



Kirjanpainajariskin arviointi ja hallinta



Helsingin kaupungin taajamametsissä



Kirjanpainajariskin arviointi ja hallinta



Helsingin kaupungin taajamametsissä

Julkaisija | Helsingin kaupungin rakennusvirasto
Kirjoittajat | Toni Karttunen, Tiina Saukkonen, Kari Heliövaara

Paino | Kopia Niini Oy, Helsinki 2013
ISBN | 978-952-272-558-5 (painettu versio), 978-952-272-559-2 (verkkoversio)
ISSN | 1238-9579

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	4
KÄSITTEITÄ	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta	7
1.2 Tutkimusalueen yleiskuvaus ja osa-alueiden sijoittelu	13
1.3 Osa-alueiden ominaisuus- ja puustotietoja	15
1.4 Feromonipyydysten sijoittelun ja asennuksen periaatteet sekä pyydystyyppi	19
1.5 Työn tavoitteet	21
2 TULOKSET	23
2.1 Kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät	23
2.2 Kirjanpainajan asuttamat elävät kuuset	28
2.3 Kruskalin-Wallisin yksisuuntainen varianssianalyysi ja parittainen vertailu	28
2.4 Säähavainnot seurantajaksolla	30
3 TULOSTEN TARKASTELU	33
3.1 Kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät ja kirjallisuuden esittämät riskirajat	33
3.1.1 Kirjanpainajan pyydystettyihin yksilömääriin vaikuttavat tekijät	33
3.1.2 Kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät suhteessa kirjallisuuden riskirajoihin	34
3.2 Kirjanpainajan asuttamat elävät kuuset	35
3.3 Kruskalin-Wallisin yksisuuntainen varianssianalyysi ja parittainen vertailu	36
3.4 Säätekijöiden vaikutus kirjanpainajan parveiluun ja yksilönkehitykseen	37
4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPIDESUOSITUKSET	38
5 KIRJALLISUUS	40
LIITTEET 1–12 TEEMAKARTTOJA OSA-ALUEIDEN A–D TAUSTATIEDOISTA.	44
Liite 1 Osa-alueen A kasvupaikat kuvioittain.	44
Liite 2 Osa-alueen A pääpuulajit kuvioittain	45
Liite 3 Osa-alueen A ikäluokat kuvioittain.	46

Liite 4 Osa-alueen B kasvupaikat kuvioittain.	47
Liite 5 Osa-alueen B pääpuulajit kuvioittain.....	48
Liite 6 Osa-alueen B ikäluokat kuvioittain.....	49
Liite 7 Osa-alueen C kasvupaikat kuvioittain.	50
Liite 8 Osa-alueen C pääpuulajit kuvioittain.....	51
Liite 9 Osa-alueen C ikäluokat kuvioittain.....	52
Liite 10 Osa-alueen D kasvupaikat kuvioittain.	53
Liite 11 Osa-alueen D pääpuulajit kuvioittain.....	54
Liite 12 Osa-alueen D ikäluokat kuvioittain.	55
LIITE 13 Puustotietoja metsäkuvioilta, joilla pyydykset sijaitisivat.....	56
LIITE 14 Vähintään 80-vuotiaat kuusivaltaiset metsiköt Helsingin alueella.	62
LIITE 15 Aineiston käsittelyn menettelytavat.	63
LIITE 16 Kuvaus Kruskalin-Wallislin yksisuuntaisesta varianssianalyysistä ja parittaisesta vertailusta.	64
LIITE 17 Pyydysten koordinaatit Helsingin kaupungin omassa koordinaatistojärjestelmässä ja pyydysten sijoittuminen puun rungolla ilmansuuntiin nähden.	66

TIIVISTELMÄ

Helsingin kaupungin taajamametsissä tutkittiin kirjanpainajaa (*Ips typographus*), joka on eläviä kuusia uhkaava tuholaiskovakuoriainen. Kesällä 2013 tehdyn tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida tutkimusalueella olevan kirjanpainajan aiheuttaman metsätuhoriskin määrää ja sijaintia sekä esittää suosituksia kirjanpainajan aiheuttaman metsätuhoriskin hallitsemiseksi. Tutkimuksen teki maatalous- metsätieteen ylioppilas Toni Karttunen Helsingin kaupungin rakennusvirastossa. Tutkimuksen ohjaajina toimivat professori Kari Heliövaara Helsingin yliopistosta sekä luonnonhoidon suunnittelusta vastaava metsänhoitaja Tiina Saukkonen Helsingin kaupungin rakennusvirastosta.

Helsingin kaupungin taajamametsiä on hoidettu monipuolisesti ottamalla huomioon monia metsiin liittyviä arvoja. Voimakkaita, metsämaisemaa selkeästi muuttavia hoitotoimenpiteitä on tehty yleisesti ottaen vähän, mikä on osaltaan lisännyt vanhojen metsien osuutta. Erityisesti varttuneisiin ja elinvoimaisuudeltaan heikentyneihin kuusikoihin liittyy usein kirjanpainajan tuhoriski. Talvella 2011–2012 myrsky aiheutti paikoitellen myrskytuhoja kuusikoissa Helsingin taajamametsissä, mikä lisäsi entisestään riskiä kirjanpainajatuhoille. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli arvioida kirjanpainajariskiä Helsingin kaupungin taajamametsissä ja esittää jatkotoimenpidesuosituksia tuhoriskin hallitsemiseksi. Päämenetelmänä käytettiin feromonipyydysten avulla toteutettavaa seurantaa. Tuloksia verrattiin kirjallisuudessa esitettyihin arvioihin kirjanpainajariskistä. Muita tuhoriskiin vaikuttavia tekijöitä, kuten kirjanpainajan asuttamien elävien kuusien määrää, tarkasteltiin myös kirjanpainajariskin arvioinnissa.

Kolmella alueella Keskuspuistossa ja yhdellä Herttoniemessä toteutettiin feromonipyydydysseuranta yhteensä 36 pyydyksellä 6.5.2013–4.7.2013. Ansatyypinä käytettiin Witasekin valmistamaa WitaTrap Multi Funnel -mallia ja feromonisyöttinä Witasekin Ipsowit® Standardia. Kirjanpainajia pyydystettiin yhteensä 79210 yksilöä. Feromonipyydydysseurannan tulosten perusteella kirjanpainajariski voi olla suuri yhdellä neljästä osa-alueesta. Kirjanpainajan asuttamia eläviä kuusia havaittiin kuitenkin kahden osa-alueen lisäksi yhdeltä kohteelta tutkimusalueen ulkopuolelta.

Tutkimuksen tulosten perusteella riskialttiimmat alueet kirjanpainajatuhoille olivat vanhojen tuhokohteiden ympäristöt ja sellaisten alueiden lähimetsät, joihin oli jäänyt kirjanpainajalle sopivaa lisääntymismateriaalia. Elinvoimaisuudeltaan heikentyneissä tai huonokasvuisissa

kuusikoissa kirjanpainajan tuhoriski voi myös olla suurempi. Jatkotoimenpidesuosituksina riskin hallitsemiseksi esitetään lyhyellä aikavälillä 1.) Maastoseurantaa ja kirjanpainajan asut-
tamien runkojen poistamista juhannukseen mennessä, 2.) Myrskytuhojen kartoitusta ja myrs-
kyn kaatamien järeiden kuusien pääsääntöistä korjuuta, 3.) Sään seurantaa ja 4.) Kirjan-
painajaan liittyvien tiedotteiden seuraamista. Pidemmän aikavälin jatkotoimenpidesuosituksi-
na esitetään riskialttiiden kuusikoiden vaiheittaista uudistamista ja metsikkörakenteiden muut-
tamista kirjanpainajatuhoille kestävämmiksi.

KÄSITTEITÄ

Kirjanpainaja = Kirjanpainaja (*Ips typographus* (L.)) on noin viiden millimetrin mittainen kaarnakuoriaisiin kuuluva hyönteinen. Kirjanpainaja elää kuusella (*Picea abies* Karst.) pää-
asiassa Euroopassa ja Aasiassa (Christiansen ja Bakke 1988). Kirjanpainaja kuuluu keskeises-
ti kuusikoiden lajistoon, sillä kirjanpainaja aloittaa kuolevien tai äskettäin kuolleiden kuusien
lahoamisprosessin (Wermelinger 2004). Suuri kirjanpainajakanta voi tosin iskeä myös eläviin
kuusiin (Wermelinger 2004).

Kirjanpainajariski = Suuri kirjanpainajakanta lisääntyy pääasiassa elävissä puissa, mistä
seuraa asutettujen puiden kuoleminen (Kärvemo ja Schroeder 2010). Tällöin kirjanpainaja-
kanta on epideemisellä tasolla (Kärvemo ja Schroeder 2010) ja uhka metsälle. Kannan epi-
deemisellä tasolla ei ole yksiselitteistä ja kaikkialla pätevää riskirajaa, vaan se on ennemmin
tapauskohtainen ja riippuvainen useasta tekijästä.

Kirjanpainajakannan endeeminen taso = Ei-epideeminen, alhainen ja yleisesti esiintyvä
kannan taso. Kirjanpainaja elää tällä tasolla usein kuolleissa tai kuolevissa puissa (Christian-
sen ja Bakke 1988).

Taajamametsä = "Taajamametsällä tarkoitetaan asutuksen keskellä tai välittömässä lähei-
syydessä sijaitsevaa metsää, jolle on tyypillistä luontainen tai luontaisen kaltainen metsäkas-
villisuus" (Hamberg ja Löfström 2012). Taajamametsien hoidon tavoitteet ovat usein moni-
naisia: puuston elinvoimaisuuden ylläpitäminen, monimuotoisuuden turvaaminen ja virkistys-
käyttömahdollisuuksien tarjoaminen asukkaille (Hamberg ja Löfström 2012).

Feromoni = Lajinsisäisessä viestinnässä käytetty aine, joka saa vastaanottavassa yksilössä aikaan tietyn reaktion esimerkiksi käyttäytymisessä (Karlson ja Lüscher 1959).

Feromoniseuranta = Menetelmä, jossa feromonilla varustettujen pyydysten avulla voidaan arvioida tarkasteltavien hyönteiskantojen tilaa ja mahdollista riskitasoa (Bakke 1991).

Hyönteistuhota = ”Hyönteis- ja sienituhoilla tarkoitetaan tässä laissa hyönteisten ja sienten metsässä kasvaville puille välittömästi tai välillisesti aiheuttamia sellaisia tauteja ja muita vahinkoja, joista aiheutuu merkittävää puun tuoton vähentymistä tai laadun heikkenemistä” (Laki metsän hyönteis- ja sienituhon torjunnasta (8.2.1991/263)).

Seurantajakso = Tässä tutkimuksessa se aika, jolloin feromonipyydykset olivat maastossa toiminnassa. Seurantajakson pituus oli kahdeksan viikkoa 6.5.2013–4.7.2013. Seurantajakso jakautui neljään pyydystysjaksoon.

Pyydystysjakso = Seurantajakson osa. Pyydystysjaksolla tarkoitetaan ajanjaksoa, kun pyydykset olivat toiminnassa ilman keräysastioiden tyhjennystä. Kukin pyydystysjakso loppui keräysastioiden tyhjennykseen ja seuraava pyydystysjakso alkoi heti tyhjennyksen jälkeen. Pyydystysjaksojen alkamis- ja loppumispäivät eivät olleet täsmälleen samat osa-alueilla, sillä pyydykset asennettiin osa-alueittain peräkkäisinä päivinä. Pyydystysjaksoja oli kaikkiaan neljä.

Tutkimusalue = Tässä tutkimuksessa se alue, jossa kirjanpajan feromonipyydyksenseuranta toteutettiin ja jonne pyydykset sijoitettiin. Laajempaan kokonaisuuteen tutkimusalue käsitti Helsingin kaupungin taajamametsät, mutta jakautui neljään pienempään osa-alueeseen.

Osa-alue = Tutkimusalueen osa. Kolme osa-aluetta sijoitettiin Keskuspuiston alueelle ja yksi Länsi-Herttoniemeen. Kukin osa-alue jakautui edelleen kolmeen koealaan.

Koeala = Osa-alueen perusyksikkö. Jokainen koeala sisälsi kolme feromonipyydyksistä. Koealakohtaisia arvoja kirjanpajan yksilömääristä tarkasteltiin kolmen pyydyksen keskiarvona ja yhteissummana.

Naapuruuskuvio = Tässä tutkimuksessa sellainen metsikkökuvio, joka sivusi feromonipyydyksiä sisältäviä metsikkökuviota.

Pohjapinta-ala (m^2/ha) = ”Yksittäisten elävien puiden rinnankorkeudelta mitattujen poikki-leikkauspinta-alojen summa kuorellisena mittayksikkönä hehtaaria kohden” (Häyrynen, 1994).

Lämpösumma = Kasvukauden vuorokausikohtaisten keskilämpötilojen kehittymistä kuvaava tunnus. Summaa kertyy sellaisilta päiviltä kasvukauden aikana, jolloin vuorokauden keskilämpötila on yli + 5 celsiusastetta. Summaan lasketaan + 5 celsiusasteen yläpuolelle jäävä osa. Yksikkönä käytetään vuorokausiastetta d.d. (=degree days). Esimerkiksi vuorokauden keskilämpötilasta + 10 lämpösummaa kertyy 5 d.d.

1 JOHDANTO

Helsingin kaupungin taajamametsissä tutkittiin kirjanpainajaa (*Ips typographus*), joka on eläviä kuusia uhkaava tuholaiskovakuoriainen. Kesällä 2013 tehdyn tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida tutkimusalueella olevan kirjanpainajan aiheuttaman metsätuhoariskin määrää ja sijaintia sekä esittää suosituksia kirjanpainajan aiheuttaman metsätuhoariskin hallitsemiseksi. Tutkimuksen teki maatalous- metsätieteen ylioppilas Toni Karttunen Helsingin kaupungin rakennusvirastossa. Tutkimuksen ohjaajina toimivat professori Kari Heliövaara Helsingin yliopistosta sekä luonnonhoidon suunnittelusta vastaava metsänhoitaja Tiina Saukkonen Helsingin kaupungin rakennusvirastosta.

1.1 Työn tausta

Kirjanpainaja on haitallisin kuusella elävä kaarnakuoriainen Euroopassa ja Aasiassa (Christiansen ja Bakke 1988). Kirjanpainaja elää rinnankorkeusläpimitaltaan yli 15 senttimetriä paksuissa kuusen rungoissa (Schroeder 2013). Kirjanpainaja käyttää ensisijaisesti heikentyneitä tai äskettäin kuolleita kuusia (Kausrud ym. 2011), jolloin kirjanpainajakanta pysyy usein endeemisellä tasolla (Christiansen ja Bakke 1988). Weslien (1989) totesi myös, että endeemisellä tasolla puolustuskyvyttömän materiaalin runsaus määrittää todennäköisimmin kirjanpainajakannan tason. Kirjanpainajasta tulee uhka metsälle vasta silloin, kun kirjanpainajakannan

ta on tietyn riskirajan yläpuolella (Bakke 1985). Kanta voi nousta epidemiatasolle joko runstuneen lisääntymismateriaalin, kuten tuulenkaatojen, tai elävien kuusien heikentyneen vastustuskyvyn seurauksena (Christiansen ja Bakke 1988). Epidemiatasolla kirjanpainaja voi lisääntyä myös elävissä kuusissa, mikä aiheuttaa vallattujen puiden kuoleamisen (Kärvemo ja Schroeder 2010).

Myrskytuhot ja metsään jääneet tuulenkaadot ovat usein olleet yhtenä keskeisenä tekijänä kirjanpainajaepidemian kehittymisessä. Eriksson (2007) totesikin, että myöhempien kirjanpainajatuhojen riski kasvaa sitä mukaan mitä enemmän puolustuskyvyttöä materiaalia jää metsään. Norjassa myrskyn seurauksena menetettiin alueellisesti pahimmillaan 3–10 prosenttia kasvavasta puustopääomasta Etelä-Hedmarkissa vuonna 1969 (Worrell 1983). Samalla alueella myrskyn jälkeen kirjanpainaja tappoi 1–10 prosenttia kasvavasta puustopääomasta (Worrell 1983). Etelä-Ruotsissa myrsky katkoi tai kiskoi juurineen noin 60 miljoonaa kuutiometriä kuusta tammikuussa 2005 (Långström ym. 2009). Yli puolet tuulenkaadoista oli vielä metsässä kesäkuussa 2005 (Långström ym. 2009). Samalla alueella uusi myrsky kaatoi noin 12 miljoonaa kuutiometriä kuusta tammikuussa 2007 (Långström ym. 2009). Långströmin ym. (2009) mukaan kirjanpainaja tappoi noin kolme miljoonaa kuutiometriä kuusta Etelä-Ruotsissa vuosina 2006–2008. Myös Lahden kaupungin kirjanpainajatuhot saivat alkunsa vuoden 2010 myrskyjen seurauksena, kun kuusituulenkaatoja jäi metsään (Kirjanpainajaepidemia uhkaa... 2012).

Kirjanpainaja pystyy hyökkäämään tuulenkaatoihin myös toisena kesänä myrskyn jälkeen (Göthlin ym. 2000). Ensimmäisenä kesänä myrskyn jälkeen kirjanpainajan hyökkäykset olivat runsaampia katkenneissa rungoissa kuin juuriyhteydet säilyttäneissä rungoissa (Göthlin ym. 2000). Toisena kesänä myrskyn jälkeen kirjanpainaja suosi juuriyhteydet säilyttäneitä runkoja katkenneiden runkojen sijaan (Göthlin ym. 2000). Tähän voi olla syynä esimerkiksi katkenneiden runkojen nopeampi lahoaminen, mikä tekee materiaalista vähemmän sopivaa kirjanpainajalle (Göthlin ym. 2000). Juuriyhteydet säilyttäneiden runkojen vastustuskyky on myös voinut olla vahvempi ensimmäisenä kesänä myrskyn jälkeen (Göthlin ym. 2000).

Elävien puiden vastustuskyky kaarnakuoriaisia vastaan riippuu puun hiilitaseesta, sillä puolustusmekanismit vaativat paljon energiaa hiilihydraattien muodossa (Christiansen ym. 1987). Puolustusmekanismeissa käytetyt yhdisteet kuuluvat sekundaarisiin yhdisteisiin (Kozlowski ym. 1991, s. 49). Gaylerin ym. (2008) mukaan hiilen käyttäminen kasvutoimintoihin on puol-

le tärkeämpää kuin hiilen käyttäminen sekundaarisiin yhdisteisiin. Myös runkopuun tuotanto eli läpimitan lisääminen tulee hiilen käytön tärkeysjärjestyksessä kasvutoimintojen jälkeen (Christiansen ym. 1987). Elinvoimaisella puulla on hyvä hiilitase ja hiiltä voidaan käyttää myös runkopuun lisäämiseen ja puolustusmekanismeihin. Puiden elinvoimaisuutta voidaankin arvioida tarkastelemalla esimerkiksi läpimitan kasvua (Bigler ja Bugmann 2004), sillä hidas kasvu viittaa alhaiseen elinvoimaisuuteen (Wyckoff ja Clark 2000). Biglerin ja Bugmannin (2004) tutkimuksissa kuoleville kuusille oli tyypillistä vähentynyt läpimitan kasvu. Christiansen ym. (1987) mukaan vanhenevat puut kuluttavat elävien solukoiden ylläpitoon yhä enemmän energiaa suhteessa siihen, kuinka paljon puut tuottavat energiaa yhteyttämällä. Tämä vähentää puun käytettävissä olevia energiavarastoja (Christiansen ym. 1987) esimerkiksi puolustusmekanismeihin. Elinvoimaisuudeltaan heikentyneet ja huonosti kasvavat varttuneet kuusikot voivat siis olla alttiimpia kirjanpainaajatuhoille.

Metsien altistumisen todennäköisyyttä kirjanpainaajatuhoille voi pienentää muuttamalla metsiköitä mahdollisimman monipuolisiksi ekosysteemeiksi (Wermelinger 2004). Tiheässä kasvanneiden puiden riski myrskytuhoille kasvaa, jos ympärillä olevat puut poistetaan (Kozlowski ym. 1991, s. 428). Tämä kannattaa ottaa huomioon erityisesti vanhempien kuusikoiden hakuissa. Uudistetuilla aloilla voisi metsiköiden monipuolisuuden lisäämiseksi suosia usean puulajin sekametsiköitä ja kuusien erikokoisrakennetta. Rauduskoivun (*Betula pendula* Roth) kaarnan haihtuvat yhdisteet ja hieskoivun (*Betula pubescens* Ehrh) lehtien tuoksu vähensivät feromonin houkuttelevuutta kirjanpainaajalle (Byers ym. 1998). Runsas koivujen osuus metsiköissä voisi tällöin pienentää kirjanpainaajariskiä.

Ympäristöstressit, kuten kuivuus ja maaperän alhainen ravinneisuus, voivat muuttaa puiden toimintaa, mikä voi edelleen lisätä hyönteistuhojen riskiä (Kozlowski ym. 1991, s. 25). Kuivuusstressin ajatellaan usein alentavan kuusien elinvoimaisuutta kirjanpainaajatuhoille, sillä massatuhoja ilmenee usein kuumien ja kuivien kesien yhteydessä (Christiansen ja Bakke 1997). Etelä-Norjassa vuodet 1969–1980 olivat kuivempia kuin yleensä (Worrell 1983). Lisäksi kesinä 1975 ja 1976 ilmeni vakavaa kuivuutta (Worrell 1983). Vuosina 1969–1977 sadevaje oli Etelä-Norjassa paikallisesti 600–1300 millimetriä, joka vastasi yhden vuoden normaalia sademäärää (Worrell 1983). Vuonna 2003 kuivuuden seurauksena vakavasti tuhoutu-neita (kuolleiden puiden osuus vähintään 50 prosenttia koko puuston lukumäärästä 0,25 hehtaarin ruudulla) alueita oli Helsingin metsissä korkeintaan 25 hehtaaria, pääosin kallioisilla alueilla Itä-Helsingissä (Leino ja Kämäri 2003). Christiansen ja Bakke (1997) arvelivat kui-

tenkin, että äärimmäisiä kuivuusjaksoja lukuun ottamatta kuumat ja kuivat kesät vaikuttavat kirjanpainajatuhojen voimakkuuteen ennemmin suoraan kirjanpainajan dynamiikan kuin epäsuorasti kuusen fysiologisten vaikutusten kautta.

Vaihtolämpöisenä hyönteisenä kirjanpainajan elintoiminnot ovat riippuvaisia ympäristön lämpötilasta. Kirjanpainajan kevätparveilu alkaa tavallisesti, kun ilman lämpötila kohoaa + 20 celsiusasteeseen (Annala 1969). Kirjanpainajan yksilönkehitys nopeutuu korkeammissa lämpötiloissa (Christiansen ja Bakke 1988), mutta yli + 47 celsiusasteen lämpötila alkaa olla kirjanpainajalle kuolettava (Annala 1969). Ympäristön lämpötila vaikuttaa myös kirjanpainajan esiintymisen todennäköisyyteen metsiköissä. Annalan (1969) mukaan tiheämmät ja varjoisimmat metsät altistuivat kirjanpainajalle myöhemmin ja lievemmissä määrin kuin valoisimmat metsät. Göthlin ym. (2000) havaitsivat, että kirjanpainaja iskeytyi runsaammin tuulenkaatoihin, jotka sijaitsivat valoisammilla alueilla, kuten aukoissa ja metsänreunoissa. Kirjanpainaja iskee usein paahteisiin metsänreunoihin (Christiansen ja Bakke 1988). Schroeder ja Lindelöw (2002) havaitsivat myös, että kirjanpainajan tappamia puita oli selvästi enemmän metsänreunoissa kuin metsiköiden sisällä. Mezei ym. (2011) lisäsivät, että tuulenkaatojen ympärillä kasvavat kuuset kärsivät lisääntyneen säteilyn aiheuttamasta stressistä, mikä altisti stressaantuneita puita kaarnakuoriaisten iskeytymille.

Kirjanpainajalla on usein vain yksi sukupolvi vuodessa Skandinaviassa (Annala 1969, Bakke 1983). Pouttu ja Annala (2010) totesivat kuitenkin, että Suomessa vuonna 2010 havaittiin kirjanpainajan toisen sukupolven yksilöitä toukka- ja koteloasteella. Tosin Austarån ym. (1977) mukaan kirjanpainajan vaillinaiset kehitysasteet eivät kestä kylmää riittävän hyvin selvitäkseen talvesta. Wermelinger (2004) vahvisti, että vaillinaisten kehitysasteiden talvikuolleisuus on korkeampi. Aikuiset ja lentokykyiset kirjanpainajat talvehtivat tavallisesti maan humuskerroksessa lumipeitteen alla (Annala 1969). Toisen sukupolven yksilöt selviävät talvesta siis todennäköisesti paremmin, mikäli yksilöt ehtivät aikuistua ja lentää humuskerrokseen talvehtimaan.

Ilmastomuutoksen vaikutusta kirjanpainajan biologiaan ja mahdollisen toisen sukupolven kehittymiseen on mallinnettu Fennoskandian oloihin (Lange ym. 2006, Jönsson ym. 2009). Jönssonin ym. (2009) mukaan 2,4–3,8 celsiusasteen vuotuisen keskilämpötilan nousu vuosisadan loppuun mennessä runsastuttaisi kevätparveilua ja tekisi kirjanpainajan toisen sukupolven kehittymisen täydellisemmäksi. Annala (1969) totesi, että kirjanpainajan kyky tuottaa

useampia sukupolvia saman kesän aikana lisää tuhojen vakavuutta. Långströmin ym. (2009) mukaan vuoden 2006 lämmin loppukesä mahdollisti kirjanpajainajan toisen sukupolven täydellisen kehittymisen Etelä-Ruotsissa. Lisäksi he arvioivat, että toisella sukupolvella saattoi olla merkittävä vaikutus loppukesän 2006 tuhoissa (Långström ym. 2009). Kirjanpajainajan täydellisesti kehittynyt toinen sukupolvi ja samalla todennäköisesti vakavammat tuhot ovat siis mahdollisia myös Suomessa. Poutun ja Annilan (2010) mukaan tämä edellyttää aikaista ja lämmintä kevättä, erityisen lämmintä kesää ja pitkää lämmintä syksyä.

