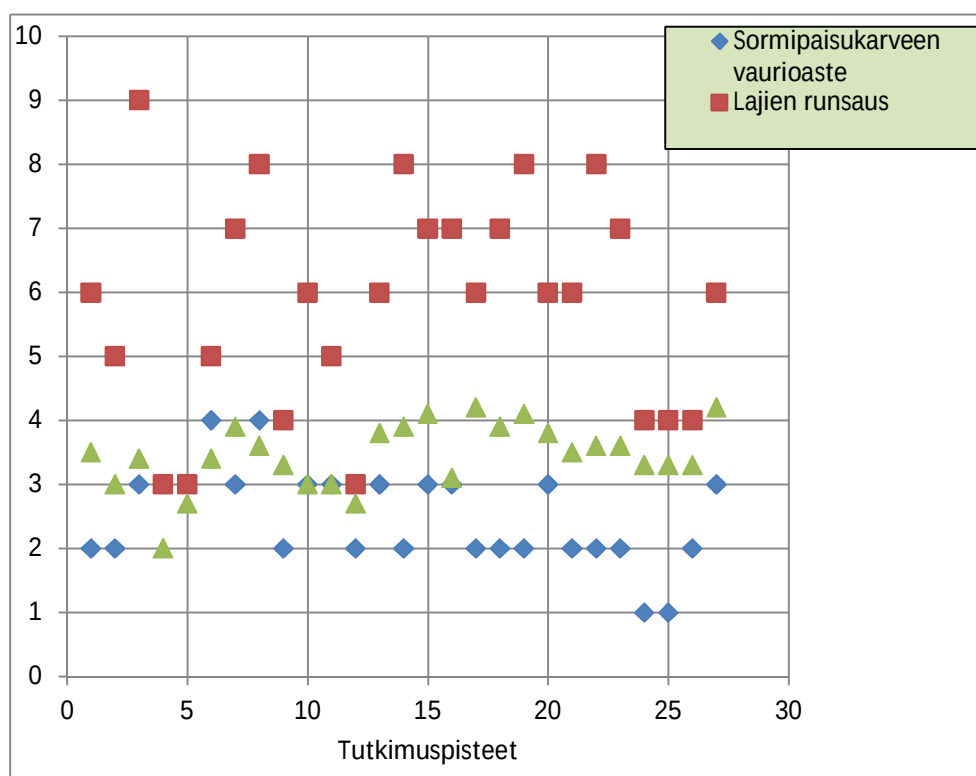
Taulukko 9. Neulasvuosikertojen jakautuminen

Neulasvuosikertojen lkm	Piste (lkm)	% pisteistä	Puu (lkm)	% puista
1 – 2	12	44	62	46
2+ – 3	15	56	73	54
3+ – 4	-	-	-	-
4+ – 5	-	-	-	-
Yhteensä	27	100	135	100

3.6 Tulosten tulkintaa

Vuoden 2005 tutkimuksessa tutkimuspisteet oli jaettavissa viiteen eri ryhmään sormipaisukarveen vaurioluokituksen, sormipaisukarveen sekä luppojen ja naavojen pistefrekvenssin, MS-indeksin arvon ja neulasvuosikertojen määrän perusteella. Ensimmäiseen ryhmään sijoitettiin pisteet, joissa jäkäläpeite oli pahiten vaurioitunut ja viidenteen ryhmään pisteet, joissa jäkäläpeite oli vain lievästi vaurioitunutta.

Tässä tutkimuksessa korrelaatiota tutkimuspisteen, sormipaisukarveen vaurioluokituksen, pistefrekvenssin ja MS-indeksin välillä ei ole havaittavissa (kuva 5). Sen sijaan naavojen ja luppojen alueittaisen esiintymisen sekä MS-indeksin välillä on selvä yhteys (korrelaatio 0,998).



Kuva 5. Sormipaisukarveen vaurioaste, pistefrekvenssi ja MS-indeksi tutkimuspisteittäin.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Jäkäläkartoituksen virhelähteet ja luotettavuus

Jäkäläkartoituksen tulosten luotettavuuteen vaikuttavat kartoituksen tekijöiden lajintuntemus sekä kokemus bioindikaattoritutkimusten tekemisessä. Ilman epäpuh-
taudet voivat aiheuttaa lajien ulkonäköön huomattavia muutoksia, mikä vaikeuttaa
tunnistamista. Koska kartoitusentekijät ovat eri henkilöitä eri tutkimuksissa, jäkä-
lälajien esiintymisen kirjaamistapa voi vaihdella. Subjektiviisiin arvioihin pohjautu-
va jäkälien näkyvien vaurioiden arviointi ja luokittelu voi aiheuttaa myös kartoitta-
jakohtaisia eroja tuloksiin.

Taustamuuttujat eivät itsessään kuvaa ilmanlaatua, mutta saattavat vaikuttaa il-
manlaadusta kertoviin muuttujiin. Taustamuuttujia ovat esimerkiksi metsätyyppi,
puiden ikä, puiden läpimitta ja metsän kehitysaste ja pohjapinta-ala. Nämä muut-
tijat havainnoidaan kaikilta näytealoilta.

Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisemassa tutki-
muksessa (Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta
vuonna 2010) on kerätty tietoja eri puolilla Suomea tehtyjen tutkimusten tuloksia
jäkälämuuttujien osalta (taulukko 10). Verrattuna muihin tutkimuksiin Savonlinnan
alueen jäkäläkartoituksessa todettu sormipaisukarveen vaurioaste on keskimää-
räistä korkeampi, mutta lajilukumäärä puuta kohden huomattavasti keskimääräistä
suurempi.

