

Menneet metsäpalot Kalevalan kankailla



Tuomo Wallenius
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan toimintayksikkö, Vantaan toimipaikka
PL 18, 01301 VANTAA
tuomo.wallenius@metla.fi
Puhelin: 010 211 2066
Telefax: 010 211 2202

Kansikuva: Vanhaa mäntymetsää Itä-Lapissa. Metsä on palanut viimeksi vuonna 1774.
Etualan hiiltynyt kelo on kuollut noin 450 vuotta sitten. Kuva: Tuomo Wallenius.

Tuotantoa varten on saatu Euroopan yhteisön LIFE-rahoitustukea.



© Metsähallitus 2008

ISSN 1235-6549
ISBN 978-952-446-632-5 (nidottu)
ISBN 978-952-446-633-2 (pdf)

Menneet metsäpalot Kalevalan kankailla



METLA



KUVAILELEHTI

JULKAISJA	Metsähallitus	JULKAISUAIKA	20.2.2008
TOIMEKSIANTAJA	Metsähallitus	HYVÄKSYMISPÄIVÄMÄÄRÄ	
LUOTTAMUKSELLISUUS	Julkinen	DIAARINUMERO	
SUOJELUALUEITYYPPI/ SUOJELUOHJELMA			
ALUEEN NIMI			
NATURA 2000 -ALUEEN NIMI JA KOODI			
ALUEYKSIKKÖ	Pohjanmaan luontopalvelut		
TEKIJÄ(T)	Tuomo Wallenius		
JULKAISUN NIMI	Menneet metsäpalot Kalevalan kankailla		
TIIVISTELMÄ	<p>Metsäpaloja on perinteisesti pidetty tärkeimpänä luonnollisena häiriötekijänä pohjoisissa havumetsissä. Metsäpalojen vaikutukset ovat ilmeiset, koska palo tappaa lähes aina merkittävän osan puista ja muista eliöistä vapauttaen samalla kilpailuvapaata kasvutilaa ja ravinteita, mikä edesauttaa kasvillisuuden uudistumista palon jälkeen. Eliöeläinten sopeutuminen tuleen on erilaista, joten metsäpalojen voimakkuus ja esiintymistiheys määrittelevät paljolti sen, minkälainen on metsän elävän ja kuolleen puuston rakenne ja mitkä lajit siellä esiintyvät ja menestyvät.</p> <p>Metsäpalojen esiintymistä menneisyydessä voidaan tutkia esimerkiksi metsäpalojen tuottaman hiilen, järven pohjan sedimenttien ja turvekerrosten sekä puuston ikärakenteen ja puiden saamien palokorojen avulla. Pääasiassa dendrokronologian avulla selvitetyn palohistorian perusteella pohjoisten havumetsien luonnollisten palovälien on arveltu olevan noin sadan vuoden luokkaa. Viimeaikaisissa tutkimuksissa on kuitenkin käynyt ilmi, että ihmiset ovat lisänneet metsäpaloja aiemmin arvioitua enemmän menneinä vuosisatoina. Ihmisten voimakkaan vaikutuksen puolesta todistavat myös menneiden aikojen metsäntutkijat ja palotilastot, salaman sytyttämien palojen vähäinen lukumäärä nykyisin ja metsäpalojen äkillinen vähentyminen 1800-luvun jälkipuoliskolla. Syrjäisilläkin seuduilla havaittu vuosittain palaneen pinta-alan vähentyminen johtui todennäköisesti ihmisten aiheuttamien palojen vähentymisestä.</p> <p>Luontaista palodynamiikkaa on ehdotettu malliksi luonnon dynamiikkaa jäljittelevälle metsien hoidolle ja ennallistamiselle. Tämä on ongelmallista, koska tiedot luonnollisista paloregimeistä erilaisissa metsissä ovat melko hatarat ja perustuvat olettamukseen ihmisen vähäisestä vaikutuksesta kaskikauden huippua lukuun ottamatta.</p> <p>Kuloutuksen merkitystä metsäluonnon monimuotoisuudelle voi tuskin liioitella, koska tehokas metsäpalojen ehkäisy on jo pitkään ollut vallitsevana käytäntönä Suomessa. Kuitenkin näyttää siltä, että metsäpalojen luontaisesta esiintymisestä puhuttaessa viitataan liian usein tutkimuksiin, joissa on korostunut paloherkkien metsätyyppien, kaskiviljelyn ja muiden perinteisten metsänkäyttömuotojen vaikutus paloväleihin. Merkittävää on myös se, että hyvin vähän lajeja on kuollut sukupuuttoon tai uhanalaistunut, vaikka metsäpalot vähentyivät jyrkästi jo yli sata vuotta sitten suuressa osassa Fennoskandian.</p> <p>Kalevalan kansallispuistossa Venäjän Karjalassa on yhä nähtävissä menneiden metsäpalojen merkkejä. Kalevalaisen kulttuurin aikoinaan tulen avulla muokkaama metsä kuitenkin kuusettuu pikkuhiljaa nykyisen palottoman kauden jatkuessa. Tämän ja muiden suojelualueiden hoidossa on mietittävä, tavoitellaanko toistaiseksi melko huonosti tunnettua luonnontilaa vai historiallista metsien dynamiikkaa ja rakenteita, joihin ihmiset ovat selvästi vaikuttaneet.</p>		
AVAINSANAT	luonnontilainen metsä, metsien ennallistaminen, metsäpalot, ihmisvaikutus, palohistoria, palovälit		
MUUT TIEDOT			
SARJAN NIMI JA NUMERO	Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 176		
ISSN	1235-6549	ISBN (NIDOTTU)	978-952-446-632-5
		ISBN (PDF)	978-952-446-633-2
SIVUMÄÄRÄ	46 s.	KIELI	suomi
KUSTANTAJA	Metsähallitus	PAINOPAIKKA	Edita Prima Oy
JAKAJA	Metsähallitus, luontopalvelut	HINTA	

PRESENTATIONSBLAD

UTGIVARE	Forststyrelsen	UTGIVNINGSDATUM	20.2.2008
UPPDRAKSGIVARE	Forststyrelsen	DATUM FÖR GODKÄNNANDE	
SEKRETESSGRAD	Offentlig	DIARIENUMMER	
TYP AV SKYDDSOMRÅDE/ SKYDDSPROGRAM			
OMRÅDETS NAMN			
NATURA 2000 -OMRÅDETS NAMN OCH KOD			
REGIONAL ENHET	Österbottens naturtjänster		
FÖRFATTARE	Tuomo Wallenius		
PUBLIKATION	Tidigare skogsbränder i forna Kalevalaskogar		
SAMMANDRAG	<p>Man har traditionellt ansett att skogsbränderna är den viktigaste naturliga störningsfaktorn i de boreala barrskogarna. Skogsbrändernas inverkan är uppenbar, eftersom bränderna dödar nästan alltid en betydande del av träden och de övriga organismerna. Samtidigt befrias vid bränder nytt konkurrensfritt växtutrymme och näringsämnen, vilket gynnar vegetationens förnyelse efter branden. Arter har olika anpassningsförmåga till bränder, så skogsbrändernas intensitet och frekvens bestämmer i hög grad hurdan skogens struktur är och vilka arter där finns.</p> <p>Man kan undersöka förekomsten av skogsbränder i gångna tider utifrån bl.a. kolpartiklar som uppstått vid bränderna, sjösediment, torvskikt samt trädens ålderstruktur och brandlyror. På basen av brandhistorian, som baserar sig främst på dendrokronologi, antar man att den naturliga brandintervallen i de boreala barrskogarna är cirka ett hundra år. I de senaste undersökningarna har det dock framkommit att människan ökat mängden skogsbränder under de gångna seklen mer än man tidigare har antagit. Om människans starka inverkan vittnar också gångna tiders skogsforskare och brandstatistik samt det låga antalet skogsbränder som nuförtiden antänds av blixtar och den drastiska förminskningen av antalet skogsbränder under den senare hälften av 1800-talet. Den observerade förminskningen av den årliga brandarealen även i avlägsna trakter förorsakades sannolikt av en kraftfull förminskning av bränder förorsakade av människor.</p> <p>En naturlig branddynamik har föreslagits som modell för skogarnas naturvård och restaurering. Detta är problematiskt, eftersom det finns bara sparsamt med uppgifter om de naturliga brandregimerna i olika slags skogar och de baserar sig på antagandet att människan haft en ringa inverkan på skogsbränderna bortsett från svedjebbrukets guldålder.</p> <p>Man kan knappast överdriva hyggesbränningens betydelse för skogsnaturens biodiversitet, eftersom ett effektivt förebyggande av skogsbränder redan länge har varit praxis i Finland. När man diskuterar naturligt förekommande skogsbränder refereras dock alltför ofta till undersökningar, i vilka lättantändbara skogstyper samt marker med intensivt kulturinflytande (svedjekultur och andra traditionella sätt att använda skogar) har en för stor roll. Av betydelse är också det faktum, att ytterst få arter har dött ut eller blivit hotade, trots att skogsbränderna minskade drastiskt redan för över hundra år sedan i största delen av Fennoskandien.</p> <p>I Kalevala nationalpark i ryska Karelen ser man alltjämt spår efter tidigare skogsbränder. I den traditionella kulturen på området ingick bränning av skogar. Eftersom det inte längre förekommer skogsbränder på området, håller granen på att ta över dessa skogar. I vården av området och andra skyddsområden bör man besluta, om man eftersträvar det ursprungliga naturtillståndet, som tillsvidare är ganska dåligt känt, eller den historiska skogsdynamiken och de tidigare strukturerna, på vilka människan har haft en betydande inverkan.</p>		
NYCKELORD	brandhistoria, människans inverkan, skog i naturtillstånd, skogsbränder, skogsrestaurering		
ÖVRIGA UPPGIFTER			
SERIENS NAMN OCH NUMMER	Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 176		
ISSN	1235-6549	ISBN (HÄFTAD)	978-952-446-632-5
		ISBN (PDF)	978-952-446-633-2
SIDANTAL	46 s.	SPRÅK	finska
FÖRLAG	Forststyrelsen	TRYCKERI	Edita Prima
DISTRIBUTION	Forststyrelsen, naturtjänster	PRIS	

DOCUMENTATION PAGE

PUBLISHED BY	Metsähallitus	PUBLICATION DATE	20.2.2008
COMMISSIONED BY	Metsähallitus	DATE OF APPROVAL	
CONFIDENTIALITY	Public	REGISTRATION NO.	
PROTECTED AREA TYPE / CONSERVATION PROGRAMME			
NAME OF SITE			
NATURA 2000 SITE NAME AND CODE			
REGIONAL ORGANISATION	Natural Heritage Services, Ostrobothnia		
AUTHOR(S)	Tuomo Wallenius		
TITLE	Past forest fires in Kalevala National Park and neighbourhood		
ABSTRACT	<p>Traditionally forest fires have been considered as the most important natural disturbance factor in boreal forests. The effects of forest fires are obvious, because fire usually kills a considerable proportion of the trees and other vegetation. At the same time fire releases nutrients and competition free growing space and hence facilitates regeneration of trees and vegetation after the fire. Fire severity and intervals have a considerable influence on the species composition and structure of the forests.</p> <p>The occurrence of fires in the past can be studied with help of fire scars and tree ages as well as charcoal produced by the fires in peat deposits and lake sediments. Based largely on dendrochronologically reconstructed fire histories it is suggested that the natural fire intervals in boreal forests are on average about hundred years. However, recent studies have suggested that past human influence in increasing the number of fires and burnt areas has been larger than previously thought. Reports of former forest researchers and fire statistics as well as the current small number of lightning fires attest to the considerable human influence on forest fires in the past. In addition, the sudden and dramatic decrease in fires, which took place also in remote places, was probably because of a decrease in human caused fires.</p> <p>It has been suggested that natural forest fire dynamics should act as a model for ecological forestry and forest restoration. This is problematic because natural fire regimes are poorly known. It is probably erroneous to assume that before the peak period of swidden cultivation human influence on the historical fire cycles was minimal.</p> <p>The importance of the prescribed burning for the biodiversity of the forests can hardly be overestimated because forest fires have been effectively prevented for more than a century. However, it seems that the studies of frequently burnt fire prone pine forests and the periods with high human influence are too often referred to as an example of nearly natural boreal forest fire dynamics. It is notable that very few species have gone to extinction or become threatened although fires dramatically decreased for more than a century ago in most of the Fennoscandia.</p> <p>Signs of past fires can be still seen in the Kalevala National Park in Russian Karelia. However, the traditional Finnish and Karelian cultures have modified the forests with fires. Nowadays, in the absence of frequent fires forests are gradually changing. A dense undergrowth of spruce is gaining ground in many places. In the management of the Kalevala National Park and other conservation areas it would be useful to consider whether the goal is the relatively poorly known natural conditions or the historical forest dynamics and structures, which were clearly affected by people.</p>		
KEYWORDS	fire history, forest fires, human influence, forest restoration, natural forest		
OTHER INFORMATION			
SERIES NAME AND NO.	Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 176		
ISSN	1235-6549	ISBN (PRINTED) ISBN (PDF)	978-952-446-632-5 978-952-446-633-2
NO. OF PAGES	46 pp.	LANGUAGE	Finnish
PUBLISHING CO.	Metsähallitus	PRINTED IN	Edita Prima
DISTRIBUTOR	Metsähallitus, Natural Heritage Services	PRICE	

Sisällys

1 Johdanto	9
2 Metsäpalojen merkit luonnossa	11
2.1 Hiilenmurut humuskerroksessa ja sen alla	11
2.2 Hiiltyneet kelot, kannot ja maapuut	11
2.3 Hiilikerrokset turpeessa	12
2.4 Hiili järvien pohjasedimenteissä.....	13
2.5 Puiden palokorot	14
2.6 Metsäpalon jälkeen syntyneen kasvillisuuden ikä	16
2.7 Puiden vuosilustojen paksuuden muutokset	17
2.8 Metsäpalossa kuolleet puut	17
3 Metsäpalojen vaikutus metsän rakenteeseen ja lajistoon	18
3.1 Metsien rakenne	18
3.2 Metsäpalojen vaikutus lajistoon	19
4 Fennoskandian ja Luoteis-Venäjän metsäpaloregiimit	22
4.1 Metsäpalojen syyt	22
4.1.1 Salama	22
4.1.2 Ihminen	22
4.2 Palovälit menneinä vuosisatoina	24
4.3 Muutokset metsäpaloväleissä	25
4.3.1 Vuosittain palaneiden pinta-alojen pienentyminen.....	25
4.4 Metsäpalojen kokojakauma.....	26
4.5 Palojen lukumäärä	27
5 Palontorjunnan vaikutus	28
6 Metsäpalot mallina metsien ennallistamisessa ja hoidossa	30
6.1 Luontaiset paloregiimit	30
6.1.1 Arvio maastotutkimusten perusteella	31
6.1.2 Arvio salaman sytyttämien palojen perusteella.....	31
6.2 Metsien ennallistaminen ja hoito kulottamalla.....	31
7 Metsäpalot Kalevalan kansallispuistossa	34
7.1 Luonnonolot.....	34
7.2 Ihmisvaikutuksen historia.....	34
7.3 Menneet metsäpalot	34
7.4 Paloregiimin ja metsän rakenteen muutos	35
Termien selitykset	37
Lähteet	38
Liite 1 Fennoskandiassa ja Luoteis-Venäjällä tehty dendrokronologiaan perustuvat metsäpalohistoriatutkimukset järjestettynä länneestä itään	45

1 Johdanto

Ajoittain toistuvat metsäpalot ovat vaikuttaneet pohjoisten havumetsien kehittymiseen ja rakenteeseen todennäköisesti enemmän kuin mikään muu fyysikaalinen häiriötekijä (Rowe & Scotter 1973, Goldammer & Furyaev 1996). Järvisedimentteihin ja turvekerrokseen hautautuneet hiilipartikkelit osoittavat, että tuli on silloin tällöin vierailut pohjoisissa havumetsissä aina niiden synnystä viime jääkauden lopulta lähtien (Clark 1990, Pitkänen ym. 2002).

Jo vuosisatoja sitten oppineet ja viranomaiset pitivät metsäpalojen pääasiallisena syynä ihmistoimintaa, vaikka myös salaman tiedettiin voivan sytyttää paloja (Laestadius 1833, Sargent 1884, Blomqvist 1888, von Linné 1969). Tämän näkemyksen mukaisesti varhaiset metsäntutkijat, kuten Suomen metsätyypiteorian luoja A. K. Cajander (1926), katsoivat, että pohjoisten havumetsien normaali tila on kliimaksi, jossa puiden syntyminen ja kuoleminen ovat tasapainossa ja jossa kasvillisuus ei sanottavasti muutu ajasta aikaan.

Käsitykset kuitenkin muuttuivat 1900-luvun jälkipuoliskolla, kun ensimmäiset tarkat dendrokronologiaan perustuvat palohistoriatutkimukset julkaistiin (Heinselman 1973, Zackrisson 1977). Suurimmassa osassa Fennoskandian, Etelä-Kanadassa ja Yhdysvaltojen pohjoisosissa runsaiden metsäpalojen päättymisestä oli kulunut aikaa vähintään ihmisiä verran ja varhaisten metsäntutkijoiden näkemyksiä alettiin kyseenalaistaa. Uuden tulkinnan mukaan usein toistuvat metsäpalot kuuluivat pohjoisten havumetsien luontaiseen dynamiikkaan ja metsäpalojen jyrkkä vähentyminen oli pääasiassa palojen tehokkaan sammuttamisen ansiota.

Metsäpalotutkimuksen 'läpilyönnistä' 1970-luvulta lähtien luonnontilaista boreaalista havumetsää on pidetty ennen kaikkea tulen uudistamana ekosysteeminä (Rowe & Scotter 1973). Viimeaikoina on tuotu esiin myös ilmaston vaihteluiden (Steijlen & Zackrisson 1987) sekä tuulenkaatojen, hyönteistuhojen ym. pienialaisten aukkohäiriöiden (Kuuluvainen 1994) merkitys dynaamisen ja monipuolisen metsäluonnon ylläpitäjänä.

Viime vuosikymmenien aikana huimasti kasvaneessa metsien palohistorian tutkimuksessa on

huomattu, että palojen esiintymistiheydessä on ollut huomattavaa ajallista vaihtelua. Tämän on tavallisesti katsottu johtuvan ilmaston vaihtelusta (Clark 1990, Nash & Johnson 2006, Carcaillet ym. 2007). Salaman sytyttämien luonnollisten metsäpalojen lisäksi metsät ovat palaneet ihmisten aiheuttamien palojen seurauksena jo tuhansien vuosien ajan (Pyne 2001). Näin ollen metsäpalojen esiintymistä ei voida pitää pelkästään ilmaston sanelemana ilmiönä. Ihmisvaikutusta ei kuitenkaan ole yleensä pohdittu kovin perusteellisesti viime vuosikymmenien palohistoriatutkimusten yhteydessä. Menneinä vuosisatoina vallinnut käsitys ihmisen huomattavasta vaikutuksesta metsäpalojen esiintymiseen on kenties sivuutettu liian köykäisin perustein.

Fennoskandiassa ihmiset seurasivat mannerjään sulavaa reunaa pohjoiseen ja länteen ja olivat paikalla ennen nykyisenkaltaisen havumetsän syntyä. Metsästäjä-keräilijä-heimot vaikuttivat elinympäristöönsä mm. metsästämällä suuria kasvinsyöjiä ja aiheuttamalla metsäpaloja sekä vahingossa että tarkoituksellisesti. Vaikka väen tiheys oli kivikaudella alhainen nykyiseen verrattuna, pienikin ihmisjoukko on halutessaan voinut polttaa metsiä huomattavasti luonnollista lyhyemmin välein. Ihmiset ovat näin ollen mahdollisesti osaltaan vaikuttaneet siihen, millaiseksi boreaalinen kasvillisuusvyöhyke on muotoutunut. Muutamat viimeaikaiset tutkimukset viittaavat siihen, että ihmisillä on ollut aiemmin uskottua suurempi vaikutus metsäpalojen lukumäärään ja palaneisiin pinta-aloihin (Wallenius ym. 2004, Groven & Niklasson 2005, Wallenius ym. 2005).

Epävarmuus ihmisen vaikutuksesta menneiden aikojen paloväleihin on ongelmallista, koska nykyisin halutaan edistää luonnonmukaista metsien hoitoa ja metsien ennallistamista luonnontilaan ja koska yhtenä merkittävänä keinona on hakea mallia luontaisesta palodynamiikasta (Angelstam 1998, Bergeron ym. 2002). Tiedot metsäpalojen luontaisesta esiintymistiheydestä ovat kuitenkin melko hataria.

Luonnonmukaisen metsien hoidon ja ennallistamisen tavoitteet voivat jäädä saavuttamatta, jos lähtökohdat ovat väärät. Luonnonmukaiseen metsien käsittelyyn tähtäävä toiminta tarvitsisi

rinnalleen lisää tutkimusta, jonka tarkoituksena olisi selvittää luonnontilaisten metsien rakennetta ja dynamiikkaa sekä erityisesti ihmistoiminnan merkitystä ennen nykyaikaisen metsäteollisuuden kehittymistä.

Tämä julkaisu on katsaus metsäpalojen esiintymiseen, syihin ja vaikutuksiin erityisesti suomalaisten heimojen asuinsijoilla 'Kalevalan kankailla' mutta myös yleisemmin Fennoskandiassa ja pohjoisissa havumetsissä. Metsäpalokirjallisuuden referoinnin lisäksi julkaisussa arvioidaan ihmisen vaikutusta metsäpalojen esiintymiseen.

Kalevalaiset metsät edustivat monille 1800-luvun taiteilijoille suomalaista kansallismaisemaa, jota käytiin kuvaamassa ja ihastelemassa Paanajärvellä ja muualla lähellä Kalevalan oletettuja syntysijoja. Nykypäivän metsäntutkijat puolestaan matkustavat Kalavapuistoon ja muualle Suomen itärajan taakse 'vihreälle vyöhykkeelle' etsimään esimerkkejä luonnontilaisesta metsästä.

