



Nokian kaupungin jäkäläkartoitus 2017

Teemu Koskimäki



NOKIANKAUPUNKI

Tiivistelmä

Nokian kaupunki on teettänyt kolme aiempaa jäkäläkartoitusta. Nyt 20 vuotta edellisen tutkimuksen jälkeen jäkäläkartoitus toistettiin nykyisen ilmanlaadun arvioimiseksi. Suomen standardisoimisliitto SFS on määritellyt menetelmät, joilla ilmanlaatua voi luotettavasti kartoittaa kahtatoista männyn runkojäkälää hyödyntäen.

Männyn runkojäkälät ovat hidaskasvuisia ja ilman epäpuhtauksille alttiita organismeja. Niiden kartoittaminen on kustannustehokas tapa tutkia ilmanlaatua laajalla alueella. Kartoituksessa käytetyillä kahdellatoista lajilla on kullakin oma herkkyytensä ilmansaasteille, joten niiden lukumääriä, lajikoostumusta ja vaurioita tarkastelemalla voidaan päätellä ilmanlaadun tilanne kartoitetulla alueella. Kun tuloksia verrataan aiempien vuosien kartoituksiin, saadaan käsitys siitä, kuinka ilmanlaatu on Nokialla muuttunut.

Ilmanlaatu on heikentynyt Nokian alueella aiempiin kartoituksiin verrattuna. Ilmansaasteita kestävätkä lajit olivat huomattavasti yleisempiä kuin epäpuhtauksille herkätkä lajit. Epäpuhtauksista hyötyvillä leväpeitteellä ja seinänsuomujäkälällä runsaudet olivat suuria. Neljän ilman epäpuhtauksille herkimmän lajin esiintymisfrekvenssit olivat kaikki vähentyneet huomattavasti 1997 vuoteen verrattuna. Aivan Nokian ydinkeskustassa pahin saastunut alue on pienentynyt. Siurossa ja Linnavuorella ilmanlaatu on heikentynyt, mutta on edelleen parempi kuin Nokian keskustassa. Kokonaisvaltaisesti lajimäärät ovat pienentyneet ja jäkälävauriot kasvaneet Nokian tutkimusalueella. 1991, 1997 ja 2017 raporteista lajimäärät olivat korkeimmillaan vuonna 1997.

Sormipaisukarve reagoi ilmansaasteisiin vasta voimakkaasti kuormitetuilla alueilla, joten Nokian ydinkeskusta on 2017 aineiston perusteella voimakkaasti kuormittunut. Sormipaisukarpeen vauriot ovat lisääntyneet läpi tutkimusalueen ja tilanne on merkitsevästi huonompi kuin aiempina vuosina.

Energiantuotannossa, ajoneuvoissa, energian kulutuksessa, päästöjä rajoittavissa sopimuksissa sekä muilla yhteiskunnan osa-alueilla on 20 vuoden aikana tapahtunut merkittäviä muutoksia. Täten olisi voinut olettaa, että ilmanlaatu olisi parantunut Nokian alueella. Tutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan viitanneet tähän. Suomen ympäristökeskuksen ilman epäpuhtauksien päästöaineistosta selvisi, että ilmanlaatu on heikentynyt Nokialla merkittävästi vuosina 1999 ja 2000, eikä ole sen jälkeen laskenut takaisin 1997 tasolle, jolloin rikkidioksidin, typen oksidien ja monien muiden ilman epäpuhtauksien päästöt olivat pienimmillään.

Edellinen SFS 5670 standardi korvattiin vuonna 2014 uudella SFS standardilla 16413, jossa myös menetelmä vaihtui. Käsillä oleva 2017 jäkäläkartoitus tehtiin sekä vanhan että uuden standardin mukaisella pistefrekvenssimenetelmällä ja tulokset vastasivat toisiaan. Jatkotutkimuksissa voidaan siirtää käyttämään uutta menetelmää.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	1
1. Johdanto.....	1
1.1. Runkojäkälät ilmanlaadun indikaattoreina.....	1
1.2. Ilman epäpuhtauksien päästörajoitteet.....	2
2. Aineisto ja menetelmät.....	2
2.1. Jäkälälajit ja niiden indikaattoriarvot	3
2.2. Männyn runkojäkälän kartoittaminen	4
2.3. Tutkimusalue ja näytealat.....	6
2.4. Tulosten käsittely ja tutkimuksen aineisto	7
2.5. Menetelmän virhelähteet ja luotettavuus.....	7
2.6. IAP-indeksin laskeminen	8
2.7. Ilman epäpuhtauksien päästöaineistot.....	9
3. Tulokset.....	10
3.1. Jäkälälajien esiintyminen tutkimusalueella	10
3.2. Jäkälälajien lukumäärät ja runsaudet tutkimusalueella.....	12
3.3. Jäkälän vauriotasot tutkimusalueella.....	18
3.4. Lajikohtaiset kuvaukset esiintyvyyksistä.....	19
3.4.1. Herkät jäkälälajit	19
3.4.2. Melko herkät jäkälälajit	19
3.4.3. Melko kestävät jäkälälajit.....	20
3.4.4. Kestävät ja hyötyvät	20
3.5. Kriging interpoloinnit.....	21
3.5.1. IAP interpoloinnit.....	21
3.5.2. Lajilukumäärien interpoloinnit.....	23
3.5.3. Sormipaisukarpeen vaurioluokkien interpoloinnit.....	25
3.5.4. Leväpeitteen ja vihersukkulajäkälän esiintymisten interpoloinnit.....	27
3.6. Tilastanalyysit	29
3.6.1. Varianssianalyysi (ANOVA) eri vuosien IAP indekseille, sormipaisukarpeen vaurioille ja leväpeitteiden frekvenssimittauksille	29
3.6.2. Varianssianalyysi (ANOVA) metsätyyppien eroista IAP-arvoissa 2017 aineistolla	29
3.6.3. Korrelaatiotaulukot muuttujien vaihtelusta suhteessa toisiinsa.....	30
3.6.4. SFS 5670 ja SFS 16413 pistefrekvenssimittausten korrelaatiot.....	31
4. Tulosten tarkastelu.....	32
Kirjallisuusluettelo	34
Liitteet	36

1. Johdanto

Ilmanlaatua on kartoitettu jäkälien avulla Nokian kaupungin alueella kolmesti ennen käsillä olevaa raporttia, vuosina 1979, 1991 ja viimeksi 20 vuotta sitten 1997 (Laurila 1979, Rantala ym. 1991, Niskanen 1997). Tässä 2017 kesällä tehdyssä jatkotutkimuksessa selvitettiin mäntyjen runkojäkäälälajiston ja jäkälien kunnon avulla ilmanlaatua Nokialla ja verrattiin tuloksia kahden aikaisemman raportin tuloksiin. Teemu Koskimäki (LuK) teki tutkimuksen suunnittelun, maastotyöt ja laati tutkimusraportin Nokian kaupungin toimeksiannosta. Tutkimus on tehty standardia SFS 5670 noudattaen, jotta vertailukelpoisuus aiempiin tutkimuksiin säilyisi, mutta uudempi SFS-EN 16413 standardi on otettu huomioon aineiston keräämisessä ja laadun varmistamisessa, jotta jatkotutkimusten vertailu tähän 2017 tutkimukseen helpottuisi.

1.1. Runkojäkälät ilmanlaadun indikaattoreina

Suomen jäkäläoppaassa (Lohtander 2011) jäkälät kuvaillaan seuraavasti: "Jäkälät ovat eräänlaisia pieniä ekosysteemejä, joissa mykobiontti eli sieniosakas elää yhdessä fotobiontin eli viherlevän (harvoissa tapauksissa muiden levien) tai syanobakteerin kanssa, toisinaan kummankin." Kyse on siis kahden eliön yhteiselosta. Jäkälien sekovarren rakenne ja toiminta ovat perusta jäkälien käytölle ilmanlaadun indikaattoreina. Jäkälät ottavat ravinteensa suoraan sadevedestä ja niiltä puuttuu suojaava vahakerros sekovarren pinnalta, joten märkä- ja kuivalaskeumana tulevat ilman ja sadeveden epäpuhtaudet pääsevät vaikuttamaan suoraan jäkälien rakenteisiin. Jäkälät ovat erittäin hidaskasvuisia – kasvuvauhti vaihtelee Suomen jäkäläoppaan (Lohtander 2011) mukaan ryhmien välillä millimetrin kymmenesosista (jotkin rupijäkälät) yhteen senttiin (poronjäkälä) vuodessa. Hitaan kasvun vuoksi epäpuhtaudet voivat kertyä jäkäliin jopa vuosikymmenien ajan. Näin ollen ne soveltuvat hyvin ilman laadun pitkäaikaisseurantaan.

Jo pienet epäpuhtaudet ilmassa voivat aiheuttaa jäkälissä fysiologisia, biokemiallisia, kemiallisia tai rakenteellisia muutoksia, joiden suuruus on usein yhteydessä ilman epäpuhtauksien määrään (Conti ja Cecchetti 2001). Monet jäkälät ovat erittäin herkkiä muutoksille ympäristössä, kuten rehevöitymiselle, ilmaston muutoksille ja metsien hoitotoimenpiteille (SFS 16413, 2014). Jäkälien monimuotoisuus on erinomainen indikaattori kaasumaisten epäpuhtauksien aiheuttamalle saastumiselle (SFS 16413, 2014). Epifyyttisten (kasvien pinnoilla kasvavien) jäkälien herkkyyttä lisää se, että ne altistuvat ilman epäpuhtauksille ympäri vuoden. Contin ja Cecchettin (2001) review-artikkelin mukaan jäkälät ovat kaikista eniten tutkittuja ilmanlaadun bioindikaattoreita. Jo vuonna 1866 suomalaissyntyinen William Nylander julkaisi artikkelin Luxemburgin puiston epifyyttisistä jäkälistä bioindikaattoreina (Nylander 1866). Conti ja Cecchetti (2001) kirjoittavat, että useiden tutkimusten mukaan jäkälistä mitatun rikin ja ilmassa olevan rikkidioksidin välillä on positiivinen korrelaatio, ja laboratoriossa on osoitettu rikkidioksidin aiheuttavan merkittävää vauriota jäkälien soluille. Conti ja Cecchetti jatkavat, että selvä positiivinen korrelaatio on löydetty typpirikkaassa ympäristössä viihtyvien jäkälien ja ilman ammoniakki (NH₃) konsentraatioiden välillä, joskin jäkälien vaste rikkidioksidiin on aina suurempi.

Contin ja Cecchettin (2001) mukaan luonnossa jäkälät reagoivat saasteiden myrkylliseen yhteisvaikutukseen, eivät pelkästään tiettyyn yksittäiseen saasteeseen. Review-artikkelin mukaan

jäkälää käyttävät bioindikaattoritutkimukset mahdollistavat ilmanlaadun tilanteen varmistamisen ja mahdollisten parannusten tai heikentymisten ilmenemisen.

1.2. Ilman epäpuhtauksien päästörajoitteet

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE 2017, A) mukaan YK:n Euroopan talouskomission kaukokulkeutumisopimus (CLRTAP; Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution) ja sen alaiset pöytäkirjat rajoittavat typen ja rikin oksidien, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, ammoniakkin, hiukkasten, raskasmetallien ja hitaasti hajoavien orgaanisten yhdisteiden päästöjä. Vuoden 2012 lopussa uusittiin kaukokulkeutumisopimuksen alainen Göteborgin pöytäkirja, jolloin siihen lisättiin raportointivelvoite halkaisijaltaan alle 2,5 mikrometrin hiukkasille ja päästöjen rajoitusvelvoitteet vuodelle 2020 prosenttiosuuksina vuoden 2005 päästöistä (SYKE 2017, A).

Myös EU:lla on päästökattodirektiivi (National Emission Ceilings Directive 2001/81/EC, NECD) joka on asettanut päästöraajat vuodelle 2010 ja sen jälkeisille vuosille neljän ilman epäpuhtauden päästöille: typen- ja rikinoksidit, haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja ammoniakki (SYKE 2017, B).

2. Aineisto ja menetelmät

Kenttätöitä tehtiin kesällä 6.6.-7.8.2017. Havaintoalueille suunnistettiin älypuhelimella (Samsung Galaxy A5, malli SM-A510F, Android 6.0.1) GNSS yhteydellä, *Collector for ArcGIS* sovellusta hyödyntäen (versio 17.0.2, build 1028). Aineisto merkattiin Word-taulukkoon (ks. Liite 3) Word sovelluksella (versio 1.0.1). Satunnaisotanta sopivista puista otettiin Excel sovelluksella (versio 1.0.1) ja latvuspeittävyysarvio VitiCanopy sovelluksella (versio 1.0.2). Aineiston paikkatietoanalyysit tehtiin ArcGis Desktop 10.5 ohjelmistolla (versio 10.5.9.6491) ja tilastoanalyysit R tilasto-ohjelmalla (versio 1.0.136).

Havaintoalalla Word-tiedostoon lisättiin kuva, johon merkattiin punaisilla pisteillä kaikki soveltuvat männyt havaintoalueelta. Jos kahdeksan metrin säteellä oli enemmän kuin viisi mäntyä, viisi mäntyä valittiin satunnaisotannalla. Word-tiedostoon kirjattiin ylös metsätyyppi, arvio latvuspeittävydestä, arvio korkeuserosta korkeimmalla ja matalimmalla paikalla olevien puiden tyvien välillä ja taulukkoon merkattiin jäkäläkartoituksen tulokset. Havaintotaulukon loppuun lisättiin kuvat ensimmäisestä puusta ja havaintoalueesta. Kangasmaiden kasvupaikkatyyppit luokiteltiin Hotanen ym. (2008) Metsätyyppit kirjan kuvauksia ohjeina käyttäen karkeasti pääasiallisiin metsätyyppeihin (Taulukko 1).

Taulukko 1. Kangasmaisten kasvupaikkatyyppien luokittelu metsätyypeiksi ja kunkin lukumäärä 2017 vuoden jäkäläkartoituksen aineistossa. MT = Mustikkatyyppi, VT = Puolukkatyyppi, CT = Kanervatyyppi. Lehtomaiset kankaat luettiin yhdeksi ryhmäksi.

Lyhenne	Metsätyyppi	Lkm
L	Lehtomainen kangas	8
MT_L	Tuore kangas (MT) / Lehtomaisuutta	7
MT	Tuore kangas (MT)	49
MT_S	Tuore kangas (MT) / Soinen	3
VT_L	Kuivahko kangas (VT) / Lehtomaisuutta	2
VT	Kuivahko kangas (VT)	5
VT_S	Kuivahko kangas (VT) / Soinen	0
CT	Kuiva kangas (CT)	1
CT_S	Kuiva kangas (CT) / Soinen	1
S	Suo	2

2.1. Jäkälälajit ja niiden indikaattoriarvot

Kartoituksessa havainnoitiin kahtatoista mäntyjen rungoilla esiintyvää jäkälälajia, joiden herkkyys ilmansaasteille tunnetaan (Taulukko 2). Kartoitus tehtiin SFS 5670 standardin mukaisesti.

Taulukko 2. Standardin 5670 mukaiset jäkälälajit ilmanlaadun indikaattoreina. Indikaattoriarvon luokitus: +++ hyvä, ++ kohtalainen, + pieni, - huono. Taulukko mukailtu 1997 vuoden raportin mukaan (Niskanen 1997).

Tieteellinen nimi	Suomenkielinen nimitys	Arvo	Luonnehdinta
<i>Hypogymnia physodes</i>	Sormipaisukarve	+++	Käytetyistä indikaattorilajeista kestävin ja yleisin männyn runkojäkälä. Myös sekovarren vauriot kuvastavat kuormitusta.
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	Keltatyvikarve	+++	Kestävä ja yleinen laji, jonka esiintyminen noudattaa kuormitusvyöhykkeitä. Viihtyy kosteissa metsissä.
<i>Parmeliopsis hyperopta</i> & <i>Imshaugia aluerites</i>	Harmaatyvikarve & tuhkararve	++	Penentyneet esiintymisfrekvenssit ulottuvat vähemmän kuormitetuille alueille kuin sormipaisu- ja keltatyvikarpeella. Suosivat kuivia männiköitä.
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	Seinänsuomujäkälä	++	Suosii vanhoja mäntyjä. Hyödyntää ilman epäpuhtauksia ja on niiden positiivinen indikaattori. Kuvastaa lähinnä typpilaskeuman rehevöittävää vaikutusta.
<i>Bryoria</i> spp.	Lupot	+++	Herkkiä epäpuhtauksille, esiintyminen ja sekovarsien pituus noudattaa yleensä ilmansaasteiden kuormitusta.

Taulukko 2 jatkuu...

Tieteellinen nimi	Suomenkielinen nimitys	Arvo	Luonnehdinta
<i>Usnea</i> spp.	Naavat	++	Esiintyminen ja sekovarren pituus vaihtelee yleensä luppojen tapaan. Seurannaislajien määrä samaa tasoa luppojen kanssa. Suosivat rannikoita, joka alentaa indikaattoriarvoa.
<i>Platismatia glauca</i>	Harmaaröyhelö	++	Seurannaislajien määrän perusteella suhteellisen herkkä indikaattorilaji. Eniten puhtailla alueilla, puuttuu kuormitetuilta. Luontainen esiintyminen voi vaihdella suuresti.
<i>Vulpicida pinastri</i> (ennen <i>Cetraria pinastri</i>)	Keltaröyhelö	+	Esiintyminen usein satunnaista ja luontaisesti vaihtelevaa. Epäpuhtaudet voivat vaikuttaa esiintymiseen.
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	Hankakarve	++	Yleinen ja herkkä epifyyttilaji männyn rungoilla. Esiintyminen vastaa yleensä kuormitustasoa. Saasteista sekovarten selvästi havaittavia muutoksia. Suosivat rannikoita ja kuivia männiköitä.
<i>Cetraria chlorophylla</i>	Ruskoröyhelö	-	Harvinainen laji, jolla hyvin satunnainen esiintyminen. Voidaan löytää myös voimakkaasti kuormitetuilta alueilta.
<i>Parmelia sulcata</i>	Raidanisokarve	+	Harvinainen, ravinteisuudesta hyötyvä laji, joka indikoi kalkkipölyalueita.
<i>Algae & Scoliciosporum chlorococcum</i>	Sukkulajäkälät	+++	Viherleväpeite lisääntyy lähinnä typpilaskeuman vaikutuksesta. Hyviä typpikuormituksen indikaattoreita.

