

**Ympäristöntutkimuskeskuksen
tiedonantoja 155**

**Reports of
the Institute for Environmental
Research 155**

**Ilkka Niskanen
Katja Polojärvi
Anu Haahla
Virpi Laitakari**

**KOTKAN KAUPUNGIN
ILMANLAADUN
BIOINDIKAATTORISEURANTA
VUONNA 2002**

**Abstract: A bioindicator study
on the effects of air pollution
in Kotka in 2002.**



KOTKAN KAUPUNGIN ILMANLAADUN
BIOINDIKAATTORISEURANTA VUONNA 2002

Abstract: A bioindicator study on the effects of air pollution
in Kotka in 2002

Ilkka Niskanen, Katja Polojärvi, Anu Haahla ja Virpi Laitakari

Kartat: Copyright
Keski-Suomen maanmittaustoimisto
lupa nro 009/KESU/03

ISSN 0781-8793
ISBN 951-39-1438-0
Jyväskylän yliopistopaino
2003

Tiivistelmä

Kotkan alueen ilmanlaatua on seurattu jatkuvana tarkkailuna vuodesta 1983 lähtien. Ilmanlaadun tarkkailu käsittää myös ilman epäpuhtauksien vaikutusten tutkimisen. Keväällä 2002 tutkittiin mäntyjen runkojäkäläkasvillisuutta, sen lajistoa ja kuntoa sekä mäntyjen kuntoa ja neulasten alkuainepitoisuuksia. Tutkimuksen tuloksia vertailtiin Kotkassa vuosina 1992 ja 1997 tehtyjen selvitysten tuloksiin.

Teollisuus- ja energiantuotantolaitosten päästö määrät ovat vähentyneet merkittävästi rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkaspäästöjen osalta 1980-luvun lopulla ja 1990-luvun aikana. Päästöjä ovat pienentäneet vähemmän rikkiä sisältävien polttoaineiden käyttö, pienempiä päästöjä aiheuttavat polttotekniset ratkaisut sekä puhdistustekniikoiden käyttö. Päästöjen pienentyminen näkyy selvästi myös ilman rikkidioksidin ja haisevien rikkijyhdisteiden pitoisuuksissa. Kotkan ilmassa ongelmia aiheuttavat nykyisin korkeat hiukkas- ja typen oksidien pitoisuudet. Metsäympäristössä kasvillisuudelle myrkyllisten yhdisteiden kuormitus on vaihtunut rehevöittävään lannoitelaskeumaan. Rehevöityminen on pitkällä aikavälillä myös metsäympäristön ongelma.

Vuosina 1992-2002 tutkimusaloilla ei ollut tapahtunut merkittäviä muutoksia eri jäkälälajien lukumäärissä. Mäntyjen rungoilla kasvava jäkälälajisto oli edelleen selvästi köyhtynyt ja kunnoltaan huonontunut Kotkansaarella, Hovinsaarella, Karhulassa ja Sunilassa. Sormipaisukarpeen pahojen ja selvien vaurioiden alueet vastasivat vuosien 1992 ja 1997 tilannetta. Vuonna 2002 sormipaisukarpeen lievien vaurioiden vyöhyke oli hieman laajentunut Kotkan itäosiin vuoteen 1997 verrattuna, mutta oli kuitenkin edelleen pienempi kuin vuonna 1992.

Ilman epäpuhtauksista hyötyvien jäkälälajien, seinänsuomujäkälän ja viherleväpeitteen yleistyminen oli selvin jäkälälajistossa tapahtunut muutos vuoden 1992 jälkeen. Niiden esiintymisalue laajentui 1990-luvun aikana kohti Kotkan itä- ja pohjoisosia. Seinänsuomujäkälän keskimääräinen peittävyys oli kuitenkin samalla pienentynyt kuormitetuimmilla alueilla Kotkan eteläosissa. Viherleväpeite sen sijaan yleistyi Kotkan eteläosissa vuonna 1997, mutta taantui jälleen jonkin verran vuonna 2002. Näiden tyyppikuormituksesta hyötyvien lajien levittäytyminen on ilmeisesti osoitus vakaana pysyneen tyyppikuormituksen aiheuttamista metsävaikutuksista. Toisaalta leudot talvet ovat voineet vaikuttaa ainakin viherlevän yleistymiseen vuonna 1997.

Vuonna 1997 mäntyjen neulasmassan määrissä havaittiin positiivista kehitystä. Vuosien 1992-1997 välisenä aikana keskimääräinen neulasvuosikertojen määrä kasvoi 2,6:sta kolmeen ja neulaskadon määrä pieneni keskimäärin 4 %. Vuoden 1997 jälkeen neulasvuosikertojen määrissä ei ole tapahtunut muutoksia. Sen sijaan keskimääräinen neulaskadon määrä arvioitiin vuonna 2002 suuremmaksi kuin vuosina 1992 ja 1997. Neulaskadon määrän arviointiin on kuitenkin vaikuttanut muutos arviointitavassa. Arviointiohjeiden mukaisesti vuoden 2002 selvityksessä mäntyjen kuolleet latvat huomioitiin neulaskadon määrän arvioinnissa, kun aikaisemmissa selvityksissä ne jätettiin huomioimatta silloisten arviointiohjeiden mukaisesti. Tämä on suurentanut neulaskadon määrää kasvitautien vaurioittamilla puilla.

Ilman rikkikuormituksen pienentyminen Kotkan seudulla näkyy selvimmin männyn neulasten rikkipitoisuuksien pienentymisessä. Männyn neulasten rikkipitoisuudet olivat vuonna 1997 selvästi pienemmät vuoteen 1985 verrattuna. Vuonna 2002 neulasten kokonaisrikkipitoisuus ei ollut selvästi kohonnut yhdelläkään tutkimusalalla.

KOTKAN KAUPUNGIN ILMANLAADUN BIOINDIKAATTORISEURANTA VUONNA 2002

Ilkka Niskanen, Katja Polojärvi, Anu Haahla ja Virpi Laitakari
Jyväskylän yliopisto, ympäristötutkimuskeskus

Niskanen, I., Polojärvi, K., Haahla, A. & Laitakari, V. 2002: Kotkan kaupungin ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 2002. (Abstract: A bioindicator study on the effects of air pollution in Kotka in 2002) - Ympäristötutkimuskeskuksen tiedonantoja / Reports of the Institute for Environmental Research, University of Jyväskylä 155:1-59).

Air quality and the effects of air pollution in the Kotka region were studied since 1983. The concept of 'air quality monitoring' also includes study of the impacts of airborne impurities. The subject of the field work in the spring of 2002 was to study the lichen flora on the pine trunks, the species involved, and the condition of the pine trees and the elemental concentrations of the needles. The results of the study were compared to the results of studies conducted in Kotka in 1992 and 1997.

Emissions of sulphur dioxide, nitric oxides and fine particles released by energy generation and industry have clearly decreased in Kotka at the close of the 1980s and in the 1990s. The decrease in emissions is due to the use of fuels low in sulphur, low-emission fuel-combustion technology, and the use of various scrubbing technologies. The reduced emission levels are also manifested as lower concentrations of sulphur dioxide and malodorous sulphur compounds in the air. Nowadays, the problems affecting the air in Kotka are due to high concentrations of fine particles and nitric oxides. Previously, the forests in this part of Finland were impacted by toxic substances whereas now the problem is the fertilizing effect of deposition. In the long term, the resultant eutrophication is a problem for forest ecosystems.

No significant changes have occurred in the frequency of lichen species in the Kotka region during the period 1992-2002. The composition of the lichen flora on the trunks of pines has been further impoverished and the state of health of the remaining lichens has deteriorated in Kotkansaari, Hovinsaari, Karhula and Sunila. The areas of severe and obvious damages to *Hypogymnia physodes* corresponded to the situations in 1992 and 1997. In 2002, the zone of slight damage to *Hypogymnia physodes* had extended somewhat towards the eastern parts of Kotka when compared to the situation in 1997. However, this area was still smaller than in 1992.

Species benefiting from the presence of airborne impurities, green algae and *Hypocenomyce scalaris*, have become more frequent and this was the clearest change observed since 1992. Communities of these species have extended into the eastern and northern parts of Kotka in the 1990s. During the same period of time, the cover of the *Hypocenomyce scalaris* had, however, diminished in the most polluted southern parts of Kotka. Green algae became more frequent in the southern parts of Kotka in 1997, but then in 2002 it regressed slightly. The increased frequency of these lichens, which benefit from nitrogen deposition, is presumably an indication of the impacts on forest ecosystems of the nitrogen load, which has remained stable. On the other hand, mild winters may have influenced matters, too, at least by promoting the occurrence of green algae in 1997.

Positive development was noted in the needle mass of pines in 1997. During the years 1992-1997, the average retention of needle age classes increased from 2.6 to 3.0, and defoliation of pines decreased by an average of 4%. No changes in needle retention have been noted since 1997. However, the average defoliation of pines was estimated to have been higher in 2002 than in 1992 and 1997. The estimation of defoliation has, however, been affected by changes in determining the degree of defoliation. Dead pine crowns were taken into account in 2002 contrary to the earlier studies. This had the effect of increasing the degree of defoliation in the case of pines afflicted by diseases.

The appreciably lower concentrations recorded in pine needles point to a reduction in airborne sulphur loading in the Kotka district. The concentrations of sulphur in pine needles were significantly lower in 1997 than in 1985. The overall concentration of sulphur in pine needles had not clearly increased on any sampling site in 2002.

Sisällysluettelo

1. Johdanto	1
2. Aineisto ja menetelmät	1
2.1. Ilman epäpuhtaudet Kotkassa	1
2.2. Tutkimusalue ja näytealat	3
2.3. Tutkimuksen menetelmät	4
2.3.1. Havupuiden neulaskadon arvioiminen ja muut havainnot	4
2.3.2. Mäntyjen epifyyttijäkälien kartoittaminen	4
2.3.3. Neulasnäytteiden ottaminen ja analysointi	6
2.3.4. Käytetyt menetelmät metsien tilan ja ilmanlaadun kuvaajina	6
2.3.5. Menetelmien virhelähteet ja luotettavuus	11
2.3.6. Tulosten käsittely	13
2.4. Tutkimuksen muu aineisto	14
3. Tulokset	14
3.1. Vuosi 2002	14
3.1.1. Mäntyjen runkojäkälät	14
3.1.2. Sormipaisukarpeen vauriot ja IAP-indeksi	15
3.1.3. Mäntyjen kunto	32
3.1.4. Männyn neulasten alkuainepitoisuudet	34
3.2. Vuodet 1992-2002	37
3.2.1. Mäntyjen runkojäkälät	37
3.2.2. Sormipaisukarpeen vauriot	38
3.2.3. Mäntyjen kunto	43
3.2.4. Männyn neulasten rikki-pitoisuudet	44
4. Tulosten tarkastelu ja vertailu aikaisempiin tutkimuksiin	48
5. Yhteenveto	57
6. Kirjallisuus	58

Liitteet

1. Johdanto

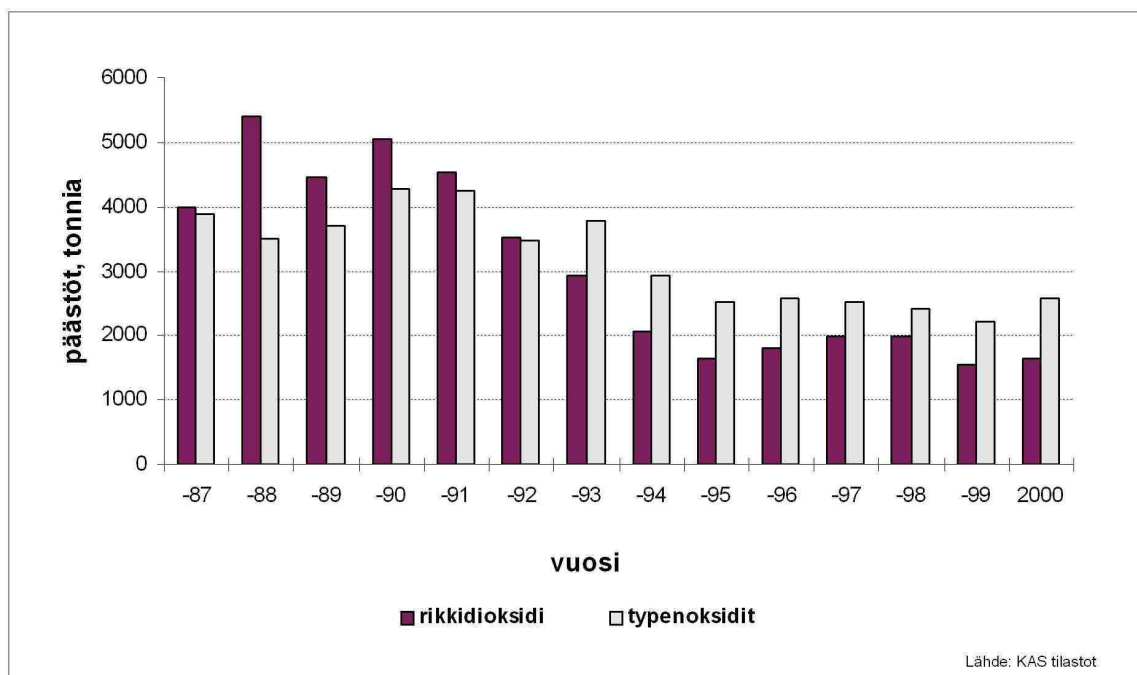
Kotkan alueen ilmanlaatua on seurattu jatkuvana tarkkailuna vuodesta 1983 lähtien. Ilmanlaadun tarkkailu käsittää myös ilman epäpuhtauksien vaikutusten tutkimisen. Ilman epäpuhtauksien vaikutuksia alueen mäntymetsiin on tutkittu vuosina 1984 ja 1985 (Särkinen 1984, Jokinen ym. 1986) sekä vuosina 1992 ja 1997 (Niskanen 1993, Niskanen & Ellonen 1997). Tämä tutkimus on jatkoa Kotkassa vuosina 1992 ja 1997 tehdyille tutkimuksille ja se on suoritettu Kotkaan vuonna 1992 perustetuilla näytealoilla. Tässä selvityksessä on tutkittu mäntyjen runkojäkäläkasvillisuutta, sen lajistoa ja kuntoa sekä mäntyjen kuntoa ja neulasten alkuainepitoisuuksia. Tutkimuksen tuloksia on vertailtu aikaisempien selvitysten tuloksiin. Tämä tutkimus on osa Kotkan kaupungin ilman laadun tarkkailua sopimuskaudella 2000-2004.

Tutkimusapulaiset Virpi Laitakari ja Anu Haahla ovat tehneet tutkimuksen maastotyöt. Tutkijat Ilkka Niskanen ja Katja Polojärvi ovat laatineet tutkimusraportin.

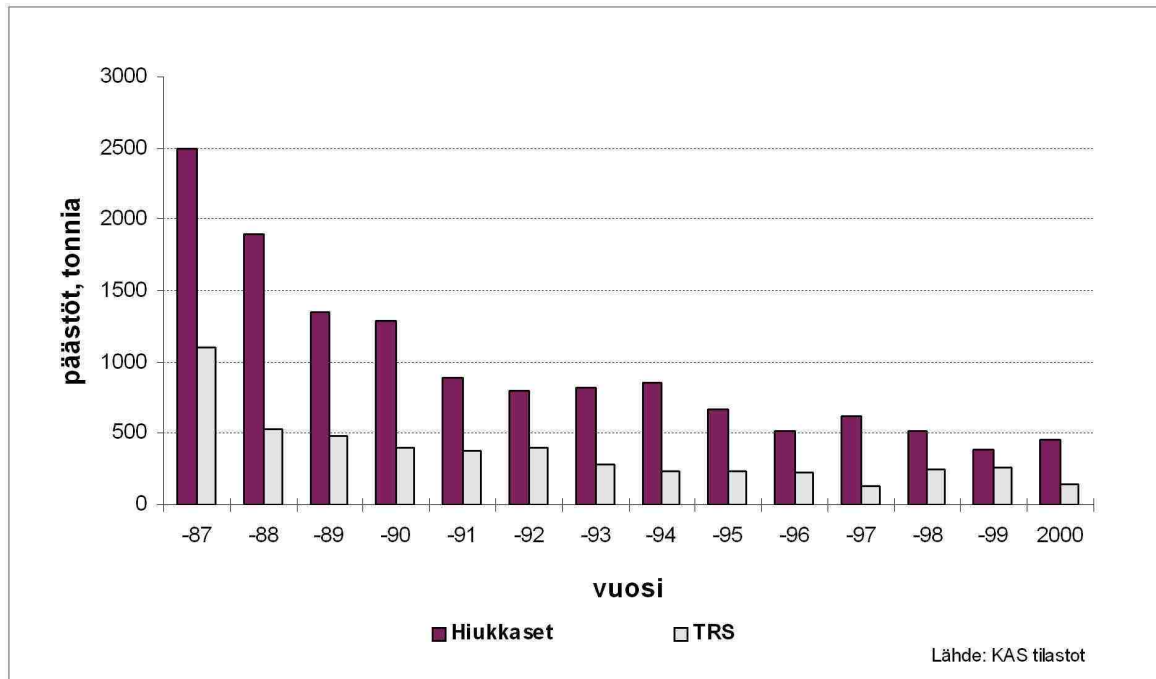
2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Ilman epäpuhtaudet Kotkassa

Ilmansuojelullisesti merkittävimmät epäpuhtauskuormittajat Kotkassa ovat liikenteen lisäksi prosessiteollisuus sekä sähkön- ja lämmöntuotantolaitokset. Laitoksista tuleva rikkidioksidin vuotuinen päästömäärä on pudonnut 1980-luvun alun noin 10 000 tonnista nykyiseen noin 1655 tonniin. Vuosina 1990-2000 laitosten vuotuiset päästömäärät ovat vähentyneet rikkidioksidin osalta lähes 67 %, typen oksidien osalta noin 40 %, haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) osalta 66 % ja pölypäästöjen osalta noin 64 % (Pulkkanen 2002) (kuvat 1 ja 2). Päästöjä ovat pienentäneet vähemmän rikkiä sisältävien polttoaineiden käyttö, pienempiä päästöjä aiheuttavat polttotekniset ratkaisut sekä puhdistustekniikoiden käyttö.

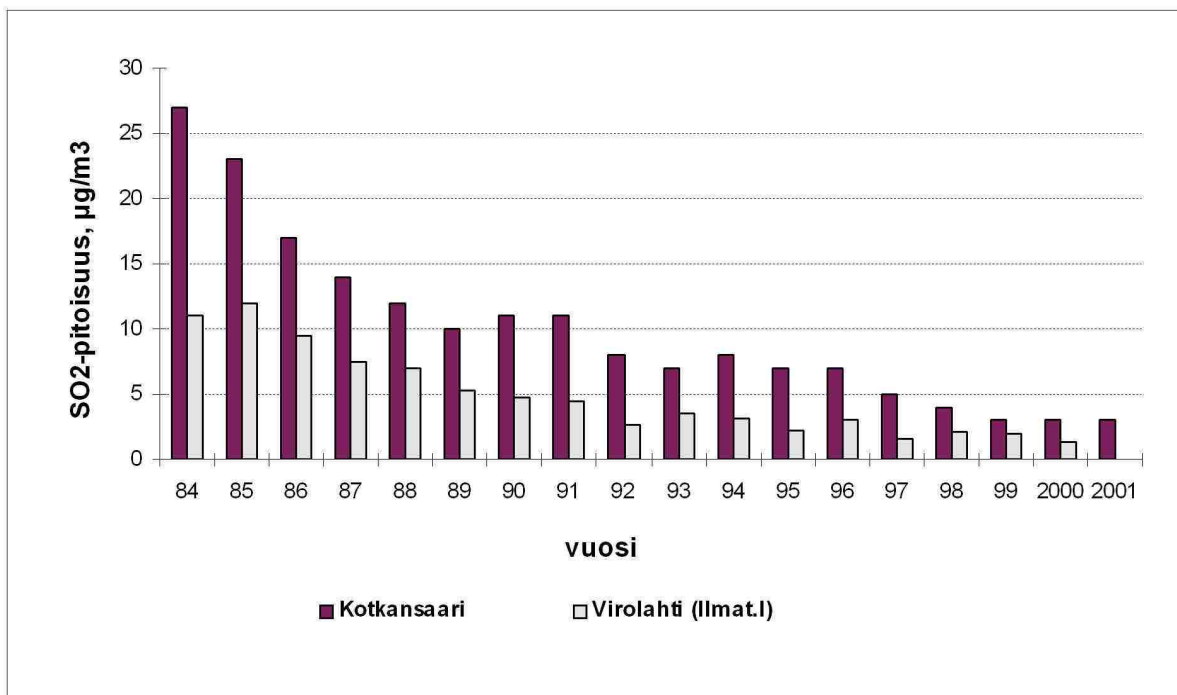


Kuva 1. Laitosten rikkidioksidin ja typenoksidien päästöt Kotkassa vuosina 1987-2000 (Pulkkanen 2002).



Kuva 2. Laitosten haisevien rikkiyhdisteiden (TRS) ja hiukkasten päästöt Kotkassa vuosina 1987-2000 (Pulkkänen 2002).

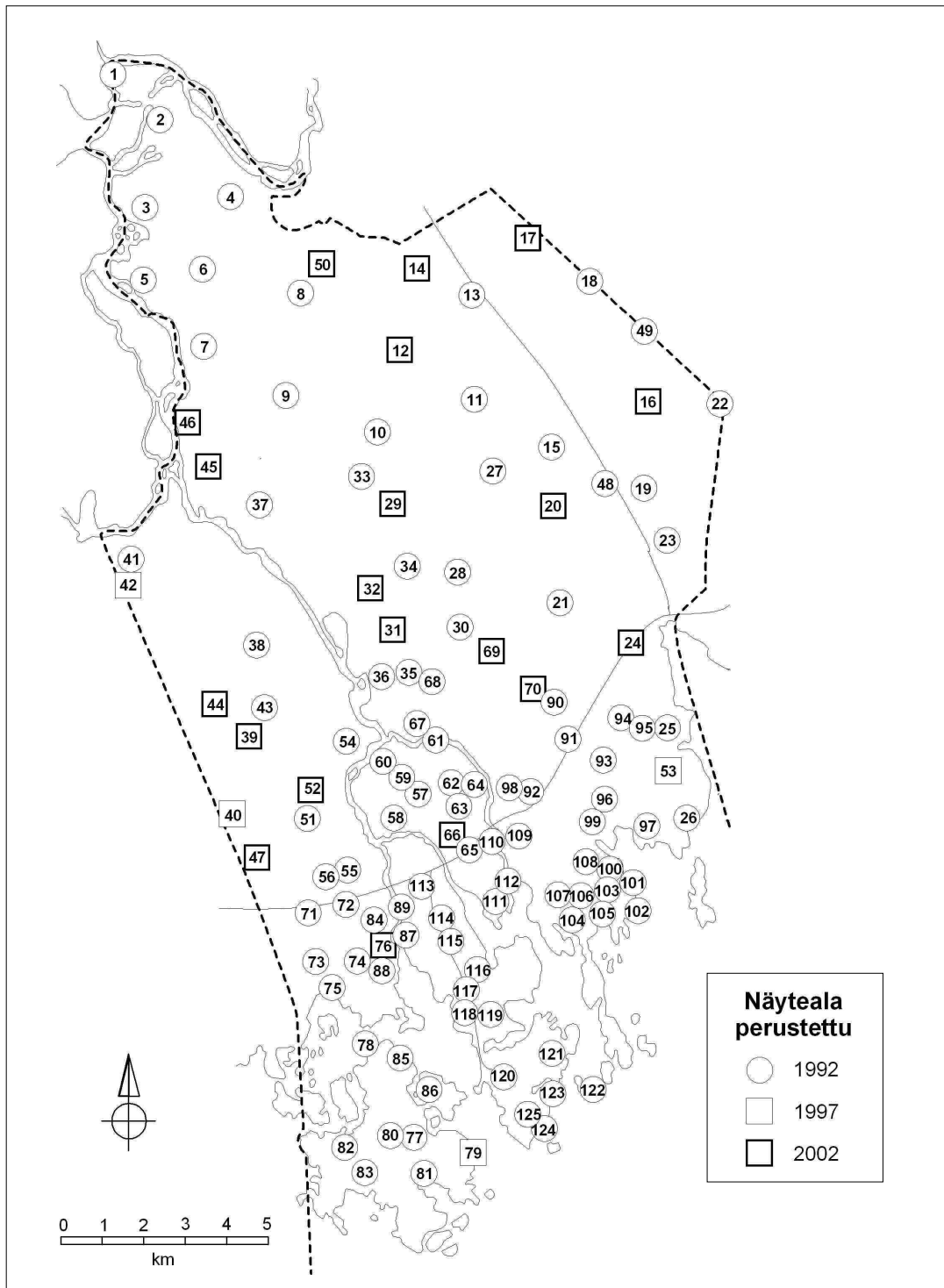
Päästöjen pientyminen näkyy selvästi myös ilman epäpuhtauksien pitoisuuksissa. Rikkidioksidin vuosikeskiarvo oli Kotkassa vuonna 1984 yli 25 g/m^3 , kun se on ollut vuodesta 1998 lähtien alle 5 g/m^3 (kuva 3). Myös haisevien rikkiyhdisteiden pitoisuudet ovat laskeneet 1990-luvulla. Vuonna 2001 ilmanlaadun pitoisuudet alittivat ilmanlaadulle vuonna 1996 annetut ohjearvot kaikkien epäpuhtauksien osalta Karhulan asemalla mitattua hengitettävien hiukkasten pitoisuutta lukuun ottamatta (Pulkkänen 2002).



Kuva 3. Rikkidioksidin vuosikeskiarvot Kotkassa ja Virolahdella vuosina 1984-2001 (Pulkkänen 2002).

2.2. Tutkimusalue ja näytealat

Tutkimus tehtiin 125 näytealalla, joista valtaosa on perustettu Kotkaan vuonna 1992 (Niskanen 1993). Osa vuonna 1992 perustetuista näytealoista jouduttiin vuoden 1997 tutkimuksessa siirtämään hakkuiden vuoksi läheisimpään sopivaan männikköön (Niskanen & Ellonen 1997). Vuonna 1992 perustetuista näytealoista 20 oli hakattu joko kokonaan tai osittain vuoden 1997 jälkeen, joten tätä selvitystä varten jouduttiin perustamaan 20 uutta näytealaa mahdollisimman lähelle entisiä (kuva 4).



Kuva 4. Näytealojen sijainnit ja numerointi. Eri vuosina perustetut näytealat on merkitty eri symbolein.

Tutkimuksen näytealat sijaitsevat varttuneissa mäntymetsissä. Suurin osa näytealoista sijaitsee puolukkatyyppin (VT) kuivissa kangasmetsissä, mutta näytealoja sijaitsee myös karummilla ja rehevämmillä kasvupaikoilla. Näytealoja valittaessa on pyritty välttämään metsäkuvioiden reuna-alueita, hyvin tiheitä metsiä ja kallioiden lakimänniköitä.

Näytealat on merkitty maastoon maalaamalla yhteen mäntyyn valkoinen rengas rungon ympäri noin kahden metrin korkeuteen. Tämän puun ympäriltä on valittu yhdeksän lähintä puuta, jotka ovat läpimitaltaan vähintään 20 cm. Valkoisella renkaalla merkitty puu on numeroitu ykköseksi. Loput puut on numeroitu järjestyksessä rengastetulta puulta katsottuna pohjoisesta vastapäivään kiertäen. Poikkeukset tästä numerointitavasta on esitetty näytealan etsintäohjeissa. Samaa numerointia on käytetty jäkälätutkimuksessa mukana olleille männyille.

2.3. Tutkimuksen menetelmät

2.3.1. Havupuiden neulaskadon arvioiminen ja muut havainnot

Havupuiden harsuuntumista eli neulaskadon määrää arvioitiin Metsäntutkimuslaitoksen arviointiohjeiden mukaisesti (Lindgren & Salemaa 1999). Havainnot puiden neulaskadosta ja muista tutkittavista tekijöistä tehtiin kullakin koealalla puukohtaisesti kymmenestä puusta.

Harsuuntumisen arvioinnissa tarkasteltavaa puuta verrataan samalla kasvupaikalla kasvavaan todelliseen saman ikäiseen ja samaa latvustyyppiä edustavaan harsuuntumattomaan puuhun. Puuta tarkastellaan kiikareilla vähintään puun pituuden etäisyydeltä. Ensimmäiseksi määritellään elävän latvuksen alaraja siten, että elävään latvukseen ei lasketa kuuluvaksi vähintään kahden kuolleen oksakiehkuran erottamia eläviä oksia. Neulaskatoarvio tehdään männyllä elävän latvuksen ylemmästä 2/3-osasta. Arviot puun neulaskadon määrästä kirjattiin prosentteina. Tutkituista puista tehtiin myös havainnot neulasvuosikertojen ja kuolleitten oksien määrästä, tuhoista ja taudeista sekä neulasten mahdollisista värvioista. Havainnot tehtiin 16.4.-26.4.2002.

2.3.2. Mäntyjen epifyyttijäkälän kartoittaminen

Jäkäläkartoitus tehtiin 16.4.-26.4.2002. Mäntyjen rungoilta tehtiin havainnot eri jäkälälajien esiintymisestä ja kunnosta. Rungoilta tutkittiin 12 jäkälälajin esiintymistä standardin SFS 5670 pääosin mukaisella menetelmällä (taulukko 1). Havainnot jäkälälajien esiintymisestä tehtiin kultakin näytealalta viideltä rungolta 50-200 cm:n korkeudelta. Eri jäkälälajien runsautta arvioitiin samalla kolmeasteisella luokituksella kuin vuosina 1992 ja 1997 (taulukko 2). Rungoilta arvioitiin myös sormipaisukarpeen kuntoa ja yleisiä jäkälävauriota standardin mukaisella viisiasteisella luokituksella (taulukko 3). Jäkälän kunto luokiteltiin puolen vaurioluokan tarkkuudella.

Taulukko 1. Tutkitut jäkälälajit ja niiden herkkyudet rikkidioksidille (Kuusinen ym. 1990).

Herkkyys	Laji	laji
kestävä, hyötyvä	Algae + Scoliciosporum Hypoceno myce scalaris,	leväpeite seinänsuomujäkälä
melko kestävä	Hypogymnia physodes, Parmeliopsis ambigua, Cetraria chlorophylla, Vulpicida pinastri,	sormipaisukarve keltatyvikarve ruskoröyhelö keltaröyhelö
melko herkkä	Parmeliopsis hyperopta, Parmeliopsis aleurites, Platismatia glauca, Pseudevernia furfuracea, Parmelia sulcata,	harmaa tyvikarve kalpea tyvikarve harmaa röyhelö hankakarve raidanisokarve
herkkä	Bryoria spp., Usnea spp.,	lupot naavat

Taulukko 2. Jäkälien runsauden luokittelu. Leväpeite (*Algae + Scoliciosporum*) ja seinänsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) on luokiteltu peittävyytensä (%), muut lajit sekovarsien lukumäärän perusteella.

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

Taulukko 3. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) ja runkojäkälkien yleinen vaurioluokitus (SFS 5670).

Vaurio	Sormipaisukarve Näkyvät muutokset	Yleinen vaurioluokitus näkyvät muutokset
I normaali	jäkälät terveitä tai lähes terveitä	kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
II lievä vaurio	lievästi kitukasvuisia, lieviä värinmuutoksia	pensasmaiset kitukasvuisia, lehtimäiset normaaleja
III selvä vaurio	kitukasvuiset vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin	pensasmaiset pieniä, lehtimäiset vaurioituneita
IV paha vaurio	pieniä, ryppyisiä ja vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin	pensasmaiset puuttuvat, lehtimäiset pahoin vaurioituneita
V kuollut tai puuttuu		myös lehtimäiset puuttuvat, leväpeitettä vo i esiintyä

Lajien esiintymisfrekvenssien ja kuntoluokitusten lisäksi jäkäläkartoituksen aineistosta laskettiin kullekin havaintopaikalle IAP-indeksi (Index of Air Purity, ilman puhtausindeksi), joka kuvaa havaintopaikan jäkäläkasvillisuutta. Mitä suuremman arvon indeksi saa, sitä rikkaampi näytealan jäkälälajisto on ja sitä enemmän sillä esiintyy ilman epäpuhtauksille herkimpiä lajeja. Indeksillä ottaa huomioon eri jäkälälajien herkkyyden ilmansaasteille sekä jäkälien runsauden.

Indeksit laskettiin kullekin näytealalle seuraavalla kaavalla:

$$IAP = \sum_1^n (Q * f) / 10$$

missä, Q = kunkin jäkälälajin keskimääräinen seurannaislajien lukumäärä rungolla
 f = lajin suhteellinen esiintymisfrekvenssi näytealalla (0-1)
 n = jäkälälajien lukumäärä rungolla

Indeksin laskennassa ei otettu huomioon viherleviä ja seinänsuomujäkälää, koska ne ovat ilman epäpuhtauksia suosivia lajeja.

2.3.3. Neulasnäytteiden ottaminen ja analysointi

Neulasnäytteet otettiin 16.4.-26.4.2002 välisenä aikana. Neulasnäytteet otettiin standardin SFS 5669 mukaisesti. Kustakin näytepuusta katkaistiin 3-4 oksaa eri puolilta latvustoa 8-12 metrin korkeudelta. Neulasnäytteet säilytettiin muovipusseissa ulkolämpötilassa näytteiden esikäsittelyyn asti.

Näytteistä erotettiin toisen vuoden vuosikasvaimen neulas (vuoden 2000 neulasvuosikerta), jotka kuivattiin paperipusseissa noin 40 °C lämpötilassa pari päivää. Homogeeniseksi jauhetut näytteet märkäpoltettiin mikroaaltouunissa väkevän typpihapon ja vetyperoksidin seoksessa, jäähtyneet näytteet suodatettiin ja alkuaineet analysoitiin suodatetuista ja vedellä laimennetuista näytteistä ICP-AES -laitteistolla (Jobin-Yvon Ultima 2). Menetelmä on SFS 5781 mukainen menetelmä ja on osoittautunut tarkaksi menetelmäksi eri menetelmien vertailussa (Jarva & Tervahauta 1989).

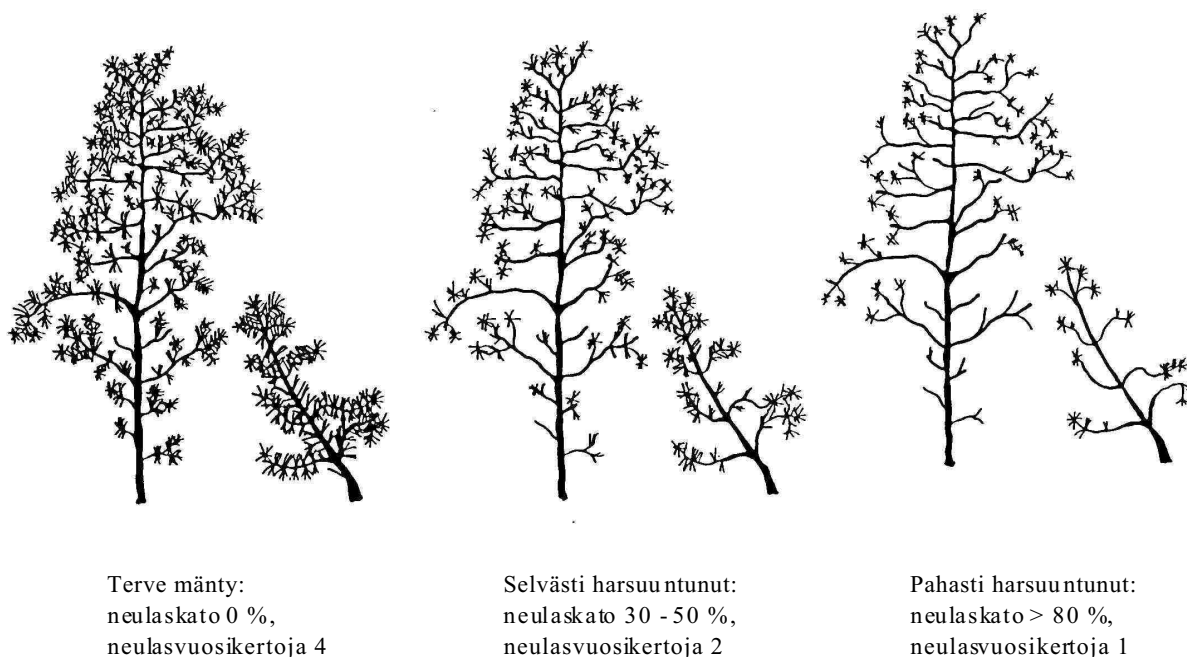
Neulasnäytteiden tyyppi määritettiin GTK:n geolaboratoriossa Kuopiossa hiili-typpianalysaattorilla (menetelmä 820 L). Analysoitujen näytteiden mukana oli seuraavat sertifioidut näytteet: Peach Leaves 1547, BCR 101 Spruce needles.

2.3.4. Käytetyt menetelmät metsien tilan ja ilmanlaadun kuvaajina

Havupuiden neulaskato eli harsuuntuminen

Havupuiden neulaskatoon vaikuttavat ilmansaasteiden lisäksi monet luonnolliset tekijät, mm. puun ikä, kasvupaikka, sääolosuhteet, tuholaiset ja kasvitaudit. Puun neulaskadon määrää pidetäänkin lähinnä sen elinvoimaisuuden kuvaajana (Jukola-Sulonen ym. 1990). Neulaskadon arvioinnissa harsuuntuneeksi katsotaan puut, joiden neulaskato on yli 20 %. Tätä pienemmän neulaskadon katsotaan kuuluvan luontaiseen neulasmäärän vaihteluun.