Kansallishengen innoittamille taiteilijoille olisi saattanut olla pyhäinhäväistys kuulla Matti Klingen ja Lennart Meren sinänsä järkeenkävästä teoriasta, että Kalevala sijaitsikin ainakin osittain Virossa, kun taas Suomessa oli Pohjola, jonne käytiin venhein yli meren tai ratsain jäällä. Meitä nykypäivän metsäntutkijoita moinen asia tuskin vaivaa, mutta meilläkin on omat sokeat pisteemme.

Lähtökohtana useimmissa vihreällä vyöhykkeellä ja monissa Suomen kansallispuistoissa tehdyissä metsäntutkimuksissa on ollut se, että metsä on luonnontilaista. Toki tutkitut metsät eroavat suuresti nykyaikaisen metsätalouden tuloksena syntyneistä metsiköistä, mutta Kalevalan ja Pohjolan asukkailla eli esi-isillämme on todennäköisesti ollut huomattava vaikutus asumiinsa metsiin. Vanhoja ihmistoiminnan merkkejä näkyy kaukaisissakin Kalevalapuiston ja Paanajärven metsäerämaissa (Rouvinen ym. 2002, Wallenius ym. 2004, Wallenius ym. 2005).

2 Metsäpalojen merkit luonnossa

Tässä luvussa kerrotaan, mitä merkkejä menneisyydessä tapahtuneista metsäpaloista voi luonnosta löytää ja mitä näiden luonnonarkistojen perusteella voidaan selvittää metsäpalojen ajankohdasta ja vaikutuksista. Metsäpalojen tutkijat ovat useimmiten kiinnostuneita siitä, kuinka kauan aikaa viimeisestä metsäpalosta on kulunut tai kuinka usein jokin paikka on palanut. Jos pitkiä palokronologioita kyetään selvittämään, herää kysymys, onko palofrekvenssissä tapahtunut muutoksia. Lisäksi halutaan tietää, jos mahdollista, kuinka suuria ja voimakkaita palot ovat olleet ja mitä vaikutuksia niillä on ollut puustoon ja muuhun kasvillisuuteen.

2.1 Hiilenmurut humuskerroksessa ja sen alla

Yleisimpiä merkkejä metsäpaloista ovat metsän pohjalta löytyvät makroskooppiset hiiltyneet kasvinosat, jotka voidaan kaivaa kenttälapiolla esiin humuskerroksen alta (Wallenius 2002). Lahotajasienet eivät juuri kykene hajottamaan hiiltä kemiallisesti ja siksi hiiltynyt eloperäinen materiaali säilyy erinomaisesti. Hiilenmuruja on mahdollista löytää niin sata kuin tuhat vuotta sitten palaneista metsäpaloista (Payette & Gagnon 1985, Wallenius ym. 2005).

Hiilen verrattoman säilyvyyden vuoksi sitä löytyy useimmista mineraalimaan metsistä Suomessa ja Suomen lähialueilla Venäjällä. Useimmiten on helppoa osoittaa metsä palaneeksi etsimällä hiiltä juurineen kaatuneen puun synnyttämää kuopasta. Riittävän suuresta hiilenkappaleesta voi jopa määrittää metsäpalon ajankohdan radiohiiliajoituksen avulla (Payette & Gagnon 1985). Kaikilta seuduilta ja kaikenlaisista metsistä hiiltä ei kuitenkaan löydy helposti. Eri tutkimuksissa pohjoisilla alueilla ja kuusivaltaisissa metsissä hiiltä ei havaittu 10–30 % maiseman pinta-alasta (Engelmark 1984, Wallenius 2002, Wallenius ym. 2005).

Edellä mainitut 10–30 % pinta-alasta eivät välttämättä ole ikiaikaisia kulonkiertämiä. Hiilenmurujen löytymättä jääminen voi olla merkki liian pienestä panoksesta hiilten etsimiseen. Jos haluaa osoittaa tietyn alueen ikiaikaiseksi palorefugioksi, täytyy nähdä huomattavan paljon vai-

vaa, koska muinaisissa metsäpaloissa syntyneet hiilenmurut ovat mahdollisesti sekoittuneet mineraalimaan ja jakautuneet epätasaisesti metsän pohjalle.

Mäntyvaltaisilla alueilla hiiltä on kuitenkin helppo löytää lähes kaikista metsäpaloista. Vaikeuksia hiilenmurujen löytämisessä on useimmiten kuusikoissa, korvissa ja lehdoissa. Nämä kasvilisuustyypit palavat hyvin harvoin.

2.2 Hiiltyneet kelot, kannot ja maapuut

Hiiltyneet kelot, kannot ja maapuut ovat merkki siitä, että metsikkö on palanut todennäköisesti alle 500 vuotta sitten (kuva 1). Rungoltaan hiiltyneet puut ovat todennäköisesti olleet kuolleita jo palon sattuessa. Tämä johtuu siitä, että elävän puun puuaineksi on kosteaa ja hiiltyy harvoin, vaikka puu kuolisi metsäpalossa. Ohuet oksat sen sijaan palavat ja niiden tyngät ovat usein kärjestään hiiltyneet, vaikka rungosta ei löydy hiiltä.



Kuva 1. Hiiltynyt kelo, jonka poikkileikkauksessa näkyy yksi palokoro. Hiiltynyt pinta on merkinä toisesta, puun kuoleman jälkeen sattuneesta metsäpalosta. Kuva: Tuomo Wallenius.

Useimmilla puulajeilla runkoa ympäröivä kaarna riittää suojaamaan puuainesta palamiselta. Puun kuolema metsäpalossa on useimmiten seurausta latvuksen neulasten tai rungon tyven ja juurien jälsikerroksen tuhoutumisesta liian korkeassa lämpötilassa.

Kuoleman jälkeen puu kuivuu ja sen kaarna tippuu pois 10–20 vuoden kuluessa. Keloutunut puu on altis palamiselle ja hiiltymiselle. Hiiltyneet kelot ja kannot ovat tyypillisesti kuolleet vähintään muutama vuosikymmen ennen metsäpaloa. Kuolemansa jälkeen mäntykelot voivat pysyä pystyssä vuosisatoja (Niemelä ym. 2002). Jo kauan sitten kuolleiden puiden elinvuodet voidaan ajoittaa dendrokronologisin menetelmin. Hiiltynyt pinta kielii puun kuoleman jälkeen sattuneesta metsäpalosta.

Hiiltyneitä puita on runsaasti esimerkiksi Venäjän Karjalan ja Pohjois-Suomen mäntyvaltaisissa metsissä. Etelä-Suomen talousmetsissä ja kuusivaltaisissa luonnonmetsissä hiiltyneet puut ovat harvinaisempia. Tervanpoltto on todennäköisesti vähentänyt hiiltyneiden kantojen esiintymistä Etelä-Suomessa Kuhmoa myöten. Pinnaltaan hiiltyneet kannot ovat usein hyvää tervasta, ja ne on tervanpolton aikakaudella suurimmaksi osaksi pilkottu tervahautoihin. Hiiltyneitä huo-

nokuntoisia kantojen jäänteitä on kuitenkin yhä mahdollista löytää esimerkiksi Evon kuusivaltaisista metsistä (Wallenius ym. 2007). Aiemmin nämä metsät paloivat muutaman kymmenen vuoden välein ja puusto oli mäntyvaltaista.

2.3 Hiilikerrokset turpeessa

Suotkin voivat palaa lukuun ottamatta kaikkein vetisimpiä nevoja ja lettoja. Soiden yleisyyden vuoksi turvenäytteisiin perustuva metsäpalo- ja kasvillisuushistorian tutkimus on ollut suosittua etenkin Suomessa ja sen lähialueilla (Hyvärinen & Sepponen 1988, Tolonen 1985, Bradshaw 1993, Gromtsev 1996, Pitkänen ym. 2002).

Merkiksi suon palamisesta turvekerrostumaan jää kerros paljain silmin näkyviä hiilipartikkeleita (kuva 2). Makroskooppisten hiilikerrosten lisäksi soihin kulkeutuu runsaasti mikroskooppisia hiilihituisia, jotka voivat olla peräisin suota reunustavan metsän tai kaukaisemmankin alueen kulosta (Tolonen 1985, Wallenius ym. 2005).

Palohistorian selvittämiseksi suosta nostettu turvenäyte jaetaan esimerkiksi yhden senttimetrin paksuisiin osanäytteisiin, joista lasketaan hiilipartikkelien ja siitepölyhiukkasten määrät. Suon syntymästä lähtien sattuneiden palojen



Kuva 2. Paljain silmin nähtävät hiilikerrokset turpeessa kertovat suon ja suota ympäröivän metsän palamisesta. Kuva: Antti Lavikainen.

määrä voidaan tulkita makro- ja mikroskooppisista hiilimaksimeista. Erilaisten siitepölyjen laskeminen ja analysointi antavat tietoa kasviyhteisöjen muutoksista pitkillä ajanjaksoilla. Usein toistuvien metsäpalojen yhteydessä esimerkiksi kuusen siitepölymäärät laskevat ja koivun ja männyn kasvavat (Pitkänen ym. 1999).

Turvekerrokset voidaan ajoittaa radiohiilimenetelmällä, jota varten näytteet otetaan esimerkiksi makroskooppisista hiilimaksimeista. Palojen ajoitus tällä menetelmällä tuottaa parhaimmillaankin melko epätarkan ajoituksen, jossa metsäpalon ajankohta saadaan selvitettyä vain noin 100 vuoden tarkkuudella. Usein on tyydyttävä suhteelliseen ikään, joka saadaan osanäytteiden järjestyksestä (Bradshaw 1993).

Ajoituksessa voidaan tukeutua myös siitepölyanalyysiin. Vertaamalla paikalla sattuneita siitepölylajiston vaihteluita tunnettuihin paleobotaniin muutoksiin, kuten kuusen saapumiseen tai maanviljelyn alkamiseen, voidaan tietyt kerrokset ajoittaa noin kahdensadan vuoden tarkkuudella (Tolonen 1985). Ajoitettujen tasojen välissä olevien kerrostumien ikä arvioidaan turpeen keskimääräisen kasvun perusteella.

Turvekerrostumien sisältämien hiilipartikkeleiden tutkimus mahdollistaa tuhansia vuosia pitkien ajanjaksojen palohistorian tarkastelun. Samalla tehtävä siitepölyanalyysi antaa tietoa kasvillisuuden muutoksista. Hiili- ja siitepölyanalyysissä on kuitenkin monia huonoja puolia. Palojen ajoitus on tyypillisesti epätarkkaa. Menetelmä on äärimmäisen työläs ja saavutetut tulokset koskevat silti useimmiten vain muutamaa paikkaa ja turvenäytettä. Keskimääräisten palovälien arviointi on vaikeaa, koska mikroskooppiset hiilimaksimit saattavat olla peräisin melko kaukaisestakin metsäpalosta. Toisaalta lähelläkään sattunut kulo ei välttämättä näy hiilipiikkinä turvekerrostumassa (Wallenius ym. 2005). Yhden senttimetrin korkuisen osanäytteen edustaessa esimerkiksi sataa vuotta, yhden metsäpalon tuottama hiili saattaa tasoittua näkymättömiin (Hyvärinen & Sepponen 1988).

2.4 Hiili järvien pohjasedimenteissä

Monessa suhteessa samanlainen menetelmä kuin hiilipartikkeleiden laskenta turvekerrostumista on hiilten tutkiminen järvisedimenteistä. Jos metsäpalo sattuu jonkin järven lähistöllä, osa palossa syntyneestä hiilestä kulkeutuu järveen ja sedimentoituu sen pohjalle muun aineksen mukana. Erona turpeiden tutkimiseen on se, että järvisedimentit kyetään parhaimmillaan ajoittamaan melko tarkasti. Tietynlaisissa järvissä pohjasedimenttiin muodostuu vuosilustoja, joita laskemalla päästään sedimentissä tuhansien vuosien taakse. Yksi vuosilusto koostuu vaaleasta ja tummasta kerroksesta. Vaalea syntyy kesällä ja sisältää paljon leviä. Tumma talvella syntyvä kerros puolestaan koostuu enimmäkseen humuksesta (Tolonen 1978b).

Kaikkiin järviin ei kuitenkaan muodostu vuosilustoja, mikä voi johtua esimerkiksi runsaasta pohjaa pölyttävien kalojen populaatiosta. Järven alttiutta tuulille pidetään myös haitallisena sedimenttien vuosilustojen muodostumiselle ja tutkimuksen onnistumiselle (Tolonen 1978a). Vaikka järven pohjaan muodostuisikin säännöllisesti lustoja, ei palojoitus niiden perusteella ole vuodelle tarkkaa. Tämä johtuu siitä, että hiilen kulkeutuminen järvenpohjalle tapahtuu useamman vuoden aikana, minkä seurauksena metsäpalojen tuottama hiili jakautuu sedimenteissä useille vuosille (Cwynar 1978). Järvestä nostettu sedimenttinäyte, josta hiilipartikkelien lukumäärä ja pinta-ala määritetään, jaetaan esimerkiksi sentin paksuisiin osanäytteisiin, jotka saattavat sisältää toistakymmentä vuosilustoa. Tämä vaikuttaa hiilimaksimeihin madaltavasti ja siten osa lähialueen kuloista saattaa jäädä tutkimuksessa huomaamatta. Keskimääräisten palovälien päätteleminen järvisedimenteistä on vaikeaa, koska järvet itsessään eivät voi palaa, vaan niihin kertyvä hiili on peräisin vaihtelevan suuruiselta alueelta ja vaihtelevan etäisyyden päästä järvestä.

2.5 Puiden palokorot

Fennoskandiassa yleisimmin käytetty ja luotettavimpana pidetty metsäpalohistorian tutkimusmenetelmä perustuu metsäpalojen puihin jätämien palokorojen ajoittamiseen (Zackrisson 1977, Engelmark 1984, Niklasson & Granström 2000). Palokoro syntyy tyypillisesti rungon tyviin, kun kenttä ja pohjakerroksessa etenevä tuli tappaa osan puuta ympäröivästä jälsikerroksesta. Puun jatkaessa kasvuaan henkiin jäänyt jälsi alkaa levitä sivustoilta vahingoittuneen kohdan päälle (kuva 3). Puun sanotaan kyljestyvän. Metsäpalojen toistuessa taajaan aiemmin palokoroja saaneet puut saavat niitä lisää. Tuli tarttuu helposti avonaisten palokorojen pihkaiseen ja kuivaan puuhun. Palokoron tunnistaa muiden tekijöiden, kuten salaman, sienien tai hyönteisten, aiheuttamista arvista kolmikulmaisen muotonsa, sijaintinsa rungon alaosassa ja hiiltymien perusteella. Jos puussa on useita peräkkäisiä koroja, sisimmät ovat usein hiiltyneet.

Pohjois-Euroopassa metsämänty soveltuu parhaiten palokorotutkimukseen, koska mänty kestää hyvin metsäpaloja ja muodostaa lahonkestäviä palokoroja. Mänty voi toipua menetettyään yli 90 % rungon tyveä kiertävästä jälsikerroksesta (Zackrisson 1977). Mänty on myös hyvin pitkäikäinen laji, joka voi saavuttaa yli 800 vuoden iän (Sirén 1961). Vanhassa männyssä saattaa olla viidenkin peräkkäisen metsäpalon aiheuttamat palokorot.

Palohistorian selvittämiseksi mahdollisimman pitkälle menneisyyteen voidaan palokoronäytteitä kerätä myös kuolleista keloista, kannoista ja maapuista. Aikoja sitten kuolleiden puiden vuosilustot voidaan ajoittaa vertailemalla elävien ja kuolleiden puiden vuosilustojen paksuuksia dendrokronologisin menetelmin.

Dendrokronologia perustuu havaintoon, että samalla alueella samaa lajia edustavat puut kasvavat suurin piirtein samalla tavalla. Tämä johtuu sään yhtäläisestä vaikutuksesta seudun kaikkien puiden kasvuun. Ilmastollisesti poikkeukselliset



Kuva. 3. Lähikuva mäntykelosta sahatusta puukiekosta. Mänty on saanut elässään kaksi palokoroa vuosina 1295 ja 1430. Puu on elänyt noin 300 vuotta 1200-luvun alkupuolelta 1500-luvun alkuun. Kuva: Tuomo Wallenius.

vuodet näkyvät vuosilustoaineistossa poikkeuksellisen kapeina tai paksuina vuosilustoina.

Puun iän tai vuosilustojen paksuuden selvittämiseksi riittää, että puusta kairataan näyte, joka tutkitaan lustomikroskoopilla. Jotta palokoroihin tallentunut tieto menneistä paloista saataisiin kunnolla esille, ei kuitenkaan voida välttyä puun vakavammalta vahingoittamiselta. Jotta palokoro voidaan ajoittaa, on puusta sahattava sektorinäyte tai puu on kaadettava kokonaisen puukiekon saamiseksi. Poikkileikkauksen sahaaminen palokoroista on välttämätöntä, jotta metsäpalojen ajankohta voitaisiin määrittää tiettyyn vuoteen. Puun kasvu on usein häiriytynyttä lähellä vaurioitunutta kohtaa ja kiekosta on helpompi jäljittää mahdollisia puuttuvia vuosirenkaita. Palon tapahtuma-ajan näkee parhaiten, kun tarkastelee tulossa kuolleen ja henkiin jääneen jäljen rajaa, missä vuosirenkaita ei ole palanut pois ja missä elävä jälsi on jatkanut paloa seuraavina vuosina kasvuaan.

Tähän rajaan osuminen lustokairalla on vaikea tehtävä, ja siksi ajoitus voidaan tehdä kairanäytteistä vain noin viiden vuoden tarkkuudella

(Haapanen & Siitonen 1978). Palokorojen ajoituksen tarkkuus poikkileikkauksista on sen sijaan tyypillisesti \pm yksi vuosi. Vuoden virhemarginaali johtuu siitä, että usein ei voida selvittää, onko kulo sattunut alkukesästä vai edellisen vuoden syksynä puun kasvun loppumisen jälkeen. Parhaimmillaan on mahdollista ajoittaa palot kasvukauden sisällä joko alkukesän tai loppukesän paloiksi (Niklasson & Granström 2000).

Pohjoisen havumetsävyöhykkeen ilmastossa männyn kuollut ja pihkoittunut puuaines säilyy lahoamatta kymmeniä ja satoja vuosia. Vanhimmat Suomesta maanpinnalta löydetyt tervaskanot ovat peräisin puista, jotka ovat kuolleet jo lähes 1000 vuotta sitten ja saaneet alkunsa 500–600-luvuilla (kuva 4). Jos puu joutuu kuoltuaan hapettomaan tilaan, kuten suohon tai järven pohjaan, säilyy se vieläkin pidempään ja dendrokronologiset tutkimukset ovat mahdollisia tuhansien vuosien päästä (Schweingruber 1993). Järvenpohjien liekopuista löytyy kuitenkin aniharvoin palokoroisia puita. Tämä johtunee siitä, että aivan veden rajassa kasvaneet puut joutuvat harvoin metsäpaloa polttamiksi.



Kuva 4. Poikkileikkaus hiiltyneestä tervaskannosta. Mänty sai alkunsa ennen viikinkiaikaa 600-luvun alussa ja kuoli 1100-luvun lopussa. Metsäpalo vaurioitti puuta loppukesästä 940 tai keväällä 941 ennen kasvun alkua. Kuva: Tuomo Wallenius.

2.6 Metsäpalon jälkeen syntyneen kasvillisuuden ikä

Toisinaan metsäpalot ovat niin voimakkaita, että ne tappavat koko aiemman puustosukupolven sekä muun kasvillisuuden. Tällöin palosta kulunut aika on mahdollista arvioida tutkimalla palon jälkeen syntyneen kasvillisuuden ikää. Yleisimmin selvitetään puuston ikää. Määrittämällä metsän vanhimpien puiden ikä saadaan minimiarvio siitä, kuinka kauan viimeisestä metsäpalosta on kulunut aikaa. Tätä menetelmää on käytetty yleisesti Kanadassa ja Alaskassa alueilla, missä latvapalot ovat yleisiä (Yarie 1981, Bergeron ym. 2001). Menetelmä soveltuu käytettäväksi myös Fennoskandiassa ja Luoteis-Venäjäällä kuusivaltaisissa metsissä, jotka palavat harvoin mutta voimakkaasti (Wallenius 2002, Wallenius ym. 2005).

Suomessa, toisin kuin Pohjois-Amerikassa, ei kasva puulajeja, jotka siementävät tai taimettuvat pääsääntöisesti metsäpalon jälkeen. Tämä saattaa vaikeuttaa metsikön alkuperän tulkintaa, koska aina metsän vanhimmat puut eivät ole syntyneet metsäpalon jälkeen. Jos viimeisestä palosta on kulunut esimerkiksi 500 vuotta, puut ovat todennäköisesti kuolleet ja syntyneet omia aikojaan jo pitkään. Tämänkaltaisia metsiköitä on Fennoskandiassa paikoitellen melko runsaasti. Esimerkiksi osasta Lapin mäntyvaltaisia metsiä ei ole löydettävissä muita palojen merkkejä kuin maaperän hiili. Vanhimmat puut näillä paikoilla ovat 400–600-vuotiaita, eli männyt ovat saavuttaneet tavallisen maksimi-ikänsä. Myös kuusivaltaiset metsät ja korvet palavat niin harvoin, että kuuset ehtivät saavuttaa maksimi-ikänsä, noin 300 vuotta, suurella osalla maiseman pinta-alasta (Ohlson & Tryterud 1999, Wallenius 2002, Pitkänen ym. 2003, Wallenius ym. 2005).