2.2. Männyn runkojäkälien kartoittaminen

Havaintoalueen viideltä männyltä laskettiin kultakin kaikkien kahdentoista indikaattorilajin esiintyvyys kolmiluokkaista runsausarviota käyttäen (Taulukko 3). Jäkälän tarkastelussa käytettiin kokoontaitettavaa Thread Counter mittaluuppia 10x suurennuskyvyllä. Sormipaisukarpeen ja luppojen esiintyvyys laskettiin pistefrekvenssimenetelmällä sekä SFS 5670 että SFS 16413 standardien mukaisesti, mutta SFS 5670 standardista poiketen jäkäliä ei laskettu 100 ruudun pistefrekvenssikalvossa ruutujen keskipisteen kohdalta, vaan koko ruudun alueelta. Jos ruudun alueella oli sekovarsi tai sen osa, ruutu laskettiin. Mayer et al. (2008) ehdottivat tätä lähestymistapaa artikkelissaan, jossa he kirjoittivat, että etenkin luppojen rihmamainen rakenne vähentää sen todennäköisyyttä päätyä mukaan laskuihin pisteiden kohdalta, vaikka loppoa olisi paikalla. Lisäksi he kirjoittivat, että kaikkien lajien laskeminen tällä läsnäolo/poissaolo menetelmällä poistaisi puolueellisuuden laskuista ja yksinkertaistaisi menetelmää. Uudessa SFS 16413 standardissa ruudukko on suurempi ja siinä huomioidaan jäkälät koko ruudun alueelta.

Jos pistefrekvenssilaskut olisi mitattu SFS 5670 standardin mukaisella tavalla, olisi 2017 aineistossa selvästi alhaisempia esiintyvyyksiä sormipaisukarpeelle (arviolta noin 1/4 vähemmän). Mayer et al. (2008) artikkelissa jäkälien vauriot arvioitiin sen mukaan, mikä oli vaurioitunein jäkäle rungolla.

Tässä tutkimuksessa arvioitiin kultakin puulta kaikkien jäkälien keskimääräinen vaurioaste, eikä pelkästään valittu kaikista vaurioituneista jäkälää. Jos puulla oli pääasiassa (> 50 %) jotain tiettyä luokkaa, se luokka valittiin. Usein puulla oli eri ilmansuunnilla eriasteisesti vaurioituneita jäkälä, joten täysin yksiselitteistä ja objektiivista arviota vauriosta on hankala saavuttaa. Sormipaisukarpeen vaurio on arvioitu SFS 5670 standardin mukaisesti, mutta yleisen vaurioluokituksen monitulkintaisuudesta johtuen taulukkoon 4 on kirjattu ne periaatteet, joiden mukaan yleinen vaurioluokitus tehtiin. Aineiston keräämisestä on kuva liitteessä 2 (Liite 2, kuvat 10–13).

Taulukko 3. Jäkälän runsauden luokittelu. Leväpeite ja seinänsuomujäkälä on luokiteltu peittävyys (%), muut lajit sekovarsien lukumäärien perusteella.

Luokka	Sekovarsien määrä kpl	Peittävyys %
1	1-2	< 5
2	2-7	5-49
3	> 7	> 50

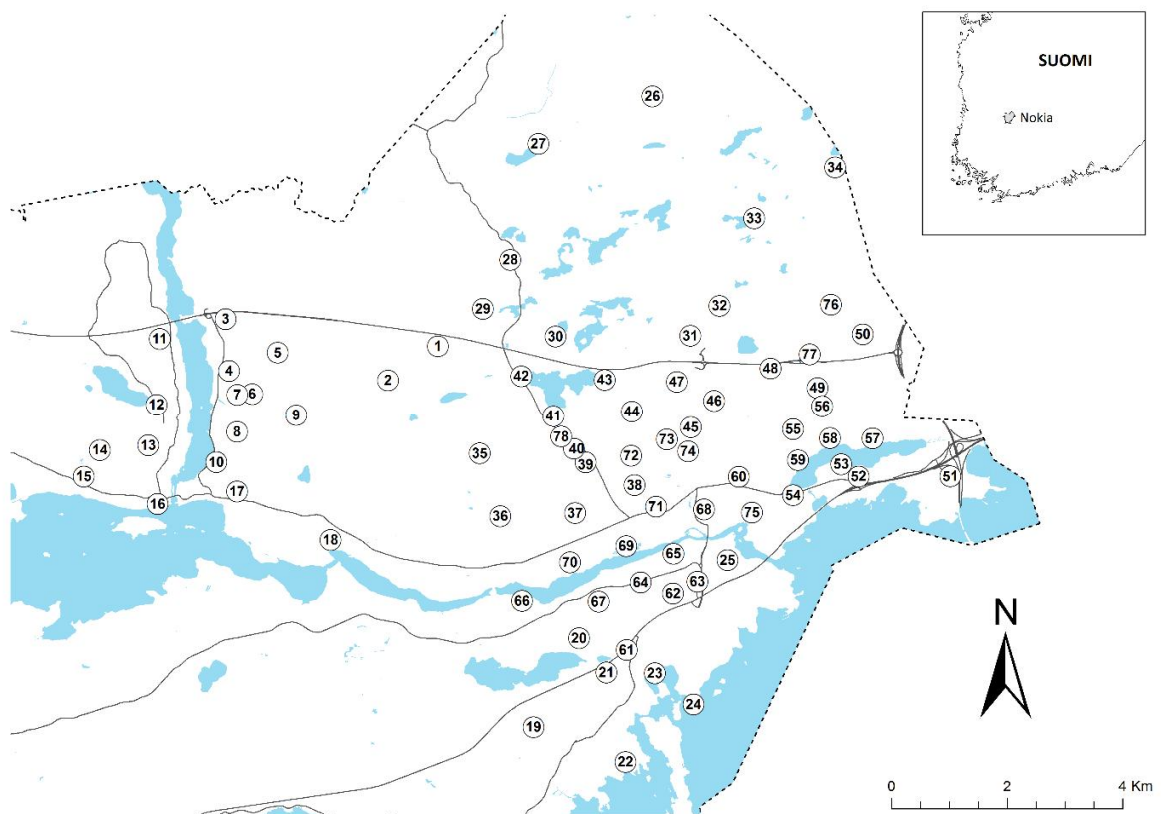
Taulukko 4. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioluokitus ja 2017 tutkimuksessa käytetty runkojäkälien yleinen vaurioluokitus.

Vaurio	Sormipaisukarve	Yleinen vaurioluokitus
1 Normaali	Rakenne normaali, väri vaalean vihertävänharmaa.	Sekä pensasmaisia että lehtimäisiä jäkälä esiintyy ja kaikki normaalikunnossa.
2 Lievä vaurio	Sekovarren liuskat lievästi kitukasvuisia, väri lievästi vihertynyt	Pensasmaisia jäkälä ei ole, tai ne ovat kitukasvuisia, ja lehtimäiset ovat normaaleja.
3 Selvä vaurio	Liuskat selvästi kitukasvuisia ja sekovarsi etenkin keskiosastaan epämuodostunut (ryppyinen). Väri selvästi vihertynyt.	Pensasmaisia jäkälä ei ole, tai ne ovat pieniä, ja lehtimäiset ovat lievästi tai selvästi vaurioitunutta.
4 Paha vaurio	Sekovarsi erittäin pieni, rypistynyt ja selvästi vihertynyt.	Pensasmaisia jäkälä ei ole ja lehtimäiset ovat pahoin vaurioituneita.
5 Kuollut tai puuttuu	Suojaisissa kaarnan painanteissa voi esiintyä kitukasvuisena. Leväpeite runsasta.	Lehtimäisetkin jäkälät puuttuvat. Leväpeitettä voi esiintyä.

Havaintoalueen korkeudet laskettiin jälkikäteen maanmittauslaitoksen (MML 2017) ”Korkeusmalli 2 m” aineistosta. Kyseessä on laserkeilausaineistosta tuotettu maanpinnan korkeutta kuvaava malli, jonka ruutukoko on 2 m x 2 m. MML:n korkeusmalli 2m GeoTIFF tiedostoista tehtiin ArcCatalog 10.5 ohjelmalla mosaiikkiaineisto. Korkeudet havaintoaloille saatiin tästä korkeusmallimosaiikista ArcGIS 10.5 ohjelmalla, tekemällä 8 metrin säteellä pisteiden ympärille havaintoalueen kokoinen vyöhyke ja laskemalla korkeusrasterin keskiarvo sen alueelta. Tällä menetelmällä kullekin havaintoalalle saatiin tarkemmat korkeudet kuin maastossa älypuhelimella mittaamalla. 2017 aineiston matalin piste oli 73,6 ja korkein piste 167,8 metriä merenpinnasta.

2.3. Tutkimusalue ja näytealat

Kaikki havaintoalueet sijaitsivat Nokian kunnan pohjoispuolella, painottuen keskustan ja Linnavuoren alueille (Kuva 1). Havaintoalueet pyrittiin sijoittamaan samoille paikoille kuin vuoden 1997 kartoituksessa, mutta suurta osaa (74 %) näytealoista tarvitsi siirtää, koska alkuperäisen pisteen alueella ei joko ollut mäntyjä tai männyt eivät olleet standardien vaatimusten mukaisia. Uuden havaintoalan valinta tehtiin etsimällä lähin mahdollinen sopiva piste. Pääasiassa siirrettyjen pisteiden uudet paikat olivat lähellä alkuperäisiä. Kaksi pistettä jätettiin 2017 aineiston ulkopuolelle (pisteet 51 ja 76 vuoden 1997 aineistossa), sillä toisen paikalle oli tullut kerrostalo ja toisen paikalle moottoritie, eikä kummassakaan tapauksessa lähialueelta löytynyt toista sopivaa aluetta.



Kuva 1. Havaintoalueiden sijainnit ja numerointi. Kaikki havaintoalueet sijaitsivat Nokian kunnan pohjoispuolella.

Teiden tiedostot karttoja varten ladattiin liikenneviraston latauspalvelusta (Liikennevirasto 2017), Tason nimi: Tieluokat. Aineisto kattaa Liikenneviraston ylläpitämän maantieverkon. Vesistöjen polygonit ladattiin Suomen ympäristökeskukselta (SYKE 2017, C), tasojen nimet: Ranta10 – Järvet, ja Ranta10 - Joet. Maanmittauslaitokselta (MML 2017) ladattiin Kuntajako 1:10 000 niminen aineisto, josta eristettiin Nokian kuntarajat.

2.4. Tulosten käsittely ja tutkimuksen aineisto

Tulokset on esitetty symbolikuvina sekä vyöhykekuvina (Kriging interpolointeina) 1997 raporttia mukaillen. Laskuissa on käytetty kaikkien näytealojen ko. muuttujan arvoja (näytealakohtaisia keskiarvoja). Interpolointipinnat ovat laskelmallisia ja piirtyvät täten myös vesistöjen päälle. Symbolikuvissa pallojen koko muuttuu portaittaisesti selitteiden mukaan.

Raportin näytealakohtaiset tulokset ovat liitteessä 1. Alkuperäiset havaintolomakkeet on luovutettu tutkimuksen tilaajalle.

2.5. Menetelmän virhelähteet ja luotettavuus

Jäkäläkartoituksen toistettavuutta ja mittaustarkkuutta ei ole erikseen systemaattisesti arvioitu, vaan käytetty menetelmä on kuvattu standardeissa SFS 5670 ja SFS 16413.

Conti & Cecchetti (2001) toivat artikkelissaan esille mahdollisia ongelmia jäkäläkartoituksissa. Jäkälät ovat biologisia indikaattoriorganismeja, joita voidaan käyttää saasteiden kvantitatiiviseen arvioimiseen ja ne voidaan luokitella joko herkiksi tai kerryttäviksi. Artikkelin mukaan on kuitenkin perustavanlaatuisen tärkeää määritellä viitetasot ekosysteemin saasteille, kun biologisia seuranta tutkimuksia tehdään. Tutkittavat ominaisuudet voivat myös vaihdella ajassa ja paikassa. Useiden saasteiden alhaiset pitoisuudet voivat johtaa haasteisiin tulosten tulkinnassa. Artikkelin mukaan on myös vaikeaa olla varma epäsäännöllisten tai satunnaisten päästöjen vaikutuksista ja täten tutkittujen lajien biologisia sietävyystasoja ei välttämättä oteta huomioon tarvittavalla tavalla. Usein annosvaikutussuhteella ei ole lineaarista vastetta ja näin ollen tulosten tulkinnassa voi kohdata ongelmia, kun organismien ja ekosysteemien vaurioita arvioidaan.

Kartoituksen tekijöiden lajintuntemus ja kokemus bioindikaattoritutkimusten tekemisessä vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Lajintuntemuksen tulee kattaa myös näköislajit, ei pelkästään 12 indikaattorilajia. Ilman epäpuhtaudet aiheuttavat huomattavia muutoksia lajien ulkonäköön, joten luonnontilaisten jäkälien tunteminen ei yksinään riitä.

Aiemmissa tutkimuksissa pieni osa pisteistä oli sijoitettu paikoille, jotka olivat 2017 vuonna SFS standardien mukaisesti sopimattomilla paikoilla. Edellisestä tutkimuksesta on 20 vuotta aikaa, joten ympäristö on ainakin joissakin tapauksissa ehtinyt muuttumaan viime tutkimuksen jälkeen. 2017 tutkimuksessa pyrittiin korjaamaan pisteet mahdollisimman hyvin SFS standardeja vastaaville paikoille, jotta esimerkiksi polkujen lähellä syntyvät muutokset runkojen kulumisessa ja alueen mikroilmastossa eivät vaikuttaisi tuloksiin.

Vaurioluokkien arvioiminen on tutkimuksen subjektiivisin osa. 2017 tutkimuksessa käytettiin vertauskohteena SFS 5670 standardin liitteinä olleita viittä kuvaa eri tasoin vaurioituneista sormipaisukarpeista. Vaurioarvioiden tuloksissa eri vuosien välillä saattaa olla eroja eri kartoittajien välillä. Puut, jotka olivat mukana 2017 kartoituksessa, eivät ole välttämättä samoja kuin 20 vuotta sitten, mikä huonontaa tulosten vertailukelpoisuutta.

2.6. IAP-indeksin laskeminen

IAP (Index of Atmospheric Purity, ilman puhtausindeksi) on indikaattoriarvoilla painotettu runsausarvojen summa. Se huomioi niiden epifyyttisten jäkälälajien läsnäolon, joilla on tunnettu herkkyys ilmansaasteille. Mitä suurempi IAP arvo, sitä rikkaampi näytealan jäkälälajisto ja sitä enemmän ilman epäpuhtauksille herkkiä lajeja sillä esiintyy. Tässä selvityksessä käytettiin 1997 raportin mukaista luokitusta indeksille (Taulukko 5).

Seurannaislajien määrät indeksia varten laskettiin 2017 ja 1991 vuoden aineistoista erikseen. 1991 tutkimuksesta ei ollut aiemmin laskettu IAP-indeksin arvoja. 1997 tutkimuksessa IAP-indeksi oli laskettu aineistoon valmiiksi.

Indeksi laskettiin kullekin näytealalle seuraavalla kaavalla:

$$\text{IAP} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^N Q_i f_i$$

- missä,
- Q = Keskimääräinen seurannaislajien määrä kullekin epifyyttiselle jäkälälle.
 - f = Lajin suhteellinen esiintymisfrekvenssi näytealojen puilla (0-1). Saatiin jakamalla niiden puiden määrä, joilla lajia havainnoitiin, viidellä, eli havainnoitujen puiden kokonaismäärällä.
 - N = Lajien lukumäärä kullakin alalla.

Indeksin laskemisessa ei oteta huomioon viherleviä ja seinänsuomujäkälää, sillä ne ovat ilman epäpuhtauksia suosivia lajeja.

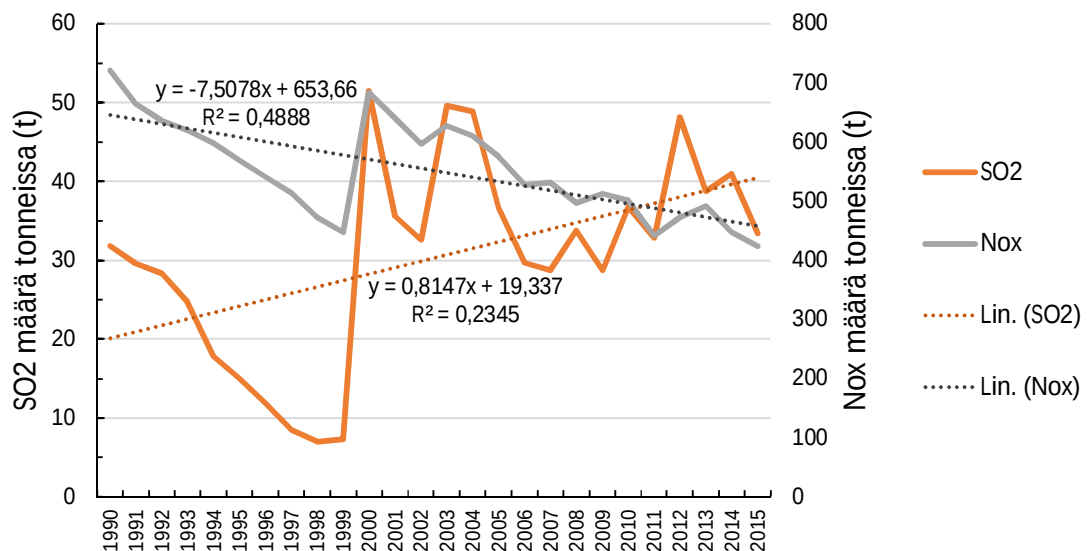
Taulukko 5. Näytealojen jäkäläkasvillisuuden luokitus IAP-indeksin perusteella (Niskanen 1997 mukaan).

IAP-indeksi	Kuvaus jäkäläkasvillisuudesta
>2,5	Jäkälälajisto vastaa tausta-alueiden lajistoa, mukana yleisesti herkimpiä lajeja.
1,5-2,5	Lajistossa lieviä muutoksia, lajilukumäärä on pienempi kuin tausta-alueilla, herkimpiä lajeja puuttuu yleisesti.
0,5-1,5	Lajisto on köyhtynyt, herkimpiä lajeja voi esiintyä yksittäisillä rungoilla.
<0,5	Lajisto on erittäin selvästi köyhtynyt, herkimmat lajit puuttuvat kokonaan, rungoilla esiintyy yleisesti ilmansaasteista hyötyviä lajeja.