Männyllä neulaskato ilmenee usein epätasaisena eli puussa voi olla yksittäisiä oksia, jotka ovat selvästi voimakkaammin harsuuntuneita kuin muut oksat. Voimakkaassa neulaskadossa latvus harsuuntuu yleensä tasaisemmin. Myös neulasvuosikertojen määrää voidaan pitää puun



Kuva 5. Eri asteisesti harsuuntuneita mäntyjä.

elinvoimaisuutta kuvaavana tunnuksena. Neulaskadon lisääntyessä yleensä myös puun neulasvuosikertojen määrä vähenee (kuva 5).

Laajassa valtakunnallisessa seurannassa metsikön ikä, puuston läpimitta ja kasvupaikan viljavuus selittivät yli 60 % männyn harsuuntuneisuuden vaihtelusta. Mäntyjen harsuuntuneisuus näytti olevan pienintä siellä, missä rikki- ja kokonaistyyppilaskeumat olivat pienimmät, mutta harsuuntuneisuus ei kuitenkaan lisääntynyt suoraviivaisesti laskeuman lisääntyessä (Lindgren ym. 1998). Havupuiden neulaskato on hyvin paikallinen ilmiö ilman saasteiden kuormittamillakin alueilla. Pääkaupunkiseudun ilman laadun bioindikaattoriseurannassa mäntynäytealojen keskimääräisen neulaskadon todettiin edustavan vain kyseistä näytealaa, kun tulosten yleistettävyyttä oli vain alle 0,3 kilometriä (Partanen & Veijola 1996).

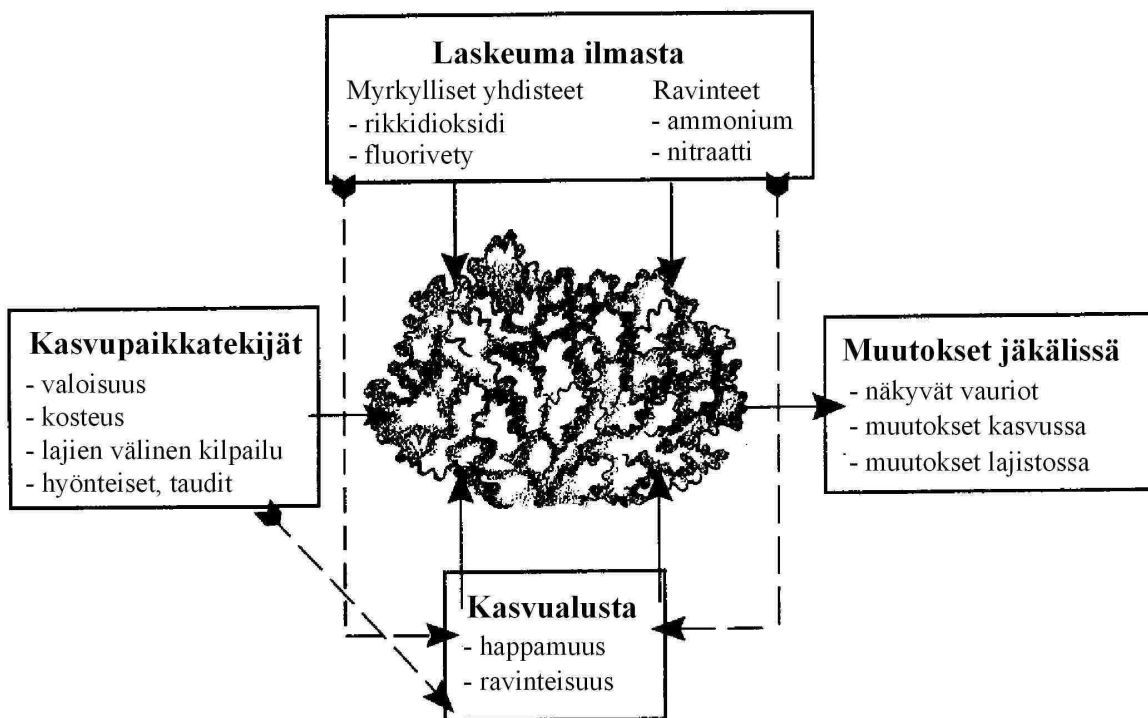
Valtakunnallisessa seurantatutkimuksessa neulasten alkuainepitoisuuksien välillä todettiin joitakin tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita. Pohjois-Suomen aineistossa neulasten typpi- ja fosforipitoisuudet pienenevät ja booripitoisuus nousee harsuuntuneisuuden kasvaessa. Etelä-Suomessa kuparipitoisuuden todettiin kasvavan harsuuntuneisuuden myötä (Lindgren ym. 1998).

Neulaskadon määrä on siis ilman laadun indikaattorina varsin huono, koska siihen vaikuttavat niin monet muut tekijät kuin ilmansaasteet. Näiden tekijöiden vuoksi neulaskadon määrä voi olla hyvin paikallinen tunnus, jonka yleistettävyyttä on huono. Toisaalta neulaskadon määrä on selkeä puiden yleiskunnon mittari, jota käytetään kansainvälisessä metsien tilan seurannassa. Harsuuntumisen arviointi on myös menetelmänä helppo ja nopea toteuttaa, mutta arviointiin liittyy useita vaihtelua aiheuttavia tekijöitä.

Muutokset epifyyttijäkälissä

Jäkälät koostuvat sieni- ja leväosakkaasta, jotka elävät symbioosissa. Jäkälien löyhän rakenteen vuoksi ja suojaavan vahakerroksen puuttuessa ilman ja sadeveden epäpuhtaudet pääsevät helposti kiinnittymään sieniosakkaan soluseinämien proteiineihin. Epäpuhtauksien kerääjinä jäkälät ovat erittäin tehokkaita, koska ne ottavat kasvuunsa tarvitsevan veden ja ravinteet sadevedestä ja suoraan ilmasta. Jäkälät ovat myös erittäin hidaskasvuisia, minkä vuoksi epäpuhtaudet voivat kertyä niihin pitkien aikojen kuluessa.

Ilman epäpuhtaudet muuttavat jäkälälajistoa sekä aiheuttavat niissä silmin havaittavia muutoksia. Erityisen selvästi nämä vauriot voidaan havaita sormipaisukarpeessa (*Hypogymnia physodes*). Sormipaisukarve sietää pitkään ilman saasteita ja se häviää yleensä viimeisenä kestäviksi luokitelluista lajeista. Sormipaisukarve mahdollisesti myös hyötyy ilman epäpuhtauksista tiettyyn kuormitustasoon saakka. Jäkäläkasvillisuudessa havaittavat muutokset eivät kuitenkaan aina ole kovinkaan yksiselitteisiä. Jäkäliin ja niiden kasvualustaan vaikuttaa samanaikaisesti useita eri yhdisteitä. Nämä vaikutukset saattavat olla suoraan jäkälää vaurioittavia, toisaalta ne voivat myös olla niiden kasvua kiihdyttäviä. Ilmasta tuleva kuormitus vaikuttaa myös jäkälien kasvualustan välityksellä, minkä vuoksi vaikutukset voivat heijastua vielä pitkään, vaikka kuormitus olisikin loppunut (kuva 6).



Kuva 6. Runkojäkäliin vaikuttavia tekijöitä ja niiden aiheuttamia muutoksia.

Eri jäkälälajien esiintyminen vaihtelee luontaisten ympäristöolosuhteiden mukaan sekä ilman saasteherkkyyden mukaan, minkä vuoksi eri lajien indikaattoriarvot ovat erilaisia. Taulukossa 4 on luonnehdittu standardin SFS 5670 mukaisia jäkälälajeja ilmanlaadun indikaattoreina.

Taulukko 4. Standardin SFS 5670 mukaiset jäkälälajit ilmanlaadun indikaattoreina. Indikaattoriarvon luokitus: +++ hyvä, ++ kohtalainen, + pieni, - huono.

Laji	luonnehdinta
<i>Hypogymnia physodes</i> +++	Sormipaisukarve on käytetyistä indikaattorilajeista kestävin ja yleisin laji, joka sietää eniten ilman epäpuhtauksia. Sormipai sukarpeen esiintymisfrekvenssit (tai peittävyys) pienentyvät vasta voimakkaasti kuormitetuilla alueilla. Sormipaisukarve on hyvä ilmanlaadun indikaattori, sillä myös sekovarren näkyvät vauriot kuvastavat ilman epäpuhtauksien kuormitusta.
<i>Parmeliopsis ambigua</i> +++	Keltatyvikarve sietää myös hyvin ilman epäpuhtauksia ja sen esiintymisfrekvenssit noudattavat ilman epäpuhtauksien kuormitusvyöhykkeitä. Keltatyvikarve viihtyy parhaiten sulkeutuneissa kosteissa metsissä (Pihström & Myllyvirta 1996). Keltatyvikarvetta esiintyy hyvin yleisesti ja se on ilman epäpuhtauksia kestävä, hyvä indikaattorilaji.
<i>Parmeliopsis hyperopta</i> & <i>Imshaugia aleurites</i> ++	Tuhkakarve ja harmaatyvikarve sijoittuvat kolmanneksi kestävimiksi ilman saasteista kärsivistä lajeista. Tämä sijoitus sopii yleensä hyvin näiden lajien esiintymisfrekvenssin alueelliseen jakaantumiseen, sillä kahta edellistä lajia herkemmin nämä lajit pienentyneet esiintymisfrekvenssit ulottuvat vähemmän kuormitetuille alueille kuin sormipaisu- ja keltatyvikarpeella. Tuhka- ja harmaatyvikarve ovat ilmansaasteita sietäviä, hyviä indikaattorilajeja, jotka tosin suosivat kuivia ja valoisia kalliomänniköitä.
<i>Hypocnomyce scalaris</i> ++	Seinänsuomujäkälää kasvaa luontaisesti vanhojen mäntyjen rungoilla. Se pystyy myös käyttämään hyväkseen ilmassa olevia epäpuhtauksia ja sen esiintyminen lisääntyy ilman saasteiden kuormituksen lisääntyessä. Seinänsuomujäkälä on kohtalaisen hyvä ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori eli sen esiintyminen kuvastaa lähinnä typpilaskeuman rehevöittävä vaikutusta.
<i>Bryoria</i> 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 ilman laadun indikaattoreita.
<i>Usnea</i> spp.++	Naavojen esiintymisfrekvenssit vaihtelevat ilmansaastekuormituksen mukaan yleensä samalla tavalla kuin lupoilakin. Naavojen seuralaislajien määrä on yleensä samaa tasoa kuin lupoilta eli osoittaa näiden jäkälälajien herkkyyttä ilman epäpuhtauksille. Naavojen pituuksia voidaan myös käyttää kuormitusta kuvaavana tunnuksena. Rannikon läheisyys suosii naavojen esiintymistä, minkä vuoksi sen indikaattoriarvo jää kohtalaiseksi.
<i>Platismatia glauca</i> ++	Harmaaröyhelö on seuranaislajien 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.
<i>Vulpicida pinastri</i> +	Keltaröyhelön esiintyminen on usein varsin satunnaista, sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuilta alueilta ja toisaalta se saattaa puuttua tausta-alueilla. Keltaröyhelön luontainen esiintyminen vaihtelee suuresti, mutta mahdollisesti myös ilman epäpuhtauksilla on vaikutusta sen esiintymiseen. Keltaröyhelön arvo ilman laadun indikaattorina jää kuitenkin pieneksi.
<i>Cetraria chlorophylla</i> -	Ruskoröyhelö on yleensä 12 indikaattorilajin joukossa yksi harvinaisimmista lajeista. Sen esiintyminen vaihtelee usein hyvin satunnaisesti ja sitä voidaan löytää voimakkaasti kuormitetuiltakin alueilta. Ilman laadun indikaattorina ruskoröyhelö on huono.
<i>Pseudevernia furfuracea</i> ++	Hankakarve on hyvin yleinen jäkälälaji männyn rungolla. Keskimääräisen seuralaislajien määrän perusteella hankakarve voidaan katsoa olevan herkkä ilman epäpuhtauksille, myös sen esiintymisfrekvenssien alueellinen jakauma vastaa yleensä ilman epäpuhtauksien kuormituksen jakaantumista. Ilmansaasteet aiheuttavat selvästi havaittavia muutoksia hankakarpeen sekovarressa. Rannikon läheisyys suosii hankarpeen esiintymistä, sillä se viihtyy vaboisissa, kuivissa kalliomänniköissä, indikaattorina kohtalainen.
<i>Parmelia sulcata</i> +	Raidanisokarve on harvinainen jäkälälaji männyn rungolla. Raidanisokarve on ravinneisuudesta hyötyvä jäkälälaji, jota esiintyy yleensä mm. kalkkipölyalueiden liepeillä. Raidanisokarve soveltuu kalkkipölyn indikaattoriksi. Yleensä raidanisokarve on niin harvinainen, että sen indikaattoriarvo jää pieneksi.
<i>Algae</i> & <i>Scoliciosporum</i> +++	Viherväpeite lisääntyy lähinnä kasvaneen typpilaskeuman vaikutuksesta eli se on ilman epäpuhtauksien positiivinen indikaattori. Viherväpeite ja vihersukkulajäkälä ovat hyviä typpikuormituksen indikaattoreita.

Jäkälälajiston perusteella laskettua IAP-indeksiä käytetään yleisesti ilman laadun bioindikaattoritutkimuksissa, koska tämä indeksi summaa eri jäkälälajien esiintymisfrekvenssit yhteen lukuarvoon ottamalla huomioon myös eri lajien herkkyudet. IAP-indeksin laskentatavasta ei ole yhdenmukaista käytäntöä, joten eri tutkimusten vertailu ei useinkaan ole mahdollista. Erilaisten menettelyjen ja aineistojen vuoksi IAP-indeksille ei ole esitetty yleisesti käytettävää luokitusta. Tässä selvityksessä indeksin arvo voidaan luokitella taulukon 5 mukaisesti.

Ilmansaasteiden aiheuttamat muutokset jäkälissä ilmenevät yleensä varsin hitaasti. Muutokset ilman saasteiden aiheuttamien vaurioiden suuntaan voivat olla kuitenkin varsin nopeita, kun tausta-alueen puhtaille alueille tulee uusia ilman epäpuhtauksien päästäjiä. Ilmansaasteiden kuormituksen pienentyessä muutokset ovat sitä vastoin hyvin hitaita, koska pitkäaikainen kuormitus vaikuttaa jäkäliin takautuvasti kaarnassa tapahtuneiden muutosten vuoksi. Ilmanlaadun parantuminen havaitaan todennäköisesti varsin hitaasti jäkälän kunnossa tai lajistossa.

Taulukko 5. Näytealojen jäkäläkasvillisuuden luokitus IAP-indeksin perusteella.

IAP-indeksi	Kuvaus jäkäläkasvillisuudesta
> 3,0	jäkälälajisto vastaa tausta-alueiden lajistoa, mukana yleisesti herkimpiä lajeja
2,0 - 3,0	lajistossa on lieviä muutoksia, herkimpiä lajeja puuttuu yleisesti
1,0 - 2,0	lajisto on köyhtynyt, herkimpiä lajeja voi esiintyä yksittäisillä rungoilla
0,5 - 1,0	lajisto on enttään selvästi köyhtynyt, herkimmat lajit puuttuvat kokonaan, rungoilla esiintyy yleisesti ilmansaasteista hyötyviä lajeja
< 0,5	jäkäläautio tai lähes jäkäläautio

Neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasten alkuainepitoisuuksien määrittämisellä pyritään selvittämään ilman kautta leviävien epäpuhtauksien kuormituksen alueellisia eroja. Toisaalta neulasten ravinnepitoisuudet kuvastavat mahdollisia ravinteiden puutostiloja tai haitallisen korkeita pitoisuuksia.

Neulasten rikki- ja typpipitoisuudet kuvastavat osittain ilman kautta tulevaa kuormitusta. Nämä aineet kulkeutuvat neulasiin myös maaperästä, joten myös kasvupaikka vaikuttaa niiden pitoisuuksiin neulasissa. Havupuiden neulasten normaalina kokonaisrikkipitoisuutena pidetään 900 mg/kg. Männyn neulasten normaalina typpipitoisuutena pidetään 11 g/kg, jota alemmissa pitoisuuksissa puun katsotaan kärsivän tyven puutteesta (taulukko 6).

Puhtailla alueilla neulasten rikkipitoisuus vähenee neulasten vanhetessa. Kuormitetuilla alueilla pitoisuus sen sijaan kasvaa neulasten vanhetessa (Jussila ym. 1999). Näytteenottojaksoa edeltävät sääolosuhteet vaikuttavat neulasten rikkipitoisuuteen. Talvella neulaset keräävät pinnalleen rikkiä, mikä voi nopeasti huuhtoutua sateiden vaikutuksesta (Huttunen ym. 1985). Huttunen totesi voimakkaasti kuormitetulla alueella neulasten rikkipitoisuuksien pienentyvän sateiden vaikutuksesta 30 - 50 % (Huttunen 1982).

Ravinteiden pitoisuuden määrittämisellä pyritään selvittämään onko ravinteista puutosta, esiintyykö myrkyllisen korkeita pitoisuuksia ja onko eri ravinteita sopivissa suhteissa (Kärenlampi 1990). Useiden ravinteiden kohdalla puutostilan tai myrkyllisen korkean tilan raja on liukuva ja monista seikoista riippuva. Tärkeimpien ravinteiden suhteen on annettu ravinnepitoisuuksien ohjearvoja (taulukko 6).

Taulukko 6. Männyn neulasten ravinnepitoisuuksien ohjearvoja kuivahkoille ja kuiville kankaille (Jukka 1988).

Ravinnetilä	typpi g/kg	fosfori g/kg	kalium g/kg	boori mg/kg
alhainen	< 11,0	< 1,2	< 3,5	< 5,0
välttävä	11,0 - 13,9	1,2 - 1,44	3,5 - 3,9	5,0 - 7,9
sopiva	14,0	1,45	4,0	8,0

2.3.5. Menetelmien virhelähteet ja luotettavuus

Harsuuntumisen arvioiminen

Latvuksen kunnan arvioiminen on aina subjektiivista ja arviointitulokseen vaikuttavat monet virhelähteet, jotka voivat aiheutua esimerkiksi metsikön tiheydestä, sääoloista ja valaistuksesta (Salemaa ym. 1993). Subjektiivisuudestaan huolimatta harsuuntumisen arviointi on käyttökelpoinen ja suhteellisen nopea menetelmä arvioitaessa puiden elinvoimaisuutta. Menetelmän subjektiivisuudesta johtuvia eroja voidaan vähentää arvioijien koulutuksella sekä vakioimalla mahdollisimman useita tekijöitä, jotka vaikuttavat arviointitulokseen (esim. sama arvioija, sama puu, sama tarkasteluun). Eri tutkimusten tulosten vertailukelpoisuutta vähentävät mm. arvioijien väliset erot, puiden erilaiset ikä- ja kokojakaumat sekä erilaiset kasvupaikat.

Metsäntutkimuslaitoksen arvioijien vertailussa on todettu, että 90 % yksittäisistä puista arvioidaan yhden neulaskatoluokan ($\pm 10\%$) virhemarginaalien sisälle. Näissä vertailuissa ei ole todettu tilastollisia eroja eri arvioijien välillä verrattaessa eri harsuuntumisloukkiin luokiteltujen puiden osuuksia (Salemaa ym. 1993).

Ympäristöntutkimuskeskuksen bioindikaattoritutkijat ovat vertailleet vuosittain omaa arviointitasoaan Metsäntutkimuslaitoksen koepuilla. Vuonna 1994 tehdyssä vertailussa yhden neulaskatoluokan virherajoihin mahtui yli 95 % arvioiduista puista (Niskanen 1995). Mäntyjen neulaskatoarvioiden keskiarvo oli männyllä alle yhden prosentin suurempi kuin Metsäntutkimuslaitoksen arvioijien keskiarvo, eivätkä keskiarvot eronneet tilastollisesti toisistaan. Erot kohdepuiden jakaantumisessa neulaskatoluokkiin olivat pieniä, eivätkä ne olleet tilastollisesti merkitseviä (Niskanen 1995).

Neulasten rikkiptoisuuksien kartoittaminen

Näytteenoton ja analysoinnin virheitä neulasten rikkiptoisuuden määrittämisessä on arvioitu pääkaupunkiseudulla tehtyjen bioindikaattoriselvitysten yhteydessä (Niskanen 1995, Niskanen ym. 1996). Kahdelta näytealalta otettujen rinnakkaisten kokoomanäytteiden rikkiptoisuuksien suhteelliset keskihajonnat olivat 5.8 % ja 1.3 %. Tästä voidaan arvioida, että menetelmän mittaustarkkuus oli 95 % luottamusvälillä suuruusluokaltaan ± 7 %, kun mittausta toistetaan samalla näytealalla (Niskanen 1995).

Talvella 1996 otetuilla näytteillä selvitettiin viiden puun näytteen alueellista edustavuutta. Kahdelta näytealalta kerättyjen viiden kokoomanäytteen (eri puista) suhteelliset keskihajonnat olivat 4 ja 10 %. Mittaustarkkuudeksi 95 % luottamusvälillä saatiin noin ± 14 %, kun mittausta toistettiin saman metsikön eri kohdissa (Niskanen ym. 1996).

Neulasten rikkiptoisuuksien analyysimetelmä vaikuttaa menetelmän tarkkuuteen sekä rikkiptoisuuskien tasoon. Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattorisurannan yhteydessä talven 1995 neulasnäytteistä teetettiin rinnakkaismääntyksiä kolmella standardin mukaisella menetelmällä ICP-AES- ja röntgenfluoresenssimenetelmällä sekä Leco-rikkianalyysaattorilla. Eri menetelmillä saaduissa tuloksissa oli huomattavan suuria eroja. Kymmenen näytteen keskiarvot Leco-rikkianalyysaattorilla ja ICP-AES-menetelmällä olivat lähes samansuuruisia, mutta pitoisuudet eivät korreloi keskenään. Yksittäisten näytteiden osalta suurimmat erot olivat yli 100 g/g. Leco-rikkianalyysaattorilla saatu keskimääräinen pitoisuus oli yli 200 g/g pienempi kuin röntgenfluoresenssilla. Myöskään näillä menetelmillä saadut tulokset eivät korreloineet keskenään. ICP-AES-menetelmällä ja röntgenfluoresenssimenetelmällä saadut tulokset korreloivat selvästi keskenään, mutta röntgenfluoresenssilla saatu rikkitaso oli yli 200 g/g suurempi kuin ICP-AES-menetelmällä (Niskanen ym. 1996). Vertailuanalyysien tulokset olivat samansuuntaisia kuin Jarvan ja Tervahaudan (1989) tekemässä rikkianalyysien vertailussa: Leco-rikkianalyysaattorin tulokset vaihtelivat eniten, ICP-analyysien tulokset olivat lähimpänä keskiarvoa (hyvä toistettavuus) ja röntgenfluoresenssimenetelmällä saatiin keskiarvoa suurempia pitoisuuksia.

Neulasten rikkiptoisuuden kartoituksessa käytetty menetelmä ei siten ole kovinkaan tarkka varsinkin, jos pitoisuudet tutkimusalueella vaihtelevat pienellä välillä ja sääolosuhteet vaikuttavat pitoisuuksiin. Tuloksia ei pidä siis tulkita liian tarkasti ja samoja puita käyttämällä saadaan parempi kuva pitoisuuksien muutoksesta samalla näytealalla.

Rikkimääntykset on tehty vuosina 1997 ja 2002 ICP-AES-menetelmällä, vuoden 1985 analyysit on tehty röntgenfluoresenssimenetelmällä. Tuloksia verrattaessa vuoden 1985 rikkiptoisuuksista on vähennetty 200 g/g, joka oli näille menetelmille todettu tasoero pääkaupunkiseudun bioindikaattorisurannassa.

Jäkäläkartoitus

Jäkäläkartoituksen toistettavuutta ja mittaustarkkuutta ei ole arvioitu. Tutkimuksessa käytetty menetelmä on kuvattu standardissa SFS 5670 (Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus). Jäkäläkartoituksen tulosten luotettavuuteen vaikuttaa erityisesti kartoituksen tekijöiden jäkälälajituntemus sekä kokemus bioindikaattoritutkimusten tekemisessä. Standardissa esitettyjen 12 indikaattorilajin tunteminen ei yksistään riitä, sillä lajituntemuksen ollessa suppea voi indikaattorilajit sekoittaa muihin lajeihin. Ilman epäpuhtaudet voivat aiheuttaa lajien ulkonäköön huomattavia muutoksia, minkä vuoksi luonnontilaisten jäkäläiden tunteminen ei yksistään riitä.

Eri jäkälälajien esiintymisen kirjaaminen voi vaihdella eri arvioitsijoiden kesken. Leväpeitteen ja seinänsuomujäkälän kasvutavan vuoksi niiden havainnointi on erityisen hankalaa. Leväpeitettä voi esiintyä hyvinkin pieninä vihertävinä laikkuina. Myös kaarnan kastuminen voi hankaloittaa leväpeitteen havaitsemista. Seinänsuomujäkälä kasvaa yksittäisinä alle 1 mm kokoisina suomuina. Tämä suomu peite voi olla lähes yhtenäinen, selvästi havaittava peite kaarnalla, mutta seinänsuomujäkälä voi kasvaa myös lähes yksittäisinä suomuina. Vastaavia ongelmia voi olla myös tyvikarpeiden esiintymisen kirjaamisessa. Tässä tutkimuksessa lajien esiintyminen on kirjattu vasta, kun tyvikarpeella on ollut selvästi erottuva sekovarsi. Kaarnan pinnalla olevaa kellertävää tai vaaleaa jauhomaista kasvustoa ei ole kirjattu tyvikarpeeksi. Edellä esitettyjen syiden vuoksi näiden epifyyttien havainnointiin ja runsauden arviointiin liittyvät erityisen suuret virhelähteet, kun verrataan eri tutkijoiden tuloksia keskenään.

Jäkäläkartoitukseen kuuluu osana jäkälien näkyvien vaurioiden arviointi ja luokittelu. Nämä luokitukset ovat kartoituksen tekijän subjektiivisia arvioita, minkä vuoksi tuloksissa saattaa olla eroja eri tekijöiden välillä.

Muut tuloksiin vaikuttavat tekijät

Pääkaupunkiseudun bioindikaattoriseurannan tilastollisessa arvioinnissa todettiin useiden näytealojen tunnuslukujen olevan epätarkkoja. Tulosten epätarkkuus heikentää niiden alueellista yleistettävyyttä ja muutosten havaitsemismahdollisuuksia, minkä vuoksi raportissa suositeltiin otoskoon lisäämistä vähintään 10 puuhun (Partanen & Veijola 1996).

Tämän selvityksen vuoden 2002 tutkimustuloksissa on mukana yhteensä 125 havaintoalaa eli tarkastelussa ovat mukana myös näytealat, jotka on vuonna 2002 hakkuiden vuoksi jouduttu perustamaan joko kokonaan tai osittain uudelleen. Vuosien 1992, 1997 ja 2002 tulosten vertailukelpoisuutta on parannettu poistamalla vuosien välisestä tarkastelusta näytealat, jotka on perustettu vuoden 1992 jälkeen.

Jäkäläkartoituksen eri vuosien tuloksia vertailtaessa on huomioitava, että vuonna 1992 jäkäläkartoituksessa mukana olleita puita ei numeroitu, minkä vuoksi vuoden 1997 jäkäläkartoitusta ei välttämättä tehty samoilla puilla. Jäkäläkartoitukseen valitut puut numeroitiin vuonna 1997, joten jäkäläkartoituksen tulokset vuosilta 1997 ja 2002 ovat siltä osin vertailukelpoisempia.

Lisäksi mäntyjen neulaskadon määrän arvioinnissa on tapahtunut muutos vuoden 1997 jälkeen. Vuosina 1992 ja 1997 tutkittujen mäntyjen kuolleita latvuksia ei ole huomioitu neulaskadon määrän arvioinnissa silloisten arviointiohjeiden (Jukola-Sulonen 1985, Jukola-Sulonen & Salemaa 1989) mukaisesti. Tässä tutkimuksessa kuolleet latvukset on otettu huomioon Metsäntutkimuslaitoksen arviointiohjeiden mukaisesti (Lindgren & Salemaa 1999).

2.3.6. Tulosten käsittely

Tutkimuksen tulokset on esitetty symboleina tai vyöhykkeinä karttapohjalla. Vyöhykkeiden määrittämisessä on käytetty Surfer 7 -ohjelmistoa ja laskentamenetelmänä ns. Kriking-menetelmää. Laskennalliset arvioidut vyöhykkeet ulottuvat myös alueille, josta varsinaisia mittaustuloksia ei ole. Lisäksi on laskettu vyöhykkeiden laajuudet em. ohjelmistolla. Näissä laskennoissa on mukana tutkimusalueiden äärimmäisten näytealojen rajaama suorakulmainen 373 km² (14,42 x 25,88 km) laajuinen alue.

2.4. Tutkimuksen muu aineisto

Tutkimusraportin lisäksi Kotkan kaupungin ympäristötoimistolle on toimitettu seuraavaa vuosilta 1992, 1997 ja 2002 laadittua aineistoa:

- karttalehti (1:20000) näytealojen sijainnista
- näytealojen etsintäohjeet
- alkuperäiset havaintolomakkeet
- puukohtaiset havainnot
- näytealakohtaiset tulokset

3. Tulokset

3.1. Vuosi 2002

3.1.1. Mäntyjen runkojäkälät

Sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*) oli tutkituista jäkälälajeista yleisin ja sitä esiintyi yli 91 % tutkituista rungoista. Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*), seinänsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) ja hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*) olivat seuraavaksi yleisimmät jäkälälajit. Ilmansaasteita sietävää tuhkkarvetta ja harmaatyvikarvetta (*Parmeliopsis hyperopta* & *Imshaugia aleurites*) sekä ilman epäpuhtauksista hyötyvää viherleväpeitettä esiintyi yli 60 % tutkituista rungoista. Eri jäkälälajien esiintymisfrekvenssit sekä keskimääräiset seuralaislajien määrät ovat esitettyinä kuvassa 7.

Tutkituista näytealoista löydettiin enimmillään 9 eri jäkälälajia. Valtaosalla näytealoista jäkälälajien lukumäärä oli enemmän kuin kuusi. Jäkälälajistoltaan runsaimmat näytealat sijaitsivat pääasiassa Kotkan pohjois- ja keskiosissa. Jäkälälajien lukumäärä oli alhaisin Kotkansaassa, Hovinsaassa, Kymijoen suulla, Karhulassa ja Sunilassa sijaitsevilla näytealoilla. Näillä näytealoilla esiintyi alhaisimmillaan 0 - 2 jäkälälajia (kuva 8).

Sormipaisukarvetta (*Hypogymnia physodes*) esiintyi kaikilla näytealoilla neljää näytealaa lukuun ottamatta. Kotkan pohjois- ja keskiosissa sormipaisukarvetta esiintyi normaalina pidettäviä määriä. Näytealat, joilla sormipaisukarvetta ei esiintynyt, sijaitsivat Kotkansaassa, Hovinsaassa ja Sunilassa. Sormipaisukarpeen esiintyminen oli vähäistä myös Kymijoen suulla (kuva 9).

Keltatyvikarvetta (*Parmeliopsis ambigua*), joka sormipaisukarpeen ohella sietää hyvin ilman epäpuhtauksia, esiintyi lähes kaikilla näytealoilla. Keltatyvikarve puuttui kokonaan yhdeksältä näytealalta, jotka sijaitsivat Kotkansaassa, Hovinsaassa, Mussalossa, Kymijoen suulla, Karhulassa ja Sunilassa (kuva 10).

Harmaatyvikarve (*Parmeliopsis hyperopta*) ja tuhkkakarve (*Imshaugia aleurites*) ovat edellisiä lajeja herkempiä ja niiden pienentyneet esiintymisfrekvenssit ulottuvat vähemmän kuormitetuille alueille. Kotkansaassa, Hovinsaassa, Mussalossa, Kymijoen suulla, Karhulassa ja Sunilassa sijaitsevilla näytealoilla harmaatyvikarve ja tuhkkakarve puuttuivat useimmilta näytealoilta kokonaan tai niiden esiintymisfrekvenssi oli hyvin pieni (kuva 11).

Ilman epäpuhtauksista hyötyvää seinänsuomujäkälää (*Hypocenomyce scalaris*) esiintyi yleisesti paitsi lähes kaikilla Kotkan eteläisillä näytealoilla myös Kotkan pohjoisosissa (kuva 12).

Luppojen (*Bryoria spp.*) ja naavojen (*Usnea spp.*) runsas seuralaislajien määrä osoittaa niiden olevan herkkiä ilman epäpuhtauksille. Sekä lupot että naavat puuttuivat kokonaan Kotkan eteläisimmistä osista. Lisäksi lupon esiintymisfrekvenssit olivat pienet ja naavaa ei esiintynyt ollenkaan useilla Kotkan keski- ja pohjoisosissa sijaitsevilla näytealoilla (kuvat 13 ja 14).

Harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*) puuttui kokonaan useimmilta Kotkansaassa, Hovinsaassa, Sutelassa, Kymijoen suulla, Karhulassa ja Sunilassa sijaitsevilta näytealoilta. Harmaaröyhelön esiintymisfrekvenssit olivat pienet keskustaa ympäröivillä alueilla (kuva 15).

Hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*), joka on hyvin yleinen ja seuralaislajien määrän perusteella ilman epäpuhtauksille herkkä jäkälälaji, puuttui kokonaan useilta Kotkansaassa, Hovinsaassa, Kymijoen suulla ja Karhulassa sijaitsevilta näytealoilta. Rannikon läheisyys suosii hankakarvetta ja sitä esiintyikin yleisesti Kotkan rannikon itä- ja länsiosissa (kuva 16).

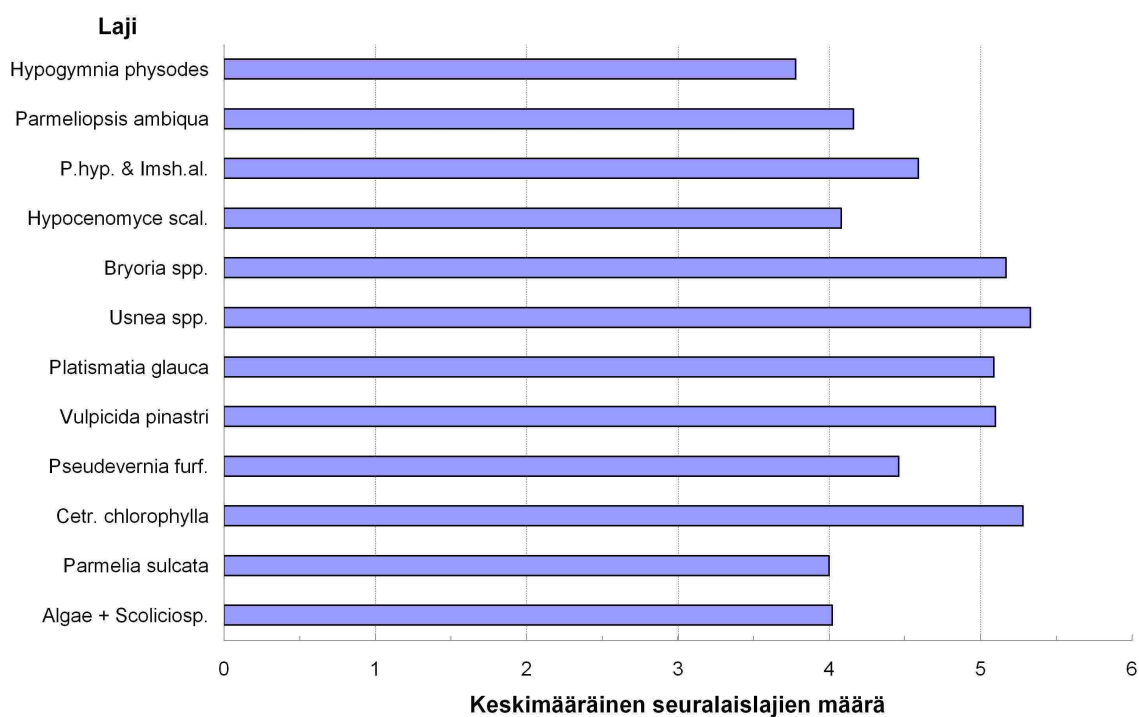
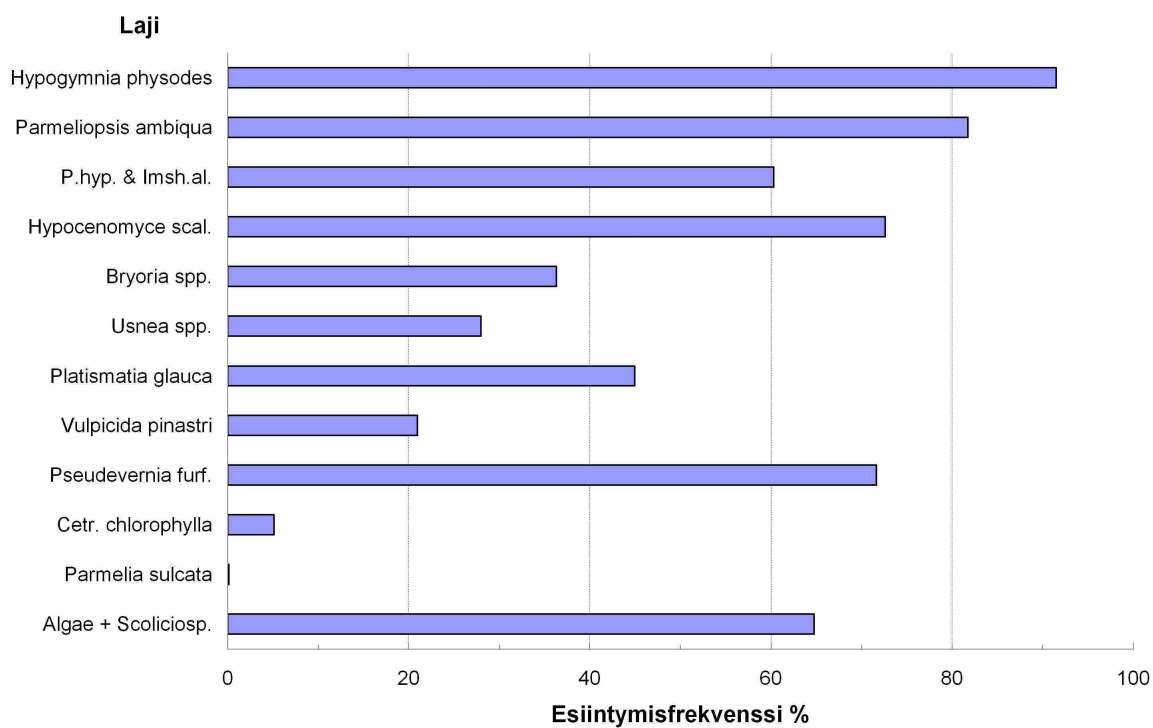
Keltaröyhelöä (*Vulpicida pinastri*) ei juurikaan esiintynyt Kotkan eteläosien näytealoilla. Se puuttui kokonaan myös useilta pohjoisessa ja koillisessa sijaitsevilta näytealoilta (kuva 17). Ruskoröyhelö (*Cetraria chlorophylla*) oli toiseksi harvinaisin jäkälälaji, sillä sitä esiintyi vain noin 5 % tutkituista rungoista (kuva 18). Jäkälälajeista harvinaisin oli raidanisokarve (*Parmelia sulcata*), jota havaittiin vain yhdellä rungolla Kotkansaassa (kuva 19). Keltaröyhelön, ruskoröyhelön ja raidanisokarpeen esiintymiseen vaikuttavat pääasiassa muut tekijät kuin ilman epäpuhtaudet, joten niiden indikaattoriarvo jää vähäiseksi.

