

Jari Hynynen ja Jussi Saramäki

Ensiharvennuksen viivästymisen ja harvennusvoimakkuuden vaikutus nuoren männikön kehitykseen

Hynynen, J. & Saramäki, J. 1995. Ensiharvennuksen viivästymisen ja harvennusvoimakkuuden vaikutus nuoren männikön kehitykseen. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1995(2): 99–113.

Tutkimuksessa tarkastellaan yhdeksän nuoreen ensiharvennusvaiheen (valtapituus 12,0–13,9 m) männikköön perustetun faktorikokeen (3 harvennusastetta x 3 lannoitusastetta) perusteella harvennuksen viivästymisen vaikutusta 15 vuoden aikana ensiharvennuksesta. Voimakkaan ensiharvennuksen (60 % runkoluvusta) seurauksena puuston tilavuuskasvu aluksi pienehti harvennusta seuraavina vuosina, mutta se saavutti harventamattoman puuston kasvun tason 15 vuoden kuluessa harvennuksesta. Voimakas harvennus pienensi männikön tilavuuskasvua 15 vuoden aikana yhteensä $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (12 %) verrattuna harventamattoman puuston kasvuun. Harventamattomien metsiköiden tilavuuskasvu säilyi koko seurantajakson likimain vakiona. Harvennus ei vaikuttanut valtapituuden kehitykseen.

Harvennuskertymä oli kokeen alussa voimakkaasti harvennetuilla koealoilla $36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ja tutkimusjakson lopussa harvennetuilla $66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, kun jäävä runkoluku oli sama. Myös poistuman keskijäreys oli noin 2 cm suurempi myöhemmin harvennetuilla koealoilla. Puuston kokonaistuotos oli hieman suurempi myöhään harvennetuilla koealoilla, joskaan ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Jäävä puusto oli keskimäärin noin yhden senttimetrin paksumpaa aiemmin voimakkaasti harvennetuilla koealoilla verrattuna jakson lopussa harvennettuihin.

Harvennuksissa kasvamaan jätettyjen puiden elävien latvusten suhteellinen pituus supistui jakson lopussa harvennetuissa metsiköissä 56,5 %:sta 45,4 %:iin tutkimusjakson aikana, kun vastaavat luvut jakson alussa voimakkaasti harvennetuilla koealoilla olivat 54,2 % ja 49,6 %. Harventamattomuus voimisti luonnonpoistumaa ja lisäsi puustovaurioiden määrää, mutta sekä luonnonpoistuman että vaurioituneiden puiden osuus puuston tilavuudesta oli varsin pieni tutkimusjakson aikana.

NPK-lannoitus (150 kg N ha^{-1}) viiden vuoden välein lisäsi kasvua $3,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Lannoitus lisäsi luonnonpoistumaa ja puustovauriota kaikissa harvennuskäsittelyissä. Lannoitus nopeutti puiden latvussuhteen pienenemistä sekä harvennetuilla että harventamattomilla koealoilla.

Tulosten mukaan hoidetun männikön ensiharvennusta on mahdollista siirtää noin 17,5 metrin valtapituuteen saakka ilman, että puuston kasvu kärsii tai latvukset supistuvat liiaksi.

Asiasanat: mänty, *Pinus sylvestris*, ensiharvennus, harvennusvoimakkuus, lannoitus, kasvu, latvussuhde

Kirjoittajien yhteystiedot: Hynynen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa; Saramäki, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu. Faksi (90) 8570 5361, sähköposti jari.hynynen@metla.fi
Hyväksytty 11.10.1995

1 Johdanto

Ensimmäisen harvennuksen puuntuotannollisesti oikean ajankohdan määrää puuston kehitysvaihe. Harvennus tulisi suorittaa ennen kuin puiden latvukset ovat liiaksi supistuneet, jotta ne voivat reagoida tehokkaasti harvennuksen jälkeen lisääntyvään valoon ja ravinteisiin. Puiden herkkyyks reagoita kasvuolosuhteiden muutokseen riippuu puiden iästä (kehitysvaiheesta) ja kasvukyvystä, jolla tarkoitetaan puiden latvuksen ja juuriston kykyä käyttää hyväkseen saatavilla olevia ravinteita ja valoa (Vuokila 1987). Puiden vanhetessa niiden reaktiokyky heikkenee ja muutoksiin kuluva aika kasvaa. Mitä huonommassa kasvukunnossa puu on, sitä heikommin se kykenee reagoimaan lisääntyneeseen valoon ja ravinteisiin. Puun kasvukuntoon vaikuttaa ennen muuta metsikön tiheys ja puun asema metsikössä. Metsien harvennuksien tarkoituksena on pitää kasvatettavaviksi valitut puut mahdollisimman hyvässä kasvukunnossa. Tämän tavoitteen toteutumista voidaan säädellä sekä harvennusten ajoittamisella että niiden voimakkuudella.

Ensiharvennuksen ajankohta määrätään mieluummin puuston valtapituuden kuin iän perusteella, koska valtapituus kuvaa paremmin puuston kehitysvaihetta kasvupaikasta riippumatta. Puuntuotannon lisäksi harvennuksen ajankohtaan vaikuttavat myös taloudelliset seikat. Ensiharvennustulojen tulisi kattaa vähintään harvennuskustannukset. Viime aikoina on taloudellisiin syihin perustuen esitetty, että ensiharvennusta voitaisiin viivästyttää ainakin 13 m:n keskipituuteen saakka metsiköissä, joissa taimikon harvennus on tehty 1 800–2 000 runkoon hehtaarilla (Pesonen ja Hirvelä 1992). Pesosen ja Hirvelän (1992) mukaan VT-männiköille optimi keskipituus harvennettaessa olisi 12–14 m.

Metsäkeskus Tapio suositteleeekin ensiharvennusta tehtäväksi metsikön valtapituuden ollessa 13–15 metriä (Metsänhoitosuosituksset 1994). Valstan (1992) mukaan kuusikon ensiharvennus olisi optimaalista suorittaa vasta 15–17 metrin valtapituudella, jos taimikon tiheys on ollut noin 2 000 kpl/ha. Salmisen (1993) laskelmissa viljelymännikön ensiharvennuksen optimiajankohta oli 18–20 metrin valtapituudella, joskin Salminen epäilee tutkimuksessa käytettyjen kasvumallien luotettavuutta harvennusreaktion kuvaamisessa. On myös esitetty ensiharvennusten siirtämistä edellä mainittuja myöhempiin kehitysvaiheisiin, mikäli taimikon harvennus on ollut edellä mainittua voimakkaampi. Metsänkasvatusta ei voida kuitenkaan perustaa pelkkään taimikon harvennukseen, sillä sellainen metsän kasvatus antaa taloudellisesti selvästi heikommän tuloksen kuin harventaen tapahtuva (Valsta 1992, Pesonen ja Hirvelä 1992). Ensiharvennusta ei voida aina suorittaa metsänkasvatuksen kannalta parhaaseen aikaan. Ei kuitenkaan tarkoin tiedetä, mihin saakka ensiharvennusta voidaan viivästyttää ilman tuntuvia kasvutappioita.

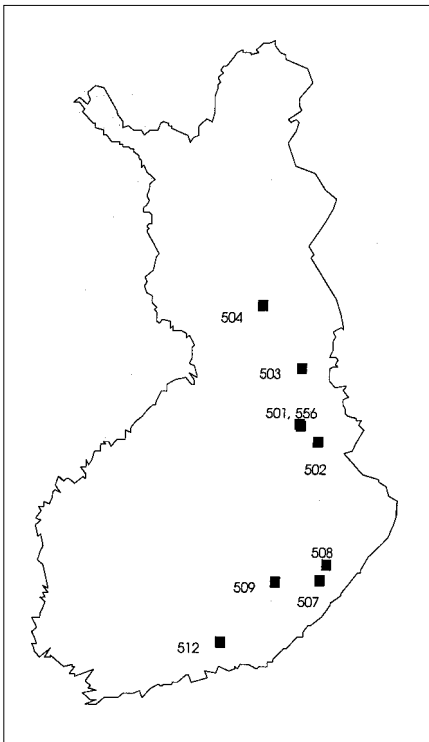
Harvennuksen viivästyminen voi pienentää puiden kasvua ja heikentää niiden reagoitokykyä harvennuksen jälkeen. Heikinheimon (1953) mukaan männyn elävän latvuksen pituus laskee n. 45 %:iin puun pituudesta 50. ikävuoteen mennessä, kun metsikön tiheys on noin 2 500 runkoa hehtaarilla. Puun yhteyttämiskapasiteettia kuvaava elävän latvuksen osuus ei saisi Vuokilan (1968, 1987) mukaan pienetä männyllä alle 40 %:iin puun pituudesta, jos halutaan säilyttää maksimi kasvukyky. Kuusikossa vastaava osuus on vähintään 50 prosenttia (Vuokila 1975). Mitä kauemmin metsikkö kehitty harventamattomana sitä pienemmäksi puiden latvus supistuu ja sitä heikommin yksittäinen puu kasvaa.