Helsingin kaupungin tavoitteena on pitää metsät elinvoimaisina ennaltaehkäisten tuhoja, mikä säilyttäisi samalla metsien virkistys-, maisema- ja monimuotoisuusarvoja (Helsingin kaupungin... 2012). Toisaalta ikääntyneiden ja tuhoalttiiden kuusikoiden voimakkaat hakkuut ja uudistamistoimenpiteet eivät ole mahdollisia laajassa mittakaavassa, sillä Helsingin kaupungin luonnonhoidon linjauksen (2012) mukaan uudistusaukkojen enimmäiskoko on 0,3 hehtaaria. Kirjanpajainajatuhoille alttiiden varttuneiden kuusikoiden hakkaaminen yhdellä kertaa laajemmilta alueilta muuttaisi liiaksi metsämaisemaa. Helsingin kaupungille olisikin tärkeää pitää kirjanpajainajakanta endeemisellä tasolla riittävin metsänhoitotoimenpitein, jolloin laajempien ja vakavampien kirjanpajainajatuhojen todennäköisyys olisi pienempi eikä kuusikoiden hakkaamiseen kirjanpajainajatuhojen hallitsemiseksi tarvitsisi laajassa mittakaavassa ryhtyä (Saukonen, julkaisematon).

Feromonipyydyksiä voidaan käyttää apuna kirjanpajainajakannan suuruuden arvioinnissa ja lentoaktiivisuuden seurannassa (Bakke 1991, Faccoli ja Stergulc 2004, Långström ym. 2009). Schroeder (2013) totesikin, että kaarnakuoriaisten kantojen tiheyden seuranta on tärkeä apuväline puiden kuolleisuuden riskin arvioinnissa. Epideemisen kirjanpajainajakannan tason selvittämistä feromonipyydysseurannalla on tutkittu, mutta kaikkialla pätevän ja yksiselitteisen riskirajan määrittäminen on haastavaa. Taulukkoon 1 on listattu kirjallisuudessa esitettyjä arvioita kirjanpajainajakannan riskirajoista. Kaikissa tutkimuksissa pyydykset asennettiin hakkuuaukeille 20–30 metrin etäisyydelle metsänreunasta. Suurin osa tutkimuksista toteutettiin Pohjois-Euroopassa, mutta Faccolin ja Stergulcin (2004) tutkimus tehtiin Italiassa. Riskirajoja ei ole esitetty tutkimuksissa samalla tavalla, sillä joissakin tutkimuksissa riskiraja on annettu pyydyskohtaisena arvona ja joissakin kolmen pyydyksen yhteistuloksena. Lisäksi tutkimuksissa käytetyissä pyydyksmalleissa ja feromonisyöteissä oli eroja.

Taulukko 1. Kirjallisuudessa esitettyjä kirjanpainajakannan riskirajoja.

Esitetty riskiraja	Huomautukset	Tutkimusalue	Käytetty pyydysmalli ja feromoni	Viite
5000–6000 yksilöä pyydystä kohden aikavälillä 1.5.–15.8.	Eläviin kuusiin ei hyökätty esitetyn riskirajan alapuolella.	Norja	Vuoden 1979 norjalainen pyydysmalli Celamerck	Bakke 1985
10 000–12 000 yksilöä pyydystä kohden vuodessa.	Ei varsinaisesti riskiraja, vaan keskimääräinen yksilömäärä pyydyksissä tuhojen huippuvuonna 1980.	Norja	Vuoden 1979 norjalainen pyydysmalli	Bakke 1991
8000 yksilöä pyydystä kohden koko seurantajaksolla toukokuusta elokuuhun.	Riskirajan alapuolella kirjanpainajan odotettavissa oleva tuho oli alle 100 m ³ kuusta vuodessa 1200 hehtaarin tutkimusalueella Italiassa.	Italia	Theysohn [®] slot-trap. Pheroprax [®]	Faccoli ja Stergulc 2004
15 000 yksilöä kolmen pyydyksen ryhmää kohden toukokuun alusta lentokauden loppuun	Esitetyn riskirajan alapuolella vahinkotaso oli alhainen. Kirjanpainajalle sopivaa lisääntymismateriaalia ei tule olla runsaasti metsiköissä.	Tanska, Norja, Ruotsi, Suomi	Vuoden 1979 norjalainen pyydysmalli Ipslure [®] plastic bag.	Weslien ym. 1989
10 000 yksilöä kolmen pyydyksen ryhmää kohden toukokuun alusta lentokauden loppuun	Esitetyn riskirajan alapuolella vahinkotaso oli aina alhainen seuraavana vuonna. Riskirajan yläpuolella vahinkotaso voi olla suuri tai alhainen.	Tanska, Norja, Ruotsi, Suomi	Vuoden 1979 norjalainen pyydysmalli Ipslure [®] plastic bag.	Weslien 1992 (Syvennetty Weslien ym. 1989 pohjalta)
15 000 yksilöä kolmen pyydyksen ryhmää kohden ajalta 1.5.–15.8.	Esitetyn riskirajan alapuolella kirjanpainajan tappamien kuusien lukumäärä metsänreunoissa ylitti harvoin 10 kuusta kilometriä metsänreunaa kohden.	Ruotsi	Vuoden 1979 norjalainen pyydysmalli Pheroprax/Typosan	Lindelöw ja Schroeder 2001

Feromonipyydydysseuranta ei ole aukoton menetelmä, mikä tulee ottaa huomioon seurannasta saatavien tulosten tulkinnassa. Feromonipyydyksillä pyydystettyjen kirjanpainajien yksilömäärät arvioivat ainoastaan kuluvana kesänä parveilevien kirjanpainajien runsauden (Faccoli ja Stergulec 2004). Aikuistuvien kirjanpainajien runsautta ja elinvoimaisuutta ei voida selvittää feromonipyydydysseurannalla. On myös mahdollista, että pyydystetyt kirjanpainajat ovat peräisin muualta kuin paikallisesta populaatiosta (Weslien ja Lindelöw 1989). Tämän tekee mahdolliseksi se, että kirjanpainaja on hyvä lentäjä ja saattaa lentää useiden kilometrien päähän (Forsse ja Solbreck 1985). Långström ym. (2009) huomauttivat, että kirjanpainajan yksilömäärät feromonipyydyksissä ovat kirjanpainajan runsauden ohella riippuvaisia myös kirjanpainajan lentoaktiivisuudesta ja vaihtoehtoisten feromonilähteiden runsaudesta maisematasolla. Långströmin ym. (2009) tutkimuksissa kirjanpainajan yksilömäärät pyydyksissä olivat vuonna 2008 kolminkertaiset vuoteen 2006 verrattuna. Tästä huolimatta kuusien kuolleisuus oli selvästi alhaisempi vuonna 2008 kuin vuonna 2006 (Långström ym. 2009). Långström ym. (2009) mainitsivat, että vuonna 2008 tuulenkaadot olivat harvassa, mikä todennäköisesti runstutti kirjanpainajan parveilua ja yksilömääriä pyydyksissä.

Feromonipyydydysseuranta voi rajoitteistaan huolimatta antaa arvokasta tietoa kirjanpainajakannan tasosta. Hübertz ym. (1991) toistivat Weslienin ym. (1989) feromonipyydydysseurannan Tanskassa, ja tutkimuksesta saatiin samankaltaisia tuloksia. Hübertzin ym. (1991) tutkimus toteutettiin mahdollisimman samalla tavalla kuin Weslienin ym. (1989) tutkimus. Kaikilla tutkimusaloilla keskimääräiset kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät jäivät Weslienin ym. (1989) esittämien riskirajojen alapuolelle. Lisäksi yhdenkään yksittäisen pyydyksen kirjanpainajan yksilömäärä ei ylittänyt 4000 yksilöä vuodessa (Hübertz ym. 1991). Tutkimusalueilla ei havaittu vakavia tuhoja (Hübertz ym. 1991), mikä vahvisti Weslienin ym. (1989) esittämien riskirajojen paikkansapitävyyden Hübertzin ym. (1991) tutkimuksissa.

1.2 Tutkimusalueen yleiskuvaus ja osa-alueiden sijoittelu

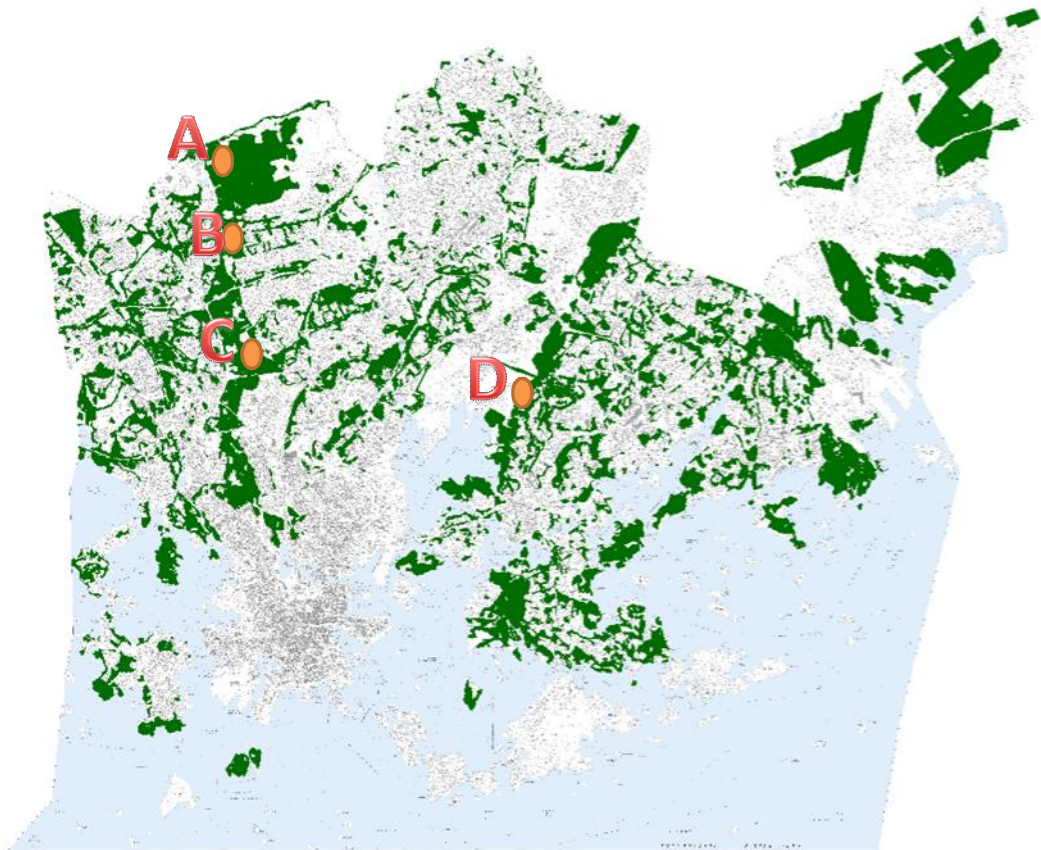
Helsingin kaupungilla oli hallinnollisen rajan sisäpuolella taajamametsiä 4020 hehtaaria vuonna 2006 (Helsingin kaupungin... 2012). Metsäalueita on eniten Helsingin pohjois- ja itäosissa, ja laajempia yhtenäisiä metsäalueita sijaitsee esimerkiksi Keskuspuistossa ja Viikin-Vanhankaupungin alueilla (Helsingin kaupungin... 2012). Pohjois-Helsingin metsät ovat pääasiassa kuusivaltaisia ja Itä-Helsingin metsät mäntyvaltaisia (Helsingin kaupungin... 2012).

Varttuneita ja melko vanhoja metsiä on runsaasti (Helsingin kaupungin... 2012). Kaupunkimetsien puulajisuhteet ovat monipuolisia, ja metsissä on runsaasti luonnontilaisen kaltaisia elinympäristöjä ylläpitämässä monimuotoista metsäluontoa (Helsingin kaupungin... 2012). Metsät tarjoavat asukkaille ulkoilu-, maisema- ja monimuotoisuusarvoja (Helsingin kaupungin... 2012).

Varttuneiden metsien elinvoimaisuus on kuitenkin alkanut heikentyä, mikä lisää tuhoriskiä metsiköissä (Helsingin kaupungin... 2012). Helsingin kaupungin luonnonhoidon linjauksen (2012) mukaan hoidon piirissä olevia metsiä hoidetaan metsien elinvoimaisuuden ja kestävyys turvaamiseksi. Toisaalta metsän istutusta ja uudistamiseen tähtääviä hakkuita on toteutettu vuosittain vain muutaman hehtaarin alueella (Helsingin kaupungin... 2012). On mahdollista, että uudistamistarve on suurempi kuin toteutuneet uudistamisalat.

Keskuspuisto on laajuudeltaan noin 1000 hehtaaria ja ulottuu Töölönlahdelta Haltialaan (Keskuspuisto - metsä... 2013). Metsää on noin 700 hehtaaria ja varttuneita kuusivaltaisia metsiä on runsaasti (Keskuspuisto - metsä... 2013). Haltialassa on Helsingin suurin yhtenäinen metsäalue, noin 300 hehtaaria (Keskuspuisto - metsä... 2013). Keskuspuistossa on neljä luonnonsuojelualuetta, ja luonto on muutenkin rikasta ja vaihtelevaa (Keskuspuisto - metsä... 2013). Helsingiläiset käyttävät Keskuspuistoa runsaasti ulkoiluun, virkistäytymiseen ja työmatkoihin (Keskuspuisto - metsä... 2013). Helsingin liikuntavirastosta vuonna 2006 saadun tiedon (Tosavainen, julkaisematon) mukaan Keskuspuistossa arvioidaan tehtävän noin kaksi miljoonaa ulkoilukäyntiä vuosittain.

Tutkimuksen osa-alueet A–C sijoitettiin Keskuspuistoon (kuva 1). Tämä on perusteltua, kun ottaa huomioon Keskuspuiston merkityksen sekä Helsingille että helsinkiläisille. Talvella 2011–2012 aiheutuneet myrskytuhot ja kesällä 2012 visuaalisesti havaittavat merkit kirjanpainajasta Keskuspuistossa (Heliövaara, julkaisematon) antoivat lisäperusteluja kolmelle osa-alueelle Keskuspuistossa. Osa-alueet sijoitettiin suurille ja yhtenäisille kuusivaltaisille alueille Keskuspuiston pohjois-, keski- ja eteläosiin. Osa-alue D sijoitettiin Länsi-Herttoniemeeseen vertailukohteeksi Keskuspuiston osa-alueille (kuva 1). Tähän on syynä se, että kirjanpainajahavainnot ovat olleet harvinaisempia Herttoniemen ympäristössä viime vuosina (Heliövaara, julkaisematon).



Kuva 1. Osa-alueiden sijoittuminen Helsingissä. A: Haltiala, B: Pakila, C: Maunula, D: Länsi-Herttoniemi. Vihreät alueet ovat metsiä.

1.3 Osa-alueiden ominaisuus- ja puustotietoja

Liitteissä 1–12 on teemakarttoja osa-alueiden kasvupaikoista, pääpuulajeista ja ikäluokista metsikkökuvioittain. Liitteessä 13 on puustotietoja niiltä metsikkökuvioilta, joilla pyydykset sijaitsivat. Puustotulosteiden (liite 13) jaksoluokituksessa 1 tarkoittaa vallitsevaa jaksoa ja 2 alikasvosta. Teemakartat ja puustotulosteet saatiin Tforest-paikkatietojärjestelmästä Helsingin kaupungin Rakennusvirastolta. Puustotulosteissa (liite 13) lukuarvot ovat kokonaislukuja, mutta Tforest käyttää laskennoissa desimaaleja. Tämä automaattinen pyöristäminen voi aiheuttaa pieniä eroja puustotunnuksissa kuvioden sisällä (liite 13). Kuviin 2–4 on koottu yhteen vetona osa-aluekohtaisia ominaisuus- ja puustotietoja.

Osa-alueella A koealat A1 ja A2 sijaitsivat lehtomaisella kankaalla (liite 1). Koeala A3 sijaitsi sen sijaan lehdossa (liite 1). Naapuruuskuvioista 3,7 hehtaaria 27,45 hehtaarista oli tuoretta kangasta karumpia (liite 1). Kuusivaltaisia naapuruuskuvioita oli 22,4 hehtaaria (liite 2). Koe-

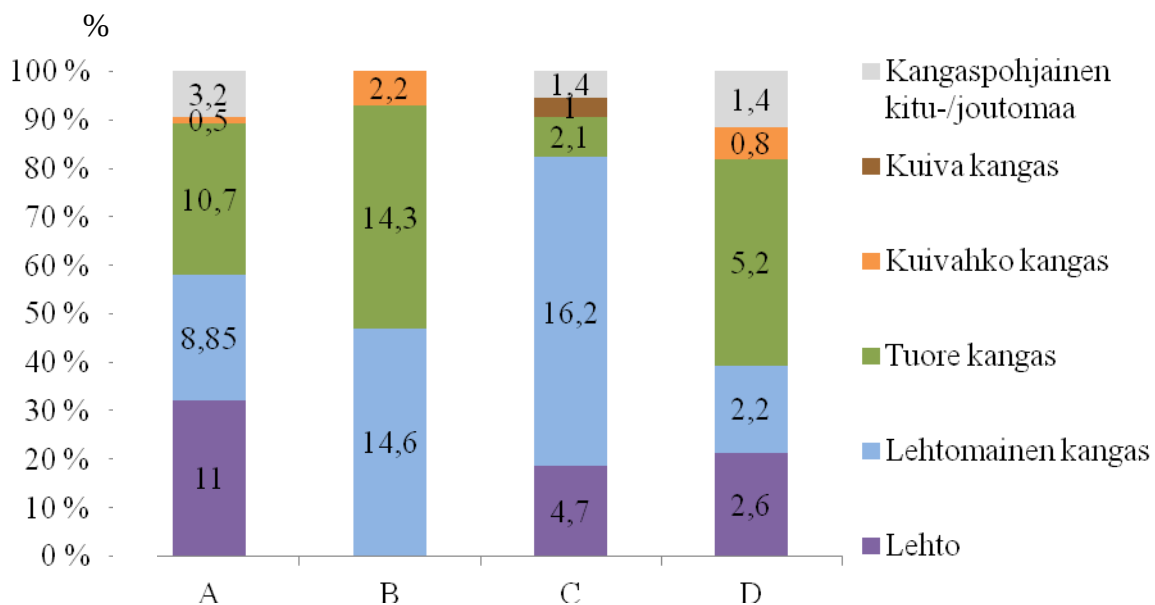
alojen A1–A3 kuusikot olivat yli 80-vuotiaita, ja naapuruuskuvioilla 3,95 hehtaarilla puusto oli 80-vuotiasta tai nuorempaa (liite 3). Osa-alueen A kuusikot (29,2 hehtaaria) jakautuivat lähes tasan kolmeen osaan lehdon, lehtomaisen ja tuoreen kankaan kesken (kuva 5). Vain 0,9 hehtaaria kuusikoista oli alle 80-vuotiasta (kuva 6). Pyydysten metsikkökuvioilla 379, 384 ja 417 kokonaispohjapinta-ala vaihteli 25 neliömetristä hehtaarilla 33 neliömetriin hehtaarilla (liite 13). Kuusen osuus kokonaispohjapinta-alasta oli 13–28 neliömetriä hehtaarilla (liite 13). Kuusen keskiläpimitta kuvioilla oli 24–28 senttimetriä (liite 13). Puuston runkotilavuus vaihteli 274 kuutiometristä hehtaarilla 368 kuutiometriin hehtaarilla (liite 13). Kuusen osuus runkotilavuudesta oli 144–323 kuutiometriä hehtaarilla (liite 13).

Osa-alueella B koealat B2 ja B3 sijaitsivat lehtomaisella kankaalla (liite 4). Koeala B1 sijaitsi tuoreella kankaalla (liite 4). Naapuruuskuvioista 2,2 hehtaaria 25,8 hehtaarista oli tuoretta kangasta karumpia (liite 4). Kuusivaltaisia naapuruuskuvioita oli 13,3 hehtaaria (liite 5). Koealoilla B1 ja B3 puusto oli 81–100-vuotiasta (liite 6). Koealan B2 puusto oli 61–80-vuotiasta (liite 6). Ikäluokaltaan alle 80-vuotiaita naapuruuskuvioita oli yhteensä 15,1 hehtaaria (liite 6). Osa-alueen B kaikki kuusikot (18,6 hehtaaria) kasvoivat joko lehtomaisella tai tuoreella kankaalla (kuva 5). Noin puolet kuusikoista oli alle 80-vuotiaita (kuva 6). Pyydysten metsikkökuvioilla 327, 320 ja 309 kokonaispohjapinta-ala vaihteli 22 neliömetristä hehtaarilla 28 neliömetriin hehtaarilla (liite 13). Kuusen osuus kokonaispohjapinta-alasta oli 11–16 neliömetriä hehtaarilla (liite 13). Kuusen keskiläpimitta kuvioilla oli 31–35 senttimetriä (liite 13). Puuston runkotilavuus vaihteli 197 kuutiometristä hehtaarilla 306 kuutiometriin hehtaarilla (liite 13). Kuusen osuus runkotilavuudesta oli 109–192 kuutiometriä hehtaarilla (liite 13).

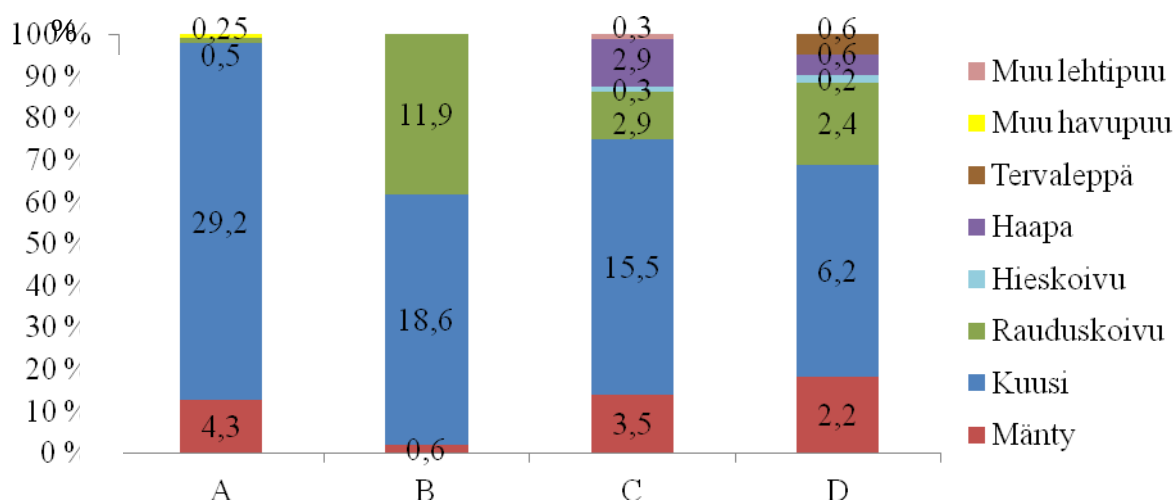
Osa-alueella C kaikki koealat sijaitsivat lehtomaisella kankaalla (liite 7). Naapuruuskuvioista 2,4 hehtaaria 16,7 hehtaarista oli tuoretta kangasta karumpia (liite 7). Kuusivaltaisia naapuruuskuvioita oli 6,8 hehtaaria (liite 8). Koealoilla C1 ja C2 puusto oli 101–120-vuotiasta (liite 9). Koealan C3 puusto oli 121–140-vuotiasta (liite 9). Ikäluokaltaan alle 80-vuotiaita naapuruuskuvioita oli yhteensä 5,5 hehtaaria (liite 9). Osa-alueen kaikista kuusikoista (15,5 hehtaaria) suurin osa kasvoi lehtomaisella kankaalla (kuva 5). Kuusikoista kolmannes oli yli 120-vuotiasta ja loput yli 100-vuotiaita (kuva 6). Pyydysten metsikkökuvioilla 212, 209 ja 177 kokonaispohjapinta-ala vaihteli 21 neliömetristä hehtaarilla 30 neliömetriin hehtaarilla (liite 13). Kuusen osuus kokonaispohjapinta-alasta oli 15–25 neliömetriä hehtaarilla (liite 13). Kuusen keskiläpimitta kuvioilla oli 29–34 senttimetriä (liite 13). Puuston runkotilavuus vaihteli

228 kuutiometristä hehtaarilla 350 kuutiometriin hehtaarilla (liite 13). Kuusen osuus runkotilavuudesta oli 160–303 kuutiometriä hehtaarilla (liite 13).

