

Pentti Niemistö

Männikön ensiharvennus ala-, ylä- tai laatuharvennusta käyttäen

Niemistö, P. 1994. Männikön ensiharvennus ala-, ylä- tai laatuharvennusta käyttäen. Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja 1994(1): 19–32.

30-vuotiaan kylömännikön ensiharvennuksena tutkittiin kolmea harvennustapaa: alaharvennusta, laatuharvennusta ja yläharvennusta. Oksaisuuden ja puun koon välinen voimakas riippuvuus aiheutti sen, että yläharvennus ja laatuharvennus poikkesivat vain vähän toisistaan. Kasvatettavan puuston korkea laatu sopii paremmin puuvalinnan kriteeriksi kuin poistettavien puiden suuri koko. Laatuharvennus osoittautui paremmaksi, koska siinä jätettävät suurikokoisetkin puut olivat hento-osaisempia kuin puhtaassa yläharvennuksessa. Sen sijaan alaharvennus johti em. harvennustapoja paksuoksisempaan, joskin nopeammin järeytyvään puustoon. Järeys ei korvaa menetystä, joka kärsitään männyn teknisessä laadussa, jota paksuoksisuuden lisäksi heikentävät nopeasta kasvusta johtuvat leveät vuosilustot ja rungon voimakas kapeneminen.

Puuston hehtaarikohtainen tilavuuskasvu ei riippunut harvennustavasta. Tulos vahvistaa useissa muissa harvennustutkimuksissa saatua tulosta. Puunkorjuun kustannukset olivat laatu- ja yläharvennuksessa noin 20 mk/m³ pienemmät kuin alaharvennuksessa, koska poistettavien puiden keskikoko ja kuitupuukertymä olivat suuremmat. Vastaavasti myöhempien harvennusten ja päätehakkuun kustannukset kohoavat, mutta silloin kannattavuus ei ole yhtä kriittinen tekijä kuin ensiharvennuksessa.

Laatuharvennus on suositeltavaa hoidetuissa viljelymänniköissä, joissa puiden väliset laatu-erot ovat suuret. Alaharvennuksen verrattuna se on tehtävä riittävän ajoissa, etteivät suuret ja oksaiset puut ehdi heikentää pienempien, hyvälaatuisten puiden latvuksia ja kasvukykyä. Jäävän puuston määrää on tarkkailtava enemmän kuin alaharvennuksessa, koska suurimpia puita poistettaessa harvennusmallit alittuvat herkästi.

Asiasanat: mänty, *Pinus sylvestris*, ensiharvennuksset, harvennushakkuut, kasvu, oksaisuus, laatu.

Kirjoittajan yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosaarentie, 91500 Muhos.

Hyväksytty 26.7.1994

1 Johdanto

Mäntyvaltaisia viljelymetsiä tulee lähiaikoina runsaasti ensiharvennusvaiheeseen. Männyn viljely alkoi maassamme 1950-luvulla ja lisääntyi voimakkaasti 1960-luvulla. Esimerkiksi Metsä 2000-ohjelmassa asetetut harvennustavoitteet jäävät kuitenkin saavuttamatta. Harvennusrästejä kertyy etenkin ensiharvennusemetsiin, koska korjuukustannukset ovat vähäisen kertymän ja runkojen pienen koon takia korkeat. Kuitupuun vähimmäismittojen suurentaminen on pienentänyt ensiharvennuksen kertymiä ja entisestään vähentänyt harventamisen taloudellista kannattavuutta.

Pitkällä aikavälillä harvennukset ovat kannattavia ja myös välttämättömiä tukkipuuvarojen turvaamiseksi (Harvennushakkuiden... 1992, Pesonen ja Hirvelä 1992). Heikon teknisen laadun takia arvokaiden tukkipuiden saatavuus varsinkin istutusemänniköistä on kuitenkin epävarmaa (Uusvaara 1983), joten harvennuksissa pitäisi kiinnittää erityistä huomiota kasvatettavan puuston laatuun. Oksaisuus on keskeinen laatuominaisuus sekä mekaanisen että kemiallisen puuteollisuuden raaka-aineessa. Siihen voidaan vaikuttaa mm. kasvatustiheyden avulla. Männyn paksuuskasvun nopeudella on ratkaiseva vaikutus tulevan tyvitukin laatukehityksessä (Heiskanen 1965, Varmola 1980, Uusvaara 1981). Kasvatettavan puuston laatuun voidaan vaikuttaa vielä ensiharvennuksessa, mutta sen jälkeen puuston käsittelyn vaikutus jää vähäiseksi (Vuokila 1982).

Korjuukustannusten ja puiden oksaisuuden aiheuttamiin ongelmiin etsitään ratkaisua ensiharvennuksen viivästyttämisestä. Sen katsotaan edistävän oksien kuolemista ja lisäävän hakkuukertymän määrää ja suurentavan poistettavan rungon keskikokoa (Pesonen ja Hirvelä 1992). Toinen vaihtoehto on laatuharvennus, jossa poistetaan selvästi kehityksessä jälkeen jääneiden puiden lisäksi paksuoksaisimmat mutta samalla useimmiten suurikokoisimmat puut parempilaatuisten tieltä (Vuokila 1982). Toimenpide hidastaa kuitenkin puuston järeytymistä (Mielikäinen ja Valkonen 1991, Eriksson 1990), ja lisäksi pelätään kasvun alentumista ja tuhoriskien lisääntymistä.

Ensiharvennusta lykättäessä latvusten elinvoiman säilyttäminen edellyttää alhaista viljelytiheyttä tai

voimakasta taimikonharvennusta, mikä puolestaan lisää taimien kasvunopeutta ja oksikkuutta. Ongelmana on myös oksien karsiutuminen, joka Heikinheimon (1953), Heiskanen (1965) ja Oker-Blomin ja Kellomäen (1982) mukaan on hidasta harvennattomassa puustossa, jossa tuulen ja lumen mekaaninen rasitus on vähäistä. Vasta harvennushakkuussa kaadettavat puut karsivat jääviä puita ja harvennetussa metsässä luontainen karsiutuminen nopeutuu.

On ilmeistä että nykykäytäntöä myöhemmässä ensiharvennuksessa valtapuiden luontainen karsiutuminen tapahtuisi liian myöhäisessä vaiheessa parantaakseen oleellisesti tulevien tyvitukkien teknistä laatua. Hyvälaatuisen tyvitukin pitäisi karsiutua 10–15 cm läpimittaan mennessä (Vuokila 1982). Myös teknisen laadun huomioon ottaminen puuvallinnassa voi olla myöhäistä, koska hitaammin kasvaneet hento-oksaiset puut ovat jo menettäneet kasvukykyään latvusten liiallisen supistumisen takia. Lisäksi tuhoriski kasvaa ensiharvennusten viivästyessä.

Puuvallintaa männikön laatuksatavatuksessa on tutkittu niukasti. Erilaisia harvennustapakokeita on perustettu enimmäkseen kuusikoihin (Vuokila 1970, 1977) ja varttuneisiin männiköihin (Hynynen ja Kukkola 1989, Mielikäinen ja Valkonen 1991). Yläharvennusten luonteisten käsittelyjen tavoitteena ei näissä kokeissa ole ollut niinkään laadun parantaminen kuin harvennustulojen lisääminen ja puutavaralajien välisen arvokynnyksen hyväksikäyttö. Ruotsalaisissa yläharvennustutkimuksissa on ollut mukana myös ensiharvennusemänniköitä (Eriksson 1976, 1990, Nordberg 1987). Näissä tutkimuksissa ei ole havaittu männillä tilavuuskasvueroja ala- ja yläharvennusten välillä, mikäli puustopääoma jätetään yhtä suureksi.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää alaharvennuksen, laatuharvennuksen ja yläharvennuksen vaikutusta puiden kokojakaumaan, kasvuun ja ulkoiseen laatuun. Tutkimus toteutettiin harvennustapakokeena. Harvennustapojen vaikutusta kasvuun tutkittiin ensimmäisen 5-vuotiskauden kasvun avulla. Lisäksi selvitettiin harvennustapojen vaikutusta hakkuukertymään ja arvioitiin korjuukustannuksia.

2 Aineisto ja menetelmät

Harvennustapakoe sijaitsee 35 km Kajaanista etelään Kymmene Oy:n maalla (yhtenäiskoordinaatit 7103/517). Männikkö perustettiin vuonna 1958 kylvämällä kulotetulle VT-kankaalle. Taimikko harvennettiin tiheyteen 2100 kpl/ha vuonna 1968. Syksyllä 1972 taimikon valtipituus oli 3,3 metriä. Syksyn 1987 ja kevään 1988 aikana perustettiin koe, johon kuuluu 12 pinta-alaltaan 1000 m²:n koealaa vaippoineen. Koetta perustettaessa 30-vuotiaan puuston valtipituus oli 11 metriä ja pohjapinta-ala keskimäärin 21 m²/ha.

