

12.03.91



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1990

751

Pekka Kilkki & Matti Kujala

POISTUMAN ARVIOINTI KAHDEN PERÄKKÄISEN TILAPÄIS-
KOEALOIHIN PERUSTUVAN INVENTOINNIN AVULLA

Estimation of drain on the basis of two successive forest
inventories with temporary sample plots

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 857 051
Phone:

Telex: 121286 metla sf
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
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 koetointaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä 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 751

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1990

Pekka Kilkki & Matti Kujala

POISTUMAN ARVIOINTI KAHDEN PERÄKKÄISEN
TILAPÄISKOEALOIHIN PERUSTUVAN INVENTOINNIN AVULLAEstimation of drain on the basis of two successive forest inventories
with temporary sample plots*Approved on 18.5.1990*

SISÄLLYS — CONTENTS

1. JOHDANTO	3
2. MENETELMÄ	4
21. Poistuman laskentamalli	4
22. Poistuman kasvun arviointi	5
3. AINEISTO	6
4. TULOKSET	8
5. TULOSTEN LUOTETTAVUUS	10
6. TARKASTELU	12
KIRJALLISUUS — REFERENCES	13
SUMMARY	14
LIITTEET — APPENDICES	15

Kilkki, P. & Kujala, M. 1990. Poistuman arviointi kahden peräkkäisen tilapäiskoealoihin perustuvan inventoinnin avulla. Summary: Estimation of drain on the basis of two successive forest inventories with temporary sample plots. *Folia Forestalia* 751. 17 p.

Tutkimuksessa esitetään menetelmä kokonaispoistuman arvioimiseksi kahden peräkkäisen tilapäiskoealoihin perustuvan inventoinnin tuloksista. Lähtötietoina tarvitaan alku- ja lopputilanteen runkolukusarjat ja läpimitaluoittaiset läpimitan kasvut. Lineaariseen optimointiin perustuvan siirtymälaskelman avulla saadaan selville poistuvan puuston runkolukusarja, josta voidaan laskea poistuman tilavuus ja puutavaralajirakenne. Menetelmää kokeiltiin yhdeksän eteläisimmän metsälautakunnan ja Ahvenanmaan alueella. Alueen metsäala on yhteensä 57 000 km². Puustotiedot saatiin valtakunnan metsien 7. ja 8. inventoinneista. Inventointien välisen ajan 9 vuoden kokonaispoistuma oli 8 prosenttia aiempia, puunkäyttötutkimuksista ja markkinapuunhakkuu-tilastoista saatuja arvioita suurempi. Ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Sen sijaan pieniläpimittaisen lehtipuun poistuma ylitti merkitsevästi tilastoidun poistuman. Osaltaan tämä selittyy sillä, että tilastoidussa hukkapuupoistumassa ovat mukana vain yli 5 cm:n kannot.

The total drain can be estimated from the data of two successive forest inventories with temporary sample plots. Input data consist of the dbh-distribution of the growing stock at the two inventories and of the diameter increment. Simulation of increment and drain is based on linear programming and yields the dbh-distribution of the drain which can be transformed into volumes and timber assortments. The method was tested in southern Finland with National Forest Inventory data from an area of 57 000 km² of forestry land. Drain estimates for a nine-year period between two successive inventories did not, in general, significantly deviate from the previous figures based on cutting and timber use statistics. For small broadleaved trees the earlier drain figures seem to be clear underestimates. This is partially due to the fact that the earlier drain figures do not include trees with stump diameter below 5 centimeters.

Keywords: drain, increment of the drain, dbh-distribution, temporary sample plots, forest inventory, linear programming.
ODC 905.2+562.

Correspondence: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Inventory and Yield. Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland. (Prof. Pekka Kilkki † 8.9.1990.)

ISBN 951-40-1104-X
ISSN 0015-5543

Helsinki 1990. Valtion painatuskeskus

1. Johdanto

Kokonaispoistuma koostuu kaavan (1) ilmaisemista osista

$$s = hk + mt + lp \quad (1)$$

jossa

s = kokonaispoistuma – *total drain*
hk = hakkuukertymä – *cutting removal*
mt = metsätähde – *forest waste*
lp = luonnonpoistuma – *natural drain*

Hakkuukertymä ja metsätähde yhdessä muodostavat hakkuupoistuman. Luonnonpoistumalla tarkoitetaan käyttämättä jäävää osaa luontaisesti kuolleista puista. Hukkapuu on luonnonpoistuman ja metsätähteen summa.

Valtakunnalliset hakkuukertymän arviot perustuvat Suomessa puunkäyttötutkimuksiin ja vuodesta 1985 alkaen markkinahakkuututkimuksiin (esim. Pajuoja 1987, 1989). Puunkäyttötutkimukset jakautuvat teollisuuden puun käyttötutkimuksiin ja puun kotitarvekäyttötutkimuksiin. Niille on ominaista, että hakkuukertymätiedot saadaan vain suurille alueille. Lisäksi kotitarvekäyttötutkimuksia tehdään verraten harvoin. Markkinahakkuututkimus kohdentaa hakkuukertymän paremmin, mutta kotitarvehakkuut jäävät sen ulkopuolelle. Metsätähde lasketaan erilliselvityksistä saatujen prosenttilukujen avulla (Mikkola 1969, 1972). Luonnonpoistumaluvut ovat ilman perusteellisia tutkimuksia tehtyjä arvioita.

Hakkuupoistumaa on yritetty määrittää myös edellisen hakkuuvuoden kannoista. Ongelmana on ollut kantojen iän määrittäminen ja kantojen löytäminen. Kannoista arvioitu

hakkuupoistuma on ollut pienempi kuin puunkäyttötalustoista saatu poistuma (Tiihonen 1962). Tilapäiskoealoilla tehdyt kantomittaukset eivät anna luotettavaa tietoa edes hakkuupoistuman jakautumisesta puulajeihin ja läpimittaluokkiin, sillä eri kokoisten ja eri puulajin kantojen löytymistodennäköisyys vaihtelee.

Nykyisin käytetyllä poistuman arviointimenetelmällä on mm. seuraavia puutteita:

1. Poistuma on yleensä esitetty vain puulajeittain, lehtipuut yhtenä ryhmänä.
2. Koska poistuman arviointi on käyttölähtöistä, laho-vikainen kuusi saattaa tilastoitua mäntynä. Samoin järeää kuusta voi tilastoitua kuitupuuna.
3. Koska sekä metsät että hakkuut ovat muuttuneet, yli 20 vuotta vanhat metsätähdettä koskevat luvut ovat epäluotettavia. Lisäksi metsätähdearvioissa on mitattu vain yli 5 cm:n läpimittaiset kannot.
4. Luonnonpoistuma-arviot eivät perustu luotettaviin tutkimuksiin.

Näiden puutteellisuuden korjaamiseksi tässä tutkimuksessa pyritään kehittämään menetelmä, jossa peräkkäisten, kertakoealoihin perustuvien inventointien tietoja käytetään inventointien välisen ajan kokonaispoistuman määrän ja rakenteen selvittämisessä. Samalla tutkitaan mahdollisuuksia arvioida poistuman kasvu nykyistä luotettavammin ja yksityiskohtaisemmin.

Tutkimuksen käsikirjoituksen ovat lukeneet Juha Lappi, Risto Ojansuu, Simo Poso ja Yrjö Sevola. Kiitämme heitä arvokkaista, lopputulosta parantaneista huomautuksista.

2. Menetelmä

21. Poistuman laskentamalli

Kuusela (1978) on osoittanut, että puuston tilavuuden kehitys suuralueilla voidaan ennustaa luotettavasti valtakunnan metsien inventoinnista (VMI) saadun alkupuuston ja kasvutietojen sekä lähinnä hakkuutilastoista saadun poistuman arvion avulla. Loppupuusto saadaan kaavasta

$$K = k + i - s \quad (2)$$

jossa

K = loppupuusto — *final growing stock*

k = alkupuusto — *initial growing stock*

i = kasvu — *increment*

s = poistuma — *drain*.

Jos tiedossa on alkupuusto, loppupuusto ja jakson kasvu, voidaan kaavasta (2) ratkaista jakson aikana tapahtunut poistuma

$$s = k + i - K \quad (3)$$

Poistuma voidaan laskea puulajeittain halutuille osaluille ja muille ositteille.

Kasvu saadaan kaavasta

$$i = K + s - k \quad (4)$$

Alkupuuston ja loppupuuston arviot saadaan VMI:sta suuralueille luotettavasti. Myös inventointien välisen ajan kasvu saadaan jokseenkin luotettavasti jälkimmäisessä inventoinnissa tehtyjen 5 vuoden kasvunmittausten ja kasvuindeksikorjausten avulla. Kasvuindeksikorjaus tarvitaan niille inventointien väli vuosille, joita jälkimmäisen inventoinnin kasvunmittausjakso ei kata.

