



Pentti Niemistö



Tatu Hokkanen



Martti Varama

Pentti Niemistö, Tatu Hokkanen ja Martti Varama

Karikemäärän muutokset 1982–2001 ja puiden kunto lumi- ja hallamittariesiintymän vaivaamissa koivikoissa Noormarkussa

Niemistö P., Hokkanen T. & Varama M. 2004. Karikemäärän muutokset 1982–2001 ja puiden kunto lumi- ja hallamittariesiintymän vaivaamissa koivikoissa Noormarkussa. Metsätieteen aikakauskirja 1/2004: 21–41.

Mittariperhosten toukat söivät 1997–1999 koivuvaltaisia metsiä paikoin lähes lehdeettömiksi Lounais-Suomessa. Karikeseurantametsiköissä tutkittiin mittarituhon vaikutusta hies- ja rauduskoivikon karikesatoon ja harvennuskokeessa puiden kunnon ja toipumisen riippuvuutta puuston tiheydestä. Lisäksi koivulajien tuhoalttiutta verrattiin hies- ja rauduskoivun muodostamassa sekametsikössä. Hyönteisnäytteiden perusteella koivujen lehtituhot aiheutti ensisijaisesti lumimittari (*Operophtera fagata* Scharfenberg) ja selvästi vähäisemmässä määrin hallamittari (*Operophtera brumata* Linnaeus).

Syönti ajoittui vuosille 1997–2000, joista voimakkaita olivat kaksi keskimmäistä. Tällöin toukkien papanoita kertyi viljelyrauduskoivikossa yli 200 kg/ha/v ja luontaisesti syntyneessä hieskoivikossa puolet vähemmän. Hienojakoisen seulontatähteen ja tunnistamattoman karikkeen määrä lisääntyi noin 300 kg/ha/v. Hieskoivikossa mittarituho ei vähentänyt karikkeen määrää, mutta rauduskoivikossa lehtikarike väheni puolella, karikkeen kokonaismäärä neljänneksellä ja siementuotanto tyrehtyi. Myös latvusten kunnon perusteella rauduskoivu kärsi mittarituhosta hieskoivua enemmän. Rauduskoivulle oli tyypillisempää elävän latvuksen supistuminen alhaalta päin tupsulatvaiseksi ja hieskoivulle puolestaan koko latvuksen harsuuntuminen. Välittömästi kuolleiden ja kuolevien puiden osuus oli 13–16% runkoluvusta, mutta kaikkiaan 30–50% koivuista todettiin kasvatuskelvottomiksi. Toipuvien puiden pituuskasvu elpyi mittarituhon jälkeen nopeammin kuin paksuuskasvu.

Metsikön pienimmät puut kuolivat herkimmin, mutta osa suurimmistakin puista jää toipumatta. Harvennuksilla ei voida ehkäistä mittarituhoa koivikoissa, mutta hoidetuissa metsiköissä puiden toipumisedellytykset ovat paremmat kuin hoitamattomissa. Kasvatuskelvottomat puut kannattaa poistaa saneeraushakkuussa välittömästi kahden pahan tuovuuden jälkeen.

Asiasanat: hieskoivu, rauduskoivu, lumimittari, hallamittari, hyönteistuho, karike, harvennus

Yhteystiedot: Niemistö: Metla, Parkanon tutkimusasema, Kaironientie 54, 39700 Parkano; Hokkanen & Varama: Metla, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa

Sähköposti: pentti.niemisto@metla.fi

Hyväksytty 10.2.2004

I Johdanto

Lounais-Suomen rannikolla sattui 1990-luvun loppupuoliskolla poikkeuksellisen voimakas mittariperhosten joukkoesiintymä (vrt. Leinonen ym. 1998, 1999, 2000, 2003). Etenkin kesinä 1998 ja 1999 havaittiin lähes paljaaksi syötyjä muutaman hehtaarin koivikoita mm. Porin Ahlaisissa, Luvialla ja Noormarkussa. Lehtituhoa oli todettu paikoin jo edellisellä vuonna. Pahimmilla alueilla myös haapa kärsi lehtikadosta ja pajukot syötiin usein lehdettömiksi, mutta lepät jäivät rauhaan. Erillisiä tuhokoivikoita tavattiin pitkin rannikkoa Hangosta Merikarvialle. Pohjoisin havainto oli Mustasaaresta Vaasan pohjoispuolelta ja mantereisin Huittisista Lauhan kylästä. Pahiten kärsineet viljelykoivikot olivat lähes lehdettämiä parin vuoden ajan (kuva 1). Noormarkussa mittarituho ulottui myös karikesadon seurantametsiköihin, joissa tutkittiin tuhon vaikutusta koivun karikesatoon istutetussa rauduskoivikossa ja luontaisesti syntyneessä hieskoivikossa.

Esiintymille oli ominaista rannikon ja vesistöjen läheisyys, ja ne näyttivät levittäytyvän jokivarsilla kauemmaksi sisämaahan. Tuhoja todettiin sekä hoidetuissa että hoitamattomissa metsiköissä, niin raudus- kuin hieskoivulla. Lähes paljaaksi syödyt koivikot vihertyivät loppukesällä 1998 monin paikoin uusien lehtien puhjetessa leposilmuista. Vuonna 1999 esiintymäalue ehkä jo supistui edellisvuodesta ja kesällä 2000 uusia syönnöksiä ja tuhoja ei enää tullut tietoon.

Koivun karikesatota on mitattu Metsäntutkimuslaitoksessa yhtäjaksoisesti yli 20 vuoden ajan. Karikesatotutkimusten avulla saadaan arvokasta tietoa mm. metsäpuiden siemensatovaihteluista, biomassatuotannosta, karikkeiden kemiallisesta koostumuksesta ja ravinteiden kierrosta. Karikeaineistoja on käytetty hyväksi myös ilman epäpuhtauksien tutkimuksissa. Hyönteisten joukkoesiintymisiä ja niiden seurauksia on aiemmin tutkittu karikesuppiloiden avulla mm. Itä-Lapin metsävaurioprojektissa (Niemelä 1995).

Maamme suurperhosista 175 lajin toukkien on todettu käyttävän koivua joko ensisijaisena tai vaihtoehtoisena ravintonaan (Seppänen 1954, 1970). Voimakkaat kannanvaihtelut ja ajoittaiset joukkoesiintymät ovat tyypillisiä etenkin eräille mittarilajeille.

Mittariperhosista koivun tuholaisena tunnetuin on tunturimittari (*Epirrita autumnata* Borkhausen), joka on aiheuttanut noin kymmenen vuoden välein laajoja tuhoja Fennoskandian tunturikoivikoissa (Tenow 1972). Vuoden 1964–66 suuresiintymän aikana toukat söivät Lapissa 5000 km² koivikoita paljaaksi, minkä johdosta laajat alueet muuttuivat puuttomaksi tundraksi (Kallio ja Lehtonen 1973, Haukioja ym. 1988). Etelä-Suomessa tunturimittari ei ole aiheuttanut tuhoja, vaikka se onkin paikoin syksyn yleisin mittariperhonen. Lajin populaatiodynamiikkaa ja vuorovaikutussuhteita ravintokasviin on tutkittu intensiivisesti 1970-luvulta lähtien Turun yliopistossa (esim. Haukioja ja Niemelä 1976, Haukioja 1980, Haukioja ym. 1988, 1991, Suomela ym. 1995, Ruohomäki ym. 1997, Kause ym. 1999, Kaitaniemi ym. 1999, Kaitaniemi ja Ruohomäki 2001).

Lumimittari (*Operophtera fagata* Scharfenberg) on yleinen maan eteläpuoliskossa Pohjois-Pohjanmaalle asti. Euroopassa sen pääravintokasvi on pyökki, Fennoskandiassa sen sijaan koivu. Toukille kelpaavat myös pajut, tuomi, lehmus ja mustikka. Koivikoissa joukkoesiintymiä on todettu yleisimmän 62°N leveyspiirin eteläpuolella (Tenow 1972). Meillä tuhoja on todettu vuosina 1906, 1932–1934, 1953–1955, 1975 ja 1982–1984 etenkin Etelä- ja Lounais-Suomen rannikkoseutujen koivikoissa (Reuter 1909, Krogerus 1945, Nordman 1958, Hildén 1977, Annila ja Kurkela 1985, Laasonen ja Laasonen 1987). Lumimittari tunnetaan koivun tuholaisena myös Virossa, missä joukkoesiintymiä on sattunut vuosina 1932–1934, 1964–1965, 1976–1977, 1985–1986 ja 1993–1996 (Mihkelson 1967, Voolma 1999).

Hallamittarin (*Operophtera brumata* Linnaeus) toukka on polyfagi esiintyen koivun ohella mitä erilaisimmilla lehtipuilla ja -penssailla. Pääravintokasveina Euroopassa ja Etelä-Fennoskandiassa Lounais-Suomi mukaan luettuna ovat tammi ja hedelmäpuut, Itä-Fennoskandiassa sen sijaan tuomi, Pohjois-Suomessa ajoittain mustikka. Norjassa Kölivuoriston länsipuolen mereisellä ilmastoalueella tuhot ovat kohdistuneet pääasiassa koivikoihin (Tenow 1972, Saarenmaa ja Jalkanen 1981, Tikkanen 2000). Laji tunnetaan koriste- ja puistopuiden sekä etenkin hedelmäpuiden pahana tuholaisena, jota ajoittain joudutaan torjumaan (Vappula 1965).



Kuva 1. Mittariperhosten toukat söivät Noormarkun Torajärvellä yli 2 hehtaarin laajuisen istutuskoivikon lähes lehdettömäksi vuonna 1998 ja 1999. Vasemmalla oleva kuva on otettu 3.7.1998 ja oikealla oleva viisi vuotta myöhemmin 29.5.2003.

Tikkanen (2000), joka on monipuolisesti tutkinut hallamittarin ravinnon valintaa sekä vuosien 1994–95 joukkoesiintymää Karjalan kannaksella, ei lue hies- ja rauduskoivua hallamittarin varsinaisiksi ravintokasveiksi. Hallamittarin joukkoesiintymien väli on noin 10 vuotta kuten tunturimittarillakin.

Pakkasmittari (*Erannis defoliaria* Clerck) on polyfagi eläen koivun ohella monilla lehtipuilla ja -pensaille. Laji luetaan vaeltajiin. Se on eteläisessä Suomessa yleensä harvalukuinen, mutta saattaa joskus yhdessä hallamittarin kanssa syödä tammia lehdettömiksi. Mittariperhosten joukkoesiintymien ajallista ja paikallista tarkastelua vaikeuttaa useissa tapauksissa lajinmäärittysten ja aluerajausten epätarkkuus. Lisäksi esiintymissä voi olla osallisena useampia lajeja (ks. Tenow 1972).

Edellä mainittujen mittarien suomenkieliset nimet viittaavat perhosaikeisten myöhäiseen kuoriutumista lentoajankohtaan, joka ajoittuu syys–marraskuulle (Mikkola ym. 1985). Tunturimittarilla sekä naaras että koiras ovat siivekkäitä ja lentokykyisiä. Sen sijaan lumi-, halla- ja pakkasmittarin naaraiden sii-

vet ovat vain lyhyet tyngät. Lentokyvyttöminä ne kiipeävät runkoja pitkin puiden latvoihin. Munat munitaan suojaisiin paikkoihin kuoren rakosiin tai käpertyneiden silmusuomujen tai jäkälälaikkujen alle. Munat talvehtivat, ja toukat kuoriutuvat keväällä lehtien puhkeamisen aikoihin. Nuoret toukat syövät lehdet risaisiksi, vanhemmat syövät lehdet kokonaan lehtiruotia lukuunottamatta. Heinäkuun alkuun mennessä täysikasvuiset toukat laskeutuvat maan humuskerrokseen, missä kehäävät karikkeesta ja maahiukkasista ympärilleen kotelokehdon.

Pohjoisen tunturimittarituhoja lukuunottamatta lehtipuut toipuvat yleensä lehvästötuhoista leposilmujen turvin. Metsissä em. mittareita ei juurikaan ole torjuttu, mutta hedelmäpuilla hallamittarin aiheuttamia satotappioita on torjuttu sivelemällä rungoille liimarenkaita estämään naaraiden nousua latvuksiin. Myös toukkien kuoriutumista munista on pyritty estämään kevätruiskutuksin. Täydellistä suojaa torjunnalla ei kuitenkaan saavuteta, sillä koiraat saattavat kopulan kestäessä kuljettaa naaraita latvuksiin. Toukkien on myös todettu kulkeutuvan

Taulukko 1. Lumi- ja hallamittarin esiintyminen vuosina 1998 ja 1999 Lounais-Suomen tuhoalueilta kerätyissä toukkanäytteissä.

