

FOLIA FORESTALIA 706

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1987

OLAVI LAIHO

METSIKÖIDEN ALTTIUS TUULI-
TUHOLLE ETELÄ-SUOMESSA

SUSCEPTIBILITY OF FOREST STANDS TO
WINDTHROW IN SOUTHERN FINLAND



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyysönen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 706

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1987

Olavi Laiho

METSIKÖIDEN ALTTIUS TUULITUHOLLE ETELÄ-SUOMESSA Susceptibility of forest stands to windthrow in southern Finland

Approved on 18.12.1987

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO	4
21. Myrskytuulet ja myrskytuhot	4
22. Aarno-myrsky	6
23. Tutkimusalue	6
24. Inventointi ja mittaukset	7
25. Aineiston käsittely	8
3. TULOKSET	8
31. Tuhon määrä, luonne ja puulajisuhteet	8
32. Metsikkörakenne	11
33. Kasvupaikka	12
34. Topografia ja suoja	14
35. Metsikön käsittely	14
4. TULOSTEN TARKASTELU	17
5. YHTEENVETO	20
KIRJALLISUUS	21
SUMMARY	23

LAIHO, O. 1987. Metsiköiden alttius tuulituholle Etelä-Suomessa. Summary: Susceptibility of forest stands to windthrow in Southern Finland. *Folia Forestalia* 706. 24 p.

Marraskuun 16. päivänä 1978 kova lounaistuuli aiheutti 2,5 milj. m³:n puustotuhon läntisessä Suomessa. Keskeisellä tuhoalueella tehty linjoittainen inventointi (1513 relaskoopinäytealaa) osoitti tuhon olleen 2,3 m³/ha, 0,27 m²/ha ja 1,7 % pohjapinta-alasta. Koivu oli lehdettömänä eikä ollut arka tuholle, mäntyä kaatui suhteessa enemmän kuin kuusta. Arimpia olivat kuitenkin vanhat kuusikot. Mäillä ja kumpareilla oli eniten tuhoa, niiden välisissä suojaisissa notkelmissa vähiten. Varttuessaan metsiköt tulivat tuulelle aremmiksi. Arimpia olivat siemen- ja suojuspuustot sekä yli-ikäiset ja vajaapuustoiset metsiköt. Hakkuun jälkeen metsä, erityisesti uudistusalojen reunassa, oli hyvin arka tuulelle, mutta vahvistui vuosien myötä. Typpilannoitus lisäsi moneksi vuodeksi tuulituhoriskiä. Samanaikaisen harvennuksen ja lannoituksen seurauksena tuho nousi kuusinkertaiseksi hakkaamattomaan ja lannoittamattomaan vaihtoehtoon verrattuna.

On November 16th 1978, a southwesterly storm caused windthrow damage of around 2.5 million m³ in western Finland. A line inventory (1513 relascope plots) carried out through the centre of the damage area indicated that the windthrow damage was equivalent to 2.3 m³/ha, 0.27 m²/ha and 1.7 % of the basal area. Birch was not in leaf at the time and was not affected by windthrow. Scots pine suffered relatively more severely from windthrow than Norway spruce. However, old spruce stands were the most affected. As far as different types of terrain were concerned, the greatest amount of windthrow occurred on hills and hummocks, and the least in the depressions lying in between. As stands mature they become more susceptible to windthrow. The most susceptible were seed tree and shelterwood stands and over-aged and understocked stands. Following clear-cutting, the stands along the edges of reforestation areas especially were very susceptible to windthrow. However, this danger decreased as the years went by. Nitrogen fertilization increased the risk of windthrow for many years. In cases where thinning and fertilization had been carried out simultaneously, the susceptibility to windthrow increased to a level six times greater than that of unthinned and unfertilized stands.

Keywords: Windthrow, cuttings, fertilization, topography
ODC 181.23+421.1+111.5+237.4+24

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Station, SF-39700 Parkano, Finland.

1. JOHDANTO

Suomen lauhkea, mantereisuuden ja mereisyyden välimuotoa edustava ilmasto ei ole äärevä myöskään tuulien suhteen. Ne ovat voimakkuudeltaan hyvinkin kohtuullisia (Heino 1976, Solantie 1986) ja hirmumyrskyt puuttuvat kokonaan. Puuston muotoon ja kokoon tuulet vaikuttavat pahoin häiritsevästi vain ulkosaaristossa ja tuntureilla.

Toisin on Länsi-Euroopassa. Brittein saarilla tuuli on kaikessa metsänkasvatuksessa otettava vakavasti huomioon (Simpson 1967, MacKenzie 1976), samoin Manner-Euroopan länsirannikolla. Silti tapahtuu katastrofaalisia myrskytuhoja. Tanskassa niitä on joitakin vuosia sitten ollut kaksikin ja yhteensä niissä kaatui puuta 5,5 milj.m³ (Dansk... 1982) eli 14 % pystypuustosta. Myös Ruotsissa on ollut hirmumyrskyjä ja 37 milj.m³ vuosituho (Persson 1975).

Myrskytuhot eivät silti ole tuntemattomia Suomessakaan. Metsähallituksen tilastojen (Laitakari 1952) mukaan sattui vuosina 1911-50 Valtion metsissä suurtuhoja keskimäärin joka kolmas vuosi. Suurtuhoilla hän tarkoitti yli 100 000 tukkirungon kaatumismäärää. Koko metsäalamme suhteuttaen ja valtionmetsien pohjoisen sijainnin vuoksi suhteellisen vähäisen tuhoalttiuden (Laitakari 1952, Honkaranta 1976, vrt. Lapin ... 1982) huomioon ottaen se tarkoittaa hyvinkin suuruusluokkaa 500 000 m³ olevaa tuhoa.

Suurtuhoja on senkin jälkeen esiintynyt samassa tahdissa. Pahoja tuhovuosia ovat olleet mm. vuodet 1957, 1959, 1961, 1967, 1968, 1972, 1975, 1977, 1978, 1982, 1984 ja 1985 (suull. Kolhonen, Lauri, Tapiola-yhtiöt 1986). Tarkkaa tietoa näissä myrskyissä kaatuneesta puustosta ei ole, mutta kaksikymmentä miljoonaa kuutiometriä se selvästi ylittänee.

Myrskytuho merkitsee suurta ja moninaista vahinkoa. Keskenkasvuinen metsä tuhoutuu tai menee vajaapuustoiseksi. Järeiden puiden katkeillessa tukkiosuus menetetään kokonaan ja juurineenkin kaatuessa laatu alenee. Murrekkojen korjuu on vaarallista, kallista ja erityistä ammattitaitoa vaativaa. Hajanaista pientuhoa, josta kertyvä kokonaisuus on hyvinkin suuri, ei saada kokonaan eikä pilaantumatta korjatuksi. Vakuu-

tustilastojen mukaan myrskytuhot ovat ylivoimaisesti suurin korvausryhmä (Honkaranta 1976). Seuraustuhoina aiheutuu lahovikoja (Hintikka 1972) ja hyönteiskantojen lisääntymistä (Annala ja Petäistö 1978, Saarasmaa 1987).

Myrskytuhoja on meillä tutkittu suhteellisen niukasti (mm. Bonsdorff 1918, Heikinheimo 1927, Cajander 1934). Yleiskuva eri puulajien ja metsikkörakenteiden myrskyalttiudesta on kuitenkin saatu. Viime aikoina esiintyneiden suurten myrskytuhojen takia on herännyt vilkas keskustelu siitä, päteekö vanha tieto edelleen vai ovatko metsät tulleet alttiimmiksi myrskyille.

Metsänhoito onkin sitten em. tutkimusten suuresti muuttunut. Muutoksia ovat aiheuttaneet etenkin avohakkuut, auraus ja metsänviljely, voimakkaat alaharvennukset, metsäojitus, koneellinen korjuu runsaine palstateineen ja painuneine raiteineen sekä kasvatustaloudelliset. Monien näiden tekijöiden onkin eri olosuhteissa havaittu olevan myrskytuhoja lisääviä (Goss 1961, Neustein 1965, MacKenzie 1976, Wangler 1976, Cremer ym. 1977 jne.). Erityisen huomionarvoinen on Ruotsin v. 1969 suurтуhosta tehty tutkimus (Persson 1975). Sen mukaan myrskytuhoa lisäsivät erityisesti voimakkaat harvennukset, avohakkuut, siemen- ja suojuspuuasennot, lannoitus ja yli-ikäisyys. Meilläkin on alustavia tuloksia samansuuntaisista vaikutuksista (Koskinen 1982, Lapin ... 1982). Myös käytännön metsätaloudessa on runsaasti vastaavanlaisia kokemuksia.

Tässä tilanteessa myrskytuhotutkimusten tarve on meillä ilmeinen. Puiden myrskynkestävyyteen voidaan vaikuttaa (Laitakari 1929, Cajander 1934, Ylinen 1952) ja metsänhoidolliset menetelmät tarjoavat huomattavasti valinnanvaraa kunhan vain niiden hyvät ja huonot puolet riittävän hyvin tunnetaan. Yksi tärkeä valintoihin vaikuttava seikka on myrskytuhoriski.

Marraskuun 16. päivänä 1978 myllersi Länsi-Suomessa, myös Parkanon tutkimusaseman ympäristössä kova tuuli. Se kaatoi yhteensä 2,5 milj. m³ puuta. Tämä tuho antoi sekä aiheen että mahdollisuuden tutkia tuhojen esiintymistä erilaisissa metsiköissä. Työs-

tä on julkaistu alustava raportti (Laiho 1980), mutta tuulituhojen yhä keskeisemmän merkityksen vuoksi aineisto julkaistaan nyt täydellisempänä.

Tutkimus käynnistyi metsähallituksen Metsäntutkimuslaitokselle myöntämän yhteistutkimusrahoituksen avulla. Parkanon hoitoalue antoi käyttöön vastavalmistuneet metsätaloukset. Itä-Aureen ja Kurun toimintapiirien suunnittelijat Kalle Törmä ja Tapio Jokinen

antoivat tietoja hakkuista ja lannoituksista ynnä korjattua tuhopuustosta. Viimeksi mainitusta ja tuhon luonteesta saatiin tietoja myös aluemetsänhoitajilta Viljo Mattila, Tarmo Uusitalo ja Jorma Koivurinne. Inventoinnin teki työnjohtaja Juhani Ahonen. Aineiston käsittelyssä avusti tutkimusmestari Aulikki Hamari. Työn kirjoitti puhtaaksi toimistosihiteeri Tiina Luoto ja englanninkielisen tekstin käänsi John Derome, B. Sc. Käsitteilyä avusti professori Erkki Lähde, MMT Yrjö Norokorpi ja FL Reijo Solantie tehden siihen varteenotettuja korjausohjeita. Kiitän kaikkia edellä mainittuja arvokkaasta avusta.

2. AINEISTO

21. Myrskytuulet ja myrskytuhot

Tuulen mittauksessa on pääosin käytetty bofori-asteikkoa. Esim. 7 bof. tarkoittaa lujaa, puita heiluttavaa tuulta (nop. 23-28 solmua eli 11,7-14,2 m/s), 9 bof. puita katkovaa myrskyä (nop. 41-47 solmua eli 20,8-24,4 m/s) ja 12 bof. rakennuksia tuhoavaa hirmumyrskyä (nop. 64-71 solmua eli 32,7-36,0 m/s). Samoja tuulenopeuksia vastaavat metsävahingot eivät ole kuitenkaan kaikkialla samoja, vaan Suomen sisämaassa puita alkaa katketa runsaasti jo 7 boforin tuulessa.

Nykyisin käytetään enenevässä määrin yksikkönä m/s. Tuulennopeus on kovassa tuulessa vähintään 14 m/s, myrskyssä vähintään 21 m/s ja hirmumyrskyn rajana on 32 m/s. Näissä määritelmissä tuulennopeudella tarkoitetaan tuulen keskinopeutta vähintään 10 minuutin aikana. Esim. kovalla tuulella tuulennopeus puusissa ylittää tavallisesti 21 m/s.

Tuulennopeus mitataan anemometrillä, jollainen nykyisin on jo lähes kaikilla Ilmatieteen laitoksen havaintoasemilla (Heino 1976). Ilmastoasemia on eniten ja niillä tuulen mittaus tehdään lämpötilahavaintojen yhteydessä kolmesti päivässä. Muulloin esiintyvät tuulet ja myrskytkin jäävät havaitsematta. Lentosääasemilla ja observatorioissa on kuitenkin jatkuvasti rekisteröivät tuulipiirturit. Niillä saadaan myös tuulenpuuskien nopeus. Puuskanopeus on n. 1,7-kertainen 10 minuutin jakson keskinopeuteen verrattuna (Solantie 1983).

Tuulen voimakkuus vaihtelee huomattavasti maamme eri osissa (Heino 1976, taulukko 1). Tuulisinta on saaristossa. Mantereella on rannikolla ja tuntureilla selvästi tuulisempaa kuin muualla. Monilla sisämaan havaintoasemilla ei 11 mittausvuoden aikana todettu kuin muutama kovatuulinen päivä.

Myrskypäiviä on vain vajaat 5 prosenttia kovatuulisten päivien lukumäärästä, keskimäärin kahdeksan vuodessa. Monina vuosina niitä on vain muutama. Selvästi muita myrskyisempi on lähivuosista ollut v. 1975. Myrskytuulien alueellinen jakautuminen on samanlainen kuin kovatuulisten päivien, mutta vieläkin selvemmin saaristoon keskittyvä. Itse asiassa ei myrskytuulta taulukon 1 sisämaan asemilla viimeisenä 11 vuotena ole todettu lainkaan. Näin ollen puut eivät sisämaassa ole läheskään samassa määrin mukautuneet kestämään kovaa tuulia kuin saaristossa. Jo rannikollakin ovat puut ilmeisesti kestävämpiä tuulta vastaan kuin sisämaassa.

Vuodenajoittain tuulisuus myös vaihtelee suuresti (taulukko 2). Kovaa tuulia on eniten myöhäissyksystä varhaiskevääseen. Myrskyjä esiintyy lähes pelkästään ko. vuodenaikoina. Heikkotuulisinta on koko kesäkauden. Tuolloin esiintyy kyllä paljonkin ukkosmyrskyjä, mutta kestoltaan lyhytaikaisina ne eivät tule tilastoiduiksi myrskytuulina. Myrskytuhoja ne toki aiheuttavat paljonkin (Laitakari 1952).

