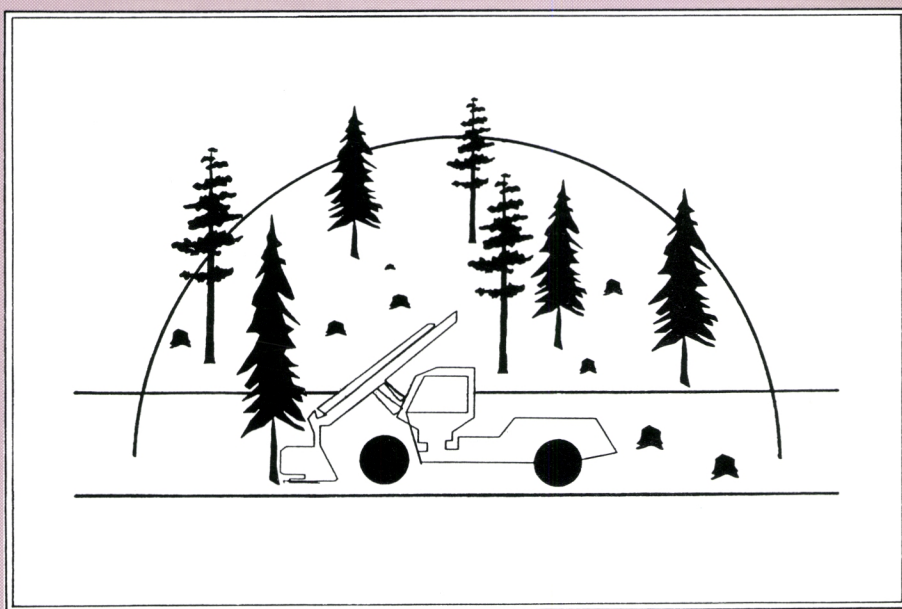


Runkolukuun perustuvat harvennusmallit

Pentti Niemistö



Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432

Kansikuva: Harvennusohje hakkuukoneen työpisteessä.
Piirros; Irene Murtovaara.

Runkolukuun perustuvat harvennusmallit

Pentti Niemistö

Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema 1992

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432

SISÄLLYS

1. Johdanto	3
2. Aineisto	4
3. Muunnosten laskenta	4
4. Ajourien vaikutus	6
5. Harvennusmallit	7
51. Metsäkeskus Tapion harvennusmallit	7
52. Muut harvennusmallit	10
6. Keskiläpimitan määrittäminen	11
7. Yhteenveto	15
Kirjallisuus	16
Litteet	17

Niemistö, Pentti. 1992. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432. 18 s. ISBN 951-40-1249-6, ISSN 0358-4283.

Nykyisten pohjapinta-alaan perustuvien harvennusmallien lisäksi tarvitaan runkolukumallit, jotka sopivat metsurin ja hakkuukoneen kuljettajan työohjeiksi. Runkoluku todettiin sopivaksi tunnukseksi, mikäli sen yhteydessä puiden kokoa tarkastellaan keskiläpimitan avulla. Tällöin myös metsikön sisäinen vaihtelu voidaan ottaa entistä joustavammin huomioon. Keskiläpimita pystytään määrittämään parhaiten toiseksi pienimmän ja toiseksi suurimman puun keskiarvona.

Tutkimuksessa esitellään menetelmä, jolla perinteiset pohjapinta-alamallit muunnetaan runkolukuun perustuviksi. Samalla otetaan huomioon ajourien vaikutus puustopääomaan. Metsäkeskus Tapion harvennusmalleja vastaavat runkolukumallit esitetään sekä hehtaari-kohtaisina että hakkuukoneen työpisteestä hallittavalle 11 metrin säteiselle puoliympyrälle.

Avainsanat: harvennusmalli, runkoluku, puustopääoma, ajoura, hakkuukone.

Kirjoittajan yhteystiedot: Niemistö, Pentti: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusase-
ma, 91500 Muhos (puh. 981-5331404).

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos; Hanke 3028-5. Hyväksynyt: Jari Parviainen, tutkimus-
johtaja 6.7.1992.

Jakaja: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, 91500 Muhos.

Hinta: -.

1. JOHDANTO

Suomessa nykyisin käytössä olevat harvennusmallit perustuvat puuston valtapituuteen ja pohjapinta-alaan. Pohjapinta-ala kuvaa luotettavasti puuston määrää. Sen määrittäminen, ja näin ollen myös harvennusvoimakkuuden valvonta on yksinkertaista relaskoopin avulla. Ensiharvennuksissa alle 14 metrin valtapituudella käytetään harvennustarpeen osoittajana runkolukua (Metsänhoitosuosituksen 1989).

Erillisestä leimauksesta luopuminen ja puuvalinnan siirtyminen metsurin tai hakkuukoneen kuljettajan tehtäväksi heikentää pohjapinta-alan käyttökelpoisuutta harvennusmalleissa. Toinen ongelma liittyy mallien toimivuuteen epätasaisissa metsiköissä. Valtapituuden määrittelystä johtuen tavoitepohjapinta-ala on sama koko metsikölle. Valtapituuden etu on puolestaan siinä, että se on alaharvennuksissa riippumaton harvennuksen voimakkuudesta.

Käsillä olevan tutkimuksen päämääränä on selvittää runkoluvun käyttökelpoisuutta harvennusohteena. Yksinään runkoluku ei kuvaa puustopääomaa yhtä luotettavasti kuin pohjapinta-ala, koska pienet puut saavat yhtä suuren painon kuin suuretkin. Runkolukutavoite saattaa täytyä hyvinkin pienellä puustopääomalla, mikäli harvennuksessa jätetään runsaasti pieniä puita. Tästä syystä pohjapinta-alan korvaaminen runkoluvulla edellyttää valtapituuden korvaamista keskiläpimitalla.

Keskiläpimitan käyttöä puoltaa myös se, että sen määrittäminen on mahdollista pienillekin puuryhmille. Tällöin metsikön sisäinen vaihtelu voidaan ottaa huomioon pienipiirteisemmin. Keskiläpimita aiheuttaa kuitenkin ongelman sen suhteen, missä vaiheessa sen mittaus tapahtuu. Keskiläpimitaan ennen harvennusta vaikuttavat pienet, hakkuussa poistettavat puut, eikä jäävää puustoa puolestaan tunneta tarkasti ennen harvennuksen suoritusta.

Tässä tutkimuksessa esitellään menetelmä, jolla pohjapinta-alaan ja valtapituuteen perustuvat harvennusmallit voidaan muuntaa runkolukuun ja keskiläpimitaan perustuviksi. Menetelmän luotettavuuden lisäksi tutkitaan keskiläpimitan arviointia ja tarkastellaan ajourien huomioonottamista harvennusmalleissa. Teoreettisen tarkastelun lisäksi esitetään Metsäkeskus Tapion harvennusmalleja (Metsänhoitosuosituksen 1989) vastaavat mallit runkoluvun ja keskiläpimitan avulla. Hehtaarikohtaisten runkolukujen ohella esitetään tavoiterunkoluvut yhdestä työpisteestä hakkuukoneen ulottuvilla olevalle puoliympyrälle. Muidenkin harvennusmallien muuntamista varten osoitetaan yksinkertainen menetelmä.

Tutkimuksessa on käytetty hyväksi Metsäliitossa saatuja kokemuksia vastaavanlaisista harvennusmalleista (Kari Kantanen, Kauko Peltonen ja Vilho Pollari). Käsikirjoituksen ovat tarkastaneet professorit Pentti Hakkila ja Kari Mielikäinen sekä tutkijat Antti Isomäki, Risto Lilleberg ja Matti Sirén. Kiitokset heille kaikille tämän tutkimuksen edistämiseksi tehdystä työstä.

Symbolit:

Puustoa koskevat lyhenteet:

D	= aritmeettinen keskiläpimita rinnankorkeudella (mm)
D_{ppa}	= pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimita (mm)
G	= pohjapinta-ala rinnankorkeudella (m^2/ha)
H_{dom}	= valtapituus = sadan paksuimman puun keskipituus hehtaarilla (m)
RL	= runkoluku (kpl/ha)

Muita lyhenteitä:

R^2	= selitysaste (R = yhteiskorrelaatiokerroin)
N	= havaintojen lukumäärä
S_f	= selittämättä jäävä osuus muuttujan vaihtelusta
S_m	= selitettävän muuttujan keskihajonta

2. AINEISTO

Perinteisten harvennusmallien muuntamisessa keskiläpimitaan ja runkolukuun perustuviksi käytettiin aineistona Metsäntutkimuslaitoksen metsänkasvatuksen tutkimusosaston harvennuskokeista (Vuokila 1986) poimittua 940 koealan otosta. Männiköt ja kuusikot muodostivat aineistosta 29 % kummatkin, rauduskoivikot 26 % ja hieskoivikot 16 %. Kuusikot ja rauduskoivikot olivat pääasiassa Etelä- ja Keski-Suomesta, männiköt ympäri maata ja hieskoivikot Pohjanmaalta ja Lapista.

Koelamittauksista laskettiin keskiläpimitan ja runkoluvun riippuvuutta valtapituudesta ja pohjapinta-alasta kuvaavat regressioyhtälöt, joita tarvittiin muunnoksissa. Aineistoon sisällytettiin eri harvennusvoimakkuuksilla käsiteltyjä koealoja siksi, että eri tunnusten välille laskettavat riippuvuudet olisivat luotettavia riippumatta harvennuksen voimakkuudesta.

Aineistosta poimittiin lisäksi eri kehitysvaiheissa olevilta, vastikään harvennetuilta koealoilta 178 kappaleesta 5 - 30 puun ryhmiä, joiden avulla tutkittiin keskiläpimitan määrittämisen luotettavuutta pienillä koealoilla.