Koejärjestely muodostui kolmena toistona alaharvennuksesta, laatuharvennuksesta, yläharvennukselta ja harventamattomasta puustosta. Yläharvennetuilta koealoilta pystykarsittiin 500 parasta puuta hehtaarilla viiden metrin korkeuteen saakka keväällä 1988. Alunperin koe suunniteltiin ilman harventamattomia koealoja, joten niiden osalta käsittelyjen arvonta ei ollut satunnainen. Metsikön homogeenisuudesta johtuen tällä seikalla ei kuitenkaan ole suurta merkitystä. Ensin jokainen harvennettava alue koeleimattiin kaikkien kolmen harvennustavan mukaisesti siksi, että harvennustapojen välittömiä puustovaikutuksia voitiin tutkia kaikilla yhdeksällä koealalla. Lopuksi arvottiin kullakin koealalla toteutettavaksi jokin em. harvennustavoista. Kaikissa käsittelyissä jäävän puuston pohjapinta-ala oli harvennusmallien (Keskusmetsälautakunta Tapio 1989) tavoitteen mukaisesti 13,7 m²/ha.

Kaikissa harvennustavoissa leimattiin ensin kuolleet, sairaat ja kilpailussa kehityskelvottomiksi jääneet puut. Teknisiltä ominaisuuksiltaan vain kaikkein heikoimmat puut kuuluivat tähän joukkoon. Sen jälkeen poistettavat puut valittiin harvennustavoittain seuraavia periaatteita noudattaen:

Alaharvennuksessa poistettiin puuta alhaalta päin tavoitteena mahdollisimman suurikokoinen jäävä puusto. Suurempia puuta poistettiin ja pienempiä jätettiin vain siinä tapauksessa, että toimenpide katsottiin tarpeelliseksi tilajärjestyksen tasoittamiseksi.

Laatuharvennuksessa leimattiin kaiken kokoisia puuta pitäen rungon suoruuutta ja hento-oksaisuutta jäävän puuston tärkeimpinä ominaisuuksina. Tasaväkisissä valintatilanteissa leimattiin pienempi puu poistettavaksi.

Yläharvennuksessa poistettiin kehityskelvottomien puiden jälkeen metsikön suurimpia puuta laadusta välittämättä. Aukkoisuutta sallittiin enemmän kuin muissa vaihtoehdoissa, mutta tilajärjestys säilytettiin kuitenkin kohdullisena.

Harvennushakkuu toteutettiin keväällä 1988. Talven jäljiltä metsikössä esiintyi lumen murtamia puuta, mikä aiheutti jonkin verran muutoksia alkupe räiseen puuvalintaan. Jätettäväksi suunniteltujen katkenneiden puiden tilalle jätettiin vastaavankokoiset poistettavaksi merkityt puut kasvamaan, joten harvennusvoimakkuus ei tuhojen takia muuttunut. Korjuukustannukset moottorisahatyölle ja hakkuukoneelle laskettiin poistuman määrän ja rungon keskikoon avulla Lillebergin (Harvennushakkuiden... 1992) esittämien tulosten perusteella.

Kaikki puut yksilöitiin kartoituspisteistä suunnan ja etäisyyden avulla ja läpimitat mitattiin 1,3 m korkeudelta kartoituspisteen suunnassa ja kohtisuorasti sitä vastaan. Puista arvioitiin silmävaraisesti latvuseros, tekninen laatu ja terveydentila (Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987). Lisäksi puut luokiteltiin latvuksen muodon ja kilpailuaseman perusteella seuraavasti:

- Latvuksen muoto: 1 = normaali
2 = yhdeltä suunnalta puristunut
3 = usealta suunnalta puristunut
4 = tupsulatva

Puun kilpailuasema:

- 1 = erinomainen: todennäköinen päätehakkuupu, joka säilyttää valta-asemansa eikä sitä poisteta alaharvennuksissa
- 2 = kohtalainen: keskitasoa parempi puu, jota tarvittaessa voidaan kasvattaa päätehakkuuseen saakka
- 3 = väistyvä: keskitasoa heikompi puu, joka todennäköisesti poistetaan ennen päätehakkuuta
- 4 = kehityskelvoton: puu, jota ei pystytä kasvattamaan seuraavan harvennusjakson yli

Muista paitsi kilpailuaseman perusteella kehityskelvottomiksi luokitelluista puista laskettiin kuivien oksakiehkuroiden lukumäärä ja mitattiin 5 metrin tyvipölkystä paksuimman oksan läpimitta ja korkeus maasta. Lisäksi puista rekisteröitiin pahimman teknisen vian syy ja korkeus maasta.

Joka koealalta valittiin noin 65 koepuuta KUPO-summaimella (Laasasenaho 1973) siten, että puun todennäköisyys tulla valituksi lisääntyi puun poikkileikkauspinta-alan suhteessa. Koepuista mitattiin kohtisuorat läpimitat 6,0 metrin korkeudelta, puun pituus ja elävän latvuksen alarajan korkeus maasta.

Viisi vuotta harvennuksen jälkeen tehtiin toinen mittaus, jossa keskityttiin puiden tilavuuden mittaamiseen ja kasvun laskentaan erotusmenetelmällä. Em. laatutunnukset jätettiin tällä kertaa mittaamatta, koska ulkoinen laatu muuttuu hitaasti ja sen mittaus on työlästä. Muuten mittaus tehtiin samoin kuin ensimmäisellä kerralla. Harvennuksen jälkeen koepuita oli jäljellä keskimäärin 45 kappaletta koealaa kohti. Harventamattomilla koealoilla oli kummassakin mittauksessa noin 50 koepuuta koealalla.

3 Tulokset

3.1 Harvennustavan välittömät vaikutukset puustoon

3.1.1 Kasvatettavien puiden koko ja määrä

Jäävän puuston tunnuksot poikkesivat laatu- ja yläharvennuksessa vain vähän toisistaan. Sen sijaan

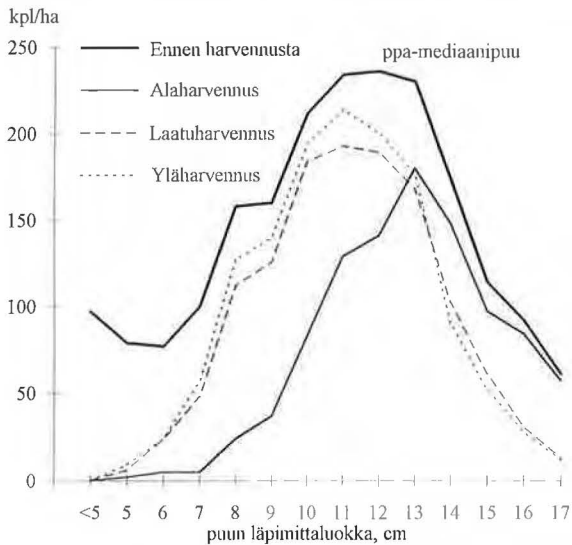
alaharvennus poikkesi niistä muiden puustotunnusten kuin pohjapinta-alan ja tilavuuden osalta (taulukko 1). Laatu- ja yläharvennuksessa runkoluku jäi 30 % suuremmaksi ja rungon keskitilavuus 20 dm³ pienemmäksi kuin alaharvennuksessa. Pohjapinta-alalla painotettu keskipituus oli alaharvennuksen jälkeen 0,5 metriä ja keskiläpimitta 1,6 cm suurempi kuin muissa harvennustavoissa. Laatu- ja yläharvennuksessa puuston valtapituus aleni välittömästi 20–30 cm, mutta alaharvennuksessa se ei muuttunut. Varttuneiden männiköiden yläharvennuksessa valtapituus laski Mielikäisen ja Valkosen (1991) mukaan 70 cm ja käsittelyä toistettaessa vielä 10–15 cm lisää.

Kaikissa harvennustavoissa poistettiin yhtä paljon poikkileikkauspinnan mediaanipuun ($d_{1,3} = 13$ cm) kokoisia puita (kuva 1). Alaharvennuksessa jätettiin kasvamaan lähes kaikki tätä paksummat puut. Laatu- ja yläharvennuksessa poistettiin vastaavasti hyvin vähän rinnankorkeusläpimittaluokkaan 7–11 cm kuuluvia puita, joita alaharvennuksessa poistettiin runsaasti. Lähes kaikki läpimitataan alle 7 cm puut poistettiin harvennustavasta riippumatta.