2.7. Ilman epäpuhtauksien päästöaineistot

Suomen ympäristökeskukselta (SYKE 2017, D) on ladattavissa alueelliset tiedot kokonaispäästöistä ilmaan. Aineistoon on laskettu yhteen päästöt pistemäisistä lähteistä ja alueelliset päästölähteet kuten kotitalouksien ja palvelusektorin, liikenteen, maatalouden, pienteollisuuden ja jätteiden käsittelyn päästöt sekä liuottimien ja tuotteiden käytöstä aiheutuvat päästöt. Aineiston pistemäisten lähteiden tiedot ovat laskennallisia silloin, kun käytettävissä ei ole ollut laitosten ilmoittamia tietoja. Alueellisten päästölähteiden (esim. liikenne ja maatalous) tiedot ovat laskennallisia ja ne on jyvitetty maantieteellisesti koko maan päästötiedoista.

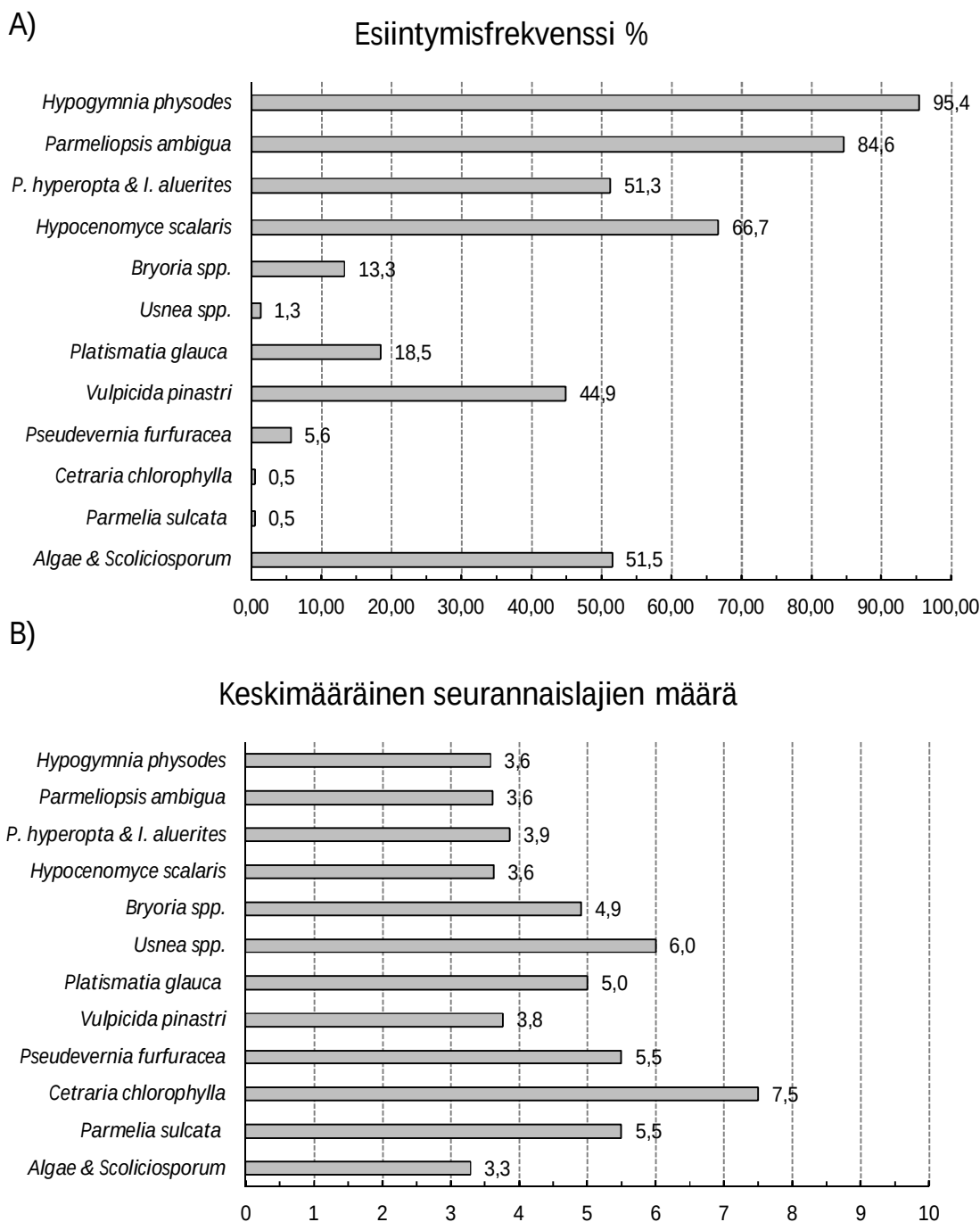
Nokian kunnan päästötiedot ladattiin ympäristöhallinnon Herttapalvelusta. Kaikkien ilman epäpuhtauksien aineistot ladattiin kaikilta saatavilla olevilta vuosilta (1990-2015). Kuvassa 2 on esitetty rikkidioksidin ja typen oksidien päästöjen kehitys Nokialla SYKE:n tietojen mukaisesti.



Kuva 2. Rikkidioksidin ja typen oksidien päästöjen kehitys Nokialla (1990–2015). Aineisto: Suomen ympäristökeskus (SYKE 2017, D). Kuvaajasta huomaa, kuinka rikkidioksidin päästöt nelinkertaistuivat 1990-luvun lopulla, juuri edellisen jäkäläkartoituksen jälkeen. Siitä lähtien päästöt ovat pääasiassa pysyneet 1990 vuoden tasoa korkeammalla. Edellinen jäkäläkartoitus tehtiin vuonna 1997, jolloin ilman epäpuhtauksien päästöt olivat alimmillaan. 2017 aineisto tulee saataville vasta vuonna 2019. Vuosien välillä on etenkin 2000-luvulla ollut suurta vaihtelua rikkidioksidin päästöissä.

3. Tulokset

3.1. Jäkälälajien esiintyminen tutkimusalueella



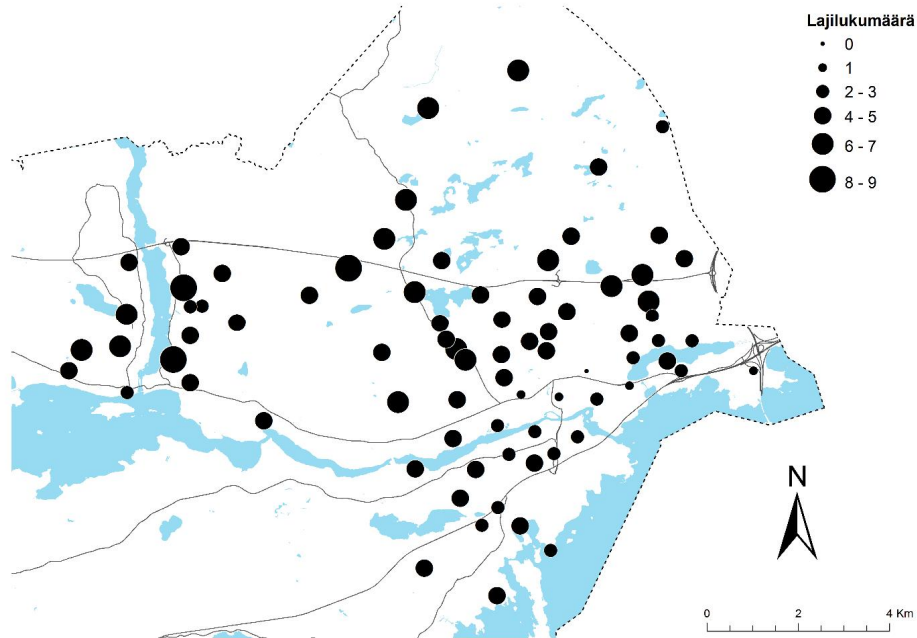
Kuva 3. A) Osuus kaikista puista joilla lajia esiintyi 2017 aineistossa. B) Kunkin lajin keskimääräiset seurannaislajien lukumäärät 2017 aineiston havaintoalueilla.

2017 vuoden aineistossa ilmansaasteita kestävien lajien esiintymisfrekvenssit olivat huomattavasti suurempia kuin epäpuhtauksille herkillä lajeilla (Kuva 3). Epäpuhtauksista hyötyvällä leväpeitteellä ja seinänsuomujäkälällä runsaudet olivat suuria. Taulukossa 6 on vertailtu 2017 vuoden ja 1997 vuoden esiintymisfrekvenssejä. Leväpeitettä oli 2,2 % pienemmällä määrällä puita vuonna 2017 kuin vuonna 1997 ja seinänsuomujäkälää oli 13,9 % suuremmalla määrällä puita kuin vuonna 1997. Luppojen esiintyvyys oli vähentynyt 28,7 %, naavojen 17,2 % ja harmaaröyhelön 20,8 %. Myös hankakarvetta ja ruskoröyhelöä oli huomattavasti vähemmän vuonna 2017.

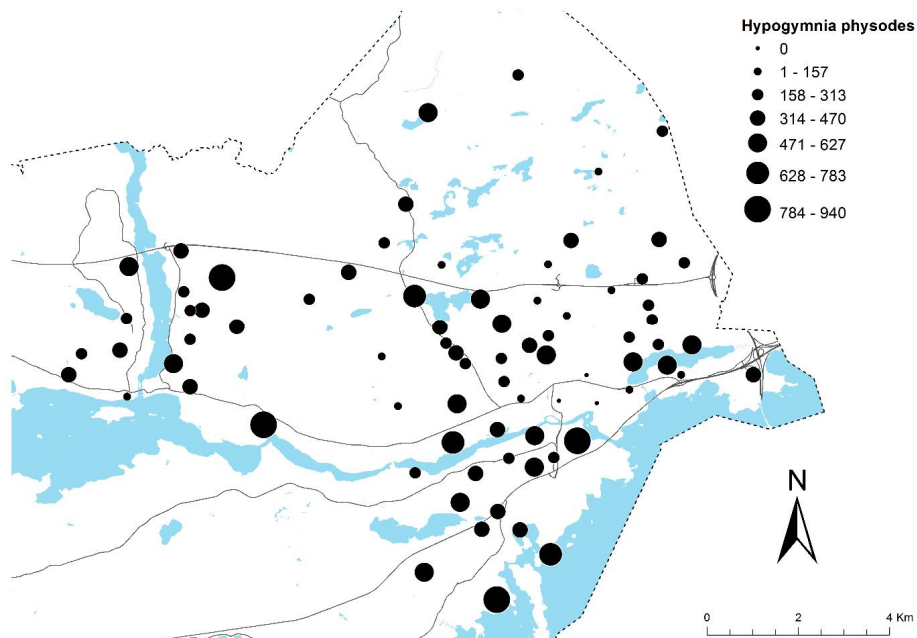
Taulukko 6. Tutkittujen jäkälälajien esiintymisfrekvenssien muutos 1997 vuodesta 2017 vuoteen (1997 prosenttiyksikköjen arvot vähennetty 2017 prosenttiyksikköiden arvoista). Erotus kertoo kuinka monta prosenttiyksikköä enemmän tai vähemmän kutakin lajia oli 2017 aineistossa.

Laji	Erotus
<i>Hypogymnia physodes</i>	-2.0
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	-1.9
<i>P. hyperopta</i> & <i>I. aluerites</i>	8.2
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	13.9
<i>Bryoria</i> spp.	-28.7
<i>Usnea</i> spp.	-17.2
<i>Platismatia glauca</i>	-20.8
<i>Vulpicida pinastri</i>	18.9
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	-7.6
<i>Cetraria chlorophylla</i>	-9.6
<i>Parmelia sulcata</i>	0.5
<i>Algae & Scoliciosporum</i>	-2.2

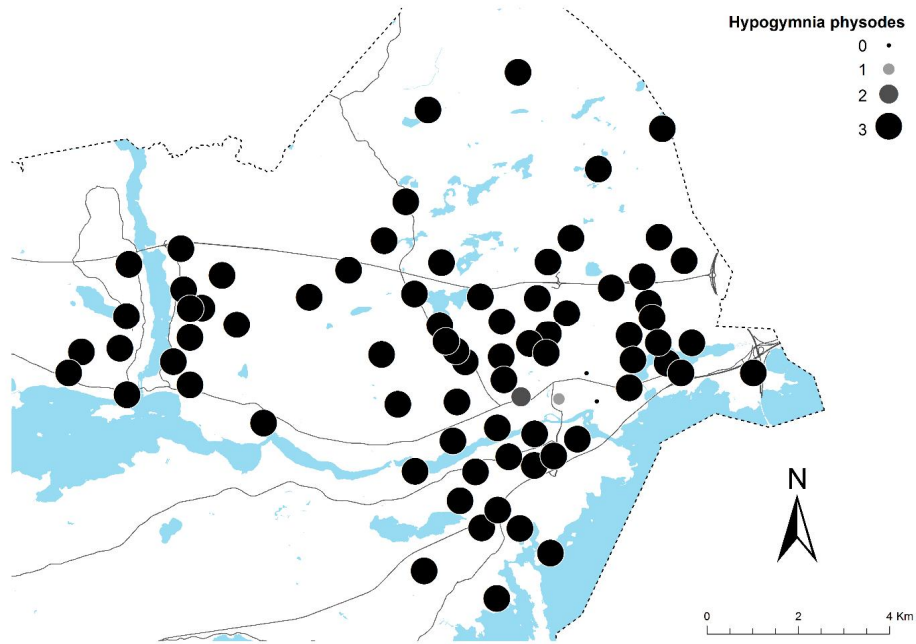
3.2. Jäkälälajien lukumäärät ja runsaudet tutkimusalueella



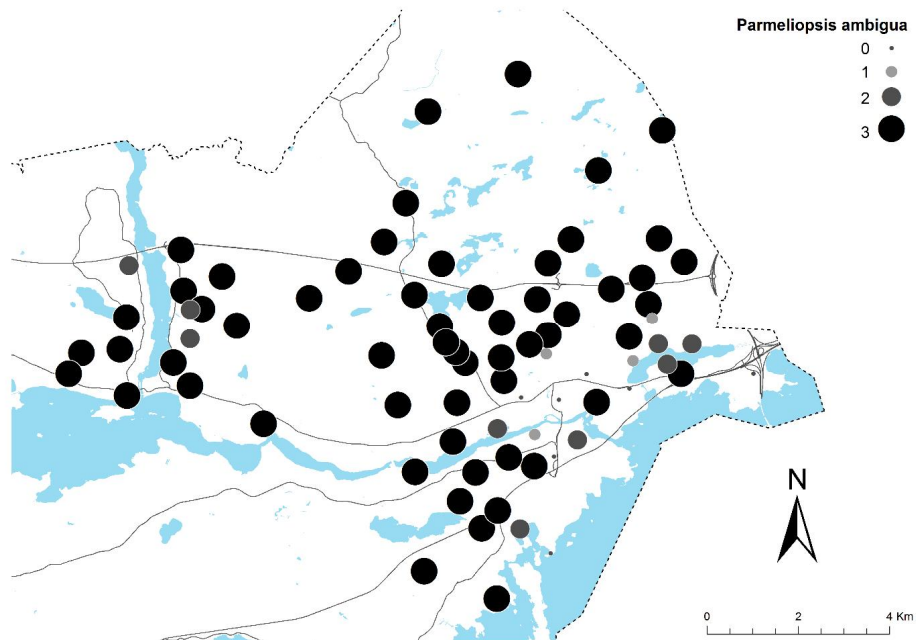
Kuva 4. Jäkälälajien lukumäärät näytealoilla kesällä 2017. Lajimäärissä ei ole mukana seinänsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) eikä viherleväpeite ja vihersukkulajäkälä (*Algae + Scoliciosporum chlorococcum*).



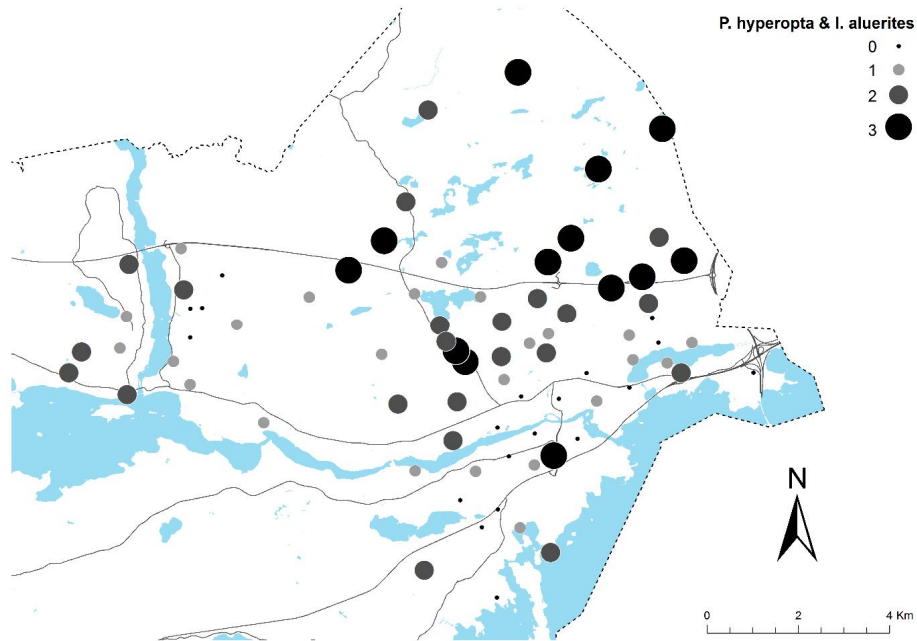
Kuva 5. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) peittävyudet näytealoilla kesällä 2017. Tulokset on esitetty viiden puun pistefrekvenssimittausten summana, arvot välillä 0–1000. (SFS 5670 standardin mukaan.)