Paikka	Keruun pvm.	Ravintokasvi	n, kpl	<i>O. fagata</i> -%	<i>O. brumata</i> -%
Noormarkku, Torajärvi	23.06.1998	koivu	205	96	4
”	”	paju	67	51	49
Noormarkku, Torajärvi	10.06.1999	koivu	224	84	16
”	”	paju	125	70	30
Noormarkku, Söörmarkku	16.06.1999	koivu	96	57	43
Pori, Preiviiki	16.06.1999	koivu	57	98	2
Pori, Ahlainen	”	koivu	52	77	23
Pori, Äärholma	”	koivu	10	10	90
Luvia, Niemenkylä	16.06.1999	koivu	137	70	30
Luvia, Laitakari	”	koivu	224	99	1
”	”	pihlaja	222	99	1
Luvia, Niemenkylä	”	tyrni	60	0	100
Huittinen, Lauha	16.06.1999	koivu	24	92	8

kehräämänsä rihman avulla tuulen mukana kymmeneen jopa satojen metrien matkan uusiin kohteisiin (Edland 1971).

Tämän tapaustutkimuksen tavoitteena on kuvata Noormarkussa vuosina 1997–2000 havaittua voimakasta mittarituhoa yhdistämällä toisiinsa koivun kasvatuskokeista ja karikesadosta tehdyt havainnot. Tutkimuksessa tarkastellaan useina perättäisinä vuosina toistuneen lehtien syönnin vaikutuksia raudus- ja hieskoivujen karikkeen määrään ja koostumukseen sekä puiden kuntoon, kasvuun ja toipumiseen. Tulosten perusteella tarkastellaan myös harvennuksen vaikutusta rauduskoivujen tuhoalttiuteen ja jo altistuneiden koivikoiden hoitotarvetta.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tuhonaiheuttajat

Vuosina 1998 ja 1999 kerättiin eräiltä keskeisiltä tuhoalueilta toukka-, kotelo- ja aikuisnäytteitä. Systemaattiseen lajiston tutkimiseen ja kannan seurantaan ei kuitenkaan ollut mahdollisuuksia. Lajinmääritys perustui toukkien pään, ruumiin ja stigmojen väritykseen, perhosnaaraiden siipien pituuteen ja kuviointiin, perhoskoiraiden siipien kuviointiin ja genitaalieroihin sekä koteloiden peräkärjen lisäkeiden muotoon (Valle 1946, Tenow 1972, Mikkola ym. 1985).

Toukkanäytteitä otettiin puiden latvuksista. Hies- ja rauduskoivuja ei eroteltu ja paikoin näytteitä otettiin myös alikasvospajuilta ja -pihlajilta sekä luvialaiselta tyrniviljelmältä. Osa toukista säilöttiin spriihin, osa kasvatettiin kotelosteelle. Taulukossa 1 esitetään tulokset vain lumi- ja hallamittarin toukista, sillä muita lajeja (esim. tunturi- ja pakasmittaria) näytteissä esiintyi hyvin vähän. Koivun näytteissä muista lajeista esiintyi säännöllisimmin keltapetoyökkösen (*Cosmia trapezina* L.) toukkia (1–2% toukista). Ne ovat usein petoja, ns. murhatoukkia, jotka syövät varsinkin hallamittarin toukkia (Mikkola ja Jalas 1979). Turun Ruissalossa todettiin keltapetoyökkösen kannan kasvaneen räjähdysmäisesti hallamittarin joukkoesiintymän yhteydessä vuosina 1922–1924 (Clayhills 1929).

Valtaosa (57–99%) Lounais-Suomesta koivulta kerätyistä toukista oli lumimittareita (taulukko 1). Syötyjen koivujen alta otetussa pihlajanäytteessä lumimittarin osuus oli 99% toukista. Pajuilla lajien suhde oli tasaisempi, lumimittaria 51–70% ja hallamittaria 30–49%. Tyrniviljelmän toukat olivat kaikki hallamittaria. On huomattava, että joukkoesiintymien huippuvuosina ravinnosta tulee usein pula, jolloin toukat turvautuvat myös toissijaisiin ravintokasveihin.

Perhosaikuisia kerättiin Noormarkun Torajärveltä syksyllä 1998. Kolmeen isoon koivuun tehtiin 17.9. rinnankorkeudelle n. 7 cm:n levyinen liimarengas ja siihen takertuneet perhoset kerättiin talteen 13.10.1998. Näytteitä otettiin myös haavilla ja

Taulukko 2. Lumi- ja hallamittariaikuisten esiintyminen Noormarkun Torajärvellä 1998. Liimarenkaisiin 17.9.–13.10. tarttunut aineisto ja vapailta rungoilta 13.10. kerätty aineisto on yhdistetty.

	n, kpl	<i>O. fagata</i> -%	<i>O. brumata</i> -%
Koiraat	274	95,3	4,7
Naaraat	535	93,1	6,9
Yhteensä	809	93,8	6,2

rungoilta vapaasti keräämällä. *Operophtera*-aikuisista 94 % oli lumimittareita, loput hallamittareita (taulukko 2). Lajien välinen runsaussuhde on sama kuin Helsingin Isosaareissa vuosina 1981–1985 (Laasonen ja Laasonen 1987). Syksyllä 1998 syötyjen koivujen alta Noormarkusta kerätyt 14 koteloa olivat kaikki lumimittaria ja Pomarkusta kerätyistä 8 kotelosta 6 oli lumimittaria ja 2 hallamittaria. Kesäkuussa 1999 Pomarkusta kerätyt 52 koteloa olivat kaikki lumimittaria.

Kaikkien tarkastettujen näytteiden perusteella voidaan todeta, että Lounais-Suomen koivikoiden lehvästötuhon pääasiallinen aiheuttaja v. 1997–2000 oli lumimittari. Tuhoja aiheutti myös hallamittari etenkin alueilla, joilla sekapuustona kasvoi muita lehtipuita ja -pensaita. Lumimittarin kannan voimistuminen vuosina 1996–1999 näkyi myös valtakunnallisen yöperhosseurannan tuloksissa (Leinonen ym. 1998, 1999, 2000, 2003).

2.2 Tutkimusmetsiköt Noormarkussa

Tutkimuksen aineisto kerättiin Metsäntutkimuslaitoksen pitkäaikaisesta rauduskoivun harvennuskokeesta ja kahdesta karikeseurantametsiköstä A. Ahlström Oy:n omistamalla Torajärven metsäntutkimusalueella (taulukko 3, Niemistö ym. 2002). Koealoilla havaittiin mittariperhosten toukkia alkukesällä 1997 ja poikkeuksellisen voimakas syönteä todettiin kesäkuussa 1998. Lisäksi Noormarkun kunnan omistamaan koivikkoon Maajärvellä perustettiin syksyllä 2000 koe, jossa tutkitaan raudus- ja hieskoivun toipumista mittarituhon jälkeen. Molemmat alueet sijaitsevat Noormarkunjoen varressa ja niillä kasvaa enimmäkseen varttunutta, vaihtelevan harvaa koivuvaltaista metsää.

Rauduskoivun harvennuskokeen puusto ja koejär-

jestely ilmenevät taulukosta 4. Puiden kuntoa istutuksessa rauduskoivikossa verrattiin myös harvennuskokeen ympärillä kasvavaan luontaisesti syntyneeseen hieskoivikkoon. Kokeen alkuperäinen viljelytiheys oli 2500 kpl/ha. Syksyllä 1979 puusto harvennettiin tiheyksiin 1200, 1000, 800 ja 600 kpl/ha. Käsittelyt esiintyivät kokeessa kahdeksana satunnaisesti arvotuna toistona pienissä 20 × 20 metrin ruuduissa (yhteensä 32 koealaa). Syksyllä 1992 puolet koealoista harvennettiin siten, että toistoja jäi 4 kpl (taulukko 4). Tutkimuksessa tiheydet ovat 300, 400, 500, 600, 800 ja 1100 kpl/ha. Puusto mitattiin 35 vuotiaana keväällä 2000 ja puiden kunto inventoitiin systemaattisesti kesäkuussa samana vuonna. Osa koealoista mitattiin uudestaan kaksi vuotta myöhemmin.

Kontrolloitujen harvennusvoimakkuuksien ohella koemetsikön valintaan vaikutti se, että metsikön keskellä on toinen tutkimuksessa käytettävistä karikesadon seurantakoealoista. Rauduskoivikon karikesatoa verrattiin ylävirran suunnassa noin 5 km päässä sijaitsevan luontaisesti syntyneen hieskoivikon karikesatoon.

Maajärven koe sijaitsee Noormarkunjoen varressa, alle 10 km Torajärveltä ylävirtaan. Kokeessa tutkitaan mittarituhon seurauksia luontaisesti syntyneessä hoidetussa koivikossa ja saneeraushakkuun vaikutusta puuston toipumiseen. Puuston ikä oli noin 40 vuotta, valtapituus 20 metriä ja pohjapinta-ala 12,5 m²/ha, joten metsikkö oli harvennusmallien suositusta (Tapio 2001) harvempi jo ennen mittarituhoa. Puuston runkoluku jakautui lähes tasan hies- ja rauduskoivuihin (taulukko 3), joten kokeessa vertailtiin myös puulajien tuhoalttiutta. Rauduskoivut olivat keskimäärin suurempia kuin hieskoivut muodostaen 64 % runkotilavuudesta. Hieskoivujen läpimitta oli keskimäärin 1,7 cm rauduskoivuja pienempi ja pituusero oli 1,7 metriä.

2.3 Tutkimusmenetelmät ja mittaukset

2.3.1 Karikesato

Karikekoealan pinta-ala oli rauduskoivikossa 4,0 aaria ja hieskoivikossa 10,5 aaria. Vuonna 1982 molemmille koealoille sijoitettiin satunnaisesti kymmenen 0,05 m²:n suuruista karikesuppilaa. Ne on tyhjennetty joka vuosi noin kuukauden välein

Taulukko 3. Tutkimuksessa käytettyjen koemetsiköiden puustotiedot Noormarkussa.

Metsikkö	Mittausvuosi	Runkoluku, kpl/ha	Tilavuus, m ³ /ha	Keskipituus, m	Keskiläpimitta, cm
Karikemittaus					
Rauduskoivikko	1979	875	28	10,5	9,0
	1992	550	88	18,0	15,8
	2000	550	117	20,4	18,0
Hieskoivikko	1980	880	96	14,7	13,3
	1990	920	169	17,2	16,5
	2002	750	197	20,6	19,5
Puiden kunto ja toipuminen					
Rauduskoivun harvennuskoe	2000	300...1200	85...209	20,4	26,8...19,7
Hieskoivikko Torajärvellä	2000	500	115	19,0	17,5
Saneerauskoe Maajärvellä					
Ennen hakkuuta rauduskoivut	2000	330	70	19,1	18,1
	hieskoivut	2000	250	39	17,4
Hakkuun jälkeen rauduskoivut	2002	145	36	19,4	19,5
	hieskoivut	2002	190	33	17,9

Taulukko 4. Harvennusvoimakkuuden vaikutus rauduskoivikkoon ja sen tuotokseen keväällä 2000 Noormarkussa (20 kasvukautta ensiharvennuksesta, 7 kasvukautta toisesta harvennuksesta).

Jäävä puusto kpl/ha		Poistuma yhteensä m ³ /ha	Tilavuus m ³ /ha	Valtapituus* m	Valtaläpimitta* cm	Kokonais- tuotos m ³ /ha	Tilavuuskasvu jaksolla 1993–99 m ³ /ha
1.harv.	2.harv.						
1000	300	107	85	21,0	21,2	189	27
800	400	77	110	21,0	21,8	185	34
1000	513	70	133	21,5	22,3	207	37
600	588	32	160	21,2	22,5	192	42
1200	800	57	181	21,8	22,7	237	45
800	725	25	163	20,2	21,1	222	48
1200	1113	19	209	21,6	21,2	230	52

* 100 paksuimman puun keskiarvo/ha

touko–lokakuun ajan. Suppilot ovat pieniä eikä niitä ole tyhjennetty talvella, joten lumesta täyttyneet suppilot voivat antaa talvikautena liian alhaisia karikemääriä ja varsinkin oksien määrä aliarvioituu (ks. Newbould 1967, Raulo ja Hokkanen 1989). Joinakin vuosina kaikki lehdet eivät olleet ennättäneet varista syksyn viimeiseen tyhjennykseen mennessä. Tästä syystä kariketutkimuksessa käytettiin kalenterivuoden sijasta kertymäjaksosia, joka vaihtuu toukokuussa. Siten esim. vuosi 2001 tarkoittaa jaksosia 4.5.2001–2.5.2002.

