

MÄNNYN RUNKOJÄKÄLÄ- JA NEULASVUOSIKERTAKARTOITUS SAVONLINNASSA KEVÄÄLLÄ 2005



SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	3
1.1	<i>Bioindikaattoreiden käyttö tutkimuksissa</i>	3
1.2	<i>Jäkälät bioindikaattoreina.....</i>	3
1.3	<i>Mäntyjen neulasvuosikerrat.....</i>	4
1.4	<i>Tutkimuksen tavoitteet</i>	4
2	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	5
2.1	<i>Tutkimuspisteet.....</i>	5
2.2	<i>Mäntyjen runkojäkälien ja neulasvuosikertojen kartoitus.....</i>	5
2.3	<i>Tilastollinen analyysi.....</i>	7
3	TULOKSET.....	8
3.1	<i>Yleinen ja sormipaisukarveen vaurioluokitus</i>	8
3.2	<i>Pistefrekvenssijakaumat.....</i>	10
3.3	<i>MS-indeksi.....</i>	11
3.4	<i>Jäkäliden esiintyminen tutkimuspisteissä</i>	12
3.5	<i>Neulasvuosikertojen lukumäärä.....</i>	14
3.6	<i>Tutkimuspisteen mäntyjen lukumäärän vaikutus tuloksiin</i>	15
4	TUTKIMUSPISTEIDEN RYHMITTELY	16
5	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	18
	<i>Kirjallisuus</i>	19

1 JOHDANTO

1.1 Bioindikaattoreiden käyttö tutkimuksissa

Bioindikaattorit ovat eliöitä, eliöyhdyskuntia tai niiden osia, joiden avulla tutkitaan ympäristön laatua. Muutos eliön, eliöyhdyskunnan tai sen osan rakenteen toiminnassa, kemiallisessa koostumuksessa tai alkuainepitoisuudessa osoittaa esimerkiksi epäpuhtauksien esiintymistä, levinneisyyttä tai vaikutuksia (SFS 5670). Bioindikaattorit reagoivat herkemmin kohonneeseen kuormitukseen tai kuormituksen muutokseen ympäristössään kuin muut eliöt. Bioindikaattorit sopivat usein pitkäaikaiseen ympäristön tilan seurantaan ja ne voivat paljastaa myös hetkellisiä suuria haitta-aineiden pitoisuuksia. Bioindikaattoreilla tehtävä tutkimus on yleensä edullista toteuttaa ja tuloksia voidaan saada nopeasti. Bioindikaattoreiden käyttäminen vaikeuttavat kuitenkin ekosysteemien monimutkaisuus ja lajien väliset vuorovaikutukset, eliöiden sisäinen geneettinen vaihtelu sekä menetelmien vakiintumattomuus. Lisäksi haitta-aineiden pitoisuuksista ei saada täsmällistä tietoa, pahoin saastuneilta alueilta bioindikaattorit voivat puuttua kokonaan ja kaikille muutoksille ei 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, saadaan niistä vain indikoivaa tietoa ympäristön tilasta ja saastemääristä ja siten ne eivät voi korvata leviämismallilaskelmia ja suoria mittauksia päästöjen leviämistä epäpuhtauspitoisuuksia ja laskeumia kuvaavina menetelminä. Biologiset tutkimukset kuitenkin tukevat ympäristön tilan seuranta.

1.2 Jäkälät bioindikaattoreina

Jäkälien käyttökelpoisuus ilman laadun bioindikaattoreina havaittiin yli 100 vuotta sitten. Etenkin epifyyttisiä runkojäkäliä käytetään ilmanlaadun indikaattoreina. Ilman saasteilla on jäkäliin mm. fysiologisia vaikutuksia, jotka usein myös heijastuvat ulkoisina vaurioina. Jäkäläaineisto ilmentää kaikkien ilmansaasteiden yhteisvaikutusta siten eri epäpuhtauksien osuutta ei voida kuitenkaan täysin luotettavasti pelkän jäkäläaineiston perusteella arvioida.

Ilmanlaadun biologisilla vaikutustutkimuksilla voidaan arvioida ilman epäpuhtauksien elolliseen luontoon aiheuttamia, pitkän tai lyhyen ajan kuluessa ilmeneviä haittoja ja päästöjen vähenemisestä johtuvaa luonnon vaurioiden korjaantumista. Jäkälät ovat symbioottisia eliöitä, jotka koostuvat sien- ja levä- tai syanobakteeriosakkaasta. Jäkälillä on monia ominaisuuksia, joiden vuoksi ne soveltuvat hyvin bioindikaattoreiksi. Ne ottavat ravinteet ja veden suoraan pintasolukkonsa läpi. Näin myös ilman epäpuhtaudet voivat joutua suoraan kuiva- ja märkälasseumas- ta tai ilman kaasuista jäkälien aineenvaihduntaan. Koska jäkälien suojaava pintakerros on ohut ja niillä ei ole putkikilokasvien tapaan kaasujen vaihtoa sääteleviä ilmarakoja, haitalliset aineet kulkeutuvat helposti jäkäliin. Jäkälät ovat myös hitaasti kasvavia ja pitkäikäisiä, joten saasteet voivat kertyä niiden sekovarten pitkän ajan kuluessa. Rungoilla ja oksilla kasvavat epifyytit ovat lisäksi alttiina saasteille ympäri vuoden.

Jäkälille vaurioita aiheuttavat mm. typen oksidit ja rikkidioksidi, mutta myös hiilivedyt, raskasmetallit sekä orgaaniset epäpuhtaudet ovat vahingollisia jäkälille. Jäkälälajit eroavat toisistaan saasteiden sietokyvyn mukaan: toiset lajit häviävät nopeasti saastekuormituksen lisääntyessä, kun toiset saattavat tiettyyn rajaan asti jopa hyötyä saasteista niiden sisältämien ravinteiden, lähinnä typen, lisääntymisen takia. Puiden rungoilla kasvavista jäkälistä erilaisille ilman epäpuhtauksille herkkiä lajeja ovat mm. lupot (*Bryoria* spp.) ja naavat (*Usnea* spp.). Saasteita kestäviä lajeja ovat mm. sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*), keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*) sekä harmaatyvikarve (*P. hyperopta*) ja niistä hyötyviä ovat seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) ja viherkuprujäkälä (*Scoliciosporum chlorococcom*).