3. MUUNNOSTEN LASKENTA

Kuvaamaan runkoluvun riippuvuutta pohjapinta-alasta ja aritmeettisesta keskiläpimitasta laadittiin regressioyhtälö:

Selitettävä muuttuja $\ln(RL)$:

<i>Muuttuja</i>	<i>Kerroin</i>	<i>Keskiarvo</i>	<i>t-arvo</i>	
Vakio	9,29	-	-	
$\ln(G)$	0,952	0,0036	267,2	(malli 1)
D^2	0,0033	0,000038	87,2	
$\cos((40-D)/40)$	-8,963	0,050	-178,2	

$N = 828$, $R^2 = 0,993$, $S_m = 0,53$, $S_f = 0,007$

Ottamalla huomioon runkoluvun logaritmimuunnos havaittiin, että yhtälö selittää 98 % runkoluvun vaihtelusta aineistossa. Jäännösvaihtelu oli niin pientä, ettei eri puulajeille tarvinnut laskea omia malleja.

Lisäksi laadittiin malli, jolla keskiläpimitta voitiin ennustaa puuston pohjapinta-alan ja valtapituuden avulla. Nämä yhtälöt laadittiin puulajeittain:

MÄNTY: Selitettävä muuttuja D:

<i>Muuttuja</i>	<i>Kerroin</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t-arvo</i>	
Vakio	4,63	-	-	
H_{dom}	0,387	0,146	2,6	(malli 2)
H_{dom}^2	0,0235	0,00052	4,7	
G^2	-0,0052	0,050	10,1	

$N = 267, R^2 = 0,88, S_m = 4,18, S_f = 0,12$

KUUSI: Selitettävä muuttuja D:

<i>Muuttuja</i>	<i>Kerroin</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t-arvo</i>	
Vakio	-3,00	-	-	
H_{dom}	1,29	0,028	45,8	(malli 3)
G^2	-0,0044	0,0002	-22,2	

$N = 274, R^2 = 0,89, S_m = 4,86, S_f = 0,11$

RAUDUSKOIVU: Selitettävä muuttuja D:

<i>Muuttuja</i>	<i>Kerroin</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t-arvo</i>	
Vakio	-3,46	-	-	
H_{dom}	1,402	0,119	11,8	(malli 4)
H_{dom}^2	-0,0164	0,0037	-4,5	
G^2	-0,0097	0,00069	-14,1	

$N = 245, R^2 = 0,83, S_m = 2,81, S_f = 0,17$

HIESKOIVU: Selitettävä muuttuja D:

<i>Muuttuja</i>	<i>Kerroin</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t-arvo</i>	
Vakio	3,27	-	-	
H_{dom}^2	0,049	0,0019	25,7	(malli 5)
G^2	-0,00755	0,0010	-7,6	

$N = 154, R^2 = 0,83, S_m = 3,57, S_f = 0,17$

Männiköissä aritmeettisen keskiläpimitan vaihtelusta selittyi 88 %, kuusikoissa 89 % ja koivikoissa 83 %. Syynä aritmeettisen keskiläpimitan käyttöön oli sen määrittämisen helppous silloin, kun ei käytetä relaskoopia.

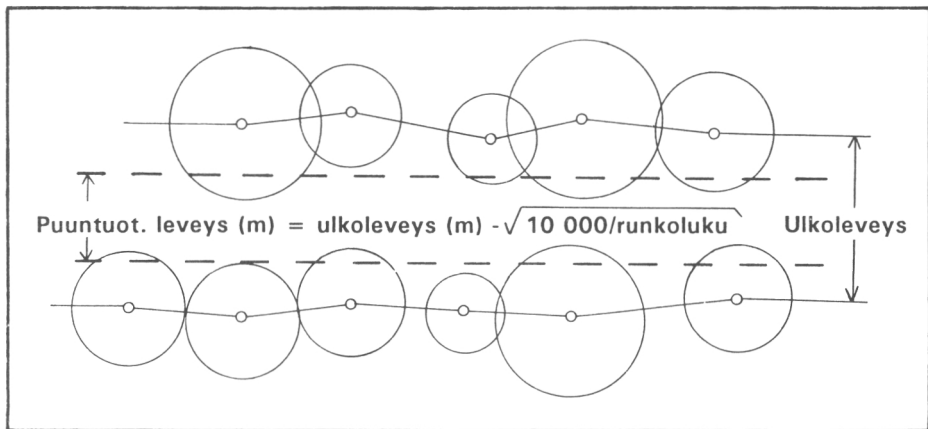
Käytännössä harvennusmallien muuntaminen runkolukuun ja keskiläpimitaan perustuviksi tapahtui siten, että ensin laskettiin puolajeyttain alkuperäisten harvennumallien valtapituus-pohjapinta-ala arvopareja vastaavat keskiläpimitat malleilla 2 - 5. Sen jälkeen laskettiin mallilla 1 vastaavat runkoluvut. Näin päädyttiin alkuperäisiä malleja vastaaviin keskiläpimita-runkoluku arvopareihin, joiden avulla uudet harvennusmallit voitiin laatia. Samasta aineistosta laadittujen regressioyhtälöiden ketjuttaminen ei aiheuta tässä tilanteessa virhettä, koska mallin 1 luotettavuus on erittäin korkea. Tulokset ovat tässä vaiheessa koko metsikköä koskevia arvoja, joissa ei ole otettu huomioon ajourien vaikutusta. Harvennusmalleja ei voida sellaisenaan soveltaa ajourien välisille alueille.

4. AJOURIEN VAIKUTUS

Jos koko leimikon hehtaariohtainen puustopääoma halutaan pitää harvennusmallien osoittamalla tasolla, on puusto jätettävä ajourien välisellä alueella tiheämmäksi kuin mallit osoittavat. Tarvittavan korjauksen laskemisessa käytettiin vaihtoehtoisesti 20 tai 30 metrin välein sijaitsevia, neljä metriä leveitä ajouria. Yhdysuria oletettiin hehtaaria kohden tarvittavan 100 m, joten kaikkiaan ajouraa laskettiin olevan edellisessä 600 ja jälkimmäisessä 433 metriä/ha. Korjausta ei tehty suoraan 4,0 metriä leveään ajouran nimellis-pinta-alan mukaan, koska noin puolet (varttuneissa metsissä enemmän) ajouran pinta-alasta kuuluu reunapuiden kasvutilaan (Isomäki & Niemistö 1990).

Puuntuotannon kannalta ajouran leveydellä tarkoitetaan tässä sitä lisäetäisyyttä, jonka ajoura aiheuttaa reunapuiden välille verrattuna puun keskimääräiseen etäisyyteen neljästä lähimmästä puusta. Ajouran puuntuotannollinen leveys (kuva 1) laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$\text{Puuntuotannollinen leveys (m)} = \text{ulkoleveys (m)} - \sqrt{10\,000/\text{RL}}$$



Kuva 1. Ajouran puuntuotannollisen leveyden laskenta ulkoleveyden ja puiden välisen etäisyyden avulla. Ulkoleveyden ei oleteta lisääntyvän puuston harvetessa, koska ajoura on jo olemassa tai se pystytään suuntaamaan entistä paremmin kasvatettavien puiden välistä.

Ulkoleveydellä tarkoitetaan ajouran reunapuiden keskimääräistä etäisyyttä kohtisuorasti ajouran poikki mitattuna. Se on noin metrin suurempi kuin esimerkiksi SLU-menetelmällä laskettu ajouran korjuutekninen leveys (Björkheden & Fröding 1986, Isomäki & Niemistö 1990). Ajourien aiheuttamaa korjausta laskettaessa uran ulkoleveydeksi oletettiin 5,0 m. Tällöin ajouran puuntuotannollinen leveys muuttuu jäävän puuston runkoluvun funktiona seuraavasti:

	700 kpl/ha : 1,22 m
1500 kpl/ha : 2,42 m	500 kpl/ha : 0,53 m
1000 kpl/ha : 1,84 m	400 kpl/ha : 0,00 m

Harvennusmalleihin ajouran aiheuttama korjaus tehtiin iteroimalla. Ensimmäisessä vaiheessa oletettiin ajourien välisen alueen tavoitepuusto 10 % koko metsikön tavoitetta tiheämmäksi. Mallien 1 - 5 avulla laskettiin näin korjattuja alkuperäisiä harvennusmalleja vastaavat runkoluvut ja keskiläpimitat edellä kuvatulla tavalla. Tulokseksi saatujen runkolukujen avulla laskettiin ajouran puuntuotannolliset pinta-alat metsikön eri kehitysvaiheissa. Seuraava esimerkki ajourien pinta-alasta laskettiin sekä 20 metrin että 30 metrin ajouraväleille:

Ajouran puuntuotannollinen pinta-ala prosentteina koko leimikosta:

	<i>20 m:n uraväli</i> = 600 m uraa/ha	<i>30 m:n uraväli</i> = 433 m uraa/ha
1500 kpl/ha	14,5 %	10,5 %
1000 kpl/ha	11,0 %	8,0 %
700 kpl/ha	7,3 %	5,3 %
500 kpl/ha	3,2 %	2,3 %

Iteroinnin toisessa vaiheessa alkuperäisten harvennusmallien pohjapinta-alan tavoitteisiin tehtiin ajourien puuntuotannollista pinta-alaa vastaavat korjaukset siten, että mallien tavoitepuusto koskee nyt ajourien välistä aluetta, ei siis koko metsikköä. Malleilla 1 - 5 tehtiin uudelleen muunnos keskiläpimitoiksi ja runkoluvuiksi. Kolmas iterointikierrös ei ollut enää tarpeellinen, koska tulos pysyi ennallaan.