Illan epäpuhtauksista hyötyvää viherlevää (*Algae*) ja vihersukkulajäkälää (*Scoliciosporum*) esiintyi erityisesti Kotkansaassa, Hovinsaassa, Kymijoen suulla, Karhulassa ja Sunilassa sijaitsevilla näytealoilla, mutta myös Kotkan itäosissa (kuva 20).

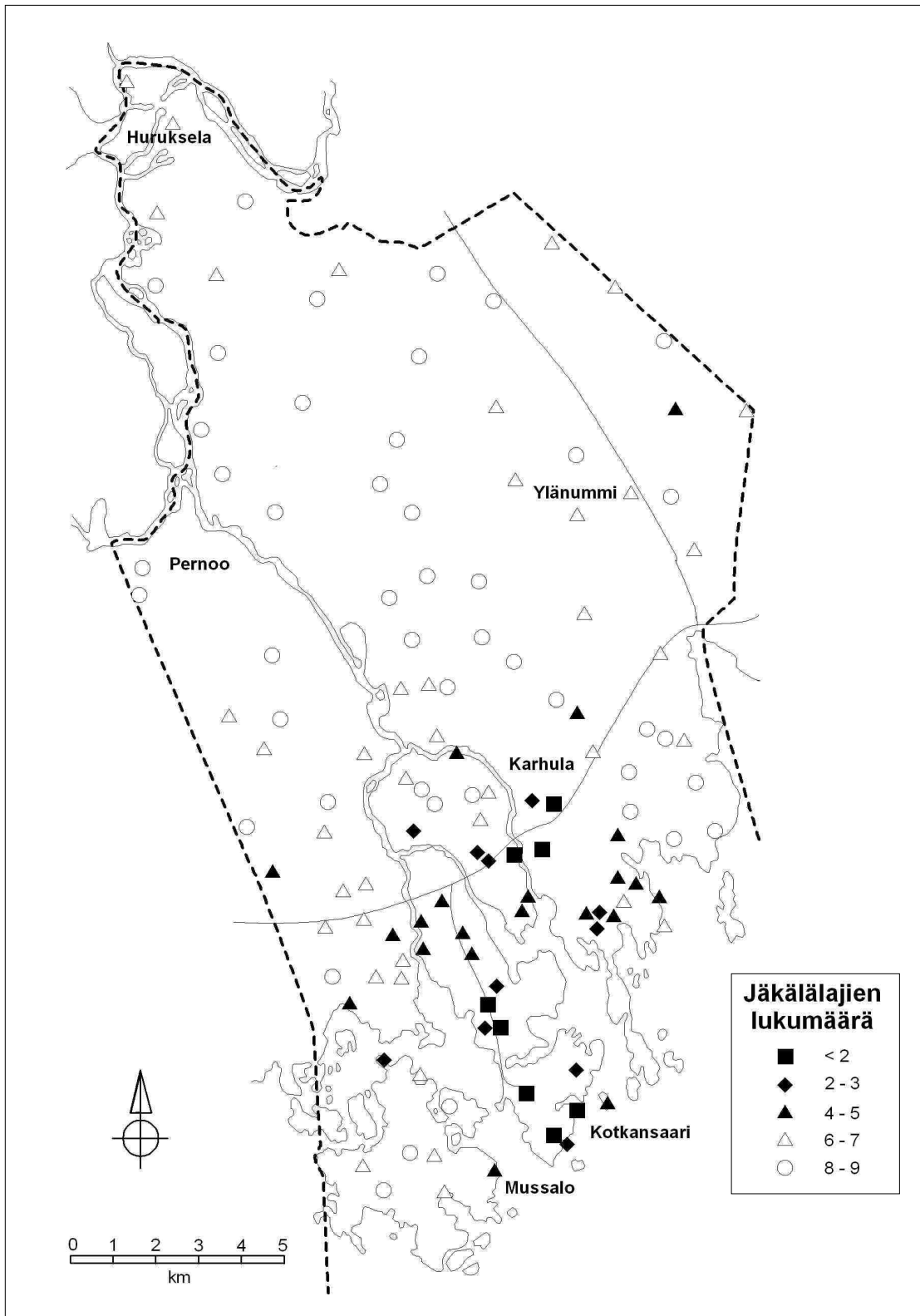
3.1.2 Sormipaisukarpeen vauriot ja IAP-indeksi

Kotkansaassa, Hovinsaassa, Kymijoen suulla ja Sunilassa sijaitsevilla näytealoilla sormipaisukarve puuttui neljältä näytealalta kokonaan ja useilla näytealoilla todettiin pahoja sormipaisukarpeen vaurioita. Myös Karhulassa sijaitsevilla näytealoilla sormipaisukarpeen vauriot olivat joko pahoja tai selviä. Mussalossa sormipaisukarpeen vauriot olivat useimmilla näytealoilla lieviä, mutta pahoja vauriota todettiin yhdellä ja selviä vaurioita kahdella näytealalla. Selviä sormipaisukarpeen vaurioita esiintyi useilla Kotkan keskustan läheisillä näytealoilla. Kustan reunamilta sormipaisukarpeen vauriot lieventyivät. Tutkimusalueen keski- ja pohjoisosissa sormipaisukarve luokiteltiin terveeksi (kuva 21).

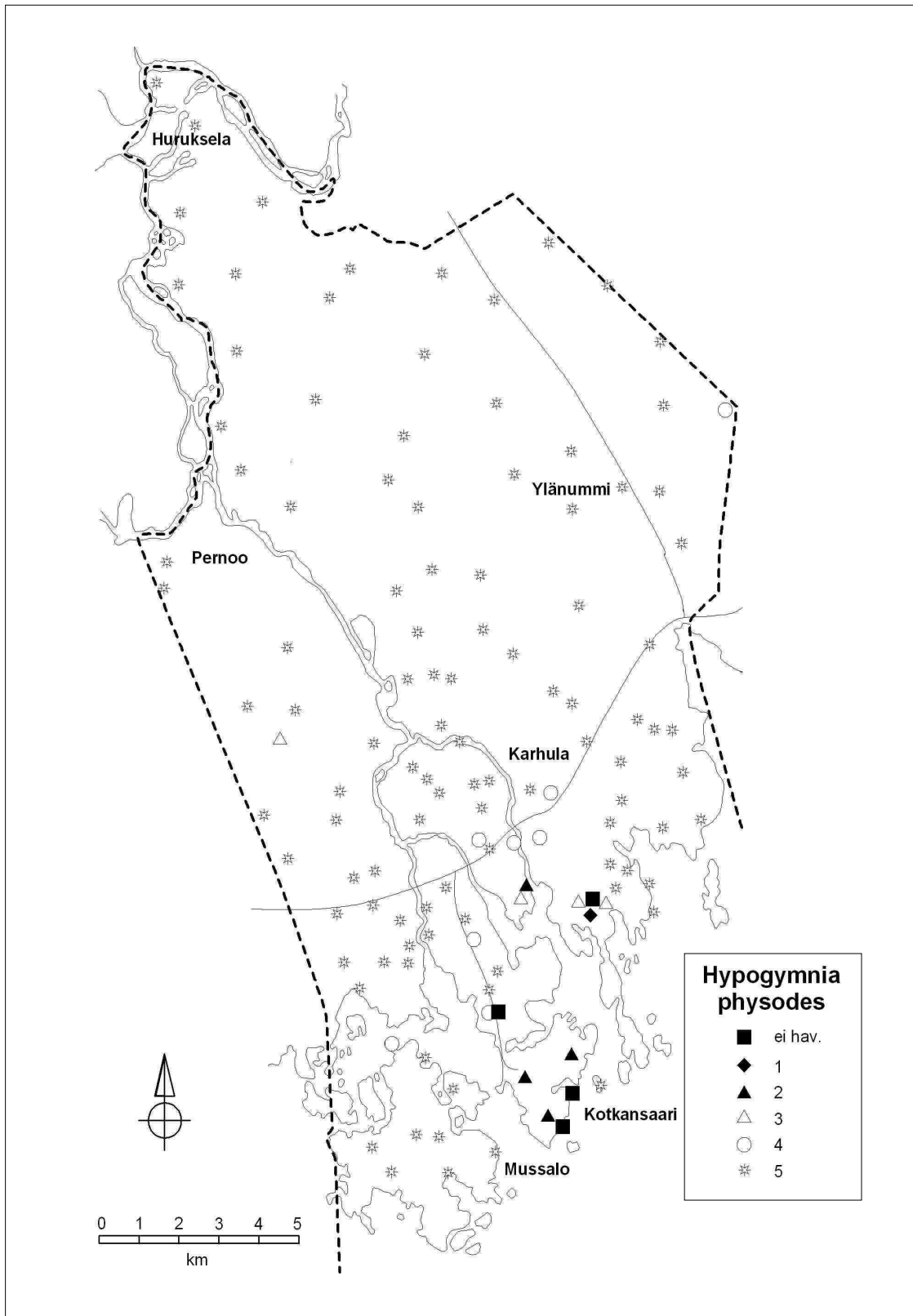
Runkojen jäkälälajiston runsauden ja peittävyuden perusteella lasketun IAP-indeksin arvot vaihtelivat välillä 0 - 3,7. Pienimmät indeksin arvot, alle 0,5, saatiin Kotkansaassa, Hovinsaassa, Kymijoen suulla, Karhulassa ja Sunilassa sijaitseville näytealoille. Näitä alueita ympäröi vyöhyke, jossa indeksin arvot olivat alle yhden. Indeksien arvot ylittivät kahden aivan rannikon itäisimmissä ja läntisimmissä osissa. Valtatie 7:n pohjoispuolella indeksin arvo oli useimmilla näytealoilla yli kaksi. Muutamilla näytealoilla, esimerkiksi tutkimusalueen luoteis- ja koillisosissa, indeksin arvo ylitti kolmen (kuva 22).



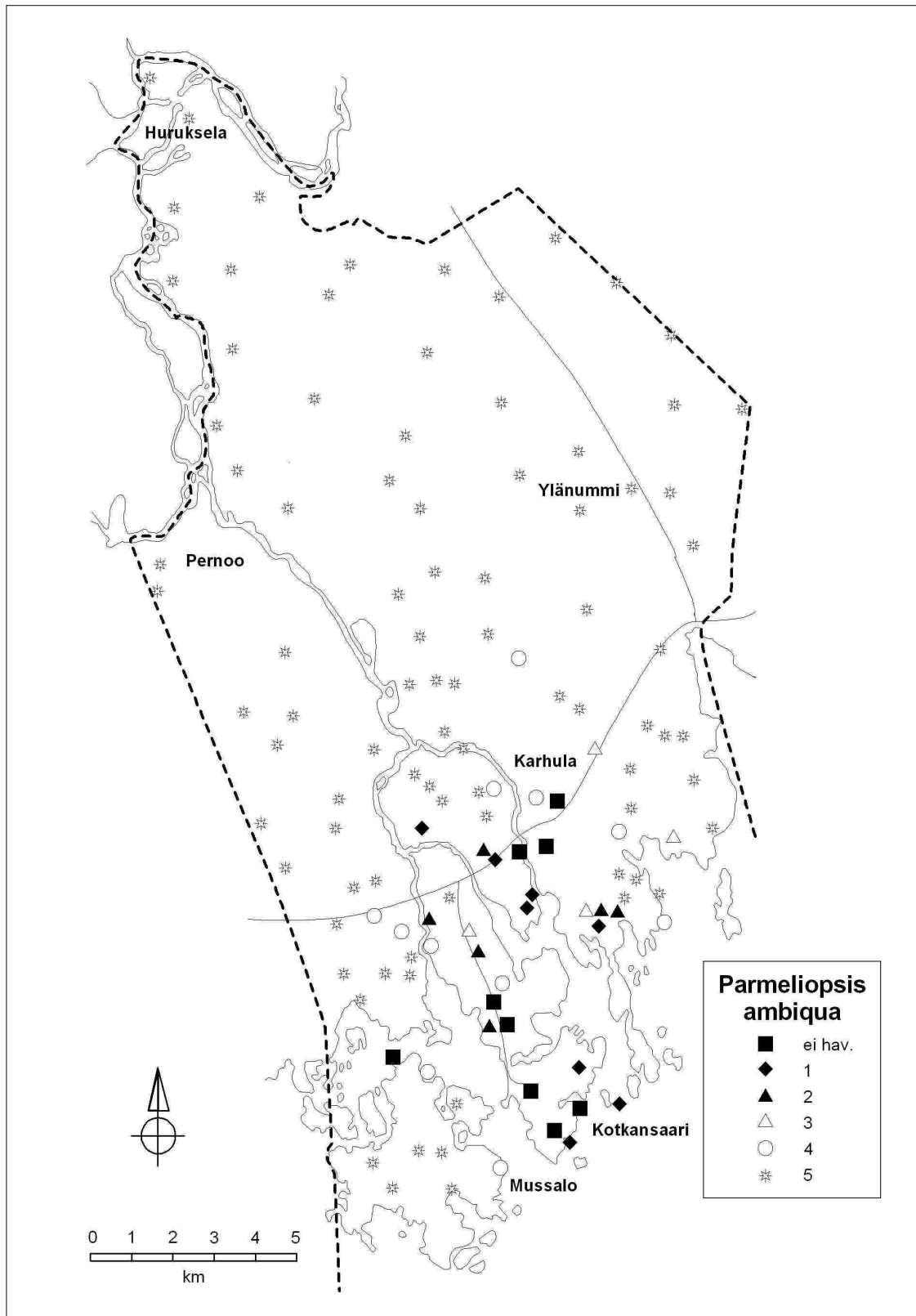
Kuva 7. Jäkälälajien esiintymisfrekvenssit ja keskimääräiset seuralaislajien määrät vuonna 2002. Tutkittuja runkoja oli 625.



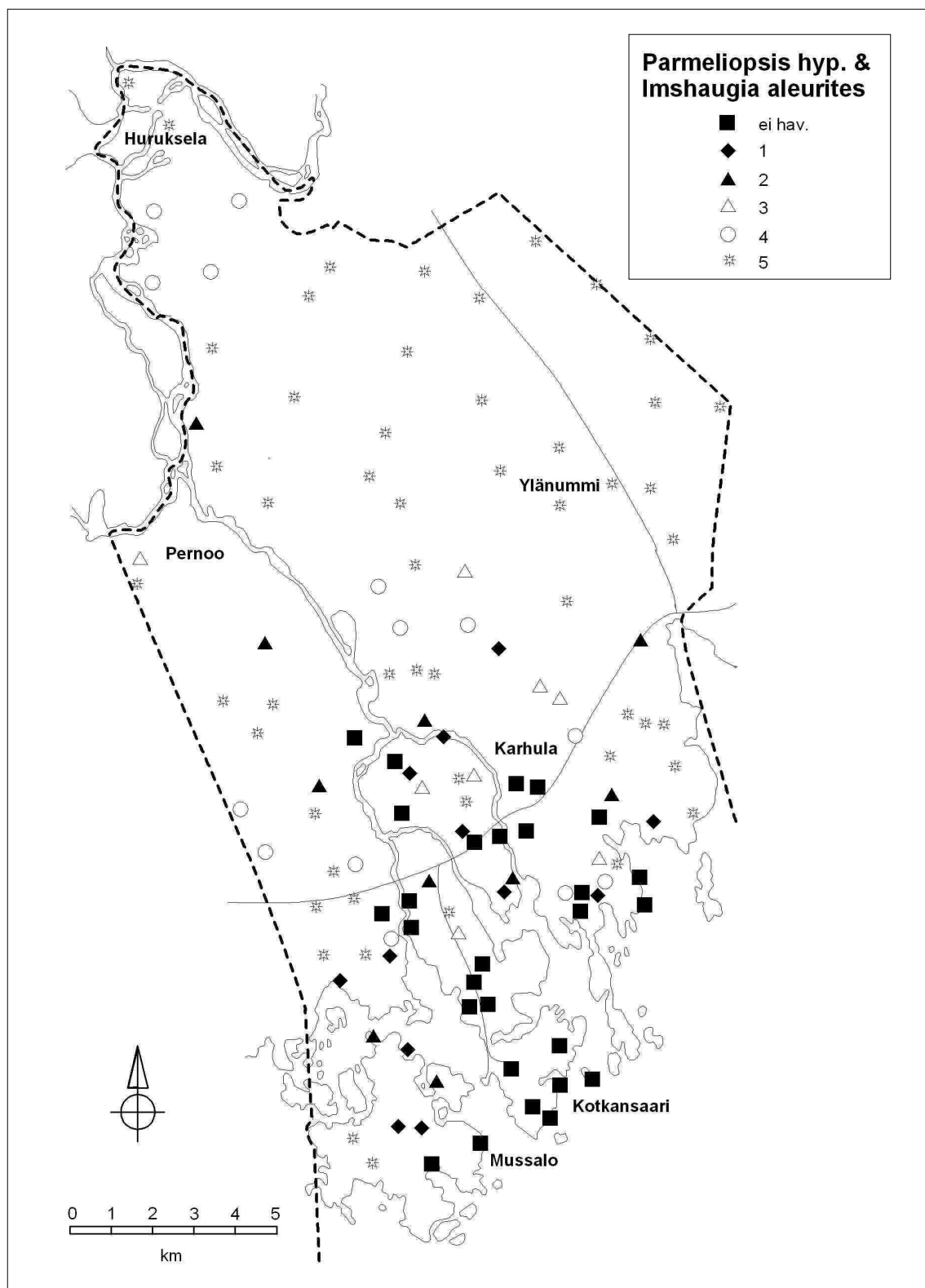
Kuva 8. Jäkälälajien lukumäärät. Lajimäärissä ei ole mukana seinänsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) eikä viherleväpeite ja vihersukkulajäkälä (*Algae & Scoliciosporum*).



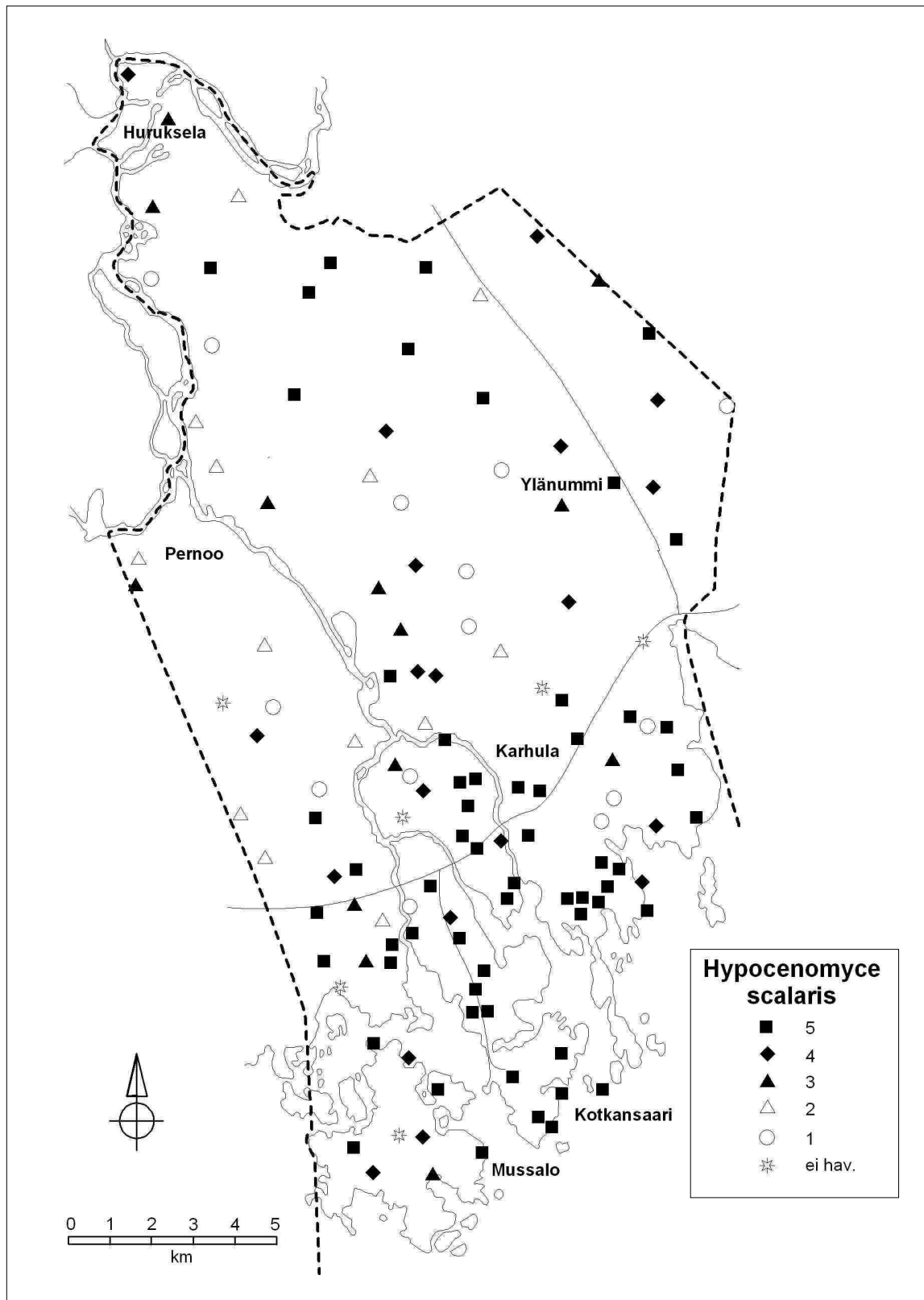
Kuva 9. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) esiintymisfrekvenssi näytealan rungoilla (maksimi 5).



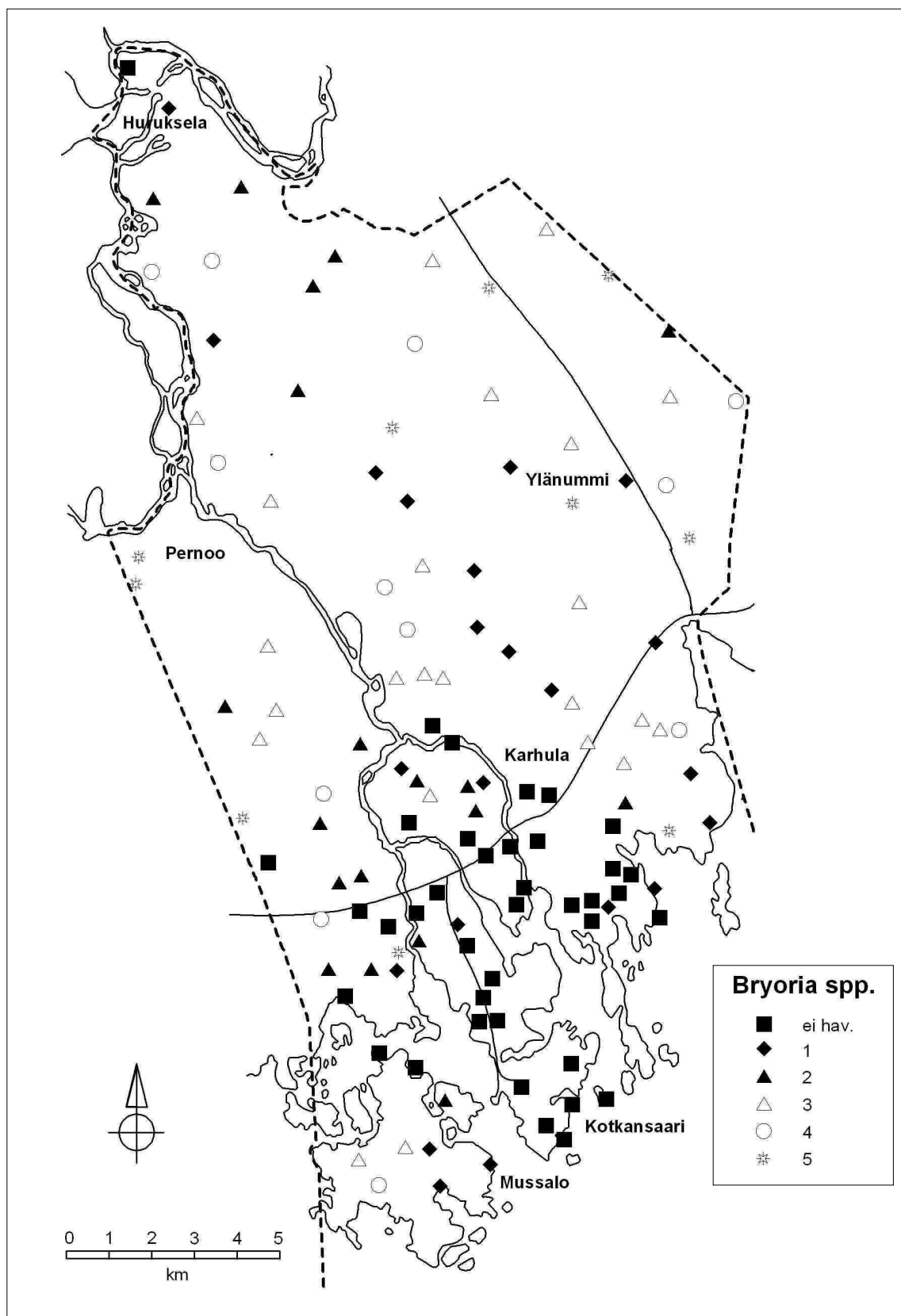
Kuva 10. Keltatyvikarpeen (*Parmeliopsis ambigua*) esiintymisfrekvenssi näytealan rungoilla (maksimi 5).



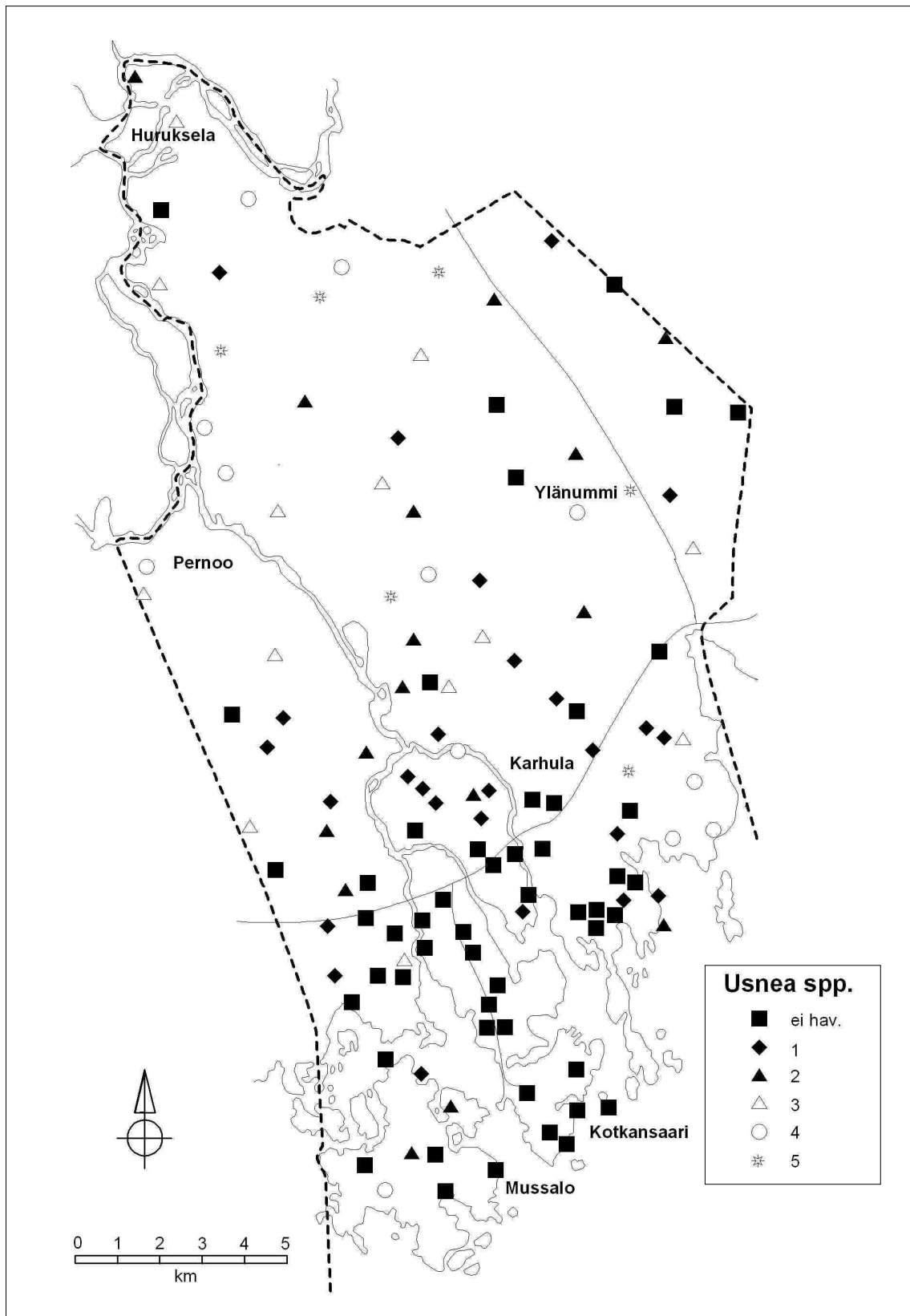
Kuva 11. Harmaatyvikarpeen (*Parmeliopsis hyperopta*) ja tuhkakarpeen (*Imshaugia aleurites*) esiintymisfrekvenssi näytealan rungoilla (maksimi 5).



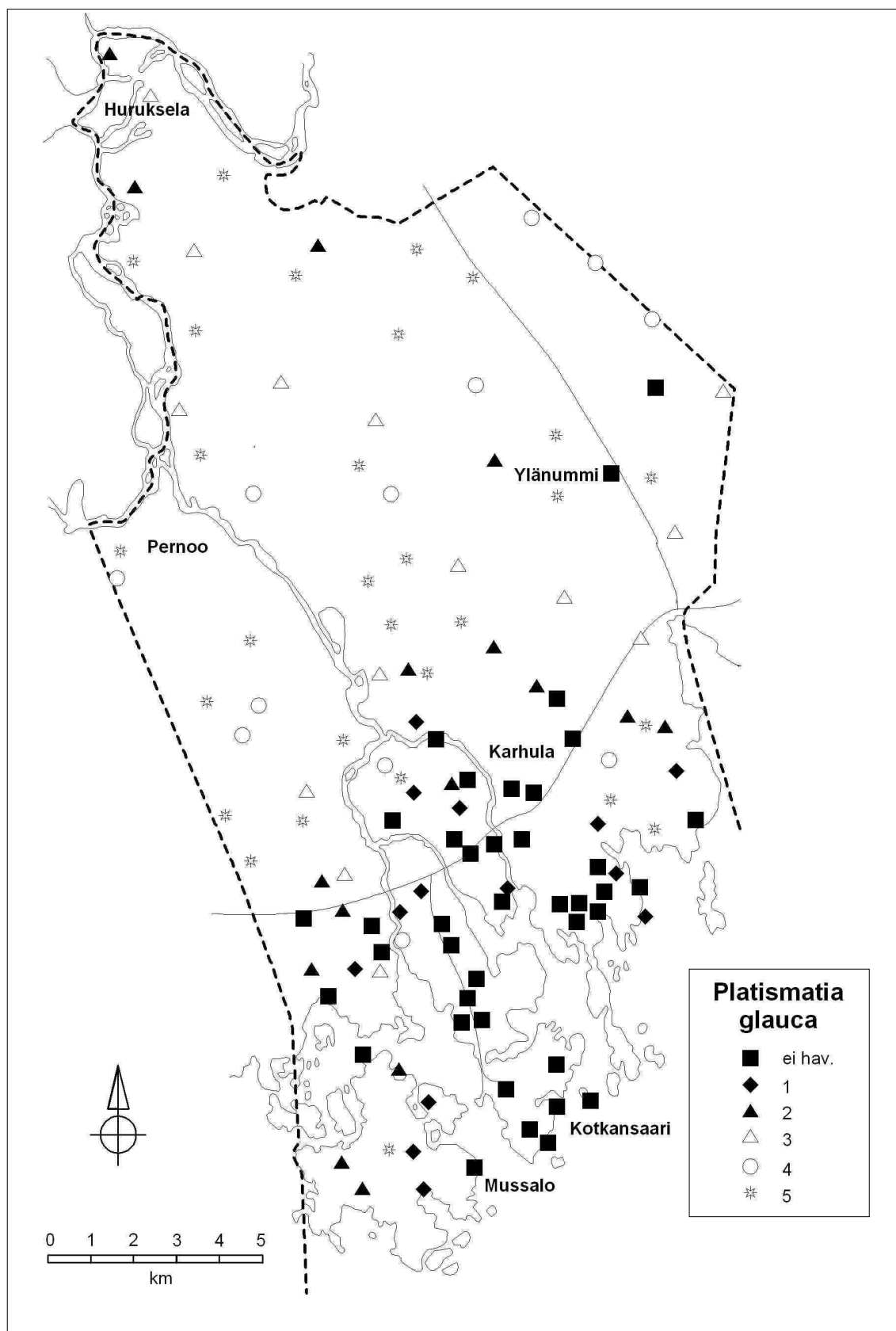
Kuva 12. Seinänsuomujäkälän (*Hypocenomyce scalaris*) esiintymisfrekvenssi näytealan rungoilla (maksimi 5).