Paitsi ilmanlaatu, jäkälien runsauteen ja lajistoon vaikuttavat myös ilmastolliset ja paikalliset kasvuolosuhteet. Jäkälät kasvavat tehokkaimmin kosteina vuodenaikoina eli keväisin ja syksyisin. Talvella esimerkiksi lämpötilojen vaihtelu ja kevättalven auringonpaiste rasittavat jäkälää. Tästä syystä ilmastolliset tekijät rasittavat erityisesti lumipeitteen yläpuolella kasvavia runkojäkälää. Paikallisesti puiden lajikoostumus, ikärakenne ja tiheys sekä maaperätekijät voivat vaikuttaa myös jäkälälajistoon. Maaperän kemialliset ominaisuudet voivat vaikuttaa kaarnan ominaisuuksiin ja sitä kautta runkojäkälisiin. Lisäksi puun ikä, oksiston runsaus sekä kaarnan kemialliset ja rakenteelliset ominaisuudet voivat vaikuttaa epifyyttisiin jäkäliin.

1.3 Mäntyjen neulasvuosikerrat

Havupuilla vanhimpien neulasten variseminen on luonnollinen ilmiö, sillä esimerkiksi männyn neulasen elinikä on Etelä-Suomessa 3-5 vuotta. Mänty varistaa neulasensa yleensä ikäluokka kerrallaan elo-syyskuussa. Neulasten elinikään ja siten neulasvuosikertojen määrään vaikuttavat kasvupaikan ominaisuudet ja maantieteellinen sijainti (Suomessa elinikä kasvaa pohjoista kohti), sääolot, sienija hyönteistuhot, puun ikä ja perinnölliset ominaisuudet, mutta myös ihmistoiminnan seuraukset, kuten ilmansaasteet. Koska havupuut ovat vihreitä talvellakin, neulaset joutuvat runkojäkäliden tapaan olemaan 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 ja siten nopeuttavat neulasten vanhenemista ja aikaistavat niiden varisemista. Epäsuorasti ilmansaasteet vaikuttavat neulasiin esimerkiksi maan happamoitumisen kautta. Maan happamuuden kasvu lisää ravinteiden huuhtoutumista maaperästä ja puulle myrkyllisten raskasmetallien vapautumista maahiukkasista. Tämä saattaa häiritä puiden ravinne- ja vesitasapainoa jolloin puun vastustuskyky erilaisia stressitekijöitä vastaan heikkenee.

1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten ilmansaasteet vaikuttavat männyn runkojäkäliden määrään ja lajikoostumukseen sekä neulasvuosikertojen lukumäärään Savonlinnan alueella. Lisäksi selviteltiin sitä, miten kunnan eri alueet eroavat ilman laadun suhteen. Vastaava tutkimus on aikaisemmin tehty vuosina 1989, 1993, 1997 ja 2002. Vuonna 2005 tutkimuksen suoritti ympäristönsuojelusuunnittelija.

2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

2.1 Tutkimuspisteet

Tutkimus suoritettiin maaliskokuussa 2005. Tutkimuspisteitä oli yhteensä 36 ja ne sijaitsivat eri puolilla Savonlinnaa. Tutkimukseen valittiin samat pisteet kuin aikaisempien vuosien vastaavissa tutkimuksissa. Lisäksi valittiin vielä kaksi uutta tutkimuspistettä mukaan ydinkeskustan alueelta. Tutkimuspisteet ja niiden sijainnit ovat esitetty liitteissä 1-3. Tutkimuspisteet jaettiin kolmeen eri ryhmään: ydinkeskustaan, muuhun keskustaan ja haja-asutusalueeseen (Liite 1). Jaon perusteena käytettiin pisteen etäisyyttä Savonlinnan ydinkeskustan läpi kulkevasta Olavinkadusta. Koska jakoa ei voida pitää yksiselitteisenä on sen antamaa informaatiota tarkasteltava vain suuntaa-antavana.

2.2 Mäntyjen runkojäkälien ja neulasvuosikertojen kartoitus

Jäkäläkartoituksessa määritettiin tiettyjen epifyyttisten jäkälälajien esiintyminen, jäkälien yleinen vaurioluokka, sormipaisukarveen vaurioluokka sekä sormipaisukarveen, luppojen ja naavojen pistefrekvenssit ja MS-indeksi. Lisäksi laskettiin mäntyjen neulasvuosikertojen määrä.

Tutkimuksessa kustakin tutkimuspisteestä valittiin satunnaisesti viisi mäntyä, joista tehtiin jäkälähavainnot ja neulasvuosikertojen laskennat. Tulosten analyysivaiheessa eriteltiin myös erikseen havainnot neljän männyn ja viiden männyn osalta kutakin tutkimuspistettä kohti. Tällä haluttiin selvittää vaikuttaako havainnointipuun lisäys tutkimuspistettä kohden tuloksiin. Aiempina vuosina vastaavassa tutkimuksessa on tarkasteltu neljää mäntyä tutkimuspistettä kohden. SFS standardissa on suosituksena viisi havaintopuuta tutkimuspistettä kohden, joten jatkossa vastaavissa tutkimuksissa voidaan käyttää standardin mukaista puumäärää.

Seurattujen epifyyttisten jäkälälajien (taulukko 1.) esiintyminen tai puuttuminen puun rungoilta havainnoitiin 100-200 cm:n korkeudelta. Harmaatyvi- ja tuhkkakarvetta ei eroteltu omiksi lajiksi lajiparin samankaltaisuuden ja vaikean lajilleen määrittämisen vuoksi. Jäkälähavainnoinnissa sovellettiin Suomen standardoimistuksen standardia SFS 5670.

Taulukko 1. Tutkimuksessa seurattu epifyyttinen jäkälälajisto.

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

Jäkälien yleinen vaurioluokka arvioitiin kaikkien seurattujen lajien kunnon perusteella (taulukko 2). Lisäksi määritettiin yleisimmän lajin, sormipaisukarpeen, vaurioluokka erikseen (taulukko 3). Jäkälien vaurioita havainnoitiin koko rungolta välillä 100-200 cm. Vaurioluokituksista yleinen vaurioluokitus ilmaisee herkemmin alhaisten ilmansaasteiden vaikutuksia, koska se huomioi herkkien pensasmaisten lajien muutokset. Ongelmana sekä jäkälien yleisen sekä sormipaisukarpeen 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. Yleinen vaurioluokitus.