Pahoja myrskytuhoja on maassamme vuosina 1975-1985 ollut seitsemän (Manta ... 1985, taulukko 3). Miljoonan kuutiometriä ylittäviä niistä oli neljä ja ne esiintyivät Laitakarin (1952) havaitsemalla tiheydellä, keskim. kolmen vuoden välein. Sen lisäksi esiintyi ”väli-vuosina” kolme hieman pienempää tuhoa. Tuulituhot eivät näin ollen ole ainakaan vähenemään päin. Keskimäärin näissä tapauksissa on menetetty vuosittain puuta yli miljoona m³. Sen lisäksi puuta on tuhoutunut lukuisina pieneninä huomattava mutta lähemmin tuntematon määrä.

Taulukon 3 esittelemät myrskytuhot sattuivat kaikki matalapaineiden yhteydessä. Eräät olivat pienialaisia, viimeisin kautta maan tuhoa aiheuttanut. Yhtä lukuunottamatta ne ajoittuivat syksyyn. Ukkosmyrskyistä ovat tunnetuimmat v:n 1961 elokuinen ”Maire” ja v:n 1972 myrsky.

Myrskyn virallinen nopeusraja ei ole viimeisten ”myrskyjemme” yhteydessä ylittynyt. Ukkosmyrskyissä se ei niiden lyhyen keston vuoksi ole yleensä mahdollistakaan. Puuskittain tuuli lienee kuitenkin kaikissa tapauksissa ylittänyt myrskytuulen alarajan (21 m/s). Samaten se on osoittanut metsää tuhoavan voimansa. Tässä mielessä yleiskieleen juurtunut tapa puhua myrskytuhoista on perusteltavissa. Tieteellisesti tarkempaa on kuitenkin puhua tuulituhosta, jota termiä tässä työssä painotetaan.

Toisaalta virallisesti todetut satalukuiset myrskyt eivät ole aiheuttaneet merkittävää puustotuhoa. Tätä odottamatonta tilannetta selittää ensinnäkin se, että kovimmat tuulet puhaltavat saaristossa, jossa puut ovat niihin sopeutuneet. Toisaalta sopivissa olosuhteissa riittää jopa 14 m/s tuuli (puuskanopeus 24 m/s) aiheuttamaan tuhoa (Solantie 1983). Tuhoallituttua lisää maan märkyys, erityisesti pintaroudan jälkeinen, samoin kuin satava lumi ja puihin jäänyt lumikuorma (Day 1949, Laitakari 1949, Köstler 1956, Persson 1975). Tällaiset olosuhteet ovat yleisimmät syksyllä, joskin suuria lumi-

Taulukko 1. Tuulipäivien lukumäärä erällä Ilmatieteen laitoksen havaintoasemilla (Kuukausikatsaus ...) v. 1975—1985.

Table 1. The number of windy days at certain meteorological stations of the Finnish Meteorological Institute in 1975–1985 (Kuukausikatsaus...).

Asema Station	1975	76	77	78	Vuosi — Year					Yhteensä Total		
					79	80	81	82	83	84	85	
<i>Kovatuliset päivät, >14 m/s — Days with strong wind</i>												
Maarianhamina	24	1		1	2		6	4	1	2	2	43
Hanko, Russarö	102	38	23	23	21	15	24	28	46	20	17	357
Helsinki, Vantaa	27	2	1	2	1	1	2	1		2	5	44
Helsinki, Katajaluoto	103	25	16	20	28	4	23	50	53	25	21	368
Kotka, Rankki	53	4	2	13	15	7	40	46	21	16	26	243
Rauma, Kuuskajaskari	74	13	9	35	19	4	16	27	50	15	12	274
Jokioinen	4						3			1	1	9
Tampere	9		1	1			1					12
Lahti	1											1
Lappeenranta	7	1						1			1	10
Jyväskylä	11		1				1					13
Vaasa	25	3	2	2			2		2	1		37
Valassaaret	141	43	40	34	20	29	39	25	27	19	45	462
Kauhava	9			2			1			1		13
Kuopio	6	1										7
Joensuu	2											2
Nivala	20	1		1	1							23
Kajaani	9			1		1		1		1	2	15
Oulu	20	1		1		1		4		1		28
Kemi	4				1		1	1	1	1		9
Kuusamo	8											8
Pello	3											3
Rovaniemi	12		1				2	1		1	1	18
Sodankylä	6											6
Ivalo	13	1	1			1		2	1		1	20
Utsjoki, Kevo	30	6	5	5	2	1	4	5	5	2	5	70
<i>Yhteensä — Total</i>	723	140	102	141	110	64	165	196	207	108	139	2095
<i>Myrskypäivät, > 21 m/s — Days with gale-force wind</i>												
Maarianhamina												0
Hanko, Russarö	14		2		1	1		2	2	2		24
Helsinki, Vantaa												0
Helsinki, Katajaluoto	2				1		2	5	1		1	12
Kotka, Rankki							5	1				6
Rauma, Kuuskajaskari	5			11	1		2		7		2	28
Jokioinen												0
Tampere												0
Lahti												0
Lappeenranta												0
Jyväskylä												0
Vaasa								1				1
Valassaaret	9	1	6	1			1				1	19
Kauhava												0
Kuopio												0
Joensuu												0
Nivala												0
Kajaani												0
Oulu												0
Kemi												0
Kuusamo												0
Pello												0
Rovaniemi												0
Sodankylä												0
Ivalo												0
Utsjoki, Kevo	2	2					1					5
<i>Yhteensä — Total</i>	32	3	8	12	3	1	11	9	10	2	4	95

Taulukko 2. Kovatuulisten (> 14 m/s) ja myrskypäivien (>21 m/s) kokonaislukumäärä eräillä Ilmatieteen laitoksen havaintoasemilla (ks. taulukko 1) vuosina 1975—85 kuukausittain.

Table 2. The total number of days with strong wind (> 14 m/s) and gale-force wind (> 21 m/s) recorded each month at certain meteorological stations (see Table 1) of the Finnish Meteorological Institute in 1975–85.

Tuuli Wind velocity m/s	Tamm Jan.	Helmi Febr.	Maalis Mar.	Huhti Apr.	Touko May	Kesä June	Heinä July	Elo Aug.	Syys Sept.	Loka Oct.	Marras Nov.	Joulu Dec.	Yhteensä Total
>14	342	171	95	138	60	72	22	39	195	210	376	375	2095
>21	13	2	0	10	1	2	1	1	8	14	19	24	95

Taulukko 3. Vuosien 1975—85 pahimmat myrskytuhot.

Table 3. The most severe cases of windthrow damage during 1975–85.

Ajankohta Date	Myrsky Storm	Esiintymisalue Affected area	Tuhomäärä m ³ Windthrow volume
04.12.1975		Länsi-Suomi — <i>West Finland</i>	1 000 000
07.09.1977		Etelä-Suomi — <i>South Finland</i>	800 000
16.11.1978	"Aarno"	E-Pohjanmaa — <i>Southern Ostrobothnia</i> P-Häme — <i>Northern Häme</i> P-Satakunta — <i>Northern Satakunta</i>	2 500 000
22.09.1982	"Mauri"	Lappi — <i>Lapland</i> Perä-Pohjola — <i>The Far North</i>	3 000 000
25.06.1984	"Jeremias"	Koillismaa — <i>Northeast Finland</i>	400 000
11.08.1985	"Sanna"	Kymenlaakso — <i>Southeast Finland</i> Pohj. Pohjanmaa — <i>Northern Ostrobothnia</i>	500 000
26.10.1985	"Manta"	Koko maa — <i>Whole Finland</i>	4 000 000

kuormia esiintyy vain talvella. Keväisten kovien tuulten aikaan puut tapaavat olla lumettomia ja maa roudassa. Tällöin kaatuminen jää vähäiseksi ja tapahtuu lähinnä katkeamalla. Vuosittaista tuhoriskiä lisää erityisen runsas kätysatokin.

22. Aarno-myrsky

Vuoden 1978 marraskuun 16 pv:n "Aarno" oli tyyppinen syksyiseen matalapaineeseen liittyvä kova tuuli, joka kehittyi verrattain rauhallisesti. Jo edellisenä päivänä tuuli oli voimakasta. Vaasan, Porin ja Tampereen lentosääasemilla mitattiin tuulen suurimmaksi keskinopeudeksi tuolloin 10-16 m/s nopeimpien puuskien yltäessä tasolle 15-27 m/s. Joitakin yksittäispuita kaatui jo tällöin. Itse tuhopäivä alkoi rauhallisesti, mutta aamupäivän kuluessa tuuli yltyi kaiken aikaa. Samalla sen suunta kääntyi hitaasti etelästä luoteeseen. Voimakkaimmillaan tuuli oli Vaasassa klo 15.00-17.00 (17 m/s, puuskanopeus 25 m/s, suunta 260-280°), Porissa klo 13.00 (19 m/s, puuskanopeus 26 m/s, suunta 240°) ja Tampereella klo 15.00 (16 m/s, puuskanopeus 26 m/s, suunta 260°). Keskeisellä tuhoalueella sijaitsevan Länsi-Aureen säähavaintoaseman tuulimittari lakkasi toimimasta sähkölinjojen katkettua. Asemalla arvioitiin tuulennopeuden olleen suurimmillaan klo 14-20. Tuulen suunta oli klo 14.00 länsilounainen (230°). Myös Porissa tuuli oli koko päivän tasaisen kovaa (klo 8.00-21.00 välisenä aikana 13-19 m/s, puuskanopeus 21-28 m/s). Länsi-Aure kuului joka tapauksessa siihen alueeseen, jossa tuuli oli kovaa lähes puoli vuorokautta. Tällä alueella tuulennopeus oli kovimmillaan keskituulena

17-18 m/s ja puuskissa n. 30 m/s (Solantie 1983).

Puita kaatui verrattain tasaisesti koko keski- ja iltapäivän ajan. Tämä oli todettavissa mm. Parkanon tutkimusaseman viereisessä uudistamiskypsässä mäntykuusisekametsässä, jossa tuhon määrä muodostui suureksi. Vasta iltapäivällä kävi selväksi että oli kehittymässä todellinen suurtuho.

"Aarno" edeltävä syyskuu oli sateinen. Niinpä Länsi-Aureen sääasemalla mitattiin sateeksi 99 mm. Lokaan jälkipuolisko oli kylmä (alin lämpötila -15° C), ja maa routaantui. Marraskuun alku puolestaan oli lämmin ja kahtena tuhoa edeltävänä päivänä satoi 25 mm. Tällöin routa sulii ja pintamaa oli läpikotaisin märkä. Tämä seikka ja tuulen pitkä kesto aika sekä suunnan muuttuminen muodostuivat tuhojen kannalta keskeiseksi. Tuhoon ei liittynyt lumikuormaa eikä tuuli yltenyt myrskyksi. Puut kaatuvivat lähes pelkästään juuriin. Tuhon määrän vähitellen paljastuessa kävi ilmi puuta kaatuneen 2,5 milj. m³. Se kohdistui suhteellisen suppealle alueelle Etelä-Pohjanmaan eteläosaan, Pohjois-Hämeeseen ja Pohjois-Satakuntaan. Rannikko ja Kokemäenjoen seutu, joissa tuulennopeus oli samaa suuruusluokkaa, välttyivät suurilta metsätuhoilta.

23. Tutkimusalue

Tutkimusalueelle tärkeinä ominaisuuksina pidettiin monipuolista metsikkökoostumusta, intensiivistä metsänhoitoa, vaihtelevaa maaperää ja korkeussuhteita sekä ajan tasalla olevaa karttaa, metsikköjen käsittelytyöjen saatavuutta ynnä läheistä ja mahdollisimman yhtenäistä sijaintia. Tältä pohjalta valinta kohdistui Met-

Taulukko 4. Metsämaan kasvupaikkajakauma, vallitsevan puuston ikä ja puulaji-suhteet. Luvut prosenttia pinta-alasta. Parkanon hoitoalue, Itä-Aureen toimintapiiri (Linkosalo 1979).

Table 4. Forest site type, dominant stand age and tree species composition. The values are percentages of the basal area. Itä-Aure rangership of the Parkano district, Forest Service (Linkosalo 1979).

Kasvupaikka — Site type								Yhteensä	
	Lh, OMT	MT	VT	CT	CIT	Korvet Spruce swamps	Rämeet Pine swamps	Total %	ha
	0	18	42	1	0	22	17	100	8468
Ikäluokka, v — Age class, years								Yhteensä	
Puulaji Tree species	1-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	120-	Total %	ha
Mänty Pine	33	14	16	3	2	5	3	76	6357
Kuusi Spruce	2	3	6	2	1	5	1	20	1706
Koivu Birch	2	1	1	0	0	0	0	4	347

sähallinnon Parkanon hoitoalueeseen ja siellä tarkemmin Itä-Aureen ja Kurun toimintapiireihin, joissa tuhoa tiedettiin olevan runsaasti. Toisaalta oli tiedossa, ettei niillä ollut aikoihin ollut mainittavaa myrskytuhoa. Näin oli mahdollista saada häiriintymättömän aito kuva eri metsiköiden myrskynkestävyydestä.

Itä-Aureta luonnehtii etäläsuomalaisittain ylävä sijainti. Korkeus vaihtelee välillä 140-210 m mpy ja näin korkeimmat kohdat ovat korkeimman rannan yläpuolella. Maaperä on lähes pelkästään moreenia ja avokalliota on vähän. Viljavuudeltaan maa on keskihvyvää lehtomaisten ja karukkokankaiden puuttuessa (taulukko 4). Soiden ja etenkin korpien osuus on suhteellisen suuri. Itä-Aure on hieman hoitoalueen keskimäärää parempaa viljavuudeltaan.

Metsä on pääosin mäntyvaltaista intensiivisen metsänviljelyn vuoksi. Tästä syystä nimenomaan nuoria ikäluokkia on runsaasti. Toisaalta on myös yli-ikäistä metsää. Uudistamisessa on varhemmin käytetty paljon kulotusta ja kylvöä, sittemmin muokkausta ja istutusta. Siemen- ja suojuspuumetsiköitä on vähän ja nekin lähinnä ilman johdonmukaista suunnittelua syntyneitä.