Riippuen paloalan sukkessiovaiheesta eri puulajit ovat sopivimpia viimeisestä kulosta kuluneen ajan määrittämiseen. Jos palosta on kulunut suhteellisen vähän aikaa, metsikön vanhimmat puut ovat todennäköisesti lehtipuita, jotka ovat taimettuneet nopeasti palon jälkeen. Männyllä ja etenkin kuusella uudistuminen vie hieman pitemmän ajan, mutta ne elävät lehtipuita pitempään. Erään tutkimuksen mukaan kuusi ei kuitenkaan uudistu hitaasti, vaan kasvaa hitaasti taimivaiheessa (Niklasson 2002). Kun ikänäyte kairataan kannon tai rinnan korkeudelta, koivut

vain näyttävät olevan vanhempia kuin kuuset, joilla kasvu näytteenottokorkeuteen on kestänyt pitemmän aikaa. Tosiasiassa ikäero saattaa olla olematon.

Koivu ja kuusi kuolevat herkästi metsäpaloissa, mutta mänty selviää paremmin paksun kaarnansa ja korkealla sijaitsevan latvuksensa turvin. Jos puuston ikää käytetään apuna viimeisestä palosta kuluneen ajan arvioimiseksi, on tärkeää tutkia tarkoin, ettei näytealan puissa ole palokoroja. Palokoroja saattaa löytyä etenkin vanhoista männiköistä. Paloalueen laidoilla myös kuuset, koivut ja haavat voivat saada palokoroja, mutta koron saatuaan puut yleensä saavat myös ydinlahon, joka haittaa palokoron ajoitusta ja johtaa usein puun ennen aikaiseen kuolemaan.

Palojen ajoitus puiden iän perusteella on epä-tarkkaa verrattuna palokoroista tapahtuvaan metsäpalojen ajoittamiseen. Tämä johtuu siitä, että suuren puun tarkkaa ikää on lähes mahdotonta määrittää, koska lustokairalla otettua näytettä ei yleensä saada otettua 20 cm lähempää puun syntykohtaa. Puun kokonaisuuden saamiseksi on arvioitava, kuinka kauan puu on kasvanut näytteenottokorkeuteen. Lisäksi on arvioitava uudistumisviive.

Vanhan metsikön iän määrittämisessä vaikeutena ovat myös puiden lahot ytimet. Tällöin palon jälkeisen uusiutumisasiän lisäksi pitää arvioida puuttuvien vuosirenkaiden lukumäärä. Ongelma koskee erityisesti kuusia, jotka ovat alttiita tyvilaholle sekä toisaalta kykenevät kasvamaan aluspuuna pitkiä aikoja.

Joissakin tapauksissa palon ajankohta voidaan päätellä muustakin kasvillisuudesta kuin puustosta. Äskettäin palaneilla kohteilla tarkimman arvion saa varpujen ja kantovesojen vuosikasvaimia laskemalla. Jos palosta on kauemmin aikaa, metsäpalosta kuluneen ajan voi arvioida tiettyjen paloaukeille leviävien kasvullisesti lisääntyvien kasvilajien kolonioiden koon perusteella (Oinonen 1967a,b,c, 1968). Ihanteellisin kasvilaji olisi sellainen, joka versoaa ainoastaan metsäpalon polttamille paikoille. Syntyneiden kolonioiden tulisi lisäksi olla pitkäikäisiä sekä kasvattaa kokoaan tasaisesti vuodesta toiseen juurakoiden tai rönsyjen avulla. Oinosen mukaan tällaisia kasveja ovat sananjalka (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) ja katinlieko (*Lycopodium clavatum* L.), joilla itiöistä ja siemenistä uudistuminen liittyy luonnonoloissa pääasiassa metsäpaloihin.

2.7 Puiden vuosilustojen paksuuden muutokset

Metsäpalon jälkeen eloonjääneiden puiden vuosirenkaat usein joko kapenevat tai paksuuntuvat voimakkaasti (Zackrissonin 1977). Jos tuli vahingoittaa puuta vakavasti, kasvu voi tyrehtyä pitkäksi aikaa. Kasvun parantuminen taas seuraa siitä, että metsäpalo vapauttaa ravinteita ja kasvu-tilaa, jolloin tulelta vahingoittumatta säästyneet yksilöt hyötyvät parantuneista resursseista. Harvapuustoisissa pohjoisissa havumetsissä vähentyneellä juuristikilpailulla on enemmän merkitystä kuin latvustoon syntyvällä aukolla ja parantuneilla valaistusolosuhteilla (Kuuluvainen 1994).

Verrattuna palokorotutkimukseen, jossa puusta sahataan poikkileikkaus tai viipale, tämä menetelmä palojen ajoittamiseksi olisi ihanteellinen, koska puuta ei tarvitse vahingoittaa lustonäytteen kairausta enempää. Yksi tällainen palohistorian tutkimus on tehty Ulvinsalon luonnonpuistossa Itä-Suomessa (Haapanen & Siitonen 1978). Siinä kairattiin näytteitä palokoroja saaneista puista, ja pääteltiin kasvun muutoksista metsäpalojen ajankohdat. Palojen ajoituksissa oli ilmeisesti ainakin 5–10 vuoden virheitä ja myös muita virhetulkintoja.

Käytännössä menetelmässä on ongelmana se, että kaikki palot eivät näy vuosilustojen paksuus-kasvussa ja toisaalta on vaikea varmistua siitä, onko jokin paksuuskasvun muutos seurausta palosta vai jostain muusta syystä. Jotta puiden kasvun vapautumista voisi käyttää metsäpalon ajoitusmenetelmänä, pitäisi sen näkyä vuosirenkaiden äkillisenä pysyvänä paksuuskasvun muutoksena. On kuitenkin mahdotonta sanoa, johtuuko jokin kasvun lisäys tai tyrehtyminen metsäpalosta, jos ei ole muuta todistetta paikalla sattuneesta palosta. Joissakin tapauksissa on mahdollista yhdistää selvä kasvun muutos viereisellä näytealalla palokorosta ajoitettuun samanlaiseen metsäpalo.

2.8 Metsäpalossa kuolleet puut

Tulen tappaessa puun metsäpalon ajankohta voidaan määrittää selvittämällä puun kuolinvuosi. Kuolinhetki saadaan selville ristiinajoittamalla puun vuosilustokronologia alueelta olemassa olevan yleisen kronologian kanssa. Erityisen tärkeää on varmistua siitä, että puu oli elävä palon sattuessa. Palossa kuolleen puun puuaines on harvoin pahasti palanut, mutta kuori sen sijaan on usein hiiltynyt. Palossa kuolleilla puilla palaneet pienet oksan kärjetkin ovat usein tallella. Ennen paloa kuolleet puut palavat perusteellisemmin (Johnson & Gutsell 1994). Eroa on usein myös metsäpalon tappaman ja esim. sienitautiin kuolleen puun vuosilustoissa. Metsäpalossa kuolleen puun viimeinenkin vuosilusto on normaalin paksuinen, kun taas sienitautiin, huonoon kilpailutilanteeseen tai ”vanhuuteen” kuollut puu on yleensä kasvanut viimeiset vuotensa erittäin hitaasti.

Menetelmä soveltuu latvapalon tappamiin metsiin, joissa palosta ei ole kulunut kovin montaa vuosikymmentä. Metsäpalosta kuluneen ajan kasvaessa puun kuolinsyyn määrittäminen vaikeutuu. Kaikki metsäpalon seurauksena kuolevat puut eivät myöskään kuole heti palon jälkeen (Sepponen 1989, Kolström & Kellomäki 1993). Tästä saattaa seurata ajoitukseen parin vuoden virhe. Useimmiten kuolevat puut eivät kuitenkaan tuota normaalisti vuosirenkaita, eikä virhettä synny.

3 Metsäpalojen vaikutus metsän rakenteeseen ja lajistoon

Metsäpalojen välittömänä ja näkyvimpänä seurauksena on puuston ja muun kasvillisuuden kuoleminen kuumuuden seurauksena. Palon voimakkuudesta riippuen vaihteleva osa kasvillisuudesta jää henkiin. Metsäpaloja on perinteisesti luokiteltu niiden voimakkuuden ja leviämistavan mukaan latvapaloihin, pintapaloihin ja maapaloihin.

Määritelmän mukaan latvapalo etenee puun latvuksesta toiseen mutta polttaa samalla myös metsän aluskasvillisuuden. Pintapalossa kuolevat pääasiassa vain varvut, jäkälät ja sammalet. Maapalossa tuli kytee paksussa humus- tai turvekerroksessa. Maapalo etenee erittäin hitaasti mutta voi kuluttaa huomattavan osan metsänpohjan humuksesta ja kuolleiden puiden juurista.

Metsäpalojen esiintymiselle Fennoskandiasa on tyypillistä, että palon voimakkuus vaihtelee suuresti palosta toiseen ja myös paloalueiden sisällä. Yleisimpänä metsäpalojen tyyppinä Fennoskandiassa ovat pintapalot, jotka polttavat etenkin mäntymetsiä ja mäntyvaltaisia sekametsiä. Tiheissä eteläsuomalaisissa kuusikoissa tuli kykenee harvoin etenemään pintapalona pitkiä matkoja. Vaikka kuusimetsät eivät syty helposti, pitkään jatkuneen kuivuuden jälkeen nekin voivat tuulisella säällä palaa rajuna latvapalona.

Latvapalot ovat Fennoskandiassa melko harvinaisia johtuen kosteasta mereisestä ilmastosta. Silloin tällöin sattuvat latvapalot polttavat kuitenkin laajoja alueita, kuten kävi vuonna 1960 Tunturilla Itä-Lapissa. Kuukauden riehunut ja osan aikaa latvapalona edennyt tuli poltti yhteensä 120 000 hehtaaria Suomen ja Venäjän rajan molemmin puolin (Haataja 1993). Itä-Suomessa tehdyn paleoekologisen tutkimuksen mukaan muinaisina aikoina joka toinen palo on ilmeisesti tuhonnut suurimman osan paikalla kasvaneesta puustosta (Pitkänen & Huttunen 1999).

3.1 Metsien rakenne

Metsäpalot tuottavat aina huomattavan määrän kuollutta puustoa, koska kevytkin kulo tappaa yleensä osan puista. Luonnontilaisissa metsissä kuolleen puuston määrä on tavallisesti suurim-

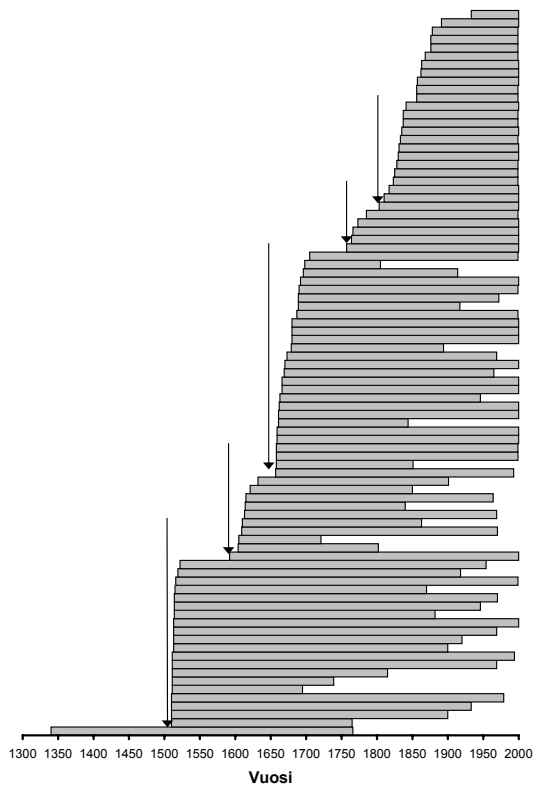
millaan pian metsäpalon jälkeen. Jos koko puusto on kuollut palossa, lahoppuuston määrä voi olla satoja kuutiometrejä hehtaarilla. Pintapalokin tuloksena syntyy lahoppuustoa helposti useita kymmeniä kuutioita hehtaarille (vrt. Karjalainen & Kuuluvainen 2002, Lampainen ym. 2004).

Jos palo tappaa koko puuston, vähiten lahoppuuta on metsissä kasvillisuusvyöhykkeestä ja puulajistosta riippuen noin 30–100 vuotta metsäpalon jälkeen, kun suurin osa tulen tappamista puista on lahonnut ja kun uutta lahoppuuta ei ole vielä ehtinyt muodostua merkittävästi. Paitsi heti palon jälkeen, kuollutta puustoa on runsaasti myös pitkään ilman metsäpaloa kehittyneissä metsissä. Kuusimetsissä lahoppuuston määrä näyttäisikin kasvavan hyvin pitkään metsäpalon jälkeen. Paanajärvellä Venäjän Karjalassa kuolleen puuston määrä oli sitä suurempi mitä vanhempaa metsää tutkittiin, ja lahoppuuta oli eniten metsikoissa, jotka olivat kehittyneet vähintään 300 vuotta metsäpalon jälkeen (Lilja ym. 2006).

Puuston uudistuminen metsäpalon jälkeen on tyypillisesti voimakasta. Tämä johtuu siitä, että palossa vapautuu elävään ja kuolleeseen biomassaan sitoutuneita ravinteita ja kilpailusta vapaata kasvutilaa. Paksun sammalkerroksen tai korkean varvikon tuhoutuminen edesauttaa puuston taimettumista. Paloaukeille syntyneet taimimäärät ovat moninkertaisia (Lampainen ym. 2004) verrattuna metsänhoitosuosituksen mukaiseen 2 500 taimeen per hehtaari.

Metsäpalot vaikuttavat voimakkaasti puuston ikäjakaumaan. Mäntyvaltaisissa metsissä, joissa osa valtapuustosta usein selviytyy hengissä metsäpalosta, puuston ikärakenne on porrastunut palojen ajankohtien mukaan (Kuuluvainen ym. 2002, Wallenius ym. 2002). Puuston uudistumisen edistämisen ohella palo toisaalta tappaa taimet ja pienemmät puut, jolloin jäljelle jäävät vain heti edellisen metsäpalon jälkeen syntyneet puut (kuva 5).

Usein palavien mäntymetsien puusto on tyypillisesti monenikäistä ja erirakenteista. Tällaisten metsien vanhimmat puut ovat tavallisesti monisatavuotiaita petäjiä, jotka ovat selvinneet useista metsäpaloista. Metsäpalojen toistuessa usein



Kuva 5. Venehjärvellä Venäjän Karjalassa usein toistuvat metsäpalot ovat määritelleet puuston ikärakenteen. Vaakapalkit kuvaavat näytepuiden vuosilustokronologioiden ajoittumista. Viiden voimakkaimman metsäpalon ajankohdat on merkitty kuvaajaan nuolin. Lähde: T. Wallenius, julkaisematon aineisto.

maiseman metsien ikäjakauma on painottunut vanhoihin metsiin (Pennanen 2002).

Kuusivaltaisissakin metsissä metsäpalojen jäljet näkyvät pitkään puuston ikärakenteessa. Luonnontilaisissa metsissä Suomessa ja Luoteis-Venäjällä tehdyissä tutkimuksissa on todettu kuusien saavuttavan yleisesti liki kolmensadan vuoden iän (Norokorpi 1979, Wallenius 2002, Wallenius ym. 2005). Jos luonnontilaisen kuusimetsän vanhimmat puut ovat alle 250 vuoden ikäisiä, on syytä epäillä puuston uudistuneen metsäpalon tai muun voimakkaan häiriön jälkeen. Esimerkiksi Paanajärvellä Venäjän Karjalassa alle 250-vuotiaiden metsien puusto on syntynyt pääosin metsäpalojen jälkeen (Wallenius ym. 2005).

Parissa vuosikymmenessä palon jälkeen syntynyt kuusisukupolvi pitää metsikön hallussaan yli 200 vuoden ajan (Siren 1955, Wallenius ym. 2002, Lilja ym. 2006). Puusto alkaa uudistua ja taimia pääsee kasvamaan latvuserrokseen enenevässä määrin vasta metsikön lähestyessä 300

vuoden ikää. Kun metsäpalosta on kulunut aikaa 300 vuotta tai enemmän, jäljet siitä alkavat häipua näkymättömiin. Puuston ikäjakauma on tällaisissa metsissä laaja; metsässä on kaikenikäisiä valtapuita ja paljon taimiainesta.

Kuusivaltaisissa metsissä, joissa harvoin sattuvat metsäpalot tyypillisesti tappavat metsikön koko puuston, maisema on muodostunut pääasiassa vanhoista metsistä, mutta vanhan metsän sisällä on nuorempia palonjälkeisiä sukkessiovaihteita. Harvoin sattuvat suuret latvapalot saattavat polttaa hyvin laajoja alueita. Suurten latvapalojen erittäin epäsäännöllisestä ja harvasta esiintymisestä johtuen suurienkaan metsäalueiden puuston ikäjakauma ei ole välttämättä vakaa vuosikymmenestä toiseen (Cumming ym. 1996).

3.2 Metsäpalojen vaikutus lajistoon

Metsäpalolla on voimakas välitön vaikutus palavan metsän eliöihin, mikä on väistämätön seuraus tulen tappavasta vaikutuksesta eläviin soluihin. Minkään lajin kudokset eivät kestä liekeissä syntyviä satojen celsiusasteiden lämpötiloja. Yleensä jo 60 asteen lyhytaikainenkin ylittyminen on kohtalokasta solujen toiminnalle. Lajien ja yksilöiden kannalta oleellista onkin, kuinka ne pystyvät välttämään tulen tuhoisan vaikutuksen ja kuinka ne kykenevät leviämään takaisin pala-alueille.

Harvan lajin edustajat selviävät metsäpaloista suuremmin vahingoittumatta. Eräs tällainen on tavallinen metsämänty, joka suureksi kasvaneena kestää hyvin metsäpaloja lämpöä eristävän paksun kaarnansa ja korkealla sijaitsevan latvuksensa turvin. Toiset lajit, kuten suuret nisäkkäät ja linnut, kykenevät siirtymään palon tieltä turvaan ja palaamaan takaisin alueelle, jos sieltä löytyy kullekin lajille tarpeellisia resursseja. Kolmas ryhmä ovat metsäpaloaukeita tehokkaasti siemenpankista tai ympäröiviltä alueilta kolonisoivat lajit. Esimerkkeinä mainittakoon koivu, haapa ja maitohorsma.

Viimeksi mainittuun ryhmään kuuluvat myös ns. pyrofiilit lajit, jotka ovat enemmän tai vähemmän riippuvaisia ajoittain toistuvista metsäpaloista. Suurin osa Suomen metsissä esiintyvistä lajeista on kuitenkin sellaisia, jotka eivät kestä erityisen hyvin metsäpaloja tai välittömästi hyödy niistä. Ne ilmaantuvat palaneeseen metsään sukkessiokehitykselle luontaisessa vaiheessa.

Johtuen lajien erilaisista elinpaikkavaatimuksista pitkällä aikavälillä osa lajeista suosii alueita, joissa on paljon metsäpaloja, toiset taas eivät viihdy usein palavissa metsissä (Esseen ym. 1997). Nykyisin korostetaan metsäpalojen suotuisia vaikutuksia biodiversiteetille ja kulottamista pidetään tärkeänä keinona uhanalaisten metsälajien suojelussa.

Viimeisimmän uhanalaistoimikunnan mietinnön mukaan Suomen uhanalaisista ja silmäläpidettävistä lajeista noin 40 elää ensisijaisesti metsäpaloaukeilla (Rassi ym. 2001). Näiden lisäksi viiden jo Suomesta hävinneen lajin arvelaan eläneen paloalueilla ja metsien nuorissa sukkessiovaiheissa. Koska kaikista Suomessa esiintyvistä lajeista vain 44 %:n uhanalaisuutta kyettiin arvioimaan, voidaan olettaa, että arvioimattomissa lajeissa on monia paloaloilla eläviä lajeja. Jos arvioimattomissa lajeissa on samassa suhteessa metsäpalolajeja, saadaan paloista enemmän tai vähemmän riippuvaisien lajien lukumääräksi 90. Vastaavasti Ruotsissa arvioidaan elävän noin 100 metsäpaloista riippuvaista lajia (Wikars 2004).

Nykyinen huoli metsäpaloista riippuvaisista lajeista on suhteettoman suuri lajien lukumäärään nähden. Sata palolajia ei ole paljon kaikista metsälajeista. Tarkemmin sanottuna ainoastaan puoli prosenttia metsissä esiintyvistä lajeista on jollain tapaa riippuvaisia ajoittain esiintyvistä metsäpaloista. Vanhasta maataloudesta ja perinneympäristöistä riippuvaisia lajeja on noin kymmenen kertaa enemmän kuin metsäpaloista riippuvaisia lajeja (Rassi ym. 2001). Suomen uhanalaisista ja silmäläpidettävistä metsälajeista vain kaksi prosenttia elää ensisijaisesti paloaukeilla ja metsien nuorissa sukkessiovaiheissa. Suurin osa uhanalaisista metsälajeista elää lehdossa ja vanhoissa metsissä, joissa viimeisestä metsäpalosta on tyypillisesti kulunut pitkän aikaa.

Merkille pantavaa on myös se, että hyvin vähän palolajeja on kuollut sukupuuttoon (Granström 2001, Rassi ym. 2001) siitä huolimatta, että suurimmassa osassa Fennoskandiaa on ollut hyvin vähän metsäpaloja yli sadan vuoden ajan. Suomessa edes metsänhoidollista kulotusta ei ole harjoitettu laajassa mitassa kymmeneen vuosiin. Vaikka palolajien vahvimmat kannat ovat Itä-Suomessa lähellä Venäjän (Suomeen verrattuna runsaita) metsäpaloja, näyttää siltä, että useimmat ensisijaisesti paloaukeilla elävät lajit kykene-

vät tulemaan toimeen hyvin pienialaisten vaikkakin melko lukuisien metsäpalojen turvin.

Palolajien minimivaatimuksia metsäpalojen lukumäärän tai vuosittain palaneen pinta-alan suhteen ei tiedetä. Useimmilla paloja vaativilla lajeilla on joka tapauksessa ilmiömäinen kyky kolonisoida kaukana toisistaan ajallisesti ja paikallisesti sijaitsevia paloaloja. Esimerkiksi kulokauniaiselle on kehittynyt elin, jolla se aistii metsäpalojen lämpösäteilyä kilometrien päästä (Evans 1966). Lisäksi savun haju houkuttelee sitä. Kulokauniaisia saattaa lentää isomman puoleiselle nuotiollekin etsimään ”palossa” kuolleita puita. Huhtakurjenpolvi puolestaan voi odottaa seuraavaa paloa humuskerroksen siemenpankissa vähintään useita kymmeniä, mahdollisesti jopa satoja vuosia.