Luokitus		Määritelmä
I	normaali	Kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
II	lievä vaurio	Pensasmaiset kitukasvuisia ja lehtimäiset normaaleja
III	selvä vaurio	Pensasmaiset pieniä ja lehtimäiset vaurioituneita
IV	paha vaurio	Pensasmaiset puuttuvat ja lehtimäiset pahoin vaurioituneita
V	autio	Vihersukkulajäkälä- ja leväpeitettä voi esiintyä

Taulukko 3. Sormipaisukarpeen 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	

Sormipaisukarpeen sekä luppojen ja naavojen pistefrekvenssilaskennat tehtiin puun itä-koillispuolelta 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 200 ja tutkimuspisteelle 1000, jolloin puunrunko olisi käytännössä ollut yhtenäisen jäkälistön peittämä.

Ilmanlaadun vaikutuksia arvioitiin myös laskemalla MS-indeksi (Mean Sensitivity). MS-indeksi on näytepuulla esiintyvien lajien herkkyyssarvojen 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 4. Seurattujen epifyyttisten jäkälälajien (lukuun ottamatta viherkuprujäkälää ja levää) herkkyysarvot (Hultengren ym. 1991).

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

¹⁾Keskiarvo harmaatyvikarpeen (= 3) ja tuhkararpeen (= 7) arvosta

Tutkimukseen valittujen jäkäliden herkkyysarvoista johtuen MS-indeksin arvo pysyi 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 Tilastollinen analyysi

Tutkimuspisteen sijainnin (ydinkeskusta, keskusta tai haja-asutusalue) vaikutusta sen mäntyjen jäkälälajiston lajikoostumukseen ja lajien esiintymisrunsauteen, jäkäliden vaurioasteisiin, männyn neulasvuosikertojen määrään sekä MS-indeksiin testattiin varianssianalyysillä sekä korrelaatioanalyysillä. Tilastolliset analyysit tehtiin SPSS tilasto-ohjelmalla, versio 12,01.

3 TULOKSET

Tutkimuksen tulokset esitetään viiden männyn perusteella / tutkimuspiste. Lopuksi tehdään vertailua neljän ja viiden männyn tulosten perusteella / tutkimuspiste.

3.1 Yleinen ja sormipaisukarveen vaurioluokitus

Yleisen vaurioluokituksen mukaan yhtään tutkimuspisteistä ei voitu luokitella normaaliksi (taulukko 5). Keskiarvona lievää vauriota oli haja-asutusalueen tutkimuspisteissä Haukiniemi, Ahvensalmi, Sydänmaa, Nikaniemi, Oravi, Kesamonsaari ja Kommerniemi sekä keskustan alueella Ripakkolanlahden tutkimuspisteessä. Jäkäläpeite oli pahoin vaurioitunut ydinkeskustan tutkimuspisteillä Lypsyneimi, Asematie, Savonniemi, tuomiokirkko ja jäähalli. Käytännössä näillä pisteillä ei esiintynyt juuri muita jäkäliä kuin sormipaisukarvetta, seinäsuomujäkälää ja leväpeitettä, joista kahden jälkimmäisen katsotaan hyötyvän ilmansaasteiden vaikutuksista. Muissa 23:sa tutkimuspisteessä jäkäläpeitteessä oli havaittavissa yleisen vaurioluokituksen mukaan joko selvää tai pahaa vauriota.

Taulukko 5. Yleisen vaurioluokituksen jakautuminen tutkimuspisteillä ja tutkituilla männynillä.

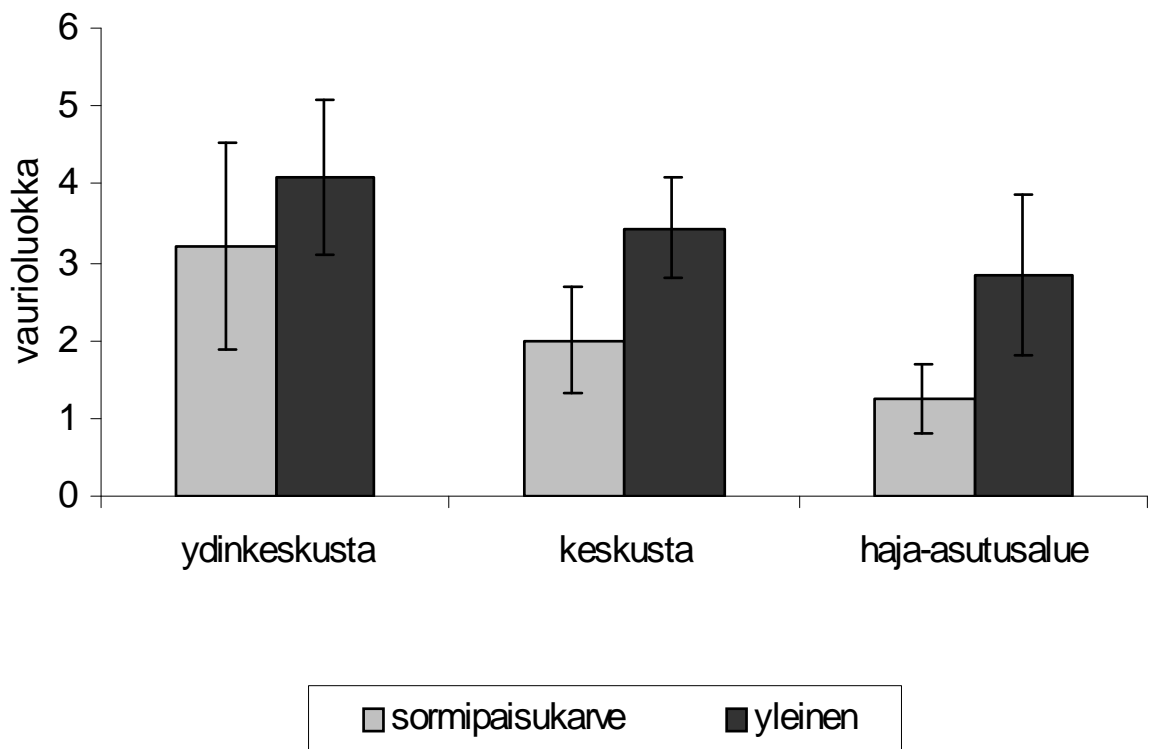
Luokka	Piste (Ikm)	% pisteistä	Puu (Ikm)	% puista
I normaali	-	0	2	1,1
II lievä vaurio	8	22,2	34	18,9
III selvä vaurio	10	27,8	45	25
IV paha vaurio	13	36,1	71	39,4
V autio	5	13,9	28	15,6
Σ	36	100	180	100