Tutkimus päätettiin toteuttaa otantatutkimuksena. Otantayksiköksi valittiin ympyräkoeala. Tuhojen metsikkökohtaisen kokonaismäärän selvittämiseen (Persson 1975) ei ollut mahdollisuuksia. Vertailuaineistoksi saatiin kuitenkin koko Parkanon hoitoalueen toimintapiireittaiset myrskytuhojen korjuutilastot.

24. Inventointi ja mittaukset

Satunnaisnäytteen eduista huolimatta inventointi toteutettiin tavanomaiseen tapaan systemaattisena otantana. Näin siksi, että käytännön työ on tällöin nopeaa ja selväpiirteistä. Esisijaisena tarkoituksena oli selvittää tuhon mahdollista riippuvuutta puustosta ja sen käsittelystä, suhteellisesta korkeusasemasta ynnä maaperästä. Toissijaisena tavoitteena oli saada oikea kuva tuhon määrästä.

Tuhoarviointi toteutettiin linja-arviona. Vastikään olleen metsätalouden tarkastuksen johdosta tutkimusalueesta oli käytettävissä ajan tasalla olevat metsikkötiedot (Linkosalo 1979) ja metsikkökartta. Tälle kartalle vedettiin kilometrin välein itä-länsisuuntaiset linjat. Ne tulivat lähes kohtisuoraan maastokuvioiden pituus-suuntaa vasten. Varsinainen arviointi suoritettiin ottamalla linjoilta 50 m:n välein relaskooppinäytealoja.

Koealoilta määritettiin ensin pystypuusto leveällä hahlolla (yksi puu = 2 m²/ha). Määrittäminen tehtiin puulaiteilla. Sen jälkeen luettiin tuulikaadot. Ne luettiin normaalihahtolla (yksi puu = 1 m²/ha). Inventointi tehtiin myrskyä seuraavana kesänä ja tällöin tuhoista oli jo kolmannes korjattu. Tuhopuiden relaskopointi jouduttiin siksi tekemään tyveltä. Mittauskorkeudeksi valittiin kannontaso n. 5 cm juurenniskasta ylöspäin. Tuhopuiden kantoläpimitä mitattiin myös kaulaimella ja merkittiin muistiin. Samaten tehtiin havaintoja kantoläpimitan ja rinnankorkeusläpimitan välisestä suhteesta.

Lisätietoina tuhoista merkittiin ylös keskimääräinen kaatumissuunta näytealalla sekä kaatumistapa. Sekin oli vielä korjuusta huolimatta useimmiten pääteltävissä (kallistunut tai nojalleen jäänyt, juurineen kaatunut, katkennut, myötäkaatunut). Lisäksi tarkistettiin mahdollisuuksien mukaan lahovian esiintyminen joko tyvilleikkauksesta tai juurakosta, viimemainitusta myös paalujuuren mahdollinen olemassaolo.

Näytealoilta määritettiin lisäksi tavanomaiset kasvupaikka- ja metsikkötunnukset (metsätyyppi, suotyyppi, soistumisaste, maalaji, kehitysluokka ja valtapituus). Määritykset tehtiin valtakunnanmetsien inventointiohjeiden mukaisesti. Lisäksi merkittiin muistiin ojen, teiden, sähkölinjojen yms. sekä erilaisten metsikkörajojen osuminen näytealalle ynnä aika niiden muodostumisesta.

Pinnanmuodon tunnuksiksi määritettiin näytealan suhteellinen korkeusasema (notko, tasamaa, kumpare, mäki) sekä sijainti tuulen suunnasta katsoen (eturinne, takarinne). Kumpareina pidettiin 5-10 m korkeuseroa tasapinnasta mäkien ollessa niitä suurempia. Lisäksi arvioitiin tuulen suunnalla olevan puuston näytealalle

antama suoja. Täyden suojan katsottiin antavan vähintään näytealametsikön pituinen täysitiheä puusto. Suojattomiksi luokiteltiin hakkuuaukkojen, peltojen ja avosoiden reunat samaten kuin järvien rannat.

Näytealojen oton ohella suoritettiin silmävarainen tuhoarvio. Sen tarkoituksena oli saada yleiskuva tuhon luonteesta. Määritys tehtiin arvioimalla näytealalla ja sen ympäristössä olevan tuhon määrää ja esiintymistapa (ei tuhoa - kauttaaltaan runsasta tuhoa).

Inventoinnilla pyrittiin saamaan käsitys myös siitä, kohtasiko tuho eri määrässä pieniä kuin isoja puita. Tätä varten mitattiin joka viidenneltä alalta (edellyttäen että osa puista oli kaatunut) pystypuiden ja kaatuneiden puiden kantoläpimitta. Pystypuiden rajausta tehtiin leveällä hahlolla (1 puu = 2 m²/ha).

Työn kannalta keskeiset tärkeät käsitellyt, viimeisistä hakkuusta kulunut aika ja mahdollinen lannoitus selvitetiin sisätyönä. Tämän työn suorittivat toimintapiirien suunnittelijateknikot. Kumpikin oli työskennellyt toimintapiirissään pitkään. He merkitsivät heille annettuun kuvioluetteloon suoritettujen toimenpiteet ja niiden ajankohdan.

Aineistoa kertyi kaiken kaikkiaan 1513 puustoista näytealaa edustaen 75,65 km linjapituutta ja 7565 ha pinta-alaa.

25. Aineiston käsittely

Ensi vaiheessa laskettiin tuhopuiden pohjapinta-ala. Siihen päästiin kertomalla kannontasalta relaskopoitua pohjapinta-ala luvulla 0,67. Kerroin perustuu aineistosta tehtyyn otantaan ja on Laasasenahon (1975) aineiston mukainen. Tätä kerrointa käytettiin kaikille puulajeille. Muunnoksen jälkeen pystypuusto ja tuhopuusto summattiin puustoksi ennen myrskyä.

Käsittely-yksikkönä oli näyteala. Ne ryhmitettiin sopiviin luokkiin ja laskettiin ristiintaulukointia käyttäen eri luokittelutekijöiden vaikutuksia. Laskenta tehtiin puulajeittain. Tarkasteltavina tunnuksina käytettiin tuhopuuston pohjapinta-alaa ja sen osuutta myrskyä edeltäneestä puustosta. Varhemmin (Laiho 1980) se laskettiin näytealakohtaisena aritmeettisena keskiarvona, nyt pohjapinta-alalla painottaen. Viimemainittu tapa antaa edellistä alempia ja tuhomäärän suhteen oikeampia prosentteja. Eri tapauksissa laskettiin muitakin tunnuksia kuten tuhopuuston tilavuus, näytemäärällä painotettu kokonaistuho, lannoituksen aiheuttama tuholisä jne.

Näytteenottotapa ei mahdollistanut varianssianalyysin virheetöntä luotettavuuslaskentaa. Laskenta kyllä tehtiin mutta tuloksia ei esitetä. Sen sijaan näytealat luokitettiin kahteen luokkaan sen mukaan oliko puita kaatunut vai ei. Näin saatuja yleisyyslukuja vertailtiin χ^2 -testillä ja nelikenttätestillä. Testiarvot eivät oleellisesti poikenneet varianssianalyysiin pohjautuvista. Tilastollisilla eroilla tarkoitetaan oheisten riskitasojen alittumista: 10 % (p = 0,100), ero suuntaa-antava; 5 % (p = 0,050), jokseenkin merkitsevä; 1 % (p = 0,010), merkitsevä; 0,1 % (p = 0,001), erittäin merkitsevä.

3. TULOKSET

31. Tuhon määrä, luonne ja puulajisuhteet

Korjuutilaston mukaan Itä-Aureen toimintapiirissä hakattiin "Aarnon" jälkiä korjatessa tuhopuuta 16 000 m³ ja koko hoitoalueessa 220 000 m³ (taulukko 5). Kokonaispuustosta se oli 1,6 ja 3,6 % tukkiosuuksien ollessa 58 ja 60 %. Näin Itä-Aureen toimintapiiri oli hoitoalueen keskimäärää selvästi vähemmän tuulesta kärsinyttä. Tuhon määrässä on epävarmuustekijänä samassa yhteydessä korjattu muu puusto ja puulaji- sekä puutavaralajiprosenttien suhteen lisäksi runkojen vaurioitumisen, sinistymisen, lahon ym. seikkojen takia tapahtuneet puutavaralajisiirrot. Ne on hoitoalueelta saatujen tietojen avulla arvioiden otettu taulukossa huomioon.

Tuhoinventoinnin (alue pääosin Itä-Auretta mutta lisäksi hieman Kurun toimintapiiriä, jossa tuhoa oli Itä-Auretta enemmän) mukainen kokonaispuusto oli varsin lähellä metsätalouden tarkastuksessa saatua määrää.

Samaten tuhomäärä oli lähes korjatun puuston suuruinen. Puulajikohtaiset erotkaan eivät olleet mainittavia. Itä-Aureessa mänty oli kuusta herkempi tuhoutumaan, koko hoitoalueessa tilanne oli päinvastainen. Kaiken kaikkiaan aineisto antaa ilmeisen oikean määrällisen kuvan Aarno-myrskyn aiheuttamasta puustotuhosta eikä näin ollen ole esitetä tuhon metsiköittäiselle tarkastelulle.

Tuho esiintyi metsässä hyvin epätasaisesti. Oleellisesti tuhotonta aluetta oli yli puolet ja hajanaisen tuhon aluetta toiseksi eniten. Kauttaaltaan runsastuhoisiin metsiköihin osui yhteensä yhdeksän näytealaa. Niiden puustosta oli kaatunut lähes puolet edustaen 11 % kokonaistuhosta (taulukko 6). Kuusella suurtuhoon osuus oli selvästi mäntyä suurempi. Kummallakin puulajilla enin tuho koostui kuitenkin hajanaisesta tuhosta.

Tuhoon luonnetta valottaa myös se, montako puuta kultakin näytealalta oli kaatunut (taulukko 7). Näytealoille tuhopuita osui kaikkiaan 609 kpl. Enimmillä näytealoilla

Taulukko 5. Tuhoinventoinnin tulos verrattuna Parkanon hoitoalueen omiin puustotietoihin (Linkosalo 1979) ja tuhopuiden korjuutilastoon.

Table 5. The results of the windthrow inventory compared to the stand data of the Parkano district (Linkosalo 1979) and harvesting statistics for windthrown trees.

Tunnus Parameter		Mänty	Kuusi	Koivu
		Pine	Spruce	Birch
		%		
	Inventoitu alue (Itä-Aure)			
	<i>Inventory area</i>			
Kokonaispuusto, m ³	919000	50	37	13
<i>Total growing stock</i>				
Myrskytuho, m ³	17000	63	35	2
<i>Windthrow damage</i>				
Tuho-%	1,8	2,3	1,8	0,2
<i>Damage %</i>				
	Itä-Aureen toimintapiiri			
	<i>Itä-Aure rangership</i>			
Kokonaispuusto, m ³	979000	48	36	16
<i>Total growing stock</i>				
Korjattu, m ³	16000	62	37	1
<i>Harvested</i>				
Tuho-%	1,6	2,1	1,7	0,1
<i>Damage %</i>				
	Koko hoitoalue			
	<i>Parkano district in total</i>			
Kokonaispuusto, m ³	6 048000	60	31	9
<i>Total growing stock</i>				
Korjattu, m ³	220000	58	40	2
<i>Harvested</i>				
Tuho-%	3,6	3,5	4,7	0,8
<i>Damage %</i>				

Taulukko 7. Tuhopuiden näytealoittainen jakauma.

Table 7. Distribution of windthrows by sample plot.

Tuhopuita kpl/näyteala No. of windthrows/plot	Näytealoja kpl No. of plots	Tuhopuita Windthrows kpl No.	%
0	1211	0	0
1	170	170	28
2	71	142	23
3—5	46	155	25
6—10	11	85	14
11—	4	57	10
Yhteensä — Total	1513	609	100

niitä ei ollut lainkaan mutta toisaalta joillakin oli yli 10 kpl. Kyseiset neljä näytealaa merkitsivät 9 %:n osuutta kokonaistuhosta. Yli kuuden tuhoppuun näytealat edustivat nel-

Taulukko 6. Tuulituhon kuvioittainen esiintymistapa puulajeittain.

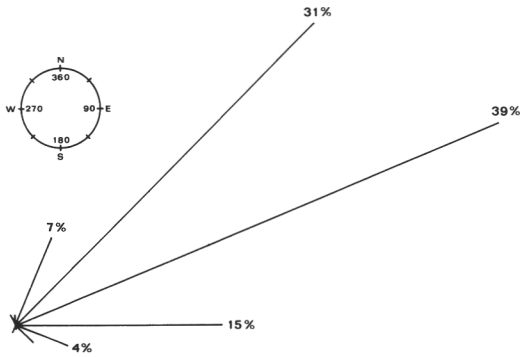
Table 6. Windthrow occurrence by tree species.

Tuholuokka Windthrow class	Tuho — Windthrow damage		
	m ² /ha	% Pohjapinta- alasta of basal- area	% Kokonais- tuhosta of total damage
	Mänty — Pine		
Ei tuhoa — No damage	0,01	0	2
Hajanaista — Scattered	0,31	3	59
Paikallisesti runsasta <i>Severe in places</i>	1,21	10	33
Kauttaaltaan runsasta <i>Severe throughout</i>	2,23	25	6
Keskim./Yht. — Aver./Tot.	0,21	2,2	100
	Kuusi — Spruce		
Ei tuhoa — No damage	0,00	0	1
Hajanaista — Scattered	0,18	2	47
Paikallisesti runsasta <i>Severe in places</i>	0,73	7	28
Kauttaaltaan runsasta <i>Severe throughout</i>	4,67	88	24
Keskim./Yht. — Aver./Tot.	0,15	1,5	100
	Koivu — Birch		
Ei tuhoa — No damage	0,00	0	0
Hajanaista — Scattered	0,02	0	59
Paikallisesti runsasta <i>Severe in places</i>	0,11	2	33
Kauttaaltaan runsasta <i>Severe throughout</i>	0,34	14	8
Keskim./Yht. — Aver./Tot.	0,01	0,3	100
	Kaikki puulajit — Average		
Ei tuhoa — No damage	0,01	0	1
Hajanaista — Scattered	0,38	2	56
Paikallisesti runsasta <i>Severe in places</i>	1,52	8	32
Kauttaaltaan runsasta <i>Severe throughout</i>	4,96	44	11
Keskim./Yht. — Aver./Tot.	0,27	1,7	100

jännestä kokonaistuhosta. Korjuun kannalta vaikeinta yksittäispuiden keruuta oli lähes kolmannes.