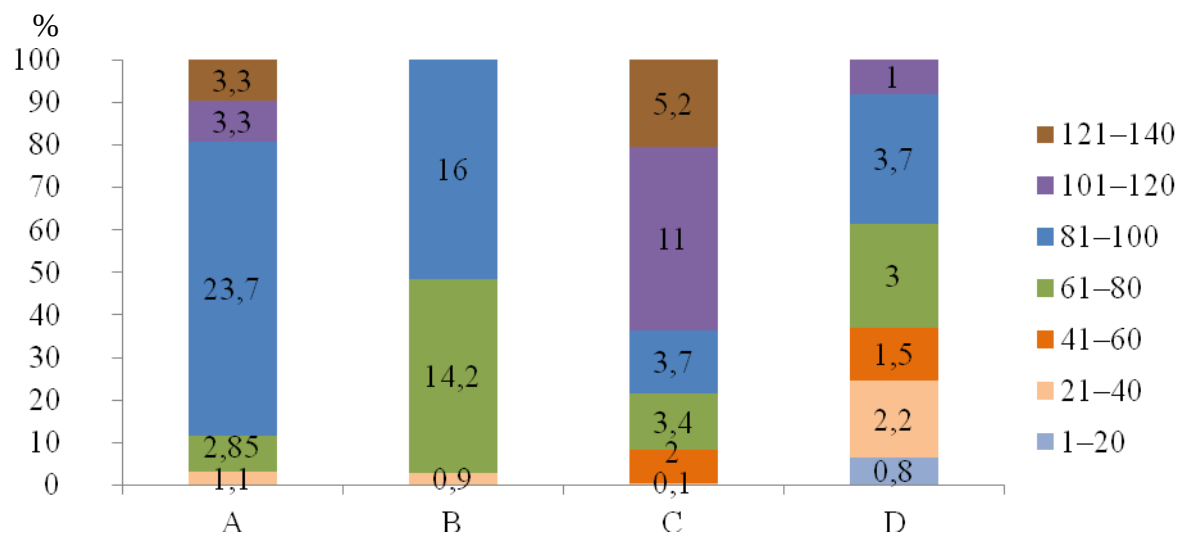
Osa-alueella D koeala D1 sijaitsi tuoreella kankaalla, D2 lehtomaisella kankaalla ja D3 lehdoissa (liite 10). Naapuruuskuvioista 2,2 hehtaaria 8,3 hehtaarista oli tuoretta kangasta karumia (liite 10). Kuusivaltaisia naapuruuskuvioita oli 2,3 hehtaaria (liite 11). Koealoilla D1 ja D2 puusto oli 61–80-vuotiasta (liite 12). Koealan D3 puusto oli 81–100-vuotiasta (liite 12). Ikäluokaltaan alle 80-vuotiaita naapuruuskuvioita oli 4,5 hehtaaria (liite 12). Osa-alueen kaikista kuusikoista (6,2 hehtaaria) tuore ja lehtomainen kangas olivat yleisimmät kasvupaikat, mutta kuusikoita tavattiin myös lehdoilta (kuva 5). Noin puolet kuusikoista oli alle 80-vuotiaita (kuva 6). Pyydysten metsikkökuvioilla 11, 9 ja 16 kokonaispohjapinta-ala vaihteli 23 neliömetristä hehtaarilla 35 neliömetriin hehtaarilla (liite 13). Kuusen osuus kokonaispohjapinta-alasta oli 14–31 neliömetriä hehtaarilla (liite 13). Kuusen keskiläpimitta kuvioilla oli 18–42 senttimetriä (liite 13). Puuston runkotilavuus vaihteli 235 kuutiometristä hehtaarilla 383 kuutiometriin hehtaarilla (liite 13). Kuusen osuus runkotilavuudesta oli 148–341 kuutiometriä hehtaarilla (liite 13).



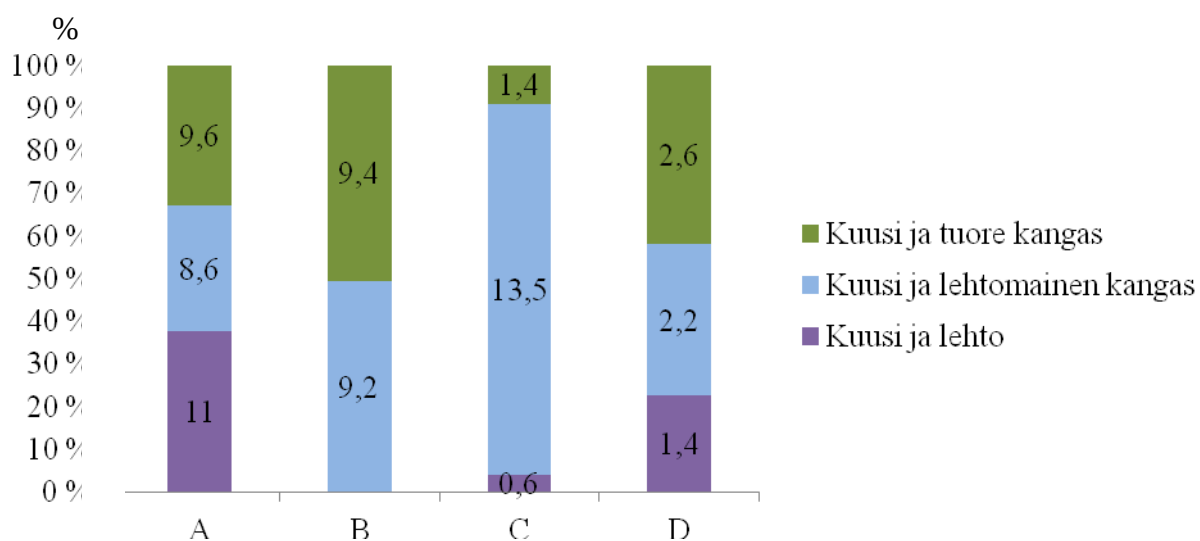
Kuva 2. Metsikkökuvioiden kasvupaikat osa-alueilla A, B, C ja D. Pylväiden sisällä oleva numero kertoo kuvioiden pinta-alan hehtaareissa kullakin kasvupaikalla. Sama periaate kuvissa 3–6.



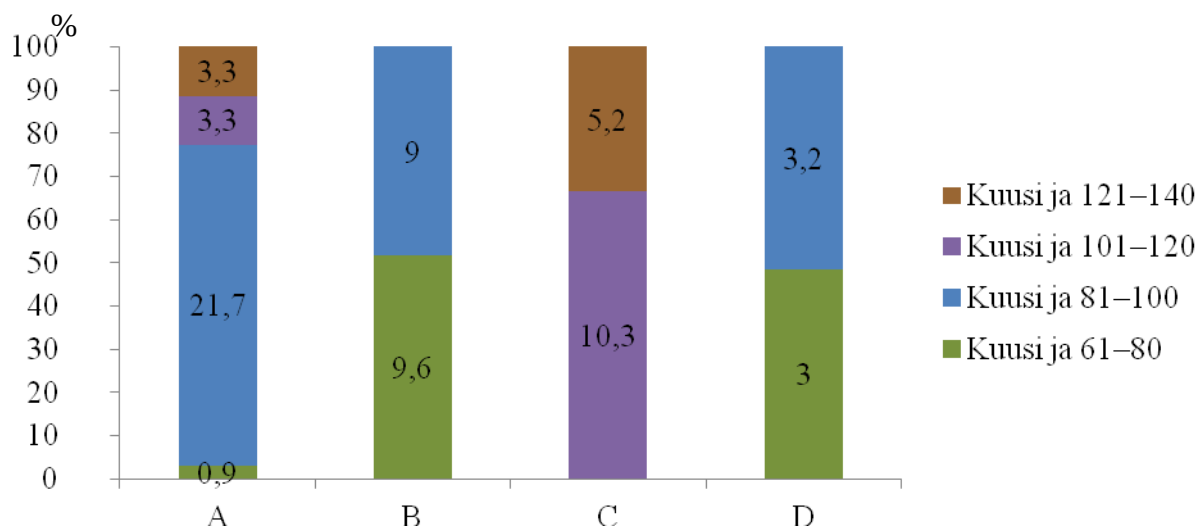
Kuva 3. Metsikkökuvioiden pääpuulajien osuus osa-alueilla A, B, C ja D.



Kuva 4. Metsikkökuvioiden ikäluokkien jakautuminen osa-alueilla A, B, C ja D.



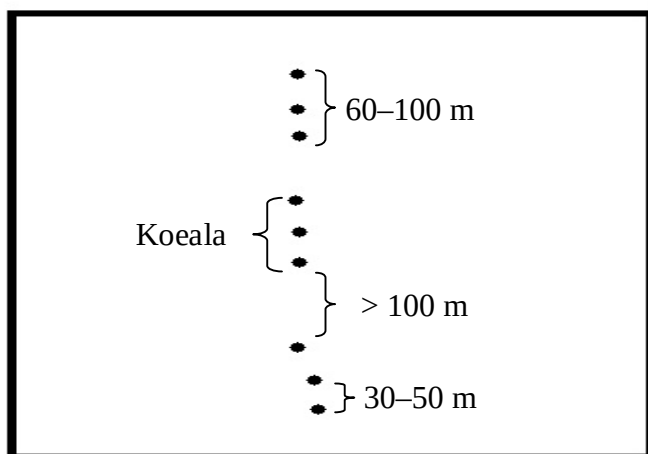
Kuva 5. Kuusikoiden jakautuminen kasvupaikoittain osa-alueilla A, B, C ja D.



Kuva 6. Kuusikoiden jakautuminen ikäluokittain osa-alueilla A, B, C ja D.

1.4 Feromonipyydysten sijoittelun ja asennuksen periaatteet sekä pyydystyyppi

Pyydysten sijainnit määritettiin maastokäynneillä 24.4.2013 ja 3.5.2013–4.5.2013. Osa-alueiden pääasialliset sijainnit päätettiin aiemmin tutkimuksen suunnitteluvaiheessa, mutta maastokäynneillä osa-alueet ja pyydykset saivat tarkat sijainnit. Pyydysten sijoittelussa yritettiin ottaa huomioon usea tekijä. Ensinnäkin osa-alueet tuli sijoittaa varttuneisiin kuusivaltaisiin metsiin. Toiseksi pyydysten ja koealojen väliset etäisyydet osa-alueen sisällä yritettiin saada vastaamaan kuvan 7 tilannetta. Pyydysten paikannuksessa käytettiin apuna maastokarttoja ja maastogps-laitetta. Kyseessä oli Dolphin 9500 -maastotallennin, johon on asennettu Tforest metsätietojärjestelmän TforestMaasto sovellus. Laitteessa on kytkettynä Bluetooth-tekniiikalla toimiva GPS-paikannin, joka pystyy osoittamaan sijaintia mobiilisti muutaman metrin tarkkuudella.



Kuva 7. Pyydysten periaatteellinen sijoittuminen yhden osa-alueen sisällä.

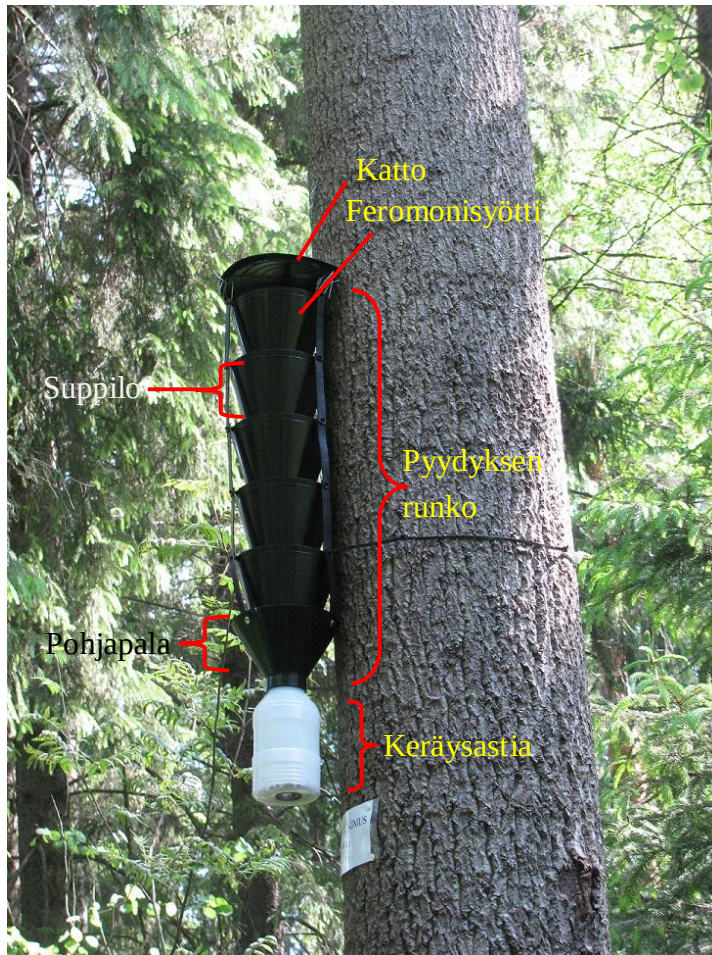
Pyydykset pyrittiin sijoittamaan muun puulajin kuin kuusen kylkeen. Tämä tehtiin sen takia, jotta pyydysten sijoittelulla vähennettäisiin kirjanpainajan iskeytymisen riskiä pyydysten asennuspuihin. Ainoastaan pyydys D3.1 sijoitettiin kuusen kylkeen (kuva 8), koska lähettyvillä ei ollut muita pyydyksen kiinnitykseen sopivia puulajeja. Muita puulajeja ei aina ollut käytävissä sopivalla etäisyydellä muihin pyydyksiin nähden. Tämä aiheutti pieniä eroavaisuuksia pyydysten välisissä etäisyyksissä sekä koealan että osa-alueiden välillä. Kuvan 7 mukaiset minimietäisyydet pyydysten ja koealojen välillä kuitenkin saavutettiin kaikilla osa-alueilla.



Kuva 8. Vasemmalla pyydys D3.1 kuusen kyljessä ja oikealla sama kuusi tyveltä kuvattuna 6.6.2013. Ruskea puru kuusen tyvellä kertoo kirjanpainajan iskeytymisestä. Kuvat: Toni Karttunen.

Feromonipyydyksenä käytettiin Witasekin valmistamaa WitaTrap Multi Funnel -mallia ja feromonisyöttinä Witasekin Ipsowit[®] Standardia. Pyydysten asentaminen aloitettiin 6.5.2013 osa-alueelta A, josta jatkettiin järjestyksessä osa-alueelle B ja niin edelleen. Yhden osa-alueen pyydysten asentamiseen kului yksi työpäivä, joten osa-alueen B pyydykset asennettiin 7.5.2013, C:n 8.5.2013 ja D:n 9.5.2013. Feromonipyydykset kiinnitettiin puun runkoon siten, että pyydyksen keräysastian alareuna oli kolmen metrin korkeudella maasta (kuva 9). Pyydyksen katto kiinnitettiin pyydyksen runkoon vahvalla rautalangalla. Pyydyksen kattoon kiinnitettiin rautalanka, jonka avulla pyydys asennettiin puun runkoon lyötyyn naulaan. Pyydyksen runko tuettiin puun runkoa vasten nippusiteillä. Feromonisyötti asetettiin riippumaan

pyydyksen katosta pyydyksen sisäpuolelle. Feromonisyötin alareuna oli samalla tasolla kuin pyydyksen rungon ylimmän suppilon alareuna. Pyydyksen runko koostui yhteensä viidestä suppilosta ja yhdestä pohjapalasta.



Kuva 9. Feromonipyydyksen asennustekniikka ja pyydyksen osat. Kuva: Kari Heliövaara.

Pyydykset asetettiin sille puun rungon puolelle, joka oli vähiten näkyvissä viereisille poluille. Tarkoituksena oli suunnata pyydykset mahdollisimman suojaiseen paikkaan, mikä vähentäisi pyydyksiin kohdistuvan ilkivallan riskiä. Tästä seurasi se, etteivät kaikki pyydykset olleet samalla ilmansuunnalla puun runkoon nähden (liite 17). Ilmansuunta vaikutti siihen, oliko pyydys paahteisella vai varjoisalla puolella puun runkoa. Tämä vaikutti edelleen lämpöoloihin pyydyksen sisällä ja keräysastiassa.

1.5 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on arvioida kirjanpainajariskiä Helsingin kaupungin taajamametsissä sijaitsevilla tutkimusalueella 36:lla feromonipyydyksellä. Tutkimuskysymyksinä ovat:

- Onko Helsingin taajamametsissä kirjanpainajariskiä ja jos on, niin missä ja kuinka suurena?
- Mitä toimenpiteitä tulisi tehdä kirjanpainajatuhojen hallitsemiseksi?

Ensimmäistä tutkimuskysymystä tutkitaan kahden hypoteesin avulla.

1.) H_0 : Tutkimusalueella kirjanpainajakanta ei ole epideemisellä tasolla

H_1 : Tutkimusalueella kirjanpainajakanta on epideemisellä tasolla

Hypoteesejä arvioidaan tarkastelemalla kirjanpainajan pyydystettyjä yksilömääriä suhteessa kirjallisuudessa esitettyihin arvioihin kirjanpainajakannan riskirajoista (taulukko 1). Tämän tutkimuksen tuloksia ei voida suoraan verrata kirjallisuudessa esitettyihin riskirajoihin, sillä taulukon 1 tutkimuksissa seurantajakso on ollut toukokuun alusta elokuuhun. Tässä tutkimuksessa seurantajakso oli 6.5.2013–4.7.2013 Bakken (1985) tutkimuksissa noin 80–90 prosenttia koko vuoden pyydystetyistä yksilömääristä saatiin monilla alueilla ennen heinäkuun alkua. Faccoli ja Stergulc (2004) havaitsivat myös, että noin 80 prosenttia koko vuoden pyydystetyistä yksilöistä saatiin touko-kesäkuun aikana. Tulosten vertailussa käytetään apuna Bakken (1985) sekä Faccolin ja Stergulcin (2004) havaintoja kevään pyydystettyjen yksilömäärien suhteesta koko vuoden tuloksiin. Hypoteesien arvioinnissa otetaan lisäksi huomioon kuusien elinvoimaisuus tutkimusalueella, tuoreiden tuulenkaatojen runsaus, pyydysten ympärillä olevien naapuruskuvioiden metsiköiden ominaisuudet, seurantajakson säähavainnot ja eläviin kuusiin kohdistuneet kirjanpainajan iskeytymät.

2.) H_0 : Pyydystettyjen kirjanpainajien yksilömäärissä ei ole osa-aluekohtaisia eroja

H_1 : Pyydystettyjen kirjanpainajien yksilömäärissä on osa-aluekohtaisia eroja

Hypoteesien testaamisessa käytetään apuna ei-parametrinen Kruskalin-Wallis testin yksisuuntaista varianssianalyysiä (Ranta ym. 2005, s. 322–327). Menetelmässä tarkastellaan ainoastaan havaintojen suuruusjärjestystä eikä aineistoa oleteta normaalijakautuneeksi (Ranta ym. 2005, s. 322). Nollahypoteesin hylkäämisessä käytetään viiden prosentin merkitsevyystasoa. Asetettu merkitsevyystaso tarkoittaa sitä riskiä, että tosi nollahypoteesi hylätään. Parittaisia vertailuja osa-alueiden välillä tehdään, mikäli analyysin ensimmäinen vaihe osoittaa, että jonkin osa-alueen tulos eroaa muista asetetulla merkitsevyystasolla. Parittaisilla vertailuilla on mahdollis-

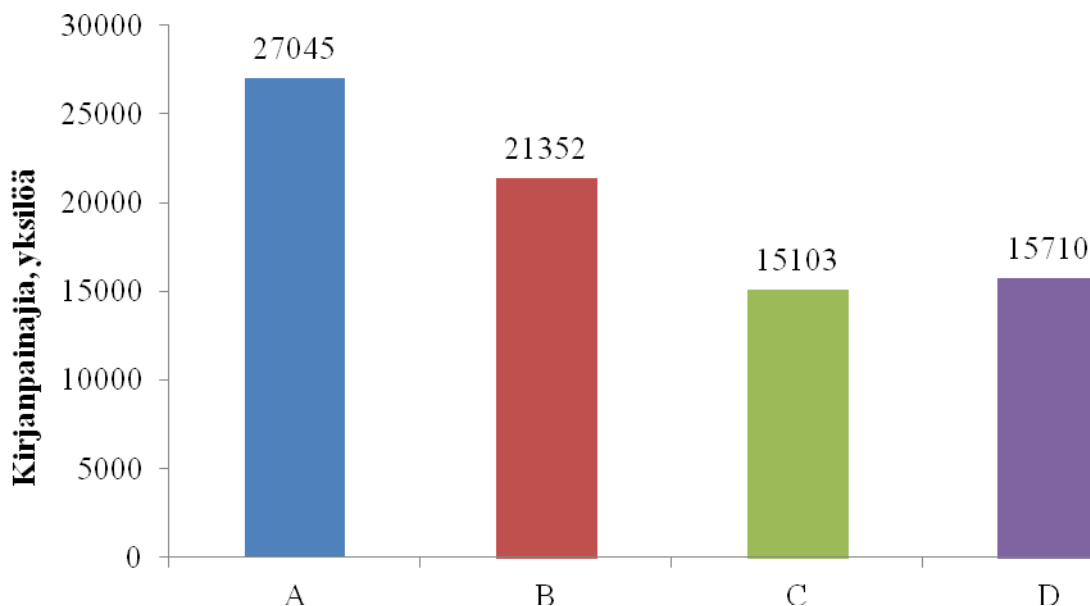
ta selvittää tarkemmin, mitkä osa-alueet eroavat toisistaan asetetulla merkitsevyystasolla. Tarkempi kuvaus käytettävästä menetelmästä on liitteessä 16.

Toista tutkimuskysymystä pohditaan muotoilemalla sekä lyhyen että pitkän aikavälin jatko-toimenpidesuosituksia kirjanpainajatuhojen hallinnassa. Suosituksissa otetaan huomioon taa-jamametsien hoidon erityispiirteet, kuten metsien moniarvoisuus. Tavoitteena on toisaalta löytää metsänhoidollisia keinoja ja toimintatapoja hallitsemaan kirjanpainajariskiä ja toisaalta säilyttää taa-jamametsien muita arvoja.

2 TULOKSET

2.1 Kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät

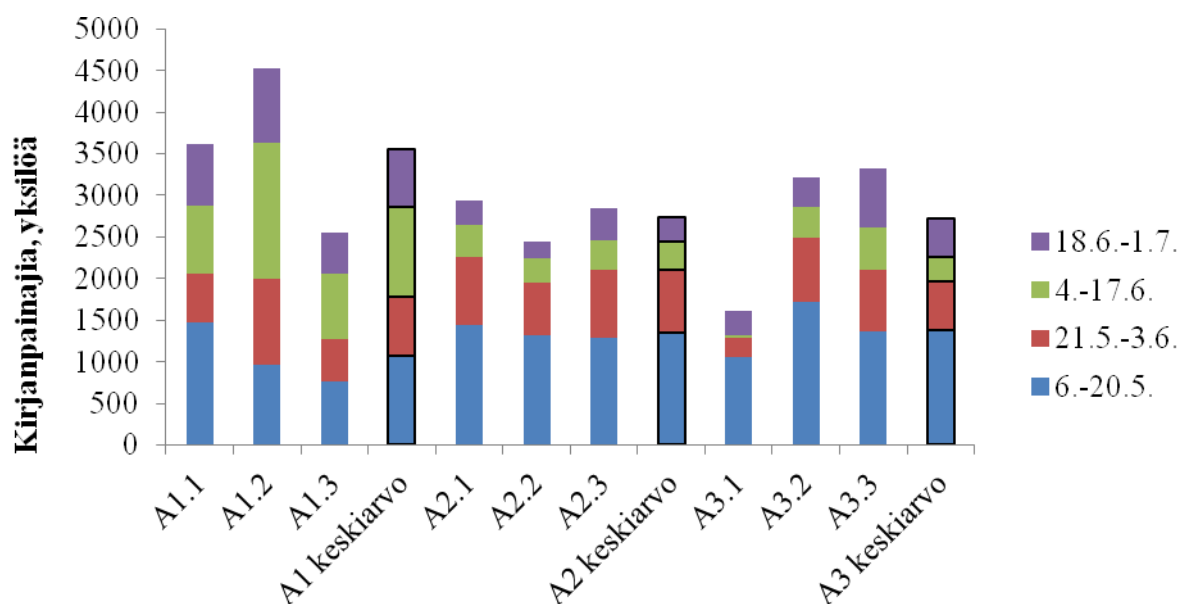
Kaikista feromonipyydyksistä saatiin tulokset onnistuneesti koko seurantajaksoilta. Kirjan-painajia pyydystettiin 36:lla feromonipyydyksellä yhteensä 79210 yksilöä seurantajakson ai- kana. Osa-alueelta A pyydystettiin eniten kirjanpainajia ja osa-alueelta B toiseksi eniten (kuva 9). Osa-alueiden C ja D pyydystetyt yksilömäärät olivat lähes yhtä suuret (kuva 10).



Kuva 10. Pyydystetyt kirjanpainajan yksilömäärät osa-alueilla A, B, C ja D seurantajaksoilla.

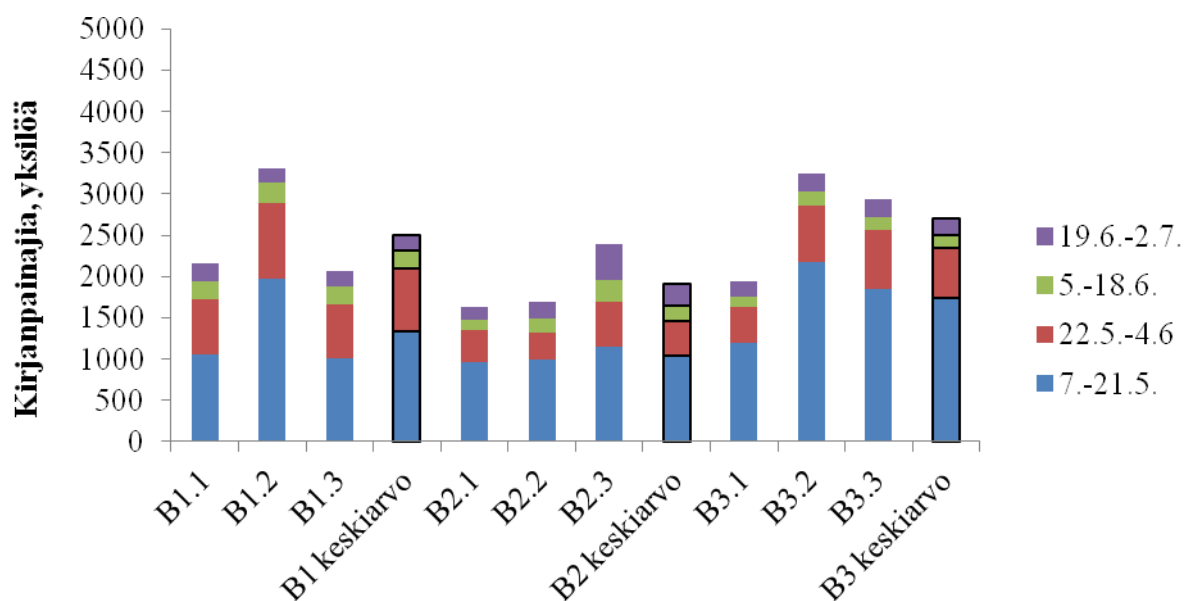
Osa-alueella A eniten kirjanpainajia jäi pyydykseen A1.2, noin 4500 yksilöä (kuva 11). Vähi- ten yksilöitä oli pyydyksessä A3.1, noin 1600 kirjanpainajaa (kuva 11). Koealan A1 keskiarvo

seurantajaksolla oli noin 3500 kirjanpainajaa, kun koealoilla A2 ja A3 keskiarvo jäi noin 2700 yksilöön (taulukko 2). Koealojen A1 ja A3 keskihajonta pyydystetyissä yksilömäärissä pyydysten välillä oli lähes 1000 yksilöä, mutta koealalla A2 keskihajonta oli noin 250 yksilöä (taulukko 2).



