



Pentti Niemistö

Typpilannoituksen ja harventamisen kasvuvaikutukset kaksijaksoisessa mänty–kuusisekametsässä

Niemistö P. (2022). Typpilannoituksen ja harventamisen kasvuvaikutukset kaksijaksoisessa mänty–kuusisekametsässä. Metsätieteen aikakauskirja 2022-10774. Tutkimusartikkeli. 26 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10774>

Tiivistelmä

Tutkimus tehtiin kangasmetsän kestokokeilla Muhoksella ja Jämsässä. Ylempää mäntyjaksoa harvennettiin metsänhoitosuosituksen mukaisesti ja lannoituskäsittely 138 kg typpeä hehtaarille toistettiin kahdesti 15–22 vuoden tutkimusjaksoilla. Alikasvoskuusikko harvennettiin tiheyteen 2000 kpl ha⁻¹ tai raivattiin kokonaan.

Ensimmäisen lannoituksen vaikutus harvennetussa puustossa kesti noin kymmenen vuotta lisäten välittömästi sekä mäntyjakson että alikasvoskuusten kasvua. Kun harvennus ja lannoitus toistettiin, molempien puujaksojen läpimitan ja tilavuuden kasvu pysyi saavutetulla hyvällä tasolla ja alikasvoksen pituuskasvu jatkoi lisääntymistä. Typpilannoitus lisäsi alikasvoskuusten läpimitan kasvua enemmän kuin pituuskasvu. Lannoitus lisäsi mäntyjakson aiheuttamaa kilpailua, joka hidasti etenkin alikasvoksen pituuskehitystä. Koko tutkimusjaksolla lannoitukset lisäsivät mäntyjakson vuotuista tilavuuskasvuja 1,3 m³ ha⁻¹, alikasvoskuusikon pohjapinta-alan kasvua vartuneessa männikössä 36 % ja nuoremmassa viljavassa männikössä 16 %. Lannoituksella ja alikasvoskuusikon raivauksella ei ollut yhdysvaikutusta mäntyjakson kasvuun.

Sekä lannoitus että kasvupaikan viljavuus vaikuttivat suhteellisesti enemmän kuusialikasvoksen läpimitan kasvuun ja vallitsevien taimien pituuskasvuun kuin ylempään mäntyjakson kasvuun. Ero oli kuitenkin pieni. Nopea- ja hidasliukoisten typpilannoitteiden kasvuvaikutukset erosivat ajallisesti, mutta eivät koko tutkimusjaksolla. Lannoitus lisäsi eniten suurimpien mäntyjen kasvua ja etenkin hidasliukoinen typpi edisti vallitsevien alikasvoskuusten kasvua, joten lannoitus voi edistää kaksijaksoisen puuston erirakenteisuutta.

Männikön kasvu lisääntyi alikasvoksen raivauksen ansiosta vasta yli 60 vuoden iässä, yli 25 vuotta raivauksen jälkeen. Ilman lannoitusta alikasvoskuusten kasvu lisääntyi noin viiden vuoden viiveellä männikön harventamisen jälkeen. Lannoitus edisti elinvoimaisen alikasvoksen kasvua mutta ei korvannut mäntyjakson harvennusta, jonka tulisikin olla lannoitukseen valmistava toimenpide. Toisaalta lannoitus lisää mäntyjakson kasvua ja kilpailuvaikutusta nopeuttaen harvennustarvetta. Ylempään mäntyjakson riittävä harventaminen on ensiarvoisen tärkeää, mikäli alla olevaa alikasvoskuusikkoa halutaan kasvattaa.

Avainsanat alikasvos; boniteetti; elpyminen; pituuskasvu; tilavuuskasvu; urea; viljavuus

Yhteystiedot Luonnonvarakeskus (Luke), Luonnonvarat, Seinäjoki

Sähköposti pentti.niemisto@luke.fi

Hyväksytty 22.12.2022

1 Johdanto

Kiinnostus ja vaatimukset metsän kasvattamisesta peitteisenä on lisääntynyt, joko jatkuvapeitteisenä tai ainakin yhtä puusukupolvea pidemmän ajan. Yksi vaihtoehto on kasvattaa viljelymäntyjen (*Pinus sylvestris* L.) alikasvokseksi syntyneestä kuusentaimikosta (*Picea abies* (L.) Karst.) metsikön seuraava puusukupolvi. Toisaalta ylemmän mäntyjakson ja alemman kuusijakson samanaikainen kasvatus voi olla perusteltua siten, että molemmat puujaksot poistetaan samassa päätehakkuussa. Kaksijaksoinen sekametsä voi olla myös edullinen luonnon monimuotoisuudelle ja tuhonkestävyydelle (Huuskonen ym. 2020).

Viljelytaimien lisäksi muokatuille männyn uudistusaloille syntyy usein runsaasti luontaisia taimia, joiden määrä on voinut entisestään lisääntyä hakkuutähteiden ja kantojen korjuun vaikutuksesta. Viljelytaimien ja lehtipuuston nopean kehityksen vuoksi luontaiset kuuset jäävät alikasvosasemaan, varsinkin silloin, jos kuusen siemenvuosi tulee useita vuosia metsänviljelyn jälkeen (Sarvas 1968; Koski ja Tallqvist 1978). Myös mäntyvaltaisiin suometsiin syntyy herkästi vaihtelevan kokoista kuusialikasvosta, joka on kasvatuskelpoista riittävän viljavilla kasvupaikoilla (Pukkala ym. 2011; Laiho ym. 2014; Äijälä ym. 2019).

Yksijaksoisen metsän kasvatuksessa vallitsevan puuston alle syntyviä taimia tai vesoja pidetään häirtana puunkorjuulle, mistä syystä ne pyritään raivaamaan pois ennen hakkuuta (Kärhä 2005; Äijälä ym. 2019). Muussa tapauksessa alikasvos aiheuttaa lisäkustannuksen puunkorjuulle hakkuun hidastumisena ja korjuujäljen huonontumisena (Tahvanainen 2001; Kärhä ym. 2006; Kärhä 2015).