Lannoituksella pyritään lisäämään puuston kasvua parantamalla ravinteiden saatavuutta. Suomes-

sa typpi tiedetään eniten puiden kasvua rajoittavaksi tekijäksi (Viro 1967). Typellä saadut kasvunlisäykset kasvavat lineaarisesti kertalannoitusmäärän kasvaessa 72:sta kg ha⁻¹ 180:een kg ha⁻¹ (Gustavsen ja Lipas 1975). Typpimäärän edelleen kasvaessa kasvunlisäys suurenee, mutta ei enää lineaarisesti suhteessa typpimäärään (Jonsson 1978, Kukkola ja Saramäki 1983). Kukkolan ja Saramäen (1983) mukaan toistuvan lannoituksen kasvureaktion suuruus riippuu sekä lannoitemäärästä että lannoituksen toistumisvälistä niin, että suurin kasvunlisäys saadaan toistettaessa 100–150 kg N ha⁻¹ lannoitemääriä muutaman vuoden välein. Toistettaessa suuria typpimääriä lyhyin välein on odotettavissa lannoitusreaktion lasku (Kukkola ja Saramäki 1983). Lannoitusreaktio on suurimmillaan hyvin hoidetuissa nuorissa kasvatusmetsissä (Kukkola ja Saramäki 1983). Lannoitusvaikutus näkyy latvuksen ylimpien oksien voimistuneena kasvuna (Saramäki ja Silander 1982). Finérin (1991) tutkimassa

suomännikössä typpilannoitus lisäsi neulasmassaa ja NPK-lannoitus elävien oksien kuivamassaa. Lannoituksen on oletettu lisäävän puiden oksikkuutta (Kellomäki 1979). Oletamus perustuu siihen, että viljavilla kasvupaikoilla puut ovat paksuoksisempia kuin karuilla (Uusvaara 1974, Lämsä ym. 1990).

Tämän tutkimuksen päätarkoituksena on selvittää, miten ensiharvennuksen viivästyttäminen vaikuttaa männiköiden kasvuun ja puiden latvussuhteen kehitykseen. Tavoitteena on lisäksi arvioida, miten paljon ensiharvennusta voidaan viivästyttää tulevan kasvun kärsimättä. Tutkimuksessa selvitetään myös toistuvan lannoituksen vaikutusta puuston kasvuun, latvussuhteen kehitykseen sekä luonnonpoistumaan ja puustovaurioihin. Tässä tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan puustotunnusten kehitystä metsikkötasolla. Käytetystä tutkimusaineistosta tehtyjen puukohtaisten analyysien tulokset harvennuksen vaikutuksista puun latvussuhteen, puun läpimitan ja pituuden kasvuun ja puiden runkokuodon kehitykseen, sekä niitä kuvaavat puukohtaiset ennustemallit on esitetty toisessa yhteydessä (Hynynen 1995a, 1995b).



Kuva 1. Koemetsiköiden sijainti.

2 Aineisto ja menetelmät

Tutkimusaineistoon kuului yhdeksän toistuvasti mitattua metsikkökoetta (kuva 1). Kokeet perustettiin 1970-luvulla ensiharvennusvaiheessa oleviin tasaikäisiin, puhtaisiin männiköihin. Kestokokeiden alkuperäisenä tarkoituksena oli selvittää harvennuksen ja typpilannoituksen vaikutuksia puuston kehitykseen nuorissa kasvatusmänniköissä.

Koemetsiköt olivat joko luontaisesti syntyneitä tai kylvettyjä. Kasvupaikkatyypiltään metsiköt edustivat tuoreita ja kuivahkoja kankaita puuston pituusboniteetin vaihdella välillä 20–29 m. Kaikissa metsiköissä oli suoritettu taimikonharvennus. Kokeiden perustamisvaiheessa puuston valtapituus oli keskimäärin 13,3 m (12,0–13,9 m) puuston iän vaihdella 29–55 vuoden välillä (taulukko 1).

Koemetsiköissä tutkittiin vaihtelevan harvennusvoimakkuuden ja typpilannoituksen vaikutusta puuston kehitykseen. Koejärjestelyn perusrunkona oli 3 × 3 -faktorikoe sisältäen kolme harvennus- ja

Taulukko 1. Tietoja metsiköistä kokeiden perustamisajankohtana.

Koerokko	Ikä, v.	Metsä- tyyppi	H ₁₀₀ , m	H _g , m	D _g , cm	G, m ² ha ⁻¹	Runkoluku, kpl/ha
501	40	EVT	23,4	10,0	10,4	18,2	3003
502	55	EVT	20,5	10,9	12,4	17,9	2084
503	41	VMT	24,2	11,8	14,3	23,9	1858
504	45	VMT	21,5	11,9	14,1	21,7	1800
507	38	VT	25,6	10,7	11,3	22,8	3070
508	39	VT	24,9	10,7	11,0	22,9	3148
509	29	MT	28,8	10,7	13,3	25,6	3148
512	48	VT	21,0	10,6	11,8	20,1	2423
556	40	EVT	23,8	10,3	10,8	18,7	2762

H₁₀₀ = pituusboniteetti; H_g = pohjapinta-alalla painotettu keskipituus; D_g = pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta; G = puuston kuorellinen pohjapinta-ala

kolme lannoituskäsittelyä; kuhunkin kokeeseen kuului siten yhdeksän koealaa (kuva 2). Harventamattomilla koealoilla (H₀) puuston annettiin kehittyä taimikonharvennuksen jälkeisessä tiheydessään koko 15 vuoden seurantajakson ajan, jonka päätyessä puusto harvennettiin poistamalla 60 % runkoluvusta. Lievästi harvennetuilla koealoilla (H₁) poistettiin 30 % runkoluvusta kokeiden perustamisen yhteydessä. Toisen kerran nämä koealat harvennettiin 10 vuoden jälkeen, jolloin harvennettiin niin ikään 30 % koealojen alkuperäisestä runkoluvusta. Voimakkaassa harvennuksessa (H₂) 60 % runkoluvusta harvennettiin kokeiden perustamisajankohtana. Kaikki harvennukset olivat alaharvennuksia. Tässä tarkasteltavan jakson lopussa, 15 vuotta kokeiden perustamisen jälkeen, kaikkien koealojen runkoluvut olivat 40 % lähtötilanteen runkoluvusta (keskimäärin 820 puuta/ha).

Lannoituksen vaikutusta tutkittiin lannoittamattomien (L₀), normaalisti lannoitettujen (L₁) ja voimakkaasti lannoitettujen (L₂) koealojen avulla. Lannoitukset toistettiin viiden vuoden välein NPK-lannoitteella (20 % N, 4 % P, 8 % K). Käsittelyssä L₁ lannoitemäärä oli 750 kg ha⁻¹ (150 kg N – 30 kg P – 60 kg K) ja käsittelyssä L₂ 1 500 kg ha⁻¹ (300 kg N – 60 kg P – 120 kg K).

Koemetsiköihin rajattiin 1 000 m²:n koealat, joita kutakin ympäröi 5 m:n levyinen, samalla tavoin käsitelty vaippa-alue. Kokeet mitattiin perustettaessa sekä sen jälkeen viiden vuoden välein 15 vuoden aikana. Kokeiden perustamisen yhteydessä

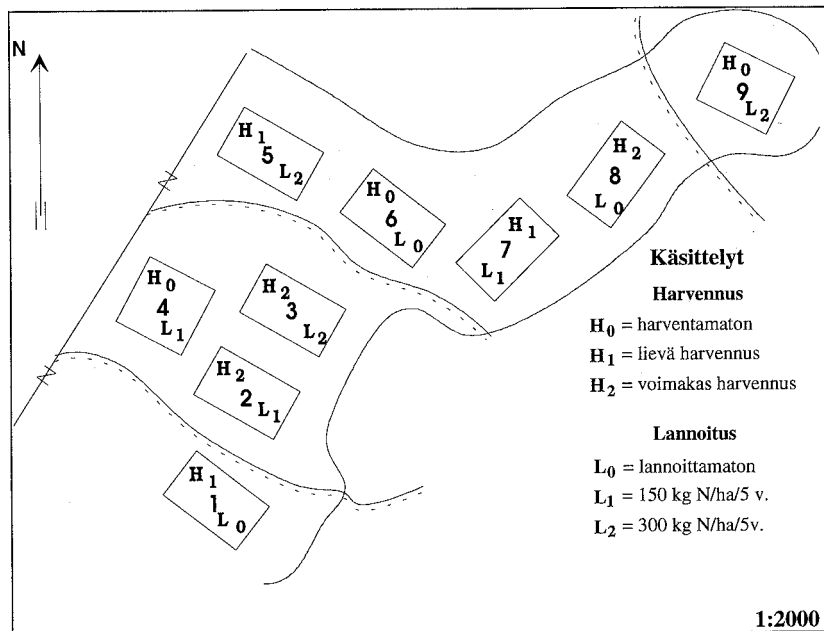
kaikki koealojen puut numeroitiin ja kartoitettiin. Kaikista puista mitattiin kuorellinen rinnankorkeusläpimitta ja määritettiin puun latvuserkos, tekninen laatu ja terveydentila (Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987). Kahdeksaan terveydentilaluokkaan, joita tutkimuksessa käsiteltiin, sisältyivät mekaaniset runko- tai latvavauriot (kaatunut puu, katkennut runko tai latva), laho, latvan vaihto, monilataisuus tai muu latvan epämuodostuma, neulaskato ja neulasten poikkeava väri. Jokaiselta koealalta valittiin satunnaisesti keskimäärin 42 koepuuta siten, että koepuista kaksi kolmasosaa oli puuston keskiläpimittaa paksumpia ja yksi kolmasosa sitä ohuempia puita (Harvennuskokeiden perustamis- ja mittausohjeet 1976). Koepuista mitattiin em. tunnusten lisäksi puun pituus, elävän latvuksen alarajan korkeus sekä läpimitta kuuden metrin korkeudelta. Perustamismittauksessa valitut koepuut mitattiin jokaisella mittauskerralla. Harvennuksessa poistuneiden koepuiden tilalle valittiin uusintamittausten yhteydessä uudet koepuut.