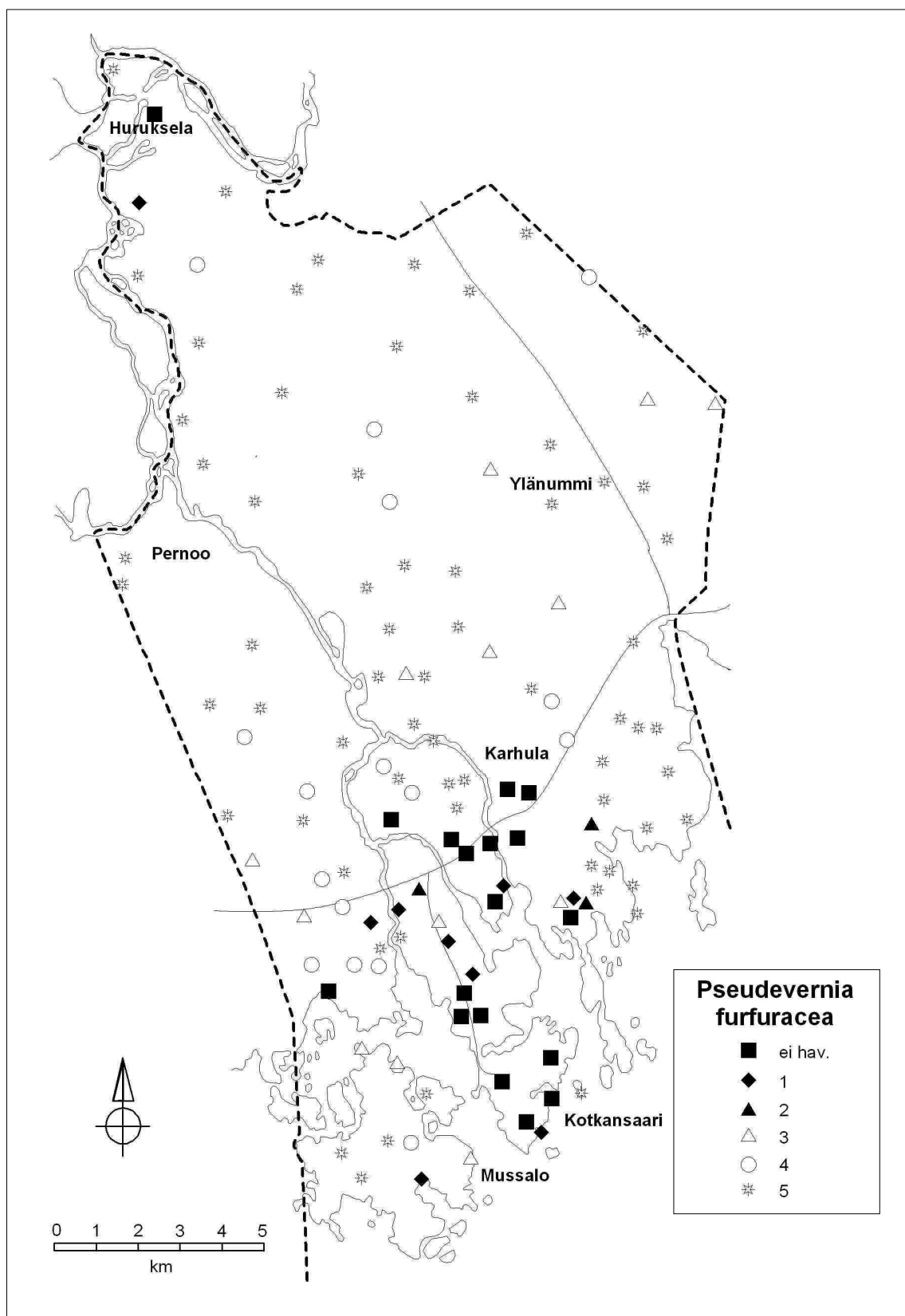
Kuva 13. Luppojen (*Bryoria* spp.) esiintymisfrekvenssit näytealan rungoilla (maksimi 5).



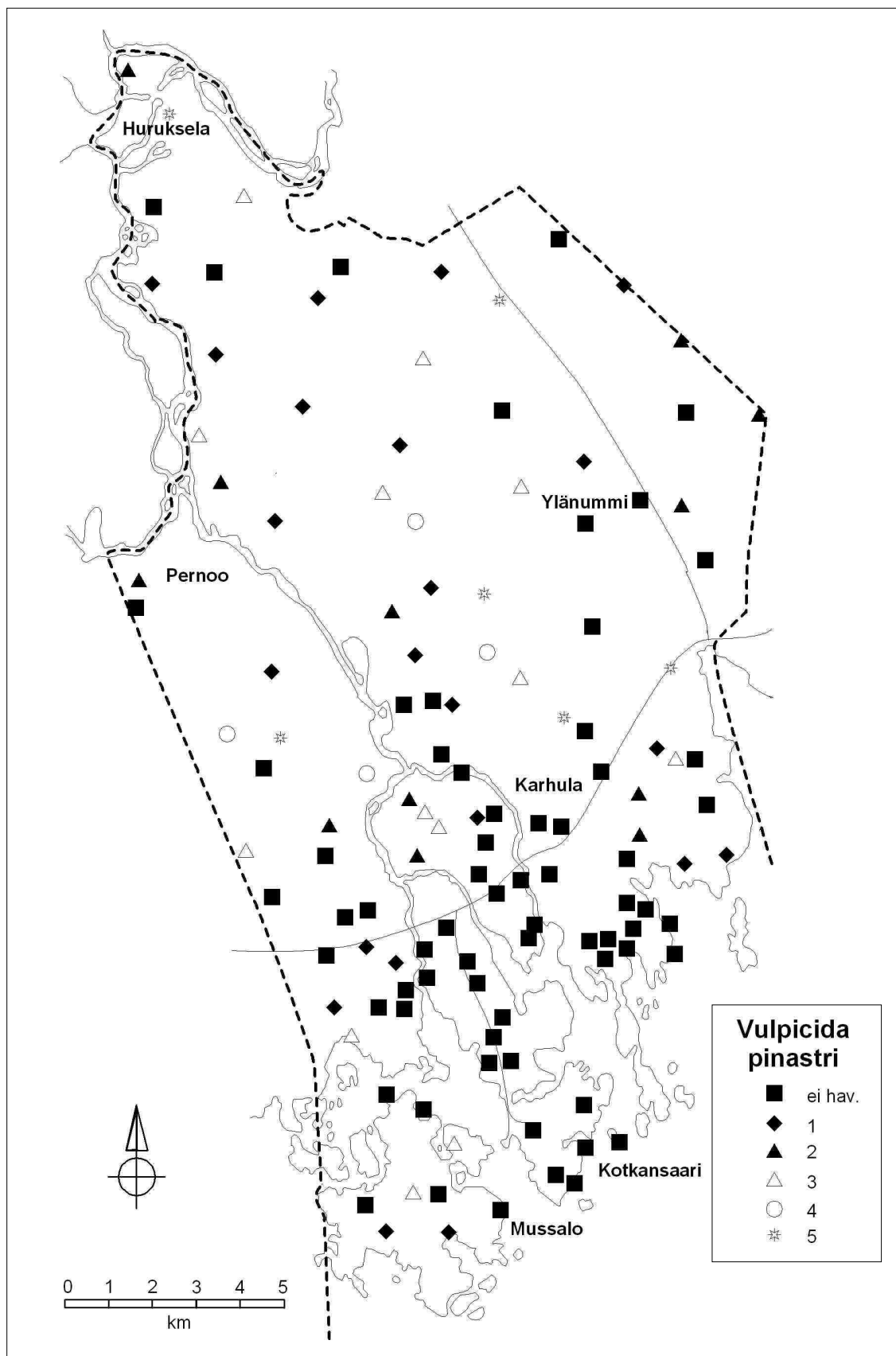
Kuva 14. Naavojen (*Usnea spp.*) esiintymisfrekvenssi näytealan rungoilla (maksimi 5).



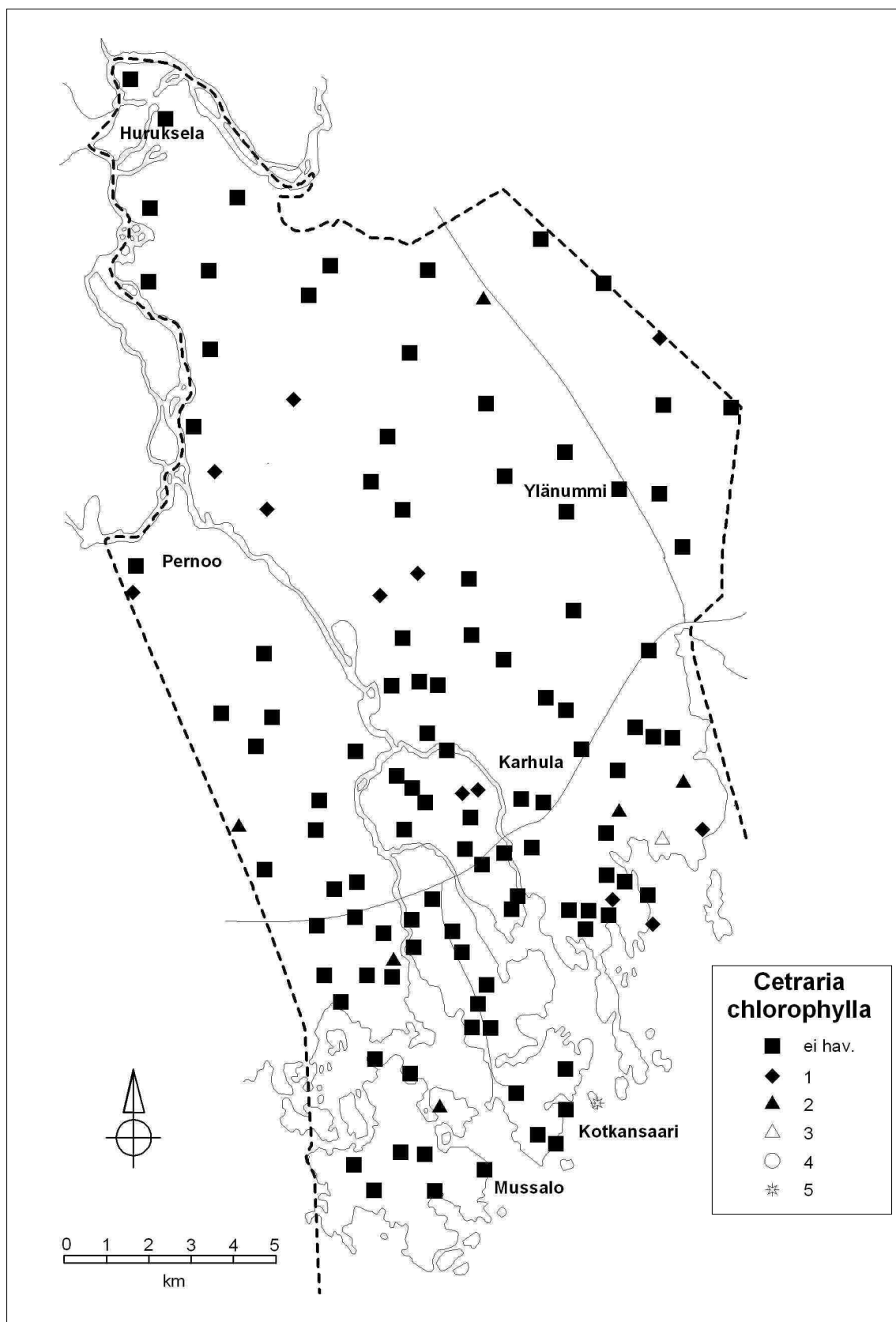
Kuva 15. Harmaaröyhelön (*Platismatia glauca*) esiintymisfrekvenssi näytealan rungoilla (maksimi 5).



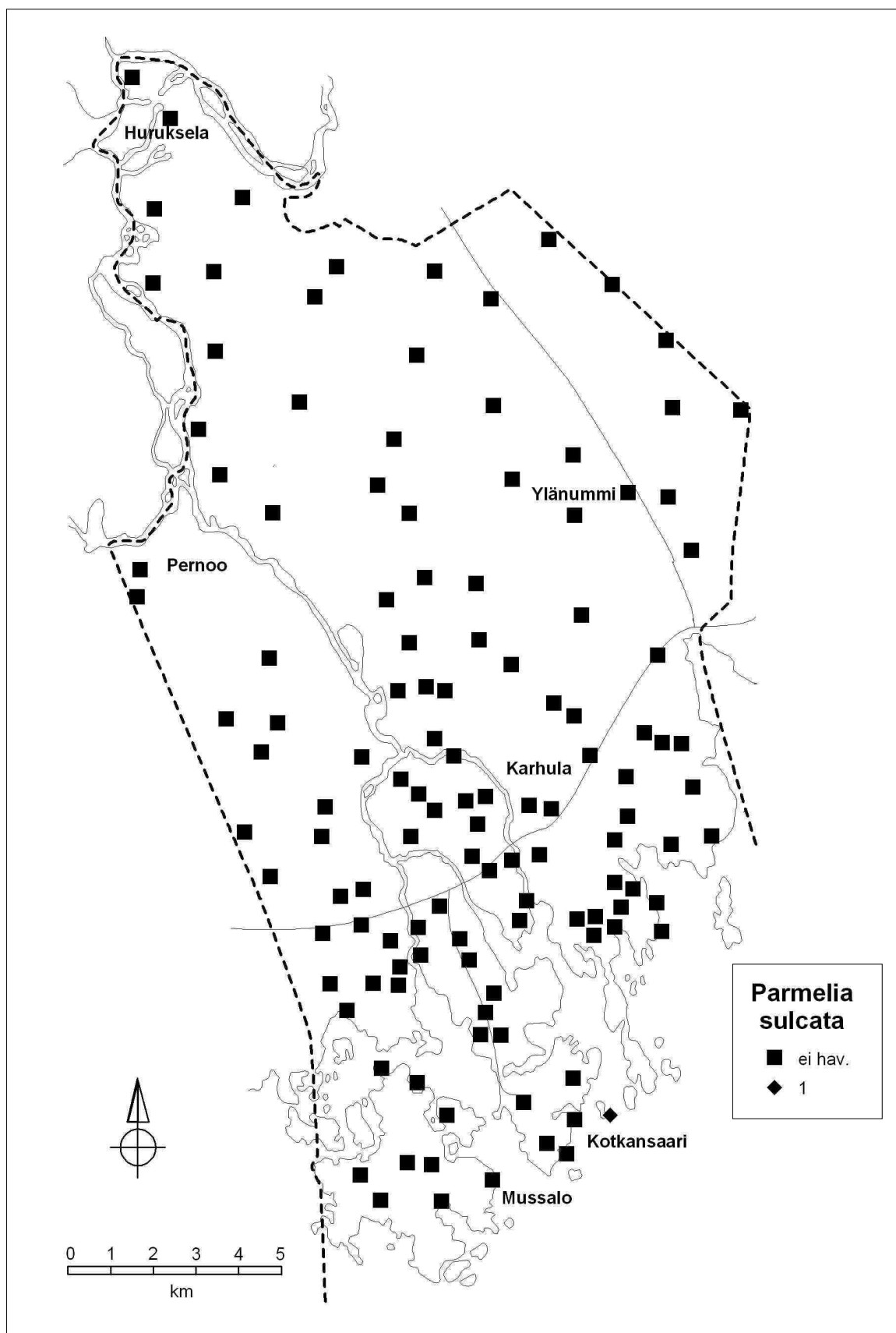
Kuva 16. Hankakarpeen (*Pseudevernia furfuracea*) esiintymisfrekvenssi näytealan rungoilla (maksimi 5).



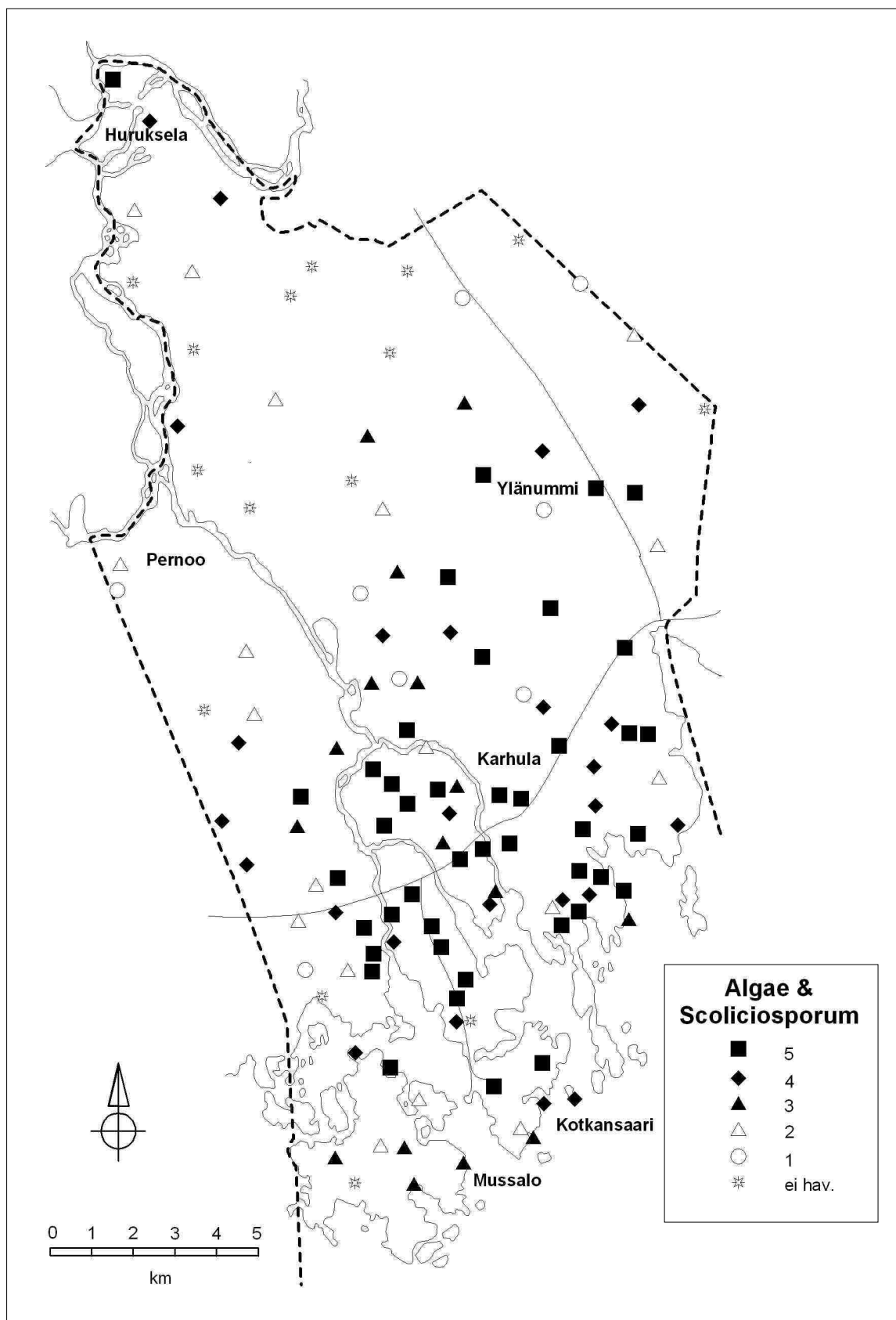
Kuva 17. Keltaröyhelön (*Vulpicida pina stri*) esiintymisfrekvenssi näytealan rungoilla (maksimi 5).



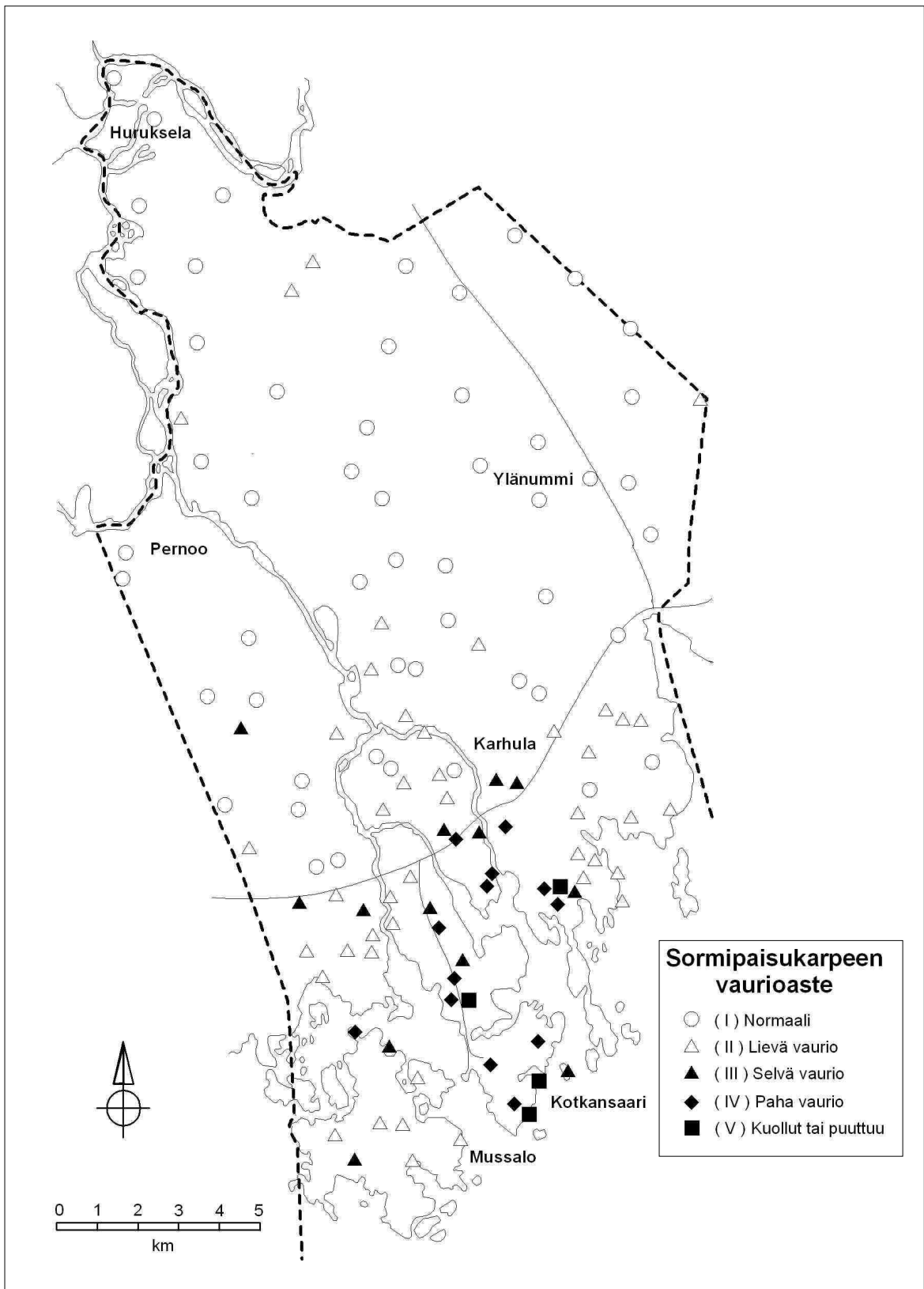
Kuva 18. Ruskoröyhelön (*Cetraria chlorophylla*) esiintymisfrekvenssi näytealan rungoilla (maksimi 5).



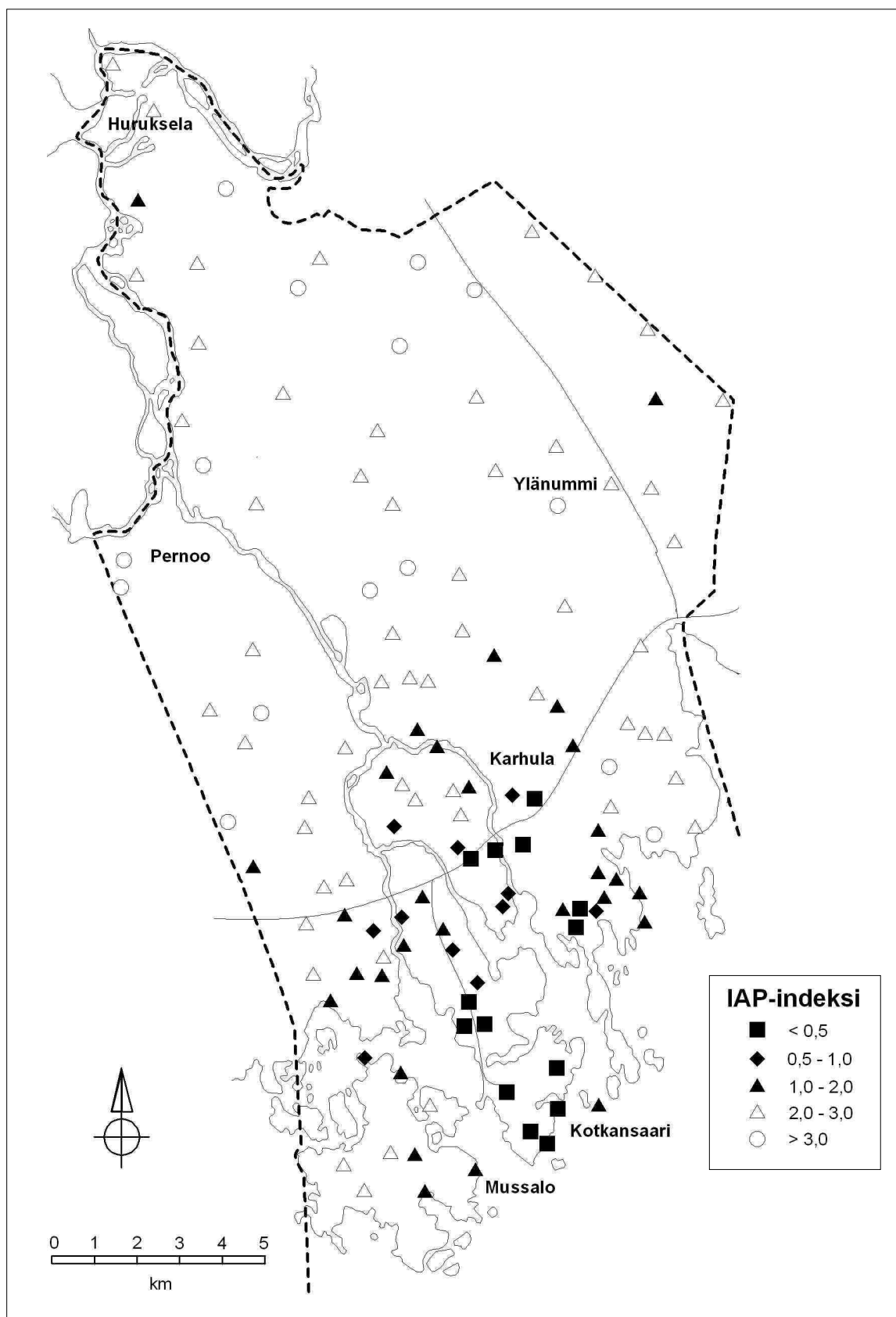
Kuva 19. Raidanisokarpeen (*Parmelia sulcata*) esiintymisfrekvenssi näytealan rungoilla.



Kuva 20. Viherleväpeitteen (*Algae*) ja vihersukkulajäkälän (*Scoliciosporum*) esiintymisfrekvenssi näytealan rungoilla (maksimi 5).



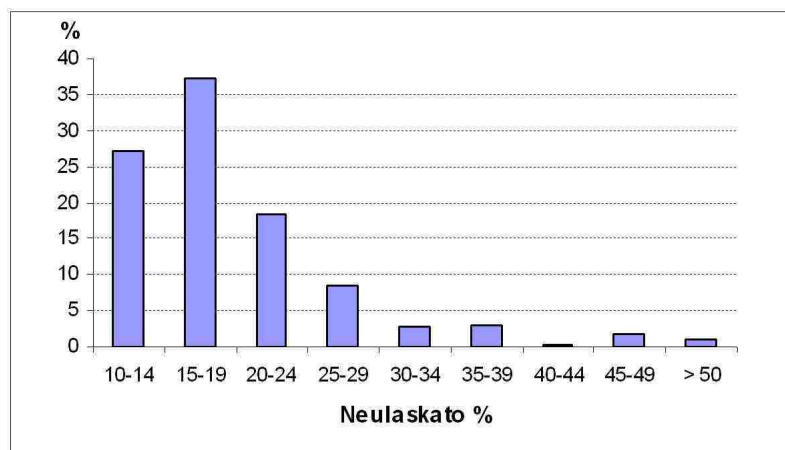
Kuva 21. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) keskimääräiset vaurioluokat keväällä 2002. Sormipaisukarpeen vaurioluokat on esitetty taulukossa 3.



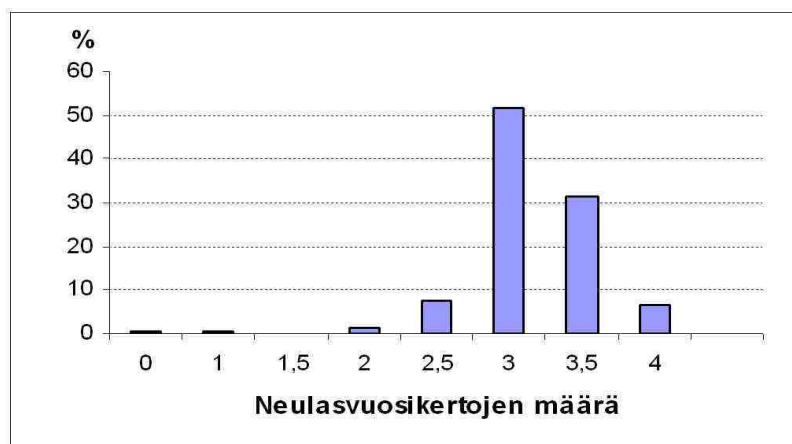
Kuva 22. Jäkälälajiston perusteella lasketut IAP-indeksit keväällä 2002. Indeksien luokittelu on esitetty taulukossa 5.

3.1.3. Mäntyjen kunto

Vuonna 2002 tutkituista 1244 männystä 25 % oli harsuuntuneita eli neulaskato oli suurempi kuin 20 %. Mäntyjen neulaskato vaihteli tutkimusalueella 10 prosentista 100 prosenttiin. Korkeimmat neulaskadon määrät todettiin puissa, jotka olivat eriasteisesti kasvitautien vaurioittamia. Keskimääräinen neulaskato oli noin 18 %. Noin joka kolmannella tutkituista männystä neulaskadon määrä oli 15-19 %. Neulaskadon määrä ei ollut alle 10 % yhdelläkään tutkituista männystä (kuva 23).



Kuva 23. Mäntyjen suhteelliset osuudet neulaskadon mukaan jaoteltuina vuonna 2002 (n = 1244).

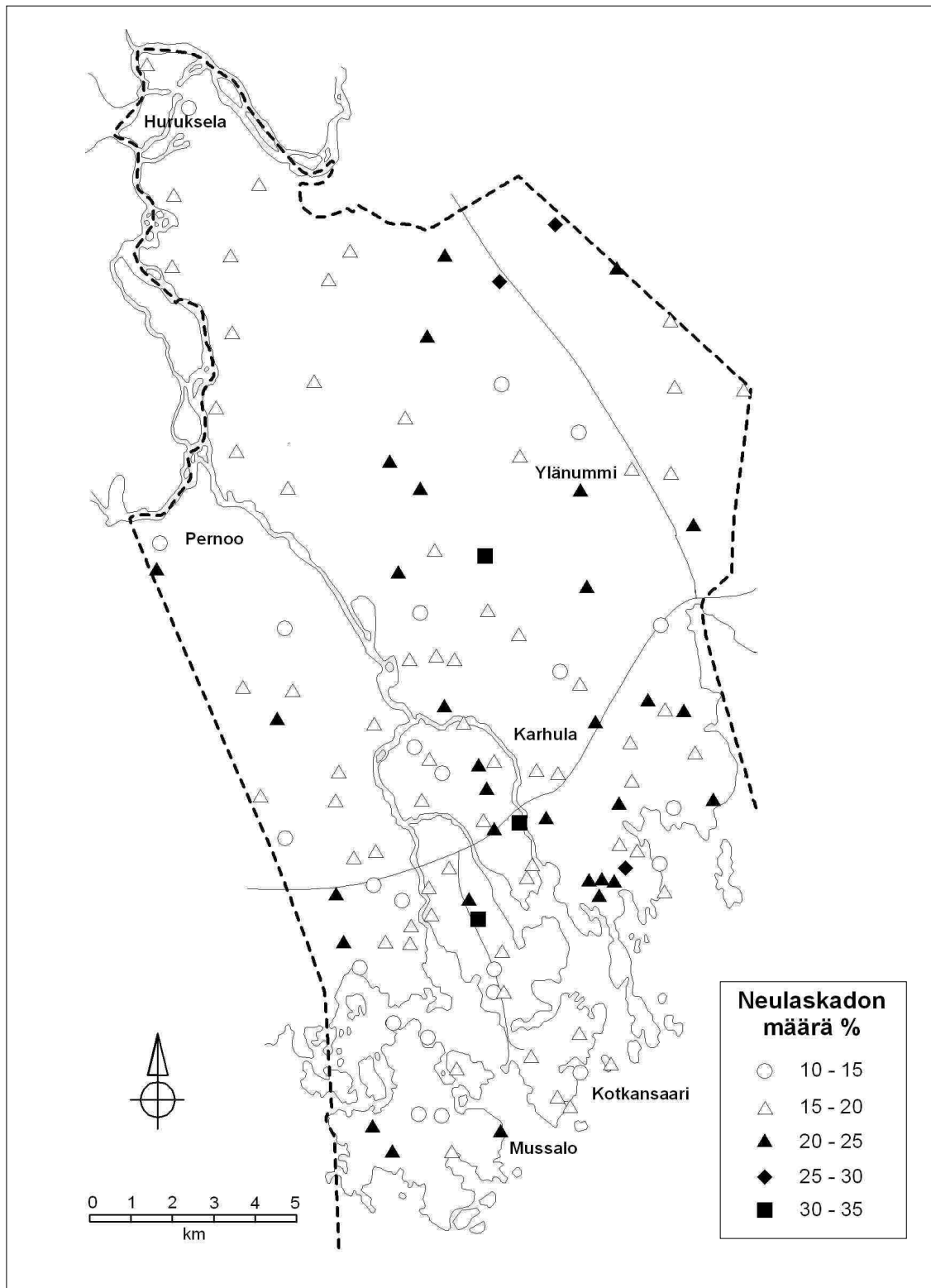


Kuva 24. Mäntyjen suhteelliset osuudet neulasvuosikertojen määrän mukaan jaoteltuina vuonna 2002 (n = 1244).

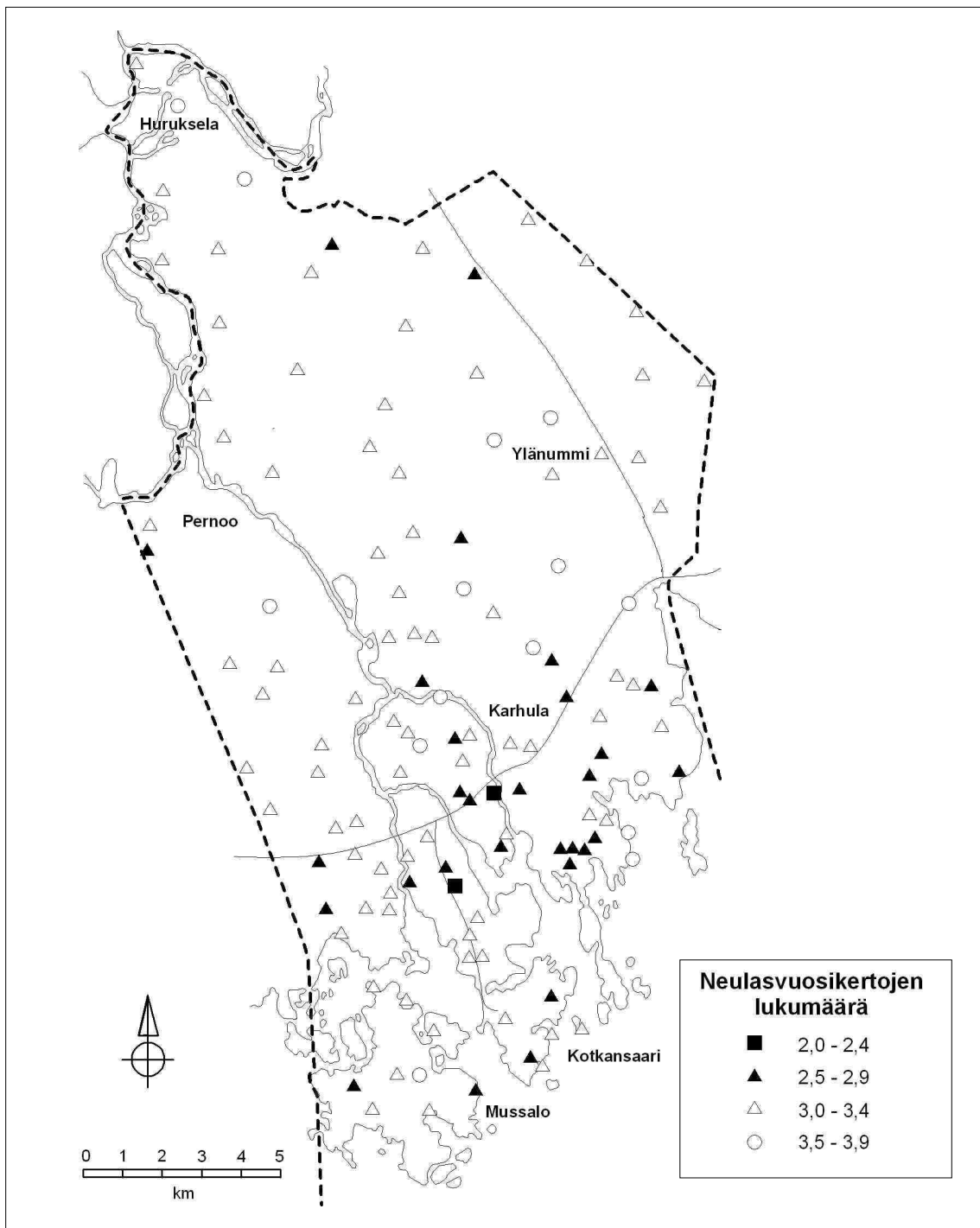
Näytealojen mäntyjen keskimääräinen neulaskato oli useimmilla näytealoilla alle 20 %. Näytealat, joiden keskimääräiset neulaskadon määrät olivat 10-15 %, sijoituivat erityisesti Kotkan eteläosiin kaupungin länsilaidalle. Näytealat, joissa mäntyjen keskimääräinen neulaskato oli yli 20 %, sijaitsivat Hovinsaassa, Karhulassa, Sunilassa sekä useilla näytealoilla tutkimusalueen itä-, keski- ja lounaisosissa. Keskimääräinen neulaskadon määrä oli yli 30 % kolmella näytealalla, jotka sijaitsivat Hovinsaassa, Karhulassa ja tutkimusalueen keskiosassa (kuva 25).