Kuva 11. Kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät seurantajaksolla pyydystysjaksoittain osa-alueella A.

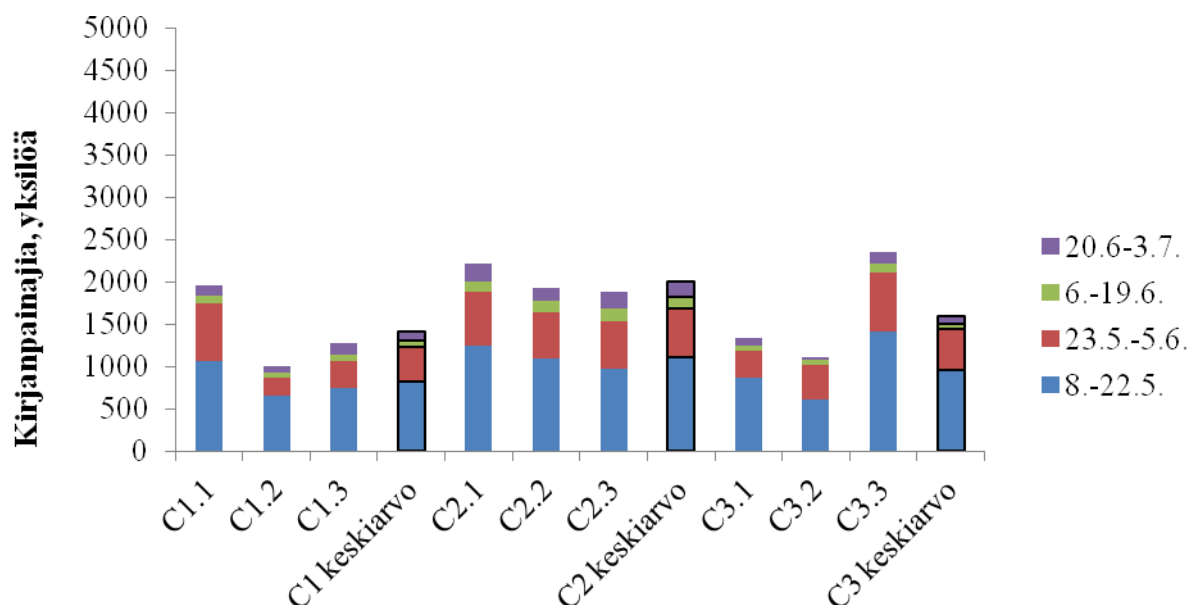
Osa-alueella B suurin kirjanpainajan pyydystetty yksilömäärä saatiin pyydyksellä B1.2, noin 3300 yksilöä (kuva 12). Pienin havainto saatiin pyydyksellä B2.1, noin 1600 kirjanpainajaa (kuva 12). Koealalla B3 pyydystettyjen yksilöiden keskiarvo seurantajaksolla oli korkein osa-



Kuva 12. Kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät seurantajaksolla pyydystysjaksoittain osa-alueella B.

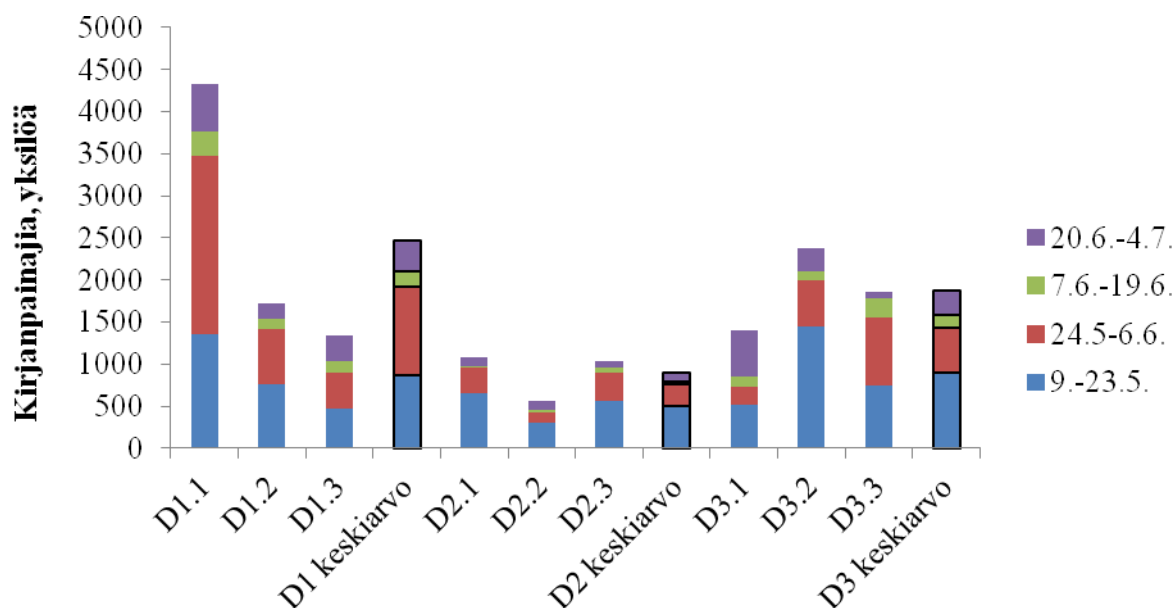
alueella B noin 2700 kirjanpainajalla (taulukko 2). Koealalla B1 keskiarvo oli noin 2500 yksilöä ja koealalla B2 keskiarvo jäi noin 1900 kirjanpainajaan (taulukko 2). Koealoilla B1 ja B3 pyydystettyjen yksilöiden keskihajonta oli hieman alle 700 yksilöä, kun koealalla B2 keskihajonta oli noin 400 kirjanpainajaa (taulukko 2).

Osa-alueella C suurin kirjanpainajan yksilömäärä saatiin koealalta C3.3, noin 2300 yksilöä (kuva 13). Vähiten kirjanpainajia jäi pyydykseen C1.2, noin 1000 yksilöä (kuva 13). Koealalla C2 pyydystettyjen yksilöiden keskiarvo oli suurin noin 2000 kirjanpainajalla, kun koealalla C3 keskiarvo jäi noin 1600 yksilöön ja koealalla C1 noin 1400 yksilöön (taulukko 2). Koealan C3 pyydystettyjen kirjanpainajien keskihajonta oli noin 650 yksilöä ja koealalla C1 noin 500 yksilöä (taulukko 2). Koealalla C2 keskihajonta oli pienin, noin 185 kirjanpainajaa (taulukko 2).



Kuva 13. Kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät seurantajaksolla pyydystysjaksoittain osa-alueella C.

Osa-alueella D suurin pyydystettyjen kirjanpainajien yksilömäärä havaittiin pyydyksellä D1.1, noin 4300 yksilöä (kuva 14). Pienin yksilömäärä saatiin pyydyksellä D2.2, noin 550 kirjanpainajaa (kuva 14). Koealan D1 pyydystettyjen kirjanpainajien keskiarvo oli suurin noin 2500 yksilöllä (taulukko 2). Koealalla D3 keskiarvo oli noin 1900 yksilöä, kun koealalla D2 jäätettiin noin 900 yksilöön (taulukko 2). Koealan D1 pyydystettyjen yksilöiden keskihajonta oli huomattavan suuri, noin 1600 yksilöä (taulukko 2). Koealalla D3 keskihajonta oli noin 500 kirjanpainajaa ja koealalla D2 noin 290 yksilöä (taulukko 2).

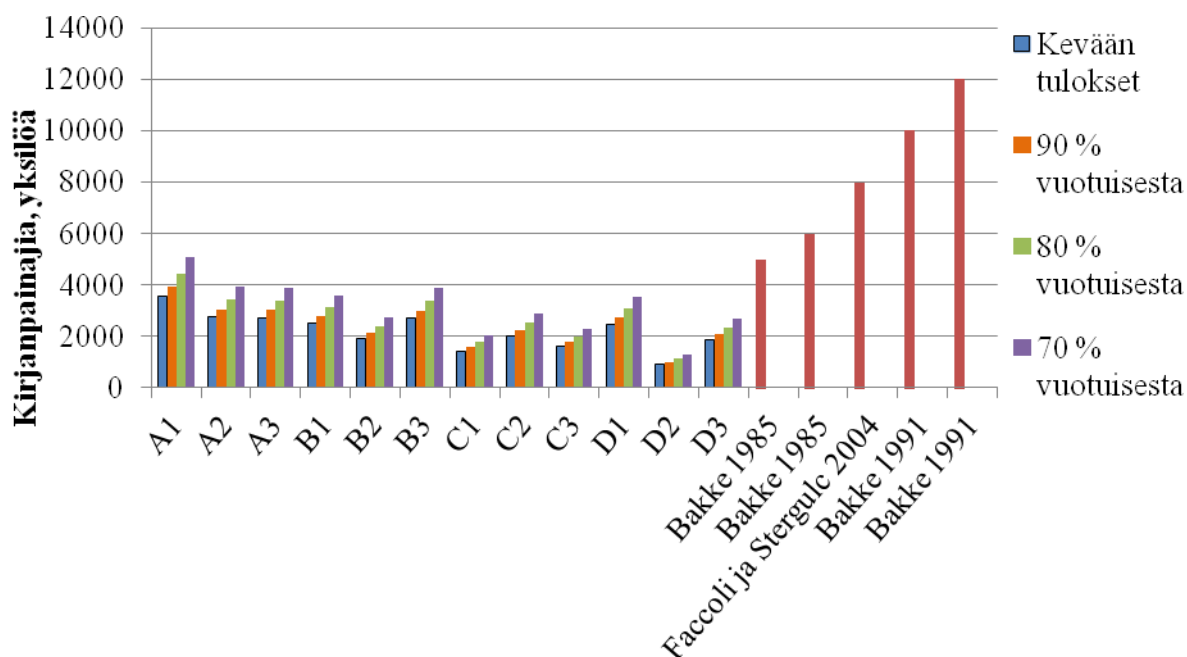


Kuva 14. Kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät seurantajaksolla pyydystysjaksoittain osa-alueella D.

Taulukko 2. Tilastollisia tunnuslukuja kirjanpainajan pyydystetyistä yksilömääristä koealatasolla.

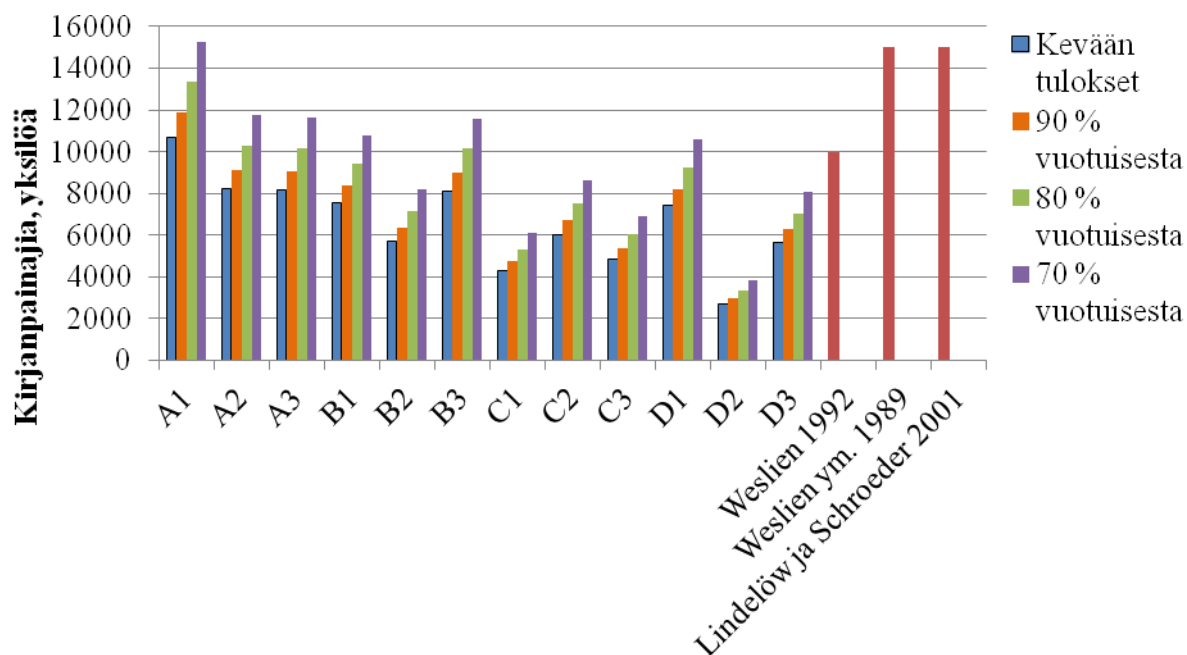
Koeala	Pienin yksilömäärä pyydyksessä	Suurin yksilömäärä pyydyksessä	Keskiarvo	Keskihajonta
A1	2547	4518	3558,67	986,54
A2	2439	2936	2740,00	264,61
A3	1608	3326	2716,33	961,45
B1	2060	3305	2506,33	693,26
B2	1633	2395	1905,00	425,21
B3	1938	3241	2706,00	682,03
C1	1006	1966	1418,33	494,10
C2	1883	2221	2011,33	183,09
C3	1110	2363	1604,67	666,82
D1	1337	4327	2463,33	1625,66
D2	562	1084	895,67	289,76
D3	1396	2384	1877,67	494,46

Koealojen keskimääräiset pyydystetyt kirjanpainajat seurantajaksolla eivät yltäneet kirjallisuudessa esitettyihin pyydyskohtaisiin riskirajoihin (kuva 15). Ainoastaan koeala A1 ylittäisi alimman riskirajan, jos kevään pyydystetyt yksilömäärät oletettaisiin kattavan 70 prosenttia koko vuoden pyydystetyistä yksilömääristä (kuva 15).



Kuva 15. Kirjanpainajan keskimääräiset pyydystetyt yksilömäärät koealoittain suhteessa kirjallisuudessa esitettyihin pyydyskohtaisiin riskirajoihin. Kuvassa myös arvio koko vuoden pyydystetyistä yksilömääristä.

Koealan A1 pyydystettyjen kirjanpainajien summa seurantajaksolla ylitti alimman riskirajan kolmen pyydyksen vuotuisena summana (kuva 16). Lisäksi koealojen A2, A3 ja B3 tulokset ylittäisivät saman riskirajan, jos kevään pyydystetyt kattaisivat 80 prosenttia vuotuisista yksilömääristä (kuva 16). Koealan D1 tulokset ylittäisivät myös alimman riskirajan, mikäli



Kuva 16. Kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät koealoittain kolmen pyydyksen summana suhteessa kirjallisuudessa esitettyihin riskirajoihin. Kuvassa myös arvio koko vuoden pyydystetyistä yksilömääristä.

kevään tulokset olisivat 70 prosenttia vuotuisista yksilömääristä (kuva 16). Ainoastaan koeala A1 ylittäisi kaikki kolme riskirajaa, jos kevään tulokset kattaisivat 70 vuotuisista yksilömääristä (kuva 16).

2.2 Kirjanpainaajan asuttamat elävät kuuset

Koealoilta A1 ja D3 havaittiin kirjanpainaajan asuttamia eläviä kuusia (taulukko 3). Asutettuja eläviä kuusia havaittiin myös alueelta, jossa ei ollut feromonipyydyksiä (taulukko 3). Kaikkia metsiköitä ei tarkistettu, vaan taulukossa 3 on ainoastaan pienellä otannalla löydetty asutetut elävät kuuset. Havaitut kirjanpainaajan asuttamat elävät kuuset poistettiin metsästä 21.6.2013 mennessä lukuun ottamatta kuusta, jonka kylkeen pyydys D3.1 oli asennettu.

Taulukko 3. Havaitut kirjanpainaajan asuttamat elävät kuuset koealoilla ja muissa metsiköissä.

Pyydys/kohde	Asutettuja kuusia	Lisätietoja
A1.2	5	Kuuset pyydyksen välittömässä läheisyydessä. Luonnonsuojelualue noin 100 metrin päässä pyydyksestä A1.2. Talven 2011–2012 myrskytuhot jätetty metsään luonnonsuojelualueella.
D3.1	2	Pyydys kiinnitetty toiseen asutetuista kuusista, toinen kuusi pyydyksen vieressä. Vanhoja pystyyn kuolleita kuusia koealalla D3.
D3.3	1	Asutettu kuusi pyydyksen välittömässä läheisyydessä
Alue 1, noin 730 metriä pyydyksestä A3.3 etelään.	4	Alueella merkkejä aiemmista tuhoista, pystyyn kuolleita kuusia. Luonnonsuojelualue vieressä, jossa myrskytuhot talvelta 2011–2012 jätetty metsään.
Yhteensä	12	

2.3 Kruskalin-Wallisin yksisuuntainen varianssianalyysi ja parittainen vertailu

Analyysi aloitettiin järjestämällä keskimääräiset koealakohtaiset pyydystetyt kirjanpainaajan yksilömäärät suuruusjärjestykseen alkaen pienimmästä suurimpaan (taulukko 4). Testisuureen H arvoksi saatiin 8,1282 (taulukko 5). Asetetulla viiden prosentin merkitsevyystasolla ylitettävä kriittinen arvo nollahypoteesin hylkäämiseksi oli 7,815. Analyysin tulos tarkoitti, että

ainakin jonkin osa-alueen pyydystetyt yksilömäärät erosivat muiden osa-alueiden tuloksista viiden prosentin merkitsevyystasolla.

Taulukko 4. Koealojen keskimääräiset kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät suuruusjärjestyksessä pienimmästä suurimpaan.

Järjestysluku	Koeala	Kirjanpainajia keskimäärin, yksilöä
1.	D2	896
2.	C1	1418
3.	C3	1605
4.	D3	1878
5.	B2	1905
6.	C2	2011
7.	D1	2463
8.	B1	2506
9.	B3	2706
10.	A3	2716
11.	A2	2740
12.	A1	3559

Taulukko 5. Kruskalin-Wallis testin yksisuuntaisen varianssianalyysin tuloksia.

Osa-alue	A	B	C	D
Järjestyslukujen summa	33	22	11	12
Testisuureen H arvo	8,1282			
Kriittinen arvo 5 %:n riskillä	7,815			

Parittaisessa vertailussa osa-alueiden järjestyslukusummat olivat samat kuin taulukossa 5. Parittaisia erotuksia verrattiin mittatikon arvoon 22,65 (taulukko 6). Analyysin perusteella minkään parin osa-alueet eivät eronneet toisistaan asetetulla merkitsevyystasolla (taulukko 6). Lähimpänä mittatikon arvoa (22,65) oli pari A ja C (22,0).

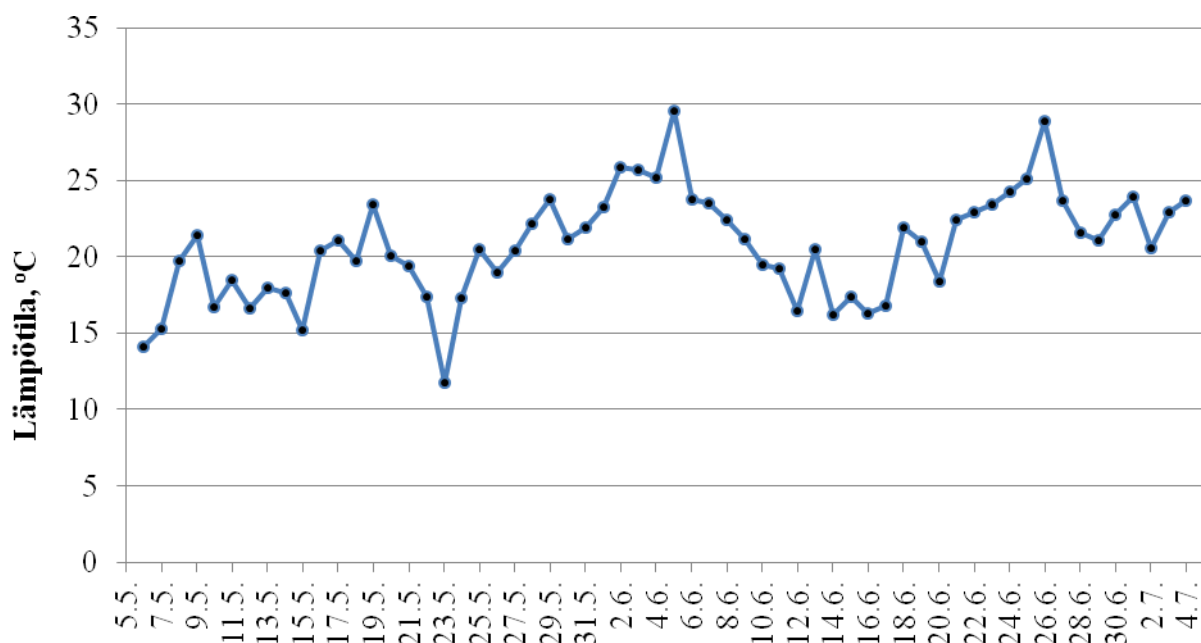
Taulukko 6. Parittaisen vertailun tuloksia.

Parittaiset erotukset	A (33)	B (22)	D (12)
B (22)	11		
D (12)	21	10	
C (11)	22	11	1
Asetetun merkitsevyystason (5 %) taulukkoarvo (Q)	3,63		
Järjestyslukujen keskivirhe (SE)	6,24		
Mittatikon arvo	22,65		

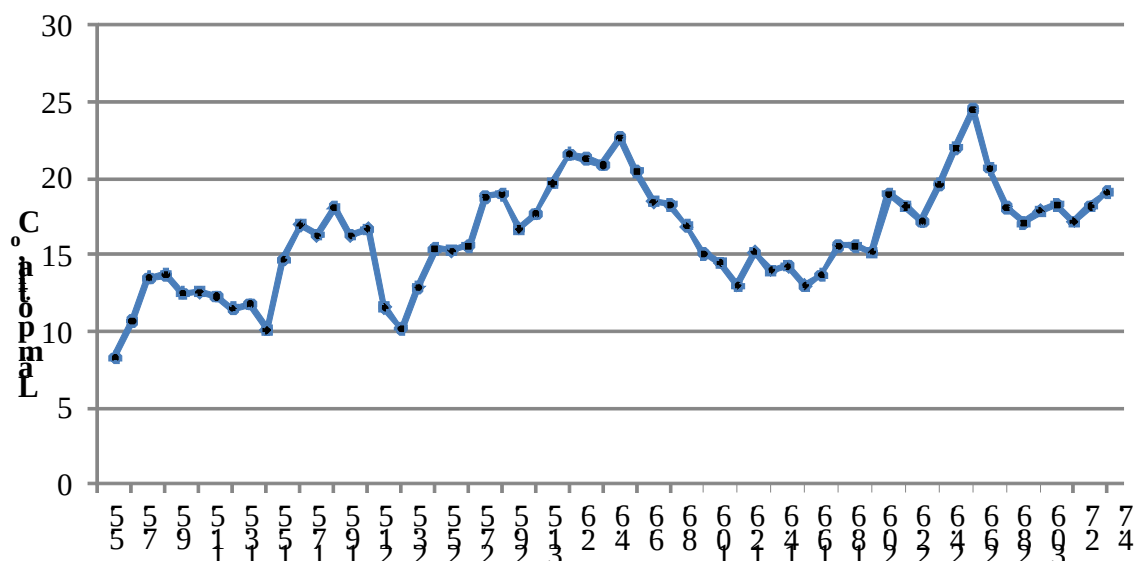
2.4 Säähavainnot seurantajaksolla

Säähavaintoaineistoa saatiin käyttöön Ilmatieteen laitoksen Kumpulan havaintoasemalta. Tarkasteltavia säätunnuksia olivat vuorokausikohtainen maksimi- ja keskilämpötila, vuorokausikohtainen sademäärä sekä lämpö- ja sadesumman kehittyminen seurantajakson aikana. Lämpö- ja sadesummien kertymät alkoivat 6.5.2013 ja loppuivat 4.7.2013. Vertailuaineistona käytettiin lämpö- ja sadesummien kehittymisen keskiarvoa vuosilta 1971–2000.

Vuorokauden maksimilämpötila kohosi ensimmäisen kerran yli + 20 celsiusasteen 9.5.2013 (kuva 17). Sää kuitenkin viileni ja seuraavan kerran + 20 celsiusastetta ylitettiin 16.5. (kuva 17). Vuorokauden matalin maksimilämpötila, 11,8 celsiusastetta, havaittiin 23.5. (kuva 17). Korkein maksimilämpötila, 29,6 celsiusastetta, saavutettiin 5.6. (kuva 17). Hellepäiviä, jolloin lämpötila nousi yli 25,1 celsiusasteen, oli seurantajaksolla yhteensä viisi kappaletta (kuva 17). Vuorokauden alin keskilämpötila seurantajaksolla, 8,3 celsiusastetta, todettiin 6.5. (kuva 18). Vastaavasti vuorokauden korkein keskilämpötila, 24,5 celsiusastetta, havaittiin 26.6. (kuva 18). Vuorokauden keskilämpötilaltaan yli + 20 celsiusasteen päivät olivat 2.6.–6.6. ja 25.6.–27.6. (kuva 18).