Jotta myös poistuvan puuston rakenne saataisiin selville, poistuma on selvitettävä läpimittaluokittain. Tämä tapahtuu periaatteessa siten, että alkuinventoinnissa saatua runkolukusarjaa kasvatetaan rinnankorkeusläpimitan kasvumallilla jakson loppuun ja näin kasvateista runkolukusarjasta vähennetään loppuinventoinnissa mitattu runkolukusarja. Erotuksena saadaan poistuman runkolukusarja.

Poistuvien puiden koko saadaan selville kasvattamalla puut poistoajankohtaan. Jos inventointien välinen aika on lyhyt, esimerkiksi alle 10 vuotta, saattaa riittää olettaus, että puut poistetaan kerralla jakson puolivälissä.

Runkolukusarjan alkupää on ongelmallinen, sillä 1,3 metrin pituuskyynyksen inventointien välisenä aikana ylittävät puut eivät ole mukana ensimmäisessä inventoinnissa. Ongelma voidaan teknisesti ratkaista esimerkiksi lisäämällä runkolukusarjan alkuun puita, jotka vasta tarkastelujakson aikana ylittävät 1,3 m:n pituuden.

Taulukko 1. Osa männyn LO-mallista taulukkomuodossa.
Table 1. One part of the pine LP-model in tabley form.

d	Säilyvä alkupuusto <i>Remaining initial trees</i>			Poistuva alkupuusto <i>Removed initial trees-Final trees</i>			Loppupuusto <i>Removed trees</i>			Poistuma <i>Slacks</i>			Täytemuuttujat <i>Constraints</i>						Rajoitteet				
	T	11	12	U	11	12	V	14	15	16	X	11	12	13	14	Y	15	16		14	15	16	Z
																196	225	256	196	225	256	= z (min)	
10	1			1																			= 93268
11		1			1																		= 80559 (r1)
12			1			1																	= 69044
14							1																= 69376
15								1															= 61993 (r2)
16									1														= 54328
14	,91	,14					-1							1					-1				= 0
15	,09	,86	,31					-1							1					-1			= 0
16			,69						-1							1						-1	= 0
11				,41						-1													= 0
12				,59	,47						-1												= 0
13					,53	,55						-1											= 0
11-16-															196	225			-196	-225			= 0
																	256						= -256 = 0

Läpimittaluokittaisen siirtymän ja poistuman laske-
miseksi sovellettiin lineaarista optimointia (LO). Mallis-
sa oletetaan, että sekä alku- että loppuinventoinnin
runkolukusarjat edustavat kevätvarastoa ennen kasvu-
kauden alkua. LO-mallin rajoitteiden avulla pyrittiin
takaamaan, että alkuinventoinnin 1 cm:n läpimitta-
luokkia soveltava runkolukusarja kehitty loppuven-
toinnin runkolukusarjaksi jakson aikana. Runkoluku-
sarjaestimaatteihin liittyvien otantavirheiden takia näin
ei aina käy. Tästä syystä otettiin LO-mallin minimoit-
tavaksi tavoitefunktioiksi lauseke, joka ilmaisee siirtymä-
laskelman antaman ja loppuinventoinnissa mitatun
runkolukusarjan edustamien läpimittaluokittaisten poh-
japinta-alojen eron. Lisäksi asetettiin rajoitteeksi se, et-
tä lasketut ja mitatut pohjapinta-alat eivät annetuissa
läpimittaluokkaryhmissä poikkea toisistaan.

LO-malli on seuraava

$$\text{minimoi } \sum_{i=1}^m (c_i Y_i + c_i Z_i)$$

kun

$$T_i + U_i = r1_i \quad i = 1, m$$

$$V_i = r2_i \quad i = 1, m$$

$$\sum_{j=1}^m a_{ji} T_j - V_i + Y_i - Z_i = 0 \quad i = 1, m$$

$$\sum_{j=1}^m b_{ji} U_j - X_i = 0 \quad i = 1, m$$

$$\sum_{i=k}^l (c_i Y_i - c_i Z_i) = 0 \quad p = 1, n$$

missä

T_i = läpimittaluokan i alkupuustosta kasvamaan
jäävä runkoluku

U_i = läpimittaluokan i alkupuustosta poistuva
runkoluku

V_i = läpimittaluokan i laskennallinen loppurunko-
luku

X_i = läpimittaluokan i poistuva runkoluku

Y_i = lasketun loppurunkoluvun vaje

Z_i = lasketun loppurunkoluvun ylimäärä

c_i = läpimittaluokan i painokerroin (= läpimitan
neliö)

a_{ji} = läpimittaluokasta j läpimittaluokkaan i siirty-
vä osuus poistuvasta runkoluvusta

b_{ji} = läpimittaluokasta j läpimittaluokkaan i siirty-
vä osuus säilyvästä runkoluvusta

$r1_i$ = läpimittaluokan i mitattu alkurunkoluku

$r2_i$ = läpimittaluokan i mitattu loppurunkoluku

m = läpimittaluokkien lukumäärä

n = niiden ositteiden lukumäärä, joiden sisällä
virheiden on kumottava toisensa

k = ositteen p pienin läpimitta

l = ositteen p suurin läpimitta.

Läpimittaluokan siirtymä on laskettu sillä oletuksella,
että läpimitan kasvu on läpimittaluokan sisällä vakio
ja että läpimittaluokan puusto noudattaa tasajakamaa.

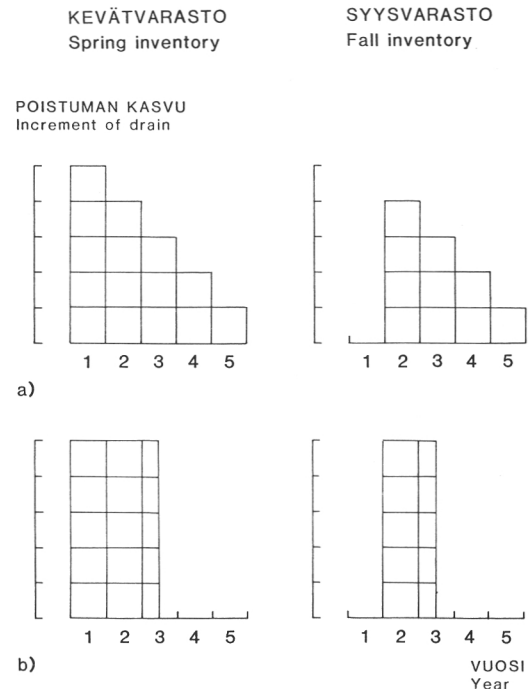
Esimerkki LO-mallista taulukkomuodossa on annet-

tu taulukossa 1. Taulukkoon on otettu vain alkuläpi-
mittaluokat 10, 11 ja 12, loppuläpimittaluokat 14, 15 ja
16 sekä poistuvista puista läpimittaluokat 11, 12 ja 13.

22. Poistuman kasvun arviointi

Tässä työssä esitetyllä poistuman arviointimenetelmällä
on mahdollista arvioida myös tarkastelujakson aikana
poistuneiden puiden kasvu eli poistuman kasvu, jonka
merkityksen kasvun laskennassa ovat osoittaneet mm.
Lönroth (1929) ja Kuusela (1953). Ensin lasketaan
poistuvien puiden tilavuus laskentajakson alussa. Tämä
tilavuus vähennetään laskentajakson keskellä poistetun
puuston tilavuudesta. Erotus on poistuman kasvu, josta
saadaan vuotuinen poistuman kasvu jakamalla se las-
kentajakson vuosien määrällä.

Poistuman kasvu on esitetty kaaviokuvana kuvassa
1. Kaaviossa on oletettu, että vuosittain poistetaan al-
kupuustosta samansuuruiset osat. Todelliset poistumat
lisääntyvät vuosittain poistuman kasvun verran. Jos py-
rittäisiin tasasuuriin poistumiin, alkupuustosta lasketut
poistumat suurenisivat jakson alussa, joten poistuman
kasvu hieman pienenisi.



Kuva 1. Jakson aikana poistettavien puiden kasvun
ajoittuminen, kun lähtökohtana on joko kevät- tai
syysvarasto ja

a) tasasuuri erä poistetaan kunakin vuonna tai

b) poistuma tapahtuu kerralla jakson puolivälissä.

Fig. 1. Increment of the drain during the increment mea-
surement period when the starting point is either
spring or fall inventory and

a) equal drain occurs each year or

b) drain occurs in the middle of the period.

