

MÄNNYN RUNKOJÄKÄLÄ- JA NEULASVUOSIKERTAKAR-  
TOITUS SEKÄ SEINÄSAMMAL TUTKIMUS SAVONLINNASSA  
VUONNA 2017

HENNA HALINEN

Pro gradu -tutkielma  
Itä-Suomen yliopisto  
Ympäristö- ja biotieteiden laitos  
Biologia  
2018

# ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO

Ympäristö- ja biotieteiden laitos, biologia

HALINEN, HENNA: Männyn runkojäkälä- ja neulasvuosikertakartoitus sekä seinäsammaltutkimus Savonlinnassa vuonna 2017

Pro gradu -tutkielma (40 op), 84 s., liitteitä 12

Toukokuu 2018

Männyn (*Pinus sylvestris*) runkojäkälät ja neulasvuosikerrat sekä seinäsammalten (*Pleurozium schreberi*) alkuainepitoisuudet ovat käytetyimpiä ilmanlaadun bioindikaattoreita. Eri-tyisesti jäkälistä voidaan päätellä hyvin ilmanlaadussa tapahtuvia muutoksia, koska ne reagoivat niihin usein sekä morfologisilla että lajistollisilla muutoksilla. Ilmansaasteille herkät lajit harvinaistuvat kuormittuneilla alueilla ja ilmansaasteita kestävätkin lajit voivat ilmentää ilmanlaadun vaikutuksia morfologisilla muutoksilla, kuten kitukasvuisuudella ja vaurioilla. Männyn neulasvuosikerrat kuvastavat mäntyjen elinvoimaisuutta, mihin ilmanlaadulla on todettu olevan ainakin välillisiä vaikutuksia. Seinäsammalet puolestaan pidättävät lähes kaiken märkä- ja kuivalaskeumana tulevat ilman epäpuhtaudet solukoihinsa, minkä johdosta seinäsammalten alkuainepitoisuudet kuvastavat hyvin alueen laskeumaa.

Tämän tutkielman tarkoituksena oli kartoittaa Savonlinnan ilmanlaadua käyttäen bioindikaattoreina männyn runkojäkälien esiintymistä ja vaurioituneisuutta, männyn neulasvuosikertojen lukumääriä sekä seinäsammalten alkuainepitoisuuksia. Savonlinnassa on suoritettu männyn runkojäkälä- ja neulasvuosikertakartoituksia vuodesta 1989 lähtien ja nyt suoritettu kartoitus oli järjestyksessään seitsemäs Savonlinnan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus. Aikaisemmista vuosista poiketen tähän kartoitukseen sisällytettiin myös seinäsammalten alkuainepitoisuuksien analysointi.

Tutkimusalueelta valittiin 25 havaintoalaa, jotka sijaitsivat ydinkeskustassa, keskustan ympäristössä ja haja-asutusalueella. Jokaiselta havaintoalalta valittiin sattumanvaraisesti 5 kriteerit täyttävää havaintopuuta. Jokaiselta havaintopuulta arvioitiin indikaattoreina toimivien 12 lajin esiintyminen. Lisäksi havaintopuiden jäkälien vaurioituneisuus arvioitiin yleisellä vaurioasteella ja sormipaisukarpeen vaurioasteella. Havaintopuilla esiintyneiden lajien herkkyyksiarvojen keskiarvoista saatiin havaintoalaa kuvaavan MS-indeksin arvo (mean sensitivity). Myös jokaisen havaintopuun neulasvuosikerrat laskettiin. Seinäsammalnäytteet kerättiin 15 havaintoalalta.

Saatujen tulosten perusteella ydinkeskustan ja keskustaa ympäröivien alueiden ilmanlaatu on heikentynyt haja-asutusalueisiin verrattuna. Taajama-alueilla sormipaisukarve oli vaurioituneempaa ja sitä esiintyi pienempinä peittävyysinä kuin haja-asutusalueilla. Myös mäntyjen elinvoimaisuus oli alentunut taajamassa haja-asutusalueisiin verrattuna. Seinäsammalista analysoitujen alkuainepitoisuuksien perusteella ydinkeskustassa ja keskustan ympäristössä oli selkeästi korkeammat boorin, kromin, natriumin ja rikin pitoisuudet kuin haja-asutusalueilla.

Vuosien välillä oli havaittavissa ilmanlaadun heikentymistä bioindikaattorien vasteiden perusteella. Jäkälät olivat vuonna 2017 vaurioituneempaa kuin koskaan aikaisemmin sekä sormipaisukarpeen että yleisen vaurioasteen perusteella. Lisäksi tutkimusalueen keskimääräinen MS-indeksi oli alhaisempi vuonna 2017 kuin aikaisemmin, eli ilmansaasteille herkien jäkälälajien osuus lajistosta on laskenut edellisistä kartoituksista. Myös mäntyjen elinvoimaisuus oli alentunut merkittävästi.

UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND

Department of Environmental and Biological Sciences, biology

HALINEN, HENNA: Monitoring of epiphytic lichens and pine needle age-classes and element concentrations of big red stem moss in Savonlinna in 2017.

MSc. Thesis (40 cp), 84 pp., Appendices 12

May 2018

---

Epiphytic lichens, needle age-classes and element concentrations of mosses are tree of the most used bioindicators of air quality. Especially epiphytic lichens are useful since they react to changes in air quality both morphologically and with changes in species distribution. If the air quality is attenuated the most sensitive lichen species may become absent and the more tolerant species may present morphological changes. The number of pine needle age-classes represents the vitality of the tree to which air quality has an indirect effect. Pines are often more defoliated in unfavourable conditions. Mosses in other hand are known for being able to retain nearly all of the air impurities in their tissues from both dry and wet fallout. For this reason element concentrations of mosses are widely used bioindicators to represent the air impurity fallout.

The aim of this study is to assess air quality in Savonlinna by using epiphytic lichens on pine trunk (*Pinus sylvestris*), pine needle age-classes and element concentrations of big red stem moss (*Pleurozium schreberi*). Similar mappings have been conducted in Savonlinna since 1989. The study area consisted of total 25 different mapping sites which were located in nuclear centre, population centre and sparsely populated areas. Five trees were chosen from every site. This study mapped the occurrence of 12 different epiphytic lichen species and their degree of damage on the selected trees. The degree of lichen damage was evaluated both for all of the species present on the trunk (general damage) and for tube lichen (*Hypogymnia physodes*). The coverages of tube lichen and horsehair lichen (*Bryoria* spp.) on the pine trunk were calculated by using the point frequency method. The average of the lichens' sensitivity values was calculated for each specimen tree, which represented the MS-index of the site (mean sensitivity). The needle age-classes were evaluated from every specimen tree. Big red stem moss samples were collected from 15 mapping sites.

The results suggest that the air quality in nuclear and population centre is significantly lower in comparison to sparsely populated areas. Both the lichen and needle bioindicators indicated statistically significant difference between these areas. Tube lichen was more damaged and its' coverage was smaller in the urban area than in the background area. Based on this study, pines were more defoliated in the urban areas than in the background areas. This indicates that pines' vitality was decreased in the urban areas. The element concentrations analysed from the big red stem samples indicated statistically significantly higher concentrations of B, Cr, Na and S in the urban area.

In comparison to the previous bioindicators studies conducted in Savonlinna, the lichen vegetation is more damaged and poorer. MS-index was at its all-time low in 2017 which indicates that the proportion of sensitive lichens in the lichen species composition is lowered. In addition, the pines' vitality was significantly lower in this study compared to the previous studies. These observations suggest that the air quality is still poor in Savonlinna and it has been declining continuously throughout the study years.

## SISÄLLYSLUETTELO

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1 JOHDANTO.....                                                    | 4  |
| 1.1 Tutkimusalue .....                                             | 5  |
| 1.2 Tutkimusalueen ilmanlaatu.....                                 | 8  |
| 1.3 Ilman epäpuhtauksien vaikutukset runkojäkälissä .....          | 11 |
| 1.4 Ilman epäpuhtauksien vaikutus mäntyjen elinvoimaisuuteen ..... | 15 |
| 1.5 Raskasmetallien vaikutukset seinäsammalissa.....               | 16 |
| 2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA HYPOTEESEIT .....                      | 18 |
| 3 AINEISTO JA MENETELMÄT .....                                     | 19 |
| 3.1 Tutkimusalat .....                                             | 19 |
| 3.2 Tutkitut jäkälälajit .....                                     | 21 |
| 3.3 Vaurioiden ja peittävyyksien arvioiminen.....                  | 26 |
| 3.4 MS-indeksi .....                                               | 28 |
| 3.5 Männyn elinvoimaisuuden arviointi.....                         | 29 |
| 3.6 Seinäsammalen alkuainepitoisuudet.....                         | 30 |
| 3.7 Tilastomenetelmät .....                                        | 31 |
| 4 TULOKSET .....                                                   | 32 |
| 4.1 Mäntyjen runkojäkälät.....                                     | 32 |
| 4.1.1 Alueellinen vaihtelu.....                                    | 41 |
| 4.1.2 Vuosien välinen vaihtelu .....                               | 44 |
| 4.2 Mäntyjen elinvoimaisuus.....                                   | 51 |
| 4.2.1 Alueellinen vaihtelu.....                                    | 52 |
| 4.2.2 Vuosien välinen vaihtelu .....                               | 53 |
| 4.3 Sammalten alkuainepitoisuudet.....                             | 54 |
| 4.3.1 Alueellinen vaihtelu.....                                    | 57 |
| 4.4 Muuttujien yhteisvaihtelu.....                                 | 59 |
| 5 TULOSTEN TARKASTELU .....                                        | 62 |
| 5.1 Jäkälämuuttujat.....                                           | 62 |
| 5.2 Neulasvuosikerrat .....                                        | 67 |
| 5.3 Sammalten alkuainepitoisuudet.....                             | 68 |
| 5.4 Muuttujien yhteisvaihtelu.....                                 | 69 |
| 5.5 Vuosien välinen vertailu.....                                  | 71 |
| 5.6 Vertailu keskusta- ja haja-asutusalojen välillä .....          | 73 |
| 5.7 Tutkimusmenetelmien virhelähteet ja luotettavuus.....          | 75 |
| 6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....                                             | 78 |
| KIITOKSET .....                                                    | 79 |
| LÄHTEET .....                                                      | 80 |
| LIITTEET.....                                                      | 85 |

# 1 JOHDANTO

Ilmanlaadun seurantaa tehdään Suomessa kolmella eri tavalla (Jussila ym. 1999):

1. analysoimalla laskeumaa tai mittaamalla pitoisuuksia ilmasta ja sadevedestä;
2. mallintamalla epäpuhtauksien leviämistä päästö- ja tuulitietojen perusteella; tai
3. bioindikaatioon perustuvilla kartoituksilla ja tutkimuksilla.

Tämä tutkielma kartoittaa Savonlinnan ilmanlaatua bioindikaattorien avulla. Bioindikaattorilla tarkoitetaan mitä tahansa eliötä, eliöyhdyskuntaa tai se osaa, jonka avulla tutkitaan ympäristön laatua sen mukaan, miten yksilöiden tai populaatioiden ominaisuudet ilmaisevat muutoksia ympäristön tilassa (Jussila ym. 1999). Bioindikaatiolle voidaan asettaa kaksi kriteeriä: mittauksessa käytetään eliötä ja käytettävä eliö reagoi ympäristössä tapahtuvaan, yleensä ihmisen aikaansaamaan, muutokseen (Lodenius ym. 2010). Ympäristön tilan muutosten seuraamista bioindikaattoreita käyttämällä kutsutaan usein myös biomonitoroinniksi (engl. *biomonitoring*).

Bioindikaattoritutkimuksessa käytettävät menetelmät perustuvat eliöiden herkkyyteen ympäristössä tapahtuviin muutoksiin ja/tai niiden ominaisuuteen kerätä aineita itseensä. Bioindikaattoriseurannasta saatujen tulosten perusteella voidaan tarkastella esimerkiksi ilmanlaatua ja siinä tapahtuvia muutoksia sekä epäpuhtauksien vaikutuksia ympäristöön. Herkkiä lajeja kartoittamalla saadaan myös arvokasta tietoa tutkimusalueen biodiversiteetistä. Varsinkin ilmalaatututkimuksissa mielenkiinto bioindikaattorimenetelmiä kohtaan on lisääntynyt, sillä ne ovat edullinen ja yksinkertainen vaihtoehto kalliille ja hankalasti siirreltäville mittauslaitteille (Maré ym. 2015).

Bioindikaattorit voidaan jakaa reaktioindikaattoreihin ja kertymäindikaattoreihin (Jussila ym. 1999). Reaktioindikaatio mittaa muutoksia eliöissä tai eliöyhteisöissä (Lodenius ym. 2010). Reaktioindikaattorit ilmaisevat ympäristön muutoksia esimerkiksi morfologisilla muutoksilla (kitukasvuisuus, värimuutokset jne.), lajin runsaussuhteiden muutoksilla tai fysiologisen aktiivisuuden kautta. Kertymäindikaattorit puolestaan ilmaisevat muutoksia solukonsa tai kudostensa kohonneina alkua- ja raskasmetallipitoisuuksina ja niitä käytetäänkin ilmaisemaan epäpuhtauksien kertymistä eliöön.

Jäkälät on havaittu useissa tutkimuksissa hyviksi ilmansaasteiden varhaisvaikutusten ilmentäjiksi (Hyvärinen ym. 1993). Ensimmäiset havainnot jäkälien häviämisestä ilmansaasteiden vaikutuksesta tehtiin jo 1800 -luvulla Englannissa (Jussila ym. 1999) ja ensimmäinen jäkäläautio havaittiin Helsingissä vuonna 1933 (Lodenius ym. 2010). Kuitenkin vasta 1950-luvulla selvisi, mille nimenomaisille saasteille jäkälät olivat erityisen herkkiä: rikkidioksidille ja fluoriyhdisteille. Tyypillisesti runkojäkälälajiston ja sen perusteella laskettujen ilmansaasteindeksien avulla on selvitetty ilmanlaatua

ja ilmansaasteiden vaikutuksia teollisuusalueiden ympäristössä ja taajama-alueilla (Kokko ym. 2001).

Sammalia on käytetty etenkin raskasmetallilaskeumien kartoituksissa ja Pohjoismaissa menetelmää on käytetty laajasti. Sammalien käyttö raskasmetallilaskeumien mallintajana aloitettiin jo 1960-luvulla (Tyler 1971). Sammalia on käytetty yleisesti bioindikaattorina ilmakehän raskasmetalleille, typpiyhdisteille ja POP-yhdisteille (pysyvät orgaaniset ympäristömyrkyt, engl. *persistent organic pollutants*) (Marc ym. 2015). Koska näitä yhdisteitä tavataan kaikkialla, sammalet soveltuvat näiden pitoisuuksien biomonitorointiin niin kaupungeissa kuin autioillakin alueilla. Sammalten alkuainepitoisuuksia on käytetty myös kaivosten ympäristövaikutusten arviointiin (esim. Savonlinnan kaupungin ympäristönsuojelupalvelut 2005b ja Pöykiö ym. 2006).

Sammalia voidaan käyttää biomonitorointiin myös luontaisten kasvupaikkansa ulkopuolella siirtämällä niitä esimerkiksi saastuneille alueille. Vaihtoehtoisina menetelminä on käytetty esimerkiksi sammalpalloja (Savonlinnan kaupungin ympäristölautakunta, 1990). Sammalpallomenetelmässä luonnosta kerätään sammalta (usein rahkasammalta), joka pestään ensin typpihapolla ja tislattulla vedellä. Tämän jälkeen ne muotoillaan läpimitaltaan n. 4 cm palloiksi, jotka asetetaan nylonpusseihin. Valmiit sammalpalloet ripustetaan roikkumaan haluttuihin kohteisiin. Tällä tavoin sammalpalloista voidaan analysoida niiden mekaanisesti keräämä raskasmetallilaskeuma tietyltä ajanjaksolta. Tämän lisäksi myös talojen katoilla ja seinillä esiintyvistä sammalista on analysoitu raskasmetallilaskeumaa (esim. Pearson ym. 2000). Jopa tietunneleiden ilmanlaatua on tutkittu sammaleiden avulla (esim. Zechmeister ym. 2006). Näitä menetelmiä ei ole kuitenkaan standardisoitu.

## 1.1 Tutkimusalue

Savonlinna on osa etelä-boreaaliseen havumetsävyöhykkeeseen kuuluvaa Etelä-Savon maakuntaa (Kalliola 1973). Metsätön alue koostuu ensisijaisesti viljelyksistä. Soiden osalta Savonlinna kuuluu Sisä-Suomen keidassoiden luokkaan sekä järvien osalta dysoligotrofisten *Equisetum*- ja *Equisetum-Phragmites* -järvityyppien valta-alueeseen. Suomen kasvimaantieteellisessä aluejaossa Savonlinna kuuluu Järvi-Suomeen.

Järvi-Suomea voidaan pitää monessa suhteessa eräänlaisena Suomen tai ainakin sen eteläpuoliskon olojen keskivertona, sillä se on laaja ja maantieteellisesti yhtenäinen alue keskeisellä sijainnilla (Kalliola 1973). Kasvillisuudeltaan Savonlinna on Suomen luonnon keskivertoa. Savonlinnassa vallitsevat keskinkertaiset ja laihat metsämaat: yleisin metsätyyppi on mustikkatyyppi (MT), mutta myös kuivia puolukkatyyppin (VT) kankaita on runsaasti.

Savonlinna on hyvin vesistöinen alue – vesistöjen osuus koko kaupungin pinta-alasta on noin 38 % (Savonlinnan kaupungin kotisivut). Kaupungin asukasluku oli 1.10.2014 36 048 henkilöä. Savonlinnan yhdyskuntarakenne on vesistöisyyden ja väljän asumistiheyden johdosta hajaantunut (kuva 1).

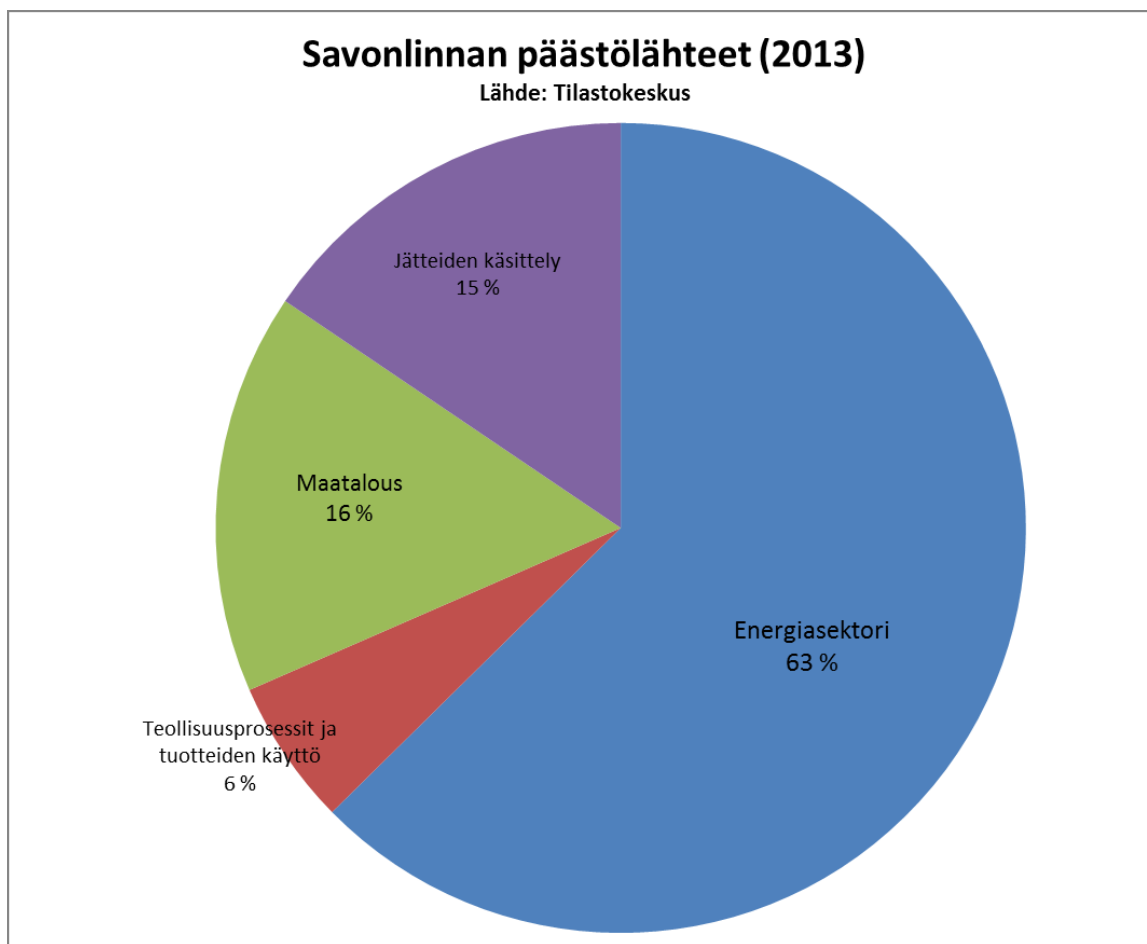




## 1.2 Tutkimusalueen ilmanlaatu

Ilmanlaatuindeksillä arvioituna Savonlinnan ilmanlaatu on pääosin hyvä (JPP Kalibrointi Ky 2017). Keskustan osalta ilmanlaadun arvioitiin olevan hyvää 89 % ajasta. Viimeisimmän männyn runkojä-käläkartoituksen perusteella Savonlinnan ydinkeskustan ilmanlaatu on heikentynyt kaupungin muihin osiin verrattuna (Savonlinnan kaupunki 2012). Ydinkeskustassa on haja-asutusalueita suuremmat liikennemäärät sekä enemmän teollisuuden ja energiantuotannon päästölähteitä, mikä heikentää ydinkeskustan ilmanlaatua.

Vuonna 2013 Savonlinnassa muodostui kasvihuonekaasupäästöjä yhteensä 206 tuhatta hiilidioksiditonnia (Tilastokeskuksen kasvihuonekaasuinventaarior 2013). Savonlinnassa ilmanlaatuun vaikuttavista päästöistä selvästi merkittävin on liikenne (kuva 2). Savonlinnassa ei ole ilmanlaatuun merkittävästi vaikuttavaa suurteollisuutta, minkä takia liikenne on suurin yksittäinen ilmanlaatua heikentävä tekijä (JPP Kalibrointi Ky 2017).

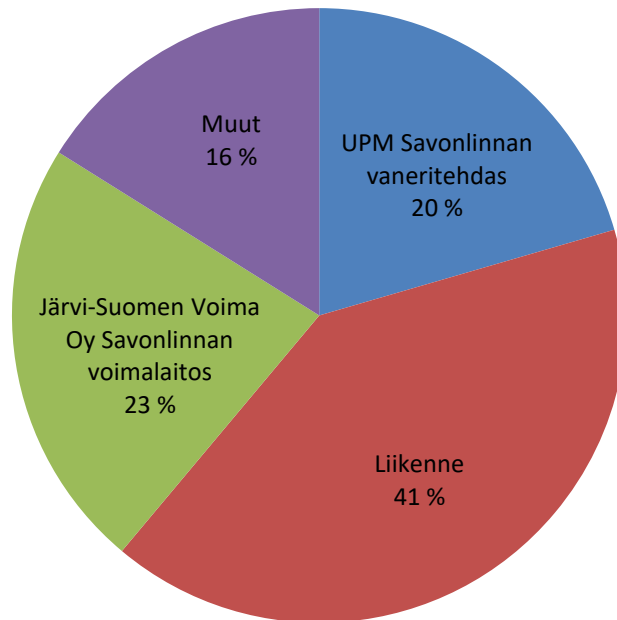


Kuva 2. Savonlinnan päästöjen jakautuminen eri sektoreiden välillä vuonna 2013. Lähde: Tilastokeskuksen kasvihuonekaasuinventaario.

Merkittävin pistekuormittaja kaupunkialueella on Järvi-Suomen voima Oy:n Savonlinnan voimalaitos (kuva 3). Vuonna 2016 Savonlinnan keskusta-alueella hiukkaspäästöistä suurin osa muodostui liikenteessä, Järvi-Suomen voima Oy:n voimalaitoksessa ja UPM vaneritehtaalla. Muita merkittäviä pistemäisiä ilman epäpuhtauksien päästölähteitä Savonlinnassa ovat Suur-Savon Sähkö Oy:n lämpölaitokset Pihlajavedenkujalla, Kaikuvuoressa, Haka-alueella ja keskussairaalassa (JPP Kalibrointi Ky 2017). Noin 3/4 typpidioksidipäästöistä on lähtöisin Suur-Savon Sähkö Oy:n lämpölaitoksista, kun liikenteen osuus jää vain neljännekseen kokonaistyyppidioksidipäästöistä.

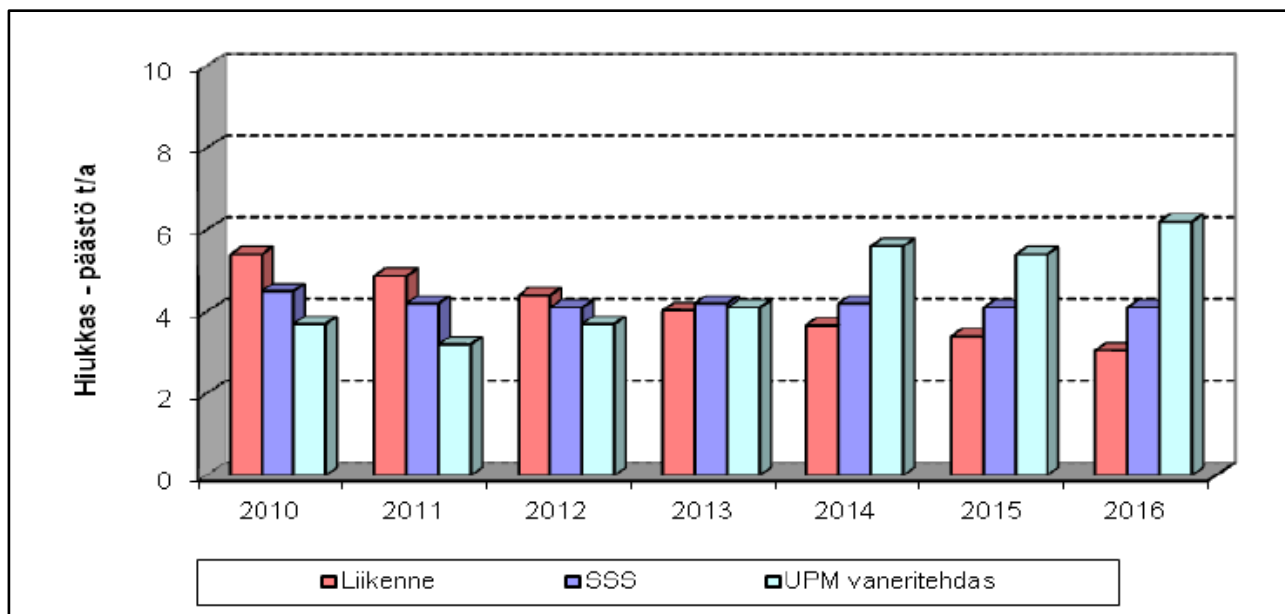
## Savonlinnan kaupunkialueen päästöt (2016)

Lähde: JPP Kalibrointi Ky 2017



Kuva 3. Savonlinnan kaupunkialueen ilmoitusvelvollisten laitosten ja liikenteen hiukkaspäästöjakauma (%) vuonna 2016. (JPP Kalibrointi Ky 2017).

Savonlinnan kaupunkialueella liikenteen suhteelliset hiukkaspäästöt ovat laskeneet vuodesta 2010 vuoteen 2016 (kuva 4). Tähän vaikuttaa osaltaan se, että suuri osa yksityisliikenteestä ja lähes kaikki raskasliikenne on siirtynyt keskustan ohittavalle rinnakkaisväylälle, minkä takia liikennemäärät ovat vähentyneet Savonlinnan keskustassa, missä myös ilmanlaadun mittausasema sijaitsee. Rinnakkaisväylä otettiin käyttöön lokakuussa 2012. Liikenteen päästöjen laskua selittää myös VTT:n Liisa 2015 -ohjelman muuttunut laskentatapa. UPM:n vaneritehtaan päästöt puolestaan ovat kasvaneet ja Suur-Savon sähkön voimalaitosten päästöt ovat pysytelleet samalla tasolla. UPM:n vaneritehtaan kasvaneet päästöt ovat nostaneet pistemäisen lähteiden hiukkaspäästöjen osuuden 80 %:iin kokonaispäästöistä vuonna 2016.



Kuva 4. Savonlinnan kaupunkialueen ilmoitusvelvollisten laitosten ja liikenteen hiukaspäästöt ilmaan vuosina 2010 – 2016 (JPP Kalibrointi Ky 2017). UPM:n päästöt on ilmoitettu PM<sub>10</sub> -päästöinä (hengitettävät hiukkaset).

Viimeisten 40 vuoden aikana ilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat laskeneet kaikilla Suomen tausta-aseilla (Kulmala ym. 1998 ja Waldén ym. 2000). Erityisesti rikkiyhdisteiden pitoisuudet ja laskeumat ovat pienentyneet viime vuosikymmeninä. Ilmanlaatuun vaikuttavat energiantuotannon, liikenteen ja teollisuuden lisäksi myös kaukokulkeutuvat tulevat ilman epäpuhtaudet, minkä takia myös Suomen naapurimaissa tapahtuvat päästövähennykset vaikuttavat välillisesti Suomen ilmanlaatuun.

Seinäsamalten raskasmetallipitoisuuksien analyysit ovat paljastaneet, että Pohjoismaissa ilmanlaatu on parempaa kuin muualla Euroopassa (Harmens ym. 2010). Vuodesta 1990 lähtien Euroopassa analysoitujen sammalten arseenin, kadmiumin, raudan, lyijyn ja vanadiumin pitoisuudet ovat laskeneet merkittävästi (52 – 72 %) ja kuparin, nikkelin ja sinkin jonkin verran (20 – 30 %).

### 1.3 Ilman epäpuhtauksien vaikutukset runkojäkälissä

Aiemmin laajalti käytetyn määritelmän mukaan jäkälät koostuivat sieni- ja symbionttiosakkaasta (viherlevä tai syanobakteeri), kunnes paljastui, että jäkälissä on myös hiivoja (Spribille ym. 2016). Klorofylliä sisältävä leväosakas on vastuussa ravinteiden muodostamisesta ja sieniosakas tarjoaa puolestaan leväosakkaalle vettä ja mineraaleja (Conti ja Gecchetti 2000). Hiivaosakas puolestaan

esiintyy monien jäkälälajien kuoriosassa, mikä osaltaan saa aikaan mm. eri jäkälälajien erilaiset sekovarren rakenteet (Spribille ym. 2016).

Sienen ja yhteyttävän symbiontin välinen tiivis vuorovaikutus on herkkä häiriöille (Hyvärinen ym. 1993), mutta joskus suhde voi olla melko väljäkin (Lodenius ym. 2010). Jäkälän herkin osapuoli määrittää jäkälän kohtalon epäsuotuisissa olosuhteissa (Oksanen ym. 1995). Esimerkiksi ravinteikkuuden kasvaminen voi lisätä leväosakkaan kasvua, mutta olla samaan aikaan haitallista sieniosakkaalle.

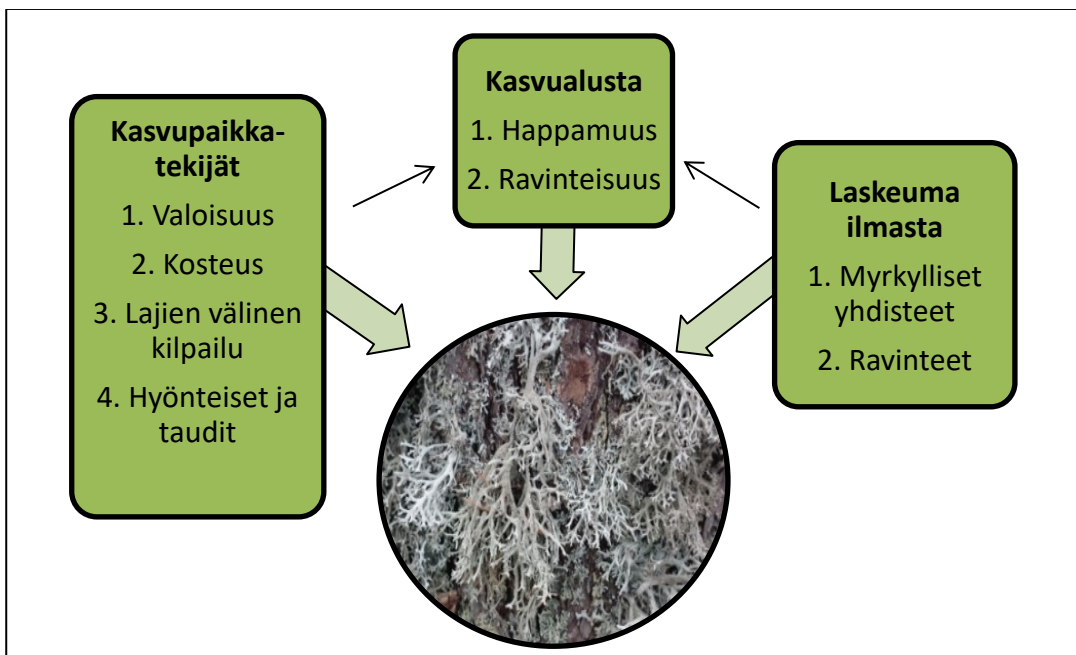
Puiden epifyyttijäkälän väheneminen ilman epäpuhtauksien vaikutuksesta on suhteellisen hyvin tunnettu ilmiö. Jäkälän herkkyys ilman epäpuhtauksille perustuu niiden sekovarren rakenteeseen (Jussila ym. 1999). Koska jäkäliltä puuttuvat korkeammille kasveille tyypilliset tiiviit ja suojaavat pintasolukerrokset eikä niillä ole kaasujen vaihtoa sääteleviä ilmarakoja, jäkälillä ei ole kunnollista suojaa ulkoisia vaikutuksia vastaan (Hyvärinen ym. 1993). Ilman kunnollista suojausta ilman epäpuhtaudet pääsevät kiinnittymään sieniosakkaan soluseinämien proteiineihin (Huuskonen ym. 2013). Tämän seurauksena jäkälälajiston koostumuksessa ja lajien morfologiassa voidaan havaita muutoksia sen mukaan, miten ne sietävät ilman epäpuhtauksia.

Epifyyttiset jäkälät ovat erittäin tehokkaita absorboimaan ravinteita, minkä ansiosta ne selviytyvät hyvin niukkaravinteisissä elinympäristöissä (Oksanen ym. 1995). Jäkälät ottavat tarvitsemansa ravinteet ja veden suodattamattomina suoraan ilmasta, sadevedestä tai runkoa pitkin valuvasta vedestä, minkä johdosta jäkälät ovat erityisen alttiina ilman epäpuhtauksien haitallisille vaikutuksille. Lisäksi jäkälät pystyvät ottamaan tehokkaasti aineita laimeistakin pitoisuuksista (Hyvärinen ym. 1993). Jäkälillä onkin epätavallinen kyky ottaa vastaan ioneja ja ravinteita enemmän kuin ne tarvitsisivat (Van der Wat ja Forbes 2015).

Välttämättömien ravinteiden lisäksi jäkälät absorboivat myös muitakin aineita kuin vain niiden kasvuun välttämättömiä ravinteita (Oksanen ym. 1995). Jäkälät pystyvät esimerkiksi sitomaan kadmiumia, lyijyä, tinaa ja sinkkiä tehokkaammin kuin putkilokasvit tai jopa sammaleet (Tuominen ja Jaakkola 1974). Lisäksi jäkälien on esimerkiksi mitattu absorboivan rikkidioksidia yli sata kertaa voimakkaammin kuin putkilokasvien (Anttonen 1990). Partamaisesti kasvavat jäkälät kuten naavat (*Usnea* spp.) ja lupot (*Bryoria* spp.), voivat siivilöidä kiinteitä saastehiukkasia myös suoraan ilmastta, sillä niiden pinta-ala on suuri suhteessa niiden tilavuuteen (Hyvärinen ym. 1993, Lodenius ym. 2010). Tehokkaan absorbointikykyänsä ansiosta myös jäkälän sekovarren alkuainepitoisuuksista voidaan sammalten tavoin analysoida ilmanlaadussa tapahtuvia muutoksia (Kularatne ja Freitas 2013).

Rikkidioksidi ja typpiyhdisteet vaikuttavat jäkäliin voimakkaimmin (Laita ym. 2008b). Useassa yhteydessä jäkälän on todettu olevan erityisen herkkä kaasumaisille ilman epäpuhtauksille. Rikin

märkä- ja kuivalaskeuman sekä muun happaman sateen on todettu olevan jäkälille haitallista sekä suoraan ilman kautta että välillisesti aiheuttaessaan maaperän happamoitumista (Kokko ym. 2001). Pitkään jatkunut kuormitus voi vaikuttaa monella tavalla ekosysteemin kemiallisiin ainekiertoihin ja varastoihin. Esimerkiksi happamoittava laskeuma voi vaikuttaa maaperän happamuuteen ja puskurintikykyyn ja sitä kautta sekä kaarnan happamuuteen että puskurikykyyn ja runkoepifyyttien kasvuolosuhteisiin (kuva 5). Vastaavasti emäksinen laskeuma voi muuttaa havupuiden runkoa kasvu- alustana emäksisemmäksi, jolloin esimerkiksi mäntyjen happamaan kaarnaan tottunut lajisto voi taantua.



Kuva 5. Runkojäkälään vaikuttavia tekijöitä (Niskanen ym. 2003). Kuva: Henna Halinen.

Jäkälät ovat hyvin hidaskasvuisia, mutta suurissa pitoisuuksissa ilman epäpuhtaudet voivat saada aikaan nopeitakin muutoksia jäkälissä ja jäkälälajistossa (Lodenius ym. 2002, Huuskosen ym. 2013 mukaan). Yleensä muutokset saattavat kuitenkin näkyä vasta usean vuoden päästä tai vielä vuosienkin jälkeen kuormituksen vähennyttyä, minkä johdosta jäkäläkartoitus on ilmanlaadun tutkimuksessa ensisijaisesti pitkänaikavälin seurantaan soveltuva menetelmä (Jussila ym. 1999). Myös kasvualustan happamuudessa ja ravinteisuudessa tapahtuvat muutokset voivat vaikuttaa jäkälälajistoon (Niskanen ym. 2003). Monet prosessit heijastuvat esimerkiksi runkovalunnan alkuainepitoisuuksiin ja happamuuteen (Kokko ym. 2001). Esimerkiksi sadeveden valuessa lehvästöä ja runkoa pitkin siihen mm. liukenee kuivalaskeumana sitoutuneita yhdisteitä ja biokemiallisia reaktioita (aineiden ottoa ja luovuttamista) tapahtuu valuvan veden, lehvästön, kaarnan mikroeliöstön ja epifyyttien kesken.

Vaikka männyn runkojäkälät ovat herkkiä ilman epäpuhtauksille, on männyn runko niille elinympäristönä luonnostaan hapan ja niukkaravinteinen (Derome ym. 1995). Eri puulajien jäkälälajit voidaankin jakaa karkeasti happaman ja neutraalin kaarnan lajistoon (Stenroos ym. 2011). Männyn runkojäkälät ovat pääsääntöisesti happaman kaarnan lajistoa, joista tyypillisimpiä ovat sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*), keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*), harmaatyvi- ja tuhka-karve (*Parmeliopsis hyperopta* ja *Imshaugia aleurites*) ja keltaröyhelö (*Vulpicida pinastri*). Tämän johdosta nämä lajit ovat sopeutuneet elämään karussa elinympäristössä, eikä esimerkiksi hiukan hapan sade ole suuri ongelma niille ennen kuin sadeveden pH lähenee arvoa 3,5. Jäkälien kasvuolosuhteet eivät välttämättä muutu nopeasti ja kuormituksen vaikutusten ilmentymisessä voi olla pitkäkin viive. Vähittäisen muutoksen havaitseminen nopeasti edellyttää seurantamenetelmältä suurta herkkyyttä.

Epifyyttisten jäkälien käytön etuna ilmanlaadun tutkimuksen näkökulmasta on, että puunrunko on suhteellisen tasalaatuinen kasvualusta, mikä helpottaa kartoitustyötä. Jäkälillä ei myöskään ole talvella suojaa lumesta kuten kenttäkerroksen lajeilla. Kylmien alueiden jäkälillä on todettu alhainen lämpötilaoptimi nettoyhteytyksen suhteen ja monet jäkälät pystyvät kasvamaan jopa pakkasessa (Anttonen 1990). Jäkälien aktiivisuus alhaisissakin lämpötiloissa saa aikaan sen, että jäkälät ovat alttiita ilman epäpuhtauksille ympäri vuoden.

Eri jäkälälajien ja niiden kasvutapojen väliset absorptiionopeuserot saavat aikaan eroja eri jäkälälajien ilmansaasteiden sietokyvyssä (Anttonen 1990). Jokaisella jäkälälajilla on omat kriittiset kuormitusrajansa (Jussila ym. 1999). Ennen kuormitusrajan ylittymisen aiheuttamaa häviämistä laji alkaa taantua tietyllä kuormitustasolla. Vaikuttavia aineita voi olla useita (esimerkiksi SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, raskasmetallit ja alkaliset yhdisteet) ja niiden yhteisvaikutuksista on lähes mahdotonta erottaa yksittäisten aineiden vaikutusten suhteellisia osuuksia. Tämän lisäksi aineiden vaikutukset voivat olla myös toisiaan voimistavia tai heikentäviä. Esimerkiksi sormipaisukarve on osoittanut nopeutunutta kasvua ammoniumtyppikäsittelyn jälkeen ja runsaan ravinnebudjetin on todettu parantavan jäkälien menestymistä epäpuhtailla alueilla (Anttonen 1990).

Osa lajeista voi myös hyötyä ilmansaasteista tai muiden lajien häviämisestä ilmansaasteille altistumisen johdosta (Jussila ym. 1999). Esimerkiksi viherleväjäkälien ja -levien on todettu hyötyvän typpikuormituksesta ja lisäksi myös sormipaisukarve hyötyy ilmansaasteista tiettyyn rajaan saakka (Poikolainen ym. 1998). Seinäsuomujäkälän on havaittu puolestaan hyötyvän puiden ikääntymisestä ja kaarnan happamuudesta. Ilmansaasteiden lisäksi myös ilmastonmuutos voi lisätä viherleväjäkälien ja -levien runsautta esimerkiksi kohoavien keskilämpötilojen ja humidisuuden johdosta.

On myös selvää, että luontaiset olot vaikuttavat siihen, kuinka ilman epäpuhtauksien vaikutukset ilmenevät jäkälissä. Edellä mainituista syistä johtuen on lähes mahdotonta esittää täysin luotettavas-

ti johtopäätöksiä ilmanlaadun muutoksista jäkälälajistoon ilman, että huomioidaan eri lajien erilaiset vasteet muuttuviin luonnonolosuhteisiin. Lisäksi vertailtavuutta heikentää kuormitetuilla alueilla pienet ja kituvat yksilöt, joiden havaitseminen on kartoittajasta riippuvaista.