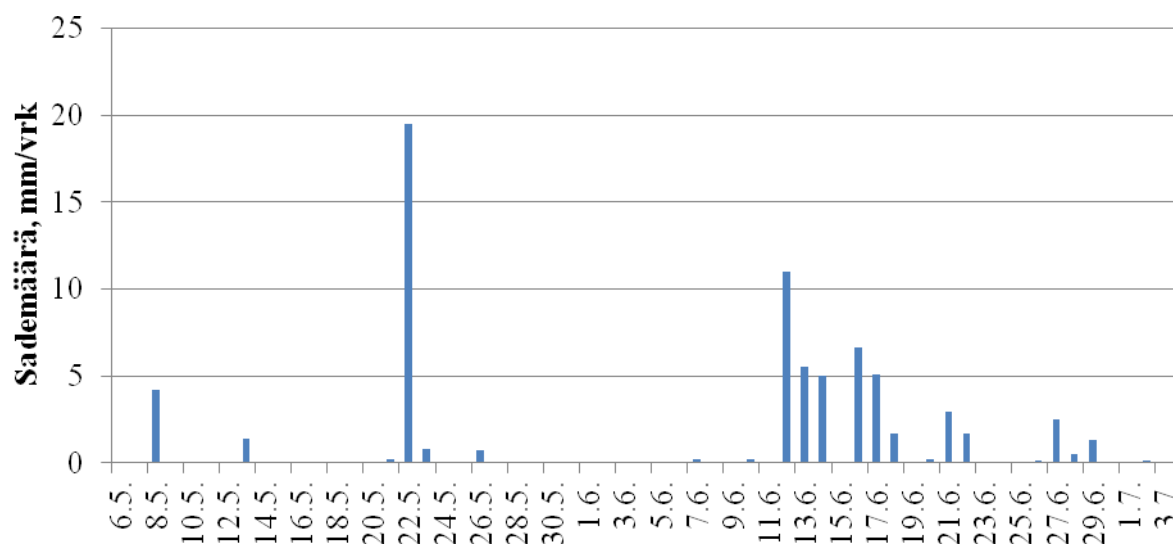


Kuva 17. Vuorokauden maksimilämpötilat ajalta 6.5.2013–4.7.2013. Ilmatieteen laitoksen aineiston pohjalta.



Kuva 18. Vuorokauden keskilämpötilat ajalta 6.5.2013–4.7.2013. Ilmatieteen laitoksen aineiston pohjalta.

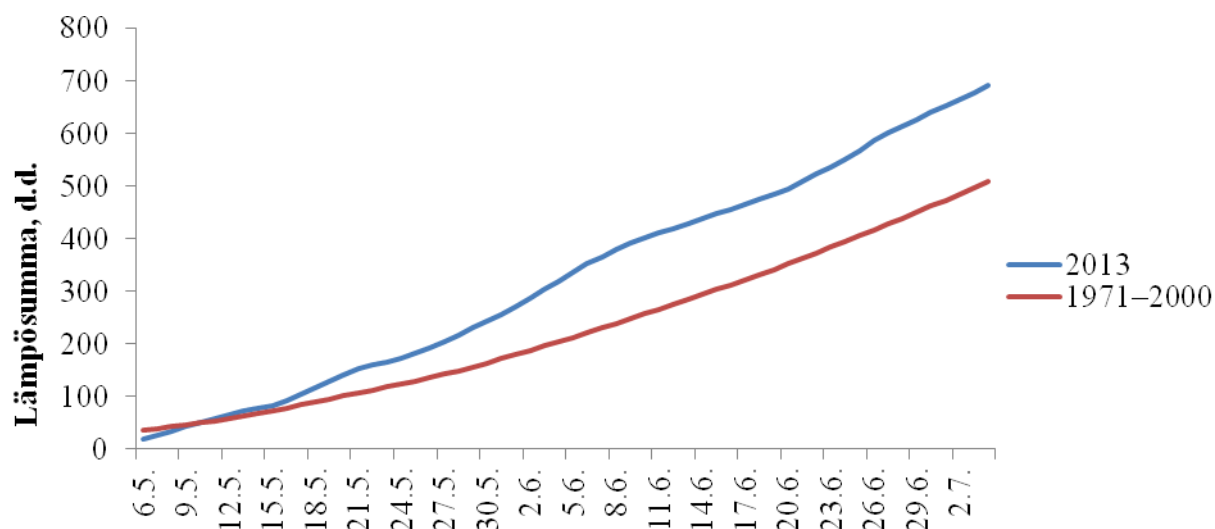
Seurantajakson sateet olivat satunnaisia 11.6. asti (kuva 19). Ajanjaksona 12.6.–22.6. yhdeksänä päivänä satoi (kuva 19). Suurin vuorokausikohtainen sademäärä havaittiin 22.5., jolloin satoi yhteensä 19,5 millimetriä (kuva 19). Sadepäiviä oli seurantajaksolla 23 päivää 60 päivästä ja sadetta kertyi yhteensä 71,6 millimetriä (kuva 19).



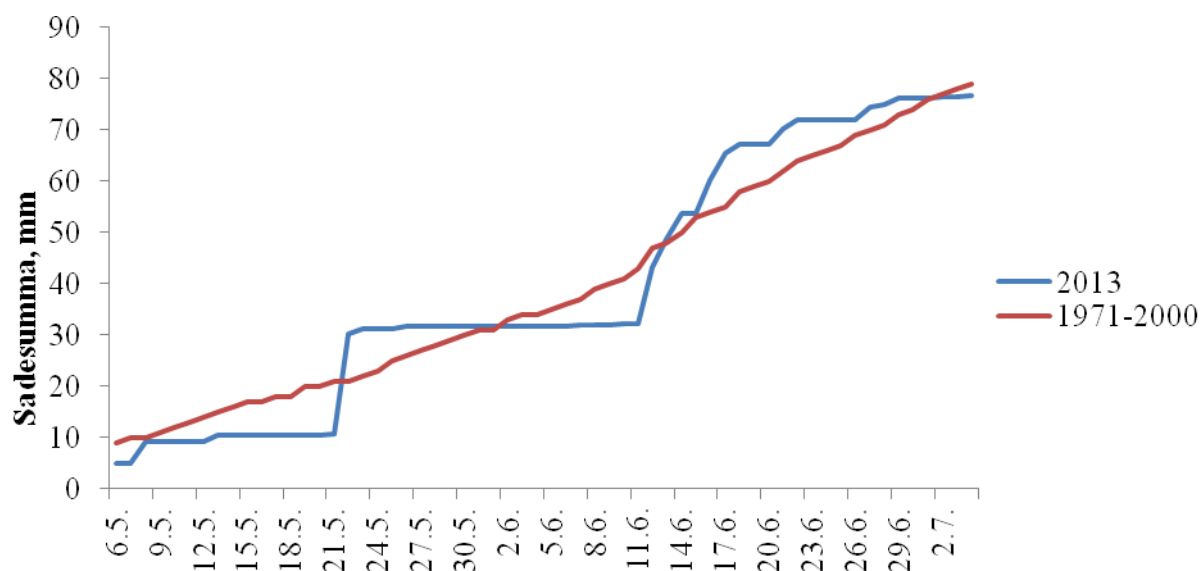
Kuva 19. Vuorokauden sademäärä ajalta 6.5.2013–4.7.2013. Ilmatieteen laitoksen aineiston pohjalta.

Seurantajakson lämpösumma oli 4.7.2013 mennessä 692 d.d. eli noin 36 prosenttia korkeampi kuin vuosien 1971–2000 keskiarvo seurantajaksolla, 508 d.d. (kuva 20). Vuosien 1971–2000 lämpösumma oli seurantajakson alkupäivinä korkeampi kuin vuoden 2013 lämpösumma,

mutta 11.5. vuoden 2013 lämpösumma kohosi vuosien 1971–2000 lämpösumman yläpuolelle (kuva 20). Vuoden 2013 sadesumma seurantajaksolla jäi 2,4 millimetriä eli 3 prosenttia vuosien 1971–2000 sadesummasta (kuva 21). Sateet jakautuivat 6.5.2013–4.7.2013 melko epätasaisesti verrattuna vuosien 1971–2000 keskiarvoon (kuva 21). Alkukevät oli kuivempi 21.5.2013 asti, jonka jälkeen vuoden 2013 ja vuosien 1971–2000 sadesummien suhde vaihteli seurantajakson loppuun asti (kuva 21).



Kuva 20. Lämpösumman kehittyminen seurantajaksolla sekä vuonna 2013 että vuosien 1971–2000 keskiarvona. Ilmatieteen laitoksen aineiston pohjalta.



Kuva 21. Sadesumman kehittyminen seurantajaksolla sekä vuonna 2013 että vuosien 1971–2000 keskiarvona. Ilmatieteen laitoksen aineiston pohjalta.

3 TULOSTEN TARKASTELU

3.1 Kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät ja kirjallisuuden esittämät riskirajat

3.1.1 Kirjanpainajan pyydystettyihin yksilömääriin vaikuttavat tekijät

Feromonipyydydysseurannan tuloksiin vaikuttaa usea tekijä. Schroederin (2013) mukaan feromonipyydydysten sijoituspaikka ja pyydysten lähiympäristön ominaisuudet vaikuttavat seurannan tuloksiin. Schroederin (2013) tutkimuksissa lähialueen varttuneiden kuusikoiden runsaus oli yksi keskeinen muuttuja vaikuttamassa kirjanpainajan pyydystettyihin yksilömääriin. Schroeder (2013) arveli, että lähialueiden varttuneet kuusikot ylläpitäisivät kirjanpainajakantaa, mikä lisäisi lentävien kirjanpainajien määrää feromonipyydydysten lähettyvillä. Maisematasolla Schroederin (2013) ajatus lähialueen varttuneiden kuusikoiden vaikutuksesta pyydystettyihin kirjanpainajiin toteutui pääpiirteittäin myös tässä tutkimuksessa. Suurimmat kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät saatiin suuruusjärjestyksessä osa-alueilta A, B, D ja C (kuva 10). Vastaavasti varttuneita kuusikoita osa-alueiden ympärillä oli maisematasolla pääpiirteittäin eniten osa-alueilla A, B, C ja D (liite 14). Pienemmässä mittakaavassa vastaava suuruusjärjestys varttuneiden kuusikoiden runsaudessa osa-alueilla ja niiden naapuruuskuvioilla oli sen sijaan A, C, B, D.

Tuoreet kuusituulenkaadot voivat toimia vaihtoehtoisina feromonilähteinä kirjanpainajille, mikä voi vääristää feromoniseurannasta saatavia tuloksia (Långström ym. 2009). Maastohavaintojen perusteella tuoreita tuulenkaatoja oli todella vähän koealojen läheisyydessä. Erityisesti koealan A3 ympäristössä oli vanhempia tuulenkaatoja, mutta niiden houkutteleva vaikutus on selvästi vähäisempi tuoreisiin tuulenkaatoihin verrattuna. Tuoreiden tuulenkaatojen runsautta ei tutkittu kaikilta naapuruuskuvioilta, mutta talvella 2011–2012 aiheutuneista tuulenkaadoista suurin osa saatiin korjattua 21.6.2012–1.8.2012 Keskuspuiston alueelta (Saukkonen, julkaisematon). Tuulenkaatojen korjuussa keskityttiin poistamaan tuulenkaatoryhmät ja rungot, jotka olivat helposti saavutettavissa kulkureiteiltä käsin (Saukkonen, julkaisematon). Joitakin yksittäisiä tuulenkaatoja kauempana kulkureiteiltä jäi metsään (Saukkonen, julkaisematon). Tutkimusalueella vaihtoehtoisten feromonilähteiden vääristävää vaikutusta feromoniseurannan tuloksiin voitiin pitää vähäisenä.

3.1.2 Kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät suhteessa kirjallisuuden riskirajoihin

Tulosten vertailussa kirjallisuudessa esitettyihin riskirajoihin tuli ottaa huomioon koeasetelmien kaksi keskeistä eroavaisuutta. Ensinnäkin feromonipyydyksenä käytettiin uudempaa, suppilomaista mallia (WitaTrap Multi Funnel Trap). Taulukon 1 tutkimuksissa pyydysmallina käytettiin yhtä tutkimusta lukuun ottamatta vuoden 1979 putkimaista mallia. Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) ja Metsäkeskuksen toteuttamassa kirjanpainajan seuranta tutkimuksessa vuonna 2013 käytettiin sekä vuoden 1979 pyydysmallia että WitaTrap Multi Funnel Trap -mallia (Viiri, julkaisematon). Kaikilla pyyntipaikoilla uudempi pyydysmalli on pyydystänyt noin kaksi kertaa enemmän kirjanpainajia kuin vanhempi pyydysmalli (Viiri, julkaisematon). Toiseksi taulukon 1 tutkimuksissa feromonipyydykset asennettiin tuoreille hakkuuaukeille. Tässä tutkimuksessa feromonipyydykset asennettiin metsän sisälle. Bakken (1985) mukaan edellisenä talvena hakatuille hakkuuaukeille sijoitetut feromonipyydykset pyydystivät eniten kirjanpainajia ja vaihtelu pyydysten välisissä tuloksissa oli pienempää tuoreilla hakkuuaukeilla. Austarå ym. (1986) havaitsivat myös, että kuusen tuoreet hakkuutähteet feromonipyydysten lähettyvillä lisäsivät kirjanpainajan yksilömääriä pyydyksissä.

Koeasetelmien eroavaisuudet vaikuttivat teoriassa päinvastaisesti pyydystettyjen yksilömäärien runsauteen. Tehokkaampi pyydysmalli todennäköisesti lisäsi pyydystettyjä yksilömääriä, mutta pyydysten sijoittaminen metsään tuoreiden hakkuuaukeiden sijaan todennäköisesti vähensi yksilömääriä pyydyksissä. Osittain erilaisen koeasetelman vuoksi tuloksia ei voitu verrata kirjallisuuden riskirajoihin täysin samalla tavalla. Tämä korosti muiden kirjanpainajaisiin vaikuttavien tekijöiden tarkastelun tärkeyttä feromoniseurannasta saatavien tulosten rinnalla.

Lähestymistavan valinta feromonipyydyssuurannan riskirajojen määritelmiin vaikutti siihen, miten tulokset olivat suhteessa esitettyihin riskirajoihin. Tulokset jäivät pääsääntöisesti kauemmas kirjallisuuden esittämistä riskirajoista, kun tarkasteltiin vuotuisia pyydyskohtaisia riskirajoja kuin kolmen pyydyksen summia. Yleisesti ottaen pyydyskohtaisilla riskirajoilla yhdelläkään koealalla ei päästy alimpaan, Bakken (1985) esittämään riskirajaan, jos kevään tulokset kattaisivat 80 prosenttia vuoden pyydystetyistä yksilömääristä. Vastaavasti kolmen pyydyksen summia tarkasteltaessa alin, Weslienin (1992) riskiraja ylittyi neljällä koealalla samalla oletuksella kevään tulosten suhteesta vuotuisiin tuloksiin.

3.2 Kirjanpainajan asuttamat elävät kuuset

Havaittuja kirjanpainajan asuttamia eläviä kuusia oli yhteensä 12, joista kahdeksan feromonipyydysten lähettyvillä. Feromonipyydykset houkuttelivat paikalle parveilevia kirjanpainajia, mikä teki kirjanpainajan iskeytymisen pyydysten lähellä oleviin kuusiin todennäköisemmäksi. Kaikkien pyydysten lähettyviltä ei tosin havaittu kirjanpainajan asuttamia eläviä kuusia. Tutkimusalueella ja alueella 1 havaitut kirjanpainajan asuttamat kuuset olivat kohteilla, joissa oli lähettyvillä luonnonsuojelualue ja talvella 2011–2012 aiheutuneita tuulenkaatoja, ja/tai kohteilla, joissa oli merkkejä aiemmista hyönteistuhouista, kuten pystyyn kuolleita kuusia.

Kirjanpainajan iskeytymisen onnistuminen elävään kuuseen riippuu kuusen elinvoimaisuudesta (Mulock ja Christiansen 1986) ja iskeytyvien kirjanpainajien runsaudesta (Wermelinger 2004). Mulock ja Christiansen (1986) käyttivät kuusen elinvoimaisuuden mittarina pintapuun suhteellista lisäystä edelliseltä vuodelta. Havainnot selviytyvistä ja kuolleista puista jakautuivat kahteen erilliseen ryhmään, kun havainnot suhteutettiin pintapuun suhteelliseen lisäykseen edelliseltä vuodelta (Mulock ja Christiansen 1986). Tässä tutkimuksessa kaikki havaitut kirjanpainajan asuttamat kuuset olivat vanhoja ja järeitä, mutta runkojen läpimitan kasvusta ei ollut tarkempaa tietoa edelliseltä vuodelta. Edellytetty kirjanpainajien runsaus elävän kuusen valloittamiseen vaihtelee tapauskohtaisesti. Feromonisyyteillä varustettuihin eläviin kuusiin voi riittää alle 500 kirjanpainajan onnistunutta iskeytymää, jotta puu kuolee (Mulock ja Christiansen 1986). Toisaalta Weslienin ja Regnanderin (1990) mukaan spontaanisti isketty elävä kuusi sisältää usein tuhansia kirjanpainajia. Weslienin (1989) tutkimuksissa 7000–8000 kirjanpainajaa vaadittiin elävän keskikokoisen kuusen asuttamiseen. Pyydyksen D3.1 asennuspuussa feromonisyytti oli kiinni kuusen rungossa, muissa tapauksissa asutetut kuuset olivat vähintään kahden metrin etäisyydellä feromonisyytistä.

Schroeder ja Lindelöw (2002) havaitsivat, että kirjanpainajan asuttamien elävien kuusien määrä kasvoi toisena tai kolmantena kesänä myrskytuhon jälkeen. Alueella, jossa tuulenkaadot oli jätetty metsään, 29 prosenttia tuulenkaadoista oli kirjanpainajan asuttamia ensimmäisenä kesänä myrskytuhon jälkeen (Schroeder ja Lindelöw 2002). Erikssonin (2007) mukaan kirjanpainajakannan alkuperäinen taso vaikuttaa siihen, kuinka hyvin kirjanpainaja pystyy hyödyntämään tuulenkaatoja lisääntymiseensä. Heikosti puolustuskykyisen lisääntymismate-

riaalin runsastuminen vähentää kirjanpainajan lajinsisäistä kilpailua, sillä Anderbrantin (1990) mukaan naaraat tekevät lyhyempiä emokäytäviä ja munivat vähemmän munia, kun naaraita on runsaasti. Wermelingerin (2004) mukaan kirjanpainajakanta lisääntyy myrskytuhon jälkeen ensin kaatuneissa puissa, minkä jälkeen kirjanpainaja iskeytyy joukkovoimalla eläviin puihin viereisissä metsiköissä ja muissa lähialueen metsissä. Tällöin voidaan puhua kirjanpainajakannan epideemisestä tasosta (Bakke 1991). Kautzin ym. (2011) mukaan noin 65 prosenttia kirjanpainajan aiheuttamista uusista tuhokohteista sijaitsi 100 metrin säteellä edellisen vuoden tuhokohteista. Vastaavasti 95 prosenttia uusista tuhokohteista sijaitsi 500 metrin säteellä edellisen vuoden tuhokohteista (Kautz ym. 2011). Wichmann ja Ravn (2001) havaitsivat myös, että suurin osa tuhokohteista sijaitsi enintään 500 metrin säteellä vanhasta tuhokohteesta.

Tulokset kirjanpainajan asuttamista elävistä kuusista ja niiden sijoittumisesta metsikkötasolla saivat vahvistusta kirjallisuudesta. Kirjanpainajakannan nousu myrskytuhoalueella runsastuneen lisääntymismateriaalin turvin voi myöhemmin aiheuttaa iskeytymiä eläviin kuusiin myrskytuhoalueen läheisyydessä, kuten tapahtui pyydyksen A1.2 läheisyydessä ja alueella 1. Vanhojen tuhokohteiden lähialueilla iskeytymät eläviin kuusiin ovat myös todennäköisiä, kuten koealalla D3. Schroederin ja Lindelöwin (2002) mukaan kirjanpainajan asuttamia eläviä puita oli selvästi enemmän metsänreunoissa kuin metsiköiden sisällä. Alueella 1 kirjanpainajan asuttamat kuuset sijaitsivat ulkoilureitin varrella eli enemmän metsän reunassa kuin metsän sisällä.

3.3 Kruskalin-Wallisin yksisuuntainen varianssianalyysi ja parittainen vertailu

Analyysin tulokset olivat ristiriitaisia. Yksisuuntaisen varianssianalyysin mukaan ainakin yhden osa-alueen tulokset erosivat muiden osa-alueiden tuloksista asetetulla merkitsevyystasolla. Toisaalta parittaisessa vertailussa ei löydetty eroa minkään osa-alueparin välillä asetetulla merkitsevyystasolla. Lähimmäksi kriittistä arvoa nollahypoteesin hylkäämiseksi pääsi osa-aluepari A ja C. Absoluuttiset kirjanpainajan pyydystetyt yksilömäärät seurantajaksolla olivat osa-alueella A 27045 ja osa-alueella C 15103 (kuva 10). Osa-alueelta A pyydystettiin noin 80 prosenttia enemmän kirjanpainajia kuin osa-alueelta C. Lisäksi osa-alueella A havaittiin viisi kirjanpainajan asuttamaa elävää kuusta, kun taas osa-alueelta C ei yhtäkään. Tämä huomioon ottaen osa-alueen A pyydystetyt yksilömäärät olisivat havaittuja määriä suuremmat, mikä lisäisi eroa osa-alueen C yksilömääriin.

Kruskalin-Wallisin yksisuuntainen varianssianalyysi ja parittainen vertailu perustuvat ainoastaan havaintojen järjestyslukuihin. Menetelmässä ei siis oteta huomioon havaintojen absoluuttisia arvoja. Käytännössä suurimman ja toiseksi suurimman havainnon ero käytettävässä menetelmässä on yksi järjestysluku, vaikka todellinen ero olisi 819, kuten tässä tutkimuksessa. Kolme eniten kirjanpainajia pyydystäneistä pyydyksistä olivat kaikki osa-alueelta A (taulukko 4). Vastaavasti kaksi kolmesta osa-alueen C pyydyksistä oli kolmen viimeisen joukossa (taulukko 4). Järjestyslukusummien välinen ero ei ollut tilastollisesti riittävän suuri viiden prosentin merkitsevyystasolla nollahypoteesin hylkäämiseen, vaikka selkeitä absoluuttisia eroja oli havaittavissa osa-alueiden välisissä tuloksissa. Merkitsevyystason asettamisella vaikutetaan siihen, millainen riski ollaan valmis ottamaan nollahypoteesin aiheuttomasta hylkäämisestä. Riski väärään johtopäätökseen osa-alueiden A ja C tulosten eroavaisuudesta oli todennäköisesti alle seitsemän prosenttia havaituilla kirjanpainajan yksilömäärillä.

3.4 Säätekijöiden vaikutus kirjanpainajan parveiluun ja yksilönkehitykseen

Kirjanpainajalle ensimmäinen sopiva parveilupäivä havaittiin 9.5.2013, kun vuorokauden maksimilämpötila nousi ensimmäisen kerran yli + 20 celsiusasteen Ilmatieteen laitoksen Kumpulan havaintoasemalla. Samana päivänä havaittiin yksittäisiä lentäviä kirjanpainajia maastossa pyydysten asennuksen yhteydessä. Annilan (1969) mukaan viileämmät jaksot keväällä voivat tosin vähentää parveilevien yksilöiden määrää, ja lämpimämissä oloissa parveilu vastaavasti runsastuu. Kuuden päivän viileämmän jakson jälkeen sää oli lämpimämpi 16.5.–21.5., jolloin kirjanpainajia oletettavasti parveili runsaasti. Metlan ja Metsäkeskuksen tiedotteessa 13.6.2013 todettiin, että kevään sää on ollut kirjanpainajan parveilulle hyvin suotuista (Kirjanpainajajhyönteisten määrä ... 2013).

Toukokuun keskilämpötila oli pääkaupunkiseudulla 2,0–2,5 celsiusastetta lämpimämpi verrattuna vuosien 1981–2010 keskiarvoon (Ilmastokatsaus-lehti toukokuu, 2013). Kesäkuu oli vastaavasti 2,5–3,0 celsiusastetta lämpimämpi (Ilmastokatsaus-lehti kesäkuu, 2013). Lisäksi vuoden 2013 lämpösumma oli seurantajakson lopussa noin 36 prosenttia suurempi kuin vuosien 1971–2000 lämpösumma (kuva 20). Seurantajakson sää on siis ollut eduksi kirjanpainajan yksilönkehitykselle. Metsäkeskuksen tiedotteessa 9.7.2013 todettiin, että kirjanpainajakanta on kohonnut nopeasti tänä kesänä ja toisen sukupolven tuottaminen ennen talvea

on todennäköistä (Kuusikoita tuhoava... 2013). Loppukesän ja alkusyksyn lämpötilat vaikuttavat myös toisen sukupolven tuottamisen ja selviytymisen todennäköisyyteen.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPIDESUOSITUKSET

Tulosten perusteella tutkimusalueella on kesällä 2013 havaittuja kirjanpajan riskialueita. Feromonipyydyseurannan tulosten mukaan kirjanpajan riski voi olla suuri pääasiassa osa-alueella A, mutta havaitut kirjanpajan asuttamat elävät kuuset painoutuivat tutkimusalueella osa-alueille A ja D. Suurin riski kirjanpajan tuhoille on vanhojen tuhoalueiden ympäristöissä sekä sellaisten alueiden lähetyvillä, joihin on jäänyt tuoreita myrskytuhoja tai aikaisempien tuhojen heikentämiä kuusia. Elinvoimaisuudeltaan heikentyneissä, huonokasvuisissa tai muuten stressaantuneissa kuusikoissa kirjanpajan riski voi myös olla suurempi. Mahdollinen toinen sukupolvi voi lisätä kirjanpajan tuhoja yleisesti kesällä 2013 ja lisätä parveilevien yksilöiden määrää keväällä 2014.

Lyhyen aikavälin jatkotoimenpidesuosituks

Maastoseuranta.

Maastohavaintojen tekemistä kirjanpajan asuttamista elävistä kuusista ja asutettujen puiden poistamista metsästä suositellaan ennen juhannusta. Edellisinä vuosina kirjanpajan asuttamia kuusia ei kannata poistaa, sillä kirjanpaja on jo poistunut puista. Maastohavainnoinnissa kannattaa painottaa tuhoille riskialttiimpia kohteita käytettävissä olevista resursseista riippuen.

Myrskytuhojen kartoitus ja myrskyn kaatamien kuusien korjuu

Toisena jatkotoimenpidesuosituksena esitetään myrskyn kaatamien kuusien kartoitusta ja arviointia. Myrskyn kaatamien järeiden kuusien jättäminen metsään sellaisilla kohteilla, joissa on kirjanpajan tuhoriski, lisää tämän tutkimuksen tulosten ja kirjallisuuden mukaan riskiä kirjanpajan tuhoille. Tämän perusteella yleinen jatkotoimenpidesuositus kirjanpajan tuhojen minimoimiseksi on pääsääntöisesti korjata järeät myrskyn kaatamat kuuset pois metsästä ennen juhannusta.