Taulukko 1. Kokonaispuusto ja kasvatettava puusto harvennustavoittain koealojen keskiarvona.

Puustotunnus	Harventamaton		Jäävä puusto harvennustavoittain					
	\bar{x}	s	Alaharvennus		Laatuharvennus		Yläharvennus	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Runkoluku, kpl/ha	2066	156	1010	176	1302	188	1358	182
Pohjapinta-ala, m ² /ha	21,0	1,9	13,8	0,6	13,6	0,4	13,6	0,4
Tilavuus, m ³ /ha	108	12,4	72	3,6	70	2,3	69	2,6
Rungon keskikoko, dm ³	52,6	7,8	71		53		51	
Valtapituus, m	11,1	0,4	11,1	0,4	10,9	0,4	10,8	0,4
Keskipituus, m	10,0	0,4	10,4	0,4	9,9	0,4	9,9	0,4
Keskiläpimitta, $D_{1,3}^*$, cm	12,7	0,8	13,8	1,0	12,3	0,8	12,1	0,8
Leimattu puusto:			Hakkuupoistuma harvennustavoittain					
Runkoluku, kpl/ha			1056	112	764	148	708	143
Tilavuus, m ³ /ha			36	12	38	11	39	12
Käyttöpuuta, m ³ /ha			32	12	35	11	36	12
Rungon keskikoko, dm ³			35		50		54	
Keskipituus, m			9,3	0,5	10,2	0,3	10,3	0,3
Keskiläpimitta, $D_{1,3}^*$, cm			10,5	1,1	13,4	0,7	13,9	0,9

* Pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta

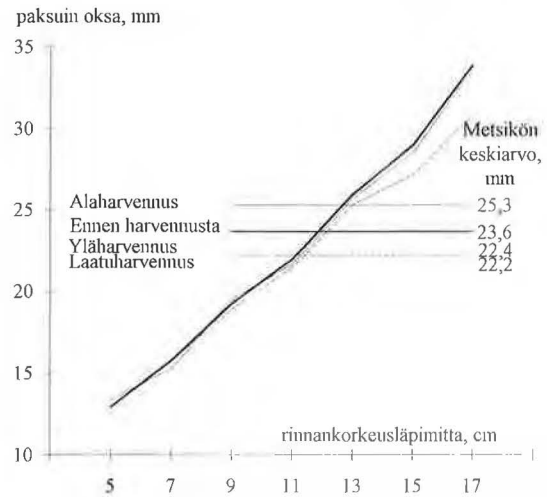


Kuva 1. Kokonaispuuston ja jäävän puuston läpimittajakaumat männikön ensiharvennuksessa.

3.1.2 Kasvatettavien puiden ulkoinen laatu

Ennen harvennusta kehityskelpoisten puiden paksuimman oksan läpimitta 5 metrin matkalla puun tyvessä oli keskimäärin 23,6 mm. Useimmiten paksuin oksa oli vielä tässä vaiheessa elossa, mutta sen kasvu oli jo loppumassa. Alaharvennuksessa jäävät puut olivat keskimäärin paksuoksaisempia (25,3 mm), mutta laatu- ja yläharvennuksessa ohutoksaisempia (22,2 ja 22,4 mm) kuin ennen harvennusta. Ero johtui pääasiassa jäävän puuston kokoeroista, koska männyn oksien paksuus korreloi voimakkaasti puun paksuuden kanssa (Varmola 1980, Salminen ja Varmola 1990). Ainoastaan laatuharvennuksessa puun läpimittaan ja paksuimman oksan läpimittaan välinen suhde muuttui teknisen laadun kannalta edullisemmaksi (kuva 2). Ero koski kuitenkin vain keskokoko suurempia puita. Muissa harvennustavoissa suhde pysyi kaiken kokoisilla puilla ennallaan.

Vaikka ero oksanpaksuudessa ylä- ja laatuharvennuksen eduksi johtuikin lähinnä jäävien puiden kokoeroista, se vaikuttaa puiden lopulliseen oksaisuuteen, koska tyvitukin oksat ovat yleensä – kuten myös tässä kokeessa – kehittyneet ensiharvennuksen mennessä lopulliseen paksuuteensa (Kellomäki 1984). Harvennuksen jälkeen puut järeyty-



Kuva 2. Harvennustavan vaikutus tyvitukin (5 m) vahvimman oksan keskiläpimittaan koko metsikössä ja erikokoisilla puilla rinnankorkeusläpimittan mukaan.

vät, mutta tyvitukin oksat eivät enää kasva, vaan kuolevat ja karsiutuvat pois siitä nopeammin, mitä ohuempia ne ovat (Heikinheimo 1953). Laatu- ja yläharvennetun puuston järeytyminen on hitaampaa, mutta laatu on parempi kuin alaharvennustavassa. Laatuharvennuksen etu yläharvennuksessa nähdään tulee näkyviin siten, että laatuharvennuksessa jätetyt puut ovat keskimäärin hiukan suurempia, mutta siitä huolimatta hento-oksaisempia kuin yläharvennuksessa jääneet.

Puista arvioitiin myös erilaiset runkoviati. Niitä esiintyi noin 5 %:lla puista. Käytännössä pääosa viallisista puista poistettiin kaikissa harvennustavoissa, joiden välille ei tässä suhteessa syntynyt eroja. Elävän latvuksen alaraja oli ennen harvennusta keskimäärin 3,6 metrin korkeudella maanpinnasta. Harvennuksessa latvusraja kohosi keskimäärin 3,8 metriin, mutta harvennustapojen välillä ei ollut eroja. Kuolleita oksakiehkuroita rungossa oli keskimäärin 9,4 kpl harvennustavasta riippumatta.

3.1.3 Harvennuskertymä

Erikssonin (1976) ja Vuokilan (1977) mukaan suhdeluksi ”poistuman keskiläpimitta / harventamatto-

man puuston keskiläpimitta” vaihtelee alaharvennuksissa välillä 0,7–0,8. Tutkimusmetsikössä suhdeluku sai alaharvennuksessa keskimäärin arvon 0,83, laatuharvennuksessa 1,05 ja yläharvennuksessa 1,03. Relaskoopin avulla mitattava suhdeluku ”pohjapinta-alan poisto-% / runkoluvun poisto-%” (Isomäki ja Niemistö 1983) sai em. järjestyksessä arvot 0,68, 0,96 ja 1,03. Jälkimmäinen tunnus kuvaa tässä tapauksessa paremmin harvennustapojen luonnetta, koska myös pieni ero laatu- ja yläharvennuksen välillä tulee näkyviin.

Kuitupuun mittavaatimukset (minimiläpimitta 6,5 cm kuoren päältä) täyttävän hakkuukertymän määrä oli alaharvennuksessa keskimäärin 32 m³/ha ja muissa harvennuksissa 3–4 m³/ha suurempi (taulukko 1). Selkeämpi ero saatiin poistettavan rungon keskitilavuudessa, joka oli alaharvennuksessa 35 dm³, laatuharvennuksessa 50 dm³ ja yläharvennuksessa 54 dm³. Runkojen koolla on merkittävä vaikutus puunkorjuun kustannuksiin. Moottorisahatyönä puunkorjuu laatu- ja yläharvennuksessa olisi tullut noin 20 mk/m³ halvemmaksi kuin alaharvennuksessa. Täysin koneellisessa puunkorjussa harvennustapojen ero olisi ollut noin 80 mk/m³ (Harvennushakkuiden... 1992). Koemetsikön ensiharvennuksessa täysin koneellinen puunkorjuu olisi ollut moottorisahatyötä kallimpaa kaikilla harvennustavoilla. Alaharvennusvaihtoehdossa ero olisi ollut noin 100 mk/m³, mutta ylä- ja laatuharvennuksessa vain 10–20 mk/m³ moottorisahatyön hyväksi.

Kaikissa kolmessa harvennustavassa kasvamaan jäävä yhteinen peruspuusto muodosti 29 % koemetsikön runkoluvusta ja 34 % tilavuudesta. Vastaavasti kaikilla harvennustavoilla poistettava puusto muodosti 19 % runkoluvusta ja 8 % tilavuudesta. Yli puolella puista ratkaistiin siis harvennustavasta riippuen kuuluiko puu jätettäviin vai poistettaviin puihin. Suuri valinnanvara johtui tässä metsikössä puuston tasaisuudesta ja varhaisesta ensiharvennusvaiheesta.