Sormipaisukarpeen osalta normaaliksi luokiteltavaa jäkäläpeitettä havaittiin Ripakkolanlahden, Oravin, Kesamonsaaren, Ahvensalmen, Sydänmaan, Nikaniemen, Kaikuvuoren, Pitkäniemen, Ikoinniemen, Karkulahden, Ahvionniemen, Pyörrissalon ja Loikansaaren tutkimuspisteissä (taulukko 6). Sormipaisukarpeen esiintymisissä oli havaittavissa myös vaurioita. Lievää tai selvää vauriota sormipaisukarvepeitteessä oli Haukiniemen, Kommerniemen, Verkkosaaren, Kyrönniemen, OKL:n mäen, Sulosaaren, jätevedenpuhdistamon, Poukkusalmen, Ensolan, Parkkolanmäen, Nojanmaan teollisuusalueen, Talvisalon, Nätkin pururadan, Pihlajanlahden, Kotilahden, Alttarkiven ja Nojanmaan kartanon tutkimuspisteillä. Pahasti vaurioituneita olivat ydinkeskustan ryhmään kuuluneet tutkimuspisteet Iloniemenkadun, tuomiokirkon, Lypsyneimen, jäähallin, Asematien ja Savonniemen alueilla.

Taulukko 6. Sormipaisukarpeen vaurioluokituksen jakautuminen tutkimuspisteillä ja tutkituilla männyillä.

Luokka	Piste (lkm)	% pisteistä	Puu (lkm)	% puista
I normaali	13	36,1	52	28,9
II lievä vaurio	14	38,9	78	43,3
III selvä vaurio	3	8,3	21	11,7
IV paha vaurio	6	16,7	24	13,3
V autio	-	-	5	2,8
Σ	36	100	180	100

Yleinen ja sormipaisukarpeen vaurioluokitus antoivat samankaltaisia tuloksia: jäkälälajiston huono kunto oli usein nähtävissä myös sormipaisukarpeen huonossa kunnossa (korrelaatio sormipaisukarpeen vaurioasteen ja tutkimuspisteen sijainnin kesken $r = -0,69$; korrelaatio yleisen vaurioasteen ja tutkimuspisteen sijainnin kesken $r = -0,41$). Vaurioluokitusten perusteella ydinkeskustan alueet olivat vaurioituneempia kuin keskustan tai haja-asutusalueen pisteet (kuva 1).



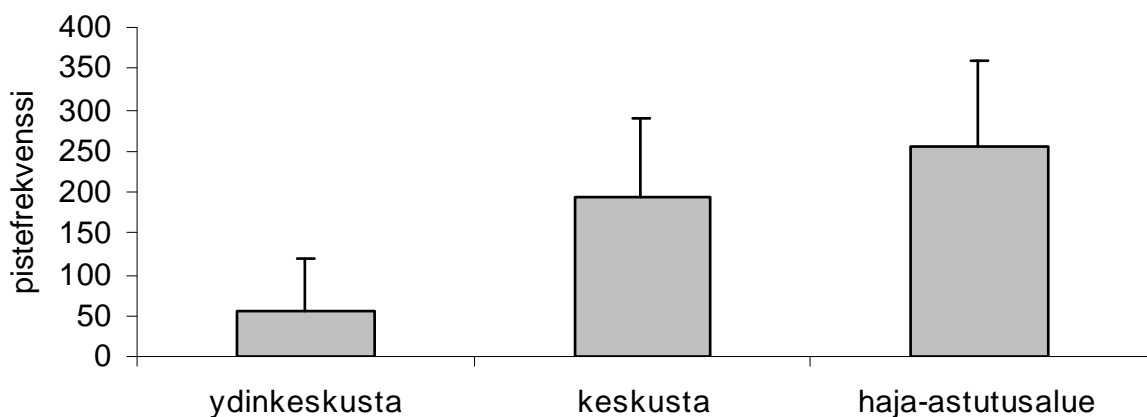
Kuva 1. Yleisen ja sormipaisukarpeen vaurioluokitus (keskiarvo + keskihajonta) ydinkeskustassa sekä muilla keskustalla ja haja-asutusalueilla.

3.2 Pistefrekvenssijakaumat

Kaikissa tutkimuspisteissä esiintyi sormipaisukarvetta (taulukko 7). Asematien ja jäähallin tutkimuspisteissä sormipaisukarvetta esiintyi kuitenkin vain vähäisessä määrin muutamalla puulla tutkimuspistettä kohden (pistefrekvenssit: Asematie 2, jäähalli 4). Runsaimmin sormipaisukarvetta oli Oravin, Pitkäniemen ja Ikoinniemen tutkimuspisteissä (pistefrekvenssit: Oravi 414, Pitkäniemi 482, Ikoinniemi 375). Viiden puun pistefrekvenssi oli keskimäärin 175. Ydinkeskustassa sormipaisukarvetta esiintyi vähemmän kuin muilla kaupungin keskustan alueilla tai haja-asutusalueilla (kuva 2.; varianssianalyysin tulos $F = 13,1$, $p = 0,000$). Yksittäisillä puilla puun itä-pohjoispuolella kasvoi jäkälää hieman runsaammin kuin puun länsi-eteläpuolella. Keskimääräinen pistefrekvenssi puun itä-pohjoispuolella oli 96 ja länsi-eteläpuolella 79.

Taulukko 7. Sormipaisukarveen pistefrekvenssijakauma tutkimuspisteissä.

Pistefrekvenssi (max.=800)	Piste (lkm)	% pisteistä
0	-	-
1 – 100	9	25
101 – 200	14	38,9
201 – 300	7	19,4
301 – 400	4	11,1
yli 400	2	5,6
Σ	36	100



Kuva 2. Sormipaisukarpeen pistefrekvenssi (keskiarvo + keskihajonta) ydinkeskustassa sekä muilla keskusta- ja haja-asutusalueilla.

Naavojen ja luppojen esiintyminen oli hyvin epätasaista ja eroa kaupungin ydinkeskustan ja keskustan muiden alueiden välillä ei ollut havaittavissa. Sen sijaan haja-asutusalueen tutkimuspisteissä naavojen ja luppojen pistefrekvenssi oli noin kolme kertaa suurempi kuin ydinkeskustan ja keskustan alueilla. Ydinkeskustassa keskimääräinen pistefrekvenssi oli 0,8; keskustassa 0,7 ja haja-asutusalueella 3,1. Keskimäärin naavojen ja luppojen viiden puun pistefrekvenssi oli 1,5.