Metsäpalot vaikuttavat myös muiden kuin ensisijaisesti metsäpaloalueilla elävien lajien populaatioihin. Metsäpalojen esiintymisestä riippuvaiset tai niistä voimakkaasti hyötyvät lajit ovat suurimmaksi osaksi hyönteisiä ja sieniä. Etenkin käyvät ja kovakuoriaiset näyttävät hyötävän metsäpaloista (Penttilä 2004, Hyvärinen ym. 2005). Tämä johtuu paitsi siitä, että edellä mainitut lajiryhmät ovat ylipäätään hyvin lajirikkaita, myös siitä, että niissä on paljon kuolleella puuaineksella eläviä lajeja.

Kulotuskokeiden tuloksena on myös havaittu, että osa metsäpaloista hyötävistä lajeista on yllättäen sellaisia, joiden on aiemmin arveltu viihtyvän vain vanhoissa metsissä (Penttilä 2004). Tämä johtunee paljolti juuri metsäpalojen kuollutta puuainesta lisäävästä vaikutuksesta. Se, että osa vanhan metsän lajeista viihtyy paloaloilla, ei kuitenkaan tarkoita sitä, että lajit olisivat kehittyneet metsissä, jotka palavat usein. Tuloksen merkityksen voi myös kääntää toisin päin: osaa paloaloilla viihtyvistä lajistosta voi auttaa suojelemalla vanhoja avoimia runsaslahopuustoisia metsiä tai lisäämällä aukkoisuutta ja lahopuuta talousmetsiin.

Metsäpaloista potentiaalisesti kärsivien lajien määriä ei ole arvioitu, mutta aivan vähäinen se ei varmasti ole ollut 1700- ja 1800-lukujen lyhyiden palosyklien aikana. Esimerkiksi kaikki paksua kuusimaapuuta vaativat lajit ovat todennäköisesti olleet vaikeuksissa metsissä, jotka ovat palaneet keskimäärin viidenkymmenen vuoden välein. Tämä johtuu siitä, että kuusi kuolee hel-

posti palossa eikä ehdi kasvaa suureksi usein palavissa metsissä.

Paloregiimien muutokset voivat johtaa metsien rakenteen ja lajiston suuriinkin muutoksiin pitkällä aikavälillä. Metsäpalojen yleistymisen 300–500 vuotta sitten Itä-Suomessa aiheutti mänty- ja lehtipuuvaltaisten metsien osuuden kasvun ja vastaavasti kuusikoiden pienenemisen (Lehtonen 1997, Pitkänen ym. 1999). Eteläisessä Fennoskandiassa metsäpalojen vähentyminen yli 200 vuotta sitten on johtanut varjostusta sietävien kuusen ja pyökin lisääntymiseen enemmän valoa vaativien männyn ja tammen kustannuksella (Lindbladh ym. 2003, Groven & Niklasson 2005).

4 Fennoskandian ja Luoteis-Venäjän metsäpaloregiimit

4.1 Metsäpalojen syyt

Metsäpaloja on ollut siitä lähtien kuin metsäkin. Palamiseen tarvitaan kolme asiaa: 1) palamiskelpoista ja riittävän kuivaa materiaalia, joka kantaa paloa eteenpäin, 2) happea sekä 3) riittävästi lämpöenergiaa ts. syttymisen syy (Pyne ym. 1996). Boreaalisisissa havumetsissä palot sytyvät lähinnä kahdesta syystä: salaman iskusta ja ihmisvaikutuksesta. Tulivuoritoiminnalla saattaa olla paikallista merkitystä metsäpalojen syttymissyynä esimerkiksi Kamtsatkalla (Vasily Neshataev, henk.koht. tiedonanto). Itsestään-syttymisillä, joita arvellaan toisinaan tapahtuvan hakkuutähdeksosissa Kanadassa (Brad Hawkes, henk.koht. tiedonanto), ei ole merkitystä metsäpaloregiimien kannalta.

4.1.1 Salama

Ukonilmat ja salamaniskut ovat yleisiä lähes kaikkialla maailmassa. Suomessa iskee maahan vuosittain noin 130 000 salamaa (Tuomi 2004). Vaikka salamaniskut ovat lukuisia, vain murtoosa niistä aiheuttaa maastopalon. Vuosittain Suomessa tilastoidaan noin 100 salaman sytyttämää metsäpaloa (Larjavaara ym. 2005a), eli vähemmän kuin yksi tuhannesta maahan iskeneestä salamasta aiheuttaa metsäpalon, joka havaitaan. Tämä johtuu siitä, että kasvillisuus ei ole useimmiten tarpeeksi kuivaa mahdollistaakseen palon leviämisen. Salamointiin liittyy lähes aina myös sateita, jotka vaikuttavat ilmankosteuteen ja kastelevat paloa eteenpäin kantavat varvut, sammallet ja jäkälät.

Suomessa salaman sytyttämiä paloja sattuu keskimäärin 0,03–0,04 kappaletta vuodessa jokaista 100 km²:iä kohti. Vaihtelu eri alueiden ja vuosien välillä on kuitenkin huomattavan suurta. Tiheimmillään salaman aiheuttamat metsäpalot ovat etelärannikolla ja Järvi-Suomessa. Etelä-Suomessa salama sytyttää metsäpalon 17 kertaa useammin kuin samansuuruisella alueella Lapissa (Larjavaara 2005). Ruotsissa salaman aikaansaamia paloja näyttäisi olevan hieman enemmän kuin Suomessa. Tiheimmin salaman iskusta alkunsa saaneita metsäpaloja on Ruotsin eteläosis-

sa, noin 0,24 paloa per 100 km², kun taas pohjoisessa ja lännen vuoriseuduilla niitä oli vain 0,03 sataa km²:iä kohti (Granström 1993). Norjassa on vuosittain keskimäärin vain 27 salaman sytyttämää metsäpaloa, jotka keskittyvät pääasiassa maan eteläosiin (Målfrid Toeneiet, henk.koht. tiedonanto). Näin ollen Norjassa on Suomeakin pienempi salaman sytyttämien palojen tiheys.

Pohjois-Amerikassa salaman sytyttämiä metsäpaloja on eri tutkimusten mukaan alueesta riippuen alle 0,08:sta yli 0,5:een per 100 km² (Wierzchowski ym. 2002, Podur ym. 2003, Wotton & Martell 2005). Pohjois-Kanadassa salaman sytyttämiä metsäpaloja on luultavasti selvästi eteläisiä seutuja vähemmän, mutta tämän harvaanasutun alueen metsäpalotilastoissa on puutteita ja aluetta ei ole juurikaan tutkittu.

Salaman sytyttämien metsäpalojen vähäisyys pohjoisessa johtuu salamaniskujen pienemmästä määrästä sekä kylmemmistä, kosteammista ja lyhyemmistä kesistä. Jossain määrin ilmiö saattaa olla seurausta pohjoisten harvaanasuttujen alueiden huonommasta raportointitehokkuudesta (Larjavaara ym. 2005a). Suurin osa salaman sytyttämistä metsäpaloista sattuu kesä-heinäkuussa huippukauden osuessa heinäkuun alkuun (Granström 1993, Larjavaara ym. 2005a).

4.1.2 Ihminen

Taito hallita tulta on vanhempaa perua kuin ihmislaji. Israelista on löydetty merkkejä siitä, että jo 790 000 vuotta sitten nykyihmisen varhaiset edeltäjät osasivat käyttää tulta (Goren-Inbar ym. 2004). Antarktista lukuun ottamatta ihmisen aiheuttamat metsäpalot ovat muokanneet kaikkien mantereiden luontoa jo tuhansia vuosia (Pyne 2001).

Varhaisimpien palotilastojen ja metsäntutkijoiden mukaan metsäpalot johtuivat valtaosin ihmistoiminnasta 1800-luvun Suomessa (taulukko 1). Salaman sytyttämät metsäpalot eivät olleet tuntematon ilmiö, mutta ne olivat huomattavasti harvinaisempia kuin ihmisten aikaansaamat palot. Suomea vuonna 1858 kiertänyt saksalainen metsänhoitaja Edmund von Berg (1995) piti

Taulukko 1. Metsäpalojen tärkeimmät syyt Suomessa 1800-luvun jälkipuoliskolla varhaisimpien palotilastojen ja metsäntutkijoiden mukaan.

Suomi 1858 (von Berg 1995)	Inarin ja Utsjoen hoitoalueet 1865–1892 (Renvall 1919)			Suomi 1888 (Blomqvist 1888)
Palosykli ~70 vuotta, vuosittain paloi 1,4 %	Palosykli 500 vuotta, vuosittain paloi 0,2 %			Palosykli noin 1 000 vuotta, vuosittain paloi 0,1 % pinta-alasta
		Lukumäärä	%	
1. Huolimattomuus	1. Ihminen	40	53	1. Kaskenpoltto
2. Leirinuotiot	2. Salama	9	12	2. Leirinuotiot
3. Laidunten poltto	3. Tuntematon syy	27	35	3. Matkustavaiset
4. Kaskenpoltto	Yhteensä	76	100	4. Laidunten poltto
5. Ilkivalta				5. Rautatiet
				6. Ilkivalta
				7. Salama

metsäpalojen tärkeimpänä syynä yleistä huolimattontaa tulenkäsittelyä. Tuli sai usein alkunsa kalastajien, matkalaisten tai paimenten nuotioista. Myös metsälaitumien ja kaskien poltto aiheutti runsaasti metsäpaloja.

Olli Heikinheimon (1915) perusteellisen tutkimuksen mukaan vuonna 1910 Suomessa poltettiin 9 493 kaskea, vaikka kaskeaminen oli vähentynyt jyrkästi jo vuosikymmeniä aiemmin. Kaskimaita oli hänen arvionsa mukaan 1800-luvun puolivälissä noin 40 000 neliökilometriä. Kiertoaika oli tyypillisesti 15–35 vuotta. Kerralla poltettiin keskimäärin noin 0,4–0,5 hehtaarin kaskia 1900-luvun alussa, menneinä aikoina kenties vähän enemmän, mutta harvoin kuitenkaan yli 2,5 ha. Jos oletamme 40 vuoden kaskikierron ja 1 hehtaarin keskikoon, saamme arvion, jonka mukaan Suomessa on poltettu 1800-luvun puolivälissä noin 100 000 kaskea vuosittain.

Kalastajien, metsästäjien ja paimenkoikien leirinuotioiden määrää on vaikeampi arvioida, mutta todennäköisesti se on ollut kertaluokkaa isompi kuin poltettujen kaskien määrä. Leirinuotioissa ja kaskien poltossa oli kyse tulen käsittelystä, jolla ei ollut suoranaista tarkoitusta polttaa kohdetta ympäröiviä metsiä. Aikana, jolloin metsän palamista ei pidetty suurena vahinkona, kaskien ja nuotioiden sammutuksesta ei kuitenkaan huolehdittu kovin suurella tehokkuudella ja moni palo sai alkunsa palamaan tai kytemään jätetyistä leirinuotioista. Jos on ollut tarkoitus palata samalle paikalle myöhemmin, sammuttamatta jättämiseen on voinut vaikuttaa niinkin

vähäinen seikka kuin tulen sytyttämisen vaiva ja hankaluus tulusraudan ja taulan avulla.

Ihmisten toimista vahingossa syttyneiden metsäpalojen lisäksi metsiä on poltettu tarkoituksellisesti. Metsälaitumien heinäkasvun parantaminen polttamalla oli yleistä etenkin Etelä-Suomessa (Blomqvist 1888). Pohjois-Suomessa ja Pohjois-Ruotsissa uudisasukkaat polttivat metsiä karkottaakseen saamelaisia asunsijoiltaan (Laestadius 1833, Fellman 1980). Tuli tuhosi mäntymetsien poronjäkälet ja luppokuusikot, porojen tärkeimmän talviravinnon, ja esti siten saamelaisia poroineen hyödyntämästä palaneita alueita. Tästä ilmeisestä syystä saamelaiset olivat muihin suomalaisiin heimoihin verrattuna huolellisia tulen käsittelyssä.

Pohjois-Amerikassa metsäpalojen syyt olivat samantapaisia kuin Fennoskandiassa. Tärkeimpiä syitä olivat uudisasukkaiden suorittama tarkoituksellinen metsien polttaminen (*land clearing*) ja leirinuotioista karannut tuli (Sargent 1884). Myös rautatieverkon leviäminen ja veturit aiheuttivat huomattavasti paloja Kanadassa (Saari 1923).

Nykyajanakin ihmiset aiheuttavat suurimman osan metsäpaloista. Viime vuosikymmeninä 87 % Suomen metsäpaloista on ollut ihmisen ja loput 13 % salaman iskujen aikaansaamia (Larjavaara ym. 2005a). Ruotsissa jopa 92 % paloista oli ihmisten sytyttämiä vuosina 1944–1975 (Granström 1993). Pohjoisten havumetsien alueella vähiten ihmisten sytyttämiä paloja on Pohjois-Kanadassa, jossa suurin osa metsäpaloista syttyy ilmeisesti salamoinnista (Weber & Stocks 1998).

4.2 Palovälit menneinä vuosisatoina

Fennoskandiassa ja Luoteis-Venäjällä on julkaistu vajaat 20 palokoroihin ja puiden vuosilustoihin perustuvaa palohistorian tutkimusta, joiden perusteella voidaan arvioida melko tarkasti metsämaaisemien palovälejä viimeisten vuosisatojen ajalta (liite 1). Tutkimukset ovat keskittyneet keskiboreaalisiin mäntyvaltaisiin metsiin. Vähemmälle huomiolle ovat jääneet kuusivaltaiset pohjoiset ja itäiset alueet sekä eteläborealiset metsät (kuva 6).

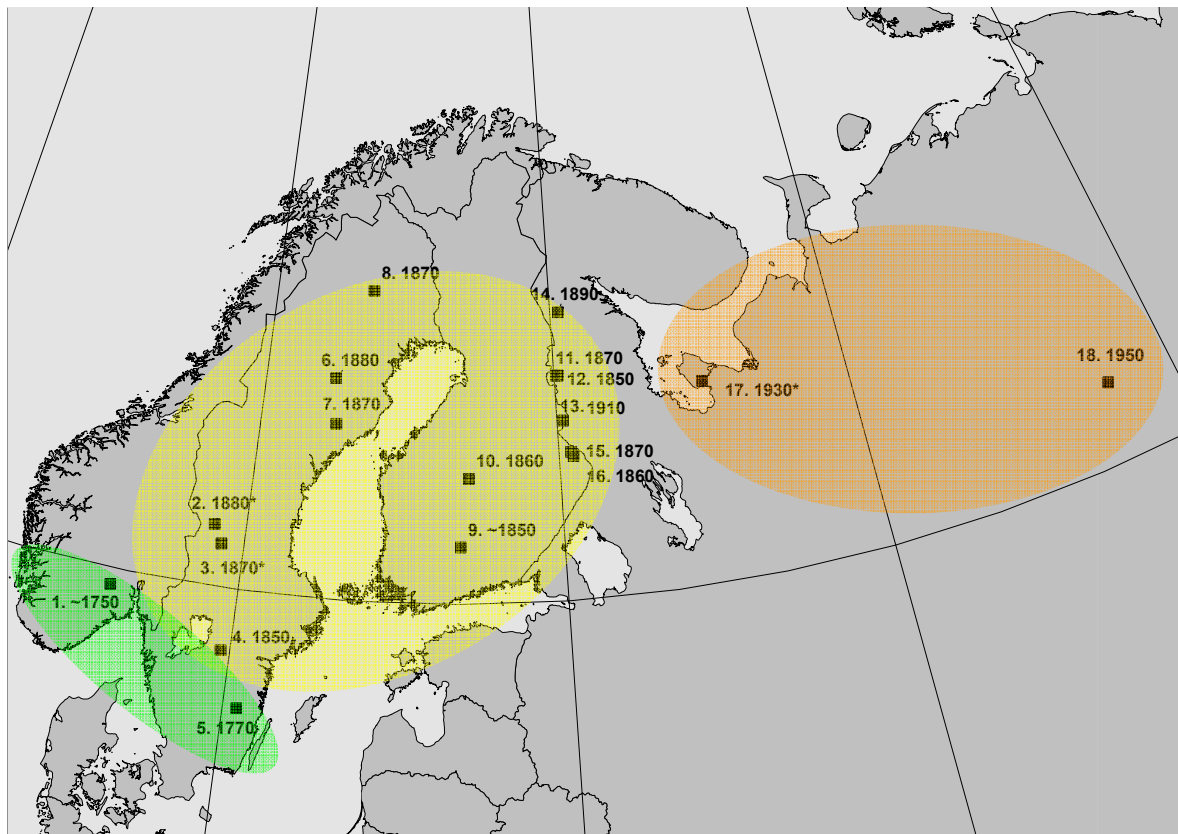
Dendrokronologisten menetelmien lisäksi palohistoriaa on tutkittu järvenpohjien sedimenttien sekä turvekerrostumien hiilipartikkeleiden avulla. Näiden menetelmien avulla on kuitenkin vaikea arvioida tarkasti maisema-alueiden palovälejä. Seuraavissa kappaleissa esitellyt tulokset perustuvat pääasiassa dendrokronologisiin tutkimuksiin.

Tutkimuksessa hyvin edustettuna olevat keskiborealiset mäntyvaltaiset metsät ovat palaneet

keskimäärin 40–60 vuoden välein 1600-luvulta 1800-luvulle (Zackrisson 1977, Lehtonen & Kolström 2000, Pohjonen 2001). Kuusivaltaiset metsäalueet, joita on runsaasti Itä-Fennoskandiassa ja Luoteis-Venäjällä, ovat palaneet huomattavasti harvemmin. Keskimääräiset palovälit näissä metsissä ovat olleet useita satoja vuosia (Wallenius 2002, Pitkänen ym. 2003, Tryterud 2003, Wallenius ym. 2005).

Etelä-borealisella kasvillisuusvyöhykkeellä mäntyvaltaiset metsät ovat palaneet 20-50 vuoden välein (Niklasson & Drakenberg 2001, Groven & Niklasson 2005, Wallenius ym. 2007). Pohjoisten mäntyvaltaisten metsien palovälejä on selvitetty vain parissa tutkimuksessa (Engelmark 1984, Wallenius ym. julkaisematon). Ne viittaavat noin parin sadan vuoden paloväliin 1600- ja 1700-luvuilla, jolloin metsäpalot olivat pohjoisessa yleisimmillään.

Metsäpalojen esiintymistiheys laskee selvästi etelästä pohjoiseen. Mäntymetsät napapiirin pohjoispuolella ovat palaneet 5–10 kertaa har-



Kuva 6. Fennoskandiassa ja Luoteis-Venäjällä tehdyt dendrokronologiset metsäpalohistorian tutkimukset. Järjestysnumero viittaa liitteessä 1 kuvattuihin tutkimuksiin. Karttaan on merkitty myös vuosikymmen, jolloin metsäpalot vähentyivät voimakkaimmin kullakin alueella. Etelä-Ruotsissa palojen lukumäärä ja palanut pinta-ala vähenivät jyrkästi jo 1700-luvulla. Keskisessä Fennoskandiassa palot vähenivät 1800-luvun jälkipuoliskolla. Luoteis-Venäjällä ja Pohjois-Fennoskandiassa on tehty hyvin vähän palohistorian tutkimuksia, mutta ilmeisesti palojen vähentyminen ei ole ollut yhtä voimakasta ja se on mahdollisesti tapahtunut edellä mainittuja alueita myöhemmin.

vemmin kuin Etelä-Ruotsissa ja Etelä-Norjassa (Engelmark 1984, Groven & Niklasson 2005, Carcaillet ym. 2007). Samanlainen metsäpalojen väheneminen etelästä pohjoiseen on havaittu Pohjois-Amerikassa (Turner & Romme 1994), ja se johtuu mitä ilmeisimmin lyhyemmästä kesästä, kylmemmästä ja kosteammasta säästä sekä vähäisemmästä ihmisvaikutuksesta pohjoisessa kuin etelässä.

Pohjois-Amerikassa on havaittu metsäpalojen olevan yleisempiä mantereen sisäosissa kuin meren rannikoilla. Tätä ilmiötä ei ole selvästi havaittavissa Pohjois-Euroopassa. Norjassa metsät ovat palaneet kuusen saapumisen jälkeen erittäin harvoin (Tryterud 2003), mutta niin ovat myös kuusimetsät mantereisimmilla alueilla Luoteis-Venäjällä (Jasinski & Angelstam 2002). Mäntymetsät sen sijaan ovat palaneet usein niin Norjassa kuin Luoteis-Venäjällä (Groven & Niklasson 2005, Drobyshev ym. 2004).

Suuren mittakaavan vaihtelun lisäksi metsäpalojen esiintymisessä on huomattavaa pienialaista vaihtelua maastonmuotojen ja kasvillisuustyyppien mukaan. Kosteat notkelmat, kuusimetsät ja korvet palavat harvemmin kuin mäntyvaltaiset kuivahkot kankaat samalla alueella (Zackrisson 1977, Engelmark 1987, Wallenius ym. 2004).

4.3 Muutokset metsäpaloväleissä

Viimeisten 500 vuoden aikana metsäpalot olivat lähes kaikilla tutkituilla alueilla lukuisimpia ja vuosittain palaneet pinta-alat suurimmillaan ajanjaksolla 1600-luvun lopulta 1800-luvun puoliväliin (Kohh 1975, Engelmark 1984, Niklasson & Granström 2000, Wallenius ym. 2005; kuva 7). Edellä mainittuja vuosisatoja on edeltänyt metsäpalojen lukumäärän ja palaneiden pinta-alojen vähittäinen kasvu, josta kuitenkin ei ole kovin yksityiskohtaista kuvaa. Dendrokronologisin menetelmin palohistorioita voidaan yleensä selvittää vain muutamien satojen vuosien ajalta. Tämä ajanjakso on valitettavasti Fennoskandiassa hyvin ihmisvaikutteinen, ja palokoroaineistot ulottuvat harvoin kaskikauden huippukohtaa kovin paljon kauemmaksi menneisyyteen.