Kasvunmittausjakson pituus on kuvan esimerkissä 5 vuotta, mikä vastaa VMI:ssä nykyisin sovellettua mitausjaksoa. Kuvassa verrataan neljän laskentatavan antamaa poistuman kasvua, kun poistuvien puiden määrä jakson alussa on sama.

Jos inventointitiedot edustavat puuston kevätvarastoa ja oletetaan, että hakkuita ei tehdä kasvukauden aikana ja että poistuma tapahtuu vuosittain, 5 vuoden poistuma kasvaa jakson aikana keskimäärin 3 vuotta. Jos vastaava laskelma tehdään syysvarastoon perustuvista metsävaratiedoista, 5 vuoden poistuma kasvaa jakson aikana keskimäärin 2 vuotta.

Jos hakkuut keskittyvät jakson keskelle, 5 vuoden poistuma kasvaa kevätvaraston tilanteessa keskimäärin 2,5 vuotta. Syysvaraston tilanteessa 5 vuoden poistuma kasvaa keskimäärin 1,5 vuotta.

Jos puustojen oletetaan edustavan kevätvarastoa ja hakkuiden tapahtuvan vuosittain vasta kasvukauden jälkeen, laskentajakson vuotuisen poistuman vuosikasvujen määrä saadaan kaavasta

$$m1 = \sum_{j=1}^n j \quad (5)$$

missä

$m1$ = poistuman vuosikasvujen määrä, kun lähtökohtana on kevätvarasto
– *total number of annual increments of the annual drain when starting point is spring inventory*

n = kasvunmittausjakson vuosien määrä
– *length of increment measurement period, years.*

Syysvarastosta lähtevälle laskelmalle vastaava kaava on

$$m2 = \sum_{j=1}^{n-1} j \quad (6)$$

missä

$m2$ = poistuman vuosikasvujen määrä, kun lähtökohtana on syysvarasto
– *total number of annual increments of the annual drain when starting point is fall inventory.*

Jos vuotuiset poistumat ovat samansuuruisia, poistuman keskimääräinen vuotuinen kasvu kasvunmittausjaksolla saadaan kaavasta

$$ik = m1/n \quad (7)$$

missä

ik = poistuman keskimääräinen vuotuinen kasvu kasvunmittausjakson aikana
– *mean annual increment of the drain during the increment measurement period*

i = vuosipoistuman vuotuinen kasvu
– *annual increment of the annual drain.*

Jos laskelmassa oletetaan, että poistuma tapahtuu useamman vuoden laskentajakson keskellä, vaikka puita todellisuudessa poistuu tasaisesti joka vuosi, saadut poistuman vuosikasvujen määrät ovat aliarvioita. Kevätvarastotilanteessa poistuman kasvun korjauskerroin saadaan tällöin kaavasta

$$k1 = 2 m1/n^2 \quad (8)$$

missä

$k1$ = poistuman kasvun korjauskerroin kevätvarastotilanteessa, kun poistuma tapahtuu laskelmassa vain jakson keskellä
– *correction coefficient for increment of the drain when computational drain occurs only once during the increment measurement period and starting point is spring inventory*

ja syysvarastotilanteessa kaavasta

$$k2 = 2 m2/n(n-1) \quad (9)$$

missä

$k2$ = poistuman kasvun korjauskerroin syysvarastotilanteessa, kun poistuma tapahtuu laskelmassa vain jakson keskellä
– *correction coefficient for increment of the drain when computational drain occurs only once during the increment measurement period and starting point is fall inventory.*

Kaavoilla (8) ja (9) laskettuja korjauskertoimia tarvitaan vain simulointilaskelmissa. Jos todellisuudessa kaikki hakkuut keskitetään usean vuoden jakson keskelle, tämä merkitsee poistuman kasvun pienenemistä siihen verrattuna, että joka vuosi hakattaisiin sama osuus alkupuustosta.

3. Aineisto

Aineistona ovat Ahvenanmaan maakunnan ja metsälautakuntien 1—9 (kuva 2) valtakunnan metsien 7. inventoinnin (VMI7) ja 8. inventoinnin (VMI8) puustotiedot metsä- ja kitumaalta. Aineisto on käsitelty yhtenä kokonaisuutena, joten se edustaa keskimäärin 9 vuoden jaksoa 1978—1987.

Puuston tilavuudet puulajeittain ja puutavaralajeittain VMI7:ssa ja VMI8:ssa on esitetty taulukoissa 2 ja

3. Taulukossa 4 on annettu tilavuuskasvut puulajeittain VMI7:ssa ja VMI8:ssa. Tilavuuskasvut edustavat viiden inventointia edeltäneen vuoden kasvua. Muut puulajit -ryhmä edustaa miltei yksinomaan lehtipuita, joista haavan ja lepän osuus on suurin. Myöhemmin muut puulajit -ryhmää ja käsitettä muut lehtipuut kuin koivu käytetään synonyymeina.

Liitteissä 1 ja 2 on annettu koko alueen runkoluku-

Taulukko 2. Tutkimusalueen puuston tilavuudet puulajeittain ja puutavaralajeittain VMI7:ssä.

Table 2. Volumes of the growing stock in the study area by tree species and timber assortments in 1978.

Puulaji Tree species	Tukkipuu Saw timber		Kuitupuu Pulp wood		Hukkapuu Waste wood		Yhteensä Total	
	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%
Mänty — Pine	137	56	97	40	9	4	243	39
Kuusi — Spruce	143	51	121	43	15	5	279	44
Koivu — Birch	21	25	52	63	10	13	84	13
Muut puulajit - Other tree sp.	2	7	15	61	8	32	25	4
Yhteensä - Total	303	48	286	45	42	7	631	100

Taulukko 3. Tutkimusalueen puuston tilavuudet puulajeittain ja puutavaralajeittain VMI8:ssä.

Table 3. Volumes of the growing stock in the study area by tree species and timber assortments in 1987.

Puulaji Tree species	Tukkipuu Saw timber		Kuitupuu Pulpwood		Hukkapuu Waste wood		Yhteensä Total	
	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%
Mänty — Pine	131	50	122	46	11	4	264	37
Kuusi — Spruce	165	50	149	45	16	5	330	46
Koivu — Birch	16	17	65	70	12	13	94	13
Muut puulajit - Other tree sp.	2	7	19	67	7	26	28	4
Yhteensä — Total	314	44	355	50	46	6	715	100



Kuva 2. Tutkimusalue.
Fig. 2. Study area.

sarjat puulajeittain VMI7:ssä ja VMI8:ssä sekä liitteessä 3 keskimääräiset läpimittaluokittaiset läpimitan kasvut VMI8:ssä. Jotta siirtymälaskelmat olisivat onnistuneet myös pienimmissä läpimittaluokissa, lisättiin runkolukusarjojen alkuun viiden kuvitteellisen läpimittaluokan runkoluvut. Runkolukuina käytettiin läpimittaluokan I runkolukuja.

Siirtymälaskelmat perustuivat VMI8:ssä mitattuihin puulajeittaisiin ja läpimittaluokittaisiin läpimitan kasvuihin. Viiden vuoden mittausjakson keskimääräiset vuotuiset läpimitan kasvut korjattiin Helena Henttoselta (Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema) saaduilla valtakunnan metsien inventoinneissa mitattuihin kasvukoepuihin perustuvilla kasvuindekseillä 9 vuoden jakson keskimääräistä tasoa vastaaviksi. Männyllä korjauskerroin oli 1,08, kuusella 1,0 ja lehtipuilla 0,99. Satunnaisvaihtelun vähentämiseksi läpimittaluokan näin saatu kasvu korvattiin viiden peräkkäisen läpimittaluokan kasvujen liukuvalla keskiarvolla. Kahden pienimmän ja kahden suurimman läpimittaluokan kasvut jätettiin ennalleen. Koska läpimitan kasvussa on trendejä ja mitatut kasvut edustavat edellisen 5-vuotiskauden kasvua, kasvun ennustamisessa sovellettu läpimitan kasvu iteroitiin kasvujakson puolivälin läpimittaa vastaavaksi.

Poistettavien puiden läpimitan kasvuksi oletettiin 75 % VMI8:ssä mitatusta läpimitan kasvusta, mikä vastaa likimain VMI-tuloksia laskettaessa käytettyä olettamusta, että poistettujen puiden tilavuuskasvuprosentti on

ollut 70 % säilyneiden puiden tilavuuskasvuprosentista.

