

HAVAINTOJA NUORTEN MÄNTYJEN LATVUSTEN HIENORAKENTEESTA JA KASVUSTA

ANNELI VIHHERÄ & SEPPO KELLOMÄKI

Summary

OBSERVATIONS ON STRUCTURE AND GROWTH OF CROWN OF YOUNG SCOTS PINES

Saapunut toimitukselle 31. 8. 1983

Suppeaan aineistoon perustuva tarkastelu osoitti, että varttuneiden männyn (*Pinus sylvestris* L.) taimien neulasten peittämien versojen lukumäärä latvuksen tilavuusyksikköä kohti oli likimain vakio ja riipumaton puun koosta ja latvasemasta. Näin oli siitä huolimatta, että oksien haarominen pieniä kasvuympäristön valaistusolojen heikentyessä. Hyvissä valaistusoloissa oksissa oli jopa neljännän kertaluokan versoja. Heikoissa valaistusolosuhteissa oksan muodostivat pääranka ja korkeintaan toisen kertaluokan versot.

Oksien massasuhteiden ja kasvun tarkastelu osoitti neulasten osuuden kasvavan, mitä suuremmasta verson kertaluokasta oli kysymys. Vastaavasti neulasten osuus koko latvuksen biomassasta ja kasvusta lisääntyi ja puuaineen väheni, kun puun latvasema heikkeni. Näin oli erityisesti latvuksen yläosassa. Latvuksen osuus puun koko biomassasta ja kasvusta oli sitä suurempi mitä parempi puun latvasema oli. Harvan taimikon valtapuuna kasvaneen puun latvuksen biomassassa ja kasvu olivat 64 % ja 83 % puun kokonaismassasta ja kasvusta. Vastaavat arvot tiheään taimikon vallituille puulle olivat 36 % ja 35 %. Latvuksen eri osien kasvu oli lineaarisissa suhteissa valaistuksen määrään. Puun latvasemassa ja vallitsevat valaistusolot ohjasivat latvuksen eri osien kasvusuhteita.

1. JOHDANTO

Latvuksen rakenteelliset tekijät ja ympäristötekijät vaikuttavat yhdessä puun fotosynteesin ja kasvun määrään. Puun latvuksen merkitys puun ja ympäristön välisessä energian- ja aineenvaihdunnassa on ensisijainen. Latvuksen kehityksen dynamiikalla voidaan selvittää myös monia puuston kehitykseen liittyviä ilmiöitä. Esimerkiksi metsänhoidollisten toimenpiteiden, kuten metsänlannoituksen, vaikutukset ovat usein selitettävissä puiden lehvästön massan ja sen jakautumisen perusteella (Kellomäki 1981 b).

Huoli viljelymänniköiden laadusta on lisääntynyt kiinnostusta mäntyjen oksiston kehitykseen ja mahdollisuuksiin säädellä sen ominaisuuksia kasvatustiheyttä muuttamalla (Varmola 1980, Kellomäki & Tuimala 1981).

Viime vuosina onkin tutkittu paljon nuorten männiköiden kehitystä ohjaavia tekijöitä (mm. Kellomäki 1980, Hari ym. 1981). Esimerkiksi nuorten männiköiden kokonaistuotosta ja sen jakautumista rungon, oksien ja neulasten kesken on selvittänyt mm. Ilonen (1981). Flower-Ellis ym. (1976) ja Kellomäki (1980) ovat puolestaan tarkastelleet kasvun jakautumista männyn latvuksen eri osiin. Runkopuun osalta männiköiden kasvu ja tuotos tunnetaan meillä jo vanhastaan (Nyyssönen 1954, Albrektsson 1980).

Männyn oksien säännöllinen kasvatustapa on vanhastaan tunnettu. Yksityiskohtaisemmin ei kuitenkaan ole selvitetty, missä määrin erilaisissa oloissa kasvaneiden mäntyjen oksien rakenne poikkeaa toisistaan, ja miten

paljon valaistuksen muutokset vaikuttavat kasvatapaan. Tämän tutkimuksen tehtävänä onkin tutkia männyn latvuksen hienorakennetta ja kasvua sekä näiden riippuvuutta metsikön valaistusoloista. Tässä tarkoituksessa tutkitaan seuraavia seikkoja: miten männyn versojen kokonaismäärä ts. oksien haarominen, vaihtelee erilaisissa valaistusoloissa kasvaneilla puilla, miten suuren osan puuaine, kuori ja neulaset muodostavat eritasoisten männyn oksien kuiva-aineesta ja kasvusta latvuksessa keskimäärin ja sen eri korkeuksilla, miten puuaineen, kuoren ja neulasten biomassaa jakautuu eritasoisiin männyn oksiin, sekä miten valaistusolojen vaihtelu metsiköissä ja puiden latvusten sisällä vaikuttaa edellä mainittuihin männyn oksiston rakennepiirteisiin.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Koealat

Tutkimusaineisto kerättiin kesällä 1981 Pohjois-Hämeestä Helsingin yliopiston metsäseaman lähellä olevilta koealoilta. Tutkimuskohteiksi valittiin neljä 10–20 -vuotiasta männikköä, jotka erosivat toisistaan puuston tiheyden ja metsikön valaistusolojen suhteen. Kaikki koealat olivat puolukka-tyypin kankaalla, joskin pieniä eroja maan viljavuudessa ja kosteusoloissa esiintyi. Koealat olivat 100 m²:n suuruisia ympyröitä, joilla olevien puiden pituudet ja läpimitat rinnankorkeudelta mitattiin. Koealojen puuston yleispiirteinen kuvaus ilmenee oheisesta asetelmasta.

Koeala, no	Tiheys, runkoa/ha	Keskipituus, cm (keskihajonta)	Keskiläpimitta mm (keskihajonta)
1	1000	281 (61)	39 (19)
2	2000	466 (72)	60 (13)
3	3200	634 (81)	74 (17)
4	3800	535 (82)	66 (21)

Tutkimus kuuluu osana Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolle tehtävään tutkimukseen metsän rakenteen ja ympäristön vaikutuksesta puuaineen laatuun.

Tutkimuksen ovat suunnitelleet tekijät yhdessä. Viherä on tämän lisäksi organisoinut aineiston keruun, analysoinut aineiston ja tehnyt alustavan käsikirjoituksen Kellomäen ohjauksessa. Kellomäki on lisäksi organisoinut ja valvonut aineiston keruuta ja viimeistellyt käsikirjoituksen.

Tutkimukseen on osallistunut useita henkilöitä, joista mainittakoon Pertti Laakso ja Veikko Salo (aineiston keruu), Tiina Pitkänen (puhtaaksipäätminen) sekä Anita Vatanen (puhtaaksikirjoitus). Esitämme mainituille henkilöille ja muille tutkimuksessa avustaneille parhaimmat kiitoksemme.

2.2. Koepuut

Koepuiksi valittiin yksi puu kunkin koealan keskeltä. Koepuita etsittäessä pyrittiin löytämään samanikäisiä, erilaisille valaistusoloille tyypillisiä, latvukseltaan ja kasvultaan erilaisia puuta. Harvimman koemetsikön puu (koepuu 1) oli tuuheatatvuksinen ja paksuoksaainen, runsaassa valossa kasvanut puu. Koealalta 4 valittu puu oli voimakkaasta varjotuksesta kärsinyt, kapealatvuksinen ja hento-oksainen. Koealojen 2 ja 3 puut olivat latvukseen ominaisuuksien suhteen em. puiden väli- muotoja. Koepuiden yleiskuvaus ilmenee oheisesta asetelmasta.

Koepuu no	Metsikön tiheys r/ha	Pituus cm	D _{1,3} cm
1	1000	392	7
2	2000	427	5
3	3200	540	5
4	3800	31	2

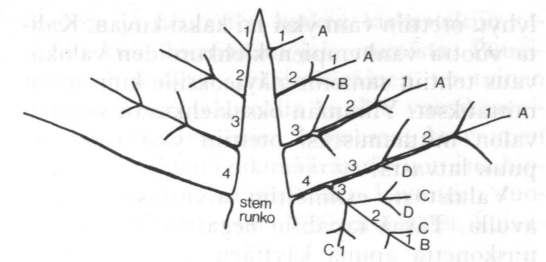
2.3. Koepuiden mittaus

Koepuiden rungon vuosikasvaimet numeroitiin juoksevasti latvasta alaspäin siten, että järjestysnumero ilmoitti samalla kasvaimien kasvukausina. Rungot sahattiin poikki oksakiehkuroiden kohdalta ja vuosikasvaimista punnittiin puuaineen ja kuoren kuivapainot gramman tarkkuudella. Myös oksakiehkurat numeroitiin alkaen puun latvasta. Oksakiehkuran numero ilmoitti siinä olevien oksien iän kasvukausina. Kiehkurakohtainen oksien lukumäärä laskettiin ja lisäksi mitattiin oksien oksakulmat.

Jokaisesta oksakiehkurasta valittiin silmävaraisesti kooltaan (oksan tyven läpimitta, oksan pituus) keskimääräinen oksa. Tälle keskioksalta tehtiin jatkossa selitettävät mitaukset. Puu 2 on tässä suhteessa poikkeus; sen oksakiehkuroista valittiin näyteokseksi suurin ja pienin oksa, jotka mitattiin. Puun no 2 lopulliset biomassa- ja kasvutiedot saatiin kiehkuran suurimman ja pienimmän oksan keskiarvoina. Menetelmän suuritöisyyden vuoksi kahden oksan mittaamisesta piti luopua ja tyytyä puiden 1, 3 ja 4 osalta yhden kiehkurakohtaisen keskioksan hyväksikäyttöön.

Näyteokseiden päärangat, päärangan sivuoksat, toisen asteen sivuoksat ja edelleen kolmannen asteen sivuoksat katkottiin yhden vuoden pituuskasvua vastaaviin palasiin ja merkittiin kasvaimen asemaa ja ikää kuvaavalla koodilla. Oksan pääranka edusti oksiston hierarkiassa 1-kertaluokkaa. Päärangan hankasilmuista haarautuvat sivuoksat muodostivat 2-kertaluokan, näiden sivuhaarat 3-kertaluokan ja sivuoksien sivuoksien sivuhaarat 4-kertaluokan. Kutakin kertaluokkaa edustavien haarojen vuosikasvaimet numeroitiin juoksevasti nuorimmasta vanhimpaan siten, että kuluvan vuoden kasvain oli numero yksi. Näistä tunnuksista muodostui jokaiselle verson osalle koodi, jonka avulla voitiin tunnistaa kasvaimen ikä ja asema puussa. Edellä kuvattua luokittelua selventää kuvassa 1 esitetty oksiston rakenteen perusmalli.