Runsaimmin naavoja ja luppoja esiintyi Nikaniemen ja Haukiniemen pisteissä (pistefrekvenssit: Nikaniemi 21, Haukiniemi 7). Yli puolessa tutkimuspisteistä naavoja tai luppoja ei esiintynyt lainkaan (taulukko 8). Näitä pisteitä olivat Sydänmaa, Pyörissalo, Ahvionniemi, Kesamonsaari, Pihlajalahti, Loikansaari, Ikoinniemi, jätevedenpuhdistamo, Ensola, Ripakkolanlahti, Nojanmaan teollisuusalue, Parkkolanmäki, Sulosaari, Nätkin pururata, Karkulahti, Kaikuvuori, Asematie, jäähalli, Iloniementie, Verkkosaari, Savonniemi, Lypsyniemi, tuomiokirkko ja Nojanmaan kartano.

Taulukko 8. Naavojen ja luppojen pistefrekvenssijakauma tutkimuspisteissä.

Pistefrekvenssi (max.=800)	Piste (lkm)	% pisteistä
0	24	66,7
1 – 10	11	30,6
11 – 20	-	-
21 – 30	1	2,7
31 – 40	-	-
yli 40	-	-
Σ	36	100

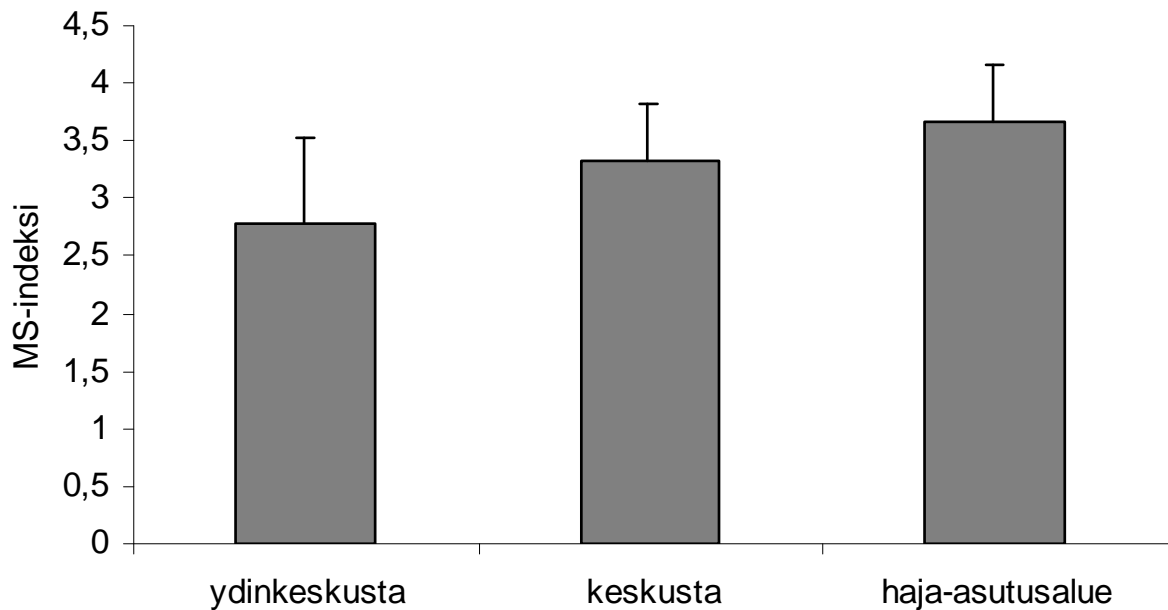
3.3 MS-indeksi

Koska MS-indeksin arvon laskeminen edellyttää, että puulla kasvaa ainakin yhtä jäkälälajia, indeksiä ei voitu laskea puille, joilla ei kasvanut lainkaan jäkälää. MS-indeksin arvoksi tuli kaksi kolmella tutkimuspisteellä: jäähalli, tuomiokirkko ja Lypsyniemi (taulukko 9).

Yli neljän MS-indeksin arvoja saivat pisteet Haukiniemi, Ahvensalmi, Sydänmaa, Nikaniemi ja Kommerniemi. Keskimääräinen MS-indeksin arvo kaikissa tutkimuspisteissä oli 3,3. Ydinkeskustan tutkimuspisteet saivat keskimäärin alhaisempia arvoja kuin muut pisteet (kuva 3.; korrelaatio MS-indeksin ja tutkimuspisteen sijainnin kesken $r = 0,49$).

Taulukko 9. MS-indeksin arvojen jakautuminen tutkimuspisteillä ja tutkituilla männyllä.

Luokka	Piste (lkm)	% pisteistä	Puu (lkm)	% puista
2	3	8,3	33	18,3
2,1-3	7	19,5	37	20,6
3,1-4	21	58,3	76	42,2
yli 4	5	13,9	34	18,9
Σ	36	100	180	100



Kuva 3. MS-indeksi (keskiarvo + keskihajonta) ydinkeskustassa sekä muilla keskusta- ja haja-asutusalueilla.

3.4 Jäkälien esiintyminen tutkimuspisteissä

Sormipaisukarve oli yleisin tutkimuspisteillä esiintyvä jäkälälaji (taulukko 10). Lajia tavattiin jokaisella näytepisteellä, joskin jäkälän kunto ja määrä vaihtelivat merkittävästi eri pisteiden välillä. Toiseksi yleisimpänä havaittiin harmaatyvi- ja tuhkakarvetta. Naavoja esiintyi varsin usealla tutkimuspisteellä, mutta yleisesti ottaen sekovarsien määrä rungolla oli vähäinen. Luppoja ei esiintynyt ydinkeskustan tutkimuspisteillä lainkaan ja eniten niitä tavattiin haja-asutusalueen tutkimuspisteissä (Liite 4). Ruskoröyhelö oli seuratuista lajeista harvinaisin ja sitä esiintyi-kin vain muutamalla tutkimuspisteellä. Lajien runsaussuhteet olivat vuonna 2005 varsin samansuuntaisia kuin edellisessä tutkimuksessa vuonna 2002.

Taulukko 10. Tutkimukseen valittujen jäkälälajien tai –sukujen esiintymisen ja kautuminen tutkimuspisteillä ja tutkituilla männyillä.