”Aarnon” jäljiltä puita oli nurin hyvinkin

eri suuntiin. Samallakin näytealalla puut saattoivat olla jopa kohtisuoraan toisiaan vasten. Koska tuuli ei ollut pyörteinen, ne olivat kaatuneet eri aikaan päivästä. Näytealoittaisena keskiarvona todettiin puiden kaatuneen kuvan 1 esittämällä tavalla. Keskimääräinen kaatumissuunta oli itä-koilliseen (67°), yleisin koilliseen ja vaihteluväli pohjoisen-itä-etelä. Tuhoisimmin tuuli puhalsi siis länsi-lounaasta, jossa se oli klo 12-14 vaiheilla.



Kuva 1. Puiden kaatumissuunta.
Fig. 1. Direction of trees blown down.

Tuhon aikaan puiden kiinnittyminen maahan oli heikoimmillaan. Runsaiden saateiden ja lauhojen ilmojen seurauksena oli routa sulanut ja maa oli hyvin märkä. Juuriston ote ei pitänyt. Katkenneita puita oli vain 4 %. Kolmannes puista jäi nojalleen pääosan kaatuessa juurineen. Tämä merkitsee sitä, että maan ollessa roudassa tuho olisi jäänyt paljon vähäisemmäksi.

Puustoisten näytealojen keskimääräinen pohjapinta-ala oli 15,7 m²/ha. Männyn ja kuusen keskitiheys oli lähes sama (9,9 ja 10,1 m²/ha). Mäntyä sisältäviä näytealoja oli 1317 ja kuusta sisältäviä 758 kpl. Mäntyä oli kaatunut 240 näytealalta (18,2 % männyn näytealoista) ja kuusta 92 näytealalta (12,1 %). Ero on tilastollisesti erittäin merkitsevä (p < 0,001), männyn kaatuminen oli kuusta yleisempää. Koivua sisältäviä näytealoja oli 577 kpl, joista kymmenellä oli tuhoa (1,7 %).

Pohjapinta-alana tarkastellen (taulukko 6) mäntyä oli tuhoutunut 2,2 %, kuusta 1,5 % ja koivua ja muuta lehtipuuta 0,3 % myrskyä edeltäneestä pohjapinta-alasta. ”Aaron” olosuhteissa koivu oli kahdeksan kertaa kestävämpi kuin mänty joka puolestaan oli 42 % kaatumisherkempi kuin kuusi.

Tuhopuista enimmäkseen olivat tukkikokoja (taulukko 8). Kuusella järeiden runkojen

Taulukko 8. Tuhopuiden läpimitta kannon tasalta.
Table 8. Diameter of windthrows at stump height.

Läpimitta, cm Diameter	Mänty Pine	Kuusi Spruce Kpl No.	Koivu Birch
—09	14	3	1
11—19	109	24	5
21—29	172	51	4
31—39	110	51	2
41—49	25	27	0
51—	3	8	0
Yhteensä — Total	433	164	12

Taulukko 9. Läpimitan vaikutus suhteelliseen tuulituhoon. Aineistona erityisnäytealat (371 mäntyä, 150 kuusta). Perusarvona kuusen tuhofrekvenssi (12/71) läpimittaluokassa 19-33 cm (kannontasalta).

Table 9. Effect of stem diameter on the relative amount of windthrow damage, based on a subsample of plots (371 pine, 150 spruce). The basic value is the windthrow frequency in spruce (12/71) in the 19-33 cm diameter class (stump height).

Läpimitta, cm Diameter	Mänty Pine	Kuusi Spruce	Merkitsevyys, p Significance
5-17	1,01	0,40	0,094
19-33	1,03	1,00	0,915
35-	1,13	2,37	0,037
Merkitsevyys, p Significance	0,956	0,003	

Taulukko 10. Metsikkörakenteen vaikutus tuulituhoon.
Table 10. Effect of stand structure on windthrow damage.

Metsikkötunnus Stand parameter	Tuho — Windthrow damage	
	m ² /ha	% Pohjapinta-alasta of basal-area
Pohjapinta-ala, m ² /ha Basal-area		
1—10	0,16	2,60
11—20	0,35	2,21
21—30	0,31	1,23
31—40	0,27	0,79
41—	0,35	0,80
Keskimäärin — Average	0,27	1,71
Valtapiuus, m Dominant height		
1 — 5	0,03	0,73
6 — 10	0,10	0,96
11 — 15	0,17	1,32
16 — 20	0,33	1,79
21 —	0,51	2,18
Keskimäärin — Average	0,27	1,71
Kehitysluokka Development class		
Taimikko — Sapling stand	0,04	0,76
Nuori kasvatusmetsä Young thinning stand	0,17	1,20
Varttunut kasvatusmetsä Old thinning stand	0,41	2,00
Uudistuskypsä metsä Mature stand	0,48	2,17
Siemen-suojuspuumetsä Seed-shelterwood stand	0,62	9,75
Vajaatuottoismetsä Low-yielding stand	0,40	3,64
Keskimäärin — Average	0,27	1,71

osuus oli selvästi korkein. Tarkan vertailun estää se, ettei pystyjuuston järeysjakauma ole tiedossa. Osalla näytealoja mitattiin kuitenkin sekä kaatuneiden että pystyynjääneiden puiden läpimitta (taulukko 9). Tulokset saatiin, että männyn tuhoalttius ei lisääntynyt läpimitan kasvaessa. Pienikokoista mäntyä kaatui lähes samassa suhteessa kuin isoakin. Kuusella tuhoalttiuden lisääntyminen oli erittäin jyrkkä. Isojen tukkipuusten kaatumisalttius oli kuusinkertainen pinotavarakokoisiin verrattuna. Maastossa tämä ilmeni varttuneiden kuusikoiden suurтуhoina ja sekapuuston ynnä alikasvoksena olevan pienikokoisen kuusen säästymisenä tuholta. Männylle oli ominaista tuhojen yllättävä runsaus nuorissa kasvatusmetsissä.

Koivuja tuhoaineistoon sisältyy vain 12 kpl eikä niiden pohjalta ole mahdollisuuksia tuhoon vaikuttaneiden tekijöiden arviointiin.

32. Metsikkörakenne

Metsiköiden tiheys vaihteli inventointialueella väljissä rajoissa pohjapinta-alan lähennellessä parhaimmillaan 50 m²/ha. Tiheydellä oli selvä vaikutus tuhon esiintymiseen (taulukko 10). Vaikutus riippui tarkasteltavasta tunnuksesta. Tuho yleisyys (tuhopuita sisältävien näytealojen osuus alojen kokonaismäärästä) suureni johdonmukaisesti (14 %:sta 24 %:iin) ja tilastollisesti merkitsevästi ($p = 0,004$) pohjapinta-alan lisääntyessä. Mitä enemmän näytealalla oli puustoa sitä varmemmin joku puista oli kaatunut. Tämä ei merkitse harvapuustoisten uudistamisasentojen vähäistä tuhoa, sillä enimmäkseen niukkapuustoiset metsiköt olivat taimikoita.

Suhteellinen tuho (tuhopuuston osuus kokonaistuustosta) väheni pohjapinta-alan noustessa. Mitä tiheämpi puusto, sitä pie-

nempi osuus siitä tuhoutui. Todellinen hehtaariohtainen tuho ei pohjapinta-alasta juurikaan riippunut vaan oli harvimpia puustoja lukuunottamatta oleellisesti samaa suuruusluokkaa.

Yhdistäessään samoihin luokkiin rakenteeltaan ja kehitysvaiheeltaan hyvinkin erilaisia metsiköitä pohjapinta-ala yksinään käytettynä on tässä yhteydessä huono luokittelutunnus.

Vallitsevan puuston valtapituuteen pohjautuva luokittelu on myös harhaanjohtava. Niinpä valtapituus näyttäisi vaikuttavan suhteellisen vähän tuhoprocenttiin (vert. Laitakari 1949, Simpson 1967, Persson 1975). Toisin kuitenkin oli. Alle viiden metrin taimikoissa tuho johtui jättöpuiden kaatumisesta. Muutamankin ylispuun kaatuminen merkitsee taimikossa suurta osuutta pohjapinta-alasta. 6-10 metrisissäkin metsiköissä oli vielä joitakin ylispuita. Pääosin niistä kuitenkin kaatui vallitsevaa puustoa, lähes pelkästään mäntyä. Ylispuuston omaan pituusluokkaansa siirtäen aineisto osoittaa myrskytuhoriskin jyrkästi kasvavan puuston pituuden lisääntymässä tarkastellaanpa sitten tuhon yleisyyttä, tuhoprocenttia tai absoluuttista määrää. Ilman korjaustakin viimeainittu tunnus nousi pisimmillä puilla 17-kertaiseksi luokkaan 1-5 m verrattuna ($p < 0,001$).

Tuuli kallisti alle metrisiä taimiakin. Meillä tällaista ei ole varhemmin todettu, muualla kylläkin (Goss 1961, Persson 1975, Odin 1976). Pintajuuret löystyivät, ehkä osin katkeilivatkin ja tuulen puhaltaessa taimia eri suunnilta sorvautui niiden tyvelle suppilomainen ontelo. Ilmiö oli yleinen ja selvästi havaittavissa tuhoa seuraavana päivänä. Tilanne vaikutti huolestuttavalta, erityisesti mätätysaloilla, mutta seuraavana kesänä selvää irrallisuutta ei kuitenkaan enää esiintynyt (Laiho 1979). Myös Huuri (1976) korostaa juuriston hyvää toipumiskykyä. Lievää tyvilenkoutta epäilemättä taimiin kuitenkin jäi.

Kehitysluokittainen tarkastelu paljastaa tuhoriskin jyrkän lisääntymisen ($p < 0,001$) metsikön vanhetessa ja sen myötä harventuessa. Puolet taimikkotuhosta aiheutti tässäkin tapauksessa ylispuusto. Nuorissa kasvatusmänniköissä oli huomiotaherättävän runsaasti tuhoa. Sille oli ominaista esiintyminen laajoilla aloilla verrattain tasaisesti. Kuusen tuhoaste nuorissa kasvatuskusikoissa oli vain vajaa kolmannes männyn arvosta. Ikääntymisen myötä sekä tuhon yleisyys,

suhteellinen osuus että todellinen määrä lisääntyivät kuusella männyn tasolle ja ylikin.

Erityistä huomiota kiinnittää tuhon runsaus siemen- ja suojuspuustoissa. Niitä ei alueella ollut paljon (13 näytealaa), mutta ne osoittautuivat erittäin aroiksi myrskylle. Puuston vähäisyydestä ($6,3 \text{ m}^2/\text{ha}$) ja mäntyvältaisuudesta huolimatta tuhoa oli yli puolella näytealoista. Puista oli kaatunut keskimäärin joka kymmenes ja tuhon hehtaariohtainen määräkin oli suurin. Tilavuustarkastelu puun laadun huomioon ottaen lisäisi tämän tuhon vakavuutta edelleen.

Vajaatuottoismetsät olivat lähinnä ylikäisiä tai vajaapuustoisia. Niissä tuho oli toiseksi suurinta. Mukana oli myös kuusta, joka edellisestä ryhmästä lähes kokonaan puuttui. Näitä kuusia tuho kohtasi ankarimmin kuin mitään muuta luokkaa: niistä kaatui keskimäärin joka kuudes. Näin siitäkin huolimatta, ettei laho ole Itä-Aureen metsissä ongelmana. Selvää tyvi- tai juuristolahoa todettiin vain 3 %:lla tuhoppuista. Tulos korostaa kuusen tuulenkestävyyden jyrkkää alenemista ikääntymisen myötä tervejuuristoisenakin. Jo uudistuskypsissä metsissä kuusi oli mäntyä herkempi kaatumaan.

33. Kasvupaikka

Kasvupaikan viljavuus ei vaikuttanut juurikaan tuhoprocenttiin. Se oli samaa suuruusluokkaa lehtomaisella maalla ja kuivalla kankaalla (taulukko 11). Tuho yleisyyteen kasvupaikalla sen sijaan oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus ($p = 0,008$). Yleisintä tuho oli viljavimmalla maalla. Myös tuho määrä pieneni viljavuuden heikessä ja oli kanervatyypillä vain 33 % OMT:n tuhosta. Samassa määrin kanervatyypillä oli vähemmän myös puustoa.

Turvemaita ja vedenvaivaamia kankaita aineistossa oli 43 %. Alue oli oleellisesti peruskuivatettu ja ojien kunto oli tyydyttävä tai hyvä. Soistumisaste vaikutti yllättävästi siten, että tuho yleisyys pieneni soistumisen edessä ($p < 0,001$). Paksuturpeisilla soilla tuho kuitenkin oli lähes yhtä yleistä kuin soistumattomalla maalla. Tilanne oli samanlainen myös tuhoprocentin osalta. Tuhomäärä aleni edellisiä selvemmin. Alimmillaan tuho oli KgK- KgR -luokassa. Näytealojen määräkin oli niillä varsin suuri (9 %). Soistuneita kankaita lukuunottamatta tuho oli kuusella mäntyä pienempi.

Taulukko 11. Kasvupaikan vaikutus myrskytuhoon.
Table 11. Effect of site on windthrow damage.