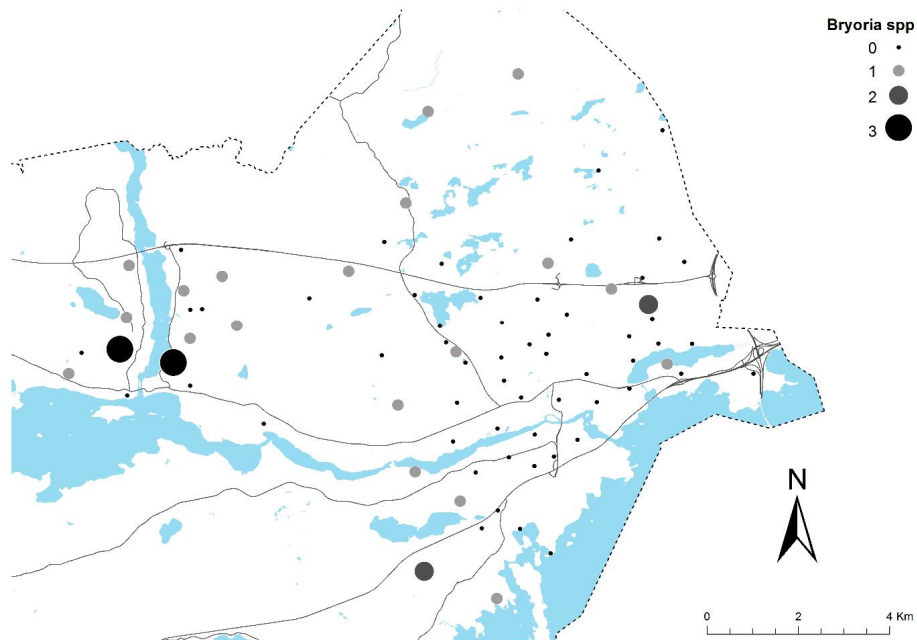
Kuva 6. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) keskimääräiset runsaudet kesällä 2017. Luokitus: 1 = 1-2 sekovartta, 2 = 3-7 sekovartta, 3 = > 7 sekovartta.



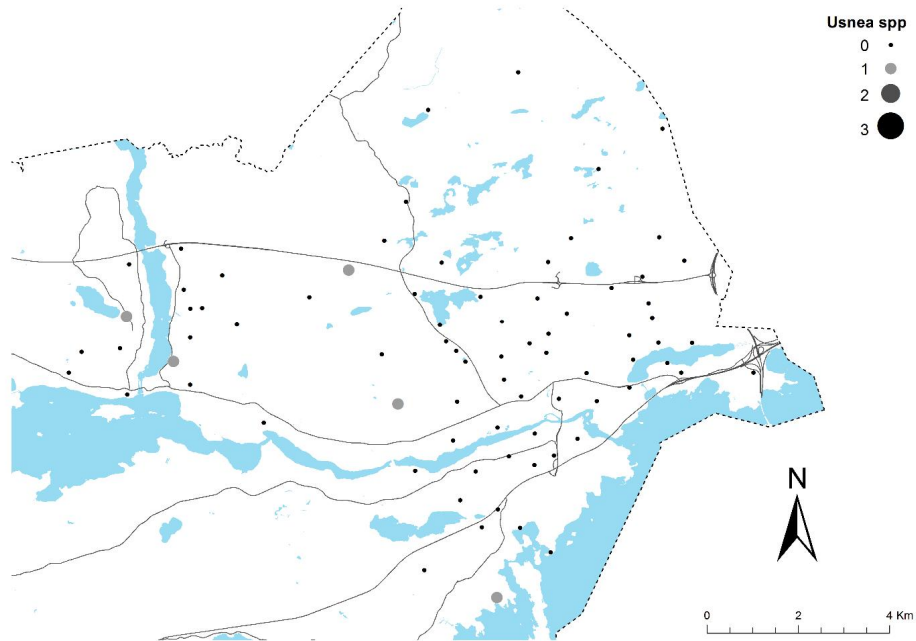
Kuva 7. Keltatyvikarpeen (*Parmeliopsis ambigua*) keskimääräiset runsaudet kesällä 2017. Luokitus: 1 = 1-2 sekovartta, 2 = 3-7 sekovartta, 3 = > 7 sekovartta.



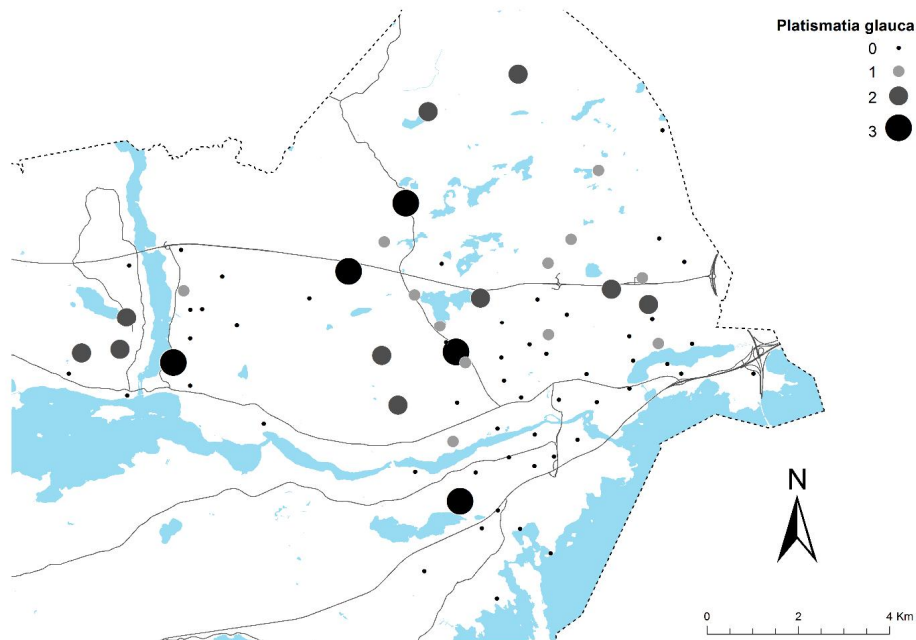
Kuva 8. Harmaatyvikarpeen (*Parmeliopsis hyperopta*) ja tuhkakarpeen (*Imshaugia aleurites*) keskimääräiset runsaudet kesällä 2017. Luokitus: 1 = 1-2 sekovartta, 2 = 3-7 sekovartta, 3 = > 7 sekovartta.



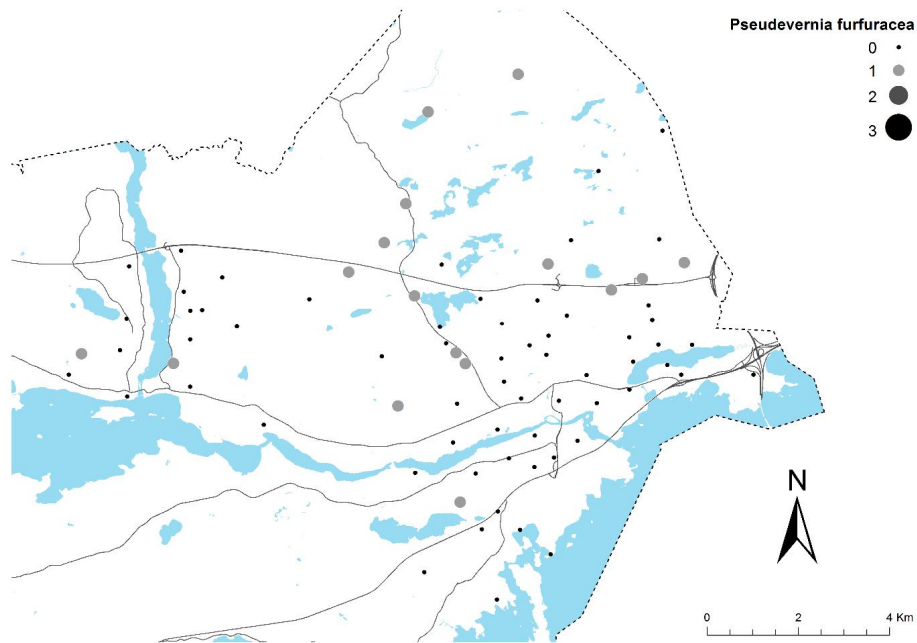
Kuva 9. Luppojen (*Bryoria* spp.) keskimääräiset runsaudet kesällä 2017. Luokitus: 1 = 1-2 sekovartta, 2 = 3-7 sekovartta, 3 = > 7 sekovartta.



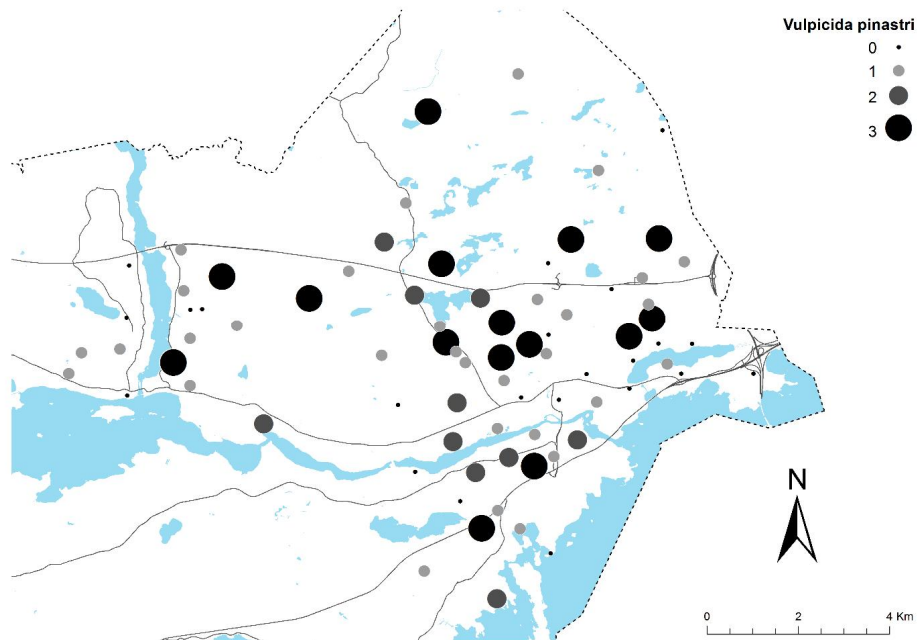
Kuva 10. Naavojen (*Usnea* spp.) keskimääräiset runsaudet kesällä 2017.
Luokitus: 1 = 1-2 sekovartta, 2 = 3-7 sekovartta, 3 = > 7 sekovartta.



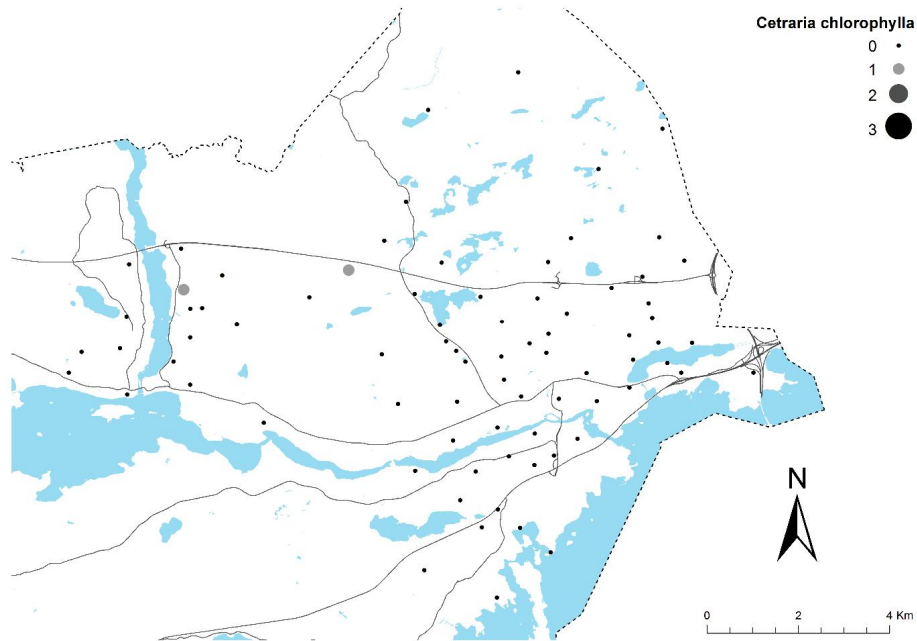
Kuva 11. Harmaaröyhelön (*Platismatia glauca*) keskimääräiset runsaudet kesällä 2017.
Luokitus: 1 = 1-2 sekovartta, 2 = 3-7 sekovartta, 3 = > 7 sekovartta.



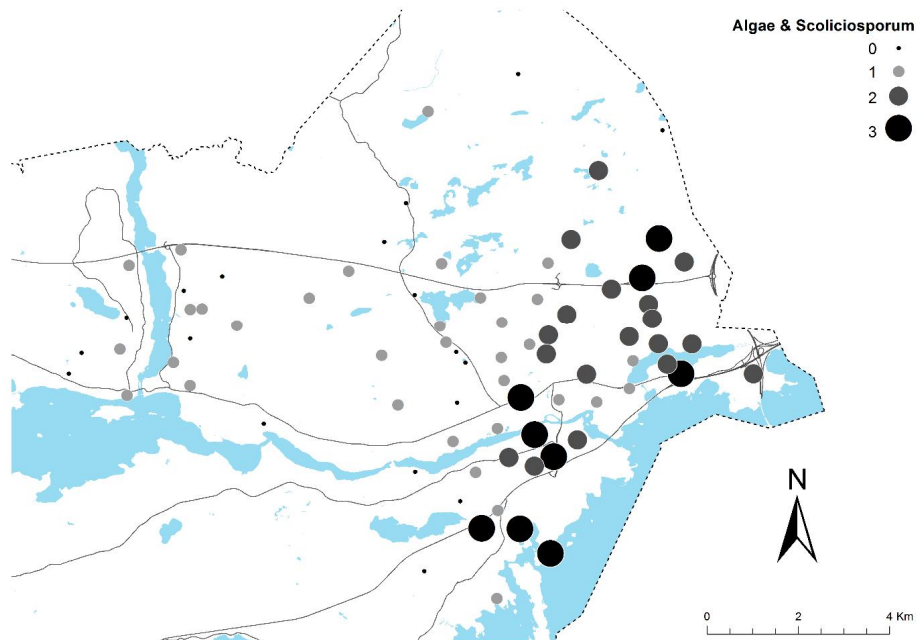
Kuva 12. Hankakarpeen (*Pseudevernia furfuracea*) keskimääräiset runsaudet kesällä 2017. Luokitus: 1 = 1-2 sekovartta, 2 = 3-7 sekovartta, 3 = > 7 sekovartta.



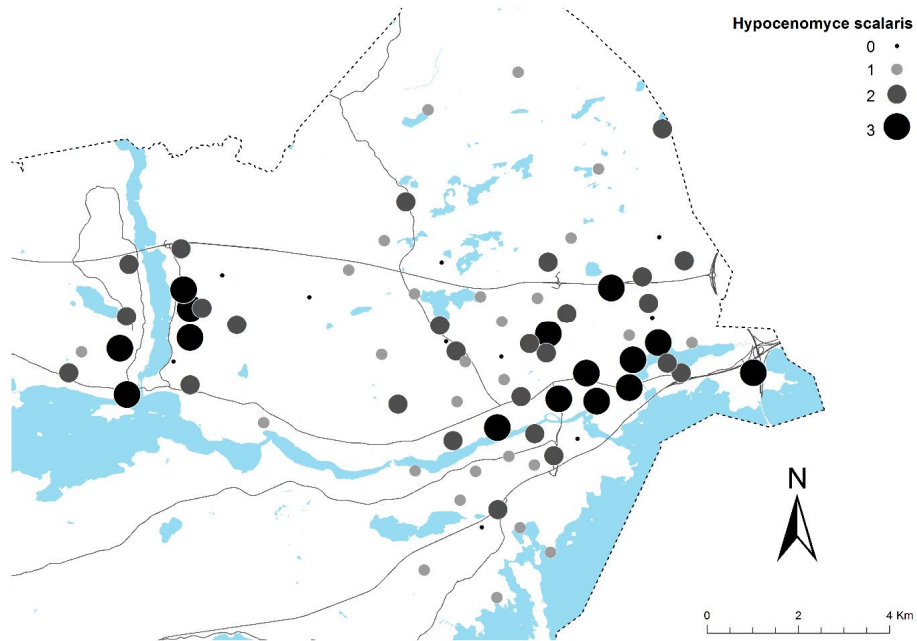
Kuva 13. Keltaröyhelön (*Vulpicida pinastri*) keskimääräiset runsaudet kesällä 2017. Luokitus: 1 = 1-2 sekovartta, 2 = 3-7 sekovartta, 3 = > 7 sekovartta.



Kuva 14. Ruskoröyhelön (*Cetraria chlorophylla*) keskimääräiset runsaudet kesällä 2017.
Luokitus: 1 = 1-2 sekovartta, 2 = 3-7 sekovartta, 3 = > 7 sekovartta.

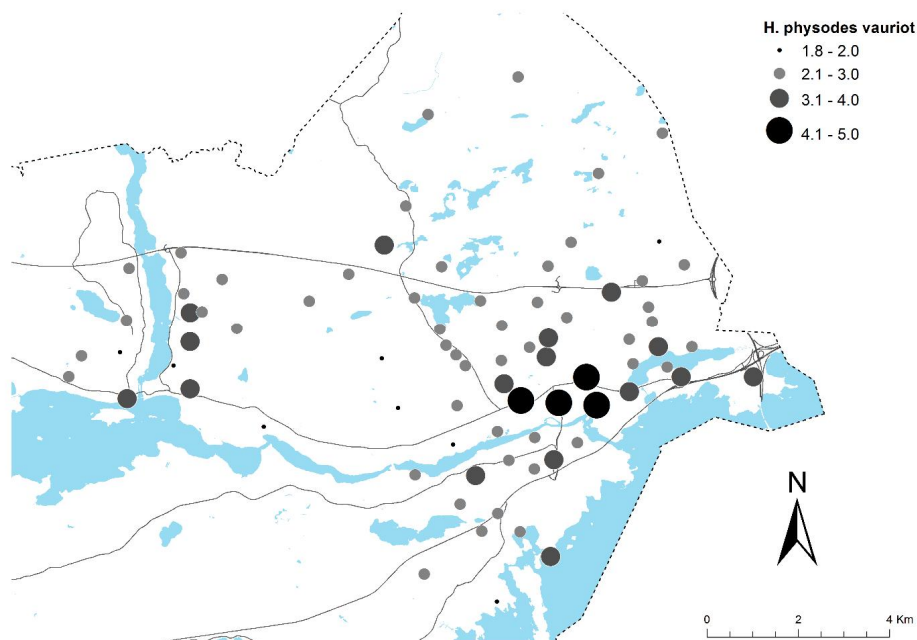


Kuva 15. Viherleväpeitteen (*Algae + Scoliciosporum chlorococcum*) keskimääräiset peittävyudet kesällä 2017.
Luokitus: 1 = < 5 %, 2 = 5-49 %, 3 = > 50 %.