Eräs pisimmälle ulottuvia palohistoriatutkimuksia on Niklassonin ja Granströmin (2000) tutkimus Keski-Ruotsin pohjoisosissa. Tämän tutkimuksen perusteella metsät paloivat 1300-luvun alusta 1500-luvun alkuun noin 150 vuo-

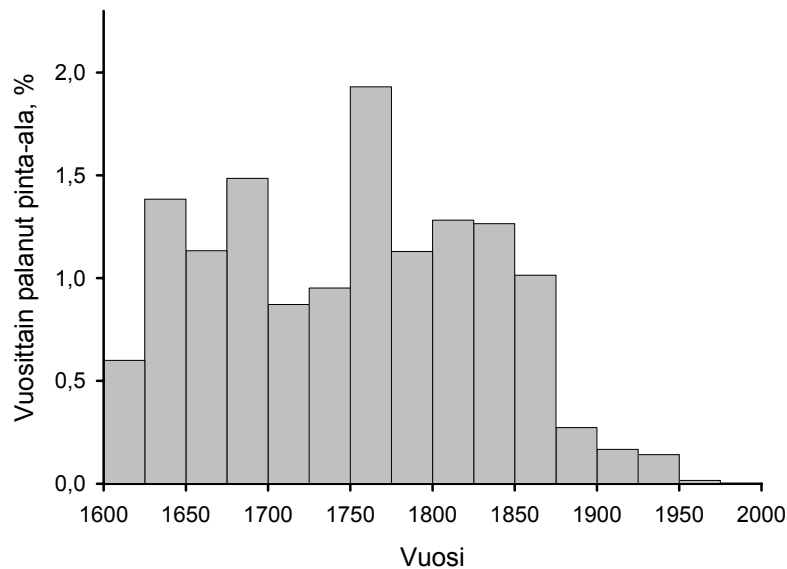
den välein, mutta 1800-luvun puoliväliin mennessä palovälit olivat lyhentyneet keskimäärin noin 35 vuoteen. Tuoreen siitepöly- ja hiilipartikkelianalyysiä hyödyntäneen tutkimuksen mukaan metsäpalot alkoivat runsastua jo yli tuhat vuotta sitten Etelä-Suomessa (Alenius ym. 2007). Ensimmäisellä vuosituhannella metsäpalot polttivat kenties vain kymmenennen osan siitä mitä viimeisten vuosisatojen aikana.

4.3.1 Vuosittain palaneiden pinta-alojen pieneneminen

Suurella osalla Fennoskandiaa vuosittain palanut pinta-ala väheni jyrkästi 1800-luvun jälkipuoliskolla (kuva 7). Useissa tapauksissa palot lähestulkoon lakkasivat parin vuosikymmenen aikana (Zackrisson 1977, Niklasson & Granström 2000, Kaipainen 2001). Etelä-Ruotsissa ja Etelä-Norjassa metsäpalot vähentyivät jo 100 vuotta aiemmin, 1700-luvun puolivälin jälkeen (Niklasson & Dragenberg 2001, Groven & Niklasson 2005). Siitepöly- ja hiilipartikkelianalyysien perusteella myös Etelä-Suomessa metsäpalot vähentyivät mahdollisesti jo ennen 1800-lukua (Huttunen 1980, Tolonen 1985). Eteläisen Hämeen syrjäseuduilla Evolla palot kuitenkin jatkuivat pitkälle 1800-luvun puolelle (Wallenius ym. 2007).

Nykyisin metsäpalot polttavat Pohjoismaissa vuosittain niin pieniä pinta-aloja, että sama metsä palaisi keskimäärin kymmenien tuhansien vuosien välein. Esimerkiksi Suomessa laskennallinen metsäpalojen esiintymistiheys oli vuosina 1970–2002 noin 40 000 vuotta (Metsäntutkimuslaitos 2003). Vaikka mukaan otettaisiin vuodet 1952–1969 ja Tuusulan suurpalo vuonna 1960, palosykli olisi silti yli 10 000 vuotta, jos palot polttavat metsiä tulevaisuudessa samalla tavalla kuin viimeisten viidenkymmenen vuoden aikana.

Karkeasti yleistäen metsäpalot polttivat Suomessa 1900-luvun alussa yli kymmenkertaisesti enemmän metsiä kuin vuosisadan lopulla. On kuitenkin tärkeää huomata, että absoluuttisesti suurin vähennys metsäpaloissa oli tapahtunut jo ennen 1900-luvun alkua. Kaksisataa vuotta sitten Suomessa keskimäärin vuosittain palanut pinta-ala oli vähintään kahta kertaluokkaa (100–500 kertaa) suurempi kuin nykyisin.



Kuva 7. Vuositain keskimäärin palanut osuus (%) mäntyvaltaisissa metsissä keski- ja pohjoisborealisessa Fennoskandiassa. Kuva esittää yhdeksän tutkimuksen keskiarvot 25 vuoden jaksoissa (Kohh 1975, Zackrisson 1977, Engelmark 1984, Niklasson & Granström 2000, Lehtonen & Kolström 2000, Pohjonen 2001, Kaipainen 2001, Wallenius ym. 2004, Wallenius ym. julkaisematon). Aineistot on saatu julkaisujen taulukoista ja kuvista. Kohhin (1975) tutkimuksessa vuosittain palaneet pinta-alat on ilmoitettu 50 vuoden luokissa, mikä tasoittaa jossain määrin tässä kuvassa esiintyvää palaneen pinta-alan vaihtelua. Lehtosen ja Kolströmin (2000) ja Walleniuksen ym. (2004) pienet ja lähekkäin toisiaan tehdyt tutkimukset on las- kettu yhteen.

Pohjois-Fennoskandiassa ja Luoteis-Venäjällä metsäpalot eivät vähentyneet yhtä jyrkästi kuin Keski- ja Etelä-Fennoskandiassa. Suomen rajan läheisyyttä lukuun ottamatta Euroopan puoleisella Venäjällä on tehty alueen pinta-alaan nähden hyvin vähän palohistoriatutkimuksia. Näyttää kuitenkin siltä, että metsäpalojen vähentyminen tapahtui idässä vasta 1900-luvulla (Wallenius 2002, Drobyshev ym. 2004).

Venäjällä metsäpalot ovat edelleen yleisiä, jos vertaa Pohjoismaiden nykytilanteeseen. Kuitenkin palot ovat vähentyneet selvästi myös Venäjällä verrattuna niiden yleisyyteen 1700- ja 1800-luvuilla. Tuolloin esimerkiksi Luoteis-Venäjän mäntyvaltaiset metsät ovat palaneet noin 50–60 vuoden välein (Lehtonen & Kolström 2000, Drobyshev ym. 2004, Wallenius ym. 2004). Nykyisellä palojen esiintymistiheydellä palovälit ovat useiden satojen tai muutaman tuhannen vuoden luokkaa (Kauhanen 2002, Drobyshev & Niklasson 2004).

4.4 Metsäpalojen kokojakauma

Metsäpalojen kokojakaumalle on tyypillistä, että pieniä paloja on hyvin paljon ja suuria erittäin vähän. Useissa tutkimuksissa on ehdotettu, että erikokoisten metsäpalojen lukumäärä tietyllä alueella seuraa melko tarkoin palon pinta-alan potenssifunktiota (Malamud ym. 2005). Esimerkiksi kymmenen kertaa suurempien palojen esiintymistiheys saattaa olla 25 kertaa pienempi. Silti suurimmat viisi prosenttia paloista voivat polttaa yli 95 % palaneesta pinta-alasta (Johnson ym. 2001).

Metsäpalojen koko vaihtelee tavattoman paljon. Metsäpaloista pienimmät ovat vain muutamia neliömetrejä. Suurimmat puolestaan voivat polttaa metsää kymmenien kilometrien matkalta. Eräs suurimmista paloista Fennoskandiassa sattui vuonna 1960 Tunturilla Suomen ja Neuvostoliiton rajalla. Useat eri palonalut yhtyivät yhdeksi suurpaloksi, joka poltti Suomen ja Venäjän puolella yhteensä 120 000 hehtaaria metsää ja tun-

turia (Haataja 1993). Suurimmat palot pohjoisissa havumetsissä ovat olleet vielä huomattavasti suurempia, yli miljoonan hehtaarin laajuisia, ja sattuneet Siperian ja Kanadan mantereisilla alueilla. Fennoskandiassa metsäpalot ovat yleisesti ottaen pienempiä kuin Pohjois-Amerikassa ja Siperiassa. Tämä johtuu Fennoscandian merisestä ilmastosta ja pienipiirteisestä maiseman rakenteesta, jossa on paljon soita ja järviä palon etenemisen esteinä.

Suomessa valtion metsistä vuodesta 1865 kerätty metsäpalotilasto on eräs maailman vanhimmista. Tilastosta on nähtävissä metsäpalojen keskikoon selvä pientyminen. Vuosina 1865–1899 palojen keskikoko valtion mailla oli 80 ha (Saari 1923). Nykyisin palot ovat keskimäärin alle hehtaarin kokoisia (Metsäntutkimuslaitos 2003).

Ero 1800-luvun lopun ja nykypäivän metsäpalojen pinta-aloissa ei todennäköisesti kuitenkaan ole satakertainen. Tämä johtuu siitä, että palojen keskikokoon vaikuttaa olennaisesti pienten palojen lukumäärä, jota on vaikea arvioida (ks. alla). Palotilastot ovat muuttuneet jatkuvasti tarkemmiksi. Nykyisin tilastoiduista metsäpaloista osa on savuavia kantoja ja muurahaispesiä. Varhaisimpien vuosikymmenten tilastoista todennäköisesti puuttuu paljon pieniä metsäpaloja, jotka on tilastoitu melko tarkoin viime vuosikymmeninä.

Menneinä vuosisatoina metsäpalot ovat todennäköisesti olleet suurempia kuin 1800-luvulla. Tästä ovat löytäneet merkkejä Niklasson ja Granström (2000) Pohjois-Ruotsissa. Ennen vuotta 1650 metsäpalojen lukumäärä per vuosi oli vain kymmenesosa siitä mitä vuosina 1840–1860, mutta palanut pinta-ala ei ollut vastaavasti yhdeksän kymmenettä osaa pienempi. Palojen lukumäärän kymmenkertaistuessa palanut pinta-ala vain nelinkertaistui. Tästä voinee karkeasti arvioida, että palojen keskimääräinen pinta-ala oli ennen vuotta 1650 kaksi- ja puolikertaa suurempi, jos kokojakauman muoto pysyi samana.

4.5 Palojen lukumäärä

Metsäpalojen koon erittäin suuri vaihtelu tekee niiden lukumäärän tutkimisen erittäin vaikeaksi. Pienimmät ja samalla lukuisimmat palot jäävät helposti tiheänkin näytealaverkon väleihin. Huolellisesti kerätyt tilastot olisivat paras keino selvittää metsäpalojen lukumääriä. Valitettavasti kaikkia metsäpaloja ei koskaan havaita, tai ne eivät jostain muusta syystä päädy tilastoihin.

Viimeisen kolmen vuosikymmenen tilastojen mukaan Suomessa on ollut keskimäärin 700 metsäpaloa vuosittain (Metsäntutkimuslaitos 2003). 1950- ja 1960-luvuilla paloja oli noin 500 vuosittain (Mikkola 1992). Metsäpalojen lukumäärä näyttää olevan nousussa, mutta se saattaa selittyä osittain tilastoinnin tehostumisella.

Dendrokronologisissa palohistoriatutkimuksissa on tehty laskelmia ja arvioita palojen esiintymistiheyksistä menneinä vuosisatoina. Vaikka on ilmeistä, että tutkijat eivät ole saaneet näyttöä kaikista tutkimusalueensa menneiden vuosisatojen metsäpaloista, ovat palotihedetykset olleet 1700- ja 1800-luvuilla korkeita vaihdellen yhdestä yli kymmeneen paloon 100 neliökilometriä kohden vuodessa (Niklasson & Granström 2000, Helberg ym. 2004, Groven & Niklasson 2005).

Jos lähtökohdaksi ottaa edellä esitettyjen tutkimusten vaihteluvälin alarajan, yhden palon sadalla neliökilometrillä vuodessa, päästään varovaiseen arvioon, jonka mukaan Suomessa on ollut vähintään 2 000 metsäpaloa vuosittain 1700-luvulla ja 1800-luvun alkupuoliskolla. Nykypäivään tultaessa metsäpalojen lukumäärä on näin ollen vähentynyt vähintään kahdella kolmasosalla.

Dendrokronologiset tutkimukset viittaavat huomattavasti jyrkempään vähentymiseen, sillä monissa tutkimuksissa ei ole havaittu yhtään metsäpaloa 1900-luvun alun jälkeen (Lehtonen ym. 1996, Groven & Niklasson 2005, Wallenius ym. 2005). Tämä johtuu epäilemättä osittain palojen pinta-alan pientymisestä, minkä takia palot eivät ole osuneet näytealoille mutta paljolti myös siitä, että palojen lukumäärä on aidosti vähentynyt.

5 Palontorjunnan vaikutus

Metsäpalojen aiheuttamista tuhoista oltiin huolestuneita Ruotsi-Suomessa jo vuosisatoja sitten. Kenties ensimmäinen yritys vähentää metsäpaloja tehtiin vuonna 1442. Kuningas Kristoffer III Baijerilaisen maanlaissa kiellettiin ihmisiä sakon uhalla päästämästä tulta leviämään metsään (Tasanen 2004). Kaskenpolttoa yritettiin suitsia useaan otteeseen 1500- ja 1600-luvuilla etenkin metsävaroja paljon tarvitsevan kaivosteollisuuden ympäristöstä. Vuonna 1690 annettiin erityinen säädös metsäpalojen ehkäisemiseksi ja palon aiheuttajien rankaisemiseksi. Metsäpalot olivatkin huomattavasti harvinaisempia 1700-luvun ensimmäisinä vuosikymmeninä kuin 1600-luvun lopussa (kuva 7). Tähän luultavasti vaikuttivat myös ankarat katovuodet 1695–1697, jolloin suuri osa suomalaisista kuoli nälkään.

Varhaiset säädökset metsäpalojen vähentämiseksi jäivät kuitenkin pääsääntöisesti kuolleiksi kirjaimiksi päätellen vuosittain palaneen pinta-alan määrästä ja metsäpalojen runsaudesta menneinä vuosisatoina. Ihmiset elivät metsissään tuhatvuotisten elinkeinonsa sanelemilla ehdoilla ja valtiovallan toiveita metsäpalojen vähentämisestä ei katsottu hyödyllisiksi saati mahdollisiksi toteuttaa. Kaskenpoltto, karjankasvatus, metsästy ja kalastus olivat pääelinkeinoja suurelle osalle metsäseutujen väestöstä pitkälle 1800-luvulle asti.

Vasta 1800-luvun puolivälistä lähtien metsäpalojen ehkäisemisellä ja sammuttamisella näyttää olleen vaikutuksia vuosittain palaneeseen pinta-alaan. Tuolloin Suomessa säädettiin uusi metsälaki ja asetettiin useita lisärajoituksia kaskenpoltolle (Heikinheimo 1915). Merkittävää on se, että aiemmista yrityksistä poiketen 1800-luvun puolivälissä metsien ”haaskaamisen” lopettamiseen tähtäävien säädösten ohella lisättiin valvontaa. Suomessa ja Ruotsissa perustettiin samoihin aikoihin metsien hoidosta vastaavat metsähallitukset, jotka asettivat metsänhoitajia ja metsänvartijoita valvomaan metsien käyttöä.

Metsänvartijoista ja metsänhoitajista eli ”metsäherroista” tuli pian vihattuja viranomaisia, koska he rajoittivat kansan perinteisiä metsänkäyttömuotoja kasken- ja tervanpolttoa ja metsälaidunnusta (Ruuttula-Vasari 2004). Etenkin Lapin ja Oulun lääneissä, missä oli paljon val-

tionmetsiä, joita kansa oli tottunut vapaasti käyttämään, ristiriita vanhojen ja uusien metsänkäyttömuotojen välillä oli paha ja jatkui 1900-luvun alkupuolelle asti. Tilanteen vakavuutta kuvaa se, että Pohjois-Pohjanmaalla metsänvartijat olivat ajoittain pistoolein aseistautuneita. Etelä-Suomessa isojaossa tapahtunut metsien yksityistäminen ehkäisi osaltaan vastaavien jännitteiden syntymä. Metsäteollisuuden voimakkaan kehittymisen alkaessa 1800-luvun puolivälissä isännät havaitsivat pian kannattavammaksi kasvattaa tukkipuita kuin polttaa metsiänsä kaskissa tai laitumien parantamiseksi.

Käytössä olevat pääasialliset keinot metsäpalojen sammuttamiseksi 1800-luvulla ja 1900-luvun alussa olivat ”hosiminen” kuusen tai lehtipuun oksalla, palokujien raivaaminen ja vastatulien sytytys (Blomqvist 1888). Näillä konsteilla pienialaisen hitaasti leviävän palon eteneminen saatiin pysäyttämään viimeistään yön aikana, jolloin päivää suurempi ilmankosteus vaimentaa liekkejä. Ongelmana olikin palon alkujen havaitseminen ajoissa. Ihmisten aiheuttamat palot havaitaan useimmissa tapauksissa nopeammin kuin salaman sytyttämät.

Toisena palojen sammuttamisen haasteena oli tarvittavan sammutusmiehistön hälyttäminen paikalle. Valitettavasti metsäpalot sattuivat usein kesken kiireellisimpien peltotöiden tai heinänteon ja väki ryhtyi sammutuspuuhiin melko vastentahtoisesti. Sakari Topeliuksen Maamme-kirjassa vuodelta 1875 olevasta kuvauksesta päätellen metsäpaloista olivat 1800-luvulla huolestuneita lähinnä sivistyneistön edustajat, kun taas talonpojat pitivät jokakesäisiä kuloja enimmäkseen vaarattomina. Sammutuspuuhin ryhdyttiin vain, jos tuli uhkasi rakennuksia ja asuinpaikkoja.

Pohjois-Suomessa palon torjunta tehostui vasta 1900-luvun puolivälin tienoilla. Vuoteen 1939 mennessä myös Lappiin oli saatu perustettua palovartiotorvien verkosto (Santala 1964). Paljon metsiä kuitenkin paloi vuosina 1959 ja 1960. Vuonna 1960 Sallassa Tuntilla ja Venäjän puolen erämaissa paloi yhteensä 120 000 hehtaaria (Haataja 1993). Yli kuukauden raivonnutta paloa oli Suomen puolella sammuttamassa parhaimmillaan noin 500 miestä. Suuret palovuodet

saivat viranomaiset myöntämään lisäresursseja palontorjuntaan Lapissa (Santala 1964).

Nykyinenkään palontorjuntaorganisaatio ja -kalusto eivät aina kykene hillitsemään palon etenemistä. Tästä saatiin muistutus vuonna 1997, kun raju palo poltti metsää ja suota noin 250 hehtaaria Tammelassa Etelä-Suomessa. Palomiesten ponnisteluista huolimatta latvapalona edennyt tuli eteni mm. Helsinki–Pori-valtatien ylitse. Tulevaisuudessa vastaavat tapaukset tulevat entistä todennäköisemmiksi, jos ja kun kuumat ja kuivat kesät lisääntyvät ilmastonmuutoksen myötä.

Vertailun vuoksi mainittakoon, että Pohjois-Amerikassa tutkijat kiistelevät yhä siitä, onko palontorjunnalla vaikutusta vuosittain palaneisiin pinta-aloihin (Keeley ym. 1999, Minyanishi & Johnson 2001, Ward ym. 2001, Bridge ym. 2005). Pohjois-Amerikassa palontorjunnasta kiinnostuttiin todenteolla vasta 1900-luvun alussa lukuisten katastrofaalisten metsäpalojen saattamana (Department of Lands and Forests 1924, Pyne ym. 1996).

Aluksi metsäpalojen torjunta näyttää olleen tehokasta, sillä vuosittain palaneet pinta-alat vähenivät murto-osaan aiemmasta Etelä-Kanadassa ja Yhdysvaltojen pohjoisosissa 1900-luvun alun vuosikymmeninä. Vuosittain palaneet pinta-alat olivat pienimmillään vuosisadan puolivälissä mutta alkoivat sitten kasvaa, vaikka palontor-

junta tehostui. Esimerkiksi Kanadassa tilastojen mukaan pahimmat palovuodet ovat sattuneet viime vuosikymmeninä, siitä huolimatta, että 1980-luvulta lähtien on ollut laajalti käytössä vesitankeilla varustettuja sammutuslentokoneita ja helikoptereita (Masters 1990, Amiro ym. 2001, Bergeron ym. 2001).

Palontorjunta ymmärretään nykyisin yleisesti metsäpalojen sammuttamiseksi. Yhtä paljon ellei enemmänkin vaikutusta on kuitenkin ollut metsäpalojen ehkäisyllä. Ei ole olemassa juurikaan todisteita siitä, että salaman sytyttämien palojen sammutus olisi ollut syynä vuosittain palaneiden pinta-alojen äkilliseen pienentymiseen 1860–1890. Tähän viittaa se, että metsäpalot vähenivät myös sellaisilla seuduilla, missä ei ollut mahdollisuuksia metsäpalojen nopeaan havaitsemiseen ja sammuttamiseen. Esimerkkeinä mainittakoon Mudduksen kansallispuisto Pohjois-Ruotsissa (Engelmark 1984) ja Itä-Inarin mäntymetsät Lapissa (Wallenius ym. julkaisematon). Vuosittain palaneiden pinta-alojen pienentyminen näillä tiettömillä ja harvaanasutuilla seuduilla jo varhain 1800-luvulla ei varmasti ollut tehokkaan sammutustoiminnan ansiota. Metsäpalot vähentyivät myös Venäjällä Suomen rajan läheisyydessä jo 1800-luvulla (Lehtonen & Kolström 2000, Wallenius ym. 2004, Wallenius ym. 2005).