Puustotunnukset laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen koealojen peruslaskentaohjelmistolla (Heinonen 1994). Koealojen koepuista mitattujen pituuksien perusteella laadittiin Näslundin (1937) yhtälön mukaiset pituuskäyrät, joiden avulla lopuille koealan puille laskettiin pituudet. Koepuiden tilavuudet laskettiin Laasasenahon (1982) kolmen tunnuksen (rinnankorkeusläpimitta, pituus, läpimitta kuuden metrin korkeudella) tilavuusfunktioilla. Koaloille laskettiin pituusboniteetit Vuokilan ja

LANNOITUS-HARVENNUSKOE 507 -

Kerimäki, Kulennoinen

Mänty, VT



Kuva 2. Esimerkki koejärjestelystä.

Väliahon (1980) yhtälöillä. Lukupuiden tilavuudet laskettiin koepuaineistosta laadittujen tasoitusfunktioiden avulla. Puuston kasvu laskettiin peräkkäisiltä mittauskerroilta saatujen puustotunnusten erotuksena. Eri puutavaralajien tilavuuksien laskennassa käytettiin seuraavan asetelman mukaisia pituus- ja läpimittarajoja.

Puutavaralaji	Pölkyn pituus	Minimiläpimitta
Tukkipuu	3,1 m	20,5 cm
	3,4–3,7 m	18,5 cm
	4,0 m	16,5 cm
	4,3–6,1 m	14,5 cm
Kuitupuu	yli 2 m	5,5 cm

Harvennus- ja lannoituskäsittelyjen päävaikutuksia sekä niiden yhdysvaikutuksia puustotunnusten kehittymiseen testattiin kovarianssianalyysillä. Ko-

varianttina käytettiin koalojen pituusboniteettia. Tuloksia esiteltäessä tilastollisiin testeihin viitataan esittämällä riskitaso (esim. $p = 0,003^{***}$), jossa testin tilastollinen merkitsevyyssluokka on esitetty tähdillä. Todetut erot katsottiin tilastollisesti merkitseviksi riskitasolla 1 % ($p < 0,01^{***}$), jokseenkin merkitseviksi riskitasolla 5 % ($p < 0,05^{**}$) ja suunta-antaviksi riskitasolla 10 % ($p < 0,1^*$). Tarkasteltaessa harvennusvoimakkuuden ja harvennusajankohdan vaikutusta puuston kehitykseen analyysiin otettiin mukaan ainoastaan kokeiden lannoittamattomat koalat.

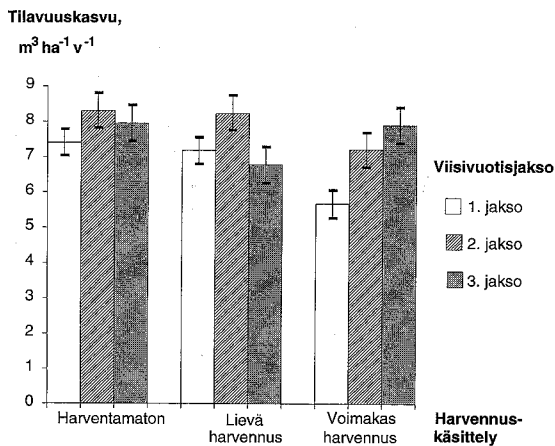
3 Tulokset

3.1 Harvennuksen vaikutus puuston kasvuun ja tuotokseen

3.1.1 Metsikön pohjapinta-alan ja tilavuuden kasvu

Harvennusvoimakkuuden vaikutus puuston pohjapinta-alan kasvuun 15 vuoden seurantajakson aikana oli vähäinen. Harventamattomilla koaloilla kasvut olivat suurempia kuin harvennetuilla koaloilla, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p = 0,914$). Pohjapinta-alan vuotuinen keskimääräinen kasvu oli harventamattomilla koaloilla keskimäärin $0,70 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, lievästi harvennetuilla $0,69 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ja alussa voimakkaasti harvennetuilla $0,67 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

Puuston vuotuinen keskimääräinen tilavuuskasvu harventamattomilla koaloilla oli keskimäärin $7,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, lievästi harvennetuilla $7,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ja voimakkaasti harvennetuilla koaloilla $6,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Harvennus vaikutti tilavuuskasvuun eniten harvennusta seuranneella ensimmäisellä viisivuotiskaksolla. Alussa voimakkaasti harvennetuilla koaloilla (H_2) puuston määrän tuntuva aleneminen vähensi tilavuuskasvua ensimmäisen viisivuotiskauden ai-



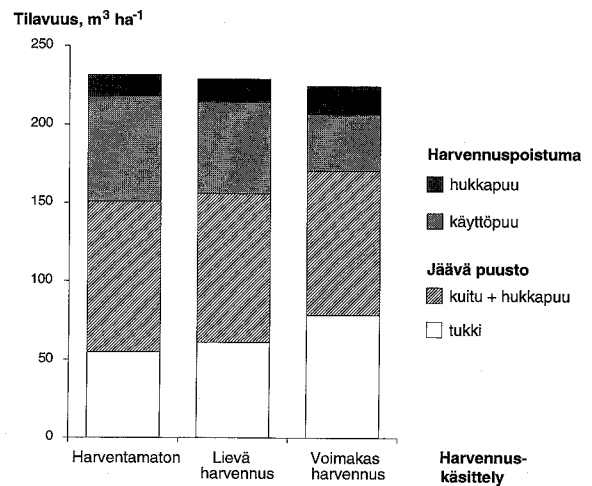
Kuva 3. Puuston vuotuinen kovarianssikorjattu tilavuuskasvu (käsittelykeskiarvo \pm keskihajonta) eri harvennuskäsittelyissä.

kana sekä harventamattomiin ($p = 0,004^{***}$) että lievästi harvennetuihin koaloihin ($p = 0,010^{**}$) verrattuna. Vastaavan suuruisia eroja ei todettu enää toisella ja kolmannella kasvujaksolla (kuva 3). Harventamattomilla koaloilla (H_0) kasvujaksojen välinen tilavuuskasvun vaihtelu oli vähäistä. Kaksi kertaa lievästi harvennetuilla koaloilla (H_1) toisen harvennuksen seurauksena kasvu pieneni viimeisellä viisivuotiskaksolla harvennusta edeltävään kasvujaksoon verrattuna ($p = 0,034^{**}$).

3.1.2 Puuston kokonaistuotoksen määrä ja rakenne

Seurantajakson loppuun mennessä saavutettu kokonaistuotos laskettiin ensiharvennuskertymien ja jakson lopussa kasvamaan jätetyn puuston tilavuusien summana. Suurin kokonaistuotos saavutettiin koaloilla, joilla ensiharvennusta viivästyttiin. Aikaisemmin harvennetuilla koaloilla tuotokset olivat hieman pienemmät, mutta käsittelyjen väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p = 0,289$). Kokonaistuotos seurantajakson loppuun mennessä oli keskimäärin $228 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (kuva 4).

Kasvamaan jätetyn puuston kokonaistilavuus tarkastelujakson lopussa oli keskimäärin $159,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, josta käyttöpuuta oli $155,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (97,5 %).