#### 1.4 Ilman epäpuhtauksien vaikutus mäntyjen elinvoimaisuuteen

Monet havupuiden tärkeimmistä prosesseista, kuten fotosynteesi, tapahtuvat neulasissa, joten muutokset neulasmassassa heijastuvat koko puun elinvoimaisuuteen (Raitio ym. 1995). Tämän johdosta mäntyjen neulasmassan määrää on käytetty usein ilmentämään männyn yleistä elinvoimaisuutta Suomessa (esim. Ruuth ym. 2016, Lehtonen ym. 2013, Ympäristöpalvelut Helmi 2011, Laita ym. 2008ab sekä Savonlinnan kaupunki 1990, 1993, 1997, 2002, 2005a)

Puun kasvuun ja fotosynteesitehokkuuteen vaikuttavat ilmanlaadun lisäksi monet luontaiset tekijät, kuten ilmaston vaihtelut, maaperä, puiden väliset vuorovaikutukset, puun fysiologian lainalaisuudet sekä neulastuhot. Vanhimpien neulasten vuosittainen variseminen elo-syyskuussa on luonnollinen ilmiö, joka mahdollistaa yhteyttävän neulasiston muodostumisen (Hyvärinen ym. 1993). Neulaset säilyvät puissa useita vuosia ja niiden elinikä riippuu mm. puun perinnöllisistä ominaisuuksista ja iästä, kasvupaikasta sekä maantieteellisestä sijainnista, sillä pohjoista alkuperää olevilla männyillä havaitaan usein enemmän neulasvuosikertoja (Hyvärinen ym. 1993). Epäpuhtauksien kuormituksen on havaittu yhdessä muiden luontaisten tekijöiden kanssa johtavan mäntyjen vähäisempään neulasvuosikertojen lukumäärään (esim. Ruuth ym. 2016 ja Lehtonen ym. 2013).

Koska neulasvuosikertojen lukumäärään vaikuttavat ilmanlaadun lisäksi monet muut tekijät, se ei sovellu yhtä hyvin kuvaamaan ilmanlaadun vaikutuksia kuin jäkälät. Sen avulla voidaan kuitenkin saada käyttökelpoista tietoa mäntyjen yleisestä elinvoimaisuudesta, jos neulasvuosikertoja seurataan samalla tutkimusalueella pitkän aikaa. Epäpuhtauksien kuormittamillakin alueilla havupuiden neulaskadon ja neulasvuosikertojen lukumäärän on todettu olevan hyvin paikallinen ilmiö, joten tuloksia ei voida luotettavasti yleistää kuvaamaan havaintoalan ulkopuolisten alueiden mäntyjen elinvoimaisuutta (Partanen ja Veijola 1996). Vaikka neulasvuosikerrat indikoivatkin ilmanlaatua heikosti, on se silti menetelmänä helppo ja nopea sekä selkeä puiden yleiskunnon mittari.



## 1.5 Raskasmetallien vaikutukset seinäsammalissa

Metallit voidaan jakaa tärkeisiin mikroravinteisiin (esim. rauta, kupari, sinkki, koboltti ja nikkeli), jotka ovat tärkeitä organismien normaalin kehityksen kannalta sekä muihin metalleihin (esim. kadmium, lyijy ja elohopea), jotka eivät ole organismeille välttämättömiä (Cuypers ym. 2009). Kuitenkin tärkeidenkin metallien liian suuri pitoisuus elinympäristössä ja organismeissa voi häiritä organismien kasvua ja kehitystä mm. muuttamalla biokemiallisia reaktioita ja fysiologisia prosesseja.

Seinäsammalilla on erinomainen kyky absorboida ja kerryttää monia raskasmetalleja sekä märkä- että kuivalaskeumana, koska niillä ei ole monien muiden kasvien tavoin juuria tai suojaavaa, paksua kutikulakerrosta (Berg ja Steinnes 1997). Tämän johdosta niiden koko pinta on alttiina ilmanlaadussa tapahtuville muutoksille, koska ne ottavat tarvitsemansa alkuaineet suoraan sadevedestä ja karikkeesta solukoihinsa. Sammalien biologiasta johtuen laskeuman ja sammalien pitoisuuksien välillä onkin todettu voimakas riippuvuus (Jussila ym. 1999). Varsinkin pistemäisten päästölähteiden vaikutusalueet näkyvät tuloksissa yleensä selvästi. Sammalet pidättävät lisäksi myös kaukokulkeutuvia epäpuhtauksia ja osa etenkin kadmiumin ja lyijyn pitoisuudesta sammalissa voi olla kaukokulkeutumasta johtuvaa. Sammalten on todettu pidättävän laskeumana tulevia raskasmetalleja seuraavassa järjestyksessä: Cu, Pb > Ni > Co > Zn (Rühling ym. 1987, Lodeniuksen ym. 2010 mukaan).

Merkittävimpiä raskasmetallien päästölähteitä ovat metalliteollisuus (Al, As, Cr, Cu, Fe, Zn), muut tehtaات ja rakennustyömaat (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb), sähkön- ja lämmöntuotanto (As, Cd, Hg, Ni), liikenne (Cu, Sb, V, Zn), raakaöljyn jalostus (Ni, V) ja fosfaattilannoitteet maanviljelyssä (Cd) (Harmens ym. 2010). Täytyy kuitenkin huomioda, että pelkästään havaintoalan paikallinen teollisuus tai ilmanlaatu ei selitä kaikkia muutoksia seinäsammalten pitoisuuksissa. Esimerkiksi mineraalipartikkeleita (esim. Ca, Al, ja Cr) voi kulkeutua tuulen mukana maaperästä pitkiäkin matkoja ja maaperästä voi liueta yhdisteitä sammaliin esimerkiksi hyvin kosteissa olosuhteissa tai lumen sulassa (Berg ja Steinnes 1997).

Ihmisvaikutuksella ja sitä kautta raskasmetallien korkeilla pitoisuuksilla on todettu olevan vaikutusta boreaalisten metsien sammalmattojen ravinnekiertoihin ja aineenvaihduntaan. Ilmansaasteiden, erityisesti autojen pakokaasujen, on havaittu lisäävän teiden läheisyydessä esiintyvien seinäsammalten raskasmetallipitoisuuksia (esim. Scott ym. 2018, Pearson ym. 2000, Zechmeister ym. 2006). Erityisesti kuparin (Cu), lyijyn (Pb), vanadiinin (V), nikkelin (Ni) ja kromin (Cr) pitoisuuksien on havaittu olevan huomattavasti suurempia sammalissa, jotka sijaitsevat alle metrin päässä tiestä kuin 100 metrin päässä tiestä (Scott ym. 2018). Korkeiden raskasmetallipitoisuuksien on ha-

vaittu vaikuttavan biologiseen typensidontaan boreaalisissa metsissä häiritsemällä seinäsammalen ja niihin liittyneiden syanobakteerien typenkiertoa (Rousk ym. 2017). Seinäsammalen typenkierron on havaittu olevan sitä hitaampaa mitä vilkkaammin liikennöidyn tien varrella seinäsammalet esiintyvät. Syytä tähän ei ole täysin vielä selvitetty, mutta erityisesti auton pakokaasujen sisältämällä molybdeenilla (Mo), vanadiinilla (V), raudalla (Fe) ja fosforilla (P) on todettu olevan suuri merkitys typenkierron entsyymiprosesseihin. Fosforia voi vapautua pakokaasun lisäksi myös renkaiden ja jarrujen kuluessa. Fosforin saatavuus on tärkeä ATP:n kulusta säätelevä osatekijä, joten sen pitoisuuksien vaihtelulla on merkitystä sammalten aineenvaihduntaan.

Raskasmetallilaskeumat eivät ainoastaan heikennä typenkierron tehokkuutta, mutta ne voivat vaikuttaa myös monien makroravinteiden ottoon (Scott ym. 2018). Esimerkiksi kuparin runsastuminen lisää fosforin pitoisuutta monissa seinäsammalen kudoksissa. Täytyy kuitenkin muistaa, että myös teiden, asutuksen ja metsien aiheuttamat reunavaikutukset voivat aiheuttaa mikroilmastollisia muutoksia ilman kosteudessa ja valon runsaudessa. Näiden tekijöiden yhteisvaikutus raskasmetallilaskeuman kanssa seinäsammalten aineenvaihduntaan tarvitsee tarkempaa tutkimusta.

## 2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA HYPOTEESIT

Ilmansuojelulain (ISL 67/1982) 4 §:n mukaan kunnan tehtävänä on alueellaan valvoa ja edistää ilmansuojelua sekä tässä tarkoituksessa huolehtia paikallisten olojen edellyttämästä tarpeellisesta ilman laadun seurannan järjestämisestä. Savonlinnan kaupungin ympäristönsuojelupalveluiden ensimmäinen ilmanlaatua tutkiva selvitys tehtiin bioindikaattoritutkimuksena vuonna 1989 ja nyt vuonna 2017 tilattu selvitys on järjestyksessään Savonlinnan seitsemäs. Tutkimusalue rajattiin aikaisempien kartoitusten mukaisesti koskemaan kanta-Savonlinnaa, minkä johdosta Savonlinnaan kuntaliitoksilla liittyneet Savonranta, Kerimäki ja Punkaharju on rajattu kartoituksen ulkopuolelle.

Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää kanta-Savonlinnan männyn runkojäkälien lajirikautta, levinneisyyttä ja vaurioituneisuutta. Näiden jäkälämuuttujien avulla on tarkoitus selvittää Savonlinnan ilmanlaatua kokonaisuutena sekä selvittää eri alueiden eroavaisuuksia. Lisäksi tarkoituksena on selvittää Savonlinnan mäntyjen elinvoimaisuutta ja tutkia eri alueille kohdistuvaa laskeuman määrää seinäsammalten alkuainepitoisuuksien avulla. Reaktio- ja kertymäindikaattorien väliltä on tarkoitus löytää yhteyksiä, jotka voisivat tarjota selityksiä mahdollisille ilmanlaadun eroavaisuuksille alueiden välillä.

Tutkielman tarkoituksena on lisäksi selvittää, minkälaista muutosta tutkimusalueella voidaan havaita tutkimusvuosien välillä. Aikaisempien Savonlinnan jäkäläkartoitusten tulokset ovat osoittaneet, että Savonlinnan runkojäkälien lajisto on köyhtynyt ja jäkälät vaurioituneita. Tässä tutkielmassa pyritään lisäksi selvittämään, onko jäkälälajisto edelleen yhtä köyhtynyt vai onko muuttujissa havaittavissa vuosien välistä kehitystä. Tällä tavoin voidaan myös tehdä yleistäviä johtopäätöksiä Savonlinnan ilmanlaadusta tapahtuneista muutoksista.

Edellä mainittujen tutkielman tarkoitusten perusteella kartoitusta varten luotiin viisi päähypoteesia: H1: Ilmansaasteille herkempiä lajeja esiintyy vähemmän ja siten lajisto on köyhtyneempää keskusta-alueilla verrattuna haja-asutusalueiden lajistoon. H2: Jäkälät ovat vaurioituneempia keskusta-alueilla kuin haja-asutusalueilla. H3: Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys ovat pienempiä keskusta- kuin haja-asutusalueilla, H4: Männyt ovat elinvoimaisempia haja-asutusalueilla kuin keskusta-alueilla. H5: Seinäsammalten raskasmetallipitoisuudet ovat korkeammat keskusta- kuin haja-asutusalueilla.

### 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

#### 3.1 Tutkimusalat

Edellisessä, vuosina 2011 – 2012 suoritetusta Savonlinnan männyn runkojäkälä- ja neulasvuosikertakartoituksessa oli mukana 27 kohdetta (Savonlinnan ympäristönsuojelupalvelut, 2012). Tähän kartoitukseen sisällytettiin näistä kohteista 24 kappaletta (liite 2). Parkkolanmäen havaintoala oli kaavoitettu edellisen kartoituksen jälkeen asuinalueeksi, minkä takia havaintoalan puut oli kaadettu. Ritolan havaintoala päädyttiin poistamaan, koska se sijaitsi lähellä jätevedenpuhdistamon havaintopistettä. Kotilahden havaintopiste vaihdettiin Heikinpohjan (OKL:n mäki) pisteeksi, koska Heikinpohjalla on ollut havaintoala Savonlinnan ensimmäisestä jäkäläkartoituksesta saakka ja Kotilahdesta on kartoitettu jäkälä- ja neulasmuuttajat vain vuonna 2011 (Savonlinnan ympäristönsuojelupalvelut, 2012). Lisäksi Kotilahden havaintoala sijaitsi lähellä sekä Heikinpohjan että Talvisalon havaintoaloja. Kaikki muut havaintoalat sisällytettiin kartoitukseen. Tarkoituksena on, että myös tulevaisuudessa männyn runkojäkälä- ja neulasvuosikertakartoitukset suoritetaan näillä 25 havaintoalalla, jotta kartoitusten tulokset edustaisivat mahdollisimman kattavasti koko tutkimusalueen ilmanlaatua. Samoja havaintoaloja hyödyntämällä voidaan myös mahdollisimman yhdenmukaisesti seurata ilmanlaadussa tapahtuneita muutoksia Savonlinnassa.

Tutkimusalat jaettiin sijainnin mukaan ydinkeskustaan, keskustan ulkopuolisiin alueisiin ja haja-asutusalueisiin (liite 2). Jaottelun perusteena on käytetty aikaisemmissa kartoituksissa havaintoalan etäisyyttä Savonlinnan keskustan läpi kulkevasta Olavinkadusta, joten havaintoalat luokiteltiin tämän jaottelun mukaisesti myös tässä kartoituksessa. Havaintoalojen jaottelu mahdollistaa eri alueiden välisen vertailun, sillä oletettavasti ihmistoiminnan vaikutukset ilmanlaatuun eroavat alueittain.

Havaintoalojen sijainnit pyrittiin valitsemaan maastossa niin, että ne ovat keskenään mahdollisimman vertailukelpoisia. Havaintoalojen valinnassa pyrittiin välttämään poikkeavia mikroilmastoja, kuten paahteisia rinteitä, varjoisia painanteita, metsänreunoja tai alle 3 vuotta sitten harvennettuja kohteita. Lisäksi kulutukselle alttiit puut esimerkiksi polkujen varrella tai erittäin tuulisilla paikoilla pyrittiin rajaamaan tutkimuksen ulkopuolelle. Lähtökohtaisesti tavoitteena oli valita riittävän yhtenäisiä metsäalueita, joiden läheisyydessä (50 – 100 m) ei olisi rakennuksia, moottoriliikennettä tai muita emissiolähteitä. Näin pyrittiin sulkemaan pois mahdollisimman tehokkaasti muita jäkälälajistoon vaikuttavia ulkopuolisia tekijöitä, jotta jäkälälajisto ilmentäisi mahdollisimman edustavasti nimenomaan ilmanlaadun vaikutusta ko. alueella.

Maastotyöt aloitettiin jäkälä- ja neulasvuosikertakartoituksilla huhtikuun 2017 lopulla. Kartoituksiin valmistauduttiin laatimalla kartoitukseen sopiva maastotyölomake (liite 1) sekä selvitettiin kartta-aineiston avulla sopivia havaintoalojen sijainteja. Jäkäläkartoitukset ja puustohavainnot tehtiin 19.4. – 17.5.2017 välisenä aikana. Jäkälähavainnot tehtiin ennen niiden kiihkeimmän kasvukauden alkamista. Seinäsammalnäytteet kerättiin syksyllä 2.-3.9.2017 välisenä aikana.

Maastotyölomakkeeseen kirjattiin jokaisen havaintoalan taustatiedot. Kohteen tarkka sijainti merkittiin karttaan ja havaintoalan keskipisteen koordinaatit havaintolomakkeeseen. Lisäksi lomakkeeseen kirjattiin sääolosuhteet, havaintoalan etsintäohje, metsätyyppi, puuston kehitysluokka, puiden keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta ( $d(1,3)$ ), valtalajien pohjapinta-alat ja havaintoalan topografia. Puuston pohjapinta-alat laskettiin relaskoopilla ja läpimitta mitattiin Tallmeter -mittanauhalla. Puuston kehitysluokka arvioitiin uudistamiskypsyden perusteella (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2014). Kasvupaikkatyypin määrittämisessä apuna käytettiin tarvittaessa metsätyyppiopasta (Hotanen ym. 2013).

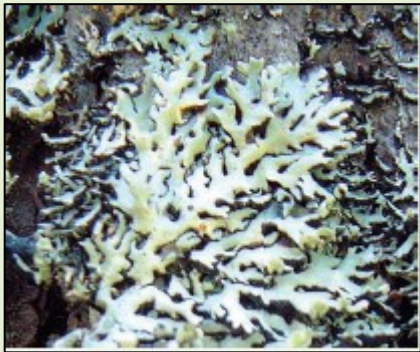
Jokaisen havaintoalan soveltuvuus tutkimukseen arvioitiin asteikolla hyvä, kohtalainen tai huono. Metsikön soveltuvuutta kartoitukseen arvioitiin jäkälien kasvuolosuhteiden perusteella. Jäkälän kasvuolosuhteita arvioitiin ensisijaisesti havaintopuihin kohdistuvan paahteisuuden, varjostuksen ja muiden kulutusta lisäävien tekijöiden perusteella (alueen tuulisuus, virkistyskäyttö, asutus, liikenne, topografia, puuston tiheys jne.). Vastaavissa kartoituksissa metsikön huonolla soveltuvuudella on todettu olevan vaikutusta ilmanlaatua kuvaaviin indekseihin, lajilukumäärän, vaurioasteisiin, levän yleisyyteen ja luppojen peittävyys (esim. Huuskonen ym. 2013, Lehtonen ym. 2011), minkä johdosta havaintoalan soveltuvuuden arviointi oli tarkoituksenmukaista. Toisaalta kaikkea ei voi selittää metsikön soveltuvuudella, sillä myös päästölähteiden sijainnilla on merkittävä vaikutus havaintoalakohtaisiin jäkälämuuttujiin.

Jokaiselta havaintoalalta valittiin viisi mäntyä kartoitusta varten. Kohdepuiksi valittiin rinnankorkeusläpimitaltaan 20 – 30 cm paksuisia yksirunkoisia mäntyjä, jotka olivat oksattomia kolmen metrin korkeuteen saakka. Männyt valittiin satunnaisesti siten, että havaintoalan keskipisteestä myötöpäivään havainnoimalla valittiin 10 – 20 metrin säteellä viisi kriteerit täyttävää puuta mahdollisimman tasaisin välimatkoin. Jäkäläkartoituksen edellytyksiä parannettiin siten, että puunrunkoa vasten ei ollut toisten puiden oksia tai muita lopputulokseen vaikuttavia poikkeamia. Lisäksi liian vanhat ja kilpikaarnaiset männyt sekä runsaasti hilseilevät havaintopuut pyrittiin jättämään kartoituksen ulkopuolelle. Runsas rungon hilseily voi vääristää jäkälätuloksia, koska jäkälät varisevat hilseilevän kaarnan mukana. Lisäksi hyvin vanhat ja kilpikaarnaiset männyt sopivat puolestaan heikommin sormipaisukarpeen kasvualustaksi kuin nuoremmat männyt (Lehtonen ym. 2011).

### 3.2 Tutkitut jäkälälajit

SFS 5670 -standardin ja aikaisempien Savonlinnassa tehtyjen jäkäläkartoitusten mukaisesti tutkimukseen valittiin 12 jäkälälajia (taulukko 1). Kartoituslajien erityispiirteet ja indikaattoriarvot lajien herkkyyden mukaan poikkeavat toisistaan jonkin verran (taulukko 1). Tavallisimpien runkojäkälälajien ilmansaasteherkkyys on melko hyvin tunnettu ja tämän perusteella lajeille on annettu herkkyysarvoja ja -luokkia (Kokko ym. 2001). Havaintoala- ja puukohtaisia lajimääriä laskettaessa ei huomioitu ilman epäpuhtauksista hyötyviä jäkäläindikaattoreita (seinäsuomujäkälä sekä levää ja vihersukkulajäkälä), jotta lajilukumäärästä voidaan arvioida paremmin ilmanlaadun vaikutusta lajikoostumukseen. Näin ollen tutkittavina olleista 12 lajista huolimatta lajeja oli puuta/havaintoalaa kohden enintään 10.

Taulukko 1. Standardin SFS 5670 mukaiset jäkälälajit ilmanlaadun indikaattoreina ja niiden seuralaislajien lukumäärät. Indikaattoriarvon luokitus: +++ hyvä, ++ kohtalainen, + pieni ja – huono. (Kuvat ja lajikuvaukset Laita ym. 2008a).

| Sormipaisukarve ( <i>Hypogymnia physodes</i> ) +++                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Sormipaisukarve on ilmanlaadun bioindikaattorina kestävä ja yleinen, sillä se sietää hyvin ilman epäpuhtauksia. Sormipaisukarpeen esiintymisfrekvenssit pienentyvät vasta voimakkaasti kuormitetuilla alueilla. Se on hyvä ilmanlaadun indikaattori, sillä myös sen sekovarren näkyvät vauriot kuvastavat ilman epäpuhtauksien kuormitusta.</p> <p><i>Seuralaislajien lukumäärä 4,92</i></p> |

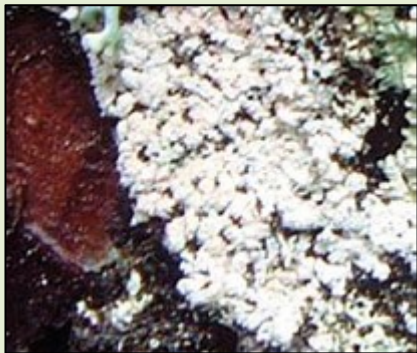
### Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*) +++



Keltatyvikarve on yleinen laji, joka sietää myös hyvin ilman epäpuhtauksia. Sen esiintymisfrekvenssit noudattavat ilman epäpuhtauksien kuormitusvyöhykkeitä. Keltatyvikarve viihtyy parhaiten sulkeutuneissa kosteissa metsissä.

*Seuralaislajien lukumäärä 4,92*

### Harmaatyvikarve ja tuhkakarve (*Parmeliopsis hyperopta* & *Imshaugia aleurites*) +++



Harmaatyvikarve ja tuhkakarve sijoittuvat kestävyydeltään kolmanneksi. Kahta edellistä lajia herkempänä näiden lajien pienentyneet esiintymisfrekvenssit ulottuvat vähemmän kuormitetuille alueille kuin sormipaisu- ja keltatyvikarpeella. Harmaatyvi- ja tuhkakarve ovat ilmansaasteita sietäviä, hyviä indikaattorilajeja. Ne suosivat kuivia ja valoisia kalliomänniköitä. Ne luetaan tässä samaksi lajiksi, koska niitä on hyvin vaikea luotettavasti erottaa toisistaan.

*Seuralaislajien lukumäärä 5,33*

### Seinäsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) ++



Seinäsuomujäkälää kasvaa luontaisesti vanhojen mäntyjen rungoilla. Se pystyy käyttämään hyväkseen ilmassa olevia epäpuhtauksia ja sen esiintyminen lisääntyy ilman saasteiden kuormituksen lisääntyessä. Seinäsuomujäkälä on kohtalaisen hyvä ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori eli sen esiintyminen kuvastaa lähinnä typpi-laskeuman rehevöittävää vaikutusta.

*Seuralaislajien lukumäärä 5,29*

### Lupot (*Bryoria* spp.) +++



Lupoilla on keskimäärin eniten seuralaislajeja rungoilla, mikä osoittaa sen herkkyyttä ilman epäpuhtauksille. Luppojen esiintymisfrekvenssit noudattavat yleensä ilmansaasteiden kuormitusta ja luppojen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Lupot ovat hyviä ilmanlaadun indikaattoreita.

*Seuralaislajien lukumäärä 6,27*

### Naavat (*Usnea* spp.) +++



Naavojen esiintymisfrekvenssit vaihtelevat ilmansaastekuormituksen mukaan yleensä samalla tavalla kuin lupoilakin. Eräs naavalaji (*Usnea longissima*) on jo kokonaan hävinnyt Suomesta, joskin häviämiseen lienee vaikuttanut myös vanhojen metsien häviäminen (Lodenius ym. 2010). Naavojen seuralaislajien määrä on yleensä melko suuri kuten lupoilakin, mikä osoittaa näiden jäkälälajien herkkyyttä ilman epäpuhtauksille. Naavojen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Rannikon läheisyys suosii naavojen esiintymistä.

*Seuralaislajien lukumäärä 6,22*

### Harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*) ++



Harmaaröyhelö on seuralaislajien määrän perusteella suhteellisen herkkä indikaattorilaji ja myös sen esiintymisfrekvenssit ovat yleensä loogisia: laji puuttuu kuormitetuilta alueilta ja eniten sitä todetaan puhtailla alueilla. Harmaaröyhelö on herkkä ilman epäpuhtauksille, mutta sen luontainen esiintyminen voi kuitenkin vaihdella suuresti, minkä vuoksi sen indikaattoriarvo jää kohtalaiseksi.

*Seuralaislajien lukumäärä 5,88*



### **Keltaröyhelö (*Vulpicida pinastri*) +**



Keltaröyhelön esiintyminen on usein varsin satunnaista ja sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuilta alueilta ja toisaalta se saattaa puuttua tausta-alueilta. Keltaröyhelön luontainen esiintyminen vaihtelee suuresti, mutta mahdollisesti myös ilman epäpuhtauksilla on vaikutusta sen esiintymiseen. Keltaröyhelön arvo ilmanlaadun indikaattorina jää kuitenkin pieneksi.

*Seuralaislajien lukumäärä 5,32*

### **Ruskoröyhelö (*Tuckermannopsis chlorophylla*) -**



Ruskoröyhelö on yleensä 12 indikaattorilajin joukossa yksi harvinaisimmista lajeista. Sen esiintyminen vaihtelee usein hyvin satunnaisesti ja sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuiltakin alueilta. Ilmanlaadun indikaattorina ruskoröyhelö on huono.

*Seuralaislajien lukumäärä 6,94*

### **Hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*) ++**



Hankakarve on hyvin yleinen jäkälälaji männyn rungolla. Keskimääräisen seuralaislajien määrän perusteella hankakarpeen voidaan katsoa olevan herkkä ilman epäpuhtauksille. Sen esiintymisfrekvenssien alueellinen jakauma vastaa yleensä ilman epäpuhtauksien kuormituksen jakaumaa. Ilmansaasteet aiheuttavat selvästi havaittavia muutoksia hankakarpeen sekovarressa. Rannikon läheisyys suosii hankakarpeen esiintymistä, sillä se viihtyy valoisissa, kuivissa kalliomänniköissä. Indikaattorina se on kohtalainen.

*Seuralaislajien lukumäärä 5,80*

| Raidanisokarve ( <i>Parmelia sulcata</i> ) +                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>Raidanisokarve on harvinainen männyn rungolla esiintyvä jäkälälaji. Raidanisokarve on ravinteisuudesta hyötyvä jäkälälaji, jota esiintyy yleensä mm. kalkkipölyalueiden liepeillä. Raidanisokarve soveltuukin hyvin kalkkipölyn indikaattoriksi. Yleensä raidanisokarve on niin harvinainen, että sen indikaattoriarvo jää pieneksi.</p> <p><i>Seuralaislajien lukumäärä 6,25</i></p>                                                                     |
| Viherlevä ja vihersukkulajäkälä ( <i>Algae &amp; Scoliciosporum</i> ) +++          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|  | <p>Viherleväpeite lisääntyy lähinnä kasvaneen typipilaskeuman vaikutuksesta eli se on ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori. Viherleväpeite ja vihersukkulajäkälä ovat hyviä typpi-kuormituksen indikaattoreita. Niitä tavataan erityisesti taajamissa ja turkistarhojen ympärillä. Levän ja jäkälän ero on usein häilyvä ja vaikeasti havaittava, joten ne on luettu tässä tutkimuksessa samaksi.</p> <p><i>Seuralaislajien lukumäärä 4,86</i></p> |

Taulukko 2. Tutkitut jäkälälajit ja niiden herkkyydet rikkidioksidille (Ruuth ym. 2016)

| Herkkyys         | Laji (tieteellinen nimi)            | Laji (suomenkielinen nimi) |
|------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| kestävä, hyötyvä | <i>Algae + Scoliciosporum</i>       | leväpeite                  |
|                  | <i>Hypocenomyce scalaris</i>        | seinäsuomujäkälä           |
| melko kestävä    | <i>Hypogymnia physodes</i>          | sormipaisukarve            |
|                  | <i>Parmeliopsis ambigua</i>         | keltatyvikarve             |
|                  | <i>Tuckermannopsis chlorophylla</i> | ruskoröyhelö               |
|                  | <i>Vulpicida pinastri</i>           | keltaröyhelö               |
| melko herkkä     | <i>Parmeliopsis hyperopta</i>       | harmaatyvikarve            |
|                  | <i>Parmeliopsis aleurites</i>       | tuhkatyvikarve             |
|                  | <i>Platismatia glauca</i>           | harmaaröyhelö              |
|                  | <i>Pseudevernia furfuracea</i>      | hankakarve                 |
|                  | <i>Parmelia sulcata</i>             | raidanisokarve             |
| herkkä           | <i>Bryoria</i> spp.                 | lupot                      |
|                  | <i>Usnea</i> spp.                   | naavat                     |

Runkojäkälät voivat reagoida ilman epäpuhtauksiin monilla eri tavoin, esimerkiksi morfologisilla, kemiallisilla tai lajistollisilla muutoksilla. Tässä tutkielmassa arvioitiin ensisijaisesti jäkälien morfologisia muutoksia, jäkäläyhteisöjen lajikoostumuksen muutoksia sekä peittävyyskäyttäytymistä. Morfologisia muutoksia arvioitiin sormipaisukarpeen vaurioasteen ja yleisen vaurioasteen avulla. Jäkäläyhteisöjen lajikoostumusta arvioitiin lajilukumäärän ja MS-indeksin perusteella. Peittävyyttä puolestaan tutkittiin sormipaisukarpeen ja luppojen osalta pistefrekvenssimenetelmällä.

### 3.3 Vaurioiden ja peittävyyskäyttäytymisen arvioiminen

Havaintoalalta satunnaisesti valittujen, kriteerit täyttävien mäntyjen rungoilta kartoitettiin tutkimuslajien esiintyminen sekä niiden vaurioituneisuus. Männyn runkojäkäläkartoitus suoritettiin rinnankorkeudelta siten, että havaintoala oli ylimmän lumirajan yläpuolella (50 – 100 cm) ja helposti kartoitettavalla korkeudella (alle 200 cm).

Ensin havaintopuulta laskettiin esiintyvien jäkälälajien lukumäärä. Tarkastelun kohteena olevien kartoituslajien esiintymistä havainnoitiin 50 – 200 cm:n korkeudelta. Tarvittaessa lajinmäärityksen apuna käytettiin luppia ja jäkäläopasta (Rikkinen 2008). Kartoituslajien esiintyminen merkittiin maastotyölomakkeeseen (1 = esiintyi, 0 = ei esiintynyt / liite 1). Havaintopuiden lajimäärien perusteella laskettiin havaintoalakohtaiset lajilukumäärien keskiarvot, jotka kuvastivat havaintoalan lajiston luonnontilaisuutta (taulukko 3).

Taulukko 3. Jäkälälajiston luokitus lajilukumäärän perusteella (Ruuth ym. 2016).

| Lajilukumäärä | Lajiston kuvaus             |
|---------------|-----------------------------|
| 0 – 1         | Erittäin selvästi köyhtynyt |
| 2 – 3         | Selvästi köyhtynyt          |
| 4 – 5         | Köyhtynyt                   |
| 6 – 7         | Lievästi köyhtynyt          |
| ≥ 8           | Normaali jäkälälajisto      |

Sormipaisukarpeen ja luppojen osalta arvioitiin lisäksi niiden suhteelliset peittävyyskäyttäytymiset rungolla pistefrekvenssimenetelmällä käyttäen apuna ruutusapluunaa (kuva 6). Peittävyyskäyttäytymiset arvioitiin rinnankorkeudelta (n. 1,3 m) käyttämällä 10 x 10 ruutusapluunaa ja sen ruutujen alareunan keskellä olevia pisteitä eli ns. pistefrekvenssimenetelmällä. Ruutusapluuna tehtiin kahdesta läpinäkyvästä A4-piirtoheitinkalvosta, jotka jaettiin samankokoisiin ruutuihin (4 x 5 cm). Rungolla esiintyvän frek-

venssilajin peittävyys saatiin laskemalla kaikki ruudut, joissa laji esiintyi pisteen kohdalla. Koska loppojen kasvutapa poikkeaa sormipaisukarpeen kasvutavasta, sen esiintymisrunsautta mitattiin lukemalla lajin esiintyminen koko ruudun sisällä loppojen kiinnittymisruutuja havainnoimalla. Peittävydet havainnoitiin sekä puun itä-koillispuolelta että vastakkaiselta länsi-lounaispuolelta, jolloin yksittäisen puun maksimipistefrekvenssiarvo oli 200 (pistefrekvenssi 200 = puunrunko on täysin yhtenäisen sormipaisukarve- tai loppokasvuston peitteessä, pistefrekvenssi 0 = rungolla ei ole yhtäkään lajin yksilöä). Koska Savonlinnassa on useita päästölähteitä, tämä oli johdonmukaisin keino tarkastella peittävyksiä sulkematta pois eri suunnista tulevaa kuormitusta.



Kuva 6. Pistefrekvenssilaskennassa käytetty ruutusapluuna. Kuva: Henna Halinen 2017.

Sormipaisukarpeen ja kaikkien rungolla esiintyvien jäkälälajien vaurioita arvioitiin viisiportaisella luokituksella (taulukko 4). Jos havaintopuulle ei voitu antaa tasanumeroista luokitusta, se arvioitiin puolen luokan tarkkuudella. Jos sormipaisukarve oli esimerkiksi tummunutta, mutta vain lievästi kitukasvuista, se luokiteltiin luokkaan 2,5 (lievän ja selvän vaurion välimuoto).

Taulukko 4. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioluokitus ja yleinen vaurioluokitus (SFS 5670 –standardi Keskitalon ym. 2015 mukaan). Sormipaisukarpeen vaurioasteet ja esimerkkejä yleisistä vaurioasteluokista on esitetty kuvina liitteessä 3.

| Vaurio                       | Sormipaisukarve                                                      | Yleinen                                                   |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>I terve</b>               | jäkälät terveitä tai lähes terveitä                                  | kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia          |
| <b>II lievä vaurio</b>       | lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia                         | pensasmaiset kitukasvuisia, lehtimäiset normaaleja        |
| <b>III selvä vaurio</b>      | jäkälät kitukasvuisia, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin     | pensasmaiset pieniä, lehtimäiset vaurioituneita           |
| <b>IV paha vaurio</b>        | jäkälät pieniä, ryppyisiä, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin | pensasmaiset puuttuvat, lehtimäiset pahoin vaurioituneita |
| <b>V kuollut tai puuttuu</b> |                                                                      | myös lehtimäiset puuttuvat, leväpeitetä voi esiintyä      |

### 3.4 MS-indeksi

Lajien herkkyyteen, runsauteen ja herkkyysarvoihin perustuen on kehitetty erilaisia ilmansaasteindeksejä, joita käytetään ilman puhtauden kuvaamiseen (Kokko ym. 2001). Tässä tutkielmassa jokaiselle havaintoalan tutkimuspuulle laskettiin MS-indeksi koko rungon lajistolla Savonlinnassa tehtyjen aikaisempien kartoitusten mukaisesti (Savonlinnan ympäristönsuojelupalvelut 2005a, 2012). MS-indeksi on näytepuulla esiintyvien lajien herkkyysarvojen keskiarvo, johon vaikuttaa eniten herkkien lajien osuus kokonaislajimäärästä eikä niinkään lajien runsaus havaintopuulla. Näin ollen hyvin pienilläkin peittävyyksillä esiintyvät lajit vaikuttavat indeksin arvoon yhtä lailla kuin runsaasti esiintyvät lajit. Mitä enemmän ilmansaasteille herkkiä lajeja näytepuulla esiintyy, sitä korkeampi on herkkyysarvojen keskiarvo. Näin ollen korkea MS-indeksi indikoi hyvää ilmanlaatua. MS-indeksi laskettiin Liun (1996) esittämän kaavan mukaan seuraavasti:

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

MS = näytepuun MS-indeksi

$S_i$  = lajin  $i$  herkkyysarvo (taulukko 5)

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

$n$  = lajien kokonaismäärä

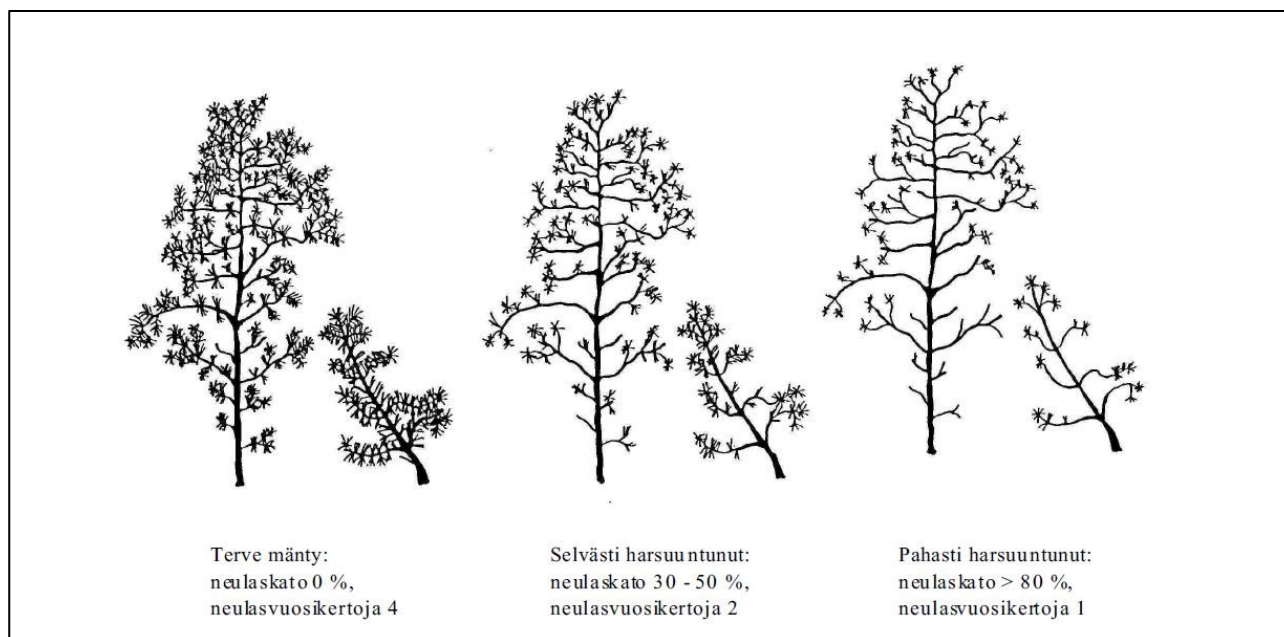
Taulukko 5. Tutkimuslajien herkkyyssarvot (Savonlinnan kaupungin vuoden 2002 jäkäläkartoituksen mukaan)

| Laji                                                                                     | Herkkyyssarvo (Si) |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Sormipaisukarve ( <i>Hypogymnia physodes</i> )                                           | 2                  |
| Keltatyvikarve ( <i>Parmeliopsis ambigua</i> )                                           | 2                  |
| Harmaatyvi- ja tuhkakarve ( <i>Parmeliopsis hyperopta</i> & <i>Imshaugia aleurites</i> ) | 5                  |
| Seinäsuomujäkälä ( <i>Hypocenomyce scalaris</i> )                                        | 2                  |
| Lupot ( <i>Bryoria</i> spp.)                                                             | 6                  |
| Naavat ( <i>Usnea</i> spp.)                                                              | 6                  |
| Harmaaröyhelö ( <i>Tuckermannopsis chlorophylla</i> )                                    | 4                  |
| Keltaröyhelö ( <i>Vulpicida pinastri</i> )                                               | 4                  |
| Ruskoröyhelö ( <i>Tuckermannopsis chlorophylla</i> )                                     | 4                  |
| Hankakarve ( <i>Pseudevernia furfuracea</i> )                                            | 4                  |

### 3.5 Männyn elinvoimaisuuden arviointi

Mäntyjen neulasvuosikertoja laskemalla arvioidaan ensisijaisesti puun yleistä elinvoimaisuutta. Männyn neulasvuosikerrat laskettiin samalta viideltä havaintopuulta kuin jäkäläkartoituskin suoritettiin. Havainnoinnin apuna käytettiin kiikareita. Kiikareiden avulla laskettiin mahdollisimman monen oksan neulasvuosikerrat oksan kärjestä runkoon päin. Neulasvuosikertojen suora mittaaminen on haastavaa ja käytännössä neulasvuosikertojen lukumäärä perustuu silmämääräiseen arvioon (kuva 7). Neulasvuosikertojen määrä saattaa vaihdella voimakkaasti samankin puun latvuksessa riippuen siitä, onko kyseessä valo- vai varjolatvus (Lodenius ym. 2010). Täydeksi neulaskerraksi luettiin kasvain, jossa oli vähintään 50 % jäljellä.

Jos neulasvuosikerta ei ollut yksiselitteisesti esimerkiksi kaksi vaan oksien vanhimmissa kasvaimissa oli alle 50 % jäljellä, neulasvuosikerraksi merkittiin 2+. Neulasvuosikertojen laskemisessa ei otettu huomioon muita neulasmuuttujia, kuten esimerkiksi neulasten väriä. Neulasvuosikertojen lukumäärät kirjattiin maastotyölomakkeeseen havaintopuukohtaisesti. Näistä neulasvuosikerroista johdettiin havaintoalakohtaiset neulasvuosikertojen lukumäärät käyttäen havaintopuiden neulasvuosikertojen mediaaneja.



Kuva 7. Männyn neulasvuosikerrat. Kuva: Niskanen ym. 2003.

### 3.6 Seinäsammalen alkuainepitoisuudet

Tässä tutkielmassa kertymäindikaattorina käytetään Savonlinnan seudulla yleisesti kasvavan seinäsammalen (*Pleurozium schreberi*) alkuainepitoisuuksia. Sammalista nopeasti lisääntyvät pioneerilajit kestävät hyvin ilmansaasteita, mutta seinäsammal on ilmansaasteille melko herkkä, sillä sen lisääntyminen häiriintyy saastuneessa ympäristössä (Hyvärinen ym. 1993). Lisäksi seinäsammal voi kärsiä typpilaskeuman aiheuttamasta heinien ja ruohojen runsastumisesta.