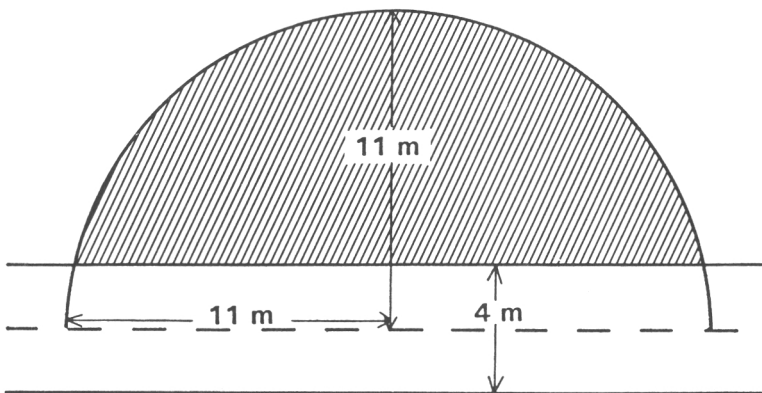
5. HARVENNUSMALLIT

51. Metsäkeskus Tapion harvennusmallit

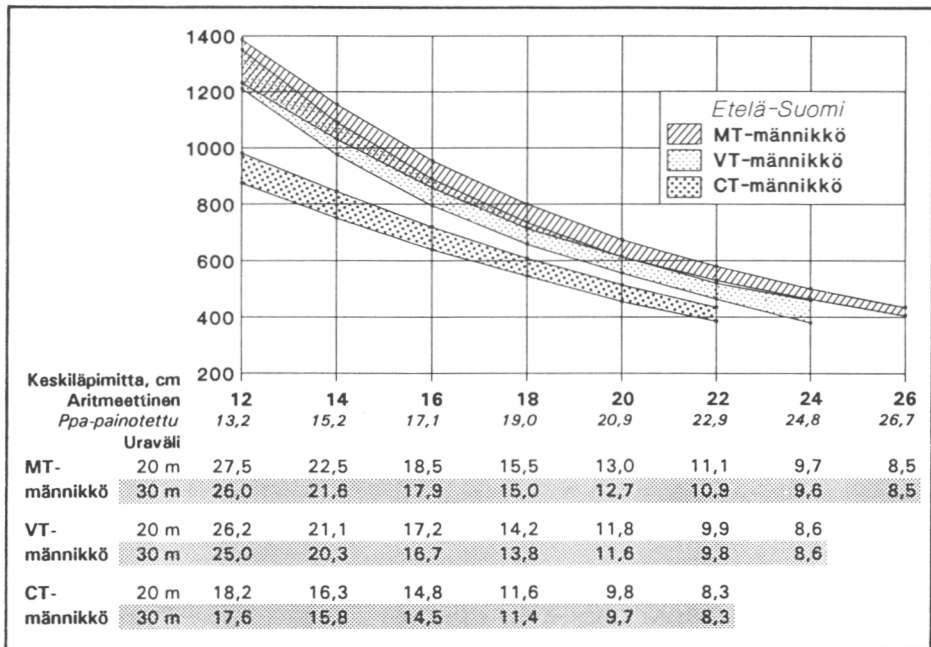
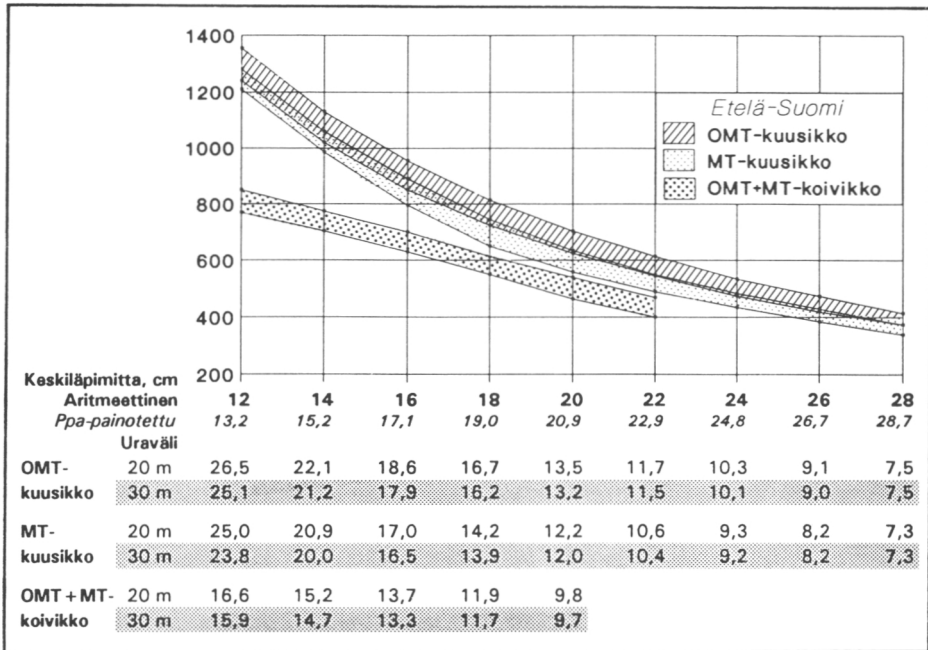
Metsäkeskus Tapion (Metsänhoitosuosituksen 1989) harvennusmallien tasoa vastaavat runkolukuun ja aritmeettiseen keskiläpimitaan perustuvat mallit on esitetty kuvissa 3 - 4. Kuvassa 4 on lisäksi turvemaan hieskoivikon harvennusmalli (Niemi 1991). Malleissa olevan vyöhykkeen yläreuna vastaa alkuperäisen mallin puustotavoitetta harvennuksen jälkeen ja alareuna puuston vähimmäismäärää. Hehtaarikohtaiset runkoluvut koskevat koko metsikköä, eivät ajourien välistä aluetta.

Hakkuukoneita varten kuvien alapuolella on esitetty taulukkoina ajouran keskeltä mitatun, säteeltään 11 metrin puolipyörän sisään (kuva 2) jätettävien puiden lukumäärä. Yhden desimaalin tarkkuus taulukoissa on ymmärrettävä useiden koealojen keskiarvona. Ajouran leveyden laskenta puuntuotannollisesta näkökulmasta on esitetty edellä.

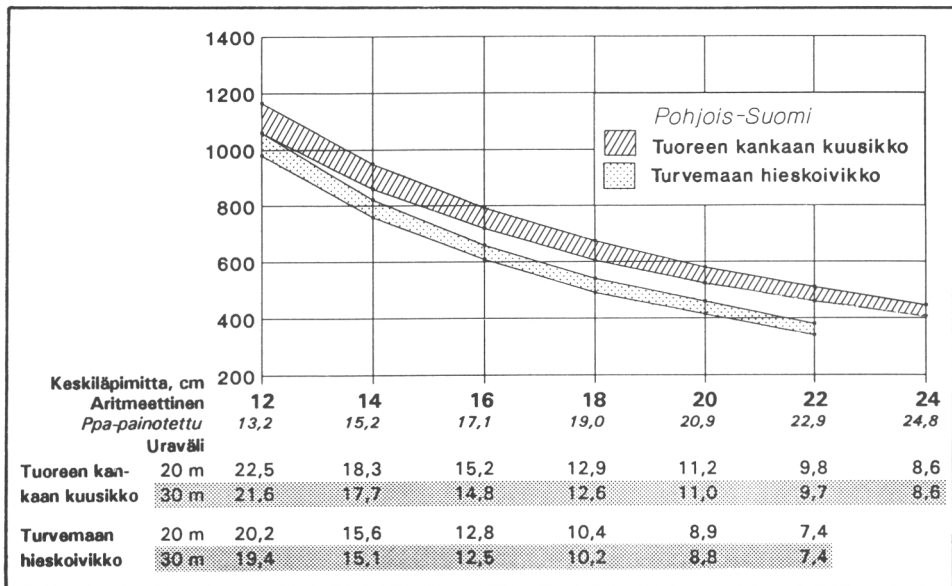
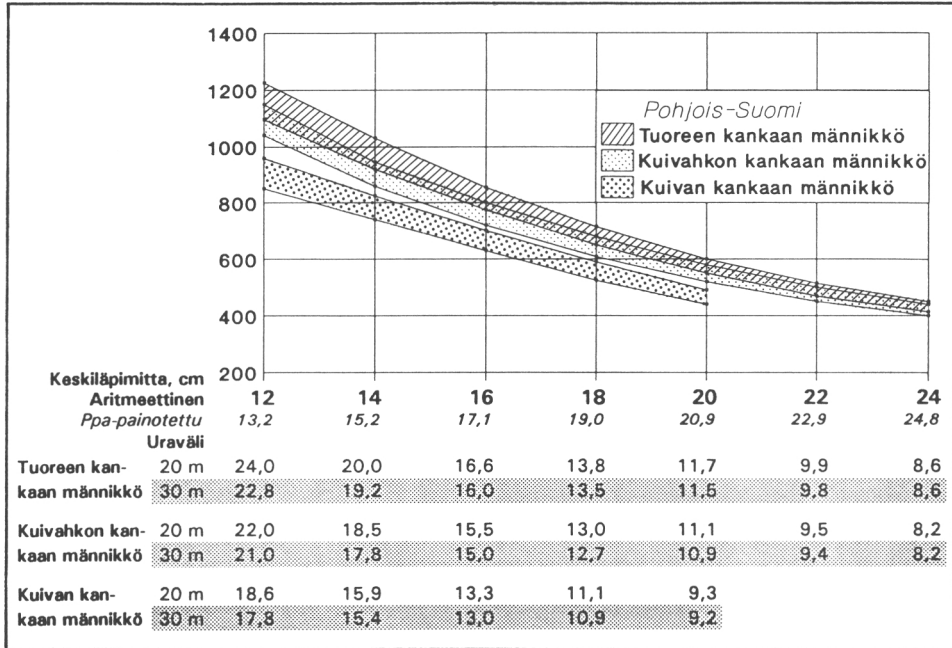
Koska puolipyörään sisältyy myös tietty määrä puutonta ajouraa, taulukossa 1 on esitetty runkoluvut myös ajourien välialueelta mitattaville 100 m²:n koealoille, jotka eivät sisällä lainkaan ajouraa. Koeala voidaan rajata esim. 5,64 metrin säteisenä ympyränä.