Poistuvan puuston läpimittaluokittaiset rungon kokonaistilavuudet ja puutavaralajeittaiset tilavuudet perustuvat VMI7:n koepuiden mittauksiin ja pystyaptee-
raukseen. Koska puita poistuu joka vuosi, vaikka LO-mallissa poistuman oletetaan tapahtuvan vain kerran jakson keskellä, poistuvien puiden läpimittaluokittaisina tilavuuksina käytettiin, 1 cm:n ja 50 cm:n läpimittaluokkia lukuunottamatta, kolmen peräkkäisen läpimittaluokan tilavuuksien liukuvaa keskiarvoa. Tämä korjaus poistaa ainakin pääosan puiden läpimitan ja tilavuuden välisen epälineaarisen riippuvuuden aiheuttamasta aliarviosta, joka syntyisi, jos jakson keskellä poistettavien poistuvien puiden tilavuuksina käytettäisiin suoraan niiden läpimittoja vastaavia tilavuuksia.

Taulukko 4. Tutkimusalueen puuston tilavuuskasvut puulajeittain VMI7:ssa ja VMI8:ssa.

Table 4. Volume increments of the growing stock in the study area by tree species in 1978 and 1987.

Puulaji Tree species	Tilavuuskasvu Volume increment			
	1978 10 ⁶ m ³ /v %		1987 10 ⁶ m ³ /yr %	
Mänty — Pine	9,6	34	10,4	32
Kuusi — Spruce	12,9	45	15,3	47
Koivu — Birch	6,1	21	4,8	15
Muut puulajit - Other tree sp.	1)		1,9	6
Yhteensä — Total	28,6	100	32,4	100

1) Liitetty koivun kasvuun — Included in birch.

4. Tulokset

Läpimittaluokkien lukumääräksi otettiin 50. Läpimittaluokkaan 50 koottiin kaikki sen läpimittaiset tai suuremmat puut. LO-tehtävälle löytyi käypä ratkaisu kaikilla puulajeilla, kun vaadittiin, että mitatun ja laskennallisen loppurunkolukusarjan pohjapinta-alaerot kumoavat toisensa 5 cm:n läpimittaluokkaryhmissä.

Vuotuinen puulajeittainen ja puutavaralajeittainen kokonaispoistuma on VMI7:n ja VMI8:n välisenä aikana eli keskimäärin vuosina 1978—1987 ollut kuvan 3 ja taulukon 5 mukainen. Taulukossa 5 on annettu myös tilastoitu poistuma vuosina 1978—1987.

Laskettu kokonaispoistuma on 8 prosenttia tilastoitua suurempi. Kuusitukkipuun kohdalla eron selittää ainakin osittain kuusitukin käyttö kuitupuuna. On myös mahdollista, että osa lahovikaisesta kuusikuitupuus-

ta on tilastoitu mäntykuitupuuksi. Suurin ero on lehtipuuhukkapuussa, jota laskelman mukaan on 0,8 miljoonaa m³ enemmän kuin poistumatilasto osoittaa.

Tilastoidussa hukkapuussa ovat mukana vain kantoläpimitaltaan yli 5 cm:n puiden metsätähde (Mikkola 1969 ja 1972). Laasasenhon (1975) tutkimusten perusteella voitiin laskea, että 2,4 cm:n rinnankorkeusläpimittaa vastaa 5 cm:n kantoläpimittaa. Tämän perusteella oletettiin, että rinnankorkeusläpimittaluokkiin 1 ja 2 cm kuuluneet puut eivät ole mukana tilastoidussa poistumassa. Näihin läpimittaluokkiin kuuluvia mäntyjä oli laskennallisessa poistumassa 0,05, kuusia 0,02, koivuja 0,18 ja muita puulajeja 0,15 miljoonaa m³ eli yhteensä 0,4 miljoonaa m³. Täten pienten puiden poistuma selittää puolet laske-
tun ja tilastoidun hukkapuun erosta.

Hukkapuu sisältää yksinomaan latvahuk-

Taulukko 5. Laskettu (L) ja tilastoitu (T) poistuma puulajeittain ja puutavaralajeittain vuosina 1978—1987.

Table 5. Drain estimated from inventory data (L) and from drain statistics (T) in 1978—1987.

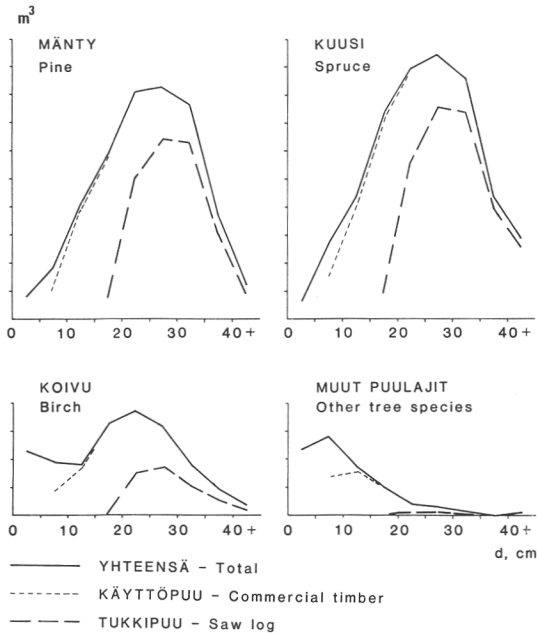
Puulaji Tree species	Tukkipuu Saw timber		Kuitupu Pulpwood		Hukkapuu Waste wood		Yhteensä Total	
	L	T	L	T	L	T	L	T
	10 ⁶ m ³ /v-yr							
Mänty — Pine	4,5	4,5	3,4	3,1	0,4	0,3	8,3	7,9
Kuusi — Spruce	5,6	5,0	3,8	3,9	0,5	0,6	9,9	9,5
Koivu — Birch 1)	1,0	1,0	2,1	2,9	0,7	0,7	3,8	4,6
Muut puulajit — Other tree sp.	0,1		0,9		0,8		1,8	
Yhteensä — Total	11,2	10,5	10,2	9,9	2,4	1,6	23,8	22,0

1) Poistumatilastossa koivu sisältää kaikki lehtipuut.
Birch in drain statistics includes all other broadleaved tree species.

Taulukko 6. Lasketun (L) ja tilastoidun (T) poistuman prosenttijakauma vuosina 1978–1987.

Table 6. Percentage distribution of the drain estimated from inventory data (L) and from drain statistics (T) in 1978–1987.

Puulaji Tree species	Tukkipuu Saw timber		Kuitupuu Pulpwood		Hukkapuu Waste wood		Keskim. Average	
	L	T	L	T	L	T	L	T
Mänty - Pine	54	57	41	39	5	4	35	36
Kuusi - Spruce	57	53	38	41	5	6	41	43
Muut puulajit - Other tree sp.	19	22	53	62	28	16	24	21
Keskim. - Average	47	48	43	45	10	7	100	100



Kuva 3. Kokonaispoistuma ja sen jakautuminen puutavaralajeihin puulajeittain ja läpimittaluokittain.

Fig. 3. Total drain and its distribution into timber assortments by tree species and diameter classes.

kapuun. Ainespuun mitat täyttävän puutavarakappaleen joutumista hukkapuiksi ei ole otettu huomioon. Täten hukkapuun osuus varsinkin suurissa läpimittaluokissa on aliarvio. On kuitenkin huomattava, että kuitupuun minimimitat ja puulaji- sekä laatuvaatimukset ovat tiukentuneet pääosin vasta tarkastelujakson jälkeen.

Taulukossa 6 on taulukkoa 5 vastaava prosenttijakauma.

Luonnonpoistuman rakennetta ja sen vaikutusta hakkuupoistuman rakenteeseen on vaikea arvioida tähän asti inventoinnissa mitattujen tietojen perusteella. Inventoinnin tuloksissa ja poistumatilastoissa on luonnon-

poistumaksi ilmoitettu 0,1 miljoonaa m³ vuodessa.

Kuvassa 3 on esitetty kokonaispoistuma ja poistuman jakautuminen puutavaralajeihin puulajeittain ja läpimittaluokittain. Valtaosa (87 %) poistuvien puiden dimensioiden mukaan määräytyvästä hukkapuusta tulee rinnankorkeudelta alle 10 cm:n läpimittaisista puista. Tämä johtuu ennen muuta pienten lehtipuiden suuresta poistumasta. Koivun osuus hukkapuusta on 30 % ja muiden lehtipuiden 34 %, joten lehtipuuhukkapuun osuus koko hukkapuusta on lähes kaksi kolmasosaa. Jos leppä ja haapa viedään kokonaisuudessaan hukkapuiksi, kuten esimerkiksi nykyinen Maatilatalouden tuloveroasetus (1988) edellyttää, lehtipuun osuus hukkapuusta on yli 70 prosenttia.