Alue	Tutkimusvuosi	Sormipaisukarveen vaurioaste	Lajilukumäärä / puu
Savonlinna	2011 - 12	2,5	6
Pohjois-Karjala	2010	1,9	6
Uusimaa	2009	2,1	4,7
Pyhäjärviseu	2007	2,1	5,3
Vakka-Suomi	2006	2,1	5,1
Länsi-Suomi	2006	2,1	4,1
Turku	2005	2,2	3,6
Keski-Suomi	2005	2	
Etelä-Karjala	2005	2,3	

**Taulukko 10. Mäntyjen runkojäkäliä kuvaavia muuttujia eri puolilla Suomea
toteutetuissa tutkimuksissa.**

4.2 Ilmanlaatu Savonlinnassa

Männyn runkojäkäläkartoituksen perusteella Savonlinnan ydinkeskustan ilmanlaatu on heikentynyt kaupungin muihin osiin verrattuna. Ydinkeskustan tutkimuspisteillä sormipaisukarveen pistefrekvenssi on pienempi kuin muilla alueilla. Samoin MS-indeksi on pienempi, mikä kertoo ilmansaasteille herkkien lajien vähyydestä. Myös lisääntynyttä typpilaskeumaa indikoivaa viherlevää esiintyi yleisemmin ydinkeskustassa kuin sen ulkopuolella. Haja-asutusalueen pisteillä sitä ei esiintynyt ollenkaan. Ydinkeskustan muita alueita korkeammat liikennemäärät selittävät ainakin osan erosta, mutta myös teollisuuden ja energiantuotannon päästöt ilmaan kasvattavat ilman epäpuhtauksien määrää ydinkeskustan alueella. Koska jäkälien runsauteen ja lajistosuhteisiin vaikuttavat ilmanlaadun lisäksi myös ilmastolliset ja paikalliset kasvuolosuhteet, ei vaurioita jäkälästössä voida selittää pelkästään ilmansaasteiden vaikutuksella, vaan paikalliset tekijät aiheuttavat myös eroja tutkimuspisteiden välille, esimerkiksi maaseutualueilla myös maataloustoiminnoilla voi olla paikallisia ilmanlaatuvaikutuksia.

Tutkimuksessa jäkälät olivat herkempiä ilmanlaadunmittareita kuin männyn neulasvuosikertojen määrä, sillä neulasvuosikertojen määrässä ei ollut havaittavissa selviä eroja ydinkeskustan ja kaupungin muiden osien välillä. Myöskään edellisessä tutkimuksessa vuonna 2005 neulasvuosikertojen määrä kaupungin ydinkeskustassa ei eronnut Savonlinnan muista osista.

Männyn runkojäkäläkartoitus on tehty Savonlinnassa aikaisemmin vuosina 1989, 1993, 1997, 2002 ja 2005. Tutkimuspisteet eivät ole olleet täysin samoja eri vuosina tehdyissä tutkimuksissa, tutkitut puut ovat vaihdelleet ja tutkimuksen tekijä on ollut eri vuosina eri henkilö. Näin ollen tutkimukset eivät ole täysin vertailukelpoisia ja siten suoraa vertailua eri vuosina tehtyjen tutkimusten välillä ei voi tehdä.

Bioindikaattoriseurantaa olisi jatkossa hyvä toteuttaa vähintään 10 vuoden välein. Seurantaväli voisi olla lyhyempikin alueen merkittävien pistemäisten päästölähteiden läheisyydessä, joissa paikalliset ilmanlaadun muutokset ja muutosten vaikutukset käytettävissä bioindikaattoreissa näkyvät jo lyhyemmällä aikavälillä.

Lähteet

- Lehkonen E., Huuskonen I., Keskitalo T., Nevalainen S., Poikolainen J. ja Laita M. 2010. Pohjois-Karjalan maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2010. Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskuksen julkaisuja.
- Savonlinnan kaupunki. Ympäristönsuojelulautakunta. 2005. Männyn runkojäkälä- ja neulasvuosikartoitus Savonlinnassa keväällä 2005.

Jäkälä- ja neulasvuosikartoituksen tutkimuspisteet ja jako alueisiin vuosina 2011 – 2012.

Tutkimuspiste		ryhmä
1.	Kyrönniemi	ydinkeskusta
2.	Verkkosaari	ydinkeskusta
3.	Talvisalon hautausmaa	ydinkeskusta
4.	Lypsyneemi	ydinkeskusta
5.	Ensola	keskustan ympäristö
6.	Pitkänemi	keskustan ympäristö
7.	Ritala	keskustan ympäristö
8.	Kotilahti	keskustan ympäristö
9.	Jätevedenpuhdistamo	keskustan ympäristö
10.	Talvisalon pururata	keskustan ympäristö
11.	Sulosaari	keskustan ympäristö
12.	Parkkolanmäki	keskustan ympäristö
13.	Nojanmaan pururata	keskustan ympäristö
14.	Alttarkivi	keskustan ympäristö
15.	Karkulahti	keskustan ympäristö
16.	Pääskyniemen hautausmaa	keskustan ympäristö
17.	Tappuvirta	haja-asutusalue
18.	Oravi	haja-asutusalue
19.	Niittylahti	haja-asutusalue
20.	Laukunkangas	haja-asutusalue
21.	Ikoinniemi	haja-asutusalue
22.	Hirvasjärventie	haja-asutusalue
23.	Nikaniemi	haja-asutusalue
24.	Kesamonsaari	haja-asutusalue
25.	Loikansaari	haja-asutusalue
26.	Kallislahti	haja-asutusalue
27.	Pölläskylä	haja-asutusalue