Kasvupaikkatunnus <i>Site parameter</i>	Tuho — <i>Windthrow damage</i>	
	m ² /ha	% Pohjapinta-alasta <i>of basal-area</i>
Kasvupaikkatyyppi <i>Forest site type</i>		
OMT	0,49	1,84
MT	0,37	1,75
VT	0,23	1,70
CT	0,16	1,59
Keskimäärin — <i>Average</i>	0,27	1,71
Soistuneisuus <i>Paludification</i>		
Soistumaton kangas <i>Non-paludified mineral soil site</i>	0,35	2,05
Soistunut kangas <i>Paludified mineral soil site</i>	0,21	1,35
Suo, turvetta alle 30 cm <i>Peatland, peat thickness under</i>	0,10	0,57
” 30 — 60 cm	0,13	0,85
” yli 60 cm	0,14	1,43
” <i>over</i>		
Keskimäärin — <i>Average</i>	0,27	1,71
Maalaji <i>Soil texture class</i>		
Hiekka tai karkeampi <i>Sand or coarser</i>	0,30	2,06
Hieta tai hienempi <i>Fine sand or finer</i>	0,29	1,44
Turve <i>Peat</i>	0,15	1,42
Keskimäärin — <i>Average</i>	0,27	1,71

Tuhon vähäisyys ojitusalueilla on todettu usein ennenkin (ks. Persson 1975). Turvemaa, jota liikavesi ei vaivaa, tarjoaa verrattain hyvät edellytykset juuristokehitykselle (Heikurainen 1955, Paavilainen 1966). Silti tulos ei oikeuta päättelemään, että kasvupaikan soistuminen vähentäisi tuulituhon vaaraa. Huomioon on otettava myös mm. topografinen sijainti ja puusto.

Maaperältään inventoitu alue oli lähes pelkkää moreenia. Lajittuneita maalajeja oli tuskin nimeksi. Moreeneista hiekka ja hieta olivat täysin vallitsevia. Vain joissakin notkoissa oli hiesua. Tuhon yleisyys ei riippunut tilastollisesti merkitsevästi maalajista ($p = 0,292$). Yllättävästi tuhoprocentti oli suurin karkeimmalla maalla. Tuhomäärä oli sama kummassakin kivennäismaan luokassa johon tuen niukemmasta puustosta karkeilla ja samalla suhteellisen korkeilla mailla.

Tuhojen esiintymistä tässä yhteydessä käsiteltäessä on pidettävä mielessä ettei kasvupaikkojen topografinen jakautuminen ole sattunainen. Topografia ja monet maan ominaisuudet ovat negatiivisesti korreloituneet (Persson 1975). Soistuminen liittyy alavaan suojaiseen sijaintiin. Turvemaiden puusto oli myös muuta vähäisempää ja lyhyempää. Maaperän karkearakeisuus merkitsee vedenhuuhtomilla mailla suhteellisen ylävää sijaintia ja heikkoa viljavuutta. Hienorakeiset maat ovat sijainniltaan suojatumpia, viljavampia ja runsas- sekä pitkäpuustoisia. Toisaalta alueen ylävimmat kohdat olivat korkeimman rannan yläpuolista maata, joka on hienorakeista ja viljavaa. Lisävaikeutena on puulajisuhteiden ja ikäluokkienkin vaihtelu. Käytetyllä metodiikalla voitiin selvittää vain kasvupaikoittainen tuhotilanne, ei kaikkia sen syitä.

Taulukko 12. Pinnanmuodon ja tuulensuojan vaikutus myrskytuhoon.
Table 12. Effect of topography and other sheltering factors on windthrow damage.

Alttius tuulelle Factor	Tuho — Windthrow damage	
	m ² /ha	% Pohjapinta-alasta of basal-area
Topografia <i>Topography</i>		
Tasamaa — <i>Flat area</i>	0,16	1,10
Notko — <i>Depression</i>	0,13	0,88
Kumpare — <i>Hummock</i>	0,56	3,01
Mäen eturinne <i>Exposed slope</i>	0,40	2,44
Mäen laki <i>Hilltop</i>	0,55	3,48
Mäen takarinne <i>Sheltered slope</i>	0,33	1,95
Keskimäärin — <i>Average</i>	0,27	1,71
Puustosuoja <i>Sheltering stand</i>		
Puuttuu — <i>Lacking</i>	0,55	3,87
Niukka — <i>Poor</i>	0,44	3,10
Kohtalainen — <i>Moderate</i>	0,20	1,25
Täysi — <i>Complete</i>	0,14	0,86
Keskimäärin — <i>Average</i>	0,27	1,71

34. Topografia ja suoja

Epätasaisessa maastossa tuulirasitus ei kohdistu alueelle läheskään tasaisesti. Maaston muoto säätelikin tuhoa keskeisellä tavalla (taulukko 12). Topografian vaikutus tuhon yleisyyteen oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) ja kaikkien kolmen tunnuksen osalta hyvin samanlainen. Tuho riippui ensinnäkin suhteellisesta korkeusasemasta. Vähäisintä se oli mäkien välisissä tuuleen nähdn poikittaisnotkoissa. Toiseksi pienintä tuho oli tasamaalla. Kumpareilla se oli tasamaahan verrattuna kolminkertaista ja mäkien laella suhteessa pystypuustoon sitäkin suurempaa. Mäet ovat alueella muutamia kalliopaljastumia lukuunottamatta loivapiirteisiä moreenikukkuloita. Tuulenpuolisilla rinteillä tuho oli tasamaata paljon runsaampaa mutta kumpareita vähäisempää. Takarinteilläkään tuho ei ollut vähäistä vaan tasamaahan verrattuna yli kaksinkertaista. Syynä saattaa olla paljon suuntaansa muuttanut tuuli, josta syystä täyttä katvetta ei jäänytkään. Laen takana tuuli muodostuu myös tavanomaista pyörteisemmäksi (ks. Persson 1975).

Pinnanmuodon ohella tuulenpuoleisen puuston merkitys oli suuri ($p < 0,001$).

Tiheän kookkaan puuston suojaamassa metsässä tuho jäi vähäiseksi. Suojan vähetessä tuho suureni johdonmukaisesti ja oli avohakkuualueiden ja peltojen reunoilla sekä järvien rannoilla lähes viisinkertainen suojaisimpaan sijaintiin verrattuna (kuva 2). Suur-tuho alkoi tyypillisesti äskettäin hakattujen aukkojen tuulensuunnasta katsoen takareunoista, joissa kasvoi varttunutta metsää. Tuhon päästyä alkuun myrsky paljasti itselleen jatkuvasti uutta tuuleen tottumatonta reunaa ja tuho saattoi edetä kymmeniä metrejä.

35. Metsikön käsittely

Hakkuut ovat metsiköiden kasvatuksessa välttämättömiä. Yhtä väistämättömiltä näyttävät myös niitä seuraavat tuulituhot, niin yleisiä ja runsaita ne olivat. Tuho riippui ennen muuta siitä, paljonko aikaa hakkuusta oli kulunut (taulukko 13). Kaikki tarkastellut tunnukset antoivat täysin yhtäpitävän kuvan erojen ollessa tilastollisesti erittäin merkitsevät ($p < 0,001$). Suurimmillaan Aarno-tuho oli hakkuuta seuraavina parina vuotena. Tällaisia näytealoja oli 4 % ja tuho oli niillä viisinkertainen pitkään hakkaamatta olleisiin



Kuva 2. Tyypillistä pahaa tuhoa aukean reunassa. Tienvierusojaa paranneltu äskettäin, jolloin juuria katkeillut. Reunan murruttua puita kaatunut edempääkin.
 Fig. 2. Typical severe damage along the edge of a forest opening. The roots of the edge trees were cut during recent road-improvement work. As the edge of the forest succumbed, even trees lying further back were blown down.

Taulukko 13. Metsikön käsittelyn vaikutus myrskytuhoon.
 Table 13. Effect of stand treatment on windthrow damage.

Käsittely Treatment	Tuho — Windthrow damage	
	m ² /ha	% Pohjapinta-alasta of basal-area
Aikaa hakkuusta, v Years since cutting		
0 — 2	0,93	6,74
2 — 4	0,54	3,72
4 — 8	0,33	2,12
8 —	0,23	1,41
Ei hakattu — No cutting	0,19	1,74
Keskimäärin — Average	0,27	1,71
Aikaa lannoituksesta, v Years since fertilization		
0 — 2	0,52	2,82
2 — 4	0,80	4,68
4 — 8	0,53	2,51
8 —	0,08	0,46
Ei lannoitettu — No fertilization	0,24	1,55
Keskimäärin — Average	0,27	1,71

metsiköihin verrattuna. Puita oli kaatunut yli puolella näytealoja, keskimäärin joka 15. Kaksi lisävuotta merkitsivät tuhojen vähenemistä puoleen. Siltikin ne olivat vielä suuret. Tämänkin jälkeen tuhot selvästi vähenivät. 4-8 vuotta hakkuusta ne olivat jo lähellä aineiston keskimäärää. Sitä pitempään hakkaamatta olleissa metsiköissä tuhot olivat alle keskimäärän. Hakkaamatta jättäminen merkitsi edellistäkin pienempää myrskytuhoa.

Tulos korostaa hakkuun tuulelle altistamien puiden johdonmukaista joskin hidasta ja monivuotista vahvistumista kestävämpään lisääntynyttä rasitusta. Hakkaamattomassa metsässä myrskytuho on heikentyneiden puiden kaatumista luonnonpoistumana, joka menetettäisiin ennen pitkää ilman kovaa tuultakin. Tässä aineistossa hakkaamattomien luokkaan sisältyy myös nuoria metsiköitä, joihin hakkuu ei vielä ollut ehtinyt. Niissä tuho oli paljon alle keskimäärän.

Samantapaisen tuloksen antoi aineiston luokittelu sen mukaan, osuiko oja, tie, sähkölinja, suojaton metsikköraja tms. näytealalle vai ei. Ensimmäisinä vuosinaan tällainen kohta on hyvin altis tuulille. Tuhon yleisyys oli häiriöttömiin näytealoihin verrattuna kaksinkertainen ja tuhoprosentti sekä tuhomäärä kolminkertainen. Vuosien myötä tuhomäärä aleni normaalille tasolle ja sen allekin. Tuulelle alttiiden reunojen vahvistuminen vanhetessaan jopa niiden suojaamia metsiköitä kestävämmiksi on todettu monissa yhteyksissä (ks. Persson 1975).

Näytealoista 12 % osui lannoitetuille kuivoille. Ne olivat saaneet kasvatuslannoituksen tyyppä 150 kg/ha joko Oulunsalpietariina, ammoniumnitraattina tai Ureana. Kehitysluokaltaan ne olivat pääasiassa varttuneita ja nuoria kasvatusmetsiä. Turvemaiden osuus oli vähäinen.

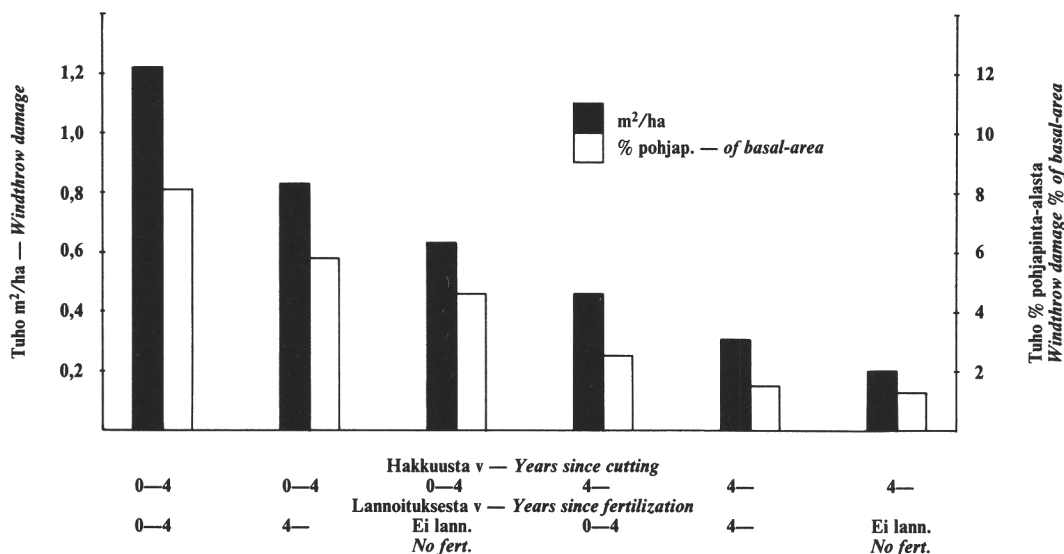
Lannoituksen vaikutus tuulituhoon oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) ja kaikkien kolmen tunnuksen suhteen samanlainen. Jo lannoitusta seuraavina parina vuotena tuho oli kaksinkertainen lannoittamattomiin metsiköihin verrattuna. Sen jälkeen se yhäkin nousi, niin että se kaksi vuotta myö-

hemmin oli yli kolminkertainen. Kun lannoituksesta oli yli neljä vuotta tuho kääntyi laskuun ja kahdeksaa vuotta vanhemmillä lannoitusaloilla se oli jo lannoittamattomia aloja pienempi. Näin lannoitustuho oli rytmiltään hakkuutuhon kaltainen mutta alkoi ja päättyi myöhemmin.

Keskimäärin lannoitusmetsiköiden tuulituho oli 75 % yleisempi, 89 % suurempi osuutena pohjapinta-alasta ja 118 % suurempi pohjapinta-alana kuin lannoittamattomien metsiköiden. Lannoitusmetsiköiden kokonaistuho (23 % inventointialueen kokonaistuhosta) oli 92 % suurempi kuin niiden osuus kokonaisalasta.

Erityisen paha tuhoa esiintyi lannoitetuissa kasvatusmänniköissä. Tämän seikan pani merkille myös metsien käsittelystä vastaava ammattiväki kautta hoitoalueen. Inventointituloksissa tämä näkyy siten, että männyllä lannoitus lisäsi tuhomäärää 141 %, kuusella vain 41 %. Puustotiheydessä ei ollut eroa. Todettakoon että hakkuiden aiheuttama suhteellinen tuhonlisäys oli männyllä ja kuusella samansuuruinen.