Kuva 16. Seinänsuomujäkälän (*Hypocynomyce scalaris*) keskimääräiset peittävyudet kesällä 2017. Luokitus: 1 = < 5 %, 2 = 5-49 %, 3 = > 50 %.

3.3. Jäkälän vauriotasot tutkimusalueella



Kuva 17. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) keskimääräiset vaurioluokat kesällä 2017. Vaurioiden luokitus on esitetty taulukossa 4. Yksikään havaintoalue ei ollut täysin normaalikuntoiseksi luokiteltavissa.



Kuva 18. Jäkälien keskimääräiset vaurioluokat kesällä 2017. Vaurioiden luokitus on esitetty taulukossa 4. Huomaa, että yksikään havaintoalue ei ollut täysin normaalikuntoiseksi luokiteltavissa.

3.4. Lajikohtaiset kuvaukset esiintyvyyksistä

Tutkitut lajit on luokiteltu alle sen mukaan, kuinka herkkiä ne ovat rikkidioksidille (Kuusinen ym. 1990). Suluissa olevat "+" tai "-" merkinnät viittaavat lajien yleiseen indikaattoriarvoon, kuten luokiteltu 1997 vuoden raportissa.

3.4.1. Herkät jäkälälajit

Lupot (*Bryoria* spp.; +++) ja naavat (*Usnea* spp.; ++) puuttuivat kokonaan keskustasta ja taajama-alueelta. Naavat esiintyivät aina luppojen seurassa. Siurossa luppoja esiintyi eniten. Luppojen esiintymisfrekvenssit olivat pääasiassa vähäisiä läpi tutkimusalueen, naavojen erittäin vähäisiä.

3.4.2. Melko herkät jäkälälajit

Hankakarvetta (*Pseudevernia furfuracea*; ++) esiintyi noin kuudella prosentilla havaintoaloista, mutta keskimääräinen runsaus ei koskaan ylittänyt kahta sekovartta. Keskustan alueelta tämä rikkidioksidille melko herkkä laji puuttui kokonaan.

Harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*; ++) puuttui taajama-alueelta, mutta sitä esiintyi paikoittain runsaasti sen ulkopuolella. Yhtä havaintoalaa lukuun ottamatta, harmaaröyhelö puuttui täysin Nokianvirran eteläpuolelta.

Raidanisokarve (*Parmelia sulcata*; +) oli erittäin harvinainen Nokian alueella. Sitä esiintyi vain kahdella puulla, kahdella eri havaintoalueella, joista toinen oli Linnavuorella ja toinen Koskenmäessä.

Harmaatyvikarve (*Parmeliopsis hyperopta*; ++) ja tuhkakarve (*Imshaugia aleurites*; ++) puuttuivat aivan ydinkeskustasta, mutta taajama-alueella keskimääräiset runsaudet kasvoivat ja pohjoisilla havaintoalueilla taajama-alueen ulkopuolella runsaudet olivat suurimmillaan. Harmaatyvi- ja tuhkakarve olivat yhdessä kolmanneksi yleisin jäkälälaji Nokialla, kun seinänsuomujäkälää ja leväpeitettä sekä vihersukkulajäkälää ei oteta huomioon.

3.4.3. Melko kestävät jäkälälajit

Sormipaisukarvetta (*Hypogymnia physodes*; +++) esiintyi lähes kaikilla havaintoaloilla, kahta pistettä lukuun ottamatta Nokian ydinkeskustassa. Ydinkeskustan havaintoaloilla oli myös pienimmät peittävyysarvot. Pääasiassa tätä rikkidioksidille melko kestävää lajia oli kuitenkin runsaasti läpi tutkimusalueen. Paikoittain sormipaisukarpeen peittävyysarvot olivat pieniä myös sellaisilla alueilla, joissa lajimäärät muuten olivat suuria. Tämä saattaa johtua lajien välisestä kilpailusta. Pääasiassa sormipaisukarpeet olivat vähintään lievästi vaurioituneita koko tutkimusalueella, normaalikuntoisia jäkäläiä löytyi vain harvoin. Suurimmat vauriot sijoittuivat ydinkeskustan alueelle.

Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*; +++) oli tutkimuksessa toiseksi yleisin laji mäntyjen rungoilla. Myös keltatyvikarpeella oli ydinkeskustassa aukkoja esiintyvyydessä, ja paikoittain runsaus oli pienempi mm. Linnavuorella. Taajama-alueella keltatyvikarpeessa oli paikoittain nähtävissä vaurioita ja mm. värin muuttumista valkoiseksi saman sekovarren eri osien välillä. Tämä saattaa johtua vaurioista, mutta toisaalta kyse voi olla myös geneettisestä poikkeavuudesta.

Ruskoröyhelö (*Cetraria chlorophylla*; -) oli tutkimusalueella yhtä harvinainen kuin raidanisokarve. Ruskoröyhelöä esiintyi vain Linnavuorella ja yhdellä pisteellä kaukana taajama-alueesta Porintien varrella. Kaikista lajeista suurin keskimääräinen seurannaislajien määrä oli ruskoröyhelöllä.

Keltaröyhelön (*Vulpicida pinastri*; +) esiintyvyys ja runsaus näyttivät jakautuvan jokseenkin sattumanvaraisesti läpi tutkimusalueen. Keskustan alueella keltaröyhelön runsaus vaikutti kuitenkin olevan pienempi, sillä runsaat esiintymät puuttuivat.

3.4.4. Kestävät ja hyötyvät

Seinänsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*; ++) hyötyy etenkin ilmansaasteiden mukana tulevasta typpilaskeumasta, ja esiintyminen olikin runsaimmillaan Nokian ydinkeskustan sekä Siuron ja Linnavuoren alueilla. Runsaudet olivat pienimmillään taajama-alueilla ja etenkin niiden ulkopuolella.

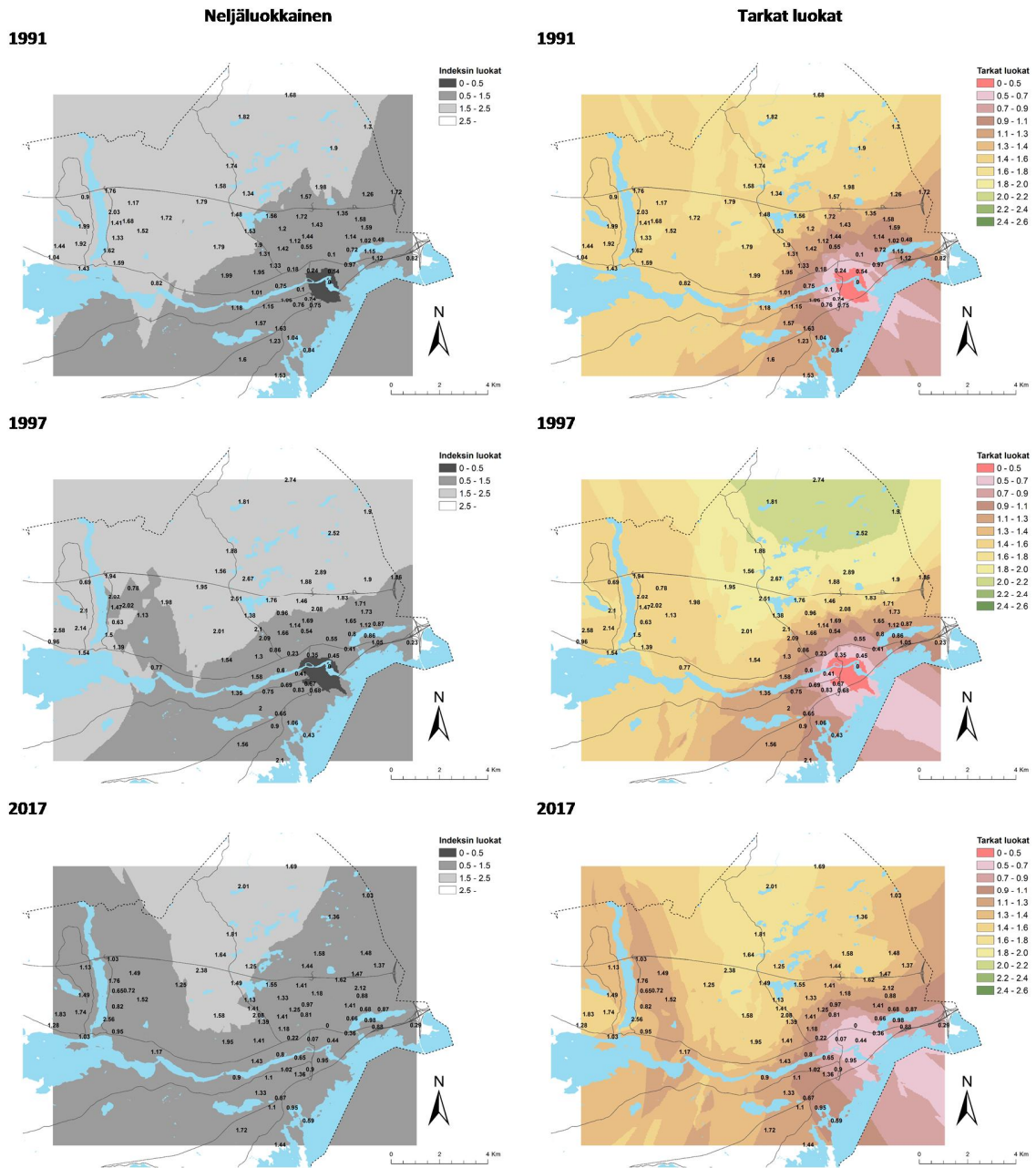
Leväpeitteen runsaudet (*Algae & Scoliciosporum chlorococcum*; +++) mäntyjen rungoilla olivat suurimmillaan tutkimusalueen itäosissa. Runsaimmillaan leväpeite oli ydinkeskustassa, Koskenmäessä, Kehon aluella, Maatialanharjulla, Kankaantaan teollisuusalueella ja Porintien pohjoispuolella kallioulouhosten lähialueella (alueella on kaksi toimivaa vierekkäistä louhosta: 2002 aloittanut Rudus Oy, sekä 2009 vuonna toimintaluvan saanut Morenia Oy). Siurrossa tilanne oli hieman parantunut aiempiin vuosiin verrattuna.

3.5. Kriging interpoloinnit

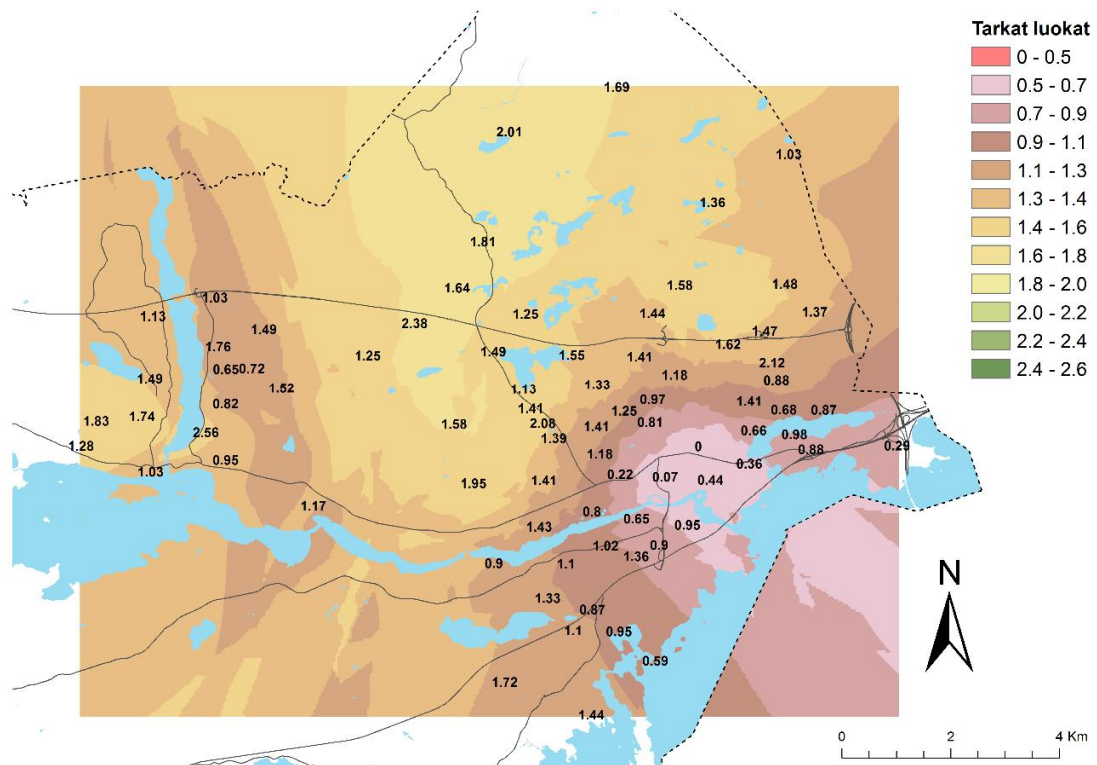
Interpoloinnissa aineiston perusteella lasketaan ennustepinta aineiston kattamalle alueelle. Karttojen ennustepinnat eivät ole päteviä mittauspisteiden ulkopuolella, vaikka ennustepinta piiryykin esimerkiksi Nokian kaakkoisosassa Pyhäjärven päälle ja Nokian kunnan rajojen ulkopuolelle. Kriging interpolointi on eksakti (alkuperäiset arvot säilyttävä) ja lokaali menetelmä (vain paikalliset arvot vaikuttavat interpolointiin).

3.5.1. IAP interpoloinnit

IAP (Index of Atmospheric Purity; ilman puhtausindeksi) on indikaattoriarvoilla painotettu runsausarvojen summa (ks. kohta 2.6 tässä raportissa).



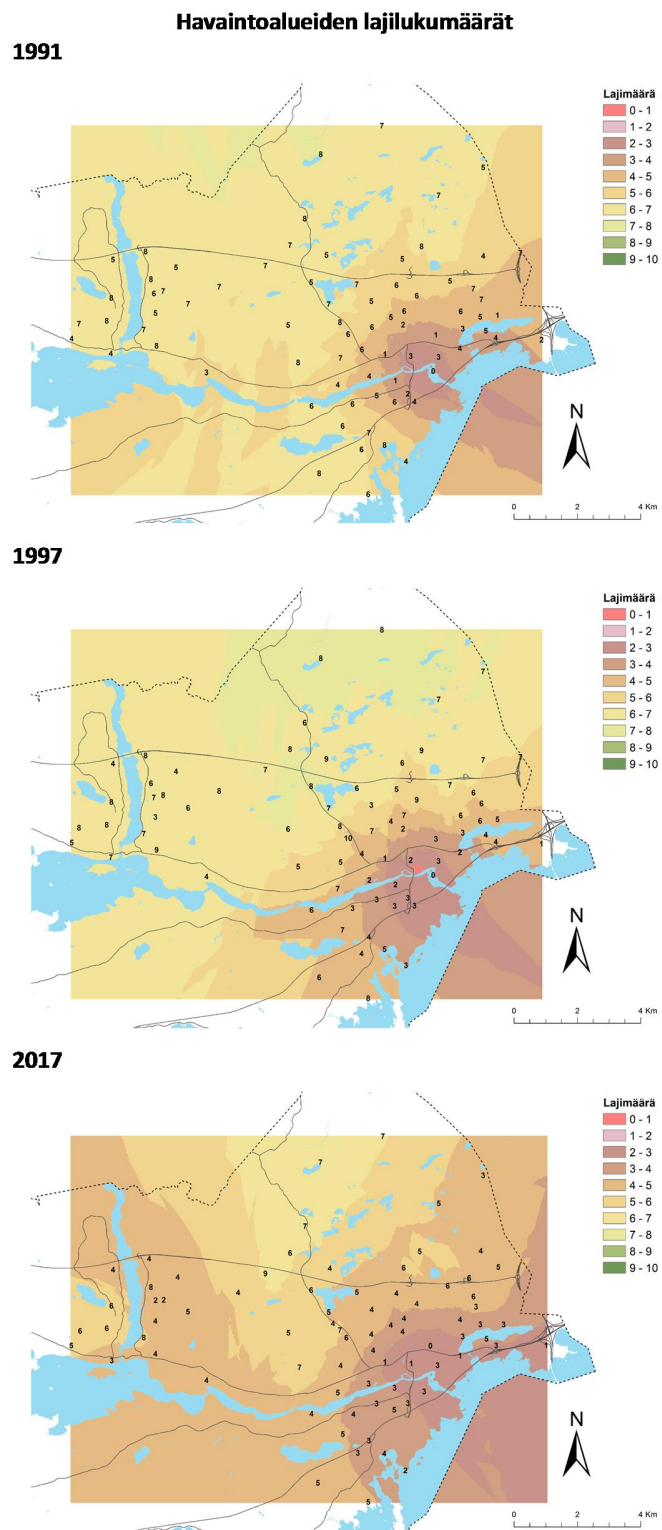
Kuva 19. IAP-indeksien mukaan Kriging menetelmällä interpoloidut kartat vuosilta 1991, 1997 ja 2017. Vasemmalla puolella alkuperäinen neljäluokkainen luokittelu, ja oikealla puolella tarkempi 12 luokkainen luokittelu, joka on paremmin verrattavissa 1997 vuoden interpolointeihin. Neljäluokkaisesta kuvasta näkee selkeästi kokonaisvaltaisen kehityksen vuosien välillä: köyhtyneen lajiston alue on 1997 aineiston mukaan alkanut laajentumaan Siuron alueelle, ja 2017 ulottuu jo pitkälle Linnavuoreen. Tarkemmassa luokittelussa huomaa, että ydinkeskustan alueella tummin erittäin selvästi köyhtynyt alue on kadonnut 2017 aineiston mukaan. Tähän saattaa tosin vaikuttaa se, että ydinkeskustasta jouduttiin poistamaan yksi piste (piste 76 vuoden 1997 tutkimuksessa) mäntyjen puuttumisen johdosta, ja toista pistettä (piste 25 vuoden 2017 tutkimuksessa) jouduttiin siirtämään alueelle jossa pistettä ei aiemmin ollut. 1997 vuonna pohjoisessa ollut vain lievän muutoksen alue oli heikentynyt 2017 aineistossa.