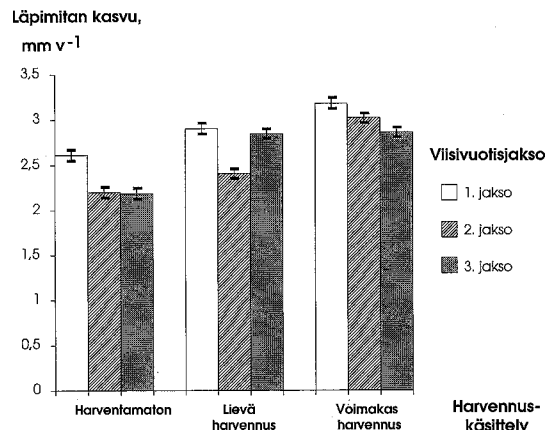
Kuva 4. Seurantajakson loppuun mennessä saavutetun kokonaistuotoksen määrä ja rakenne eri harvennuskäsittelyissä.

Tilavuus oli suurin seurantajakson alussa voimakkaasti harvennetuilla koealoilla. Ero harventamattomina kasvaneisiin koealoihin oli $19,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ($p = 0,036^{**}$). Aikainen harvennus nopeutti puuston järeytymistä. Jäävän puuston keskiläpimitta tarkastelujakson ajan harventamattomina kasvaneilla ja vasta jakson lopussa harvennetuilla koealoilla (H_0) oli 17,3 cm, kaksi kertaa lievästi harvennetuilla (H_1) 17,4 cm ja alussa voimakkaasti harvennetuilla koealoilla (H_2) 18,2 cm. Harvennuskäsittelyiden H_2 ja H_0 välinen ero puiden keskiläpimitoissa oli 0,9 cm ($p = 0,077^*$). Harventamattomana kasvaneilla koealoilla tukkipuuston osuus kasvatettavan puuston tilavuudesta oli 36,4 %, kun se alussa voimakkaasti harvennetuilla koealoilla oli keskimäärin 45,9 % ($p = 0,043^{**}$).

Suurin ensiharvennuskertymä, $66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ saatiin myöhään harvennetuilta koealoilta (H_0). Kaksi kertaa lievästi harvennetuilta koealoilta poistuman tilavuus oli $58 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Alussa voimakkaasti harvennetuilla koealoilla kertymän määrä oli odotetusti pienin, $36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Ensiharvennuksen viivästyttäminen 15 vuodella vaikutti luonnollisesti poistuman järeYTEEN. Vähintään kuitupuun mitat täyttävän puutavaran osuus harvennuspoistuman tilavuudesta oli 83 % poistuman keskiläpimitan (d_g) ollessa 11,5 cm. Kaksi kertaa lievästi harvennetuilla koealoilla vastaava osuus oli 80 % ($d_g = 10,6 \text{ cm}$) ja alussa voimakkaasti harvennetuilla koealoilla käyttöpuun osuus poistumasta oli 67 % ($d_g = 9,6 \text{ cm}$).

3.1.3 Ensiharvennuksessa kasvamaan jätettyjen puiden kehitys

Koska osalla koealoista (H_0) ensiharvennus tehtiin vasta seurantajakson lopussa, ei tämä tutkimus anna vielä tietoa puuston kasvusta viivästetyn ensiharvennuksen jälkeen. Tarkastelemalla ensiharvennuksessa kasvamaan jätettyjen puiden siihenastista kehitystä voidaan kuitenkin saada kuva puiden kasvukunnosta ensiharvennushetkellä ja arvioida sen perusteella odotettavissa olevaa kasvureaktiota myös viivästytetyn ensiharvennuksen jälkeen. Harvennusvoimakkuuden ja harvennuksen viivästymisen vaikutusta puiden kasvuun tutkittiin tarkastelemalla 15 vuoden seurantakauden lopussa kasva-

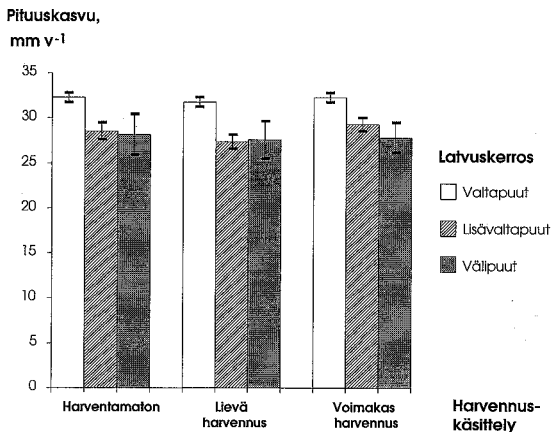


Kuva 5. Seurantajakson lopussa kasvamaan jätettyjen koepuiden vuotuisen läpimittan kasvu (käsittelykeskiarvo \pm keskiahjonta) mittaussyksöittäin eri harvennuskäsittelyissä.

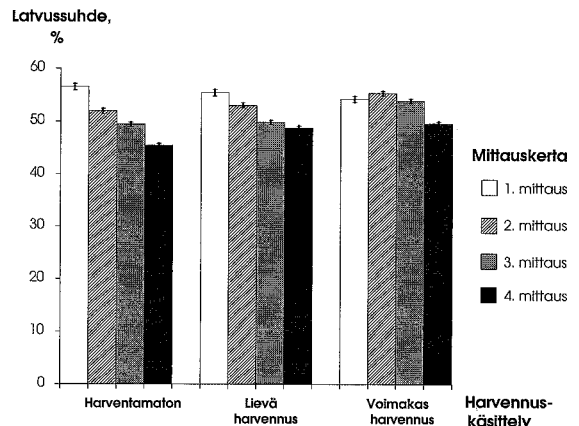
maan jätettyjen koepuiden kasvuja kolmen viisivuotisjakson aikana.

Koepuiden läpimitta kasvoi nopeimmin kokeiden alussa voimakkaasti harvennetuilla koealoilla (H_2) (kuva 5). Seurantajakson ajan harventamattomana kehittyneillä koealoilla (H_0), joilla ensiharvennusta viivästyttiin 15 vuodella, puiden paksuuskasvu oli selvästi hitaampaa kuin harvennetuilla koealoilla ($p < 0,0001^{***}$). Ensimmäisellä viisivuotisjaksolla harventamattomien koealojen koepuiden läpimittan kasvu oli 82 % voimakkaasti harvennettujen koealojen puiden kasvusta, toisella jaksolla 73 % ja kolmannella kasvujaksolla 77 %. Näillä koealoilla toisen ja kolmannen viisivuotisjakson kasvut olivat pienemmät kuin ensimmäisen jakson aikana ($p < 0,0001^{***}$). Vaikka puuston tiheys kasvoikin tasaisesti koko 15 vuoden seurantajakson ajan, puiden läpimittan kasvu ei enää heikentynyt siirryttäessä toisesta kolmanteen viisivuotisjaksoon ($p = 0,854$). Harvennetuilla koealoilla läpimittan kasvut olivat suurimmillaan harvennusta seuraavan viisivuotisjakson aikana, ts. harvennuksen aikaansaama puiden läpimittan kasvureaktio oli varsin nopea.

Harvennus ei vaikuttanut puuston valtapituuden kehitykseen. Valtapituus lisääntyi käsittelystä riippumatta vuosittain keskimäärin 32 cm. Harvennuksissa kasvamaan jätettyjen koepuiden pituusmittausten perusteella vertailtiin eri latvuserroksiin luoki-



Kuva 6. Seurantajakson lopussa kasvamaan jätettyjen, eri latvuskerroksiin kuuluvien koepuiden keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu 15 vuoden seurantajakson aikana (käsittelykeskiarvo \pm keskihajonta).



Kuva 7. Tutkimusjakson lopussa kasvamaan jätettyjen koepuiden latvussuhteen kehitys mittausjakson aikana eri harvennuskäsittelyissä (kovarianssikorjattu käsittelykeskiarvo \pm keskihajonta).

teltujen puiden keskimääräisiä pituuskasvuja. Harvennusvoimakkuudesta riippumatta valtapuilla pituuskasvu oli nopeampaa kuin vallittujen latvuskerrosten puilla ($p = 0,0005^{***}$) (kuva 6). Lisävaltapuiden pituuskasvu oli keskimäärin 88,5 % ja välipuiden kasvu 86,8 % valtapuiden pituuskasvusta.

Tarkastelujakson lopussa valtapuiden pituuksien väliset erot eri harvennuskäsittelyiden välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Harventamattomilla koealoilla valtapuiden keskipituus oli 16,6 m kaksi kertaa lievästi harvennetuilla 16,6 m ja jakson alussa voimakkaasti harvennetuilla koealoilla 16,5 m.