Vuotuisen poistuman osuus alkupuustosta puulajeittain ja läpimittaluokittain on kuvassa 4. Poistuman osuus alkupuustosta on suurin pienillä ja suurilla puilla sekä muilla puulajeilla eli pääosin haavalla ja lepällä.

Kaavalla (4) on taulukkoon 7 laskettu puulajeittain tarkastelujakson vuotuinen kasvu, kun poistuma on oletettu taulukossa 5 esitetyn lasketun poistuman suuruiseksi. Samassa taulukossa on esitetty myös VMI8:n kasvuluvut, jotka on saatu tekemällä jakson 5 viimeisen vuoden kasvuihin sama indeksikorjaus kuin tehtiin läpimitan kasvuihin (ks. s. 7). Erot kaavalla (4) laskettujen tilavuuskasvujen ja VMI8:n kasvuindeksillä korjattujen tilavuuskasvujen välillä ovat pieniä. Koko puustolle lasketut kasvut ovat yhtä suuria.

Taulukossa 8 on annettu puulajeittain 5 vuoden jakson poistuman kasvun prosenttiosuudet kaavalla (4) lasketusta kasvusta (taulukko 7). Poistuman kasvu on laskettu sillä oletuksella, että vuosittain poistetaan tasasuuret osuudet alkupuustosta (kaavat 5, 6

ja 7). Tulokset on esitetty sekä kevätvarasto- että syysvarastotilanteessa. Todellinen poistuman kasvu on näiden kahden ääriarvon välissä.

Syysvarastoon perustuva poistuman kasvun osuus mitatun puuston kasvusta on koko puustolle täsmälleen yhtä suuri kuin VMI8:n tuloslaskelmissa arvioitu osuus. Muilla lehtipuilla kuin koivulla poistuman kasvu ylittää huomattavasti kaikkien puiden keski-

Taulukko 7. Laskettu (L) kasvu vuosina 1978—1987 ja VMI8:ssa mitattu (T) kasvu.

Table 7. Increment (L) from formula (4) for years 1978—1987 and measured increment (T) corrected by growth index.

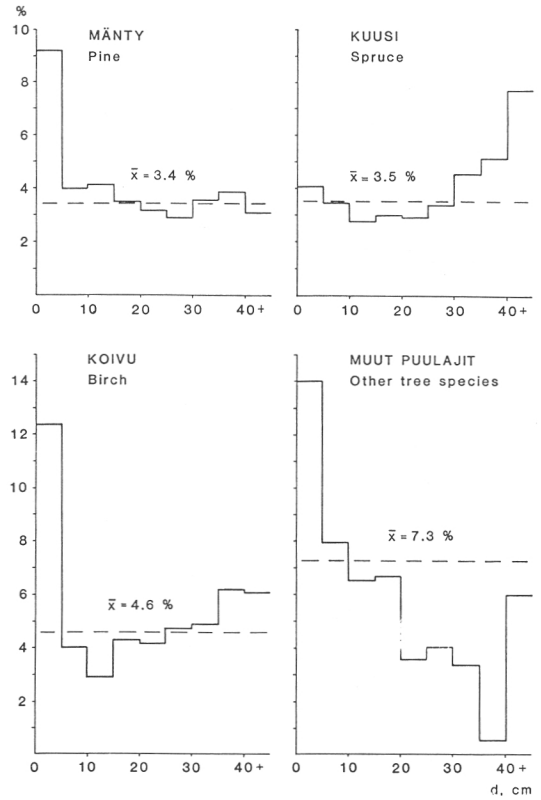
Puulaji Tree species	L	T
	10 ⁶ m ³ /v—yr	10 ⁶ m ³ /v—yr
Mänty —Pine	10,6	11,2
Kuusi — Spruce	15,6	15,3
Koivu — Birch	4,9	4,8
Muut puulajit — Other tree sp.	2,1	1,9
Yhteensä — Total	33,2	33,2

Taulukko 8. Poistuman kasvun osuus kasvusta.

Table 8. Share of the increment of the drain of the total increment.

Puulaji Tree species	Kevätvarasto Spring inventory	Syysvarasto Fall inventory
	%	
Mänty — Pine	7,3	4,9
Kuusi — Spruce	6,4	4,3
Koivu — Birch	9,9	6,6
Muut puulajit — Other tree sp.	18,4	12,2
Keskim. — Average	8,0	5,3

arvon. On luultavaa, että inventointituloksissa muiden lehtipuiden kasvu on poistuman kasvun aliarvion takia aliarvioitu noin 10 prosentilla.



Kuva 4. Vuotuisen poistuman osuus alkupuustosta puulajeittain ja läpimittaluokittain.

Fig. 4. Share of the annual drain of the initial volume by tree species and diameter classes.

5. Tulosten luotettavuus

Koska inventoinneissa sovelletaan tilapäis-koelajoja, voidaan olettaa, että alku- ja loppuinventoinnin puuston tilavuusestimointien virheet eivät korreloi keskenään. Jos lisäksi oletetaan, että jakson kasvu ja loppupuusto eivät korreloi keskenään, poistuma-arvion (kaava 3) keskivirhe saadaan kaavasta

$$\text{var}(s) = \text{var}(k+i-K) = \text{var}(k) + \text{var}(i) + \text{var}(K) + r \text{var}(k) \text{var}(i) \quad (10)$$

jossa r = alkupuuston ja kasvun estimointivirheiden välinen korrelaatiokerroin
— coefficient of correlation between the estimation errors of the initial growing stock and periodic growth.

Taulukko 9. Alku- ja loppupuuston tilavuuksien ja jakson tilavuuskasvun estimaattien keskivirheet.

Table 9. Standard errors of the volume and volume increment estimates.

Puulaji Tree species	Tilavuus - Volume 1978—1987 10 ⁶ m ³	Tilavuuskasvu - Volume increment 1978—1987 10 ⁶ m ³ /9 v.-yrs
Mänty - Pine	3,7 3,7	2,1
Kuusi - Spruce	4,9 5,0	2,7
Muut puulajit - Other tree sp.	2,2 2,2	1,3
Yhteensä - Total	6,9 7,0	3,5

Poistuman prosentuaalinen keskivirhe saadaan kaavasta

$$p = 100\text{var}(s)/s \quad (11)$$

jossa p = poistuman suhteellinen keskivirhe
- relative standard error of the drain.

Poistumaestimaatin virhevarianssin komponenteista vain kasvun virhevarianssi riippuu tarkastelujakson pituudesta. Koska kasvun virhevarianssi lisääntyy todennäköisesti vähemmän kuin suorassa suhteessa ajan neliöön, poistumaestimaatin suhteellinen keskivirhe pienenee jakson pidetessä.

Salmisen (1973) kuvaamalla menetelmällä lasketut alkupuuston ja loppupuuston tilavuusestimaattien sekä jakson tilavuuskasvuestimaattien keskivirheet puulajeittain on annettu taulukossa 9. Koska koivua ei poistumatilastossa ole erotettu muista lehtipuista, lehtipuut on yhdistetty keskivirhelaskelmissa. Tilavuuskasvun virhe-estimaatteja laskettaessa on oletettu, että 9 vuoden jakson tilavuuskasvun suhteellinen keskivirhe on yhtä suuri kuin inventoinnissa mitatun 5-vuotiskauden tilavuuskasvuestimaatin suhteellinen keskivirhe. Tämä todennäköisesti yliarvioi 9 vuoden jakson absoluuttista keskivirhettä.

Taulukossa 9 annettuja keskivirhearvioita käyttäen on kaavoilla (10) ja (11) laskettu taulukkoon 10 VMI7:n ja VMI8:n välisen ajan puulajeittaiset poistumaestimaattien keskivirheet. Alkupuuston tilavuusestimaatin ja jakson kasvun estimointivirheiden välisen korrelaatiokerroimen oletettiin olevan 1. Tämä saattaa johtaa poistuman virheen yliarviointiin, sillä oikea korrelaatiokerroin lienee pienempi.

Tässä työssä esitetyllä menetelmällä estimoitu poistuma, 23,8 miljoonaa m³/v poikkeaa lähes merkittävästi poistumatutkimusten arviosta, 22,0 miljoonaa m³/v. Lehtipuiden laskettu poistuma, 5,6 miljoonaa m³/v,

Taulukko 10. Mittausjakson 1978—1987 poistumaestimaatin keskivirheet.

Table 10. Standard errors of the drain estimates during period 1978—1987.