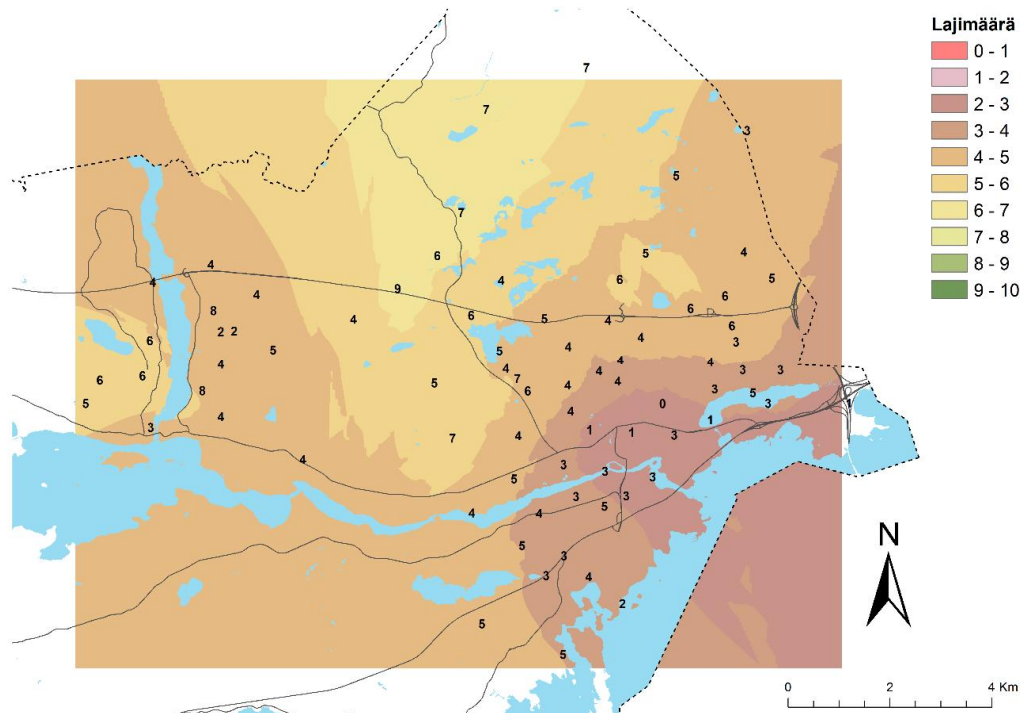
Kuva 20. Suurempi kuva vuoden 2017 IAP-indeksien mukaan tehdystä Kriging interpoloinnista.

3.5.2. Lajilukumäärien interpoloinnit

Jäkälien lajilukumäärissä ei ole mukana seinänsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) eikä viherleväpeite ja vihersukkulajäkälä (Algae + *Scoliciosporum chlorococcum*). Vuoden 1991 aineistosta puuttui vastaava laskentatapa, eikä silloin laskettu mukaan Raidanisokarvetta (*Parmelia sulcata*), joten muutaman havaintoalan kohdalla saattaa olla yhtä pienempi lajilukumäärä kuin pitäisi – tämän ei kuitenkaan pitäisi vaikuttaa lopputulokseen merkittävästi. 1991 vuonna laskettiin myös lajit *Hypogymnia bitteriana* ja *Evernia prunastri*, mutta näitä ei standardien mukaisesti ole myöhempinä vuosina laskettu, joten niitä ei huomioitu lajimäärien interpoloinnissa.



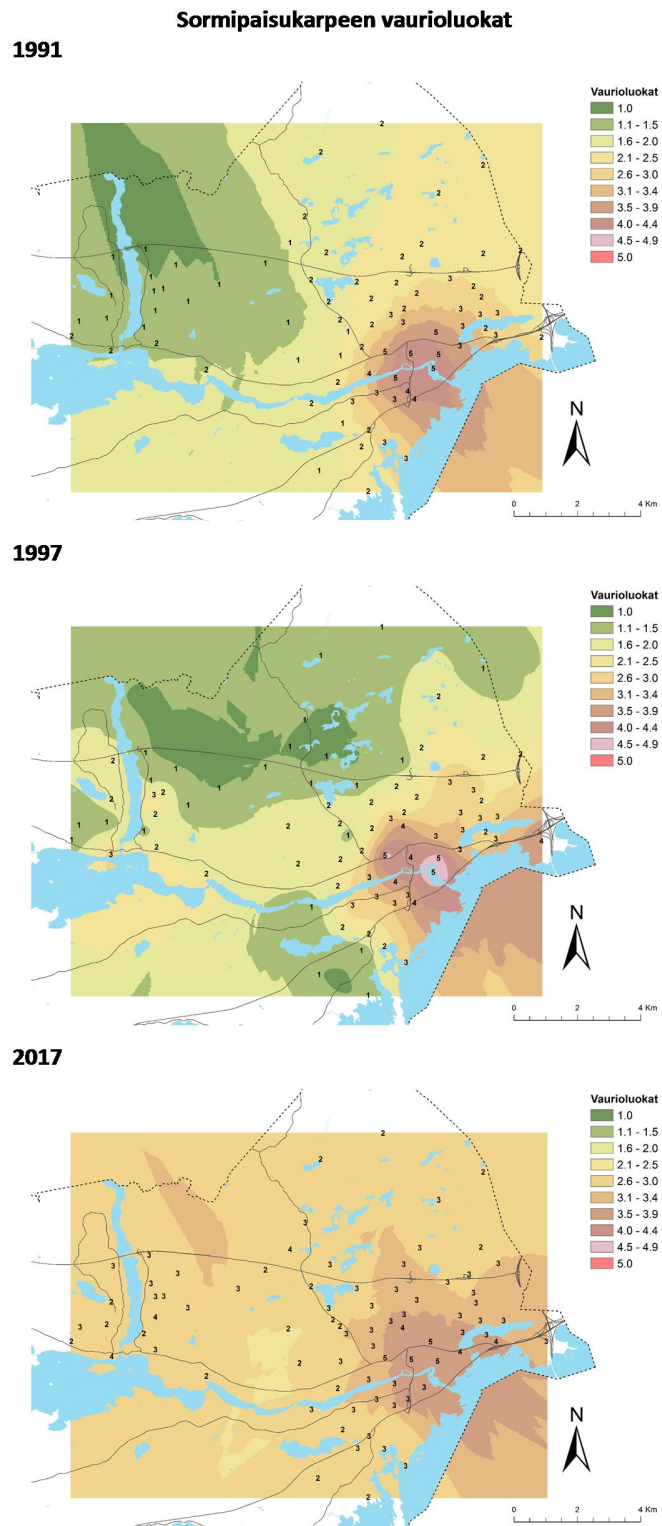
Kuva 21. Männyn runkojäkälien lajimäärät havaintoalueilla vuosina 1991, 1997 ja 2017. Mukana on standardin SFS 5760 mukaiset lajit seinänsuomujäkälää ja leväpeitettä lukuun ottamatta, eli pienin mahdollinen lajimäärä on 0 ja suurin 10. Suurin 2017 vuonna laskettu lajimäärä oli 9 lajia (ala 1).



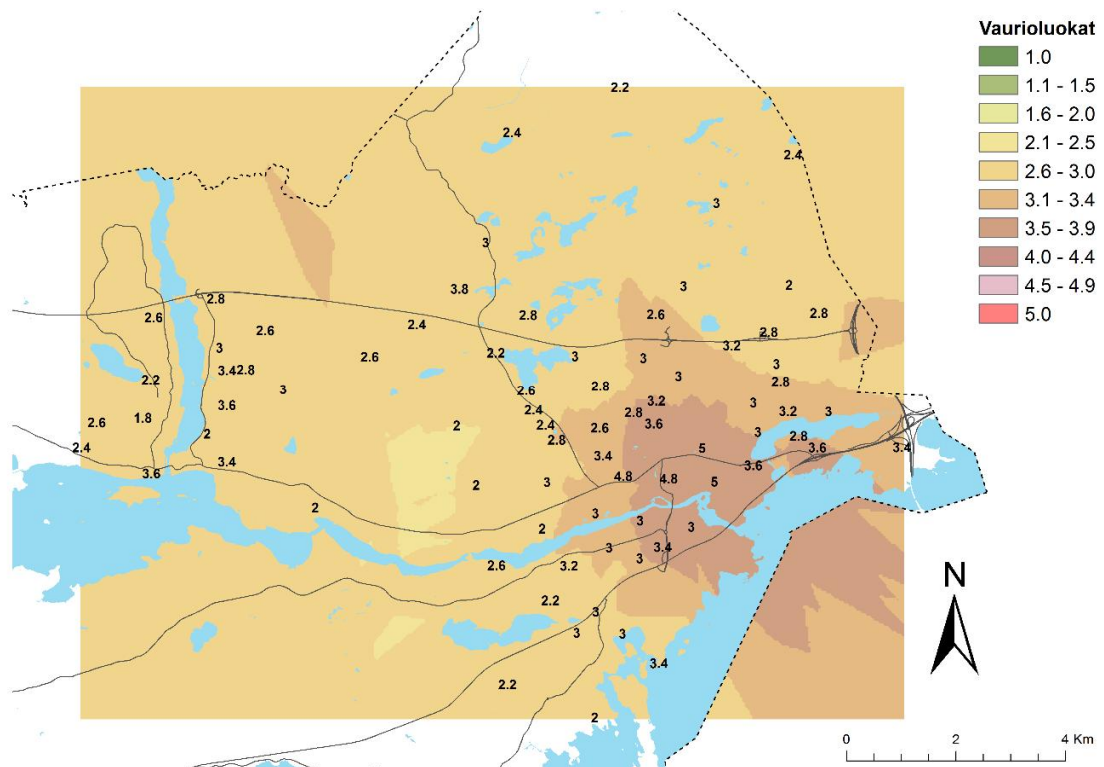
Kuva 22. Suurempi kuva vuoden 2017 lajilukumäärien mukaan tehdystä Kriging interpoloinnista.

3.5.3. Sormipaisukarpeen vaurioluokkien interpoloinnit

Sormipaisukarpeen vauriotasojen arviointi tehtiin SFS 5670 standardin mukaisella viisiasteisella luokittelulla. Kuvassa 23 interpoloinnit on tehty lähimpään kokonaislukuun pyöristetyllä keskimääräisellä vaurioasteella, sillä aiempien raporttien aineistoissa vaurioasteet esitettiin näin. Kuvassa 24 interpolointiin käytettiin tarkkoja keskiarvoja 2017 aineistosta, joskin kuvassa ei ole paljoa eroa pyöristetyillä arvoilla tehtyyn interpolointiin.



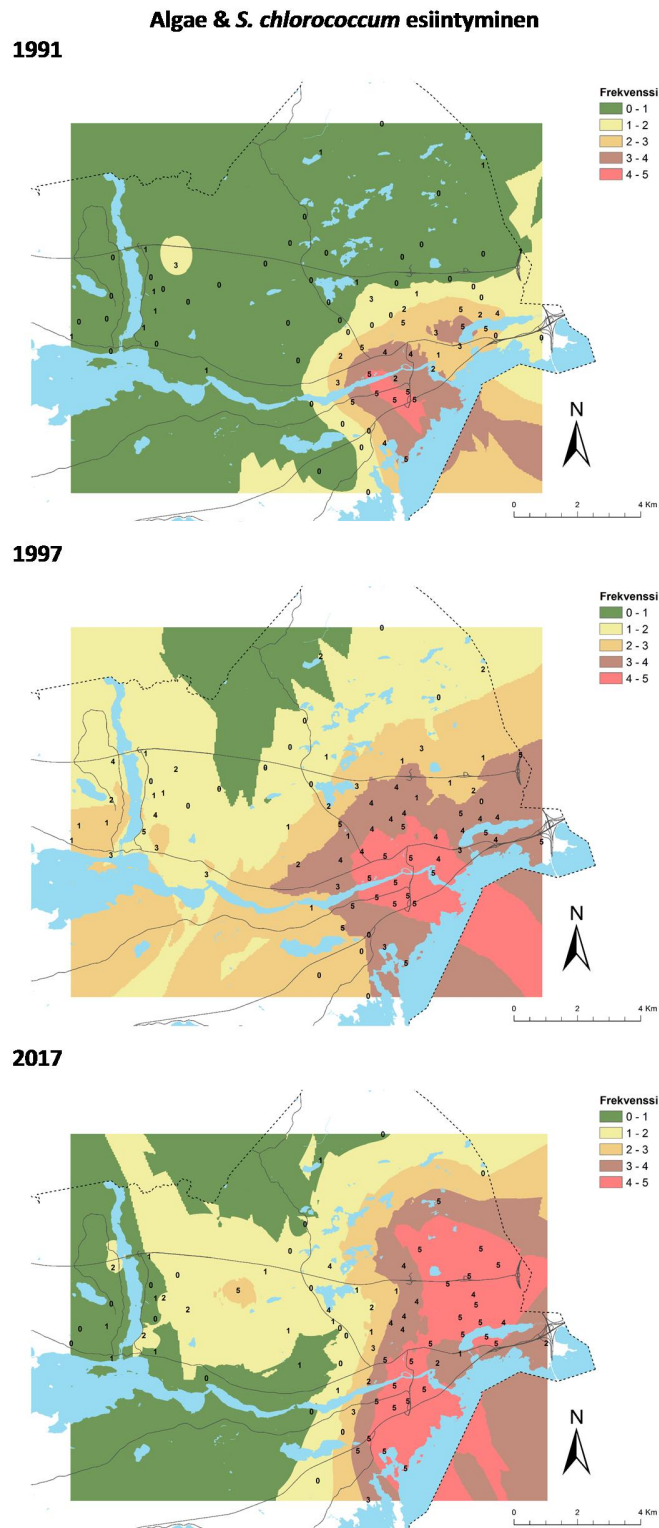
Kuva 23. Sormipaisukarpeen vaurioluokat vuosina 1991, 1997 ja 2017. Vaurioiden luokitus on esitetty taulukossa 4. Kuvasta huomaa, että keskustan alueella vaurioasteet ovat pienentyneet, mutta muualla kasvaneet.



Kuva 24. Sormipaisukarpeen vaurioluokat vuonna 2017. Vaurioiden luokitus on esitetty taulukossa 4. Interpolointi on tässä kartassa tehty ilman vaurioluokkien keskiarvojen pyöristämistä.

3.5.4. Leväpeitteen ja vihersukkulajäkälän esiintymisten interpoloinnit

Interpolointi on tehty sen perusteella, kuinka monella puulla viidestä havainto tehtiin.



Kuva 21. Viherleväpeitteen ja vihersukkulajäkälän (*Algae + Scoliciosporum chlorococcum*) esiintymisfrekvenssit näytealoilla (0-5) vuosina 1991, 1997 ja 2017. Leväpeitteen ja vihersukkulajäkälän frekvenssit ovat kasvaneet vuosi vuodelta tutkimusalueen kaakkois- ja itäpuolella. Siurassa frekvenssit ovat selvästi pienentyneet 1997 aineistoon verrattuna.

3.6. Tilastoanalyysit

3.6.1. Varianssianalyysi (ANOVA) eri vuosien IAP indekseille, sormipaisukarpeen vaurioille ja leväpeitteiden frekvenssimittauksille

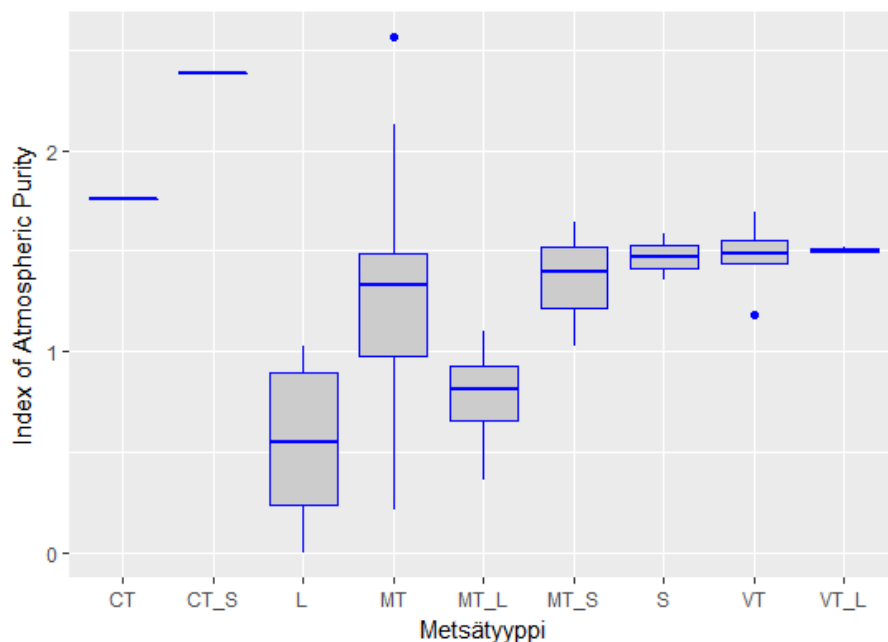
Koko aineistojen IAP-indeksit eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi vuosien välillä ($F = 1.64$, $p = 0.197$), kun luottamustasona on 0.05 raja. Vaikka kuvasta 19 on mahdollisesti nähtävissä kehityssuunta, on koko alueen yhteenlaskettu vaihtelu IAP-indeksissä samansuuruisia eri vuosien välillä.

Koko aineiston sormipaisukarpeen vaurioasteet (lähimpään kokonaislukuun pyöristetyllä keskimääräisellä vaurioasteella) erosivat merkitsevästi vuosien välillä ($F = 14.34$, $p < 0.001$). Tämä ero oli 2017 vuoden suhteessa muihin vuosiin.

Koko aineiston leväpeitteen frekvenssit erosivat merkitsevästi vuosien välillä ($F = 9.22$, $p < 0.001$).

3.6.2. Varianssianalyysi (ANOVA) metsätyyppien eroista IAP-arvoissa 2017 aineistolla

Metsätyypit erosivat toisistaan merkitsevästi ($F = 5.96$, $p < 0.001$) IAP-indeksin arvoissa vuonna 2017 (Kuva 25).