Näyteokseiden eri kertaluokkia edustavat vuosikasvaimet kuivattiin lämpökaapissa + 105 °C:n lämpötilassa 24 tuntia, paksumpia oksia pari vuorokautta. Tämän jälkeen niistä punnittiin neulasten kuivapaino ja kasvaimen kuivapaino ilman neulasia gramman sadasosan tarkkuudella. Kaikista kasvaimista



Kuva 1. Männyn oksiston rakenteen perusmalli: A = 1-kertaluokan oksa, B = 2-kertaluokan oksa, C = 3-kertaluokan oksa, D = 4-kertaluokan oksa, numerot 1...4 = kasvaimen ikä.

Fig. 1. Basic structure of Scots pine crown: A = first-order branch, B = second-order branch, C = third-order branch, D = fourth-order branch. Numbers 1...4 refer to the age of a shoots.

mitattiin pituus millimetreinä ja kuorellinen läpimitta 0.1 mm:n tarkkuudella.

Kasvaimista, joiden neulaset oli punnittu ja poistettu, valittiin joukko vaihtelevan paksuisia ja pituisia palasia, jotka punnittiin kuoretta. Erotusmenetelmällä määritettiin niiden kuoren kuivapaino. Kuoriotoksella pyrittiin saamaan jokaisen näyteoksan kaikkien sivuoksakiehkuroiden erikokoisista haaroista edustava näyte. Tämän näytteen perusteella laadittiin myöhemmin puukohtaiset regressioyhtälöt kuoren kuivapainon estimoimiseksi kasvaimille, joiden kuoren painoa ei punnustustyön työläyden takia mitattu. Kuorimitauksia tehtiin seuraavasti: puu 1 10 %, puu 2 11 %, puu 3 14 %, ja puu 4 16 % kaikista havainnoista.

2.4. Valon mittaus

Puiden latvusten sisäisten valaistusolojen selvittämiseksi otettiin välittömästi jokaisen näyteoksan päältä 1–3 valokuvaa kohtisuoraan ylöspäin. Kuvaukseen käytettiin 180°:n kuvakulman piirtävää 7.5 mm:n Canon "kallansilmäobjektiiiviä" ja Canon AE-1-kameraa. Valokuvat otettiin näyteoksan kärjestä ja oksan päärangon neulasten loppumiskohdasta sekä em. kohtien puolivälissä. Oksista, joiden päärangon neulasellinen osa oli hyvin

lyhyt, otettiin vain yksi tai kaksi kuvaa. Kah-
ta vuotta vanhempien kiehkuroiden valoku-
vaus tehtiin samoille näyteksille kuin muut
mittaukset. Ylimmän oksakiehkuran saaman
valon mittaamiseksi otettiin yksi valokuva
puun latvasta.

Valaistusta estimoitiin latvuspeittävyden
avulla. Tämä tapahtui negatiiveilta suuren-
nuskonetta apuna käyttäen siten, että esti-
maatti ilmaisee kunkin kuvauskohdan saa-
man hajasäteilyn määrää. Estimointimenet-
tely oli seuraava. Negatiivi heijastettiin milli-
metripaperille ympyräksi jonka säde oli 7.98
cm. Tällä ympyrällä yksi neliösenttimetri
vastasi puolta prosenttia ympyrän koko pin-
ta-alasta. Ympyrän sisällä laskettiin yhteen
ne alueet, jotka eivät jääneet puiden latvusten
varjostamiksi. Näin saatiin arvio hajasäteilyn
määrästä prosentteina suurimmasta mahdol-
lisesta säteilystä. Täysin varjostamaton kuva
edusti maksimaalista säteilyn määrää ja puo-
liksi varjostettu 50-prosenttista hajasäteilyä.
Tarkasteltaessa myöhemässä vaiheessa lat-
vuksen kasvun ym. riippuvuutta valaistukses-
ta käytettiin vertailulukuna oksan saamaa
hajasäteilyä. Kunkin näyteoksan eri osien
saamista hajasäteilyarvoista laskettiin oksa-
kohtaiset keskiarvot.

2.5. Aineiston käsittely

2.5.1. Oksiston rakenne

Oksiston rakenteeseen vaikuttaa eriasteis-
ten ja -pituisten oksahaarojen määrä. Lehti-
pinta-alan määrä taas vaikuttaa puun yhteyt-
tämisen, kasvu- ja kilpailukykyyn. Neulasten
peittämien versojen määrä pidetään tässä
eräänä neulas-pinta-alan mittana. Tämän
vuoksi oksiston rakenteen kuvaamiseksi las-
kettiin eri kertaluokkiin kuuluvien kasvainten
kappalemäärä ja yhteispituus puittain. Sa-
moin laskettiin neulasten peittämien kasvain-
ten lukumäärä. Jakamalla nämä luvut lat-
vuksen tilavuudella saatiin kokonaisversoti-
heydet kpl/m^3 ja cm/m^3 sekä neulasellisten
versojen tiheys kpl/m^3 puittain. Samalla py-
rittiin eliminoimaan koepuiden latvusten ab-
soluuttiset kokoerot.

Versotiheyden määrittämiseen tarvittiin lat-
vuksen tilavuus laskettiin seuraavasti. Näyte-
oksan pituutta ja eri oksakiehkuroiden keski-
määräistä oksakulmaa apuna käyttäen piir-
rettiin puun latvuksen kuva millimetripape-
rille. Latvus jaettiin sopiviin osiin ja kuutioi-
ttiin kartioina tai katkaistuina kartioina. Las-
kennan eri vaiheissa kunkin kertaluokan
kiehkurakohtaiset frekvenssit laskettiin puit-
tain, samoin kuin eri kertaluokkien osuudet
versojen kokonaismäärästä. Samalla tavalla
laskettiin kunkin kertaluokan osuudet kaik-
kien versojen pituuskasvusta sekä kertaluo-
kittaiset keskipituudet.

2.5.2. Oksiston biomassan ja kasvun jakautuminen

Näyteoksista laskettiin, paljonko puuainet-
ta, kuorta ja neulasia oli eri kertaluokkien
versoissa. Nämä tiedot yhdistettiin kaikki
kertaluokat käsittäviksi oksakohtaisiksi bio-
massoiksi. Kertomalla oksakohtaiset kuiva-
ainemäärät eri oksakiehkuroiden oksien luku-
määrällä saatiin kiehkurakohtaiset biomassa-
tiedot ja edelleen näiden summana oksiston
kokonaisbiomassa ja sen jakautuminen puu-
aineeseen, kuoreen ja neulasiiin. Myös rungon
osalta selvitettiin puun, kuoren ja neulasten
osuus kuiva-ainemäärästä ja laskettiin, miten
eri osien biomassa jakautuvat rungon ja ok-
sien kesken. Lisäksi tarkasteltiin, mitkä ovat
kunkin kertaluokan osuudet neulasista, puu-
aineesta, kuoresta ja oksien kokonaisbiomas-
sasta eri oksakiehkuroissa.

Mittausvaiheessa kuoren kuivapaino mää-
ritettiin vain osalle versoista. Näiden kuori-
tietojen pohjalta laskettiin arvot puuttaville
kuorihavainnoille. Käyttäen kasvaimen pi-
tuutta ja läpimittaa selittävinä muuttujina
laadittiin puukohtaiset, kuoren absoluuttista
määrä selittävät logaritmiset regressioyhtä-
löt. Yhtälöiden yleinen muoto oli seuraava:

$$\ln y = \ln a + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2, \quad (1)$$

jossa y = kuoren kuivapaino vuosikasvaimessa, x_1 =
kasvaimen pituus, x_2 = kasvaimen läpimitta ja a ,
 b_1 ja b_2 = puukohtaisia vakioita.

Oheisessa asetelmassa on esitetty yhtälön (1)
puukohtaiset vakiot ja kertoimet niiden stan-
dardipoikkeamat sekä yhtälön selitysteet.

Puu	a	b_1	b_2	selityste
1	8.042	1.546 ± 0.136	1.259 ± 0.186	0.791
2	6.406	1.266 ± 0.122	1.158 ± 0.212	0.724
3	6.036	1.029 ± 0.214	1.310 ± 0.433	0.705
4	7.147	0.677 ± 0.161	2.158 ± 0.402	0.933

Puu 2:n oksakiehkuroiden 5–8 kasvainten
neulasmassatiedot jouduttiin hylkäämään
punnituksessa tapahtuneen sekaannuksen
vuoksi. Laskentavaiheessa näiden oksakie-
kuroiden neulasten kuivapainot estimoitiin
seuraavan regressioyhtälön avulla:

$$y = -6.292 A + 1.129 L + 0.468 D, \quad (2)$$

jossa y = neulasten kuivapaino kasvaimessa, A = kas-
vaimen ikä, L = kasvaimen pituus ja D = kasvai-
men läpimitta.

Yhtälö laadittiin saman puun oksakiehku-
roiden 1–4 ja 9–12 perusteella. Mallin selitys-
aste oli 0.675 ja kertoimien standardipoikkea-
mat 0.552, 0.043 sekä 0.172.

Biomassan kasvua sekä sen jakautumista
kertaluokittain ja oksakiehkuroittain puun,

kuoren ja neulasten kesken tarkasteltiin sa-
moin kuin biomassan jakautumista. Puuai-
neen ja kuoren keskimääräinen vuotuinen
kasvu saatiin jakamalla kunkin vuosikasvai-
men vastaavien osien biomassa kasvaimen
iällä. Neulasten keskimääräistä vuotuista bio-
massan kasvua ilmaisemaan käytettiin vuo-
den vanhojen (kesän 1980) neulasten kuiva-
painoa.

2.5.3. Valaistusolot

Latvuksen sisäisiä valaistusoloja tarkastel-
tiin näyteoksien päärangan eri kohdilta saa-
tujen hajasäteilyestimaattien pohjalta. Oksa-
kohtaisia hajasäteilyn keskiarvoja apuna
käyttäen kuvattiin valaistuksen vertikaalista
vaihtelua metsiköissä sekä valaistuksen verti-
kaalista ja horisontaalista vaihtelua koepui-
den latvusten sisällä. Näyteoksista laskettiin
puuaineen, kuoren ja neulasten vuotuinen
kasvu oksan kokonaisneulasmassaa kohti.
Näiden suhdelukujen riippuvuutta valosta
tarkasteltiin puittain ja kiehkuroittain näyte-
oksien saamien keskimääräisten hajasäteily-
arvojen avulla.