Tässä tutkielmassa 15 valitulta havaintoalalta kerättiin viisi osanäytettä mahdollisimman puhtaita sammalkasvustoilta metsän aukkopaikoilta (liite 2). Näytteiden keräämisessä huomioitiin myös puiden tippuvesivyohekkeet siten, että näytteitä ei otettu 5 metriä lähempää puuta. Näytteet kerättiin suojakäsineitä käyttäen niin, että sammalta otettiin noin kourallinen ja siitä ravisteltiin ylimääräiset karikkeet ja mullat pois. Sen jälkeen ne asetettiin havaintoalakohtaisiin paperipusseihin laboratorioanalyysjä varten. Sammalnäytteet aseteltiin paperipusseihin vierekkäin eikä missään nimessä päällekkäin. Pusseihin merkittiin havaintoalan tiedot ja pussien liikutteleminen pyrittiin välttämään, jotta seinäsammalnäytteet eivät vaurioituisi.

Sammalnäytteet toimitettiin NabLabsin Jyväskylän laboratorioon noin viikon kuluessa niiden keräämisestä. Laboratoriossa sammalnäytteiden raskasmetallipitoisuudet analysoitiin SFS-EN ISO 11885:09 ja 17294:16 -standardien mukaisesti. Näytteistä analysoitiin alumiinin, antimonin, arsee-



nin, bariumin, berylliumin, boorin, fosforin, kadmiumin, kalsiumin, koboltin, kromin, kuparin, lyijyn, magnesiumin, mangaanin, molybdeenin, natriumin, nikkelin, raudan, rikin, sinkin, strontiumin, titaanin ja vanadiinin pitoisuudet.

### 3.7 Tilastomenetelmät

Aineiston tilastollisen tarkastelun tarkoituksena oli selvittää, mikä on ilmanlaatu- ja taustamuuttujien vaikutus tutkittuihin jäkälä-, neulas- ja sammalmuuttujiin; ilmanlaatua kuvaavien muuttujien välinen yhteisvaihtelu sekä vuosien väliset eroavaisuudet muuttujien suhteen. Taustamuuttujina käytettiin metsikkötunnuksia (kasvupaikkatyyppi, puuston kehitysluokka, havaintoala soveltuvuus sekä puuston keskimääräistä halkaisijaa ja pohjapinta-alaa). Tilastolliset analyysit tehtiin IBM SPSS Statistics 24 -ohjelmalla.

Havainnoista vain MS-indeksi ja sormipaisukarpeen frekvenssit noudattivat normaalijakaumaa, muut havainnot olivat epätasaisesti jakautuneita. Tämän johdosta testit tehtiin käyttäen ei-parametrisiä testejä. Jäkälämuuttujien yhteisvaihtelun korrelaatioita tutkittiin ei-parametrisella Spearmanin järjestyskorrelaatiolla. Se mahdollistaa muuttujien välisten korrelaatioiden tunnistamisen sen mukaan, miten ne muuttuvat suhteessa toisiinsa (Ashcroft ja Pereira 2003). Taustamuuttujien vaikutusta jäkälämuuttujiin ja neulasvuosikertoihin tutkittiin Kruskal-Wallisparametrittomalla varianssianalyysillä, joka mahdollistaa monen eri luokan välisen vertailun samanaikaisesti. Se on yksisuuntaisen ANOVAN ei-parametrinen vastine. Eri alueiden välisiä eroavaisuuksia tutkittiin Studentin t-testin ei-parametrisellä vastineella eli Mann-Whitney U-analyysillä. Sen avulla voidaan määritellä, eroavatko kahden itsenäisen otoksen mediaanit tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Alueiden välinen vertailu tehtiin käyttäen taajama- ja tausta-luokkia. Ydinkeskustan ja keskustan ympäristön havaintoalat yhdistettiin uudeksi ”taajama”-luokaksi ja haja-asutusalueen havaintoalat kuvasivat ”tausta”-luokkaa.

Vuosien välistä vertailua varten Savonlinnassa aikaisempina vuosina suoritettujen jäkäläkartoitusten aineisto ja tulokset muutettiin digitaaliseen muotoon. MS-indeksien arvot vuosille 1993 – 2005 laskettiin alkuperäisistä kartoituslomakkeista, koska havaintoaloille ei ollut laskettu MS-indeksejä kaikkina kartoitusvuosina tai laskennat olivat epäselviä. Vuosien välisiä eroja samana pysyneillä havaintoaloilla tutkittiin Willcoxonin merkkitestillä, joka on parittaisen t-testin ei-parametrinen vastine (Ashcroft ja Pereira 2003). Sen avulla voidaan esimerkiksi määritellä, onko tietyllä toimenpiteellä ollut vaikutusta populaatioon. Tässä tutkielmassa merkkitestistä käytettiin selvittämään, onko havaintoalojen mediaaneissa tilastollisesti merkitsevä ero tutkimusvuosien välillä.



Tämä vertailu tehtiin vuosien 2017 ja 2005 välillä. Vuonna 2011 ei arvioitu yleistä vaurioastetta, minkä johdosta vertailuvuodeksi valittiin 2005, jolloin havaintoaloilta suoritettiin kaikki samat analyysit kuin vuonna 2017.

Muuttujien yhteisvaihtelua tutkittiin sekä Spearmanin järjestyskorrelaatioiden avulla että faktorianalyysillä. Faktorianalyysi on monimuuttujamenetelmä, jonka avulla pyrittiin paljastamaan aineiston piileviä säännönmukaisuuksia sen mukaan, miten tutkitut jäkälä-, neulas- ja sammalmuuttujat vaihtelivat yhdessä. Faktorit olivat varimax-rotatoituja, mikä helpotti tulosten tulkintaa siten, että muuttujien faktorilataukset kullakin faktorilla olivat joko suuria tai selvästi pieniä (Ranta ym. 2012).

## 4 TULOKSET

### 4.1 Mäntyjen runkojäkälät

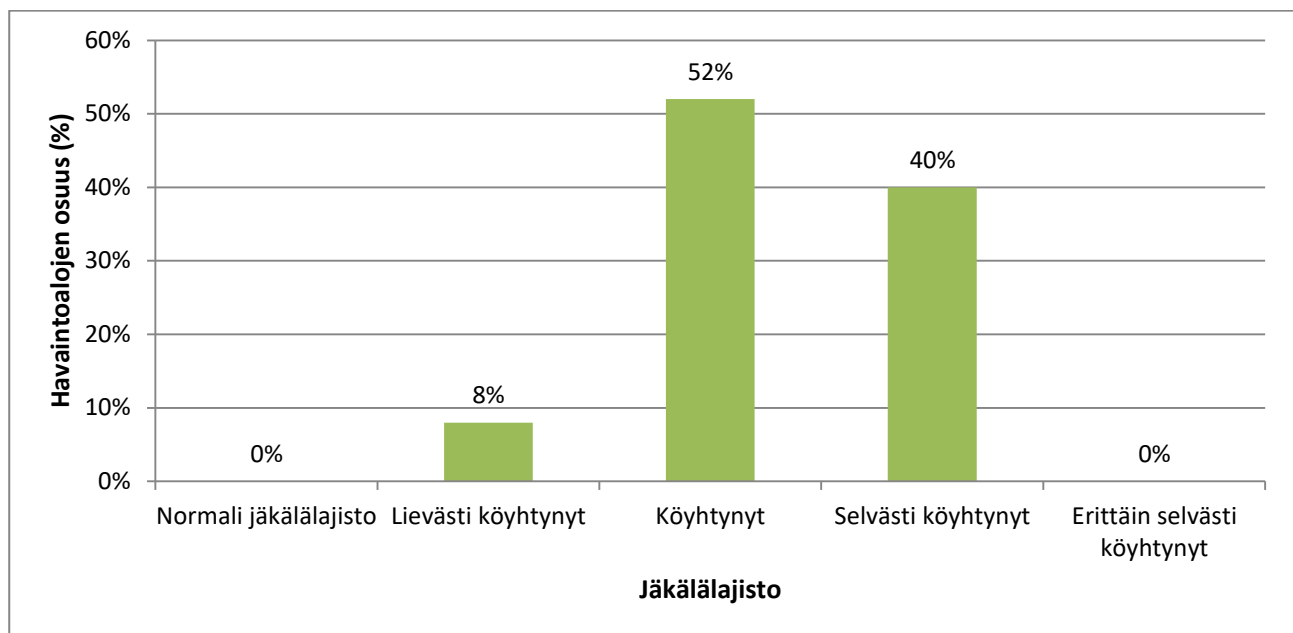
Mäntyjen jäkälälajistoa kuvaavat tunnuksat vaihtelivat havaintoaloittain (taulukko 6).

Taulukko 6. Havaintoalojen männyn runkojäkälien MS-indeksin, havaintoalakohtaisen ja puukoh-  
taisen lajimäärän, sormipaisukarpeen ja yleisen vaurioasteen, sormipaisukarpeen ja luppojen peittä-  
vyyden sekä levän yleisyyden keskiarvo, pienin ja suurin arvo sekä keskihajonta. Lajimääriä lasket-  
taessa ei ole huomioitu ilman epäpuhtauksista hyötyviä lajeja (seinäsuomujäkälää ja levää).

| <b>N= 25</b>                            | <b>keskiarvo</b> | <b>pienin</b> | <b>suurin</b> | <b>keskihajonta</b> |
|-----------------------------------------|------------------|---------------|---------------|---------------------|
| <b>lajimäärä / havaintoala</b>          | 3,8              | 2             | 7             | 1,12                |
| <b>lajimäärä / puu</b>                  | 3,8              | 1             | 8             | 1,26                |
| <b>yleinen vaurioaste</b>               | 3,6              | 1,0           | 4,0           | 0,7                 |
| <b>sormipaisukarpeen vaurioaste</b>     | 2,9              | 1,0           | 4,0           | 0,78                |
| <b>sormipaisukarpeen peittävyys (%)</b> | 29,4             | 5,0           | 64,0          | 17,78               |
| <b>luppojen peittävyys (%)</b>          | 0                | 0             | 0,4           | 0                   |
| <b>levän yleisyys</b>                   | 0,1              | 0             | 1,0           | 0,32                |
| <b>MS</b>                               | 3,0              | 2,0           | 4,1           | 0,53                |

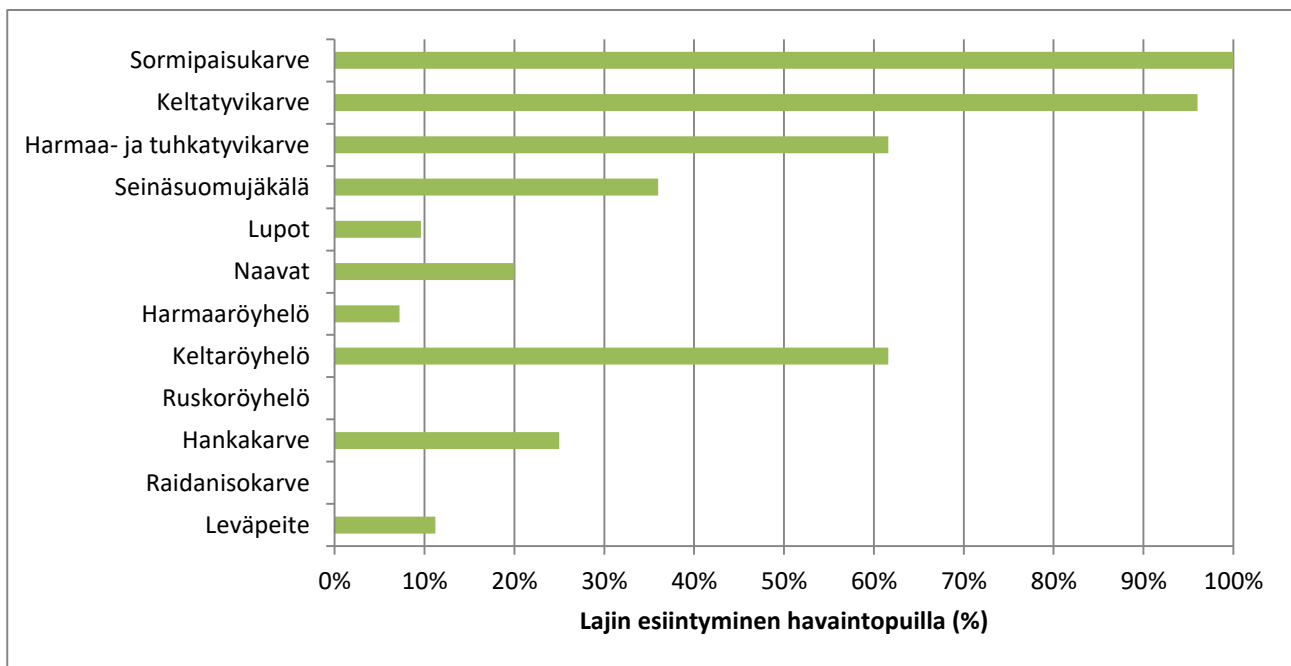
Suurimmalla osalla havaintoaloista jäkälälajisto oli köyhtynyttä (kuva 8). Havaintoaloilla havait-  
tiin keskimäärin 4 lajia lajilukumäärän vaihdella 2:n ja 7:n välillä. Havaintopuukohtainen keski-  
määräinen lajilukumäärä oli myös 4 (3,8) lajimäärän vaihdella 1:n ja 8:n välillä. Molempien laji-

lukumäärien perusteella lajisto oli köyhtynyttä (taulukko 3). Tutkimusalueella ei ollut jäkälälajistoltaan normaalia tai erittäin selvästi köyhtynyttä havaintoalaa.



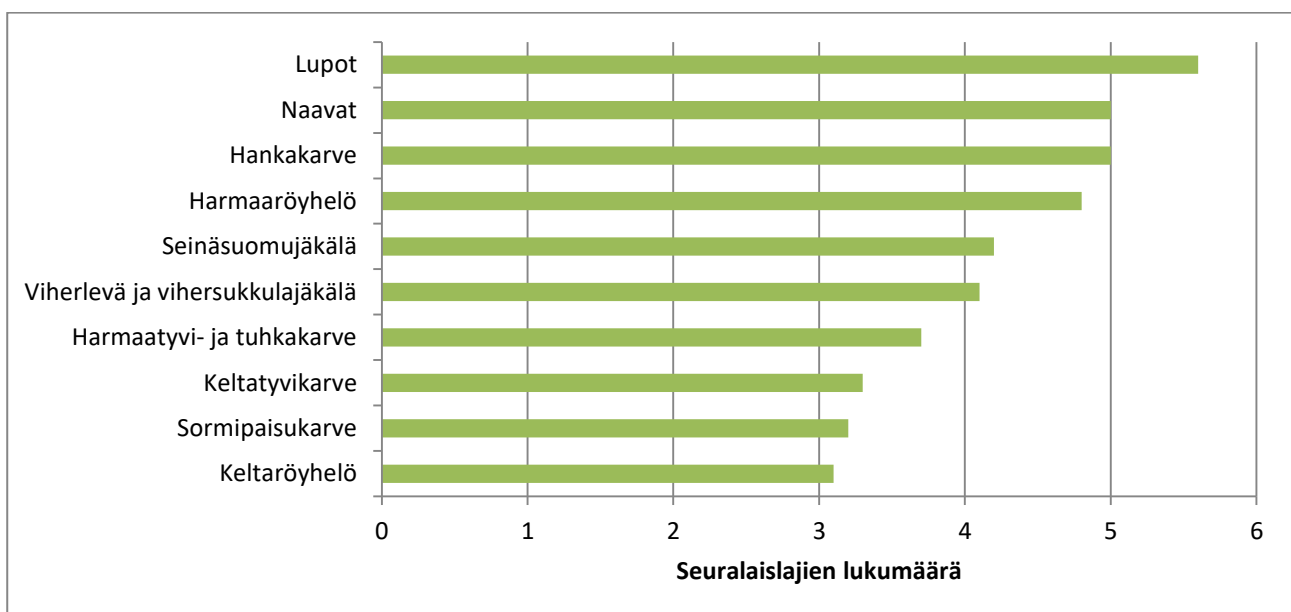
Kuva 8. Havaintopisteiden jakautuminen luokkiin jäkälälajiston perusteella vuonna 2017. Normaali jäkälälajisto =  $\geq 8$  lajia, lievästi köyhtynyt = 6 – 7 lajia, köyhtynyt = 4 – 5 lajia, selvästi köyhtynyt = 2 – 3 ja erittäin selvästi köyhtynyt = 0 – 1 lajia. N = 25.

Tutkimusalueen yleisin laji oli sormipaisukarve, jota esiintyi jokaisella havaintopuulla (kuva 9). Seuraavaksi yleisin laji oli keltatyvikarve. Muita yleisiä lajeja olivat harmaa- ja tuhkatyvikarve sekä keltaröyhelö, joita esiintyi yli puolella havaintopuista. Ilman epäpuhtauksista hyötyvää seinäsuomujäkälää havaittiin 36 %:lla puista ja levää / vihersukkulajäkälää 11,2 %:lla puista. Ilman epäpuhtauksille herkkiä lajeja (naavat, lupot, harmaaröyhelö, ruskoröyhelö ja raidanisokarvetta) havaittiin huomattavasti vähemmän ja joitain lajeja ei ollenkaan koko tutkimusalueella.



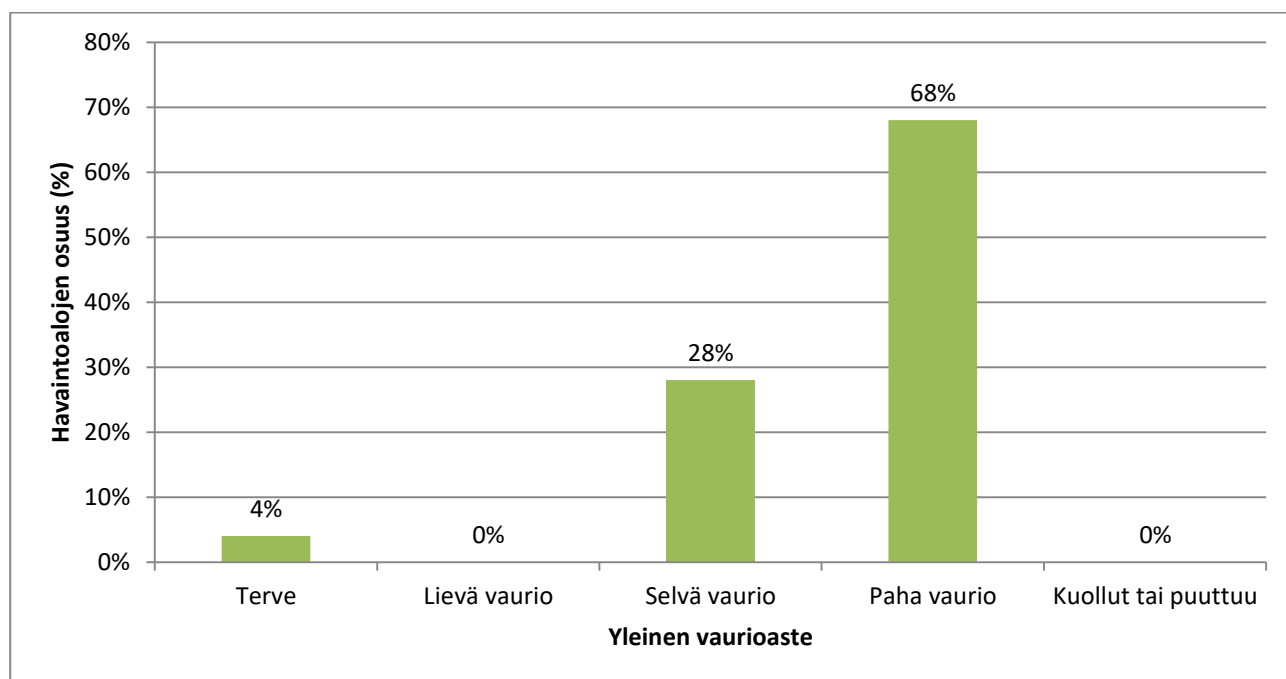
Kuva 9. Männyn runkojäkälien esiintyminen havaintopuilla vuonna 2017. N = 125.

Jokaiselle kartoituslajille laskettiin sen kanssa samalla rungolla esiintyneet muut kartoituslajit. Havaintoaloilla esiintyneiden lajien seuralaislajien lukumäärät vastasivat melko hyvin yleisiä jäkälälajeille annettuja seuralaislajien lukumääriä (ks. taulukon 1 lajikuvaudet). Eniten seuralaislajeja samalla rungolla oli lupolla (5,6), naavoilla (5) ja hankakarpeella (5) (kuva 10). Vähiten seuralaislajeja oli keltaröyhelöllä (3,1) ja sormipaisukarpeella (3,2).

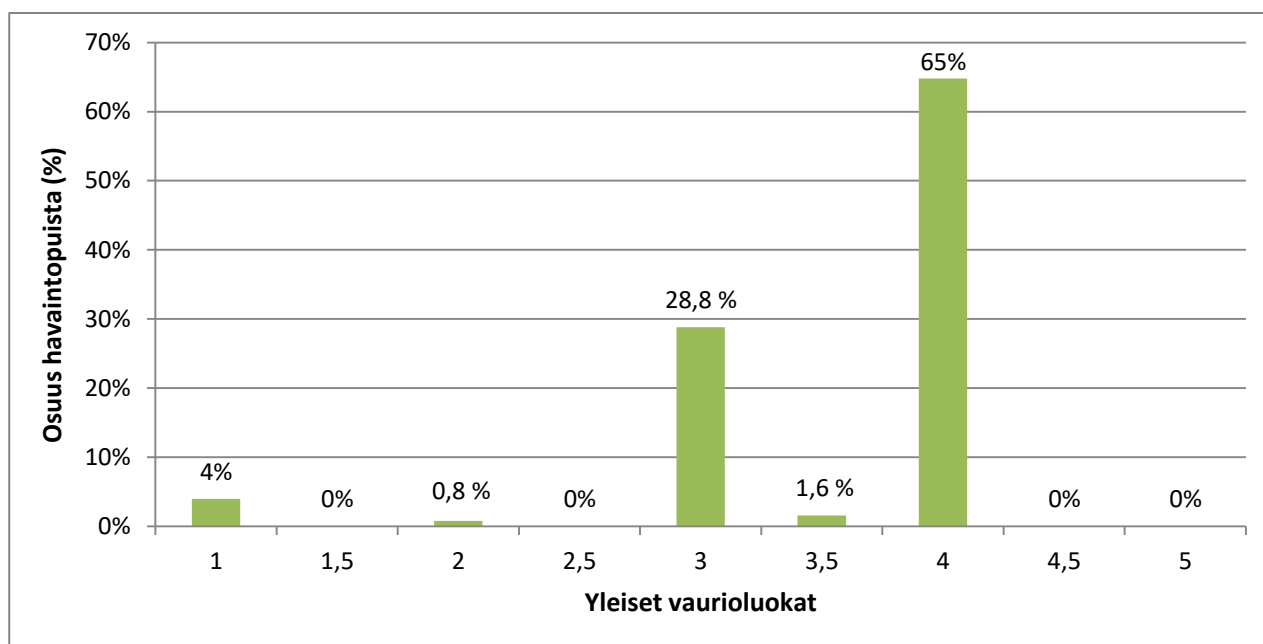


Kuva 10. Männyn runkojäkälien seuralaislajien lukumäärien keskiarvot. N = 125.

Jäkälälajisto oli keskimäärin selvästi vaurioitunutta. Vaurioituneisuus vaihteli terveestä pahaan vaurioon (kuva 11). Havaintoaloista selvästi suurimmalla osalla jäkälälajisto oli pahoin vaurioitunutta. Selvästi vaurioitunutta jäkälälajistoa oli seitsemällä havaintoalalla. Jäkälälajisto oli tervettä vain yhdellä havaintoalalla. Havaintopuiden joukossa ei ollut yhtään runkoa, jolla olisi esiintynyt ainoastaan kuollutta jäkälää tai ei jäkälää ollenkaan. Myös suurin osa havaintopuista oli pahoin vaurioituneita tai selvästi vaurioituneita (kuva 12).

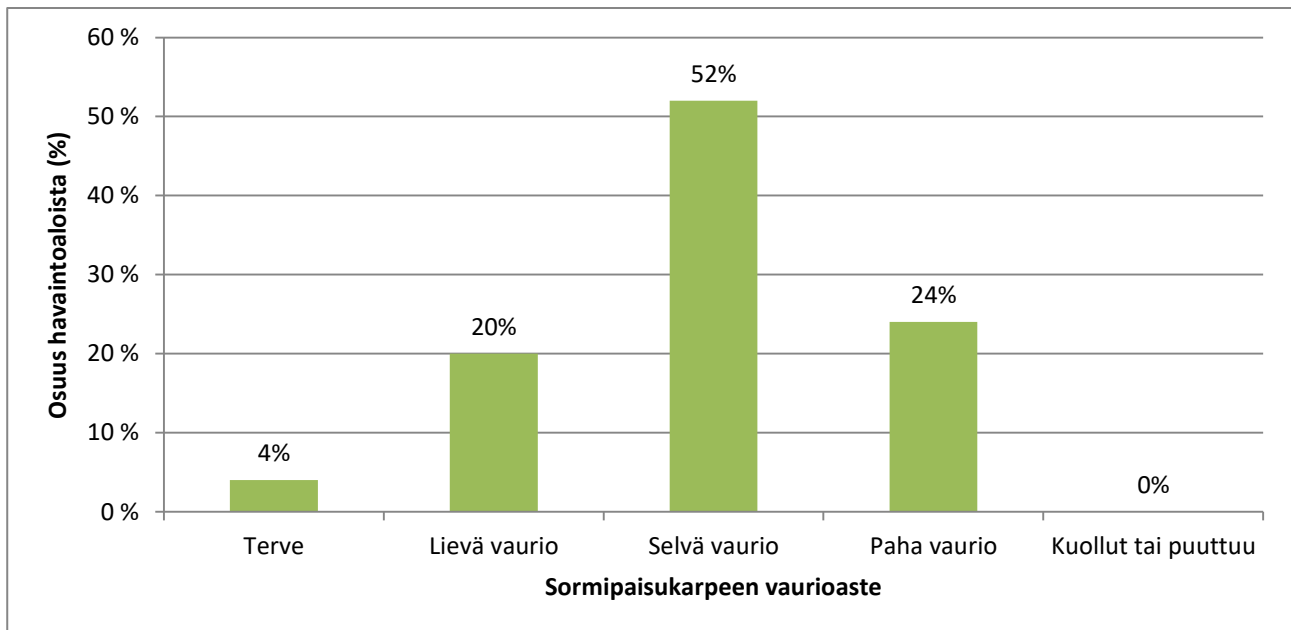


Kuva 11. Havaintoalojen jakautuminen yleisiin vaurioluokkiin vuonna 2017. Luokittelun perusteena on käytetty havaintoalojen yleisen vaurioasteen mediaaneja. N = 25.



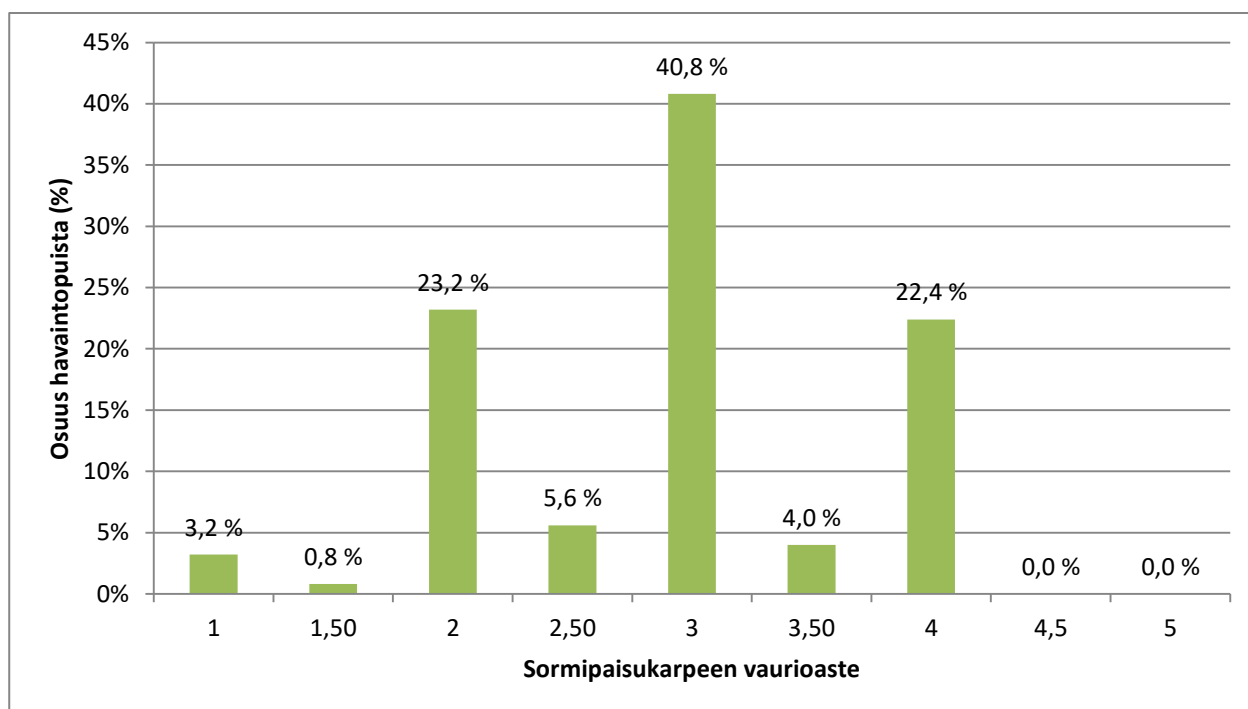
Kuva 12. Havaintopuiden jakautuminen yleisiin vaurioluokkiin vuonna 2017. 1 = terve, 2 = lievä vaurio, 3 = selvä vaurio, 4 = paha vaurio ja 5 = kuollut tai puuttuu. Yleiset vaurioluokat on arvioitu puolen luokan tarkkuudella, joten esimerkiksi selvän ja pahan vaurion välimuoto sai arvoksi 3,5. N = 125.

Sormipaisukarpeen vauriot olivat koko tutkimusalueella keskimäärin selviä vaihdellen terveestä pahaan vaurioon (kuva 13). Suurimmalla osalla havaintoaloista sormipaisukarve oli selvästi vaurioitunutta. Täysin tervettä sormipaisukarvetta havaittiin vain Laukunkankaan havaintoalalla. Sormipaisukarve oli lievästi vaurioitunutta viidellä havaintoalalla ja pahasti vaurioitunutta kuudella havaintoalalla. Yhdelläkään havaintoalalla ei ollut havaintopuuta, jolla olisi ollut pelkästään kuollutta sormipaisukarvetta tai että se olisi puuttunut puunrungolta kokonaan.



Kuva 13. Sormipaisukarpeen vaurioasteet havaintoaloilla luokittain vuonna 2017. Luokittelun perusteena on käytetty havaintoalakohtaisia vaurioasteiden mediaaneja. N = 25.

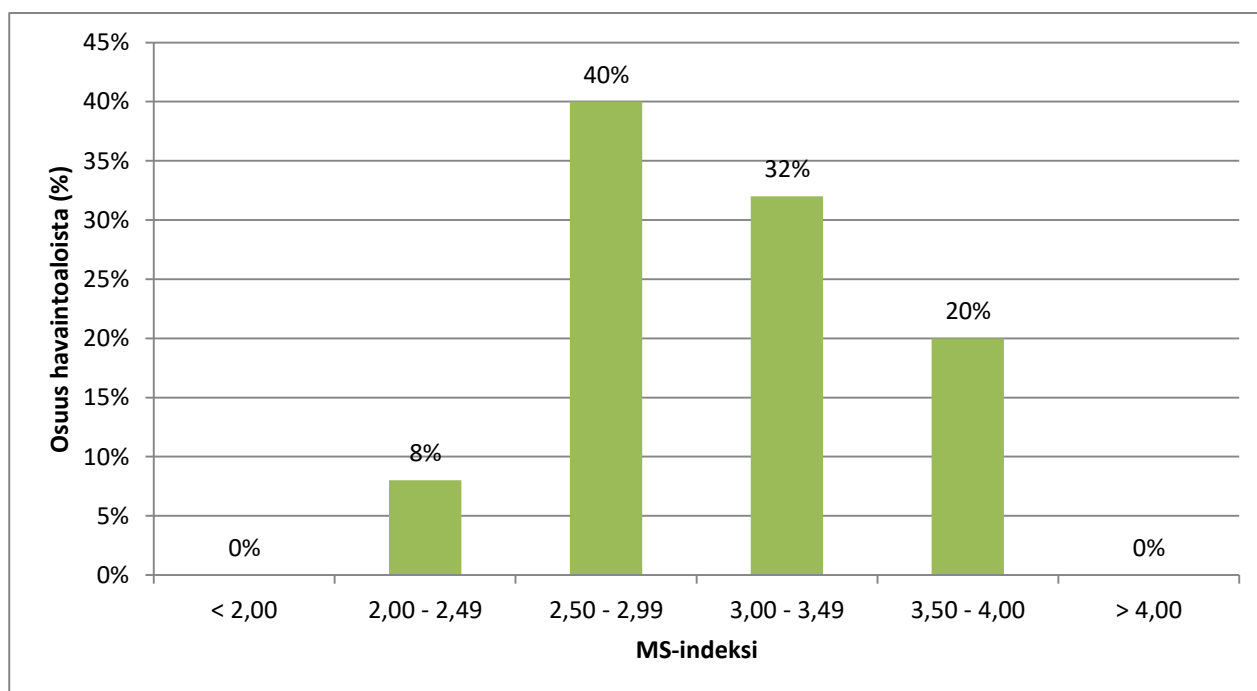
Suurimmalla osasta havaintopuita sormipaisukarve oli joko lievästi, selvästi tai pahoin vaurioitunut (kuva 14). Jokaiselta havaintopuulta havaittiin sormipaisukarvetta, joten luokkaan 5 (kuollut tai puuttuu) ei sijoittunut havaintopuita. Terveintä sormipaisukarvetta kasvoi Laukunkankaan tutkimuspisteessä, jossa sormipaisukarpeen vaurioluokan keskiarvo oli 1,1. Vaurioituneinta sormipaisukarve oli Alttarikiven tutkimuspisteessä, jossa sormipaisukarpeen vaurioluokan keskiarvo oli 3,8.



Kuva 14. Havaintopuiden jakautuminen sormipaisukarpeen vaurioluokkiin vuonna 2017. 1 = terve, 2 = lievä vaurio, 3 = selvä vaurio, 4 = paha vaurio ja 5 = kuollut tai puuttuu. Sormipaisukarpeen vaurioluokat on arvioitu puolen luokan tarkkuudella, joten esimerkiksi selvän ja pahan vaurion välimuoto kirjattiin vaurioluokkaan 3,5. N = 125.

Sormipaisukarpeen keskimääräinen peittävyys tutkimusalueella oli 29,44 % (taulukko 6). Havaintoaloilta arvioitiin myös luppojen peittävyys, mutta niiden harvinaisuuden vuoksi niiden keskimääräinen peittävyys tutkimusalueella oli lähes olematon (0,032 %). Sormipaisukarpeen ja loppojen havaintoalakohtaiset peittävyydet on esitetty liitteessä 4. Loppoja esiintyi pistefrekvenssilaskennoissa pieninä satunnaisina yksilöinä yksittäisillä rungoilla vain Nojanmaan, Laukunkankaan ja Oravin havaintoaloilla.

Suurin osa havaintoaloista (40 %) sai MS-indeksin arvoksi 2,50 – 2,99 (kuva 15). Yksikään havaintoala ei saanut MS-indeksin arvoksi yli neljää. Jokaisella havaintoalalla esiintyi vähintään yhtä jäkälälajia, jolloin MS-indeksin arvo ei ollut millään havaintoalalla alle kahta.



Kuva 15. MS-indeksin jakauma havaintoaloittain N = 25.

Jäkälämuuttujien väliltä löytyi tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita (taulukko 7). Sormipaisukarpeen vaurioaste korreloi negatiivisesti oman ja luppojen peittävyys kanssa. Mitä vaurioituneempaa sormipaisukarve oli, sitä vähemmän havaintoalalla oli sormipaisukarvetta ja luppoja. Yleinen vaurioaste korreloi negatiivisesti lajilukumäärän ja MS-indeksin kanssa sekä luppojen peittävyys kanssa. Mitä vaurioituneempia jäkälät olivat havaintoalalla, sitä vähemmän havaintoalalla oli lajeja ja luppoja. Negatiivinen korrelaatio MS-indeksin kanssa puolestaan tarkoittaa, että mitä vaurioituneempia jäkälät olivat, sitä vähemmän havaintoalalla oli ilmansaasteille herkkiä lajeja.

Lajilukumäärä korreloi edellisten lisäksi positiivisesti merkitsevästi MS-indeksin kanssa ja luppojen kanssa. Mitä enemmän havaintoalalla esiintyi lajeja, sitä enemmän havaintoalalla esiintyi ilmansaasteille herkkiä lajeja ja luppoja. Myös MS-indeksi korreloi positiivisesti merkitsevästi luppojen kanssa. Sormipaisukarpeen peittävyys korreloi negatiivisesti levän yleisyyden kanssa ja oman peittävyytensä kanssa. Tässä tutkimuksessa levän esiintyminen ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi muiden tutkittujen muuttujien kanssa.



Taulukko 7. Jäkälämuuttujien keskinäiset korrelaatiot (Spearman). Hyp. = sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*), Bryoria = lupot, Alg = levä ja vihersukkulajäkälä (*Algae & Scoliosporum* sp.). Lajilukumäärällä tarkoitetaan ilmansaasteille herkkien lajien lukumäärää (ei seinäsuomujäkälää ja levää/vihersukkulajäkälää). Tilastollisesti hyvin merkitsevät korrelaatiot ( $p < 0,01$ ) on merkitty kahdella tähdellä (\*\*) ja merkitsevät ( $p < 0,05$ ) yhdellä tähdellä (\*). N = 125.

|                | Hyp. vaurio | Yleinen vaurio | Lajilkm | MS      | Hyp. peit. | Bryoria peit. | Alg. es. |
|----------------|-------------|----------------|---------|---------|------------|---------------|----------|
| Hyp. vaurio    | 1           | ,158           | ,034    | -,239   | -,724**    | -,479*        | ,361     |
| Yleinen vaurio | ,158        | 1              | -,773** | -,647** | ,045       | -,505*        | -,166    |
| Lajilukumäärä  | ,034        | -,773**        | 1       | ,754**  | -,222      | ,452*         | ,108     |
| MS             | -,239       | -,647**        | ,754**  | 1       | ,203       | ,554**        | -,264    |
| Hyp. peit.     | -,724**     | ,045           | -,222   | ,203    | 1          | ,323          | -,398*   |
| Bryoria peit.  | -,479*      | -,505*         | ,452*   | ,554**  | ,323       | 1             | -,189    |
| Alg. es.       | ,361        | -,166          | ,108    | -,264   | -,398*     | -,189         | 1        |

Havaintoaloista 15 oli mustikkatyyppin (MT) kasvupaikkoja. Loput havaintoalat olivat joko puolukkatyyppiä (VT, 6 kappaletta) tai lehtomaista kangasta (OMT, 3 kappaletta). Vain Kyrönniemen havaintoalalle ei voitu määrittää tarkkaa kasvupaikkatyyppiä, joten se luokiteltiin luokkaan ”muu metsätyyppi”. Lähes kaikilla havaintometsiköillä valtapuulajina oli mänty. Havaintoaloista 17 luokiteltiin kehitysluokaltaan kypsäksi ja loput kahdeksan varttuneeksi kasvatusmetsäksi. Havaintoaloista 9 soveltui kartoitukseen hyvin, 13 kohtalaisesti ja 3 huonosti. Havaintoalojen puuston keskimääräinen pohjapinta-ala oli 24,3 m<sup>2</sup>/ha ja rinnankorkeuslähimitta 26,7 cm.

Havaintoalan metsätyyppillä tai topografialla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta jäkälämuuttujiin. Havaintoalan soveltuvuudella oli kuitenkin vaikutusta sormipaisukarpeen vaurioasteeseen ( $\chi^2 = 9,14$ ;  $p = 0,01$ ) ja levän yleisyyteen ( $\chi^2 = 6,55$ ;  $p = 0,038$ ). Mitä huonommin havaintoala soveltui jäkäläkartoitukseen, sitä vaurioituneempaa sormipaisukarve oli. Myös levää esiintyi huomattavasti enemmän kartoitukseen huonosti soveltuvilla havaintoaloilla. Lisäksi puuston kehitysluokalla oli vaikutusta sormipaisukarpeen peittävyysasteeseen ja vaurioasteeseen. Sormipaisukarpeen peittävyys oli suurempi ( $\chi^2 = 4,28$ ;  $p = 0,04$ ) ja vaurioaste alhaisempi ( $\chi^2 = 5,45$ ;  $p = 0,02$ ) varttuneissa metsissä.

Puuston ominaisuuksilla ei ollut juurikaan vaikutusta jäkälämuuttujiin (taulukko 8). Ainoastaan sormipaisukarpeen peittävyys korreloi negatiivisesti merkittävästi puiden rinnankorkeuslähimittan kanssa. Sormipaisukarvetta esiintyy tämän perusteella enemmän järeämissä puissa. Tämän lisäksi korrelaatio havaittiin positiivisesti merkitsevästi sormipaisukarpeen vaurioasteen ja puun halkaisijan välillä. Tällä otosmäärällä ei havaittu korrelaatioita puuston pohjapinta-alan ja jäkälämuuttujien välillä.