3.2 Harvennustavan vaikutus kasvuun

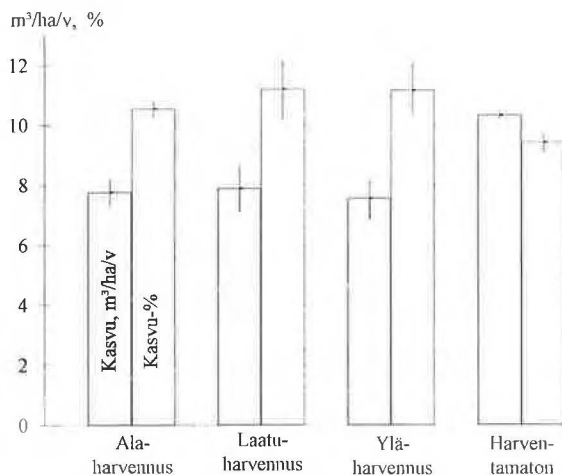
3.2.1 Puuston kasvu

Aikaisempien tutkimustulosten perusteella tiedetään, että harventaminen alentaa puustopääoman

pienemisen takia männikön tilavuuskasvu (Eriksson 1990, Salminen ja Varmola 1990). Tästäkin tutkimuksessa kasvuo 2,5 m³/ha/v harventamattomien koalojen hyväksi ensimmäisellä 5-vuotiskaudella oli tilastollisesti erittäin merkitsevä (t-testissä P-arvo = 0,00002, n₁ = 3, n₂ = 9). Sen sijaan eri harvennustavoilla käsiteltyjen puustojen kasvat eivät eroneet toisistaan. Harvennustavasta riippumatta tilavuuskasvu oli keskimäärin 7,7 m³/ha (kuva 3). Pohjapinta-alalla mitattuna yhtä voimakkaissa harvennuksissa jäi alaharvennetun puuston tilavuus vähän muita korkeammaksi, joten tilavuuden kasvuprosentti oli laatu- ja yläharvennuksessa hiukan suurempi. Ero ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä (varianssianalyyysissä P-arvo 0,54, n = 9).

Männikön kokonaistuotos kohosi 35 vuoden ikään mennessä harventamattomassa metsässä 161 m³/ha ja harvennetussa 144–151 m³/ha (taulukko 2). Suurimmat puut saavuttivat jo tukkipuun mitat. Alaharvennettu ja harventamaton puusto tuottivat tähän mennessä noin 10 m³ enemmän tukkia kuin laatu- tai yläharvennetut metsiköt, joista poistettiin juuri tukkipuukynnyksen alapuolella olevia puita.

Eri tavoin käsitellyt puustot eivät eronneet toisistaan pituustunnusten osalta ennen harvennusta. Ensimmäisenä 5-vuotiskautena valtapituuden (100 paksuinta/ha) kasvu oli laatuharvennetussa ja harventamattomassa puustossa 36 cm/v. Ala- ja yläharvennuksessa kasvu oli noin 10 cm/v pienempi



Kuva 3. Harvennustavan vaikutus männikön tilavuuskasvuun ja kasvuprosenttiin ensimmäisellä 5-vuotiskaudella harvennuksen jälkeen.

Taulukko 2. Harvennustavan vaikutus ensiharvennuskertymään ja tuotokseen.

	Koe-ala	Kertymä 1987		Tukkipuuta	Puuston tilavuus 1992			Tuotos yhteensä
		Käyttöpuuta	Hukkapuuta		Kuittupuuta m ³ /ha	Hukkapuuta	Kuollut puusto	
Ala- harvennus	1	31,4	9,7	25,2	87,2	3,7	0,5	158
	2	16,4	9,6	18,5	90,1	4,4	0,2	139
	8	19,2	11,0	5,9	96,2	5,7	0,0	138
	\bar{x}	22,3	10,1	16,5	91,2	4,6	0,2	145
Laatu- harvennus	4	55,8	6,2	2,2	104,1	6,1	1,0	175
	5	19,4	5,0	3,3	100,4	8,5	2,6	139
	7	29,4	6,4	3,6	91,1	7,2	1,3	139
	\bar{x}	34,9	5,9	3,0	98,5	7,3	1,6	151
Ylä- harvennus	3	39,4	3,5	14,9	90,5	6,6	0,2	154
	6	33,6	5,2	1,1	90,6	9,7	0,4	140
	9	27,8	5,7	1,9	90,8	9,2	0,3	136
	\bar{x}	33,3	4,8	6,0	90,7	8,5	0,3	144
Harventamaton	10			16,0	131,4	10,8	0,3	159
	11			19,7	130,9	11,6	1,7	164
	12			13,3	132,0	14,0	2,6	162
	\bar{x}			16,3	131,4	12,1	1,5	161

(t-testissä P-arvo 0,003, $n_1 = 6$, $n_2 = 6$). Pohjapinta-alalla painotetun keskipituuden kasvu ei eronnut harvennustapojen välillä, mutta harventamattomassa puustossa se oli 8,5 cm/v suurempi kuin harvennettussa (t-testissä P-arvo 0,0004, $n_1 = 3$, $n_2 = 9$).

3.2.2 Erikokoisten mäntyjen kasvu

Paksuuskasvu korreloi voimakkaasti puun läpimitan kanssa, joten sen kasvua tutkittaessa puut jaettiin harvennusajankohdan rinnankorkeusläpimittojen perusteella kuuteen ryhmään. Luokkarajoiksi valittiin 8, 10, 12, 14 ja 16 cm. Varianssianalyysin perusteella eri harvennustavat eivät eronneet läpimitan kasvun suhteen toisistaan, mutta ero harventamattomaan metsään oli merkitsevä (P-arvo 0,0001, $n = 1600$) lukuunottamatta suurimpien, yli 16 cm:n puiden ryhmää (taulukko 3). Harvennuksen jälkeisellä 5-vuotiskaudella pienet puut kasvoivat paksuutta yli millimetrin enemmän vuodessa kuin samankokoiset puut harventamattomassa metsikössä. Keskipokoisilla puilla ero oli alle millimetrin; kaikkein suurimpien puiden kasvua ei harventaminen lisännyt lainkaan.

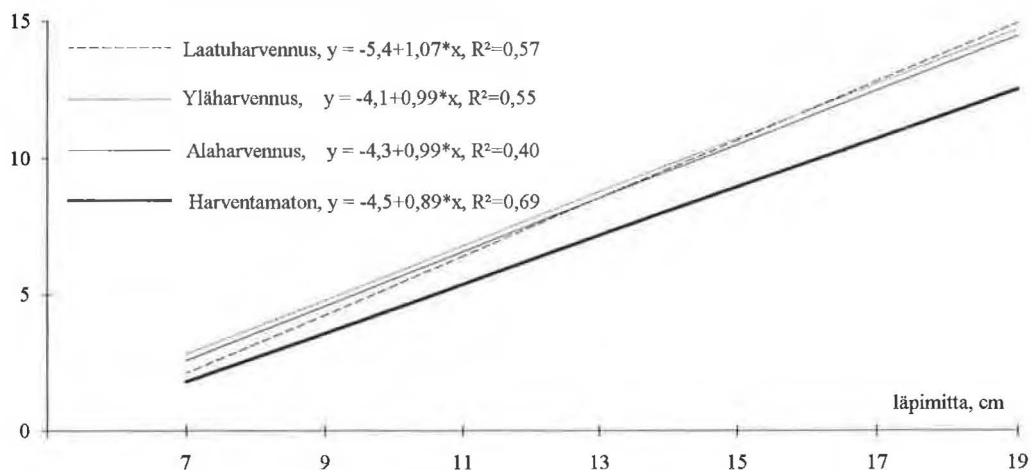
Erikokoisten puiden poikkileikkauspinnan kasvua tutkittiin kovarianssimallilla, jossa selittäjänä oli harvennustapa ja kovariaattina puun läpimitta harvennusvaiheessa. Harvennetuilla koealoilla kasvun ja puun läpimitan välinen riippuvuus oli suoraviivaista (kuva 4). Sen sijaan harventamattomassa puustossa tarvittaisiin mukaan toisen asteen termi, koska siellä suurimpien puiden paksuuskasvu lähestyy harvennusemetsän puiden kasvua. Yläharvennukseen hyväksi oleva pieni tasoero alaharvennukseen verrattuna ei ollut tilastollisesti merkitsevä (P-arvo 0,19, $n = 1600$). Kovarianssimalli selitti 62 % kasvun vaihtelusta.