Kuva 2. Hakkuukoneen puomin ulottuvuuden avulla rajattava, säteeltään 11-metrinen puolipyörä, jonka 190 m²:n pinta-ala sisältää n. 2 m vyöhykkeen puutonta ajouraa.



Kuva 3. Harvennusmallit Etelä-Suomen alueelle. Vyöhykkeet vastaavat Tapion mallien tavoitepuuston ja alarajan väliä harvennuksen jälkeen. Kuvioiden alapuolella tavoiterunkoluvut säteeltään 11 metrin puoliympyrällä ajouran keskeltä mitattuna. Alaraja on 10 % tavoitteen alapuolella. Urien leveys 4 m ja etäisyys toisistaan vaihtoehtoisesti 20 tai 30 metriä.



Kuva 4. Harvennusmallit Pohjois-Suomen alueelle. Alkuperäisinä malleina on käytetty männiköissä ja kuusikoissa Tapion ja koivikoissa turvemaan hieskoivikoiden (Niemistö 1991) harvennusmalleja. Vyöhykkeet vastaavat tavoitepuuston ja alarajan väliä harvennuksen jälkeen. Kuvioiden alapuolella vastaavat tavoiterunkoluvut säteeltään 11 metrin puoliympyrällä ajouran keskeltä mitattuna. Alaraja on 10 % tavoitteen alapuolella. Urien leveys 4 m ja etäisyys toisistaan vaihtoehtoisesti 20 tai 30 metriä.

Taulukko 1. Metsäkeskus Tapion harvennusmalleja vastaavat tavoiterunkoluvut 100 m²:n koealoilla 20 tai 30 metrin etäisyyksillä olevien ajourien välisillä alueilla. Puuston alaraja on 10 % tavoitteen alapuolella.

Keskiläpimitta, cm										
Aritmeettinen		12	14	16	18	20	22	24	26	28
<i>Ppa-painotettu</i>		13,2	15,2	17,1	19,0	20,9	22,9	24,8	26,7	28,7
Uraväli										
		Etelä-Suomi								
OMT- kuusikko	20 m	16,4	13,5	11,0	9,2	7,8	6,6	5,6	4,8	4,2
	30 m	15,5	12,8	10,6	8,8	7,5	6,4	5,5	4,8	4,2
MT- kuusikko	20 m	15,3	12,6	10,0	8,2	6,9	5,9	5,0	4,4	3,8
	30 m	14,5	12,0	9,6	7,9	6,7	5,8	5,0	4,4	3,8
OMT ja MT- koivikko	20 m	9,7	8,9	7,8	6,8	5,5				
	30 m	9,3	8,6	7,6	6,6	5,4				
MT- männikkö	20 m	17,0	13,7	11,0	9,0	7,4	6,2	5,3	4,6	
	30 m	16,0	13,0	10,5	8,7	7,2	6,1	5,3	4,6	
VT- männikkö	20 m	16,2	12,8	10,2	8,2	6,6	5,5	4,7		
	30 m	15,3	12,2	9,7	7,9	6,4	5,4	4,7		
CT- männikkö	20 m	12,2	9,1	7,3	5,7	4,7	4,0	3,4		
	30 m	11,7	8,8	7,1	5,6	4,7	4,0	3,4		
		Pohjois-Suomi								
OMT ja MT- kuusikko	20 m	13,7	10,9	8,9	7,4	6,2	5,3	4,6		
	30 m	13,0	10,4	8,6	7,2	6,1	5,3	4,6		
MT- männikkö	20 m	14,6	12,0	9,7	7,9	6,5	5,4	4,7		
	30 m	13,9	11,5	9,4	7,7	6,4	5,3	4,7		
VT- männikkö	20 m	13,3	11,0	9,0	7,4	6,1	5,1	4,4		
	30 m	12,7	10,5	8,7	7,2	6,0	5,1	4,4		
CT- männikkö	20 m	11,0	9,3	7,6	6,2	5,0	4,1			
	30 m	10,5	9,0	7,4	6,1	5,0	4,1			
Turvemaan hieskoivikko	20 m	12,2	9,1	7,3	5,7	4,7	4,0			
	30 m	11,7	8,8	7,1	5,6	4,7	4,0			

52. Muut harvennusmallit

Tapion malleista poikkeavia harvennusohjeita ajatellen (esim. Vuokila 1971, Vuokila & Väliaho 1982, Harvennushakkuiden... 1992), laadittiin liitteet 1 ja 2, joiden avulla on mahdollista muuntaa perinteiset harvennusmallit runkolukuperusteisiksi. Poimimalla alkupe- räisestä mallista pohjapinta-alan arvot riittävän monelta valtapituudelta ja hakemalla vastaavat keskiläpimitat ja runkoluvut taulukosta saadaan piirrettyä uudet runkolukuun perustuvat harvennusmallit. Taulukkoon sisältyvät sekä koko metsikköä että ajouralta mitattua puoliympyrää koskevat runkoluvut. Muunnokset voidaan tehdä tarvittaessa myös tavanomaisella taulukkolaskentaohjelmalla.

Yksittäistapauksissa voidaan noudattaa myös pelkästään regressiomalliin 1 perustuvaa työtapaa: ensin haetaan perinteisestä harvennusmallista valtapituuden avulla puuston tavoitepohjapinta-ala ja lasketaan sen ja keskiläpimitan avulla tavoiterunkoluku mallilla 1. Taulukossa 2 on esitetty näin lasketut koko metsikön runkoluvut keskiläpimitan ja pohjapinta-alan funktiona. Vaihtoehtoisesti taulukoista 3a ja 3b saadaan ajouralta mitatun puoliympyrän runkoluku.

Taulukoista 2 tai 3 saatava tulos on tavoitellun pohjapinta-alan suhteen hyvin luotettava. Menetelmää voi käyttää myös pelkän runkolukumallin testaukseen. Myös silloin, kun on aihetta epäillä runkomuodon poikkeavan selvästi normaalista, kannattaa soveltaa tätä menetelmää, vaikkei se kaksivaiheisena ole kovin käytännöllinen.

Taulukko 2. Harvennetun metsikön hehtaarikohtainen runkoluku puuston pohjapinta-alan ja keskiläpimitan funktiona.

Keskiläpimitta, cm											
Aritm.	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Ppa-pain.	9,4	11,3	13,2	15,2	17,1	19,0	20,9	22,9	24,8	26,7	28,7
Ppa	kpl/ha										
10 m2	1881	1237	864	635	486	386	316	266			
11 m2	2060	1354	946	695	532	423	346	291	250		
12 m2	2238	1471	1028	755	578	459	376	316	271		
13 m2	2415	1587	1109	815	624	496	406	341	293	256	
14 m2	2591	1703	1191	875	670	532	435	366	314	274	
15 m2	2767	1819	1271	934	715	568	465	391	336	293	258
16 m2	2942	1934	1352	993	761	604	494	415	357	312	275
17 m2	3117	2049	1432	1052	806	640	524	440	378	330	291
18 m2	3292	2164	1512	1111	851	676	553	465	399	348	307
19 m2	3465	2278	1592	1170	896	711	582	489	420	367	324
20 m2	3639	2392	1672	1228	941	747	611	514	441	385	340
21 m2	3812	2506	1751	1287	985	782	640	538	462	404	356
22 m2	3985	2619	1831	1345	1030	818	669	563	483	422	372
23 m2	4157	2733	1910	1403	1075	853	698	587	504	440	388
24 m2	4329	2846	1989	1461	1119	888	727	611	525	458	404
25 m2	4500	2958	2068	1519	1163	924	756	635	546	476	420
26 m2	4671	3071	2146	1577	1208	959	785	660	566	495	436
27 m2	4842	3183	2225	1634	1252	994	814	684	587	513	452
28 m2		3295	2303	1692	1296	1029	842	708	608	531	468
29 m2		3407	2381	1749	1340	1064	871	732	628	549	484
30 m2		3519	2460	1807	1384	1099	899	756	649	567	500

6. KESKILÄPIMITAN MÄÄRITTÄMINEN

Runkolukuun perustuvissa harvennusmalleissa käytettiin läpimitana jäävän puuston aritmeettista keskiläpimittaa. Jäävää puustoa ei etukäteen tarkalleen tunneta, joten keskiläpimitan määrittäminen on ongelmallista. Tasaisissa metsiköissä keskiläpimitta voidaan määrittää mallileimuksista ja käyttää samaa harvennusohjetta koko metsikössä. Silloin keskiläpimitta kannattaa määrittää mittaamalla tarkasti esimerkiksi kolme kappaletta noin 20 puuta sisältävää harvennettua koalaa eri puolilta metsikköä.

Taulukko 3a. Ajouran keskeltä mitatun säteeltään 11 metrin puolipyörän runkoluku harvennuksessa jätettävän puuston pohjapinta-alan ja keskiläpimitan funktiona (ajouraväli 20 m).