Kuusialikasvoksen puuntuotannollista hyödyntämistä voidaan uusimpien metsänhoitosuosistusten mukaan harkita mänty- tai lehtipuuvaltaisissa kasvatusmetsissä silloin, kun kasvupaikka on riittävän viljava kuusen kasvatukseen (Äijälä ym. 2019: tuore kangas tai parempi sekä vastaavat suometsät, myös nevalähtöiset 2-tyypin puolukkaturvekankaat, joiden ravinnetasapaino on riittävä tai hoidettu lannoituksella). Tosin Vuokilan (1977) mukaan varttuneen kuusialikasvoksen (valtapituus yli 5 m) kasvattaminen markkinapuun mittoihin männikön uudistushakkuuseen mennessä voisi olla kannattavaa jopa kuivahkolla kankaalla. Lisäksi kasvatettavien kuusten pitää olla elinvoimaisia, mikä tarkoittaa terävää latvaa ja vähintään 10 cm:n pituisia vuosikasvaimia (Moilanen ja Saksa 1998).

Aikaisemmat kokemukset kuusialikasvoksen toipumisesta olivat huonoja, koska kyseessä olivat kauan vallitsevan puuston alla juroneet kuuset (Pöntynen 1929; Cajander 1934; Sirén 1951; Koistinen ja Valkonen 1993). Uudemmissa tutkimuksissa kuusialikasvoksen kasvureaktiot ovat olleet voimakkaita, kun vallitsevaa kuusikkoa (Eerikäinen ym. 2007, 2014) tai männikköä (Niemistö ja Valkonen 2021) on hakattu voimakkaasti kiinnittäen huomiota kasvatettavien kuusten kuntoon ja kasvukykyyn. Alikasvoskuusten ja avomaalle syntyneiden kuusten kasvua on syytä verrata samassa pituusvaiheessa, ei saman ikäisinä, koska alikasvos kehittyy aluksi hyvin hitaasti. Niemistön ja Valkosen (2021) mukaan männikön alle syntyneet keskimäärin neljämetriset alikasvoskuusikot kasvoivat 15 vuodessa pituutta noin 2,5 metriä, kun mäntyjaksoa harvennettiin tavanomaisesti. Alikasvoksen pituuskasvu oli tällöin noin 50 % saman pituisen avomaan kuusikon ennustetusta kasvusta, mutta voimakkaasti harvennetun männikön alla vastaavasti 80 %.

Koivikoiden (*Betula* spp.) alla kuusentaimikot ovat kasvaneet paremmin kuin havupuiden alla. Mielikäisen ja Valkosen (1995) mukaan kivennäismailla tiheyteen 625 kpl ha⁻¹ harvennetun koivikon alla kaksimetrisen kuusikon valtapituuden vuotuinen kasvu on ollut 20 vuodessa keskimäärin 37,5 cm, 75 % samanpituisen viljelykuusikon kasvusta. Ruotsalaisten tutkimusten mukaan alikasvoskuusten pituuskasvu koivikossa oli noin 90 % vapautetun kuusikon kasvusta (Mård 1996; Bergquist 1998) ja pituuskasvumallin (Tham 1989) mukaan alikasvoskuusten kasvu oli 87 % verrattuna vapaan kasvavien samankokoisten kuusten pituuskasvuun, kun koivujen ja alikasvoskuusten runkoluku oli yhtä suuri. Viljavilla turvemilla kuusentaimien pituuskasvu on

ollut harvennetun hieskoivikon (*Betula pubescens* Ehrh.) alla 70–80 % samankokoisten avoalan kuusten kasvusta viljavuudeltaan vastaavilla kivennäismailla (Heikurainen 1985; Hilli ym. 2003; Niemistö ja Poutiainen 2004).

Alikasvoskuusten kasvusta männiköissä on vähemmän tutkimusta kuin koivikoissa. Mäntyä pidetään koivua voimakkaampana kilpailija alikasvoskuusille (Niemistö 2003). Niemistön ja Valkosen (2021) mukaan männikön harvennus 50 % alle suositusten lisäksi suurimpien alikasvoskuusten vuotuista pituuskasvua 7 cm ja läpimitan kasvua 0,5 mm, ja alikasvoksen suotuisa kehitys edellyttää ylemmän mäntyjakson voimakasta tai usein toistuvaa harventamista. Laihon ym. (2014) mukaan erilainen kilpailuvaikutus ei johdu männyn ja koivun eroista puulajeina, vaan keskimäärin karummasta kasvupaikasta ja suuremmasta kasvatustiheydestä männiköissä kuin koivikoissa. Kuusialikasvoksen olemassaolo tai tiheys ei ole vaikuttanut ylemmän mäntyjakson kasvuun nuorissa kasvatusmetsissä, mutta varttuneemmissa puustoissa tiheän kuusialikasvoksen on havaittu hidastavan mäntyjakson vuotuista kasvua 1–2 m³ ha⁻¹ (Niemistö ja Valkonen 2021; Isomäki 1979).

Sekametsärakenteesta on etua metsän monimuotoisuudelle, kestävyydelle ja monikäytölle verrattuna yhden puulajin tasaikäiseen metsään (Ampooter ym. 2014, 2016; Huuskonen ym. 2020). Yksijaksoissa metsissä puulajisekoituksella ei monien tutkimusten mukaan ole selvää positiivista vaikutusta puuntuotukseen (Mielikäinen 1980, 1985; Agestam 1985; Ekö 1985; Pukkala ym. 1994; Vettenranta 1999; Lindén 2003; Lindén ja Agestam 2003; Fahlvik ym. 2011; Hynynen ym. 2011; Frivold ja Frank 2012; Bianchi ym. 2021).

Puuntuotoksella tarkoitetaan tässä koko kiertoajan mittaan kertyvää runkotilavuutta. Puulajien erilaisista kasvupaikkavaatimuksista, kasvurytmeistä, harvennustarpeista ja kiertoajoista johtuen yksijaksoisenkin sekametsän tuotostutkimus ja koejärjestelyt ovat haastavia. Erilaisten kasvatusvaihtoehtojen ohella tarvitaan pitkiä mittausjaksoja ja kasvupaikan sekä muiden ympäristötekijöiden vaikutusten huomioon ottamista. Kaksi- tai monijaksoisten metsien tutkimuksessa tarkastelujakson pituus on vielä pitempi. Puiden kasvututkimuksessa joudutaan tyytymään kiertoaikaa lyhempään tutkimusjaksoon, joka koostuu yhdestä tai useammasta mittausjaksosta. Jaksojen pituudet vaihtelevat, joten vertailtavuuden vuoksi kasvu ilmaistaan usein jakson vuotuisena keskikasvuna. Kasvua kuvaavia malleja käyttäen voidaan simuloida pitemmän ajanjakson kasvua ja puuntuotosta.