3.2 Harvennuksen vaikutus latvussuhteen kehitykseen

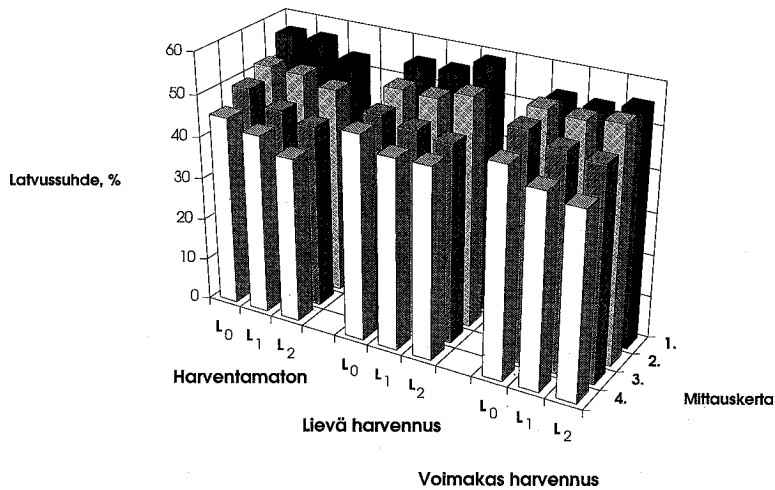
Puun latvuksen kokoa kuvaavana tunnuksena käytettiin latvussuhdetta, joka ilmaisee puun elävän latvuksen pituuden suhteellista osuutta puun koko pituudesta. Puuston keskimääräisellä latvussuhteella tarkoitetaan koalan koepuiden latvussuhteiden aritmeettista keskiarvoa. Kokeiden perustamishetkellä elävän latvuksen osuus koepuiden pituudesta oli keskimäärin 55,4 % koepuiden keskipituuden ollessa 11,1 m.

Harventamattomilla koealoilla (H_0) tiheydestä johtuva puiden alimpien oksien kuoleminen johti latvussuhteen pienenemiseen seurantajakson aikana. Latvussuhde pieneni tasaisesti, joskin melko hitaasti. Tarkastelujakson lopussa kasvamaan jäte-

tyillä puilla latvussuhde pieneni 15-vuoden jakson aikana keskimäärin 0,86 %-yksikköä vuodessa. Tarkastelujakson lopussa näiden puiden latvussuhde oli keskimäärin 45,4 % (kuva 7). Latvussuhteen pienenemisestä huolimatta elävän latvuksen absoluuttinen pituus kasvoi ensimmäisen ja kolmannen mittauskerran välillä 6,5 m:stä 7,4 m:iin. Kolmannen ja neljännen mittauskerran välillä absoluuttisetkin latvuspituudet alkoivat pienentyä ja olivat tarkastelujakson lopussa 7,3 m.

Lievän harvennuksen jälkeen (H_1) latvussuhteet pienenivät hieman sitä seuranneiden kahden viisivuotisjakson aikana. Toinen harvennus lähes pysäytti latvussuhteen vähenemisen viimeisellä kasvujaksolla. Latvussuhde pieneni 15 vuoden seurantajakson aikana selvästi vähemmän kuin harventamattomilla koealoilla ($p < 0,0001^{***}$). Harvennuskäsittelyssä H_1 keskimääräinen latvussuhde seurantajakson lopussa oli 48,7 %. Absoluuttinen latvuspituus kasvoi 15 vuoden tarkastelujakson aikana 6,4 m:stä 7,8 m:iin.

Voimakkaan harvennuksen seurauksena (H_2) puiden alimpien oksien kuoleminen näytti pysähtyneen harvennuksen vuoksi, jolloin puiden latvussuhteet ja latvusten absoluuttiset pituudet kasvoivat aluksi voimakkaasti. Puiden kasvaessa metsikön sisäinen varjostus alkoi kuitenkin lisääntyä näilläkin koealoilla, minkä seurauksena latvusten alimmat oksat alkoivat kuolla pienentäen latvussuhtet-



Kuva 8. Tarkastelujakson lopussa kasvamaan jätettyjen koepuiden latvussuhteen kehitys eri harvennus- ja lannoituskäsittelyillä tarkastelujakson aikana.

ta viimeisen viisivuotisjakson aikana. Tarkastelujakson lopussa elävän latvuksen osuus puiden kokopituudesta oli keskimäärin 49,6 %, eli 4,1 %-yksikköä suurempi kuin harventamattomana kasvaneilla puilla ($p < 0,0001^{***}$). Latvusten pituus kasvoi 15 vuoden jakson aikana 6,2:sta 7,8 m:iin.

Puuston kasvatustiheyden vaikutusta latvussuhteen kehitykseen tarkasteltiin harventamattomilla koealoilla (H_0), joilla puuston runkoluvut kokeiden perustamishetkellä vaihtelivat välillä 1 790–3 230 kpl/ha. Tuon tiheysvaihtelun puitteissa ei todettu tilastollista riippuvuutta puuston kasvatustiheyden ja latvussuhteen kehityksen välillä.

3.3 Lannoituksen vaikutus puuston kehitykseen

3.3.1 Puuston kasvu ja tuotos

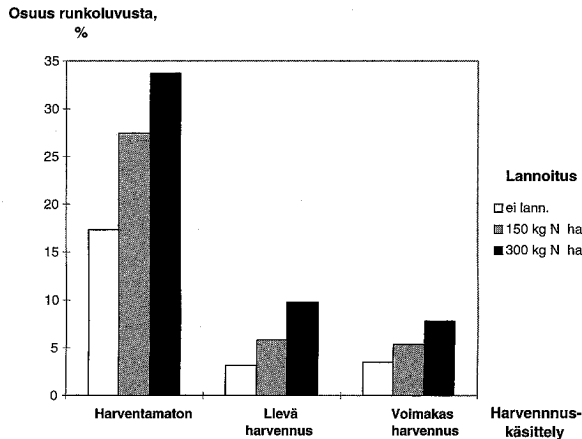
Typpilannoitus lisäsi puuston kasvua kaikissa harvennuskäsittelyissä tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,0001^{***}$). Vuotuinen tilavuuskasvun lisäys oli keskimäärin 3,2 m³ ha⁻¹ (44 %) lannoitemäärällä 150 kg N ha⁻¹ ja 2,7 m³ ha⁻¹ (37 %) lannoitemäärällä 300 kg N ha⁻¹. Lannoitemäärän lisäys 150:sta 300 kg ha⁻¹ näytti siten jopa vähentäneen kasvunlisäystä, mutta näiden lannoituskäsittelyiden väliset tilavuuskasvujen erot eivät olleet tilastollisesti mer-

kitseviä ($p = 0,272$). Lannoitus nopeutti puiden läpimitan kasvua keskimäärin 40,0 %:lla ja keskipituuden kasvua 15,2 %:lla. Harvennuksen ja lannoituksen yhdysvaikutus ei osoittautunut tilastollisesti merkitseväksi läpimitan ($p = 0,746$), pituuden ($p = 0,632$) eikä tilavuuskasvun ($p = 0,739$) osalta.

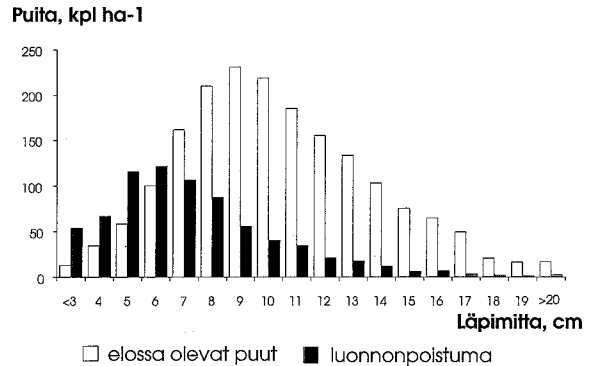
Seurantajakson lopussa kasvamaan jätetyn puuston kokonaistilavuus oli lannoitetuilla koealoilla suurempi kuin lannoittamattomilla koealoilla kaikissa harvennuskäsittelyissä. Puuston tilavuudet olivat lannoitetuilla koealoilla keskimäärin 195 m³ ha⁻¹ (L_1) ja 200 m³ ha⁻¹ (L_2), kun tilavuus lannoittamattomilla koealoilla oli keskimäärin 159 m³ ha⁻¹. Lannoitetuilla koealoilla käyttöpuun tuotos tarkastelujakson loppuun mennessä oli 21 % suurempi kuin lannoittamattomilla koealoilla. Kertalannoitemäärän lisääminen 150 kg:sta 300 kg:aan ei vaikuttanut merkitsevästi käyttöpuun tuotokseen.

3.3.2 Latvuston kehitys

Lannoitus nopeuttaa sekä puiden rungon että latvusten kasvua. Sen seurauksena puuston tihentyminen nopeutuu ja metsikön sisäinen varjostus kasvaa. Varjostuksen lisääntyminen ilmeni selkeästi tarkasteltaessa puiden latvussuhteen kehitystä lannoitetuilla koealoilla (kuva 8). Harvennuskäsitte-



Kuva 9. Luonnonpoistuman osuus lähtöpuuston runkoluvusta tarkastelujakson aikana eri harvennus- ja lannoituskäsittelyissä.



Kuva 10. Elossa olevien ja mittausjakson aikana luonnonpoistumana kuolleiden puiden (kpl ha⁻¹) läpimittajakaudat harventamattomilla koaloilla kokeiden perustamishetkellä.