Keskiläpimitta, cm											
Aritm.	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Ppa-pain.	9,4	11,3	13,2	15,2	17,1	19,0	20,9	22,9	24,8	26,7	28,7
Ppa	kpl/11 metrin puolipyörä										
10 m2	36,0	23,6	16,5	12,1	9,3	7,3	6,0	5,0			
11 m2	39,4	25,9	18,1	13,2	10,1	8,0	6,6	5,5	4,7		
12 m2	42,8	28,1	19,6	14,4	11,0	8,7	7,1	6,0	5,2		
13 m2	46,2	30,4	21,2	15,5	11,9	9,4	7,7	6,5	5,6	4,9	
14 m2	49,6	32,6	22,7	16,7	12,8	10,1	8,3	7,0	6,0	5,2	
15 m2	53,0	34,8	24,3	17,8	13,6	10,8	8,8	7,4	6,4	5,6	4,9
16 m2	56,4	37,0	25,8	19,0	14,5	11,5	9,4	7,9	6,8	5,9	5,2
17 m2	59,7	39,2	27,4	20,1	15,4	12,2	10,0	8,4	7,2	6,3	5,5
18 m2	63,1	41,4	28,9	21,2	16,2	12,9	10,5	8,8	7,6	6,6	5,8
19 m2	66,4	43,6	30,5	22,3	17,1	13,6	11,1	9,3	8,0	7,0	6,2
20 m2	69,8	45,8	32,0	23,5	18,0	14,2	11,6	9,8	8,4	7,3	6,5
21 m2	73,1	48,0	33,5	24,6	18,8	14,9	12,2	10,2	8,8	7,7	6,8
22 m2	76,4	50,2	35,0	25,7	19,7	15,6	12,8	10,7	9,2	8,0	7,1
23 m2	79,7	52,4	36,5	26,8	20,5	16,3	13,3	11,2	9,6	8,4	7,4
24 m2	83,0	54,5	38,1	27,9	21,4	16,9	13,9	11,6	10,0	8,7	7,7
25 m2	86,3	56,7	39,6	29,0	22,2	17,6	14,4	12,1	10,4	9,1	8,0
26 m2	89,6	58,9	41,1	30,2	23,1	18,3	15,0	12,6	10,8	9,4	8,3
27 m2	92,9	61,0	42,6	31,3	23,9	19,0	15,5	13,0	11,2	9,8	8,6
28 m2		63,2	44,1	32,4	24,8	19,6	16,1	13,5	11,6	10,1	8,9
29 m2		65,3	45,6	33,5	25,6	20,3	16,6	14,0	12,0	10,4	9,2
30 m2		67,5	47,1	34,6	26,5	21,0	17,2	14,4	12,4	10,8	9,5

Taulukko 3b. Ajouran keskeltä mitatun säteeltään 11 metrin puolipyörän runkoluku harvennuksessa jätettävän puuston pohjapinta-alan ja keskiläpimitan funktiona (ajouraväli 30 m).

Keskiläpimitta, cm											
Aritm.	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Ppa-pain.	9,4	11,3	13,2	15,2	17,1	19,0	20,9	22,9	24,8	26,7	28,7
Ppa	kpl/11 metrin puolipyörä										
10 m2	34,2	22,7	16,0	11,9	9,2	7,3	6,0	5,0			
11 m2	37,3	24,8	17,5	13,0	10,0	8,0	6,6	5,5	4,7		
12 m2	40,5	26,9	19,0	14,1	10,9	8,7	7,1	6,0	5,2		
13 m2	43,6	28,9	20,4	15,1	11,7	9,3	7,7	6,5	5,6	4,9	
14 m2	46,7	31,0	21,9	16,2	12,5	10,0	8,2	7,0	6,0	5,2	
15 m2	49,8	33,1	23,3	17,3	13,3	10,7	8,8	7,4	6,4	5,6	4,9
16 m2	52,9	35,1	24,7	18,3	14,1	11,3	9,3	7,9	6,8	5,9	5,2
17 m2	56,0	37,1	26,2	19,4	15,0	12,0	9,9	8,3	7,2	6,3	5,5
18 m2	59,1	39,2	27,6	20,4	15,8	12,6	10,4	8,8	7,6	6,6	5,8
19 m2	62,2	41,2	29,0	21,5	16,6	13,3	10,9	9,2	8,0	7,0	6,2
20 m2	65,2	43,2	30,4	22,5	17,4	13,9	11,5	9,7	8,4	7,3	6,5
21 m2	68,3	45,2	31,9	23,6	18,2	14,5	12,0	10,1	8,7	7,7	6,8
22 m2	71,3	47,2	33,3	24,6	19,0	15,2	12,5	10,6	9,1	8,0	7,1
23 m2	74,3	49,2	34,7	25,7	19,8	15,8	13,0	11,0	9,5	8,3	7,4
24 m2	77,4	51,2	36,1	26,7	20,6	16,4	13,5	11,4	9,9	8,7	7,7
25 m2	80,4	53,2	37,5	27,7	21,4	17,1	14,1	11,9	10,3	9,0	8,0
26 m2	83,4	55,2	38,9	28,8	22,2	17,7	14,6	12,3	10,6	9,3	8,3
27 m2	86,4	57,2	40,3	29,8	23,0	18,3	15,1	12,8	11,0	9,7	8,6
28 m2		59,2	41,6	30,8	23,7	19,0	15,6	13,2	11,4	10,0	8,9
29 m2		61,1	43,0	31,8	24,5	19,6	16,1	13,6	11,8	10,3	9,1
30 m2		63,1	44,4	32,8	25,3	20,2	16,6	14,1	12,1	10,6	9,4

Kooltaan vaihtelevaan puustoon on kehitettävä yksinkertainen ja harhaton menetelmä keskiläpimitan määrittämiseksi noin 10 - 20 puun ryhmissä. Menetelmien testaamista varten poimittiin vastikään harvennetuilta koealoilta 5 - 30 puuta sisältäviä ryhmiä siten, että keskiläpimitan ja puiden lukumäärän suhde vastasi kuvissa 3 - 4 esitettyjä 11 metrin säteisten puoliympyröiden harvennusmalleja. Näin ollen aineisto on käytännön harvennuksia ajatellen mahdollisimman todenmukainen.

Puuryhmien tarkkaa keskiläpimittaa verrattiin pienimmän ja suurimman läpimitan keskiarvoon ja toisaalta kahden pienimmän ja kahden suurimman sekä kolmen pienimmän ja kolmen suurimman läpimitan keskiarvoon (kuva 5). Lisäksi laskettiin toiseksi pienimmän ja toiseksi suurimman läpimitan keskiarvo. Koska normaalista läpimittajakaumasta poistetaan alaharvennuksessa runsaasti pieniä puuta, on harvennetun puuston jakauma vino. Tästä syystä pienimpien ja suurimpien puiden avulla lasketut harvennuksen jälkeiset keskiläpimitat ovat yliarvioita.

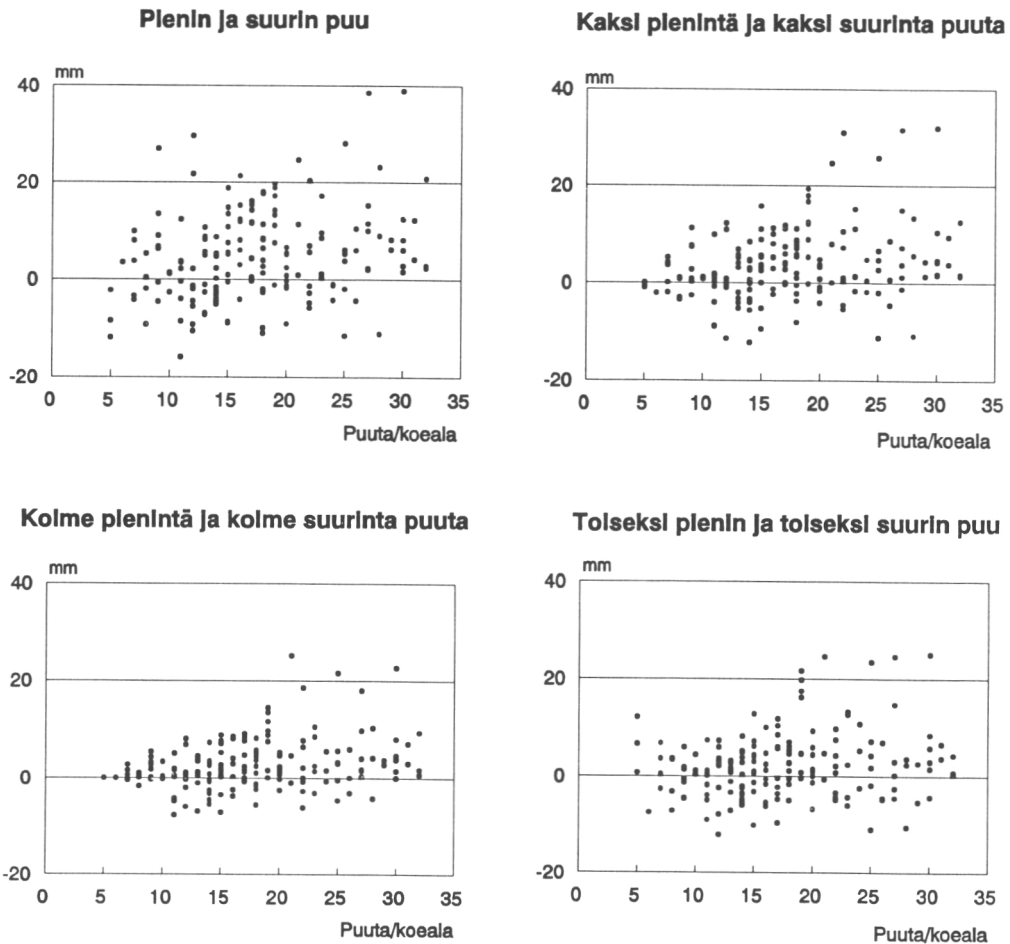
Ensiharvennuspustoissa yliarviot olivat yleisempiä kuin myöhemmissä harvennuksissa. Harhattomin tulos saatiin toiseksi suurimman ja toiseksi pienimmän läpimitan avulla. Arvio ylitti oikean keskiläpimitan keskimäärin 2,3 mm:llä ja virheen keskihajonta oli 6,7 mm. Keskiläpimitan lieväkin yliarvio johtaa harvennusmallien käytössä tavoiteltua voimakkaampaan harvennuksen.