Kaksijaksoisissa koivu–kuusisekametsissä puuston tilavuustuotos on ollut 19–20 % korkeampi kuin vastaavissa kuusikoissa (Tham 1994), kun koivut poistettiin 30-vuotiaina. Valkosen ja Valstan (2001) mukaan vastaavat luvut kohosivat rauduskoivu–kuusipuustossa (kuusen rinnalla *Betula pendula* Roth) 7:stä 14 %:iin ja hieskoivu–kuusipuustossa 1:stä 4 %:iin, kun koivun runkoluku lisääntyi 400:sta 1000 puuhun hehtaarilla ja kuusen kiertoaika oli 70 vuotta. Tutkimusten ja käytännön kokemusten perusteella kaksijaksoinen koivu–kuusisekametsä on kilpailukykyinen vaihtoehto puhtaaseen koivikkoon ja kuusikkoon verrattuna.

Kasvupaikan viljavuudella on vaikutusta alikasvoksen menestymiseen. Viljavilla kasvupaikoilla kuusialikasvos menestyy ja kasvaa selvästi paremmin (Berqvist 1997; Andreassen ja von Lupke 2015) kuin karummilla kasvupaikoilla (Mård 1996; Holmström ym. 2018). Lannoituksen ja kasvupaikan viljavuuden vaikutukset eri puujaksojen kasvuun kaksijaksoisessa metsässä tunnetaan huonosti. Yksijaksoisissa männiköissä ja kuusikoissa on viiden vuoden välein toistuvilla kivennäismaan typpilannoituksilla saatu aikaan 2–3 kuutiometrin vuotuinen lisäkasvu hehtaarilla (Kukkola ja Saramäki 1983). Tämä lannoitusvaikutus on ollut noin 0,5 m³ ha⁻¹ suurempi nuorissa kuin varttuneissa kasvatusmetsissä. Männiköissä lannoitusreaktio on ollut korkein kuivahkoja ja tuoreita kankaita vastaavilla pituusboniteeteilla H₁₀₀ = 21–25 m. Kuusikoissa vuotuinen lisäkasvu on pienentynyt noin 1 m³ ha⁻¹ viljavuuden lisääntyessä kuivahkoista kankaista lehtomaisiin kankaisiin.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia typpilannoituksen vaikutuksia kangasmaiden kuusialikasvoksen pituuden ja läpimitan kehitykseen, sekä mäntyjakson pohjapinta-alan ja runko-

tilavuuden kasvuun ja puutavaran tuotokseen silloin, kun kuusialikasvos on jätetty kasvamaan tai se on raivattu pois. Tarkastelussa otetaan huomioon metsikön sisäinen viljavuusvaihtelu, jolla on todennäköisesti vaikutusta puuston kasvuun ja lannoituksen vaikutuksiin. Tutkimushypoteesina on, että kasvupaikan viljavuus ja lannoittaminen lisäävät molempien puujaksojen kasvua ja että alikasvoksen poistaminen lisää ylemmän mäntyjakson kasvua.

2 Aineisto ja menetelmät

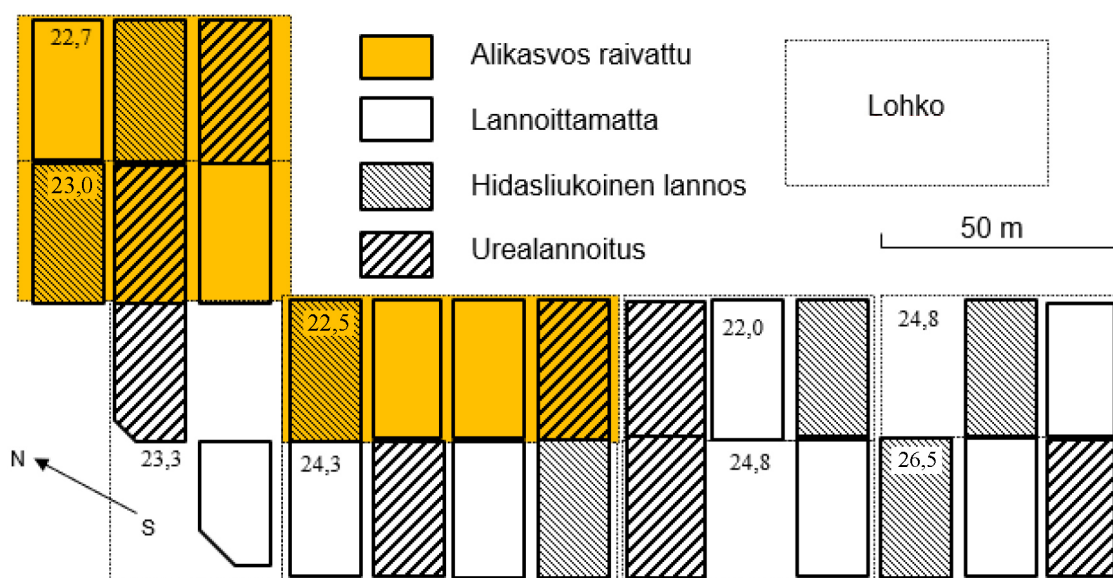
2.1 Koeaineistot

Pääosa tutkimuksesta on tehty 26 koealan kestokokeessa Muhoksella (Kuva 1). Toisena aineistona on kaksi lannoitettua koealaa ja niiden lannoittamattomat verrokkit osana isompaa harvennuskoetta Jämsässä (Taulukko 1, Niemistö ja Valkonen 2021).

Muhoksen koe

Muhoksen kokeen puusto on metsäpalon (1945) jälkeen luontaisesti syntynyt männikkö, jonka alle on myöhemmin syntynyt tiheä alikasvoskuusikko. Vuonna 1983 männikkö ensiharvennettiin ja sinne rajattiin 8 noin 2000 m²:n lohkoa, joista kuusialikasvos raivattiin kolmella, harvennettiin kolmella tiheyteen 2000 ja kahdella tiheyteen 5000 kpl ha⁻¹ (Kuva 1). Kasvatettavaksi alikasvokseksi valittiin mahdollisimman tasaisesti sijaitsevia, pituuskasvultaan ja kunnoltaan parhaita kuusia, jotka eivät kasvaneet aivan lähellä ylemmän jakson puita.