Laatuharvennuksessa regressiosuoran kulmakeroin oli suurempi kuin muissa käsittelyissä. Tämä merkitsee sitä, että laatuharvennuksen jälkeen pienet puut kasvoivat vähemmän ja isot enemmän kuin ala- ja yläharvennuksen jälkeen. Puun koon ja harvennustavan yhdysvaikutus jäi pieneksi. Epävarmuutta lisäsi se, että ylä- ja laatuharvennus muistuttivat harvennustapoina suuresti toisiaan, mutta vain laatuharvennuksessa suoran suunta oli poikkeava. Toisaalta kasvamaan jätetyt pienet puut ovat läpäisseet ankaramman valinnan alaharvennuksessa kuin ylä- ja laatuharvennuksessa, joten niiden kasvukun-

Taulukko 3. Erikokoisten puiden rinnankorkeusläpimitan vuotuinen kasvu ja sen keskijajonta harventamattomassa ja eri tavoin harvennetussa männikössä 5-vuotiskaudella harvennuksen jälkeen.

Harvennustapa		Paksuuskasvu läpimittaluokittain, mm/v						Kaikki puut
		≤8 cm	8–10 cm	10–12 cm	12–14 cm	14–16 cm	> 16 cm	
Harventamaton	\bar{x}	1,1	1,9	2,7	3,2	3,7	4,2	2,7
	n	96	64	110	140	103	39	552
	s	0,78	0,99	0,91	0,88	1,01	1,08	1,32
Alaharvennus	\bar{x}	–	3,2	3,5	3,9	4,3	4,2	3,8
	n	0	14	85	101	63	33	296
	s	–	0,79	1,00	1,06	1,08	1,27	1,11
Laatuharvennus	\bar{x}	2,5	2,8	3,4	3,8	4,5	4,1	3,4
	n	25	86	125	107	36	7	386
	s	1,06	1,04	1,02	0,88	0,92	1,23	1,12
Yläharvennus	\bar{x}	2,2	3,2	3,5	3,9	4,4	4,6	3,5
	n	45	88	112	84	33	8	370
	s	1,04	1,06	1,04	1,23	1,09	0,50	1,23

poikkileikkauspinta-alan kasvu, cm^2/v



Kuva 4. Puun poikkileikkauspinta-alan kasvun riippuvuus läpimitasta ensimmäisellä 5-vuotiskaudella erilaisten harvennuskäsittelyjen jälkeen.

tokin voi olla parempi (Mielikäinen 1978). Lisäksi laatu- ja yläharvennuksessa jäävien suurten puiden kasvuympäristö muuttui harvennuksessa enemmän kuin alaharvennuksessa, joten niiden kasvukin voi olla suurempi. Laatuharvennuksessa saatua tulosta pienten puiden alemmasta ja isojen puiden korkeammasta kasvusta tukevat myös Mielikäisen ja Valkosen (1991) esittämät tulokset, joiden mukaan yläharvennuksessa kasvuun parantavat erityisesti lisävaltapuut ja alaharvennuksessa pienimmät puut.

Pituuskasvun vertailu harvennustapojen välillä voitiin tehdä yksisuuntaisella varianssianalyysillä, koska pituuskasvu ei riippunut tässä aineistossa puun läpimitasta. Harventamattomassa männikössä koepuiden keskimääräinen pituuskasvu oli 34 cm/v ja harvennetuissa 25 cm/v . Koepuille tehdyn varianssianalyysin perustella harvennustapojen kesken ei ollut eroja, mutta ero harventamattomaan oli tilastollisesti merkitsevä (P -arvo 0,0001, $n = 395$).

Taulukko 4. Mäntyjen keskimääräiset runkomuototunnukset ja niiden kehitys.

	Kokonaispuusto	Harvennettu puusto (y1)	Puusto 5 v. harvennuksesta (y2)	Regressiosuoran $y_2 = a + b \cdot d_{1,3}$ kulmakertoimen b	Muutos 5-vuotiskautena $y_2 - y_1$	Muutoksen keskihajonta
Kapeneminen, mm						
Harventamaton	5,40*	5,40	4,53	0,076	-1,03	0,65
Alaharvennus	5,14	5,29	4,43	0,062	-0,86	0,64
Laatuharvennus	5,20	4,85	4,05	0,075	-0,80	0,51
Yläharvennus	5,29	4,91	4,27	0,048*	-0,64***	0,72
Muotoluku, v/gh						
Harventamaton	0,51	0,51	0,51	0,024	0,006***	0,024
Alaharvennus	0,51	0,50	0,52	0,022	0,021	0,026
Laatuharvennus	0,51	0,52	0,53	0,037*	0,017	0,023
Yläharvennus	0,51	0,52	0,53	0,024	0,013	0,025
Solakkuus, h/d						
Harventamaton	0,79	0,79	0,82	-0,029*	0,040***	0,042
Alaharvennus	0,83	0,78	0,76	-0,037	-0,014	0,031
Laatuharvennus	0,82	0,83	0,82	-0,039	-0,011	0,042
Yläharvennus	0,82	0,84	0,82	-0,041	-0,022	0,470

* = 5 ja *** = 0,05 prosentin riskillä ero muihin käsittelyihin on merkitsevä

3.2.3 Runkomuoto ja sen muutos

Puiden runkomuotoa tarkasteltiin kapenemisen ($d_{1,3} - d_{6,0}$), rinnankorkeusmuotoluvun (v/gh) ja solakkuuden (h/d) sekä niiden muutosten avulla ($d_{1,3}$ = rinnankorkeusläpimitta 1,3 metrin korkeudelta, $d_{6,0}$ = yläläpimitta 6 m korkeudelta, h = puun pituus, g = poikkileikkauspinta-ala rinnankorkeudelta ja v = rungon tilavuus). Solakkuus voitiin laskea kaikille koepuille, mutta muut tunnusluvut vain yli 8 metrin pituisille puille, joista oli mitattu myös yläläpimitta 6 metrin korkeudelta. Puun tilavuus laskettiin männyn tilavuusfunktioilla $v = f(d_{1,3}, d_{6,0}, h)$ (Laasasenaho 1982).

Kaikki runkomuototunnukset korreloivat voimakkaasti puun läpimitan kanssa, joten sitä käytettiin kovariaattina harvennustapoja vertailtaessa. Ensin tutkittiin koemetsikön homogeenisuutta ennen harvennusta. Yksittäisten koalojen välillä tosin esiintyi joitakin merkitseviä eroja, mutta eri harvennustavoilla käsiteltävät puustot eivät eronneet toisistaan (taulukko 4) lukuunottamatta kapenemista, joka oli ennen harvennusta vähän voimakkaampaa harventamatta jäävillä kuin alaharvennettavilla koaloilla. Lisäksi laatuharvennettavilla koaloilla keskimääräistä suuremmat puut kapenivat muita koaloja vähemmän jo ennen harvennusta. Lähtö-

kohta harvennustapojen vertailulle oli kuitenkin riittävän homogeeninen.

Jäävän puuston runkomuototunnusten keskiarvot erosivat harvennustapojen välillä, koska laatu- ja yläharvennuksessa jätettävät puut olivat keskimäärin pienempiä ja siksi myös runkomuodoltaan parempia kuin alaharvennuksessa. Tunnusten keskiarvoja 5-vuotiskauden jälkeen ei sen vuoksi kannattanut verrata suoraan toisiinsa. Rinnankorkeusläpimittaa kovariaattina käyttäen testattiin regressiosuorien kulmakertoimien eroja (taulukko 4). Sen sijaan runkomuototunnusten muutos ei korreloinut puun läpimimitan kanssa, joten sitä voitiin tutkia varianssanalyysin avulla.

Viisi vuotta harvennuksen jälkeen samankokoisten puiden kapeneminen oli suurinta yläharvennuksessa etenkin keskimääräistä pienemmällä puilla. Yläharvennetussa puustossa kapeneminen muodostui muita voimakkaammaksi, koska kasvamaan jääneiden puiden tekniseen laatuun ei ole kiinnitetty huomiota ja ylhäältä päin harventaminen muuttaa jäävän puuston tuulioloja enemmän kuin alaharvennus ja lisää siten paksuuskasvua puun tyvellä (Nyysönen 1952, Vuokila 1960). Laatu- ja alaharvennuksessa samankokoisten puiden kapenemisen muutoksessa ei ollut eroa. Myöskään Mielikäinen ja Valkonen (1991) eivät havainneet runkomuodon

kehityksessä eroja ala- ja yläharvennuksen välillä. Runkojen kapeneminen väheni mittausjaksolla nopeimmin harventamattomassa männikössä, joten runkomuoto tulee kehittymään siellä parhaaksi.