Engelman ratkaisua tutkittiin arvioimalla keskiläpimitta ennen lopullista harvennustiheyttä. Kun keskiläpimitta laskettiin kahden pienimmän ja kahden suurimman puun keskiarvona ja sen jälkeen poistettiin jäljellä olevista pienimpiä puuta, päädyttiin keskimäärin oikeaan tulokseen, kun puuston määrä mitaushetkellä oli 11 % harvennustavoitetta korkeampi. Suurimman ja pienimmän keskiarvo johtaisi parhaaseen tulokseen 14 % ennen tavoiteteheyttä.

Koska puuston harvennus aloitetaan yleensä pienimmistä puista, eivät viimeisenä poistettavat ole enää välttämättä kaikkein pienimpiä jäljellä olevista. Asiaa tutkittiin poistamalla mittauksen jälkeen satunnaisesti keskiläpimittaa pienempiä puuta. Suurimman ja pienimmän puun keskiarvo johti lähimmäksi oikeaa keskiläpimittaa, kun mittauksen jälkeen poistettiin hakkuukoneen ulottuvilla olevalta puoliympyrältä ensiharvennuksessa 5 - 6 puuta, toisessa harvennuksessa 3 - 4 puuta ja myöhemmissä harvennuksissa 1 - 2 puuta. Kahden suurimman ja kahden pienimmän puun avulla laskettu keskiläpimitta osui parhaiten kohdalleen, jos mittauksen jälkeen poistettiin 1 - 2 puuta edellisiä vähemmän.

Tulokset osoittavat, että keskiläpimitan arvointitavasta ja ennen lopullista harvennusvoimakkuutta tehtävästä mittauksesta johtuvat virheet kumoavat toisiaan. Käytännössä sopivin aika määrittää jäljellä olevan puuston keskiläpimitta on silloin, kun tarkasteltavalta alueelta on harvennettu kokonsa, asemansa ja teknisen laatunsa perusteella selvästi poistettavat puut ja liian tiheitä puuryhmiä on väljennetty. Keskiläpimitan perusteella määrätään lopullinen harvennusvoimakkuus.

Selvästi mittausajankohtaa herkemmin vaikuttaa tuloksen luotettavuuteen keskiläpimitan laskentamenetelmä. Kuvan 5 tulokset osoittavat, että mitattavien puiden lukumäärän kasvu lisää arvion luotettavuutta, mutta jos kahden pienimmän ja kahden suurimman sijasta lasketaan vain toiseksi suurimman ja toiseksi pienimmän keskiarvo, niin päästään parempaan tulokseen vähemmällä mittauksilla. Tulos johtuu siitä, että suurin tai pienin puu saattaa olla poikkeuksellinen yksilö.



Kuva 5. Puuryhmän aritmeettisen keskiläpimitan sekä pienimpien ja suurimpien puiden keskiarvon erotukset koelalle jätettävän runkoluvun funktiona.

Käytännössä suurin virhelähde tulee olemaan puiden rinnankorkeusläpimittojen mittaus, koska aina ei voida edellyttää niiden erillistä mittausta. Konehakuussa voidaan soveltaa koneen omia mittalaitteita. Jääviä puita ei tietenkään voida mitata, mutta suurimpien ja pienimpien kanssa samankokoisiksi arvioitavia puita kulkee mittalaitteen kautta. Niiden perusteella voidaan arvioida myös jäävien puiden läpimittoja. Miestyönä tehtävässä hakuussa voidaan käyttää yksinkertaista kaulainta. Pääasia, että käytäntöön sovelletaan mittausmenetelmiä, joiden tarkkuus on riittävä eivätkä ne johda systemaattisiin virheisiin.

Mittausta tarkentamalla päästään keskiläpimitan määrityksessä luotettavampaan tulokseen kuin mittauksia lisäämällä. Tästä syystä on suositeltavaa mitata puuryhmästä vain pienin ja suurin tai vastaavasti toiseksi pienin ja toiseksi suurin puu. Jos mittaus tehdään tavoitepuustoa tiheämmästä puustosta on parempi käyttää pienintä ja suurinta puuta. Kontrollina lähellä tavoiteteihyyttä on parempi käyttää toiseksi pienintä ja toiseksi suurinta puuta. Myös silloin, kun suurin tai pienin on silminnähdyn muista poikkeava yksilö, kannattaa mitata kokojärjestyksessä toisella sijalla olevat puut.

Relaskooppia käytettäessä on helppo määritellä ns. pohjapinta-alakeskipuun läpimitta. Tästä syystä kyseistä läpimittaa sovelletaan usein käytännön metsätaloudessa. Kuviin 3 - 4 ja taulukoihin laskettiin aritmeettisten keskiläpimittojen rinnalle pohjapinta-alalla painotetut keskiläpimitat, jotka ovat hyvin lähellä em. keskipuun läpimittoja. Muunnos tehtiin seuraavalla yhtälöllä:

Selitettävä muuttuja D_{ppn} (mm):

<i>Muuttuja</i>	<i>Kerroin</i>	<i>Keskivirhe</i>	<i>t-arvo</i>
Vakio	16,87	2,1	8,0
D , (mm)	0,963	0,013	74,3

$N = 178$, $R^2 = 0,97$, $S_m = 45$, $S_f = 0,03$

7. YHTEENVETO

Yksi suomalaisen metsätalouden avainkysymys on tällä hetkellä harvennushakkuiden lisääminen. Kustannustason nousu ja paineet kantohintojen alentamiseen vaikeuttavat harvennushakkuiden toteutusta tilanteessa, jossa niitä pitäisi metsien tulevaisuuden kannalta lisätä oleellisesti (Harvennushakkuiden... 1992). Samanaikaisesti hakkuutyö on koneellistunut nopeasti, koska miestyö on konetyötä edullisempää enää vain ensiharvennuksissa.

Tilanne aiheuttaa muutospaineita nykyisiä harvennusohteja kohtaan. Ensiharvennuksia pitäisi myöhentää, harvennusvoimakkuutta lisätä ja käsittelykertoja vähentää. Uudet tutkimustulokset antavat myös perusteita lisätä joustavuutta harvennustavan valintaan (Eriksson 1990, Hynynen & Kukkola 1989, Mielikäinen & Valkonen 1991, Vuokila 1977). Harvennusvalinnan siirtyminen koneenkuljettajalle on lisännyt valvontatarvetta jo nyt. Ohjeiden mahdollisesti muuttuessa kontrollin tarve lisääntyy edelleen.

Harvennuksen voimakkuutta ohjataan harvennusmalleilla. Käytännössä harvennus perustui aikaisemmin leimaajan ja nykyisin hakkuumiehen tai koneenkuljettajan ammattitaitoon ja kokemukseen. Harvennusmallien tärkein tehtävä on koulutuksessa ja työjäljen kontrolloinnissa. Työntekijälle annettujen ohjeiden ja valvonnan tulisi vastata toisiaan ja olla riittävän yksinkertaiset ja lähellä käytännön työssä tehtäviä ratkaisuja. Tässä tutkimuksessa on aikaisempien, pohjapinta-alaan ja valtapituuteen nojautuvien ohjeiden rinnalle kehitetty vastaavat runkolukuun ja keskiläpimitaan perustuvat harvennusmallit.

Runkolukuun perustuvat harvennusmallit muunnettiin pohjapinta-alaan perustuvista malleista regressioyhtälöillä, joiden laadinnassa käytettiin Metsäntutkimuslaitoksen pysyvien harvennuskokeiden puustotietoja. Aineiston etuna olivat tarkat mittaukset ja kontrolloidut eriaisteiset harvennukset; varjopuolena puolestaan puuston normaalia tasaisempi rakenne. Vaikka harvennus yleensä tasoi puustossa vallitsevia eroja, on keskimääräistä selvästi suurempi epätasaisuus otettava malleja sovellettaessa huomioon. Jos jäävän puuston kokorot ovat tavallista suurempia, saavutetaan tavoiteltu puustopääoma harvennusmallien osoittamaa pienemmällä runkoluvulla. Vähennys runkoluvussa voi olla korkeintaan 10 %.

Puuryhmien tai metsikön osa-alueiden välisestä vaihtelusta ei runkolukuperusteisia harvennusmalleja sovellettaessa tarvitse olla huolissaan, koska keskiläpimitta voidaan määrittää osa-alueille erikseen. Kehitetyt mallit ovat tässä suhteessa selvästi aikaisempia ohjeita joustavammat. Puuryhmän keskiläpimitta voidaan laskea riittävällä luotettavuudella pienimpien ja suurimpien puiden keskiarvona. Vähillä mittauksilla luotettavimmaksi osoittautui toiseksi pienimmän ja toiseksi suurimman läpimitan keskiarvo, vaikka sekin johtaa useimmiten keskiläpimitan lievään yliarvioon.