6 Metsäpalot mallina metsien ennallistamisessa ja hoidossa

Ennallistamisella tarkoitetaan useimmiten kerta-luontoista toimenpidettä, jolla ihmistoiminnan muuttama ekosysteemi palautetaan lähemmäksi luonnontilaa (Ennallistamistyöryhmä 2003). Ennallistamisen tavoitteena on lisätä metsiin luonnontilaisen kaltaisia rakenteita ja biodiversiteettiä tai edesauttaa metsien luontaisia prosesseja ja dynamiikkaa. Yksi suosittu metsien ennallistamisessa käytetty keino on polttaminen. Suomeen on perustettu 52 paloaluejatkumoa, joiden tarkoituksena on turvata metsäpaloista riippuvaisen ja hyötyvien lajien säilyminen (Hyvärinen ym. 2007). Viime vuosina ennallistuspolttoja on suoritettu Metsähallituksen suojelualueilla vähän yli sadalla hehtaarilla vuosittain koko maassa.

Ennallistamisen lisäksi luontaista palodynamiikkaa on ehdotettu malliksi luonnon dynamiikkaa jäljittelevälle metsien hoidolle (Berge-ron ym. 2002, Kuuluvainen 2002). Esimerkiksi Ruotsissa kehitetyssä ASIO-mallissa metsäalueet jaetaan neljään luokkaan niiden luontaisten palovälien mukaan. Eri luokille ehdotetaan sovellettavaksi erilaisia metsänkäsittelymenetelmiä, joiden tarkoituksena on jäljitellä metsäpalojen vaikutuksia. Angelstamin (1998) mukaan luokkaan A (absent) kuuluvat kuviot, esimerkiksi korvet ja lehdot, palavat harvemmin kuin kerran 300 vuodessa, S (seldom) puolestaan edustaa kosteita kuusikoita, jotka palavat harvemmin kuin kerran sadassa vuodessa, I (intermediate) mustikkatyyppin metsissä palo käy alle sadan vuoden välein ja O-luokassa (often) ovat 40–60 vuoden välein palavat kuivat männiköt.

Angelstam (1998) korostaa, että malli on sovitettava kullekin seudulle erikseen, mutta hänen esittämiinsä paloväleihin viitataan suurin piirtein sellaisenaan alueilla, joihin ne eivät sovellu. Näin on tehty esimerkiksi Pohjois-Suomen valtionmaiden alue-ekologisessa suunnittelussa (Korkalo ym. 2000).

Suomessa metsien ennallistamisen käytännöllisenä lyhyen aikavälin tavoitteena on lisätä metsien monimuotoisuutta ja edesauttaa uhanalaisten lajien säilymistä (Hyvärinen ym. 2007). Pitkällä aikavälillä tavoitteena on metsien saattaminen mahdollisimman lähelle luonnontilaa.

Metsien ennallistamisen ja hoidon suunnittelun yhteydessä viittaaminen metsien luontaiseen häiriödynamiikkaan ja paloväleihin on ongelmallista, koska tiedot luonnollisista paloväleistä erityyppisissä metsissä Suomen eri alueilla ovat varsin hatarat. Tämä johtuu yhtäältä siitä, että metsäpalohistorian tutkimukset ovat keskittyneet usein palaneisiin mäntyvaltaisiin metsiin, ja toisaalta siitä, että ihmisvaikutusta on aliarvioitu.

Metsien ennallistamisen pitkän aikavälin tavoitteeksi voidaan ottaa joko luonnontila, kuten nykyisin on tehty, tai vaihtoehtoisesti voitaisiin asettaa tavoitteeksi historialliset metsien rakenteet ja dynamiikka (Wallenius ym. 2007). Nykyisessä keskustelussa metsien ennallistamisesta ei kuitenkaan ole tehty selvää eroa historiallisten ja luontaisten metsien rakenteiden ja dynamiikan välille. Tämä johtuu paljolti siitä, että ei tiedetä minkälaisia olisivat metsien rakenteet ja dynamiikka luonnontilassa.

Fennoskandian historiallisia paloregiimejä on kuvattu edellä. Pinta-alaltaan pieniä metsäpaloja oli runsaasti ja ne toistuivat samalla paikalla keskimäärin alle sadan vuoden välein. Niiden vaikutuksesta metsät olivat paljolti mäntyvaltaisia tai sekametsiä. Osa mäntyvaltaisesta puustosta jäi usein henkiin ja metsät olivat monikerroksisia ja koostuivat useammasta palon jälkeisestä ikäluokasta. Runsaiden metsäpalojen lisäksi metsiin vaikuttivat myös laajalle levinneet metsälaidunnus ja kaskenpoltto (Heikinheimo 1915, Helander 1949).

6.1 Luontaiset paloregiimit

Ennen vanhaan ihmiset aiheuttivat suuren osan metsäpaloista, mutta nykyisin palosyklit ovat epäluonnollisen pitkiä tehokkaan metsäpalojen torjunnan vuoksi. Minkälaisia olisivat luontaiset metsäpaloregiimit? Kuinka usein metsät palaisivat ja kuinka suuria palot olisivat ilman ihmisten vaikutusta? Nämä kysymykset ovat tärkeitä, mutta erittäin vaikeita vastata. Historialliset eli viimeisen 400–500 vuoden aikana sattuneet metsäpalot voidaan ajoittaa puiden saamista pa-

lokoroista (ks. luku 2 Metsäpalojen merkit luonnossa). Tämä jakso on kuitenkin erittäin ihmisvaikutteinen lähes kaikkialla Fennoskandiassa. Tätä varhaisempien aikojen metsäpaloista voidaan saada tietoa turvekerrosten ja järvisedimenttien stratigrafisilla tutkimuksilla. Valitettavasti se, mikä tutkimusajanjaksojen mitassa voitetaan, menetetään tarkkuudessa. Kaiken lisäksi varhaisempinakin aikoina on Fennoskandiassa ollut huomattavaa ihmisvaikutusta, jota on vaikea poislukea saaduista tuloksista.

6.1.1 Arvio maastotutkimusten perusteella

Kaikesta päätellen entisaikojen runsaiden metsäpalojen ja nykyajan tehokkaan palontorjunnan välillä on ollut vaihe, jolloin ihmisten nettovaikutus vuosittain palaneisiin pinta-aloihin on ollut vähäinen. Heti palontorjuntapolitiikan alkutai-paleella kyettiin ehkä palojen synnyn ehkäisemisen lisäksi sammuttamaan ihmisten itsensä aiheuttamat metsäpalot. On kuitenkin järkevää olettaa, että ainakin syrjäseuduilla palojen sammuttamistoiminta on ollut tehotonta ja etenkin salaman sytyttämien palojen havainnointi puutteellista.

Kolmen suuren palohistoriatutkimuksen ja yli 500 näytealan perusteella Pohjois-Ruotsissa paloi vuosittain alle 0,2 % pinta-alasta ajanjaksolla 1876–1900 (Zackrisson 1977, Engelmars 1984, Niklasson & Granström 2000). Tämä tarkoittaa yli 500 vuoden palosykliä tai keskimääräistä paloväliä seudulla, jossa palojen tehokas havainnointi ja sammuttaminen eivät voineet olla tiestön ja moottoroidun kaluston puutteessa kovin tehokkaita 1800-luvun lopulla. Vuosittain palaneiden pinta-alojen äkillinen pientyminen murto-osaan oli todennäköisesti seurausta ihmisten elinkeinojen ja asenteiden muuttumisesta, mikä johti aikaisempaa varovaisempaan tulenkäsittelyyn metsissä.

6.1.2 Arvio salaman sytyttämien palojen perusteella

Metsien luontaisia palosyklejä voi arvioida myös salaman sytyttämien palojen tiheyden ja palojen kokojakauman perusteella. Voidaan kysyä, riittävätkö Suomessa vuosittain esiintyvät 100 salaman sytyttämää paloa (Larjavaara ym. 2005a) polttamaan metsiä keskimäärin sadan vuoden

välein. Jotta usein siteerattu sadan vuoden luonnollinen palosykli täyttyisi, salaman sytyttämien palojen pitäisi polttaa keskimäärin 2 300 hehtaaria metsää. Tai pikemminkin muistaen metsäpalojen kokojakauman muodon ja sen, että muutama prosentti suurimmista paloista polttaa lähes kaiken palavan pinta-alan, tulisi Suomessa sattua joka vuosi pari Tuuntsan suurpalon (120 000 ha) veroista roihua. Tämä ei vaikuta realistiselta oletukselta, kun otetaan huomioon se, kuinka äärimmäisen pieni osuus paloista kasvaa niin suureksi.

Niklassonin ja Granströmin (2000) tutkimuksesta voi arvioida, että suurin palo poltti yli 35 000 hehtaaria ja että ennen vuotta 1650 metsäpalojen keskikoko oli enintään 1 000 ha. Tämän kaltaisella palojen kokojakaumalla vuosittaiset sata salaman sytyttämää paloa polttaisivat Suomen metsiä noin 230 vuoden palosyklillä. Koska salaman sytyttämien palojen tiheydessä on lähes 20-kertaista vaihtelua maan eri osien välillä, myös palosykleissä on luonnostaan huomattavaa vaihtelua (Larjavaara 2005).

Luonnontilassa etelärannikon ja Järvi-Suomen kuivat harjumänniköt voisivat kenties palaa niinkin usein kuin sadan vuoden välein. Suurimmassa osassa Suomea keskimääräiset palovälit olisivat kuitenkin vähintään muutamia satoja vuosia ja metsät huomattavasti nykyistä kuusivaltaisempia. Hyvin harvoin sattuvat rajut palot synnyttäisivät aukeita, joilla olisi läpimittaa jopa kymmeniä kilometrejä.

6.2 Metsien ennallistaminen ja hoito kulottamalla

Luonnontilaista paloregiimiä on hyvin vaikea ellei mahdoton jäljitellä metsien ennallistamisessa, luonnonsuojelualueiden hoidossa tai talousmetsien käsittelyssä. Metsien ennallistamisen kannalta se merkitsisi mahdollisimman laajojen täysipuustoisten kuvioiden polttamista keskikesällä. Lisäksi valtaosan poltettavista metsistä tulisi olla kuusivaltaisia. Paloaluejatkumoilla tulisi polttaa harvoin, mutta paljon metsää kerralla. Tavoitelluksi intensiteettiksi olisi asetettava useimmissa tapauksissa metsän uudistava latvapalo. Talousmetsien hakkuissa pitäisi jättää mahdollisimman paljon kuollutta puuainesta hakkuuaukeille ja nykyistä suurempi osa päätehakatuista alueista olisi kulotettava.

Edellä mainituista toimenpiteistä huolimatta jäätäisiin todennäköisesti melko kauas luontaisesta metsien rakenteesta ja dynamiikasta. Poltettavat kuviot olisivat parhaimmillaankin vain pienen murto-osan suuruisia vapaasti levinneistä metsäpaloista. Lisäksi Etelä-Suomessa vanhojen kuusimetsien kulottaminen luonnonsuojelualueilla tai muuallakaan ei ole suotavaa niiden pienen pinta-alan vuoksi. Talousmetsissä metsäpalon jäljitteleminen jättämällä hakatulle kuviole runsaasti kuollutta puustoa on ristiriidassa taloudellisten tavoitteiden kanssa.

Ainoita paikkoja, joissa voitaisiin ajatella päästävän lähelle luontaista paloregiimiä, ovat Pohjois-Suomen suuret kansallispuistot ja erämaa-alueet. Edellytyksenä olisi, että ihmisen ja salamansytyttämät metsäpalot pystyttäisiin tunnistamaan niiden alkuvaiheessa ja sammuttamaan vain ihmisen aikaansaamat palot. Tämä lienee teknisesti mahdollista. Lapissa useimmissa metsäpaloissa on syynä ihmistoiminta ja ne havaitaan varhaisessa vaiheessa. Salamankaikantimien avulla salamansytykset voidaan paikantaa noin kilometrin tarkkuudella Etelä-Suomessa (Larjavaara ym. 2005b). Laajentamalla anturiverkkoa sama voitaisiin tehdä myös Pohjois-Suomessa ja saada näin reaaliaikaista tietoa, jonka avulla kyettäisiin päättämään, onko jokin tietty metsäpalo todennäköisesti syttynyt salamasta.

Edellä kuvatun kaltaista palojen torjuntakäytäntöä varten pitäisi Lapista rajata erityiset alueet, joilla jokainen palo arvioitaisiin ja sammutettaisiin tai annettaisiin palaa syttymissyystä, tuulen suunnasta ja sijainnista riippuen. Lapissa metsät palavat niin harvoin, että kovin usein tällaisia pohdintoja ei tarvitsisi tehdä suuressakaan kansallispuistossa. Riskinä, tai ehkä pikemminkin haluttuna lopputuloksena, tämänkaltaisessa metsäpalostrategiassa olisi, että joskus esimerkiksi suositusta Urho Kekkosen kansallispuistosta voisi palaa hyvinkin neljännes. Tapahtuisiko sitä tällä vuosikymmenellä tai edes tällä vuosisadalla, ei voi etukäteen tietää. Todennäköistä kuitenkin on, että puistossa olisi pitkiä palottomia jaksoja, kuten siellä on tähänkin mennessä ollut (Wallenius ym. julkaisematon aineisto).

Historiallisia paloregiimejä on jossain määrin helpompi jäljitellä kuin luontaisia. Viime vuosikymmenten metsäpalot olivat verraten pieniä, sattuvat suurelta osin alkukesästä, polttivat erilaisia metsiä varttuneista mäntytaimikoista vanhoihin

männiköihin ja kuusimetsiin ja aikaansaivat keskimäärin vähemmän kuollutta puustoa hehtaarille kuin laaja latvapalo. Ongelmana historiallisen paloregiimin jäljittelyssä on suuri vuosittain palanut pinta-alaosuus. Ongelma voidaan kiertää keskittämällä poltot tietyille alueille, kuten palojatkumosuunnitelmissa on tehty.

Etelä- ja Keski-Suomessa historiallisia palovälejä jäljittelevä hoitosuunnitelma polttaisi kohdealueen metsistä vuosittain 1–3 %. Vanhoja kuusikoita, lehtoja ja korpimetsiä ei kuitenkaan ole syytä polttaa. Myös vanhoissa kuusettuneissa männiköissä on riskinä iäkkään puuston kuoleminen palossa, mikä ei liene suotavaa näiden alueiden pienialaisuuden vuoksi.

Erityistä huomiota tulisi kiinnittää palojen toistuvuuteen samoilla kuvioilla, jotta puuston ja muun kasvillisuuden rakenne kehittyisi usein palaville metsille tyypilliseksi. Käytännössä tämä tarkoittaisi samojen metsiköiden polttamista esimerkiksi 30–50 vuoden välein. Poltettavien kuvioiden sijoittaminen lähekkäisille kuvioille parantaisi pitkällä aikavälillä metsäpaloista riippuvaisten lajien mahdollisuuksia selviytyä ja kolonisoida uusia paloaloja. Tämä edellyttää palojatkumoalueiden huolellista suunnittelua vuosiksi eteenpäin.

Metsähallituksen tavoitteena on tulevaisuudessa suorittaa ennallistamispoltoja noin 200 hehtaarilla vuodessa (Hyvärinen ym. 2007). Tämä on hyvin pieni määrä, vertasi sitä sitten historialliseen tai arvioituun luonnontilaiseen metsäpaloregiimiin. Suurempien määrien polttaminen on vaikeaa, sillä ennallistamispolto ovat erittäin kalliita järjestää. Viime vuosien ennallistuspolttojen hehtaarikohtaiset valmistelu- ja polttokustannukset ovat vaihdelleet tuhannen euron molemmin puolin (Esko Hyvärinen ja Anne Tolvanen, henk.koht. tiedonannot).

Huolimatta siitä, että Suomessa vuosittain palanut pinta-ala on ollut minimaalinen jo yli sadan vuoden ajan, palolajeja ei juuri ole kuollut sukupuuttoon (Rassi ym. 2001). Tämä johtuu siitä, että useimmat palolajit ovat erittäin hyviä kolonisoidjia. On kuitenkin epävarmaa, riittävätkö Suomessa nykyisin vuosittain palavat alueet elättämään niitä vai tulevatko ne toimeen palamattomissa metsissä myös pitkällä aikavälillä. Tarvitaan lisää palolajiston ekologiaan keskittyvää tutkimusta.

Ennallistamispoltojen keskittäminen Etelä-, Keski- ja Itä-Suomeen mahdollisesti auttaisi palolajiston selviämistä paremmin kuin nykyinen laaja palojatkumoverkosto. Pohjois-Suomessa ja muualla Fennoskandian pohjoisosissa historialliset palosyklit ovat olleet pitkiä (Engelmark 1984, Wallenius ym. 2005, Carcaillet ym. 2007, Wallenius ym. julkaisematon aineisto) ja luontaiset palosyklit todennäköisesti vielä pidempiä.

Suuri osa metsäpaloista hyötyvistä lajeista on riippuvaisia kuolleesta puuaineksesta. Tulevaisa paloekologian tutkimuksissa olisi selvítettävä tarkemmin, kuinka suuri osa metsäpaloaukeilla viihtyvistä lajeista tarvitsee itse metsäpaloa vai riittääkö niille lahoppuun ja avoimien ympäristöjen lisääminen esimerkiksi pienaukotuskohteilla. Mahdollisesti jokin kulotusta halvempi ennallistamismenetelmä olisi riittävä suurimmalle osalle paloista hyötyvästä lajistosta.

7 Metsäpalot Kalevalan kansallispuistossa

Venäjällä Suomen rajan pinnassa sijaitseva 744 neliökilometrin Kalevalan kansallispuisto perustettiin vuonna 2002. Suomen puolella Suomussalmen kunnan alueella on lisäksi joukko suojelualueita, jotka on suunniteltu liitettäväksi yhdeksi suureksi Kalevalapuistoksi. Kalevalapuistojen tarkoituksena on suojella ikimetsiä ja perinteistä kainuulaista ja vienankarjalaista kulttuuria, joka on osaltaan muokannut alueen luontoa. Kalevalan kansallispuiston metsiä tutkittiin vuosina 1997–2000 usean venäläisen ja suomalaisen tutkimusryhmän toimesta.

7.1 Luonnonolot

Alue on pinnanmuodoiltaan kumpuilevaa korkeuden vaihdellessa 107:n ja 264 metrin välillä meren pinnan yläpuolella. Peruskallio koostuu pääasiassa erilaisista gneisseistä ja graniiteista ja etenkin kumpareiden päällä ohut maaperä on melko ravinneköyhää (Gorkovets & Rayevskaya 2002, Lukashov & Demidov 2002). Heinäkuun keskilämpötila on noin 15 °C ja vuotuinen sademäärä 500 mm (Global Historical Climatology Network, versio 1; katso Hoare 1996).

Läheisellä alueella Itä-Suomessa salaman sytyttämien metsäpalojen tiheys on 0,01–0,1 sataa neliökilometriä kohden vuodessa (Larjavaara ym. 2005a) Tämän perusteella salama sytyttää metsäpalon Kalevalan kansallispuiston alueella keskimäärin kerran 2–10 vuodessa.

Seutu kuuluu keskiboreaaliseen kasvillisuusvyöhykkeeseen (Ahti ym. 1968). Kalevalan kansallispuiston pinta-alasta noin 70 % on metsää, 20 % avosuota ja 10 % vesistöjä (Gromtsev ym. 2002a). Metsistä 85 % on mäntyvaltaisia metsiä, joissa on usein runsaasti kuusialikasvosta (Gromtsev ym. 2002b). Kosteita painanteita ja vesistöjä seurailevat kuusivaltaiset metsät ja korvet muodostavat 10 % metsäpinta-alasta. Suomalaisen luokittelun mukaan yleisimmät metsätyypit ovat kuivahko variksenmarja-puolukka-tyyppi sekä tuore mustikkatyyppi.

7.2 Ihmisvaikutuksen historia

Ihmisasutus levisi itäiseen Fennoskandiaan jo tuhansia vuosia sitten (Huurre 2001). Maanviljelystä ja karjankasvatusta harjoittaneet suomalaiset ja karjalaiset uudisasukkaat tunkeutuivat seudulle 1600-luvulla, minkä seurauksena paikalla aiemmin asuneet metsästäjä-keräilijäheimot joutuivat väistymään tai muuttamaan elintapojaan (Pöllä 1995). Suomalais-karjalaisen maanviljelyskulttuurin perinteisiä metsänkäyttömuotoja olivat kaskiviljely, tervanpoltto, laitumien poltto ja metsälaidunnus. Menneen maanviljelyskulttuurin jälkiä on yhä nähtävissä esimerkiksi soiden ja vesistöjen varsilla hiljalleen rapistuvissa heinäladoissa (Rouvinen ym. 2002, Wallenius ym. 2004).

Metsäteollisuuden voimakkaasta kehittymisestä 1800-luvun puolivälistä lähtien alueella on suoritettu harsintahakkuuta. Näissä hakkuissa syntyneitä kantoja on yhä nähtävissä vähintään puolella Kalevalan kansallispuiston pinta-alasta (Gromtsev ym. 2002a). Hakkuissa poistettiin tavallisesti 5–10 % puustosta. Dendrokronologisissa ajoituksissa löydetty vanhimmat harsintakannot ovat peräisin 1850-luvulta (Rouvinen ym. 2002, Wallenius ym. 2004). Vuodesta 1917 vuoteen 1991 ihmistoiminta oli vähäistä nykyisellä puiston alueella, koska alue sijaitsi Neuvostoliiton leveällä rajavyöhykkeellä. Puiston itäosissa männyistä valutettiin jonkin verran pihkaa kemianteollisuuden tarpeisiin 1900-luvun jälkipuoliskolla.