Varsinainen koe perustettiin keväällä 1996, jolloin 50-vuotiaaseen ja valtapituudeltaan keskimäärin 15,9-metriseen männikköön tehtiin toinen harvennus olemassa olevaa alikasvosta varoen. Em. lohkot jaettiin kolmeksi korjuu-urien rajaamaksi 600 neliömetrin (15 m × 40 m) koealaksi muutoin paitsi kaksi lohkoa neljäksi koealaksi (Kuva 1). Tilajärjestykseltään ja kooltaan epätasaisen alikasvoksen vuoksi kolme koealaa jätettiin perustamatta, kukin eri lohkolta. Harvennuksen jälkeen mäntyjä jäi keskimäärin 700 kpl ha⁻¹ (keskihajonta, s=84) (Taulukko 2).



Kuva 1. Muhoksen mänty-kuusikaksijaksokokeen koealakartha ja männyn pituusboniteetin H₁₀₀ lohkokeskisarvot.

Taulukko 1. Koemetsiköt.

Paikka-kunta	Lämpösumma, dd	Sade, mm v ⁻¹	Keskilämpötila, °C		Kasvu-paikka	Boniteetti, H ₁₀₀ m	Kokeen aloitus	Männyn ikä, v	Kuusen keskipituus, m*	Koealoja	Tutkimusjakso, v
			Helmikuu	Heinäkuu							
Muhos	1036	560	-8,7	+16,7	VMT	22–27	kevät 1996**	50	5,3	26	22
Jämsä	1250	620	-7,4	+17,0	MT	26	syksy 2002	30	4,3	4	15

* Pohjapinta-alalla painotettu.

** Männikön ensiharvennus ja kuusikon käsittely 1983 ilman mittauksia.

Aikaisemmin kuusialikasvoksesta raivatuilta lohkoilta poistettiin niille kasvaneet uudet kuuset ja aikaisemmin lievästi tiheyteen 5000 kpl ha⁻¹ harvennetut alikasvokset harvennettiin siten, että alikasvoksen tiheydeksi tuli kauttaaltaan noin 2000 kpl ha⁻¹. Vallitsevien hehtaaria kohden 600 pisimmän kuusen keskipituus oli tuolloin 6,2 m (Taulukko 2) ja vaihteluväli 4,5–7,0 m.

Keväällä 1997 arvottiin lohkoittain kolme lannoitusvaihtoehtoa:

- lannoittamaton
- hidasliukoinen typpilannoitus (tuotenimi Kemifix) 400 kg ha⁻¹
- nopealiukoinen typpilannoitus urealla 300 kg ha⁻¹

Typpimäärältään lannoitukset olivat yhtä voimakkaat, 138 kg puhdasta typpeä per ha.

Syksyllä 2007 kokeen mäntyjaksolle tehtiin kolmas harvennus, 12 vuotta toisen harvennuksen jälkeen (11 kasvukautta lannoituksesta). Mäntyjä jäi keskimäärin 490 kpl ha⁻¹ ($s=74$) ja pohjapinta-alaa 16,4 m² ha⁻¹ ($s=0,50$). Kaikki kolme harvennusta on tehty metsurityönä alikasvoskuusia varoen harvennusmallin mukaan (Tapio 1989, 2006). Viisi vuotta kolmannen harvennuksen jälkeen (16 v ensimmäisestä lannoituksesta) typpilannoitukset toistettiin koaloittain muuten samanlaisina kuin ensimmäisessä lannoituksessa, mutta hidasliukoinen typpi oli metyleeniureaa.

Molemmat puujaksot mitattiin koetta perustettaessa keväällä 1996, ja mittaukset toistettiin keväällä 2002 sekä syksyllä 2007, 2012 ja 2017, joten kasvujaksojen pituudet ovat 6, 6, 5 ja 5 vuotta. Molempien jaksojen kaikki puut numeroitiin, mitattiin ja kartoitettiin koko ruuduilta. Kasvu laskettiin jakson loppupuuston ja elävän alkupuuston erotuksena sisältäen luonnonpoistuman kasvun.

Ylemmän jakson puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta (mm) kahdesta kohtisuorasta suunnasta ja määritettiin puulaji sekä puustoryhmä (elävä, kuollut, poistettava). Pysyviksi koepuiksi

Taulukko 2. Koemetsiköiden puustotunnusten koelakeskiarvot tutkimuksen alussa. s = keskihajonta harvennuksen jälkeen.

Puustotunnus	Runkoluku, kpl ha ⁻¹	Pohjapintaala, m ² ha ⁻¹	Mäntyjakso			Kuusijakso		Pisimmät 600 ha ⁻¹	
			Runkotilavuus, m ³ ha ⁻¹	Keski- läpimitta, cm*	Keski- pituus, m*	Runkoluku, kpl ha ⁻¹	Keski- pituus, m	Keski- pituus, m	Keski- läpimitta, cm
Muhos 1996									
Ennen harv.	1333	24,4	177	16,5	14,3	5125**	3,1**	6,2	6,2
Harv. jälkeen	700	15,1	111	17,5	14,7	2160	3,5	6,2	6,2
s	84	0,52	7,8	1,0	1,13	292	0,80	0,64	0,69
Jämsä 2002									
Ennen harv.	1970	19,7	109	10,8	10,3	12400	2,3	4,4	3,8
Harv. jälkeen	1100	13,8	76	13,7	10,6	1800	3,3	4,6	3,9
s	13	0,36	3,3	0,20	0,39	110	0,46	0,48	0,45

* Pohjapinta-alalla painotettu keskiarvo.

** Runkoluku ja aritmeettinen keskipituus 13 vuotta aikaisemmin lievästi tiheyteen 5000 ha⁻¹ harvennetuilla kahdella lohkoilla.

valittiin koealoittain 20–30 tervettä puuta. Niistä mitattiin edellisten lisäksi pituus (dm), alimman elävän oksan korkeus (dm) ja yläläpimitat (mm) kahdesta suunnasta 6,0 metrin korkeudelta. Viimeisen viisivuotijakson lopussa yläläpimittoja ei mitattu, jolloin puut kuutioitiin ilman yläläpimittaa, kuten myös tilavuuskasvun laskennassa ko. kasvujakson alussa.