Laji/suku	Piste (lkm)	% pisteistä	Puu (lkm)	% puista
Sormipaisukarve	36	100	177	98,3
Keltatyvikarve	18	50	47	22,8
Harmaatyvi- ja tuhkkakarve	33	91,7	137	76,1
Seinäsuomujäkälä	22	61,1	71	39,4
Lupot	11	3,1	21	11,7
Naavat	22	61,1	51	28,3
Keltaröyhelö	21	58,3	53	29,4
Ruskoröyhelö	3	8,3	3	1,7
Harmaaröyhelö	6	16,7	8	4,4
Hankakarve	21	58,3	41	11,8
Viherkuprujäkälä + leväpeite	24	6,7	71	39,4

Viherkuprujäkälää ja leväpeitettä esiintyi eniten kaupungin ydinkeskustan tutkimuspisteillä jäähalli, tuomiokirkko, Asematie, Savonniemi, Iloniemenkatu sekä muilla keskusta-alueiden tutkimuspisteillä Parkkolanmäki ja Nätkin pururata (kuva 4; korrelaatio leväpeitteen esiintymisen ja tutkimuspisteen sijainnin kesken $r = -0,59$; korrelaation seinäsuomujäkälän esiintymisen ja tutkimuspisteen sijainnin kesken $r = -0,65$).



Kuva 4. Leväpeitettä männyn rungolla.

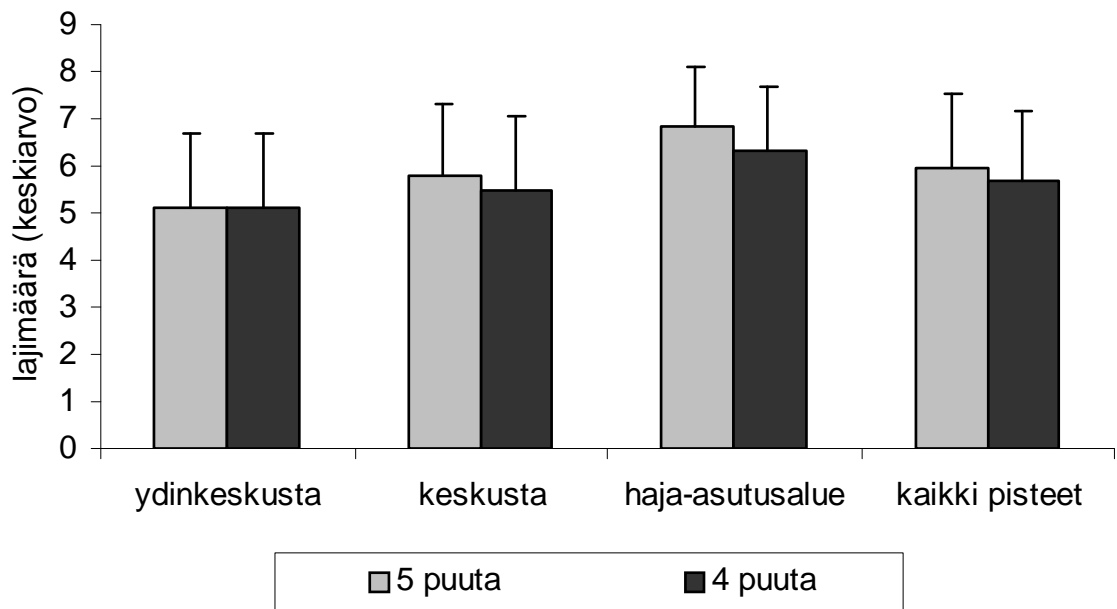
Noin kolmasosalla tutkimuspisteistä leväpeitettä ei tavattu lainkaan, näistä pisteistä suurin osa sijaitsi haja-asutusalueella, mutta myös keskusta-alueella sekä yksi ydinkeskustan alueella (OKL:n mäki). Leväpeitteen ja viherkuprajäkälän lisäksi seinäsuomujäkälä hyötyy ilmansaasteista. Seinäsuomujäkälää esiintyi noin 60 %:la tutkimuspisteistä, eniten sitä havaittiin kaikissa ydinkeskustan tutkimuspisteissä ja kahdella muiden keskusta-alueiden tutkimuspisteellä (Alttarkivi ja Sulosaari).

3.5 Neulasvuosikertojen lukumäärä

Koko tutkimusalueella männyn neulasvuosikertojen määrä vuonna 2005 oli keskimäärin kaksi (taulukko 11.). Tämä on sama määrä kuin edellisessä tutkimuksessa vuonna 2002. Pisteet, joissa neulasvuosikertoja oli yli kaksi olivat Kyrönniemi, Parkkolanmäki, Laukunkangas, Alttarkivi, Ripakkolanlahti, Loikansaari, Ensola, jätevedenpuhdistamo, Pihlajalahti, Kesamonsaari, Ahvionniemi, Pyörisalo, Niittylahti, Pellossalo, Vilpunrinne, Ahvensalmi, Pitkäniemen kuntorata ja Nojanmaan teollisuusalue. Näistä edellä mainituista tutkimuspisteistä yksi oli ydinkeskustan alueella (Kyrönniemen piste), joka sijaitsee korkealla kalliolla rinteiden päällä. Edellisessä tutkimuksessa vuonna 2002 neulasvuosikertojen määrä kaupungin ydinkeskustassa ei poikennut Savonlinnan muista osista. Tässä tutkimuksessa puolet pisteistä, joissa männyn neulasvuosikertojen lukumäärä jäi alle kahden, oli ydinkeskustan tutkimuspisteitä, mutta mukana oli myös muiden keskusta- ja haja-asutusalueiden tutkimuspisteitä.

Taulukko 11. Neulasvuosikertojen jakautuminen

Neulasvuosikertojen lkm	Piste (lkm)	% pisteistä	Puu (lkm)	% puista
1 – 2	15	41,7	104	57,8
2+ – 3	20	55,6	75	41,7
3+ – 4	1	2,7	1	0,06
4+ – 5	-	-	-	-
Σ	36	100	180	100