3. TULOKSET

3.1. Oksiston rakenne

3.1.1. Versotiheys latvuksessa

Alla olevasta asetelmasta käy ilmi eri koe-
puiden latvusten versojen kokonaismäärä,
neulasten peittämien versojen lukumäärä ja
niiden suhteelliset osuudet sekä neulasellisten
että kaikkien versojen määrä latvuksen tila-
vuusyksikköä kohti. Sekä versojen kokonais-

määrissä että neulasversojen absoluuttisissa
määrissä on havaittavissa selviä eroja eri koe-
puiden välillä, vaikka puut olivat samanikäi-
siä. Sen sijaan neulasversojen suhteellinen
osuus versojen kokonaismäärästä näyttää ole-
van kuta kuinkin vakio. Kaikkien versojen ja
neulasversojen määrä tilavuusyksikköä kohti
pienenee siirryttäessä väljässä tilassa kasva-
neesta puusta varjostetumpiin puihin.

Puu	Metsikön tiheys r/ha	Versoja kaikkiaan kpl	Neulas- versoja kpl	%	Latvuksen tilavuus m^3	Verso- tiheys kpl/m^3	Neulas- versotiheys kpl/m^3
1	1000	6715	6226	92.7	7.839	857	794
2	2000	5571	—	—	5.250	1061	—
3	3200	3613	3403	94.2	4.877	741	698
4	3800	627	587	93.6	0.965	650	608

Taulukko 1. Eri kertaluokkien verojen kappalemäärät näyteyksissä koepuittain ja oksakiehkuroittain.

Table 1. Number of shoot in varying order per trees and whorls.

Kiehkura Whorl	Puu 1 - Tree 1				Puu 2 - Tree 2				Puu 3 - Tree 3				Puu 4 - Tree 4			
	Oksia/kiehkura Branches/whorl		Kertaluokka Order		Oksia/kiehkura Branches/whorl		Kertaluokka Order		Oksia/kiehkura Branches/whorl		Kertaluokka Order		Oksia/kiehkura Branches/whorl		Kertaluokka Order	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	7	1	-	-	6	1	-	-	5	1	-	-	3	1	-	-
2	6	2	5	-	4	2	5	-	6	2	5	-	3	2	1	-
3	6	3	15	5	5	3	11	10	4	3	11	3	3	3	-	-
4	6	4	27	45	5	4	18	19	6	4	24	8	4	4	5	-
5	5	5	35	53	5	5	33	42	5	5	37	39	5	5	16	-
6	5	6	49	73	3	6	6	42	40	6	6	45	24	5	21	-
7	5	7	64	171	44	5	7	60	36	6	7	58	34	3	7	27
8	5	8	67	109	26	6	8	58	73	7	8	80	57	5	6	25
9	5	9	73	118	38	7	9	66	65	4	8	63	60	5	6	25
10	5	10	53	62	18	5	10	93	108	7	8	27	7	2	7	19
11	3	4	40	95	23	5	9	47	49							
12	-	-	-	-	5	12	47	16								

Seuraavassa asetelmassa on edelleen esitetty latvuksen versojen yhteispituus (cm) ja versotiheys (cm/m³). Tiheimmän metsikön koepuun oksanhaarojen yhteispituus on alle kymmenesosa harvimmassa metsikössä kasvaneen puun vastaavasta luvusta. Tiheydessä 1000 runkoa/ha kasvaneen puun versotiheys (cm/m³) on kuitenkin vain kaksinkertainen verrattuna tiheimmän metsikön koepuuhun.

Puu	Tiheys r/ha	Versojen yhteispituus cm	Versoja cm/m ³
1	1000	38 638	4 929.0
2	2000	23 160	4 411.5
3	3200	13 788	2 827.3
4	3800	3 393	2 480.0

3.1.2. Versojen frekvenssit

Eri kertaluokkiin kuuluvien versojen näyte-oksakohtaiset määrät puittain on esitetty taulukossa 1. Kaikkien kertaluokkien frekvenssit vastaavissa oksakiehkuroissa pienenevät lähes poikkeuksetta, toisin sanoen puiden oksiston haarottuminen vähenee metsikön tiheyden kasvaessa. Koepuulla 1 oli runsaasti kaikkien kertaluokkien kasvaimia, myös neljännen jot-

ka muilta puuttuivat. Sitävastoin puustoltaan tiheimmän koealan puulla oli oksissaan vain päärangat ja näiden 2-kertaluokan sivuhaarat. Myös versojen kokonaismäärän jakautumisessa eri tasoihin oksiin on selviä puukoh- taisia eroja (taulukko 2). Mitä väljemmässä tilassa puu on kasvanut, sitä suurempi osuus sen versojen lukumäärästä on sivuoksien sivuoksissa tai näiden haaroissa.

3.1.3. Versojen pituudet

Taulukosta 2 havaitaan myös, että 1- ja 2-kertaluokkien osuudet ovat sitä suurem- mat, mitä tiheimmässä metsikössä puu on kasvanut. Korostetuin oksan pääangan osuus oli puulla no 4, jolla oksien haarottumi- nen oli vähäistä. Voidaan myös havaita, että 3- ja 4-kertaluokkien osuus versojen koko- naispituudesta on pienempi kuin niiden osuus versojen lukumäärästä. Tämä johtuu ko. kertaluokkien pienemmästä keskipituu- desta. Versojen keskipituus pienenee poik- keuksetta kaikilla koepuilla siirryttäessä ker- taluokasta 1 kertaluokkaan 4. Lisäksi kunkin kertaluokan versojen keskipituudet muodos- tavat säännönmukaisesti laskevan sarjan metsikön tiheyden kasvaessa:

Puu	Metsikön tiheys r/ha	Versojen keskipituudet, cm			
		1-kertal.	2-kertal.	3-kertal.	4-kertal.
1	1000	17.5	7.9	4.2	2.5
2	2000	11.3	4.7	2.4	
3	3200	11.9	3.9	1.8	
4	3800	8.3	2.4		

3.2. Biomassojen jakautuminen latvuksessa

3.2.1. Puuaineen, kuoren ja neulasten osuudet eri kertaluokkiin kuuluvien versojen biomassasta

Pienistä kertaluokista suurempiin siir- ryttäessä neulasten osuus versojen biomas- sasta kasvoi sekä puun että kuoren suhteellisten osuuksien kustannuksella, kuten alla ole- vasta asetelmasta ilmenee. Kuoren osuus to- sin pieni hitaammin kuin puun.

Puuaineen, kuoren ja neulasten biomassaa- osuuksissa on selviä eroja myös eri koepuiden välillä: mitä tiheimmässä metsikössä puu on kasvanut, sitä suuremman osuuden versojen biomassasta neulaset muodostavat. Esimer- kiksi koepuun 1 oksien päärankojen neulasten biomassaosuus on 21 %, kun taas puulla 4 vastaava luku on 51 %. Puuaineen osuuden

muutos koepuittain on päinvastainen kuin neulasmassan. Harvassa kasvaneilla puilla puuaineen osuus versojen massasta on kaikis- sa kertaluokissa suurempi kuin tiheimpien koealojen puilla. 1-kertaluokassa puiden väli- set erot neulas- ja puuaineosuuksissa ovat selvimmät, mutta ne heikentyvät kertaluokan kasvaessa, ts. mentäessä pienempiin oksan haaroihin. Kuoren osalta ei vastaavia sään- nönmukaisia eroja voida havaita koepuiden välillä.

Puu	Puuaine, %				Kuori, %				Neulaset, %			
	1-kl.	2-kl.	3-kl.	4-kl.	1-kl.	2-kl.	3-kl.	4-kl.	1-kl.	2-kl.	3-kl.	4-kl.
1	51	17	10	9	28	20	11	7	21	63	79	84
2	47	13	7		23	16	12		30	71	81	
3	41	12	6		20	14	12		39	74	82	
4	23	10			26	19			51	71		

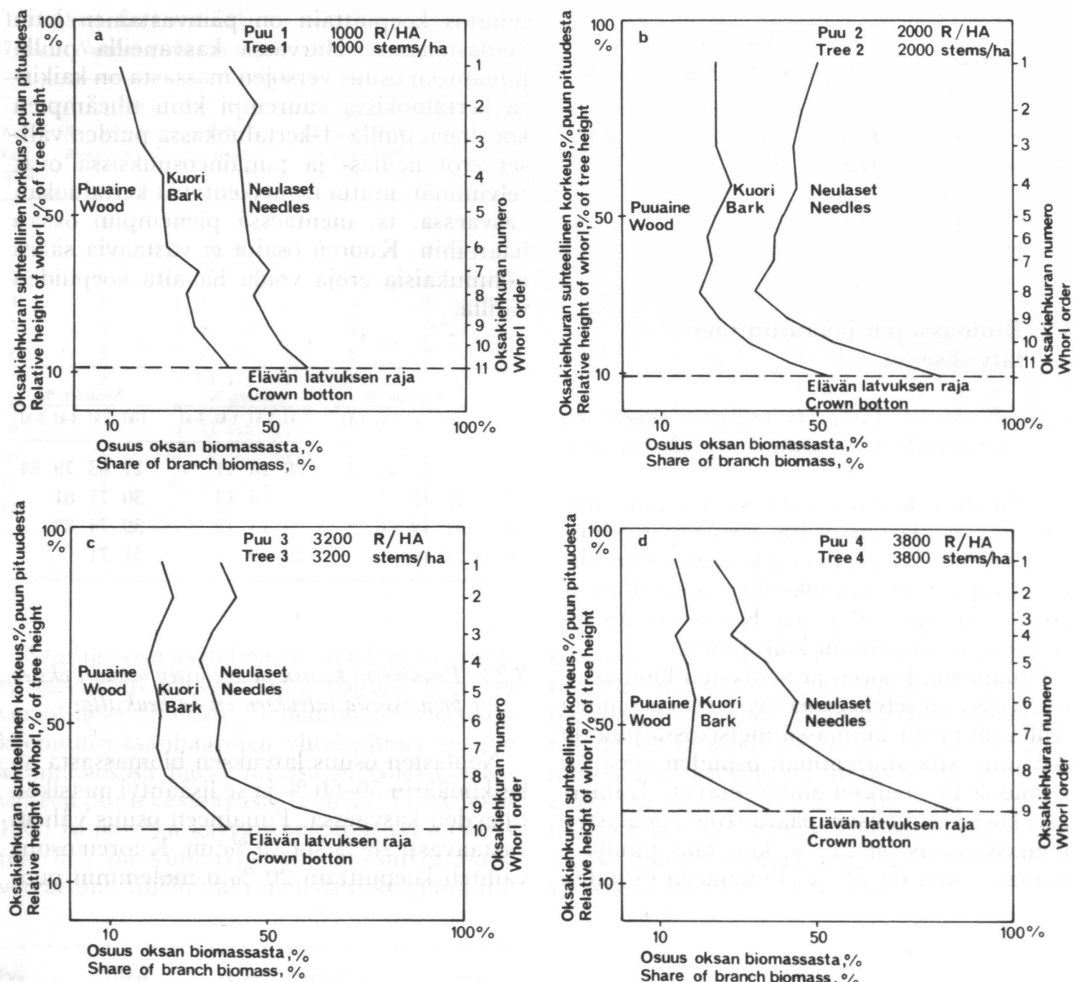
3.2.2. Puuaineen, kuoren ja neulasten osuudet oksien biomassasta latvuksen eri korkeuksilla

Neulasten osuus latvuksen biomassasta oli keskimäärin 50-60 % ja se lisääntyi metsikön tiheyden kasvaessa. Puuaineen osuus väheni vastaavasti 28 %:sta 19 %:iin. Kuoren osuus vaihteli koepuittain 20 %:n molemmin puo-

Taulukko 2. Eritasoisten versojen osuus versojen kokonaismäärästä ja -pituudesta.