Alemmasta jaksosta mitattiin kaikkien kuusten läpimitta (mm) kahdesta kohtisuorasta suunnasta aina, kun puun pituus ylitti 1,3 m, ja pienemmistä kuusista mitattiin pituus (cm). Joka viides alikasvoskuusi oli pysyvä koepuu, josta mitattiin pituus (cm) ja koetta perustettaessa viiden viimeisen vuoden pituuskasvu.

Koealatasen puustotunnukset laskettiin KPL-ohjelmalla (Heinonen 1994). Ylemmän jakson lukupuiden pituudet estimoitiin koealoittain koepuista Näslundin (1936) pituuskäyrällä ja tilavuudet Laasasenahon (1982) tilavuusfunktioilla (p_l , $d_{1,3}$, h , $d_{6,0}$). Lukupuiden runkotilavuudet estimoitiin läpimittaan ja pituuteen perustuvilla tasoitusfunktioilla. Rungot jaettiin puutavaralajeihin siten, että laskennallisen kuitupuupölkyn latvaläpimitan minimi oli 7 cm ja pituuden minimi 3 m. Tukkien latvaläpimitan minimi oli 14,5–20,5 cm, suurin minimipituusilla tukeilla ja pienin pitkillä tukeilla.

Pituusboniteetti H_{100} määritettiin mäntyjen valtapituuden ja iän perusteella kokeen alussa (Gustavsen 1980). Valtapituudella tarkoitetaan ylemmässä jaksossa sadan paksuimman puun keskipituutta hehtaarilla ja alemmassa jaksossa sadan pisimmän puun keskipituutta hehtaarilla. Lisäksi alikasvoskelle laskettiin 600 pisimmän kuusen keskiläpimitta ja -pituus hehtaarilla. Tätä puustoa nimitetään jatkossa vallitsevaksi alikasvokseksi.

Muhoksen kokeen keskimääräinen pituusboniteetti oli 23,7 m ja vaihteluväli 21,5–27,0 m. Gustavsenin (1980) mukaan kasvupaikka vastaisi karuimmiltakin osin metsätyypin VMT parempaa laitaa, joten koko tutkimusmetsikön metsätyypin määrittely VMT:ksi ilmeisesti aliarvioi kasvupaikan puuntuotoskyvyn. Syynä voivat olla metsäpalon vaikutus kasvillisuuteen ja sijainti muuta Pohjois-Pohjanmaata edullisemmissa ilmasto-oloissa (lämpösumma 1050–1100 dd). Tutkimusmetsikkö sijaitsee lounaaseen viettävässä rinteessä, mistä syystä kokeen kolmen etelälounaisimman lohkon pituusboniteetti on muita lohkoja korkeampi (Kuva 1), viljavimmillaan lehtomaisen kankaan tasolla.

Jämsän koe

Jämsän koe perustettiin palleaurausalalle istutettuun 30-vuotiaaseen ja valtapituudeltaan 12 metrin männikköön syksyllä 2002. Useiden käsittelyiden joukossa (Niemistö ja Valkonen 2021) oli kaksi lannoitettua ja kaksi lannoittamatonta koealaa, joilla tutkittiin typpilannoituksen vaikutusta harvennummallin mukaan pohjapinta-alaan $13,8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ensiharvennetussa männikössä (Taulukko 2). Kuusialikasvos harvennettiin näillä koealoilla tiheyteen 1800 kpl ha^{-1} . Vallitsevien 600 pisimmän alikasvoskuusen keskipituus hehtaarilla oli 4,6 m. Lannoitus ($150 \text{ kg typpeä per ha}$) tehtiin salpietarilla ensimmäisen kerran keväällä 2003 ja toisen kerran 10 vuotta myöhemmin. Mittaukset tehtiin viiden vuoden välein samalla tavoin kuin Muhoksen kokeessa, kuitenkin niin, että ylempi mäntyjakso mitattiin 1000 m^2 :n koeruuduilta ja kuusialikasvos 500 m^2 :n ympyräkoeloilta niiden keskeltä.

2.2 Analyysi

Muhoksen kokeessa tilastollisen analyysin perusyksikkö on koeala (j), hypteetin (H_1) mukaan lannoitus vaikuttaa molempien puujaksojen kasvuun ja alikasvoskuusikon raivaus mäntyjakson kasvuun. Nollahypoteesin (H_0) perusteella käsittelyt eivät eroa toisistaan. Käsittelyjen vaikutuksia tutkittiin lineaarisella sekamallilla (MIXED procedure in IBM SPSS Statistics 27; IBM SPSS Inc., Chicago, IL, USA), jossa satunnaistekijänä oli lohko (i) ja kiinteinä selittäjinä koealatasolla

(*ij*) lannoitus, alikasvoksen raivaus ja tarvittaessa jokin puuston kasvuun vaikuttava koealatasen kovariaatti (X_{ij}). Sekamalla käytettiin, koska lannoituskäsittelyt on arvottu lohkoittain, jolloin lohko muodostaa mallin satunnaisosan. Parittaiset vertailut käsittelyjen välillä tehtiin F-testillä pienimmän merkitsevän eron (LSD) perusteella. Ero tulkittiin merkitseväksi p-arvoilla $<0,05$ ja suuntaa antavaksi p-arvoilla $0,05-0,1$.

Sekamalli oli muotoa:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 Lannoitus_{ij} + \beta_2 Raivaus_{ij} + \beta_3 X_{ij} + \mu_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

jossa:

Y_{ij} = Puuston kasvua kuvaava tunnus lohkon *i* koealalla *j*

(mäntyjakson pohjapinta-ala ja runkotilavuus, 26 koealaa, kuusijakson keskipituus ja -läpimitta sekä pohjapinta-ala, 16 koealaa)

β_0 = Vakiotermi

β_1 = Lannoituksen kiinteä vaikutus

β_2 = Alikasvoksen raivauksen kiinteä vaikutus

β_3 = Kovariaatin *X* kerroin

X_{ij} = Kovariaatin *X* arvo lohkon *i* koealalla *j*

μ_i = Satunnaistekijä, lohkon *i* vaikutus

ε_{ij} = Satunnaisvirhe

Kovariaattina *X* käytettiin kasvupaikan viljavuutta kuvaavaa männikön pituusboniteettia (Gustavsen 1980), joka määritettiin koelaitteiden kokeen alussa. Yksittäisten kerrointen merkitsevyydestä riippumatta selittäviksi muuttujiksi valittiin ne, joiden tilastollinen merkitsevyys oli yli 5 % koko tutkimusjaksolla tai jollakin osajaksolla. Mahdolliset yhdysvaikutukset sisällytettiin malliin. Jämsän kokeen tulokset ovat kuvailevia, koska koelaitteita oli vain kaksi per käsittely eikä tilastollista analyysiä tästä syystä tehty.