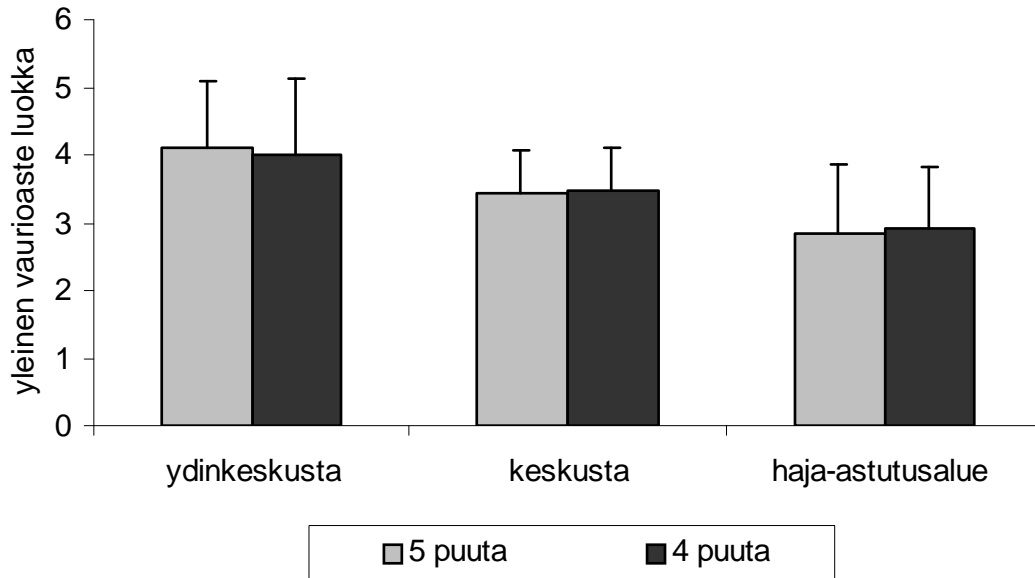


3.6 Tutkimuspisteen mäntyjen lukumäärän vaikutus tuloksiin

Tutkimuksessa ei havaittu merkittävää eroa jäkälien lajimäärissä verrattaessa tuloksia viiden tai neljän puun tulosten kesken tutkimuspisteiden sisällä (kuva 5.). Viiden puun otoksissa lajimäärä oli keskimäärin hieman suurempi (5,94) kuin neljän puun otoksessa (5,66). Ydinkeskustan alueella yhden puun lisääminen tutkimuspistettä kohden ei tuonut eroa lajimäärään vaan lajimäärän keskiarvo oli 5,1 sekä neljän että viiden puun otoksissa. Muiden keskusta-alueiden ja haja-asutusalueen kohdalla viiden puun otoksissa havaittiin lajeja keskimäärin hieman enemmän kuin neljän puun otoksissa, mutta erot olivat pieniä.

Mäntyjen lukumäärä yhden tutkimuspisteen sisällä ei vaikuttanut yleisen vaurioasteen tai sormipaisukarpeen suuruuteen, vaan nämä olivat keskimäärin samansuuruisia viiden ja neljän puun otoksissa (kuva 6.). Mäntyjen lukumäärä ei vaikuttanut myöskään esimerkiksi naavojen ja luppojen pistefrekvenssiin, joka oli keskimäärin 1,5 sekä neljän että viiden puun otoksessa.

Kuva 5. Mäntyjen lukumäärä (neljä tai viisi) tutkimuspistettä kohden ei merkittävästi vaikuttanut havaittujen lajimäärien keskiarvoon.



Kuva 6. Mäntyjen lukumäärä (5 tai 4 puuta) ei vaikuttanut yleisen vaurioasteen suuruuteen.

4 TUTKIMUSPISTEIDEN RYHMITTELY

Tutkimuspisteet jaettiin viiteen eri ryhmään yleisen ja 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 sijoitettiin pisteet, joissa jäkäläpeite oli vain lievästi vaurioitunutta.

Tutkimuspisteistä erottuivat selvästi pisteet, joissa mäntyjen runkojäkälät olivat karsineet pahoja vaurioita tai ne puuttuivat osasta puita kokonaan. Näissä pisteissä sekä yleinen että sormipaisukarveen vaurioluokitus saivat korkeita arvoja (4 ja 5), pistefrekvenssit ja MS-indeksin arvo olivat alhaisia ja jäkälälajisto yksipuolinen. Leväpeitettä esiintyi kaikilla tutkimuspisteillä. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat pisteet sijaitsevat Nojanmaan kartanoa lukuun ottamatta ydinkeskustan alueella ja Nojanmaan kartanonkin tutkimuspiste sijaitsee lähellä vilkkaasti liikennöityä valtatieä. Ensimmäisen ryhmään kuuluivat:

Asematie
 Iloniemenkatu
 Jäähalli
 Lypsyniemi
 Nojanmaan kartano
 Tuomiokirkko
 Uimahallinkatu

Toisessa ryhmässä jäkäläpeite oli pahoin tai selvästi vaurioitunutta, pistefrekvenssit ja MS-indeksin arvo olivat keskimääräistä alhaisemmat (MS-indeksi < 3,3). Leväpeitettä esiintyi. Toiseen ryhmään kuuluivat pisteet:

Ensola
Nojanmaan kartano
Verkkosaari

Kolmannessa ryhmässä jäkäläpeite oli selvästi vaurioitunutta. Pistefrekvenssit ja MS-indeksin arvo olivat keskimääräisiä (MS-indeksi noin 3,3). Tähän ryhmään kuuluivat pisteet:

Nojanmaan teollisuusalue
OKL:n mäki
Vesitorni
Laukunkangas
Kommerniemi
Pyörissalo
Suutarniemi
Parkkolanmäki
Sulosaari
Hevonpäänniemi
Lehmäpääntie
Kotilahti
Sydänmaantie

Neljännän ryhmän pisteissä jäkäläpeitteessä oli havaittavissa joko selviä tai lieviä vaurioita. Pistefrekvenssit ja MS-indeksin arvo olivat keskimääräistä korkeammat (MS-indeksi > 3,3). Neljänteen ryhmään kuuluivat pisteet:

Ahvionniemi
Alttarkivi
Hirvasjärventie
Ikoinniemi
Kesamonsaari
Kyrönniemi
Loikansaari
Niittylahti
Ripakkolanlahti
Vilpunrinne

Viidenteen eli vähiten vaurioituneeseen ryhmään kuului neljä tutkimuspistettä. Näissä pisteissä jäkäläpeite oli lievästi vaurioitunutta. Pistefrekvenssit ja MS-indeksin arvo olivat selkeästi keskimääräistä korkeammat (MS-indeksi 4 tai korkeampi):

Ahvensalmi
Oravi
Pellossalo
Pitkäniemen kuntorata

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Männyn runkojäkäläkartoituksen perusteella Savonlinnan ydinkeskustan ilmanlaatu on heikentynyt kaupungin muihin osiin verrattuna. Savonlinnan ydinkeskustan tutkimuspisteillä jäkälien kunto oli huonompi ja lajiston monimuotoisuus alhaisempi kuin muilla alueilla. Myös lisääntyntä typpilaskeumaa indikoivaa viherlevyä esiintyi yleisemmin ja runsaampana ydinkeskustassa kuin sen ulkopuolella. Pahiten ilmaosaasteista kärsivät Asematien, Iloniemenkadun, jäähallin, Lypsyntien, Nojanmaan kartanon, tuomiokirkon ja Uimahallinkadun tutkimuspisteet. Ydinkeskustan muita alueita korkeammat liikennemäärät selittävät ainakin osaltaan eroa, mutta myös teollisuuden ja energiantuotannon päästöt ilmaan kasvattavat ilman epäpuhtauksien määrää keskustan alueella. Koska jäkälien runsauteen ja lajistosuhteisiin vaikuttavat ilmanlaadun lisäksi myös ilmastolliset ja paikalliset kasvuolosuhteet, ei vaurioita jäkälästössä voida selittää pelkästään ilmaosaasteiden vaikutuksella, vaan paikalliset tekijät myös aiheuttavat eroja tutkimuspisteiden välille.