Rauduskoivikossa karikesuppilot ovat koeruudulla, jonka puusto harvennettiin vuonna 1992 tiheydestä 1000 kpl/ha tiheyteen 550 kpl/ha (taulukko 3). Koivikon alle on kehittynyt hieman aukkoisen

alikasvoskuusikko, jonka tiheys oli yli 2000 kpl/ha ja pituus 6–9 metriä syksyllä 2002. Hieskoivikon karikekoealan puusto on samankokoista kuin vertailtava rauduskoivikko, mutta vastaavaa harvennusta ei ole tehty, joten puuston runkotilavuus on siellä 1,7-kertainen. Sekapuuna hieskoivikossa oli keväällä 2002 noin 10 metrin pituisia kuusia 240 kpl/ha.

Koivun karikenäytteet kuivattiin huoneenlämmössä ja eroteltiin seuraaviin ositteisiin: oksat, lehdet, hyönteiset sekä niiden jäänteet, siemenet, seulontatähde 0,59 mm seulalla ja muu tarkemmin lajittelematon karike, josta huomattava osa oli tunnistamatonta lajitteletähdettä. Sen lisäksi siihen sisältyivät muun muassa kukinnot ja niiden tähteet sekä hyönteisten ulosteet (papanat) ja pieniä määriä

kuusen neulasia lähinnä tutkimusjakson jälkipuoliskolla. Kaikki ositteet punnittiin milligramman tarkkuudella.

Vuodesta 1995 lähtien kerättyjen näytteiden lehtiosite jaettiin pieniin, alle 1 cm pituisiin lehtiin ja isompiin, jotka puolestaan eroteltiin neljään ryhmään: ehjät, alle 50 % pinta-alastaan menettäneet, yli 50 % pinta-alastaan menettäneet ja lehtiruodit. Eri ryhmiin kuuluvien lehtien lukumäärä laskettiin.

Kummastakin metsiköstä arvottiin yksi suppilo mittaritoukkien papanoiden erottelua varten. Papanamassa mitattiin vuosien 1997–2000 touko- ja kesäkuussa kertyneestä tarkemmin lajittelemattomasta karikkeesta. Muissa suppiloissa papanoiden määräksi laskettiin vastaavan suuruinen osuus lajittelemattoman karikkeen massasta. Osa toukkien ulosteista oli todennäköisesti hajonnut hienojakoiseksi, mistä syystä myös seulontatähteen määrää verrattiin tuhoa edeltäviin havaintoihin.

2.3.2 Puuston mittausta ja kuntoarviot

Istutuskoivun harvennuskoe mitattiin keväällä 2000. Edellisen kerran vastaavat mittaukset oli tehty seitsemän kasvukautta aikaisemmin edellisen harvennuskäsittelyn yhteydessä (taulukko 3). Koealojen kaikista puista mitattiin läpimitta rinnankorkeudelta ja arvioitiin silmävaraisesti niiden tekninen laatu ja terveydentila (Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987). Keskimäärin kymmenestä koepuusta/koeala mitattiin lisäksi pituus, elävän latvuksen alarajan korkeus ja rungon läpimitta 6,0 metrin korkeudelta. Puustotunnukset ja niiden kasvu (taulukko 4) laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen KPL-ohjelmalla (Heinonen 1994).

Koealojen normaalia mittausta täydennettiin kesäkuussa 2000 arvioimalla silmävaraisesti jokaisen puun elävän latvuksen koko ja kunto sekä elävän latvuksen tuuheus (luokitukset kuvissa 4 ja 5, s. 33). Arvioinnissa keskityttiin latvuksen yläosaan, jonka oletetaan ilmaisevan puun elinvoimaa mittarituhon jälkeen. Vastaava arviointi tehtiin kokeen ulkopuolella kasvavista vähän pienemmistä luontaisista hieskoivuista.

Toukokuun lopussa 2002 tutkittiin koivujen toipumista mittaamalla uudelleen puiden läpimitta ja arvioimalla niiden kunto 18 koealalla sekä pituus

ja elävän latvuksen alaraja noin sadasta koepuusta yhdeksällä koealalla. Elävän latvuksen pituuden silmävaraisen arvioinnin luotettavuutta tutkittiin vertaamalla sitä Vertex-korkeusmittarilla saatuun tulokseen. Arvioija oli sama henkilö kuin kaksi vuotta aikaisemmin.

Maajärven saneerauskokeeseen kuuluu neljä 25×40 metrin suuruista koealaa. Kaksi koealaa jätettiin käsittelemättä ja kahdella muulla tehtiin syksyllä 2000 voimakas harvennus, saneeraushakkuu, jossa poistettiin kuolleet tai mittarituhon vuoksi kehityskelvottomat puut. Poistetut puut mitattiin ja niiden kunto arvioitiin ennen hakkuuta. Jäävät puut mitattiin ja niiden kunto arvioitiin keväällä 2002 samalla tavoin kuin em. harvennuskokeessa.

2.3.3 Tilastolliset menetelmät

Kahden koealan perusteella kariketuloksia ei voida yleistää, mutta mittauksen luotettavuutta voitiin tutkia suppiloiden välisen vaihtelun avulla. Karikesadon vaihtelua tutkittiin erikseen kummassakin metsikössä SPSS:n Mixed-ohjelmalla. Mittarituhon aiheuttamat poikkeamat karikkeiden määrässä tutkittiin testaamalla eri vuosia kuvaavien dummymuuttujien merkitsevyys vuotuista karikesatoa selittävinä kovariantteina. Tilastollinen merkitsevyys todettiin alle 5 %:n riskitasolla.

Rauduskoivikon harvennusuaihtoehtojen vaikutusta puiden kuntoon tutkittiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä, jossa selitettävänä muuttujana oli kuntoluokan osuus runkoluvusta koealoittain. Hiesja rauduskoivun eroa ja puiden koon vaikutusta tuhoalttiuteen tutkittiin logistisella regressioanalyysillä. Analyyseissä käytettiin SPSS:n GLM- ja Multinomial Logistic Regression (NOMREG)-ohjelmia ja nollahypoteesina oli se, ettei harvennuksella tai puulajilla ole vaikutusta tuhoalttiuteen. Torajärven rauduskoivujen kasvu oli mittarituhon jälkeen mitaustarkkuuteen nähden vähäistä, joten sen poikkeamista nollasta tutkittiin t-testillä eri tiheysluokissa ja puiden kuntoluokissa.

3 Tulokset

3.1 Karikesato

3.1.1 Karikemäärän vaihtelu hieskoivikossa

Kahdenkymmenen vuoden tutkimusjakson aikana hieskoivikon kokonaiskarikesato oli keskimäärin 283 g/m² eli 2833 kg/ha vuodessa (taulukko 5). Runsain karikesato mitattiin vuonna 2000, jolloin sitä kertyi noin 360 g neliometrille. Vähiten kariketta varisi vuonna 1984, jolloin kokonaismäärä oli 225 g/m². Karikkeen vuotuinen määrä kohosi 1980-lu-

vun lopulla tasolle 300 g/m², jonka alle se taas laski vuosiksi 1994–97 (kuva 2).

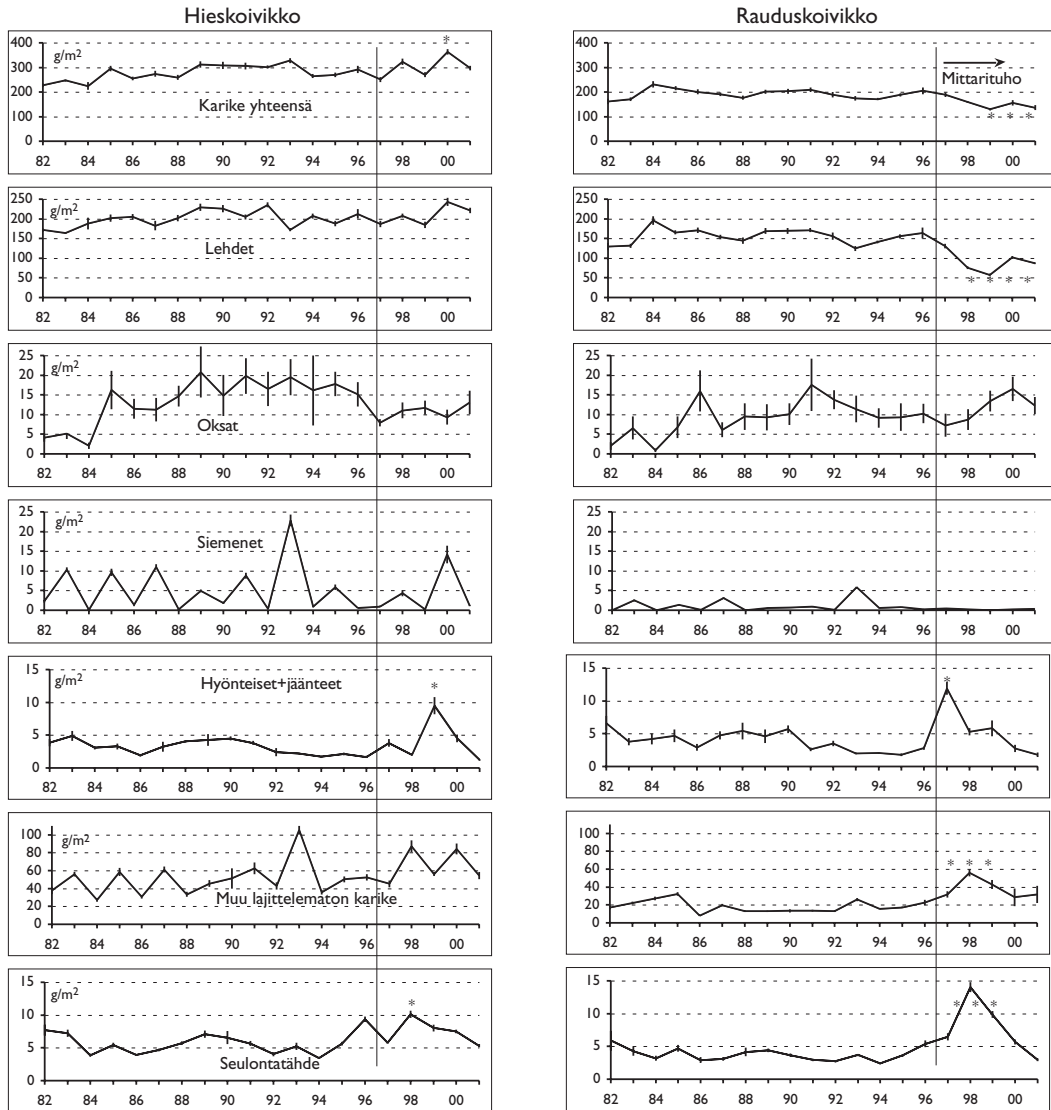
Karikesadosta päätellen mittariesiintymä alkoi Noormarkussa vuonna 1997, jolloin hyönteiset ja niiden jäänteet lisääntyivät tilastollisesti merkitsevästi rauduskoivikossa (taulukko 6) ja karike sisälsi mittaritoukkien papanoita molemmissa metsiköissä (kuva 3). Hieskoivikossa mittaritouhu ei ainakaan vähentänyt karikkeen kokonaismäärää, mutta sen vuotuinen vaihtelu lisääntyi. Vuonna 2000 karikkeen kokonaismäärä oli koholla tilastollisesti merkitsevästi, mutta siihen vaikutti lehtikarikkeen ohella runsas kukinta ja siemensato.

Taulukko 5. Hieskoivikon ja rauduskoivikon keskimääräinen vuotuinen karikesato Noormarkussa vuosina 1982–2001.

	Keskiarvo, g/m ²	Keski- hajonta	Pienin arvo	Suurin arvo	Osuus karik- keesta (%)
Hieskoivikko					
Lehdet	201,7	22,1	163,6	243,3	71,2
Hyönteiset + jäänteet	3,6	2,0	1,2	9,5	1,3
Siemenet	5,1	6,0	0,1	22,9	1,8
Oksat	12,9	5,3	2,0	20,8	4,6
Seulontatähde	6,1	1,8	3,4	10,1	2,1
Muu lajittelematon karike	53,9	19,7	30,8	105,3	19,0
Karike yhteensä	283,3	35,3	224,6	363,3	100,0
Rauduskoivikko					
Lehdet	139,8	35,8	57,7	195,8	76,4
Hyönteiset + jäänteet	4,3	2,3	1,8	11,9	2,3
Siemenet	0,9	1,4	0,0	5,8	0,5
Oksat	9,8	4,4	0,9	17,5	5,4
Seulontatähde	4,8	2,8	2,4	14,1	2,6
Muu lajittelematon karike	23,3	11,7	8,0	56,1	12,7
Karike yhteensä	182,9	26,1	129,7	231,3	100,0

Taulukko 6. Mittarituhovuosisista lähtien havaitut merkitsevät ($p < 0,05$) ja suuntaa antavat ($p < 0,15$) poikkeamat jakson 1982–2001 keskimääräisestä karikesadosta (ks. kuva 2). Hies- ja rauduskoivikolle tehtiin eri karikkeositteiden määrää kuvaavat sekamallit, joiden satunnainen osa muodostui havaintovuosisista ja kiinteä osa erikseen kutakin mahdollista tuhovuotta kuvaavista dummy-muuttujista.