Tutkittujen mäntyjen neulasvuosikertojen määrä vaihteli nolasta neljään neulasvuosikertaan. Keskimääräinen neulasvuosikertojen määrä oli 3,1. Noin joka toisella (52 %) tutkituista männystä neulasvuosikertojen määrä oli kolme (kuva 24). Kaikilla näytealoilla keskimääräinen neulasvuosikertojen määrä oli yli kaksi. Männiköt, joissa neulasvuosikertojen määrä oli alle kolme,

sijaitivat Valtatie 7:n läheisyydessä sen molemmin puolin sekä osassa Mussalossa ja Kotkansaaressa sijaitsevilla näytealoilla. Keskimääräiset neulasvuosikertojen määrät olivat suurimmat rannikon itäpuolella ja tutkimusalueen keski- ja pohjoisosissa sijaitsevilla näytealoilla (kuva 26).



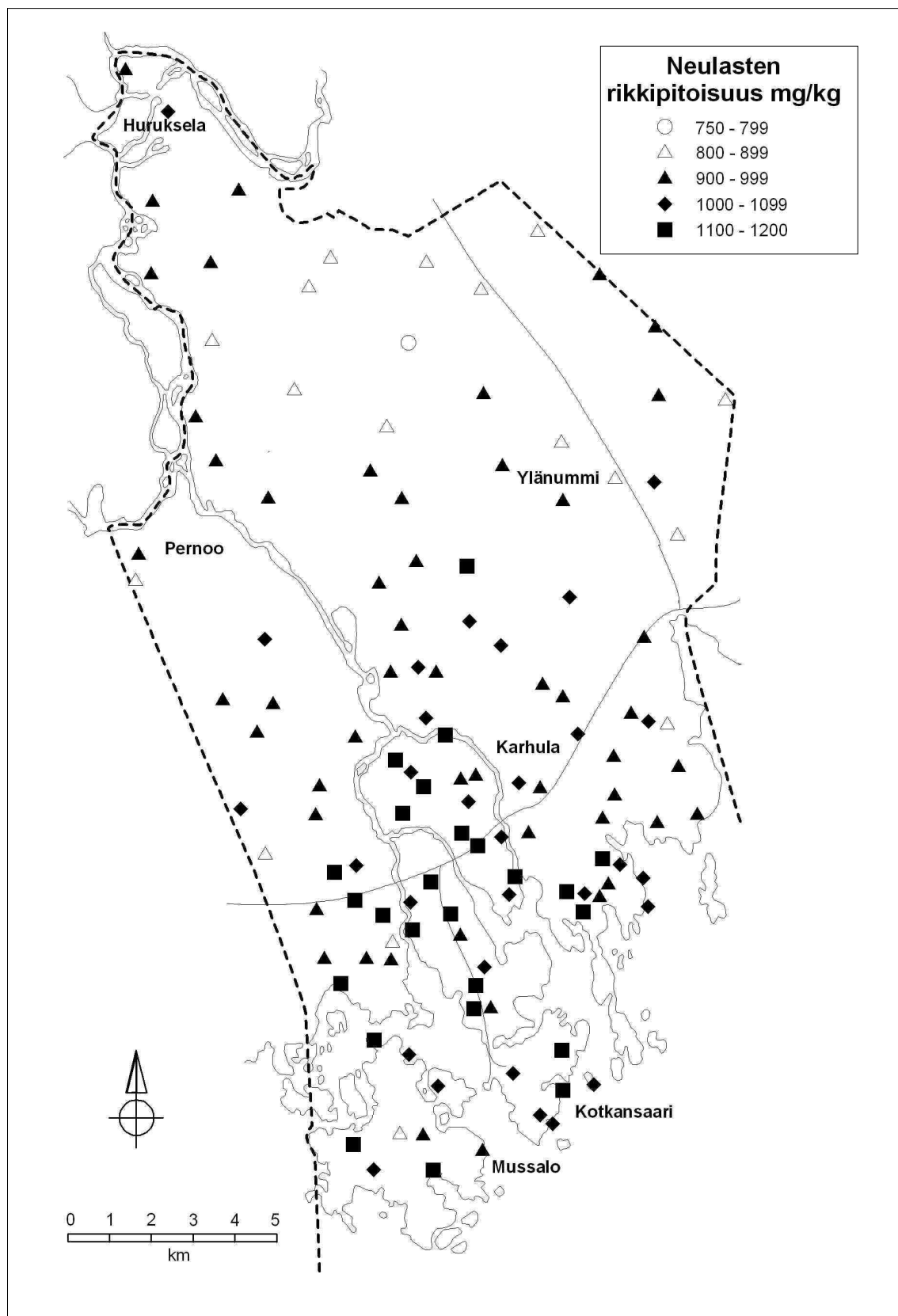
Kuva 25. Mäntyjen keskimääräinen neulaskato (%) huhtikuussa 2002.



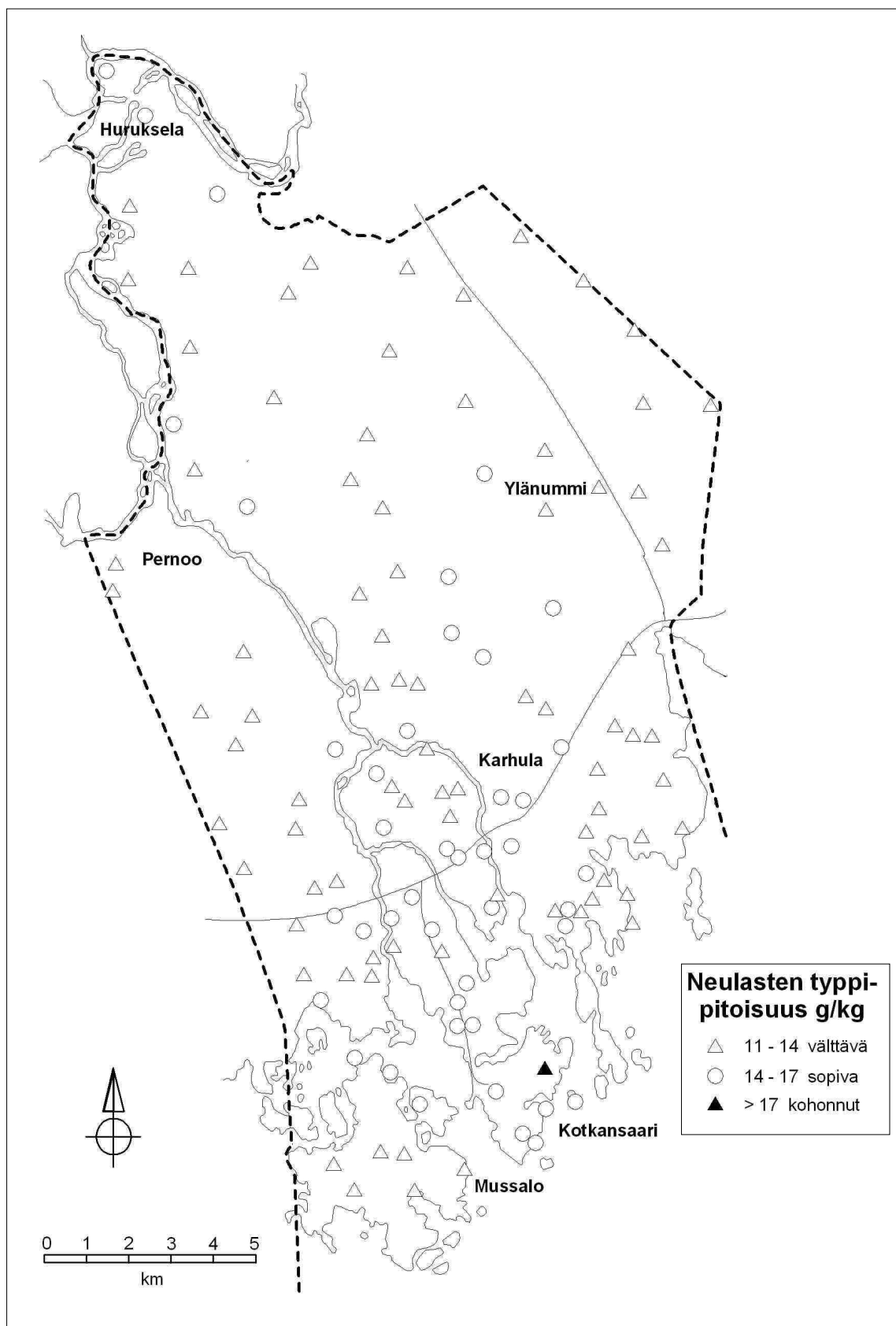
Kuva 26. Mäntyjen keskimääräinen neulasvuosikertojen määrä huhtikuussa 2002.

3.1.4 Männyn neulasten alkuainepitoisuudet

Neulasten kokonaisrikkipitoisuudet vaihtelivat välillä 790 - 1200 mg/kg keskimääräisen rikkipitoisuuden ollessa 983 mg/kg. Yli 1000 mg/kg:n rikkipitoisuudet todettiin pääasiassa tutkimusalueen etelä- ja keskiosissa sijaitsevilta näytealoilta. Havupuiden neulasten normaalina kokonaisrikkipitoisuutena pidetään 900 mg/kg (kuva 27).



Kuva 27. Männing neulasten (toinen neulasvuosikerta) rikkiipitoisuudet (mg/kg) huhtikuussa 2002.



Kuva 28. Mäntyn neulasten (toinen neulasvuosikerta) typpipitoisuudet (g/kg) huhtikuussa 2002.

Neulasten typpipitoisuudet vaihtelivat välillä 11,7 - 17,6 g/kg keskimääräisen typpipitoisuuden ollessa 13,7 g/kg eli välttävää tasoa. Yhdelläkään näytealalla ei alittunut typen rajapitoisuus 11 g/kg, jota alemmissa pitoisuuksissa puun katsotaan kärsivän typen puutteesta. Neulasten typpipitoisuudet olivat tutkimusalueen pohjois- ja keskiosissa pääasiassa 11 -14 g/kg eli välttävää tasoa ja eteläosissa 14 -17 g/kg eli sopivana pidettävällä tasolla. Yhdellä Kotkansaareissa sijaitsevalla näytealalla typpipitoisuus ylitti 17 g/kg tason, jota pidetään kohonneena pitoisuutena (kuva 28).

Näytealoilla ei todettu boorin, magnesiumin, kalsiumin ja kaliumin puutoksia (taulukko 7). Kaliumpitoisuudet olivat välttävää tasoa seitsemällä näytealalla.

Taulukko 7. Havaintopuiden keskimääräiset neulasten alkuainepitoisuudet Kotkassa vuonna 2002.

	S mg/kg	N g/kg	B mg/kg	Mg g/kg	Ca g/kg	K g/kg
keskiarvo	983	13,7	63	0,9	4,4	4,5
suurin	1200	17,6	330	1,3	5,9	5,7
pienin	790	11,7	25	0,6	3,2	3,8

3.2. Vuodet 1992-2002

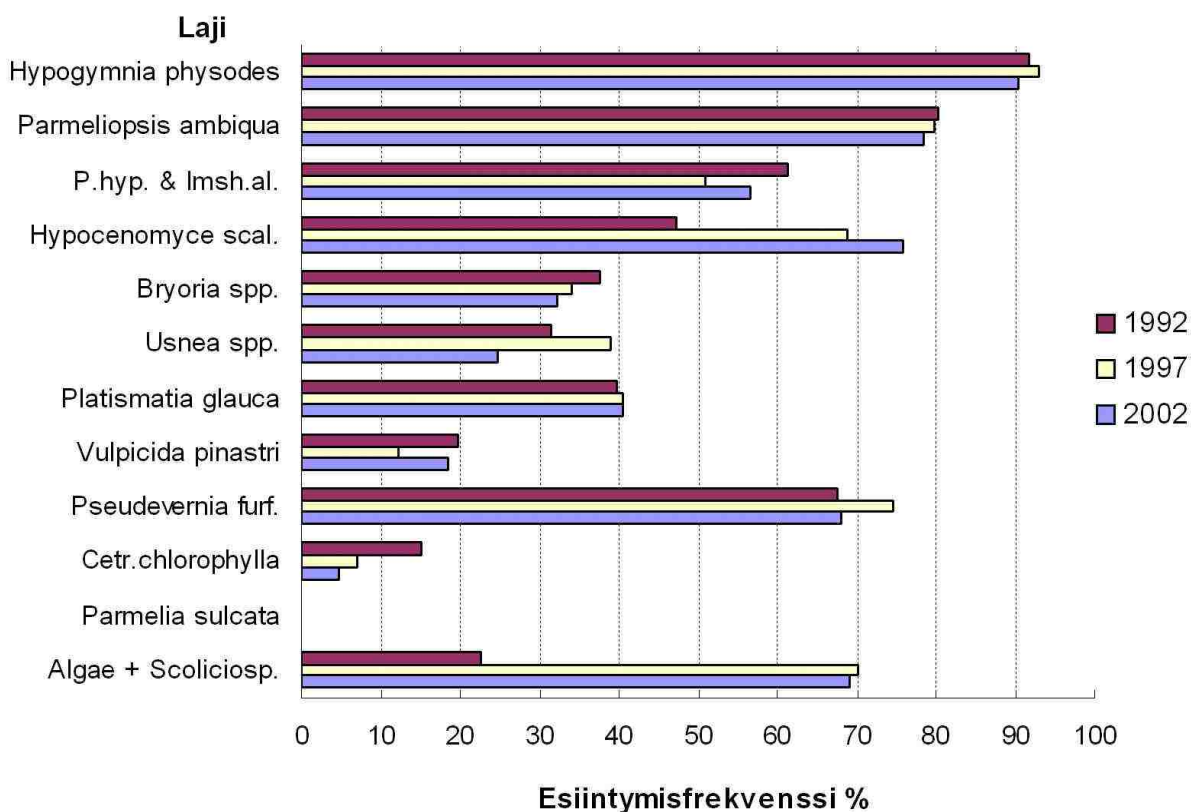
Eri vuosien tutkimustulosten vertailukelpoisuuden lisäämiseksi on seuraavassa vertailussa huomioitu vain ne näytealat, joissa ei ole tehty muutoksia vuoden 1992 jälkeen.

3.2.1. Mäntyjen runkojäkälät

Tutkimusajanjaksona 1992-2002 sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*) oli yleisin tutkituista jäkälälajeista. Sitä havaittiin kaikkina tutkimusvuosina yli 90 % tutkituista rungoista. Keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*) oli seuraavaksi yleisin jäkälälaji noin 80 % esiintymisfrekvenssillään. Seinänsuomujäkälän (*Hypocenomyce scalaris*) esiintymisfrekvenssi oli kasvanut noin 47 %:sta 76 %:iin vuodesta 1992 vuoteen 2002 mennessä. Ruskoröyhelön (*Cetraria chlorophylla*) esiintymisfrekvenssi oli puolestaan pienentynyt noin 15 %:sta 5%:iin samalla ajanjaksolla. Viherleväpeitteen (*Algae + Scoliciosporum*) esiintymisfrekvenssi oli kasvanut vuonna 1997 noin 47 prosenttiyksikköä vuoteen 1992 verrattuna. Vuonna 2002 viherleväpeitteen esiintymisfrekvenssi oli samaa tasoa kuin vuonna 1997. Naavojen (*Usnea spp.*) esiintymisfrekvenssi vuonna 2002 oli pienentynyt noin 14 prosenttiyksikköä vuoteen 1997 verrattuna. Muiden jäkälälajien osalta muutokset esiintymisfrekvenssissä olivat vuosina 1992-2002 alle 10 prosenttiyksikköä (kuva 29).

Näytealoilla havaittujen eri jäkälälajien lukumäärien alueellisessa jakaantumisessa ei ollut tapahtunut suuria muutoksia vuosien 1992-2002 välisenä aikana. Eri jäkälälajeja havaittiin runsaimmin tutkimusalueen keski- ja pohjoisosissa ja vähiten kuormitetuimmilla alueilla Kotkan eteläosissa (kuva 30).

Ilman epäpuhtauksista hyötyvien seinänsuomujäkälän ja viherleväpeitteen lisääntyminen oli painottunut Kotkan itäpuolelle. Vuosina 1992-2002 seinänsuomujäkälän keskimääräinen peittävyys oli pienentynyt kuormitetuimmilla alueilla Kotkan eteläosissa, mutta se oli levinnyt laajemmalle alueelle tutkimusalueen pohjois- ja itäosiin (kuva 31). Viherleväpeite oli levittäytynyt 1990-luvun

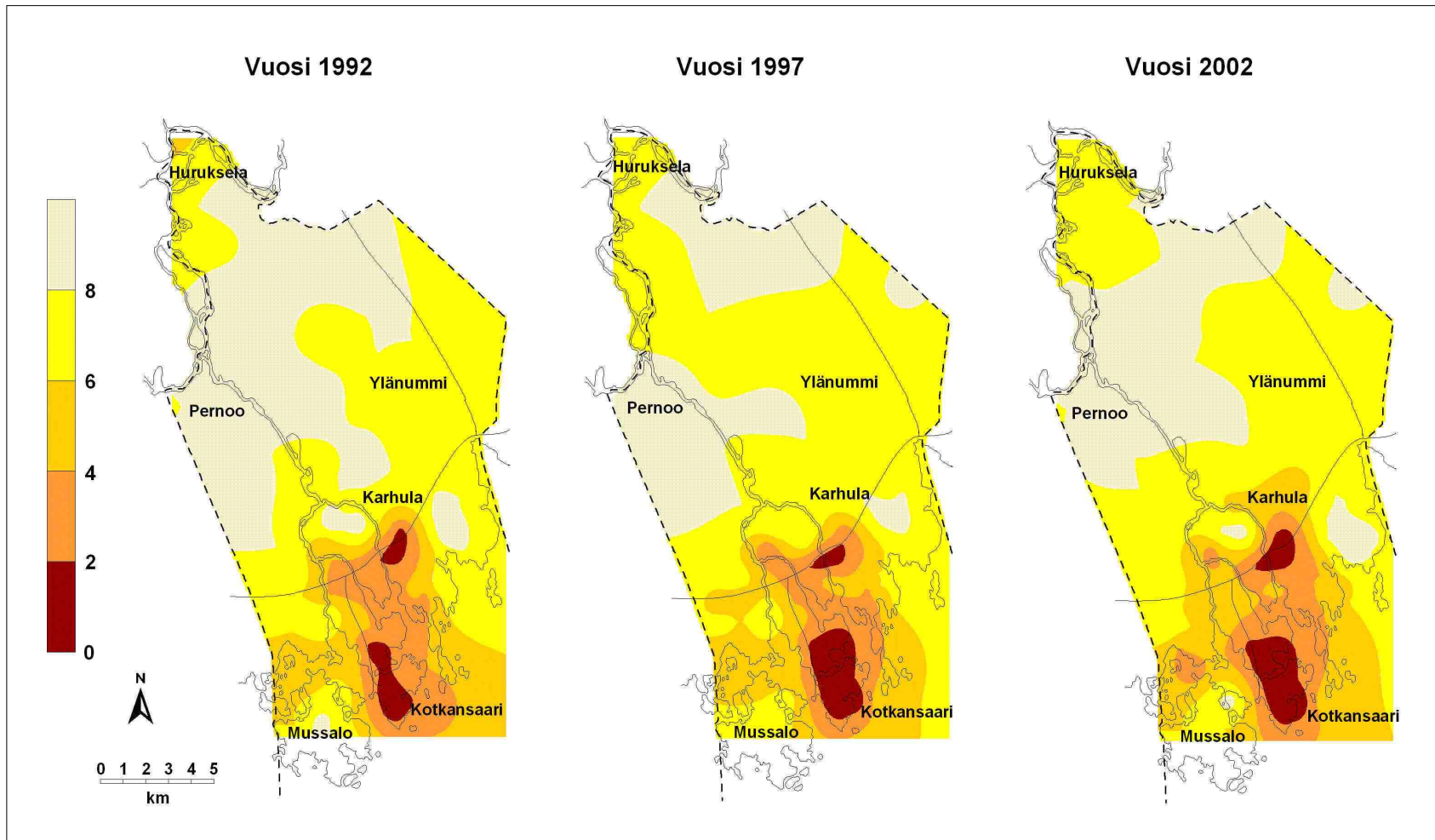


Kuva 29. Jäkälälajien esiintymisfrekvenssit vuosina 1992, 1997 ja 2002. Vertailussa on mukana 101 näytealaa.

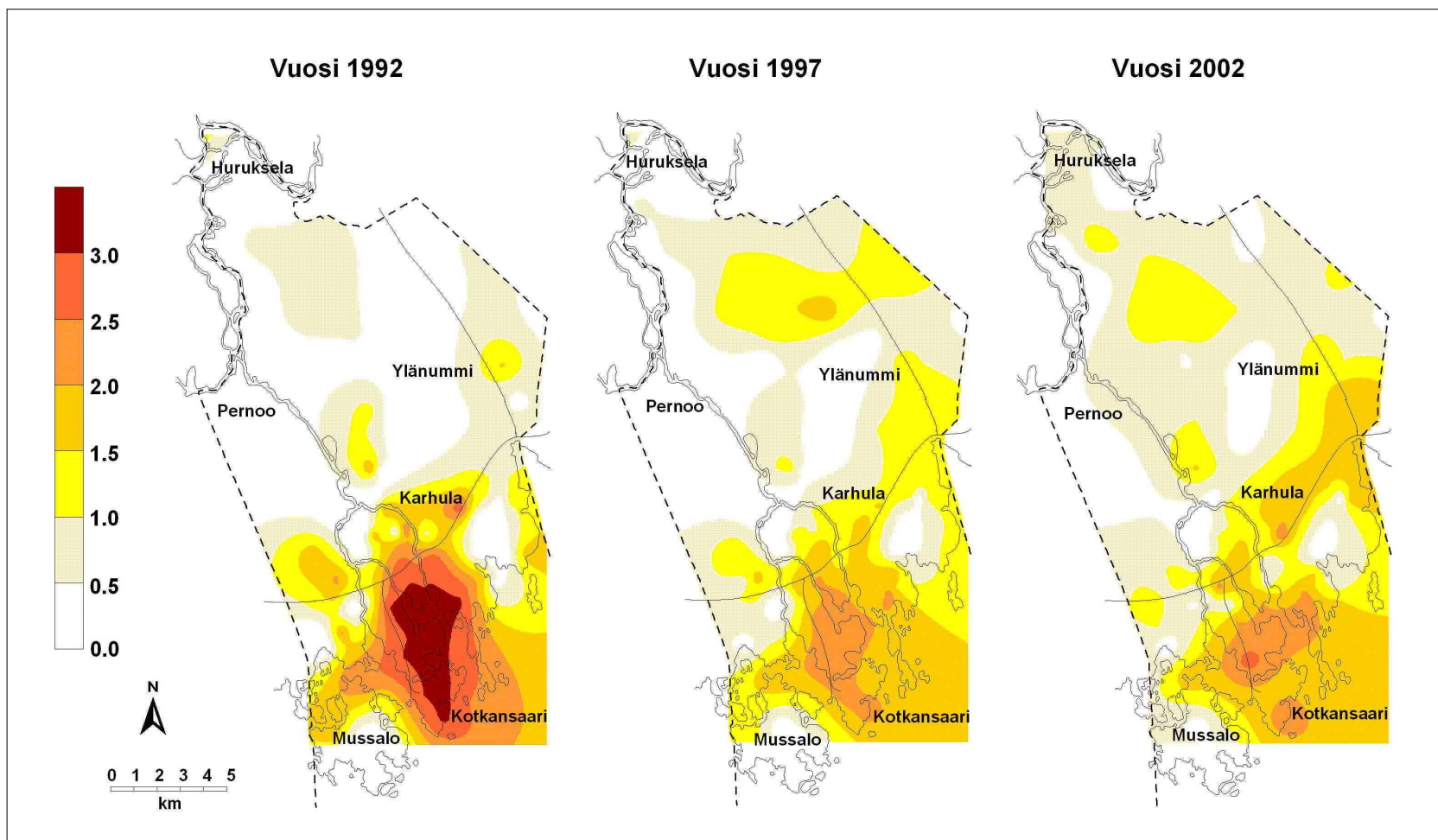
aikana tutkimusalueen eteläosista kohti itä- ja pohjoisosia. Viherleväpeitteen keskimääräiset peittävyudet olivat suurimmat vuonna 1997 erityisesti Kotkan eteläosissa. Vuonna 2002 viherleväpeitteen esiintymisfrekvenssi näytealoilla oli ollut suunnilleen samaa tasoa kuin vuonna 1997, mutta keskimääräiset peittävyudet olivat pienemmät vuoteen 1997 verrattuna (kuva 32).

3.2.2. Sormipaisukarpeen vauriot

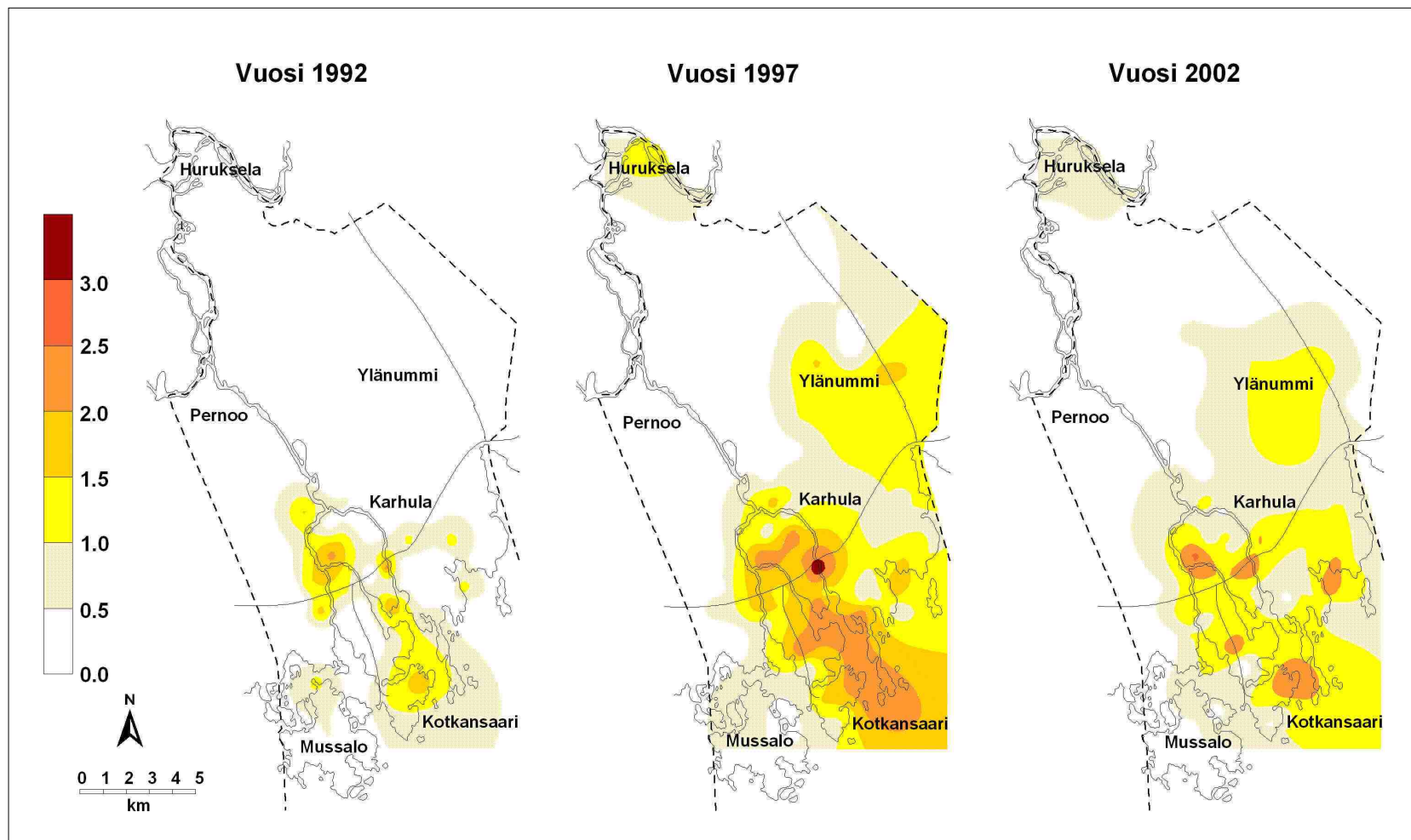
Sormipaisukarpeen pahojen ja selvien vaurioiden vyöhykkeet olivat pysyneet laajuudeltaan ja sijainniltaan samanlaisina vuosina 1992-2002. Sormipaisukarve puuttui (vaurioaste 5) vuonna 1992 kuudelta, vuonna 1997 kahdelta ja vuonna 2002 neljältä näytealalta. Lievien vaurioiden vyöhyke arvioitiin vuonna 1997 pienemmäksi kuin vuonna 1992. Vuonna 2002 lievien vaurioiden vyöhyke oli hieman laajentunut kohti tutkimusalueen itäosia (kuva 33).



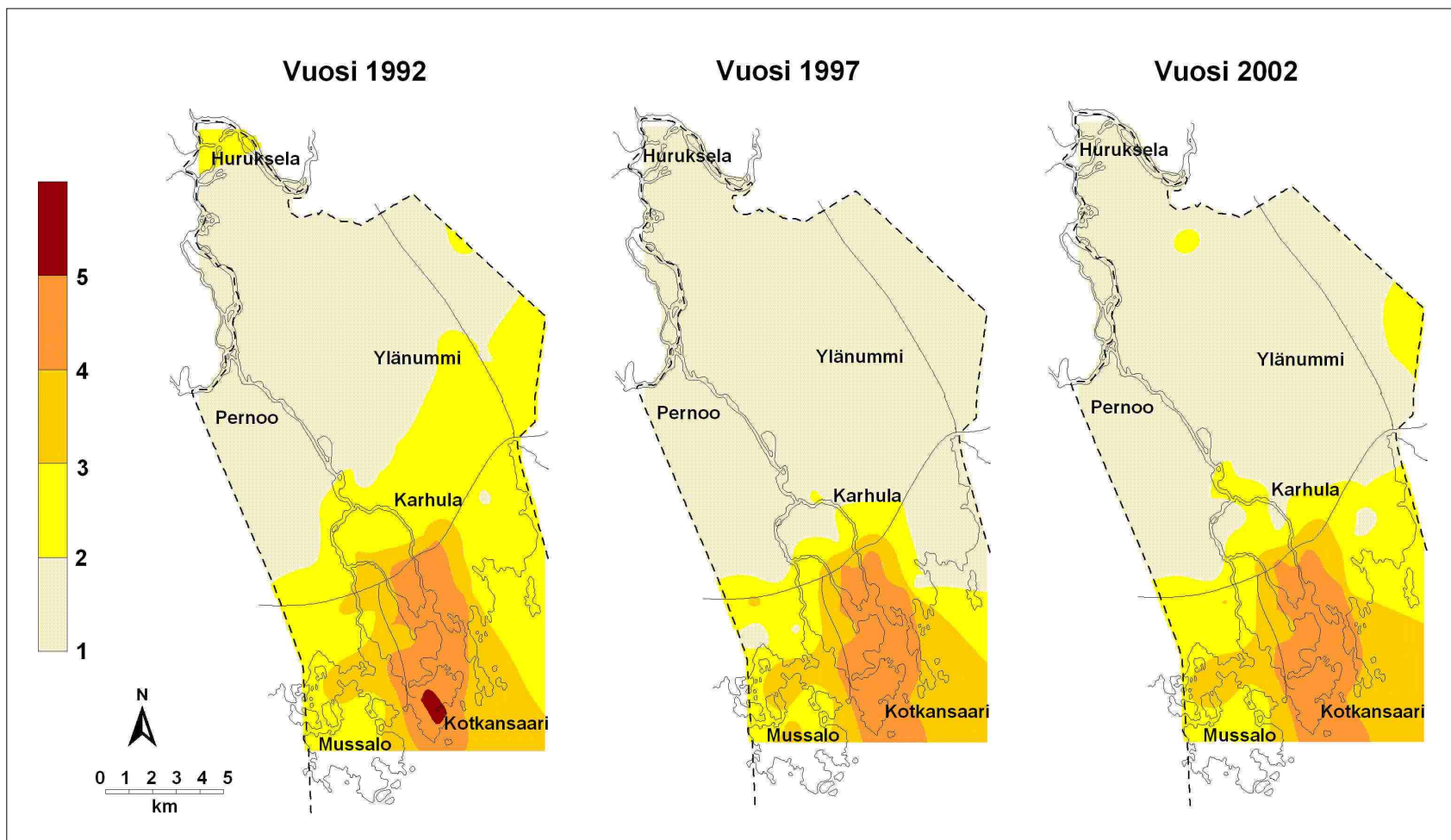
Kuva 30. Jäkälälajien lukumäärä vuosina 1992, 1997 ja 2002. Lajimäärissä ei ole mukana seinänsuomujäkälä (*Hypocenomyce scalaris*) eikä viherleväpeite ja viher-sukkulajäkälä (*Algae & Scoliciosporum*).



Kuva 31. Seinänsuomujäkälän (*Hypocenomyce scalaris*) keskimääräiset runsaudet vuosina 1992, 1997 ja 2002. Peittävyysluokitus: 1 = < 5 %, 2 = 5 - 49 %, 3 = > 50 %.



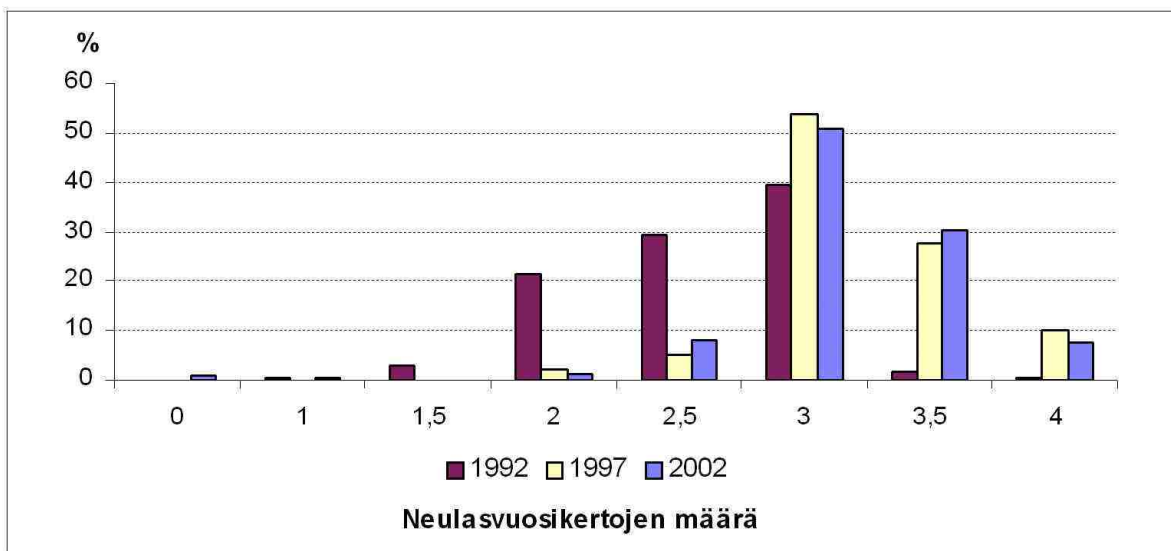
Kuva 32. Viherväpöitteen (*Algae & Scoliciosporum*) keskimääräiset runsaudet vuosina 1992, 1997 ja 2002. Peittävyden luokitus: 1 = < 5 %, 2 = 5 - 49 %, 3 = > 50 %.



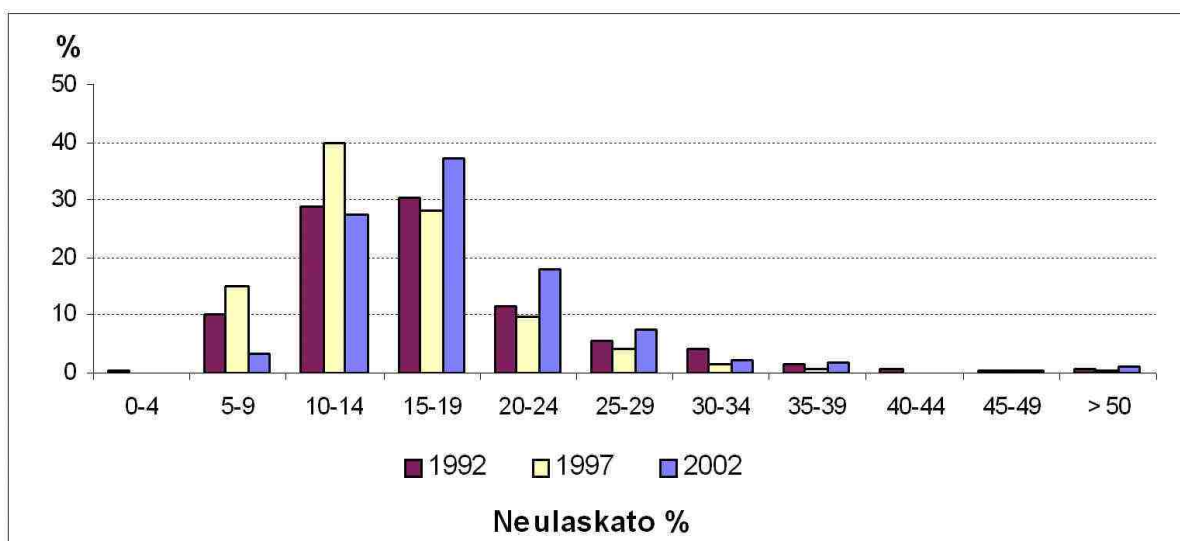
Kuva 33. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) keskimääräiset vaurioluokat vuosina 1992, 1997 ja 2002. Vaurioiden luokitus on esitetty taulukossa 3.