Tutkimuksessa jäkälät olivat herkempiä ilmanlaadunmittareita kuin männyn neulasvuosikertojen määrä, sillä neulasvuosikertojen määrässä ei ollut havaittavissa yhtä selviä eroja ydinkeskustan ja kaupunginosien välillä. Edellisessä tutkimuksessa vuonna 2002 neulasvuosikertojen määrä kaupungin ydinkeskustassa ei eronnut Savonlinnan muista osista. Tässä tutkimuksessa osa pisteistä, joissa neulasvuosikertojen lukumäärä oli keskimääräistä alhaisempi, sijaitsi ydinkeskustan alueella, mutta keskimääräistä alhaisempia neulasvuosikertojen määriä tavattiin myös keskustan ja haja-asutusalueen alueilta. Neulasvuosikertojen määrään ja sen myötä tutkimustuloksiin vaikuttavat myös mahdollisesti mäntypistiäisten esiintyminen. Pistiaiset syövät männystä uutta neulasvuosikertaa lukuun ottamatta kaikki muut tuoreet neulasvuosikerrat.

Männyn runkojäkäläkartoitus on tehty Savonlinnassa aikaisemmin vuosina 1989, 1993, 1997 ja 2002. Vuonna 2002 tutkimus tehtiin touko-kesäkuussa eli hieman myöhäisempänä ajankohtana kuin vuonna 2005. Aikaisempiin vuosiin verrattuna vuoden 2005 bioindikaattoritutkimuksen tulokset olivat samansuuntaisia, joskin eroja yksittäisten tutkimuspisteiden tuloksissa on havaittavissa eri tutkimuskertojen välillä. Tässä tutkimuksessa oli havaittavissa sama suuntaus kuin aiemmasakin tutkimuksessa vuonna 2002 esimerkiksi jäkälälajiston, männyn neulasvuosikertojen sekä jäkälien vaurioasteiden suhteen. Kuitenkin vaikka tutkimuspisteet ovat olleet samoja eri vuosina tehdyissä tutkimuksissa, tutkitut puut ovat varmastikin 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.

Kirjallisuus

- Hultengren, S., Martinsson, P-O. ja Stenström, J. 1991. Lavar och luftföroreningar. Känslighetsklassning och indexberäkning av epifytiska lavar. Naturvårdsverket rapport 3967.
- Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. ja Nieminen T. 1993. Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446.
- Jahns, H.M. 2001. Sanikkaiset, sammalet, jäkälät. 4.painos. Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki.
- Kokko, A., Mäkelä, K. ja Tuominen, S. 2001. Runkoepifyyttiseuranta Suomen ympäristön yhdenntyn seurannan alueilla vuosina 1988-1998. Suomen ympäristö 476.
- Liu, Q. 1996. Vegetation monitoring in the ICP IM Programme: Evaluation of data with regard to effects of N and S deposition. Julkaisussa: Kleemola, S. ja Forsius, M. (toim.), 5th Annual Report 1996. The Finnish Environment 27, 55-79.

- Lodenius M., Manninen S., Nieminen T., Raiskinen H., Ranta P. ja Willamo R. 2002. Bioindikaattorit. Ympäristönsuojelutieteen opetusmonisteita N:o 21. Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos.
- Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta 1989. Sammalpallo- ja jäkälätutkimukset sekä männynneulasvuosikertojen kartoitus Savonlinnassa kesällä 1989. Julkaisu 4 / 6.3.1990.
- Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta 1993. Männyn runkojäkälä- ja neulasvuosikartoitus Savonlinnassa kesällä 1993.
- Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta 1997. Männyn runkojäkälä- ja neulasvuosikartoitus Savonlinnassa kesällä 1997.
- Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta 2002. Männyn runkojäkälä- ja neulasvuosikartoitus Savonlinnassa kesällä 2002.
- Suomen Standardoimisliitto 1990. SFS Standardi 5670. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus.

Jäkälä- ja neulasvuosikartoituksen tutkimuspisteet ja niiden jako ryhmiin kesällä 2002

Tutkimuspiste		ryhmä
1.	Ensola	keskusta
2.	Pitkäniemi	keskusta
3.	Poukkusalmi	keskusta
4.	Kotilahti	keskusta
5.	Jätevedenpuhdistamo	keskusta
6.	Talvisalo	keskusta
7.	Tuomiokirkko	ydinkeskusta
8.	Sulosaari	keskusta
9.	Parkkolanmäki	keskusta
10.	Ripakkolanlahti	keskusta
11.	Lypsyniemi	ydinkeskusta
12.	Alttarkivi	keskusta
13.	Nojamaan kartano	keskusta
14.	Nätkin pururata	keskusta
15.	Karkulahti	keskusta
16.	Nojamaan teollisuusalue	keskusta
17.	Ahvensalmi	haja-asutusalue
18.	Pihlajalahti	haja-asutusalue
19.	Oravi	haja-asutusalue
20.	Kommerniemi	haja-asutusalue
21.	Haukiniemi	haja-asutusalue
22.	Loikansaari	haja-asutusalue
23.	Kesamonsaari	haja-asutusalue
24.	Ahvionniemi	haja-asutusalue
25.	Sydänmaa	haja-asutusalue
26.	Pyörissalo	haja-asutusalue
27.	Ikoinniemi	haja-asutusalue
28.	Nikaniemi	haja-asutusalue
29.	Kaikuvuori	ydinkeskusta
30.	OKL:n mäki	ydinkeskusta
31.	Asematie	ydinkeskusta
32.	Savonniemi	ydinkeskusta
33.	Verkkosaari	ydinkeskusta
34.	Kyrönniemi	ydinkeskusta
35.	Jäähalli	ydinkeskusta
36.	Ilioniemenkatu	ydinkeskusta