Sään seuraaminen.

Säätä seuraamalla voidaan arvioida kirjanpajan parveilun ja yksilönkehityksen onnistumista sekä vakavien kirjanpajan tuhojen ja toisen sukupolven kehittymisen todennäköisyyttä.

Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsäkeskuksen kirjanpainaajaan liittyvien tiedotteiden seuraaminen.

Metsäntutkimuslaitos ja Metsäkeskus aloittivat keväällä 2012 kirjanpainajakantojen seurannan valtakunnallisesti. Seurannasta saadut tulokset ja kirjanpainaajatilanteeseen yleisesti liittyvät tiedotteet antavat ajankohtaista tietoa kirjanpainajakannan tasosta, mikäli seuranta jatkuu tulevana vuosina.

Pidemmän aikavälin jatkotoimenpidesuosituks

Pidemmän aikavälin suosituksina esitetään kirjanpainajatuhoille riskialttiiden metsien, kuten elinvoimaisuudeltaan heikentyneiden tai muuten stressaantuneiden kuusikoiden, vaiheittaista uudistamista ja metsikkörakenteiden muuttamista kestävämmiksi kirjanpainajatuhoja vastaan tulevaisuudessa. Usean puulajin sekametsiköissä ja erikokois- sekä eri-ikäisrakenteisissa kuusikoissa kirjanpainajariski voi olla pienempi. Vähentämällä varttuneiden ja sitä vanhempien kuusikoiden osuutta maisematasolla vähennetään samalla kirjanpainajalle sopivan materiaalin määrää, mikä todennäköisesti pienentää vakavien kirjanpainajatuhojen riskiä.

5 KIRJALLISUUS

Anderbrant, O. 1990. Gallery construction and oviposition of the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) at different breeding densities. *Ecological Entomology*. 15(1): 1–8.

Annala, E. 1969. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus*. *Annales Zoologici Fennici*. 6: 161–208.

Austarå, Ø., Pettersen, H., Bakke, A. 1977. Bivoltinism in *Ips typographus* in Norway, and winter mortality in second generation. Reports of the Norwegian Forest Research Institute. 33(7): 272–281.

Austarå, Ø., Bakke, A., Midtgaard, F. 1986. Response in *Ips typographus* to logging waste odours and synthetic pheromones. *Journal of Applied Entomology*. 101(2): 194–198.

Bakke, A. 1983. Host tree and bark beetle interaction during a mass outbreak of *Ips typographus*. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*. 96(2): 118–125.

Bakke, A. 1985. Deploying pheromone-baited traps for monitoring *Ips typographus* populations. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*. 99(1): 33–39.

Bakke, A. 1991. Using pheromones in the management of bark beetle outbreaks. Teoksessa: Baranchikov, Y., Mattson, W., Hain, F., Payne, T. (toim.). Forest insect guilds: Patterns of interaction with host trees. 371–377. Gen. Tech. Rep. NE-153. Department of Agriculture, Forest Services, Northeastern Forest Experiment Station.

Bigler, C., Bugmann, H. 2004. Predicting the time of tree death using dendrochronological data. *Ecological Applications*. 14(3): 902–914.

Byers, J. A., Zhang, Q-H., Schlyter, F. 1998. Volatiles from nonhost birch trees inhibit pheromone response in spruce bark beetles. *Naturwissenschaften*. 85(11): 557–561.

Christiansen, E., Bakke, A. 1988. The Spruce bark beetle of Eurasia. Teoksessa: Berryman, A. A. (toim.). Dynamics of forest insect populations: Patterns, Causes, Implications. 480–503. Plenum Press, New York.

Christiansen, E., Bakke, A. 1997. Does drought really enhance *Ips typographus* epidemics? – A Scandinavian perspective. Teoksessa: Grégoire, J., Liebhold, A., Stephen, F., Day, K., Salom, S. (toim.). Proceedings: Integrating cultural tactics into the management of bark beetle and reforestation pests. 163–171. USDA Forest Service General Technical Report NE-236.

Christiansen, E., Waring, R. H., Berryman, A. A. 1987. Resistance of conifers to bark beetle attack: Searching for general relationships. *Forest Ecology and Management*. 22(1–2): 89–106.

Eriksson, M. 2007. The bark beetle *Ips typographus* (L.) on patches of dead or dying host trees: Estimating the colonization success and the risk of consequential tree deaths. Väitöskirja. Joensuun yliopisto, Joensuu, 68 s.

Faccoli, M., Stergulc, F. 2004. Can pheromone trapping predict *Ips typographus* outbreaks? An example from the Southern Alps. Saatavana:
<http://www.agraria.unipd.it/materiale/agronomia/faccoli/Pubblicazioni/Faccoli%20and%20Stergulc%202004%20-%20Proceeding%20Ungheria.pdf>

Forsse, E., Solbreck, C. 1985. Migration in the bark beetle *Ips typographus* L.: duration, timing and height of flight. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*. 100(1): 47–57.

Gayler, S., Grams, T. E. E., Heller, W., Treutter, D., Priesack, E. 2008. A dynamical model of environmental effects on allocation to carbon-based secondary compounds in juvenile trees. *Annals of Botany*. 101(8): 1089–1098.

Göthlin, E. Schroeder, L. M., Lindelöw, A. 2000. Attacks by *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* on windthrown spruces (*Picea abies*) during the two years following a storm felling. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 15(5): 542–549.

Hamberg, L., Löfström, I. 2012. Taajamametsät - määritelmä ja tyypilliset piirteet. Teoksessa: Hamberg, L., Löfström, I., Häkkinen, I. (toim.). Taajamametsät, suunnittelu ja hoito, s. 10–14. Metsäkustannus Oy, Hämeenlinna, 155 s.

Helsingin kaupungin luonnonhoidon linjaus. 2012. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2011:14. Helsinki. Toinen painos, 64 s.

Hübertz, H., Larsen, J. R., Bejer, B. 1991. Monitoring spruce bark beetle (*Ips typographus* (L.)) populations under non-epidemic conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 6(2): 217–226.

Häyrynen, M. (toim.). 1994. Tapion taskukirja. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. Jyväskylä. 22. uudistettu painos, 640 s.

Ilmastokatsaus-lehti touko-kesäkuu 2013. Verkkojulkaisu. Ilmatieteen laitoksen julkaisuja. [Viitattu 16.7.2013 ja 29.7.2013]. Saatavana:

http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=6ba8120a-8cfd-45f9-b4f5-8f149e66be33&groupId=30106

http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=0d21b30d-2376-4537-b132-2bc2d03c3127&groupId=30106

Jönsson, A. M., Appelberg, G., Harding, S., Bärning, L. 2009. Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. *Global Change Biology*. 15(2): 486–499.

Karlson, P., Lüscher, M. 1959. 'Pheromones': A new term for a class of biologically active substances. *Nature*. 183: 55–56.

Kausrud, K., Økland, B., Skarpaas, O., Grégoire, J-C., Erbilgin, N., Stenseth, N. 2011. Population dynamics in changing environments: the case of an eruptive forest pest species. *Biological Reviews*. 87(1): 34–51.

Kautz, M., Dworschak, K., Gruppe, A., Schopf, R. 2011. Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestations in epidemic and non-epidemic conditions. *Forest Ecology and Management*. 262(4): 598–608.

Keskuspuisto - metsä lähellä, luonto kaupungissa. Helsingin kaupunki. Verkkojulkaisu. [Viitattu 12.6.2013]. Saatavana: <http://www.hel.fi/hel2/keskuspuisto/fin/1esittely/>.

Kirjanpainaepidemia uhkaa kuusimetsiä. 2012. Verkkojulkaisu. [Viitattu 10.4.2013] Saatavana: http://yle.fi/uutiset/kirjanpainaepidemia_uhkaa_kuusimetsia/6191519.

Kirjanpainajahyönteisten määrä on noussut hälyttäväksi Etelä- ja Keski-Suomessa. Verkkojulkaisu. Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsäkeskuksen tiedote 13.6.2013. [Viitattu 16.7.2013]. Saatavana: <http://www.metla.fi/tiedotteet/2013/2013-06-13-kirjanpainajahyonteiset.htm>.

Kozłowski, T. T., Kramer, P. J., Pallardy, S. G. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, San Diego, California, USA. 657 s.

Kuusikoita tuhoavia kirjanpainajahyönteisiä iskeytynyt terveisiin puihin joka neljännellä Etelä-Suomessa tarkastetuista riskialueista. Verkkojulkaisu. Metsäkeskuksen tiedote 9.7.2013. [Viitattu 16.7.2013]. Saatavana: <http://www.metsakeskus.fi/documents/10156/844183/smk-mediatiedote-fi-kuusikoita-tuhoavia-kirjanpainajahyonteisia.pdf/61ab6e98-6558-473d-b546-be5f324a40ed>.

Kärvemo, S., Schroeder, L. M. 2010. A comparison of outbreak dynamics of the spruce bark beetle in Sweden and the mountain bark beetle in Canada (Curulionidae: Scolytidae). *Entomologisk Tidskrift*. 131(3):215–224.

Lange, H., Økland, B., Krokene, P. 2006. Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. *InterJournal*. 1648: 1–10.

Leino, O., Kämäri, H. 2003. Kuivuustuhojen inventointi Helsingin kaupungin metsissä. Yhteistyöprojekti: Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitos ja Helsingin kaupunki, rakennusviraston viherosasto. Yhteyshenkilö: Markus Holopainen, yliopistonlehtori.

Lindelöw, A., Schroeder, M. 2001. Spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.), in Sweden: monitoring and risk assessment. *Journal of Forest Science*. 47, Special issue 2: 40–42.

Långström, B., Lindelöw, Å., Schroeder, M., Björklund, N., Öhrn, P. 2009. The spruce bark beetle outbreak in Sweden following the January-storms in 2005 and 2007. Teoksessa: IUFRO Forest Insect and Disease Survey in Central Europe, September 15–19 2008. Štrbské Pleso, Slovakia.

Mezei, P., Jakus, R., Blazenec, M., Belanova, S., Smidt, J. 2011. Population dynamics of spruce bark beetle in a nature reserve relation to stand edges conditions. *Folia Oecologica*. 38(1): 73–79.

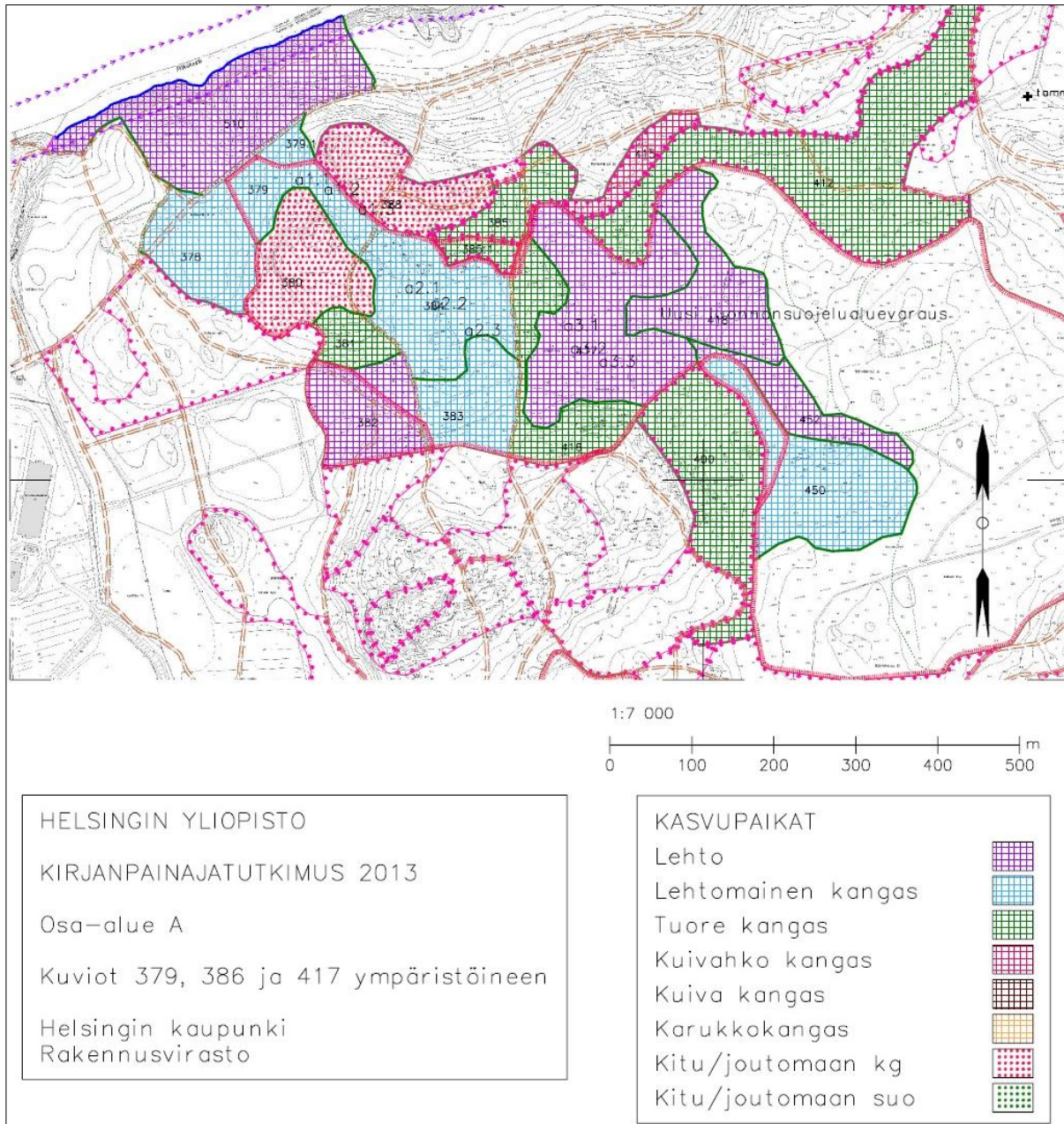
Mulock, P., Christiansen, E. 1986. The threshold of successful attack by *Ips typographus* on *Picea abies*: a field experiment. *Forest Ecology and Management*. 14(2): 125–132.

- Pouttu, A., Annala, E. 2010. Kirjanpainaajalla kaksi sukupolvea kesällä 2010. Metsätieteen aikakauskirja 4/2010: 521–523.
- Ranta, E., Rita, H., Kouki, J. 2005. Biometria: Tilastotiedettä ekologeille. Yliopistopaino. Helsinki. 9. painos. 569 s.
- Schroeder, L. M. 2013. Monitoring of *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus*: Influence of trapping site and surrounding landscape on catches. *Agricultural and Forest Entomology*. 15(2): 113–119.
- Schroeder, L. M., Lindelöw, Å. 2002. Attacks on living spruce trees by the bark beetle *Ips typographus* (Col. Scolytidae) following a storm-felling: a comparison between stands with and without removal of wind-felled trees. *Agricultural and Forest Entomology*. 4(1): 47–56.
- Wermelinger, B. 2004. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management*. 202(1/3): 67–82.
- Weslien, J. 1989. The role of trapping in population management of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.). Väitöskirja. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, 110 s.
- Weslien, J. 1992. Monitoring *Ips typographus* (L.) populations and forecasting damage. *Journal of Applied Entomology*. 114(4): 338–340.
- Weslien, J., Lindelöw, Å. 1989. Trapping a local population of spruce bark beetles *Ips typographus* (L.): Population size and origin of trapped beetles. *Holarctic Ecology*. 12: 511–514.
- Weslien, J., Regnander, J. 1990. Colonization densities and offspring production in the bark beetle *Ips typographus* (L.) in standing spruce trees. *Journal of Applied Entomology*. 109(4): 358–366.
- Weslien, J., Annala, E., Bakke, A., Bejer, B., Eidmann, H. H., Narvestad, K., Nikula, A., Ravn, H. 1989. Estimating risks for spruce bark beetle (*Ips typographus* (L.)) damage using pheromone-baited traps and trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 4(1): 87–98.
- Wichmann, L., Ravn, H. P. 2001. The spread of *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae) attacks following heavy windthrow in Denmark, analysed using GIS. *Forest Ecology and Management*. 148(1/3): 31–39.
- Worrell, R. 1983. Damage by the spruce bark beetle in South Norway 1970–80: A survey, and factors affecting its occurrence. *Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning*. 38(6): 1–34.
- Wyckoff, P. H., Clark, J. S. 2000. Predicting tree mortality from diameter growth: a comparison of maximum likelihood and Bayesian approaches. *Canadian Journal of Forest Research*. 30(1): 156–167.

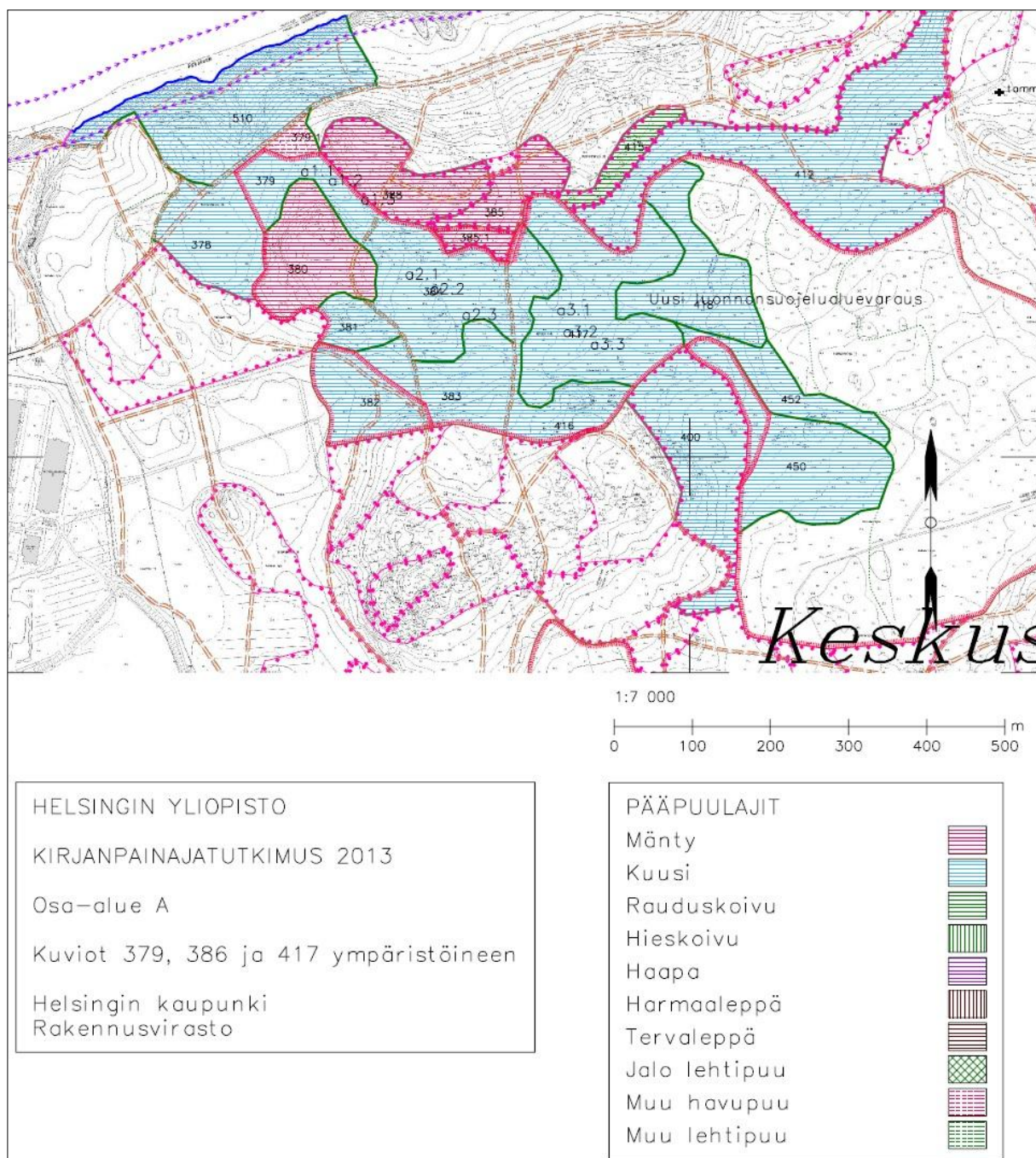
LIITTEET 1–12 TEEMAKARTTOJA OSA-ALUEIDEN A–D TAUSTATIEDOISTA.

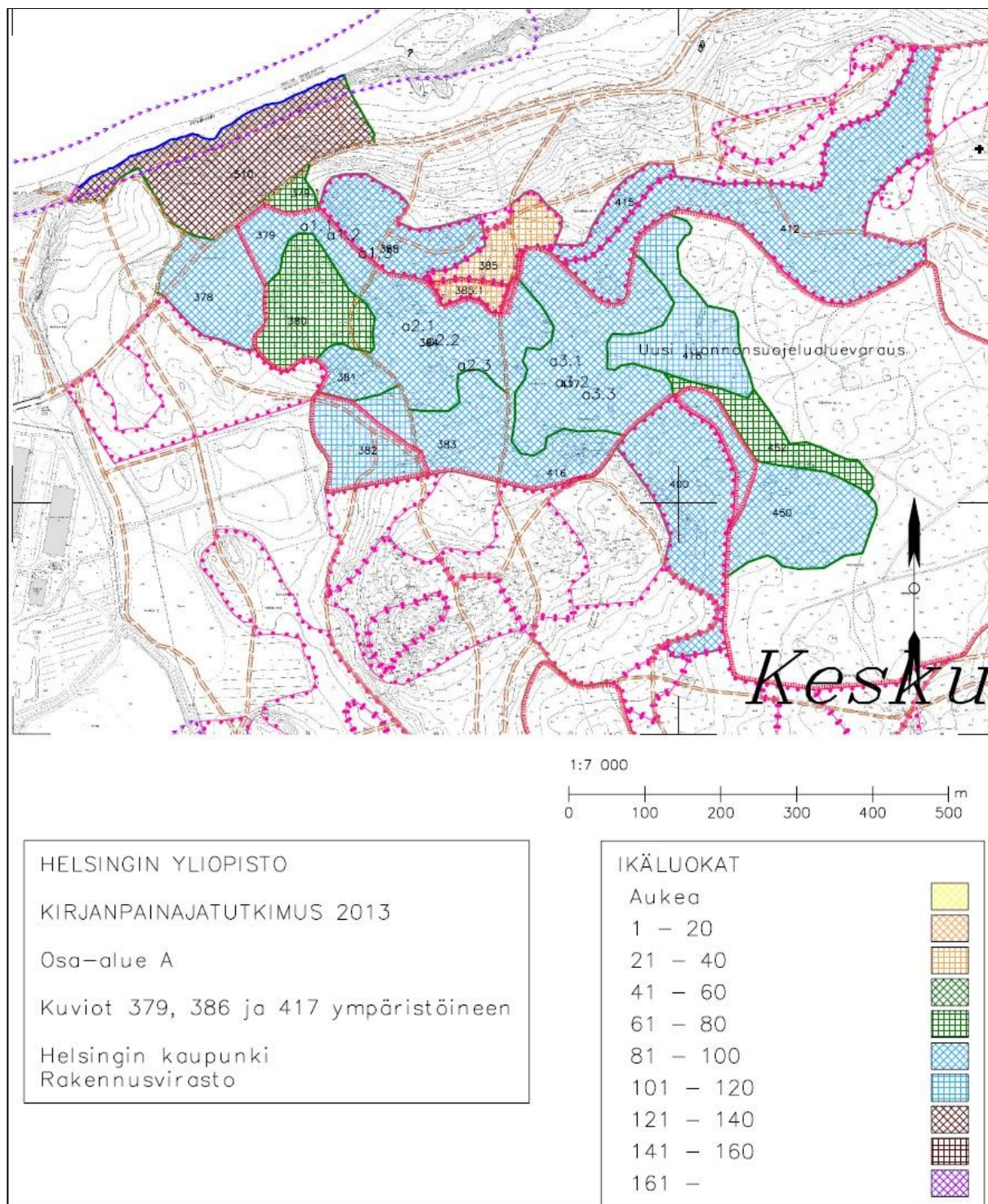
Liite 1 Osa-alueen A kasvupaikat kuvioittain.

Pyydysten tarkka sijainti on kirjainten (a–d) vasemman alakulman kohdalla.