Runkolukumallia voidaan käyttää myös harvennusvoimakkuuden tarkkailuun käytännön työssä kunhan harvennettavasta puustosta on ensin poistettu pienimmät ja muuten kasvatettavaksi kelpaamattomat puut. Sen jälkeen keskiläpimitta ei enää muutu kovin herkästi, vaikka puita vielä poistetaankin. Pienimmän ja suurimman läpimitan keskiarvosta johtuva lievä yliarvio kumoaa tässä tilanteessa virhettä, joka johtuu jäävän puuston keskiläpimitan 'ennenaikaisesta' määrittämisestä.

Harvennusmallit on esitetty erikseen koko metsikkölle (kpl/ha) ja ajourien väliselle alueelle käytettäessä 20 ja 30 metrin uraväliä ja 4 metrin uraleveyttä. Käytännön työssä noudatetaan ajourien välisen alueen ohjetta. Hehtaarikohtaisia tiheyksiä tarvitaan sovellettaessa edellisiä poikkeavia uravälejä ja -leveyksiä.

Runkoluku on pohjapinta-alaa käytännöllisempi koneellisen harvennuksen ohje, koska kuljettajan on helppo seurata työpisteestä koneen ulottuvilla olevien puiden lukumäärää. Keskiläpimitan mittausta on ongelma, mutta poistettavien puiden läpimittojen tarkkailu koneeseen asennetulla mittalaitteella antaa tarvittavan tuntuman puiden läpimittoihin. Myöskin harvennusmallien ohjelmointi hakukoneeseen on mahdollista.

KIRJALLISUUS

- Björkheden, R. & Fröding, A. 1986. Ny rutin för praktisk gallringsuppföljning. A new routine for checking the biological quality of thinnin in practice. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Uppsatsser och resultat 48. 14 s.
- Eriksson, H. 1990. Hur har det gått med höggallringen? What is the situation of selective thinning from above? Sveriges Skogsvårdsförbundets tidskrift 2: 42-57.
- Harvennushakkuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamisvaihtoehdot 1992. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki. 121 s.
- Hynynen, J. & Kukkola, M. 1989. Harvennustavan ja lannoituksen vaikutus männikön ja kuusikon kasvuun. Abstract: Effect of thinning method and nitrogen fertilization on the growth of Scots pine and Norway spruce stands. Folia Forestalia 731. 20 s.
- Isomäki, A. & Niemistö, P. 1990. Ajourien vaikutus puuston kasvuun Etelä-Suomen nuorissa kuusikoissa. Abstract: Effect of strip roads on the growth and yield of young spruce stands in southern Finland. Folia Forestalia 756. 36 s.
- Mielikäinen, K. & Valkonen, S. 1991. Harvennustavan vaikutus varttuneen metsikön puuntuotukseen ja tuottoihin Etelä-Suomessa. Summary: Effect of thinning method on the yield of middle-aged stands in southern Finland. Folia Forestalia 776. 22 s.
- Metsänhoitosuositukses 1989. Keskusmetsälautakunta Tapion julkaisu. Helsinki. 55 s.
- Niemistö, P. 1991. Hieskoivikoiden kasvatustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemailla. Summary: Growing density and thinning models for Betula pubescens stands on peatlands in northern Finland. Folia Forestalia 782. 36 s.
- Vuokila, Y. 1971. Harvennusmallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Summary: Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. Folia Forestalia 99. 18 s.
- 1977. Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä. Abstract: Selective thinning from above as a factor of growth and yield. Folia Forestalia 298. 17 s.
 - 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 239. 229 s.
 - & Väliäho, H. 1982. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestalia Fennica 99(2). 271 s.

Liite 1. Muunnos valtapituuteen ja pohjapinta-alaan perustuvasta harvennusmallista keskiläpimitaan ja runkolukuun 20 metrin etäisyydellä olevien ajourien välisellä alueella.

Pohjapinta- alan tavoite m ² /ha		Puuston valtapituus, m							
		12	14	16	18	20	22	24	26
10	Keskilpm, cm	12,0	14,0	16,3	18,7	21,2			
	kpl/ha	960	678	487	359	283			
	kpl/11m:n p-ymp.	16,4	12,0	9,0	6,8	5,4			
11	Keskilpm, cm	11,8	13,9	16,1	18,6	21,1			
	kpl/ha	1091	767	550	404	313			
	kpl/11m:n p-ymp.	18,4	13,4	10,0	7,7	5,9			
12	Keskilpm, cm	11,7	13,7	16,0	18,4	21,0	23,8		
	kpl/ha	1233	864	617	452	343	276		
	kpl/11m:n p-ymp.	20,5	14,9	11,1	8,4	6,5	5,2		
13	Keskilpm, cm	11,5	13,5	15,8	18,2	20,9	23,6		
	kpl/ha	1389	967	688	502	377	301		
	kpl/11m:n p-ymp.	22,9	16,5	12,2	9,2	7,2	5,7		
14	Keskilpm, cm	11,3	13,3	15,6	18,1	20,7	23,5	26,4	
	kpl/ha	1561	1081	764	555	416	326	267	
	kpl/11m:n p-ymp.	25,4	18,2	13,4	10,1	7,9	6,2	5,1	
15	Keskilpm, cm	11,0	13,1	15,4	17,9	20,5	23,3	26,3	
	kpl/ha	1752	1204	847	612	456	352	288	
	kpl/11m:n p-ymp.	28,3	20,1	14,6	11,0	8,5	6,7	5,5	
16	Keskilpm, cm	10,8	12,9	15,2	17,7	20,3	23,2	26,1	
	kpl/ha	1966	1341	937	673	500	383	309	
	kpl/11m:n p-ymp.	31,4	22,1	16,0	11,9	9,2	7,3	5,9	
17	Keskilpm, cm	10,5	12,6	14,9	17,4	20,1	22,9	25,9	29,1
	kpl/ha	2208	1492	1034	739	545	416	331	273
	kpl/11m:n p-ymp.	35,0	24,4	17,5	13,0	9,9	7,9	6,3	5,2
18	Keskilpm, cm	10,2	12,3	14,7	17,2	19,9	22,7	25,8	28,9
	kpl/ha	2484	1662	1142	810	594	452	354	291
	kpl/11m:n p-ymp.	39,0	26,9	19,1	14,1	10,7	8,4	6,7	5,5
19	Keskilpm, cm	9,9	12,0	14,4	16,9	19,6	22,5	25,5	28,7
	kpl/ha	2801	1853	1262	888	647	489	382	310
	kpl/11m:n p-ymp.	43,7	29,8	21,0	15,3	11,5	9,0	7,3	5,9
20	Keskilpm, cm	9,5	11,7	14,1	16,6	19,3	22,2	25,3	28,5
	kpl/ha	3169	2071	1395	973	704	529	411	330
	kpl/11m:n p-ymp.	49,0	33,0	23,0	16,6	12,4	9,7	7,8	6,3
21	Keskilpm, cm	9,2	11,4	13,7	16,3	19,0	21,9	25,0	28,3
	kpl/ha	3600	2320	1545	1067	766	572	442	350
	kpl/11m:n p-ymp.	55,2	36,6	25,2	18,0	13,4	10,4	8,3	6,7
22	Keskilpm, cm		11,0	13,4	15,9	18,7	21,6	24,7	28,0
	kpl/ha		2609	1715	1171	833	617	475	375
	kpl/11m:n p-ymp.		40,9	27,7	19,6	14,4	11,1	8,8	7,1
23	Keskilpm, cm		10,6	13,0	15,6	18,4	21,3	24,4	27,7
	kpl/ha		2946	1909	1288	907	667	510	401
	kpl/11m:n p-ymp.		45,8	30,6	21,3	15,6	11,8	9,4	7,6
24	Keskilpm, cm		10,2	12,6	15,2	18,0	21,0	24,1	27,4
	kpl/ha		3342	2132	1419	989	721	548	429
	kpl/11m:n p-ymp.		51,5	33,9	23,3	16,8	12,7	10,0	8,1
25	Keskilpm, cm		9,7	12,2	14,8	17,6	20,6	23,8	27,1
	kpl/ha		3815	2391	1569	1080	779	588	459
	kpl/11m:n p-ymp.		58,3	37,7	25,5	18,2	13,6	10,6	8,6
26	Keskilpm, cm			11,7	14,4	17,2	20,2	23,4	26,7
	kpl/ha			2694	1739	1181	844	632	490
	kpl/11m:n p-ymp.			42,1	28,1	19,7	14,6	11,3	9,1

Liite 2. Muunnos valtipituuteen ja pohjapinta-alaan perustuvasta harvennusmallista keskiläpimitaan ja runkolukuun **30 metrin** etäisyydellä olevien ajourien välisellä alueella.