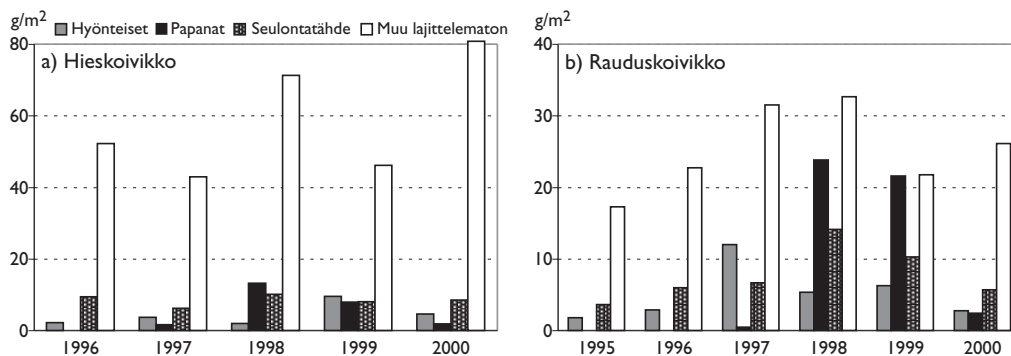
Osite	1997	1998	1999	2000	2001	1997	1998	1999	2000	2001
	Hieskoivikko					Rauduskoivikko				
Karike yhteensä	–	–	–	,016	–	–	,146	,010	,109	,019
Lehdet	–	–	–	,064	–	–	,001	,000	,016	,004
Oksat	–	–	–	–	–	–	–	–	,148	–
Siemenet	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Hyönteiset + jäänteet	–	–	,000	–	,089	,000	–	–	–	–
Tark. lajittelematon	–	,077	–	,102	–	,038	,000	,001	,118	,052
Seulontatähde	–	,022	–	–	–	,031	,000	,000	,096	–



Kuva 2. Kokonaiskarikkeen ja sen eri ositteiden vuotuinen variseminen Noormarkun koivikoissa vuosina 1982–2001. Pystyjanat ilmaisevat suppiloiden välisen keskiarvon keskivirheen. Mittarituhon yhteydessä alle 5%:n riskillä mittausjakson 1982–2001 keskiarvosta poikkeavat havainnot on merkitty *:llä.

Lehdet muodostivat 71 % hieskoivikon karikkeesta, joten kokonaiskarikkeen vaihtelu määräytyi pääasiassa lehtien määrän mukaan. Lehtikariketta kertyi keskimäärin 202 g/m²/v. Vuosien väliset vaihtelut olivat melko vähäisiä. Lehtikarikkeen määrä oli runsaimmillaan vuonna 2000 ja alhaisimmillaan vuonna 1983 ja nämä vuodet poikkesivat lähes merkittävästi muista seurantavuosista.

Hieskoivikossa varisseiden lehtien kokonaismäärä lisääntyi mittarituhon aikana noin 5000:n tasolta yli 7000 lehteen neliometriä kohden (taulukko 7). Ehji- en lehtien lukumäärä oli lievästi nousussa 1996–98 ja vuonna 2000 niiden määrä ja osuus lisääntyivät selvästi. Pelkkien lehtiruotien ja yli puolet pinta- alastaan menettäneiden lehtien osuus vastaavasti pieneni selvästi vuonna 2000.



Kuva 3. Hyönteisten, papanoiden, seulontatähden ja muun lajittelemattoman karikkeen määrä hies- ja rauduskoivikossa Noormarkussa.

Taulukko 7. Mittarituhon vaikutus vuosittain varisseiden lehtien määrään ja niiden eheyteen (% lukumäärästä) raudus- ja hieskoivikossa Noormarkussa.

	Yhteensä kg/ha	Ehjänä kpl/m ²	Ehjänä lehdet	Yli 50% jäljellä	Alle 50% jäljellä % lukumäärästä	Lehti- ruodit	Pienet lehdet
Hieskoivikko							
1996	2069	5510	14	32	23	12	10
1997	1930	5168	18	43	23	9	7
1998	2082	7024	19	38	28	8	6
1999	1840	7640	13	35	36	10	5
2000	2433	7388	35	39	14	6	5
Rauduskoivikko							
1995	1555	3712	43	39	8	5	5
1996	1627	3606	59	23	9	4	5
1997	1305	4170	19	35	30	14	3
1998	758	4162	18	16	35	30	1
1999	577	2888	38	12	30	17	3
2000	1020	2438	37	27	30	4	2

Toiseksi suurimman ositteen muodosti muu tarkemmin lajittelematon karike (19%), jonka määrä oli tilastollisesti merkitsevästi koholla vuonna 1993 ja suuntaa antavasti vuosina 1998 ja 2000. Vuosi 1998 selittyi mittarituholla, mutta muutoin lajittelemattoman karikkeen määrällä oli selvä yhteys koi-vun kukintaan ja siemensatoon. Lajittelemattoman karikkeen vuotuinen sato oli keskimäärin 54 g/m².

Oksia varisi hehtaarille keskimäärin 130 kg vuodessa. Vuosien ja suppiloiden väliset vaihtelut olivat huomattavia. Suurin vuotuinen oksakarikemäärä oli kymmenkertainen pienimpään verrattuna.

Hieskoivikon keskimääräinen vuotuinen siemensato oli tutkimusjakson aikana 5,1 g/m² eli 51 kg/ha.

Siemensadon vuosivaihtelut olivat erittäin suuria. Hyvät siemensadot kertautuivat keskimäärin kahden vuoden välein. Pienin siemensato vuonna 1984 jäi runsaaseen kilogrammaan hehtaarilla. Heikohkoja siemenvuosia (alle 5 kg/ha) olivat myös 1988, 1992 ja 1999. Poikkeuksellisen hyvä siemensato mitattiin vuonna 1993, jolloin hieskoivikko tuotti lähes 230 kg siemeniä hehtaarille. Muita erinomaisia, vähintään 100 kg/ha tuottaneita siemenvuosia olivat 1983, 1987 ja mittariesiintymän jälkeen vuosi 2000.

Hyönteisten ja niiden jäänteiden osuus kokonaiskarikesadosta oli vain 1,3% eli se oli pienin tutkitu karikeosite mittariperhosten joukkoesiintymästä huolimatta. Hyönteisiä ja niiden jäänteitä kertyi kes-

kimäärin 3,6 g/m² vuodessa. Hieskoivikossa suppi-loihin varisi hyönteisiä merkitsevästi eniten kesällä 1999, jolloin niiden määrä oli lähes 10 g/m².

Hyönteisten papanamäärä hieskoivikossa oli rauduskoivikkoa korkeampi vain ensimmäisenä havaintovuonna 1997 (kuva 3). Pahimpina tuhovuosina 1998 ja 1999 papanoita mitattiin hieskoivikosta 113 ja 80 g/m² eli noin puolet siitä mitä rauduskoivikossa. Vuonna 2000 papanamäärä väheni jyrkästi eikä koivulajien välillä ollut enää eroa.

Seulontatähteen keskimääräinen vuotuinen määrä oli 6,1 g/m². Se sisälsi hyvin hienoksi jauhautunutta materiaalia eri karikeositteista, muun muassa hyönteisistä ja niiden papanoista sekä kukinnoista. Hieskoivikossa seulontatähteen määrä oli tilastollisesti merkitsevästi koholla vuonna 1998 mittariesiintymän vaikutuksesta. Myös vuonna 1996 seulontatähdettä oli tavallista runsammin, mutta sen osuus kokonaiskarikkeesta ei poikennut muista vuosista 5 prosentin riskillä.

3.1.2 Karikemäärän vaihtelu rauduskoivikossa

Rauduskoivikon kokonaiskarikesato oli keskimäärin 1829 kg/ha (183 g/m²) vuodessa eli noin 1000 kg/ha vähemmän kuin hieskoivikossa (taulukko 5). Vuosina 1982–1997 ennen mittarien joukkoesiintymää oli rauduskoivikon keskimääräinen vuotuinen karikemäärä 1960 kg/ha. Mittarituhon vaikutuksesta kokonaiskarikesato laski 26 % vuosina 1998–2001.

Rauduskoivikossa vuotuinen lehtikarikesato neliometrillä oli keskimäärin 60 g alhaisempi kuin hieskoivikossa. Lehtiä varisi runsaimmin vuonna 1984 (196 g/m²) ja vähiten vuonna 1999 (58 g/m²). Mittarituhon vähensi lehtikarikkeen määrää tilastollisesti merkitsevästi vuosina 1998–2001 (taulukko 6), mutta lehtien osuus kokonaiskarikkeesta aleni jo vuonna 1997. Aikaisemmin lehdet muodostivat keskimäärin 80 % rauduskoivikon karikkeesta, mutta vuosina 1998–1999 niiden osuus putosi alle puoleen. Myös harvennusten jälkeisinä vuosina 1982–83 ja 1993–1994 lehtien määrä oli tilapäisesti normaalia alempi.

Varisseiden lehtien lukumäärä ei ole muuttunut samassa tahdissa kuin niiden massa. Rauduskoivikossa lehtiä varisi vielä vuonna 1998 tavanomainen määrä noin 4000 kpl/m², mutta sen jälkeen luku-

määrä on laskenut selvästi (taulukko 7). Ehjien lehtien osuus laski alle 20 prosentin heti mittarituhon alettua vuonna 1997 ja palautui vajaan 40 % tasolle vuonna 1999, mutta lukumääräisesti ehjät lehdet eivät lisääntyneet. Pelkkien lehtiruotien osuus on normaalisti noin 5 %, mutta pahimman tuhon aikana niiden osuus kohosi 30 %:iin. Aikaisemmin alle 10 % lehdistä oli sellaisia, joiden pinta-alasta oli vähemmän kuin puolet jäljellä, mutta mittarituhon alkamisesta saakka tällaisia lehtiä on ollut noin 30 %. Osa lehdistä rikkoutuu mekaanisesti varistessaan tai näytteitä käsiteltäessä, joten lehtien vajaakokoisuus ei aiheudu pelkästään hyönteisistä.

Rauduskoivun oksia varisi suppi-loihin keskimäärin noin 100 kg/ha vuodessa. Huippuvuonna 1991 oksia varisi hehtaarille 175 kg, kun taas niukimpana vuotena 1984 oksia kertyi vain 9 kg/ha. Oksien suhteellinen osuus kokonaiskarikkeesta (5 %) oli saman suuruinen kuin hieskoivikossa.

Koko tutkimusajanjakson ajan rauduskoivikon siementuotanto oli huomattavasti vähäisempi kuin hieskoivikossa. Keskimääräinen vuotuinen siemensato oli 9 kg/ha eli alle viidesosa hieskoivikon pitkäaikaisesta keskiarvosta. Hieskoivun tavoin paras siemensato mitattiin vuonna 1993, jolloin rauduksen siemeniä kertyi hehtaarille 58 kg. Muita melko hyviä satovuosia, jolloin siemeniä varisi vähintään 25 kg hehtaarille, olivat 1983 ja 1987. Huonoja siemensatoja (enintään 1 kg/ha) todettiin vuosina 1982, 1986 ja 1988. Vuodet 1984 ja 1999 olivat katovuosia, jolloin rauduskoivikko ei tuottanut lainkaan siemeniä. Mittarituhon vähensi rauduskoivikon siemensatoa erityisesti vuonna 2000, joka oli yleisesti hyvä koivun siemenvuosi Etelä-Suomessa.

Hyönteisten jäänteiden ja papanoiden erottelu osoitti, että rauduskoivikossa hyönteisten jäänteet lisääntyivät voimakkaasti vuonna 1997, jolloin niiden määrä ylitti 10 g/m². Vuonna 2000 jäänteiden määrä oli palautunut mittarituhon edeltäneelle tasolle (kuva 3b). Mittaritoukkien papanoita esiintyi vain vähän touko–kesäkuussa 1997, mutta kesällä 1998 niiden määrä lisääntyi äkillisesti ollen 24 g/m² (= 240 kg/ha). Vielä toisenakin pahana tuhovuonna papanamäärä oli korkealla, mutta vuonna 2000 määrä laski kahteen grammaan neliometrillä.