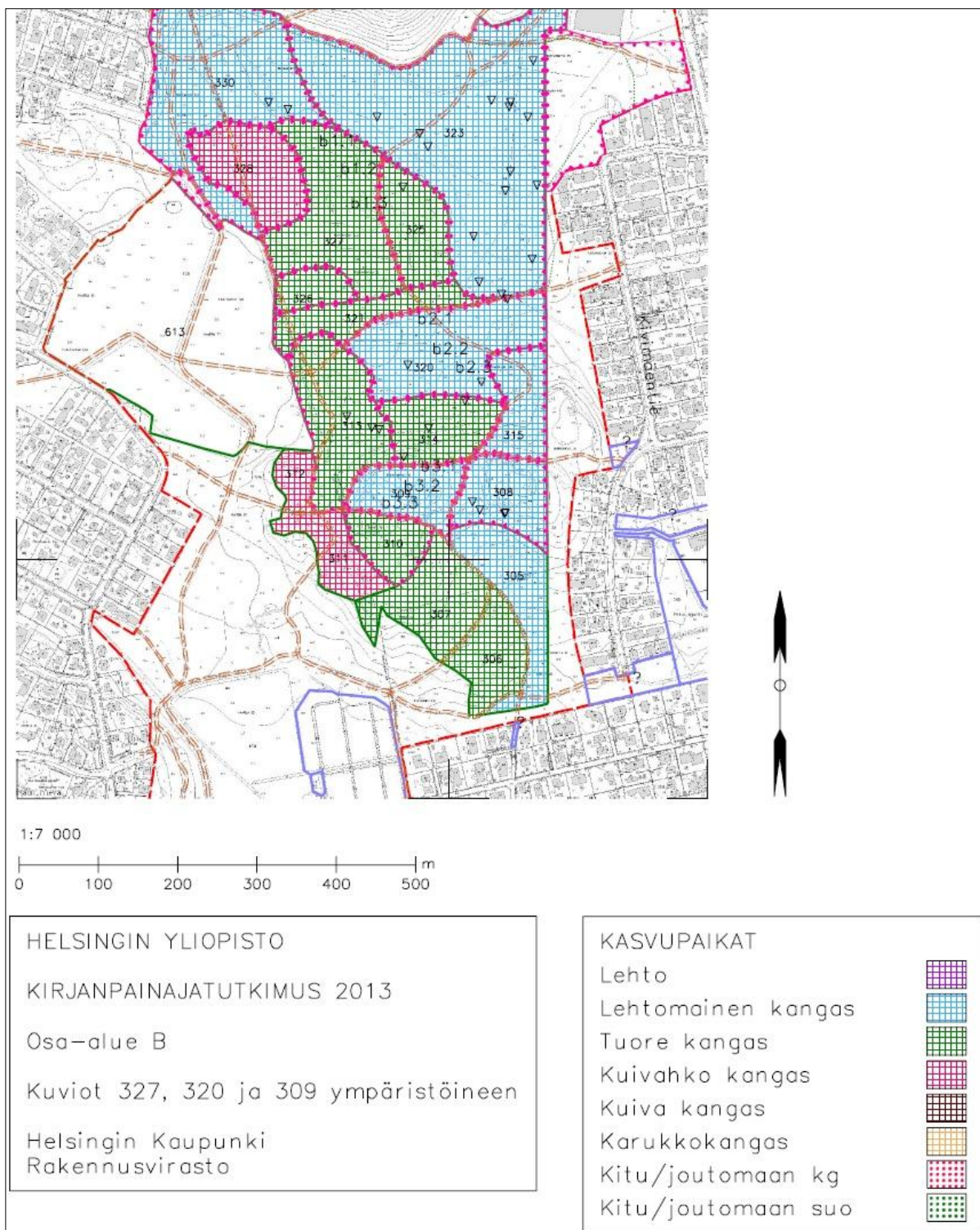


Liite 2 Osa-alueen A pääpuulajit kuvioittain.

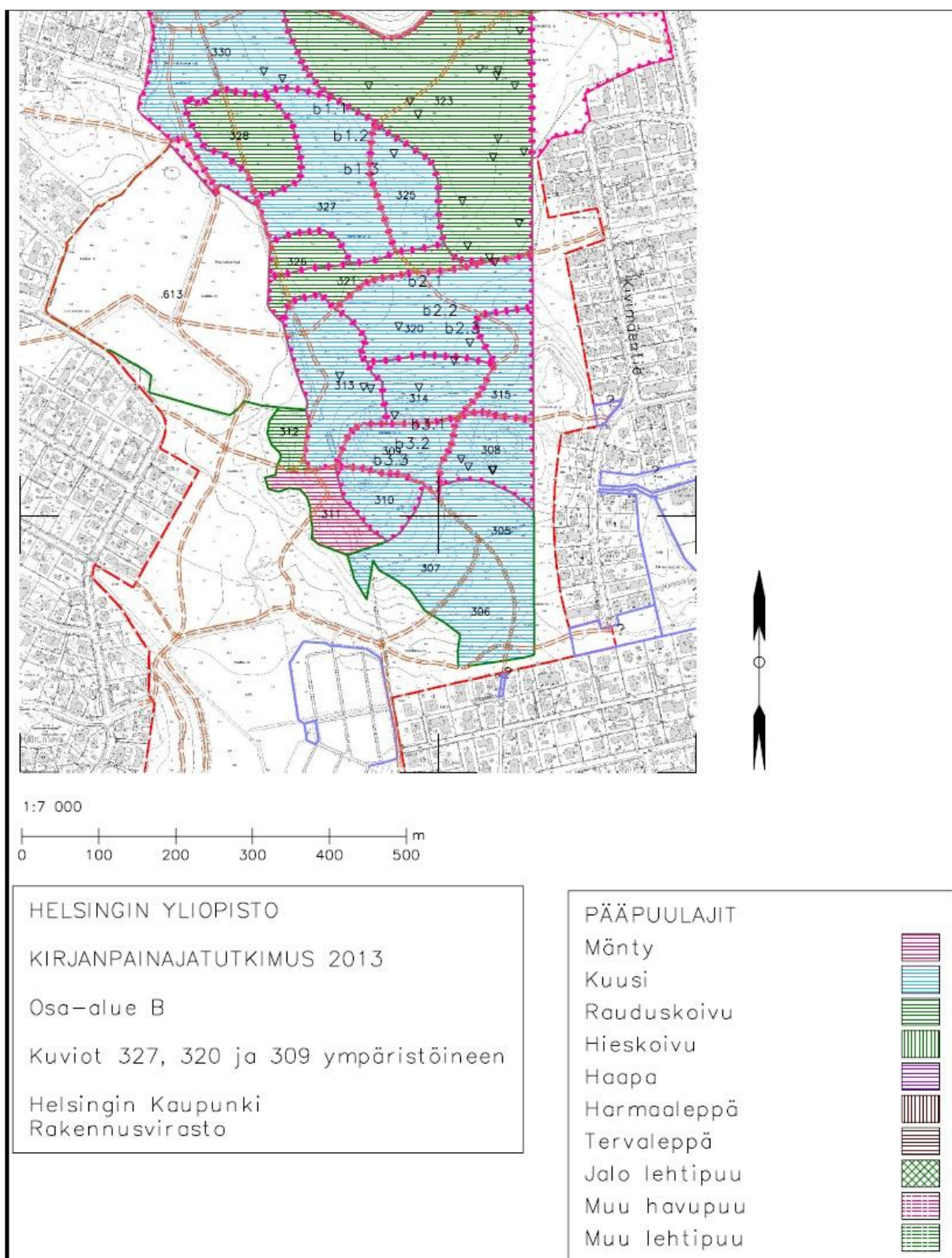


Liite 3 Osa-alueen A ikäluokat kuvioittain.


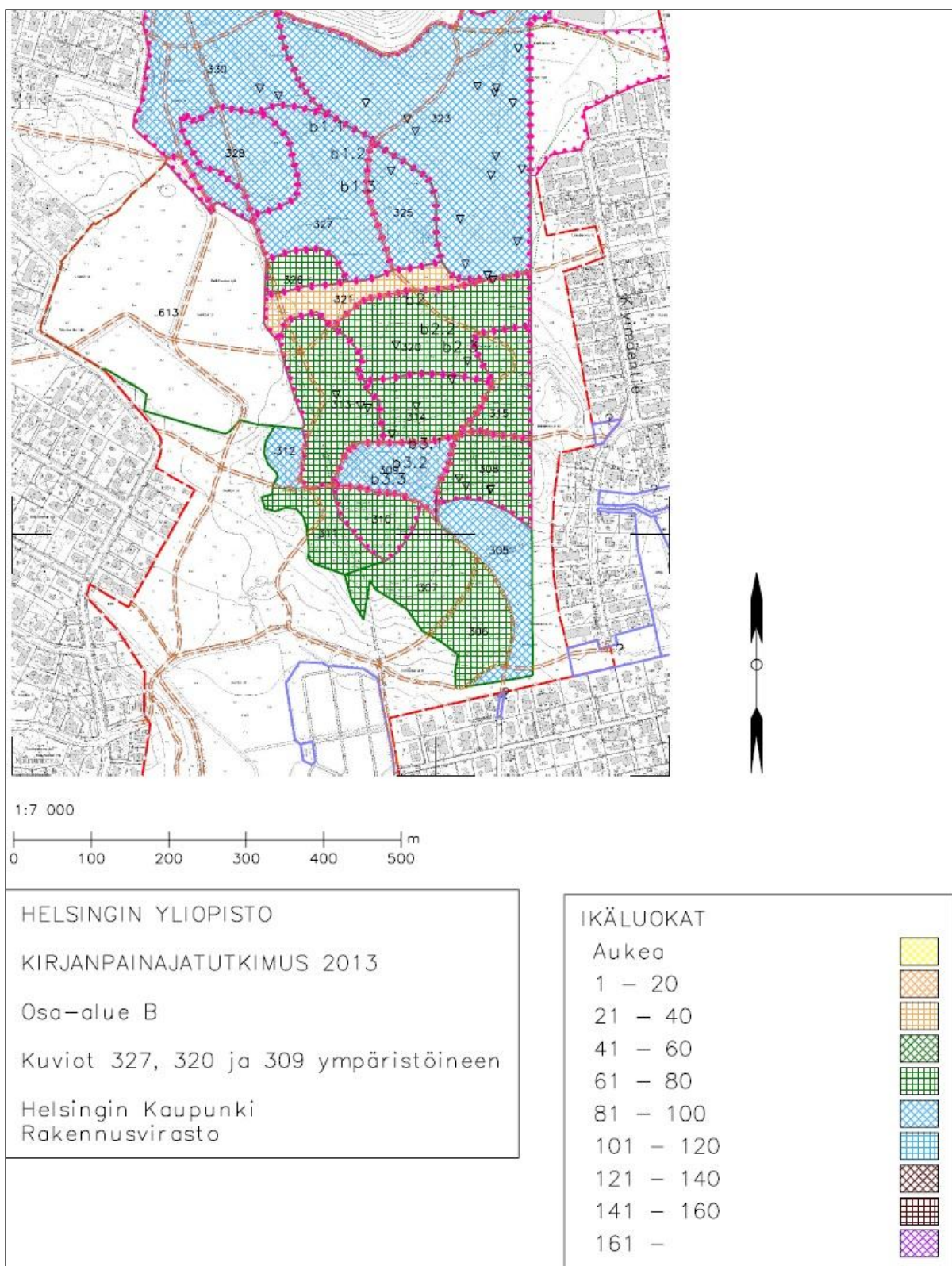
Liite 4 Osa-alueen B kasvupaikat kuvioittain.



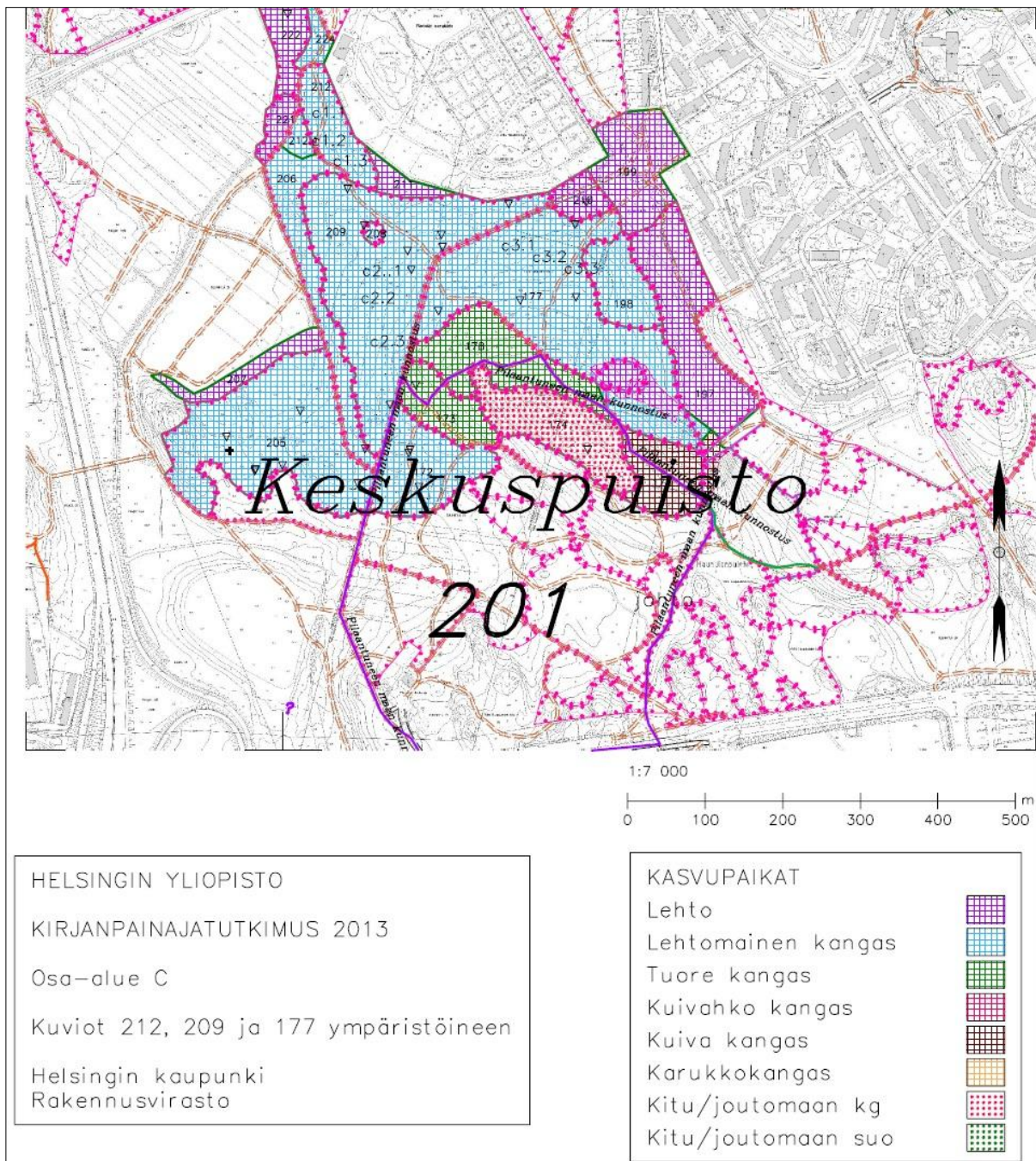
Liite 5 Osa-alueen B pääpuulajit kuvioittain.



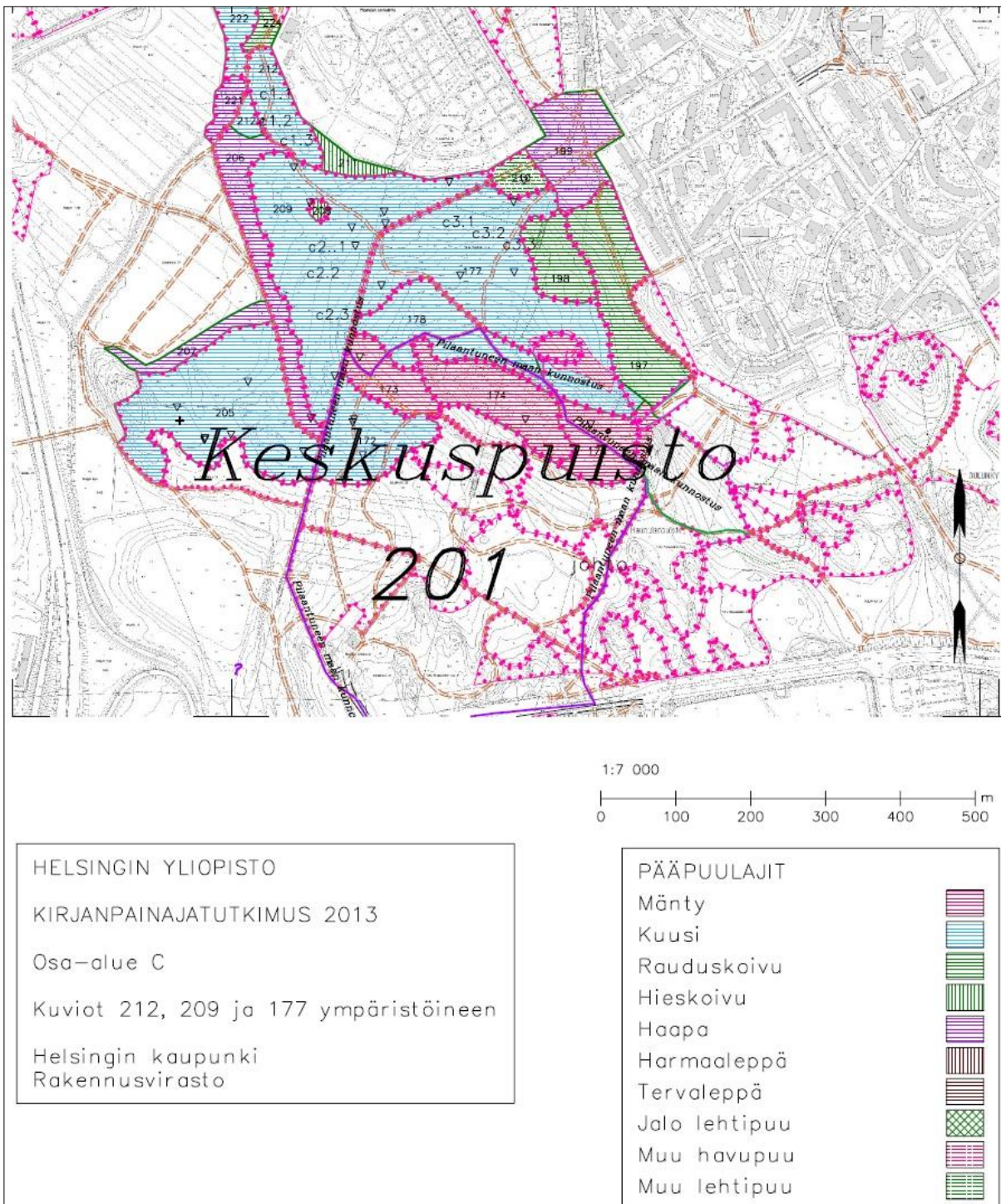
Liite 6 Osa-alueen B ikäluokat kuvioittain.



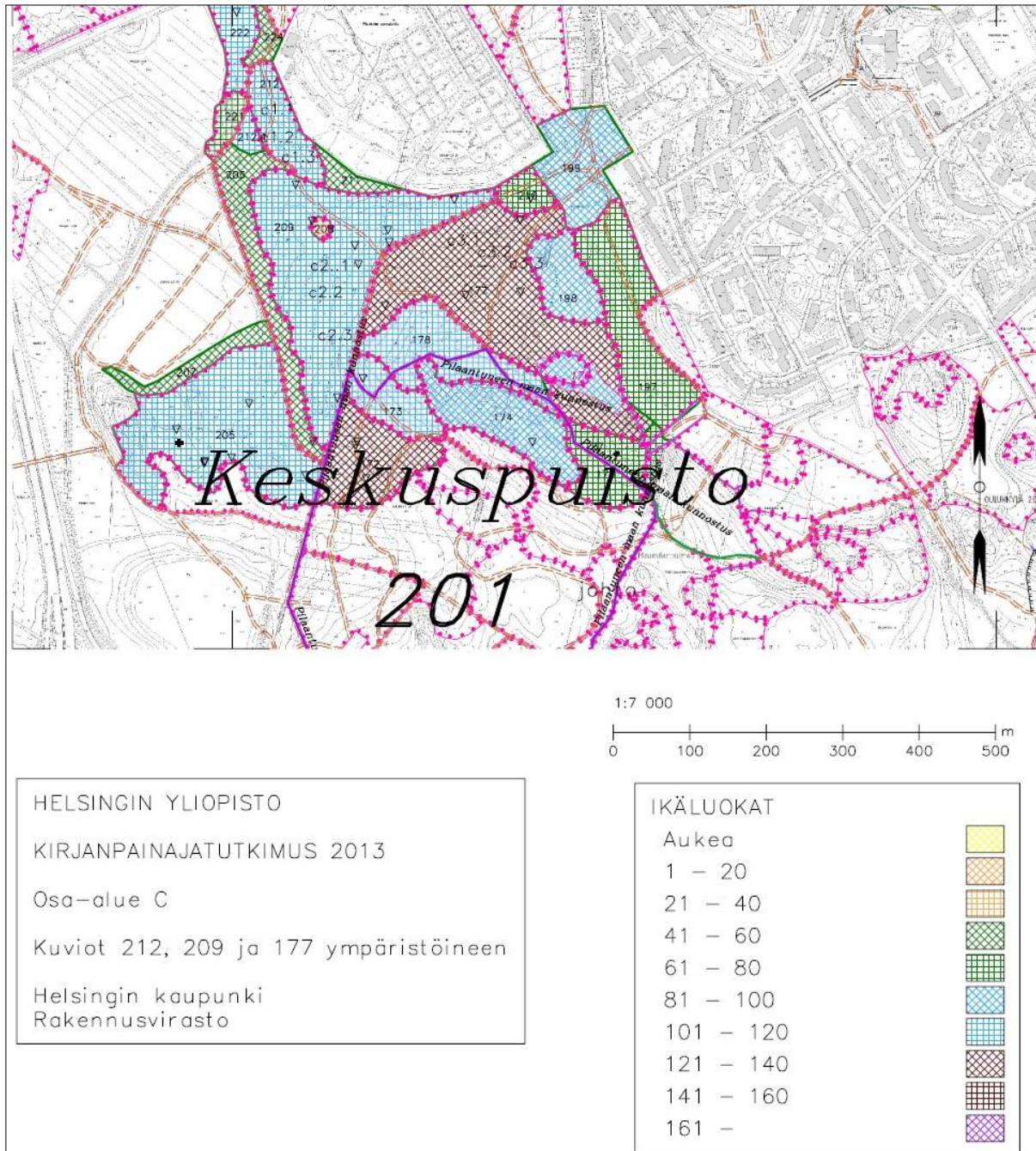
Liite 7 Osa-alueen C kasvupaikat kuvioittain.



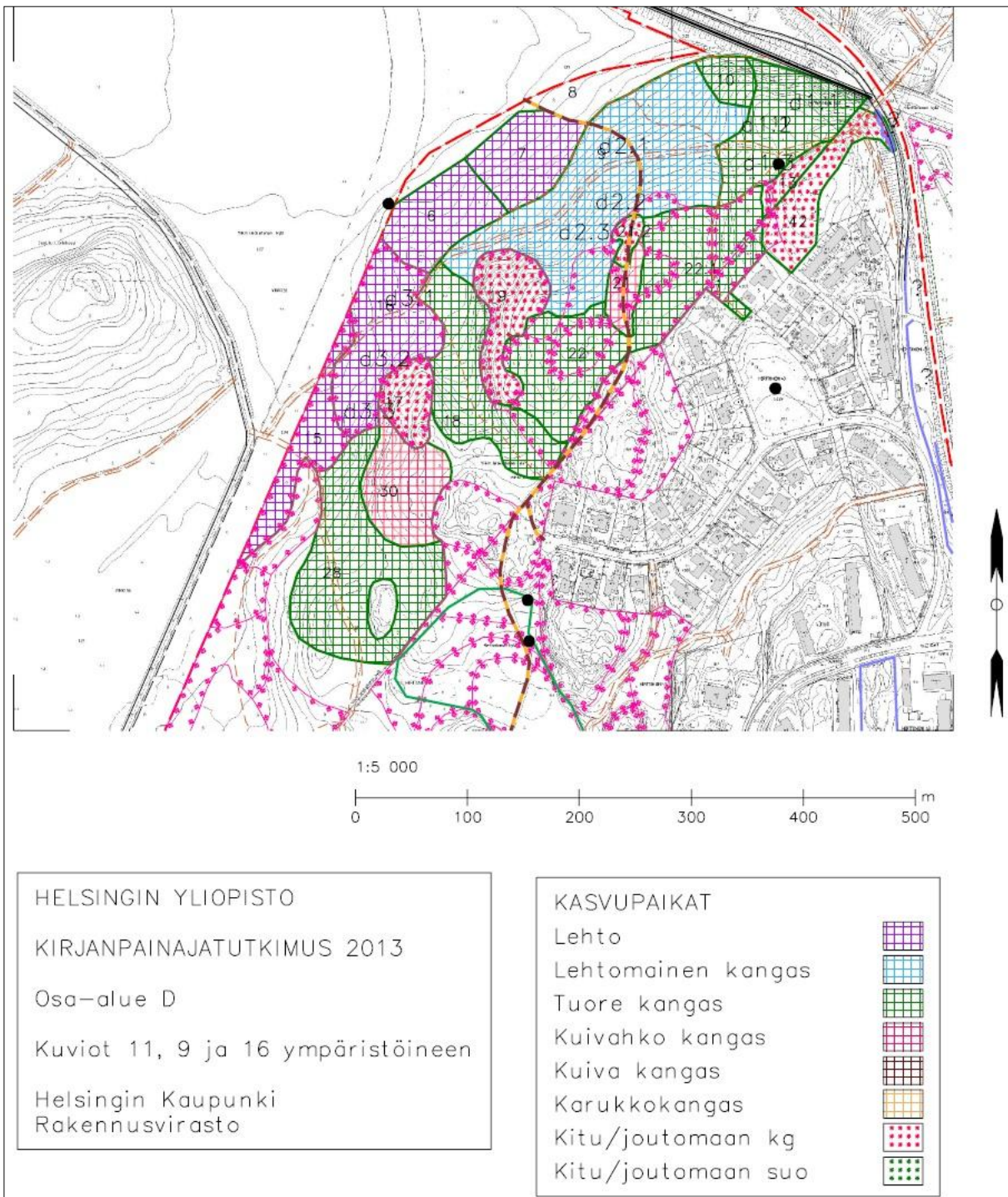
Liite 8 Osa-alueen C pääpuulajit kuvioittain.