7.3 Menneet metsäpalot

Kalevalan kansallispuiston metsien palohistoriaa on tutkinut kolme eri tutkimusryhmää dendrokronologisin ja turvekerrostumien hiilipartikkelianalyysiin perustuvien menetelmin (Lehtonen & Kolström 2000, Gromtsev ym. 2002a, Wallenius ym. 2004). Seudun palohistoria on melko tyyppillinen keskiboreaalille mäntymetsille. Metsät ovat palaneet keskimäärin noin 60–70 vuoden välein 1600-luvulta 1800-luvulle. Tätä aiemmin palovälit näyttävät olleen pitempiä, arviolta noin 100 vuoden luokkaa viimeisien tuhannen vuoden aikana. Varhaisimmat metsäpalojen tur-

vekerrostumiin jättämät merkit ovat vähintään 3 000 vuoden takaa (Gromtsev ym. 2002a).

Palojen esiintymisessä on ollut huomattavaa pienialaista vaihtelua maanpinnan muotojen ja kasvillisuustyypin mukaan. Venehjärven länsipuolella tehdyn tutkimuksen mukaan harjanteiden kuivat ja kuivahkot mäntymetsät ovat palaneet selvästi useammin kuin painanteiden kuusikot, korvet ja rämeet (Wallenius ym. 2004). Kolmensadan vuoden tutkimusjaksolla osa näytealoista oli palanut kuusi kertaa, kun toisilta löytyi merkkejä enintään yhdestä palosta.

Metsäpalojen kokojakaumasta on vaikea saada tarkkaa käsitystä, koska yksittäisten palojen koko vaihtelee erittäin paljon. Suurimmat metsäpalot Kalevalan kansallispuistossa ovat todennäköisesti olleet yli tuhannen hehtaarin laajuisia (Lehtonen & Kolström 2000) ja pienimmät vain aarien luokkaa. Verrattuna esimerkiksi Niklassonin ja Granströmin (2000) Pohjois-Ruotsissa tekemään tutkimukseen metsäpalot näyttävät olleen Kalevalapuistossa pieniä. Tämä voi johtua osittain tiheämmästä näytealaverkosta, mutta myös suuremmasta soiden, vesistöjen ynnä muiden paloesteiden pinta-alasta Kalevalan kansallispuistossa.

Ihmistoiminta on vaikuttanut kautta historian voimakkaasti metsäpalojen esiintymiseen seudulla. Vaikutus voimistui entisestään vuoden 1673 jälkeen, jolloin Ruotsin kuningas Kaarle XI antoi julistuksen, jonka mukaan kaikki, jotka muuttavat kruunun asumattomiin erämaihin, saavat vapautuksen asepalveluksesta ja veroista 15 vuodeksi. Tuon ajankohdan jälkeen metsäpalojen lukumäärä viisinkertaistui aiempaan verrattuna (Wallenius ym. 2004). Vastaava ilmiö on havaittu monessa muussakin palohistorian tutkimuksessa entisen suurvalta-Ruotsin alueella (Zackrisson 1977, Lehtonen ym. 1996, Lehtonen 1997, Niklasson & Granstöm 2000). Venehjärvi sijaitsi Venäjän ja Ruotsin imperiumien rajalla ja yksi Kaarle XI:sta tavoitteista lienee ollut työntää vielä tuolloin melko löyhästi määriteltä rajaa idemmäksi.

Ihmiset aiheuttivat eniten metsäpaloja 1700-luvulla. Tuolloin ihmisten syyttämien palojen lukumäärä oli Venehjärven itäpuolen metsissä jopa 36 kertaa suurempi kuin salaman syyttämien palojen. Tällaiseen lukuun päädyimme, jos vertaamme Venehjärvellä tutkitun noin viiden neliökilometrin alueelta löydettyjä paloja (Wallenius ym. 2004) seudun salaman syyttämien

palojen tiheyteen (0,05 per sata neliökilometriä per vuosi, ks. Larjavaara ym. 2005a).

Huolimatta siitä, että aluetta reunustavat suuret osin suot ja vesistöt, osa paloista on todennäköisesti saanut alkunsa alueen ulkopuolella. Toisaalta voimme olla varmoja siitä, että näytealaverkkomme ei ollut riittävän tiheä, jotta olisimme havainneet kaikki alueella sattuneet pienialaiset palot. Tulosta voidaan pitää karkeana mutta oikeansuuntaisena arviona ihmisten metsäpaloja lisänneestä vaikutuksesta. Samanlaisia tuloksia ihmisten dominoimasta paloregiimistä viime vuosisatojen aikana on saatu muissakin tutkimuksissa Fennoskandiassa (Hellberg ym. 2004, Groven & Niklasson 2005).

7.4 Paloregiimin ja metsän rakenteen muutos

Menneiden vuosien metsäpalot ovat muokanneet Kalevalan kansallispuiston metsiä monin tavoin. Vanhat tulenkorventamat kelot, kannot ja palokoroiset petäjät ovat yhä tyyppillisiä metsän elementtejä. Puuston ikärakenne on pitkälti menneiden metsäpalojen määrittelemä (kuva 5, Kuuluvainen ym. 2002). Metsiköiden vanhimmat puut ovat monisatavuotiaita aiheja, mutta nuorempia ikäluokkia on runsaammin (Gromtsev ym. 2002a, Wallenius julkaisematon aineisto).

Ajoittain toistuvat metsäpalot lisäsivät huomattavasti lahoppuustoa, edesauttoivat metsän uudistumista ja pitivät kuusen osuuden metsän puustosta pienenä (vertaa Karjalainen & Kuuluvainen 2002, Lampainen ym. 2004). Paloilta säästyneissä korpinotkelmissa kuuset saavuttivat yli 250 vuoden iän.

Palojen lukumäärä ja vuosittain palanut pinta-ala vähenivät Kalevalan kansallispuistossa jo 1800-luvulla (Lehtonen & Kolström 2000, Wallenius ym. 2004). Sama ilmiö on havaittu suurimmassa osassa Fennoskandiana (Page ym. 1997, Zackrisson 1977, Kaipainen 2001, Wallenius ym. 2005). Sitä on pidetty ihmisen harjoittaman palontorjuntapolitiikan epäluonnollisena seurauksena. Ilmeisesti kyseessä on kuitenkin luonnollinen seuraus ihmisten aiheuttamien metsäpalojen vähentymisestä. On epätodennäköistä, että Vienansalon kaltaisissa kaukaisissa erämaissa olisi aktiivisesti sammutettu salaman syyttämiä paloja 1800-luvulla.

Metsäpalojen puuttuminen 1800-luvun jälkipuoliskolla ja 1900-luvun alussa seuduilla, joilla niitä ei ole voitu tehokkaasti sammuttaa, viittaa siihen, että metsien luontainen palosykli Kalevalan kansallispuistossa on huomattavasti pidempi kuin historiallinen palosykli, todennäköisesti vähintään muutaman sadan vuoden luokkaa.

Metsäpalojen jyrkästä vähentymisestä seuraa mäntyvaltaisten metsien vähittäinen kuusettuminen. Vahva kuusialikasvos on havaittavissa jo monin paikoin kansallispuiston metsissä (Gromtsev ym. 2002b). Karjalan tasavallassa on tehty ensimmäisiä metsien inventointeja jo 1800-luvun puolessa välissä. Verrattuna nykypäivään vanhat inventointitiedot osoittavat mäntymetsien suhteellisen osuuden supistuneen laajoilla aloilla (Gromtsev 1996).

Puulajisuhteiden muutoksesta seuraa myös kenttä- ja pohjakerroksen lajiston sekä lahopuusta riippuvaisen lajiston muutoksia. Kaikkia metsäpalojen vähentymisen seurauksia ei vielä tunneta. Tämä johtuu osaltaan siitä, että Suomessa metsät ovat kokeneet kaksi suurta muutosta 150 vuoden aikana. Suomessa palojen vähentymistä seurasi nykyaikaisen metsätalouden syntyminen, mikä peittää palojen vähentymisestä seuranneita muutoksia.

Nykyaikaiselta metsätaloudelta säästynyt Kalevalan kansallispuisto tarjoaa ainutlaatuisen tilaisuuden tarkkailla metsäpalojen vähentymisen vaikutuksia keskiborealisella kasvillisuusvyöhykkeellä. Menneiden metsäpalojen mukana kalevalaisen kulttuurin aikoinaan muokkaama metsä häviää pikkuhiljaa kuusten pidentyviin varjoihin.

Termien selitykset

Dendrokronologia tarkoittaa puiden vuosilustojen paksuusvaihteluun perustuvaa ajoittamista. Tieto kunkin kasvukauden säästä tallentuu puiden vuosilustoihin. Vaikka puiden kasvu on aina yksilöllistä, samalla seudulla kasvavat puut tuottavat melko samanlaisen vuosilustojen sarjan. Puun vuosilustojen paksuudet voi mitata ja saatua vuosilustosarjaa verrata aiemmin ajoitettuun sarjaan. Näin on mahdollista ajoittaa näytteen jokainen lusto oikeaan vuoteen.

Luonnontilaisen metsän kehitykseen ihminen ei ole vaikuttanut. Luonnontilassa metsäpaloja sytyttävät lähinnä salaman iskut. Täysin luonnontilaisia alueita on Fennoskandiasta vaikea löytää. Käytännössä luonnontilaisena voidaan pitää metsää, jonka rakenteeseen ihmistoiminta ei ole merkittävästi vaikuttanut.

Metsäpaloregiimi kuvaa tulen esiintymistä jonkin seudun metsissä. Paloregiimin määritteisiin kuuluvat mm. vuosittain palanut pinta-ala, palojen lukumäärä, voimakkuus ja koko sekä syttymisen ajankohta.

Palosykli on aika, jonka kuluessa suurta aluetta vastaava pinta-ala palaa monessa eri metsäpalossa. Osa alueesta ei ehkä pala palosyklin kuluessa kertaakaan, mutta toinen osa voi palaa useasti.

Paloväli on kahden samalla paikalla sattuneen metsäpalon välissä kulunut aika. Suurella metsäalueella pitkän ajan kuluessa sattuneiden metsäpalojen keskimääräinen paloväli on sama kuin palosykli.

Lähteet

- Ahti, T., Hämet-Ahti, L., & Jalas, J. 1968: Vegetation zones and their sections in north-western Europe. – *Annales Botanici Fennici* 5: 169–211.
- Alenius, T., Mikkola, E. & Ojala, A. 2007: History of agriculture in Mikkeli Orijärvi, eastern Finland, as reflected by palynological and archaeological data. – *Vegetation History and Archaeobotany* (DOI 10.1007/s00334-007-0099-5).
- Amiro, B. D., Stocks, B. J., Alexander, M. E., Flannigan, M. D. & Wotton, B. M. 2001: Fire, climate change, carbon and fuel management in the Canadian boreal forest. – *International Journal of Wildland Fire* 10: 405–413.
- Angelstam, P. 1998: Maintaining and restoring biodiversity in European boreal forests by developing natural disturbance regimes. – *Journal of Vegetation Science* 9: 593–602.
- von Berg, E. 1995: Kertomus Suomenmaan metsistä 1858. – *Metsälehti*, Helsinki. 93 s.
- Bergeron, Y., Gauthier, S., Kafka, V., Lefort, P. & Lesieur, D. 2001: Natural fire frequency for the eastern Canadian boreal forest: consequences for sustainable forestry. – *Canadian Journal of Forest Research* 31: 384–391.
- , Leduc, A., Harvey, B. D. & Gauthier, S. 2002: Natural fire regime: A guide for sustainable management of the Canadian boreal forest. – *Silva Fennica* 36: 81–95.
- Blomqvist, A. G. 1888: *Kulowalkeasta. – Simeliuksen perillisten osakeyhtiön kirjapaino*, Helsinki. 15 s.
- Bradshaw, R. H. W. 1993: Tree species dynamics and disturbance in three Swedish boreal forest stands during the last two thousand years. – *Journal of Vegetation Science* 4: 759–764.
- Bridge, S. R. J., Miyanishi, K. & Johnson, E. A. 2005: A critical evaluation of fire suppression effects in the boreal forest of Ontario. – *Forest Science* 51(1): 41–50.
- Cajander, A. K. 1926: The theory of forest types. – *Acta Forestalia Fennica* 29: 1–108.
- Carcaillet, C., Bergman, I., Delorme, S., Hörnberg, G. & Zackrisson, O. 2007: Long-term fire frequency not linked to prehistoric occupations in northern Swedish boreal forest. – *Ecology* 88: 465–477.
- Clark, J. S. 1990: Fire and climate change during the last 750 yr in northwestern Minnesota. – *Ecological Monographs* 60: 135–159.
- Cumming, S. G., Burton, P. J. & Klinkenberg, B. 1996: Boreal mixedwood forests may have no "representative" areas: some implications for reserve design. – *Ecography* 19: 162–180.
- Cwynar, L. C. 1978: The recent fire history of Barron Township, Algonquin Park. – *Canadian Journal of Botany* 55: 1524–1538.
- Department of Lands and Forests 1924: Forest fires prevention act, amendments and regulations. – A pamphlet published by Department of Lands and Forests, Forestry Branch, Ontario. 14 s.
- Drobyshev, I. & Niklasson, M. 2004: Linking tree-rings, summer aridity, and regional fire data: an example from the boreal forests of Komi republic, Eastern European Russia. – *Canadian Journal of Forest Research* 34: 2327–2339.
- , Niklasson, M., Angelstam, P. & Majewski, P. 2004: Testing for anthropogenic influence on fire regime for a 600-year period in the Jaksha area, Komi Republic, East European Russia. – *Canadian Journal of Forest Research* 34: 2027–2036.

- Engelmark, O. 1984: Forest fires in the Muddus National Park (northern Sweden) during the past 600 years. – *Canadian Journal of Botany* 62: 893–898.
- 1987: Fire history correlations to forest type and topography in northern Sweden. – *Annales Botanici Fennici* 24: 317–324.
- Ennallistamistyöryhmä 2003: Ennallistaminen suojelualueilla: ennallistamistyöryhmän mietintö. – *Suomen ympäristö* 618. 220 s.
- Esseen, P.-A., Ehnström, B., Ericson, L. & Sjöberg, K. 1997: Boreal forests. – *Ecological Bulletins* 46: 16–47.
- Evans, W. G. 1966: Infrared perception of infrared radiation from forest fires by *Melanophila acuminata* de Geer (Buprestidae Coleoptera). – *Ecology* 47: 1061–1065.
- Fellman, J. 1980: Poimintoja muistiinpanoista Lapissa. – WSOY, Porvoo. 328 s.
- Goldammer, J. G. & Furyaev, V. V. 1996: Fire in ecosystems of boreal Eurasia: Ecological impacts and links to global system. – Teoksessa: Goldammer, J. G. & Furyaev, V. V. (toim.), *Fire in ecosystems of boreal Eurasia*. Kluwer, London. S. 1–20.
- Goren-Inbar, N., Alpers, N., Kislev, M. E., Simchoni, O., Melamed, Y., Ben-Nun, A. & Werker, E. 2004: Evidence of hominin control of fire at Geshen Benot Ya'akov, Israel. – *Science* 304: 725–727.
- Gorkovets, V. Y. & Rayevskaya, M. B. 2002: Geological characteristics and assessment of the study area. – Teoksessa: Gromtsev, A. N. (toim.), *Natural complexes, flora and fauna of the proposed Kalevala National Park*. Suomen ympäristökeskus, Karjalan tutkimuslaitos, Helsinki. S. 9–10.
- Granström, A. 1993: Spatial and temporal variation in lightning ignitions in Sweden. – *Journal of Vegetation Science* 4: 737–744.
- 2001: Fire management for biodiversity in the European boreal forest. – *Scandinavian Journal of Forest Research* 16 (Suppl. 3): 62–69.
- Gromtsev, A. N. 1996: Landscape pattern of structural-dynamic organization of taiga forests (the case of north-wets Russian taiga zone). Author's abstract of the Dr. (DSc) of Agriculture thesis. – *Väitöskirjan abstrakti*, Saint-Petersburg Forest Academy. 35 s.
- , Presnukhin, Y. V. & Shelekhov, A. M. 2002a: Characteristics and assessment of the forest ecosystems. – Teoksessa: Gromtsev, A. N. (toim.), *Natural complexes, flora and fauna of the proposed Kalevala National Park*. Suomen ympäristökeskus, Karjalan tutkimuslaitos, Helsinki. S. 17–20.
- , Kolomytsev, V. A., Presnukhin, Y. V. & Shelekhov, A. M. 2002b: Landscape characteristics and assessment of the territory. – Teoksessa: Gromtsev, A. N. (toim.), *Natural complexes, flora and fauna of the proposed Kalevala National Park*. Suomen ympäristökeskus, Karjalan tutkimuslaitos, Helsinki. S. 21–24.
- Groven, R. & Niklasson, M. 2005: Anthropogenic impact on past and present fire regimes in a boreal forest landscape of southeastern Norway. – *Canadian Journal of Forest Research* 35: 2719–2726.
- Haapanen, A. & Siitonen, P. 1978: Kulojen esiintyminen Ulvinsalon luonnonpuistossa. – *Silva Fennica* 12: 187–200.
- Haataja, V. 1993: Tuntisan palo ja suuri nokisavotta. – *Koillismaankirjapaino*, Kuusamo. 48 s.
- Heikinheimo, O. 1915: Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. – *Acta Forestalia Fennica* 4: 1–264.
- Heinselman, M. L. 1973: Fire in the virgin forests of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota. – *Quaternary research* 3: 329–382.

- Helander, B. 1949: Suomen metsätalouden historia. – WSOY, Helsinki. 546 s.
- Hellberg, E., Niklasson, M. & Granström, A. 2004: Influence of landscape structure on patterns of forest fires in boreal forest landscapes in Sweden. – *Canadian Journal of Forest Research* 34: 332–338.
- Hoare, R. 1996: WorldClimate. <<http://www.worldclimate.com>>, viitattu kesäkuussa 2004.
- Huttunen, P. 1980: Early land use, especially the slash-and-burn cultivation in the commune of Lammi, southern Finland, interpreted mainly using pollen and charcoal analyses. – *Acta Botanica Fennica* 113: 1–45.
- Huurre, M. 2001: Kivikauden Suomi. – Otava, Helsinki. 361 s.
- Hyvärinen, E., Kouki, J., Martikainen, P. & Lappalainen, H. 2005: Short-term effects of controlled burning and green-tree retention on beetle (Coleoptera) assemblages in managed boreal forests. – *Forest Ecology and Management* 212: 315–332.
- , Hokkanen, M., Kotiaho, J., Lehtonen, H., Päivinen, J., Similä, M. & Tukia, H. 2007: Ennallistettujen metsien seuranta. – Teoksessa: Päivinen, J. & Aapala, K. (toim.), *Metsien ja soiden ennallistamisen seurantaohje. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja B* 83. S. 10–29.
- Hyvärinen, V. & Sepponen, P. 1988: Kivalon paksusammalkuusikoiden puulaji- ja metsäpalohistoriaa. – *Folia forestalia* 720: 1–26 s.
- Jasinski, K. & Angelstam, P. 2002: Long-term differences in the dynamics within a natural forest landscape-consequences for management. – *Forest Ecology and Management* 161: 1–11.
- Johnsson, E. A. & Gutsell, S. L. 1994: Fire frequency models, methods and interpretations. – *Advances in Ecological Research*. 25: 239–287.
- , Minyanishi, K. & Bridge, S. R. J. 2001: Wild fire regime in the boreal forest and the idea of suppression and fuel buildup. – *Conservation Biology* 15: 1554–1557.
- Kaipainen, T. 2001: Metsäpalohistoria Lieksan alueella. – Pro gradu -tutkielma, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Helsinki. 31 s.
- Karjalainen, L. & Kuuluvainen, T. 2002: Amount and diversity of coarse woody debris within a boreal forest landscape dominated by *Pinus sylvestris* in Vienansalo wilderness, eastern Fennoscandia. – *Silva Fennica* 36: 147–167.
- Kauhanen, H. 2002: Occurrence of fires in the eastern Saariselkä area, north-west Russia. – *Silva Fennica* 36: 383–392.
- Keeley, J. E., Fotheringham, C. J. & Morais, M. 1999: Reexamining fire suppression impacts on brushland fire regimes. – *Science* 284: 1829–1832.
- Kohh, E. 1975: Studier över skogsbränder och skenhälla i älvdalsskogarna. – *Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift* 73: 299–336.
- Kolström, T. & Kellomäki, S. 1993: Tree survival in wildfires. – *Silva Fennica* 27: 277–281.
- Korkalo, M., Valle, P., Itkonen, P., Paalamo, P. & Rautiainen, P. 2000: Koitelaisen alueekologinen suunnitelma. – *Metsähallitus*, Helsinki. 48 s.
- Kuuluvainen, T. 1994: Gap disturbance, ground microtopography, and the regeneration dynamics of boreal coniferous forests in Finland: a review. – *Annales Zoologici Fennici* 31: 35–51.
- 2002: Natural variability of forests as a reference for restoring and managing biological diversity in boreal Fennoscandia. – *Silva Fennica* 36: 97–125.