Taulukko 8. Jäkälämuuttujien ja luontaisten muuttujien väliset korrelaatiot (Spearman). Hyp. = sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*), Bryoria = lupot, Alg. = levä ja vihersukkulajäkälä (*Algae & Scoliciosporum* sp.). Tilastollisesti hyvin merkitsevät korrelaatiot ( $p < 0,01$ ) on merkitty kahdella tähdellä (\*\*) ja merkitsevät yhdellä tähdellä (\*). N = 25.

|                       | <b>Halkaisija</b> | <b>Pohjapinta-ala</b> |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| <b>Hyp. vaurio</b>    | ,419*             | -,104                 |
| <b>Yleinen vaurio</b> | ,121              | ,282                  |
| <b>Lajilukumäärä</b>  | ,195              | -,189                 |
| <b>MS</b>             | -,154             | -,194                 |
| <b>Hyp. peit.</b>     | -,251**           | ,079                  |
| <b>Bryoria peit.</b>  | -,258             | -,390                 |
| <b>Alg. es.</b>       | 0,78              | -,158                 |

#### 4.1.1 Alueellinen vaihtelu

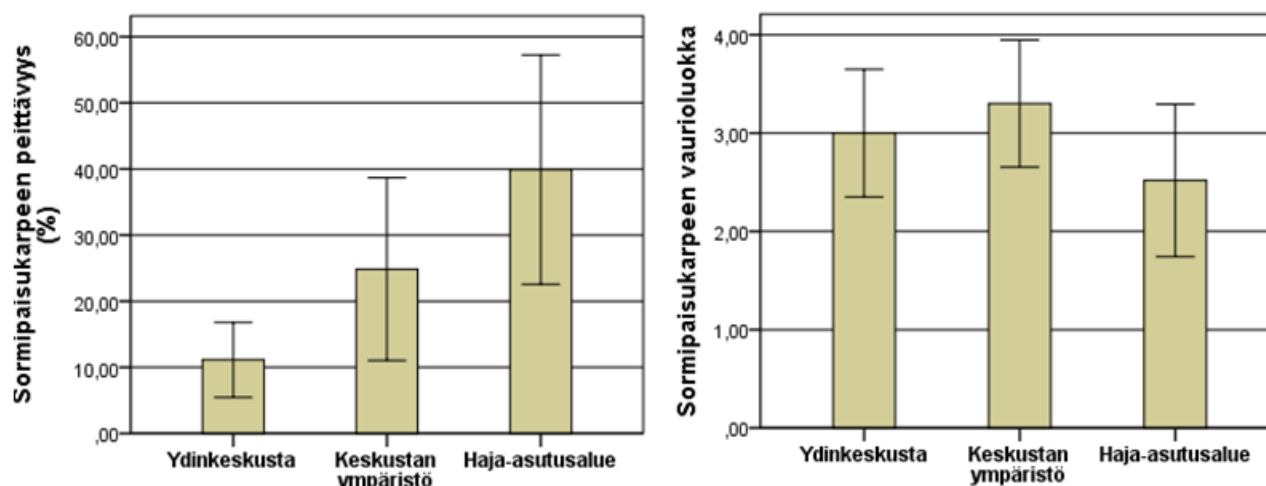
Sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys sekä vaurioasteet, MS-indeksit ja lajilukumäärät vaihtelivat havaintoalojen välillä (liitteet 4 ja 5). Vähiten sormipaisukarvetta havaittiin ydinkeskustassa Kyrönniemen (4,7 %) ja Verkkosaaren (8,7 %) havaintoaloilla sekä keskustan ulkopuolella Sulosaaren (4,6 %) ja Pitkäniemen (8,0 %) havaintoaloilla. Eniten sormipaisukarvetta esiintyi keskustan ulkopuolella Talvisalon pururadan (52,9 %) havaintoalalla sekä haja-asutusalueella Au-kylän (54,8 %), Oravin (63,5 %) ja Tappuvirran (61,9 %) havaintoaloilla. Keskustan ympäristössä luppoo esiintyi ainoastaan Nojanmaan (0,1 %) ja Pitkäniemen (2,0 %) havaintoaloilla ja haja-asutusalueella Laukunkankaan (0,4 %), Oravin (0,1 %) ja Kallislahden (0,2 %) havaintoaloilla. Ydinkeskustan havaintoaloilla luppoo ei esiintynyt ollenkaan.

Taajama- ja tausta-alojen välillä oli havaittavissa eroavaisuuksia jäkälämuuttujien suhteen (taulukko 9). Yleisen vaurioasteen, lajilukumäärän, MS-indeksin, luppojen peittävyyden tai levän yleisyyden arvoissa ei todettu tilastollisesti merkitsevää eroa taajama- ja tausta-alojen välillä. Ainoastaan sormipaisukarpeen vasteessa oli havaittavissa tilastollisesti merkitseviä alueellisia eroja.

Taulukko 9. Männyn runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja tausta- ja taajama-aloittain tarkasteltuna sekä testisuureet ja merkitsevyystasot (p). Hyvin merkitsevä tulos ( $p < 0,01$ ) on merkitty kahdella tähdellä (\*\*). Taajama koostuu ydinkeskustan ja keskustaa ympäröivien alueiden havaintoaloista ja tausta-luokka koostuu haja-asutusalueiden havaintoaloista.  $n(\text{taajama}) = 14$  ja  $n(\text{tausta}) = 11$ .

|                       |         | keskiarvo | keski-hajonta | pienin | suurin | Mann-Whitney |         |
|-----------------------|---------|-----------|---------------|--------|--------|--------------|---------|
|                       |         |           |               |        |        | testisuure U | p       |
| <b>Hyp. vaurio</b>    | taajama | 3,29      | 0,61          | 2,00   | 4,00   | 28,00        | 0,006** |
|                       | tausta  | 2,41      | 0,70          | 1,00   | 3,50   |              |         |
| <b>Yleinen vaurio</b> | taajama | 3,75      | 0,43          | 3,00   | 4,00   | 75,00        | 0,936   |
|                       | tausta  | 3,55      | 0,93          | 1,00   | 4,00   |              |         |
| <b>Lajilkm</b>        | taajama | 4,11      | 1,03          | 2,80   | 6,20   | 70,50        | 0,727   |
|                       | tausta  | 4,13      | 1,32          | 2,80   | 7,60   |              |         |
| <b>MS-indeksi</b>     | taajama | 2,89      | 0,46          | 2,00   | 3,69   | 42,50        | 0,058   |
|                       | tausta  | 3,22      | 0,40          | 2,73   | 3,98   |              |         |
| <b>Hyp. peit (%)</b>  | taajama | 20,90     | 13,45         | 4,60   | 52,90  | 30,00        | 0,009** |
|                       | tausta  | 39,90     | 17,34         | 10,80  | 63,50  |              |         |
| <b>Br. peit. (%)</b>  | taajama | 0,007     | 0,027         | 0      | 0,10   | 60,50        | 0,373   |
|                       | tausta  | 0,064     | 0,13          | 0      | 0,40   |              |         |
| <b>Levä</b>           | taajama | 1         | 1,71          | 0      | 5      | 55,00        | 0,244   |
|                       | tausta  | 0         | 0             | 0      | 0      |              |         |

Sormipaisukarpeen peittävyys erosi tilastollisesti hyvin merkitsevästi taajama- ja tausta-alojen välillä ( $p = 0,009$ ). Sormipaisukarvetta esiintyi enemmän tausta- kuin taajama-alueilla (kuva 16a). Myös sormipaisukarpeen vaurioaste erosi tilastollisesti hyvin merkitsevästi taajama- ja tausta-alojen välillä ( $p = 0,006$ ), vaikka ydinkeskustan havaintopuiden sormipaisukarve oli keskimäärin hiukan vähemmän vaurioitunutta (vaurioaste 3,0) kuin keskustan ympärillä (3,3) (kuva 16b). Nämä vaurioluokitukset ovat kuitenkin yhdistettynä selkeästi haja-asutusalueita (2,5) korkeammat.



Kuvat 16a ja 16b. Kuva 16a (vasemmalla): Ydinkeskustan, keskustan ympäristön ja haja-asutusalueiden havaintoalojen (n = 25) sormipaisukarpeiden suhteellinen peittävyys (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta). Kuva 16b (vasemmalla): Havaintopuiden (n = 125) sormipaisukarpeen vaurioasteet (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta).

Valtakunnallisesti tarkasteltuna Savonlinnassa esiintyy ilmansaasteille herkkiä jäkälälajeja vähemmän kuin muualla Suomessa (taulukko 10). Ainoastaan Turussa on havaittu Savonlinnaa köyhtyneempi jäkälälajisto (Limo 2017). Savonlinnan jäkälät ovat lisäksi muuta Suomea vaurioituneempia, sillä sekä sormipaisukarpeen vaurioaste että yleinen vaurioaste ovat korkeammat kuin muualla Suomessa keskimäärin.

Taulukko 10. Männyn runkojäkäliä kuvaavia muuttujia Savonlinnan bioindikaattoritutkimuksessa vuonna 2017 sekä muualla Suomessa toteutetuissa tutkimuksissa. Turun ja Vakka-Suomen kartoituksen osalta vaurioasteiden keskiarvoja ei ollut saatavilla. Tulokset lähteistä Limo 2017, Keskitalo ym. 2015a, Rundgren 2013, Lehtonen ym. 2013, Lehtinen ja Lepola 2012, Lehtonen ym. 2011, Laita ym. 2008a ja Laita ym. 2008b.

| Alue            | N   | Tutkimusvuosi | Sormipaisukarpeen vaurioaste | Yleinen vaurioaste | Ilmansaasteille herkkien lajien lukumäärä |
|-----------------|-----|---------------|------------------------------|--------------------|-------------------------------------------|
| Savonlinna      | 125 | 2017          | 2,9                          | 3,6                | 3,8                                       |
| Turku           | 280 | 2015          |                              |                    | 2,8                                       |
| Uusimaa         | 734 | 2014          | 2,5                          | 3,1                | 5,6                                       |
| Kuopio          | 250 | 2013          | 2,5                          | 3,1                | 5,0                                       |
| Etelä-Karjala   | 263 | 2012          | 2,1                          | 3,0                | 4,9                                       |
| Seinäjoki       | 95  | 2012          | 2,6                          | 1,9                | 4,4                                       |
| Pohjois-Karjala | 300 | 2010          | 1,9                          | 2,5                | 6,0                                       |
| Vakka-Suomi     | 103 | 2006          | 2,1                          |                    | 5,1                                       |
| Vaasa           | 59  | 2006          | 1,9                          | 2,5                | 4,4                                       |

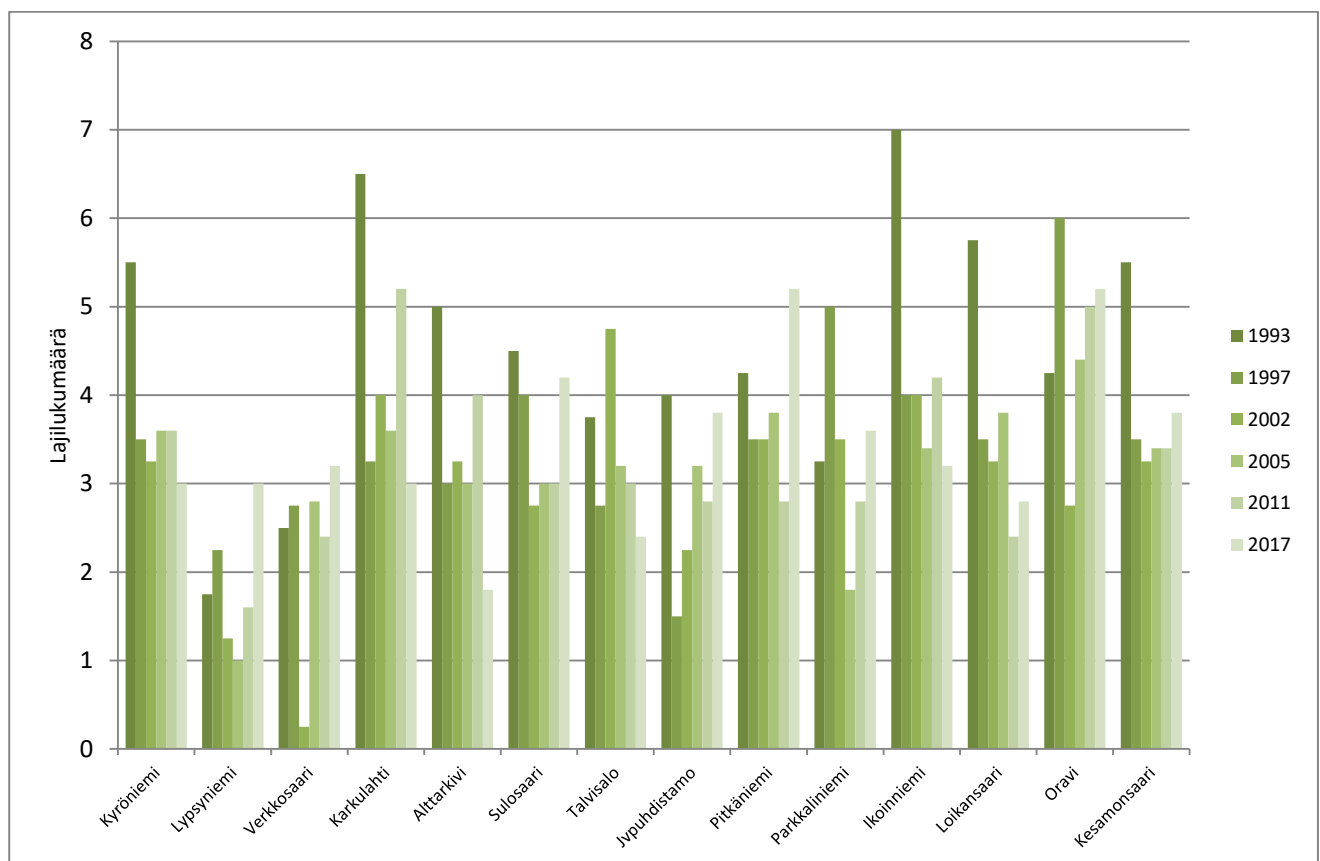
#### 4.1.2 Vuosien välinen vaihtelu

Vuosien välillä oli havaittavissa vaihtelua MS-indeksissä, lajilukumäärässä, sormipaisukarpeen vaurioasteessa ja peittävyudessa sekä yleisessä vaurioasteessa (taulukko 11). Jokaisena kartoitusvuonna samoina pysyneitä aloja olivat Kyrönniemi, Lypsyniemi, Verkkosaari, Karkulahti, Alttarikivi, Sulosaari, Talvisalo, jätevedenpuhdistamo, Pitkäniemi, Ensola, Ikoinniemi, Loikansaari, Oravi ja Kesamonsaari. Tarkemmat havaintoalakohtaiset arvot kaikilta havaintoaloilta on esitetty liitteinä (liitteet 6 – 10).

Taulukko 11. Samoina pysyneiden havaintoalojen havaintopuiden keskimääräisiä tietoja vuosina 1993, 1997, 2002, 2005, 2011 ja 2017. Yleistä vaurioastetta ei arvioitu vuonna 2011. N = 378.

|                                         | <b>Vuosi</b> | <b>Keskiarvo</b> | <b>Keskihajonta</b> | <b>Pienin</b> | <b>Suurin</b> |
|-----------------------------------------|--------------|------------------|---------------------|---------------|---------------|
| <b>Lajilukumäärä</b>                    | 1993         | 5                | 1,60                | 2             | 8             |
|                                         | 1997         | 3,62             | 1,26                | 1             | 6             |
|                                         | 2002         | 3,10             | 1,48                | 0             | 7             |
|                                         | 2005         | 3,6              | 1,01                | 2             | 6             |
|                                         | 2011         | 3,3              | 0,98                | 1             | 6             |
|                                         | 2017         | 3,86             | 1,14                | 2             | 7             |
| <b>Yleinen vaurioaste</b>               | 1993         | 3,07             | 0,62                | 0             | 4             |
|                                         | 1997         | 3,13             | 0,83                | 2             | 5             |
|                                         | 2002         | 3,43             | 0,65                | 2             | 5             |
|                                         | 2005         | 3,59             | 0,90                | 2             | 5             |
|                                         | 2017         | 3,7              | 0,48                | 2             | 4             |
| <b>Sormipaisukarpeen vaurioaste</b>     | 1993         | 2,91             | 0,66                | 2             | 5             |
|                                         | 1997         | 2,75             | 0,76                | 2             | 5             |
|                                         | 2002         | 2,73             | 0,88                | 1             | 5             |
|                                         | 2005         | 2,1              | 1,12                | 1             | 5             |
|                                         | 2011         | 2,42             | 0,91                | 1             | 4             |
|                                         | 2017         | 3,09             | 0,68                | 2             | 4             |
| <b>Sormipaisukarpeen peittävyys (%)</b> | 1993         | 37,0             | 16,0                | 3,0           | 51,0          |
|                                         | 1997         | 22,0             | 11,0                | 3,0           | 45,0          |
|                                         | 2002         | 21,0             | 10,0                | 0             | 41,0          |
|                                         | 2005         | 22,0             | 14,0                | 5,0           | 48,0          |
|                                         | 2011         | 23,0             | 16,0                | 3,0           | 60,0          |
|                                         | 2017         | 26,0             | 18,0                | 5,0           | 64,0          |
| <b>MS-indeksi</b>                       | 1993         | 3,51             | 0,65                | 2             | 4,67          |
|                                         | 1997         | 3,07             | 0,66                | 2             | 4             |
|                                         | 2002         | 2,84             | 0,97                | 0             | 4,33          |
|                                         | 2005         | 3,33             | 0,55                | 2             | 4,33          |
|                                         | 2011         | 2,93             | 0,54                | 2             | 3,92          |
|                                         | 2017         | 2,90             | 0,51                | 2             | 3,86          |

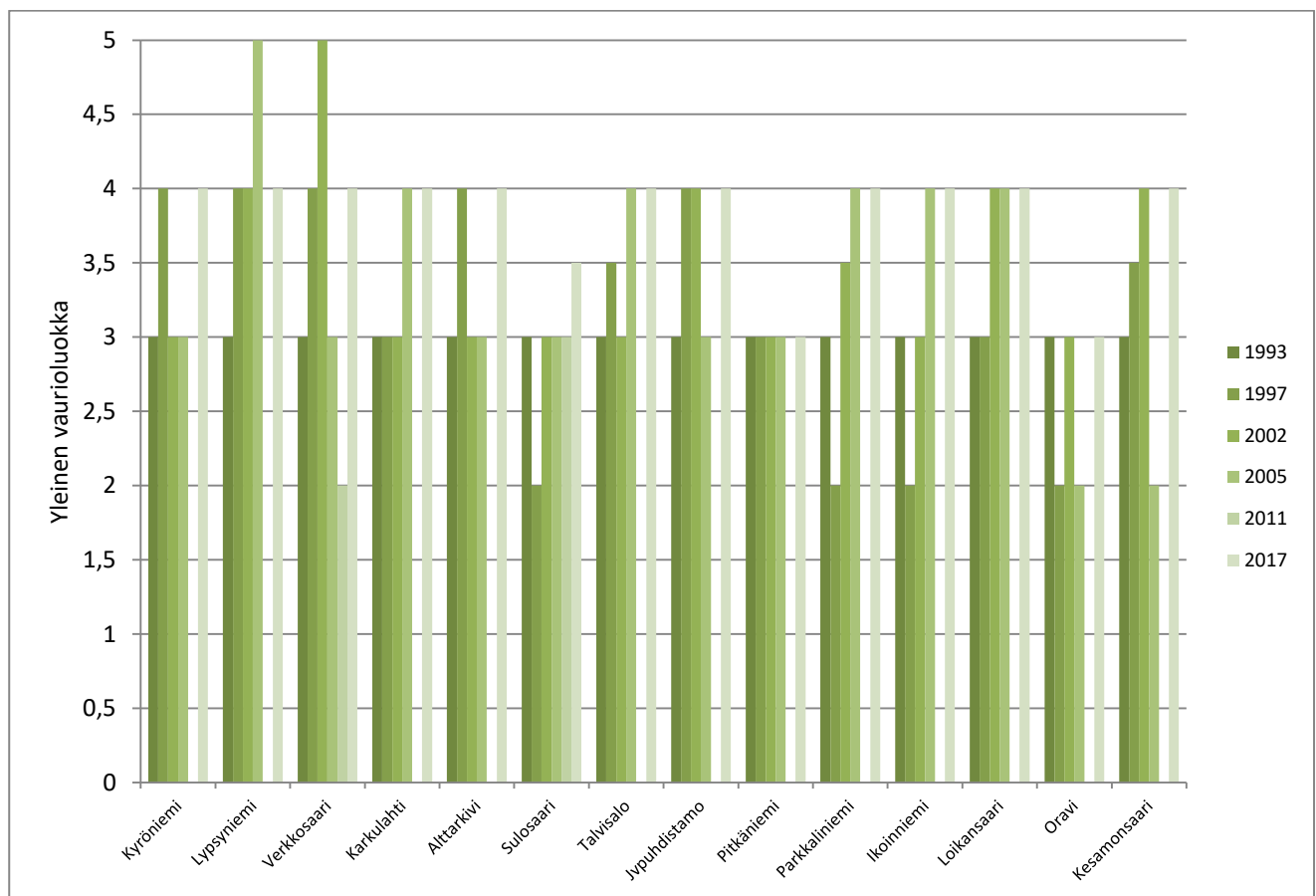
Jäkälälajisto oli rikkain vuonna 1993, jonka jälkeen lajirikkaus vähentyi voimakkaasti vuoteen 2002 saakka. Tämän jälkeen ilmansaasteille herkkien lajien lukumäärä on kasvanut tasaisesti. Havaintoalojen jäkälälajistossa on havaittavissa voimakasta vaihtelua vuosien 1993 – 2017 välillä (kuva 17). Edelliseen kartoitusvuoteen (2011) verrattuna lajilukumäärä on kasvanut keskimääräisesti eniten Lypsyniemen (+1,4), Sulosaaren (+1,2) ja Pitkäniemen (+2,4) havaintoaloilla. Lajit olivat vähentyneet vuodesta 2011 vuoteen 2017 keskimääräisesti eniten Karkulahden (-2,2) ja Alttarkiven (-2,2) havaintoaloilla.



Kuva 17. Havaintoalojen keskimääräisessä lajilukumäärässä tapahtuneet muutokset vuodesta 1993 vuoteen 2017. N = 84.

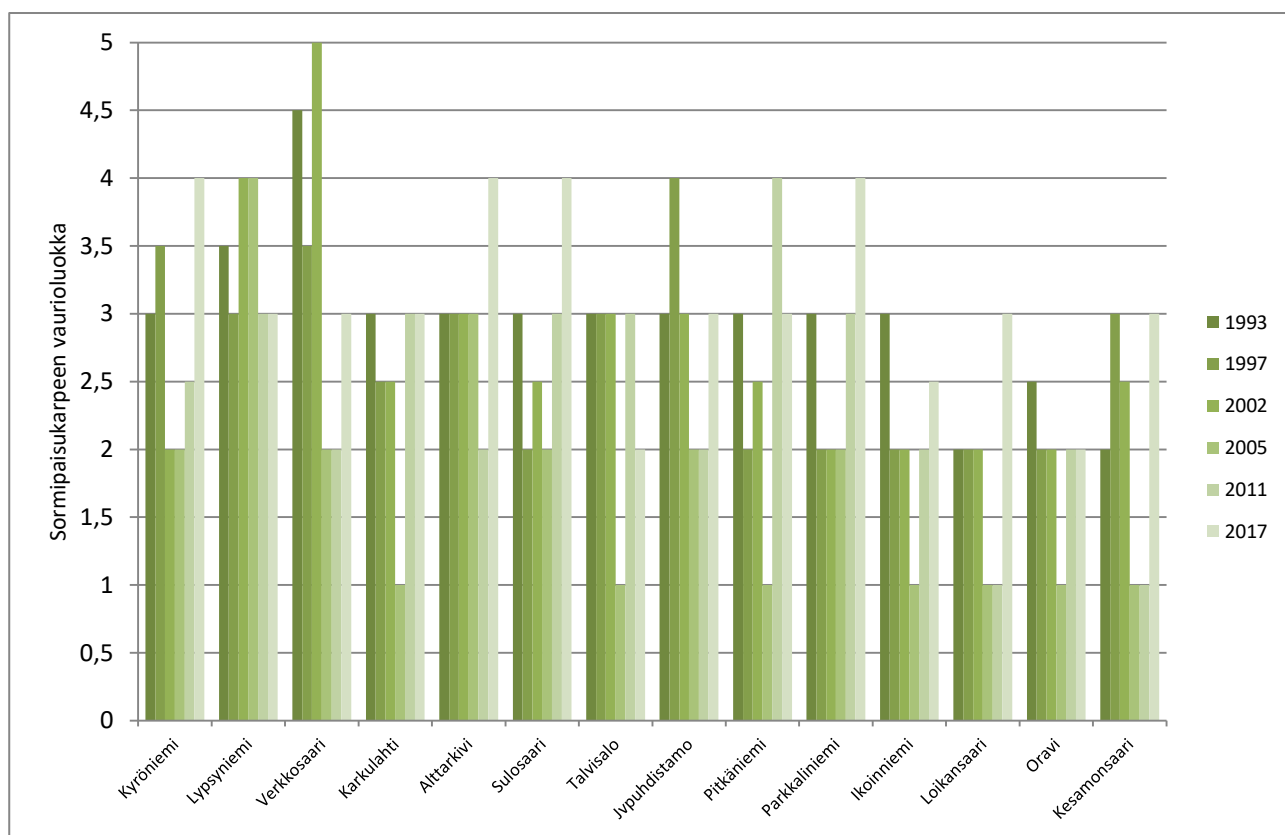
Jäkälälajiston keskimääräinen vaurioituneisuus koko tutkimusalueella on kasvanut vuodesta 1993 alkaen. Jäkälän vauriot havaintoaloilla ovat vaihdelleet jonkin verran kartoitusvuosien välillä (kuva 18). Yleiset vaurioasteet arvioitiin vuonna 2011 ainoastaan Verkkosaaren ja Sulosaaren havaintoaloilta. Yleisten vaurioasteiden mediaaniluokat ovat säilyneet samoina vuosien 2005 ja 2017 välillä Karkulahden, Talvisalon, Pitkäniemen, Parkkalinniemen, Ikoinniemen ja Loikansaaren havaintoaloilla. Keskimäärin eniten yleinen vaurioituneisuus on kasvanut Kesamonsaaren (+2,0) ha-

vaintoalalla ja vähentynyt Lypsyniemen (-1,0) havaintoalalla. Muilla havaintoaloilla yleinen vaurioluokitus on kasvanut 0,5 – 1 luokan verran.



Kuva 18. Havaintoalojen yleisen vaurioasteen mediaaniluokat puolen luokan tarkkuudella vuosina 1993 – 2017. N = 72.

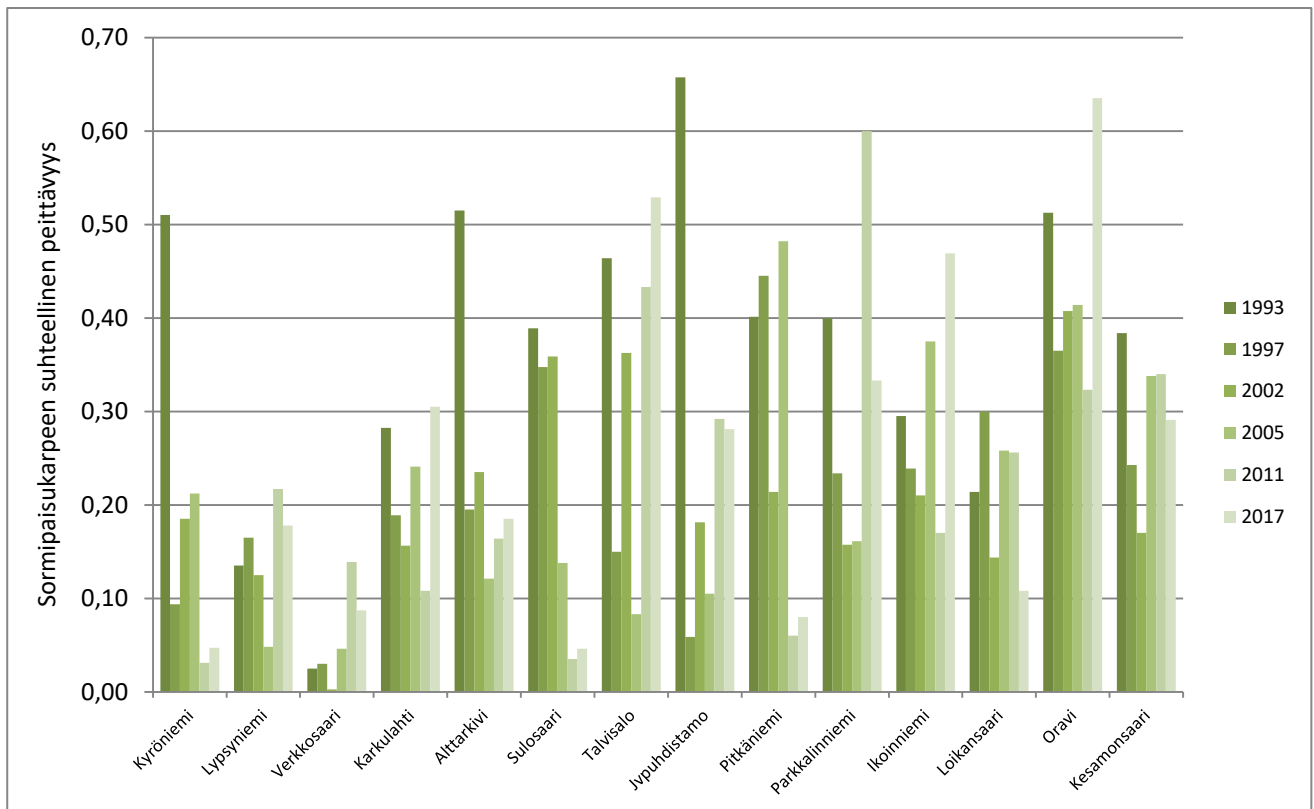
Sormipaisukarpeen vauriot ovat lisääntyneet tutkimusalueella vuodesta 2005 lähtien. Sormipaisukarpeen vauriot havaintoaloilla ovat vaihdelleet vuosittain (kuva 19). Edelliseen kartoitusvuoteen (2011) verrattuna sormipaisukarpeen vaurioaste oli kasvanut keskimääräisesti eniten Kyröniemen (+1,5), Alttarkiven (+2,0) ja Kesamonsaaren (+2,0) havaintoaloilla. Sormipaisukarpeen vaurioluokitus oli pienentynyt keskimäärin eniten vuodesta 2011 vuoteen 2017 Talvisalon ja Pitkäniemen havaintoaloilla, joilla molemmilla vaurioluokitus oli laskenut yhden luokan verran (-1,00). Sormipaisukarpeen vaurioituneisuus oli pysynyt muuttumattomana Lypsyniemen, Karkulahden ja Oravin havaintoaloilla.



Kuva 19. Havaintoalojen sormipaisukarpeen vaurioluokkien mediaaniluokat puolen luokan tarkkuudella vuosina 1993 – 2017. N = 84.

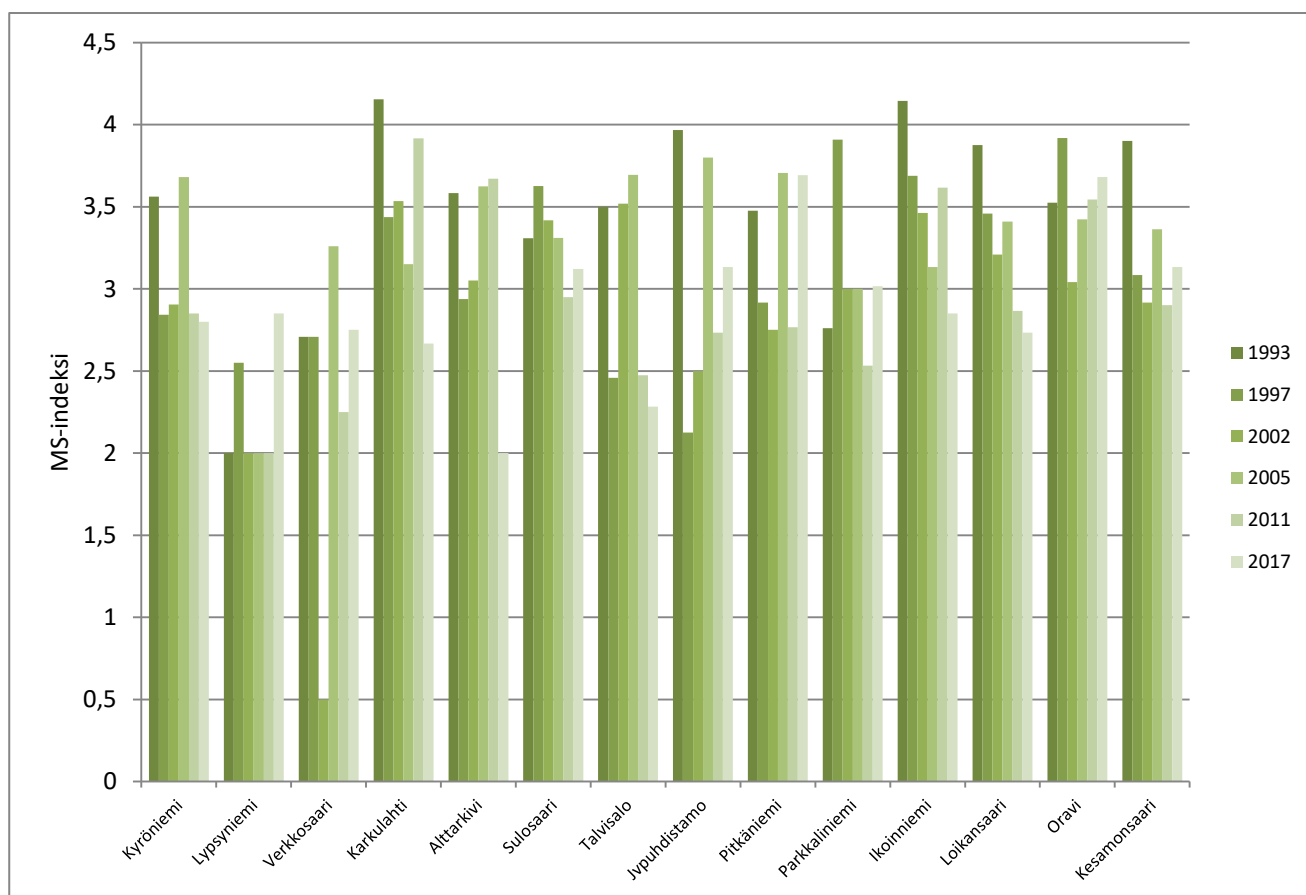
Sormipaisukarpeen peittävyys koko tutkimusalueella on pysynyt lähestulkoon samalla tasolla vuoden 1997 kartoituksesta lähtien. Sormipaisukarpeen suhteellinen peittävyys havaintoaloilla on vaihdellut voimakkaasti kartoitusvuosien välillä (kuva 20). Eniten sormipaisukarpeen peittävyys oli kasvanut edelliseen kartoitusvuoteen (2011) verrattuna Karkulahden (+20 %), Ikonniemen (+30 %) ja Oravin (+32 %) havaintoaloilla. Sormipaisukarpeen peittävyys oli vähentynyt vuodesta 2011 vuoteen 2017 suhteellisesti eniten Parkkalinniemen (-27 %) ja Loikansaaren (-15 %) havaintoaloilla.





Kuva 20. Sormipaisukarpeen suhteellisessa peittävydessä tapahtuneet muutokset vuodesta 1993 vuoteen 2017. Kuvaajassa on esitetty vain ne havaintoalat, joiden osalta sormipaisukarpeen peittävydet on arvioitu jokaisena kartoitusvuonna. N = 84.

Keskimäärin tutkimusalueen MS-indeksin arvo on laskenut vuodesta 2005 alkaen. Havaintoalojen MS-indeksissä on havaittavissa vaihtelua vuodesta 1993 alkaen (kuva 21). Edelliseen kartoitusvuoteen (2011) nähden MS-indeksin arvo on noussut eniten Lypsniemen (+0,85) ja Pitkäniemen (+0,93) havaintoaloilla. Eniten MS-indeksin arvo on laskenut vuodesta 2011 vuoteen 2017 Karkulahden (-1,25) ja Alttarikiven (-1,67) havaintoaloilla.



Kuva 21. MS-indeksin havaintoalakohtaisissa keskiarvoissa tapahtuneet muutokset vuodesta 1993 vuoteen 2017. Kuvaajassa on esitetty vain ne havaintoalat, jotka ovat pysyneet samoina jokaisena kartoitusvuonna. N = 84.

Vuosien välinen parittainen vertailu tehtiin Wilcoxonin merkkitestillä, jolla verrattiin vuosien 2017 ja 2005 välisten erojen merkittävyyttä (taulukko 12). Tilastollisesti merkittävimmät eroavaisuudet vuosien 2005 ja 2017 välillä havaittiin keltatyvikarpeen esiintymisessä tutkimusalueella, sormipaisukarpeen vaurioasteessa ja MS-indeksissä. Tilastollisesti merkitseviä eroja vuosien välillä havaittiin myös harmaa- ja tuhkatyvikarpeen, naavojen, harmaaröyhelön, keltaröyhelön ja hankakarpeen esiintymisessä sekä luppojen pistefrekvensseissä ja yleisessä vaurioasteessa. Molempina tutkimusvuosina sormipaisukarvetta havaittiin jokaisella havaintopuulla ja raidanisokarvetta ei puolestaan havaittu yhdelläkään havaintopuulla.

Taulukko 12. Männyn runkojäkäliä kuvaavia tunnuslukuja Savonlinnan samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 2005 ja 2017. Arvot kuvaavat tutkimusvuoden havaintopuiden keskimääräisiä lukuja. Lajien havaintopuilla esiintymisen keskiarvo kuvaa prosentuaalista osuutta tutkimusalueen havaintopuista, joilla havaittiin kyseistä lajia. Pienin ja suurin arvo tarkoittavat tällöin sitä, että 0 = lajia ei esiintynyt havaintopuilla ja 1 = laji esiintyi havaintopuilla. Sormipaisukarpeen ja luppojen frekvenssien arvot tarkoittavat pistefrekvenssilaskennalta saatuja arvoja (havaintopuun maksimi 100+100=200). Vuosien väliset parittaiset vertailut on tehty merkkitestillä. Kun suureen keskiarvo oli suurempi vuonna 2017, erotus on negatiivinen. Merkitsevä ( $p < 0,05$ ) testitulos on merkitty yhdellä tähdellä (\*), hyvin merkitsevä ( $p < 0,01$ ) kahdella (\*\*) ja erittäin merkitsevä ( $p < 0,001$ ) kolmella (\*\*\*). N(havaintoalat)=14, n(havaintopuut)=140.

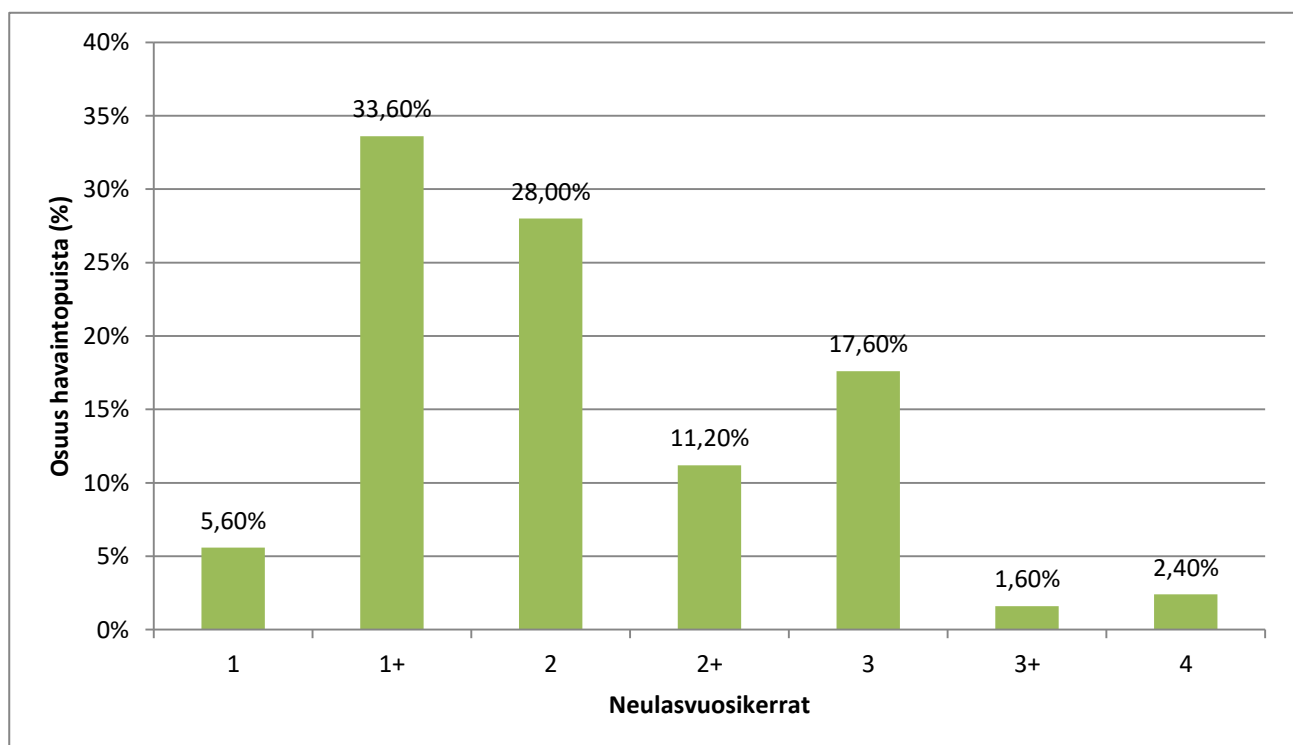
|                                                              | Vuosi | Keski-arvo | Keski-hajonta | Pienin | Suurin | Erotus 2005-2017 | p-arvo   |
|--------------------------------------------------------------|-------|------------|---------------|--------|--------|------------------|----------|
| Sormipaisukarpeen esiintyminen havaintopuilla (%)            | 2005  | 100        | 0             | 1      | 1      | 0                | 1,000    |
|                                                              | 2017  | 100        | 0             | 1      | 1      |                  |          |
| Keltatyvikarpeen esiintyminen havaintopuilla (%)             | 2005  | 34         | 47            | 0      | 1      | -59              | 0,000*** |
|                                                              | 2017  | 93         | 26            | 0      | 1      |                  |          |
| Harmaa- ja tuhkatyvikarpeen esiintyminen havaintopuilla (%)  | 2005  | 83         | 38            | 0      | 1      | 29               | 0,001**  |
|                                                              | 2017  | 54         | 50            | 0      | 1      |                  |          |
| Seinäsuomujäkälän esiintyminen havaintopuilla (%)            | 2005  | 46         | 50            | 0      | 1      | 5                | 0,467    |
|                                                              | 2017  | 41         | 50            | 0      | 1      |                  |          |
| Luppojen esiintyminen havaintopuilla (%)                     | 2005  | 3          | 17            | 0      | 1      | 1                | 0,655    |
|                                                              | 2017  | 4          | 20            | 0      | 1      |                  |          |
| Naavojen esiintyminen havaintopuilla (%)                     | 2005  | 32         | 46            | 0      | 1      | 18               | 0,011*   |
|                                                              | 2017  | 14         | 35            | 0      | 1      |                  |          |
| Harmaaröyhelön esiintyminen havaintopuilla (%)               | 2005  | 1,4        | 12            | 0      | 1      | -8,6             | 0,034*   |
|                                                              | 2017  | 10         | 30            | 0      | 1      |                  |          |
| Keltaröyhelön esiintyminen havaintopuilla (%)                | 2005  | 34         | 47            | 0      | 1      | -17              | 0,011*   |
|                                                              | 2017  | 51         | 50            | 0      | 1      |                  |          |
| Ruskoröyhelön esiintyminen havaintopuilla (%)                | 2005  | 1,4        | 12            | 0      | 1      | 1,4              | 0,317    |
|                                                              | 2017  | 0          | 0             | 0      | 0      |                  |          |
| Hankakarpeen esiintyminen havaintopuilla (%)                 | 2005  | 26         | 44            | 0      | 1      | 16               | 0,012*   |
|                                                              | 2017  | 10         | 30            | 0      | 1      |                  |          |
| Raidanisokarpeen esiintyminen havaintopuilla (%)             | 2005  | 0          | 0             | 0      | 0      | 0                | 1,000    |
|                                                              | 2017  | 0          | 0             | 0      | 0      |                  |          |
| Levän ja vihersukkulajäkälän esiintyminen havaintopuilla (%) | 2005  | 29         | 45            | 0      | 1      | 13               | 0,061    |
|                                                              | 2017  | 16         | 36            | 0      | 1      |                  |          |
| Sormipaisukarpeen frekvenssi                                 | 2005  | 43,17      | 31,95         | 0      | 135    | -7,93            | 0,180    |
|                                                              | 2017  | 51,10      | 40,65         | 0      | 150    |                  |          |
| Luppojen frekvenssi                                          | 2005  | 0,17       | 0,51          | 0      | 3      | 0,156            | 0,013*   |
|                                                              | 2017  | 0,014      | 0,12          | 0      | 1      |                  |          |
| Sormipaisukarpeen vaurioaste                                 | 2005  | 1,9        | 0,97          | 1      | 5      | -1,2             | 0,000*** |
|                                                              | 2017  | 3,1        | 0,68          | 2      | 4      |                  |          |
| Yleinen vaurioaste                                           | 2005  | 3,43       | 0,84          | 2      | 5      | -0,27            | 0,008**  |
|                                                              | 2017  | 3,70       | 0,48          | 2      | 4      |                  |          |
| Lajilukumäärä                                                | 2005  | 3,14       | 1,09          | 1      | 5      | -0,3             | 0,063    |
|                                                              | 2017  | 3,44       | 1,10          | 1      | 6      |                  |          |
| MS-indeksi                                                   | 2005  | 3,33       | 0,55          | 2      | 4,33   | 0,42             | 0,000*** |
|                                                              | 2017  | 2,91       | 0,51          | 2      | 3,86   |                  |          |

## 4.2 Mäntyjen elinvoimaisuus

Männyn neulasvuosikertojen keskimääräinen lukumäärä tutkimusalueella oli 2 ja havaintopuiden neulasvuosikertojen määrä vaihteli 1:n ja 4:n välillä (taulukko 13). Suurimmalla osalla havaintopuista neulasvuosikertojen lukumäärä oli 1 + tai 2 (kuva 22). Vain viidellä havaintopuulla (4 %) koko tutkimusalueella oli yli kolme neulasvuosikertaa, mikä tarkoittaa, että puu on neulasvuosikertoista tarkasteltuna elinvoimainen.