Pohjapinta- alan tavoite m ² /ha	Puuston valtipituus, m								
	12	14	16	18	20	22	24	26	
10	Keskilpm, cm	12,0	14,1	16,3	18,7	21,2			
	kpl/ha	925	661	482	359	283			
	kpl/11m:n p-ymp.	15,8	11,8	8,9	6,8	5,4			
11	Keskilpm, cm	11,9	13,9	16,2	18,6	21,1			
	kpl/ha	1045	745	541	403	313			
	kpl/11m:n p-ymp.	17,7	13,1	9,9	7,6	5,9			
12	Keskilpm, cm	11,7	13,8	16,0	18,4	21,0	23,8		
	kpl/ha	1174	834	604	448	343	276		
	kpl/11m:n p-ymp.	19,6	14,4	10,9	8,4	6,5	5,2		
13	Keskilpm, cm	11,6	13,6	15,8	18,3	20,9	23,6		
	kpl/ha	1313	929	670	495	376	301		
	kpl/11m:n p-ymp.	21,7	15,9	11,9	9,1	7,2	5,7		
14	Keskilpm, cm	11,4	13,4	15,7	18,1	20,7	23,5	26,4	
	kpl/ha	1465	1031	741	546	413	326	267	
	kpl/11m:n p-ymp.	24,0	17,5	13,0	9,9	7,8	6,2	5,1	
15	Keskilpm, cm	11,2	13,2	15,5	17,9	20,5	23,3	26,3	
	kpl/ha	1631	1142	816	599	452	352	288	
	kpl/11m:n p-ymp.	26,5	19,1	14,2	10,8	8,4	6,7	5,5	
16	Keskilpm, cm	11,0	13,0	15,3	17,7	20,3	23,2	26,1	
	kpl/ha	1814	1262	897	655	493	382	309	
	kpl/11m:n p-ymp.	29,2	21,0	15,4	11,7	9,1	7,3	5,9	
17	Keskilpm, cm	10,7	12,8	15,1	17,5	20,1	23,0	25,9	29,1
	kpl/ha	2018	1394	985	715	535	414	331	273
	kpl/11m:n p-ymp.	32,2	22,9	16,8	12,6	9,8	7,8	6,3	5,2
18	Keskilpm, cm	10,5	12,5	14,8	17,3	19,9	22,7	25,8	28,9
	kpl/ha	2245	1539	1080	780	581	447	354	291
	kpl/11m:n p-ymp.	35,5	25,1	18,2	13,6	10,5	8,4	6,7	5,5
19	Keskilpm, cm	10,2	12,3	14,6	17,0	19,7	22,5	25,5	28,7
	kpl/ha	2502	1700	1185	850	630	482	380	310
	kpl/11m:n p-ymp.	39,3	27,5	19,8	14,7	11,3	8,9	7,2	5,9
20	Keskilpm, cm	9,9	12,0	14,3	16,8	19,4	22,3	25,3	28,5
	kpl/ha	2792	1880	1299	925	682	519	408	330
	kpl/11m:n p-ymp.	43,5	30,2	21,5	15,8	12,1	9,5	7,7	6,3
21	Keskilpm, cm	9,6	11,7	14,0	16,5	19,2	22,0	25,1	28,3
	kpl/ha	3125	2082	1426	1008	737	559	438	350
	kpl/11m:n p-ymp.	48,4	33,1	23,4	17,1	12,9	10,2	8,2	6,7
22	Keskilpm, cm		11,4	13,7	16,2	18,9	21,7	24,8	28,0
	kpl/ha		2311	1567	1098	798	601	469	374
	kpl/11m:n p-ymp.		36,5	25,5	18,5	13,9	10,8	8,7	7,1
23	Keskilpm, cm		11,0	13,3	15,9	18,6	21,4	24,5	27,7
	kpl/ha		2571	1725	1198	863	646	501	399
	kpl/11m:n p-ymp.		40,3	27,9	20,0	14,9	11,5	9,2	7,6
24	Keskilpm, cm		10,7	13,0	15,5	18,2	21,1	24,2	27,5
	kpl/ha		2870	1903	1308	935	695	536	425
	kpl/11m:n p-ymp.		44,7	30,5	21,6	16,0	12,3	9,8	8,0
25	Keskilpm, cm		10,3	12,6	15,2	17,9	20,8	23,9	27,2
	kpl/ha		3215	2105	1431	1013	747	573	453
	kpl/11m:n p-ymp.		49,7	33,5	23,5	17,2	13,1	10,4	8,5
26	Keskilpm, cm			12,2	14,8	17,5	20,5	23,6	26,8
	kpl/ha			2336	1569	1099	804	613	482
	kpl/11m:n p-ymp.			36,9	25,5	18,5	14,0	11,0	8,9

Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja -sarjassa julkaistu seuraavat tiedonannot:

- Nro 1. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1971.
- Nro 2. Tutkimuspäivän alustukset 1972.
- Nro 3. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1972.
- Nro 4. Kalevi Karsisto. Esituloksia suometsien fosforilannoitelajikoikeista. 1973.
- Nro 5. Kalevi Karsisto. Lannoitteiden levitystasaisuudesta moottorikelkkaa käytettäessä. 1973.
- Nro 6. Kalevi Karsisto. Kokeita typpilannoitteiden häviämisestä säkeistä. 1973.
- Nro 7. Kalevi Karsisto. Isorakeisen typpilannoitteen uppoamisesta lumeen. 1975.
- Nro 8. Markku Turtiainen ja Jukka Valtanen. Metsänviljelytutkimuksen välituloksia Pohjanmaan ja Kainuun metsäaurausalueilta. 1974.
- Nro 9. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1974.
- Nro 10. Esteri Ohenoja ja Niilo Takkunen. Alustavia tietoja lannoituksen vaikutuksesta kangasmetsien sienisatoon. 1974.
- Nro 11. Kalevi Karsisto ja Jorma Issakainen. Riistan tuottaminen metsänparannusalueilla. 1974.
- Nro 12. Kalevi Karsisto. Peatland forestry experiments in Pyhäkoski experimental area. 1974.
- Nro 13. Kalevi Karsisto. Ojituksen ja metsänlannoituksen vaikutus vesien saastumiseen. 1974.
- Nro 14. Tutkimuspäivän esitykset 1975.
- Nro 15. Metsäntutkimuspäivä Haapavedellä 1976.
- Nro 16. Metsäntutkimuspäivä Sotkamossa ja Ämmänsaarella 1977.
- Nro 17. Metsäntutkimuspäivä Haukiputaalla ja Muhoksella 1978.
- Nro 18. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1980.
- Nro 19. Mikko Moilanen ja Matti Oikarinen. Perkausajankohdan vaikutuksesta hieskoivun ja haavan vesomiseen kangasmaalla. 1980.
- Nro 20. Tuhka metsänlannoitteena. Toimittaneet Pekka Pietiläinen ja Markku Tervonen. 1980.
- Nro 21. Metsäntutkimuspäivä Muhoksella 1980.

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjassa julkaistu seuraavat tiedonannot

(Muhoksen tutkimusasema):

- Nro 3. Jussi Saramäki. Hieskoivun kasvu ja kasvatus Pohjanmaalla ja Kainuussa. 1981.
- Nro 17. Jorma Issakainen ja Mikko Moilanen. Lentolannoituksen levitystasaisuudesta ja työjäljen valvontamenetelmän kehittämistä. 1981.
- Nro 24. Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1981.
- Nro 29. Mikko Moilanen ja Kalevi Karsisto. Lannoitteen levitystasaisuuden vaikutuksesta nuoren suomännikön pituuskasvuun. 1981.
- Nro 70. Metsäntutkimuspäivä Oulaisissa 1982.
- Nro 101. Jarmo Poikolainen ja Eero Kubin. Tuloksia kapealatvaisen kuusen juurruttamisesta. 1983.
- Nro 119. Metsäntutkimuspäivä Suomussalmella ja Sotkamossa 1983.
- Nro 133. Mikko Moilanen ja Jorma Issakainen. Ojituksen, lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksesta luontaiseen uudistumiseen piensararämeellä. 1984.
- Nro 158. Metsäntutkimuspäivä Oulussa 1984.
- Nro 198. Eero Kubin ja Hannu Raitio. Puustovauriot keväällä 1985 Suomessa. Metsäammattimiehille osoitetun kyselyn tulokset.
- Nro 199. Mikko Moilanen. Runkokäyrämallien tarkkuus lannoitetussa rämemännikössä. 1985.
- Nro 204. Mikko Moilanen ja Jorma Issakainen. Lannoitusvaikutuksen riippuvuus levitysjankohdasta nuorissa rämemänniköissä. 1985.
- Nro 206. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1985. Kannuksen ja Muhoksen tutkimusosastien yhteinen julkaisu.
- Nro 222. Matti Oikarinen ja Yrjö Norokorpi. Vuosina 1956-65 viljeltyjen männynntaimikoiden tila valtion mailla Pohjois-Suomessa. 1986.
- Nro 255. Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1986.
- Nro 281. Mikko Moilanen, Ari Ferm ja Jorma Issakainen. Kasvihuonekokeita erilaisten jäteaineiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen turvealustalla. 1987.
- Nro 290. Pentti Niemistö. KTP-84 tiedonkeruupäätteen metsässä kerättävän tiedon tallennusvälineenä. 1988.
- Nro 295. Metsäntutkimuspäivä Kärsämäellä 1987. 1988.
- Nro 299. Eero Kubin ja Jarmo Poikolainen (toim.). Ekologisten ja ekofysiologisten tutkimusten painopistealueet ja mittausvälineiden tarve metsänhoidon tutkimusosastolla. 1988.
- Nro 321. Mikko Moilanen. Tuloksia KCuB-lannoitteen käytöstä viljavan nevarämeen lannoituksessa Pohjois-Suomessa. 1989.
- Nro 327. Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1988. 1989.
- Nro 361. Metsäntutkimuspäivät Oulussa 1989. 1990.
- Nro 381. Jukka Valtanen. Peltojen metsityksen onnistuminen Pohjois-Pohjanmaalla 1970-luvulla. 1991.
- Nro 387. Metsäntutkimuspäivät Haapajärvellä 1990. 1991.
- Nro 388. Jukka Valtanen ja Aarne Lehtosaari. Männyn uudistumiseen vaikuttavat tekijät Siikalatvan alueella. 1991.
- Nro 389. Matti Oikarinen. Suomussalmen männynviljelyinventointi. 1991.
- Nro 419. Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1991. 1992.
- Nro 432. Pentti Niemistö. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit. 1992.

ISSN 0358-4283

ISBN 951-40-1249-6