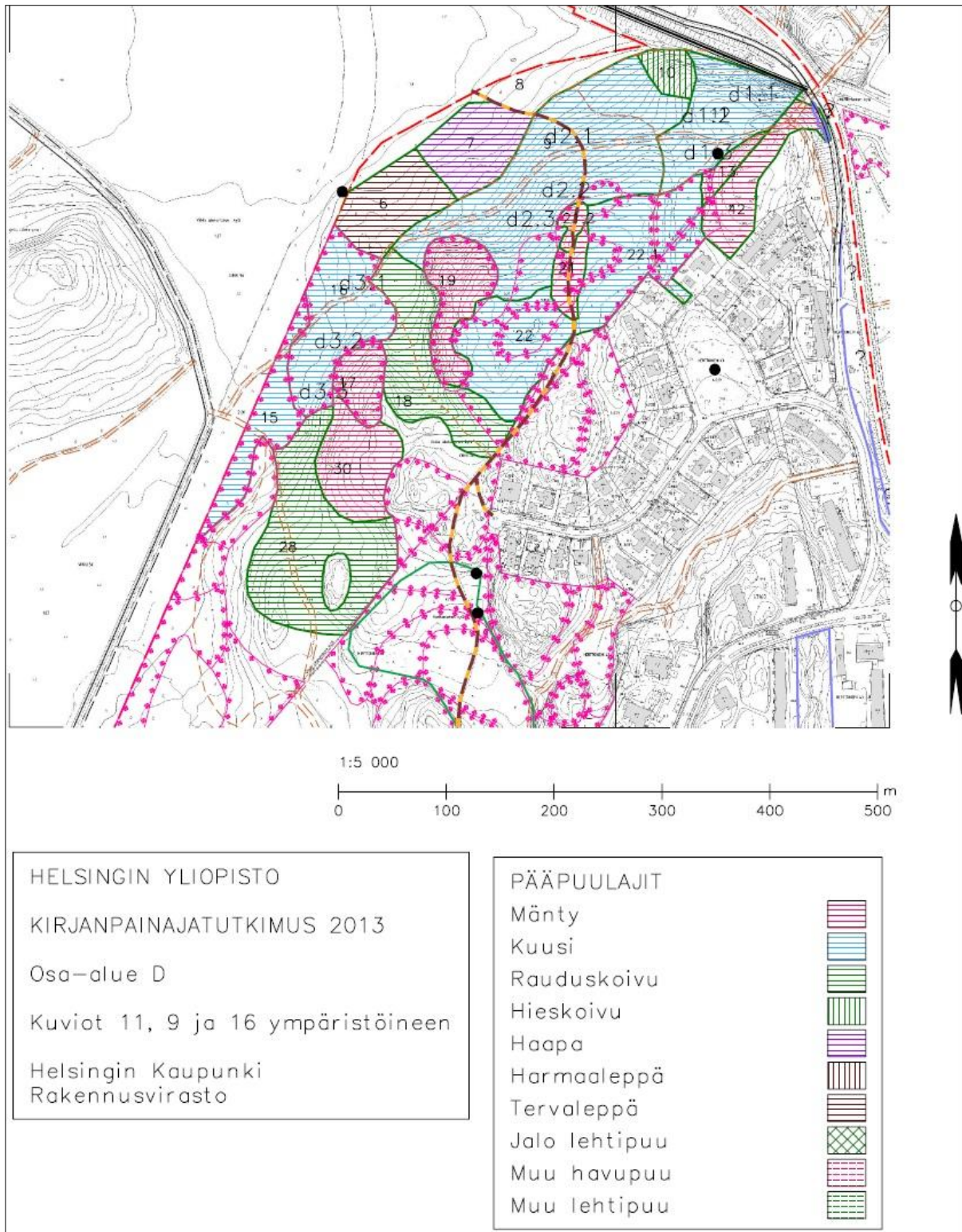
Liite 9 Osa-alueen C ikäluokat kuvioittain.



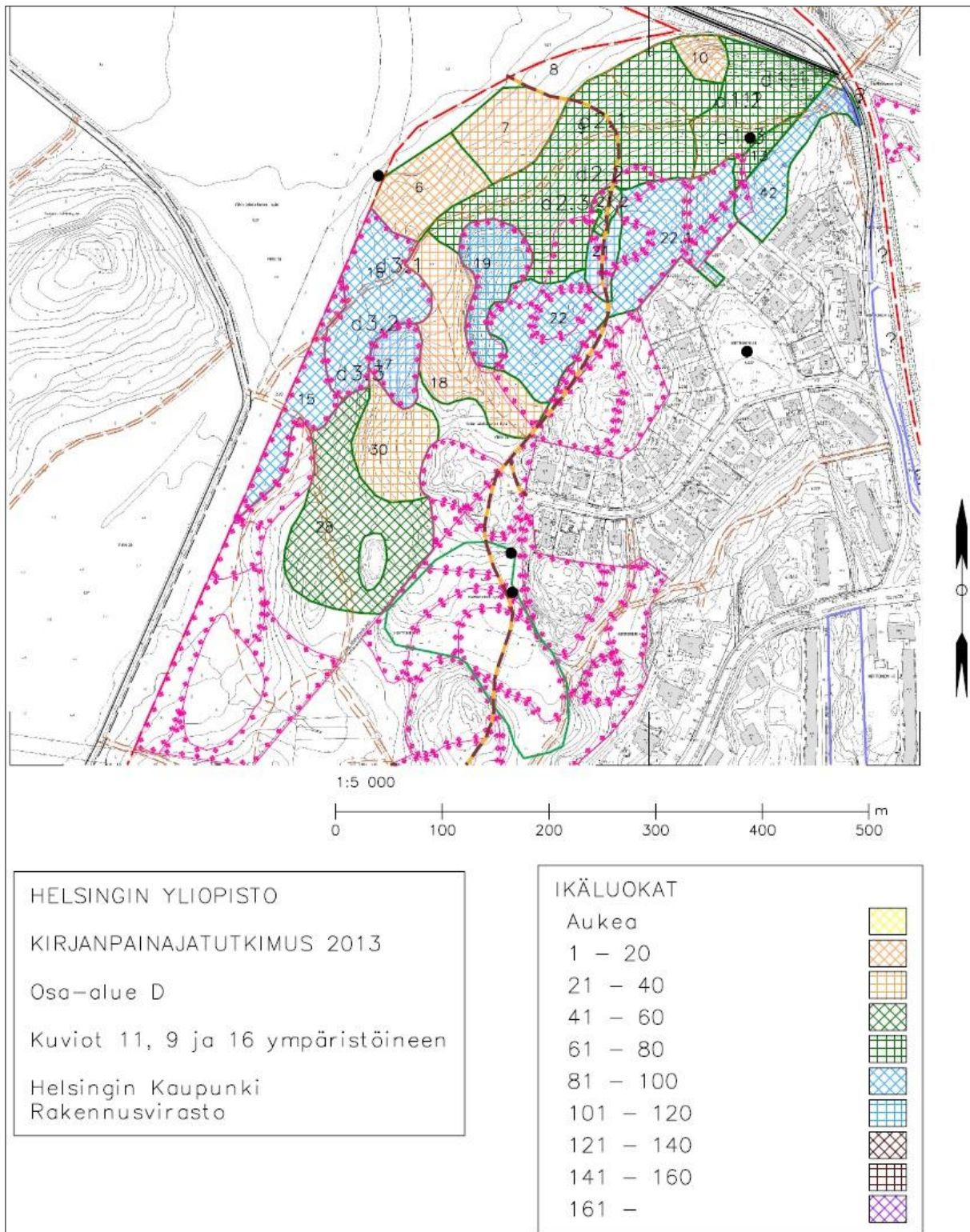
Liite 10 Osa-alueen D kasvupaikat kuvioittain.



Liite 11 Osa-alueen D pääpuulajit kuvioittain.



Liite 12 Osa-alueen D ikäluokat kuvioittain.



LIITE 13 Puustotietoja metsäkuvioilta, joilla pyydykset sijaitisivat

Kuvionumero	Koeala	Pinta-ala ha					
379	A1	1,0					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Mänty	95	1	10	39	22	11
1	Kuusi	95	28	250	37	27	323
1	Rauduskoivu	95	2	30	32	25	24
1	Haapa	95	1	10	32	25	10
2	Kuusi	25	0	300	3	3	1
2	Pihlaja	25	0	300	3	4	1
Yhteensä		95	33	900	37	26	368

Kuvio- numero	Koeala	Pinta-ala ha					
384	A2	2,2					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Mänty	90	3	40	31	22	33
1	Kuusi	90	13	200	29	24	144
1	Rauduskoivu	75	4	90	25	24	49
1	Haapa	75	4	50	32	26	48
2	Pihlaja	25	0	500	2	4	0
Yhteensä		85	25	880	29	24	274

Kuvio- numero	Koeala	Pinta-ala ha					
417	A3	3,5					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Mänty	95	1	20	30	27	12
1	Kuusi	95	19	200	35	28	242
1	Rauduskoivu	85	3	50	29	25	35
1	Haapa	85	3	50	30	24	34
1	Tervaleppä	85	1	20	30	24	11
Yhteensä		90	28	330	33	27	335

Kuvio- numero	Koeala	Pinta-ala ha					
327	B1	2,3					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Mänty	90	1	10	38	25	12
1	Kuusi	90	12	160	31	25	141
1	Rauduskoivu	85	10	130	31	24	104
2	Pihlaja	15	0	400	2	6	1
Yhteensä		90	23	690	31	25	257

Kuvio- numero	Koeala	Pinta-ala ha					
320	B2	2,2					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Mänty	80	1	10	37	26	12
1	Kuusi	80	16	210	31	26	192
1	Rauduskoivu	75	9	120	30	23	89
1	Haapa	65	1	10	32	23	11
	Muu lehti- puu	20	0	500	3	8	1
	Yhteensä	80	28	860	31	24	306

Kuvio- numero	Koeala	Pinta-ala ha					
309	B3	0,8					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Mänty	90	0		34	22	2
1	Kuusi	90	11	120	35	22	109
1	Rauduskoivu	90	7	60	39	22	63
1	Haapa	60	1	50	17	18	9
1	Raita	60	2	70	17	18	13
2	Pihlaja	25	0	490	3	7	1
	Yhteensä	85	22	790	34	21	197

Kuvio- numero	Koeala	Pinta-ala ha					
212	C1	0,7					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Mänty	125	3	40	34	23	34
1	Kuusi	115	23	350	29	22	232
1	Rauduskoivu	110	2	30	33	23	22
1	Pihlaja	70	1	60	17	20	11
Yhteensä		110	30	470	29	22	299

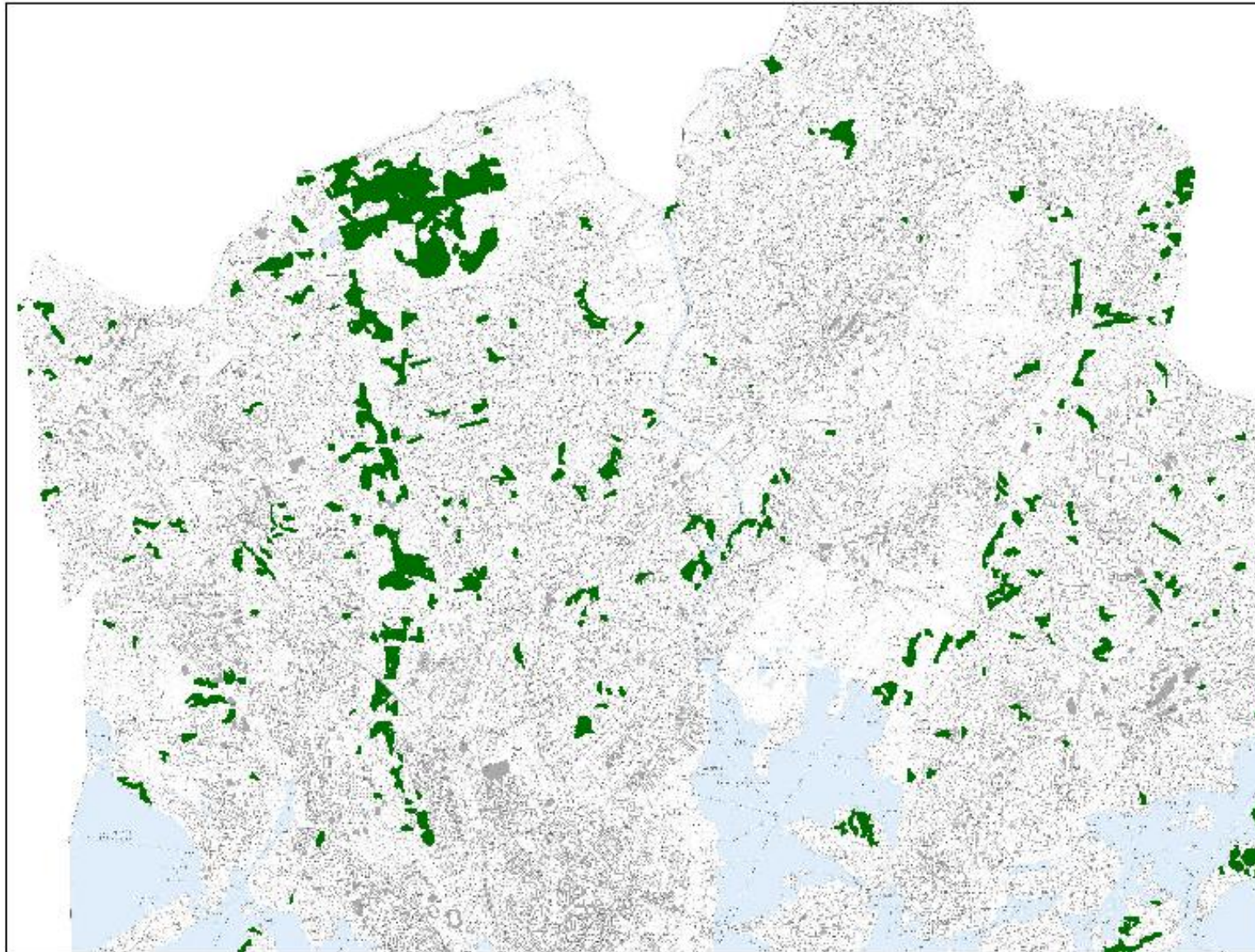
Kuvio- numero	Koeala	Pinta-ala ha					
209	C2	4,0					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Mänty	115	1	10	38	24	11
1	Kuusi	105	25	310	32	26	303
1	Rauduskoivu	100	3	40	30	25	32
1	Haapa	100	0		30	25	3
2	Muu lehtipuu	25	0	690	3	6	1
Yhteensä		105	30	1060	32	26	350

Kuvio- numero	Koeala	Pinta-ala ha					
177	C3	4,2					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Mänty	130	3	30	38	23	34
1	Kuusi	130	15	160	34	25	160
1	Rauduskoivu	110	2	20	36	25	23
1	Haapa	100	1	10	31	23	11
Yhteensä		125	21	220	35	25	228

Kuvio- numero	Koeala	Pinta-ala ha					
11	D1	0,8					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Mänty	85	1	10	31	25	8
1	Kuusi	70	7	210	20	19	66
1	Kuusi	85	7	90	31	26	82
1	Rauduskoivu	70	1	20	20	19	7
1	Rauduskoivu	85	6	80	31	25	68
2	Kuusi	30	0	50	5	9	0
2	Rauduskoivu	30	0	200	6	9	2
2	Muu lehtipuu	30	0	50	5	9	0
2	Pihlaja	30	0	200	5	9	2
Yhteensä		80	23	920	26	22	235

Kuvio- numero	Koeala	Pinta-ala ha					
9	D2	2,2					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Kuusi	70	6	170	21	22	64
1	Kuusi	85	17	310	27	25	212
1	Rauduskoivu	70	2	60	21	21	19
1	Rauduskoivu	85	3	60	27	25	34
1	Hieskoivu	70	1	30	21	21	9
1	Haapa	70	0	10	21	21	5
1	Muu lehtipuu	70	0	10	21	21	5
2	Muu lehtipuu	13	0	60	4	8	0
2	Pihlaja	13	0	240	4	8	1
Yhteensä		80	30	950	24	24	349

Kuvio- numero	Koeala	Pinta-ala ha					
16	D3	0,9					
Jakso	Puulaji	Ikä	Pohjapinta-ala m²/ha	Runkoluku kpl	Keskiläpimitta cm	Keskipituus m	Tilavuus m³/ha
1	Kuusi	60	1	20	18	18	5
1	Kuusi	110	30	210	42	28	336
1	Hieskoivu	60	1	20	18	18	5
1	Muu lehtipuu	60	1	40	18	18	9
1	Pihlaja	60	3	130	18	18	28
Yhteensä		100	35	430	38	26	383

LIITE 14 Vähintään 80-vuotiaat kuusivaltaiset metsiköt Helsingin alueella

LIITE 15 Aineiston käsittelyn menettelytavat

Pyydysten tyhjennyksessä keräysastian sisältö siirrettiin maastossa kannelliseen muovipurkkiin. Purkkiin lisättiin pieni paperipala, josta kävi ilmi pyydyksen tunnus ja tyhjennyspäivä. Lisäksi muovipurkin kylkeen kiinnitettiin pala maalarinteippiä, jossa oli samat tiedot kuin purkin sisällä olevassa paperipalassa. Laboratoriossa muovipurkkien sisältö käsiteltiin aina pyydyskohtaisesti. Muovipurkkeihin lisättiin noin 60 prosentista alkoholiliuosta sen verran, että purkkien sisältö peittyi liuksella. Hyönteisten kuoltua muovipurkkien sisältö siirrettiin harsokankaalle ja purkeissa oleva alkoholi otettiin talteen. Harsokankaalla olevasta muovipurkin sisällöstä nypittiin pois roskat ja kasvinosat. Hyönteismassasta eroteltiin kirjanpainajat ja muut hyönteiset (kuva 21).



Kuva 21. Aineiston käsittelyä laboratoriossa. Kuva: Toni Karttunen.

Kirjanpainajien lukumäärää arvioitiin tapauskohtaisesti joko tilavuuteen perustuen tai yksitään laskemalla. Tilavuusmittoina käytettiin 5 ja 11 millilitran mittoja, joihin mahtui keskimäärin 212 ja 444 kirjanpainajaa. Pienemmät määrät laskettiin yksitellen käsin. Arvioidut kirjanpainajan yksilömäärät kirjattiin muistiin, minkä jälkeen hyönteismassa siirrettiin alko-

holin kanssa muovipurkkiin säilytykseen. Sekä muovipurkin sisällä että kyljessä oli tunnistelappu, jossa luki pyydyksen tunnus ja tyhjennyspäivä.

LIITE 16 Kuvaus Kruskalin-Wallisin yksisuuntaisesta varianssianalyysistä ja parittaisesta vertailusta.

Kruskalin-Wallisn yksisuuntainen varianssianalyysi on ei-parametrinen tilastomenetelmä (Ranta ym. 2005, s. 322–327). Menetelmällä on mahdollista selvittää mahdollisia eroja populaatioiden keskiluvuissa (Ranta ym. 2005, s. 322), kuten keskiarvoissa. Tässä tutkimuksessa menetelmää sovellettiin siten, että koealojen keskimääräiset pyydystetyt kirjanpainajan yksilömäärät asetettiin kasvavaan suuruusjärjestykseen ja jokaiselle arvolle annettiin oma järjestysluku. Pienin arvo sai järjestysluvukseen yksi, toiseksi pienin järjestysluvun kaksi ja niin edelleen. Tämän jälkeen koealojen arvot jaettiin osa-alueisiinsa ja laskettiin arvojen järjestyslukujen summa. Mikäli osa-alueiden välillä ei ollut eroja pyydystettyjen kirjanpainajien yksilömäärissä, osa-aluekohtaiset järjestyslukujen summat (R) olivat keskenään lähes samansuuruisia. Käytettävä testisuure (H) oli sovellettuna tähän tutkimukseen seuraava (Ranta ym. 2005, s. 322):

$$H = \frac{12}{N(N+1)} * \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3 * (N + 1), \text{ jossa } N = \text{Havaintojen eli koealojen lukumäärä yhteensä}$$

k = Käsittelyt eli osa-alueet
 R_i = Järjestyslukujen summa käsittelyssä eli osa-alueella i
 n_i = Havaintojen eli koealojen lukumäärä käsittelyssä eli osa-alueella i .

Laskettua testisuuretta verrattiin taulukkoarvoon asetetulla viiden prosentin merkitsevyystasolla, minkä perusteella voitiin arvioida nollahypoteesin hylkäämistä.

Parittaisissa vertailuissa (Ranta ym. 2005, s. 325–327) aloitettiin järjestelemällä aineisto suuruusjärjestykseen samalla tavoin kuin edellä kuvatussa analyysissä. Tämän jälkeen muodostettiin osa-alueiden järjestyslukusummista kaikki mahdolliset erotukset: A-B, A-C, A-D, B-C, B-D ja C-D. Parittaisia erotuksia verrattiin tapauskohtaiseen mittatikkuihin. Muodostetun parin osa-alueet erosivat toisistaan asetetulla merkitsevyystasolla, jos laskettu parittainen erotus oli suurempi kuin mittatikun arvo. Mittatikun arvo saatiin kertomalla asetetun merkitsevyystason

mukainen taulukkoarvo (Q) järjestyslukusummien keskivirheellä (SE) (Ranta ym. 2005, s. 326). Järjestyslukusummien keskivirhe (SE) laskettiin tässä tutkimuksessa sovellettuna seuraavasti (Ranta ym. 2005, s. 326):

$$SE = \sqrt{\frac{n(nk)(nk+1)}{12}},$$

jossa n = Käsittelyistä eli osa-alueista saatujen havaintojen lukumäärä
k = Käsittelyiden eli osa-alueiden lukumäärä

LIITE 17 Pyydysten koordinaatit Helsingin kaupungin omassa koordinaatistojärjestelmässä ja pyydysten sijoittuminen puun rungolla ilmansuuntiin nähden.

Pyydys	Y	X	Ilmansuunta
A1.1	47 500	29 359	Itä
A1.2	47 535	29 347	Lounas
A1.3	47 577	29 323	Luode
A2.1	47 634	29 227	Kaakko
A2.2	47 666	29 208	Luode
A2.3	47 707	29 175	Länsi
A3.1	47 828	29 181	Etelä
A3.2	47 836	29 153	Kaakko
A3.3	47 871	29 137	Etelä
B1.1	47 836	27 521	Länsi
B1.2	47 863	27 486	Länsi
B1.3	47 876	27 443	Länsi
B2.1	47 960	27 297	Etelä
B2.2	47 979	27 259	Lounas
B2.3	48 008	27 236	Lounas
B3.1	47 964	27 111	Etelä
B3.2	47 943	27 086	Itä
B3.3	47 915	27 065	Etelä
C1.1	48 037	24 834	Etelä
C1.2	48 036	24 798	Etelä
C1.3	48 064	24 772	Lounas
C2.1	48 102	24 630	Lounas
C2.2	48 100	24 595	Länsi
C2.3	48 112	24 539	Koillinen
C3.1	48 281	24 663	Etelä
C3.2	48 321	24 648	Kaakko
C3.3	48 362	24 633	Itä
D1.1	55 104	23 900	Länsi
D1.2	55 061	23 880	Pohjoinen
D1.3	55 063	23 846	Kaakko
D2.1	54 934	23 861	Luode
D2.2	54 931	23 811	Kaakko
D2.3	54 898	23 784	Itä
D3.1	54 743	23 725	Luode
D3.2	54 720	23 671	Itä
D3.3	54 706	23 624	Itä

Kirjanpainajariskin arviointi ja hallinta Helsingin kaupungin taajamametsissä

Kuvailulehti

Tekijä(t)	Toni Karttunen, Tiina Saukkonen, Kari Heliövaara
Julkaisun yhteyshenkilö rakennusvirastossa	Tiina Saukkonen
Nimike	Kirjanpainajariskin arviointi ja hallinta Helsingin kaupungin taajamametsissä
Julkaisu saatavuus	Tiina Saukkonen, huone 502
Sarjan nimike	Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut
Sarjanumero	2013:12
Julkaisuaika	Marraskuu 2013
Sivuja	68
Liitteitä	12
ISBN (painettu)	978-952-272-558-5
ISBN (verkkoversio)	978-952-272-559-2
ISSN	1238-9579
Kieli koko teos	Suomi

Tiivistelmä

Helsingin kaupungin taajamametsissä tutkittiin kirjanpainajaa (*Ips typographus*), joka on eläviä kuusia uhkaava tuholaiskovakuoriainen. Kesällä 2013 tehdyn tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida tutkimusalueella olevan kirjanpainajan aiheuttaman metsätuhoriskin määrää ja sijaintia sekä esittää suosituksia metsätuhoriskin hallitsemiseksi.

Helsingin kaupungin metsiä on hoidettu monipuolisesti ottamalla huomioon monia metsiin liittyviä arvoja. Voimakkaita, metsämaisemaa selkeästi muuttavia hoitotoimia on tehty vähän, mikä on osaltaan lisännyt vanhojen metsien osuutta. Erityisesti varttuneisiin ja elinvoimaisuudeltaan heikentyneisiin kuusikoihin liittyy usein kirjanpainajan tuhoriski. Talvella 2011–2012 myrsky aiheutti paikoitellen myrskytuhoja kuusikoissa Helsingin taajamametsissä, mikä lisäsi entisestään riskiä kirjanpainajatuhoille.

Päämenetelmänä käytettiin feromonipyydydysten avulla toteutettavaa seurantaa. Tuloksia verrattiin kirjallisuudessa esitettyihin arvioihin kirjanpainajariskistä. Muita tuhoriskiin vaikuttavia tekijöitä, kuten kirjanpainajan asuttamien elävien kuusien määrää, tarkasteltiin myös kirjanpainajariskin arvioinnissa. Feromonipyydysseurannan tulosten perusteella kirjanpainajariski voi olla suuri yhdellä neljästä osa-alueesta. Kirjanpainajan asuttamia eläviä kuusia havaittiin kahden osa-alueen lisäksi yhdeltä kohteelta tutkimusalueen ulkopuolelta.

Tutkimuksen tulosten perusteella riskialttiimmat alueet kirjanpainajatuhoille olivat vanhojen tuhokohteiden ympäristöt ja sellaisten alueiden lähimetsät, joihin oli jäänyt kirjanpainajalle sopivaa lisääntymismateriaalia. Elinvoimaisuudeltaan heikentyneissä tai huonokasvuisissa kuusikoissa kirjanpainajan tuhoriski voi myös olla suurempi. Jatkotoimenpidesuosituksina riskin hallitsemiseksi esitetään lyhyellä aikavälillä 1.) Maastoseurantaa ja kirjanpainajan asuttamien runkojen poistamista juhannukseen mennessä, 2.) Myrskytuhojen kartoitusta ja myrskyn kaatamien järeiden kuusien pääsääntöistä korjuuta, 3.) Sään seurantaa ja 4.) Kirjanpainajaan liittyvien tiedotteiden seuraamista. Pidemmän aikavälin jatkotoimenpidesuosituksina esitetään riskialttiiden kuusikoiden vaiheittaista uudistamista ja metsikkörakenteiden muuttamista kirjanpainajatuhoille kestävämmiksi.

Avainsanat kirjanpainaja, metsätuhoriski, taajamametsät