Aineistoa on syytä tarkastella myös lannoituksen ja hakkuun suhteen yhdessä (kuva 3). Lannoittamattomissa ja pitkään hakkaamattomina olleissa metsiköissä tuho oli vähäisin. Äskettäin hakatuissa metsiköissä tuho oli aina suuri ja lannoituksettakin selvästi suurempi kuin hakkaamatta jätetyillä tuoreilla lannoitusaloilla. Lannoitus lisäikin kaikissa tapauksissa tuhoa, vieläpä varsin samassa suhteessa olipa metsää äskettäin hakattu vai ei. Tilanne oli oleellisesti samanlainen tarkasteltiinpa mäntyä tai kuusta, tuhoprosenttia tai todellista määrää. Karkeasti ottaen lannoitus kaksinkertaisti tuhon, hakkuu kolminkertaisti. Äskettäin hakatuissa ja lannoitetuissa metsiköissä tuho oli suurin, lähes kuusinkertainen lannoittamattomiin pitkään hakkaamattomina olleisiin metsiköihin verrattuna. Ensiksi mainituissa keskimääräinen tuho oli 1,2 m²/ha eli joka 12. puu oli kaatunut aiheuttaen lukuisiin metsiköihin huomattavaa alipuustoisuutta. Yli neljä vuotta hakkaamatta olleissa vastaavissa lannoitusmetsissä kaatui keskimäärin joka 40. puu.



Kuva 3. Tuhon riippuvuus hakkuusta ja lannoituksesta.
 Fig. 3. Dependence of windthrow damage on cutting and fertilization.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Vajaan 9000-hehtaarisen tutkimusalueen puustoisissa metsiköissä (7565 ha) vuoden 1978 Aarno-myrsky kaatoi puustoa keskimäärin 2,3 m³/ha, 0,27 m²/ha, 1,7 % pohjapinta-alasta eli joka 58:n puun. Inventoinnin mukaan tuho vaihteli metsiköittäin suuresti. Siemen- ja suojuspuumetsiköiden puista kaatui keskimäärin joka 10., äskettäin harvennetuista ja samalla lannoitetuista metsiköistä joka 12., tuoreilta hakkuualoilta joka 15., lannoitusaloilta pahimmassa vaiheessa joka 21., vajaatuottoismetsistä joka 27. ja mäkien lailta joka 29. puu. Keskimäärää vähemmän tuhoa oli kookkaan metsän suojaamissa notkelmissa mutta myös harvennus- ja lannoitusmetsiköissä, kun aikaa toimenpiteistä oli kulunut 6-8 vuotta.

Vertailukohdan tuloksille tarjoavat hoitoalueen metsätalousasiakirjat ja tuhopuiden korjuutilasto. Niiden yhtäpitävyys inventointitulosten kanssa oli hyvä. Lähinnä oli erona kuusen suhteellisen vähäinen tuho. Hoitoalueen muissa osissa se oli mäntyyn verrattuna suurempaa kuin Itä-Aureen piirissä. Keskeisimmät puutteen aineistossa olivat siemen- ja suojuspuustojen sekä äskettäin samanikäisesti harvennettujen ja lannoitettujen metsiköiden niukkuus. Kasvupaikkatekijöiden

todellisten vaikutusten selvittämiseen käytetty tutkimusmenetelmä ei sopinut ko. tekijöiden riippuessa topografiasta, joka puolestaan vaikuttaa suuresti tuhoihin. Pohjapinta-alan tarkastelua häiritsi luokkien sisäisen rakenteen vaihtelu ja pituuden tarkastelua ylis- ja jättöpuusto.

Tuulen luonteella ja sen aikaisilla olosuhteilla on aina tärkeä vaikutus muodostuviin tuhoihin. Aarnon päivänä 1978 tuuli oli myrskyinen ainoastaan puuskittain; 10 minuutin keskinopeuden mukaan luokiteltuna se oli vain pitkään kestävä kova tuuli (>14 m/s), jonka suunta muuttui päivän mittaan. Sateiden ensiroudasta sulattama märkä maa heikensi juuriston otetta maasta (ks. Persson 1975). Näin ollen puut kaatuivat suhteellisen helposti juurineen. Katkenneiden puiden vähäisestä osuudesta (4%) on pääteltävissä, että roudan vallitessa tuho olisi jäänyt vähäiseksi.

Kokonaisuudessaankin tuulituhot sattuvat meillä ilman myrskyä (>21 m/s). Lähinnä myrskyjä esiintyykin saaristossa, joskus myös rannikolla. Siitä syystä puut kehittyvät siellä kestäviksi tuulta vastaan (Laitakari 1949). Sisämaassa samanlaista kestävyyttä ei ole ja tuho voi muodostua vähäisemmälläkin tuu-

lella suureksi kuten "Aarnon" tapauksessa.

Solantien (1983) mukaan puuston tuulenkestävyys riippuu ilmaston humidisuudesta. Siellä missä heinäkuun keskimääräinen haihdunta ylittää sadannan juuristo maan ajoittain kuivussa kehittyvä suhteellisen syväksi ja kestäväksi. Suomenselällä, jossa ilmasto on sateisempi ja viileämpi kuin ympäristössä riitti "Aarnon" puuskanopeus 25-26 m/s selvästi havaittaviin tuhoihin. Tuhot olivat kaikkein pahimmat siinä osassa eteläistä Suomenselkää, jossa puuskanopeus ylti tasolle 30 m/s ja johon Itä-Aure kuului.

Alttius tuulelle riippuu myös vuodenajasta. Lehdettömään aikaan ei koivu juurikaan voi kaatua. Havupuut sen sijaan jäävät silloin lehtipuiden tuulenvaimennusta vaille. Kesällä tilanne on päinvastainen. Nopean, raastavan pyörteisen ukkospuuskan tuhojälki poikkeaa suuresti pitkäaikaisen suuntaansa rauhallisesti vaihtavan tuulen aiheuttamasta tuhosta. Edellisessä juuret eivät "ehdi" katketa ennen kuin runko jo murtuu. Mm. näistä syistä eri puulajien myrskyalttiudesta on saatu hyvinkin erilaisia tuloksia (esim. Bonsdorff 1918, Heikinheimo 1927, Cajander 1934, Laitakari 1952, Persson 1975).

"Aarnon" olosuhteissa mänty oli keskimäärin kuusta alttiimpi kaatumaan. Tämä poikkeaa vakiintuneesta käsityksestä (Laitakari 1949). Arkoja olivat etenkin kasvatusikäiset männiköt ja uudistuskypsät sekä ylikäiset kuusikot. Viimemainittujen vähäinen määrä ja tuhoa suuresti lisäävän tyvilahon (Persson 1975) puuttuminen Itä-Aureesta rajoittivat osaltaan kuusen kokonaistuhota. Se jäi riippumaan nuoremmissa ikäluokista, jotka vaihtelevankokoisena sekapuustona, osin alikasvoksenakin ilmiselvästi säilyivät muun metsän suojaamana suhteellisen hyvin.

Harvennus merkitsee tuulen esteiden vähenemistä. Mitä voimakkaampi hakkuu, sitä nopeampana tuuli metsässä puhaltaa. Tuulirasitus lisääntyy yhtäkkisesti puiden kaatohekellä. Jäävät puut eivät pysty heti vahvistamaan itseään. Itse asiassa voimakas harvennus johtaa helposti vuoden tai parinkin kestävään shokkiin (Persson 1975, Vuokila 1980). Siitä toipuminen alkaa neulasten koon suurenemisella. Vuotta myöhemmin lisääntyy myös neulaslukumäärä, kasvainpituus ja oksanhaarat. Se ynnä oksien karsiutumisen pysähtyminen lisäävät sekä latvuksen painoa että tuulen tarttumapintaa. Lisärasitus johtaa mekaanisen runkomuototeorian mukaisesti (Ylinen 1952) paksuuskasvun painottumiseen

puun tyvelle. Vähässä määrin näin tapahtuu heti hakkuuta seuraavana kasvukautena. Lähivuosina se jatkuu kiihtyvänä ja sen vaikutus todella näkyy runkomuodon huononemisenä, tyven vahvistumisena ja taivutuslujuu den lisääntymisenä (Cajander 1934, Vuokila 1980). Inventoinnin tulos, metsän erityinen tuuliarkuus hakkuun jälkeen, saa näin selityksensä. Vastaavaan tulokseen on päädytty useissa muissa tutkimuksissa (esim. Persson 1975). Vaarallisinta on varttuneen ylitheydessä kituvan metsikön voimakas harventaminen (Lohmander ja Helles 1987), turvallisinta hyvälatvuksisen kasvuisan metsän varovainen hakkuu.

Lannoituksen seurauksena tuulituho lisääntyi ja nousi huippuunsa 2-4 vuotta lannoituksesta. Samantapainen lisäys on todettu myös monissa muissa tutkimuksissa (ks. Persson 1975). Lannoitus ei altista puille, mutta lisää harvennuksen lailla latvuksen painoa ja kokoa. Neulasmassa alkaa lisääntyä jo lannoituksen jälkeisenä kasvukautena ja kiihtyy edelleen sitä seuraavina parina vuotena (Viro 1965, Brix 1981, Kellomäki 1982, Saramäki ja Silander 1982). Kasvu painottuu latvuksen yläosaan ja näin puun painopiste nousee. Männyllä nämä muutokset neulasvuosikertojen pienemmän määrän ja latvuksen valopuille ominaisen korkean sijainnin vuoksi ovat suhteellisesti suuremmat kuin kuusella selittäen näin inventoinnissa todettua tuhoeroa. Paksuuskasvu paranee heti lannoituksen jälkeisenä kasvukautena ja jatkuu normaalia parempana 3-7 vuoden ajan (Viro 1965, Vuokila 1980). Se sijoittuu runkoon tasaisesti kuin harvennuksen jälkeinen, väljäasentoisissa metsiköissä runkomuoto kuitenkin aluksi huononee tyven paksuuskasvun vuoksi (Vuokila 1980). Reaktiona lisääntyneeseen latvuskuormaan tyven vahvistuminen on ensimmäiset vuodet jäljessä latvuskehityksestä.

Tuhojen vähenemisvaihe ei ensisijaisesti voi johtua latvuston pienenemisestä, vaikka myöhempinä vuosina niin neulasmassan vähentäminen tapahtuukin. Ei myöskään siitä, että rungon tyvi olisi ehtinyt kasvaa riittävän vahvaksi. Aarno-tuhon aiheutti puiden heikko kiinnittyminen ja näin ollen juuriston oli harvennuksen ja lannoituksen jälkeen täytynt huomattavasti vahvistua. Lannoitus ei juuriston kasvua lisää (Persson 1980) ja harvennuskin vain siltä osin kuin kaadetut puut jättävät tyhjää tilaa. Aineisto tukee "runkomuototeorian" ulottumista hyvinkin pitkälle

maan alle. Lisääntynyt latvuspaino, latvusala ja tuuli taivuttavat runkoa ärsyttäen sen paksuskasvuun. Rungon tuulessa taipuessa kohdistuu juuristoon suuri rasitus ja se liikkuu (Hintikka 1972). Sen seurauksena juuria venyy, osin katkeileekin. Heilumisärsyke toistuu hyvinkin yli 10 000 kertaa vuodessa. Se johtaa juurten paksuuntumiseen, katkenneiden korvaantumiseen ja runsaaseen haaromiseen eli puun kiinnittyminen maahan lujittuu. Varsinainen ravinnonotto- eli mykorrhitsajuuristo sen sijaan ei lannoituksen seurauksena lisäännä (Laiho ym. 1987).

Tehtäessä metsikössä sekä harvennus että lannoitus saadaan yleensä normaali harvennusreaktio ja lannoitusreaktio, joskus yhdysvaikutustakin (Saramäki ja Silander 1982). Kysymykseen missä järjestyksessä toimenpiteet tulisi tehdä vaiko yhtäaikaan on saatu ristiriitaisia vastauksia ja laajat yhteispohjois-maiset tutkimukset ovat vielä kesken (Gustavsen ja Huttunen 1983). Useat tutkimustulokset ja käytännön seikat puoltavat harvennuksen ja lannoituksen samanaikaista suorittamista (Salonen 1983, Albrektsen 1984). Tuulituhojen vähentämistä ajatellen se ei ole hyvä ohje. Sekä käsilläolevan että monien muiden tutkimusten (Valinger 1986) mukaan tuhot muodostuvat tuolloin suuriksi ja täysin ymmärrettävistä syistä. Tältä pohjalta lannoituksen suorittaminen 2-4 vuotta harvennuksen jälkeen tuntuisi suositeltavalta ja näin on jo aikaisemminkin suositeltu tehtäväksi (Saramäki 1981).

Metsän tuulta hidastava vaikutus ulottuu puita suojaavana pitkälle hakkuuaukkoihin (Cajander 1934). Vasta suurten aukkojen (läpimitta 30 x reunametsän pituus, Odin 1976) keskellä tuuli puhaltaa lähes esteettä. Avoalan vastareunaan tuulen voima kohdistuu erityisen pahana. Tuulelle arat metsiköt eivät sitä hakkuun jälkeisinä vuosina kestä vaan vasta vuosien kuluttua, jos silloin ovat vielä jäljellä. Paljaasihakkuu onkin aiheuttanut reunametsissä kaikkialla suuria tuhoja (Persson 1975). Avoalan koko vaikuttaa tuhorisktiin. Isoissa aukoissa tuho on tiettyä reunapituutta kohti suhteellisen suuri. Toisaalta hakkuiden osittaminen pienaukkoihin merkitsee suurta reunapituutta ja kokonaisuuden lisäämistä (Alexander 1967, Flemming 1968). Sitkan kuusella Englannissa tuho oli 4,5 aarin aukoissa samaa pinta-alaa kohti 2,4 kertainen verrattuna 4,5 ha aukkoihin (Neustein 1965). Näin tuulen hitaus pienaukoissa ei kompensoinut lisääntyneen aukon-

reunan edustamaa tuhoriskiä.

Tuulisuhteiltaan avoalanluonteinen on myös harva siemen- tai suojuospuusto. Aineiston mukaan näitä luontaisen uudistamisen asentoja tuho kohtasi kaikkein pahiten. Kaikkialla muuallakin niissä on ollut erittäin pahoja myrskytuhoja (Cajander 1934, Laitakari 1949, Persson 1975). Lähes kaikilla metsänomistajilla on niistä epämiellyttäviä kokemuksia. Uudistamisvaihetta ei voida ohittaa ilman huomattavaa tuulituhoriskiä paitsi jatkuvasti kasvattaen.