Taulukko 13. Männyn neulasvuosikertojen lukumäärä tutkimusalueella vuonna 2017.  
n(havaintopuut) = 125 ja n(havaintoalat) = 25.

|                                 | keskiarvo | pienin | suurin | keskihajonta |
|---------------------------------|-----------|--------|--------|--------------|
| neulasvuosikerrat / havaintoala | 1,96      | 1,25   | 4      | 0,76         |
| neulasvuosikerrat / havaintopuu | 1,96      | 1      | 4      | 0,74         |



Kuva 22. Havaintopuiden neulasvuosikerrat tutkimusalueella. N = 125.

Neulasvuosikerrat korreloivat negatiivisesti tilastollisesti merkitsevästi vain sormipaisukarpeen vaurioasteen kanssa (taulukko 14). Neulasvuosikertojen ja muiden jäkälä- ja puustomuuttujien kanssa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita.

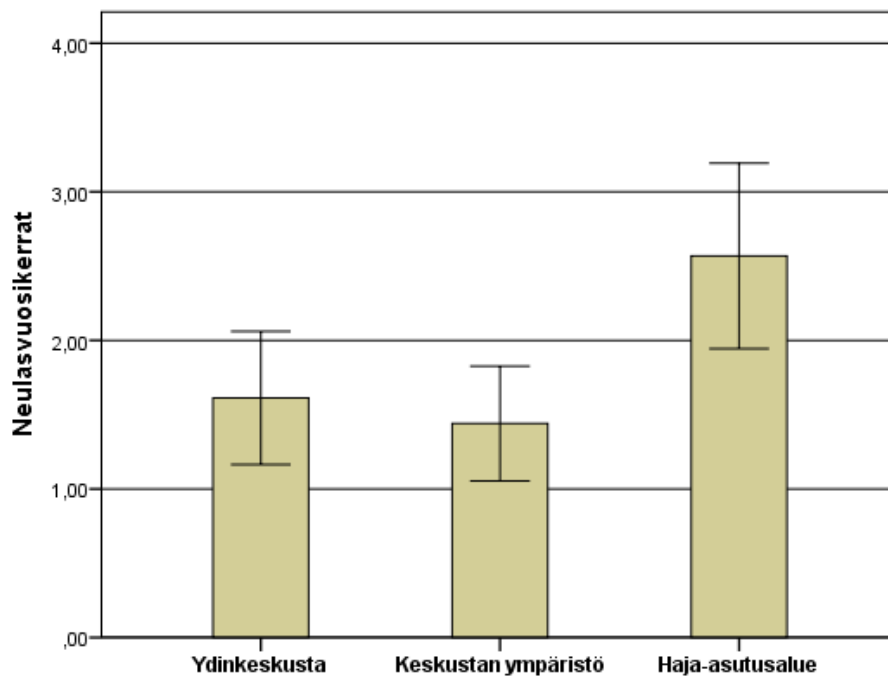
Taulukko 14. Neulasvuosikertojen korrelaatiot luontaisten taustamuuttujien ja vaurioasteiden kanssa (Spearman). Tilastollisesti hyvin merkitsevä ( $p < 0,01$ ) korrelaatio on merkitty kahdella tähdellä (\*\*).

|                   | Halkaisija | Pohjapinta-ala | Hyp. vaurioaste | Yleinen vaurioaste | Levän yleisyys |
|-------------------|------------|----------------|-----------------|--------------------|----------------|
| Neulasvuosikerrat | -,314      | -,045          | -,687**         | -,265              | -,202          |

Metsätyypillä tai metsän kypsyydellä ei ollut vaikutusta neulasvuosikertoihin. Havaintoalan hyvällä ja kohtalaisella soveltuvuudella oli kuitenkin tilastollisesti merkitsevä vaikutus ( $\chi^2 = 6,001$ ;  $p = 0,050$ ) neulasvuosikertojen lukumäärään. Mitä paremmin havaintoala soveltui kartoitukseen, sitä enemmän männyissä oli neulasvuosikertoja. Kartoitukseen hyvin soveltuvilla havaintoaloilla ( $n = 9$ ) neulasvuosikertoja oli keskimäärin 2+ (2,44) kun taas kohtalaisesti soveltuvilla ( $n = 13$ ) neulasvuosikertoja oli keskimäärin 2 (1,73). Huonosti soveltuvilla aloilla ( $n = 3$ ) neulasvuosikertoja oli myös keskimäärin 2 (1,5).

#### 4.2.1 Alueellinen vaihtelu

Neulasvuosikertojen lukumäärissä oli havaittavissa alueellisia eroja. Ydinkeskustan havaintopuiden neulasvuosikertojen keskiarvo oli 2 (1,61) ja keskustan ympäristön havaintopuissa havaittiin keskimäärin 1+ (1,45) neulasvuosikertaa (kuva 23). Haja-asutusalueiden männyissä oli keskimäärin 3 (2,57) neulasvuosikertaa. Neulasvuosikertojen lukumäärät vaihtelivat tilastollisesti merkitsevästi taajama- ja tausta-alojen välillä ( $p < 0,05$ ), vaikka ydinkeskustan puissa havaittiinkin enemmän neulasvuosikertoja kuin keskustan ympäristössä. Näiden havaintojen yhdistäminen paljasti kuitenkin tilastollisesti merkitsevän eron haja-asutusalueisiin verrattuna.



Kuva 23. Havaintopuiden neulasvuosikerrat ydinkeskustassa, keskustan ympäristössä ja haja-asutusalueella. N = 125.

Valtakunnallisesti tarkasteltuna Savonlinnan männyissä on merkittävästi vähemmän neulasvuosikertoja (taulukko 15). Muissa tutkimuksissa männyt ovat olleet keskimäärin elinvoimaisia neulasvuosikertoista tarkasteltuna (neulasvuosikertoja 3 tai enemmän), mutta Savonlinnan männyissä neulasvuosikertojen keskiarvo jää alle kahden.

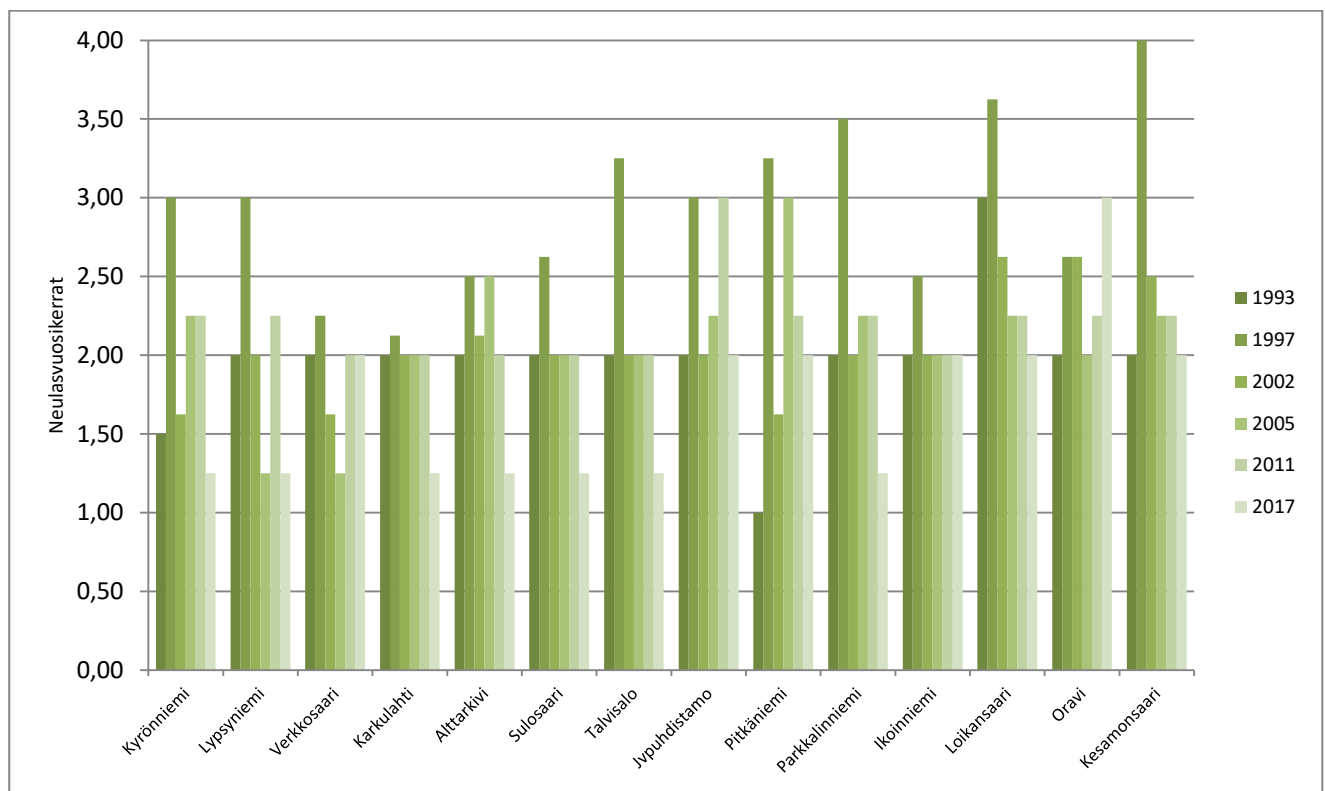
Taulukko 15. Neulasvuosikertojen keskiarvot Savonlinnassa sekä muualla Suomessa. Tulokset lähteistä: Ruuth ym. 2016, Lehkonen ym. 2013, Ympäristöpalvelut Helmi 2011, Laita ym. 2008a ja Laita ym. 2008b.

| Alue                         | Vuosi | N    | Neulasvuosikerrat (keskiarvo) |
|------------------------------|-------|------|-------------------------------|
| <b>Savonlinna</b>            | 2017  | 125  | 1,96                          |
| <b>Kanta- ja Päijät-Häme</b> | 2014  | 1520 | 3,00                          |
| <b>Etelä-Karjala</b>         | 2012  | 1315 | 3,20                          |
| <b>Haapavesi</b>             | 2011  | 150  | 3,50                          |
| <b>Vaasa</b>                 | 2006  | 590  | 3,50                          |
| <b>Vakka-Suomi</b>           | 2006  | 515  | 3,10                          |

#### 4.2.2 Vuosien välinen vaihtelu

Neulasvuosikertoja oli vuonna 2017 tilastollisesti merkitsevästi ( $p = 0,001$ ) vähemmän kuin vuonna 2005 vastaavilla havaintoaloilla. Vuoteen 2005 verrattuna vuonna 2017 neulasvuosikerrat olivat vähentyneet keskimäärin eniten Kyrönniemen (-1,0), Alttarkiven (-1,25), Pitkäniemen (-1,0) ja

Parkkalinniemen (-1,0) havaintoaloilla ja kasvaneet Oravin (+1,0) havaintoalalla (kuva 24 ja liite 11).



Kuva 24. Havaintopuiden neulasvuosikertojen mediaanit samoina pysyneillä havaintoaloilla vuosina 1993 - 2017. N = 84.

#### 4.3 Sammalten alkuainepitoisuudet

Seinäsammalista analysoitiin 25 eri alkuaineen pitoisuudet (taulukko 16). Keskimäärin suurimmat alkuainepitoisuudet mitattiin ydinkeskustan havaintoaloilta Lypsniemi ja Verkkosaari (liite 12). Antimonin, arseenin, berylliumin ja molybdeenin pitoisuudet jäivät suuresta osasta sammalnäytteistä alle määrittäysrajan.

Taulukko 16. Koko tutkimusalueen sammalten alkuainepitoisuuksien keskiarvot sekä pienimmät ja suurimmat arvot. N=15.

| Analyysi        | Menetelmä           | Yksikkö | Keskiarvo | Pienin  | Suurin    |
|-----------------|---------------------|---------|-----------|---------|-----------|
| Alumiini (Al)   | SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 182,67    | 100,00  | 530,00    |
| Antimoni (Sb)   | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,06      | <0,05   | 0,08      |
| Arseeni (As)    | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,07      | <0,05   | 0,15      |
| Barium (Ba)     | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 12,23     | 2,80    | 25,00     |
| Beryllium (Be)  | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | <0,05     | <0,05   | <0,05     |
| Boori (B)       | SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 2,36      | <1,00   | 7,00      |
| Fosfori (P)     | SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 3080,00   | 1200,00 | 24 000,00 |
| Kadmium (Cd)    | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,08      | <0,05   | 0,15      |
| Kalium (K)      | SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 7740,00   | 5100,00 | 11 000,00 |
| Kalsium (Ca)    | SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 2860,00   | <0,05   | 5800,00   |
| Koboltti (Co)   | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,17      | 0,09    | 0,62      |
| Kromi (Cr)      | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 1,15      | 0,06    | 4,2       |
| Kupari (Cu)     | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 3,13      | 2,00    | 6,00      |
| Lyijy (Pb)      | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,79      | 0,50    | 1,30      |
| Magnesium (Mg)  | SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 1165,33   | 630,00  | 1700,00   |
| Mangaani (Mn)   | SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 378,00    | 120,00  | 610,00    |
| Molybdeeni (Mo) | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,62      | <0,1    | 2,50      |
| Natrium (Na)    | SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 82,87     | 57,00   | 120,00    |
| Nikkeli (Ni)    | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 1,64      | 0,60    | 11,00     |
| Rauta (Fe)      | SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 309,33    | 140,00  | 1000,00   |
| Rikki (S)       | SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 818,00    | 670,00  | 1200,00   |
| Sinkki (Zn)     | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 30,53     | 23,00   | 60,00     |
| Strontium (Sr)  | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 8,1       | 3,10    | 21,00     |
| Titaani (Ti)    | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 13,8      | 6,00    | 50,00     |
| Vanadiini (V)   | SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,49      | 0,29    | 1,20      |

Tilastollisesti merkitseviä positiivisia korrelaatioita havaittiin usealla alkuaineella (taulukko 17). Voimakkaimpia positiivisia korrelaatioita oli fosforin, kalsiumin, koboltin, kuparin, lyijyn, magnesiumin, natriumin, nikkelin, raudan, rikin, sinkin, strontiumin ja vanadiinin välillä. Ainoastaan mangaanin alkuainepitoisuudet eivät korreloineet minkään muun alkuainepitoisuuden kanssa.



Taulukko 17. Seinäsammalten alkuaineiden keskinäiset korrelaatiot (Spearman). Tilastollisesti hyvin merkitsevät korrelaatiot ( $p < 0,01$ ) on merkitty kahdella tähdellä (\*\*) ja merkitsevät ( $p < 0,05$ ) yhdellä tähdellä (\*). Taulukossa on ne alkuaineet, joiden väliltä havaittiin eniten tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita.

|           | <b>P</b> | <b>Ca</b> | <b>Co</b> | <b>Cu</b> | <b>Pb</b> | <b>Mg</b> | <b>Na</b> | <b>Ni</b> | <b>Fe</b> | <b>S</b> | <b>Zn</b> | <b>Sr</b> | <b>V</b> |
|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| <b>P</b>  | 1,000    | ,902**    | ,761**    | ,664**    | ,272      | ,950**    | ,851**    | ,567*     | ,527*     | ,856**   | ,541*     | ,519*     | ,354     |
| <b>Ca</b> | ,902**   | 1,000     | ,783**    | ,676**    | ,472      | ,945**    | ,746**    | ,511      | ,583*     | ,846**   | ,682**    | ,695**    | ,465     |
| <b>Co</b> | ,761**   | ,783**    | 1,000     | ,795**    | ,548*     | ,802**    | ,755**    | ,871**    | ,644**    | ,621*    | ,780**    | ,628*     | ,668**   |
| <b>Cu</b> | ,664**   | ,676**    | ,795**    | 1,000     | ,721**    | ,656**    | ,635*     | ,783**    | ,429      | ,601*    | ,725**    | ,747**    | ,677**   |
| <b>Pb</b> | ,272     | ,472      | ,548*     | ,721**    | 1,000     | ,325      | ,166      | ,448      | ,619*     | ,225     | ,585*     | ,788**    | ,835**   |
| <b>Mg</b> | ,950**   | ,945**    | ,802**    | ,656**    | ,325      | 1,000     | ,852**    | ,589*     | ,560*     | ,893**   | ,696**    | ,572*     | ,397     |
| <b>Na</b> | ,851**   | ,746**    | ,755**    | ,635*     | ,166      | ,852**    | 1,000     | ,673**    | ,519*     | ,858**   | ,601*     | ,320      | ,428     |
| <b>Ni</b> | ,567*    | ,511      | ,871**    | ,783**    | ,448      | ,589*     | ,673**    | 1,000     | ,444      | ,442     | ,674**    | ,568*     | ,635*    |
| <b>Fe</b> | ,527*    | ,583*     | ,644**    | ,429      | ,619*     | ,560*     | ,519*     | ,444      | 1,000     | ,408     | ,550*     | ,440      | ,823**   |
| <b>S</b>  | ,856**   | ,846**    | ,621*     | ,601*     | ,225      | ,893**    | ,858**    | ,442      | ,408      | 1,000    | ,609*     | ,383      | ,298     |
| <b>Zn</b> | ,541*    | ,682**    | ,780**    | ,725**    | ,585*     | ,696**    | ,601*     | ,674**    | ,550*     | ,609*    | 1,000     | ,579*     | ,653**   |
| <b>Sr</b> | ,519*    | ,695**    | ,628*     | ,747**    | ,788**    | ,572*     | ,320      | ,568*     | ,440      | ,383     | ,579*     | 1,000     | ,625*    |
| <b>V</b>  | ,354     | ,465      | ,668**    | ,677**    | ,835**    | ,397      | ,428      | ,635*     | ,823**    | ,298     | ,653**    | ,625*     | 1,000    |

Metsätyypillä ei ollut vaikutusta seinäsammalten alkuainepitoisuuksiin. Joidenkin seinäsammalten alkuainepitoisuuksien ja luonnollisten taustamuuttujien väliltä löytyi tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita (taulukko 18). Puuston kehitysluokalla ei ollut vaikutusta, mutta havaintoalan soveltuvuudella, topografialla, puuston halkaisijalla ja pohjapinta-alalla oli vaikutusta osaan alkuainepitoisuuksista.

Eniten korrelaatioita havaittiin havaintoalan puuston järeyttä kuvaavien taustamuuttujien kanssa. Puuston halkaisija korreloi positiivisesti hyvin merkitsevästi alumiinin, raudan ja kaliumin kanssa sekä merkitsevästi positiivisesti kalsiumin, koboltin, magnesiumin, fosforin ja rikin pitoisuuksien kanssa. Havaintoalan puuston pohjapinta-ala korreloi positiivisesti hyvin merkitsevästi kalsiumin, kaliumin, magnesiumin ja rikin pitoisuuksien sekä merkitsevästi fosforin pitoisuuden kanssa. Havaintoalan soveltuvuus korreloi ainoastaan positiivisesti mangaanin kanssa ja topografia korreloi puolestaan ainoastaan positiivisesti molybdeenin pitoisuuden kanssa.

Taulukko 18. Seinäsammalten alkuainepitoisuuksien tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot luonnollisten taustamuuttujien kanssa (Spearman). Taulukkoon otettu vain ne alkuaineet, joiden osalta havaittiin korrelaatioita taustamuuttujien kanssa. Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot ( $p < 0,05$ ) on merkitty yhdellä tähdellä (\*) ja hyvin merkitsevät ( $p < 0,01$ ) kahdella tähdellä (\*\*).

|                                  | <b>Al</b> | <b>Ca</b> | <b>Co</b> | <b>Fe</b> | <b>K</b> | <b>Mg</b> | <b>Mn</b> | <b>Mo</b> | <b>P</b> | <b>S</b> |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| <b>Soveltuvuus kartoitukseen</b> | ,272      | ,207      | ,293      | ,294      | ,188     | ,246      | -,623*    | ,162      | ,264     | ,326     |
| <b>Havaintoalan topografia</b>   | -,055     | -,101     | -,06      | -,042     | -,126    | -,075     | -,246     | ,918*     | -,035    | -,127    |
| <b>Puuston halkaisija</b>        | ,657**    | ,620*     | ,537*     | ,647**    | ,671**   | ,533*     | -,358     | -053      | ,612*    | ,556*    |
| <b>Pohjapinta-ala</b>            | ,372      | ,686**    | ,428      | ,416      | ,668**   | ,706**    | ,295      | -,051     | ,573*    | ,684**   |

#### 4.3.1 Alueellinen vaihtelu

Seinäsammalten alkuainepitoisuudet vaihtelivat eri alueilla (taulukko 19 ja liite 12). Tilastollisesti hyvin merkitseviä eroavaisuuksia taajama- ja tausta-alojen välillä oli boorin ja natriumin pitoisuuksissa sekä merkitseviä eroavaisuuksia kromin ja rikin pitoisuuksissa. Berylliumin pitoisuudet jäivät koko tutkimusalueella alle määrittämissä rajat.

Taulukko 19. Alkuaineiden keskiarvot ydinkeskustan, keskustan ympäristön ja haja-asutusalueiden havaintoaloilla. Ydinkeskusta n = 2, taajama n = 6, haja-asutusalue n = 7. Mann-Whitneyn U-testin p-suureita varten ydinkeskustan ja keskustan ympäristön keskiarvot on yhdistetty yhdeksi taajama-alueita kuvaavaksi keskiarvoksi. Tilastollisesti merkitsevät eroavaisuudet ( $p < 0,05$ ) on merkitty yhdellä tähdellä (\*) ja hyvin merkitsevät ( $p < 0,01$ ) kahdella (\*\*).

| Alkuaine        | Ydinkeskusta | Keskustan ympäristö | Taajama (yhdistetty) | Haja-asutusalue | p       |
|-----------------|--------------|---------------------|----------------------|-----------------|---------|
| Alumiini (Al)   | 390,00       | 143,33              | 266,67               | 157,14          | 0,779   |
| Antimoni (Sb)   | 0,07         | 0,05                | 0,06                 | 0,05            | 0,397   |
| Arseeni (As)    | 0,10         | 0,06                | 0,08                 | 0,06            | 0,536   |
| Barium (Ba)     | 17,50        | 9,13                | 13,32                | 13,39           | 0,867   |
| Beryllium (Be)  | <0,05        | <0,05               | <0,05                | <0,05           |         |
| Boori (B)       | 4,50         | 2,50                | 3,50                 | 1,50            | 0,009** |
| Fosfori (P)     | 12950,00     | 1666,67             | 7308,33              | 1471,43         | 0,054   |
| Kadmium (Cd)    | 0,12         | 0,08                | 0,10                 | 0,07            | 0,779   |
| Kalium (K)      | 9350,00      | 7933,33             | 8641,67              | 7114,29         | 0,121   |
| Kalsium (Ca)    | 4500,00      | 2733,33             | 3616,67              | 2500,00         | 0,152   |
| Koboltti (Co)   | 0,44         | 0,14                | 0,29                 | 0,11            | 0,121   |
| Kromi (Cr)      | 2,65         | 1,05                | 1,85                 | 0,80            | 0,029*  |
| Kupari (Cu)     | 5,00         | 2,83                | 3,92                 | 2,86            | 0,536   |
| Lyijy (Pb)      | 1,05         | 0,65                | 0,85                 | 0,84            | 0,281   |
| Magnesium (Mg)  | 1600,00      | 1208,33             | 1404,17              | 1004,29         | 0,054   |
| Mangaani (Mn)   | 175,00       | 391,67              | 283,33               | 424,29          | 0,232   |
| Molybdeeni (Mo) | 1,26         | 0,25                | 0,76                 | 0,10            | 0,281   |
| Natrium (Na)    | 110,00       | 86,17               | 98,08                | 72,29           | 0,006** |
| Nikkeli (Ni)    | 6,20         | 1,07                | 3,63                 | 0,83            | 0,189   |
| Rauta (Fe)      | 770,00       | 253,33              | 511,67               | 225,71          | 0,613   |
| Rikki (S)       | 1080,00      | 816,67              | 948,33               | 744,29          | 0,029*  |
| Sinkki (Zn)     | 49,50        | 28,17               | 38,83                | 27,14           | 0,281   |
| Strontium (Sr)  | 13,95        | 6,22                | 10,08                | 8,04            | 0,779   |
| Titaani (Ti)    | 32,00        | 9,50                | 20,75                | 12,29           | 0,613   |
| Vanadiini (V)   | 0,91         | 0,44                | 0,68                 | 0,41            | 0,867   |

Valtakunnallisesti tarkasteltuna Savonlinnan seinäsammalten alkuainepitoisuudet eivät ole poikkeuksellisen korkeita (taulukko 20). Alumiinin, arseenin, boorin, kadmiumin, kaliumin, kalsiumin, koboltin, kuparin, lyijyn, natriumin, rikin, sinkin ja vanadiinin pitoisuudet olivat keskimäärin alhaisemmat kuin muualla Suomessa suoritetuissa mittauksissa. Fosforin ja mangaanin pitoisuudet puolestaan olivat keskimäärin korkeammat.

Taulukko 20. Seinäsammalten alkuainepitoisuuksia Savonlinnan bioindikaattoritutkimuksessa verrattuna eri puolilla Suomea toteutettuihin seinäsammalten alkuainepitoisuuksien mittauksiin (mg/kg). Tulokset lähteistä Metla 2018, Lehtinen ja Lepola 2012, Lehkonen ym. 2011, Huuskonen ym. 2013 ja Ruuth ym. 2016.

| Alue                     | n   | Vuosi | Al    | As   | P    | B    | Cd   | K    | Ca   | Co   | Cr   |
|--------------------------|-----|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Savonlinna               | 15  | 2017  | 182,6 | 0,07 | 3080 | 2,36 | 0,08 | 7740 | 2860 | 0,17 | 1,15 |
| Metla<br>(koko Suomi)    |     | 2010  |       | 0,11 |      |      | 0,12 |      |      |      | 0,97 |
| Seinäjoki                | 41  | 2012  | 285,0 | 0,38 | 1552 | 5,10 | 0,11 | 8739 | 2873 | 0,35 | 3,56 |
| Pohjois-<br>Karjala      | 300 | 2010  |       | 0,16 | 1345 |      | 0,16 |      |      |      | 1,70 |
| Kokkola-<br>Pietarsaari  | 227 | 2012  | 268,0 | 0,23 | 1336 |      | 0,24 |      |      |      | 1,09 |
| Kanta- ja<br>Päijät-Häme | 104 | 2014  |       |      |      |      | 0,17 |      |      |      | 1,12 |

| Alue                     | Vuosi | Cu   | Pb   | Mg   | Mn  | Na   | Ni   | Fe  | S   | Zn   | V    |
|--------------------------|-------|------|------|------|-----|------|------|-----|-----|------|------|
| Savonlinna               | 2017  | 3,13 | 0,79 | 1165 | 378 | 82,9 | 1,64 | 309 | 818 | 30,5 | 0,49 |
| Metla<br>(koko Suomi)    | 2010  | 5,03 | 2,05 |      |     |      |      | 243 |     | 31,0 | 1,09 |
| Seinäjoki                | 2012  | 5,76 | 1,10 | 1389 | 262 | 89,0 | 2,56 | 439 | 945 | 32,0 | 1,22 |
| Pohjois-<br>Karjala      | 2010  | 5,20 | 1,90 | 1171 |     |      | 2,50 | 431 | 922 | 38,0 | 1,60 |
| Kokkola-<br>Pietarsaari  | 2012  | 6,00 | 2,60 | 1084 |     |      | 2,10 | 435 | 979 | 74,0 | 1,10 |
| Kanta- ja<br>Päijät-Häme | 2014  | 6,00 | 3,10 |      |     |      | 1,40 |     |     | 42,0 | 1,39 |

#### 4.4 Muuttujien yhteisvaihtelu

Seinäsammalten alkuainepitoisuuksilla oli vaikutusta jäkälä- ja neulasmuuttujiin (taulukko 21). Boorilla, fosforilla, kromilla, magnesiumilla, natriumilla ja rikillä oli alkuaineista eniten tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita jäkälä- ja neulasmuuttujien kanssa. Eniten näiden alkuaineiden laskeuma vaikutti mäntyjen elinvoimaisuuteen, MS-indeksiin ja luppojen peittävyys. Mäntyjen elinvoimaisuus korreloi tilastollisesti negatiivisesti merkitsevästi sormipaisukarpeen vaurioasteen kanssa, mutta muihin jäkälämuuttujiin se ei vaikuttanut. Tarkastelusta poistettiin antimonin, arseenin, berylliumin ja molybdeenin pitoisuudet, sillä suuri osa näytteistä jäi näiden alkuaineiden pitoisuuksien osalta alle määrittämissä.

Taulukko 21. Jäkälä-, neulas- ja sammalmuuttujien väliset korrelaatiot (Spearman). Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot ( $p < 0,05$ ) on merkitty yhdellä tähdellä (\*) ja hyvin merkitsevät korrelaatiot ( $p < 0,01$ ) on merkitty kahdella tähdellä (\*\*). N(havaintoalat) = 15.

|                 | Neulaset | Hyp. vaurio | Yl. vaurio | Lajilkm | MS     | Hyp. frek. | Br. frek. | Alg.  |
|-----------------|----------|-------------|------------|---------|--------|------------|-----------|-------|
| <b>Neulaset</b> | 1,000    | -,605*      | -,314      | ,287    | ,467   | ,325       | ,449      | ,033  |
| <b>Al</b>       | ,099     | -,181       | ,396       | -,117   | -,359  | -,045      | -,210     | ,342  |
| <b>Ba</b>       | ,039     | -,070       | ,254       | -,140   | -,285  | ,050       | -,101     | ,062  |
| <b>B</b>        | -,606*   | ,432        | ,338       | -,220   | -,387  | -,434      | -,738**   | -,037 |
| <b>P</b>        | -,307    | ,189        | ,368       | -,243   | -,588* | -,234      | -,595*    | ,312  |
| <b>Cd</b>       | -,473    | ,285        | ,125       | ,140    | -,193  | -,545      | -,419     | ,079  |
| <b>K</b>        | -,298    | ,275        | ,321       | -,217   | -,447  | -,260      | -,578*    | ,093  |
| <b>Ca</b>       | -,272    | ,240        | ,361       | -,223   | -,486  | -,255      | -,508     | ,249  |
| <b>Co</b>       | -,332    | ,088        | ,063       | ,017    | -,402  | -,204      | -,246     | ,315  |
| <b>Cr</b>       | -,624*   | ,170        | ,241       | -,226   | -,576* | -,137      | -,181     | ,187  |
| <b>Cu</b>       | -,222    | ,072        | ,190       | ,035    | -,394  | -,210      | -,216     | ,331  |
| <b>Pb</b>       | ,148     | -,195       | ,170       | ,048    | -,115  | -,004      | ,020      | ,095  |
| <b>Mg</b>       | -,372    | ,211        | ,329       | -,230   | -,583* | -,280      | -,568*    | ,342  |
| <b>Mn</b>       | ,212     | -,102       | -,173      | -,064   | ,300   | -,025      | ,173      | -,371 |
| <b>Na</b>       | -,567*   | ,381        | ,315       | -,119   | -,531* | -,461      | -,493     | ,435  |
| <b>Ni</b>       | -,342    | ,107        | -,120      | ,258    | -,198  | -,255      | -,050     | ,284  |
| <b>Fe</b>       | ,001     | -,107       | ,243       | ,028    | -,234  | -,212      | -,158     | ,373  |
| <b>S</b>        | -,499    | ,495        | ,372       | -,166   | -,496  | -,519*     | -,687**   | ,310  |
| <b>Zn</b>       | -,216    | -,003       | -,117      | ,266    | -,159  | -,417      | -,021     | ,377  |
| <b>Sr</b>       | -,037    | -,041       | ,236       | -,099   | -,240  | -,007      | -,145     | ,000  |
| <b>Ti</b>       | ,035     | -,146       | ,154       | ,102    | -,072  | ,137       | ,187      | ,219  |
| <b>V</b>        | -,046    | -,092       | ,044       | ,262    | -,040  | -,218      | ,069      | ,310  |

Faktoritarkastelussa oli mukana kaikki tutkimuksessa havainnoidut muuttujat ja ne 15 havaintoalaa, joilta kaikki analyysit suoritettiin. Faktorianalyysi tiivisti 29 muuttujan vaihtelun 6 faktoriin, jotka selittivät 93,16 % kokonaisvaihtelusta (taulukko 22). Muuttujien saamista latauksilla voidaan selvittää, kuinka paljon faktoreiden avulla voidaan selittää muuttujien vaihtelua (Nummenmaa 2010). Mitä lähempänä lataus on yhtä, sitä paremmin faktori selittää muuttujan vaihtelua. Käytännössä alle 0,3:n faktorilatauksia ei kannata ottaa huomioon ja 0,5:n ylittävät lataukset ovat merkitseviä (Ranta ym. 2012).

Ensimmäinen ja toinen faktori kuvasivat seinäsammalten raskasmetallipitoisuuksia. Ensimmäisen faktorin alkuainepitoisuudet selittävät faktorianalyysin mukaan 55,10 % muuttujien vaihtelusta ja toinen faktori 11,75 %. Kolmas faktori kuvasi yleisen vaurioasteen vaikutusta muuttujiin, ja se selitti 10,02 % muuttujien vaihtelusta. Neljäs faktori kuvasi sormipaisukarpeen vaurioituneisuutta, joka selitti 6,62 % vaihtelusta. Viides faktori kuvasi levän yleisyyttä, ja se selitti 5,94 % vaihtelusta. Kuudes faktori kuvasi kaliumin ja magnesiumin pitoisuuksia, joiden selityssaste jäi 3,73 %:iin.

Taulukko 22. Kaikkien muuttujien faktorianalyysin varimax-rotatoitu komponenttimatriisi. Kunkin muuttujan yli 0,5:n olevat lataukset on lihavoitu ja solu, jossa muuttuja saa suurimman latauksensa, on värjätty punaiseksi.

|                   | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Neulasvuosikerrat | -,317       | ,202        | -,252       | -,680       | ,047        | -,060       |
| Hyp. vaurio       | -,057       | -,046       | -,079       | <b>,805</b> | ,000        | ,324        |
| Yleinen vaurio    | ,097        | ,098        | <b>,919</b> | ,127        | ,081        | ,032        |
| Lajilukumäärä     | ,012        | -,099       | -,966       | ,115        | ,041        | -,132       |
| MS-indeksi        | -,185       | -,015       | -,921       | ,046        | -,199       | -,210       |
| Hyp. frekvenssi   | -,165       | ,054        | ,166        | -,834       | -,376       | ,041        |
| Bry. frekvenssi   | -,057       | -,076       | -,263       | -,288       | -,127       | -,882       |
| Alg. yleisyys     | -,015       | -,081       | ,062        | ,053        | <b>,972</b> | -,003       |
| Al                | <b>,937</b> | ,211        | ,140        | -,037       | ,161        | ,017        |
| Ba                | ,224        | <b>,919</b> | ,091        | -,186       | -,019       | ,133        |
| B                 | <b>,859</b> | ,062        | ,067        | ,287        | -,085       | ,335        |
| P                 | <b>,957</b> | ,117        | ,021        | ,129        | -,093       | ,109        |
| Cd                | <b>,862</b> | ,320        | ,011        | ,317        | ,058        | ,152        |
| K                 | <b>,526</b> | ,456        | ,261        | ,062        | -,058       | <b>,596</b> |
| Ca                | <b>,818</b> | ,409        | ,174        | ,136        | ,066        | ,281        |
| Co                | <b>,944</b> | ,208        | ,106        | ,024        | ,166        | ,132        |
| Cr                | <b>,963</b> | ,061        | ,100        | ,148        | -,065       | ,073        |
| Cu                | <b>,755</b> | ,442        | ,183        | ,004        | ,270        | ,261        |
| Pb                | <b>,533</b> | <b>,814</b> | ,127        | -,065       | ,053        | -,066       |
| Mg                | ,477        | ,416        | ,317        | ,154        | ,337        | <b>,537</b> |
| Mn                | -,653       | ,333        | ,011        | <b>,344</b> | -,306       | -,342       |
| Na                | ,322        | ,189        | ,220        | ,243        | <b>,758</b> | ,260        |
| Ni                | <b>,972</b> | ,111        | -,054       | ,111        | -,043       | ,078        |
| Fe                | <b>,928</b> | ,146        | ,140        | ,013        | ,286        | ,023        |
| S                 | <b>,639</b> | ,444        | ,170        | ,412        | ,250        | ,341        |
| Zn                | <b>,876</b> | ,317        | ,039        | ,199        | ,253        | ,074        |
| Sr                | <b>,601</b> | <b>,700</b> | -,023       | -,107       | -,041       | ,202        |
| Ti                | <b>,965</b> | ,149        | ,004        | -,032       | -,025       | -,078       |
| V                 | <b>,843</b> | ,303        | ,194        | -,083       | ,191        | -,021       |

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Jäkälämuuttajat

Tutkimuksen ensimmäisenä hypoteesina oli, että ydinkeskustassa ja keskustan ympäristössä esiintyy vähemmän ilmansaasteille herkempiä lajeja kuin haja-asutusalueilla. Lajilukumäärässä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa alueiden välillä, joten tämä hypoteesi hylättiin. Lajilukumäärä korreloi kuitenkin negatiivisesti yleisen vaurioasteen kanssa sekä positiivisesti MS-indeksin ja luppojen peittävyysasteen kanssa. Tämä indikoi, että lajilukumäärien laskeminen metodina toimi, mutta se ei paljastanut tilastollisesti merkitseviä eroja alueiden välillä.

Jäkälälajiston alueellisten erojen vähäisyyttä voi selittää, että koko tutkimusalueen jäkälälajisto oli keskimäärin köyhtynyt. Yksikään havaintoala ei ollut jäkälälajistoltaan normaali tai täysin jäkäläautio, joten havaintoalojen lajistossa ei ollut ylipäänsä suurta vaihtelua lajirikkauden suhteen. Ilmansaasteille herkkien lajien harvinaisuus sekä ilmansaasteita hyvin sietävien lajien runsaus indikoivat heikentyneen ilmanlaatua tutkimusalueella. Köyhtynyt lajisto ilmentää myös, että Savonlinnan jäkälälajiston monimuotoisuus on alentunut. Sormipaisukarpeen osalta on huomioitava, että se voi vahvana kilpailijana vallata kasvualaa muilta lajeilta ilman epäpuhtauksien kuormituksen kasvun alkuvaiheessa (Anttonen 1990). Tämä voi osaltaan selittää sormipaisukarpeen esiintymistä jokaisella havaintopuulla sekä muiden lajien samanaikaista harvinaisuutta.

Ilmansaasteille herkkien lajien vähäisyys voi johtua tutkimusalueen heikentyneestä ilmanlaadusta, havaintoalojen huonosta soveltuvuudesta, intensiivisestä metsänhoidosta sekä monista mahdollisista erilaisista yhteisvaikutuksista luontaisten tekijöiden ja ihmisvaikutuksen kanssa. Yksittäisten syiden osoittaminen on mahdotonta, mutta joitain yleistäviä johtopäätöksiä ilmanlaadun vaikutuksesta voidaan kuitenkin jäkälälajiston köyhyyden perusteella johtaa. Moni ilmansaasteille herkistä kartoituslajeista kuten naavat ja lupot, ovat myös vanhojen ja luonnontilaisten metsien indikaattoreita (Stenroos ym. 2011). Tutkimusalueella ei ollut yhtäkään luonnontilaisia havaintoaloja, joten ilmanlaadun lisäksi metsien intensiivinen talouskäyttö on merkittävä vaikuttaja näiden lajien vähäisyyteen. Usein tällaisia pensasmaisia jäkälälajeja havaittiin havaintopuiden oksilla, mutta niitä ei voitu ottaa huomioon lajilukumääriin sillä ne eivät esiintyneet männyn rungolla. Tämän johdosta lajiston köyhyys ilmentää vain männyn runkojen lajiston köyhyyttä, vaikka todellisuudessa havaintoalan puiden oksilla kyseisiä lajeja saattoikin esiintyä.

Tutkielman toisena hypoteesina oli, että jäkälät ovat vaurioituneempia ydinkeskustassa ja keskustan ympäristössä kuin haja-asutusalueilla. Koko jäkälälajiston vaurioituneisuudessa ei ollut ha-

vaittavissa tilastollisesti merkitsevää eroa eri alueiden välillä, mutta sormipaisukarve oli tilastollisesti merkitsevästi vaurioituneempaa keskusta-alueilla kuin haja-asutusalueilla. Hypoteesi piti siis osittain paikkaansa. Sormipaisukarpeen vaurioasteeseen vaikutti kuitenkin myös havaintoalan soveltuvuus ja metsän varttuneisuus, joten kaikki vaurioituneisuus ei todennäköisesti selity pelkällä havaintoalan sijainnilla.