Kuva 25. IAP-arvojen vaihtelu metsätyyppien mukaan luokiteltuna. Lyhenteet taulukossa 1.

Tämä on syytä huomioida tulosten tulkinnassa: Metsätyyppi voi vaikuttaa lajien suhteellisiin esiintymisfrekvensseihin ja seurannaislajien määriin, joten indeksin tulosten vertailukelpoisuus eri alueiden välillä on riippuvainen siitä, että havaintoalueet vastaavat toisiaan metsätyypiltään. Kuvassa on syytä huomioida eri metsätyyppien lukumäärät 2017 aineistossa (Taulukko 1), etenkin CT, CT_S, MT_S, S, VT ja VT_L tyyppien kohdalla kuva on vain suuntaa antava. IAP-indeksin arvot eroavat lehtomaisilla alueilla selkeästi mustikkatyyppien metsien arvoista niin, että lehtomaisilla alueilla ilmanpuhtausindeksi on heikompi. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa tulee harkita tämän virhelähteen korjaamista tai kontrolloimista.

3.6.3. Korrelaatiotaulukot muuttujien vaihtelusta suhteessa toisiinsa

Taulukoissa 7 ja 8 on esitettyä Pearsonin korrelaatiokertoimet. Korrelaatiotaulukot on muotoiltu sen mukaan kuinka vahva positiivinen tai negatiivinen korrelaatio on kyseessä: Heikko ($> -0,3 < 0,3$) on merkitty kursivilla, kohtalainen ($< -0,5; > 0,5$) kursivilla ja lihavoituna, vahva ($< -0,7; > 0,7$) kursivilla, lihavoituna ja harmaalla taustalla. Taulukossa 7 "Latvus_vitic" muuttujan arvot on laskettu pois lukemalla aineistosta alat joissa mittauksia ei tehty, sillä latvuspeittävydet mitattiin tällä menetelmällä vain 72 % aloista.

Taulukko 7. Kontrollimuuttujien (rivit) Pearson-korrelaatiokertoimet laskettuihin muuttujiin (sarakkeet). Selitykset käytetyille lyhenteille ovat liitteessä 1. Keskimääräinen puiden ympärysmitta (tai puiden ikä alueella), korreloi kohtalaisesti sormipaisukarpeen runsauksien kanssa. Havaintoalueen korkeus korreloi keskimääräisen lajiluvun kanssa kullakin alalla. IAP-indeksillä oli lähes kohtalainen negatiivinen korrelaatio puiden keskimääräiseen ympärysmittaan ja positiivinen korrelaatio korkeuden kanssa.

	<i>R_hypsca</i>	<i>R_alg_sco</i>	<i>HypV_sh</i>	<i>lajikm2</i>	<i>Lajiluku_KA</i>	<i>HypPsum_56</i>	<i>BryPsum_56</i>	<i>HypPsum_16</i>	<i>BryPsum_16</i>	<i>HypVaur</i>	<i>YlVaur</i>	<i>IAP</i>
Kesk_puuymp	0.54	-0.13	0.34	-0.32	-0.41	-0.07	-0.05	-0.21	-0.05	0.36	0.26	-0.46
Latvus_vitic	-0.07	0.22	0.16	-0.40	-0.33	0.30	0.06	0.21	0.07	0.16	0.00	-0.32
Latvus	0.00	0.33	0.19	-0.37	-0.24	0.14	0.08	0.04	0.09	0.19	0.08	-0.27
Kork_ero	0.33	0.00	0.36	-0.13	-0.24	-0.10	0.04	-0.18	0.05	0.36	0.20	-0.28
Korkeus	-0.26	0.00	-0.36	0.45	0.54	-0.35	-0.08	-0.12	-0.14	-0.35	-0.28	0.49
NearTiet	-0.16	-0.18	-0.35	0.14	0.17	-0.05	-0.12	0.04	-0.11	-0.30	-0.16	0.18
NearJarvi	-0.14	0.03	-0.01	0.08	0.20	-0.11	-0.10	-0.05	-0.11	-0.08	-0.04	0.16
NearJoki	-0.23	-0.27	-0.30	0.20	0.22	-0.02	-0.10	0.14	-0.09	-0.34	-0.20	0.28
NearVesi	-0.14	-0.01	-0.14	0.19	0.36	-0.08	-0.07	0.01	-0.08	-0.20	-0.12	0.32

Taulukko 8. Laskettujen muuttujien keskinäiset korrelaatiot. Arvot ovat Pearson-korrelaatiokertoimia. Selitykset käytetyille lyhenteille ovat liitteessä 1. Valtaosa alla olevista korrelaatioista on autokorrelaatioita, mutta esimerkiksi sekä jäkälien yleisellä vauriotasolla että sormipaisukarpeen vauriotasolla on vahva negatiivinen korrelaatio IAP-indeksin kanssa, ja sormipaisukarpeen runsaus oli kohtalaisesti positiivisesti korreloitunut yleiseen vauriotasoon.

	<i>R_hypsca</i>	<i>R_alg_sco</i>	<i>HypV_sh</i>	<i>lajikm2</i>	<i>Lajiluku_KA</i>	<i>HypPsum_56</i>	<i>BryPsum_56</i>	<i>HypPsum_16</i>	<i>BryPsum_16</i>	<i>HypVaur</i>	<i>YIVaur</i>	<i>IAP</i>
<i>R_hypsca</i>	1.00	-0.03	0.40	-0.26	-0.25	-0.36	-0.04	-0.51	-0.07	0.45	0.50	-0.43
<i>R_alg_sco</i>		1.00	0.35	-0.38	-0.10	-0.12	-0.10	-0.16	-0.09	0.37	0.27	-0.38
<i>HypV_sh</i>			1.00	-0.58	-0.53	-0.43	-0.24	-0.58	-0.21	0.94	0.73	-0.66
<i>lajikm2</i>				1.00	0.85	0.11	0.32	0.32	0.32	-0.60	-0.66	0.92
<i>Lajiluku_KA</i>					1.00	0.07	0.32	0.29	0.31	-0.55	-0.62	0.89
<i>HypPsum_56</i>						1.00	0.14	0.87	0.14	-0.44	-0.39	0.17
<i>BryPsum_56</i>							1.00	0.18	0.96	-0.27	-0.35	0.40
<i>HypPsum_16</i>								1.00	0.17	-0.61	-0.60	0.39
<i>BryPsum_16</i>									1.00	-0.24	-0.35	0.39
<i>HypVaur</i>										1.00	0.78	-0.68
<i>YIVaur</i>											1.00	-0.72
<i>IAP</i>												1.00

3.6.4. SFS 5670 ja SFS 16413 pistefrekvenssimittausten korrelaatiot

Vuoden 2017 kartoitus tehtiin hyödyntäen sekä vanhan SFS standardin että uuden standardin mukaista pistefrekvenssimenetelmää. Taulukossa 9 nämä tulokset on eristetty tarkempaan tarkasteluun taulukosta 8. Taulukosta 9 näkee, että 5670 standardilla mitatut sormipaisukarpeen määrät korreloivat vahvasti uuden standardin mukaisen menetelmän kanssa (korrelaatiokerroin 0.87), ja luppojen frekvenssit korreloivat standardien välillä vielä paremmin (korrelaatiokerroin 0.96). Molemmissa tapauksissa korrelaatio oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.001$). Jatkotutkimuksissa voi siirtyä käyttämään uuden standardin mukaista menetelmää.

Taulukko 9. SFS 5670 ja SFS 16413 mukaisten pistefrekvenssimenetelmien tuloksien keskinäiset korrelaatiot 2017 vuoden aineistossa. Vahvat korrelaatiot olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0.001$).

	<i>HypPsum_56</i>	<i>BryPsum_56</i>	<i>HypPsum_16</i>	<i>BryPsum_16</i>
HypPsum_56	1.00	0.14	0.87	0.14
BryPsum_56		1.00	0.18	0.96
HypPsum_16			1.00	0.17
BryPsum_16				1.00

4. Tulosten tarkastelu

Nokian ilman epäpuhtauksien päästöaineistosta (SYKE 2017, D) päätellen vuoden 1997 jäkäläkartoitus tehtiin vuonna, jolloin ilman epäpuhtauksien päästöt olivat alimmillaan. 2000 vuodesta lähtien päästöt ovat pysyneet ainakin kaksi kertaa 1997 tason yläpuolella ja keskimäärin hieman 1991 tasoa ylempänä.

Aineistossa ilmansaasteita kestävien lajien esiintymisfrekvenssit olivat huomattavasti suurempia kuin epäpuhtauksille herkkien lajien. Epäpuhtauksista hyötyvällä leväpeitteellä ja seinänsuomujäkälällä runsaudet olivat suuria. Neljän ilman epäpuhtauksille herkimmän lajin esiintymisfrekvenssit olivat kaikki vähentyneet huomattavasti 1997 vuoteen verrattuna.

Viherleväpeitteen ja vihersukkulajäkälän tutkimusalueen kaakkois- ja itäpuolella kasvaneita esiintymisfrekvenssejä selittää moottoritie, ajoharjoitteluradat, Nokian Motocrossrata, kaksi uutta toimivaa kallioulouhosta ja kasvanut teollisuusalue. Leväpeitteiden esiintymisfrekvenssit olivat kuitenkin kasvaneet myös keskustan alueella ja sen eteläpuolella.

Keskustan ja taajamien alueella jäkälien vauriot olivat suurimmillaan ja lajilukumäärä pienimmillään, ja viherleväpeitteen sekä seinänsuomujäkälän runsaudet suurimmillaan. Nämä tulokset viittaavat siihen, että keskustassa ilmanlaadun tilanne ei ole merkittävästi parantunut 20 vuoden takaiseen tilanteeseen verrattuna. Aivan Nokian ydinkeskustassa pahin saastunut alue on pienentynyt 1997 vuoteen verrattuna. Siurossa ja Linnavuorella ilmanlaatu on heikentynyt, mutta on edelleen parempi kuin Nokian keskustassa. Koko Nokian tutkimusalueella kokonaisvaltaisesti lajimäärät ovat pienentyneet ja jäkälävauriot kasvaneet. 1991, 1997 ja 2017 raporteissa lajimäärät olivat korkeimmillaan vuonna 1997. Tämä käy yhteen SYKE:n ilman epäpuhtauksien päästöaineiston (SYKE 2017, D) kanssa.

Sormipaisukarve reagoi ilmansaasteisiin vasta voimakkaasti kuormitetuilla alueilla, joten Nokian ydinkeskusta on 2017 aineiston perusteella voimakkaasti kuormittunut. Sormipaisukarpeen vauriot ovat lisääntyneet läpi tutkimusalueen, ja tilanne on merkittävästi huonompi kuin aiempina vuosina.

IAP-indeksien mukaan Kriging menetelmällä interpoloiduista neljälukkoisista kartoista (Kuva 19) näkee selkeästi kokonaisvaltaisen kehityksen vuosien välillä: 1997 vuoden aineisto osoittaa köyhtyneen lajiston alueen alkaneen laajeta Siuron alueelle, ja vuonna 2017 alue ulottuu jo pitkälle Linnavuoreen. Tarkemmasta luokittelusta huomaa, että ydinkeskustan alueella tummin erittäin selvästi köyhtynyt alue on kadonnut 2017 aineiston mukaan. Osaltaan tähän saattaa vaikuttaa se, että ydinkeskustasta jouduttiin poistamaan yksi piste.

Tilastoanalyysistä selvisi, että eri metsätyypit vaikuttivat merkitsevästi IAP-indeksin vaihteluun alojen välillä. Havaintoalueen korkeus korreloi kohtalaisesti ja positiivisesti IAP-indeksin ja lajiluvun keskiarvojen kanssa, ja vesistöjen läheisyydet olivat heikosti korreloituneita lajiluvun keskiarvoon sekä IAP-indeksiin. Jatkotutkimuksissa kannattaa ottaa ainakin nämä kontrollimuuttujat huomioon myös interpolointeja tehtäessä, jotta ilman epäpuhtauksien vaikutus mitattuihin muuttujiin tulisi tarkemmin esille. IAP-indeksien muutosta olisi voinut testata alueittain, esimerkiksi Corine Land Cover aineistoa hyödyntäen.

Kartoitus tehtiin sekä vanhan SFS 5670 standardin että uuden SFS 16413 standardin mukaisella pistefrekvenssimenetelmällä. Nämä menetelmät tuottivat hyvin yhtenevät tulokset, ja jatkotutkimuksissa voidaan siirtyä käyttämään uuden standardin mukaista menetelmää.

Kirjallisuusluettelo

Conti M. E. & Cecchetti G. (2001) Lichens as bioindicators of air pollution assessment - a review. *Environmental pollution* 114: 471–429.

Hotanen, J.-P., Nousiainen, H., Mäkipää, R., Reinikainen, A. & Tonteri, T. (2008) *Metsätyypit – opas kasvupaikkojen luokitteluun*. Metsäkustannus. 192 s.

Kuusinen, M., Mikkola, K. & Jukola-Sulonen, E-L. (1990) Epiphytic Lichens on Conifers in the 1960's to 1980's in Finland. Teoksessa: Acidification in Finland (Kauppi, P, Anttila, P. & Kenttämies, K., toim.), Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, s. 397–420. (Niskanen 1997, *Nokian kaupungin jäkäläkartoitus vuonna 1997* mukaan).

Laurila, J. (1979) Rikkidioksidin ympäristövaikutusten biologinen peruskartoitus Nokialla. Moniste. (Niskanen 1997, *Nokian kaupungin jäkäläkartoitus vuonna 1997* mukaan).

Lohtander K. (2011) Mitä jäkälät ovat? Teoksessa: *Suomen jäkäläopas* (Stenroos S., Ahti. T., Lohtander K., Myllys L., toim.), s. 13–15. Luonnontieteellisen keskusmuseon kasvimuseo.

Mayer, A., Vihermaa, L., Nieminen, N., Luomi, A. & Posch, M. (2009) Epiphytic macrolichen community correlates with modeled air pollutants and forest conditions. *Ecological Indicators*. 9: 992–1000.

Niskanen I. (1997) Nokian kaupungin jäkäläkartoitus vuonna 1997. Jyväskylän Yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti no. 153/1997.

Nylander W. (1866) Les lichens du Jardin du Luxembourg. Bull. Soc. Bot. Fr. 13:364-372. (Conti M. E. & Cecchetti G. (2001) Lichens as bioindicators of air pollution assessment - a review. *Environmental pollution* 114: 471–429 mukaan).

Rantala, P., Saastamoinen, T. & Mattila, H. (1991) Nokian kaupunki, jäkäläkartoitus 1991. AIR-IX Oy, ympäristö- ja yhdyskuntatekniikan yksikkö, Tampere, 1991. Tutkimusraportti.

SFS standardi 16413 (2014) Ambient air. Biomonitoring with lichens. Assessing epiphytic lichen diversity. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.

SFS standardi 5670 (1990) Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki.

Suomen ympäristökeskus SYKE (2017, A) CLRTAP raportointi. *Ympäristöhallinnon verkkopalvelu Ympäristö.fi*. <http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhtauksien_paastot/CLRTAPraportointi> [Luettu 16.8.2017].

Ladatut aineistot

Liikennevirasto (2017). Tieluokat. *Liikenneviraston latauspalvelu*.

<<https://extranet.liikennevirasto.fi/extranet/web/public/latauspalvelu>> [Haettu 8.8.2017].

Maanmittauslaitos MML (2017) Korkeusmalli 2 m. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/korkeusmalli-2-m>> [Haettu 8.8.2017].

Maanmittauslaitos MML (2017) Kuntajako 1:10 000. *Avoimien aineistojen tiedostopalvelu*.

<<https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>> [Haettu 8.8.2017].

Suomen ympäristökeskus SYKE (2017, B) EU:n päästökattodirektiivi ja sen mukainen raportointi.

Ympäristöhallinnon verkkopalvelu Ympäristö.fi. <[http://www.ymparisto.fi/fi-](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhauksien_paastot/EUn_paastokattodirektiivi_ja_sen_mukainen_raportointi)

[FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhauksien_paastot/EUn_paastokattodirektiivi_ja_sen_mukainen_raportointi](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ilman_epapuhauksien_paastot/EUn_paastokattodirektiivi_ja_sen_mukainen_raportointi)> [Haettu 16.8.2017].

Suomen ympäristökeskus SYKE (2017, D) Ilmapäästö tietojärjestelmä IPTJ. *Metatietopalvelu*.

<<http://metatieto.ymparisto.fi:8080/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7B033E574E-3B6D-4A40-A2BC-8C50C8FA86E0%7D>> [Haettu 16.8.2017].

SYKE (2017, C) "Ranta10 - Järvet" ja "Ranta10 - Joet". *Paikkatietoaineistot*. <[http://www.syke.fi/fi-](http://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Paikkatietoaineistot)

[FI/Avoin_tieto/Paikkatietoaineistot](http://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Paikkatietoaineistot)> [Haettu 8.8.2017].

Liitteet

Liite 1. Jäkäläkartoituksessa käytettyjen lyhenteiden selitykset

Taulukko 1. 2017 kartoituksen aineiston lyhenteet.