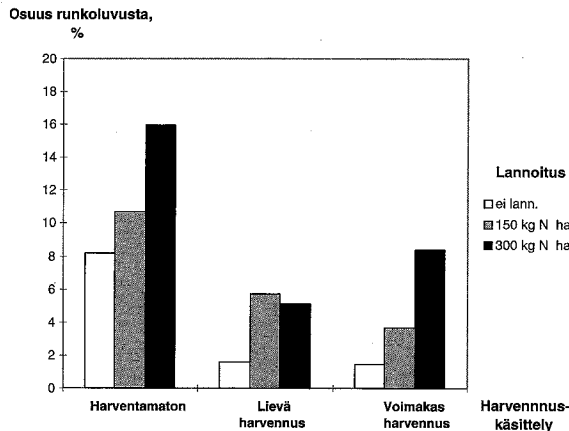
lystä riippumatta puiden latvusuhheet pienenevät sitä nopeammin mitä suurempi lannoitemäärä koalalle oli levitetty. Selvimmin lannoituksen vaikutus ilmeni harventamattomilla koaloilla, joilla latvusuhde jakson lopussa kasvamaan jätetyillä puilla oli voimakkaasti lannoitetuilla koaloilla keskimäärin 39,3 %, kun harventamattomilla ja lannoitamattomilla koaloilla se oli 45,3 %. Sekä lannoitus- että harvennuskäsittelyiden vaikutus latvussuhteisiin oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,0001^{***}$), samoin kuin niiden yhdysvaikutuskin ($p = 0,0002^{***}$).

Voimakkaasti lannoitetuilla ja harventamattomilla koaloilla (H_0L_2) puiden elävän latvuksen keskimääräinen pituus lisääntyi 6,6 m:stä 6,8 m:iin tarkastelujakson ensimmäisen 10 vuoden aikana. Sitä seuranneen viiden vuoden aikana latvukset supistuivat 6,7 m:iin. Kaksi kertaa lievästi harvennetuilla ja lannoitetuilla koaloilla (H_1L_1 , H_1L_2) latvuspituudet kasvoivat tasaisesti koko tarkastelujakson ajan, joskin sitä hitaammin mitä enemmän koaloja oli lannoitettu. Voimakkaasti harvennetuilla ja lannoitetuilla koaloilla latvuspituudet kasvoivat 10 vuoden ajan, mutta viimeisellä 5 vuoden mittausjaksolla latvuspituus säilyi ennallaan 7,8 m:ssä 150 kg:n typpimäärällä lannoitetuilla koaloilla (H_2L_1), ja vastaavasti supistuivat 7,6:sta 7,4 m:iin 300 kg:n typpimäärällä lannoitetuilla koaloilla (H_2L_2).

3.4 Luonnonpoistuma

Koemetsiköissä ei todettu laajoja puustotuhoja tarkastelujakson aikana. Koaloilla mitattu luonnonpoistuma oli siten pääasiassa puuston ylitheydestä aiheutuvaa puuston luontaista itseharvenemistä. Luonnonpoistuman määrä oli odotetusti suurin harventamattomina kasvaneissa metsiköissä, joissa tarkastelujakson aikana lannoittamattomilla koaloilla kuoli 17,3 % ja voimakkaasti lannoitetuilla 33,7 % kokeiden perustamishetken runkoluvusta (kuva 9). Harventamattomilla koaloilla puuston itseharveneminen kiihtyi tarkastelujakson loppua kohden. Luonnonpoistuman kokonaisrunkoluvusta 26 % kuoli ensimmäisen viisivuotijakson aikana, 30 % toisen ja 44 % viimeisen viisivuotijakson aikana. Lannoituksen aikaansaama puuston tiheyden nopeutuminen lisäsi myös luonnonpoistumaa ($p < 0,0001^{***}$). Kaikissa harvennuskäsittelyissä luonnonpoistuman määrä oli sitä suurempi mitä enemmän puustoa oli lannoitettu. Voimakkaasti lannoitetuilla koaloilla myös puustovaurioiden yleistyminen kasvatti luonnonpoistumaa.

Luonnonpoistuma kohdistui metsikön pienimpiin puihin (kuva 10). Harventamattomilla koaloilla luonnonpoistumana kuolleiden puiden keskiläpimitta mittausjakson alussa oli 7,3 cm, kun se elossa säilyneillä puilla oli 10,4 cm. Sen vuoksi luonnonpoistuman osuus puuston kokonaistuotoksesta 15



Kuva 11. Vaurioituneiksi luokiteltujen puiden osuudet koelan runkoluvusta tarkastelujakson lopussa eri harvennus- ja lannoituskäsittelyissä.

vuoden tarkastelujakson loppuun mennessä oli harventamattomilla ja lannoittamattomilla koaloilla (H_0L_0) keskimäärin vain 5,4 % ja harventamattomilla ja voimakkaasti lannoitetuilla koaloillakin (H_0L_2) vain 13,9 %.

3.5 Puustovauriot

Tarkastelujakson lopussa tehdyn puiden terveydentilaluokituksen perusteella (ks. luku 2) elossa olleista puista vaurioituneiksi luokiteltiin 7,9 %. Sekä harvennusvoimakkuus että lannoitus vaikuttivat puustovaurioiden määrään ($p < 0,0001^{***}$) (kuva 11). Vauriot olivat keskimäärin sitä yleisempiä mitä enemmän puustoa oli lannoitettu. Lannoittamattomilla koaloilla vaurioituneiden puiden osuus oli keskimäärin 3,7 %, kun niiden osuus oli voimakkaasti lannoitetuilla koaloilla 9,8 %. Harventamattomilla koaloilla puustovauriot olivat yleisempiä kuin harvennetuilla koaloilla. Aineiston varianssianalysissä harvennuksen ja lannoituksen päävaikutusten lisäksi myös niiden yhdysvaikutus puustovaurioiden yleisyyteen osoittautui tilastollisesti merkitseväksi ($p = 0,006^{***}$). Eniten vaurioituneita puita todettiin harventamattomilla ja voimakkaasti lannoitetuilla koaloilla (H_0L_2), joilla 16 % puista luokiteltiin vaurioituneiksi.

Yleisimpiä vaurioista olivat mekaaniset puusto-

vauriot. Tuohon luokkaan luettiin kaatuneet tai katkenneet puut, joiden osuus vaurioituneiksi luokitelluista puista oli 51 %. Tavallisimpana syynä mekaaniseen vaurioon oli lumi tai tuuli. Eniten lumi- ja tuulituhoja tavattiin harventamattomina kasveneilla ja lannoitetuilla koaloilla ja vastaavasti vähiten alussa voimakkaasti harvennetuilla ja lannoittamattomilla koaloilla. Ravinne-epätasapainoon viittaavia kasvuhäiriöitä; monilatavaisuutta tai latvanvaihtoa, todettiin keskimäärin 21 %:lla vauriopuista. Kasvuhäiriöt olivat sitä yleisempiä mitä voimakkaammin koala oli lannoitettu.

4 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa esitetyt tulokset perustuvat melko suppeaan koemetsiköistä kerättyyn aineistoon. Koemetsiköitä valittaessa tutkimusta varten keskeisenä kriteerinä oli puuston tasaisuus. Kestokokeet sijoitettiin puhtaisiin männiköihin, joiden puuston tuli olla tiheydeltään, tilajärjestykseltään ja pituudeltaan tasaista (Vuokila 1986, Harvennuskokeiden perustamis- ja mittausohjeet 1976). Näin ollen voidaan perustellusti olettaa, että koemetsiköiden puusto on rakenteeltaan tasaisempaa kuin talousmetsissä keskimäärin. Sen vuoksi tuloksia ei voida yleistää osoittamaan kasvun tasoa normaaleissa talousmetsissä. Siitä huolimatta käsittelyjä voidaan verrata keskenään ja vertailun tuloksia voidaan yleistää koskemaan käsittelyjen välistä järjestystä.

Esitetyt puuston kasvutuloksia ei ole korjattu ilmastosta aiheutuvan kasvunvaihtelun suhteen. Tarkastelujaksoon (15 vuotta) sisältyneiden viisivuotiskasvojen keskimääräiset kasvuindeksit olivat järjestyksessä 103, 93 ja 106 kasvun keskitasoa kuvaavan arvon ollessa 100 (Mielikäinen ja Timonen 1995). Kasvunvaihtelu oli tarkastelujaksojen aikana siinä määrin vähäistä ja sen vaikutus kasvuun pieni, ettei se vaikuta eri harvennuskäsittelyjen välisiin vertailuihin eikä tutkimustuloksista tehtäviin johtopäätelmiin.