Tutkimusalueen jäkälät olivat keskimäärin selvästi vaurioituneita. Suurin osa sekä havaintoaloista että -männystä luokiteltiin sormipaisukarpeen vaurioasteen osalta selvästi vaurioituneeksi. Yleisen vaurioasteen osalta tutkimusalueen jäkälät olivat myös keskimäärin selvästi vaurioituneita. Näiden vaurioluokitusten toisistaan poikkeavat tulokset selittyvät sillä, että yleisessä vaurioluokituksessa jäkälälajisto luokiteltiin suoraan luokkaan 4 (pahasti vaurioitunut), jos rungolla ei kasvanut ollelleen pensasmaisia jäkälälajeja kuten loppoja, naavoja, harmaaröyhelöä tai hankakarvetta. Tutkitavana olleesta 125 havaintopuusta harmaaröyhelöä esiintyi vain 9 puulla, loppoja 12 puulla ja hankakarvetta sekä naavoja 25 puulla. Tämä selittää myös yleisen vaurioasteen ja lajilukumäärän voimakkaan negatiivisen korrelaation. Sormipaisukarvetta esiintyi tutkimusalueen jokaisella havaintopuulla, joten sormipaisukarpeen osalta vaurioluokitus kattaa koko tutkimusalueen paremmin. Se ei kuitenkaan kuvaa koko lajiston vaurioituneisuutta eikä ota huomioon muita rungolla esiintyviä lajeja kuten yleinen vaurioluokitus.

Jäkälälajistosta ei voida vetää suoria johtopäätöksiä tutkimusalueen ilmanlaadusta ilman havaintoalan jäkälälajistoon vaikuttavien taustamuuttujien huomioimista. Esimerkiksi maaperän kosteudella on todettu olevan suuri vaikutus kasvupaikkatyypikohtaisiin loppomääriin ja maaperän kemiallisten olojen on todettu vaikuttavan kaarnan kemiallisiin ominaisuuksiin ja sitä kautta runkojäkälien elinolosuhteisiin (Kokko ym. 2001). Näiden tekijöiden vaikutus pyrittiin ottamaan huomioon havainnoimalla luontaisia taustamuuttujia jokaiselta havaintoalalta, mutta sen tarkempaa kemiallista analyysiä jäkälien kasvuolosuhteista on niiden pohjalta lähes mahdotonta suorittaa.

Taustamuuttujista luotiin luokkia, joihin havaintoalat jaettiin. Havaintoalat jakautuivat näihin luokkiin hyvinkin epätasaisesti, sillä jokaisessa taustamuuttujaluokassa oli havaittavissa yksi luokka, johon lukeutui enemmän havaintoaloja kuin muihin. Tämä vaikuttaa tulosten tilastollisen tarkastelun luotettavuuteen, sillä harvalukuisempien taustamuuttujaluokkien vaikutus tutkittuihin muuttujiin voi olla sattumanvaraista, eikä taustamuuttujien potentiaaliset todelliset vaikutukset paljastu. Tällöin riski hylätä tosi nollahypoteesi kasvaa (Ranta ym. 2012). Eräissä ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa (esim. Laita ym. 2008b, Huuskonen ym. 2013 ja Ruuth ym. 2016, Lehtonen ym. 2013) taustamuuttujilla on havaittu olevan vaikutusta varsinaisiin muuttujiin. Tässä kartoituksessa taustamuuttujien vaikutus tutkittuihin muuttujiin jäi kuitenkin odotettua vähäisemmäksi.



Havaintoalan soveltuvuudella oli vaikutusta sormipaisukarpeen vaurioasteeseen ja levän yleisyyteen. Havaintoalan soveltuvuuden on havaittu vaikuttavan jäkälän vaurioihin, levän yleisyyteen ja lajilukumääriin muissakin jäkäläkartoituksissa (esim. Lehtonen ym. 2013 ja 2011). Mitä huonommin havaintoala soveltui jäkäläkartoitukseen, sitä vaurioituneempaa sormipaisukarve oli. Myös leivää esiintyi huomattavasti enemmän kartoitukseen huonosti soveltuvilla havaintoaloilla. Lähtökohteisesti kartoitukseen huonosti soveltuvat havaintoalat olivat ydinkeskustan ja taajama-alueiden havaintoaloja, jotka olivat alttiimpia kulutukselle esim. pienialaisuuden, rannikkovaikutuksen ja virkistyskäytön johdosta. Ydinkeskustassa ja keskustan ympäristössä havaintoalan soveltuvuutta heikensi asutuksen, teiden ja vesistöjen aiheuttamat reunavaikutukset. Ydinkeskustan havaintoalojen (erityisesti Kyrönniemen ja Verkkosaaren) puut olivat myös hyvin järeitä, kilpikaarnaisia ja hilseileviä, minkä johdosta kriteerit täyttäviä havaintopuita oli vaikeampi löytää. Havaintoalojen soveltuvuus on näin ollen yhteydessä myös havaintoalan sijaintiin ilmanpäästöjen suhteen kuormittuneilla alueilla.

Haja-asutusalueilla havaintoalojen soveltuvuutta heikensi metsien voimakas talouskäyttö. Suurin osa haja-asutusalueiden havaintoaloista oli käsiteltyä talousmetsää, jota oli harvennettu tai joiden läheisyydessä oli avohakattuja alueita. Tämän takia jäkälän kasvuolosuhteet ovat voineet muuttua merkittävästikin lyhyen ajan sisällä. Puuston harvennus lisää havaintoalan valoisuutta, paahteisuutta ja altistaa havaintopuiden runkoja tuulelle. Läheisen avohakkuun reunavaikutus vaikuttaa samalla tavalla havaintoalan reunavyöhykkeellä.

Tässä kartoituksessa sormipaisukarpeen vauriot lisääntyvät puun halkaisijan kasvaessa. Tämä ei ole havaintona täysin poikkeava, sillä sormipaisukarpeen vaurioasteen ja puun halkaisijan välillä on havaittu myös muissa jäkäläkartoituksissa erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio (esim. Lehtonen ym. 2013 ja 2011, Huuskonen ym. 2010). Tässä kartoituksessa järeimmät havaintopuut sijaitsivat ydinkeskustan virkistys- ja taajamametsissä (Kyrönniemellä, Verkkosaarella, Lypsyniemellä ja Talvisalon hautausmaalla). Näiden alueiden havaintoalat soveltuivat muutenkin heikommin kartoitukseen, sillä ne olivat pienialaisia ja kulutukselle alttiimpia mm. virkistyskäytön ja vesistöjen läheisyyden johdosta. Lisäksi taajama-alueilla on enemmän päästölähteitä, minkä on todettu useasti olevan syynä sormipaisukarpeen tausta-aloja selkeämpiin vaurioihin (esim. Ruuth ym. 2016, Huuskonen ym. 2013, Lehtonen ym. 2013 ja 2011).

Joissain jäkäläkartoituksissa on havaittu positiivisia korrelaatioita pohjapinta-alan ja esimerkiksi levän yleisyyden ja sormipaisukarpeen peittävyys kanssa (esim. Huuskonen ym. 2010), mutta toisissa korrelaatioita ei puolestaan ole havaittu (esim. Huuskonen ym. 2013). Tässä tutkielmassa puuston pohjapinta-alalla ei ollut vaikutusta jäkälämuuttujiin. Tässä kartoituksessa sormipaisukarpeen peittävyys oli suurempi ja vaurioaste alhaisempi varttuneissa kuin kypsissä metsissä, mikä on

ollut yleistä myös muissa vastaavissa kartoituksissa (esim. Lehtonen ym. 2011). Tätä voi osaltaan selittää myös se, että nuoremmat havaintopuut sijaitsivat tausta-aloilla.

Metsätyypit eivät vaikuttaneet tutkittuihin jäkälämuuttujiin. Useassa Suomessa toteutetuissa bi-indikaattoritutkimuksissa metsätyyppien on havaittu vaikuttavan jäkälämuuttujiin (esim. Ruuth ym. 2016, Keskitalo ym. 2015a, Huuskonen ym. 2013, Lehtonen ym. 2011, Huuskonen ym. 2010). Esimerkiksi sormipaisukarpeen vaurioiden ja peittävyysien on havaittu olevan sitä suurempia, mitä rehevämällä metsätyypillä havaintoala sijaitsi. Karuilla, valoisilla ja kuivilla havaintoaloilla sormipaisukarpeen on usein havaittu olevan terveempää. Lisäksi karummilla kasvupaikoilla (CT, VT) on esiintynyt usein enemmän lajeja kuin rehevämällä kasvupaikoilla (MT, OMT). Myös levän on havaittu yleistyvän kasvupaikkatyypin rehevöityessä (esim. Ruuth ym. 2016). Tässä tutkimuksessa vastaavanlaisia yhteyksiä ei havaittu. Tämä voi osaltaan johtua pienestä otoskoosta ja siitä, että havaintoalat jakautuivat metsätyypiluokkiin epätasaisesti.

Jäkälämuuttujien keskinäisistä korrelaatioista voimakkaimpia olivat sormipaisukarpeen peittävyiden ja vaurioasteen negatiiviset korrelaatiot sekä yleisen vaurioasteen ja MS-indeksin korrelaatio. Mitä vähemmän havaintopuulla havaittiin pistefrekvenssilaskennassa sormipaisukarvetta, sitä vaurioituneempaa se oli. Sormipaisukarpeen vaurioituneisuus korreloi myös loppujen esiintymisen kanssa, sillä mitä terveempää sormipaisukarve oli, sitä enemmän loppuja havaintorungolla tavattiin. Tämä voidaan olettaa indikoivan hyvin ilmanlaadun vaikutusta, mutta loppujen havaintojen vähäisyyden takia sattuma voi vaikuttaa korrelaatiotulokseen.

Lajilukumäärällä ei todettu eroa alueiden välillä tai korrelaatioita puustotunnusten kanssa, mutta lajilukumäärä korreloi odotusten mukaisesti voimakkaasti positiivisesti MS-indeksin ja negatiivisesti yleisen vaurioasteen kanssa. Lajilukumäärän ja MS-indeksin voimakas korrelaatio oli odotettu, sillä MS-indeksi lasketaan havaintopuulla esiintyvien lajien lukumäärän perusteella. MS-indeksi ottaa huomioon vain lajien herkkyyssarvot ja lajien esiintymisen, minkä takia se ei ole niin herkkä havaintoalojen ja vuosien välisten eroavaisuuksien arvioimiseen (Kokko ym. 2001). MS-indeksin tulosten kannalta on siis sama, miten runsaana lajit havaintopuulla esiintyvät – sekä pieni loppoyksilö kaarnan välissä että suuri peittävyys saavat saman arvon. Tämän takia MS-indeksillä ei voida esimerkiksi arvioida ilmanlaadussa tapahtuvia muutoksia vuosien välillä lajien runsaussuhteiden ja vaurioasteiden tavoin, mutta se antaa kuitenkin hyvän yleiskuvan havaintoalan lajiston herkkyydestä ja ilmanlaadusta.

Levän esiintyminen korreloi ainoastaan sormipaisukarpeen peittävyiden kanssa, minkä takia sen merkitys ilmanlaadun indikaattorina osoittautui odotettua vähäisemmäksi. Levä on todettu usein hyväksi ilmanlaadun indikaattoriksi, sillä se korreloi usein kaikkien muuttujien kanssa (esim. Huuskonen ym. 2010 ja 2013). Tässä kartoituksessa levän esiintymisessä ei todettu eroa taajama- ja tausta-

ta-alojen välillä. Levää esiintyi tutkimusalueella ainoastaan 14 puulla Verkkosaaren, Sulosaaren, Alttarkiven ja Heikinpohjan havaintoaloilla, joten vähäiset havainnot ja sattuma voivat vaikuttaa tulokseen.

Levän vähäisyys oli yllättävää myös sen johdosta, että lajilukumäärien ja vaurioasteiden perusteella tutkimusalueen ilmanlaatu on heikentynyt, joten ilmansaasteista hyötyvää levää olisi olettanut esiintyvän alueella enemmän. Useilla keskusta-alueen havaintoaloilla levää saattoi esiintyä kaikista vanhimmillä ja järeimmillä puilla aivan maanrajan tuntumassa (lumirajan alapuolella). Koska havaintopuiksi valittiin läpimitaltaan 20 – 30 cm:n paksuisia puita, eivät tällaiset järeät ja leväpeitteiset puut soveltuneet havaintopuiksi. Jäkälähavainnot suoritettiin tämän lisäksi havaintopuulta lumirajan yläpuolelta, joten mahdollinen leväpeite puun tyvellä ei kirjautunut lajilukumääriin, ellei sitä esiintynyt myös 50 – 200 cm:n korkeudella. Pensasmaisten jäkälien tavoin myös levää saattoi esiintyä havaintoalalla, mutta koska niitä ei havaittu havaintopuun rungolla kartoituskorkeudelta, havaintoalakohtaiset tulokset eivät ota näitä havaintoja huomioon.

Tutkielman kolmas hypoteesi oli, että sormipaisukarpeen ja luppojen peittävyys ovat pienempiä ydinkeskustassa ja keskustan ympäristössä kuin haja-asutusalueilla. Sormipaisukarpeen peittävyys oli tilastollisesti merkitsevästi pienempi keskusta-alueilla verrattuna haja-asutusalueisiin. Tämä oli odotettua ja samanlaisia tuloksia on saatu myös muissa jäkäläkartoituksissa sekä Savonlinnassa (Savonlinnan kaupungin ympäristönsuojelupalvelut 1993, 1997, 2002, 2005a ja 2012) että muualla Suomessa (esim. Laita ym. 2008a ja 2008b, Huuskonen ym. 2010, Lehtonen ym. 2013). Sormipaisukarpeen peittävyys ei ole aivan ongelmaton ilmanlaadun indikaattori, sillä sen suuri peittävyys voi indikoida kuormituksen lisäystä. Se hyötyy kuormituksesta vain tiettyyn rajaan saakka, minkä jälkeen se alkaa vaurioitua. Se on myös vahva kilpailija, joten sen suuri peittävyys voi olla seurausta heikompien kilpailijoiden häviämisestä rungolta. Luppojen peittävyudessa ei havaittu samanlaista eroa alueiden välillä, mutta tätä selittää havaintojen vähäinen määrä koko tutkimusalueella. Tämä hypoteesi piti siis osittain paikkaansa.

Savonlinnan jäkälät ovat Suomen mittakaavassa keskimääräistä vaurioituneempia. Lisäksi Savonlinnan jäkälälajisto on muuta maata köyhtyneempää. Tätä havaintoa voi selittää Savonlinnan vesistöisyys ja maapeitteen pirstoutuminen saaristoisuuden johdosta. Savonlinnassa ei sijaitse suurten kaupunkien tavoin suurteollisuutta tai vilkkaasti liikennöityjä valtateitä ja moottoriteitä, mutta silti jäkälät ovat huomattavasti vaurioituneempia kuin esimerkiksi Uudellamaalla (Keskitalo ym. 2015). Savonlinnassa jäkälät voivat olla vaurioituneempia ilman vastaavaa saastekuormitustakin, koska jäkälät altistuvat kulutukselle ja muille luontaisille stressitekijöille, jotka voivat mahdollisesti saada aikaan jäkälissä samankaltaisia morfologisia muutoksia. Myös em. mainitut korrelaatiot taustamuuttujien kanssa voivat vaikuttaa tuloksiin.

## 5.2 Neulasvuosikerrat

Neulasvuosikertojen perusteella koko tutkimusalueen mäntyjen elinvoimaisuus oli keskimäärin alentunut. Mäntyjä, joilla olisi neulasvuosikertoja kolme tai sitä enemmän, havaittiin ainoastaan haja-asutusalueilla Nikaniemellä, Au-kylässä, Niittylahdessa, Laukunkankaalla, Oravissa ja Tappuvirralla. Tutkielman neljäntenä hypoteesina oli, että mäntyjen elinvoimaisuus olisi alentunut keskusta-alueilla verrattuna haja-asutusalueisiin. Hypoteesi piti paikkaansa, sillä männyt olivat selkeästi elinvoimaisempia haja-asutusalueilla. Ydinkeskustassa ja keskustan ympärillä mäntyjen elinvoimaisuus oli selkeästi alentunut. Tämä vastasi ennakko-odotuksia aikaisempien Savonlinnassa tehtyjen bioindikaattoritutkimusten perusteella (Savonlinnan ympäristönsuojelupalvelut 1993, 1997, 2002, 2005a, 2012). Mäntyjen heikentynyttä elinvoimaisuutta taajama-alueilla ja vilkkaasti liikennöityjen teiden varsilla on havaittu myös muissa neulasvuosikertakartoituksissa (esim. Niskanen ym. 2003, Lehtonen ym. 2013). Yllättävää tässä tutkimuksessa oli, että ydinkeskustassa havaittiin keskimäärin elinvoimaisempia mäntyjä kuin keskustaa ympäröivillä alueilla.

Taustamuuttujilla ei ollut vaikutusta männyn elinvoimaisuuteen, vaikka useissa vastaavissa tutkimuksissa taustamuuttujilla on ollut tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia mäntyjen elinvoimaisuuteen. Esimerkiksi metsätyypillä on todettu olevan vaikutusta neulasvuosikertojen määrään siten, että kuivilla kankailla neulaskato on ollut runsaampaa (esim. Huuskonen ym. 2014, Laita 2008b). Tässä kartoituksessa ainoastaan kartoitukseen hyvin soveltuvilla aloilla havaittiin tilastollisesti merkitsevästi enemmän neulasvuosikertoja kuin huonommin soveltuvilla aloilla. Ydinkeskustassa ja keskustan ympäristössä oli vähemmän kartoitukseen hyvin soveltuvia aloja kuin haja-asutusalueilla, mikä vääristää tämän korrelaation tilastollista merkitsevyyttä. Mäntyjen elinvoimaisuus kuitenkin korreloi negatiivisesti merkitsevästi sormipaisukarpeen vaurioasteen kanssa, joten elinvoimaisilla männyillä havaittiin myös terveempää sormipaisukarvetta.

Valtakunnallisesti tarkasteltuna Savonlinnan mäntyjen elinvoimaisuus on keskimääräistä selkeästi alhaisempi (Ruuth ym. 2016, Lehtonen ym. 2013, Ympäristöpalvelut Helmi 2011, Laita ym. 2008a ja Laita ym. 2008b). Mäntyjen neulasvuosikertojen lukumäärään vaikuttavat ilmanlaadun lisäksi monet muut luontaiset tekijät, minkä johdosta tämän perusteella ei voida todeta Savonlinnan ilmanlaadun aiheuttaneen mäntyjen elinvoimaisuuden alentumista. Esimerkiksi Savonlinnan saaristoisuus heikentää rannikoiden vaikutusalueella esiintyvien mäntyjen elinvoimaisuutta, sillä ne altistuvat tavanomaista enemmän tuulelle, paahteelle ja myrskytuhoille. Myös kartoittajien väliset eroa-

vaisuudet laskentatavassa voivat aiheuttaa muutoksia tuloksissa tutkimusten välillä.

### 5.3 Sammalten alkuainepitoisuudet

Tutkimusalueen seinäsammalnäytteiden alkuainepitoisuudet vaihtelivat havaintoalojen välillä voimakkaasti. Lisäksi monien alkuaineiden välillä havaittiin tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita. Eri alkuaineiden pitoisuuksien yhteisvaihtelu on yleistä seinäsammalissa ja se on todettu monissa bioindikaattoritutkimuksissa (esim. Ruuth ym. 2016, Huuskonen ym. 2013, Lehtonen ym. 2011). Korrelaatiot kertovat usein siitä, että niitä vapautuu samoissa teollisissa ja luonnollisissa prosesseissa. Tässäkin tutkimuksessa fosforin, rikin ja magnesiumin välillä todettiin voimakkaita korrelaatioita, minkä on todettu johtuvan yleensä siitä, että ne ovat kaikki kasveille välttämättömiä ravinteita (Lehtonen ym. 2011).

Luontaisista taustamuuttujista vain puuston järeyttä ja metsikön tiheyttä kuvaavilla muuttujilla oli vaikutusta seinäsammalten alkuainepitoisuuksiin. Mitä suurempi havaintoalan puuston halkaisija ja pohjapinta-ala oli, sitä suuremmat kalsiumin, kaliumin, magnesiumin ja rikin pitoisuudet havaintoalan sammalnäytteistä analysoitiin. Täytyy kuitenkin huomioida, että tutkimusalueen järeimmät puut esiintyivät vanhoissa taajamametsissä lähellä kaupungin keskustaa (kuten Kyrönniemellä ja Verkkosaarella), joten keskusta-alueen suuremmilla päästöillä on todennäköisesti enemmän vaikutusta seinäsammalten alkuainepitoisuuksiin kuin puuston järeydellä tai tiheydellä.

Tutkielman viides hypoteesi oli, että seinäsammalten alkuainepitoisuudet ovat korkeammat ydinkeskustassa ja keskustan ympäristössä kuin haja-asutusalueilla. Boorin, natriumin, kromin ja rikin pitoisuudet olivat korkeammat keskusta-alueilla, joten hypoteesi piti paikkansa neljän alkuaineen osalta. Muiden alkuaineiden alueellinen vaihtelu ei ollut tilastollisesti merkitsevää, joten hypoteesi hylättiin niiden osalta.

Keskimäärin suurimmat alkuainepitoisuudet mitattiin ydinkeskustan havaintoaloilta Lypsyniemi ja Verkkosaari (liite 12). Molemmat pisteet sijaitsevat vilkkaasti liikennöidyn valtatie 14 varrella, minkä johdosta liikenteen päästöt todennäköisesti kasvattavat analysoitua laskeuman määrää. Sammalten solukon sinkki- ja lyijypitoisuuksien on vastaavissa tutkimuksissa todettu olevan sitä korkeampia mitä lähempänä runsaasti liikennöityjä teitä sammalet esiintyvät (esim. Pearson ym. 2000). Myös liikenteen nopeudella ja havaintoalan sijainnin tuulisuudella on todettu olevan yhteys korkeampiin raskasmetallipitoisuuksiin sammalissa. Valtatie 14:llä liikenteen nopeus on ympäri vuoden 60 km/h ja se mukaillee Savonlinnan keskustan pohjoisrantaa, joten liikenteen nopeus ja tuulinen sijainti voivat lisätä liikenteen aiheuttamaa laskeuma Lypsyniemellä ja Verkkosaarella.

Alhaisimpia alkuainepitoisuuksia analysoitiin haja-asutusalueiden havaintoaloilta, erityisesti Parkkalinniemiessä ja Kesamonsaaressa. Kesamonsaaren alhaiset pitoisuudet selittyvät todennäköisesti havaintoalan syrjäisellä sijainnilla. Kesamonsaari on lossiyhteyden päässä oleva saari Pihlajavedellä, joten alueen ihmisvaikutus (liikenne, teollisuus, asutus) ovat selkeästi taajama-alueita vähäisemmät. Parkkalinniemen osalta laskeuman voidaan olettaa lisääntyvän lähitulevaisuudesta, sillä alueella oli tehty laajoja avohakkuuta aivan valtatie 14:n viereen saakka. Näin ollen tulevaisuuden analyyseissä liikenteen päästöt voivat kasvattaa laskeumaa, koska havaintoalan ja tien välissä ei ole enää laajaa metsäaluetta puskurina.

Savonlinnan seinäsammalten alkuainepitoisuudet eivät ole poikkeavan korkeita valtakunnallisesti tarkasteltuna. Ainoastaan fosforin pitoisuus oli tarkastelussa selkeästi korkeampi Savonlinnassa kuin Seinäjoella, Pohjois-Karjalassa tai Kokkola-Pietarsaaressa (Lehtinen ja Lepola 2012, Lehkonen ym. 2011, Huuskonen ym. 2013). Muiden alkuaineiden osalta Savonlinnan laskeuman pitoisuudet sammalissa olivat joko samalla tai alhaisemmalla tasolla. Savonlinnan ilmanlaatu ei siis poikkea sammalten pitoisuuksien osalta juurikaan muusta maasta.

#### 5.4 Muuttujien yhteisvaihtelu

Kaikkien kartoituksen muuttujien väliltä löydettiin yhteyksiä, mutta muuttujien keskinäiset korrelaatiot jäivät odotettua vähäisemmäksi. Varsinkin seinäsammalten alkuainepitoisuuksien vaikutus tutkittuihin jäkälä- ja neulasmuuttujiin jäi vähäiseksi. Tilastollisesti merkitsevät negatiiviset korrelaatiot havaittiin ainoastaan boorin ja luppojen frekvenssin sekä rikin ja luppojen frekvenssin kanssa. Lupot on todettu herkäksi rikkidioksidille, joten tämä korrelaatio oli odotettu. Rikin pitoisuus alensi myös sormipaisukarpeen frekvenssiä havaintoalalla, vaikka sormipaisukarve on rikkidioksidiä melko hyvin kestävä jäkälälaji. Luppojen osalta tulosten luotettavuutta heikentää havaintojen vähäinen määrä, sillä loppoja havaittiin vain pieninä satunnaisina yksilöinä Nojanmaalla, Laukunmalla ja Oravissa (yhteensä 12 havaintopuuta). Fosforin, kromin, magnesiumin ja natriumin laskeuma selitti hiukan MS-indeksin heikompia arvoja ja rikin laskeuma sormipaisukarpeen peittävyyden vähentymistä, mutta muuten laskeuman analysointi ei tarjonnut tällä otoskoolla arvokasta lisätietoa jäkälämuuttujien vaihtelun arviointiin.

Ainoastaan boorin, kromin ja natriumin pitoisuuksilla oli tässä kartoituksessa vaikutusta neulasvuosikertojen lukumäärään. Tämä oli yllättävä tulos, sillä booria on perinteisesti suositeltu käytettäväksi metsän lannoituksessa puiden kasvun tehostamiseksi (Äijälä ym. 2014). Tässä kartoituksessa

runsaas booripitoisuus metsän sammalmatossa heikensi mäntyjen elinvoimaisuutta, mutta muihin muuttujiin boorin laskeumalla ei ollut vaikutusta.

Mikäli havaintoalan sammaleissa oli runsaasti fosforia, kromia, magnesiumia tai natriumia, havaintoalan MS-indeksin arvo oli matalampi. Näiden alkuaineiden laskeumat heikensivät tässä tutkimuksessa ilmansaasteille herkkien lajien osuutta lajistosta. Myös näitä alkuaineita havaittiin eniten ydinkeskustassa Lypsyniemen ja Verkkosaaren havaintoaloilla sekä keskustan ympäristössä Talvisalossa ja jätevedenpuhdistamolla.

Kasvien yleisesti tarvitsemilla alkuaineilla eli typellä, kaliumilla, fosforilla, kuparilla, magnesiumilla ja rikin pitoisuuksien välillä on havaittu vastaavissa tutkimuksissa positiivisia korrelaatioita neulasvuosikertojen lukumäärään (esim. Laita ym. 2008b). Tässä kartoituksessa vastaavia korrelaatioita ei kuitenkaan havaittu vaan näiden alkuaineiden lisäys päinvastoin heikensi mäntyjen elinvoimaisuutta (ei kuitenkaan tilastollisesti merkitsevästi).

Vaikka alkuainepitoisuuksien ja jäkälämuuttujien väliltä ei löytynytäkään odotetulla tavalla korrelaatioita, faktorianalyysin mukaan seinäsammalten alkuainepitoisuudet selittävät kuitenkin yhteensä 70,58 % kaikesta muuttujien välisestä vaihtelusta. Myös muissa vastaavissa tutkimuksissa on havaittu, että faktorianalyysissä havaitaan usea seinäsammalten alkuainepitoisuuksia kuvaava faktori, jotka selittävät eniten muuttujien vaihtelua (esim. Huuskonen ym. 2013). Näiden faktoreiden latauksista on joissain tutkimuksissa tehty myös interpoloinnit kartalle, joista voidaan esimerkiksi selvittää, mistä teollisuuslaitoksesta päästöt ovat peräisin (esim. Huuskonen ym. 2013). Joissain vastaavissa kartoituksissa faktorianalyysissä seinäsammalten alkuainepitoisuuksia kuvaavilla faktoreilla sormipaisukarpeen vaurioaste on saanut suurimman latauksensa (esim. Ruuth ym. 2016), kun taas tässä yhteydessä sormipaisukarpeen suurin lataus oli sen omalla faktorilla. Kaikilla muilla faktoreilla sen lataukset jäivät pieniksi. Sormipaisukarpeen vaurioaste selitti vain 6,62 % muuttujien välisestä vaihtelusta. Sormipaisukarpeen peittävyys sekä männyn neulasvuosikerrat saivat tällä faktorilla suuret negatiiviset lataukset, mikä osoittaa sormipaisukarpeen vaurioiden yhteyden mäntyjen elinvoimaisuuteen ja sen omaan vaurioituneisuuteensa.

Faktorianalyysissä eri faktorit muodostettiin ryhmittämällä jäkälä-, neulas- ja sammalmuuttujia, joiden välillä on suuri korrelaatio. Tämän johdosta se on kiinnostuneempi siitä, kuinka ilmanlaatua kuvaavat muuttujat vaihtelevat yhdessä kuin niiden sisältämän vaihtelun selittämisestä (Ranta ym. 2012). Toisin sanoen faktorianalyysin tulosten perusteella voidaan ainoastaan tarkastella, kuinka kartoitetut muuttujat vaihtelevat yhdessä, eikä varsinaisesti vetää johtopäätöksiä sen suhteen, kuinka paljon ne selittävät aineistossa havaittua vaihtelua. Tässä tutkielmassa faktorianalyysin tulosten luotettavuuteen vaikuttaa, että analyysiin otetut muuttujat eivät korreloineet voimakkaasti keskenään. Muissa vastaavissa tutkimuksissa muuttujien välillä on havaittu voimakkaampia korrelaatioita

(esim. Ruuth ym. 2016), joten myös faktorianalyysin tulosten voidaan ajatella olevan luotettavampia. Tämän lisäksi analyysistä saisi enemmän irti, jos muuttujat olisivat multinormaalisti jakautuneet (Ranta ym. 2012).

## 5.5 Vuosien välinen vertailu

Vuosien välistä vertailua Savonlinnassa aikaisemmin tehtyjen jäkäläkartoitusten osalta voidaan tehdä soveltuvin osin yleisen vaurioasteen, sormipaisukarpeen vaurioasteen, lajilukumäärän, MS-indeksin, neulasvuosikertojen lukumäärän ja sormipaisukarpeen peittävyysasteen osalta. Vertailun kannalta ongelmallista on vuosien välisen tiedon puutteellisuus, havaintoalojen poikkeavuudet sekä havainnoitujen muuttujien vaihtelu. Lisäksi havaintoalojen tarkat sijainnit voivat poiketa toisistaan – esimerkiksi Talvisalon osalta jäkälää on kartoitettu eri vuosina pururadalta, vesitornilta, Talvisalon koululta ja Talvisalon jäähallilta. Vuosien väliset erot voivat em. syistä johtuen aiheutua ainoastaan vuosien välisistä kartoituksen toteuttamiseen liittyvistä eroista. Vertailun onnistumisen takaamiseksi vertailuun on otettu vain ne havaintoalat, joilta on saatavissa kaikki tarvittavat analyysit. Kartoitusten välillä on kuitenkin kulunut vertailun onnistumisen kannalta riittävän pitkä aika, sillä jäkälien on todettu vaativan vain noin vuoden altistumisen ilmentääkseen elinympäristössään tapahtuvia muutoksia ilmanlaadussa (Paoli ym. 2018).

Lajilukumäärä on vaihdellut tutkimusvuosina epälineaarisesti eikä tilastollisessa tarkastelussa havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa vuosien 2005 ja 2017 välillä. Vuonna 1993 havaintopuulla havaittiin keskimäärin viisi lajia, minkä jälkeen lajimäärä on pysynyt aina 3 – 4 välillä. Suurimmat erot lajilukumäärissä on havaittavissa ydinkeskustan ja keskustaa ympäröivien alueiden havaintoaloilla (Talvisalon hautausmaa, Karkulahti sekä Nojanmaan pururata). Lajilukumäärien muutoksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että jäkäläkartoitukset on suorittanut joka vuosi eri kartoittaja, joten kartoittajien kokemus jäkäläkartoituksista voi vaihdella huomattavasti. Lajilukumäärien eroja voi selittää kartoittajien kokemus havainnoitavien lajien tunnistamisesta.

MS-indeksin arvossa on havaittavissa kaksi perättäistä laskevaa trendiä. Vuosina 1993 – 2002 ilmansaasteille herkkien lajien osuus alueen jäkälälajistosta laski MS-indeksin arvosta 3,51 arvoon 2,84. Vuonna 2005 MS-indeksin arvo kohosi hiukan, minkä jälkeen se on laskenut tasaisesti vuoteen 2017 saakka. Vuosien 2005 ja 2017 välillä oli myös tilastollisesti erittäin merkitsevä ero. Savonlinnan ilmansaasteille herkkien lajien osuus jäkälälajistosta on siis laskenut tasaisesti viimeiset 12 vuotta. MS-indeksien arvojen vertailun luotettavuuteen vaikuttaa se, että jäkäläkartoitukset on tehty toisistaan hiukan poikkeavilla tavoilla eri vuosina. Esimerkiksi havainnoitavien lajien luku-



määrä on vaihdellut vuosien välillä. Vuosina 1993 – 2002 havainnoitiin 10 eri lajia neljältä havaintomännyltä kun taas vuosina 2005 – 2017 havainnoitiin 12 eri lajia viideltä havaintomännyltä. Vuosina 1993 – 2002 harmaaröyhelö ja raidanisokarve oli rajattu kartoituksen ulkopuolelle, mutta ne ovat olleet mukana kartoituksissa vuosina 2005 – 2017. Tällä ei ole kuitenkaan oletettavasti suurta vaikutusta MS-indeksien havaintoalakohtaisiin arvoihin, sillä näitä lajeja ei ole juurikaan havaittu jäkäläkartoituksissa.

Sormipaisukarpeet olivat vuoden 2017 kartoituksessa vaurioituneempia kuin minään aikaisempaa kartoitusvuonna. Vuonna 2017 sormipaisukarpeet ovat olleet keskimäärin selvästi vaurioituneita, kun aikaisempina vuosina vaurioituneisuus on vaihdellut lievän ja selvän vaurion välillä. Sormipaisukarve oli myös tilastollisesti erittäin merkitsevästi vaurioituneempaa vuonna 2017 kuin vuonna 2005. Ydinkeskustan havaintoaloilla sormipaisukarpeen vaurioituneisuus on joko pysynyt samanlaisena tai lisääntynyt kahden viimeisen tarkasteluvuoden välillä. Kuten aiemmin on mainittu, sormipaisukarve reagoi ilman epäpuhtauksiin epälineaarisesti. Tämän takia tuloksiin liittyy epävarmuutta. Vuosien välisistä arvoista voidaan kuitenkin tehdä varovaisia johtopäätöksiä ilmanlaadussa tapahtuvista muutoksista. Sormipaisukarpeen vaurioasteen arviointiin liittyy paljon subjektiivista ja kartoittajasta riippuvaista arviointia, joten vuosien väliset erot voivat suurilta osin selittyä myös eri kartoittajien välisillä näkemyseroilla.

Sormipaisukarpeen peittävyiden osalta ei ole havaittavissa selkeää muutosta tutkimusvuosien välillä. Havaintoalojen keskimääräinen peittävyys on noussut hieman viimeisen 15 vuoden aikana 21,0 %:sta 26,0 %:iin. Vuonna 2017 havaittiin kuitenkin sormipaisukarpeen sekä pienimmät (5,0 %) että suurimmat (64,0 %) peittävyudet. Merkittävintä sormipaisukarpeen peittävyiden selkeää laskusuhdannetta on havaittavissa Kyrönniemen, Alttarkiven, Sulosaaren ja Pitkäniemen havaintoaloilla. Kyrönniemen ja Alttarkiven havaintoalat sijaitsevat lähellä UPM:n vaneritehdasta ja Pääskylahden junarataa (dieseljunabussit), mikä voi selittää säännönmukaisen peittävyiden supistumisen vuodesta 1993 alkaen. Varsinkin UPM:n vaneritehtaan päästömäärien kasvu voi selittää sormipaisukarpeen peittävyiden vähentymistä. Sulosaaren havaintoalan kulutukselle alttiit olosuhteet (lisääntynyt virkistyskäyttö ja tuulisuus) sekä Savonlinnan keskustan ohittavan rinnakkaisväylän käyttöönotto voivat selittää sormipaisukarpeen peittävyiden laskua.

Koska sormipaisukarpeen peittävyudet on tehty jokaisena vuonna samalla pistefrekvenssiin perustuvalla metodilla, tulosten vertailuun liittyy vähemmän virhelähteitä. Ruutusapluuna minimoi kartoittajasta riippuvan vaihtelun, joten vuosien välisestä kehityksestä voidaan tehdä luotettavampia arvioita. Suurinta vaihtelua vuosien välillä on havaittavissa haja-asutusalueilla. Etenkin Oravin, Tappuvirran, Au-kylän, Nikaniemen, Ikonniemen ja Ensolan havaintoaloilla kahden viimeisimmän kartoitusvuoden välillä on havaittavissa suurta sormipaisukarpeen peittävyiden kasvamista. Tämä

ero voi selittyä esimerkiksi muuttuneilla havaintoalojen sijainnilla tai metsikön olosuhteissa tapahtuneilla muutoksilla. Myös pieni ilmansaasteiden lisäys voi lisätä sormipaisukarpeen peittävyyttä.

Yleinen vaurioaste on noussut tasaisesti jokaisena tutkimusvuonna. Yleinen vaurioaste oli vuonna 2017 korkeampi kuin minään aikaisempaan tutkimusvuonna, joten jäkälät olivat vuonna 2017 vaurioituneempia kuin koskaan aikaisemmin mittaushistorian aikana. Vuonna 1993 jäkälät olivat keskimäärin selvästi vaurioituneita kun vuonna 2017 jäkälien vauriot lähentelivät jo pahaa vauriota. Jäkälät olivat myös tilastollisesti merkitsevästi vaurioituneempia vuonna 2017 kuin 2005.

Mäntyjen elinvoimaisuus on laskenut vuodesta 2005 vuoteen 2017 tilastollisesti merkitsevästi. Koska mäntyjen elinvoimaisuuteen vaikuttavat ilmanlaadun lisäksi monet luontaiset tekijät, tämä kehitys ei välttämättä johdu ainoastaan ilmanlaadussa tapahtuneista muutoksista. Esimerkiksi maankäytön muutokset, tuholaiset ja taudit sekä muut muutokset mäntyjen elinympäristössä voivat vaikuttaa ilmanlaadua voimakkaammin mäntyjen neulasvuosikertojen lukumäärään ja männyn latvuksen harsuuntuneisuuteen (Lehkonen ym. 2013).

## 5.6 Vertailu keskusta- ja haja-asutusalojen välillä

Kaikkien analysoitujen muuttujien tuloksista oli havaittavissa eroavaisuuksia sen mukaan, sijaitisiko havaintoala ydinkeskustassa, keskustan ympäristössä tai haja-asutusalueella. Yllättävää oli, että ydinkeskustassa havaittiin keskimäärin elinvoimaisempia mäntyjä ja vähemmän vaurioitunutta sormipaisukarvetta kuin keskustan ympäristössä. Täytyy kuitenkin huomata, että ydinkeskustan havaintoaloja oli vain neljä ja ne soveltuivat huomattavasti paremmin jäkäläkartoitukseen. Tämän takia tilastollista tarkastelua varten ydinkeskustan havainnot oli tarkoituksenmukaista yhdistää keskustaa ympäröivien havaintoalojen havaintojen kanssa. Vastaavanlaisissa kartoituksissa havaintoalat on usein jaoteltu pelkästään taajama- ja tausta-alueisiin, eikä taajama-alueita ole erikseen luokiteltu ydinkeskustaan ja keskustaa ympäröiviin alueisiin (esim. Ruuth ym. 2016, Laita ym. 2008a, Laita ym. 2008b).

Jäkälämuuttujien osalta tilastollisesti merkitsevät erot taajama- ja tausta-alojen välillä oli havaittavissa ainoastaan sormipaisukarpeen vaurioasteen ja peittävyysasteen osalta. Muiden lajien alueellinen vaihtelu ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Koska jäkälälajisto oli koko tutkimusalueella köyhtynyt, sormipaisukarve on voinut vallata kasvualaa vahvempana kilpailijana muilta lajeilta, jolloin muiden lajien esiintyminen on voinut olla riippuvaista enemmän sattumasta kuin varsinaisista eroista ilmanlaadussa.

Savonlinnan merkittävimmät teollisuuden päästölähteet sijaitsevat taajama-alueella ja teollisuuden läheisyyden on todettu muissakin jäkäläkartoituksissa lisäävän sormipaisukarpeen vaurioasteita

ja vähentävän lajilukumäärää (esim. Keskitalo ym. 2015b, Lehtonen ym. 2013). Sormipaisukarpeen peittävyyttä tarkasteltaessa on otettava huomioon, että sen esiintyminen ei ole lineaarista sillä se hyötyy pienestä kuormituksen lisäyksestä. Tämän takia sormipaisukarpeen frekvenssit vaihtelevat epälineaarisesti ydinkeskustan, keskustan ympäröivien alueiden ja haja-asutusalueiden välillä.

Mäntyjen elinvoimaisuus erosi tilastollisesti merkitsevästi taajama- ja tausta-alojen välillä. Haja-asutusalueiden männyillä oli keskimäärin yhden neulasvuosikerran verran enemmän neulasvuosikertoja. Tähän voi vaikuttaa ilmanlaadun lisäksi havaintoalan soveltuvuus ja muut luontaiset tekijät. Kuten aiemmin on mainittu, parhaiten kartoitukseen soveltuvat havaintoalat sijaitsivat haja-asutusalueilla ja neulasvuosikertojen lukumäärän ja havaintoalojen soveltuvuuden välillä todettiin positiivinen korrelaatio.

Taajama-alueilla metsänhoito poikkesi merkittävästi haja-asutusalueista. Taajama-alueilla metsät olivat puistomaisesti hoidettuja taajamametsiä, jotka eivät talousmetsän tavoin pyri puuston kasvun maksimointiin tai päätehakkuuseen. Taajametsät olivatkin iäkkäämpiä ja puiden kasvuolosuhteet ovat pysyneet suhteellisen muuttumattomina pitkän aikaa. Haja-asutusalueiden metsien talouskäytön vuoksi metsän rakenteet ovat jatkuvassa muutoksessa harvennus- ja päätehakkuuskiertojen johdosta. Tällöin mäntyjen ja jäkälän elinympäristö voi muuttua nopeasti kuluttavammaksi esimerkiksi harvennusten yhteydessä, kun metsäkoneet jättävät jälkensä metsään. Lisäksi yksittäinen mänty altistuu voimakkaammin tuulelle, paahteelle ja sateelle, kun metsän peitteisyys pienenee. Tämän takia mäntyjen elinvoimaisuuteen ja jäkälän elinolosuhteisiin mahdollisesti vaikuttava metsien laatu vaihteli taajama- ja tausta-alojen välillä.