Lyhenne	Merkitys	Kommentti
OID	=	Juokseva numero (Object ID) ArcGIS sovellusta varten.
ala	=	Näytealan numero Vastaa vuoden 1991 numerointia näytealojen 1-77 kohdalla, alat 78 & 79 ovat uusia. Poikkeaa 1997 kartoituksen numeroinnista näytealasta 56 eteenpäin siten, että uuden numerot ovat yhtä numeroa pienempiä. 1997 numero 65 on 2017 kartoituksessa 55. 1997 kartoituksesta puuttui kokonaan numero 55.
x	=	Näytealan x-koordinaatti (EUREF FIN TM35FIN)
y	=	Näytealan y-koordinaatti (EUREF FIN TM35FIN) Projected Coordinate System: EUREF_FIN_TM35FIN Projection: Transverse_Mercator false_easting: 500000.00000000 false_northing: 0.00000000 central_meridian: 27.00000000 scale_factor: 0.99960000 latitude_of_origin: 0.00000000 Linear Unit: Meter Geographic Coordinate System: GCS_EUREF_FIN Datum: D_ETRS_1989 Prime Meridian: Greenwich Angular Unit: Degree
pvm	=	Päivämäärä jolloin aineisto kerättiin kullakin havaintoalueella.
hypphy	=	Hypogymnia physodes
paramb	=	Parmeliopsis ambigua
ph_ial	=	Parmeliopsis hyperoptan ja Imshaugia aluerites
hypsca	=	Hypocenomyce scalaris
bryspp	=	Bryoria spp.
usnsp	=	Usnea spp.
plagla	=	Platismatia glauca
cetpin	=	Vulpicida pinastri (ennen Cetraria pinastri)
psefur	=	Pseudevernia furfuracea
cetclo	=	Cetraria chlorophylla
parsul	=	Parmelia sulcata
alg_sco	=	Algae & Scoliciosporum
lajlkm1	=	Jäkälälajien lukumäärä näytealalla (frekvenssilajit).
lajlkm2	=	Jäkälälajien lukumäärä näytealalla (frekvenssilajit), ei leväpeitettä eikä seinänsuomujäkälää.
HypPsum_56	=	Hypogymnia physodeksen peittävyys pistefrekvenssillä mitattuna SFS 5670 standardin mukaan. Tulokset ovat viiden puun kunkin kahdelta sivulta tehtyjen mittausten summa. Arvot välillä 0-1000.
BryPsum_56	=	Bryoria spp. peittävyys pistefrekvenssillä mitattuna SFS 5670 standardin mukaan. Tulokset ovat viiden puun kunkin kahdelta sivulta tehtyjen mittausten summa. Arvot välillä 0-1000.
HypPsum_16	=	Hypogymnia physodeksen peittävyys pistefrekvenssillä mitattuna SFS 16413 standardin mukaan. Tulokset ovat viiden puun kunkin näljältä pääilmansuunnalta tehtyjen mittausten summa. Arvot välillä 0-100.
BryPsum_16	=	Bryoria spp. peittävyys pistefrekvenssillä mitattuna SFS 16413 standardin mukaan. Tulokset ovat viiden puun kunkin näljältä pääilmansuunnalta tehtyjen mittausten summa. Arvot välillä 0-100.
HypVaur	=	Hypogymnia physodeksen keskimääräinen vaurioaste (alueen puiden keskiarvo). 1-5 luokitus: 1 normaali: Jäkälät terveitä tai lähes terveitä, 2 lievä vaurio: lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia, 3 selvä vaurio: kitukasvuisia, vihertyneitä tai tummuneita, 4 paha vaurio: pieniä, ryppyisiä, vihertyneitä tai tummuneita, 5: kuollut tai puuttuu.

Liite 1. Jäkäläkartoituksessa käytettyjen lyhenteiden selitykset

Taulukko 1 jatkuu...

Lyhenne	Merkitys	Kommentti
YIVaur	= Jäkälien vaurioluokat yleisen vaurioluokituksen mukaan (alueen puiden keskiarvo).	1-5 luokitus: 1 normaali: Sekä pensasmaisia että lehtimäisiä jäkälää esiintyy ja kaikki normaalikunnossa. 2 lievä vaurio: Pensasmaisia jäkälää ei ole tai ne ovat kitukasvuisia ja lehtimäiset ovat normaaleja. 3 selvä vaurio: Pensasmaisia jäkälää ei ole tai ne ovat pieniä ja lehtimäiset ovat lievästi tai selvästi vaurioitunutta. 4 paha vaurio: Pensasmaisia jäkälää ei ole ja lehtimäiset ovat pahoin vaurioituneita. 5: kuollut tai puuttuu: Lehtimäisetkin jäkälät puuttuvat. Leväpeitettä voi esiintyä.
IAP	= Näytealan IAP-indeksi.	Inded of Air Purity, ilman puhtausindeksi. Kuvaava havaintopakan jäkäläkasvillisuutta. Mitä suurempi arvo, sitä enemmän herkkiä lajeja esiintyy. (>2,5 = Jäkälälajisto vastaa tausta-alueiden lajistoa, mukana yleisesti herkimpiä lajeja. 1,5-2,5 = lajistossa lieviä muutoksia, lajilukumäärä on pienempi kuin tausta-alueilla, herkimpiä lajeja puuttuu yleisesti. 0,5-1,5 = lajisto on köyhtynyt, herkimpiä lajeja voi esiintyä yksittäisillä rungoilla. <0,5 = Lajisto on erittäin selvästi köyhtynyt, herkimmat lajit puuttuvat kokonaan, rungoilla esiintyy yleisesti ilmansaasteista hyötyviä lajeja.

Taulukko 2. 2017 kontrollimuuttujien aineiston lyhenteiden selitykset.

Lyhenne	Merkitys	Kommentti
Alkup_ala	= Alkuperäiset numeroinnit joiden mukaan Word-tiedostot on nimetty. Pisteet 51 ja 76 hylättiin.	
Siirretty	= Alkuperäistä pistettä siirretty, koordinaatit eroavat aiemmista tutkimuksista.	
pvm	= Päivämäärä jona ala kartoitettiin.	
Puuymp1	=	
Puuymp2	=	
Puuymp3	=	
Puuymp4	=	
Puuymp5	=	
Kesk_puuymp	= Viiden puun keskimääräinen puun ympärysmitta.	Kertoo puiden keskimääräisestä iästä alueella.
Latvus_vitic	= VitiCanopy sovelluksella mitattu latvuspeittävyys (%).	
Latvus	= Havaintoalueen latvuspeittävyys (%).	
Lajiluku_KA	= Frekvenssilajien keskiarvo näytepuiden välillä.	
Metsätyyppikoodi	= Alan metsätyyppi.	L = Lehtomainen kangas, MT_L = Tuore kangas (MT) / Lehtomaisuutta, MT = Tuore kangas (MT), MT_S = Tuore kangas (MT) / Soinen, VT_L = Kuivahko kangas (VT) / Lehtomaisuutta, VT = Kuivahko kangas (VT), VT_S = Kuivahko kangas (VT) / Soinen, CT = Kuiva kangas (CT), CT_S = Kuiva kangas (CT) / Soinen, S = Suo.
Kork_ero	= Korkeusero näytealojen välillä (max - min).	
Korkeus	= Havaintoalueen korkeus.	Korkeudet laskettiin jälkikäteen maanmittauslaitoksen (MML 2017) "Korkeusmalli 2 m" aineistosta.
NearTiet	= Alan etäisyys lähimpään tiehen.	
NearJarvi	= Alan etäisyys lähimpään järveen.	
NearJoki	= Alan etäisyys lähimpään jokeen.	
NearVesi	= Alan etäisyys lähimpään vesistöön	

Liite 2. Kuvia jäkäläkartoituksesta.



Kuva 1. Leväpeitettä (Algae & *Scoliciosporum chlorococcum*) ja seinänsuomujäkälää (*Hypocenomyce scalaris*).



Kuva 2. Selvästi vaurioitunut sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*). Ympäriällä keltatyvikarvetta (*Parmeliopsis ambigua*).



Kuva 3. Lievästi vaurioitunutta sormipaisukarvetta rungolla.



Kuva 4. Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*) vasemmalla ja oikealla harmaatyyvikarve/tuhkakarve (*P. hyperopta* & *I. aluerites*).

Liite 2. Kuvia jäkäläkartoituksesta.



Kuva 5. Keltaröyhelö (*Vulpicida pinastri*) keskellä.



Kuva 6. Räidanisokarve (*Parmelia sulcata*). Oikealla seinänsuomujäkälää ja vasemmassa alakulmassa sormipaisukarvetta.



Kuva 7. Hankakarvetta (*Pseudevernia furfuracea*).

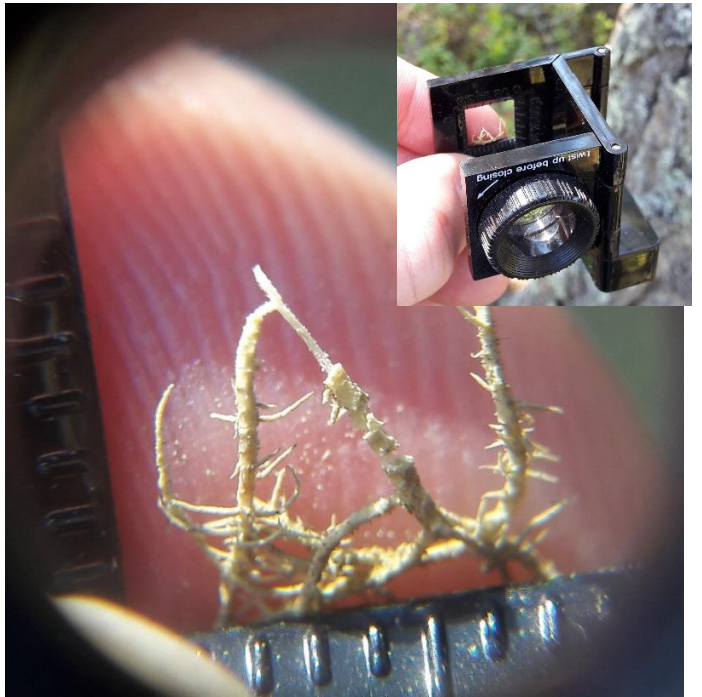


Kuva 8. Hamaaröyhelö (*Platismatia glauca*), seassa vasemmalla myös sormipaisukarvetta.

Liite 2. Kuvia jäkäläkartoituksesta.



Kuva 9. Ruskoröyhelö (*Cetraria chlorophylla*) keskellä.



Kuva 10. Naava (*Usnea* spp.) mittaluupin (oikea yläkulma) alla. Kuva otettu 2x suurennoksella luupin läpi, eli yhteensä kuvan suurennos on 20x. Naavan valkea keskusjänne näkyvissä.

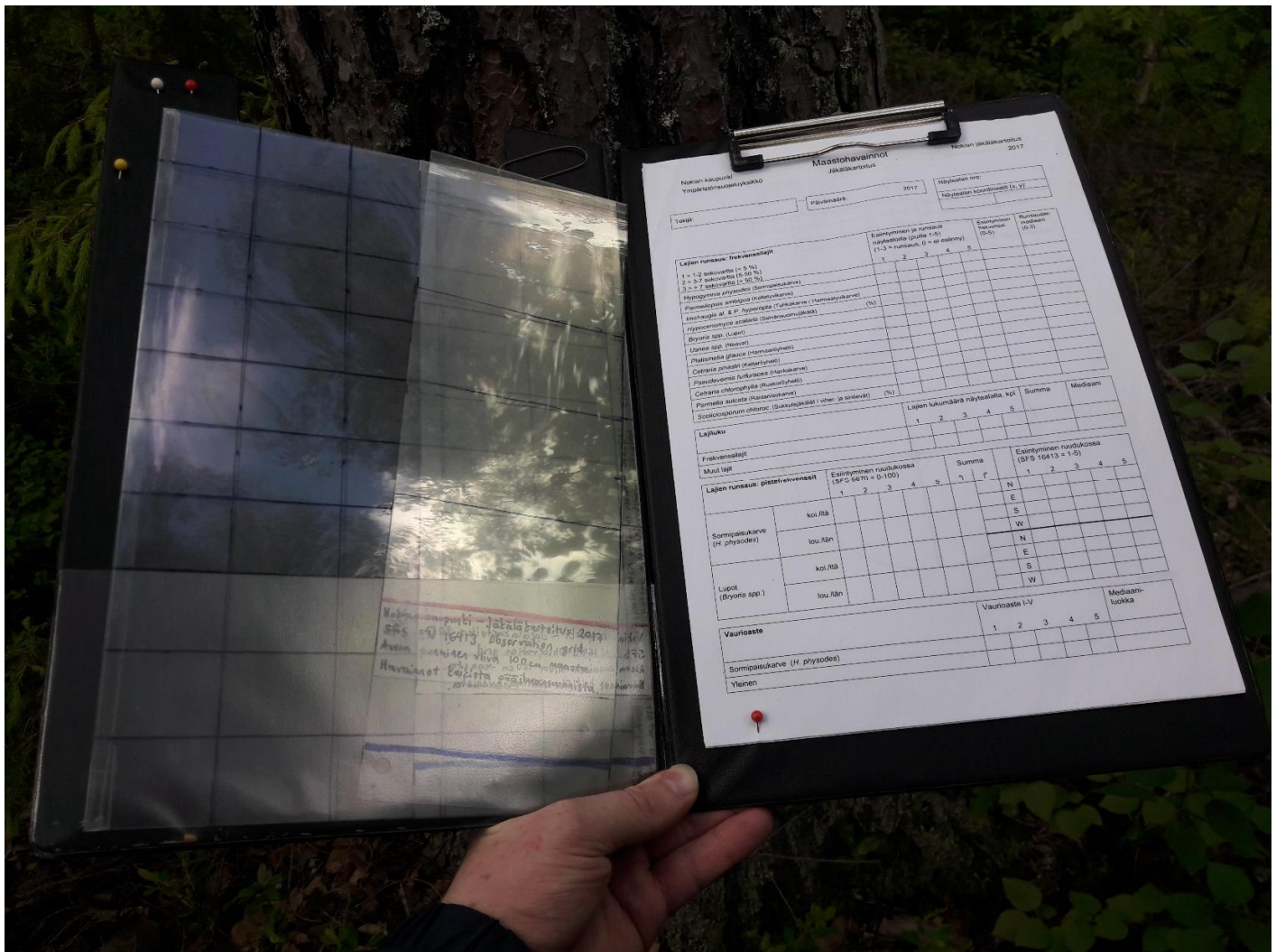


Kuva 11. Luppoa (*Bryoria* spp.) ja sormipaisukarvetta SFS 5670 mukaisen pistefrekvenssimittauksessa käytetyn ruudukon sisällä.



Kuva 12. Jäkälien laskemista SFS 5670 menetelmällä.

Liite 2. Kuvia jäkäläkartoituksesta.



Kuva 13. SFS 5670 ja SFS 16413 mukaiset ruudukkokalvot, ja varatoimenpiteenä mukana olleet tulostetut maastohavaintotaulukot.

Nokian kaupunki
Ympäristönsuojeluyksikkö

Maastohavainnot

Jäkäläkartoitus

Nokian jäkäläkartoitus
2017

Tekijä: Teemu Koskimäki	Päivämäärä: .2017	Näytealan nro:	
-------------------------	-------------------	----------------	--

Lajien runsaus: frekvenssilajit		Esiintyminen ja runsaus näytealoilla (puilla 1-5) (1-3 = runsaus, 0 = ei esiinny)					Esiintymisen frekvenssi (0-5)	Runsauden keskiarvo
1 = 1-2 sekovartta (< 5 %)		1	2	3	4	5		
2 = 3-7 sekovartta (5-50 %)								
3 = > 7 sekovartta (> 50 %)								
<i>Hypogymnia physodes</i> (Sormipaisukarve)							0	
<i>Parmeliopsis ambigua</i> (Keltatyvikarve)							0	
<i>Imshaugia al.</i> & <i>P. hyperopta</i> (Tuhkakarve / Harmaatyyvikarve)							0	
<i>Hypocenomyce scalaris</i> (Seinänsuomujäkälä) (%)							0	
<i>Bryoria spp.</i> (Lupot)							0	
<i>Usnea spp.</i> (Naavat)							0	
<i>Platismatia glauca</i> (Harmaaröyhelö)							0	
<i>Cetraria pinastri</i> (Keltaröyhelö)							0	
<i>Pseudevernia furfuracea</i> (Hankakarve)							0	
<i>Cetraria chlorophylla</i> (Ruskoröyhelö)							0	
<i>Parmelia sulcata</i> (Raidanisokarve)							0	
<i>Scoliosporum chloroc.</i> (Sukkulajäkälät / viher- ja sinilevät) (%)							0	
Frekvenssilajien lukumäärä näytealoilla (kpl):		0	0	0	0	0	Keskiarvo:	0.0
Lajeja yhteensä:		0		Ilman % lajeja:		0		

Lajien runsaus: pistefrekvenssit		Esiintyminen ruudukossa (SFS 5670 = 0-100)					Summa		Esiintyminen ruudukossa (SFS 16413 = 1-5)					
		1	2	3	4	5	↱	↲		1	2	3	4	5
Sormipaisukarve (<i>H. physodes</i>)	koi./itä						0	0	N					
								0	E					
	lou./län						0	0	S					
								0	W					
		Yhteensä <i>H. physodes</i> :					0	0						
		Yhteensä <i>Bryoria spp.</i> :					0	0						
Lupot (<i>Bryoria spp.</i>)	koi./itä						0	0	N					
								0	E					
	lou./län						0	0	S					
								0	W					

Vaurioaste	Vaurioaste I-V					Keskiarvo
	1	2	3	4	5	
Sormipaisukarve (<i>H. physodes</i>)						
Yleinen						

Nokian kaupunki
Ympäristönsuojeluyksikkö

Maastohavainnot

Jäkäläkartoitus

Nokian jäkäläkartoitus
2017

	1	2	3	4	5	Alue
Kuva näytealoista (& havaintoalueesta):						
Näytepuiden ympärysmittat (cm):						
Puiden kaltevuus (jos >20°):						
Havaintoalueen latvuspeittävyys (%):						
Korkeusero näytealojen välillä (max - min):						
	(m)					
Metsätyyppi:						

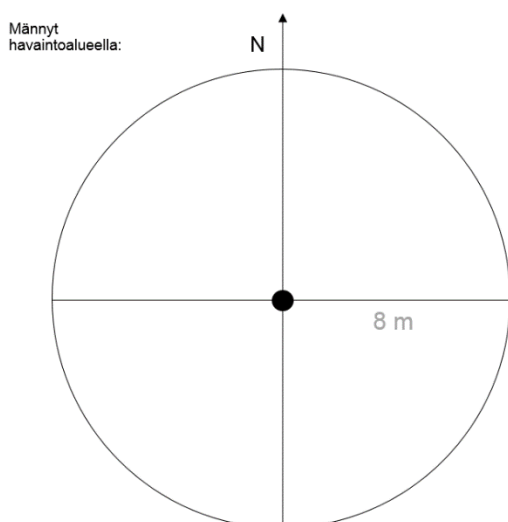
Muita lajeja?	1	2	3	4	5	frekvenssi	keskiarvo
						0	

Huomioita:

-

KUVAT:

Männyt havaintoalueella: (musta keskipiste: alan koordinaatit, punainen piste: soveltuva mänty)



Random otos sopivista männyistä (jos yli 5):

[Kuva havaintoalueesta]
[Kuva puusta 1]