Harvennuksen jälkeen rinnankorkeusläpimitan kasvu-% oli suurempi kuin pituuden kasvu-%, joten solakkuusluku pieneni. Eri harvennustavoilla solakkuuden muutos oli samanlaista. Sen sijaan harventamattomassa männikössä puut kehittyvät suuremman pituuskasvun ja hitaamman läpimitan kasvun takia harvennettuja puustoja solakammiksi.

Laatuharvennuksessa jätetyt pienet, mutta hyvälaatuiset puut erottuivat selvästi muista muotoluvun perusteella. Harventamattomilla koealoilla voimakas pituuskasvu piti muotoluvun kohoamisen vähäisempänä kuin harvennetuissa puustoissa, mutta muuten muotoluvun ja kapenemisen kehitys vastasivat toisiaan.

3.2.4 Puun kasvukykyyn silmävarainen arviointi

Silmävaraisen luokituksen perusteella latvukseltaan normaalien puiden osuus jäävistä puista oli alaharvennuksessa 93 % ja muissa harvennuksissa 75–78 %, kun niiden osuus ennen harvennusta oli 68 %. Puiden poikkileikkauspinnan kasvua rinnankorkeudella verrattiin latvusluokkien välillä erikseen harventamattomassa ja harvennetussa puustossa (kaikki harvennustavat yhdessä). Latvuksen muoto korreloi puun koon kanssa, joten läpimittaa käytettiin kovariaattina. Latvuksen muotoluokkien 2–4 välillä ei poikkileikkauspinnan kasvuissa ollut eroja, joten kasvukykyä arvioitaessa kannatti erottaa vain normaalit latvukset eri tavoin puristuneista. Harvennetussa männikössä latvukseltaan puristuneiksi arvioidut puut kasvoivat noin kolmanneksen vähemmän kuin latvukseltaan normaalit samankokoiset puut. Harventamattomassa puustossa ero oli 50 %.

Elävän latvuksen alaraja kohosi harvennustavasta riippumatta viiden vuoden aikana 4,9 metriin (muutos 1,1 m/5 v). Harventamattomassa puustossa latvusraja kohosi samana aikana lähes kaksinkertaisella nopeudella 2,0 m/5 v. Eävän latvuksen osuus puun pituudesta oli viisi vuotta harvennuksen jälkeen harvennetuilla koealoilla keskimäärin 56 % ja harventamattomilla koealoilla 51 %. Ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä (t-testissä P-

arvo 0,001, $n_1 = 9$, $n_2 = 3$). Samankokoisten puiden latvuserot harvennustapojen välillä olivat pienempiä kuin koealoittaiset erot, koska latvussuhde korreloi puun koon kanssa. Latvusrajan pienen vaihtelun ja lyhyen tarkastelujakson takia latvussuhteen ja kasvun välistä riippuvuutta ei havaittu kokeen tässä vaiheessa. Jatkossa latvusten nopea supistuminen harventamattomilla koealoilla alentaa todennäköisesti kasvua.

Ennen harvennusta kilpailuasemaltaan erinomaisia puita oli 25 %. Alaharvennuksen jälkeen ne muodostivat puolet jäävien puiden lukumäärästä. Kehityskelvottomia puita oli ennen harvennusta 15 %, ja ne poistettiin kaikilla harvennustavoilla. Kilpailuasemaltaan kohtalaiset puut muodostivat sekä harvennetuissa että harventamattomissa metsiköissä 40–45 % runkoluvusta. Väistyvien puiden osuus oli 10–15 % lukuunottamatta alaharvennusta, jossa niitä jäi kasvamaan vain 5 %.

Puun kilpailuaseman silmävaraisella luokituksella pystyttiin arvioimaan puun kasvukyky melko hyvin. Harvennetussa puustossa keskimääräistä pienemmillä puilla, joiden kilpailuasema oli kohtalainen tai väistyvä olivat kasvut 77 % ja 63 % parhaiden puiden kasvusta. Keskikokoisilla ja sitä suuremmilla puilla erot olivat pienempiä: 85 ja 80 %. Metsikön suurimpien eri luokkiin kuuluvien puiden välillä ei ollut kasvueroa. Harventamattomassa puustossa kilpailuasemaltaan erinomaisten ja kohtalaisten puiden keskinäinen kasvuero oli yhtä suuri kuin harvennetussa puustossa, mutta väistyvien puiden kasvu oli suhteellisesti alemmalla tasolla kuin harvennetussa puustossa. Tulos johtuu siitä, että harvennuksessa väistyvistä puista valikoituivat kasvamaan vain parhaat yksilöt ja niiden kasvutila lisääntyi harvennuksen ansiosta. Kehityskelvottomiksi luokiteltuja puita ei voitu verrata muihin, koska yhtä pieniä runkoja ei sanottavasti esiintynyt muissa luokissa. Niiden kasvu jäi joka tapauksessa hyvin vähäiseksi.

4 Tulosten tarkastelu

Harvennuskokeessa verrattiin kolmea harvennustapaa, joissa kaikissa jätettiin kasvamaan pohjapinta-alaltaan yhtä suuri puustopääoma. Männikön

hyvään tekniseen laatuun tähtäävässä laatuharvennuksessa poistettiin paksuoksaisuuden takia runsaasti metsikön suurimpiakin puita. Jäävän puuston läpimittajakaumat olivat laatu- ja yläharvennuksessa lähes samanlaiset, mutta ero alaharvennukseen oli selvä. Siinä lähes kaikki pohjapinta-alan mediaanipuuta suuremmat puut jäivät kasvaamaan. Aineiston pienuuden takia tulosten yleistämisessä on oltava varovainen, mutta monilta osin voidaan tukeutua laajempiin tutkimuksiin, joita tässä yhteydessä voidaan täydentää etenkin laatuharvennuksen osalta.

Alaharvennuksella tähdätään puuston nopeaan järeytymiseen (Vuokila 1980). Laatu- ja yläharvennus hidastivat järeytymistä, koska puiden lukumäärä jäi noin 30 % suuremmaksi ja keskiläpimitta 1,6 cm pienemmäksi kuin alaharvennuksessa. Puun poikkileikkauspinta-alan kasvu lisääntyi suoraviivaisesti läpimitan funktiona, joten puiden kokoero harvennustapojen välillä kasvaa myöhemminkin. Laatu- ja yläharvennuksessa poistettiin juuri tukkipuukynnyksen alapuolella olleita puita, joten 5 vuotta myöhemmin puuston tukkitilavuus oli alaharvennuskoealoilla 10 m³/ha suurempi kuin muissa harvennustavoissa. Mielikäisen ja Valkosen (1991) mukaan koko kiertoaajan kuluessa kertyvä tukkipuumäärä tai kantorahatulot eivät poikkeaa yläharvennuksen ja alaharvennuksen välillä. Sen sijaan tulojen ajoittuminen suosii yläharvennusta, jos rahan korko otetaan mukaan laskentaan.

Harvennushakkuun kustannuksia ei voitu tutkia harvennustapakokeen pienillä koealoilla. Keskimääräiset kustannukset voidaan kuitenkin laskea harvennuskertymän ja kuiturungon keskitilavuuden avulla (Harvennushakkuiden... 1992). Ylä- ja laatuharvennus alensivat korjuukustannuksia alaharvennuksen verrattuna moottorisahatyössä noin 20 mk/m³; hakkuukoneella laskennallinen ero olisi ollut noin 80 mk/m³. Syynä oli poistettavan rungon keskitilavuus, joka oli ylä- ja laatuharvennuksessa 15–20 dm³ suurempi. Kuitupuuta kertyi vastaavasti 3–4 m³/ha enemmän, koska poistuman hukkapuutosuus oli pieni. Harvennustavan valinnalla voidaan näin ollen vaikuttaa hakkuun kannattavuuteen, joka on ensiharvennusten toteuttamisen suurimpia ongelmia. Toisaalta myöhemmät harvennuksat ja päätehakkuu ovat alaharvennusemetsikössä kannattavampia, mutta silloin korjuukustannukset eivät

ole enää yhtä kriittinen tekijä. Aalaharvennuksen etuna on myös se, että harvennuskertoja tarvitaan vähemmän kiertoaajan loppuun mennessä. Toisaalta ylä- ja laatuharvennuksessa voidaan hyötyä kiertoaajan pidentämisestä 10–20 vuodella (Mielikäinen ja Valkonen 1991).