Suurin osa seinäsammalten alkuainepitoisuuksista oli korkeampia ydinkeskustassa ja keskustan ympäristössä kuin haja-asutusalueella. Tästä huolimatta alkuainepitoisuuksista tilastollisesti merkitsevästi taajama- ja tausta-alojen välillä vaihtelivat vain boorin, kromin, natriumin ja rikin pitoisuudet. Näiden laskeuma selittyy suurilta osin liikenteellä ja kaukokulkeumalla, sillä taajaman näytealojen lähellä ei ollut teollisuutta. Vaikka 25 analysoidusta alkuaineesta vain neljä paljasti tilastollisesti merkitseviä eroja alueiden välillä, tulosta voidaan pitää hyvänä. Joissain vastaavissa tutkimuksissa seinäsammalten alkuainepitoisuuksissa ei ole havaittu yhtä montaa tilastollisesti merkitsevää eroa taajama- ja tausta-alojen välillä (esim. Ruuth ym. 2016).

## 5.7 Tutkimusmenetelmien virhelähteet ja luotettavuus

Kartoittajan kokemus kartoitustyöstä sekä lajintuntemus voivat vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Ensinnäkin lajintuntemuksen tulee olla 12 indikaattorilajin tunnistamista kattavampi, jotta indikaattorilajit eivät sekoitu toisiin lajeihin. Tämä on erityisen tärkeää etenkin luppojen ja naavojen osalta, sillä ne voivat olla hyvinkin samannäköisiä. Epäselvissä tilanteissa esimerkiksi värireagenssien tai mikroskooppien käyttö lajinmäärittämisessä voi olla välttämätöntä (Stenroos ym. 2011). Lisäksi lajin tunnistaminen pelkästään luonnontilaisena on hyödytöntä, sillä voimakkaasti kuormittuneilla alueilla jäkälälajien morfologiset muutokset voivat vaikeuttaa lajintunnistusta huomattavasti.

Kartoitustyö vaatii havainnoijalta myös äärimmäistä huolellisuutta. Esimerkiksi seinäsuomujäkälä yksittäisten suomujen ja leväpeitteen havainnointi kaarnan välistä voi vaatia äärimmäistä tarkkaavaisuutta ja lupin käyttöä havainnoinnin apuna. Leväpeitteen havaitseminen voi lisäksi olla erityisen hankalaa, jos kaarnan pinta on kastunut (Niskanen ym. 2003). Etenkin MS-indeksin laskennassa pienimmänkin esiintymän huomaaminen on tärkeää, koska indeksi ei ota huomioon lajien suhteellisia peittävyksiä vaan pelkän lajin esiintymisen. Lisäksi sormipaisukarpeen vaurioasteen ja yleisen vaurioasteen arvioiminen on loppuen lopuksi aina riippuvaista kartoittajan subjektiivisesta näkemyksestä.

Lisäksi neulasvuosikertojen lukumäärän arvioimiseen liittyy paljon subjektiivista arviointia. Havaintometsikön valoisuus, tarkastelusuunta, sääolosuhteet, puun ikä ym. tekijät voivat vaikuttaa havaintopuun saamaan neulasvuosikertojen arvoon. Näiden tekijöiden vaikutusta voidaan minimoida jatkossa esimerkiksi kartoittajien riittävällä opastuksella ja harjoittelulla sekä arviointitapojen yhtenäistämällä.

Ydinkeskustan ja keskustan ympäristön havaintoaloista kaikki sijaitsivat vesistön välittömässä läheisyydessä, joista Verkkosaari ja Sulosaari sijaitsivat varsinaisilla saarilla. Lisäksi haja-asutusalueiden havaintoaloista suuri osa oli vesistöjen läheisyydessä, joista kuusi sijaitsi saarella tai hyvin saaristoisella alueella (Loikansaari, Kesamonsaari, Ikoinniemi, Nikaniemi, Tappuvirta ja Oravi). Saaristoisuus heikentää merkittävästi jäkälän kasvuolosuhteita, jolloin ne voivat olla vaurioituneempia kuin yhtenäisellä ja suojaaisella metsäalueella.

Havaintoalojen vähäinen lukumäärä voi vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Koko tutkimusalueen ilmanlaadun yleistäminen 25 havaintoalan perusteella lisää sattuman vaikutusta tuloksissa. Vastavanlaiset kartoitukset on toteutettu usein maakunnallisella tai seudullisella tasolla, jolloin havaintoalojen lukumäärä on vaihdellut noin 100 – 800 välillä (esim. Uudenmaan ympäristökeskus 2005, Lehtinen ja Lepola 2012, Lehkonen ym. 2013), mutta myös yhden kaupungin kattavissa tutkimuk-

sisä havaintoalojen määrä on ollut usein vähintään 50 (esim. Niskanen ym. 2003, Polojärvi ja Niskanen 2006, Rundgren 2013, Limo 2017, Koskimäki 2017).

Lisäksi seinäsammalten alkuainepitoisuuksien ja mäntyjen elinvoimaisuuden yleistettävyyden parantamiseksi näytteitä tulisi kerätä tiheämmin. Biomonitoroinnissa yhden sammalnäytteen on todettu edustavan säteeltään vain noin 16 metrin laajuista aluetta (Varela ym. 2010). Myös neulasvuosikertojen yleistettävyyden on todettu olevan vain noin 0,3 km (Partanen ja Veijola 1996), joten näytealojen tiheämpi sijoittelu voisi parantaa tulosten yleistettävyyttä laajemmalle alueelle.

Havaintoalojen metsikkö oli keskimäärin tiheää ja järeää, mikä voi lisätä metsän varjostusta. Tämä voi heikentää jäkälien kasvuolosuhteita. Joissain jäkäläkartoituksissa havaintoalojen puusto on ollut keskimäärin harvempaa (esim. Uudenmaan ympäristökeskus 2005). Lisäksi havaintoaloista suurin osa on yleisesti ollut muissa kartoituksista kuivien kankaiden CT- ja VT-kasvupaikkatyyppien metsikköjä (esim. Niskanen ym. 2003, Ympäristöpalvelut Helmi 2011, Lehtinen ja Lepola 2012). Näin on pyritty minimoimaan aluskasvullisuuden varjostus ja jossain määrin tämä voi myös parantaa jäkälätulosten luotettavuutta. Kuivilla (CT) ja kuivahkoilla (VT) kankailla on havaittu usein enemmän lajeja ja vähemmän leväpeitettä kuin tuoreilla kankailla (MT) (esim. Lehtinen ja Lepola 2012, Huuskonen ym. 2013)

Savonlinnan osalta vuosien välisen vertailun luotettavuutta heikentää se, että jokaisen kartoituksen on tehnyt eri henkilö, jolloin kartoittajat ovat voineet kirjata lajeja eri tavoin. Virhelähteitä voi sisältyä esimerkiksi tyvikarpeiden kirjaamiseen, jos selvästi erotuvan sekovarren lisäksi lajin esiintymäksi on merkitty myös tyvikarpeen esiintymän varhaisvaiheessa esiintyvä jauhomainen kasvusto (Lehkonen ym. 2013). Mikäli aikaisemmissa kartoituksissa myös tällaiset jauhomaiset esiintymät on kirjattu havaintopuukohtaisiin lajimääriin tai sormipaisukarpeen pistefrekvensseihin, voi jäkälien esiintymisen muutoksen arvioinnin luotettavuus heikentyä.

Merkittävä tutkimustulosten vuosien väliseen vertailukelpoisuuteen vaikuttava tekijä on lisäksi havaintoalojen sijainti ja valinta. Aikaisemmissa Savonlinnan kaupungin teettämässä jäkäläkartoituksissa havaintoalat on joko sijoitettu suuripiirteisillä merkinnöillä karttoihin tai niihin on viitattu vain paikannimellä, joten havaintoalojen uudelleen löytäminen oli tutkielman teon suurimpia haasteita. Lisäksi koko tutkimusalueelta oli haastava löytää riittävän yhtenäisiä metsäalueita, joten entiset havaintoalat ovat saattaneet kadota hakuiden ja kaavoituksen takia. Vastaavien ongelmien ennaltaehkäisemiseksi tässä kartoituksessa havaintoalojen tarkat sijainnit merkittiin sekä karttaan että koordinaatteina havaintolomakkeeseen. Tämän lisäksi havaintoaloista otettiin kuvat ja niille laadittiin etsintäohjeet, jotta jatkossa havaintoalojen löytäminen ja valitsemisen ei olisi pelkästään kartoituksen tekijästä riippuvaista.

Seinäsammalnäytteiden keräämisen ja lopullisen laboratorioanalysoinnin onnistumisen kannalta oli tärkeää, että sekä maasto että sammalet olisivat mahdollisimman kuivia. Koska vuoden kesä 2017 oli hyvin sateinen, riittävän pitkä kuiva jakso ajoittui vasta syyskuun alkuun. Tämän johdosta sammalten alkuainepitoisuudet ilmentävät myös kesän 2017 laskeuman vaikutusta, kun jäkälä- ja neulashavaintoihin kesäkauden laskeuma ei ole voinut vaikuttaa. Toisaalta jäkälät reagoivat ilman-  
saasteiden vaikutuksiin hitaasti, joten jäkälissä ei olisi todennäköisesti ehtinyt tapahtua tämän kartoituksen näkökulmasta suurta muutosta kesän aikana.

Seinäsammalten alkuainepitoisuudet ilmentävät keskimäärin hyvin tutkimusalueen laskeumaa, mutta joissain tutkimuksissa männyn neulaset ja kaarna ovat akkumuloineet raskasmetallilaskeumaa tehokkaammin (esim. Samecka-Cymerman ym. 2006). Esimerkiksi neulasten on havaittu olevan tehokkaampia bioakkumulaattoreita mangaanin, nikkelin ja sinkin suhteen kuin seinäsammalet. Männyn rungon on taas havaittu kerryttävän tehokkaammin kadmiumia, kuparia ja nikkeliä kuin seinäsammalten kudokset. Laskeuman analysoiminen seinäsammalten lisäksi neulasista ja kaarnasta olisi voinut tarjota tarkemman kuvan tutkimusalueen laskeumasta, jos useammalla havaintoalalla alkuaineiden pitoisuus olisi ylittänyt määrittämissä rajat. Joissain tutkimuksissa on analysoitu alkuainepitoisuuksia myös jäkälästä, mikä on indikoinut onnistuneesti mm. maankäytön muutosten ja kaupungistumisen lisäävän kuparin, nikkelin, lyijyn, rikin ja sinkin laskeumaa (esim. Styers ja Chappelka 2009). Eri kertymäindikaattorit voivat siis antaa erilaisen kuvan tutkimusalueen laskeuman määrästä.

Tässä kartoituksessa seinäsammalista analysoitiin yhteensä 25 eri alkuaineen pitoisuudet. Osa alkuaineista jäi suurimmassa osassa näytteistä alle määrittämissä rajat eivätkä minkään alkuaineen pitoisuudet olleet huomattavan korkeita. Näin laajan alkuainejoukon analysointi ei tuonut siltä odotettua lisäarvoa laskeuman merkityksestä reaktioindikaattoreihin. Tämän johdosta seuraavassa kartoituksessa ei ole tarkoituksenmukaista analysoida välttämättä kaikkia näitä 25 alkuainetta, vaan joukosta voisi valita esimerkiksi 10 mielenkiintoisinta tai merkittävintä raskasmetallia. Näiden valittujen raskasmetallien pitoisuuksien analysointi ja seuranta mahdollistaisi Savonlinnan alueen laskeuman kehityksen seuraamisen.

Savonlinnan jäkäläkartoitusten yhteydessä voisi jatkossa laskea havaintoaloille IAP-indeksit (index of air purity), joka on nykyään MS-indeksiä käytetympi ilmanpuhtausindeksi. Se ottaa huomioon lajien suhteellisen esiintymisen havaintopuilla ja sitä kautta se voisi tarjota lajien herkkyyssarvojen keskiarvoa kattavammin tietoa havaintoalan ilmanlaadusta. Lisäksi tilastollisiin tarkasteluihin voisi sisällyttää myös päästölähteiden etäisyyden merkityksen havaintoalan jäkälä- ja neulasmuuttujiin.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Käytettyjen bioindikaattorien perusteella ydinkeskustan ja keskustan ympäristön ilmanlaatu on heikentynyt ja siellä on enemmän ilman epäpuhtauksien laskeumaa. Ydinkeskustassa ja keskustan ympäristössä sormipaisukarve oli vaurioituneempaa ja sitä esiintyi vähemmän. Myös mäntyjen elinvoimaisuus oli alentunut. Boorin, kromin, natriumin ja rikin laskeuma oli ydinkeskustassa ja keskustan ympäristössä selkeästi korkeampi kuin haja-asutusalueilla.

Vuosien välillä oli havaittavissa selkeitä kehityssuuntia, mutta muuttujat vaihtelivat vuosien välillä eri tavalla. Jäkälälajien esiintymisestä keltatyvikarve oli selkeästi lisääntynyt sekä harmaa- ja tuhkatyvikarpeet vähentyneet tutkimusalueella vuosien 2005 ja 2017 välillä. Jäkälät ovat myös nyt vaurioituneempia kuin aikaisemmin sekä sormipaisukarpeen että yleisen vaurioasteen perusteella tarkasteltuna. Myös ilmansaasteille herkkien lajien osuus lajistosta on selkeästi laskenut aiemmista kartoituksista. Vuosien väliseen vaihteluun vaikuttavat myös monet luontaiset tekijät, joten bioindikaattorilajien vasteet eivät yksiselitteisesti seuraa esimerkiksi päästömäärissä tapahtuvia muutoksia. Bioindikaattoreiden perusteella ei voida kuitenkaan arvioida suoraan ilmanlaatua, sillä bioindikaattorit ilmentävät vain ilmanlaadussa tapahtuvia muutoksia lajien vasteiden kautta. Tämän lisäksi monet luontaiset tekijät, kuten sateet, voivat vaikuttaa tuloksiin puskuroimalla tai voimistamalla indikaattorilajien vasteita ilman epäpuhtauksia kohtaan.

Tämän tutkielman perusteella valittu tutkimusmetodi toimii kohtalaisesti ilmanlaadun bioindikaatiomenetelmänä. Parhaiten ilmanlaadun bioindikaattorina tässä tutkielmassa toimi sormipaisukarpeen vaurioaste ja peittävyys. Mäntyjen neulasvuosikertoihin vaikuttavat ilmanlaadun lisäksi monet luontaiset tekijät, minkä johdosta neulasvuosikertojen merkitys ilmanlaadun bioindikaattorina oli jäkälämuuttujia heikompi. Lisäksi levän ja luppojen merkitys ilmanlaadun bioindikaattoreina osoittautui tässä tutkielmassa hyvin vähäiseksi. Seinäsammalten alkuainepitoisuudet selittivät jonkin verran jäkälä- ja neulasmuuttujien vaihtelusta, mutta merkitys vaihtelun selittäjänä jäi odotettua vähäisemmäksi.

Ihmistoiminnan ja saaristoisuuden vaikutukset korostuvat tutkimuksen tuloksissa. Luonnontilaisten metsien vähäisyys ja talousmetsien voimakas metsänhoito vaikeuttivat sopivien havaintoalojen löytämistä ja heikensivät niiden sopivuutta kartoitukseen. Voimakkaasti käsitellyissä metsissä jäkälälajisto voi olla yhtä köyhtynyttä kuin ydinkeskustan taajamametsissä, jos metsänhoito heikentää liikaa jäkälälajien elinolosuhteita. Lisäksi Savonlinnan saaristoisuus pirstoo luonnostaan metsäalueiden yhtenäisyyttä, minkä takia järvien reunavaikutukset voivat vaikuttaa jäkälätuloksiin.

Jotta Savonlinnan alueen ilmanlaatua voidaan mahdollisimman luotettavasti seurata bioindikaatiolla, tulisi vastaavanlaisia tutkimuksia suorittaa vähintään kymmenen vuoden välein. Vuosien välisten kartoitusten virhelähteitä tulisi pyrkiä minimoimaan valitsemalla mahdollisuuksien mukaan täysin samat havaintoalat. Lisäksi seinäsammalten alkuainepitoisuuksien seuraaminen tarjoaa mielenkiintoista tietoa alueiden ilman epäpuhtauksien laskeumien kehityksestä. Lisäksi elohopean ja typen lisääminen analyysieihin voisi tarjota mielenkiintoista lisätietoa Savonlinnan laskeumasta. Myös alkuainepitoisuuksien analysoiminen muista kertymäindikaattoreista kuten jäkälien kudoksista, männyn kaarnasta sekä neulasista voisi tarkentaa laskeuman analyysiä.

## KIITOKSET

Haluan kiittää Savonlinnan ympäristönsuojelupalveluita graduaiheesta sekä sen toteuttamisen taloudellisesta tukemisesta. Lisäksi haluan kiittää työni ohjaajia Sari Kontunen-Soppelaa ja Teemu Tahvanaista arvokkaista neuvoista työn toteutuksessa. Kiitokset kuuluvat myös esimiehelleni Mikkelin ympäristöpäällikkö Hanna Pasoselle, joka ystävällisesti mahdollisti minulle parin kuukauden opintovapaan työn loppuun saattamiseksi.



## LÄHTEET

- Anttonen, P. 1990: Laskeuman ravinteiden vaikutus sormipaisukarvejäkälän (*Hypogymnia physodes*) kasvuun. – Opinnäytetutkielma. Ekologisen ympäristöhygienian laitos. Kuopion yliopisto. – 92 s. Kuopio.
- Ashcroft, S., Pereira, C. 2003: Practical Statistics for the Biological Sciences. – 167 s. Palgrave Macmillan. New York.
- Berg, T. ja Steinnes, E. 1997: Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: From relative to absolute deposition values. Environmental Pollution Vol. 98, No. 1: 61-71.
- Conti, M., Gecchetti, G. 2000: Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. Environmental Pollution 114 (2001): 471 – 492.
- Cuypres, A., Smeets, K. ja Vangronsveld, J. 2009: Heavy metal stress in plants. – Teoksessa: Hirt, H. (toim.) 2009: Plant stress biology. Wiley-Blackwell. Weinheim. 161 – 178 s.
- Derome, J., Väre, H., Lindroos, A., Nikonov, V., Niska, K., Ohtonen, R. 1995: The impact of deposition on forest soils. Teoksessa: Tikkanen, E., Niemelä, I. (toim.) 1995: Kola Peninsula pollutants and forest ecosystems in Lapland. Final Report of the Lapland Forest Damage Project. 37 – 38 s.
- Harmens, H., Norris, D.A., Steinnes, E., Kubin, E., Piispanen, J., Alber, R., Aleksiyenak, Y., Blum, O., Coşkun, M., Dam, M., De Temmerman, L., Fernández, J.A., Frolova, M., Frontasyeva, M., González-Miqueo, L., Grodzińska, K., Jeran, Z., Korzekwa, S., Krmar, M., Kvietkus, K., Leblond, S., Liiv, S., Magnússon, S.H., Maňkiovská, B., Pesch, R., Rühling, Å., Santamaria, J.M., Schröder, W., Spiric, Z., Suchara, I., Thöni, L., Urumov, V., Yurukova, L. ja Zechmeister, H.G. 2010: Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: Spatial patterns and temporal trends in Europe. Environmental Pollution 158 (2010): 3144 – 3156.
- Hotanen, J-P., Nousiainen, H., Mäkipää, R., Reinikainen, A., Tonteri, T. 2013: Metsätyypit – opas kasvupaikkojen luokitteluun. – 192s. Metsäntutkimuslaitos. Metsäkustannus Oy.
- Huuskonen, I., Lehtonen E., Keskitalo, T., Laita, M. 2010: Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2009. Uudenmaan Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 4/2010. – 186 s. Edita Prima Oy. Helsinki.
- Huuskonen, I., Lehtonen, E., Laita, M. 2013: Kokkolan ja Pietarsaaren seudun ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2012. Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja 177. – 145 s. Jyväskylän yliopistopaino.
- Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E., Mikkilä, H., Nieminen, T. (toim.) 1993: Metsäluonto ja ilman saasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446. – 221 s. Gummerus. Jyväskylä.
- Ilmansuojelulaki (67/1982). <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1982/19820067>. 23.4.2018.
- Jussila, I., Joensuu, E., Laiho, P. 1999: Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. - 57 s. Edita. Helsinki.
- JPP Kalibrointi Ky (toim. Pulkkinen, J.) 2007: Savonlinnan ilmanlaadunmittausten raportti 4/2006 – 2/2007.
- JPP Kalibrointi Ky (toim. Pulkkinen, J.) 2012: Savonlinnan ilmanlaadunmittausten vuosiraportti vuonna 2012.
- JPP Kalibrointi Ky (toim. Pulkkinen, J.) 2017: Savonlinnan ilmanlaadunmittausten vuosiraportti vuonna 2016.
- Kalliola, R. 1973: Suomen kasvimaantiede. – 308 s. WSOY. Porvoo.
- Keskitalo, T., Laita, M., Järvisalo, K., Ruuth, J., Toivanen, H. 2015a: Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2014. Uudenmaan Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen raportteja 109/2015. – 105s. Juvenes Print Oy.

- Keskitalo, T., Laita, M., Järvisalo, K. 2015b: Kilpilahden teollisuusalueen ympäristön ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2014. Nab Labs Oy Ambiotica. Tutkimusraportti 111/2015. – 44s. <http://docplayer.fi/25802182-Kilpilahden-teollisuusalueen-ympariston-ilmanlaadun-bioindikaattoritutkimus-vuonna-2014.html> 9.4.2018.
- Kokko, A., Mäkelä, K., Tuominen, S. 2001: Runkoepifyyttiseuranta Suomen ympäristön yhdenne-  
tyn seurannan alueilla vuosina 1988 – 1998. Suomen ympäristö 476. – 82 s. Oy Edita Ab. Hel-  
sinki.
- Koskimäki, T. 2017: Nokian kaupungin jäkäläkartoitus 2017. Nokian kaupungin ympäristönsuoje-  
luyksikön julkaisuja 2/2017. – 48s. [http://docplayer.fi/69778713-Jakalakartoitus-teemu-](http://docplayer.fi/69778713-Jakalakartoitus-teemu-koskimaki-nokian-kaupungin-ymparistonsuojeluyksikko.html)  
[koskimaki-nokian-kaupungin-ymparistonsuojeluyksikko.html](http://docplayer.fi/69778713-Jakalakartoitus-teemu-koskimaki-nokian-kaupungin-ymparistonsuojeluyksikko.html) 10.4.2018.
- Kularante, K.I.A., de Freitas, C.R. 2013: Epiphytic lichens as biomonitors of airborne heavy metal  
pollution. – *Environmental and Experimental Botany* 88 (2013): 24-32.
- Kulmala, A., Leinonen, L., Ruoho-Airola, T., Salmi, T. ja Waldén, J. 1998: Air quality trends in  
Finland. Ilmanlaatumittauksia, Air quality measurements. Ilmatieteen laitos. Helsinki. – 91s.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehtonen, E., Ellonen, T. 2008a: Vakka-Suomen alueen  
ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2006 – 2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tie-  
donantoja 164. Jyväskylän yliopisto. Ympäristöntutkimuskeskus. – 79s. Kopijyvä Oy, Jyväskylä.
- Laita, M., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Lehtonen, E. 2008b: Vaasan alueen ilmanlaadun bioindi-  
kaattoritutkimus vuosina 2006 – 2007. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 168. Jyväsk-  
ylän yliopisto. Ympäristöntutkimuskeskus. – 75s. Kopijyvä Oy, Jyväskylä.
- Lehtonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Nevalainen, S., Poikolainen, J. 2011: Pohjois-Karjalan  
maakunnan ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2011. Pohjois-Karjalan elinkeino-, lii-  
kenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2011. – 110s. Kopijyvä Oy, Jyväskylä.
- Lehtonen, E., Huuskonen, I., Keskitalo, T., Laita, M. 2013: Etelä-Karjalan maakunnan ilmanlaadun  
bioindikaattoriseuranta vuonna 2012. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 176. Jyväsky-  
län yliopisto. Ympäristöntutkimuskeskus. – 99s. Kopijyvä Oy, Jyväskylä.
- Lehtinen, K., Lepola, A. 2012: Seinäjoen seudun bioindikaattoritutkimus vuonna 2012. – 70s.  
Ramboll Finland Oy. [http://docplayer.fi/12725082-Seinajoen-seudun-bioindikaattoritutkimus-](http://docplayer.fi/12725082-Seinajoen-seudun-bioindikaattoritutkimus-2012.html#show_full_text)  
[2012.html#show\\_full\\_text](http://docplayer.fi/12725082-Seinajoen-seudun-bioindikaattoritutkimus-2012.html#show_full_text) 9.4.2018.
- Limo, J. 2017: Turun seudun jäkäläkartoitus 2015. Turun kaupungin ympäristöjulkaisuja 1/2017. –  
24s.
- Lodenius, M., Manninen, S., Nieminen, T., Raiskinen, H., Ranta, P., Willamo, R. 2002: Bioindi-  
kaattorit. Ympäristönsuojelun opetusmonisteita N:o 21. Helsingin yliopisto, Limnologian ja ym-  
päristönsuojelun laitos.
- Lodenius, M., Manninen, S., Nieminen, T., Raiskinen, H., Ranta, P., Willamo, R. 2010: Bioindi-  
kaattorit. Opetusmoniste. – 63 s. Helsingin yliopisto.  
[http://www.helsinki.fi/ymparistotieteet/opiskelu/ymparistonmuutos\\_ja\\_politiikka/opmon/Opmon](http://www.helsinki.fi/ymparistotieteet/opiskelu/ymparistonmuutos_ja_politiikka/opmon/Opmon)  
[21-2010c.pdf](http://www.helsinki.fi/ymparistotieteet/opiskelu/ymparistonmuutos_ja_politiikka/opmon/Opmon). 21.3.2017.
- 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., Forsius, M. (toim.) 1996: 5th Annual  
Report 1996. The Finnish Environment 27: 55 – 79 s.
- Maré, M., Tobiszewski, M., Zabiegala, B., de la Guardia, M. ja Namieśnik, J. 2015: Current air  
quality analytics and monitoring: A review. – *Analytica Chimica Acta* 853 (2015): 116-126.
- Metsäntutkimuslaitos. 2018: Raskasmetalli- ja typpilaskeuma Suomessa – kartoitus sammalien pi-  
toisuuksien perusteella 1985 – 2010. Sammalten raskasmetallipitoisuuksia Suomessa 1985 –  
2010. <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/tulokset.htm> 9.4.2018.
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2014: Hyvän metsänhoidon suositukset. Maastotaulukot. –  
48s. Metsäkustannus Oy. Markprint Oy.

- Niskanen, I., Polojärvi, K., Haahla, A., Laitakari, V. 2003: Kotkan kaupungin ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2002. – 86s. Jyväskylän yliopisto. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 155. Jyväskylän yliopistopaino.
- Nummenmaa, L. 2010: Käyttätymistieteiden tilastolliset menetelmät. – 460 s. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Kariston Kirjapaino Oy, Hämeenlinna.
- Oksanen, J., Holopainen, T., Kovanen, T., Kuusinen, M., Mikkola, K., Ohtonen, R., Poikolainen, J., Ritari, A., Sutinen, M., Tarhanen, S., Väre, H. 1995: Lichens are most sensitive. Teoksessa: Tikkanen, E., Niemelä, I. (toim.) 1995: Kola Peninsula pollutants and forest ecosystems in Lapland. Final Report of the Lapland Forest Damage Project. 39 – 43 s.
- Paoli, L., Vannini, A., Fačkovcová, Guarnieri, M., Bačkor, M., Loppi, S. 2018: One year of transplant: Is it enough for lichens to reflect the new atmospheric conditions? – Ecological Indicators 88 (2018): 495-502.
- Partanen, P. ja Veijola, H. 1996: Bioindikaattoriseurannan tilastollinen arviointi. – 43 s. YTV, Helsinki. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996:18. ISSN 0357-5454.
- Pearson, J., Wells, D., Seller, K., Bennett, A., Soares, A., Woodall, J. ja Ingrouille, M. 2000: Traffic exposure increases natural <sup>15</sup>N and heavy metal concentrations in mosses. – New Phytologist. (147/2000): 317-326.
- Poikolainen, J., Lippo, H., Hongisto, M., Kubin, E., Mikkola, K. ja Lindgren, M. 1998: On the abundance of epiphytic green algae in relation to the nitrogen concentrations of biomonitors and nitrogen deposition in Finland. – Environmental Pollution 102, S1 (1998): 85-92.
- Polojärvi, K., Niskanen, I. 2006: SO<sub>2</sub>- NO<sub>x</sub>-kuormituksen vaikutukset bioindikaattoreihin pääkaupunkiseudulla 1990-2004. – 69s. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja. ISSN: 1235-9718.
- Pöykiö, R., Tervaniemi, O-M., Torvela, H., Perämäki, P. 2006: Heavy metal accumulation in woodland moss (*Pleurozium schreberi*) in the area around a chromium opencast mine at Kemi, and in the area around the ferrochrome and stainless steel works at Tornio, Northern Finland. – International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 81:2 (2006): 137-151.
- Raitio, H., Anttila, P., Bäck, J., Haukioja, E., Honkanen, T., Huttunen, S., Jukola-Sulonen, E., Koivisto, L., Koponen, J., Kukkola, E., Lamppu, J., Lindgren, M., Salemaa, M., Sutinen, M., Sutinen, S., Tuominen, J., Turunen, M. 1995: Scots pine condition as indicated by needles. Teoksessa: Tikkanen, E., Niemelä, I. (toim.) 1995: Kola Peninsula pollutants and forest ecosystems in Lapland. Final Report of the Lapland Forest Damage Project. 47 – 49 s.
- Ranta, E., Rita, H., Kouki, J. 2012: Biometria – Tilastotiedettä ekologeille. – 569 s. Gaudeamus Helsinki University Press. Helsinki.
- Rikkinen, J. 2008: Jäkälät & sammalet Suomen luonnossa. – 208 s. Otava. Keuruu.
- Rousk, K., Degboe, J., Michelsen, A., Bradley, L., Bellenger, J.P. 2017: Molybdenum and phosphorus limitation of moss-associated nitrogen fixation in boreal ecosystems. – New Phytologist. Vol. 214 (1/2017): 97-107.
- Rundgren, E. 2013: Kuopion kaupungin ilmanlaatua mittaava jäkäläbioindikaattoritutkimus vuonna 2013. – 21s.
- Ruuth, J., Toivanen, H., Kuhmonen, I., Leppänen, E., Kiljunen, A. 2016: Kanta- ja Päijät-Hämeen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 2014. Raportteja 6/2016. – 158 s. Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
- Rühling, Å., Steinnes, E. ja Berg, T. 1996: Atmospheric heavy metal deposition in the nordic Europe 1995. Nordisk ministerråd. NORD 1996:37. Kööpenhamina. – 46s.
- Samecka-Cymerman, A., Kosior, G., Kempers, A.J. 2006: Comparison of the moss *Pleurozium schreberi* with needles and bark of *Pinus sylvestris* as biomonitors of pollution by industry in Stalowa Wola (southeast Poland). – Ecotoxicology and Environmental Safety 65 (2006): 108-117.

- Savonlinnan kaupungin ympäristönsuojelulautakunta, Leskelä, K. 1990: Sammalpallo- ja jäkälätutkimukset sekä männyn neulasvuosikertojen kartoitus Savonlinnassa kesällä 1989. – 20 s. Savonlinna.
- Savonlinnan kaupungin ympäristönsuojelupalvelut, 1993: Männyn runkojäkälä- ja neulasvuosiker-takartoitus. Savonlinna.
- Savonlinnan kaupungin ympäristönsuojelupalvelut, 1997: Männyn runkojäkälä- ja neulasvuosiker-takartoitus. Savonlinna.
- Savonlinnan kaupungin ympäristönsuojelupalvelut, 2002: Männyn runkojäkälä- ja neulasvuosiker-takartoitus Savonlinnassa kesällä 2002. – 16 s. Savonlinna.
- Savonlinnan kaupungin ympäristönsuojelupalvelut. 2005a: Männyn runkojäkälä- ja neulasvuosiker-takartoitus Savonlinnassa keväällä 2005. – 21 s. Savonlinna.
- Savonlinnan kaupungin ympäristönsuojelupalvelut. 2005b: Seinäsammal- ja maanäytteiden metalli-pitoisuustutkimukset vuonna 2005. Enonkosken entisen nikkelikaivoksen ympäristö ja malmiri-kasteen kuljetusreitti. – 19 s. Savonlinna.
- Savonlinnan kaupungin ympäristönsuojelupalvelut. 2012: Männyn runkojäkälä- ja neulasvuosiker-takartoitus Savonlinnassa vuosina 2011 - 2012. – 17 s. Savonlinna.
- Savonlinnan kotisivut: Savonlinna-tietoa. <http://www.savonlinna.fi/savonlinna-tietoa>. 21.3.2017.
- Scott, D., Bradley, L., Bellenger, J.P., Houle, D., Gundale, M., Rousk, K. ja DeLuca, T. 2018: An-thropogenic deposition of heavy metals and phosphorus may reduce biological N<sub>2</sub> fixation in bo-real forest mosses. – *Science of the Total Environment* 630 (2018): 203-210.
- Spribile, T., Tuovinen, V., Resl, P., Vanderpool, D., Wolinski, H., Aime Catherine, M., Schneider, K., Stabentheiner, E., Toome-Heller, M., Thor, G. Mayrhofer, H., Johannesson, H. ja McCutcheon, John P. 2016: Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. – *Science* Vol. 353 (6298): 488-492.
- Stenroos, S., Ahti, T., Lohtander, K., Myllys, L. (toim.) 2011: Suomen jäkäläopas. – 534 s. Luon-nontieteellinen keskusmuseo. Vammalan kirjapaino Oy, Sastamala.
- Styers, D., Chappelka, A. 2009: Urbanization and atmospheric deposition: Use of bioindicators in determining patterns of land-use change in West Georgia. – *Water Air Soil Pollut* 200:371 (2009): 371-386.
- Tuominen Y. ja Jaakkola, T. 1974: Absorption and accumulation of mineral elements and radioac-tive nuclides. Teoksessa: Ahmadjian, V. ja Hale, M.E. (toim.). 1974: *The Lichens*. Academic Press. London. 185 - 223 s.
- Tyler, G. 1971: Moss analysis – a method for surveying heavy metal deposition. Konferenssijulkai-su teoksessa: *International Clean Air Congress, Proceedings* (1971): 129-132.
- Uudenmaan ympäristökeskus. 2005: Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueen ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuosina 2004 ja 2005. – 12s. Jyväskylän ympäristöntutkimuskeskus. <http://docplayer.fi/48918506-Uudenmaan-ja-ita-uudenmaan-maakuntien-alueen-ilmanlaadun-bioindikaattoriseuranta-vuosina-2004-ja-2005.html> 9.4.2018.
- Van der Wat, L. ja Forbes, P.B.C. 2015: Lichens as biomonitors of organic air pollutants. – *Trends in Analytical Chemistry* 64 (2015): 165-172.
- Varela, Z., Fernández, J.A., Aboal, J.R., Real, C., Carballeira, A. 2010: Determination of the opti-mal size of area to be sampled by use of the moss biomonitoring technique. – *Journal of Atmos-pheric Chemistry* 65 (2010): 37-48.
- Waldén, J., Saari, H. ja Ruoho-Ahola, T. 2000: Background air quality in Finland in 2000. Tausta-alueiden ilmanlaatu Suomessa 2000. Ilmatieteen laitos, Helsinki. – 19s. <http://www.metla.fi/julkaisut/mt/2002/879/mt879s23-41.pdf> 10.5.2018.
- Ympäristöpalvelut Helmi. 2011: Haapaveden kaupungin ilman bioindikaattoriseuranta vuonna 2011. Pöyry Finland Oy. – 32s.

- Zechmeister, H., Dullinger, S., Hohenwallner, D., Riss, A., Hanus-Ilmar, A. ja Scharf, S. 2006: Pilot study on road traffic emissions (PAHs, heavy metals) measured by using mosses in a tunnel experiment in Vienna, Austria. – *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 13 (6): 398-405.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. ja Väisänen, P. (toim.) 2014: Hyvän metsänhoidon suositukset – Metsänhoito. – 264 s. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. Metsäkustannus Oy.

## LIITTEET

1. Maastotöiden havaintolomake
2. Havaintoalat
3. Sormipaisukarpeen vaurioasteet ja yleisen vaurioasteen esimerkkejä
4. Sormipaisukarpeen (*H. physodes*) ja luppojen (*Bryoria* spp.) esiintymisfrekvenssit havaintoaloittain
5. Yleisen vaurioasteen ja sormipaisukarpeen vaurioasteen mediaaniluokat havaintoaloilla sekä MS-indeksin ja lajilukumäärän havaintoalakohtaiset keskiarvot
6. Sormipaisukarpeen peittävydet havaintoaloilla vuosina 1993 – 2017
7. Sormipaisukarpeen vaurioasteet havaintoaloilla vuosina 1993 - 2017
8. Yleiset vaurioasteet havaintoaloilla vuosina 1993 – 2017
9. Lajilukumäärät havaintoaloilla vuosina 1993 – 2017
10. MS-indeksit havaintoaloilla vuosina 1993 – 2017
11. Neulasvuosikertojen havaintoalakohtaiset mediaanit vuosina 1993 - 2017
12. Seinäsammalnäytteiden alkuainepitoisuudet

## 1. HAVAINTOALA

|                                                            |                                                              |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Tekijä:</b>                                             | <b>Metsätyyppi:</b>                                          |
| <b>Päivämäärä:</b>                                         | <b>Puuston keskimääräinen korkeus:</b> m                     |
| <b>Havaintoalan sijainti:</b>                              | <b>Puiden keskimääräinen d(1,3):</b> cm                      |
| <b>Havaintoalan etsintäohje:</b>                           | <b>Puuston kehitysluokka:</b><br>nuori varttunut kypsä       |
| <b>Havaintoalan soveltuvuus:</b><br>hyvä kohtalainen huono | <b>Havaintoalan topografia:</b><br>tasainen vaihteleva rinne |
| <b>Sää:</b>                                                | <b>Valtalajien pohjapinta-alat:</b> m <sup>2</sup> /ha       |
| <b>Näytteidenotto:</b>                                     | <b>Valokuvat:</b>                                            |

## 2. LAJIEN RUNSAUS: FREKVENSSILAJIT

| Havainnoitava laji                                                                | Esiintyminen näytealalla<br>1 = esiintyy<br>0 = ei esiinny |   |   |   |   | Frekvenssi<br>yhteensä<br>(0 ... 5) |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---|---|---|---|-------------------------------------|
|                                                                                   | Havaintopuun numero                                        |   |   |   |   |                                     |
|                                                                                   | 1                                                          | 2 | 3 | 4 | 5 |                                     |
| sormipaisukarve ( <i>Hypogymnia physodes</i> )                                    |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| keltatyvikarve ( <i>Parmeliopsis ambigua</i> )                                    |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| harmaatyvi- ja tuhkakarve ( <i>P. hyperopta</i><br>& <i>Imshaugia aleurites</i> ) |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| seinäsuomujäkälä ( <i>Hypocenomyce sca-</i><br><i>laris</i> )                     |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| lupot ( <i>Bryoria</i> spp.)                                                      |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| naavat ( <i>Usnea</i> spp.)                                                       |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| harmaaröyhelö ( <i>Platismatia glauca</i> )                                       |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| keltaröyhelö ( <i>Vulpicida pinastri</i> )                                        |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| ruskoröyhelö ( <i>Tuckermannopsis chloro-</i><br><i>phylla</i> )                  |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| hankakarve ( <i>Pseudevernia furfuracea</i> )                                     |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| raidanisokarve ( <i>Parmelia sulcata</i> )                                        |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| leväpeite ( <i>Algae</i> & <i>Scoliciosporum</i> )                                |                                                            |   |   |   |   |                                     |
| Männyn neulasvuosikerrat                                                          |                                                            |   |   |   |   |                                     |

### 3. LAJIEN RUNSAUS: PISTEFREKVENSILAJIT

| Pistefrekvenssilaji                       |      |       | Esiintyminen ruudukon keskipisteissä (0 ... 100) |   |   |   |   | Frekvenssi yhteensä (0 ... 1000) |
|-------------------------------------------|------|-------|--------------------------------------------------|---|---|---|---|----------------------------------|
|                                           |      |       | Havaintopuun numero                              |   |   |   |   |                                  |
|                                           |      |       | 1                                                | 2 | 3 | 4 | 5 |                                  |
| Sormipaisukarve<br>( <i>H. physodes</i> ) | puun | puoli |                                                  |   |   |   |   |                                  |
|                                           | puun | puoli |                                                  |   |   |   |   |                                  |
| Lupot<br>( <i>Bryoria</i> spp.)           | puun | puoli |                                                  |   |   |   |   |                                  |
|                                           | puun | puoli |                                                  |   |   |   |   |                                  |

### 4. VAURIOASTEET

| Vaurioaste                             | Vaurioaste ( I – V ) |   |   |   |   | Mediaaniluokka |
|----------------------------------------|----------------------|---|---|---|---|----------------|
|                                        | Havaintopuun numero  |   |   |   |   |                |
|                                        | 1                    | 2 | 3 | 4 | 5 |                |
| Sormipaisukarve ( <i>H. physodes</i> ) |                      |   |   |   |   |                |
| Yleinen                                |                      |   |   |   |   |                |

### 5. LAJILUKUMÄÄRÄT

| Lajiluku        | Lajien lukumäärä havaintoalalla, kpl |   |   |   |   | Lajeja yhteensä havaintoalalla | Keskiarvo näytealalla |
|-----------------|--------------------------------------|---|---|---|---|--------------------------------|-----------------------|
|                 | Havaintopuun numero                  |   |   |   |   |                                |                       |
|                 | 1                                    | 2 | 3 | 4 | 5 |                                |                       |
| Frekvenssilajit |                                      |   |   |   |   |                                |                       |
| Muut lajit      |                                      |   |   |   |   |                                |                       |
| Huomautuksia    |                                      |   |   |   |   |                                |                       |



Liite 2. Havaintoalat, niillä suoritettut analyysit ja koordinaatit. Ydinkeskustan (punainen), keskustan ympäristön (oranssi) ja haja-asutusalueen (vihreä) havaintoalat on esitetty kartalla jäljempänä.

| Havaintoala                | Alue                | Tutkimukset                             | N (ETRS-TM35FIN) | E (ETRS-TM35FIN) |
|----------------------------|---------------------|-----------------------------------------|------------------|------------------|
| 1. Kyrönniemi              | Ydinkeskusta        | Jäkälät, neulasvuosikerrat              | 6860591          | 600308           |
| 2. Lypsyniemi              | Ydinkeskusta        | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6861086          | 600890           |
| 3. Verkkosaari             | Ydinkeskusta        | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6861451          | 599067           |
| 4. Talvisalon hautausmaa   | Ydinkeskusta        | Jäkälät, neulasvuosikerrat              | 6861166          | 598054           |
| 5. Karkulahti              | Keskustan ympäristö | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6857857          | 603296           |
| 6. Pääskylahden hautausmaa | Keskustan ympäristö | Jäkälät, neulasvuosikerrat              | 6859513          | 603141           |
| 7. Alttarkivi              | Keskustan ympäristö | Jäkälät, neulasvuosikerrat              | 6859996          | 600727           |
| 8. Nojanmaa                | Keskustan ympäristö | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6862015          | 600863           |
| 9. Sulosaari               | Keskustan ympäristö | Jäkälät, neulasvuosikerrat              | 6861934          | 599586           |
| 10. Talvisalon pururata    | Keskustan ympäristö | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6861583          | 597890           |
| 11. Jätevedenpuhdistamo    | Keskustan ympäristö | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6859283          | 597400           |
| 12. Pitkäniemi             | Keskustan ympäristö | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6863301          | 595261           |
| 13. Parkkalinniemi         | Keskustan ympäristö | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6861699          | 593740           |
| 14. Heikinpohja            | Keskustan ympäristö | Jäkälät, neulasvuosikerrat              | 6860679          | 597660           |
| 15. Ikoinniemi             | Haja-asutusalue     | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6851040          | 605136           |
| 16. Nikaniemi              | Haja-asutusalue     | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6842999          | 615350           |
| 17. Au-kylä                | Haja-asutusalue     | Jäkälät, neulasvuosikerrat              | 6856813          | 607465           |
| 18. Loikansaari            | Haja-asutusalue     | Jäkälät, neulasvuosikerrat              | 6865557          | 588691           |
| 19. Pölläskylä             | Haja-asutusalue     | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6865043          | 574536           |
| 20. Niittylahti            | Haja-asutusalue     | Jäkälät, neulasvuosikerrat              | 6871740          | 597794           |
| 21. Laukunkangas           | Haja-asutusalue     | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6877397          | 591593           |
| 22. Oravi                  | Haja-asutusalue     | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6887764          | 584229           |
| 23. Tappuvirta             | Haja-asutusalue     | Jäkälät, neulasvuosikerrat              | 6894170          | 577225           |
| 24. Kesamonsaari           | Haja-asutusalue     | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6853835          | 590806           |
| 25. Kallislahti            | Haja-asutusalue     | Jäkälät, neulasvuosikerrat, seinäsammal | 6866863          | 583806           |









Liite 3. Vaurioasteet kuvina.

Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioasteet (Huuskonen ym. 2013)



Esimerkkejä yleisen vaurioluokituksen ääripäistä tutkimusalueella; terve ja pahasti vaurioitunut jäkälälajisto (Kuvat: Henna Halinen 2017)

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p><b>VAURIOLUOKKA 1: TERVE</b></p> <p>Kuva on otettu Laukunkankaan havaintopuulta. Kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu on muuttumatonta. Rungolla esiintyvä sormipaisukarve on tervettä ja rungolla esiintyy runsaasti myös pensasmaisia jäkälälajeja.</p>                      |
|  | <p><b>VAURIOLUOKKA 4: PAHA VAURIO</b></p> <p>Kuva on otettu Verkkosaaren havaintopuulta. Rungolta puuttuvat kokonaan pensasmaiset jäkälälajit ja rungolla esiintyvä sormipaisukarve on pahoin vaurioitunutta. Sormipaisukarve on kitukasvuista, ryppyistä ja vihertynyttä.</p> |

Liite 4.

Sormipaisukarpeen (*H. physodes*) ja luppojen (*Bryoria* spp.) esiintymisfrekvenssit havaintoaloittain vuonna 2017. Pistefrekvenssit laskettiin jokaisen havaintopuun itä- ja länsipuolilta käyttäen apuna ruutusapluunaa. Ruutusapluunassa oli yhteensä 100 havainnointiruutua, joten havaintopuukohtainen maksimipistefrekvenssi on 200 ja havaintoalakohtainen maksimipistefrekvenssi on 1000. Taulukon on laskettu jokaisen havaintoalan pistefrekvensseille prosentuaalinen arvo, joka kuvastaa frekvenssilajien suhteellista peittävyyttä havaintoalalla. Lisäksi taulukkoon on laitettu havaintoalojen havaintopuilla havaittujen sormipaisukarpeiden suurimmat ja pienimmät frekvenssit (havaintopuun maksimifrekvenssi 200).

| Havaintoala             | Alue                | Pienin arvo (HP) | Suurin arvo (HP) | HP frekvenssi | Br frekvenssi |
|-------------------------|---------------------|------------------|------------------|---------------|---------------|
| Kyrönniemi              | Ydinkeskusta        | 0                | 22               | 4,7 %         | 0,0 %         |
| Lypsniemi               | Ydinkeskusta        | 3                | 48               | 17,8 %        | 0,0 %         |
| Verkkosaari             | Ydinkeskusta        | 0                | 32               | 8,7 %         | 0,0 %         |
| Talvisalon hautausmaa   | Ydinkeskusta        | 1                | 37               | 13,3 %        | 0,0 %         |
| Karkulahti              | Keskustan ympäristö | 14               | 62               | 30,5 %        | 0,0 %         |
| Pääskylahden hautausmaa | Keskustan ympäristö | 3                | 29               | 16,8 %        | 0,0 %         |
| Alttarkivi              | Keskustan ympäristö | 1                | 45               | 18,5 %        | 0,0 %         |
| Nojanmaa                | Keskustan ympäristö | 13               | 41               | 27,9 %        | 0,1 %         |
| Sulosaari               | Keskustan ympäristö | 0                | 20               | 4,6 %         | 0,0 %         |
| Talvisalon pururata     | Keskustan ympäristö | 32               | 78               | 52,9 %        | 0,0 %         |
| Jätevedenpuhdistamo     | Keskustan ympäristö | 9                | 46               | 28,1 %        | 0,0 %         |
| Pitkäniemi              | Keskustan ympäristö | 1                | 22               | 8,0 %         | 2,0 %         |
| Parkkaliniemi           | Keskustan ympäristö | 12               | 66               | 33,3 %        | 0,0 %         |
| Heikinpohja             | Keskustan ympäristö | 6                | 58               | 27,9 %        | 0,0 %         |
| Ikoinniemi              | Haja-asutusalue     | 34               | 57               | 46,9 %        | 0,0 %         |
| Nikaniemi               | Haja-asutusalue     | 42               | 66               | 52,5 %        | 0,0 %         |
| Au-kylä                 | Haja-asutusalue     | 40               | 67               | 54,8 %        | 0,0 %         |
| Loikansaari             | Haja-asutusalue     | 3                | 21               | 10,8 %        | 0,0 %         |
| Pölläskylä              | Haja-asutusalue     | 19               | 38               | 26,5 %        | 0,0 %         |
| Niittylahti             | Haja-asutusalue     | 12               | 39               | 21,7 %        | 0,0 %         |
| Laukunkangas            | Haja-asutusalue     | 29               | 55               | 39,1 %        | 0,4 %         |
| Oravi                   | Haja-asutusalue     | 41               | 74               | 63,5 %        | 0,1 %         |
| Tappuvirta              | Haja-asutusalue     | 38               | 79               | 61,9 %        | 0,0 %         |
| Kesamonsaari            | Haja-asutusalue     | 4                | 50               | 29,1 %        | 0,0 %         |
| Kallistahti             | Haja-asutusalue     | 10               | 42               | 32,1 %        | 0,2 %         |

Liite 5.

Yleisen vaurioasteen ja sormipaisukarpeen vaurioasteen mediaaniluokat havaintoaloilla sekä MS-indeksin ja lajilukumäärän havaintoalakohtaiset keskiarvot vuonna 2017.

| Havaintoala             | Alue                | Yleinen vaurioaste | HP vaurioaste | MS-indeksi | Lajilkm |
|-------------------------|---------------------|--------------------|---------------|------------|---------|
| Kyrönniemi              | Ydinkeskusta        | 4,0                | 4,0           | 2,80       | 3       |
| Lypsyniemi              | Ydinkeskusta        | 4,0                | 3,0           | 2,85       | 3       |
| Verkkosaari             | Ydinkeskusta        | 4,0                | 3,0           | 2,75       | 3       |
| Talvisalon hautausmaa   | Ydinkeskusta        | 4,0                | 3,0           | 2,58       | 3       |
| Karkulahti              | Keskustan ympäristö | 4,0                | 3,0           | 2,67       | 3       |
| Pääskylahden hautausmaa | Keskustan ympäristö | 4,0                | 4,0           | 2,95       | 4       |
| Alttarkivi              | Keskustan ympäristö | 4,0                | 4,0           | 2,00       | 2       |
| Nojanmaa                | Keskustan ympäristö | 3,0                | 3,0           | 3,67       | 6       |
| Sulosaari               | Keskustan ympäristö | 3,5                | 4,0           | 3,12       | 4       |
| Talvisalon pururata     | Keskustan ympäristö | 4,0                | 2,0           | 2,28       | 2       |
| Jätevedenpuhdistamo     | Keskustan ympäristö | 4,0                | 3,0           | 3,13       | 4       |
| Pitkäniemi              | Keskustan ympäristö | 3,0                | 3,0           | 3,69       | 5       |
| Parkkaliniemi           | Keskustan ympäristö | 4,0                | 4,0           | 3,02       | 4       |
| Heikinpohja             | Keskustan ympäristö | 3,0                | 3,0           | 2,95       | 4       |
| Ikonniemi               | Haja-asutusalue     | 4,0                | 2,5           | 2,85       | 3       |
| Nikaniemi               | Haja-asutusalue     | 4,0                | 2,0           | 2,78       | 3       |
| Au-kylä                 | Haja-asutusalue     | 4,0                | 2,5           | 3,24       | 4       |
| Loikansaari             | Haja-asutusalue     | 4,0                | 3,0           | 2,73       | 3       |
| Pölläskylä              | Haja-asutusalue     | 4,0                | 3,5           | 3,13       | 4       |
| Niittylahti             | Haja-asutusalue     | 3,0                | 3,0           | 3,67       | 4       |
| Laukunkangas            | Haja-asutusalue     | 1,0                | 1,0           | 3,98       | 7       |
| Oravi                   | Haja-asutusalue     | 3,0                | 2,0           | 3,68       | 5       |
| Tappuvirta              | Haja-asutusalue     | 4,0                | 2,0           | 3,01       | 4       |
| Kesamonsaari            | Haja-asutusalue     | 4,0                | 3,0           | 3,13       | 4       |
| Kallislahti             | Haja-asutusalue     | 4,0                | 2,0           | 3,22       | 4       |

Liite 6.

Sormipaisukarpeen suhteelliset peittävydet vuosina 1993 – 2017. Peittävyys on käytetty havaintopuiden sormipaisukarpeiden peittävyyskeskiarvoja.

| <b>Tutkimuspiste</b>                        | <b>1993</b> | <b>1997</b> | <b>2002</b> | <b>2005</b> | <b>2011</b> | <b>2017</b> |
|---------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kyrönniemi                                  | 51 %        | 9 %         | 19 %        | 21 %        | 3 %         | 5 %         |
| Lypsyniemi                                  | 14 %        | 17 %        | 13 %        | 5 %         | 22 %        | 18 %        |
| Verkkosaari                                 | 3 %         | 3 %         | 0 %         | 5 %         | 14 %        | 9 %         |
| Talvisalon hautausmaa                       | 14 %        |             |             | 1 %         | 3 %         | 13 %        |
| Karkulahti / Suutarniemi                    | 28 %        | 19 %        | 16 %        | 24 %        | 11 %        | 31 %        |
| Pääskylahden hautausmaa                     |             |             |             |             | 18 %        | 17 %        |
| Alttarkivi                                  | 52 %        | 20 %        | 24 %        | 12 %        | 16 %        | 19 %        |
| Nojamaan pururata                           |             |             |             |             | 23 %        | 28 %        |
| Parkkolanmäki                               | 42 %        | 34 %        | 41 %        | 26 %        | 45 %        |             |
| Sulosaari                                   | 39 %        | 35 %        | 36 %        | 14 %        | 4 %         | 5 %         |
| Talvisalon pururata / koulu / jäähalli      | 46 %        | 15 %        | 36 %        | 8 %         | 43 %        | 53 %        |
| Jätevedenpuhdistamo / Lehmänpääntie         | 66 %        | 6 %         | 18 %        | 11 %        | 29 %        | 28 %        |
| Pitkäniemi                                  | 40 %        | 45 %        | 21 %        | 48 %        | 6 %         | 8 %         |
| Parkkalinniemi / Ensola                     | 40 %        | 23 %        | 16 %        | 16 %        | 60 %        | 33 %        |
| Heikinpohja / OKL:n mäki                    | 27 %        | 4 %         | 20 %        | 9 %         |             | 28 %        |
| Ikoinniemi                                  | 30 %        | 24 %        | 21 %        | 38 %        | 17 %        | 47 %        |
| Nikaniemi                                   | 45 %        | 35 %        | 23 %        |             | 28 %        | 53 %        |
| Au-kylä                                     |             |             |             |             | 22 %        | 55 %        |
| Loikansaari                                 | 21 %        | 30 %        | 14 %        | 26 %        | 26 %        | 11 %        |
| Pölläskylä                                  |             |             |             |             | 19 %        | 27 %        |
| Niittylahti                                 |             |             |             | 17 %        | 9 %         | 22 %        |
| Laukunkangas                                |             |             |             | 11 %        | 20 %        | 39 %        |
| Oravi                                       | 51 %        | 37 %        | 41 %        | 41 %        | 32 %        | 64 %        |
| Tappuvirta                                  |             |             |             |             | 31 %        | 62 %        |
| Kesamonsaari                                | 38 %        | 24 %        | 17 %        | 34 %        | 34 %        | 29 %        |
| Kallistahti                                 | 17 %        |             |             |             | 33 %        | 32 %        |
| <b>Keskiarvot</b>                           | <b>35 %</b> | <b>22 %</b> | <b>22 %</b> | <b>19 %</b> | <b>23 %</b> | <b>29 %</b> |
| <b>Keskiarvot (samana pysyneet alat)</b>    | <b>37 %</b> | <b>22 %</b> | <b>21 %</b> | <b>22 %</b> | <b>23 %</b> | <b>26 %</b> |
| <b>Keskihajonta (samoina pysyneet alat)</b> | <b>0,16</b> | <b>0,11</b> | <b>0,10</b> | <b>0,14</b> | <b>0,16</b> | <b>0,18</b> |

Liite 7.

Sormipaisukarpeen vaurioluokat vuosina 1993 – 2017. Taulukkoon on otettu havaintoalakohtaiset mediaaniluokat puolen vaurioluokan tarkkuudella.

| <b>Tutkimuspiste</b>                     | <b>1993</b> | <b>1997</b> | <b>2002</b> | <b>2005</b> | <b>2011</b> | <b>2017</b> |
|------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kyrönniemi                               | 3,0         | 3,5         | 2,0         | 2,0         | 2,5         | 4,0         |
| Lypsyniemi                               | 3,5         | 3,0         | 4,0         | 4,0         | 3,0         | 3,0         |
| Verkkosaari                              | 4,5         | 3,5         | 5,0         | 2,0         | 2,0         | 3,0         |
| Talvisalon hautausmaa                    | 3,0         |             |             | 4,0         | 3,0         | 3,0         |
| Karkulahti / Suutarniemi                 | 3,0         | 2,5         | 2,5         | 1,0         | 3,0         | 3,0         |
| Pääskylahden hautausmaa                  |             |             |             |             | 3,0         | 4,0         |
| Alttarkivi                               | 3,0         | 3,0         | 3,0         | 3,0         | 2,0         | 4,0         |
| Nojamaan pururata                        |             |             |             |             | 3,0         | 3,0         |
| Parkkolanmäki                            | 2,0         | 1,0         | 2,0         | 2,0         | 2,0         |             |
| Sulosaari                                | 3,0         | 2,0         | 2,5         | 2,0         | 3,0         | 4,0         |
| Talvisalon pururata / koulu / jäähalli   | 3,0         | 3,0         | 3,0         | 1,0         | 3,0         | 2,0         |
| Jätevedenpuhdistamo / Lehmänpääntie      | 3,0         | 4,0         | 3,0         | 2,0         | 2,0         | 3,0         |
| Pitkäniemi                               | 3,0         | 2,0         | 2,5         | 1,0         | 4,0         | 3,0         |
| Parkkalinniemi / Ensola                  | 3,0         | 2,0         | 2,0         | 2,0         | 3,0         | 4,0         |
| Heikinpohja / OKL:n mäki                 | 3,0         | 3,0         | 3,0         | 2,0         |             | 3,0         |
| Ikoinniemi                               | 3,0         | 2,0         | 2,0         | 1,0         | 2,0         | 2,5         |
| Nikaniemi                                | 3,0         | 2,0         | 2,5         |             | 2,0         | 2,0         |
| Au-kylä                                  |             |             |             |             | 2,0         | 2,5         |
| Loikansaari                              | 2,0         | 2,0         | 2,0         | 1,0         | 1,0         | 3,0         |
| Pölläskylä                               |             |             |             |             | 3,0         | 3,5         |
| Niittylahti                              |             |             |             | 1,0         | 2,0         | 3,0         |
| Laukunkangas                             |             |             |             | 2,0         | 3,0         | 1,0         |
| Oravi                                    | 2,5         | 2,0         | 2,0         | 1,0         | 2,0         | 2,0         |
| Tappuvirta                               |             |             |             |             | 2,0         | 2,0         |
| Kesamonsaari                             | 2,0         | 3,0         | 2,5         | 1,0         | 1,0         | 3,0         |
| Kallislahti                              | 2,0         |             |             |             | 2,0         | 2,0         |
| <b>Keskiarvot</b>                        | <b>2,9</b>  | <b>2,6</b>  | <b>2,7</b>  | <b>1,8</b>  | <b>2,4</b>  | <b>2,9</b>  |
| <b>Keskiarvot (samana pysyneet alat)</b> | <b>3,0</b>  | <b>2,7</b>  | <b>2,7</b>  | <b>1,7</b>  | <b>2,4</b>  | <b>3,1</b>  |
| <b>Keskihajonta</b>                      | <b>0,6</b>  | <b>0,7</b>  | <b>0,8</b>  | <b>0,9</b>  | <b>0,8</b>  | <b>0,7</b>  |



Liite 8.

Jäkälien yleiset vaurioasteet vuosina 1993 – 2017. Taulukkoon on otettu havaintoalakohtaiset medianiluokat puolen vaurioasteen tarkkuudella.

| <b>Tutkimuspiste</b>                       | <b>1993</b> | <b>1997</b> | <b>2002</b> | <b>2005</b> | <b>2011</b> | <b>2017</b> |
|--------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kyrönniemi                                 | 3,0         | 4,0         | 3,0         | 3,0         |             | 4,0         |
| Lypsyniemi                                 | 3,0         | 4,0         | 4,0         | 5,0         |             | 4,0         |
| Verkkosaari                                | 3,0         | 4,0         | 5,0         | 3,0         | 2,0         | 4,0         |
| Talvisalon hautausmaa                      | 3,0         |             |             | 4,0         |             | 4,0         |
| Karkulahti / Suutarniemi                   | 3,0         | 3,0         | 3,0         | 4,0         |             | 4,0         |
| Pääskylahden hautausmaa                    |             |             |             |             |             | 4,0         |
| Alttarkivi                                 | 3,0         | 4,0         | 3,0         | 3,0         |             | 4,0         |
| Nojamaan pururata                          |             |             |             |             |             | 3,0         |
| Parkkolanmäki                              | 3,0         | 3,0         | 3,0         | 4,0         | 2,0         |             |
| Sulosaari                                  | 3,0         | 2,0         | 3,0         | 3,0         | 3,0         | 3,5         |
| Talvisalon pururata / koulu / jäähalli     | 3,0         | 3,5         | 3,0         | 4,0         |             | 4,0         |
| Jätevedenpuhdistamo / Lehmänpääntie        | 3,0         | 4,0         | 4,0         | 3,0         |             | 4,0         |
| Pitkäniemi                                 | 3,0         | 3,0         | 3,0         | 3,0         |             | 3,0         |
| Parkkalinniemi / Ensola                    | 3,0         | 2,0         | 3,5         | 4,0         |             | 4,0         |
| Heikinpohja / OKL:n mäki                   | 3,0         | 4,0         | 3,0         | 3,0         |             | 3,0         |
| Ikoinniemi                                 | 3,0         | 2,0         | 3,0         | 4,0         |             | 4,0         |
| Nikaniemi                                  | 3,0         | 3,0         | 3,0         |             |             | 4,0         |
| Au-kylä                                    |             |             |             |             |             | 4,0         |
| Loikansaari                                | 3,0         | 3,0         | 4,0         | 4,0         |             | 4,0         |
| Pölläskylä                                 |             |             |             |             |             | 4,0         |
| Niittylahti                                |             |             |             | 2,0         |             | 3,0         |
| Laukunkangas                               |             |             |             | 2,0         |             | 1,0         |
| Oravi                                      | 3,0         | 2,0         | 3,0         | 2,0         |             | 3,0         |
| Tappuvirta                                 |             |             |             |             |             | 4,0         |
| Kesamonsaari                               | 3,0         | 3,5         | 4,0         | 2,0         |             | 4,0         |
| Kallislahti                                | 3,0         |             |             |             |             | 4,0         |
| <b>Keskiarvot</b>                          | <b>3,0</b>  | <b>3,1</b>  | <b>3,4</b>  | <b>3,2</b>  | <b>2,3</b>  | <b>3,6</b>  |
| <b>Keskiarvot (samana pysyneet alat)</b>   | <b>3,0</b>  | <b>3,1</b>  | <b>3,5</b>  | <b>3,4</b>  | <b>2,5</b>  | <b>3,8</b>  |
| <b>Keskihajonta (samana pysyneet alat)</b> | <b>0,0</b>  | <b>0,8</b>  | <b>0,6</b>  | <b>0,8</b>  | <b>0,5</b>  | <b>0,4</b>  |

Liite 9.

Ilmansaasteille herkkien lajien havaintoalakohtaiset lajilukumäärien keskiarvot vuosittain.

| <b>Tutkimuspiste</b>                      | <b>1993</b> | <b>1997</b> | <b>2002</b> | <b>2005</b> | <b>2011</b> | <b>2017</b> |
|-------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kyrönniemi                                | 6           | 4           | 3           | 4           | 4           | 3           |
| Lypsyniemi                                | 2           | 2           | 1           | 1           | 2           | 3           |
| Verkkosaari                               | 3           | 3           | 0           | 3           | 2           | 3           |
| Talvisalon hautausmaa                     | 6           |             |             | 2           | 5           | 3           |
| Karkulahti / Suutarniemi                  | 7           | 3           | 4           | 4           | 5           | 3           |
| Pääskylahden hautausmaa                   |             |             |             | 2           | 3           | 4           |
| Altarkivi                                 | 5           | 3           | 3           | 3           | 4           | 2           |
| Nojamaan pururata                         |             |             |             |             | 3           | 6           |
| Parkkolanmäki                             | 7           | 3           | 3           | 3           | 3           |             |
| Sulosaari                                 | 5           | 4           | 3           | 3           | 3           | 4           |
| Talvisalon pururata / koulu / jäähalli    | 4           | 3           | 5           | 3           | 3           | 2           |
| Jätevedenpuhdistamo / Lehmänpääntie       | 4           | 2           | 2           | 3           | 3           | 4           |
| Pitkäniemi                                | 4           | 4           | 4           | 4           | 3           | 5           |
| Parkkalinniemi / Ensola                   | 3           | 5           | 4           | 2           | 3           | 4           |
| Heikinpohja / OKL:n mäki                  | 3           | 2           | 4           | 4           |             | 4           |
| Ikoinniemi                                | 7           | 4           | 4           | 3           | 4           | 3           |
| Nikaniemi                                 | 5           | 4           | 4           |             | 4           | 3           |
| Au-kylä                                   |             |             |             |             | 4           | 4           |
| Loikansaari                               | 6           | 4           | 3           | 4           | 2           | 3           |
| Pölläskylä                                |             |             |             |             | 4           | 4           |
| Niittylahti                               |             |             |             | 4           | 5           | 4           |
| Laukunkangas                              |             |             |             | 6           | 4           | 7           |
| Oravi                                     | 4           | 6           | 3           | 4           | 5           | 5           |
| Tappuvirta                                |             |             |             |             | 3           | 4           |
| Kesamonsaari                              | 6           | 4           | 3           | 3           | 3           | 4           |
| Kallislahti                               | 3           |             |             |             | 3           | 4           |
| <b>Keskiarvot</b>                         | <b>5</b>    | <b>3</b>    | <b>3</b>    | <b>3</b>    | <b>4</b>    | <b>4</b>    |
| <b>Keskiarvot (samoina pysyneet alat)</b> | <b>5</b>    | <b>3</b>    | <b>3</b>    | <b>3</b>    | <b>3</b>    | <b>3</b>    |

Liite 10.

Havaintoalakohtaisten MS-indeksien keskiarvot vuosittain.

| <b>Tutkimuspiste</b>                     | <b>1993</b> | <b>1997</b> | <b>2002</b> | <b>2005</b> | <b>2011</b> | <b>2017</b> |
|------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kyrönniemi                               | 3,56        | 2,84        | 2,90        | 3,68        | 2,85        | 2,80        |
| Lypsyniemi                               | 2,00        | 2,55        | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 2,85        |
| Verkkosaari                              | 2,71        | 2,71        | 0,50        | 3,26        | 2,25        | 2,75        |
| Talvisalon hautausmaa                    | 3,64        |             |             | 3,40        | 3,85        | 2,58        |
| Karkulahti / Suutarniemi                 | 4,15        | 3,44        | 3,53        | 3,15        | 3,92        | 2,67        |
| Pääskylahden hautausmaa                  |             |             |             | 3,57        | 2,97        | 2,95        |
| Alttarkivi                               | 3,58        | 2,94        | 3,05        | 3,62        | 3,67        | 2,00        |
| Nojamaan pururata                        |             |             |             |             | 2,78        | 3,67        |
| Parkkolanmäki                            | 3,98        | 2,67        | 2,75        | 3,00        | 2,67        |             |
| Sulosaari                                | 3,31        | 3,63        | 3,42        | 3,31        | 2,95        | 3,12        |
| Talvisalon pururata / koulu / jäähalli   | 3,50        | 2,46        | 3,52        | 3,69        | 2,47        | 2,28        |
| Jätevedenpuhdistamo / Lehmänpääntie      | 3,97        | 2,13        | 2,50        | 3,80        | 2,73        | 3,13        |
| Pitkäniemi                               | 3,48        | 2,92        | 2,75        | 3,71        | 2,77        | 3,69        |
| Parkkalinniemi / Ensola                  | 2,76        | 3,91        | 3,00        | 3,00        | 2,53        | 3,02        |
| Heikinpohja / OKL:n mäki                 | 3,08        | 2,50        | 3,13        | 3,80        |             | 2,95        |
| Ikoinniemi                               | 4,14        | 3,69        | 3,46        | 3,13        | 3,62        | 2,85        |
| Nikaniemi                                | 3,95        | 3,70        | 3,35        |             | 3,39        | 2,78        |
| Au-kylä                                  |             |             |             |             | 3,35        | 3,24        |
| Loikansaari                              | 3,88        | 3,46        | 3,21        | 3,41        | 2,87        | 2,73        |
| Pölläskylä                               |             |             |             |             | 3,27        | 3,13        |
| Niittylahti                              |             |             |             | 4,12        | 3,73        | 3,67        |
| Laukunkangas                             |             |             |             | 4,04        | 3,16        | 3,98        |
| Oravi                                    | 3,53        | 3,92        | 3,04        | 3,42        | 3,54        | 3,68        |
| Tappuvirta                               |             |             |             |             | 3,02        | 3,01        |
| Kesamonsaari                             | 3,90        | 3,08        | 2,92        | 3,36        | 2,90        | 3,13        |
| Kallislahti                              | 2,42        |             |             |             | 2,85        | 3,22        |
| <b>Keskiarvot</b>                        | <b>3,45</b> | <b>3,09</b> | <b>2,88</b> | <b>3,44</b> | <b>3,04</b> | <b>3,04</b> |
| <b>Keskiarvo (samoina pysyneet alat)</b> | <b>3,46</b> | <b>3,12</b> | <b>2,84</b> | <b>3,34</b> | <b>2,93</b> | <b>2,91</b> |
| <b>Keskihajonta</b>                      | <b>0,59</b> | <b>0,54</b> | <b>0,79</b> | <b>0,45</b> | <b>0,54</b> | <b>0,44</b> |

Liite 11.

Havaintoalakohtaiset neulasvuosikertojen mediaanit vuosina 1993 – 2017.

| <b>Tutkimuspiste</b>                     | <b>1993</b> | <b>1997</b> | <b>2002</b> | <b>2005</b> | <b>2011</b> | <b>2017</b> |
|------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kyrönniemi                               | 1,50        | 3,00        | 1,50        | 2,25        | 2,25        | 1,25        |
| Lypsyniemi                               | 2,00        | 3,00        | 2,00        | 1,25        | 2,25        | 1,25        |
| Verkkosaari                              | 2,00        | 2,25        | 1,50        | 1,25        | 2,00        | 2,00        |
| Talvisalon hautausmaa                    | 2,00        |             |             | 2,00        | 2,25        | 1,25        |
| Karkulahti / Suutarniemi                 | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 1,25        |
| Pääskylahden hautausmaa                  |             |             |             |             | 2,00        | 1,25        |
| Alttarkivi                               | 2,00        | 2,50        | 2,00        | 2,50        | 2,00        | 1,25        |
| Nojamaan pururata                        |             |             |             |             | 2,25        | 1,25        |
| Parkkolanmäki                            | 2,00        | 3,50        | 2,50        | 2,25        | 3,00        |             |
| Sulosaari                                | 2,00        | 2,50        | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 1,25        |
| Talvisalon pururata / koulu / jäähalli   | 2,00        | 3,25        | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 1,25        |
| Jätevedenpuhdistamo / Lehmänpääntie      | 2,00        | 3,00        | 2,00        | 2,25        | 3,00        | 2,00        |
| Pitkäniemi                               | 1,00        | 3,25        | 1,63        | 3,00        | 2,25        | 2,00        |
| Parkkalinniemi / Ensola                  | 2,00        | 3,50        | 2,00        | 2,25        | 2,25        | 1,25        |
| Heikinpohja / OKL:n mäki                 | 2,00        | 3,25        | 2,00        | 2,00        |             | 2,00        |
| Ikoinniemi                               | 2,00        | 2,50        | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 2,00        |
| Nikaniemi                                | 2,00        | 2,00        | 2,00        |             | 2,00        | 3,00        |
| Au-kylä                                  |             |             |             |             | 2,25        | 2,25        |
| Loikansaari                              | 3,00        | 3,50        | 2,63        | 2,25        | 2,25        | 2,00        |
| Pölläskylä                               |             |             |             |             | 2,00        | 2,00        |
| Niittylahti                              |             |             |             | 2,00        | 2,00        | 3,00        |
| Laukunkangas                             |             |             |             | 2,00        | 2,50        | 3,00        |
| Oravi                                    | 2,00        | 2,50        | 2,50        | 2,00        | 2,25        | 3,00        |
| Tappuvirta                               |             |             |             |             | 2,25        | 4,00        |
| Kesamonsaari                             | 2,00        | 4,00        | 2,50        | 2,25        | 2,25        | 2,00        |
| Kallislahti                              | 2,00        |             |             |             | 2,00        | 2,25        |
| <b>Keskiarvo</b>                         | <b>1,97</b> | <b>2,94</b> | <b>2,08</b> | <b>2,08</b> | <b>2,22</b> | <b>1,96</b> |
| <b>Keskiarvo (samoina pysyneet alat)</b> | <b>1,96</b> | <b>2,95</b> | <b>2,05</b> | <b>2,09</b> | <b>2,20</b> | <b>1,70</b> |

Liite 12. Seinäsammalnäytteiden alkuainepitoisuudet

| Analyysi   | Menetelmä             | Yksikkö | 26467-1                                    | 26467-2                                     | 26467-3                                | 26467-4                             |
|------------|-----------------------|---------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|
|            |                       |         | Kasvi<br>Lypsytuomi<br>2.9.17,ydinkeskusta | Kasvi<br>Verkkosaari<br>2.9.17,ydinkeskusta | Kasvi<br>Karkunlahti<br>2.9.17,taajama | Kasvi<br>Nojanmaa<br>2.9.17,taajama |
| Alumiini   | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 530                                        | 250                                         | 100                                    | 120                                 |
| Antimoni   | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 0,08                                       | 0,06                                        | < 0,05                                 | < 0,05                              |
| Arseeni    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,15                                       | 0,05                                        | < 0,05                                 | < 0,05                              |
| Barium     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 24                                         | 11                                          | 12                                     | 4,4                                 |
| Beryllium  | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | < 0,05                                     | < 0,05                                      | < 0,05                                 | < 0,05                              |
| Boori      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 7                                          | 2                                           | 2                                      | 2                                   |
| Fosfori    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 2 400                                      | 1 900                                       | 1 800                                  | 1 300                               |
| Kadmium    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,15                                       | 0,08                                        | 0,07                                   | 0,08                                |
| Kalium     | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 11 000                                     | 7 700                                       | 7 500                                  | 6 800                               |
| Kalsium    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 5 800                                      | 3 200                                       | 3 000                                  | 1 900                               |
| Koboltti   | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,62                                       | 0,25                                        | 0,14                                   | 0,13                                |
| Kromi      | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 4,2                                        | 1,1                                         | 1,3                                    | 1,2                                 |
| Kupari     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 6                                          | 4                                           | 3                                      | 3                                   |
| Lyijy      | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 1,3                                        | 0,8                                         | 0,6                                    | 0,6                                 |
| Magnesium  | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 1 700                                      | 1 500                                       | 1 400                                  | 860                                 |
| Mangaani   | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 120                                        | 230                                         | 430                                    | 370                                 |
| Molybdeeni | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 2,5                                        | 0,2                                         | < 0,1                                  | 0,4                                 |
| Natrium    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 100                                        | 120                                         | 85                                     | 90                                  |
| Nikkeli    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 11                                         | 1,4                                         | 0,9                                    | 2,1                                 |
| Rauta      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 1 000                                      | 540                                         | 190                                    | 200                                 |
| Rikki      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 1 200                                      | 960                                         | 810                                    | 710                                 |
| Sinkki     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 60                                         | 39                                          | 30                                     | 28                                  |
| Strontium  | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 21                                         | 6,9                                         | 8,9                                    | 3,7                                 |
| Titaani    | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 50                                         | 14                                          | 6                                      | 10                                  |
| Vanadiini  | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 1,2                                        | 0,62                                        | 0,29                                   | 0,40                                |

| Analyysi   | Menetelmä             | Yksikkö | 26467-13                                 | 26467-14                                        | 26467-15                                       |
|------------|-----------------------|---------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|            |                       |         | Kasvi<br>Oravi 2.9.17<br>haja-asutusalue | Kasvi<br>Kesamonsaari 3.9.17<br>haja-asutusalue | Kasvi<br>Kallistahti 3.9.17<br>haja-asutusalue |
| Alumiini   | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 170                                      | 150                                             | 180                                            |
| Antimoni   | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | < 0,05                                   | 0,05                                            | < 0,05                                         |
| Arseeni    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,05                                     | 0,06                                            | 0,06                                           |
| Barium     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 25                                       | 5,1                                             | 8,4                                            |
| Beryllium  | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | < 0,05                                   | < 0,05                                          | < 0,05                                         |
| Boori      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 1                                        | < 1                                             | 1                                              |
| Fosfori    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 1 600                                    | 1 200                                           | 1 200                                          |
| Kadmium    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,06                                     | 0,09                                            | 0,06                                           |
| Kalium     | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 7 200                                    | 5 100                                           | 5 800                                          |
| Kalsium    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 2 800                                    | 2 100                                           | 2 200                                          |
| Koboltti   | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,17                                     | 0,09                                            | 0,09                                           |
| Kromi      | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,8                                      | 0,6                                             | 0,9                                            |
| Kupari     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 3                                        | 3                                               | 2                                              |
| Lyijy      | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,9                                      | 0,9                                             | 0,8                                            |
| Magnesium  | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 1 100                                    | 630                                             | 780                                            |
| Mangaani   | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 240                                      | 260                                             | 540                                            |
| Molybdeeni | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | < 0,1                                    | < 0,1                                           | 0,1                                            |
| Natrium    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 72                                       | 57                                              | 69                                             |
| Nikkeli    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 1,4                                      | 0,7                                             | 0,6                                            |
| Rauta      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 280                                      | 200                                             | 290                                            |
| Rikki      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 690                                      | 700                                             | 670                                            |
| Sinkki     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 28                                       | 24                                              | 26                                             |
| Strontium  | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 15                                       | 8,0                                             | 4,3                                            |
| Titaani    | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 17                                       | 12                                              | 16                                             |
| Vanadiini  | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,51                                     | 0,46                                            | 0,47                                           |

| Analyysi   | Menetelmä             | Yksikkö | 26467-5<br>Kasvi<br>Talvisalo<br>2.9.17,taajama | 26467-6<br>Kasvi<br>Jätevedenpuhdistamo<br>3.9.17,taajama | 26467-7<br>Kasvi<br>Pitkaniemi<br>3.9.17,taajama | 26467-8<br>Kasvi<br>Ensola<br>3.9.17,taajama |
|------------|-----------------------|---------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Alumiini   | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 250                                             | 130                                                       | 140                                              | 120                                          |
| Antimoni   | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 0,05                                            | < 0,05                                                    | < 0,05                                           | < 0,05                                       |
| Arseeni    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,06                                            | < 0,05                                                    | 0,05                                             | < 0,05                                       |
| Barium     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 20                                              | 12                                                        | 3,6                                              | 2,8                                          |
| Beryllium  | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | < 0,05                                          | < 0,05                                                    | < 0,05                                           | < 0,05                                       |
| Boori      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 3                                               | 3                                                         | 3                                                | 2                                            |
| Fosfori    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 1 900                                           | 1 900                                                     | 1 700                                            | 1 400                                        |
| Kadmium    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,09                                            | 0,07                                                      | 0,08                                             | 0,06                                         |
| Kalium     | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 9 300                                           | 9 100                                                     | 7 700                                            | 7 200                                        |
| Kalsium    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 3 400                                           | 2 900                                                     | 2 800                                            | 2 400                                        |
| Koboltti   | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,28                                            | 0,10                                                      | 0,11                                             | 0,09                                         |
| Kromi      | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 1,3                                             | 0,7                                                       | 0,8                                              | 1,0                                          |
| Kupari     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 4                                               | 3                                                         | 2                                                | 2                                            |
| Lyijy      | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 1,0                                             | 0,6                                                       | 0,6                                              | 0,5                                          |
| Magnesium  | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 1 500                                           | 1 300                                                     | 1 200                                            | 990                                          |
| Mangaani   | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 360                                             | 330                                                       | 550                                              | 310                                          |
| Molybdeeni | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,1                                             | < 0,1                                                     | < 0,1                                            | < 0,1                                        |
| Natrium    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 100                                             | 93                                                        | 75                                               | 74                                           |
| Nikkeli    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 1,3                                             | 0,8                                                       | 0,7                                              | 0,6                                          |
| Rauta      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 480                                             | 220                                                       | 240                                              | 190                                          |
| Rikki      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 900                                             | 860                                                       | 860                                              | 760                                          |
| Sinkki     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 34                                              | 24                                                        | 30                                               | 23                                           |
| Strontium  | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 9,5                                             | 8,0                                                       | 4,1                                              | 3,1                                          |
| Titaani    | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 14                                              | 7                                                         | 8                                                | 12                                           |
| Vanadiini  | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,96                                            | 0,35                                                      | 0,35                                             | 0,29                                         |

| Analyysi   | Menetelmä             | Yksikkö | 26467-9<br>Kasvi<br>Itkonniemi 2.9.17<br>haja-asutusalue | 26467-10<br>Kasvi<br>Nikaniemi 2.9.17<br>haja-asutusalue | 26467-11<br>Kasvi<br>Pölläskylä 3.9.17<br>haja-asutusalue | 26467-12<br>Kasvi<br>Laukungangas 2.9.17<br>haja-asutusalue |
|------------|-----------------------|---------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Alumiini   | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 140                                                      | 180                                                      | 170                                                       | 110                                                         |
| Antimoni   | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | < 0,05                                                   | < 0,05                                                   | < 0,05                                                    | < 0,05                                                      |
| Arseeni    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | < 0,05                                                   | 0,05                                                     | 0,06                                                      | < 0,05                                                      |
| Barium     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 3,8                                                      | 9,8                                                      | 37                                                        | 4,6                                                         |
| Beryllium  | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | < 0,05                                                   | < 0,05                                                   | < 0,05                                                    | < 0,05                                                      |
| Boori      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 2                                                        | 2                                                        | 2                                                         | 1                                                           |
| Fosfori    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 1 400                                                    | 1 800                                                    | 1 800                                                     | 1 300                                                       |
| Kadmium    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | < 0,05                                                   | 0,06                                                     | 0,09                                                      | < 0,05                                                      |
| Kalium     | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 6 800                                                    | 8 900                                                    | 9 600                                                     | 6 400                                                       |
| Kalsium    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 2 200                                                    | 2 500                                                    | 3 500                                                     | 2 200                                                       |
| Koboltti   | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,09                                                     | 0,11                                                     | 0,15                                                      | 0,09                                                        |
| Kromi      | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,7                                                      | 1,0                                                      | 0,9                                                       | 0,7                                                         |
| Kupari     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 2                                                        | 3                                                        | 4                                                         | 3                                                           |
| Lyijy      | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,6                                                      | 0,7                                                      | 1,3                                                       | 0,7                                                         |
| Magnesium  | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 1 100                                                    | 1 100                                                    | 1 400                                                     | 920                                                         |
| Mangaani   | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 500                                                      | 370                                                      | 610                                                       | 450                                                         |
| Molybdeeni | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | < 0,1                                                    | < 0,1                                                    | < 0,1                                                     | < 0,1                                                       |
| Natrium    | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 74                                                       | 74                                                       | 92                                                        | 68                                                          |
| Nikkeli    | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,7                                                      | 0,8                                                      | 1,0                                                       | 0,7                                                         |
| Rauta      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 220                                                      | 280                                                      | 230                                                       | 140                                                         |
| Rikki      | * SFS-EN ISO 11885:09 | mg/kg   | 720                                                      | 810                                                      | 1 000                                                     | 710                                                         |
| Sinkki     | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 24                                                       | 28                                                       | 34                                                        | 30                                                          |
| Strontium  | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 4,2                                                      | 7,8                                                      | 16                                                        | 4,6                                                         |
| Titaani    | SFS-EN ISO 17294:16   | mg/kg   | 10                                                       | 18                                                       | 11                                                        | 10                                                          |
| Vanadiini  | * SFS-EN ISO 17294:16 | mg/kg   | 0,31                                                     | 0,53                                                     | 0,49                                                      | 0,34                                                        |