3 Tulokset

3.1 Mäntyjakson kasvu

3.1.1 Muhos: 50–70-vuotias luontaisesti syntynyt männikkö

Kasvupaikan viljavuus vaikutti mäntyjen keskiläpimitan vuotuisen kasvuun siten, että aineiston karumman laidan pituusboniteetilla 22 m se oli tutkimusjaksolla keskimäärin 2,6 mm ilman alikasvosta ja lannoitusta, mutta viljavimpien koelaitteiden boniteetilla 27 m vastaavasti 4,0 mm. Mäntyjen keskipituuden kasvuun (keskimäärin 28 cm v^{-1}) pituusboniteetti vaikutti vähemmän, merkitsevästi vain kolmannella mittausjaksolla, heti männikön kolmannen harvennuksen jälkeen.

Suurenevalla pituusboniteetilla oli merkitsevästi positiivinen vaikutus mäntyjakson tilavuuskasvuun kaikilla mittausjaksoilla (Taulukko 3) siten, että koko 22 vuoden tutkimusjakson keskimääräinen vuotuinen kasvu oli em. karuimmilla koelaitteilla $5,5$ ja viljavimmilla koelaitteilla $7,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Alikasvoskuusikon raivaus ei vaikuttanut mäntyjakson kasvuun kahdella ensimmäisellä mittausjaksolla (Kuva 2), mutta lisäsi mäntyjakson pohjapinta-alan kasvua kolmannella mittausjaksolla lannoitetuilla koelaitteilla. Neljännellä jaksolla männikkö ilman alikasvosta kasvoi enemmän pohjapinta-alaa ja tilavuutta kuin kaksijaksoisen metsän mäntyjakso, mutta merkit-

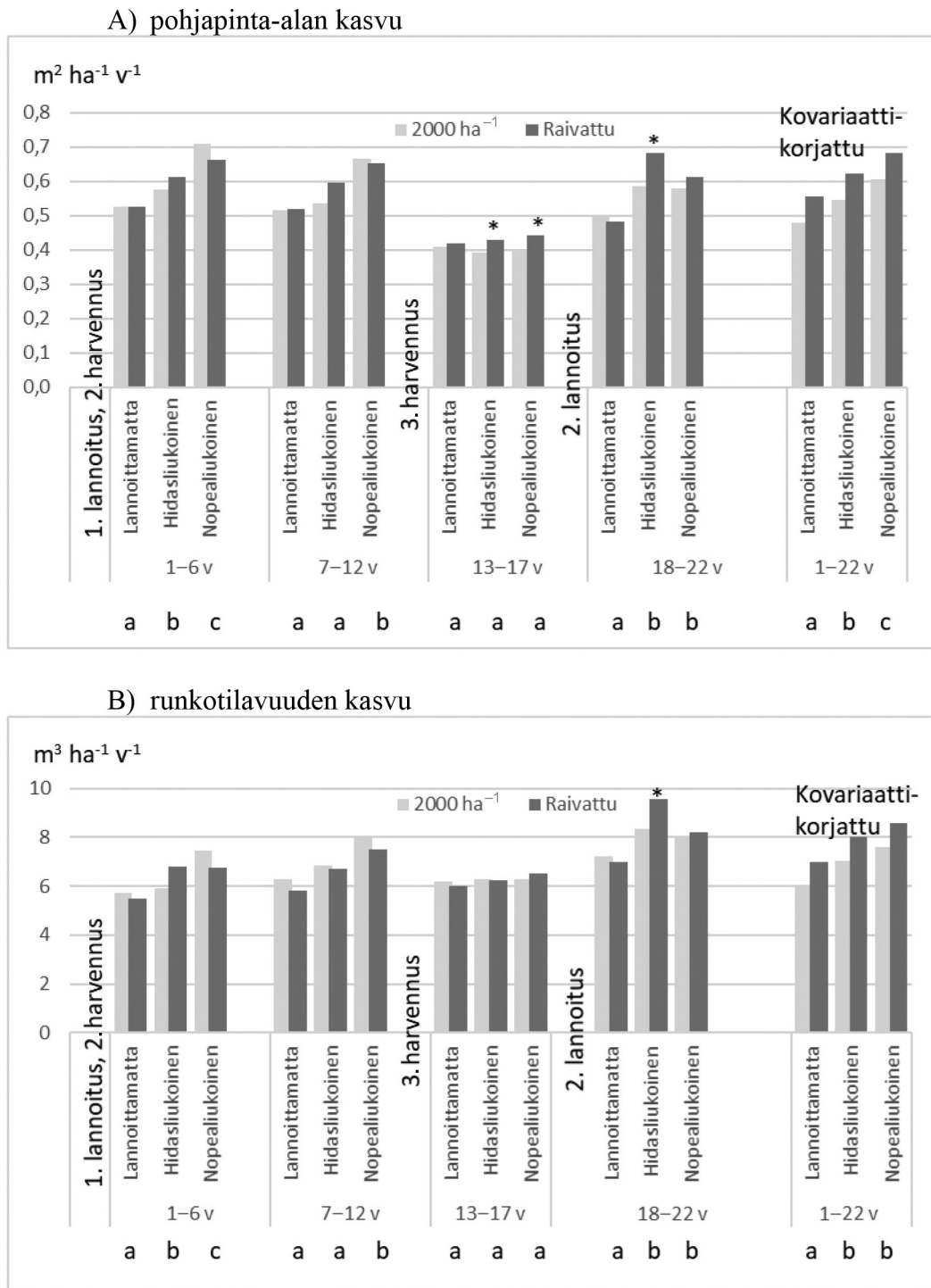
Taulukko 3. Lineaariset sekamallit lannoituksen ja alikasvoksen raivauksen vaikutukselle mäntyjakson pohjapinta-alan ja runkotilavuuden kasvuun mänty–kuusikaksijaksokokeessa Muhoksella: III-typin testi lineaaristen sekamallien kiinteille vaikutuksille ja kovariaatin (männyn valtapituusboniteetti H_{100}) kertoimet sekä satunnainen lohko- ja jäännösvaihtelu.