Alunperin tarkemmin lajittelemattoman karikkeen (sisältää papanat) osuus kokonaiskarikesadosta oli rauduskoivikossa 13 %. Mittarituhon lisäsi tämän

Taulukko 8. Elävän latvuksen keskimääräinen pituus mittarituhon jälkeen kesäkuussa 2000 rauduskoivun harvennuskokeessa ja viereisessä hieskoivikossa Noormarkun Torajärvellä. Silmävaraista arviota korjattiin tarkistusmittauksen perusteella.

Tiheys, kpl/ha	300	400	500	600	800	1100	Hieskoivu
Puun keskipituus, m	20,7	19,9	20,6	20,4	19,7	19,7	19,0
Elävä latvus, m (arvio)	4,7	4,4	3,4	3,8	3,5	2,9	9,4
Latvussuhde, %(arvio)	23	22	17	19	18	15	50
Elävä latvus, m (korj.)	7,1	6,6	5,1	5,7	5,3	4,4	12,0
Latvussuhde, % (korj.)	34	33	25	28	27	22	63

karikeosittien ja seulontatähteen määrää tilastollisesti merkitsevästi vuosina 1997–1999 (taulukko 6). Kahtena pahimpana tuhovuonna hienojakoisen seulontatähteen määrä lisääntyi noin kolminkertaiseksi (10–14 grammaan/m²/v) aikaisempaan verrattuna. Tarkemmin lajittelemattoman karikkeen määrä neliometrillä lisääntyi vuosina 1998–99 yli kaksinkertaiseksi normaaliin verrattuna. Ainakin osa seulontatähteen ja lajittelemattoman karikkeen lisäyksestä (yhteensä 28–38 g/m²/v) lienee hajonneita toukkien jätöksiä, osa taas murentunutta lehtisilppua, jota syntyy runsaasti johtuen toukkien tuhlailuvasta tavasta syödä lehtiä risaisiksi.

3.2 Koivujen kunto

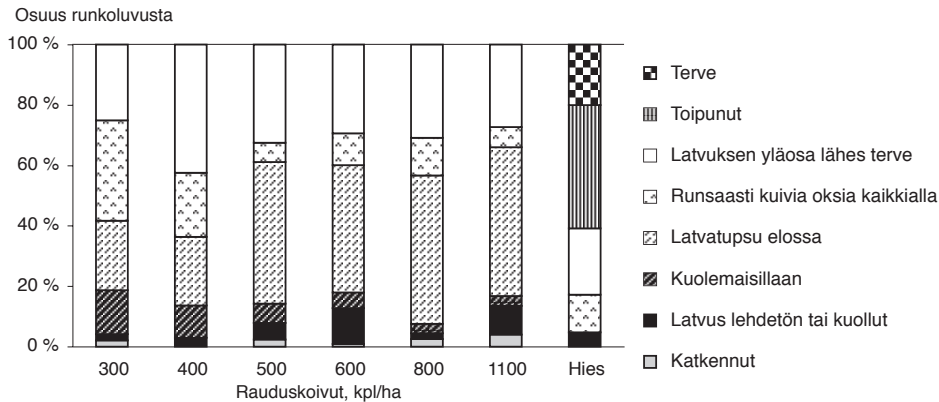
3.2.1 Istutettu rauduskoivikko ja luontainen hieskoivikko Torajärvellä

Vuonna 2000 elävän latvuksen pituudeksi arvioitiin rauduskoivikossa keskimäärin 3,8 m ja hieskoivikossa 9,4 m (taulukko 8). Silmävaraisesti tehty arvio elävän latvuksen korkeudesta oli kuitenkin harhainen. Korkeusmittarilla tehty tarkistus osoitti, että latvuksen silmävarainen pituusarvio oli rauduskoivuilla systemaattisesti 33 % mitattua latvusta pienempi. Hieskoivulla latvukset olivat suurempia ja niiden kohdalla virhe oli 22 %. Tällä perusteella taulukkoon 8 laskettiin myös korjatut arvot elävän latvuksen pituudelle ja latvussuhteelle. Korjauksen jälkeen elävän latvuksen osuus puun pituudesta oli harvimmilla rauduskoivuruuduilla 34 % ja tiheimmillä 22 %. Luontaisten hieskoivujen latvusosuus oli keskimäärin 63 %.

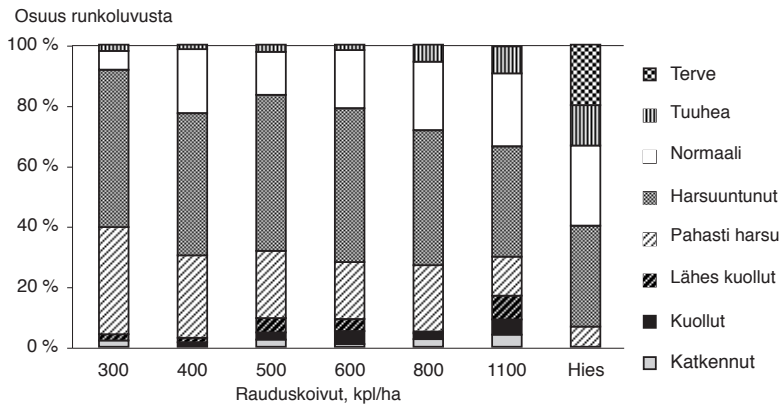
Koko latvuksen kuntoa arvioitiin kuvassa 4 esitetyn luokituksen mukaisesti. Hieskoivuista terveitä

tai toipuneita puita oli yli puolet, mutta istutetussa rauduskoivikossa niitä ei ollut lainkaan. Noin 30 % rauduskoivujen runkoluvusta ja 40 % tilavuudesta oli sellaisia puita, joiden latvuksen yläosa näytti lähes terveeltä. Tiheimmillä, vähintään 500 puuta hehtaarilla sisältävillä koealoilla noin puolella puista latvus oli supistunut keskimäärin 3,7 metrin mittaiseksi latvatupsuksi (korjattu arvio). Harvemmissa koivikoissa tupsulatavaisia oli 23 % ja yksisuuntaisen varianssianalyysin perusteella ero oli tilastollisesti merkitsevä (n = 32, F = 3,8 ja p = 0,01). Niissä esiintyi puolestaan runsaammin sellaisia puita, joiden latvus oli kohtalaisen suuri mutta sisälsi runsaasti kuivuneita oksia (n = 32, F = 2,3, p = 0,07). Näiden latvusten pituus oli keskimäärin 9 metriä (korjattu arvio). Kuolleiden ja kuolemaisillaan olevien puiden osuus oli keskimäärin 6,0 % runkoluvusta ja 4,4 % tilavuudesta eikä niiden osuus riippunut puuston tiheydestä. Katkenneet puut olivat kuolleet muista syistä jo ennen mittarituhoa.

Kun tarkasteltiin erikseen vain elävän latvuksen kuntoa riippumatta sen koosta, saatiin kuvan 5 mukaiset tulokset. Pahasti harsujen latvusten osuus koko puustosta oli sitä suurempi, mitä voimakkaammin rauduskoivikko oli harvennettu. Tiheimmässä puustossa niitä oli 10 % ja harvimmassa 30 %, mutta varianssianalyysin perusteella tiheysluokkien erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (n = 32, f = 1,3, p = 0,30). Lievemmin, mutta kuitenkin selvästi harsuuntunut latvus oli noin joka toisella puulla tiheydestä riippumatta. Yllättäen tuuheiden ja tiheydeltään normaalien latvusten osuus näytti lisääntyvän puuston tihtyessä, mutta nytkään erot eivät olleet merkitseviä (n = 32, f = 1,4, p = 0,25). Tässä yhteydessä on myös huomattava, että tiheässä koivikossa latvukset olivat pienempiä ja useammin tupsumaisia kuin voimakkaasti harvennetuissa, joissa



Kuva 4. Latvusten kunto mittarituhon jälkeen rauduskoivun harvennuskokeessa ja viereisessä hieskoivikossa Noormarkun Torajärvellä kesäkuussa 2000.



Kuva 5. Elossa olevan latvusosan tuuheus mittarituhon jälkeen rauduskoivun harvennuskokeessa ja viereisessä hieskoivikossa Noormarkun Torajärvellä kesäkuussa 2000. Latvuksen kokoa ei tässä luokituksessa huomioitu lainkaan.

puolestaan kookkaammat latvukset olivat useammin pahasti harsuuntuneita. Luontaisessa hieskoivikossa lievemmin harsuuntuneita puita oli 33% ja pahasti harsuja vain 10%. Kuolleita tai kuolevia koivuja siellä ei ollut lainkaan.

Vuodesta 2000 vuoteen 2002 kuolleiden puiden osuus oli lisääntynyt harvennusvoimakkuudesta riippumatta 2–5%-yksiköllä ja kuolemaisillaan olevien osuus 10%-yksiköllä. Tupsulatvaisten ja runsaasti kuivia oksia sisältävien latvusten osuus oli ennaltaan, mutta latvuksen yläosasta terveen näköisten puiden osuus oli pienentynyt. Täysin toipuneita puita ei havaittu. Tarkasteltaessa vain elävän latvuksen tuuhteutta sen koosta riippumatta havaittiin, että lähes kuolleiden latvusten osuus oli lisääntynyt ja vastaavasti harsuuntuneiden ja pahasti harsuuntu-

neiden osuus oli vähentynyt. Toipumisen sijasta noin 30% koivuista oli kahden vuoden aikana siirtynyt kuntoluokituksessa alaspäin.

3.2.2 Raudus- ja hieskoivujen muodostama sekoikoivikko Maajärvellä

Saneeratuilla koaloilla hieskoivun osuus lähtöpuustossa oli hieman suurempi kuin käsittelemättömillä koaloilla. Saneerauksen jälkeen hieskoivuja oli 57% runkoluvusta ja 48% tilavuudesta (taulukko 9). Muutos puulajien osuuksissa viittaa siihen, että hieskoivut ovat säilyttäneet elinvoimansa mittarituhossa paremmin kuin rauduskoivut. Saneerauksessa kasvatuskelvottomiksi todettiin 43% runkoluvusta

Taulukko 9. Raudus- ja hieskoivujen vertailu mittarituhon jälkeen perustetussa saneerauskokeessa Noormarkun Maajärvellä.

	Runkoluku, kpl/ha	Pohjapinta- ala, m ² /ha	Keskiläpi- mitta, cm	Keski- pituus, m	Latvus- suhde, %*	Runko- tilavuus, m ³ /ha
Ei saneerausta (koealat 2 ja 4)						
Kokonaispuusto	575	12.6	16.6	18.3	40%	112
Rauduskoivut	355	8.4	17.1	19.2	37%	77
Hieskoivut	220	4.3	15.5	16.8	46%	35
Ennen saneerausta (koealat 1 ja 3)						
Kokonaispuusto	590	12.3	15.9	17.6		105
Rauduskoivut	305	7.2	17.0	18.2		63
Hieskoivut	285	5.1	14.8	16.8		42
Saneerauksen jälkeen						
Jäävä puusto	335	8.0	17.0	18.2	48%	69
Rauduskoivut	145	4.1	18.6	19.2	51%	36
Hieskoivut	190	3.9	15.8	17.3	46%	33
Poistuma						
Kokonaispoistuma	255	4.3	14.4	16.7		36
Rauduskoivut	160	3.1	15.5	17.3		27
Hieskoivut	95	1.2	12.6	15.8		9
Hieskoivujen suhteellinen arvo, kun kokonaispuusto = 100						
Lähtöpuusto	48	41	93	96		40
Jäävä puusto	57	49	93	95	95	48
Poistuma	37	28	87	94		26

* Mitattu korkeusmittarilla

molemmilla puulajeilla. Kuolleet tai kehityskelvottomat hieskoivut olivat enimmäkseen pieniä ja alle jääneitä puita, mutta poistettavissa rauduskoivuissa oli kaiken kokoisia, myös metsikön suurimpia puita. Hieskoivujen elävä latvus alkoi keskimäärin 9 metrin korkeudelta ja rauduskoivujen 12 metristä. Elävän latvuksen osuus puun pituudesta oli säilynyt hieskoivuilla suurempana kuin rauduskoivuilla.

Silmävaraisen kuntoluokituksen perusteella lähes puolet (43 %) metsikön hieskoivuista kuului ryhmään, jossa elävän latvuksen koko oli lähes normaali, mutta sisälsi runsaasti kuivia oksia (taulukko 10). Rauduskoivuista tällaisia oli alle neljännes. Vastaavasti rauduskoivuissa oli enemmän kuolleita tai kuolemaisillaan olevia puita (27 %) samoin kuin sellaisia, joissa oli vain pieni latvatupsu elossa (26 %). Hieskoivuista kuolemaisillaan oli 5 % ja jo kuolleita puita 13 %.