3.2.3. Mäntyjen kunto

Vuosina 1992-2002 neulasvuosikertojen määrä vaihteli välillä 0-4. Vuosina 1997 ja 2002 tutkituissa männyissä todettiin selvästi useampi neulasvuosikerta kuin vuonna 1992. Vuonna 1992 neulasvuosikertoja oli keskimäärin 2,6, vuonna 1997 3,2 ja vuonna 2002 3,1. Vuonna 1992 todettiin alle kolme neulasvuosikertaa noin 54 % tutkituista puista, kun vastaava osuus oli vuonna 1997 noin 7 % ja vuonna 2002 noin 11 % (kuva 34).



Kuva 34. Mäntyjen suhteelliset osuudet neulasvuosikertojen määrän mukaan jaoteltuina vuosina 1992, 1997 ja 2002. Vertailussa on mukana 101 näytealaa.



Kuva 35. Mäntyjen suhteelliset osuudet neulaskadon mukaan jaoteltuina vuosina 1992, 1997 ja 2002. Vertailussa on mukana 101 näytealaa.

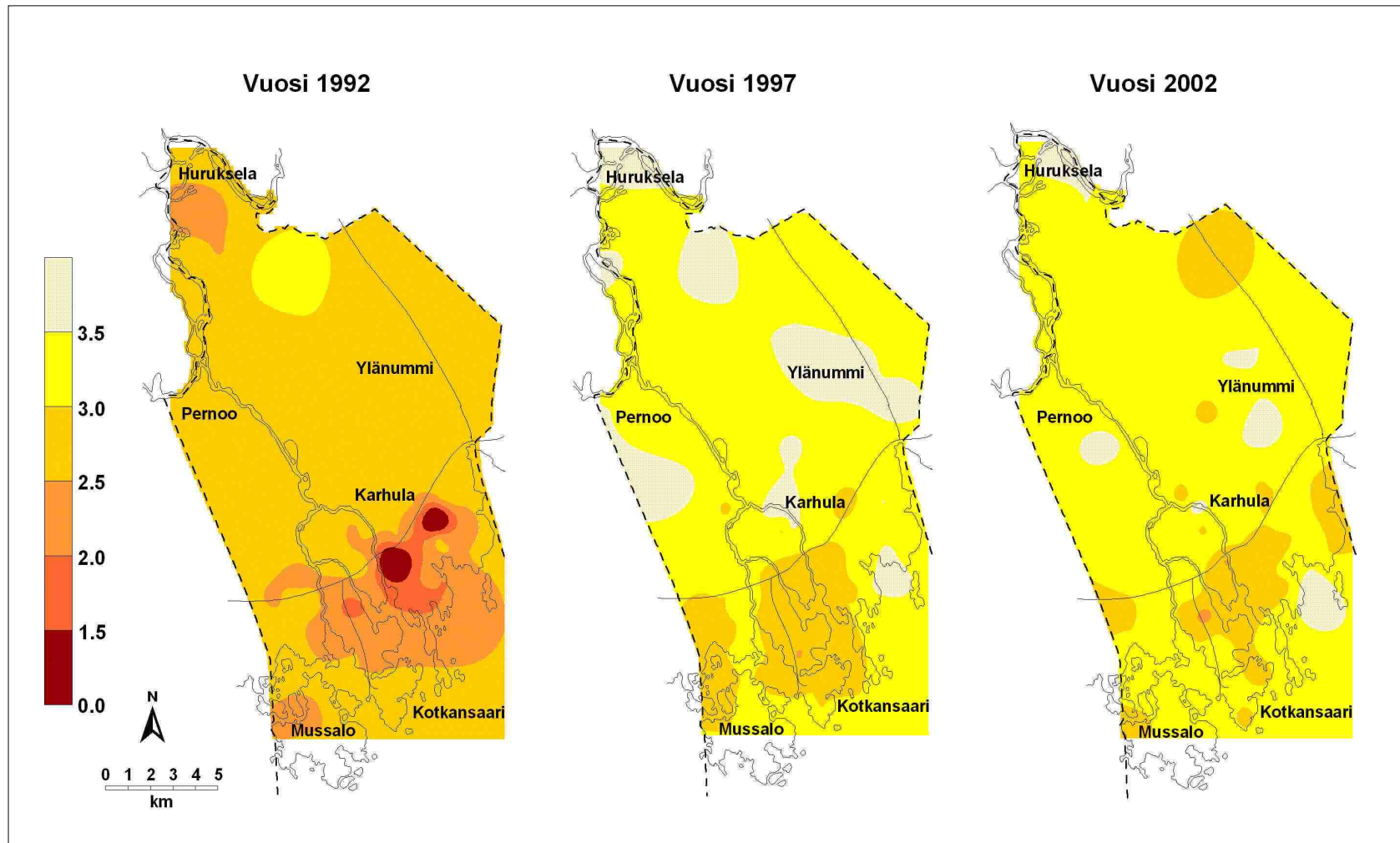
Vuonna 1992 neulasvuosikertojen määrä on ollut alle kolme valtaosalla tutkimusalueesta. Vuonna 1997 neulasvuosikertojen määrä on ollut alle kolme suurella osalla Kotkansaarta, Hovinsaarella, Kymijoen suulla, Karhulassa ja Sunilassa sekä aivan kaupungin länsilaidalla. Vuonna 2002 neulasvuosikertojen määrässä ei ole tapahtunut merkittäviä alueellisia muutoksia vuoteen 1997 verrattuna (kuva 36).

Tutkittujen mäntyjen keskimääräinen neulaskato lisääntyi vuosien 1992-2002 aikana lähemmäksi 20 %:a. Keskimääräinen neulaskato oli vuosina 1992 ja 1997 noin 15 % ja vuonna 2002 noin 18 %. Harsuuntuneiksi luokiteltavien puiden, joiden neulaskato on yli 20 %, osuus oli vuonna 1992 noin 14 %, vuonna 1997 noin 13 % ja vuonna 2002 noin 24 % (kuva 35).

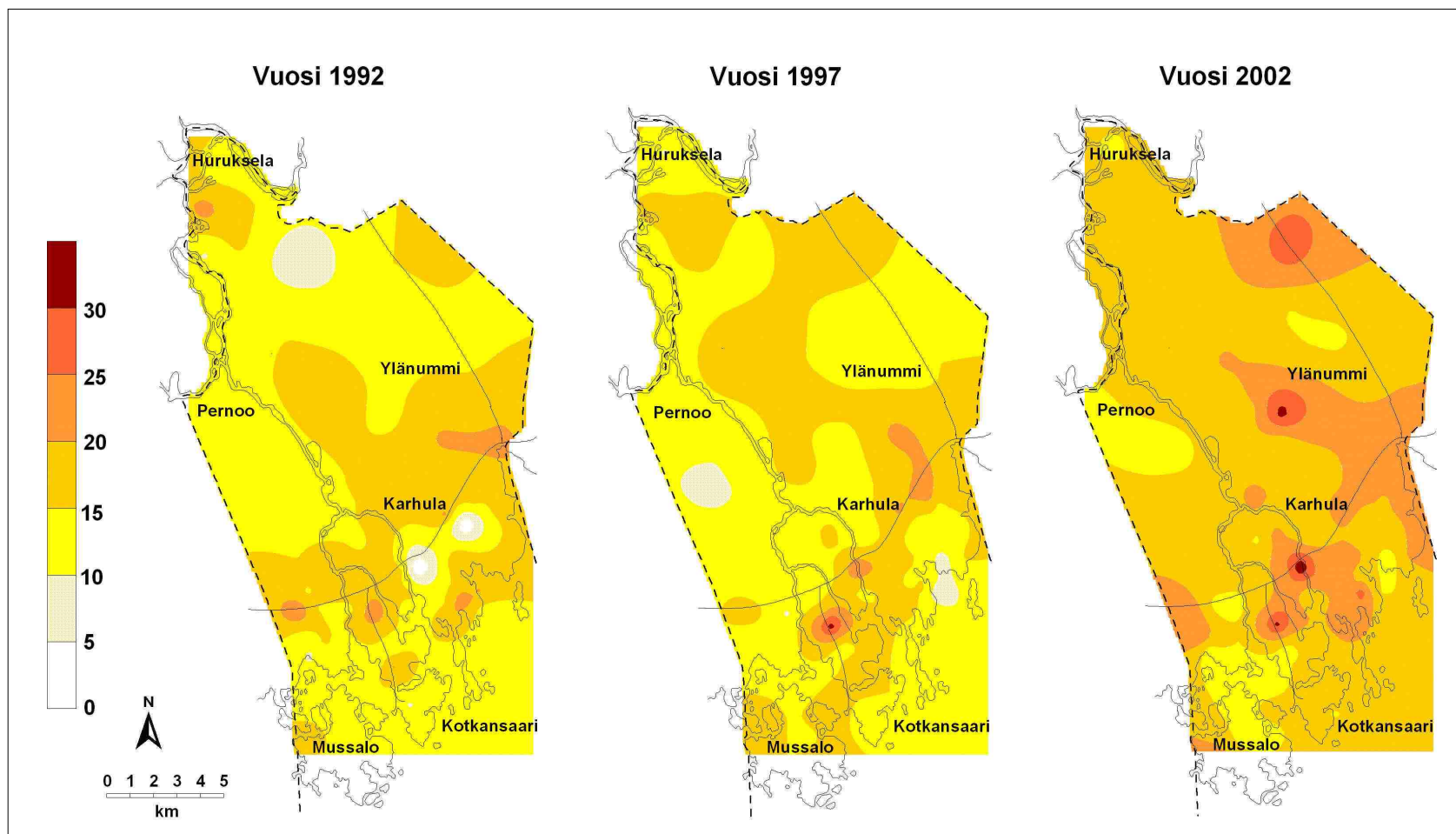
Vuosina 1992-2002 neulaskadon määrät ovat olleet suurimmat Hovinsaaren, Karhulan ja Ylänummen välisellä alueella. Vuosien 1992 ja 1997 tutkimuksiin verrattuna vuonna 2002 keskimääräinen neulaskadon määrä oli useammalla näytealalla yli 30 % (kuva 37). Suurimmat neulaskadon määrät todettiin puissa, joissa havaittiin selviä tervasrosion aiheuttamia vaurioita.

3.2.4. Männyn neulasten rikkipitoisuudet

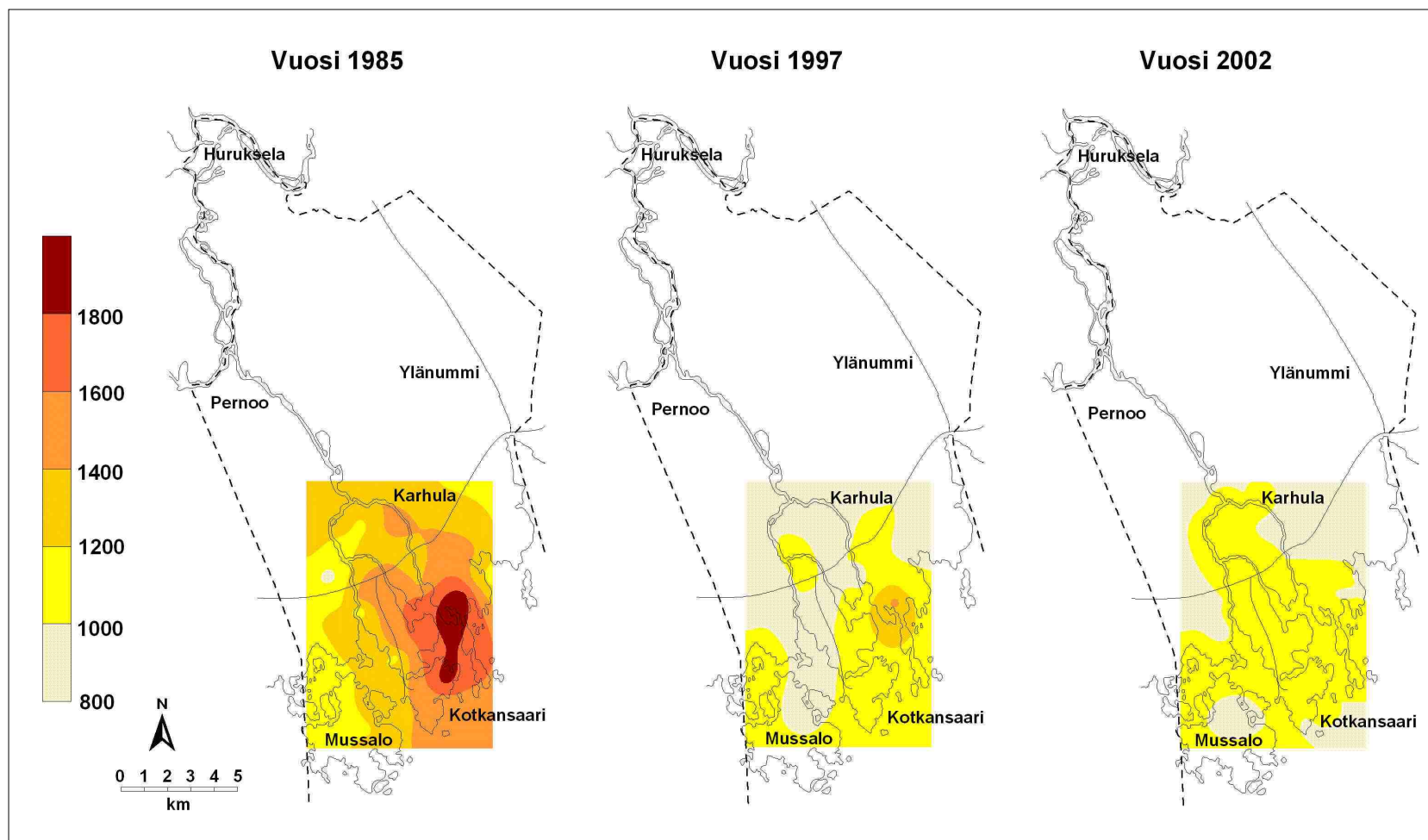
Vuonna 1985 tutkimusalueen eteläosassa Kotkansaarella ja Sunilassa mitattiin yli 1800 mg/kg rikkipitoisuuksia. Pitoisuudet ylittivät vielä Korkeakoskella 1200 mg/kg (Jokinen ym. 1986). Vuonna 1997 neulasten kokonaisrikkipitoisuudet vaihtelivat välillä 802 - 1460 mg/kg ja suurimmat pitoisuudet mitattiin Sunilassa. Neulasten rikkipitoisuus on pienentynyt edelleen vuoteen 2002 mennessä. Neulasten kokonaisrikkipitoisuudet vaihtelivat tällöin välillä 790 - 1200 (kuva 38).



Kuva 36. Mäntyjen keskimääräiset neulasvuosikertojen määrät vuosina 1992, 1997 ja 2002.



Kuva 37. Mäntyjen keskimääräiset neulaskadot (%) vuosina 1992, 1997 ja 2002.



Kuva 38. Männyn neulasten toisen vuosikerran rikkipitoisuudet (mg/kg) vuosina 1985, 1997 ja 2002.

4. Tulosten tarkastelu ja vertailu aikaisempiin tutkimuksiin

Mäntyjen rungoilla kasvava jäkälälajisto vastasi pääpiirteissään vuosien 1992 ja 1997 tilannetta. Lajisto oli edelleen selvästi köyhtynyt Kotkansaassa, Hovinsaassa, Karhulassa ja Sunilassa. Vuosina 1992-2002 näytealoilla ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia eri jäkälälajien lukumäärissä. Alueet, joissa jäkälälajisto on selvästi köyhtynyt, eivät ole pinta-alaltaan muuttuneet merkittävästi (taulukko 8).

Taulukko 8. Jäkäläien lajimääriä ja niiden perusteella arvioitujen vyöhykkeiden pinta-aloja Kotkassa vuosina 1992, 1997 ja 2002 tehdyissä tutkimuksissa. Mukana tarkastelussa ovat standardin SFS 5670 mukaiset lajit lukuun ottamatta viherleväpeitettä ja seinänsuomujäkälää (arvot välillä 0 - 10).

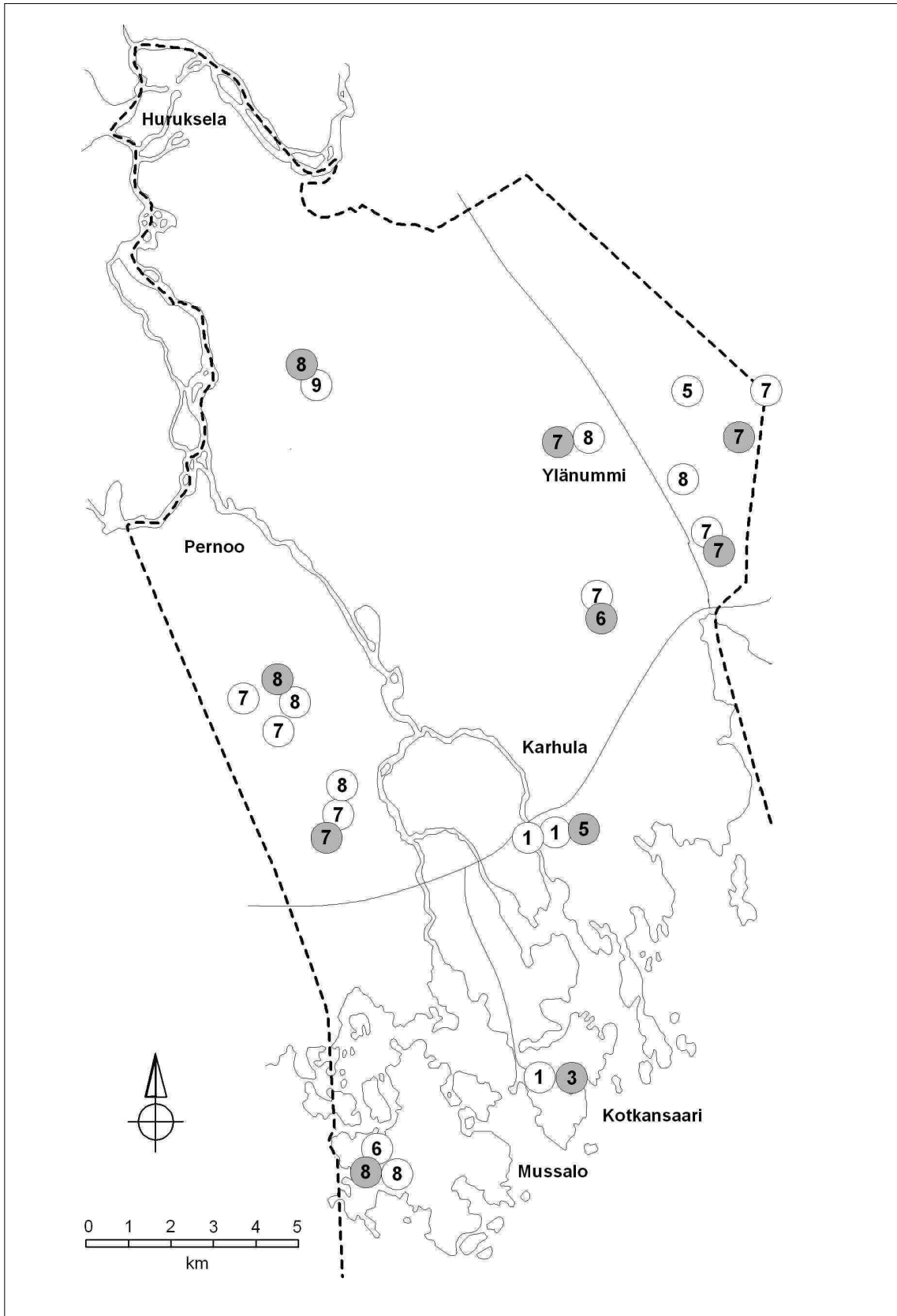
Vuosi	N.aloja kpl	Lajimäärä havaintoalalla (arvot 0 - 10)				Vyöhykkeiden laajuudet	
		suurin	pienin	keskiarvo	mediaani	< 2 lajia km ²	2-3 lajia km ²
1992	101	9	0	6,3	7	4	24
1997	101	9	0	6,0	7	7	19
2002	101	9	0	5,8	6	8	23

Taulukossa 9 on vertailtu jäkälälajistoltaan selvästi köyhtyneiden alueiden pinta-aloja muualla Suomessa tehtyihin tutkimuksiin. Kotkassa jäkälälajistoltaan köyhtyneiden alueiden pinta-alat olivat suurempia kuin on todettu mm. Pohjois-Karjalan maakunnassa, Jyväskylässä ja Kuopiossa.

Taulukko 9. Jäkäläien lajimääriä ja niiden perusteella arvioitujen vyöhykkeiden pinta-aloja eri puolilla Suomea tehdyissä tutkimuksissa. Mukana tarkastelussa ovat standardin SFS 5670 mukaiset lajit lukuun ottamatta viherleväpeitettä ja seinänsuomujäkälää (arvot välillä 0 - 10). Muiden paikkakuntien tulokset viitteistä: Niskanen ym. 2001, Niskanen ym. 1999a, Niskanen ym. 1998, Niskanen ym. 1999b, Niskanen & Ellonen 1999.

	N.aloja kpl	Lajimäärä havaintoalalla (arvot 0 - 10)				Vyöhykkeiden laajuudet	
		suurin	pienin	keskiarvo	mediaani	< 2 lajia km ²	2-3 lajia km ²
Kotka	125	9	0	6,3	7	4	24
Uusimaa	623	10	1	7,1	7	57	60
Pohjois-Karjala	611	10	3	7,7	8	0	1
Kokkola	100	9	0	5,8	6	16	63
Jyväskylä	144	10	3	7,8	8	0	0,5
Kuopio	50	9	2	7,0	7	0	1

Kuvassa 39 on vertailtu tässä selvityksessä arvioituja jäkälälajien lukumääriä Kotkassa vuosina 1999-2000 tehdyn bioindikaattoritutkimuksen tuloksiin (Pihlström & Myllyvirta 2001). Vertailuun valittiin näytealat, jotka sijaitsevat mahdollisimman lähellä em. tutkimuksen näytealoja. Arvioidut jäkälälajien lukumäärät olivat molemmissa tutkimuksissa pääosin samaa tasoa. Kotkansaassa ja Kymijoen suulla Valtatie 7:n läheisyydessä sijaitsevilla näytealoilla jäkälälajien lukumäärä oli arvioitu pienemmäksi kuin vuoden 1999-2000 tutkimuksessa.



Kuva 39. Jäkälälajien lukumäärä Kotkassa vuonna 1999 Pihlström & Myllyvirta 2001 mukaan (tummat ympyrät) sekä vuonna 2002 tämän selvityksen mukaan (vaaleat ympyrät).

Ilman epäpuhtauksista hyötyvien jäkälälajien, seinänsuomujäkälän ja viherleväpeitteen yleistymisen oli selvin jäkälälajistossa tapahtunut muutos vuoden 1992 jälkeen. Niiden esiintymisalue laajentui 1990-luvun aikana kohti tutkimusalueen itä- ja pohjoisosia. Seinänsuomujäkälän keskimääräinen peittävyys oli kuitenkin samalla pienentynyt kuormitetuimmilla alueilla Kotkan eteläosissa. Viherleväpeite sen sijaan yleistyi tutkimusalueen eteläosissa vuonna 1997, mutta taantui jälleen jonkin verran vuonna 2002. Näiden tyyppikuormituksesta hyötyvien lajien levittäytyminen on ilmeisesti osoitus vakaana pysyneen tyyppikuormituksen aiheuttamista metsävaikutuksista. Toisaalta leudot talvet ovat voineet vaikuttaa ainakin viherlevän yleistymiseen vuonna 1997.

Sormipaisukarpeen pahojen ja selvien vaurioiden alueet vastasivat vuosien 1992 ja 1997 tilannetta (taulukko 10). Muihin Suomessa tehtyihin tutkimuksiin verrattuna selvien ja pahojen vaurioiden alue oli pinta-alaltaan suurempi kuin eräissä muissa keskisuurissa kaupungeissa (taulukko 11). Lievien vaurioiden alue arvioitiin vuonna 1997 selvästi pienemmäksi kuin vuonna 1992. Vuonna 2002 lievien vaurioiden vyöhyke oli hieman laajentunut tutkimusalueen itäosiin vuoteen 1997 verrattuna, mutta oli kuitenkin edelleen selvästi pienempi kuin vuonna 1992.

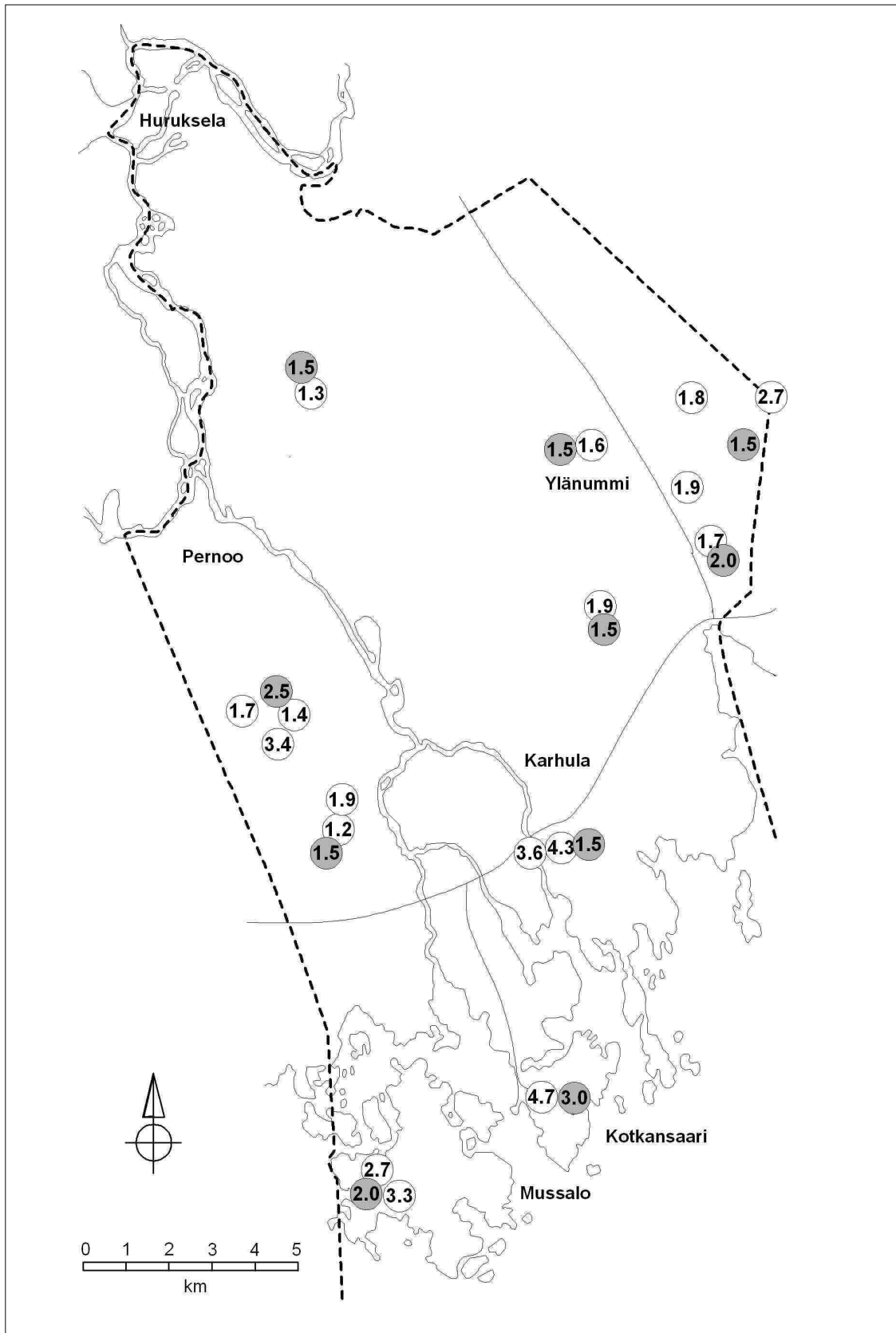
Arvioidut sormipaisukarpeen vaurioasteet olivat pääosin samaa tasoa kuin on todettu Kotkassa vuosina 1999-2000 tehdyssä bioindikaattoritutkimuksessa (Pihlström & Myllyvirta 2001). Kymi-joen suulla Valtatie 7:n läheisyydessä sijaitsevilla näytealoilla sormipaisukarpeen vaurioasteet oli arvioitu suuremmaksi vuoden 1999-2000 tutkimukseen verrattuna (kuva 40).

Taulukko 10. Sormipaisukarpeen vaurioasteen tunnuslukuja ja sen perusteella arvioitujen vyöhykkeiden pinta-aloja Kotkassa vuosina 1992, 1997 ja 2002 tehdyissä tutkimuksissa. Vaurioiden luokitus on esitetty taulukossa 3.

Vuosi	N.aloja kpl	Vaurioasteet (arvot 1 - 5)				Vauriovyöhykkeet	
		suurin	pienin	keskiarvo	mediaani	selvä vaurio km ²	paha vaurio km ²
1992	101	5,0	1,2	2,7	2,2	32	22
1997	101	5,0	1,0	2,4	1,9	31	22
2002	101	5,0	1,1	2,6	2,2	33	22

Taulukko 11. Sormipaisukarpeen vaurioasteen tunnuslukuja ja sen perusteella arvioitujen vyöhykkeiden pinta-aloja eri puolilla Suomea tehdyissä tutkimuksissa. Vaurioiden luokitus on esitetty taulukossa 3. Muiden paikkakuntien tulokset viitteistä: Niskanen ym. 2001, Niskanen ym. 1999a, Niskanen ym. 1998, Niskanen ym. 1999b, Niskanen & Ellonen 1999.

	N.aloja kpl	Vaurioasteet (arvot 1 - 5)				Vauriovyöhykkeet	
		suurin	pienin	keskiarvo	mediaani	selvä vaurio km ²	paha vaurio km ²
Kotka	125	5,0	1,1	2,4	2,1	33	21
Uusimaa	623	5,0	1,0	2,0	1,9	186	58
Pohjois-Karjala	611	4,3	1,0	1,6	1,5	8	0
Kokkola	100	5,0	1,0	1,8	1,2	42	18
Jyväskylä	144	4,4	1,0	1,9	1,8	8	0
Kuopio	50	4,4	1,0	2,2	2,1	9	1



Kuva 40. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) keskimääräisiä vaurioluokkia Kotkassa vuonna 1999 Pihlström & Myllyvirta 2001 mukaan (tummat ympyrät) sekä vuonna 2002 tämän selvityksen mukaan (vaaleat ympyrät). Vaurioiden luokitus on esitetty taulukossa 3.

Vuonna 2002 mäntyjen keskimääräinen neulaskato oli Kotkassa noin 18 %. Harsuuntuneiden puiden osuus oli noin 25 %, kun tarkastelussa olivat mukana kaikki myös vuonna 2002 perustetut näytealat (n = 1244). Kartoitus tehtiin keväällä ennen uuden neulasvuosikerran kasvua. Tässä tutkimuksessa arvioitujen mäntyjen keskimääräinen neulaskato oli hieman suurempi ja harsuuntuneiden puiden osuus oli selvästi suurempi kuin muualla Suomessa todetuista neulaskadon määristä (taulukko 12). Arvoidut neulaskadon määrät olivat samaa tasoa Kotkassa vuosina 1999-2000 tehtyyn bioindikaattoritutkimukseen verrattuna (Pihlström & Myllyvirta 2001). Myöskään neulasvuosikertojen määrissä ei ollut havaittavissa merkittäviä eroja em. tutkimukseen verrattuna (kuvat 41 ja 42).

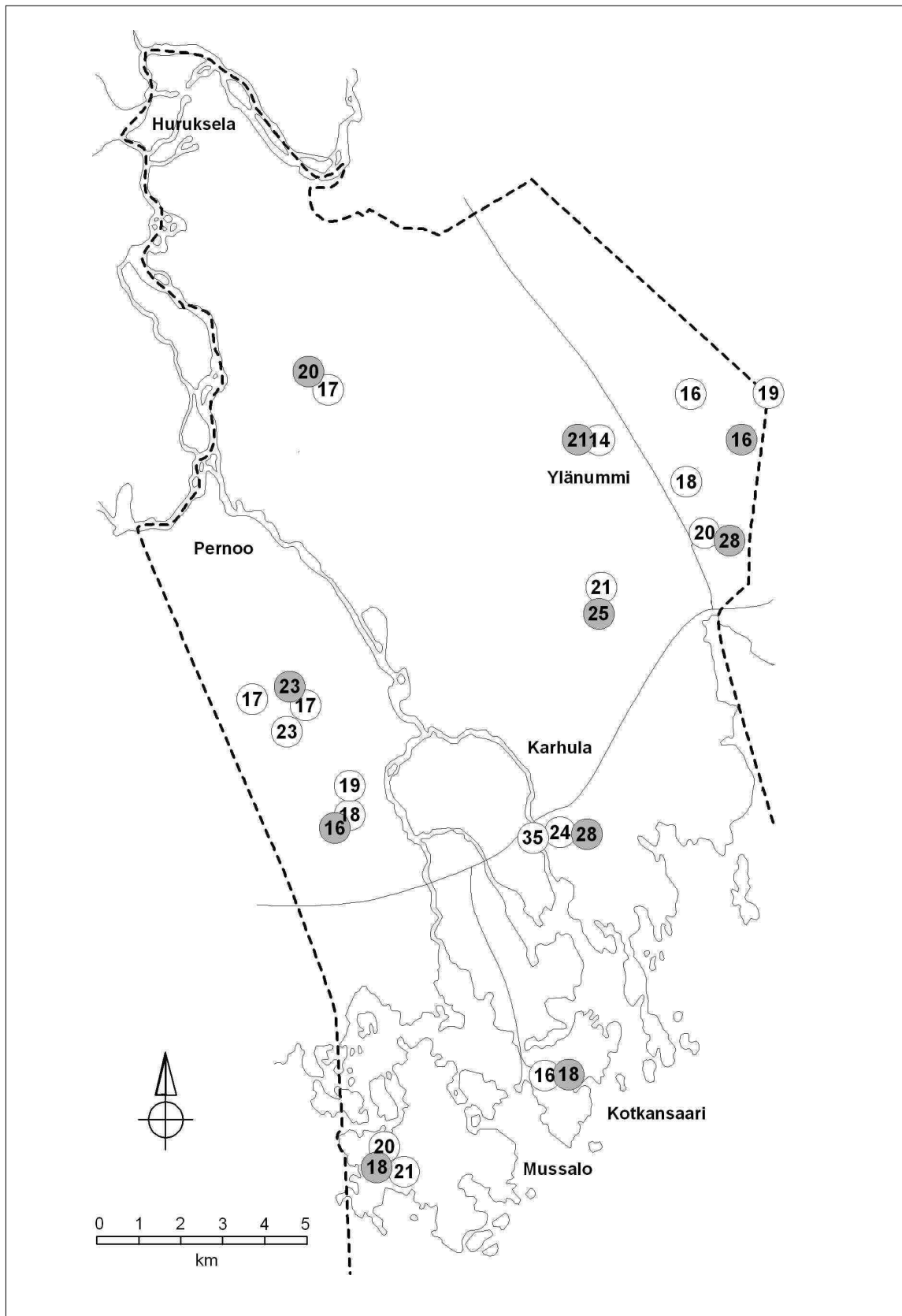
Taulukko 12. Mäntyjen keskimääräisiä neulaskatoja ja harsuuntuneiden puiden osuuksia eri puolilla Suomea tehdyissä ilmanlaadun bioindikaattoritutkimuksissa. Tähdellä (*) merkityissä kartoituksissa neulaskadon määrän arvioinnissa on huomioitu kuolleet latvat, mikä suurentaa neulaskadon määrää vaurioituneiden puiden osalta. Kahdella tähdellä (**) merkitty kartoitus on tehty kasvukauden jälkeen heinä- ja elokuussa, jolloin uusin neulasvuosikerta on puissa eikä vanhin ole vielä tipunut. Muiden paikkakuntien tulokset viitteistä: Niskanen ym. 2003, Niskanen ym. 2001, Niskanen & Ellonen 1999, Niskanen ym. 1999a, Niskanen ym. 1999b, Niskanen ym. 1998.