Kohdemuuttujana pohjapinta-alan kasvu ($m^2 ha^{-1} v^{-1}$)										
Jakso	1–6 v		7–12 v		13–17 v		18–22 v		1–22 v	
Kiinteä vaikutus	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Vakio	0,36	0,562	0,15	0,708	0,91	0,351	2,69	0,126	0,48	0,503
Lannoitus	16,93	0,000	15,24	0,000	0,28	0,759	9,30	0,002	11,00	0,001
Kuusten raivaus	1,30	0,072	0,76	0,416	5,55	0,028	5,05	0,058	0,05	0,140
H_{100} m	5,12	0,300	1,65	0,215	7,51	0,012	9,91	0,008	6,44	0,025
	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe
H_{100} kerroin	0,035	0,015	0,019	0,015	0,027	0,010	0,051	0,016	0,034	0,0213
Satunn. vaikutus										
u_j lohko	0,003	0,003	0,005	0,004	0,000	0,000	0,003	0,003	0,002	0,002
e_{ij} jäännös	0,004	0,002	0,003	0,001	0,004	0,001	0,005	0,002	0,003	0,001

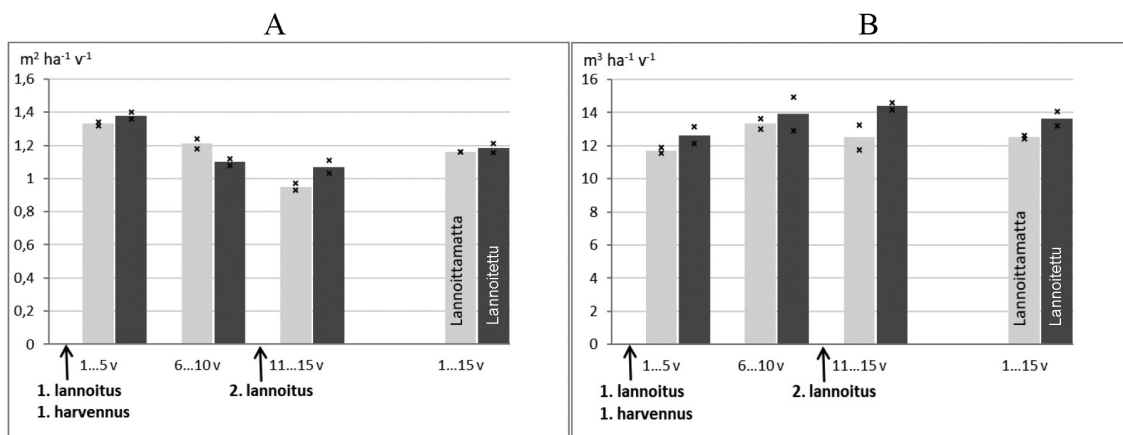
Kohdemuuttujana runkotilavuuden kasvu ($m^3 ha^{-1} v^{-1}$)										
Jakso	1–6 v		7–12 v		13–17 v		18–22 v		1–22 v	
Kiinteä vaikutus	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Vakio	1,30	0,273	0,85	0,378	1,42	0,263	4,09	0,069	3,78	0,079
Lannoitus	11,41	0,000	11,79	0,000	0,63	0,547	5,78	0,011	9,44	0,002
Kuusten raivaus	1,53	0,258	0,545	0,483	1,78	0,230	5,34	0,053	3,97	0,087
H_{100} m	5,97	0,028	7,68	0,019	7,10	0,025	12,31	0,005	15,61	0,002
	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe
H_{100} kerroin	0,510	0,208	0,439	0,158	0,483	0,181	0,816	0,232	0,579	0,146
Satunn. vaikutus										
u_j lohko	0,626	0,514	0,120	0,204	0,150	0,301	0,273	0,446	0,134	0,189
e_{ij} jäännös	0,642	0,241	0,700	0,247	0,939	0,341	1,487	0,526	0,540	0,194

sevästi vain hidasliukoisella tyypellä lannoitettuna. Lannoittamattomilla koealoilla kuusikon raivaus ei lisännyt männikön kasvua. Lannoitetuilla koealoilla tilastollisesti merkitsevä lisäys ajoittui männikön pohjapinta-alan kasvussa yli 62 v ikään ja tilavuuskasvussa yli 67 v ikään. Koko 22 vuoden tutkimusjaksolla kuusialikasvoksen raivauksen aikaansaama mäntyjakson kasvunlisäys oli $0,96 m^3 ha^{-1} v^{-1}$ (Kuva 2B) ollen tilastollisesti suuntaa-antava ($p=0,087$) (Taulukko 3).

Koko tutkimusjaksolla lannoitukset lisäsivät merkitsevästi mäntyjakson pohjapinta-alan ja runkotilavuuden kasvua verrattuna lannoittamattomaan (Kuva 2). Samanlainen tulos saatiin myös keskilämpötilan ja keskipituuden kasvuissa. Lannoitus lisäsi merkitsevästi mäntyjakson kasvua kaikilla muilla mittausjaksoilla, mutta ei kolmannella jaksolla, kun ensimmäisestä lannoituksesta oli kulunut 11–16 vuotta. Ensimmäisellä ja toisella mittausjaksolla nopealiukoinen tyyppi lisäsi mäntyjen kasvua enemmän kuin hidasliukoinen, ja koko tutkimusjaksolla tämä lannoitelajien ero oli tilastollisesti merkitsevä pohjapinta-alan kasvussa ($p=0,05$), mutta ei tilavuuskasvussa ($p=0,16$). Lannoituksella ei ollut merkitsevää yhdysvaikutusta pituusboniteetin tai alikasvoksen käsittelyn kanssa. Koko tutkimusjaksolla lannoituksen aikaansaama mäntyjakson kasvunlisäys oli keskimäärin $1,3 m^3 ha^{-1} v^{-1}$.



Kuva 2. Lannoituksen ja alikasvoskuusikon raivauksen vaikutukset mäntyjakson pohjapinta-alan (A) ja tilavuuden (B) kasvuun: koalojen keskiarvot neljällä mittausjaksolla ja koko tutkimusjakson kovariaattikorjatut estimaatit keskimääräisellä pituusboniteetilla 23,6 m. Männikön 2. harvennus tehtiin tutkimusjakson alussa ja 3. harvennus 12 vuotta sen jälkeen. Ensimmäinen lannoitus tehtiin vuosi tutkimusjakson alusta ja toinen 16 vuotta myöhemmin. Eri kirjaimin (a–c) merkittyjen lannoituskäsittelyjen vaikutukset kasvuun poikkesivat tilastollisesti toisistaan alle 5 %:n riskillä. * = käsittely, jossa kuusten raivaus lisäsi merkitsevästi männikön kasvua.