Logistista regressioanalyysiä varten yhdisteltiin edellä kuvatut latvuksen kuntoluokat seuraavasti: 0 = kuolleet tai kuolevat puut, 1 = alaosastaan supis-

tuneet latvukset, 2 = harsuuntuneet latvukset. Terveen tai toipuneen näköisistä puista muodostettiin myös oma luokkansa, mutta siihen kuului vain yksi rauduskoivu ja 16 hieskoivua, joiden esiintyminen ei riippunut puun koosta. Viimeinen ryhmä jätettiin pois analyysistä. Tuhon ilmiänsä kuvaava vastemuuttuja oli näin ollen 3-luokkainen eikä luokkia 1 ja 2 voida asettaa tuhon vakavuuden perusteella järjestykseen. Havaintojen lukumäärä oli 216 eikä koealoja eroteltu, koska niiden erot olivat vähäisiä ennen saneeraushakkuuta.

Muuttujien välisten riippuvuuksien graafisen tarkastelun, mallin kertoimien merkitsevyyden ($p > 0,05$) ja residuaalitarkastelun avulla päädyttiin malliin, jossa selittäjinä olivat puulaji ja läpimitan käänteisluku (1/d). Selittäjien yhdysvaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Malli koostuu kahdesta lineaarisesta osamallista, joissa kummassakin selitettävänä on kahden luokan frekvenssien välisen suhteen logaritmi (taulukko 11). Luokkia 0 ja 2 vertailevan osamallin kaikki kertoimet olivat erittäin

Taulukko 10. Latvusten kuntoluokkien osuudet raudus- ja hieskoivujen runkoluvusta mittarituhon jälkeen toukokuun lopussa 2002 Noormarkun Maajärvellä.

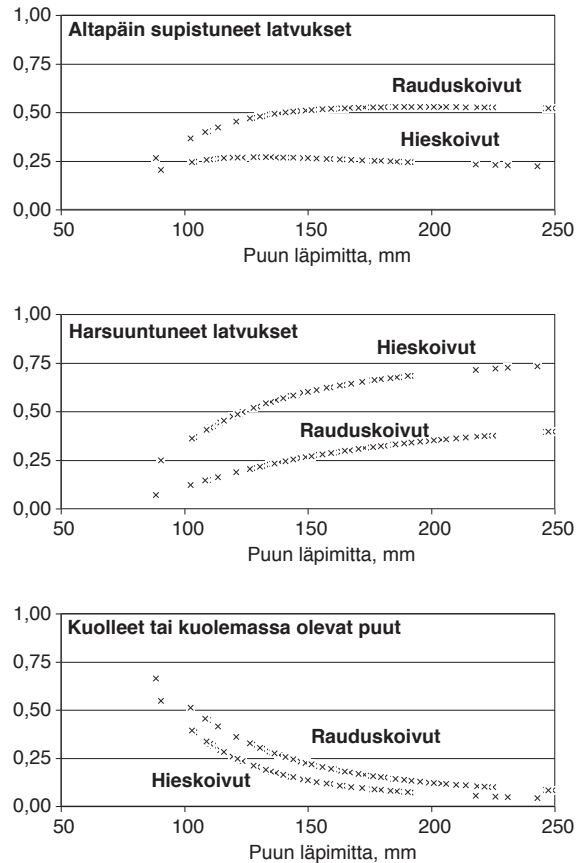
Kuntoluokka	Rauduskoivu	Hieskoivu
Koko latvuksen kunto		
Terve tai toipunut puu	2%	18%
Latvuksen yläosa lähes terve, alaosa supistunut	23%	7%
Runsas kuivia oksia kaikkialla	23%	43%
Latvatusu elossa	26%	14%
Kuolemaisillaan	12%	5%
Lehdetön tai kuollut	15%	13%
	100%	100%
Elossa olevan latvuksen tuuheus		
Tuuhea	9%	4%
Normaali	21%	16%
Lievästi harsuuntunut	22%	29%
Selvästi harsuuntunut	20%	30%
Pahasti harsuuntunut	8%	7%
Lähes kuollut	4%	1%
Kuollut	15%	13%
	100%	100%

Taulukko 11. Koivujen mittarituhon kuvaavan mallin $\ln[p(i)/p(j)] = a + b*(1/d) + c$ ($c =$ rauduskoivu-dummy) parametrit Noormarkun Maajärvellä. Ensimmäinen malli esittää kuolleiden tai kuolevien puiden (= 0) frekvenssin suhdetta harsuuntuneiden puiden (= 2) frekvenssiin ja toinen malli supistuneen latvuksen puiden (= 1) frekvenssin suhdetta harsuuntuneiden puiden frekvenssiin.

Selitettävä	Selittäjä	Kerroin	Keskihajonta	p-arvo
$\ln[f(0)/f(2)]$	Vakio	$a = -4,97$	1,22	0,000
	$1/d$	$b = 521$	161	0,001
	Rauduskoivu	$c = 1,31$	0,45	0,003
$\ln[f(1)/f(2)]$	Vakio	$a = -1,78$	0,98	0,71
	$1/d$	$b = 143$	139	0,30
	Rauduskoivu	$c = 1,47$	0,35	0,00

merkitseviä, mutta luokkien 1 ja 2 vertailussa läpimitan kerroin ei ollut merkitsevä. Mallin sopivuus aineistoon oli hyvä (lack of fit -testi: $p = 0,47$).

Malleista laskettiin kunkin luokan todennäköisyyden riippuvuus läpimitasta koivulajeittain (kuva 6). Koivun kuolemistodennäköisyys väheni selvästi siirryttäessä pienistä puista suurempiin. Latvusten supistumisen todennäköisyys alhaalta päin oli hieskoivuilla 25 % läpimitasta riippumatta, mutta rau-



Kuva 6. Mallilla laskettu eri kokoisten raudus- ja hieskoivujen todennäköisyys kuulla kolmeen erilaiseen kuntoluokkaan mittarituhon seurauksena Noormarkun Maajärvellä keväällä 2002. Malli ei sisällä 16 % osuutta hieskoivuista, jotka luokiteltiin terveiksi ja jakautuivat tasaisesti eri läpimittoihin.

duskoivuilla vastaava todennäköisyys oli yli 50%. Harsuuntuminen puolestaan yleistyi läpimitan kohotessa ja oli selvästi tyypillisempää hieskoivuilla kuin rauduskoivuilla.

Vertailu havaintoaineistoon (residuaalit) osoitti, että malli selitti hyvin koivulajien eron lukuunottamatta puiden kuolemista. Läpimitalla ja puulajilla näytti olevan kuolleiden ja kuolevien puiden osalta yhdysvaikutusta siten, että keskikokoiset rauduskoivut kärsivät mittarituhosta herkemmin kuin samankokoiset hieskoivut, mutta pienimmillä ja suurimmilla puilla ei ollut eroa. Yhdysvaikutustermi ei tullut kuitenkaan mallissa merkitseväksi.

Pienillä ja keskikokoisilla koivuilla malli selitti melko hyvin latvuksen supistumista ja harsuuntumista, mutta suurimpien puiden latvukset näyttivät todellisuudessa supistuvan mallilla laskettua yleisemmin ja harsuuntuvan harvemmin. Virhe saattoi tosin johtua siitä, että metsikön suurimmat puut olivat useammin rauduskoivuja.

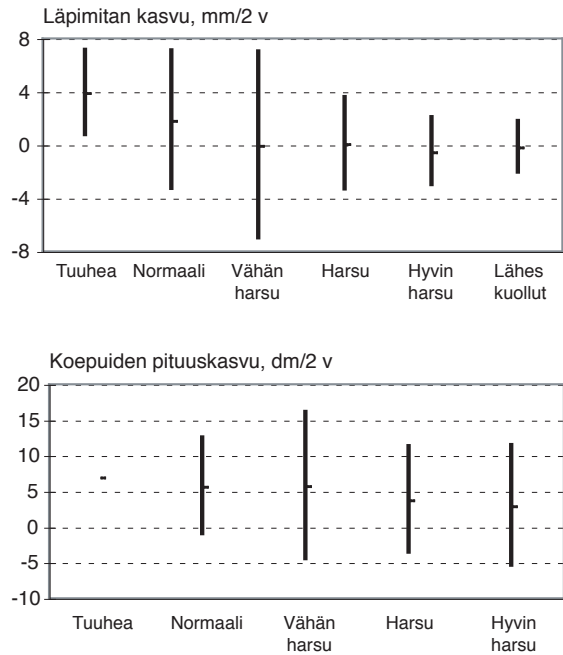
3.3 Istutettujen rauduskoivujen kasvu

Koivun harvennuskokeessa tilavuuskasvu oli jaksolla 1990–92 tiheydessä 600 kpl/ha keskimäärin 7,5 m³/ha/v ja tiheydessä 1200 kpl/ha vastaavasti 10,8 m³/ha/v. Jaksolla 1993–99 vastaavat kasvut olivat 6,0 ja 7,5 m³/ha/v. Kaikkien puiden keskimääräinen läpimitan kasvu oli tällä seitsemän vuoden jaksolla 2,0 cm, mutta siihen sisältyvät vuodet 1998–99, joiden aikana lähes lehdettömien koivujen kasvu voidaan olettaa hyvin vähäiseksi. Tällä perusteella koivujen läpimitta kasvoi ennen mittarituhoa keskimäärin 4 mm vuodessa.

Kasvun elpymistä mittarituhon jälkeen tutkittiin vertaamalla kevään 2000 ja 2002 läpimittoja toisiinsa. Valtaosalla puista läpimitan kasvua ei voitu havaita lainkaan. Puut joiden latvus näytti yläosastaan terveeltä olivat kasvaneet keskimäärin 1 mm vuodessa, mutta mittausvirheistä johtuvan hajonnan (sd = 7 mm) vuoksi tulos ei poikennut merkitsevästi nollassa. Elävän latvuksen osalta ”tuuheiksi” luokitellut puut (6 % runkoluvusta) kasvoivat keskimäärin 2 mm vuodessa muodostaen ainoan ryhmän, jonka kasvu poikkesi tilastollisesti merkitsevästi nollassa (kuva 7). Elävän latvuksen osalta ”normaalit” puut (21 % runkoluvusta) kasvoivat keskimäärin 1 mm vuodessa.

Koaloittain tarkasteltuna havaittiin, että läpimitan kasvu oli keskimäärin suurempi puustoltaan tiheillä koaloilla kuin voimakkaasti harvennetuilla. Tulos on yhdensuuntainen latvusten kunnosta eri tiheyksissä tehtyjen havaintojen kanssa. Toisaalta havaittiin, että kumpareella sijaitsevan kokeen länsi- ja luoteisreunassa läpimitan kasvu oli selvästi parempi kuin alueen itä- ja koillisreunassa. Kokeen eteläpuoliskoa ei tällöin mitattu.

Pituuskasvut jaksolla 2000–01 mitattiin yhteensä sadasta koepuusta yhdeksältä eri koelalta. Kahden vuoden pituuskasvu oli keskimäärin 4,2 dm. Kah-



Kuva 7. Rauduskoivujen elävän latvuksen tuuheuden vaikutus a) läpimitan kasvuun (450 puuta kahdeksallatoista koelalla) ja b) pituuskasvuun (100 koepuuta yhdeksällä koelalla) mittarituhon jälkeen vuosina 2000–2001. Kuvasa on esitetty puiden keskiarvot ja keskihajonnat elävän latvuksen tuuheuden mukaisissa luokissa.

della koelalla yhdeksästä pituuskasvu ei poikennut nollassa. Harvennusvoimakkuudella tai latvuksen kuntoluokalla ei ollut vaikutusta koivujen pituuskasvuun. Sen sijaan elävän latvuksen harsuuntuneisuus näytti lievästi alentavan puun pituuskasvua (kuva 7).

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Mittarituhon vaikutus koivikoiden karikesatoon

Karikesuppiloiden avulla voidaan mitata hyönteisten määrää ja niiden lehtibiomassan kulutusta. Mittaus voi perustua suoraan karikekeräimiin varisseiden lehtien ja hyönteisten määrään tai lehtibiomassan syönti lasketaan välillisesti hyönteisten aikaansaa-

man papanatuoton perusteella (esim. Mathavan ja Pandian 1974, Furuno ja Saito 1981, ks. myös Larsson ja Tenow 1980, Tenow ja Larsson 1987). Havupuilla papanatuottoon perustuva menetelmä on käyttökelpoinen, koska neulasten korkean kuitu- ja pihkapitoisuuden vuoksi papanat ovat säänkestäviä ja hajoavat hitaasti (Niemelä 1995). Tässä tutkimuksessa papanoiden määrä karikesuppiloissa oli pienempi kuin hyönteisten tuottama todellinen ulostemäärä, koska lehtipuilla elävien hyönteisten papanat hajoavat herkästi ja osittain liukenevat sateessa. Määrällisestä epäluotettavuudestaan huolimatta papanamenetelmällä saadaan hyvä kuva mittarituhon ajoittumisesta ja syönnin suhteellisesta vaihtelusta vuosittain.