	Vuosi	Puita kpl	keskiarvo %	harsuuntuneiden osuus %
Kotka*	2002	1244	18	25
Kanta-Häme*	2001	1518	15	11
Uusimaa ja Itä-Uusimaa*, **	2000	6230	14	13
Kuopio	1999	250	14	14
Pohjois-Karjala	1998	3054	12	7
Jyväskylä	1998	1440	14	17
Kokkola	1997	1000	14	12

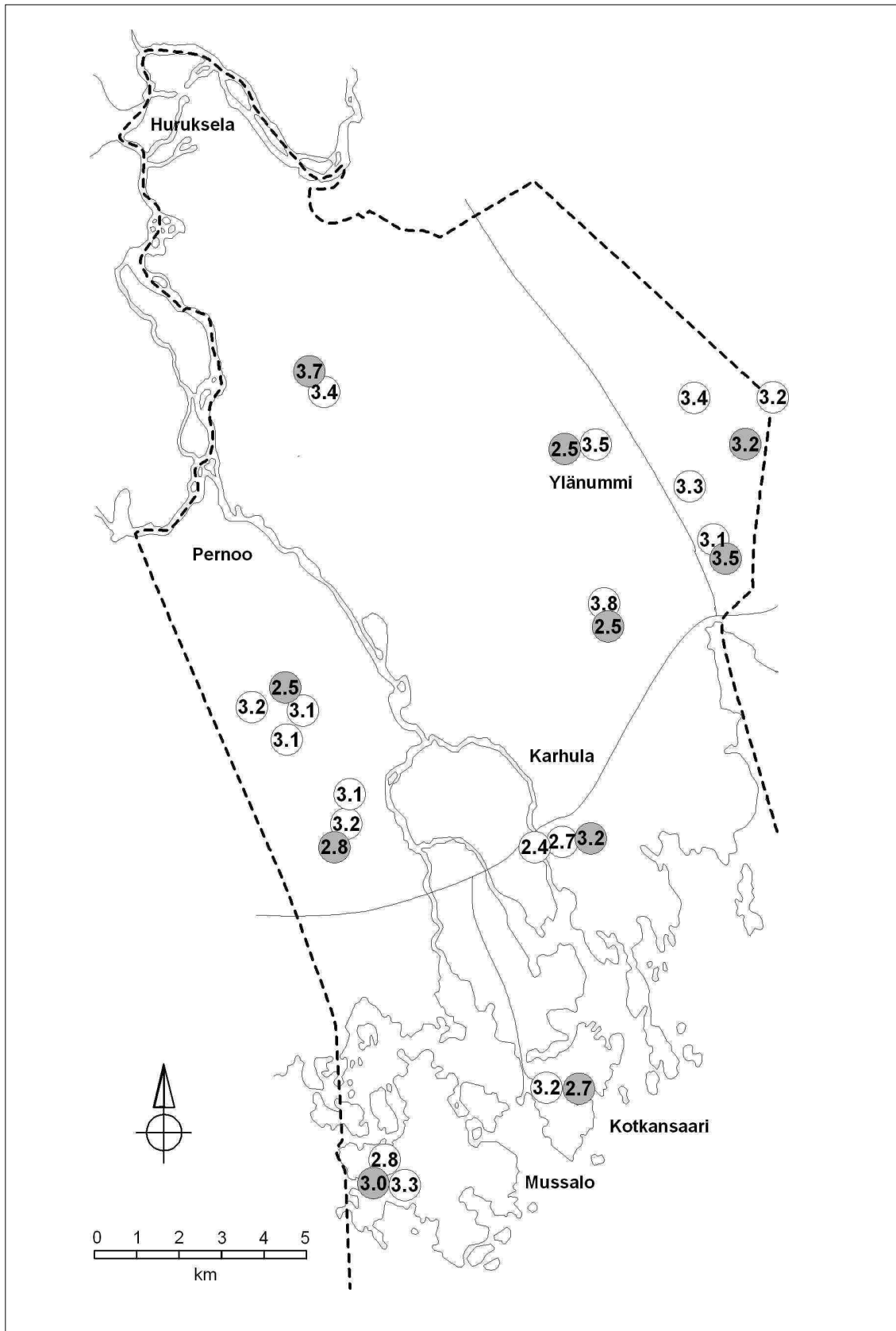
Vuosien 1992-2002 välisenä aikana keskimääräinen neulasvuosikertojen määrä on kasvanut tutkimusalueella noin 2,5:sta kolmeen samalla kun keskimääräinen neulaskadon määrä on kasvanut noin 15 %:sta 18 %:iin. Vuonna 2002 neulaskadon määrä arvioitiin useilla näytealoilla suuremmaksi aikaisempiin vuosiin verrattuna. Suurimmat neulaskadon määrät, jopa 100 %, todettiin puilla, jotka olivat selvästi tervasrosan vaurioittamia. Vuoden 2002 tutkimuksen tuloksiin on vaikuttanut muutos Metsäntutkimuslaitoksen arviointiohjeissa vuodelta 1999 (Lindgren & Salemaa 1999). Sen mukaisesti vuoden 2002 tutkimuksessa neulaskadon määrän arvioinnissa on huomioitu tutkittujen puiden kuolleet latvat. Vuosien 1992 ja 1997 tutkimuksissa silloin käytössä olevien arviointiohjeiden mukaisesti (Jukola-Sulonen 1985, Jukola-Sulonen & Salemaa 1989) kuolleet latvat jätettiin arvioinnissa huomioimatta. Neulaskadon määriä tarkasteltaessa on lisäksi huomioitava, että arvioinnit ovat eri vuosina eri havainnoitsijoiden tekemiä. On myös muistettava, että neulaskadon määrään vaikuttavat ilmansaasteiden ja edellä mainittujen kasvitautien lisäksi myös monet muut luonnolliset tekijät.

Männyn neulasten rikkipitoisuudet olivat vuonna 1997 selvästi pienemmät vuoteen 1985 verrattuna. Vuonna 2002 neulasten kokonaisrikkipitoisuus ei ollut selvästi kohonnut yhdelläkään näytealalla. Neulasten rikkipitoisuuksien aleneminen on seurausta rikkidioksidipäästöjen selvästä vähentymisestä vuoden 1985 jälkeen.

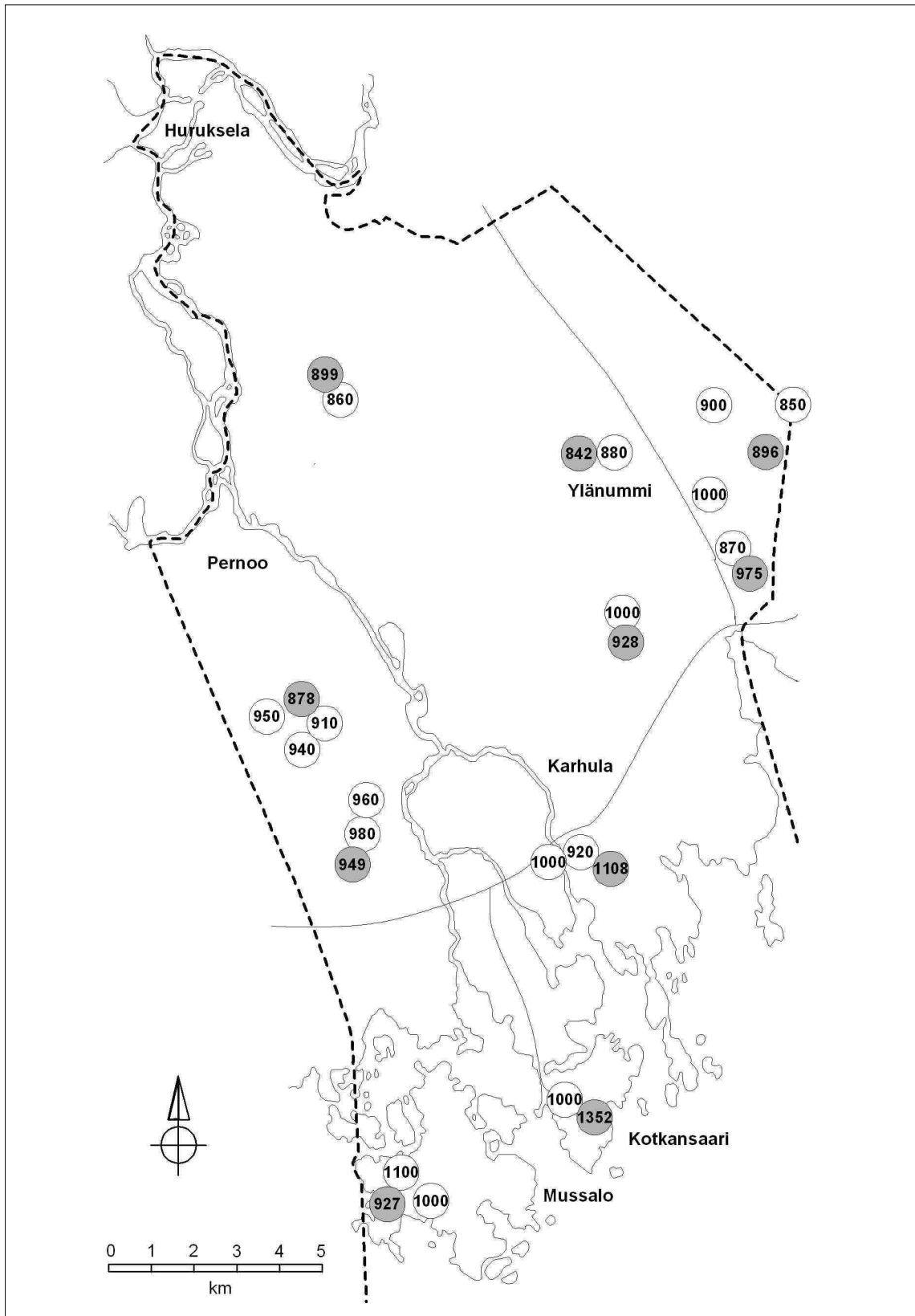
Neulasten rikkipitoisuudet olivat pääosin samaa tasoa kuin on todettu Kotkassa vuosina 1999-2000 tehdyssä bioindikaattoritutkimuksessa (Pihlström & Myllyvirta 2001). Kotkansaarella sijaitsevalla näytealalla neulasten rikkipitoisuus oli pienempi kuin vuoden 1999-2000 tutkimuksessa on todettu (kuva 43).



Kuva 41. Mäntyjen keskimääräisiä neulaskadon määriä (%) Kotkassa vuonna 1999 Pihlström & Myllyvirta 2001 mukaan (tummat ympyrät) sekä vuonna 2002 tämän selvityksen mukaan (vaaleat ympyrät).



Kuva 42. Mäntyjen keskimääräisiä neulasvuosikertojen määriä Kotkassa vuonna 1999 Pihlström & Myllyvirta 2001 mukaan (tummat ympyrät) sekä vuonna 2002 tämän selvityksen mukaan (vaaleat ympyrät).



Kuva 43. Männyn neulasten toisen vuosikerran rikkipitoisuuksia (mg/kg) Kotkassa vuonna 1999 Pihlström & Myllyvirta 2001 mukaan (tummat ympyrät) sekä vuonna 2002 tämän selvityksen mukaan (vaaleat ympyrät).

Kotkassa laitosten päästömäärät ovat ilman eri epäpuhtauksien osalta vähentyneet merkittävästi 1980- ja 1990-lukujen aikana. Kasvillisuudelle myrkyllisten yhdisteiden kuormitus on vaihtunut kasvua kiihdyttävään lannoitelaskeumaan. Ilman epäpuhtauksien aiheuttaman kuormituksen vähentyminen on nähtävissä myös tutkimustuloksissa. Ilman rikkikuormituksen väheneminen näkyy selvimmin männyn neulasten rikkipitoisuuksien pienentymisessä. Vuonna 1997 havaittiin mäntyjen runkojäkälissä viitteitä kunnon lievästä paranemisesta vuoden 1992 tilanteeseen verrattuna. Myös neulasmassan määrässä havaittiin positiivista kehitystä. Vuonna 2002 tilanne on pysynyt suunnilleen samanlaisena vuoteen 1997 verrattuna. Metsissä näkyy kuitenkin merkkejä ilman epäpuhtauksien aiheuttamasta rehevöitymisestä. Tämä näkyy typpikuormituksesta hyötyvien viherleväpeitteen ja seinänsuomujäkälän yleistymisenä. Ne esiintyivät vuosina 1997 ja 2002 selvästi laajemmalla alueella vuoteen 1992 verrattuna.

5. Yhteenveto

Jäkälälajien esiintymis- ja vauriovyöhykkeet antavat yhtäläisen kuvan ilman epäpuhtauksien vaikutuksista. Vuonna 2002, kuten koko 1990-luvun aikana, ilman epäpuhtauksista kärsivien lajien esiintyminen oli vähäisintä Kotkansaaren, Hovinsaaren, Karhulan ja Sunilan lähes jäkäläautiolla alueilla. Näillä alueilla jäkälät olivat vaurioituneita tai puuttuivat kokonaan. Vuoden 1992 jälkeen typpikuormituksesta hyötyvät jäkälälajit olivat levittäytyneet kohti Kotkan itäosia. Eri jäkälälajeja esiintyi runsaimmin Kotkan pohjois- ja keskiosissa, missä ne todettiin myös terveiksi. Aivan Kotkan pohjoisosassa Hurukselan alueella jäkälälajisto on ollut lievästi taantunut koko 1990-luvun.

Näytealoilla havaittujen eri jäkälälajien lukumäärien alueellisessa jakaantumisessa ei ole tapahtunut suuria muutoksia vuoden 1992 jälkeen. Myöskään jäkälälajien kunnossa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. 1990-luvun aikana jäkälälajien lievien vaurioiden vyöhyke oli pienentynyt vuonna 1997, mutta selvien ja pahojen vaurioiden vyöhykkeessä ei ollut tapahtunut muutoksia.

Vuonna 2002 noin neljännes tutkituista puista oli harsuuntuneita eli neulaskato oli suurempi kuin 20 %. Keskimääräinen neulaskato oli noin 18 %. Sekä keskimääräinen neulaskato että harsuuntuneiden puiden osuus oli suurempi kuin vuosina 1992 ja 1997. Tulokset eivät ole kuitenkaan vuoden 2002 osalta täysin vertailukelpoisia neulaskadon määrän arvioinnissa tapahtuneen muutoksen vuoksi. Tutkittujen puiden kuolleiden latvustojen huomioiminen arvioinnissa on suurentanut neulaskadon määrää kasvitautien vaurioittamilla puilla. Vuonna 2002 olikin enemmän näytealoja, joissa keskimääräinen neulaskadon määrä oli yli 30 %. Sekä vuosina 1997 että 2002 korkeimmat neulaskadon määrät todettiin Hovinsaassa, Karhulassa ja Sunilassa sekä useilla näytealoilla tutkimusalueen itä-, keski- ja pohjoisosissa. Kotkansaassa neulaskadon määrä on ollut alle 20 %.

Neulasvuosikertojen määrä kasvoi selvästi vuosien 1992-1997 välisenä aikana. Keskimääräinen neulasvuosikertojen määrä kasvoi 2,6:sta kolmeen. Neulasvuosikertojen määrissä ei ole tapahtunut muutoksia vuoden 1997 jälkeen. Vuosina 1997 ja 2002 neulasvuosikertoja on havaittu alle kolme Kotkansaaren, Hovinsaaren, Karhulan ja Sunilan alueilla.

Neulasten rikkipitoisuus oli vähentynyt merkittävästi 1990-luvun aikana. Selvästi kohonneita pitoisuuksia ei todettu yhdelläkään näytealalla vuonna 2002. Neulasten typpipitoisuus oli vuonna 2002 välttävää tasoa Kotkan pohjois- ja keskiosissa ja sopivana pidettävällä tasolla kuormitetuimilla alueilla Kotkan eteläosissa.

Vuoden 1997 jälkeen ei mäntyjen kunnossa ole tapahtunut merkittäviä muutoksia, joita voitaisiin selvästi pitää ilman epäpuhtauksien kuormituksesta aiheutuvina. Mäntyjen kuntoa ja runkojäkäläkasvillisuutta kuvaavat vyöhykkeet osoittavat, että ilman epäpuhtauksien selvät vaikutukset rajoittuvat Kotkan taajama-alueen ympäristöön eikä vaikutuksia enää ole juuri nähtävissä varsinaisen kaupunkialueen ulkopuolella.

6. Kirjallisuus

- Huttunen, S. 1982: Some experience on standardized monitoring of urban pollution in forest ecosystems - Teoksessa: Steubing, L. and Jäger, H.-J. (eds.): Monitoring of air pollutants by plants. Junk Publisher, The Hague. pp 155-161.
- Huttunen, S., Laine, K. & Torvela, H. 1985: Seasonal sulphur contents of pine needles as indices of air pollution - Ann. Bot. Fennici 22: 343-359.
- Jarva, M. & Tervahauta, A. 1989: Neulasten rikkianalyysivertailu - Silva Fennica 1989, Vol. 23, N:o 2: 117-124.
- Jokinen, J., Säynätkari, T., Mäkinen, E. & Häkkinen, A.J. 1986: Ilman epäpuhtauksien vaikutuksien kartoitus Kotkassa vuosina 1984-1985. Ilmatieteen laitos, Helsinki.
- Jukola-Sulonen E-L. 1985: Havupuiden vauriokartoitus. Ohjeet havupuiden harsuuntumisen arvioinnista ILME-projektia varten 1985 - Metsäntutkimuslaitos, metsänhoidon tutkimusosasto. Moniste.
- Jukola-Sulonen, E-L. & Salemaa, M. 1989: Metsäpuiden elinvoimaisuuden seuranta - Maasto-ohjeet ekstensiivitason (600-tason) koealoille v. 1989. Metsäntutkimuslaitos, ILME-projekti 1989. Moniste.
- Jukola-Sulonen, E-L., Mikkola, K. & Salemaa, M. 1990: The Vitality of Conifers in Finland 1986 - 1988 - In: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (eds.): Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, pp 523-560.
- Jussila, I., Joensuu, E. & Laihonen, P. 1999: Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä - Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Helsinki 1999.
- Kuusinen, M., Mikkola, K. & Jukola-Sulonen, E-L. 1990: Epiphytic Lichens on Conifers in the 1960's to 1980's in Finland - In: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (eds.): Acidification in Finland. Springer- Verlag, Berlin and Heidelberg, pp 397-420.
- Kärenlampi, L. 1990: Maakosysteemit vaarassa - uhkat ilmakehästä. Kuopion luonnon ystävien yhdistys r.y. Kuopio 1990.
- Lindgren, M. & Salemaa, M. 1999: Metsäpuiden elinvoimaisuuden arviointi. Vuotuisen seurannan (ICP level 1) ja ympäristön yhdenmetyksen seurannan koealat 1999. Metsäntutkimuslaitos 1999.
- Lindgren, M., Salemaa, M. & Tamminen, P. 1998: Metsien kunnan riippuvuus ympäristötekijöistä - Teoksessa Mälkönen, E. (toim.) 1998: Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti - Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691: sivut 119-148.
- Niskanen, I. 1993: Kotkan alueen bioindikaattoritutkimus - Kotkan kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 1/1993.
- Niskanen, I. 1995: Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattoriseuranta vuonna 1994. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996: 11.

- Niskanen, I., Veijola, H. & Ellonen, T. 1996: Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattoriseuranta vuonna 1996 - Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996: 17.
- Niskanen, I. & Ellonen, T. 1997: Kotkan kaupungin ilman laadun bioindikaattoriseuranta vuonna 1997 - Jyväskylän yliopisto. Ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti.
- Niskanen, I., Ellonen, T. & Witick, A. 1998: Kokkolan seudun ilman laadun bioindikaattoritutkimus vuonna 1997 - Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 150. Jyväskylän yliopisto 1998.
- Niskanen, I. & Ellonen, T. 1999: Kuopion ilmanlaadun bioindikaattoriseuranta vuonna 1999. Kuopion kaupunki. Erillisselvitykset Er 1999:9.
- Niskanen, I., Ellonen, T., Nousiainen, O., Veijola, H. & Miettinen, M. 1999a: Pohjois-Karjalan bioindikaattoritutkimus vuosina 1998 ja 1999 - Alueelliset ympäristöjulkaisut 146. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus. Joensuu 1999.
- Niskanen, I., Veijola, H., Ellonen, T. & Nousiainen, O. 1999b: Jyväskylän ilmanlaatu. Bioindikaattoritutkimus - Jyväskylän kaupunki, ympäristövirasto. Sarjanumero 4, julkaisu 1/1999. ISBN 952-9845-92-8.
- Niskanen, I., Ellonen, T. & Nousiainen, O. 2001: Uudenmaan ja Itä-Uudenmaan maakuntien alueen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2000 ja 2001 - Alueelliset ympäristöjulkaisut 238. Uudenmaan ympäristökeskus. Helsinki 2001.
- Niskanen, I., Polojärvi, K., Ellonen, T. & Nousiainen, O. 2003: Kanta-Hämeen ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuosina 2001-2002 - Alueelliset ympäristöjulkaisut 290. Hämeen ympäristökeskus. Hämeenlinna 2003.
- Partanen, P. & Veijola, H. 1996: YTV:n alueen ilman laadun bioindikaattoriseurannan tilastollinen evaluointi - Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996:18.
- Pihlström, M. & Myllyvirta, T. 1995: Ilman epäpuhtauksien leviämisen- ja vaikutustutkimus Itä-Uudellamaalla, Lahden seudulla, Mikkelin läänissä ja Joutsassa 1994-1995. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Tutkimusraportti. Porvoo 1995.
- Pihlström, M. & Myllyvirta, T. 2001: Ilman epäpuhtauksien leviämisen- ja vaikutustutkimus 1999-2000. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Tutkimusraportti. Porvoo 2001.
- Pulkkanen, P. 2002: Kotkan ilmanlaadun vuosiraportti 2001. -Kotkan kaupunki. Ympäristökeskus. Julkaisu 1/2002.
- Salemaa, M., Jukola-Sulonen, E-L, Nieminen, T. & Nöjd, P. 1993: Latvustunnukset ja puun kasvu elinvoimaisuuden ilmentäjänä - Teoksessa: Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E-L., Mikkilä, H. & Nieminen, T. (toim.) Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446. s. 75-92.
- Särkinen, S. 1984: Ilman epäpuhtauksien vaikutukset mäntyihin Kotkassa syksyllä 1984 - Kotkan kaupunki. Sosiaali- ja terveyslautakunta. Valvontaosasto. Moniste.

LIITE 1. Taulukko 1. Jäkäläkartoituksen tulokset. Lajilkm = havaittujen indikaattorilajien lukumäärä näytealalla, IAP = ilmanpuhtautta kuvaava indeksi, hp.vaur = *Hypogymnia physodeksen* vaurioluokan keskiarvo.

näyteala	x-koord	y-koord	lajilkm	IAP	hp.vaur
1	3487005	6729163	7	2,35	1,8
2	3488119	6728097	7	2,52	1,8
3	3487760	6726030	6	1,68	1,2
4	3489777	6726285	8	3,08	1,5
5	3487726	6724326	8	2,98	1,8
6	3489113	6724585	7	2,37	1,8
7	3489147	6722759	8	2,97	1,7
8	3491425	6724012	8	3,07	2,1
9	3491082	6721600	9	2,66	1,3
10	3493242	6720742	8	2,67	1,6
11	3495518	6721516	6	2,44	1,4
12	3493757	6722678	8	3,28	1,3
13	3495461	6723962	9	3,71	1,8
14	3494172	6724596	8	3,17	1,4
15	3497343	6720385	8	2,86	1,6
16	3499616	6721468	5	1,85	1,8
17	3496788	6725320	7	2,55	1,8
18	3498240	6724297	7	2,66	1,6
19	3499516	6719420	8	2,96	1,9
20	3497374	6719008	7	3,17	1,3
21	3497534	6716718	7	2,37	1,9
22	3501427	6721483	7	2,40	2,7
23	3500054	6718197	7	2,86	1,7
24	3499277	6715795	7	2,38	1,6
25	3499824	6713775	7	2,66	2,1
26	3500522	6711650	8	2,46	2,2
27	3495954	6719828	7	2,17	1,6
28	3495124	6717443	8	2,58	1,6
29	3493594	6719053	8	2,78	1,5
30	3495189	6716149	8	2,98	1,7
31	3493589	6716086	8	2,87	2,1
32	3493068	6717067	9	3,40	1,4
33	3492864	6719701	8	2,97	1,7
34	3493940	6717579	9	3,18	1,4
35	3493979	6715076	6	2,06	1,4
36	3493335	6714983	7	2,55	2,1
37	3490463	6719063	9	2,97	1,4
38	3490389	6715725	8	2,69	1,3
39	3490209	6713576	7	2,30	3,4
40	3489819	6711750	9	3,51	1,7
41	3487431	6717754	8	3,20	1,1
42	3487361	6717136	8	3,07	1,3
43	3490583	6714249	8	3,07	1,4
44	3489404	6714334	7	2,86	1,7
45	3489252	6719934	9	3,39	1,5
46	3488767	6720974	8	2,80	2,4
47	3490402	6710724	5	1,96	2,4
48	3498600	6719524	6	2,35	1,5
49	3499751	6723287	9	2,87	1,7
50	3491929	6724703	7	2,55	2,0
51	3491583	6711637	7	2,65	1,2

LIITE 1. Taulukko 1. jatkuu...

näyteala	x-koord	y-koord	lajilkm	IAP	hp.vaur
52	3491671	6712317	8	2,39	1,9
53	3500086	6712771	8	2,57	1,7
54	3492507	6713460	7	2,61	2,0
55	3492536	6710427	6	2,14	1,6
56	3492021	6710268	7	2,25	1,9
57	3494112	6712275	8	2,28	2,2
58	3493626	6711648	3	0,68	2,4
59	3493811	6712614	8	2,49	1,9
60	3493456	6712895	7	2,00	1,7
61	3494616	6713484	5	1,77	2,1
62	3494975	6712483	9	2,56	2,3
63	3495158	6711925	7	2,14	2,2
64	3495338	6712565	7	1,77	1,6
65	3495344	6710954	2	0,47	4,3
66	3495091	6711159	3	0,57	3,3
67	3494165	6713880	6	1,65	2,4
68	3494408	6714987	8	2,96	1,5
69	3495924	6715584	8	1,82	2,3
70	3496901	6714700	8	2,48	1,7
71	3491608	6709420	6	2,06	3,1
72	3492494	6709613	6	1,86	2,8
73	3491779	6708270	8	2,25	2,1
74	3492767	6708276	6	1,94	2,1
75	3492167	6707657	4	1,22	2,0
76	3493381	6708656	7	2,68	2,4
77	3494100	6704128	6	1,47	2,3
78	3492952	6706333	3	0,76	4,1
79	3495489	6703772	4	1,10	2,2
80	3493547	6704173	8	2,70	2,8
81	3494334	6703279	6	1,21	2,9
82	3492471	6703887	6	2,24	2,7
83	3492938	6703301	8	2,87	3,3
84	3493156	6709253	4	0,92	3,1
85	3493774	6706000	6	1,40	3,1
86	3494452	6705255	9	2,50	2,4
87	3493852	6708923	5	1,79	2,0
88	3493346	6708238	6	1,67	2,2
89	3493798	6709561	4	0,75	2,8
90	3497369	6714407	5	1,76	1,6
91	3497729	6713505	6	1,79	2,9
92	3496843	6712278	1	0,31	3,4
93	3498559	6713015	8	3,18	2,0
94	3498972	6714019	8	2,45	2,0
95	3499386	6713798	8	2,97	2,1
96	3498591	6712102	8	2,59	1,9
97	3499586	6711459	9	3,07	2,4
98	3496339	6712359	2	0,72	3,0
99	3498298	6711564	5	1,11	2,7
100	3498717	6710445	5	1,82	2,4
101	3499257	6710129	5	1,47	2,4
102	3499372	6709462	6	1,60	2,9
103	3498443	6710023	6	1,84	2,3
104	3497819	6709375	2	0,16	4,9

LIITE 1. Taulukko 1. jatkuu...

näyteala	x-koord	y-koord	lajilkm	IAP	hp.vaur
105	3498173	6709723	5	0,78	3,4
106	3497881	6709764	2	0,26	5,0
107	3497582	6709748	4	1,12	4,5
108	3498299	6710588	4	1,54	2,7
109	3496573	6711224	1	0,31	4,3
110	3495939	6711100	1	0,31	3,6
111	3496115	6709803	4	0,51	4,5
112	3496246	6710108	5	0,62	4,2
113	3494278	6710039	5	1,28	2,7
114	3494746	6709293	5	1,47	3,4
115	3494966	6708810	4	0,84	4,0
116	3495534	6708051	3	0,81	3,2
117	3495336	6707613	1	0,39	4,0
118	3495322	6707067	2	0,48	4,1
119	3495563	6707086	0	0,00	5,0
120	3496211	6705550	1	0,15	4,7
121	3497350	6706101	2	0,24	4,8
122	3498315	6705254	5	1,54	3,8
123	3497372	6705156	0	0,00	5,0
124	3497135	6704368	2	0,17	5,0
125	3496837	6704581	1	0,15	4,7

LIITE 1. Taulukko 2. Eri jäkälälajien keskimääräinen seuralaislajien lukumäärä (Q), esiintymisfrekvenssi havainto-aloittain (Hp.frekv., maksimi 125) ja suhteellinen esiintymisfrekvenssi rungoilla (R.frekv., maksimi 1,0).

Laji	Q	Hp.frekv.	R.frekv.
Hypogymnia physodes	3,78	121	91,52
Parmeliopsis ambigua	4,16	116	81,76
P.hyperopta & Imshaugia aleurites	4,59	97	60,32
Hypocenomyce scalaris	4,08	119	72,64
Bryoria spp.	5,17	86	36,32
Usnea spp.	5,33	73	28,00
Platismatia glauca	5,09	85	44,96
Vulpicida pinastri	5,10	57	20,96
Pseudevernia furfuracea	4,46	107	71,68
Cetraria chlorophylla	5,28	20	5,12
Parmelia sulcata	4,00	1	0,16
Algae + Scoliciosporum	4,02	110	64,80

LIITE 1. Taulukko 3. Jäkälälajien esiintymisfrekvenssit näytealoittain (maksimi 5). Lajien numerointi: 1 = *Hypogymnia physodes*, 2 = *Parmeliopsis ambigua*, 3 = *Parmeliopsis hyperopta* & *Imshaugia aleurites*, 4 = *Hypocenomyce scalaris*, 5 = *Bryoria* spp., 6 = *Usnea* spp., 7 = *Platismatia glauca*, 8 = *Vulpicida pinastri*, 9 = *Pseudevernia furfuracea*, 10 = *Cetraria chlorophylla*, 11 = *Parmelia sulcata*, 12 = *Algae & Scoliciosporum*.

ala	x-koord	y-koord	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3487005	6729163	5	5	5	4	0	2	2	2	5	0	0	5
2	3488119	6728097	5	5	5	3	1	3	3	5	0	0	0	4
3	3487760	6726030	5	5	4	3	2	0	2	0	1	0	0	2
4	3489777	6726285	5	5	4	2	2	4	5	3	5	0	0	4
5	3487726	6724326	5	5	4	1	4	3	5	1	5	0	0	0
6	3489113	6724585	5	5	4	5	4	1	3	0	4	0	0	2
7	3489147	6722759	5	5	5	1	1	5	5	1	5	0	0	0
8	3491425	6724012	5	5	5	5	2	5	5	1	5	0	0	0
9	3491082	6721600	5	5	5	5	2	2	3	1	5	1	0	2
10	3493242	6720742	5	5	5	4	5	1	3	1	4	0	0	3
11	3495518	6721516	5	5	5	5	3	0	4	0	5	0	0	3
12	3493757	6722678	5	5	5	5	4	3	5	3	5	0	0	0
13	3495461	6723962	5	5	5	2	5	2	5	5	5	2	0	1
14	3494172	6724596	5	5	5	5	3	5	5	1	5	0	0	0
15	3497343	6720385	5	5	5	4	3	2	5	1	5	0	0	4
16	3499616	6721468	5	5	5	4	3	0	0	0	3	0	0	4
17	3496788	6725320	5	5	5	4	3	1	4	0	5	0	0	0
18	3498240	6724297	5	5	5	3	5	0	4	1	4	0	0	1
19	3499516	6719420	5	5	5	4	4	1	5	2	5	0	0	5
20	3497374	6719008	5	5	5	3	5	4	5	0	5	0	0	1
21	3497534	6716718	5	5	5	4	3	2	3	0	3	0	0	5
22	3501427	6721483	4	5	5	1	4	0	3	2	3	0	0	0
23	3500054	6718197	5	5	5	5	5	3	3	0	5	0	0	2
24	3499277	6715795	5	5	2	0	1	0	3	5	5	0	0	5
25	3499824	6713775	5	5	5	5	4	3	2	0	5	0	0	5
26	3500522	6711650	5	5	5	5	1	4	0	1	5	1	0	4
27	3495954	6719828	5	5	5	1	1	0	2	3	3	0	0	5
28	3495124	6717443	5	5	3	1	1	1	3	5	5	0	0	5
29	3493594	6719053	5	5	5	1	1	2	4	4	4	0	0	2
30	3495189	6716149	5	5	4	1	1	3	5	4	5	0	0	4
31	3493589	6716086	5	5	4	3	4	2	5	1	5	0	0	4
32	3493068	6717067	5	5	4	3	4	5	5	2	5	1	0	1
33	3492864	6719701	5	5	5	2	1	3	5	3	5	0	0	0
34	3493940	6717579	5	5	5	4	3	4	5	1	5	1	0	3
35	3493979	6715076	5	5	5	4	3	0	2	0	3	0	0	1
36	3493335	6714983	5	5	5	5	3	2	3	0	5	0	0	3
37	3490463	6719063	5	5	5	3	3	3	4	1	5	1	0	0
38	3490389	6715725	5	5	2	2	3	3	5	1	5	0	0	2
39	3490209	6713576	3	5	5	4	3	1	4	0	4	0	0	4
40	3489819	6711750	5	5	4	2	5	3	5	3	5	2	0	4
41	3487431	6717754	5	5	3	2	5	4	5	2	5	0	0	2
42	3487361	6717136	5	5	5	3	5	3	4	0	5	1	0	1
43	3490583	6714249	5	5	5	1	3	1	4	5	5	0	0	2
44	3489404	6714334	5	5	5	0	2	0	5	4	5	0	0	0
45	3489252	6719934	5	5	5	2	4	4	5	2	5	1	0	0
46	3488767	6720974	5	5	2	2	3	4	3	3	5	0	0	4
47	3490402	6710724	5	5	4	2	0	0	5	0	3	0	0	4
48	3498600	6719524	5	5	5	5	1	5	0	0	5	0	0	5
49	3499751	6723287	5	5	5	5	2	2	4	2	5	1	0	2

LIITE 1. Taulukko 3. jatkuu...

ala	x-koord	y-koord	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50	3491929	6724703	5	5	5	5	2	4	2	0	5	0	0	0
51	3491583	6711637	5	5	5	5	2	2	5	0	5	0	0	3
52	3491671	6712317	5	5	2	1	4	1	3	2	4	0	0	5
53	3500086	6712771	5	5	5	5	1	4	1	0	5	2	0	2
54	3492507	6713460	5	5	0	2	2	2	5	4	5	0	0	3
55	3492536	6710427	5	5	4	5	2	0	3	0	5	0	0	5
56	3492021	6710268	5	5	5	4	2	2	2	0	4	0	0	2
57	3494112	6712275	5	5	3	4	3	1	1	3	4	0	0	5
58	3493626	6711648	5	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	5
59	3493811	6712614	5	5	1	1	2	1	5	3	5	0	0	5
60	3493456	6712895	5	5	0	3	1	1	4	2	4	0	0	5
61	3494616	6713484	5	5	1	5	0	4	0	0	5	0	0	2
62	3494975	6712483	5	5	5	5	2	2	2	1	5	1	0	5
63	3495158	6711925	5	5	5	5	2	1	1	0	5	0	0	4
64	3495338	6712565	5	4	3	5	1	1	0	0	5	1	0	3
65	3495344	6710954	5	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5
66	3495091	6711159	4	2	1	5	0	0	0	0	0	0	0	3
67	3494165	6713880	5	5	2	2	0	1	1	0	5	0	0	5
68	3494408	6714987	5	5	5	4	3	3	5	1	5	0	0	3
69	3495924	6715584	5	4	1	2	1	1	2	3	3	0	0	5
70	3496901	6714700	5	5	3	0	1	1	2	5	5	0	0	1
71	3491608	6709420	5	5	5	5	4	1	0	0	3	0	0	2
72	3492494	6709613	5	4	5	3	0	0	2	1	4	0	0	4
73	3491779	6708270	5	5	5	5	2	1	2	1	4	0	0	1
74	3492767	6708276	5	5	5	3	2	0	1	0	4	0	0	2
75	3492167	6707657	5	5	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0
76	3493381	6708656	5	5	4	5	5	3	0	0	5	2	0	5
77	3494100	6704128	5	5	1	4	1	0	1	0	4	0	0	3
78	3492952	6706333	4	0	2	5	0	0	0	0	3	0	0	4
79	3495489	6703772	5	4	0	5	1	0	0	0	3	0	0	3
80	3493547	6704173	5	5	1	0	3	2	5	3	5	0	0	2
81	3494334	6703279	5	5	0	3	1	0	1	1	1	0	0	3
82	3492471	6703887	5	5	5	5	3	0	2	0	5	0	0	3
83	3492938	6703301	5	5	5	4	4	4	2	1	5	0	0	0
84	3493156	6709253	5	4	0	2	0	0	0	1	1	0	0	5
85	3493774	6706000	5	4	1	4	0	1	2	0	3	0	0	5
86	3494452	6705255	5	5	2	5	2	2	1	3	5	2	0	2
87	3493852	6708923	5	4	0	5	2	0	4	0	5	0	0	4
88	3493346	6708238	5	5	1	5	1	0	3	0	4	0	0	5
89	3493798	6709561	5	2	0	1	0	0	1	0	1	0	0	5
90	3497369	6714407	5	5	3	5	3	0	0	0	4	0	0	4
91	3497729	6713505	5	3	4	5	3	1	0	0	4	0	0	5
92	3496843	6712278	4	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5
93	3498559	6713015	5	5	5	3	3	5	4	2	5	0	0	4
94	3498972	6714019	5	5	5	5	3	1	2	1	5	0	0	4
95	3499386	6713798	5	5	5	1	3	1	5	3	5	0	0	5
96	3498591	6712102	5	5	2	1	2	0	5	2	5	2	0	4
97	3499586	6711459	5	3	1	4	5	4	5	1	5	3	0	5
98	3496339	6712359	5	4	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5
99	3498298	6711564	5	4	0	1	0	1	1	0	2	0	0	5
100	3498717	6710445	5	5	5	5	0	0	1	0	5	0	0	5
101	3499257	6710129	5	5	0	4	1	1	0	0	5	0	0	5
102	3499372	6709462	5	4	0	5	0	2	1	0	5	1	0	3

LIITE 2(1)Harsuuntu miskartoituksen tulokset. Näytealan numero (ala), puun numero (puu), puun ympärysmitta rinnankorkeudelta (ymp, cm), neulasvuosikertojen lukumäärä (nvk) ja neulaskadon määrä (nkato, %).