- , Mäki, J., Karjalainen, L. & Lehtonen, H. 2002: Tree age distributions in old-growth forest sites in Vienansalo wilderness, eastern Fennoscandia. – *Silva Fennica* 36: 169–184.
- Laestadius, P. 1833: Fortsättning af Journalen öfver missionsresor i Lappmarken innefattande åren 1828–1832. – Gustaf Nordström, Tukholma.
- Lampainen, J., Kuuluvainen, T., Wallenius, T., Karjalainen, L., Vanha-Majamaa, I. & Jalonen, J. 2004: Long-term forest structure and regeneration after wildfire in Russian Karelia. – *Journal of Vegetation Science* 15: 245–256.
- Larjavaara, M. 2005: Climate and forest fires in Finland – influence of lightning-caused ignitions and fuel moisture. – Väitöskirja, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos, Helsinki. 35 s. + 4 liitejulk.
- , Kuuluvainen, T. & Rita, H. 2005a: Spatial distribution of lightning-ignited forest fires in Finland. – *Forest Ecology and Management* 208: 177–188.
- , Pennanen, J. & Tuomi, T. J. 2005b: Lightning that ignites forest fires in Finland. – *Agricultural and Forest Meteorology* 132: 171–180.
- Lehtonen H. 1997: Forest fire history in north Karelia: dendroecological approach. – Väitöskirja, Joensuun yliopisto, laitos, Joensuu. 23 s. + 4 liitejulk.
- & Kolström, T. 2000: Forest fire history in Viena Karelia, Russia. – *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 585–590.
- & Kolström, T. 2002: Metsäpalojen vaikutus puuston rakenteeseen Pyhä-Häkin kansallispuistossa. – *Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja*. Sarja A 135: 1–23.
- , Huttunen, P. & Zetterbreg, P. 1996: Influence of man on forest fire frequency in North Karelia, Finland, as evidenced by fire scars on Scots pines. – *Annales Botanici Fennici* 33: 257–263.
- Lilja, S., Wallenius, T. H. & Kuuluvainen, T. 2006: Structure and development of old *Picea abies* forests in northern boreal Fennoscandia. – *Ecoscience* 13: 1–12.
- Lindbladh, M., Niklasson, M. & Nilsson, S. G. 2003: Long-time record of fire and open canopy in a high biodiversity forest in south-east Sweden. – *Biological Conservation* 114: 231–243.
- von Linné, C. 1969: Lapin matka 1732. – Karisto, Hämeenlinna. 210 s.
- Lukashov, A. D. & Demidov, I. N. 2002: Geomorphological characteristics and assessment of the study area. – Teoksessa: Gromtsev, A. N. (toim.), Natural complexes, flora and fauna of the proposed Kalevala National Park. Suomen ympäristökeskus, Karjalan tutkimuslaitos, Helsinki. S. 11–13.
- Malamud, B. D., Millington, J. D. A. & Perry, G. L. W. 2005: Characterizing wildfire regimes in the United States. – *Proceedings of National Academy of Sciences USA* 102: 4694–4699.
- Masters, A. M. 1990: Changes in forest fire frequency in Kootenay National Park, Canadian Rockies. – *Canadian Journal of Botany* 68: 1763–1767.
- Metsäntutkimuslaitos 2003: Metsätilastollinen vuosikirja 2003. – Metsäntutkimuslaitos, Vantaa. 388 s.
- Miyaniishi, K. & Johnson, E. A. 2001: Comment – A re-examination of the effects of fire suppression in the boreal forest. – *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1462–1466.

- Mikkola, E. (toim.) 1992: Metsien terveydentila ja metsäpalot. – Teoksessa: Aarne, M. (toim.), Metsätilastollinen vuosikirja 1990-91. Folia Forestalia 790: 65–76.
- Nash, C. & Johnson, E. A. 1996: Synoptic climatology of lightning-caused forest fires in subalpine and boreal forests. – *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1859–1874.
- Niemelä, T., Wallenius, T. & Kotiranta, H. 2002: The kelo trees, a vanishing substrate of wood inhabiting fungi. – *Polish Botanical Journal* 47: 91–101.
- Niklasson, M. 2002: A comparison of three age determination methods for suppressed Norway spruce: implications for age structure analysis. – *Forest Ecology and Management* 161: 279–288.
- & Granström, A. 2000: Numbers and sizes of fires: Long-term spatially explicit fire history in a Swedish boreal landscape. – *Ecology* 81: 1484–1499.
- & Drakenberg, B. 2001: A 600-year tree-ring fire history from Norra Kvills National Park, southern Sweden: implications for conservation strategies in the hemiboreal zone. – *Biological Conservation* 101: 63–71.
- Norokorpi, Y. 1979: Old Norway spruce stands, amount of decay and decay-causing microbes in northern Finland. – *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 97(6): 1–77.
- Ohlsson, M. & Tryterud, E. 1999: Long-term spruce continuity – a challenge for a sustainable Scandinavian forestry. – *Forest Ecology and Management* 124: 27–34.
- Oinonen, E. 1967a: Sporal regeneration of bracken (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) in Finland in the light of dimension and the age of its clones. – *Acta Forestalia Fennica* 83(1): 1–96.
- 1967b: The correlation between the size of Finnish bracken (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) clones and certain periods of site history. – *Acta Forestalia Fennica* 83(2): 1–51.
- 1967c: Keltalieon (*Lycopodium complanatum* L.) itiöllinen uudistuminen Etelä-Suomessa kloonien laajuutta ja ikää koskevan tutkimuksen valossa. – *Acta Forestalia Fennica* 83(3): 1–75.
- 1968: *Lycopodium clavatum*- L. ja *L. annotinum*- L. kasvustojen laajuus rinnastettuna samanpaikkaisiin *L. complanatum*- L. ja *Pteridium aquilinum*- (L.) Kuhn esiintymiin sekä puuston ikään ja paloaikoihin. – *Acta Forestalia Fennica* 87: 1–53.
- Page, H. D., Niklasson, M., Källgren, S., Granström, A. & Goldammer, J. G. 1997: Die Feuergeschichte des Nationalparks Tiveden in Schweden. – *Forstarchiv* 68(2): 43–50.
- Payette, S. & Gagnon, R. 1985: Late Holocene deforestation and tree regeneration in the forest-tundra of Québec. – *Nature* 313: 570–572.
- Pennanen, J. 2002: Forest age distribution under mixed-severity fire regimes – a simulation-based analysis for middle boreal Fennoscandia. – *Silva Fennica* 36: 213–231.
- & Kuuluvainen, T. 2002: A spatial simulation approach to natural forest landscape dynamics in boreal Fennoscandia. – *Forest Ecology and Management* 164: 157–175.
- Penttilä, R. 2004: The impacts of forestry on polyporous fungi in boreal forests. – Väitöskirja, Helsingin yliopisto, bio ja ympäristötieteiden laitos, Helsinki. 35 s. + 4 liitejulk.
- Pitkänen, A. & Huttunen, P. 1999: A 1300-year forest-fire history at a site in eastern Finland based on charcoal and pollen records in laminated lake sediment. – *The Holocene* 9: 311–320.

- , Lehtonen, H. & Huttunen, P. 1999: Comparison of sedimentary microscopic charcoal particle records in a small lake with dendrochronological data: evidence for the local origin of microscopic charcoal produced by forest fires of low intensity in eastern Finland. – *The Holocene* 9: 559–567.
- , Huttunen, P., Jugner, H. & Tolonen, K. 2002: A 10000 year local forest fire history in a dry heath forest site in eastern Finland, reconstructed from charcoal layer records of a small fire. – *Canadian Journal of Forest Research* 32: 1875–1880.
- , Huttunen, P., Tolonen, K. & Jugner, H. 2003: Long-term fire frequency in the spruce dominated forests of the Ulvinsalo strict nature reserve, Finland. – *Forest Ecology and Management* 176: 305–319.
- Podur, J., Martell, D. L. & Csillag, F. 2003: Spatial patterns of lightning-caused forest fires in Ontario, 1976–1998. – *Ecological Modeling* 164: 1–20.
- Pohjonen, R. 2001: Pyhä-Häkin kansallispuiston metsäpalohistoria ja palojen vaikutus puuston rakenteeseen. – *Pro gradu -tutkielma*, Joensuun yliopisto, Metsätieteiden tiedekunta, Joensuu. sivumäärä
- Pyne, S. J. 2001: *Fire – a brief history*. – University of Washington Press, Seattle. 204 s.
- , Andrews, P. L. & Laven, R. D. 1996: *Introduction to wildland fire*. – John Wiley & Sons, New York. 769 s.
- Pöllä, M. 1995: Vienan Karjalan etnisen koostumuksen muutokset 1600–1800-luvulla. – *Suomalaisen Kirjallisuuden Seura*, Helsinki. 353 s.
- Rassi, P., Alanen, A., Kanerva, T. & Mannerkoski, I. (toim.) 2001: *Suomen lajien uhanalaisuus 2000*. – Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 432 s.
- Renvall, A. 1919: Suojametsäkysymyksestä I. Mäntymetsän elinehdot sen pohjoisrajalla sekä tämän rajan alenemisen syyt. – *Acta Forestalia Fennica* 11: 1–143.
- Rouvinen, S., Kuuluvainen, T. & Siitonen, J. 2002: Tree mortality in a *Pinus sylvestris* dominated boreal forest landscape in Vienansalo wilderness, eastern Fennoscandia. – *Silva Fennica* 36: 127–145.
- Rove, S. J. & Scotter, G. W. 1973: Fire in the boreal forest. – *Quaternary Research* 3: 444–464.
- Ruuttula-Vasari, A. 2004: Herroja on epäiltävä aina – metsäherroja yli kaiken, Metsähallituksen ja pohjoissuomalaisten kanssa käyminen kruununmetsissä vuosina 1850–1900. – Väitöskirja, Oulun yliopisto, historian laitos, Oulu. 327 s.
- Saari, E. 1923: Kuloista – etupäässä Suomen valtionmetsiä silmällä pitäen. – *Acta Forestalia Fennica* 26: 1–55.
- Santala, L. 1964: Lapilla ei ole varaa hiiltyviin metsiin. – *Palontorjunta* 15: 294–299.
- Sargent, C. 1884: *Report on the forests of North America (exclusive of Mexico)*. – Government Printing Office, Washington. 612 s.
- Schweingruber, F. H. 1993: *Trees and wood in dendrochronology*. – Springer, Berlin. 402 s.
- Sepponen, P. 1989: Pisavaaran luonnonpuiston metsäpalotutkimus. – *Folia Forestalia* 736: 80–85.
- Siren, G. 1955: The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. – *Acta Forestalia Fennica* 62: 1–363.
- Sirén, G. 1961: Skogsgränställen som indikator för klimatfluktuationerna i Norra Fennoskandien under historisk tid. – *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 54(2): 1–66.

- Steijlen, I. & Zackrisson, O. 1987: Long-term regeneration dynamics and successional trends in a northern Swedish coniferous forest stand. – *Canadian Journal of Botany* 65: 839–848.
- Tasanen, T. 2004: Läksi puut ylenemähän. Metsien hoidon historia Suomessa keskiajalta metsäteollisuuden läpimurtoon 1870-luvulla. – *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantaja* 920: 1–443.
- Tolonen, M. 1978a: Palaeoecology of annually laminated sediments in lake. – *Teoksessa: Ahvanainen, S. (toim.), Finland. I. Pollen and charcoal analyses and their relation to human impact. Annales Botanici Fennici* 15: 177–208.
- 1978b: Palaeoecology of annually laminated sediments in lake. – *Teoksessa: Ahvanainen, S. (toim.), Finland. II. Comparison of dating methods. Annales Botanici Fennici* 15: 209–222.
- 1985: Palaeoecological record of local fire history from a peat deposit in SW Finland. – *Annales Botanici Fennici* 22: 15–29.
- Tryterud, E. 2003: Forest fire history in Norway: from fire-disturbed pine forest to fire-free spruce forest. – *Ecography* 26: 161–170.
- Tuomi, T. J. 2004: Lightning observations in Finland, 2004. – *Geophysical Publications* No. 58. Finnish Meteorological Institute, Helsinki. 40 s.
- Turner, M. G. & Romme, W. H. 1994: Landscape dynamics in crown fire ecosystems. – *Landscape Ecology* 9: 59–77.
- Wallenius, T. 2002: Forest age distribution and traces of past fires in a natural boreal landscape dominated by *Picea abies*. – *Silva Fennica* 36: 201–211.
- , Kuuluvainen, T., Heikkilä, R. & Lindholm, T. 2002: Spatial tree age structure and fire history in two old-growth forests in eastern Fennoscandia. – *Silva Fennica* 36: 185–199.
- , Kuuluvainen, T. & Vanha-Majamaa, I. 2004: Fire history in relation to site type and vegetation in Vienansalo wilderness in eastern Fennoscandia, Russia. – *Canadian Journal of Forest Research* 34: 1400–1409.
- , Pitkänen, A., Kuuluvainen, T., Pennanen, J. & Karttunen, H. 2005: Fire history and forest age distribution of an unmanaged *Picea abies* dominated landscape. – *Canadian Journal of Forest Research* 35: 1540–1552.
- , Lilja, S. & Kuuluvainen, T. 2007: Fire history and tree species composition in managed *Picea abies* stands in southern Finland: Implications for restoration. – *Forest Ecology and Management* 250: 89–95.
- Ward, P. C., Tithecott, A. G. & Wotton, B. M. 2001: Reply-A re-examination of the effects of fire suppression in the boreal forest. – *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1467–1480.
- Weber, M. J. & Stocks, B. J. 1998: Forest fires and sustainability in the boreal forests of Canada. – *Ambio* 27: 545–550.
- Wierzchowski, J., Heathcott, M. & Flannigan, M. 2002: Lightning and lightning fire, central cordillera, Canada. – *International Journal of Wildland Fire* 11: 41–51.
- Wikars, L.-O. 2004: Brand beroende insekter – respons på tio års naturvårdsbränningar. – *Fauna & Flora* 99(2): 28–34.
- Wotton, B. M. & Martell, D. L. 2005: A lightning fire occurrence model for Ontario. – *Canadian Journal of Forest Research* 35: 1389–1401.
- Yarie, J. 1981: Forest fire cycles and life tables: a case study from interior Alaska. – *Canadian Journal of Forest Research* 11: 554–562.
- Zackrisson, O. 1977: The influence of forest fires in the North Swedish boreal forest. – *Oikos* 29: 22–32.

Fennoskandiassa ja Luoteis-Venäjällä tehdyt dendrokronologiaan perustuvat metsäpalohistoriatutkimukset järjestettynä lännestä itään

Palojen vähentymisen ajankohta on merkitty kymmenen vuoden tarkkuudella.

Vitte	Kuvan 1 koodi	Leveyspiiri	Pituuspiiri	Tutkimusalueen koko, km ²	Vallitsevat puulajit nykyisin	Ajanjakso	Menneisyyden palo-sykli (MP)	Palot vähenevät	Vilmeikäinen palo-sykli (VP)	Ehdotettu syy palojen vähenemiseen	Huomioit
Groven & Niklasson 2005	1	59.7	9.3	40	Mänty, kuusi	1196–1996	25–49*	~1750	Hyvin pitkä	Ihmisten aiheuttamien palojen vähentyminen	Metsäpalojen esiintyminen menneisyydessä on mitattu yksittäisten puiden palokorojen väleistä.
Kohh 1975	2	61.4	13.5	332	Mänty, kuusi	~1436–1971	<70*	1880*	>590*	Ihmisten aiheuttamien palojen vähentyminen	* MP vuosille 1601–1900, VP vuosille 1901–1950. Tekstistä käy ilmi, että palot vähenevät 1880-luvulla.
Hellberg ym. 2004	3	61	13.95	10	Mänty	~1180–~2000	~40*	1870*	Hyvin pitkä	Palontorjunta	* Mediaani paloväli oli 32 vuotta vähäoisella seudulla ja 56 vuotta soisella alueella. Palot olivat melko harvinaisia jo 1800-luvun alusta lähtien mutta viimeinen suuri palo sattui noin 1870.
Page ym. 1997	4	58.7	14.6	13,5	Mänty, kuusi, koivu	1371–1996?	27	1850	Hyvin pitkä	Ihmisten aiheuttamien palojen vähentyminen ja palontorjunta	
Niklasson & Drakenberg 2001	5	57.5	15.6	1,1	Mänty, kuusi	1396–1998	20	1770	Hyvin pitkä	Ihmisten aiheuttamien palojen vähentyminen	
Zackrisson 1977	6	64.9	18.6	281 näytealaa 150 km:n säteellä	Mänty, kuusi	1300–1975	100	1880	3500*	Palontorjunta	* VP vuosille 1901–1975
Niklasson & Granström 2000	7	63.9	18.8	608	Mänty, kuusi	1121–1996	70	1870	1600*	Ihmisten aiheuttamien palojen vähentyminen ja palontorjunta	* VP vuosille 1870–1900, vuoden 1900 jälkeen vieläkin pidempi.
Engelmark 1984	8	66.9	20.3	500	Mänty, kuusi, hieskoivu	1274–1982	234*	1870	1200	Palontorjunta	* Laskin MP:n vuosille 1601–1870 julkaisussa esitetyn aineiston perusteella.
Wallenius ym. 2007	9	61.3	25.1	~250	Kuusi	1439–2001	50	~1850	Hyvin pitkä	Ihmisten aiheuttamien palojen vähentyminen	

Vitte	Kuvan 1 koodi	Leveyspiiri	Pituuspiiri	Tutkimusalueen koko, km ²	Vallitsevat puulajit nykyisin	Ajanjakso	Menneisyyden palosykli (MP)	Palot vähenevät	Viimeaikainen palosykli (VP)	Ehdotettu syy palo- jen vähenemiseen	Huomioit
Pohjonen 2001, Lehtonen & Kolström 2002	10	62.8	25.5	12	Mänty, kuusi	1353–1998	46	1860	2000	Kaskenpolton lop- puminen ja palontor- junta	
Lehtonen & Kolström 2000	11	65	30.1	16	Mänty, kuusi	1400–1998	53	1870	250	Muutokset ihmisvai- kutuksessa	
Wallenius ym. 2004	12	65	30.2	4,9	Mänty	1340–2000	75	1850	400	Ihmisten aiheutta- mien palojen vähen- tyminen	
Haapanen & Siitonen 1978, Pennanen & Kuuluvainen 2002	13	64	30.3	25	Kuusi, mänty, rauduskoivu	-1712–1974	200*	1910	Hyvin pitkä	Ihmisten aiheutta- mien palojen vähen- tyminen ja palontor- junta	* MP julkaisusta Pennanen & Kuuluvainen 2002
Wallenius ym. 2005	14	66.4	30.45	66	Kuusi, mänty	1385–2000	Satoja vuosia	1890	Ei paloja	Ihmisten aiheutta- mien palojen vähen- tyminen	
Kaipainen 2001	15	63.3	30.6	28 näytea- laa, 15 km:n säteellä	Mänty	1312–2000	40–50	1870	Hyvin pitkä	Palontorjunta ja kaskenpolton lop- puminen	
Lehtonen 1997	16	63.2	30.7	40	Mänty, kuusi	1359–1994	30–40*	1860	Hyvin pitkä	Kaskenpolton lop- puminen ja palontor- junta	* Menneisyyden palosykli intensiivisen kaskikauden ajalta.
Wallenius 2002	17	64.5	37.62	135	Kuusi, mänty	1591–1999	~300	1930*	Ei paloja	Palontorjunta	* Palosyklin muutosten arviointi vaikeaa, koska palot olleet hyvin harvinaisia
Drobyshev ym. 2004	18	61.8	56.84	2 500	Mänty, kuusi	-1271–1994	50	1950	Ei paloja	Palontorjunta	

Uusimmat Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisut

Sarja A

- No 165 Lavento, M. & Lahelma, A. (toim.) 2007: Sama maisema, eri kulkijat. Repoveden kansallispuisto kivikaudelta 1900-luvulle. 142 s.
- No 166 Sulkava, P. & Norokorpi, Y. (toim.) 2007: Luontomatkailun vaikutukset kasvillisuuteen ja maaston kulumiseen Pallas–Yllästunturin kansallispuistossa. 75 s. (verkkojulkaisu)
- No 167 Rauhala, P. 2007: Perämeren kansallispuiston pesimälinnusto 1960–2006. 68 s.
- No 168 Yrjölä, R., Tanskanen, A. & Sarvanne, H. 2007: Pihlajaveden linnustaselvitys vuonna 2006. (verkkojulkaisu)
- No 169 Grönholm, S. & Berghäll, J. 2007: Cooperation between coastal protected areas and surrounding societies – from experiences to recommendations. 73 s.
- No 170 Heinonen, M. (ed.) 2007: State of the Parks in Finland. Finnish protected areas and their management from 2000 to 2005. 313 s.
- No 171 Leppänen, T., Osmonen, O., Kyykkä, T., Sulkava, P., Rajasärkkä, A., Karhu, H. & Honkola, J. 2007: Inarijärven linnut. 69 s.
- No 172 Salminen, J. 2007: Paahdeympäristöjen hyönteisseuranta. 181 s. (verkkojulkaisu)
- No 173 Kunttu P. & Halme P. 2007: Keski-Suomen valtion maiden käävät. 97 s.
- No 174 Heikkilä, P., Hokkanen, M., Kotiaho, J. & Päivinen, J. 2008: Lahopuun määrän kehitys ennallistamisen jälkeen Koloveden ja Liesjärven kansallispuistoissa vuosina 2006–2156. 33 s. (verkkojulkaisu)
- No 175 Hovi, M., Kytö, H. & Rautio, S.-K. 2008: Fire and forest. The international forest and fire symposium in Kajani 13.-14.11.2007. 70 s.

Sarja B

- No 80 Tuuri, A. & Hannelius, S. 2007: Metsänomistajien näkemyksiä luonnonsuojelualueiden kaupoista. 54 s.
- No 81 Metsähallitus 2007: Metsähallituksen julkisten hallintotehtävien toimintakerotomus 2006. 51 s.
- No 82 Aho, R., Liukkonen, T. & Joensuu, O. 2007: Kalastuspalvelut Metsähallituksen kalastusasiakkaiden mielissä. 43 s.
- No 83 Päivinen, J. & Aapala, K. (toim.) 2007: Metsien ja soiden ennallistamisen seurantaohje. 98 s. (verkkojulkaisu)
- No 84 Liukkonen, T., Bisi, J., Hallila, H. & Joensuu, O. 2007: Mielipiteitä metsästyksestä valtion mailla. 68 s.
- No 85 Kettunen, A. 2007: Puurijärven ja Isonsuon kansallispuiston kävijätutkimus 2005. 37 s. (verkkojulkaisu)
- No 86 Pulkkinen, S. & Valta, V. 2008: Linnansaaren kansallispuiston kävijätutkimus 2006. 56 s. (verkkojulkaisu)

ISSN 1235-6549
ISBN 978-952-446-632-5 (nidottu)
ISBN 978-952-446-633-2 (pdf)

Julkaisua voi tilata osoitteella:

Metsähallitus
Asiakaspalvelut
PL 36
99801 Ivalo
natureinfo@metsa.fi
www.metsa.fi/julkaisut
Puhelin: 0205 64 7702