Alaharvennettu yksijaksainen tasaikäinen metsikkö on suhteellisen avoin tuulelle (Leikola 1967). Eri-ikäismetsikössä tuulen kulku selvästi hidastuu latvuston keski- ja alaosissa. Nuorilla ja keski-ikäisillä puilla tuhoalttius tällöin olisi vähäinen. Osittain tähän seikkaan perustuu tässä tutkimuksessa todettu pienikokoisen kuusen vähäinen tuho. Valta-puiden latvat ovat eri-ikäismetsässä tuulelle alttiimpia kuin tiheäasentoisemmassa tasaikäismetsässä. Toisaalta niiden runko ja latvuksen alaosa ovat edellisessä suojatummalla. Tasaikäismetsässä tuho keskittyy pahana uudistamisvaiheeseen, eri-ikäismetsässä se on jatkuvaa mutta vähäisempää. Kokonaisuudesta ei ole yksimielisyyttä. Eräiden tutkimusten mukaan eri-ikäismetsä on tässä suhteessa edullisempi (Hedemann-Gade 1936), joidenkin mukaan tasaikäismetsä (Persson 1975).

Kasvatuslannoitus ei ole hakkuiden lailla välttämätön. Lisäkasvun on ylitettävä kustannukset. Yhtenä kustannuksena on lisääntyvä tuulituho. Sen suuruuteen vaikuttavat mm. tuhotuulen osumistodennäköisyys, tuhon luonne ja korjuulosuhteet. Lannoituksen aiheuttama vähäinen tuho jää helposti korjaamatta ja kokonaan tappioksi. Muuten vähäisen tuhon lisääntyminen lannoituksen seurauksena ei ole samassa määrin tappiollista. Vakavinta on tuho silloin kun kasvatusmetsä lannoituksen takia kaatuu vajaatuot-toiseksi ja puut katkeilevat vaikeasti korjattavaksi murrokoksi. Näiden ja monien muiden tekijöiden vuoksi lannoituksen aiheuttamaa todellista tuulituhoriskiä on vaikea määrittää.

Kokonaisuudessaan tuulituhoriski on meillä kohtuullisen vähäinen. Ruotsin viimeisessä suurtuhoissa vuonna 1969 menetettiin 37 milj.m³ eli 1,5 % puustosta. Hirmumyrskyjä oli siellä ko. syksynä kolme ja tuulen keskinopeus 41 m/s, joka onkin korkein Ruotsissa mitattu lukema (Persson 1975).

Meillä suurimmat tuhot ovat olleet 0,3 % puustosta keskimääräisen menetyksen ollessa 1 milj.m³/v. Toivottavasti tulevat tuulituhot jäävät vähäisemmiksi, ainakin viime vuosina kovia tuulia on poikkeuksellisen paljon osunut roudattomaan, myrskylle alttiiseen aikaan (Solantie 1986).

Käytännön suosituksina tuhoinventoinnin tulokset korostavat hakkuuaukkojen rajauksen suurta merkitystä ottaen huomioon vallitsevat tuulet, maaston muodon ja erityisesti välttämällä vanhan tiheänä kasvaneen metsän jäämistä reunapuustoksi. Voimakkaita harvennuksia olisi vältettävä, samoin palstateiden urittumista ja juurten katkeilua. Metsäi-

set suot pitäisi ojittaa mahdollisuuksien mukaan paljaaksihakkuuvaiheessa. Siemen- ja suojustuho tulisi etukäteen valmentaa tuulta kestäviksi ja välttää pitkää seisottamista. Tuhopuiden korjuuseen on etukäteen varauduttava ja mahdollisuuksien mukaan käytettävä reunametsän siemennystä ja mm. alikasvosuudistamista. Lannoitettaessa tulee ottaa huomioon tuulituhoriski, joka on vähäisin käytettäessä pienehköä annostusta hyväkuntoiselle puustolle. Lannoitusta harvennuksen yhteydessä on suositeltavaa välttää. Näin menetellen kovienkin tuulten aiheuttamat vahingot saadaan pidetyksi kohtuuden rajoissa.

5. YHTEENVETO

Marraskuussa 1978 riehuneen Aarno-myrskyn aiheuttamaa puustotuhoa tutkittiin linjoittaisella ympyräarvioinnilla metsähallinnon Parkanon hoitoalueessa. Ensisijaisena tarkoituksena oli tuhon metsiköittäisen vaihtelun ja sen syiden selvittäminen. Puustoisia relaskooppinäytealoja kertyi 1513 kpl ja ne edustivat 76 km linjapituutta.

Tuhon sattuessa maa oli vast'ikään ensiroudasta sulanut ja hyvin märkää. Tuuli ei ollut virallisesti myrsky (nopeus > 21 m/s 10 min. keskiarvona), kuten ei muissakaan viimeaikaisissa tuhoissa. Kyseessä oli ns. kova tuuli (>14 m/s), joka kesti lähes koko päivän, muutti laaja-alaisesti suuntaansa ja aiheutti suurtuhoon. Puita kaatui pitkin päivää. Katkenneita puita oli vain 4% tuhomäärästä, muut kaatuivat juurineen tai jäivät nojalleen.

Keskimääräinen tuho oli 1,7 % pohjapinta-alasta merkiten 0,27 m²/ha eli 2,3 m³/ha. Näytealoista 80 % oli vailla tuhoa. Yhdellä prosentilla tuho ylitti 4 m²/ha merkiten neljännessä tuhon kokonaisuudesta. Kolmella prosentilla tuho oli 2-3 m²/ha merkiten niin ikään neljännessä. Toinen puoli oli hajanaisista tuhoja. Tuhon metsiköittäinen vaihtelu oli näin ollen suurta.

Lehdettömyyden vuoksi koivun tuho jäi mitättömäksi. Mäntyä kaatui suhteellisesti

enemmän kuin kuusta. Männyn tuho kohdistui lähes tasaisesti kaikenkokoisiin puihin, kuusen tuho keskittyi erittäin selvästi kookkisiin puihin. Tämä ilmeni tuhon runsauteena kasvatusmänniköissä ja toisaalta erittäin pahoina tuhoina hakkuukypsissä ja yli-ikäisissä kuusikoissa.

Puuston pidetessä tuho lisääntyi moninkertaiseksi. Metsän tiheessä tuhon osuus kokonaisuudesta aleni, mutta kokonaisuus säilyi samana. Kehitysluokittaiset erot olivat erityisen selvät. Taimikoista kaatui vain ylispuuta. Metsän varttuessa tuho lisääntyi. Pahiten tuuli koetteli siemen- ja suojustuhoja sekä yli-ikäisiä metsiä.

Metsätyypin, soistuneisuuden ja maalajin tarkan vaikutuksen selvittämistä esti näiden tekijöiden riippuvuus korkeusasemasta, maaston muodosta ja puuston antamasta tuulisuojasta. Viimeksi mainittujen vaikutus tuhoon olikin suuri. Pahimmin tuuli kohdistui mäkien lakiin. Eturinteillä tuho oli takarinteitä runsaampaa. Suojaisinta oli mäkien välisissä poikittaisnotkoissa. Myös puuston antaman suojan merkitys osoittautui suureksi.

Hakkuunjälkeiset kaksi vuotta olivat erittäin tuhoaltista aikaa. Erityisen runsasta tuho oli hakkuuaukkojen suojattomissa reunoissa. Hakkuunjälkeinen toipuminen oli

kuitenkin niin nopeaa, ettei tuho neljää vuotta vanhemmilla hakkuualoilla paljoa ylittänyt keskimäärää.

Lannoitus lisäsi tuhoa selvästi. Korkeimmillaan se oli 2-4 vuotta lannoituksesta. Sen jälkeen tuho aleni edellisen tapaan. Pahiten tuho koetteli äskettäin hakattuja ja samalla lannoitettuja metsiköitä. Tällöin se oli lähes kuusinkertainen verrattuna näiden käsittelyjen puuttumiseen.

Tuhojen torjunnassa on tärkeää tehdä

hakuut ja hoitotoimenpiteet ajallaan ja välttää voimakkaita käsittelyjä. Hakkuuaukkojen raja-
us on tehtävä huolellisesti ja totutettava reunametsiköt ja siemenpuut jo etukäteen kestävänsä syntyvä rasitus. Lannoitusmetsiköiden tulee olla hyvässä kasvukunnossa ja "harvennushokista" toipuneita. Kovien tuulten aiheuttamia tuhoja ei voida estää, mutta oikein toimimalla niitä voidaan huomattavasti vähentää.

KIRJALLISUUS

- Albrektsen, A. 1984. Så påverkas träden av gallring. Skogen (10):24-27.
- Alexander, R. R. 1967. Windfall after clearcutting on Fool Creek. Rocky mountain forest and range experiment station, U.S. Forest Service, Research Note RM-92. 11 s.
- Annala, E. & Petäistö, R.-L. 1978. Insect attack of windthrown trees after the December 1975 storm in Western Finland. Seloste: Hyönteisten lisääntyminen tuulen kaatamissa puissa Länsi-Suomessa vuoden 1975 joulukuun myrskyn jälkeen. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 94(2). 24 s.
- Bonsdorff, A. J. 1918. Beiträge zur Kenntniss der Sturmschäden in Finnland. Acta Forestalia Fennica 8(2). 55 s.
- Brix, H. 1981. Effects of thinning and nitrogen fertilization on branch and foliage production in Douglas-fir. Canadian Journal of Forest Research 11:502-511.
- Cajander, E. K. 1934. Havaintoja eräällä myrskytuhoalueella. Acta Forestalia Fennica 40(10). 21 s.
- Cremer, K. W., Myers, B. J., van der Duys, F. & Craig, I. 1977. Silvicultural lessons from the 1974 windthrow in radiata pine plantations near Canberra. Australian Forestry. 40(4):274-292.
- Dansk skovbrug i glint. 1982. Dansk skovforening. 52 s.
- Day, W. R. 1949. The soil conditions which determine windthrow in forests. Forestry 23:90-95.
- Flemming, G. 1968. Windgeschwindigkeit auf Waldumgebungen Freiflächen. Archiv für Forstwesen 17(1):5-16.
- Goss, D. W. 1961. Windthrow in young plantations on ploughed heathland. Sylva, Edinb. No. 41.
- Gustavsen, H. & Huttunen, T. 1983. Ensiharvennussien lannoitus pohjoismaisen yhteistutkimuksen kohteena. Metsä ja Puu (9):10-11.
- Hedemann-Gade, E. 1936. I vad mån kan skogvården motverka stormskador. Värmländska Bergmannaföreningens annaler 157-161.
- Heikinheimo, O. 1927. Myrskytuhoista Raivolan lehtikuusimetsässä syyskuun 23. päivän 1924. Referat: Über die Sturmschäden in dem Lärchenwalde bei Raivola am 23. September 1924. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 12(2). 52 s.
- Heikurainen, L. 1955. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. Acta Forestalia Fennica 65(3). 85 s.
- Heino, R. 1976. Taulukoita Suomen ilmasto-oloista kaudelta 1961-1975. Climatological tables in Finland, 1961-1975. Suomen meteorologinen vuosikirja 75(1a).
- Hintikka, V. 1972. Wind-induced root movements in forest trees. Seloste: Havaintoja tuulen aiheuttamista liikkeistä puiden juuristoissa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 76(2). 56 s.
- Honkaranta, E. 1976. Kulot, myrsky ja lumi metsätuhojen aiheuttajina. Suomen Metsäyhdistys r.y. Kevätmetsäviikko 1976. Metsäviikon avajaisissa ja yleisessä kokouksessa 23.3.1976 pidetyt esitelmät ja alustukset, s. 12-15.
- Huuri, O. 1976. Kallistumisilmiö istutusmänniköissä; tiedustelun tuloksia. Summary: Tilting of planted pines; survey results. Folia Forestalia 265. 22 s.
- Kellomäki, S. 1978. Typpilannoituksen vaikutus havupuiden fotosynteesikapasiteettiin. Summary: Effect of nitrogen fertilizers on photosynthetic capacity of coniferous trees. Silva Fennica 12(3):231-239.
- Koskinen, T. 1982. Aarno-myrskyn tuhot Parkanon yksityismetsissä verovapaustilaston valossa. Konekirjoite. Helsingin yliopiston ympäristönsuojelun laitos. 58 s.
- Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. 1975-1985. Ilmatieteen laitos.
- Köstler, J. N. 1956. Waldbauliche Beobachtungen an Wurzelstöcken sturmgewurfener Nadelbäume. Forstwissenschaftliches Centralblatt 75:65-91.
- Laasasenaho, J. 1975. Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan katkaisuläpimitästä. Summary: Dependence of the amount of harvestable timber upon the stump height and the top-logging diameter. Folia Forestalia 233. 20 s.
- Laiho, O. 1979. Taimikehitys metsänhoitoyhdistysten mätästysaloilla. Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja 8. 12 s.
- 1980. Aarno-myrskyn tuhot erilaisissa metsiköissä. Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja 9. 8 s.