Mittariperhosten tai niiden toukkien määrää ei voitu arvioida suoraan karikkeesta, koska ne pysyvät välttelemään keräimiä ja sinne joutuessaankin poistuvat sieltä nopeasti. Arviot mittarituhon voimakkuudesta onkin tässä yhteydessä tehtävä tarkastelemalla varisseiden lehtien määrää ja syöntiastetta sekä muutoksia karikkeen kokonaismäärässä ja sen ositteiden määräsuhteisissa.

Noormarkussa tutkituissa koivikoissa lumi- ja hallamittarien esiintyminen ajoittui vuosille 1997–2000. Vakavat tuhovuodet olivat 1998 ja 1999, jolloin toukat söivät istutetussa rauduskoivikossa suurimman osan lehdistä ja luontaisesti syntyneessä hieskoivikossakin merkittävän osan. Puiden kunto ja kasvumittaukset täsmäsivät hyvin karikehavaintojen kanssa. Karikesato mitattiin kummassakin metsikössä kymmenellä karikesuppilolla, joiden yhteispinta-ala oli 0,5 m². Suppiloiden välisestä hajonnasta päätellen mittaus oli riittävän luotettava vuotuisten erojen tutkimiseen lukuunottamatta oksien määrää karikkeessa. Molemmista koivikoista mitatut oksakarikkeen määrät ovat mitä ilmeisimmin aliarvioita, koska isommat oksat eivät mahdu pienikokoisiin suppiloihin. Tässä tutkimuksessa oksat muodostivat 5 % kokonaiskarikkeen määrästä, kun Viron (1955) aineistossa niiden osuus oli 12 %.

Mittarituhon ajoittui toukkien ulosteiden perusteella samalla tavalla luontaisessa hieskoivikossa ja istutetussa rauduskoivikossa. Rauduskoivikossa tuho oli selvästi rajumpi ja näkyi mm. karikkeen kokonaismäärän vähentymisenä vuodesta 1998 lähtien. Hieskoivikossa näin ei tapahtunut, vaan varisseiden lehtien lukumäärä jopa lisääntyi mittarituhon aikana.

Tuhon jälkeen vuonna 2000 myös lehtien kuivamassa näytti lisääntyvän lähes merkitsevästi hieskoivikossa. Rauduskoivikossa ehjien lehtien osuus laski selvästi jo ensimmäisenä lievänä tuhovuotena 1997. Seuraavana vuonna varisseiden lehtien lukumäärä oli vielä normaali, mutta osittain tai kokonaan syötyjen osuus lisääntyi ja lehtien kuivamassa jäi puoleen normaalista. Kolmantena ja neljäntenä vuonna lehtien lukumäärä edelleen laski, vaikka ehjien lehtien osuus oli jo kohoamassa. Lehtien kuivamassa ei elpynyt vielä viidentenäköön vuotena.

Ennen mittaritoukkien aiheuttamia vahinkoja lehtikarikkeen ja kokonaiskarikkeen määrä oli rauduskoivikossa jokseenkin samaa suuruusluokkaa tai hieman suurempi kuin muissa Etelä-Suomessa tehdyissä koivukarikkeen mittauksissa (esim. Aaltonen 1948, Viro 1955). Sen sijaan hieskoivikon lehtikarikesato ja varsinkin kokonaiskarikesato olivat määrältään suurempia kuin monissa muissa pohjoismaisissa koivun kariketutkimuksissa (vrt. Knudsen ja Mauritz-Hansson 1939, Mork 1942, Aaltonen 1948, Viro 1955, Hytteborn 1975). Noormarkun hieskoivikossa lehtien osuus karikkeen kokonaismäärästä oli 71 % eli täsmälleen sama kuin Viron (1955) tutkimuksessa.

Kahtena pahimpana tuhovuonna toukkien ulosteiden määrä rauduskoivikossa (yli 200 kg/ha) oli kaksinkertainen hieskoivikkoon verrattuna. Tulos perustuu vain yhteen arvottuun suppiloon metsikköä kohden. Valituissa suppiloissa oli papanat sisältävää tarkemmin lajittelematonta kariketta rauduskoivikossa suppiloiden keskiarvoa niukemmin ja hieskoivikossa puolestaan keskimääräistä runsaammin, mutta silmävaraisesti niiden koostumus ei näyttänyt eroavan saman metsikön suppiloiden välillä. Oletus, että papanoiden suhteellinen osuus tässä karikeositteessa pysyy samana suppilosta toiseen oli siis perusteltu. Molemmilla puolajilla seulontatähteen ja muun lajittelemattoman karikkeen määrät lisääntyivät 2–3-kertaisiksi mittarituhon vaikutuksesta, mutta hajonneiden toukanpapanoiden osuutta niissä ei voitu määrittää. Hieskoivun ja rauduskoivun lehtien mahdollisesta sulavuuserosta mittaritoukkien ravintona ja sen vaikutuksesta papanoiden määrään ei voitu tässä tutkimuksessa tehdä päätelmiä. Tunturimittarin toukkien kasvussa ja menestymisessä tunturikoivuilla on todettu paitsi puiden välisiä eroja myös eroja samankin puuyksilön eri lehtien välillä

riippuen kasvupaikasta ja sijainnista oksassa ja latvuksessa (Suomela ym. 1995).

Kokonaisuutena mittarituhon vaikutus hieskoivikon karikesatoon jäi melko vähäiseksi. Se näkyi hieskoivikossa lähinnä hyönteisten ja niiden jäänteiden, seulentähteen sekä muun tarkemmin lajittelemattoman karikkeen lisäyksenä. Papanamäärästä, lehtiruodeista ja rikkonaisista lehdistä päätellen syönti oli hieskoivikossakin merkittävä mutta ei kuitenkaan yhtä raju kuin rauduskoivikossa. Tikkanen (2000) totesi kasvatuskokeissa hallamittarin ensimmäisen asteen toukkien kuolleisuuden alhaisemmaksi rauduskoivulla kuin hieskoivulla. Polyfagisuudesta huolimatta hallamittarin nuorten toukkien menestymiselle on tärkeää toukkien kuoriutumisen ja lehtien silmuista puhkeamisen synkronisuus. Hies- ja rauduskoivun mahdolliset alttiuserot lumimittarituhon saattavat osittain johtua eroista puiden fenologiassa. Lehtien lukumäärän kohoaminen viittasi hieskoivulla siihen, että leposilmuista puhkesi uusia lehtiä enemmän kuin rauduskoivulla. Tulosta tukee se, että hieskoivun kompensatiokasvu herbivorituhon jälkeen on todettu voimakkaaksi (Hjältén ja Danell 1993) ja vesatuotto on runsaampi kuin rauduskoivulla (esim. Mikola 1942).

Toukkien joukkoesiintyminen ei vähentänyt käytännöllisesti katsoen lainkaan hieskoivun siemensatoa. Vuonna 1999 mitattu heikko siemensato ei todennäköisesti ollut mittaritoukkien aikaansaannosta, sillä kyseisenä vuonna koivun kukinta oli hyvin heikkoa kaikkialla Etelä-Suomessa (Hokkanen 2001). Sen sijaan rauduskoivikossa mittarituhon heikensi merkittävästi siemensatoa. Näin tapahtui varsinkin kesällä 2000, jolloin hieskoivikon siemensato oli peräti 60 kertaa suurempi kuin rauduskoivikon.

Siemenvuosien kertautumisesta saadut tulokset tukivat aikaisempia arvioita (Koski ja Tallqvist 1978), joiden mukaan hieskoivulla esiintyy runsaita siemensatoja jokseenkin joka toinen vuosi. Molemmissa koivikoissa keskimääräinen vuotuinen siemensato oli selvästi alhaisempi kuin 1950–1970-luvuilla tehdyissä mittauksissa, joiden mukaan rauduskoivun keskimääräinen metsikkökohtainen siemensato oli 85 kg/ha/v ja hieskoivun 118 kg/ha/v (Nieminen 1984). Vastoin yleistä käsitystä koivullakin voi esiintyä lähes täydellisiä siementen katovuosia. Tämän osoittavat Torajärven rauduskoivikossa vuosina 1982, 1984, 1988 ja 1999 tehdyt mittaukset, jolloin

koivikko ei tuottanut käytännöllisesti katsoen lainkaan siemeniä.

1960-luvun puolivälissä Lapissa tunturimittarit iskeytyivät koivikoiden ohella myös Enontekiöllä kasvaneeseen harmaalepikköön, jossa oli käynnissä karikesadon mittaus. Tuhojen seurauksena lehtikarikkeen määrä romahti murto-osaan aikaisemmasta. Karikesuppiloihin varisseiden hyönteisten määrä ei kuitenkaan lisääntynyt kovin merkittävästi massasiintymän huippuvaiheessa. Sen sijaan lehtiravinnon loputtua hyönteisten määrät romahtivat äkillisesti (Raulo ja Hokkanen 1989).

4.2 Mittarituhon vaikutus puiden kuntoon

Tunturikoivikoissa voimakkaat mittariesiintymät saattavat ajoittain johtaa puiden kuolemaan laajoilla alueilla (ks. Nuorteva 1963, Tenow 1972, 1996, Kallio ja Lehtonen 1973). Suotuisammassa oloissa koivikoiden mittarituhon seurauksista on niukasti tietoja kirjallisuudessa. Tämä viitannee siihen, että tuhot ovat olleet ohimeneviä ja johtaneet pysyvään heikentymiseen tai kuolemaan vain yksittäisten puiden kohdalla (Reuter 1909, Nordman 1958, Laasonen ja Laasonen 1987). Koivujen kuolemista ei ole raportoitu vakavienkaan lumimittarituhon yhteydessä, vaikka metsiköt syötiin lähes paljaiksi (Krogerus 1945, Hildén 1977, Annila ja Kurkela 1985).

Mihkelsonin (1967) mukaan Virossa 1964–1965 sattuneen lumimittariesiintymän yhteydessä paikoin 31–56 % koivuista kuoli. Pahimmalla alueella, Laiusen metsänhoitopiirissä, kuolleisuus kohosi paikoin peräti 60–80 %:iin, ja 19 hehtaaria jouduttiin hakkaamaan paljaaksi. Yleisimmin tuhoja esiintyi alueilla, joilla oli tehty kuivatustöitä. Ilmeisesti tämä yhdessä kesien 1964–1965 vähäsateisuuden kanssa heikensi koivuja, mutta paransi tuholaisien elinolosuhteita, johtaan näinkin vakaviin seurauksiin.

Noormarkun rauduskoivikon lumimittarituhon voidaan pitää Suomen oloissa poikkeuksellisen ankarana. Kahtena perättäisenä kesänä lähes lehdettömiksi syödyistä rauduskoivuista kuitenkin noin 60 % näyttää selviytyvän elossa elleivät seurannaistuhot muuta tilannetta. Kuolleet tai kuolemassa olevat koivut ovat enimmäkseen metsikön pienimpiä ja ennestään ylitiheydestä kärsineitä puita. Puuston

kasvattaminen harvana ei näytä auttavan mittarituhon torjunnassa ainakaan rauduskoivikossa eikä se myöskään edistä selvästi puuston toipumista. Tiheä puusto saattaa päin vastoin lieventää yksittäisten puiden tuhoa, jos saman toukkamäärän syönti kohdistuu useampiin puihin. Voimakkaasti harvennetuilla koaloilla latvukset eivät kuitenkaan lyhentyneet yhtä herkästi kuin tiheämmillä, mutta toisaalta ne olivat tuhon jälkeen hyvin harsuja. Vasta myöhemmin nähdään toipuvatko ne ja kuinka kauan toipuminen kestää. Harvennuskäsittelyt oli toistettu kokeessa neljästi, mikä lisää tulosten luotettavuutta. Toisaalta koalat olivat pieniä 20×20 metrin ruutuja ja vaippavyöhykkeiden puuttuessa naapurikoalojen reunavaikutus on ilmeinen.

Luontainen hieskoivikko näyttää selviytyvän mittarituhosta selvästi vähemmin vaurioin kuin istutettu rauduskoivikko. Myös toipuminen tuhon jälkeen oli hieskoivikossa selvästi nopeampaa. Luontaisesti syntyneessä raudus- ja hieskoivun muodostamassa sekametsässä rauduskoivujen latvukset supistuivat herkemmin tupsumaiseksi ja puut kuolivat herkemmin kuin keskimäärin pienemmät hieskoivut. Hieskoivuille oli tyypillisempää latvuksen harsuuntuminen ja kuivien oksien runsas esiintyminen kaikkialla elävässä latvuksessa.