Table 2. Share of shoots of different ages from the total number and length of the shoots.

Tunnus Parameter	Puu 1 - Tree 1				Puu 2 - Tree 2				Puu 3 - Tree 3				Puu 4 - Tree 4			
	Kertalk - Order				Kertalk - Order				Kertalk - Order				Kertalk - Order			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Kertaluokan osuus versojen kokonaismäärästä, %	5	31	52	12	7	47	46	-	8	56	36	-	25	75	-	-
Share of shoot order from total number of shoots, %																
Kertaluokan osuus versojen kokonaismäärästä, %	14	43	38	5	20	53	27	-	26	57	17	-	53	47	-	-
Share of shoot order from total length of shoots, %																



Kuva 2. Koepuiden oksien puuaineen, kuoren ja neulasten osuudet oksien biomassasta oksakiehkuroittain.
Fig. 2. Share of wood, bark and needles in branches of sample trees.

lin. Puuaineen, kuoren ja neulasten osuudet latvuksen biomassasta olivat seuraavat:

Puu	Tiheys r/ha	Puuaine, %	Kuori, %	Neulaset, %
1	1000	28	20	52
2	2000	26	18	56
3	3200	24	17	59
4	3800	19	24	57

Neulasten osuus oksien kokonaisbiomassasta oli suurin latvuksen yläosassa (kuva 2).

Ylimmistä oksakiehkuroista alaspäin siirryttäessä neulasten osuus pieneni lähes lineaarisesti. Puuaineen osuuden muutos korkeussuunnassa on päinvastainen kuin neulasten, puun osuus kasvaa alaoksiin siirryttäessä. Koepuulla 1 puuaineen lisääntyminen oli tasaista, muilla puilla sen osuus pysyi pitkään vakiona kunnes alimmissa oksakiehkuroissa nousi jyrkästi. Väljemässä tilassa kasvaneen puun ylimmissä kiehkuroissa oli suhteellisesti enemmän kuorta kuin alemmissa ja enemmän kuorta kuin puuta. Tiheämpien metsiköiden koepuilla taas kuoren prosentuaalinen osuus oksan massasta oli suurempi oksiston alaosissa.

Myös kertaluokittaisessa tarkastelussa voidaan puuaineen, kuoren ja neulasten suhteellisissa osuuksissa havaita oksan vertikaalisesta asemasta riippuvaa vaihtelua. Korkeussuuntainen muutos puuaineen ja neulasten osuuksissa oli huomattavin 1-kertaluokan oksissa, vähäisempi 2-kertaluokassa ja 3- ja 4-kertaluokissa se oli tuskin havaittava. Versojen rakenteena latvuksen eri korkeuksilla esitetään kertaluokittain ja koepuittain kuvassa 3.

3.2.3. Puiden biomassan jakautuminen runkoon ja oksiin

Eri tiheyksissä ja valaistusoloissa kasvaneiden koepuiden kokonaisbiomassan sekä puuaineen, kuoren ja neulasten jakautuminen rungon ja oksien kesken oli erilaista (kuva 4). Puun kokonaisbiomassasta sitä suurempi osa oli keskittynyt runkoon, mitä tiheämmässä metsikössä puu oli kasvanut. Vastaavasti oksiston osuus supistui metsikön tiheyden kasvaessa. Puustoltaan harvimman metsikön koepuulla rungon osuus kokonaisbiomassasta oli 36 %, oksien 64 %. Tiheimmän koecalan puulla vastaavat luvut olivat 74 % ja 26 %. Puuainesta sitä suurempi osa on oksissa, mitä harvemman koecalan puusta oli kysymys.

3.2.4. Neulasten, puuaineen, kuoren ja kokonaisbiomassan jakautuminen eri kertaluokan oksiin

Oksan pääangan neulasten osuus suureni metsikön tiheyden kasvaessa (kuva 5). Puulla 4 oksien haarottuminen oli niin vähäistä, että suurin osa neulasista oli oksan pääangassa. Pääangan sivuoksien osuus neulasmassasta kasvoi metsikön tiheyden kasvaessa. Kaikilla koepuilla, lukuunottamatta puuta 4, suurin osa neulasista oli 2-kertaluokan versoissa. 3-kertaluokan versojen osuus neulasten kokonaismassasta oli suurimmillaan (34 %) harvimman koecalan puulla; tiheimmän koecalan puulta ko. kertaluokka puuttui kokonaan. 4-kertaluokan oksia oli vain koecalan 1 puulla ja niiden osuus neulasmassasta oli pieni: 4 %.

Oksien puuainesta suurin osa, 65–85 %, oli kaikilla puilla keskittynyt oksan pääran-

kaan, tiheimmän koecalan puulla selvimmän 2-kertaluokan versoissa oli vain n. 1/4 oksien puuainesta. Kuoren jakautuminen eri kertaluokkien kesken oli samansuuntainen kuin puuaineen, muttei yhtä jyrkkä. 1-kertaluokka sisälsi noin puolet oksien kuoresta, tiheimmällä koecalalla kuitenkin jopa 75 %, ja 2-kertaluokka runsaan kolmanneksen. Oksien kokonaisbiomassan jakautuminen noudatteli läheisesti neulasten jakautumaa. Mitä varjostetummasta koepuusta oli kyse sitä suurempi osuus oksien kuiva-aineesta oli oksan päärangassa. Suurempien kertaluokkien osuus pienenee siirryttäessä harvapuustoisilta koecaloilta tiheämmille.

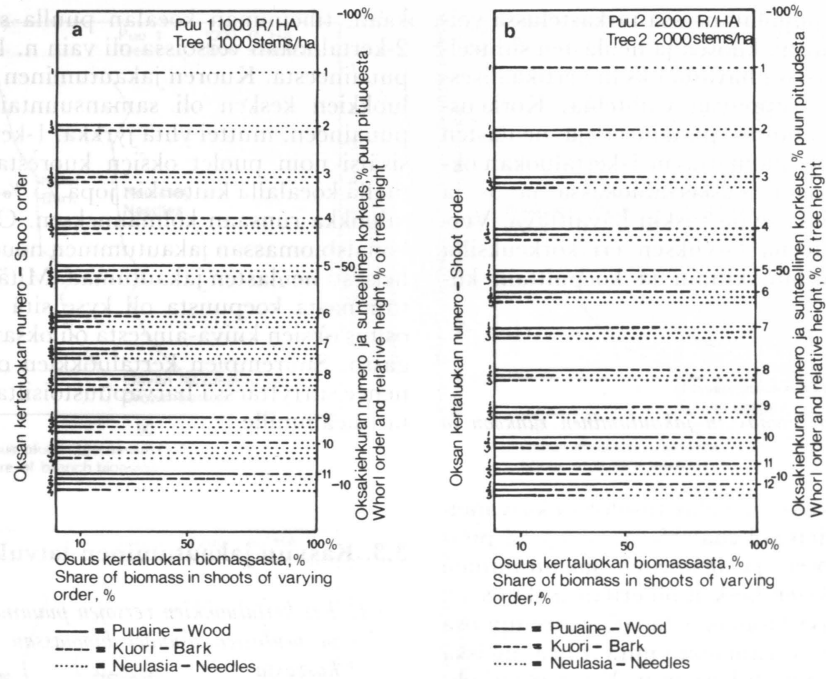
3.3. Kasvun jakautuminen latvuksessa

3.3.1. Eri kertaluokkien versojen puuaineen, kuoren ja neulasten osuudet biomassan vuotuisesta kasvusta

Alla olevassa asetelmassa on esitetty puuaineen, kuoren ja neulasten osuudet versojen biomassan kasvusta kertaluokittain eri koepuilla. Siirryttäessä pienistä kertaluokista suurempiin neulasten osuus versojen biomassan kasvusta lisääntyy samalla, kun puuaineen ja kuoren osuudet pienenevät. Kuoren osuus tosin pienenee hitaammin kuin puun.