Puulaji Tree species	10 ⁶ m ³ /9 v.-yrs	10 ⁶ m ³ /v.-yr	%
Mänty - Pine	6,3	0,70	8,3
Kuusi - Spruce	8,3	0,93	9,1
Muut puulajit - Other tree sp.	3,8	0,42	7,6
Yhteensä - Total	11,5	1,28	5,3

on merkittävästi suurempi kuin tilastoitu poistuma, 4,6 miljoonaa m³/v. Kun otetaan huomioon, että metsätähteessä ovat mukana vain niiden puiden hukkapuu, joiden kanto-
läpimitta on vähintään 5 cm (Mikkola 1969 ja 1972), ja että tästä metsätähteestä valtaosa on lehtipuuta, ero ei ole enää tilastollisesti merkittävä.

Seuraavassa tarkastellaan otantavirheen lisäksi muita mahdollisia tässä työssä käytetyn poistuman arviointimenetelmän virhelähteitä.

Läpimitan kasvun indeksikorjaukset ovat likimääräisiä. Lisäksi koivua ja muuta lehtipuuta ei ole erotettu toisistaan, vaikka niiden kasvut eivät ehkä vaihtelee samalla tavalla. Näistä syistä taulukon 10 poistuma-arvioiden keskivirheet ovat todennäköisesti aliarvioita.

Kertamittaukseen perustuvassa inventoinnissa ei pystytty selvittämään jakson aikana poistettavien puiden ja säilyvien puiden kasvun eroa. Jos oletetaan, että poistuvien puiden läpimitan kasvu on yhtä suuri kuin jäävien puiden (tässä työssä poistuvien puiden läpimitan kasvuksi oletettiin 75 % VMI8:ssa mitattujen puiden kasvusta), vuotuisen poistuman arvio nousee 23,8 miljoonasta m³:stä 25,4 miljoonaan m³:iin eli 7 prosentilla. Pienten puiden poistuma nousee enemmän kuin suurten, joten hukkapuun osuus kasvaa 0,8

prosenttiyksikköä. Jos poistuman kasvu olisi pienempi kuin on oletettu, poistuman määrä ja hukkapuun osuus vastaavasti pienenisivät.

Poistuman arvion virhettä kasvattaa se, että pienten puiden poistumasta saadaan vain karkea arvio, sillä mittauskynnyksen (1,3 m) yli tulevien puiden määrää ei tarkoin tunneta. Tällä tekijällä on merkitystä hukkapuun osuuden arvioinnissa. Kokonaispoistumaan ne eivät paljon vaikuta.

Poistuvien puiden tilavuudet korjattiin likimääräisesti liukuvan keskiarvon menetelmällä. Tästä mahdollisesti aiheutuvan virheen suuruutta tutkittiin jättämällä tasoitus pois. Jos tasoitus jätetään tekemättä, kokonaispoistuma vähenee 1 %:lla ja hukkapuun poistuma 3 %:lla. Menetelmän likimääräisyydestä mahdollisesti aiheutuvat virheet eivät täten ole merkittäviä.

Poistuvien puiden runkomuoto saattaa poiketa jäävän puuston runkomuodosta. Inventointimittauksista ei saada tätä tietoa. Toistaiseksi ei ole kuitenkaan perusteita olettaa, että poistuvat puut olisivat runkomuodoltaan keskimäärin erilaisia kuin koko puusto.

Todellisessa poistumassa saattaa olla enemmän hukkapuuta kuin laskelma osoittaa. Tämä johtuu osittain siitä, että VMI7:ssa ei puutavaraa viety vikojen takia hukkapuiksi, ja osittain siitä, että kuitupuun minimimitat ovat käytännössä olleet jonkin verran ankarimmat kuin inventoinnin apteerausohjeissa. Toisaalta polttopuuna käytetään pieniläpimittaisempaa puuta kuin inventoinnin apteerausohjeet edellyttävät.

Läpimittaluokittaiset tilavuudet saatiin VMI7:n koepuista. Tulokset laskettiin myös VMI8:n koepuiden avulla. Poistuman kokonaistilavuuden arvio pysyi ennallaan. Muutokset olivat vähäisiä myös puulajeittaisissa kokonaistilavuuksissa. Sen sijaan tukkipuun tilavuusosuus laski 47 %:sta 43 %:iin. Tämä

johtuu todennäköisesti siitä, että vaikka VMI8:ssa pyrittiin käyttämään myös VMI7:n aikana käytettyjä tukkien laatuvaatimuksia, ne kuitenkin huomaamatta olivat kiristyneet. On myös mahdollista, että tukkipuun laatu on jonkin verran huonontunut inventointien välisenä aikana. Hukkapuun tilavuusarvio ei muuttunut.

Tässä työssä lasketuissa poistumaluvuissa ei luonnonpoistumaa pystytty erottamaan hakkuupoistumasta, minkä takia hukkapuu oli yksinomaan latvahukkapuuta ja pientä raivauspuuta. Koska luonnonpoistuma menee määritelmän mukaan hukkapuiksi, hukkapuuta on todellisuudessa enemmän kuin lasketut määrät osoittavat. On ilmeistä, että luonnonpoistuma on suurempi kuin poistumatilaston luku, 0,1 miljoonaa m³.

Alle 5 cm:n kantojen edustaman hakkuutahteen poisjäänti poistumatilastoista johtaa muut lehtipuut -ryhmän poistuman kasvun aliarvioon VMI-tuloksissa. VMI-kasvun aliarvioon viittaa myös se, että kaavalla (4) laskettu vuotuinen kasvu, 33,2 miljoonaa m³, on yhtä suuri kuin VMI8:ssa mitattuun kasvuun perustuva ilmastoindexillä korjattu vuotuinen 9-vuotisjakson kasvu, vaikka kasvu on ollut nouseva 9 vuoden mittausjakson aikana (ks. taulukko 4). On näin ollen todennäköistä, että osa pieniläpimittaisesta puusta jää pois sekä VMI:ssa tehdystä kasvun arviosta että poistumatilastosta.

Koska laskelmat perustuvat kevätvarastoon, ne johtavat periaatteessa poistuman kasvun ja tätä kautta poistuman yliarvioon (ks. kaavat 5 ja 6). Toisaalta puut poistetaan laskelmassa vain kerran jakson keskellä. Tämä puolestaan johtaa poistuman kasvun aliarvioon (ks. kaavat 8 ja 9). Näin yli- ja aliarviot kumoavat osittain toisiaan. Koska jäljelle jäävän harhan merkitys on poistuman arvioissa vähäinen, korjausta ei katsottu tarpeelliseksi.

6. Tarkastelu

Esitetty poistuman arviointimenetelmä ei korvaa nykyisin käytössä olevaa menetelmää. Se täydentää ja varmistaa kuitenkin nyky menetelmällä saatuja tietoja poistuman jakautumisesta puulajeihin ja läpimittaluokkiin. Menetelmällä saadut tulokset antavat myös viitteitä hukkapuun määrästä. Tosin

hukkapuuta ei voida jakaa metsätahteeseen ja luonnonpoistumaan. Menetelmällä on lisäksi se etu, että laskennassa tarvittavat lähtötiedot ovat jo olemassa.

Poistuman jakautumista hakkuupoistumaan ja luonnonpoistumaan ei saada selville. Myös jako puutavaralajeihin ja hakkuutahteeseen

jää muilla tutkimuksilla varmennettavaksi.

Jos VMI:ssa siirrytään käyttämään pysyviä koealoja, esitetyllä poistuman arviointimenetelmällä ei tulevaisuudessa ole yhtä suurta merkitystä kuin tähänastista inventointimenetelmää käytettäessä. Menetelmällä voidaan kuitenkin jäljittää poistuman määrä ja rakenne siltä ajalta, jolta vain kertainventointien tiedot ovat käytettävissä.

Poistuman arviota voitaisiin tarkentaa laskemalla tulokset vuosittain ja pienemmillä osa-alueilla, esimerkiksi metsälautakunnille. Vuosittaisia tuloksia laskettaessa olisi mahdollista ottaa huomioon myös vuotuiset kasvun vaihtelut. Metsälautakunnittaisiin runkolukusarjoihin liittyy kuitenkin niin suuria otantavirheitä, että tällä menettelyllä ei kokonaistulosten luotettavuutta voitane olennaisesti parantaa.

Poistuma voitaisiin arvioida kahden peräkkäisen kertainventoinnin mittaustiedoista myös numeeriseen simulointiin ja lineaariseen optimointiin perustuvalla MELA:lla (Siitonen 1983). Jälkimmäisen inventoinnin puuston runkolukusarja ja mahdollisesti myös muut inventointitiedot olisivat tällöin rajoitteena alkuinventoinnin tietoihin perustuvalla LO-mallille. Lisäksi voitaisiin rajoitteina käyttää tarkastelujakson toimenpidetilastoja.