Voimakas harvennus pienensi männikön tilavuuskasvua välittömästi harvennuksen jälkeen, mikä on havaittu aiemminkin (Vuokila 1981). Kuitenkin voimakkaasti harvennettujen koalojen kasvu oli jo

kaudella 10–15 vuotta harvennuksen jälkeen saman suuruinen kuin harventamattomilla koealoilla. Tilavuuskasvun pieneneminen voimakkaan ensiharvennuksen jälkeisellä 15-vuotiskaudella verrattuna harventamattoman puuston kasvuun oli $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (12 %), mikä on lähellä Isomäen (1993) esittämää noin 15 % ensiharvennuksen kasvunmenetystä. Vuokilan (1981) tutkimuksessa jäävän puuston tilavuuden laskeminen alle $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ aiheutti kasvutappioita 7-vuotiskaudella männikön ensiharvennuksen jälkeen. Tämän tutkimuksen aineistossa voimakkaasti harvennetuilla koealoilla (H_2) jäävän puuston tilavuus ensiharvennuksen jälkeen oli keskimäärin $75 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Lannoitus lisäsi tilavuuskasvua kaikilla käsittelyillä yhtä paljon, n. 40 %, riippumatta harvennusvoimakkuudesta. Lannoituksella saatu kasvunlisäys oli Kukkolan ja Saramäen (1983) ennustemallilla saadun suuruista. Lannoitemäärän lisäys 150 kg:sta 300 kg:aan ei enää lisännyt puuston kasvua.

Tässä tutkimuksessa ei tarkasteltu harvennuksen vaikutusta yksittäisten puiden runkomuodon kehitykseen. Tutkimusaineistosta tehty puiden runkomuodon kehityksen tarkastelu (Hynynen 1995b) osoitti, että harvennuksen seurauksena puiden runkomuoto muuttuu puiden läpimitan kasvun lisääntyessä rungon alaosissa. Kasvun keskittyminen rungon alimpiin osiin harvennuksen jälkeen on ilmiö, joka on todettu useissa aiemmin julkaistuissa tutkimuksissa (esim. Vuokila 1960, Assmann 1970).

Puuston kokonaistuotos laskettiin kasvatettavan puuston ja harvennuspoistuman tilavuuksien summana. Kokeiden perustamishetkellä harvennetuilla koealoilla kokonaistuotos oli hieman pienempi kuin tutkimusjakson lopussa harvennetuilla koealoilla, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Ensiharvennuksen viivästyttäminen 15 vuodella lisäsi harvennuspoistumaa 36 m^3 :stä 66 m^3 :iin hehtaarilla ja teki sen taloudellisesti edullisemmaksi kuin aikaisemmat harvennukset. Toisaalta varhaisempi ensiharvennus nopeutti puiden järeytymistä niin, että kasvatettava puusto seurantajakson lopussa oli keskimäärin lähes yhden senttimetrin paksumpaa ja puuston tilavuus n. $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ suurempi kuin 15 vuotta myöhemmin harvennetuilla, mikä merkitsee 3–5 vuoden kehitysetua. Varhain tehdyn harvennuksen puustoa järeyttävä vaikutus näkyy suurempana tukkiosuutena ja sitä kautta arvokkaam-

pina hakkuukertyminä myöhemmin. Kaikissa harvennusvaihtoehdoissa kasvamaan jätetty puusto oli ensiharvennuksen jälkeen hyväkuntoista, joten se ei tämän tutkimuksen perusteella näytä vaikuttavan harvennuksen ajankohdan valintaan.

Pesosen ja Hirvelän (1992) mukaan VT-männikössä koko kiertoajan hakkuukertymä jää harventamattomassa vaihtoehdossa harvennettuja pienemmäksi, koska osa puustosta menetetään luonnonpoistumana. Taloudellisena vaihtoehtona harventamattomuus ei ole kilpailukykyinen harvennettujen metsiköiden kanssa (Vuokila 1975, Valsta 1992, Pesonen ja Hirvelä, 1992). Sen sijaan ensiharvennuksen viivästyttäminen nykyohjeita myöhäisemmäksi on taloudellisesti perusteltua (Pesonen ja Hirvelä 1992).

Puiden latvussuhde pieneni nopeimmin harventamattomilla koealoilla, joilla se pieneni keskimäärin 0,86 %-yksikköä vuodessa. Tulos on samaa suuruusluokkaa kuin Salmisen ja Varmolan (1990) tutkimuksessa. Myös Heikinheimon (1953) tutkimien mäntyjen latvussuhteet pienenivät likimain samalla nopeudella. Kellomäen ja Tuimalan (1981) tutkimuksessa karsiutuminen ei riippunut suoraviivaisesti tiheydestä vaan hidastui tiheyden kasvaessa. Hynynen (1995a) laatiman latvussuhteen ennustemallin mukaan männyn latvussuhteen pieneneminen harventamattomassa männikössä 12–18 metrin valtapituusvaiheessa on keskimäärin 0,8 %-yksikköä vuodessa. Koivusen (1989) laatiman mallin mukainen latvussuhteen vaihtuminen pieneneminen on vastaavassa kehitysvaiheessa 0,5 %-yksikköä. Harventamattomilla koealoilla kasvamaan jätettyjen puiden latvussuhde jakson lopussa oli 45,4 %, mitä ei voida vielä pitää puun kasvukunnon kannalta liian pienenä (ks Vuokila 1987 s.44). Myöskään harventamattomien koealojen kasvut eivät osoittaneet merkittävää vähenemistä tarkastelujakson aikana. Saatujen tulosten mukaan ensiharvennuksen viivästyminen 15 vuodella noin 17,5 metrin valtapituuteen ei siis vielä johtanut koemetsiköissä puuston latvuston kunnan oleelliseen heikkenemiseen. Näitä tuloksia tukee Pääkkösen (1994) tutkimus, jonka mukaan männikössä latvussuhteen pieneneminen 30–35 %:iin ei vielä vähentänyt puuston tilavuuskasvua.

Puuston valtapituuden kasvuvauhti oli 15 vuoden mittausjakson aikana n. 30 cm vuodessa ja

jakson loppuun mennessä puusto oli saavuttanut 17,4 metrin valtapituuden. Jos oletetaan, että latvussuhteen pieneneminen ja puuston valtapituuden kasvu harventamattomilla koealoilla jatkuisi ennallaan lähivuosien aikana, niin viiden vuoden kulluttua puuston valtapituuden ollessa 19 m latvussuhde olisi 40 %. Tämän mukaan männikössä, jossa taimikonhoidosta on ajallaan huolehdittu, saavutetaan 19 m:n valtapituusvaiheessa ajankohta, johon mennessä ensiharvennus tulisi suorittaa Vuokilan (1987) ja Tapion metsänhoitosuosituksen (Metsänhoitosuositukset 1994) mukaan, jotta säilyttäisiin jäävän puuston reaktiokyky harvennuksen tuomaan lisääntyneeseen kasvutilaan. Tämän tutkimuksen koealoilla taimikonhoito oli ollut nykyohjeiden mukaan lievää, sillä runkoluvut vaihtelivat 1 790–3 230 kpl/ha ennen ensiharvennusta keskiarvon ollessa 2 590 kpl/ha. Toisaalta taimikon hoidon voimakkuuden ja latvussuhteen kehityksen välillä ei tämän tutkimuksen runkolukujen vaihtelun puitteissa ollut riippuvuutta.

Lannoitus näytti nopeuttaneen latvussuhteen pienenemistä. Aiempien tutkimusten perusteella typpilannoituksen tiedetään lisäävän puiden neulasten kokoa ja lukumäärää sekä oksien kasvua, minkä seurauksena latvuksen biomassan määrä kasvaa (Brix ja Ebell 1969, Fagerström ja Lohm 1977, Saramäki ja Silander 1982, Kellomäki ym. 1982, Valinger 1990, 1993). Latvusten tuuheutumisen ja puiden lisääntyneen kasvun myötä metsikön sisäinen varjostus ja puuston tiheys kasvaa, minkä on todettu nopeuttavan puiden oksien karsiutumista (esim. Uusvaara 1974, Kellomäki ja Tuimala 1981, Brix 1982). Toisaalta Gillespien ym. (1994) mukaan lannoituksen seurauksena puiden neulaset säilyvät elossa myös latvuston varjostetuissa alaosissa paremmin kuin lannoittamattomilla puilla hidastaen näin oksien karsiutumista. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset latvussuhteen kehityksen osalta osoittavat kuitenkin, että lannoitus kiihdyttää alimpien oksien karsiutumista. Tutkituissa koemetsiköissä puiden latvussuhteet tarkastelujakson lopussa olivat lannoitetuilla koealoilla pienemmät kuin lannoittamattomilla koealoilla kaikissa harvennuskäsittelyissä.

Harventamattomuus lisäsi selvästi puuston tiheydestä aiheutuvaa puiden kuolemista. Luonnonpoistuma keskittyi kuitenkin metsikön pienimpiin pui-

hin eikä sen taloudellinen ja tuotoksellinen merkitys ole suuri. Koska tutkituissa metsiköissä ei esiintynyt laajamittaisia lumi- tai tuulituhoja, ei tulosten perusteella voida arvioida lisääkö harventamattomuus puuston lumi- tai tuulituhoalttiutta. Laihon (1987) tutkimuksessa harvennuksen todettiin lisäävän puuston tuulituhoriskiä harvennusta seuraavien vuosien aikana. Tuossa tutkimuksessa vähiten myrskytuhoja todettiin harventamattomissa metsiköissä, joissa tuulituhot olivat heikentyneiden puiden kaatumista luonnonpoistumana.