Koivulajien tuhoalttiuden vertailu metsiköittäin oli hyvin epävarmaa, koska samalla vaihtuivat myös sijainti, kasvupaikka ja syntytapa, jotka kaikki voivat vaikuttaa tuhoalttiuteen. Samassa metsikössä tehdyt havainnot antavat selvästi luotettavamman kuvan koivulajien erosta, varsinkin kun pienikokoisempi hieskoivu näyttää selviytyvän paremmin ja karkehavainnot tukevat saatua tulosta.

Etenkin istutetussa rauduskoivikossa puiden ja niiden latvusten toipuminen on vasta alussa, joten mittarituhon aiheuttaman kasvutappion lopullista määrää ja kestoa ei voida vielä arvioida. Tuhon jälkeisinä vuosina 2000 ja 2001 latvusten kunto päinvastoin heikkeni noin 30 prosentilla rauduskoivuisista. Koivujen pituuskasvu näyttää kuitenkin elyvän läpimitan kasvua nopeammin, mikä mahdollistaa latvusten hitaan elpymisen. Varttuneilla koivuilla pituuskasvun latvusta kasvattava vaikutus on kuitenkin hyvin rajallinen.

Pahasti kärsineessä rauduskoivikossa merkittävää tilavuuskasvun elpymistä saadaan vielä odottaa useita vuosia ja kuolevien puiden osuus näyttää

kohoavan ainakin kolmannekseen runkoluvusta ja neljännekseen tilavuudesta. Luontaisesti syntyneen raudus- ja hieskoivun muodostaman sekametsän saneeraushakkuussa todettiin kehityskelvottomiksi 43 % runkoluvusta ja 33 % tilavuudesta. Luontaisessa hieskoivikossa kasvutappio jäänee pieneksi ja nopeasti ohimeneväksi.

Metsiköittäin koivuja ei näytä lumimittarituhon vaikutuksesta kuolevan tai niin tapahtuu ainakin hyvin harvoin. Poikkeuksellinen kuivuus saattaa pahentaa tuhojen vaikutuksia. Kuolevat puut ovat useimmiten metsikön pienimpiä, alempien latvuserosten puita. Suurempi taloudellinen vahinko näyttäisi syntyvän vasta ajan myötä, kun harsuuntuneiden koivujen kasvu on vähentynyt ja toipuminen hidasta. Heikentyneiden koivujen runkoihin mahdollisesti syntyviä väri- tai lahovikoja ei tutkittu.

Edellä käsitelty lumi- ja hallamittarin joukkoesiintymä vuosina 1997–2000 oli oloissamme verrattain voimakas. Siitä metsätaloudelle aiheutuneet vahingot jäivät kuitenkin ilmeisen pieniksi, koska tuhot keskittyivät useimmiten taloudellisesti vähäarvoisiin lehtipuuvaltaisiin rantametsiin. Sen sijaan metsien maisema- ja virkistysarvon kannalta vahingot saattoivat olla paikallisesti merkittäviä. Metsätalouden mittakaavassa toimivia torjuntakeinoja ei lumi- ja hallamittareita vastaan ole käytetty.

Kirjallisuus

- Aaltonen, V.T. 1948. *Boden und Wald*. Paul Parey, Berlin-Hamburg. 457 s.
- Annala, E. & Kurkela, T. 1985. Metsätuhot vuonna 1984. *Kasvinsuojelulehti* 18: 56–59.
- Clayhills, T.H. 1929. Bidrag till kännedomen om macrolepidopterfaunan på Runsala (Regio Aboensis) I. *Notulae Entomologicae* 9: 27–33, 87–100.
- Edland, T. 1971. Wind dispersal of the winter moth larvae *Operophtera brumata* L. (Lep., Geometridae) and its relevance to control measures. *Norsk Entomologisk Tidsskrift* 18: 103–105.
- Furuno, T. & Saito, H. 1981. Seasonal variations of litter fall and primary consumption by herbivorous insects in *Quercus serrata* stands in Kyoto. *Bulletin of the Kyoto University Forests* 53: 52–64.

- Haukioja, E. 1980. On the role of plant defences in the fluctuation of herbivore populations. *Oikos* 35: 202–213.
- & Niemelä, P. 1976. Does birch defend itself actively against herbivores? Reports from Kevo Subarctic Research Station 13: 44–47.
- , Neuvonen, S., Hanhimäki, S. & Niemelä, P. 1988. The autumnal moth in Fennoscandia. Julkaisussa: Berryman, A.A. (ed.), Dynamics of forest insect populations. Plenum Press, New York. s. 163–178.
- , Ruohomäki, K., Suomela, J. & Vuorisalo, T. 1991. Nutritional quality as a defence against herbivores. *Forest Ecology and Management* 39: 237–245.
- Heinonen, J. 1994. Koalojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. 80 s.
- Hildén, O. 1977. Toukkien massaesiintymän vaikutuksesta lintujen pesintään. *Ornis Fennica* 54: 36–37.
- Hjältén, J. & Danell, K. 1993. Effects of simulated herbivory and intraspecific competition on the compensatory ability of birches. *Ecology* 74(4): 1136–1142.
- Hokkanen, T. 2001. Siemenet ja siemensato. Julkaisussa: Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saarinen, M. (toim.), Onnistunut metsänuudistaminen. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 69–79.
- Hytteborn, H. 1975. Deciduous woodland at Andersby, Eastern Sweden. Above-ground tree and shrub production. *Acta Phytogeographica Suecica* 61. 104 s.
- Kaitaniemi, P. & Ruohomäki, K. 2001. Sources of variability in plant resistance against insects: free caterpillars show strongest effects. *Oikos* 95: 461–470.
- , Ruohomäki, K., Tammaru, T. & Haukioja, E. 1999. Induced resistance of host tree foliage during and after a natural insect outbreak. *Journal of Animal Ecology* 68: 382–389.
- Kallio, P. & Lehtonen, J. 1973. Birch forest damage caused by *Oporinia autumnata* (Bkh.) in 1965–66 in Utsjoki, N Finland. Reports from Kevo Subarctic Research Station 10: 55–69.
- Kause, A., Ossipov, V., Haukioja, E., Lempa, K., Hanhimäki, S. & Ossipova, S. 1999. Multiplicity of biochemical factors determining quality of growing birch leaves. *Oecologia* 120: 102–112.
- Knudsen, F. & Mauritz-Hansson, H. 1939. Om produktionen av lövförna och dennas sammansättning i ett mellansvenskt björkbestånd. *Svenska Skogsvårdsförenings Tidskrift* 37: 339–347.
- Koski, V. & Tallqvist, R. 1978. Tuloksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon määrän mittauksista metsäpuilla. Summary: Results of long-time measurements of the quantity of flowering and seed crop of forest trees. *Folia Forestalia* 36. 60 s.
- Krogerus, H. 1945. Die Veränderungen der Schmetterlingsfauna des Lojo-Gebietes in Südwestfinland während der letzten Jahrzehnte. *Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica* 65: 1–52.
- Laasonen, E.J. & Laasonen, L. 1987. Birch defoliation caused by larvae of *Operophtera fagata* (Lepidoptera, Geometridae) in Finland in the years 1982–1985. *Notulae Entomologicae* 67: 181–186.
- Larsson, S. & Tenow, O. 1980. Needle-eating insects and grazing dynamics in a mature Scots pine forest in Central Sweden. *Ecological Bulletin* 32: 269–306.
- Leinonen, R., Söderman, G., Lundsten, K.-E. & Grönholm, L. 1998. Valtakunnallisen yöperhosseurannan tulokset 1996. *Baptria* 23: 63–71.
- , Söderman, G. & Lundsten, K.-E. 1999. Valtakunnallisen yöperhosseurannan tulokset 1997. *Baptria* 24: 47–54.
- , Söderman, G. & Lundsten, K.-E. 2000. Valtakunnallisen yöperhosseurannan tulokset 1998. *Baptria* 25: 163–170.
- , Lundsten, K.-E., Söderman, G. & Tuominen-Roto, L. 2003. Valtakunnallisen yöperhosseurannan tulokset 1999. *Baptria* 28: 16–22.
- Mathavan, S. & Pandian, T.J. 1974. Use of faecal weights as an indicator of food consumption in some lepidopterans. *Oecologia (Berl.)* 15: 177–185.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 257. 237 s.
- Mihkelson, S. 1967. Metsä-külmaliblika viimane rüüste. *Eesti Loodus*, 10: 619–621.
- Mikkola, K. & Jalas, I. 1979. Suomen perhoset. Yökköset 2. Suomen Perhostutkijain Seura. 304 s.
- , Jalas, I. & Peltonen, O. 1985. Suomen perhoset. Mitarit 1. Suomen Perhostutkijain Seura. 260 s.
- Mikola, P. 1942. Koivun vesomisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. *Acta Forestalia Fennica* 50(3). 102 s.
- Mork, E. 1942. Om ströfallet i våre skoger. *Meddelelser fra det Norske Skogsforsøksvesen* 29: 297–365.
- Newbould, P.J. 1967. Methods for estimating the primary production of forests. *IBP Handbook No. 2. 2. painos*. Blackwell, Oxford-Edinburgh. 62 s.
- Niemelä, P. 1995. Hyönteisten esiintyminen papanatuoton perusteella. Julkaisussa: Tikkanen, E. (toim.). Kuolan saastepäästöt Lapin metsien rasitteena. Itä-Lapin metsä-

- vaurioprojektin loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö – Metsäntutkimuslaitos. s. 174–175.
- Nieminen, J. 1984. Metsäpuiden siemensato uudistamisen lähtökohdista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 129: 4–16.
- Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A. & Rokkonen, J. 2002. Torajärven metsäntutkimusalue. A. Ahlström Osakeyhtiö – Metsäntutkimuslaitos. Retkeilyopas. 20 s.
- Nordman, A.F. 1958. Några reflexioner om de ödesdigra verkningarna på växtligheten försakade av den svåra torkan sommaren 1955 i SW-Finlands skärgårdssområde. Memoranda Societatis pro Fauna et Flora Fennica 33: 7–13.
- Nuorteva, P. 1963. The influence of *Oporinia autumnata* (Bkh.) (Lep., Geometridae) on the timber-line in subarctic conditions. *Annales Entomologici Fennici* 29: 270–277.
- Raulo, J. & Hokkanen, T. 1989. Harmaa- ja tervalepän karikesato. Summary: Litter fall of *Alnus incana* and *Alnus glutinosa*. *Folia Forestalia* 738. 25 s.
- Reuter, E. 1909. Kertomus tuhohyönteisten esiintymisestä Suomessa vuonna 1906. Maanviljelyshallituksen tiedonantoja 64. 17 s.
- Ruohomäki, K., Haukioja, E., Repka, S. & Lehtilä, K. 1997. Leaf value: effects of damage to individual leaves on growth and reproduction of mountain birch shoots. *Ecology* 78: 2105–2117.
- Saarenmaa, H. & Jalkanen, R. 1981. Hallamittari kaluaa pohjoisen mustikkaa. *Metsälehti* 48. s. 9.
- Seppänen, E.J. 1954. Suomen suurperhostoukkien ravintokasvit. *Suomen eläimet* 8. 416 s.
- 1970. Suomen suurperhostoukkien ravintokasvit. *Suomen eläimet* 14. 179 s.
- Suomela, J., Kaitaniemi, P. & Nilson, A. 1995. Systematic within-tree variation in mountain birch leaf quality for a geometrid, *Epirrita autumnata*. *Ecological Entomology* 20: 283–292.
- Tapio 2001. Hyvän metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.
- Tenow, O. 1972. The outbreaks of *Oporinia autumnata* Bkh. and *Operophtera* spp. (Lep., Geometridae) in the Scandinavian mountain chain and northern Finland 1862–1968. *Zoologiska Bidrag från Uppsala, Supplement* 2: 1–107.
- 1996. Hazards to a mountain birch forest – Abisko in perspective. *Ecological Bulletins* 45: 104–114.
- & Larsson, S. 1987. Consumption by needle-eating insects on Scots pine in relation to season and stand age. *Holarctic Ecology* 10: 249–260.
- Tikkanen, O.-P. 2000. Adaptation of a generalist moth, *Operophtera brumata*, to host plants. University of Joensuu, PhD Dissertations in Biology 1. 106 s.
- Valle, K.J. 1946. Suurperhoset IV. Mittarit. *Suomen eläimet* 5. 370 s.
- Vappula, N.A. 1965. Pests of cultivated plants in Finland. *Acta Entomologica Fennica* 19. 239 s.
- Viro, P.J. 1955. Investigations on forest litter. Selostus: Metsäkariketutkimuksia. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 45(6). 65 s.
- Voolma, K. 1999. Kaskedel elab pool tuhat putukaliiki. *Eesti Loodus* 7: 273–274.

56 viitettä