MELA:n ratkaisu antaisi mahdollisesti tässä tutkimuksessa esitettyä menetelmää yksityiskohtaisemmat ja luotettavammat tiedot poistumasta, sillä eri tyyppisten metsiköiden kasvun tason vaihtelu voitaisiin ottaa paremmin huomioon.

Tarkastelujakson aikana toteutuneen poistuman rakenteessa on ilmeisesti enemmän hukkapuuta kuin poistumatilastot kertovat. Tämä johtuu lähinnä lehtipuun ja erityisesti muun lehtipuun kuin koivun pieniläpimittaisen puun tilastoitua suuremmasta poistumasta. Hukkapuun osuus poistumasta on myös jonkin verran suurempi kuin verotuksessa käytetyissä verokuutiometrin rakenteissa ilmoitetut hukkapuun osuudet. On kuitenkin muistettava, että verokuutiometrin rakenne on saatu hakkuusuunnitteesta. Poistuma on jakson aikana alittanut poistumasuunnitteen noin viidenneksellä. Koska puustot ovat järeytyneet, on säästynyt osa suunnitteesta ollut keskimääräistä järeämpää. Samoin on muistettava, että metsäverolukujen perustana olevat VMI:n kasvuluvut ovat alempia kuin tässä työssä esitetyllä menetelmällä saadut kasvut. Tämä johtuu ainakin osittain pienten puiden poistuman kasvun aliarvioinnista VMI:ssa.

Kirjallisuus

- Kuusela, K. 1953. Zur Theorie der forstlichen Zuwachsberechnung auf Grund der periodischen Messung. *Acta Forestalia Fennica* 60(1). 136 s.
- 1978. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1971—1976. Summary: Forest resources and ownership in Finland 1971—1976. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 93(6). 107 s.
- Laasasenaho, J. 1975. Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan katkaisuläpimitasta. Summary: Dependence of the amount of harvestable timber upon the stump height and the top-logging diameter. *Folia Forestalia* 233. 20 s.
- Lönnroth, E. 1929. Theoretisches über den Volumzuwachs und -abgang des Waldbestandes. *Acta Forestalia Fennica* 34. 15 s.
- Maatilatalouden tuloveroasetus 233. 1988. Helsinki. 11 s.
- Mikkola, P. 1969. Metsähukkapuun osuus hakkuupoistumasta Etelä-Suomessa. Summary: Proportion of waste wood in the total cut in southern Finland. *Folia Forestalia* 74. 20 s.
- 1972. Metsähukkapuun osuus hakkuupoistumasta Suomessa. Summary: Proportion of waste wood in the total cut in Finland. *Folia Forestalia* 148. 15 s.
- Pajuoja, H. 1987. Markkinapuun hakkuiden ja puunkäytön perusteella laskettujen poistumien vertailu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 285.
- 1989. Suomen puunkäyttö ja poistuma 1986—1987. Summary: Wood utilization and total drain in Finland 1986—1987. *Folia Forestalia* 732.
- Salminen, S. 1973. Tulosten luotettavuus ja karttatulos-tus valtakunnan metsien V inventoinnissa. Summary: Reliability of the results from the Fifth National Forest Inventory and a presentation of an output-mapping technique. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 78(6). 64 s.
- Siitonen, M. 1983. A long term forestry planning system based on data from the Finnish National Forest Inventory. Helsingin yliopiston metsänarvioimistie-teen laitoksen tiedonantoja 17:195—207.
- Tiihonen, P. 1962. Hakkuupoistuma hankintakausi- na 1959—60 ja 1960—61 maan eteläpuoliskossa. *Met-sätaloudellinen Aikakauslehti* 79(5—6):227—230.

Total of 12 references

Summary

Estimation of drain on the basis of two successive forest inventories with temporary sample plots

Instead of making a new forest inventory, it is possible to derive up-to-date growing stock estimates by using data from an earlier forest inventory, increment estimates and drain statistics (Formula 2, page 4). Kuusela (1978) has shown that for large forest areas, differences between computational results and growing stock estimates based on a new inventory are small. If this holds true it is possible to estimate the drain between two inventories (Formula 3, page 4) by using only the data from two successive inventories with temporary sample plots.

The dbh-distribution of the drain was estimated by tree species with a linear programming (LP) model

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^m (c_i Y_i + c_i Z_i)$$

subject to

$$T_i + U_i = r1_i \quad i = 1, m$$

$$V_i = r2_i \quad i = 1, m$$

$$\sum_{j=1}^m a_{ji} T_j - V_i + Y_i - Z_i = 0 \quad i = 1, m$$

$$\sum_{j=1}^m b_{ji} U_j - X_i = 0 \quad i = 1, m$$

$$\sum_{i=k_p}^{l_p} (c_i Y_i - c_i Z_i) = 0 \quad p = 1, n$$

where

T_i = trees to be grown further in initial dbh-class i

U_i = trees to be cut from initial dbh-class i

V_i = final computational number of trees in dbh-class i

X_i = number of removed trees in dbh-class i (= drain)

Y_i = computational deficit in final number of trees in dbh-class i

Z_i = computational surplus in final number of trees in dbh-class i

c_i = weight of dbh-class i (= square of dbh)

a_{ji} = share of trees removed from dbh-class j to class i (remaining trees)

b_{ji} = share of trees removed from dbh-class j to class i (removed trees)

$r1_i$ = initial measured number of trees in dbh-class i

$r2_i$ = final measured number of trees in dbh-class i

m = number of dbh-classes

n = number of the diameter strata within which the errors should compensate each other

k_p = minimum diameter in strata p

l_p = maximum diameter in strata p

A sample of the LP-model in tableau form is given in Table 1.

Growing stock and increment data were obtained from the 7th and 8th Finnish National Forest Inventories (NFI), and drain data used as test material from removal statistics. The test area covered 57 000 km² of forestry land in southern Finland (Fig. 1). The data were from two successive forest inventories based on temporary sample plots. The time between the two inventories was 9 years.

Inventory data consist of the dbh-distribution of the growing stock from both inventories and the 5 year diameter increment by diameter classes from the last inventory (Appendices). The 5-year diameter increments were corrected by growth indices to correspond to the 9-year study period. Furthermore, they were smoothed as moving averages of the five successive diameter classes. The LP-solution yielded the dbh-distribution of the drain, which was transformed into volumes and timber assortments by using the unit volumes from the first inventory.

The drain estimates for the 9-year period were relatively close to the previous figures based on cutting removal and timber use statistics, except for small diameter broadleaved trees (Tables 5 and 6).

The drain estimation method introduced in this paper makes it possible to estimate the increment of the drain during the increment measurement period (see Lönnroth 1929; Kuusela 1953). Formulae 5, 6, 7, 8, and 9 and Fig. 4 illustrate the possible situations in the estimation of the increment of the drain. The results (Table 8) indicate that the increment of the drain of the broadleaved trees other than birch is larger than the present figures used in calculating the increment in the National Forest Inventory suggest. This probably is due to the underestimation of the ingrowth of the small diameter trees.

Standard errors of the drain estimates (Table 10) were calculated from the standard errors of the initial and final growing stock volume estimates and from the standard error of the increment estimate (Formulae 10 and 11). The estimated drain of the broadleaved trees significantly exceeds the drain estimates obtained from the available drain statistics.

Liite 1. Runkolukusarjat VMI7:ssa. Pinta-ala 5 636 669 ha.

Appendix 1. Dbh-distribution in the 7th Finnish NFI. Forest area 5 636 669 ha.

D1.3	Mänty Pine	Kuusi Spruce 1000 kpl	Koivu Birch 1000 stems	Muut Other	Yhteensä Total
1	490886	568804	1363572	1262278	3685540
2	303882	566856	851259	859050	2581047
3	249339	489154	485691	498678	1722862
4	206484	407124	333101	285376	1232085
5	172979	339413	213808	180147	906347
6	142634	269251	143283	127700	682868
7	130712	221352	114492	93979	560535
8	112860	182621	88632	65378	449492
9	95811	155644	68684	46847	366986
10	93268	138227	57426	32648	321569
11	80559	113014	41857	23182	258612
12	69044	100049	36524	16449	222067
13	57862	85710	31352	11572	186497
14	55616	79389	27311	10098	172414
15	49799	71269	21367	6511	148945
16	45929	64587	19388	4961	134866
17	42168	61580	18603	4206	126557
18	42783	53364	15295	3487	114930
19	39607	52039	14850	2590	109086
20	36758	45017	13733	2435	97943
21	35903	41079	10937	1679	89597
22	34017	38573	11044	1256	84889
23	31771	35837	9147	1281	78036
24	31397	29936	8252	933	70519
25	27141	26505	7156	760	61562
26	24620	22799	5602	680	53701
27	23055	20960	4714	705	49434
28	20821	18158	4055	477	43511
29	18586	15797	3382	500	38264
30	15904	13774	2900	416	32994
31	13630	11076	2335	308	27348
32	11307	9078	1834	358	22577
33	9666	7820	1331	207	19025
34	7933	5925	1180	128	15166
35	5966	4580	999	114	11659
36	4912	3661	619	102	9295
37	3455	3073	581	80	7189
38	2714	2239	389	119	5461
39	1998	1983	282	61	4324
40	1500	1281	166	102	3049
41	1048	918	176	51	2192
42	835	689	128	57	1709
43	666	645	105	59	1475
44	402	427	125	20	974
45	385	408	62	27	881
46	195	261	44	11	512
47	190	166	53	25	434
48	81	129	14	3	227
49	84	84	6	16	191
50	266	361	93	63	783
Yht. Total	2849428	4382689	4483185	3675388	15390690

Liite 2. Runkolukusarjat VMI8:ssa. Pinta-ala 5 677 254 ha.