Alaharvennuksen verrattuna puiden paksuoksaisuus väheni sekä laatu- että yläharvennuksessa. Ero johtui pääasiassa puiden kokoeroista, koska paksuimman oksan läpimitta riippui puun rinnan korkeusläpimitasta (vrt. Varmola 1980). Tyvitukin oksat ovat kuitenkin ensiharvennuksen mennessä pääasiassa kuolleita eikä elävienkään oksien läpimitta yleensä kasva enää seitsemän oksakiehkuran alapuolella männyn latvasta lukien (Kellomäki 1984). Oksien paksuusero jää siis pysyväksi tyvitukin osuudella ja puun laatu paranee, koska ohuet oksat sekä varisevat että kyljestyvät nopeammin. Laatuharvennuksen edullinen vaikutus laatuun oli tässä aineistossa pieni verrattuna kaavamaisempaan yläharvennukseen. Periaatteellinen ero menetelmien välillä on selvä. Laatuharvennuksessa kasvatettavaksi valitaan riittävä määrä laadultaan parhaita puita eikä poistumaan sinänsä kiinnitetä huomiota.

Kasvatettavan puuston läpimittajakaumassa ja vahvimman oksan keskiläpimitassa ei ollut suuria eroja laatu- ja yläharvennuksen välillä, mutta laatuero on kuitenkin olemassa. Yläharvennetussa puustossa samankokoiset valtapuut olivat paksuoksisempia kuin laatuharvennetussa. Rungon kapeenemisesta saatiin samankaltaisia tuloksia kuin vahvimista oksista, mikä on ymmärrettävää runkomuodon ja oksikkuuden välisen riippuvuuden takia (Kellomäki ym. 1992). Aalaharvennettu puusto oli jo valmiiksi voimakkaasti kapenevaa ja yläharvennuksen jälkeen runkomuodon kehitys oli epäedullista. Männyn runkomuoto kehittyi suotuisasti sekä harventamattomassa että laatuharvennetussa puustossa.

Luontaisen karsiutumisen kannalta pienikin ero oksanpaksuuksissa voi olla merkityksellinen. Aalaharvennuksen verrattuna puuston pituusvaihtelu lisääntyy laatu- ja yläharvennuksessa ja se nopeuttaa Heikinheimon (1953) ja Oker-Blomin ja Kellomäen (1982) mukaan kuivien oksien karsiutumista lumen, tuulen ja lähipuuden vaikutuksesta.

Alaharvennuksessa kasvu pyritään keskittämään metsikön kasvuisimpiin puihin. Tuotoksen on pe-

lätty alenevan yläharvennuksen luonteisten käsitteilyjen seurauksena. Harvennustutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että harvennusreaktio on voimakkain kasvatettavan puuston pienimmissä yksilöissä, joiden kasvuprosentti on myös suurin (Mielikäinen 1978). Kotimaisissa tutkimuksissa on todettu yläharvennuksen lisänsen 7,6 % varttuneen metsän tuotosta (Mielikäinen ja Valkonen 1991) verrattuna yhtä voimakkaaseen alaharvennukseseen 60–85 vuoden iässä. Erikssonin (1990) mukaan harvennustavat tuottivat yhtä paljon puuta lukuunottamatta Etelä-Ruotsin kuusikoita, joissa alaharvennus oli tuottoisampi. Aineistoon sisältyi myös ensiharvennusmänniköitä eikä niissäkään esiintynyt yläharvennuksen jälkeen kasvutappioita. Samanlaiseen tulokseen päätyi Nordberg (1987).

Tutkimusmetsikössä ei puuston tilavuuskasvussa ollut eroja ensimmäisellä 5-vuotiskaudella eri harvennustapojen välillä. Pohjapinta-alan mukaan määritellyn harvennusvoimakkuuden takia kasvatettavan puuston tilavuus oli alaharvennuksessa vähän suurempi kuin muissa, joten laatu- ja yläharvennus eivät ainakaan alentaneet puuston kasvukykyä. Kun kasvutappiota ei esiintynyt heti harvennuksen jälkeen, ei sitä tule myöhemminkään. Mielikäisen ja Valkosen (1991) mukaan yläharvennettu männikkö parantaa ajan kuluessa kasvuaan suhteessa alaharvennettuun.

Harventamaton männikkö tuottaa enemmän runkopuuta kuin harvennettu (Eriksson 1990). Tutkimusmetsikössä oli tilavuuskasvun ero ensiharvennuksen jälkeen $2,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$, joka on hiukan pienempi kuin Salmisen ja Varmolan (1990) tutkimuksen riukuvaiheessa harvennetuissa männiköissä. Harvennustutkimukset ovat useimmiten osoittaneet, ettei tuotos riipu harvennustavasta vaan kasvatettavan puuston määrästä. Kun harvennuksessa poistetaan metsikön suurimpia puita, on pidettävä tarkasti huolta riittävästä puustopääomasta, koska harvennusmallit alittuvat herkemmin kuin alaharvennuksessa.

Myös pituuskasvu oli harventamattomassa puustossa noin 10 cm suurempi ja runkomuoto solakampi kuin harvennetussa puustossa. Puuston tiheyden vaikutuksista pituuskasvuun on saatu eri tutkimuksissa erilaisia tuloksia ja tässäkin tapauksessa epävarmuutta aiheuttaa se, että harventamattomat koealat rajattiin muita myöhemmin eivätkä ne sen

vuoksi sisältyneet alkuperäisen kokeen arvontaan. Saatu tulos poikkeaa esimerkiksi Salmisen ja Varmolan (1990) tutkimuksesta, jossa tiheydellä ei ollut vaikutusta männikön pituuskasvuun. Sen sijaan Näslundin (1971) mukaan pituuskehitys on nopeinta tiheissä männiköissä. Yleensä ollaan sitä mieltä, ettei pituuskasvu vaihtelee normaalin harvennuskäytännön mukaisissa tiheysrajoissa, mutta poikkeuksellisen harvassa tai tiheässä puustossa pituuskasvu alenee (Vuokila 1980).

Tutkitun viljelymännikön tiheys oli 2100 kpl/ha ja valtapituus 30 vuoden iällä tehdyssä ensiharvennuksessa 11 metriä. Laatuharvennuksen kannalta tällainen metsikkö on edullinen, koska tyvitukin oksat olivat suurimmaksi osaksi kuolleet ja oksikkuuslaadun vaihtelu oli voimakasta puiden välillä. Harvennuksen ajoittamisen kannalta myös puuston kehitysvaihe oli sopiva, koska pienempien puiden latvukset eivät olleet vielä kärsineet liikaa oksikkaiden päävaltapuiden puristuksessa. Ennen harvennusta latvukseltaan puristuneiksi katsottiin 32 % runkoluvusta. Harvennuksen jälkeen näiden puiden kasvu oli noin kolmanneksen alempi kuin vastaavankokoisilla normaaleilla puilla.

Puuvalinnan mahdollisuuksia osoitti se, että yli puolet runkoluvusta ja tilavuudesta oli sellaisia puita, jotka vaihtoehtoisia harvennustapoja käyttäen valittiin toisinaan poistettaviksi ja toisinaan jätettäviksi. Peruspuusto, joka jätettiin kaikissa harvennusvaihtoehdoissa kasvamaan, muodosti noin kolmanneksen kokonaispuustosta. Harvennuksen viivästyessä valinnanvara pienenee nopeasti ja kasvamaan voidaan jättää etupäässä oksikkaita päävaltapuita, koska pienempien puiden latvukset ovat supistuneet liikaa. Tämän tutkimuksen perusteella ei voida määritellä puuston tiheydestä riippuvaa pituusrajaa, jonka jälkeen laatu- tai yläharvennus eivät olisi enää hoitamattomuuden takia suosittelavia. Joka tapauksessa kaikkien jäävien puiden on oltava kehityskelpoisia myös lumituhoriski huomioon ottaen.

Tulosten perusteella laatuharvennus soveltuu ratkaisuksi ongelmiin, joita esiintyy varsinkin ensiharvennuksissa puuston teknisen laadun ja korjuukustannusten takia. Riittävän tiheä ja tasainen taimikkovaihe edistää oksien kuolemista tyvitukin pituudelta, ja ajoissa tehty harvennus puolestaan nopeuttaa niiden karsiutumista läpimittavaiheessa, jossa oksainen vyöhyke rungon sisällä jää sahapuun

laadun kannalta tarpeeksi ohueksi. Jo 11–12 metrin valtapituudessa tehty laatuharvennus on taloudellisesti kannattava, koska kertymä sisältää myös suurimpia puita. Kasvamaan jätetyt pienempiläpimitäiset puut ovat taimivaiheessa kasvaneet hitaammin, joten niiden laatu tukkipuina on suurempia puita parempi (Heiskanen 1965, Uusvaara 1981, Halinen 1985).