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
1	1	98	3,0	18	6	1	74	3,0	18
1	2	90	3,0	12	6	2	101	3,5	13
1	3	84	4,0	13	6	3	86	3,0	17
1	4	75	4,0	13	6	4	94	3,5	18
1	5	75	3,5	16	6	5	92	3,5	22
1	6	86	3,0	22	6	6	91	3,0	19
1	7	103	3,0	20	6	7	77	3,5	16
1	8	80	2,5	19	6	8	75	3,5	17
1	9	100	4,0	13	6	9	99	3,0	20
1	10	99	3,5	14	6	10	98	3,5	18
2	1	91	3,5	13	7	1	112	3,5	20
2	2	76	3,5	11	7	2	76	3,0	17
2	3	78	3,5	14	7	3	81	3,0	18
2	4	90	4,0	15	7	4	90	3,5	14
2	5	66	3,5	13	7	5	78	3,4	20
2	6	84	3,5	14	7	6	96	3,0	20
2	7	84	3,5	12	7	7	77	3,0	19
2	8	83	3,5	17	7	8	93	3,0	17
2	9	98	4,0	16	7	9	114	3,0	12
2	10	100	3,5	16	7	10	96	3,5	14
3	1	100	3,5	22	8	1	90	3,0	18
3	2	83	3,0	24	8	2	86	4,0	18
3	3	93	3,0	18	8	3	87	3,0	18
3	4	105	3,0	25	8	4	80	3,0	20
3	5	73	3,0	22	8	5	92	3,0	23
3	6	85	3,0	16	8	6	86	3,0	16
3	7	108	3,0	10	8	7	79	3,5	15
3	8	106	3,0	20	8	8	85	3,5	14
3	9	109	3,0	15	8	9	94	3,5	18
3	10	122	3,0	27	8	10	79	4,0	9
4	1	99	3,0	18	9	1	95	3,0	25
4	2	78	3,5	20	9	2	98	2,5	30
4	3	74	3,0	20	9	3	96	3,5	16
4	4	86	4,0	15	9	4	105	3,5	16
4	5	96	3,5	18	9	5	110	4,0	15
4	6	88	4,0	14	9	6	98	4,0	12
4	7	116	3,0	19	9	7	76	4,0	13
4	8	94	3,5	17	9	8	117	3,0	15
4	9	109	3,5	19	9	9	71	3,0	14
4	10	83	4,0	18	9	10	101	3,0	15
5	1	114	3,0	13	10	1	84	3,0	20
5	2	100	3,5	16	10	2	117	3,0	26
5	3	107	3,5	17	10	3	124	3,0	20
5	4	101	3,0	14	10	4	98	3,5	17
5	5	102	3,5	16	10	5	89	3,5	15
5	6	103	3,5	14	10	6	99	3,0	19
5	7	103	3,0	13	10	7	76	3,0	18
5	8	104	3,0	20	10	8	109	3,0	18
5	9	124	3,0	14	10	9	96	3,0	19
5	10	104	3,0	18	10	10	95	3,5	16

LIITE 2(2)

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
11	1	101	3,0	17	16	1	89	3,5	11
11	2	77	3,5	13	16	2	97	3,0	18
11	3	109	3,0	15	16	3	90	3,5	12
11	4	96	3,5	16	16	4	85	3,5	10
11	5	119	3,5	11	16	5	85	3,0	21
11	6	79	3,5	14	16	6	122	3,5	13
11	7	78	3,0	15	16	7	114	3,5	18
11	8	87	3,0	12	16	8	104	3,5	25
11	9	94	2,5	19	16	9	95	3,0	16
11	10	76	3,0	13	16	10	129	3,5	17
12	1	95	3,0	22	17	1	68	3,0	35
12	2	127	3,0	20	17	2	89	3,5	30
12	3	85	3,0	18	17	3	99	3,0	42
12	4	83	3,0	30	17	4	72	3,0	22
12	5	89	3,0	20	17	5	75	3,5	29
12	6	100	3,0	22	17	6	91	3,0	16
12	7	99	3,0	23	17	7	88	3,5	27
12	8	85	3,0	20	17	8	102	3,0	22
12	9	97	3,0	16	17	9	91	3,5	24
12	10	109	3,0	13	17	10	68	3,5	19
13	1	102	3,0	22	18	1	105	3,0	30
13	2	103	3,0	16	18	2	67	3,5	10
13	3	112	2,5	35	18	3	97	3,0	21
13	4	115	2,5	27	18	4	88	3,0	28
13	5	95	2,5	29	18	5	83	2,5	32
13	6	98	2,5	31	18	6	108	3,5	17
13	7	93	2,5	34	18	7	101	3,0	23
13	8	102	3,0	26	18	8	85	3,5	20
13	9	82	2,0	38	18	9	84	3,0	19
13	10	117	3,5	18	18	10	91	3,5	13
14	1	103	3,5	10	19	1	92	3,0	22
14	2	86	2,0	60	19	2	115	3,0	24
14	3	84	3,5	21	19	3	91	3,5	9
14	4	95	3,0	20	19	4	89	3,5	16
14	5	95	3,0	20	19	5	83	3,5	19
14	6	87	3,0	25	19	6	83	3,0	26
14	7	104	3,0	27	19	7	81	3,5	18
14	8	77	3,0	25	19	8	73	3,5	12
14	9	87	3,5	14	19	9	128	2,5	15
14	10	117	3,0	22	19	10	82	3,5	20
15	1	100	3,5	13	20	1	106	3,5	17
15	2	91	4,0	11	20	2	108	3,5	21
15	3	93	3,5	12	20	3	86	2,5	26
15	4	87	4,0	12	20	4	76	3,5	15
15	5	77	3,0	18	20	5	70	3,5	16
15	6	98	3,5	10	20	6	106	2,5	24
15	7	90	3,0	18	20	7	108	3,0	18
15	8	103	3,5	16	20	8	93	3,5	20
15	9	112	3,5	17	20	9	88	3,0	28
15	10	88	3,5	13	20	10	89	3,0	21

LIITE 2(3)

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
21	1	98	3,5	21	26	1	90	3,0	20
21	2	100	3,0	25	26	2	90	3,0	16
21	3	93	3,5	19	26	3	103	2,5	19
21	4	111	4,0	17	26	4	99	3,5	13
21	5	104	4,0	10	26	5	86	2,5	30
21	6	101	3,5	50	26	6	75	3,5	17
21	7	122	4,0	23	26	7	77	3,5	11
21	8	109	4,0	13	26	8	92	1,0	65
21	9	108	4,0	15	26	9	82	3,0	14
21	10	101	4,0	15	26	10	100	3,5	13
22	1	101	3,5	19	27	1	108	3,5	11
22	2	91	3,5	14	27	2	111	4,0	14
22	3	89	3,0	15	27	3	77	4,0	10
22	4	96	2,5	20	27	4	111	3,0	23
22	5	113	2,5	30	27	5	120	3,5	19
22	6	88	3,5	16	27	6	98	4,0	17
22	7	73	3,5	21	27	7	118	3,0	24
22	8	80	3,5	13	27	8	96	3,0	19
22	9	102	3,0	17	27	9	114	3,5	15
22	10	99	3,5	23	27	10	105	4,0	9
23	1	95	3,5	15	28	1	110	3,5	18
23	2	82	3,5	21	28	2	110	4,0	13
23	3	103	3,0	26	28	3	102	3,5	15
23	4	118	3,0	25	28	4	83	0,0	100
23	5	97	3,0	19	28	5	97	3,0	10
23	6	106	3,0	21	28	6	79	0,0	100
23	7	76	3,5	9	28	7	89	3,0	11
23	8	88	2,5	22	28	8	85	4,0	18
23	9	109	3,0	26	28	9	90	3,0	21
23	10	94	3,0	20	28	10	96	3,5	17
24	1	86	3,5	8	29	1	115	3,5	18
24	2	99	3,5	13	29	2	112	3,5	29
24	3	81	3,5	15	29	3	77	3,5	13
24	4	75	4,0	16	29	4	112	3,5	18
24	5	93	3,5	17	29	5	113	3,5	19
24	6	81	3,5	13	29	6	91	3,0	17
24	7	73	3,5	18	29	7	90	3,0	26
24	8	86	4,0	10	29	8	113	3,5	14
24	9	76	3,5	12	29	9	114	3,0	18
24	10	85	3,0	11	29	10	106	3,0	35
25	1	107	2,5	18	30	1	100	3,0	19
25	2	105	2,5	30	30	2	91	4,0	15
25	3	95	3,0	25	30	3	90	4,0	13
25	4	109	3,0	20	30	4	76	3,5	20
25	5	118	3,0	26	30	5	93	3,5	18
25	6	87	3,0	21	30	6	83	3,5	14
25	7	102	2,5	19	30	7	88	3,0	17
25	8	107	3,0	18	30	8	97	4,0	10
25	9	86	3,0	21	30	9	96	3,0	14
25	10	97	3,0	17	30	10	102	3,5	17

LIITE 2(4)

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
31	1	77	3,5	10	36	1	84	3,5	24
31	2	114	3,0	13	36	2	80	3,5	16
31	3	81	3,5	9	36	3	108	3,0	20
31	4	100	3,5	11	36	4	124	3,5	20
31	5	103	3,5	18	36	5	116	3,0	17
31	6	111	3,0	14	36	6	99	3,0	15
31	7	106	3,0	21	36	7	103	3,0	16
31	8	144	3,0	17	36	8	120	3,5	16
31	9	80	3,0	18	36	9	125	3,5	14
31	10	113	3,0	15	36	10	112	3,5	20
32	1	80	3,0	20	37	1	86	3,5	13
32	2	82	3,0	25	37	2	90	3,0	13
32	3	113	3,0	24	37	3	104	3,0	14
32	4	90	3,0	17	37	4	94	3,5	12
32	5	80	3,0	23	37	5	87	2,5	32
32	6	88	3,0	21	37	6	97	3,0	13
32	7	90	3,0	17	37	7	70	3,0	16
32	8	72	3,0	18	37	8	112	3,0	24
32	9	83	3,0	35	37	9	95	3,0	25
32	10	75	3,0	37	37	10	92	3,0	29
33	1	88	3,5	17	38	1	115	3,5	12
33	2	114	3,5	17	38	2	92	4,0	10
33	3	86	3,0	27	38	3	89	4,0	11
33	4	73	3,5	20	38	4	98	3,5	11
33	5	77	2,5	32	38	5	101	3,5	16
33	6	87	3,0	12	38	6	95	4,0	10
33	7	95	3,0	30	38	7	92	4,0	15
33	8	88	3,0	19	38	8	109	3,5	10
33	9	77	3,5	10	38	9	82	3,5	15
33	10	86	3,0	20	38	10	96	3,5	17
34	1	87	3,5	15	39	1	98	3,5	18
34	2	94	3,5	12	39	2	89	3,0	25
34	3	83	3,0	21	39	3	81	3,5	16
34	4	110	3,0	22	39	4	75	3,0	20
34	5	80	3,5	20	39	5	91	3,0	19
34	6	100	3,5	18	39	6	83	2,5	26
34	7	115	3,5	15	39	7	96	2,5	33
34	8	83	3,5	14	39	8	74	3,0	27
34	9	112	2,5	35	39	9	78	3,0	29
34	10	94	3,5	16	39	10	76	3,5	14
35	1	96	3,0	18	40	1	112	3,5	15
35	2	98	3,0	17	40	2	87	3,0	16
35	3	87	3,0	28	40	3	83	3,0	22
35	4	96	3,0	13	40	4	89	3,0	20
35	5	102	3,0	16	40	5	87	3,0	22
35	6	84	3,0	20	40	6	94	3,0	19
35	7	109	3,0	20	40	7	75	3,0	16
35	8	85	3,0	18	40	8	83	3,5	15
35	9	115	3,0	15	40	9	87	3,0	19
35	10	84	3,0	12	40	10	97	3,0	20

LIITE 2(5)

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
41	1	109	3,0	19	46	1	119	3,5	19
41	2	114	3,0	20	46	2	116	3,0	13
41	3	84	3,5	11	46	3	90	3,5	16
41	4	77	3,5	14	46	4	88	3,5	18
41	5	68	3,0	8	46	5	80	3,5	10
41	6	96	3,0	11	46	6	95	3,5	14
41	7	117	3,0	13	46	7	109	3,0	20
41	8	95	3,0	28	46	8	128	3,0	18
41	9	78	3,0	11	46	9	110	3,0	32
41	10	95	3,5	8	46	10	104	3,0	17
42	1	88	3,0	17	47	1	97	3,0	13
42	2	90	3,0	32	47	2	98	3,0	15
42	3	104	3,0	40	47	3	86	3,0	10
42	4	85	3,0	24	47	4	92	3,0	9
42	5	94	3,0	18	47	5	93	3,0	14
42	6	102	2,5	27	47	6	95	3,0	12
42	7	77	2,5	32	47	7	93	3,0	15
42	8	79	3,0	25	47	8	80	3,0	16
42	9	86	3,0	17	47	9	80	3,0	20
42	10	102	3,0	17	47	10	94	3,0	22
43	1	115	3,5	15	48	1	97	3,5	18
43	2	85	3,0	14	48	2	66	3,0	14
43	3	83	3,5	16	48	3	104	3,5	17
43	4	88	3,0	17	48	4	88	3,5	13
43	5	100	3,0	23	48	5	87	3,5	22
43	6	97	3,0	12	48	6	93	3,5	24
43	7	90	3,0	18	48	7	78	3,0	15
43	8	81	3,0	18	48	8	93	3,0	20
43	9	80	3,0	18	48	9	93	3,5	15
43	10	105	2,5	20	48	10	98	3,5	13
44	1	104	3,5	13	49	1	76	3,0	20
44	2	114	3,0	19	49	2	80	3,0	16
44	3	97	3,5	20	49	3	100	3,5	18
44	4	123	3,0	22	49	4	126	3,5	24
44	5	104	2,5	18	49	5	88	3,5	15
44	6	105	3,5	12	49	6	85	3,0	25
44	7	109	3,5	17	49	7	69	3,5	11
44	8	104	3,5	20	49	8	93	3,0	25
44	9	104	3,0	16	49	9	70	3,5	10
44	10	105	3,0	15	49	10	85	3,5	28
45	1	91	3,5	21	50	1	98	3,0	13
45	2	97	3,0	16	50	2	85	3,0	19
45	3	111	3,5	20	50	3	92	2,5	17
45	4	91	3,0	21	50	4	96	2,5	26
45	5	86	3,0	18	50	5	100	3,0	21
45	6	113	3,0	19	50	6	96	3,0	14
45	7	95	3,5	13	50	7	98	3,0	13
45	8	99	3,5	11	50	8	95	3,0	19
45	9	85	3,0	12	50	9	117	3,5	12
45	10	101	3,5	16	50	10	72	3,0	12

LIITE 2(6)

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
51	1	82	3,5	15	56	1	105	3,5	20
51	2	76	3,5	13	56	2	81	3,5	10
51	3	74	3,0	10	56	3	114	3,5	16
51	4	96	2,5	22	56	4	120	3,5	13
51	5	132	3,0	24	56	5	110	3,0	21
51	6	89	3,5	20	56	6	92	3,5	23
51	7	104	2,5	30	56	7	82	3,5	13
51	8	66	3,5	10	56	8	104	3,5	28
51	9	76	3,5	13	56	9	83	3,5	17
51	10	97	3,0	20	56	10	82	3,5	16
52	1	98	3,0	19	57	1	121	3,5	15
52	2	92	3,0	25	57	2	84	3,5	10
52	3	98	4,0	8	57	3	66	3,5	17
52	4	70	2,5	25	57	4	86	3,5	13
52	5	91	3,0	17	57	5	136	4,0	12
52	6	76	3,0	20	57	6	72	3,5	14
52	7	95	3,0	25	57	7	93	3,0	18
52	8	99	3,0	19	57	8	101	3,5	10
52	9	107	3,0	22	57	9	75	3,5	14
52	10	104	3,0	14	57	10	74	3,5	11
53	1	86	3,5	13	58	1	126	3,0	18
53	2	75	3,5	10	58	2	139	4,0	15
53	3	62	3,5	25	58	3	90	3,5	17
53	4	76	3,5	14	58	4	91	3,0	16
53	5	69	3,5	12	58	5	112	3,5	20
53	6	78	3,5	13	58	6	91	3,0	19
53	7	80	2,5	26	58	7	92	3,5	16
53	8	72	3,0	17	58	8	117	3,0	19
53	9	75	2,5	25	58	9	92	3,0	18
53	10	71	3,0	10	58	10	93	3,0	25
54	1	94	4,0	13	59	1	100	3,5	18
54	2	108	2,5	28	59	2	75	3,5	15
54	3	111	3,0	15	59	3	84	3,0	16
54	4	111	3,5	10	59	4	100	3,5	17
54	5	89	3,5	16	59	5	120	3,0	11
54	6	107	3,5	12	59	6	102	3,5	20
54	7	88	3,0	18	59	7	90	3,5	25
54	8	91	3,0	13	59	8	105	3,5	21
54	9	79	3,0	16	59	9	102	3,0	18
54	10	87	3,0	9	59	10	86	3,0	17
55	1	118	3,5	18	60	1	78	3,5	14
55	2	118	3,5	15	60	2	119	3,0	20
55	3	133	3,0	17	60	3	84	3,0	10
55	4	113	3,0	17	60	4	73	3,0	11
55	5	123	3,0	16	60	5	77	3,5	9
55	6	123	3,0	20	60	6	78	3,0	21
55	7	117	3,0	17	60	7	86	3,0	16
55	8	102	3,0	22	60	8	120	3,5	15
55	9	84	2,5	21	60	9	72	3,5	15
55	10	99	3,0	18	60	10	83	3,5	16

LIITE 2(7)

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
61	1	107	3,0	28	66	1	99	3,0	18
61	2	96	4,0	13	66	2	86	3,0	16
61	3	78	4,0	13	66	3	109	3,0	14
61	4	91	4,0	19	66	4	104	2,5	30
61	5	90	3,5	16	66	5	112	3,0	13
61	6	112	4,0	10	66	6	100	3,0	15
61	7	114	4,0	12	66	7	125	3,0	14
61	8	105	4,0	11	66	8	112	3,0	19
61	9	118	3,5	10	66	9	119	3,0	12
61	10	122	3,5	21	66	10	106	3,0	18
61	1	78	3,0	19	67	1	88	3,0	21
61	2	74	2,5	25	67	2	98	3,0	14
61	3	70	2,5	31	67	3	99	0,0	100
61	4	75	2,5	33	67	4	108	3,5	12
61	5	105	3,0	17	67	5	93	3,5	18
61	6	72	2,5	27	67	6	72	3,0	17
61	7	75	3,0	12	67	7	79	3,5	13
61	8	86	2,5	18	67	8	89	3,0	17
61	9	88	3,0	20	67	9	86	3,0	13
61	10	82	3,0	24	67	10	87	3,0	18
63	1	97	3,5	23	68	1	92	3,0	10
63	2	102	3,0	30	68	2	91	3,0	14
63	3	93	3,0	22	68	3	103	3,5	26
63	4	77	3,5	20	68	4	81	3,0	16
63	5	87	3,5	19	68	5	78	3,0	20
63	6	98	4,0	17	68	6	80	3,0	15
63	7	86	3,5	20	68	7	76	3,0	19
63	8	103	3,5	25	68	8	81	3,0	11
63	9	87	3,5	21	68	9	69	3,5	16
63	10	88	3,0	18	68	10	96	3,5	18
64	1	99	3,5	22	69	1	108	3,0	16
64	2	73	3,5	13	69	2	80	3,5	17
64	3	81	3,5	12	69	3	90	3,5	14
64	4	92	3,5	14	69	4	86	3,5	10
64	5	85	3,5	15	69	5	81	3,0	18
64	6	69	2,5	22	69	6	86	3,0	20
64	7	71	3,5	17	69	7	95	3,5	22
64	8	99	1,5	37	69	8	87	2,5	24
64	9	110	4,0	21	69	9	84	3,5	15
64	10	93	4,0	15	69	10	85	3,5	12
65	1	90	2,0	38	70	1	86	3,5	14
65	2	118	3,0	16	70	2	87	3,5	10
65	3	141	2,0	48	70	3	92	3,5	13
65	4	134	3,0	19	70	4	92	4,0	15
65	5	115	3,0	27	70	5	96	4,0	16
65	6	88	3,0	15	70	6	104	3,5	14
65	7	110	3,0	13	70	7	96	4,0	18
65	8	117	3,0	25	70	8	89	3,0	17
65	9	80	3,0	18	70	9	97	3,5	11
65	10	98	3,5	16	70	10	74	3,5	12

LIITE 2(8)

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
71	1	121	2,5	24	76	1	62	3,5	19
71	2	127	3,0	12	76	2	79	3,0	15
71	3	117	3,5	15	76	3	82	3,0	26
71	4	107	3,0	20	76	4	107	3,0	23
71	5	121	3,0	18	76	5	67	3,0	14
71	6	104	3,0	28	76	6	89	3,5	13
71	7	111	2,5	25	76	7	95	3,0	15
71	8	131	3,0	20	76	8	98	3,5	17
71	9	113	2,5	25	76	9	71	4,0	12
71	10	136	2,0	28	76	10	98	3,0	17
72	1	111	3,0	17	77	1	93	3,5	7
72	2	127	3,5	10	77	2	71	3,0	19
72	3	92	3,0	15	77	3	102	4,0	9
72	4	82	3,5	12	77	4	129	3,5	17
72	5	84	3,0	10	77	5	92	3,5	8
72	6	129	3,0	12	77	6	102	3,0	16
72	7	126	3,0	13	77	7	122	3,5	14
72	8	111	3,0	10	77	8	91	4,0	11
72	9	119	3,5	13	77	9	92	4,0	6
72	10	109	3,5	11	77	10	107	3,0	9
73	1	88	2,5	14	78	1	133	3,5	10
73	2	97	2,5	55	78	2	137	3,5	15
73	3	112	3,0	14	78	3	175	3,5	10
73	4	130	3,0	25	78	4	145	3,0	16
73	5	91	1,5	65	78	5	83	3,5	11
73	6	95	3,0	18	78	6	108	3,0	20
73	7	91	3,5	10	78	7	101	4,0	12
73	8	90	3,5	13	78	8	118	3,0	15
73	9	86	3,5	17	78	9	131	3,5	11
73	10	107	3,5	13	78	10	154	3,0	12
74	1	92	3,5	13	79	1	102	3,5	26
74	2	105	3,0	28	79	2	106	2,5	20
74	3	88	3,5	23	79	3	117	3,5	10
74	4	90	3,0	14	79	4	91	3,0	16
74	5	109	3,5	13	79	5	105	3,5	14
74	6	109	3,0	20	79	6	93	3,5	12
74	7	89	3,0	14	79	7	104	2,0	35
74	8	91	3,0	22	79	8	83	3,0	18
74	9	107	3,0	19	79	9	99	3,0	16
74	10	99	3,0	16	79	10	122	2,0	45
75	1	97	3,0	16	80	1	88	2,5	15
75	2	101	3,5	10	80	2	106	3,0	12
75	3	86	3,5	9	80	3	85	4,0	9
75	4	96	3,5	11	80	4	76	4,0	14
75	5	87	4,0	7	80	5	86	3,0	13
75	6	83	3,5	8	80	6	81	3,0	12
75	7	80	3,5	12	80	7	80	3,5	15
75	8	100	3,0	25	80	8	97	4,0	8
75	9	98	3,5	13	80	9	95	3,0	13
75	10	99	3,5	12	80	10	105	3,5	10

LIITE 2(9)

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
81	1	87	3,5	12	86	1	99	3,0	19
81	2	84	3,0	11	86	2	98	2,0	29
81	3	103	4,0	10	86	3	121	3,0	20
81	4	87	3,5	21	86	4	104	3,0	19
81	5	113	3,0	17	86	5	115	3,0	22
81	6	115	4,0	8	86	6	77	3,0	8
81	7	83	3,0	14	86	7	82	3,0	12
81	8	84	2,5	38	86	8	94	3,0	12
81	9	120	3,5	16	86	9	84	4,0	9
81	10	102	3,5	11	86	10	102	3,0	17
82	1	101	2,5	22	87	1	97	2,5	30
82	2	82	2,5	35	87	2	95	3,0	17
82	3	100	2,0	23	87	3	94	3,0	18
82	4	98	3,0	16	87	4	110	3,0	15
82	5	102	3,0	13	87	5	84	3,0	13
82	6	101	2,5	30	87	6	103	3,0	18
82	7	89	2,5	24	87	7	123	3,0	16
82	8	94	3,5	12	87	8	101	3,0	22
82	9	78	3,0	10	87	9	99	3,0	20
82	10	78	3,5	15	87	10	81	3,0	17
83	1	104	4,0	15	88	1	93	3,0	23
83	2	100	4,0	20	88	2	94	3,5	17
83	3	112	3,5	16	88	3	103	3,5	13
83	4	100	3,0	13	88	4	111	3,5	12
83	5	91	2,5	25	88	5	77	3,5	11
83	6	101	3,0	14	88	6	84	3,0	13
83	7	116	3,5	17	88	7	74	3,0	15
83	8	117	3,5	10	88	8	96	4,0	17
83	9	95	3,5	38	88	9	76	3,0	18
83	10	100	2,5	45	88	10	75	4,0	11
84	1	105	4,0	12	89	1	113	3,5	9
84	2	110	3,5	12	89	2	116	3,0	12
84	3	107	3,5	14	89	3	104	3,5	17
84	4	104	3,5	8	89	4	123	3,0	23
84	5	106	3,5	15	89	5	101	3,0	13
84	6	114	3,5	10	89	6	86	3,0	12
84	7	105	3,5	9	89	7	98	3,0	22
84	8	115	3,5	18	89	8	77	3,0	14
84	9	91	3,0	20	89	9	122	3,0	19
84	10	140	3,0	11	89	10	122	3,0	15
85	1	104	3,5	17	90	1	111	2,5	25
85	2	121	3,0	13	90	2	71	3,0	23
85	3	118	3,5	15	90	3	75	3,0	20
85	4	135	3,5	13	90	4	83	3,0	17
85	5	136	3,5	11	90	5	93	3,0	17
85	6	128	3,5	11	90	6	97	3,0	18
85	7	124	3,5	10	90	7	106	3,0	19
85	8	136	3,5	5	90	8	96	3,0	17
85	9	144	3,5	8	90	9	81	3,0	19
85	10	124	3,0	10	90	10	125	3,0	18

LIITE 2(10)

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
91	1	134	3,0	16	96	1	99	3,0	19
91	2	126	3,0	26	96	2	74	0,0	38
91	3	126	2,5	38	96	3	100	3,5	12
91	4	123	3,0	18	96	4	78	3,5	8
91	5	136	3,0	17	96	5	86	3,0	18
91	6	116	3,0	16	96	6	88	3,0	29
91	7	126	3,0	24	96	7	94	3,0	13
91	8	123	3,0	25	96	8	64	3,5	12
91	9	122	3,0	22	96	9	95	3,0	21
91	10	130	3,0	30	96	10	79	3,5	11
92	1	117	3,0	18	97	1	99	3,5	12
92	2	105	3,5	21	97	2	115	3,5	15
92	3	122	3,5	13	97	3	100	3,5	10
92	4	109	2,5	28	97	4	93	3,5	9
92	5	91	3,5	11	97	5	92	3,5	16
92	6	117	3,0	20	97	6			
92	7	93	2,5	25	97	7			
92	8	106	2,5	27	97	8			
92	9	86	3,0	10	97	9			
92	10	103	3,0	12	97	10			
93	1	123	3,5	15	98	1	94	3,5	15
93	2	114	3,5	13	98	2	111	3,0	13
93	3	78	3,5	21	98	3	96	3,0	36
93	4	120	3,5	18	98	4	116	3,5	14
93	5	88	3,5	21	98	5	101	3,5	11
93	6	112	3,5	19	98	6	95	3,5	15
93	7	100	3,0	17	98	7	95	3,5	13
93	8	85	3,0	20	98	8	101	3,0	15
93	9	91	3,0	12	98	9	87	3,5	13
93	10	95	3,0	15	98	10	117	3,5	10
94	1	116	3,0	22	99	1	127	3,0	17
94	2	99	3,0	24	99	2	85	3,5	17
94	3	98	3,0	30	99	3	99	2,5	24
94	4	106	3,5	16	99	4	84	3,0	21
94	5	91	3,0	17	99	5	97	3,0	20
94	6	117	3,0	25	99	6	79	3,0	18
94	7	98	2,5	31	99	7	98	3,0	26
94	8	110	3,5	11	99	8	89	3,5	13
94	9	119	3,0	20	99	9	116	2,5	25
94	10	122	3,0	17	99	10	102	2,0	32
95	1	86	3,0	20	100	1	90	3,5	23
95	2	84	3,0	26	100	2	94	3,0	18
95	3	81	3,5	18	100	3	108	3,5	17
95	4	93	3,5	13	100	4	95	3,0	21
95	5	101	3,5	12	100	5	87	3,0	10
95	6	75	3,0	17	100	6	88	3,0	15
95	7	91	3,0	14	100	7	123	3,5	20
95	8	102	3,0	18	100	8	99	3,0	24
95	9	95	3,0	27	100	9	93	3,0	19
95	10	86	3,0	19	100	10	86	3,0	20

LIITE 2(11)

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
101	1	90	3,0	14	106	1	104	2,5	29
101	2	98	4,0	14	106	2	90	3,0	11
101	3	79	3,0	23	106	3	94	2,5	20
101	4	78	4,0	19	106	4	89	2,0	35
101	5	94	3,5	15	106	5	100	3,0	12
101	6	81	4,0	13	106	6	104	3,0	27
101	7	83	4,0	12	106	7	86	2,0	26
101	8	88	3,0	18	106	8	99	3,0	19
101	9	84	4,0	9	106	9	71	2,5	20
101	10	80	3,5	10	106	10	95	3,0	22
102	1	89	3,5	21	107	1	91	3,0	15
102	2	81	4,0	11	107	2	120	3,0	16
102	3	82	4,0	24	107	3	94	3,0	25
102	4	89	4,0	16	107	4	85	3,0	19
102	5	81	4,0	15	107	5	80	2,0	35
102	6	87	3,5	19	107	6	93	2,5	26
102	7	102	3,5	17	107	7	98	3,0	19
102	8	97	4,0	20	107	8	95	3,0	18
102	9	83	3,5	16	107	9	85	3,0	18
102	10	93	4,0	13	107	10	93	3,0	15
103	1	72	2,5	24	108	1	87	3,0	14
103	2	84	3,0	17	108	2	120	3,5	22
103	3	70	3,0	23	108	3	125	3,0	17
103	4	95	3,0	18	108	4	106	3,0	19
103	5	80	3,5	18	108	5	130	3,0	23
103	6	91	3,0	19	108	6	92	3,0	18
103	7	97	3,0	25	108	7	108	3,0	20
103	8	92	3,0	21	108	8	93	3,0	19
103	9	90	0,0	95	108	9	90	3,0	21
103	10	87	3,0	20	108	10	82	3,5	20
104	1	93	3,0	28	109	1	94	2,5	26
104	2	110	2,5	35	109	2	107	2,5	28
104	3	109	2,5	31	109	3	85	2,5	27
104	4	78	3,0	17	109	4	113	2,5	26
104	5	88	3,0	21	109	5	132	3,0	25
104	6	110	3,0	18	109	6	91	3,0	15
104	7	83	3,0	22	109	7	100	3,0	22
104	8	117	3,0	19	109	8	85	2,5	24
104	9	119	3,0	21	109	9	93	3,0	28
104	10	92	3,0	19	109	10	121	2,5	21
105	1	93	3,0	22	110	1	99	3,0	27
105	2	105	3,0	14	110	2	104	3,0	16
105	3	118	3,0	23	110	3	89	3,0	13
105	4	127	2,5	32	110	4	101	3,0	18
105	5	86	2,5	36	110	5	66	0,0	100
105	6	105	2,5	22	110	6	82	0,0	90
105	7	109	3,0	16	110	7	76	3,0	19
105	8	114	3,0	17	110	8	70	3,0	21
105	9	85	3,0	19	110	9	116	3,0	22
105	10	98	3,0	25	110	10	101	3,0	23

LIITE 2(12)

ala	puu	ymp	nvk	nkato	ala	puu	ymp	nvk	nkato
111	1	103	3,0	19	116	1	80	3,0	18
111	2	103	2,5	18	116	2	75	3,0	13
111	3	137	3,0	19	116	3	63	3,0	20
111	4	107	3,0	21	116	4	68	3,0	18
111	5	140	3,0	19	116	5	74	3,0	14
111	6	144	3,0	23	116	6	72	3,0	17
111	7	161	3,0	17	116	7	87	3,0	17
111	8	150	3,0	16	116	8	97	3,0	15
111	9	106	3,0	18	116	9	54	3,0	18
111	10	124	3,0	13	116	10	68	3,0	8
112	1	89	3,0	13	117	1	104	4,0	20
112	2	106	3,0	23	117	2	72	3,0	12
112	3	85	3,0	12	117	3	95	3,0	11
112	4	87	3,0	19	117	4	73	3,0	11
112	5	79	3,0	13	117	5	91	3,0	11
112	6	93	3,0	18	117	6	96	3,0	15
112	7	80	3,0	16	117	7	139	3,0	9
112	8	84	3,0	21	117	8	75	3,0	12
112	9	97	3,0	23	117	9	151	3,0	8
112	10	97	3,0	22	117	10	91	3,0	15
113	1	122	3,0	18	118	1	101	3,0	16
113	2	113	3,5	15	118	2	90	3,0	15
113	3	133	3,5	10	118	3	116	3,0	17
113	4	91	3,5	9	118	4	100	3,0	14
113	5	120	3,0	16	118	5	92	3,0	18
113	6	84	3,5	10	118	6	82	3,0	11
113	7	116	3,5	13	118	7	87	3,0	13
113	8	103	3,5	13	118	8	112	3,0	10
113	9	102	2,5	45	118	9	133	3,0	10
113	10	102	3,5	19	118	10	85	3,0	10
114	1	110	2,5	24	119	1	124	3,0	15
114	2	109	3,0	22	119	2	149	3,0	14
114	3	108	3,0	26	119	3	133	3,0	15
114	4	97	3,5	25	119	4	164	3,0	10
114	5	107	2,5	25	119	5	132	3,0	23
114	6	126	2,5	27	119	6			
114	7	109	3,0	17	119	7	155	3,0	18
114	8	93	3,0	19	119	8	132	3,0	11
114	9	99	2,5	25	119	9	119	3,0	17
114	10	114	3,0	20	119	10	136	3,0	15
115	1	86	2,5	20	120	1	119	3,0	16
115	2	93	1,0	87	120	2	96	3,0	19
115	3	96	3,0	15	120	3	120	3,5	17
115	4	97	3,0	15	120	4	128	3,0	18
115	5	99	3,0	18	120	5	80	3,0	15
115	6	86	2,5	22	120	6	179	3,0	14
115	7	90	2,0	37	120	7	87	4,0	16
115	8	98	1,0	42	120	8	75	3,0	14
115	9	96	2,0	37	120	9	109	3,0	13
115	10	124	2,0	28	120	10	99	3,0	17

LIITE 2(13)

ala	puu	ymp	nvk	nkato
121	1	131	3,0	20
121	2	98	3,0	19
121	3	149	3,0	30
121	4	139	3,0	16
121	5	106	3,0	17
121	6	129	2,5	18
121	7	111	3,0	16
121	8	87	2,5	21
121	9	102	3,0	22
121	10	128	3,0	16
122	1	73	3,5	11
122	2	110	3,0	10
122	3	95	3,0	14
122	4	116	3,0	15
122	5	102	3,0	20
122	6	113	3,0	16
122	7	85	3,0	12
122	8	127	3,0	13
122	9	109	3,0	24
122	10	97	3,0	20
123	1	97	3,0	15
123	2	115	3,0	14
123	3	107	3,0	16
123	4	80	3,0	11
123	5	111	3,0	10
123	6	127	3,0	18
123	7	118	4,0	18
123	8	124	3,0	12
123	9	86	4,0	15
123	10	120	3,0	16
124	1	107	3,0	17
124	2	113	3,0	13
124	3	96	3,0	16
124	4	103	3,0	12
124	5	122	3,0	17
124	6	136	3,0	18
124	7	140	3,0	20
124	8	155	3,0	24
124	9	136	3,0	19
124	10	140	3,0	15
125	1	140	2,0	29
125	2	156	3,0	12
125	3	128	3,0	15
125	4	92	3,0	16
125	5	170	2,5	22
125	6	131	3,5	6
125	7	135	3,0	12
125	8	113	3,0	10
125	9	112	3,0	18
125	10	109	3,0	15

Jyväskylän yliopisto
Ympäristöntutkimuskeskus

University of Jyväskylä
Institute for Environmental Research