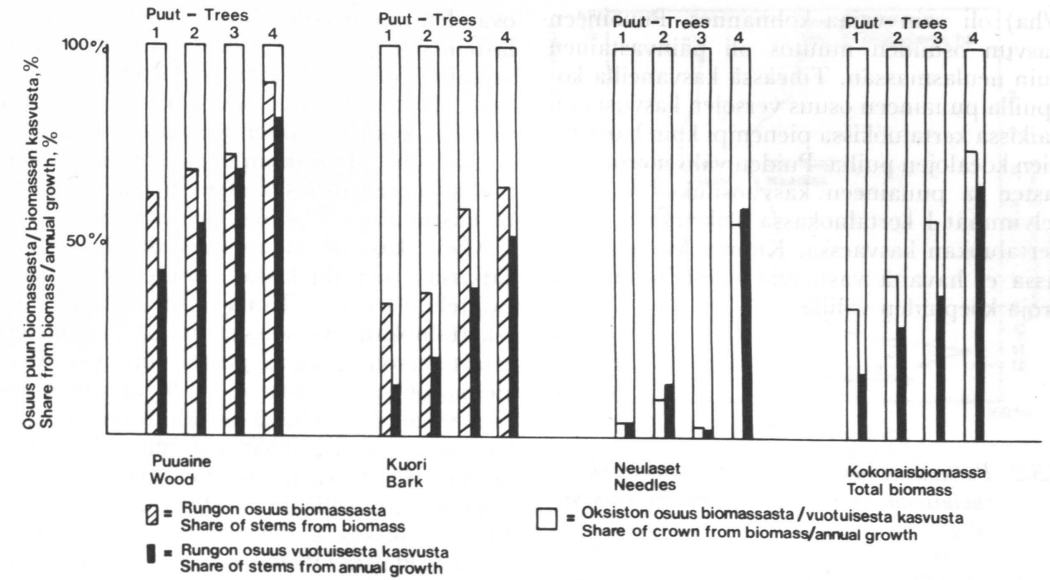
Puu	Puuaine, %				Kuori, %				Neulaset, %			
	1-kl	2-kl	3-kl	4-kl	1-kl	2-kl	3-kl	4-kl	1-kl	2-kl	3-kl	4-kl
1	40	15	11	10	32	22	12	9	28	63	77	81
2	38	13	11		26	19	15		36	68	74	
3	34	13	6		21	15	15		44	71	79	
4	24	13			24	20			52	67		

Myös eri koepuiden välillä oli selviä eroja siinä, miten eri kertaluokkien biomassan kasvu jakautuu puuaineen, kuoren ja neulasten kesken. Nämä erot ovat samansuuntaisia kuin aiemmin esitetyt koepuittaiset erot biomassan jakautumisessa. Neulasten kasvu muodosti sitä suuremman osan verson kasvusta, mitä tiheämmästä metsiköstä koepuu oli. Puulla 4 (metsikön tiheys 3800 r/ha) oksan pääangan kasvusta neulaset muodostivat noin puolet, kun se puulla 1 (tiheys 1000

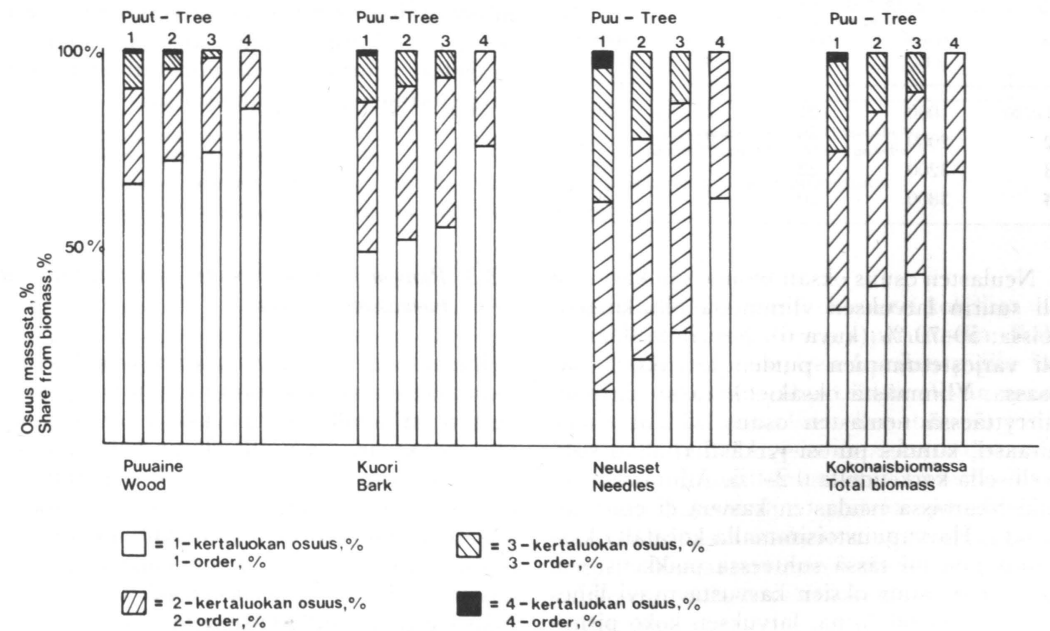


Kuva 3. Puuaineen, kuoren ja neulasten osuudet eri tasoisten versojen biomassasta oksakiehkuroittain.

Fig. 3. Share of wood, bark and needles in shoots of varying order per whorls.



Kuva 4. Puuaineen, kuoren ja neulasten osuus koepuiden biomassasta ja kasvusta.
Fig. 4. Share of wood, bark and needles in sample trees from total biomass and growth.



Kuva 5. Eritasoisten versojen osuudet puuaineen, kuoren ja neulasten massasta sekä kokonaismassasta koepuittain.

Fig. 5. Share of wood bark and needles from shoot biomass of varying order and from total biomass of branches.

r/ha) oli vain vajaa kolmannes. Puuaineen kasvun osuuden muutos oli päinvastainen kuin neulamassan. Tiheässä kasvaneilla koepuilla puuaineen osuus versojen kasvusta oli kaikissa kertaluokissa pienempi kuin harvempien koalojen puilla. Puiden väliset erot neulasten ja puuaineen kasvuosuuksissa olivat selvimmät 1 kertaluokassa heikentyen oksien kertaluokan kasvaessa. Kuoren kasvuosuuksissa ei havaita vastaavia säännönmukaisia eroja koepuiden välillä.

3.3.2. Puuaineen, kuoren ja neulasten osuudet oksien vuotuisesta kasvusta latvuksen eri korkeuksilla

Neulasten osuus oksien vuotuisesta biomassan kasvusta koepuiden latvuksissa oli keskimäärin 50–60 %. Sekä puuaineen että kuoren osuudet oksan kasvusta vaihtelivat 20 %:n molemmin puolin. Puuaineen, kuoren ja neulasten osuudet oksien vuotuisesta biomassan kasvusta keskimäärin koko latvuksessa olivat seuraavat:

Puu	Tiheys r/ha	Puuaine, %	Kuori, %	Neulaset, %
1	1000	21	23	56
2	2000	22	21	57
3	3200	22	17	61
4	3800	20	24	56

Neulasten osuus oksan biomassan kasvusta oli suurin latvuksen ylimmissä oksakiehkuroissa: 50–70 % (kuva 6). Suurimmillaan se oli varjostetuimpien puiden latvuksen yläosassa. Ylimmästä oksakiehkurosta alaspäin siirryttäessä neulasten osuus väheni aluksi hitaasti, kunnes putosi jyrkästi rungon suhteellisella korkeudella 0.2–0.5. Alimmissa oksakiehkuroissa neulasten kasvua ei enää tapahdu. Harvapuustoisimmalla koalalla kasvanut puu oli tässä suhteessa poikkeus; sen neulasten osuus oksien kasvusta pysyi lähes samana, 50–60 %:na, latvuksen koko pituudella. Neulasten kasvuosuuden väheneminen alkoi sitä ylempää, mitä tiheämmässä metsikössä puu oli kasvanut. Puuaineen kasvu-

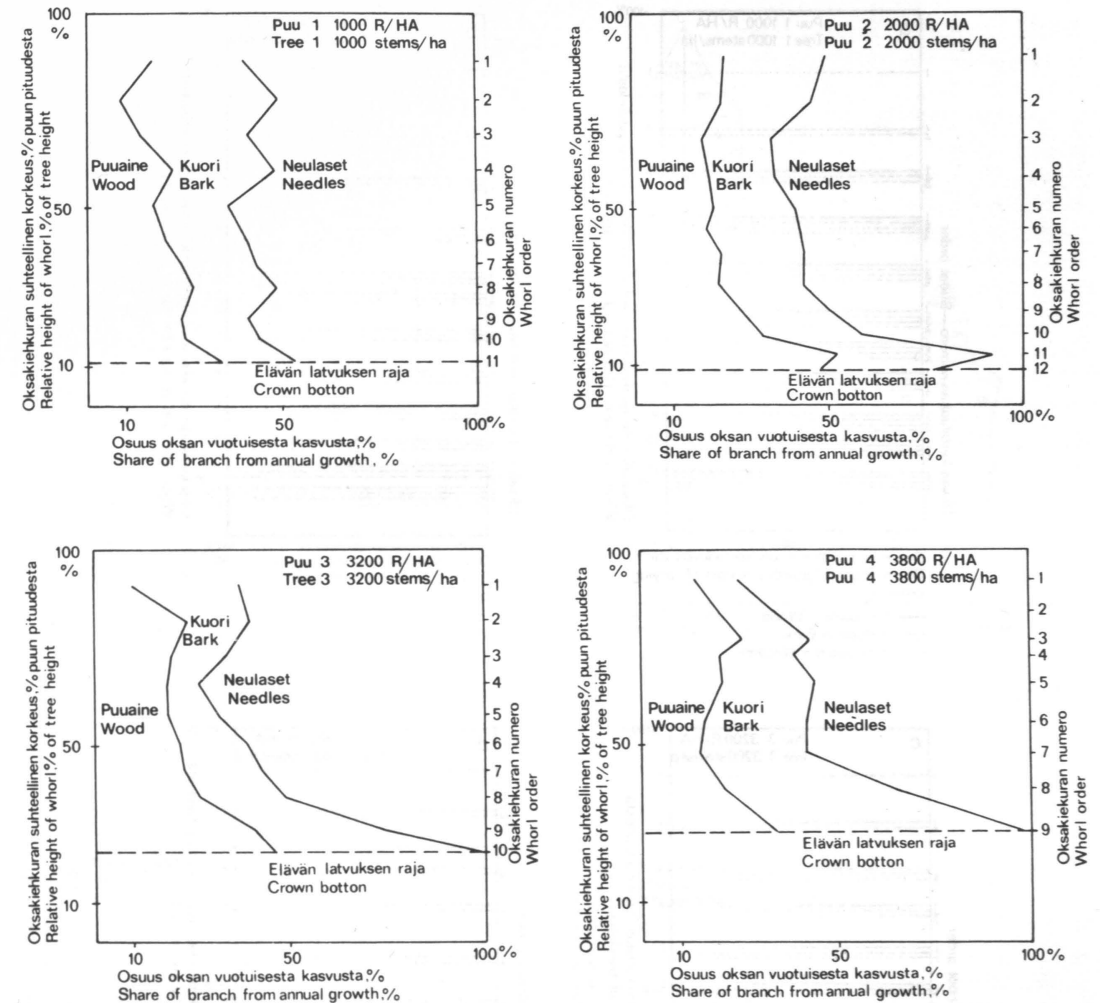
osuuden muutos oli päinvastainen kuin neulasten; sen osuus kasvusta lisääntyi roimasti samalla korkeudella kuin neulasten osuus väheni. Kuoren osuus oksan kasvusta pysyi melkein koko latvuksen pituudelta vakiona, n. 20 %:na. Tiheämpipuustoisten koalojen puilla kuoren osuus kuitenkin lähes kaksinkertaistui alimmissa oksakiehkuroissa.