Laatuharvennus sopii parhaiten metsiköihin, joissa oksikkuuden vaihtelu puiden välillä on suurta ja valtapuut ovat järeytyneet voimakkaasti. Tällainen tilanne vallitsee useimmiten istutusmänniköissä, jotka ovat kasvaneet varhaisesta taimivaiheesta saakka 2000–2500 puun hehtaari tiheydessä. Perssonin (1977) istutustiheyskokeissa 500 päätehakkuupuuksi luokitellun männyn ja 1000 muun valtapuun oksanpaksuuksien erotus oli suurimmillaan viljelytiheydessä 2500/ha. Anderssonin (1985) mukaan tuhannesta suurimmasta männystä hehtaarilla noin joka toisen tyvitukin paksuimman oksan läpimitta jäi tässä tiheydessä alle 20 mm. Oksien paksuus reagoi erityisen herkästi tiheyden muutokseen välillä 1500–2500 kpl/ha (Kellomäki ja Tuimala 1981, Kellomäki ym. 1992). Salmisen ja Varmolan (1990) tutkimuksessa runkoluvun lisääntyessä keskikokoisten puiden määrä kasvoi tiheyteen 2200 kpl/ha saakka. Toisaalta suurimpien runkojen määrä ei vähentynyt enää tiheyden ylitettyä 1600 kpl/ha, joten puuvalinnan vaihtoehdot ensiharvennuksessa olivat suurimmillaan tiheydessä 2200 kpl/ha.

Ensiharvennuksen viivästyttäminen sopii metsiköihin, joissa puiden hyvä tekninen laatu on jo menetetty tai toisaalta metsiköihin, joissa huippulaatu on taattu esim. karun kasvupaikan ansiosta. Sitä voidaan käyttää myös silloin, kun alunperin tiheä taimikko on harvennettu voimakkaasti myöhäisessä taimikkovaiheessa. Puiden oksaisuus ei nimittäin Salmisen ja Varmolan (1990) mukaan enää lisääny olleellisesti 6–7 metrin pituudessa tehdyn taimikon käsittelyn ja ensiharvennuksen välillä. Jäävän puuston laadulle voidaan tässä tapauksessa antaa suuri paino jo taimikon harvennuksessa (Andersson 1985).

Kiitokset

Maastotöistä ja aineiston peruslaskennasta on vastannut tutkimusmestari Eero Poutiainen. Julkaisun viimeistelyssä on avustanut toimistos sihteeri Irene Murtovaara. Professorit Olli Uusvaara ja Kari Mielikäinen sekä MML Martti Varmola ja MH Aili Tuimala ovat edistäneet tutkimusta lukemalla ja kommentoimalla käsikirjoitusta. Lämpimät kiitokset heille tekemästään työstä.

Kirjallisuus

- Andersson, S-O. 1985. Rönjning och Sågtimmerkvalitet. Kvalitet – behöver vi det? Skoghögskolans höstkonferens 4–5.12.1984, Uppsala. Skogsfakta Nr 6: 33–38.
- Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Summary: Yield of Norway spruce in Sweden. Skoghögskolan, Institutionen for skogsproduktion. Rapporter och uppsatser 41. 291 s.
- 1990. Hur har det gått med höggallingen? What is the situation of selective thinning from above? Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 2: 42–57.
- Halinen, M. 1985. Männyn nuoruusvaiheen kasvunopeuden vaikutus sahatavaran laatuun. Summary: The effect of the growth rate of young pine on the quality of sawn goods. *Silva Fennica* 19(4): 377–385.
- Harvennushakkuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamismavaihtoehdot. 1992. Maa- ja metsätalousministeriö. Vanha kauppakirjapaino Oy. Helsinki. 121 s.
- Heikinheimo, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsitumisesta. Summary: On natural pruning of tree stems. *Communicationes Instituti Forestalis Fennicae* 41(5). 39 s.
- Heiskanen, V. 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. *Acta Forestalia Fennica* 80(2). 62 s.
- Huuri, O., Lähde, E. & Huuri, L. 1984. Tiheyden vaikutus istutusmännikön laatuun. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 167. 22 s.
- Hynynen, J. & Kukkola, M. 1989. Harvennustavan ja lannoituksen vaikutus männikön ja kuusikon kasvuun. Summary: Effect of thinning method and nitrogen fertilization on the growth of Scots pine and Norway spruce stands. *Folia Forestalia* 731. 20 s.
- Isomäki, A. & Niemistö, P. 1983. Koelapuuston harvennusvalinta tietokoneohjelman avulla. Abstract: The

- selection of trees in thinning experiments: A computer method. *Folia Forestalia* 557. 32 s.
- Jokinen, P. & Kellomäki, S. 1982. Havaintoja metsikön kasvatustiheyden vaikutuksesta runkojen oksaisuuteen varttuneissa männyn taimikoissa. Abstract: Observations on the effect of spacing on branchiness of Scots pine stems at pole stage. *Folia Forestalia* 508. 12 s.
- Kellomäki, S. 1984. Havaintoja puuston kasvatustiheyden vaikutuksesta mäntyjen oksikkuuteen. Summary: Observations on the influence of stand density on branchiness of young Scots pines. *Silva Fennica* 18(2): 101–112.
- & Tuimala, A. 1981. Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Summary: Effect of stand density on branchiness of young Scots pines. *Folia Forestalia* 478. 27 s.
- & Väisänen, H. 1986. Kasvatustiheyden ja kasvu-paikan viljavuuden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä. Malleihin perustuva tarkastelu. Summary: Effect of stand density and site fertility on the branchiness of Scots pines at pole stage. A study based on models. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 139. 38 s.
- , Lämsä, P., Oker-Blom, P. & Uusvaara O. 1992. Männyn laatuksavatus. *Silva Carelica* 23. 133 s.
- Keskusmetsälautakunta Tapio. 1989. Metsänhoitosuositukset. *Moniste* 55 s.
- Laasasenaho, J. 1973. Unequal probability sampling by DBH cumulator. Seloste: Koepuiden valinta kuutiomäärän summaajalla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 79(6). 20 s.
- 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.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. Metsänarvioimisen tutkimusosasto, Puuntuotoksen tutkimussuunta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 257. 237 s.
- Mielikäinen, K. 1978. Puun kasvun ennustettavuus. Abstract: Predictability of tree growth. *Folia Forestalia* 363. 15 s.
- & Valkonen, S. 1991. Harvennustavan vaikutus varttuneen metsikön tuotukseen ja tuottoihin Etelä-Suomessa. Summary: Effect of thinning method on the yield of middle-aged stands in southern Finland. *Folia Forestalia* 776. 22 s.
- Nordberg, M. 1987. Thinning from above – a way to improve the economy in early thinnings? Developments of Thinning Systems To Reduce Stand Damages. Proceedings of the meeting of IUFRO Project Group P4.02 and Subject Group S1.05-05. Scandinavia (Sweden, Norway, Denmark) 9–18. June, 1987. Carpenberg. s. 319–326.
- Nyssönen, A. 1952. Puiden kasvusta ja sen määrittämisestä harsintamännikössä. Summary: On tree growth and its ascertainment in selectively cut Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40(4). 20 s.
- Näslund, M. 1971. Nytt material for skoglig produktionsforskning. *Studia Forestalia Suecica* 89. 124 s.
- Oker-Blom, P. & Kellomäki, S. 1982. Metsikön tiheyden vaikutus puun latvuksen sisäiseen valoilmastoon ja oksien kuolemiseen. Teoreettinen tutkimus. Abstract: Effect of stand density on the within-crown light regime and dying-off of branches. Theoretical study. *Folia Forestalia* 509. 14 s.
- Persson, A. 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. *Rapporter och uppsatser* 45. Institution for skogsproduktion. Skogshögskolan. 152 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.
- Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyyppin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä havennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Summary: Development of seeded Scots pine stands from precommercial thinning to first commercial thinning. *Folia Forestalia* 752. 29 s.
- Uusvaara, O. 1974. Wood quality in plantation – grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 80(2). 105 s.
- 1981. Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Summary: The quality and value of sawn goods obtained from plantation-grown Scots pine. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 27. 108 s.
- Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. *Folia Forestalia* 451. 21 s.
- Vuokila, Y. 1960. Männyn kasvusta ja sen vaihtelusta harventaen käsitellyissä ja luonnontilaisissa metsiköissä. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 52(7). 38 s.
- 1970. Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Summary: Selection from above in intermediate cuttings. *Acta Foerstalia Fennica* 110. 45 s.
- 1977. Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä. Abstract: Selective thinning from above as a factor of growth and yield. *Folia Forestalia* 298. 17 s.
- 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY. Porvoo. 256 s.
- 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. Summary: The improvement of technical quality of forests. *Folia Forestalia* 523. 55 s.