Voimakas typpilannoitus lisäsi puustovaurioiden yleisyyttä, mikä on havaittu myös aiemmin lannoitustutkimuksissa (Lipas ym. 1983, Jalkanen 1990, Hirvelä ja Hynynen 1991). Lannoituksen on todettu lisäävän myös puuston tuulituhoriskiä (Laiho 1987, Hirvelä ja Hynynen 1991). Laihon (1987) mukaan tuulituhoriski lisääntyy 2–4 vuotta käsittelyn jälkeen ja tuhoriski on suurempi, mikäli metsikkö on lannoituksen lisäksi myös harvennettu. Vaikka tässä tutkimuksessa tuulituhojen määrä olikin varsin pieni, eniten tuulen kaatamia puita tavattiin lannoitetuilla koealoilla.

Kirjallisuus

- Assmann, E. 1970. The principles of forest yield study. Pergamon Press, Oxford. 506 s.
- Brix, H. 1982. Effects of thinning and fertilization on growth of Douglas-fir: Relative contribution of foliage quantity and efficiency. *Canadian Journal of Forest Research* 13: 167–175.
- Brix, H. & Ebell, L. F. 1969. Effect of nitrogen fertilization on growth, leaf area and photosynthesis rate in Douglas fir. *Forest Science* 15: 189–196.
- Fagerström, T. & Lohm, V. 1977. Growth in Scots pine (*Pinus silvestris* L.). Mechanism of response to nitrogen. *Oecologia* (Berl.) 26: 305–315.
- Finér, L. 1991. Effect of fertilization on dry mass accumulation and nutrient cycling in Scots pine on an ombrotrophic bog. Lyhennelmä: Lannoituksen vaikutus männyn kuivamassan kertymään ja ravinteiden kiertoon ombrotrofisella rämeellä. *Acta Forestalia Fennica* 223. 42 s.
- Gillespie, A.R., Allen, H.L. & Vose, J.M. 1994. Amount and vertical distribution of young loblolly pine trees as affected by canopy position and silvicultural treat-

- ment. Canadian Journal of Forest Research 24: 1337–1344.
- Gustavsen, H.G. & Lipas, E. 1975. Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä. Summary: Effect of nitrogen dosage on fertilization response. Folia Forestalia 246. 20 s.
- Harvennuskokeiden perustamis- ja mittausohjeet. 1976. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto. 59 s.
- Heikinheimo, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiumisesta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 41(5). 39 s.
- Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Käyttöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. 80 s.
- Hirvelä, H. & Hynynen, J. 1991. Lannoituksen vaikutus männikön kasvuun, latvavaurioihin ja tuulituhoalttiuteen Lapissa. Summary: Effect of fertilization on the growth, top damage and susceptibility to windthrow of Scots pine stands in Lapland. Folia Forestalia 764. 16 s.
- Hynynen, J. 1995a. Predicting tree crown ratio for unthinned and thinned Scots pine stands. Canadian Journal of Forest Research 25(1): 57–62.
- 1995b. Predicting the growth response to thinning for Scots pine stand using individual-tree growth models. Käsikirjoitus. Tarjottu julkaistavaksi Silva Fennicassa.
- Ismäki, A. 1993. Harvennus puuntuotannon ohjauskeinona. Julkaisussa: Myllynen, A-L. & Sinkevich, S. (toim.). Venäläis-suomalainen harvennushakkuuseminaari 9.–11.11.1992. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 7: 83–92.
- Jalkanen, R. 1990. Typpilannoituksen vaikutus mäntyjen talvenkestävyyteen kangasmailla Pohjois-Suomessa. Julkaisussa: Varmola, M. & Katermaa, T. (toim.). Metsänparannus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 362: 62–64.
- Jonsson, S. 1978. Resultat från en tioårig försöksarie med höga kvävegivor. Summary: Results from a ten-year old series of trials with high doses of nitrogen fertilizer. Föreningen Skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring, Årsbok 1977: 79–128.
- Kellomäki, S. 1979. Lannoituksen vaikutus puun laatuun. Julkaisussa: Metsänlannoitustutkimuksen tuloksia ja tehtäviä. Folia Forestalia 400: 53–57.
- & Tuimala, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots pine. Folia Forestalia 478. 27 s.
- , Puttonen, P., Tamminen, H. & Westman, C.J. 1982. Effect of nitrogen fertilization on photosynthesis and growth in young Scots pines – preliminary results. Seloste: Alustavia tuloksia typpilannoituksen vaikutuksesta nuorten mäntyjen fotosynteesiin ja kasvuun. Silva Fennica 16(4): 363–371.
- Koivunen, J. 1989. Männyn ja koivun elävien oksien alkamiskorkeuden ennustaminen. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto 44 s.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männiköissä ja kuusikoissa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 114. 55 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 108. 74 s.
- Laiho, O. 1987. Metsiköiden alttius tuulituholle Etelä-Suomessa. Summary: Susceptibility of forest stands to windthrow in southern Finland. Folia Forestalia 706. 24 s.
- Lipas, E., Levula, T. & Välikangas, P. 1983. Eräitä metsänlannoitustuloksia Lapista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 114. 14 s.
- Lämsä, P., Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1990. Nuorten mäntyjen oksikkuuden riippuvuus puuston rakenteesta ja kasvupaikan viljavuudesta. Summary: Branchiness of young Scots pines as related to stand structure and site fertility. Folia Forestalia 746. 22 s.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 257. 237 s.
- Metsänhoitosuositukset. 1994. Metsäkeskus Tapio. Moniste. 83 s.
- Mielikäinen, K. & Timonen, M. 1995. Männyn ja kuusen kasvunvaihtelu Suomessa 1963–1993. Käsikirjoitus.
- Näslund, M. 1937. Skogsförsöksanstaltens gallingsförsök i tallskog. Zusammenfassung: Die Durchforstungsversuche der Forstlichen Versuchsanstalt Schwedens in Kiefernwald. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt 29(1). 169 s.
- Pesonen, M. & Hirvelä, H. 1992. Liiketaloudelliset harvennusmallit Etelä-Suomessa. Summary: Thinning models based on profitability calculations for southern Finland. Folia Forestalia 800. 35 s.
- Pääkkönen, S. 1994. Myöhästyneen ensiharvennuksen vaikutus männikön latvussuhteeseen ja kasvuun. Käsikirjoitus pro gradu -työksi. Joensuun yliopisto. 33 s.
- Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyyppin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Summary: Development of seeded Scots pine stands

- from precommercial thinning to first commercial thinning. *Folia Forestalia* 752. 29 s.
- Salminen, O. 1993. Dynaamiseen optimointiin perustuva viljelymetsiköiden harvennusten ja kiertoajan optimointi. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 480. 48 s.
- Saramäki, J. & Silander, P. 1982. Lannoituksen ja harvennuksen vaikutus männyn latvukseen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 52. 42 s.
- Uusvaara, O. 1974. Wood quality in plantation grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 80(2). 105 s.
- Valinger, E. 1990. Inverkan av gallring, gödsling, vind och trädstorlek på tallarnas utveckling. Influence of thinning, fertilization, wind and tree size on the development of Scots pine trees. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. Avhandling*. 132 p.
- 1993. Effects of thinning and fertilization on growth of Scots pine trees: Total annual biomass increment, needle efficiency, and aboveground allocation of biomass increment. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1639–1644.
- Valsta, L. 1992. An optimization model for Norway spruce management based on individual-tree growth models. Tiivistelmä: Kuusikon käsittelyn optimointi puittaisiin kasvumalleihin pohjautuen. *Acta Forestalia Fennica* 232. 20 s.
- Viro, P. J. 1967. Forest manuring on mineral soils. *Meddelser fra Det Norske Skogsforsøksvesen* 23: 111–136.
- Vuokila, Y. 1960. Männyn kasvusta ja sen vaihtelusta harventaen käsitellyissä ja luonnontilaisissa metsiköissä. Summary: On growth and its variation in thinned and unthinned Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 52(7). 38 s.
- 1968. Karsiminen ja kasvu. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 66(5). 61 s.
- 1975. Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuotannollisena ongelmana. Summary: Thinning of young spruce plantations as a problem of timber production. *Folia Forestalia* 247. 24 s.
- 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 239. 229 s.
- 1987. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. *WSOY Porvoo*. 256 s.
- 1981. Nuoren männikön kasvureaktio ensiharvennuksen jälkeen. Summary: The growth reaction of young pine stands to first commercial thinning. *Folia Forestalia* 468. 13 s.
- & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99(2). 271 s.

47 viitettä