Myös kasvun jakautumisessa havaitaan kaikissa kertaluokissa korkeussuuntaista vaihtelua (kuva 7). Tämä vaihtelu on selvintä 1-kertaluokan versoissa, joissa neulasten osuus verson kasvusta putosi ylimpien oksakiehkuroiden arvoista 50–70 % alimpien arvoon 0 kaikilla puilla. 2-kertaluokassa neulasten osuus pysyi pitkään runsaana 60 %:na, mutta alkoi jyrkästi pudota laskeuduttaessa rungon suhteellisille korkeuksille 0.2–0.5. 3-kertaluokassa korkeussuuntainen vaihtelu oli samanlaista. Runsaimmin valoa saaneen puun neulasten osuuden väheneminen oli hidasta oksakiehkuroiden vanhetessa. Tällä puulla kertaluokkien 3 ja 4 neulasten suhteellinen osuus oksan kasvusta oli lähes yhtä suuri latvuksen alaosissa kuin ylimmissä oksakiehkuroissa.

Kaikissa kertaluokissa puuaineen osuus versojen kasvusta lisääntyi tasaisesti alempiin oksakiehkuroihin mentäessä, kunnes alimmissa oksissa se lähes kaksinkertaistui. Kuoren osuus oli miltei sama koko latvuksen pituudelta, mutta kasvoi nopeasti erityisesti varjostettujen puiden alaoksissa.

3.3.3. Rungon ja oksien osuudet puiden vuotuisesta biomassan kasvusta

Puuaineen, kuoren, neulasten ja kokonaisbiomassan kasvu jakautui rungon ja oksiston kesken eri tavalla eri tiheyksissä ja valaistusoloissa kasvaneilla puilla. Puun kokonaisbiomassan vuotuisesta kasvusta oli sitä suurempi osa rungossa, mitä tiheämmässä metsikössä puu kasvoi. Harvapuustoisimman koalan puulla rungon osuus biomassan vuotuisesta kasvusta oli 17 %, ja oksien 83 %. Tiheimmän koalan puulla vastaavat osuudet olivat 65 % ja 35 %. Mitä tiheämmässä metsikön koepuusta on kysymys, sitä suurempi osa puuaineen ja kuoren kasvusta oli rungossa.



Kuva 6. Puuaineen, kuoren ja neulasten osuudet oksan vuotuisesta kasvusta oksakiehkuroittain.
Fig. 6. Share of wood, bark and needles from growth in branches per whorls.

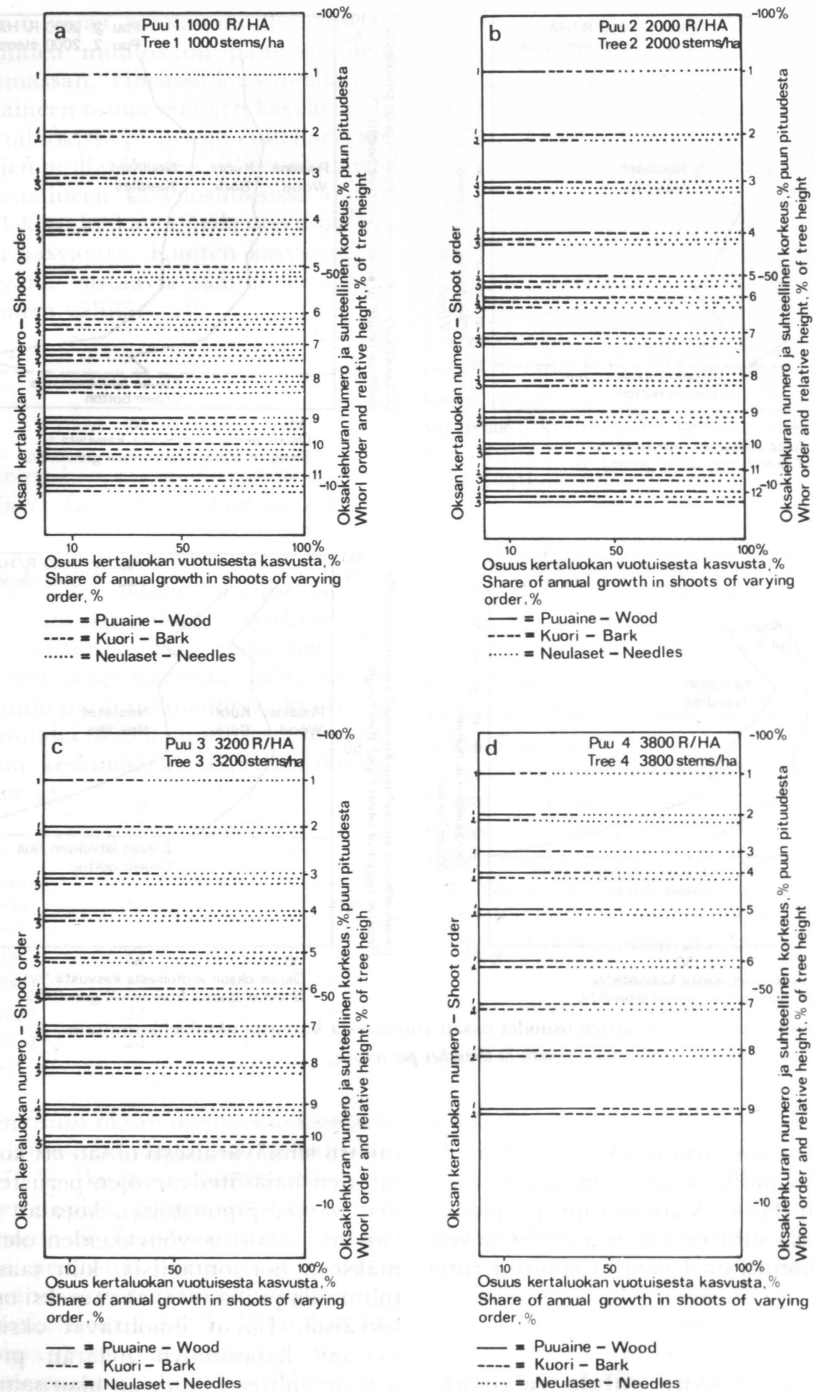
Kuoren kasvusta suurin osa keskittyi kuitenkin kaikilla koepuilla oksiin; samoin oli yleensä neulasten laita. Varjostetuin ja pienin mänty oli tässä suhteessa poikkeus; 59 % sen neulasten vuotuisesta kasvusta sijoittui runkoon.

3.4. Latvuksen kasvun suhde valaistusoiloihin

3.4.1. Valon vaihtelu puiden latvusten sisällä

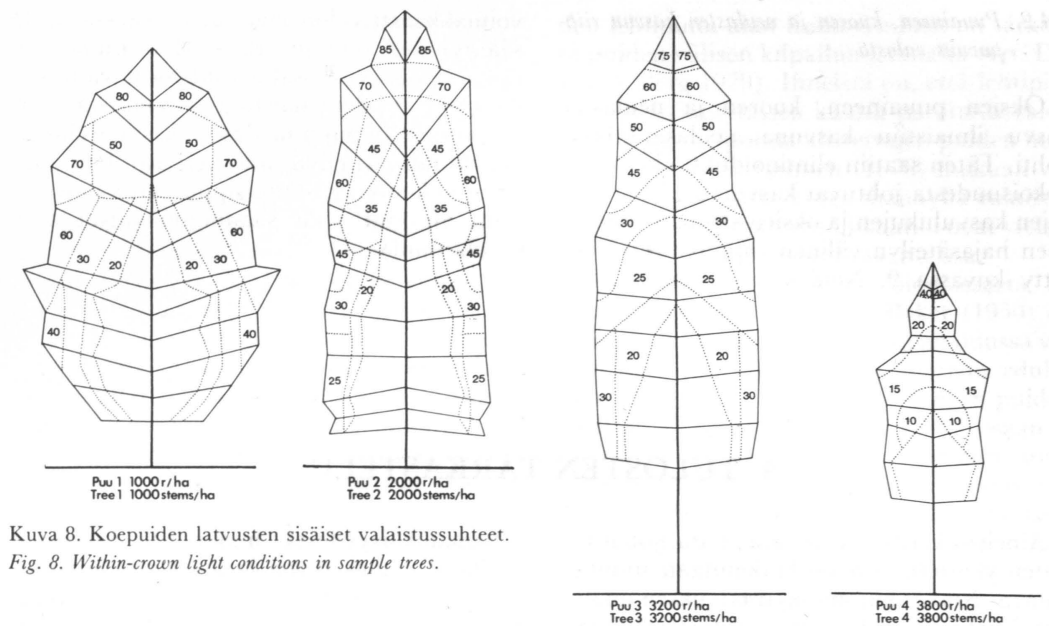
Kuva 8 esittää koepuiden latvusten sisäisiä valaistusolosuhteita. Valaistusolosuhteet on

rajattu silmävaraisesti oksan eri kohdista mitattujen hajasäteilyarvojen perusteella. Kahden harvempipuustoisien koalan puilla havaitaan valaistusvyöhykkeiden olevan enimmäkseen horisontaalisia, kun taas varjostetuimmilla puilla ne ovat suureksi osaksi päällekkäisiä. Luvut ilmoittavat oksiston osan saaman hajasäteilyn määrän prosentteina maksimaalisesta (aukean alan saamasta) säteilystä. Kuvaussysteemin vuoksi oksien päärankojen neulasettomien osien tiedot puuttavat.



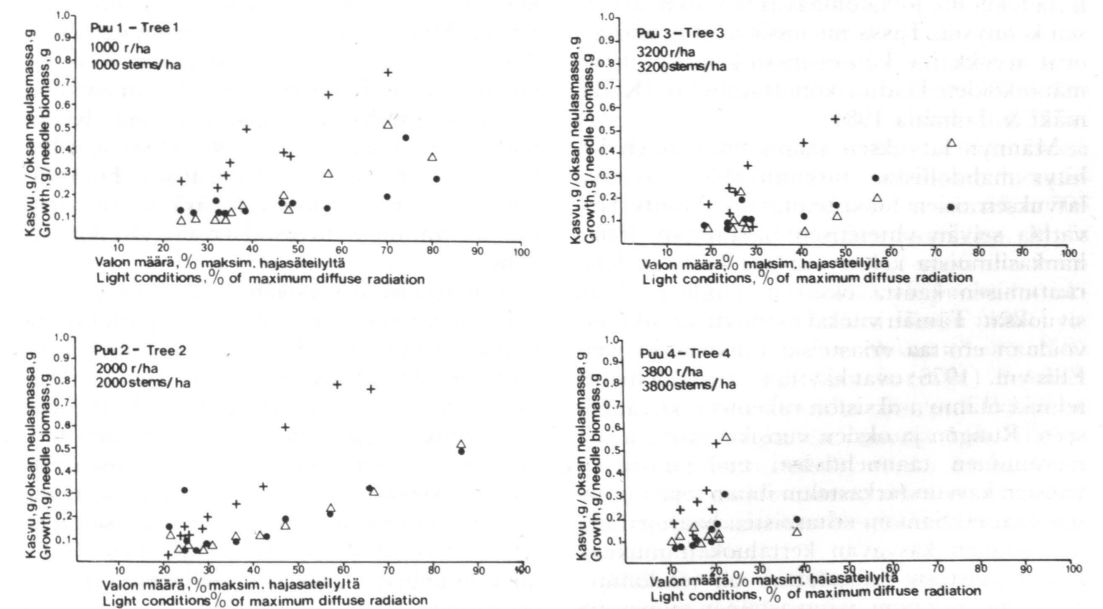
Kuva 7. Puuaineen, kuoren ja neulasten osuudet eritasoisten versojen biomassan vuotuisesta kasvusta oksakiehkuroittain.