- Sarjala, T., Hyvärinen, R. & Rautiainen, L. 1987. Lannoituksen vaikutus männikön mycorrhizoihin. Summary: Effect of fertilization on mycorrhizae in pine stands. *Folia Forestalia* 699. 22 s.
- Laitakari, E. 1927. Männyn juuristo. Morfologinen tutkimus. Summary: The root system of pine. A morphological investigation. *Acta Forestalia Fennica* 33(1). 380 s.
- 1929. Über die Fähigkeit der Bäume sich gegen Sturmgefahr zu schützen. *Acta Forestalia Fennica* 34(34). 29 s.
- 1949. Metsän ilmastolliset vaarat. Teoksessa: Kalela, E. K. (toim.). Suuri Metsäkirja. WSOY, Porvoo. s. 434-454.
- 1952. Myrskyistä ja myrskyn tuhoista Suomessa vv. 1911-1950. Summary: On storms and storm damage in Finland during the period 1911-1950. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(30). 29 s.
- Lapin myrskytuhoityöryhmä 1982. Mauri-myrskyn metsille aiheuttamat tuhot ja toimenpide-ehdotukset niiden johdosta. Konekirjoite Rovaniemen tutkimus- asemalla. 32 s.
- Leikola, M. 1967. Havaintoja erään hoidetun männikön tuulisuhteista. Summary: Observations on wind conditions in a managed Scots pine stand. *Silva Fennica* 1(3):57-71.
- Linkosalo, P. 1979. Parkanon hoitoalueen metsätaloussuunnitelma. Metsähallitus, konekirjoite. 343 s.
- Lohmander, P. & Helles, F. 1987. Windthrow probability as a function of stand characteristics and shelter. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2(2):227-238.
- MacKenzie, R. F. 1976. Silviculture and management in relation to risk of windthrow in Northern Ireland. *Irish Forestry*. 33(1):29-38.
- Manta hurjempi kuin Mauri. 1985. *Metsälehti* (21):8-9.
- Neustein, S. A. 1965. Windthrow on the margins of various sizes of felling area. In: Report on forest research for the year ended March 1964. Forestry Commission, London. s. 166-171.
- Odin, H. 1976. Skogsmeteorologiska faktorers förändring med kalhugning. Del 1. Vinden och avdunstningen. Biometeorologiska introduktion. Summary: Studies of wind and evaporation in forest and clear felled areas. Skogshögskolan, Institutionen för Skogsföryngring, Rapporten och uppsatser 73.
- Paavilainen, E. 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juuristosuhteisiin. Summary: On the effect of drainage on root system of Scots pine on peat soils. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 61(1). 110 s.
- Persson, H. 1980. Fine-root dynamics in a Scots pine stand with and without near-optimum nutrient and water regimes. *Acta Phytogeographica Suecica* 68:101-110.
- Persson, P. 1975. Stormskador på skog - Uppkomstbetingelser och inverkan av skogliga åtgärder. Summary: Windthrow in forests - Its causes and the effect of forestry measures. Skogshögskolan. Institutionen för skogsproduktion. Rapporten och uppsatser 34. 294 s.
- Saarenmaa, H. 1987. Tuhohyönteisten ja sinistymän esiintyminen myrskyn kaatamissa puissa Lapissa 1983-86. Summary: Insect attack and staining in windthrown trees in Lapland 1983-86. 18 s.
- Salonen, K. 1983. Lannoitus ja harvennus. *Metsä ja Puu* (2):20-21.
- Saramäki, J. 1981. Vaikuttaako lannoitus runkomuotoon. *Metsä ja Puu* (8):13-14, 22.
- & Silander, P. 1982. Lannoituksen ja harvennuksen vaikutus männyn latvukseen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 52. 42 s.
- Simpson, A. W. 1967. Relation between windthrows and top height at Baranscourt forest. *The Forester, Forestry Division, Ministry of Agriculture, N-Ireland* 8:31-33.
- Solantie, R. 1983. Aarnon ja Maurin antia. Metsän myrskytuhojen ja tuulen nopeuden vastaavuus alueittain Suomessa. *Metsä ja Puu* (2):9-11.
- 1986. Lisääntyneet tuulivahingot metsissä - syntipukkina ilmasto vai metsänhoito. *Metsänhoitaja* 36(2):20-22.
- Viro, P. J. 1965. Estimation of the effect of forest fertilization. Seloste: Metsän lannoituksen vaikutuksen arvioiminen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 59(3). 42 s.
- Valinger, E. 1986. Risk för stormskador. *Skogen* (1):53-54.
- Wangler, F. 1976. The susceptibility of Norway spruce windthrow as affected by site, stand type and stand height. *Forst- und Holzwirtschaft* 31(12):202-222.
- Vuokila, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY. Porvoo. 256 s.
- Ylinen, A. 1952. Über die mechanische Schaftformtheorie der Bäume. *Silva Fennica* 76. 51 s.

Total of 54 references

SUMMARY

Susceptibility of forest stands to windthrow in Southern Finland

Material

Windthrow is not the same sort of problem in Finland as it is for instance in Central Europe. However, during the last ten years there have been many major storms (Table 3) which have felled a total of over 10 mill. m³ of timber.

In recent years there has been considerable discussion about the reasons for increased windthrows. The question has arisen of whether present intensive forest management (clear-cutting, heavy thinning, mechanical removal in which the roots are broken off, artificial reforestation, fertilization, forest ditching etc.) is responsible for the increased susceptibility to windthrow. The severe windthrow damage that occurred in the vicinity of the Parkano Research Station on November 16th, 1978, offered an excellent opportunity to investigate factors that determined the windthrow susceptibility of forest stands.

Prior to the storm, the autumn had been very wet and the ground free of frost. In addition, the soil was rather waterlogged and completely free of snow. A low pressure storm centre arrived in the area from the south west. During the day the wind velocity ranged from 10 to 19 m/s (gust velocity 15-30 m/s). The high winds persisted throughout the day, and the wind direction changed. Trees were felled throughout the day, and the volume of timber affected in western Finland amounted to around 2.5 mill. m³.

A rangership of about 10000 ha in the Parkano district of the Forest Service where the windthrow was known to be severe was selected as the study area. The area is slightly higher (140-210 m above sea level) than the surrounding land, the terrain is slightly hilly and the site fertility about the average for Southern Finland. The dominant tree species is Scots pine (*Pinus sylvestris*), and other major species are Norway spruce (*Picea abies*) and birch (*Betula pubescens* and *B. pendula*) (Table 4). The mature stands in the area have regenerated naturally, and some of the younger ones through seeding.

Inventory lines were marked out through the area at right angles to the length of the terrain at one kilometre intervals, and relascope plots taken at 50 m intervals along the lines. Both windthrown and standing trees were measured, and a number of site factors estimated. Altogether 1513 of the plots had a tree cover. The results were calculated as the basal-area of the fallen trees, the proportion of the former out of that of the stand before the storm, and the frequency of fallen trees on the plots.

Windthrow pattern

Windthrow occurred very irregularly in the forest. 80 % of the plots had no damage at all. On the other hand, half of the total windthrow damage was concentrated on 4 % of the plots. The other half consisted of randomly located, single trees (Table 7).

At the time of the storm, the grasp of the roots from the ground was at its weakest. Only 4 % of the trees had snapped off, the rest had fallen over and pulled up their root system, or left leaning against other trees. If the ground had been frozen the number of windthrows would undoubtedly have been much less.

Birch was not in leaf at the time of the storm, and an insignificant number of birch was blown down. In contrast to earlier experiences, spruce proved to be much less susceptible than pine. Damage to pine was characterized by a considerable amount of windthrow in young and middle-aged stands. On the other hand, small spruce trees present as admixtures or undergrowth proved to be resistant. However, the windthrow susceptibility of large sawlog spruce was clearly greater than that of pine.

Stand structure and topographical aspects

The basal-area in the densest stands was almost 50 m²/ha. The proportion of windthrow decreased with increasing density, although the volume affected remained the same (Table 10). With an increase in dominant height, all parameters on windthrow increased steeply and statistically significantly. The development class had an especially clear affect on windthrow. Only emergent trees had fallen in sapling stands. Windthrow increased consistently as the stand age increased. This reached a peak in seedtree and shelterwood stands, where every tenth tree had been blown down and, despite the low stocking densities, the volume of windthrows per hectare was also greatest. The financial loss through windthrow was further increased by the large size and good quality of the trees in these stands.

Site fertility had no effect at all on the proportion of windthrow, although the amount of damage was clearly greatest on fertile sites. The material included 40 % peatlands and waterlogged mineral soil sites. Basic drainage in the area has, in the main, already been completed and the condition of the ditches was satisfactory or good. Paludification had a surprising effect in that it decreased the amount of windthrows. This is partly due to the fact that peatlands are situated in low-lying areas, and are hence protected, and also to the lower density and height of the stands compared to those on mineral soil sites.

Topography played a central role in the occurrence of windthrow. Windthrow was least common in the hollows between hills and hummocks protected from the wind, and most severe on the top of hills and hummocks and exposed slopes (Table 12). Another factor which naturally was of importance was whether the stand on the plot was sheltered or open on the side exposed to the wind.

Stand treatment

Thinnings are an inevitable measure in practical forestry. However, they also make stands more susceptible to windthrow. Thus, irrespective of whether it was a case of thinning or regeneration cuttings, windthrow was very common in such stands during the first couple of years. It subsequently decreased, and in cases where four years had elapsed it was not very frequent in cutting areas (Table 13).

12 % of the plots were located in forest which had been fertilized with nitrogen (dosage of 150 kgN/ha). The incidence of windthrow was double during the first couple of years on the fertilized plots compared with the unfertilized ones. This susceptibility continued to increase, but four years after fertilization it started to decrease. After eight years it had decreased to below the level on the unfertilized plots. In general, fertilization doubled the number of windthrows, and cuttings tripled

it. The damage was the greatest on plots which had newly been fertilized and thinned (Fig. 3), being almost six times greater than that on unfertilized plots which had not been thinned for a fairly long period.

Recommendations

The results of the study emphasize the great importance of planning the size and form of clearcut areas, i.e. taking into account the prevailing wind direction and topography, and in particular avoiding situations where old, densely stocked stands are left along the edge of openings. Heavy thinning should be avoided, as well as harvesting during wet periods on soil with a poor load-bearing capacity. Ditching of peatlands with a tree cover should be done at the same time as clear-cutting. Seed and shelterwood trees should be trained windproof beforehand, and not left to stand for too long. Provision should be made beforehand for harvesting windthrows and, where possible, edge stands should be used for seeding. Regeneration using undergrowths is another practice to avoid windthrow. Fertilization should be applied, owing to the increased risk of windthrow, only in stands in good condition and in moderate dosages. Carrying out fertilization at the same time as thinning should be avoided. When these recommendations are followed, the windthrow damage caused by storms can be kept within manageable levels.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun tutkimusasema
Punkaharju Research Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 1514 000

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* PL 44
69101 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

1987

- No 681 Kaunisto, Seppo: Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla.
Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas.
- No 682 Voipio, Raili: Puiden biomassan vitamiinipitoisuus.
Vitamin content of tree biomass.
- No 683 Uusvaara, Olli & Verkasalo, Erkki: Metsähakkeen tiiviys ja muita teknisiä ominaisuuksia.
Solid content and other technical properties of forest chips.
- No 684 Rikkonen, Pentti: Havutukkien kuorelliseen latvaläpimitaan perustuva tilavuuden määrittäminen.
Volume of coniferous saw logs based on top diameter over bark.
- No 685 Huuri, Olavi, Lähde, Erkki & Huuri, Leena: Tiheyden vaikutus nuoren istutusmännikön laatuun ja tuotokseen.
Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations.
- No 686 Valtanen, Jukka & Engberg, Mikael: Vuosina 1970—72 perustetun aurasalueiden metsänviljelykokeen tulokset Kainuussa ja Pohjanmaalla.
The results from Kainuu and Pohjanmaa of the ploughed-area reforestation experiment begun during 1970—72.
- No 687 Nurmi, Juha: Polttohakkeen kuivatus traktorikonteissa.
Drying of fuel chips and chunks in wooden bins.
- No 688 Juntunen, Marja-Liisa (red.): Arbetssäkerhet och belastning vid själverksam skogsägares drivningsarbete — NSR slutrapport.
Work safety and strain of self-employed forest owners during logging.
Työturvallisuus ja kuormittuminen omatoimisten metsänomistajien puunkorjuussa.
- No 689 Nöjd, Pekka, Mälikönen, Eino & Kukkola, Mikko: Lehtikuusen lannoituskokeiden tuloksia.
Growth response of *Larix* to fertilization.
- No 690 Metsätilastollinen vuosikirja 1986.
Yearbook of Forest Statistics 1986.
- No 691 Ritari, Aulis: Lumipeitteen sulamisen riippuvuus eräistä metsikkö- ja kasvupaikkatunnuksista Kivalon tutkimusalueella.
Ablation of late snowcover in relation to some stand and site characteristics in Kivalo, northern Finland.
- No 692 Sirén, Matti, Ala-Ilomäki, Jari & Högnäs, Tore: Harvennuksiin soveltuvan metsäkuljetuskaluston maastokelpoisuus.
Mobility of forwarding vehicles used in thinnings.
- No 693 Löfström, Irja (toim.): Taajamametsien hoito.
Urban forestry.
- No 694 Verkasalo, Erkki: Metsähakkeen kosteuden ja kuivamassan mittaaminen kuormaotantamenetelmillä.
Measurement of moisture content and dry weight of forest chips by load sampling methods.
- No 695 Poteri, Marja, Heikkilä, Risto & Yuan-Yi, Liu: Peltolueen aiheuttaman kasvuhäiriön kehittyminen yksivuotiailla männyntaimilla.
Development of the growth disturbance caused by *Lygus rugulipennis* in one-year-old pine seedlings.
- No 696 Saarenmaa, Hannu: Tuhohyönteisten ja sinistymän esiintyminen myrskyn kaatamissa puissa Lapissa 1983—86.
Insect attack and blue stain in windthrown trees in Lapland 1983—86.
- No 697 Aarne, Martti: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1985.
Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1985, by districts.
- No 698 Ihalainen, Ritva: Nainen metsänhoitajana.
Woman as a forester in Finland.
- No 699 Laiho, Olavi, Sarjala, Tytti, Hyvärinen, Riitta & Rautiainen, Lea: Lannoituksen vaikutus männikön mykorrisoihin.
Effect of fertilization on mycorrhizae in pine stands.
- No 700 Salonen, Tommi (toim.-ed.): Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1986.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1986.
- No 701 Nikkanen, Teijo & Pukkala, Timo: Siemenviljelysten harvennussuunnitelman laatiminen ATK-ohjelmistolla.
Making a thinning plan for seed orchards using a computer program.
- No 702 Saksala, Timo: Männyn taimikoiden kehitys auratuilla ja äestetyillä istutusaluilla Keski-Suomessa.
Development of Scots pine plantations in ploughed or harrowed reforestation areas in Central Finland.
- No 703 Mattila, Eero & Penttilä, Timo: Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien suometsät vuosina 1952—1984.
Peatland forests of Lappi and Koillis-Suomi forestry board districts, North Finland, 1952—1984.
- No 704 Huuri, Olavi & Huuri, Leena: Metsäpuiden pystykarsinnan varhaisvaiheet Keski-Euroopassa ja Suomessa.
The early days of forest tree pruning in Central Europe and Finland.
- No 705 Turkia, Kyösti & Kellomäki, Seppo: Kasvupaikan viljavuuden ja puuston tiheyden vaikutus nuorten mäntyjen oksien läpimittaan.
Influence of the site fertility and stand density on the diameter of branches in young Scots pine stands.
- No 706 Laiho, Olavi: Metsiköiden alttiut tuulituholle Etelä-Suomessa.
Susceptibility of forest stands to windthrow in Southern Finland.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.