Appendix 2. Dbh-distribution in the 8th Finnish NFI. Forest area 5 677 254 ha.

D1.3	Mänty Pine	Kuusi Spruce	Koivu Birch	Muut Other	Yhteensä Total
cm		1000 kpl	1000	stems	
1	525844	525844	1692140	1557308	4301136
2	357304	578092	953935	793823	2683154
3	298128	462923	514608	381275	1656934
4	241855	401546	347613	259130	1250144
5	209798	347327	237574	149933	944632
6	191948	290638	173221	113483	769291
7	170328	245311	149691	83513	648844
8	150316	205513	107023	62044	524896
9	133334	168956	91969	48190	442448
10	115483	146832	79349	33843	375507
11	104968	122630	61231	27134	315963
12	94897	108895	50421	18867	273081
13	80899	95180	43441	15558	235078
14	69376	84476	34671	11282	199806
15	61993	79671	28914	8749	179326
16	54328	68390	23833	7189	153740
17	48148	64103	21181	5132	138564
18	43716	58760	17978	4266	124719
19	42952	52607	15145	3660	114364
20	37112	48388	13871	2865	102236
21	34977	44455	10976	2584	92991
22	31521	39391	10307	2243	83462
23	31694	37366	8883	1593	79536
24	29752	34305	8298	1639	73994
25	27268	31205	6353	1208	66035
26	24383	27166	5355	1057	57962
27	22537	23989	4864	731	52120
28	20259	21188	3895	748	46090
29	18277	18614	3599	657	41147
30	16150	15251	2831	652	34884
31	14437	13736	2034	484	30691
32	12614	10942	1791	481	25827
33	10425	9651	1888	322	22286
34	8549	7995	1347	350	18242
35	6874	6356	1106	281	14617
36	5665	5545	900	198	12308
37	4723	4585	704	187	10199
38	3716	3558	509	140	7923
39	2885	2872	381	106	6245
40	2225	2267	287	101	4879
41	1712	1741	257	116	3826
42	1330	1376	203	46	2954
43	901	1025	153	44	2122
44	651	905	118	38	1713
45	546	709	83	43	1382
46	456	484	54	32	1026
47	296	433	55	31	815
48	176	263	35	32	506
49	160	239	17	17	432
50	480	709	114	112	1415
Yht. Total	3368370	4579436	5065410	3878681	16891896

Liite 3. Lämpimitan kasvu VMI8:ssa.
Appendix 3. Diameter increment in the 8th Finnish NFI.

D1.3 cm	Mänty Pine	Kuusi Spruce mm/v	Koivu Birch mm/yr	Muut Other	Keskimäärin Average
1	5,07	2,48	2,77	2,98	2,86
2	4,41	2,96	2,90	2,34	2,48
3	4,21	2,60	2,33	2,22	2,64
4	4,28	2,37	2,39	3,15	2,79
5	4,28	2,83	2,61	2,39	3,11
6	4,67	2,76	2,79	2,23	3,18
7	4,46	2,99	2,91	2,72	3,32
8	4,66	3,12	3,23	2,36	3,51
9	4,56	3,33	3,55	2,74	3,69
10	4,86	3,59	3,41	3,36	3,92
11	4,20	3,84	3,64	3,31	3,87
12	3,97	3,83	3,46	3,47	3,78
13	4,17	3,71	3,80	4,03	3,92
14	3,85	4,05	3,77	4,05	3,93
15	3,65	3,75	3,28	4,04	3,65
16	3,35	4,04	3,84	4,64	3,78
17	3,10	3,82	3,51	4,22	3,53
18	3,14	3,63	2,98	3,98	3,37
19	2,93	3,80	3,00	4,16	3,35
20	2,98	3,80	2,77	4,40	3,40
21	2,91	3,86	3,27	4,03	3,44
22	2,67	3,90	2,82	5,39	3,33
23	2,67	3,58	3,05	5,17	3,20
24	2,56	3,94	2,90	4,84	3,29
25	2,44	3,83	2,88	4,21	3,13
26	2,46	3,66	2,72	4,79	3,10
27	2,56	3,66	2,83	4,64	3,14
28	2,28	4,00	2,82	4,87	3,13
29	2,29	3,82	3,00	4,63	3,12
30	2,31	3,74	3,23	4,30	3,05
31	2,35	4,05	2,97	4,60	3,20
32	2,34	3,91	3,30	3,27	3,10
33	2,45	4,05	3,19	5,23	3,25
34	2,22	4,13	3,41	4,15	3,16
35	2,52	4,27	3,05	5,02	3,43
36	2,37	4,54	3,52	5,19	3,53
37	2,38	4,32	3,37	4,50	3,35
38	2,37	4,67	3,29	4,20	3,58
39	2,28	4,64	3,09	5,49	3,53
40	2,36	4,86	3,61	4,94	3,50
41	2,50	4,78	2,92	2,37	3,43
42	2,78	4,93	4,35	7,82	3,95
43	2,20	4,51	2,65	6,00	3,53
44	2,73	4,99	3,44	4,16	4,15
45	3,09	4,83	3,06	6,70	4,10
46	3,12	5,07	3,84	9,67	4,49
47	2,70	5,67	1,77	2,60	4,10
48	2,92	4,81	5,09	3,00	3,81
49	2,55	5,04	5,00	3,00	4,32
50	2,89	5,78	4,99	3,72	4,49
Keskim. Average	2,84	3,63	2,97	3,10	3,21

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) 82 912

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 Field 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:* PL 16
96301 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 jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Field Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420



- No 743 Sirén, Matti: Pienet hakkuukoneet varhaisissa harvennushakkuissa.
Small multi-function machines in early thinning operations.
- No 744 Ferm, Ari: Nuorten vesasyntyisten hieskoivikoiden kehitys ja lahoisuus turvemaalla.
Development and decay of young *Betula pubescens* coppice stands on peatland.
- No 745 Rikala, Risto & Huurinainen, Seppo: Lannoituksen vaikutus kaksivuotisten männyn paakkutaimien kasvuun taimitarhalla ja istutuksen jälkeen.
Effect of fertilization on the nursery growth and outplanting success of two-year-old containerized Scots pine seedlings.
- No 746 Lämsä, Pertti, Kellomäki, Seppo & Väisänen, Hannu: Nuorten mäntyjen oksikkuuden riippuvuus puuston rakenteesta ja kasvupaikan viljavuudesta.
Branchiness of young Scots pines as related to stand structure and site fertility.
- No 747 Karppinen, Heimo & Hänninen, Harri: Yksityistilojen hakkuumahdollisuuksien käyttö Etelä-Suomessa.
Actual and allowable cut in nonindustrial private woodlots in southern Finland.
- No 748 Aarnio, Jukka: Voimaperäistämisen vaikutus metsälön puuntuotannon yksityistaloudelliseen kannattavuuteen.
Intensive timber growing and profitability in private forestry.
- No 749 Nieminen, Mika & Pätilä, Antti: Karujen rämeiden luokittelu pintakasvillisuuden ja ravinnetunnusten avulla.
Classification of oligotrophic pine mires on the basis of ground vegetation and fertility parameters.
- No 750 Ihalainen, Ritva: Rakennemuutokset yksityismetsänomistuksessa: Katsaus Suomessa vuosina 1960 — 89 tehtyihin tutkimuksiin.
Changes in nonindustrial private forest ownership in Finland: A survey of the literature 1960 — 89.
- No 751 Kilkki, Pekka & Kujala, Matti: Poistuman arviointi kahden peräkkäisen tilapäiskoeloihin perustuvan inventoinnin avulla.
Estimation of drain on the basis of two successive forest inventories with temporary sample plots.