Fig. 7. Share of growth of wood, bark and needles in shoots of varying order per whorls.



Kuva 8. Koepuiden latvusten sisäiset valaistussuhteet.

Fig. 8. Within-crown light conditions in sample trees.



Kuva 9. Koepuiden oksien puuaineen, kuoren ja neulasten kasvu oksan neulasyksikköä kohti oksan valaistuksen funktiona. Selitys: + = puuaine, Δ = neulaset, ● = kuori.

Fig. 9. Growth of wood, bark and needles of branches per needle biomass of branch as a function of light conditions around branches. Legend: + = wood, Δ = needles, ● = bark.

3.4.2. Puuaineen, kuoren ja neulasten kasvun riippuvuus valosta

Oksien puuaineen, kuoren ja neulasten kasvu ilmaisttiin kasvuna neulasgrammaa kohti. Täten saatiin eliminoiduksi oksien erikokoisuudesta johtuvat kasvuerot. Näin saatujen kasvulukujen ja oksien saaman suhteellisen hajasäteilyn välinen riippuvuus on esitetty kuvassa 9. Neulasten kasvu lisääntyi

4. TULOSTEN TARKASTELU

Aineisto käsittää neljä koepuuta, joten tulosten yleistettävyyks on korkeintaan suuntaa antava. Nuorekin männyn latvuksen analysointi kokonaisuudessaan osoittautui kuitenkin niin työlääksi, ettei ollut mahdollisuutta kerätä laajempaa aineistoa. Tulokset osoittavat kuitenkin monia mielenkiintoisia männyn latvuksen rakenne- ja kehityspiirteitä, minkä vuoksi näinkin suppea aineisto on haluttu julkaista. Saadut tulokset valaisevat osaltaan niitä tekijöitä, jotka ohjaavat männyn latvuksen kehitystä. Tässä mielessä saadut tulokset ovat arvokkaita, kun etsitään keinoja viljelymänniköiden laadun kohottamiseksi (Kellomäki & Tuimala 1981).

Männyn latvuksen säännönmukainen kehitys mahdollistaa tutkimuksessa käytetyn latvuksen osien luokittelutavan. Mänty kasvattaa selvän yhtenäisen pääranan, jonka hankasilmuista kehittyvät aksillaarisen haarautumisen kautta oksat ja näille edelleen sivuoksat. Tämän vuoksi männyn latvuksessa voidaan erottaa eriasteisia rankoja. Flower-Ellis ym. (1976) ovat käyttäneet samaa menetelmää männyn oksiston rakenteen kuvaamiseen. Rungon ja oksien vuosikasvaimien numeroiminen taannehtivasti mahdollisti eri vuosien kasvun tarkastelun ilman sekaannuksen vaaraa. Samoin eritasoisten haarojen numeroiminen kasvavan kertaluokan mukaan haaromisasteen lisääntyessä oli johdonmukaisempi kuin esim. päinvastainen numerointi. Suurempia kertaluokkia kuin neljäs ei katsottu tarpeelliseksi erottaa, koska männyn oksien haarominen tämän pidemmälle on vähäistä.

voimakkaasti valon määrän kasvaessa, ja lisääntyminen oli lineaarista. Myös puuaineen ja kuoren kasvun osalta voidaan havaita selvät riippuvuudet valaistuksen määrästä. Varjostetuimman puun neulasten kasvu lisääntyi nopeimmin säteilyn lisääntyessä, kun taas puun ja kuoren kasvun riippuvuus valaistuksesta ei ollut yhtä säännönmukaista kuin muilla puilla.

Samanikäisyydestä huolimatta latvusten välillä oli huomattavia koko- ja rakenneeroja. Koeput edustivat metsiköissään eri puuluokkia. Puustoltaan harvimman koealan puu oli vallitseva yksilö ja tiheimmän koealan puu taas selvästi alistettu. Odotusten mukaisesti puun asema metsiköissä vaikutti sen ominaisuuksiin, sillä vallitsevalla ja suurimmalla puulla oli latvuksessaan eniten versoja. Myös latvuksen tilavuusyksikköä kohti laskettu versotiheys oli vallitsevalla puulla suurempi. Mm. Logan (1966) on havainnut puiden oksimisen olevan voimakasta hyvissä valaistusoloissa. Elävien oksien lukumäärä on suurempi puiden kasvaessa harvassa (Kellomäki & Tuimala 1981), mikä oli selvästi havaittavissa myös tässä aineistossa. Fotosynteesin kasvaessa oksien määrä ja silmujen muodostuminen myös kasvaa (Kellomäki 1980).

Neulasellisten versojen osuus versojen kokonaismäärästä oli kaikilla koeputilla kuta kuinkin sama. Puun hengissä pysymisen kannalta on yhteyttävän neulaspinna-alaan riittävyys ilmeisen tärkeätä (Kellomäki 1981). Tämän vuoksi neulasten osuus alispuiden biomassasta on suurempi kuin ylimmässä latvuskerroksessa (Ilonen 1981). Koska männyn neulaset kuitenkin pysyvät puussa säännönmukaisesti 3–4 vuotta (Mälkönen 1974), on luonnollista, että neulasellisten versojen osuus versojen kokonaismäärästä oli kaikilla puilla samaa suuruusluokkaa (93–94 %) riippumatta puiden asemasta.

Puiden väliset erot versojen yhteenlaskeutuisissa pituuksissa perustuvat paitsi puiden

absoluuttisiin kokoeroihin ja vallitsevien puiden oksiston voimakkaampaan haarottumiseen myös siihen, että runsaassa valossa kasvaneiden puiden kasvaimien keskipituus on suuri. Tätä tukee Kellomäen (1980) havainto oksan pituuskasvun lisääntymisestä oksan fotosynteesin kasvaessa.

Oksiston haarottuminen väheni metsikön tiheyden kasvaessa ja valaistusolojen heikentyessä. Myös Ilonen (1979) on todennut, että oksien haarominen nuorilla männynillä on suurinta hyvissä valaistusoloissa latvuksen yläosissa väheten lineaarisesti kiekhuran vanhetessa. Parhaassa valaistuksessa kasvaneella puulla oli runsaimmin kaikkien kertaluokkien kasvaimia, myös neljänneen. Sen pidemmälle haaromista tapahtui hyvin harvoin (Flower-Ellis ym. 1976).

Oksien silmujen määrä näyttää lisääntyvän sitä mukaa kun vuosikasvain, josta ne kasvavat, pitenee. Toisen kertaluokan versot kehittyvät samalla tavalla kuin ensimmäinen, mutta jäävät kauttaaltaan lyhyemmiksi. Näiden korkeammanasteisten haarojen kohdalla pituus alkaa olla haaroittumista rajoittava tekijä ts. vain pidemmät 2- ja 3-kertaluokan versot muodostavat sivuhaaroja. Korkeampien kertaluokkien pituuskasvu riippuu paljolti siitä, miten oksahierarkiassa niitä lähin pienempi kertaluokka on kasvanut (vrt. Flower-Ellis ym. 1976).

Versojen keskipituuden pieneneminen oli hyvin säännönmukaista etenkin tiheyksissä 1000 ja 2000 r/ha, osittain myös tiheydessä 3200 r/ha kasvaneilla puilla. Näillä puilla versojen keskipituus laski noin puoleen kertaluokan kasvaessa yhdellä. Flower-Ellisin ym. (1976) väite siitä, että korkeamman asteisten kertaluokkien kohdalla kasvaimien pituus olisi haaroittamista rajoittava tekijä saa tukea tämän työn tuloksista. Tässä aineistossa kertaluokan versojen keskipituus, jolla haaroittumista vielä tapahtui, oli n. 4 cm.

Neulaset muodostivat sitä suuremman osuuden versojen biomassasta, mitä tiheimmässä metsikössä koeput oli kasvanut. Tämä tulos tukee osaltaan Kellomäen & Oker-Blomin (1981) havaintoa siitä, että alistetussa asemassa olevien mäntyjen neulasten ominaispinta-ala on nelinkertainen verrattuna vallitsevien puiden neulasten ominaispinta-alaan. Samansuuntainen muutos havaitaan, kun verrataan puun latvuksen yläosia ja alaosia keskenään. Tällainen varjostettujen pui-

den lehtipinta-alan lisääntyminen on tärkeätä puiden välisen kilpailun kannalta (vrt. Del Rio & Berg 1979). Ilmeistä on, että lehtipinta-alan lisääntymisen kautta paraneva valon käyttökyky helpottaa alistettujen puiden hengissä pysymistä. Grimen (1978) mukaan valoa vaativilla puilla, kuten männynillä valaistuserojen aiheuttamat modifikaatiot ovat yleisiä yhteyttävien versonosien rakenteissa.

Neulasten osuus oksien biomassasta oli suurin latvuksen yläosassa. Baker (1950) on esittänyt neulasmassan sijoittuvan puussa valaistuksen kannalta mahdollisimman edullisesti. Alisteisessa asemassa kasvavien puiden neulasmassa keskittyy latvuksen yläosaan ja alaoksista neulaset putoavat varhain, jotta yhteyttävä massa olisi mahdollisimman vähäistä varjossa. Tämän tutkimuksen tuloksia tukevat Ilosen (1978) havainnot, joiden mukaan runsaammassa valossa sijaitsevan puun neulasmassa on suhteellisesti alempana. Myös Kellomäki (1980) on todennut neulasmassan maksimikohdan nousevan lisääntyvän varjostuksen ja kasvavan tiheyden myötä.

Puun kokonaisbiomassasta oli sitä suurempi osuus keskittynyt runkoon, mitä tiheimmässä metsikössä puu oli kasvanut. Ilosen (1981) mukaan 10–14-vuotisissa männiköissä rungon ja latvuksen osuudet puun maanpäällisestä kuiva-ainemäärästä ovat yhtä suuret. Erittäin tiheällä koealalla (20 000 r/ha) latvuksen osuus biomassasta oli ollut vain 23 %. Nämä tulokset tukevat tässä tutkimuksessa saatuja. Neulasten osuus latvuksen biomassasta oli tässä tutkimuksessa keskimäärin 50–60 % lisääntyen tiheyden kasvaessa. Myös Ilosen (1981) mukaan 10–14-vuotiailla männynillä neulasto muodostaa yli puolet latvuksen kuiva-aineesta. Lisäksi Ilonen (1981) toteaa neulasten osuuden olevan tiheimmällä koealalla pienempi kuin harvalla. Tulokset vaikuttavat ristiriitaisilta siksi, että Ilonen on tarkastellut neulasten osuutta koko maanpäällisestä biomassasta, runko mukaan lukien. Tässä tutkimuksessa sitä vastoin on keskitytty oksien sisäisen biomassarakenteen tarkasteluun.

Mäkelän ym. (1980) mukaan neulasten ja puuaineen määrän suhde männyn vastamuodostuneissa versoissa kasvaa nopeasti siirryttäessä latvuksen yläosasta alaosaan. Alimmissa oksakiehkuroissa neulasia syntyy 50–60 kertaa enemmän kuin puuainetta muodos-

tuu. Samansuuntainen muutos on ilmeisesti havaittavissa siirryttäessä runsaassa valossa kasvaneista puista varjostettuihin. Rungon neulaset muodostivat tässä aineistossa kolmen harvimman koealan puulla korkeintaan 10 %, mutta varjostetuimmalla puulla jopa 55 % neulasten kokonaisbiomassasta. Rungossa sijainneiden neulasten suuri osuus neulasten kokonaisbiomassasta selittyi sillä, että ko. puun oksat olivat kokonaisuudessaan hyvin pieniä, hentoja ja lyhyitä.

Hierarkisesti eri tasoisten oksanhaarojen vuotuinen kasvu jakautui puuaineen, kuoren ja neulasten kesken samalla tavalla kuin kokonaisbiomassakin. Samoin voitiin eri koe-puiden välillä havaita samanlaiset erot. Kaikkien versojen vuotuisesta kasvusta neulasten kasvu muodosti sitä suuremman osan, mitä varjostetumpi puu oli. Tätä tulosta tukevat myös Mäkelän ym. (1980) havainnot neulasten ja puuaineen määrän suhteesta männyn vastamuodostuneissa versoissa.

Biomassan kasvun keskittyminen runkoon tiheässä kasvaneilla puilla näkyy tuloksista selvästi samoin kuin väljässä tilassa kasvaneiden koe-puiden voimakas oksiminen. Ilonen (1981) on todennut, että 15-vuotiaissa männiköissä päävaltapuiden kasvusta on rungon osuus 25 % ja oksiston 75 %. Alispuilla vastaavat luvut ovat 40 ja 60 %. Tässä tutkimuksessa vallitsevan ja vallitun puuyksilön väliset erot olivat vielä suurempia. Kellomäen (1981) mukaan rungon osuus kasvusta on suurin kohtalaisessa varjostuksessa, eli kun puiden pituus on 50–70 % metsikön pisimpien puiden pituudesta. Oksien osuus

kasvaa rungon ja neulasten kustannuksella puun aseman parantuessa, mikä oli selvästi havaittavissa myös tässä aineistossa. Puun aseman heikentyessä neulasten kasvun osuus vastaavasti lisääntyy.

Tarkasteltaessa neulasmassan yksikköä kohti laskettua puuaineen, kuoren ja neulasten oksakohtaista kasvua havaitaan selvä riippuvuus valaistuksesta. Mitä varjostetumassa asemassa puu kasvaa sitä voimakkaammin se reagoi valon määrän lisääntymiseen. Tätä tulosta tukevat Ilosen (1978) ja Kellomäen & Harin (1980) havainnot siitä, että alistetut puut reagoivat herkemmin valoon ja käyttävät vähäisenkin saamansa valon tehokkaammin kuin valtapuut. Valon kompensatiopiste so. valon intensiteetti, jossa puiden fotosynteesi ja hengitys ovat yhtä suuret, on valoon sopeutuneilla puilla alhaisempi. Pysyäkseen hengissä useamman vuoden ajan puut tarvitsevat yleensä vähintään 20 % täydestä auringonvalosta (Spurr & Barnes 1980).

Tutkimuksen antamat tulokset antavat selviä viitteitä siitä, että metsän rakenne ja metsän sisäiset valaistusolot ohjaavat kasvun jakautumista männyn latvuksen eri osiin sekä latvuksen ja rungon kesken. On otaksuttavissa, että vastaavat tekijät vaikuttavat myös juuriston kasvun osuuteen puun kokonaiskasvusta. Tämän vuoksi metsän kasvatustiheys on tärkeä tekijä, kun pyritään kasvattamaan puustoa laadultaan hyväksi. Erityisesti puiden oksien kasvuun ja puiden oksikkuuteen voidaan sopivalla kasvatustiheydellä vaikuttaa.

KIRJALLISUUS

- ALBRETSSON, A. 1980. Tallens biomassa. Storlek-utveckling-uppskattningsmetoder. Biomass of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Amount development-methods of mensuration. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel. Rapp. Nr. 2: 1–189.
- BAKER, F. S. 1950. Principles of Silviculture. II edit. Mc Graw-Hill Book Company. Inc. New York.
- DEL RIO, E. & BERG, A. 1979. Specific leaf area of Douglas fir reproduction as affected by light and needle age. Forest Sci. 25: 183–186.
- FLOWER-ELLIS, J., ALBREKTSSON, A. & OLS-SON, L. 1976. Structure and growth of some young Scots pine stands: (1) dimensional and numerical relationships. Swedish Coniferous Project. Techn. Rep. 3/1976. 1–98.
- GRIMÉ, J. P. 1978. Plant Strategies & Vegetation Processes. John Wiley & Sons. Chichester, New York. Brisbane, Toronto.
- HORN, H. S. 1971. The Adaptive Geometry of Trees. Monographs in population biology 3. Princeton Univ. Press. Princeton.
- ILONEN, P. 1978. Valon vaikutus nuoren männikön latvuston kehitykseen. Metsänhoitot. laudaturtyö. Hgin yliop. metsänhoitot. lait.
- 1981. Nuorten männiköiden kuiva-ainetuotoksen kehitys. Metsänhoitot. pro gradu. työ. Hgin yliop. metsänhoitot. lait.

- , KELLOMÄKI, S., HARI, P. & KANNINEN, M. 1979. On distribution of growth in crown system of some young Scots pine stands. Seloste: Kasvun jakautuminen nuorten mäntykasvustojen latvoissa. Silva Fenn. 13(4): 316–326.
- KELLOMÄKI, S. 1980. Growth dynamics of young Scots pine crowns. Seloste: Nuorten mäntyjen latvusten kasvun dynamiikka. Commun. Inst. For. Fenn. 98(4): 1–49.
- 1981a. Effect of the within-stand light conditions on the share of stem, branch and needle growth in a twenty-year-old Scots pine stand. Seloste: Metsikön sisäisen valaistuksen vaikutus rungon, oksien ja neulasten kasvun osuuksiin eräässä kaksikymmenvuotiaassa männikössä. Silva Fenn. 15(2): 130–139.
- 1981b. Metsikön kasvatustoimenpiteiden ja metsikön uudistamisen ekofysiologia. Metsäpuiden fysiologian kurssi 3.–6.3.1981 Hgin yliop. neuvontaopin ja täydennyskoul. keskus. Monistesarja 1/81.
- & HARI, P. 1980. Eco-physiological studies on young Scots pine stands: I. Tree class as indicator of needle biomass, illumination and photosynthetic capacity of crown system. Seloste: Puuluokka latvuksen neulasmassan valaistuksen ja fotosynteesikapasiteetin ilmaisijana. Silva Fenn. 14(3): 227–242.
- & OKER-BLOM, P. 1981. Specific needle area of Scots pine and its dependence on light conditions inside the canopy. Seloste: Männyn neulasten ominaispinta-ala ja sen riippuvuus kasvuympäristön valaistussuhteista. Silva Fenn. 15(2): 190–198.
- & TUIMALA, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots Pines. Folia For. 478: 1–100.
- LOGAN, K. T. 1966. Growth of tree seedlings as affected by light intensity. II. Red Pine, White Pine, Jack Pine, and Eastern Larch. Dep. For. Pub. No. 1160. Ottawa.
- MÄKELÄ, A., KELLOMÄKI, S. & HARI, P. 1980. Eco-physiological studies on young Scots pine stands: III. Photosynthetic allocation for needle growth and wood formation in current-year shoots. Seloste: Neulasten kasvun ja puuaineen muodostumisen suhde yksivuotuisissa männyn versoissa. Silva Fenn. 14(3): 258–263.
- MÄLKÖNEN, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Commun. Inst. For. Fenn. 84.5.
- NYYSSÖNEN, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development of Finnish pine stands treated with different cuttings. Acta For. Fenn. 60.4.
- SPURR, S. & BARNES, B. 1980. Forest Ecology. 3. ed. New York.
- VARMOLA, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoisen laatu. Seloste: The external quality of pine plantations. Folia For. 451: 1–21.

SUMMARY

OBSERVATIONS ON STRUCTURE AND GROWTH OF CROWN OF YOUNG SCOTS PINES

A study based on four young Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) showed that the number of needle-covered shoots per crown volume unit was independent on tree position representing a constant value of 600–700 shoot/m³. This was true, even though the total shoot number decreased with deteriorating tree position. In tree crowns there were fourth-order shoots in good light conditions but only first- and second-order shoots, when light conditions were poor. The length of shoots decreased in accordance with increasing order of the shoot.

The share of the needle biomass and growth increased, when the shoot order increased. Similarly, the share of needles increased with deteriorating tree position. This

was especially true in the upper crown. On the other hand, the share of the crown from the total biomass and growth increased with improving tree position. The percentage of crown system of a dominant tree in a sparse stand was 64 % of that of biomass and 83 % of that of growth. The corresponding values for a suppressed tree in a dense stand were 36 % and 35 %. The growth of wood, bark and needles in crown systems was linearly correlated with prevailing light conditions around the branch. It is evident that the tree position and light condition within the stand control the wood, bark and needle growth in the crown system and their interrelationships.