Kuva 3. Lannoituksen vaikutus mäntyjakson pohjapinta-alan (A) ja runkotilavuuden (B) kasvuun kolmella viisivuotisjaksolla puuston ensiharvennuksen jälkeen Jämsän kokeessa (x tarkoittaa koealalta mitattua havaintoa).

3.1.2 Jämsä: 30–45-vuotias istutusmännikkö

Ensiharvennusta ja lannoitusta seuraavalla viisivuotisjaksolla mäntyjakson pohjapinta-alan kasvu oli lannoitettuna noin 4 % suurempi kuin lannoittamatta, mutta toisella jaksolla ero oli päinvastainen (Kuva 3A). Sen sijaan mäntyjakson tilavuuskasvussa lannoituksen positiivinen vaikutus jatkui vielä toisella viisivuotisjaksolla, vaikkakin ensimmäistä jaksoa pienempänä (8,0 % ja 4,5 %) (Kuva 3B). Toinen typpilannoitus 10 vuotta harvennuksen ja ensimmäisen lannoituksen jälkeen lisäsi sekä pohjapinta-alan että tilavuuden kasvua enemmän kuin ensimmäinen lannoitus (13 % ja 15 %).

Koko 15 vuoden tutkimusjaksolla lannoittaminen lisäsi mäntyjen valtapituuden kasvua 9 cm v^{-1} ja valtaläpimitan kasvua $0,6 \text{ mm v}^{-1}$ (Taulukko 4), mutta ei niinkään keskipituuden ja keskiläpimitan kasvuja, joten mäntyjakson sisällä lannoituksesta hyötyivät eniten suurimmat valtapuut.

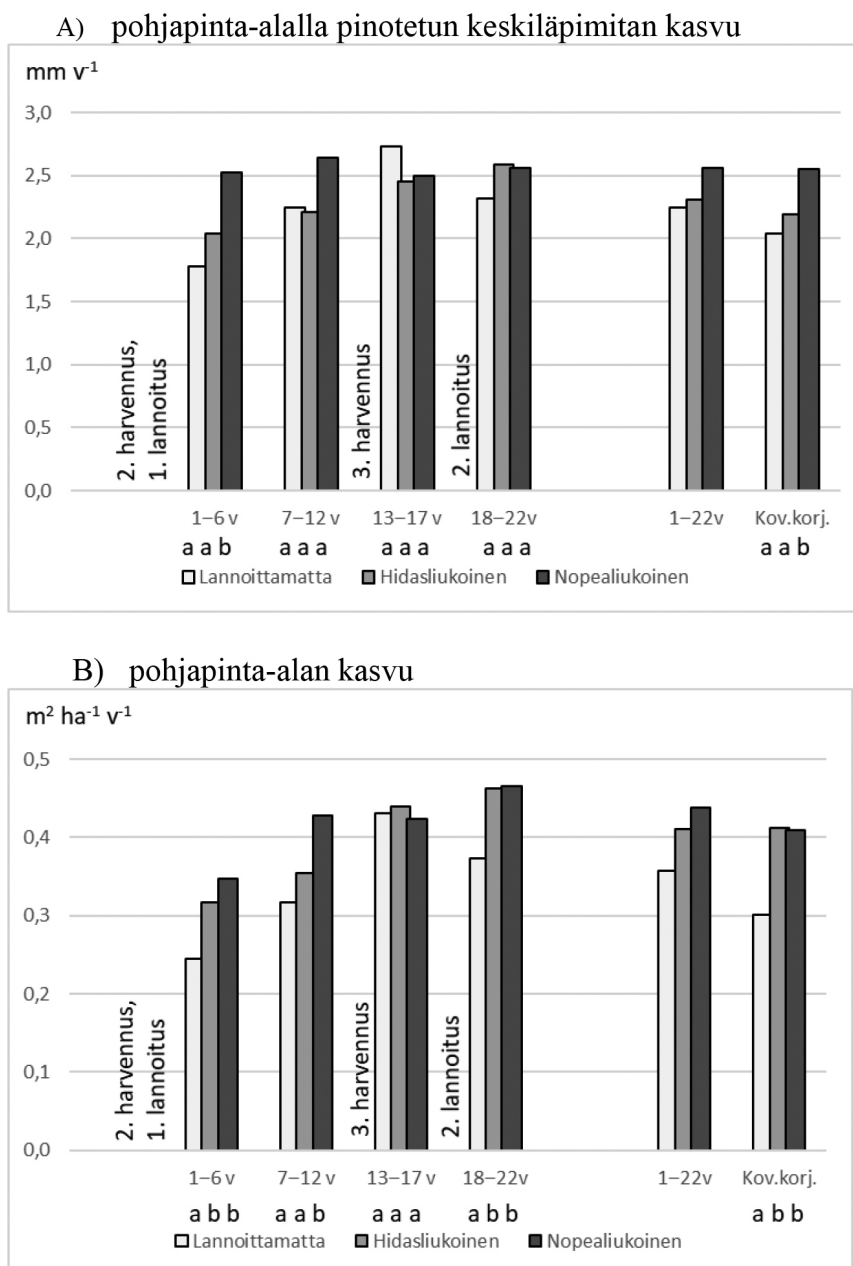
Taulukko 4. Lannoituksen vaikutus mäntyjakson keski- ja valtaläpimittojen ja -pituuksien kasvuun kolmella viisivuotisjaksolla puuston ensiharvennuksen jälkeen Jämsän kokeessa (keskitunnukset ovat pohjapinta-alalla painotettuja keskiarvoja ja valtatunnukset hehtaarille laskettujen 100 paksuimman puun keskiarvoja).

Kasvutunnus		1...5 v	6...10 v	11...15 v	1...15 v
Keskiläpimita, mm v^{-1}	lannoittamatta	5,7	4,6	3,4	4,6
	lannoitettu	6,1	4,4	4,0	4,8
Valtaläpimita, mm v^{-1}	lannoittamatta	6,9	5,8	4,1	5,6
	lannoitettu	7,3	6,0	5,4	6,2
Keskipituus, cm v^{-1}	lannoittamatta	53	48	43	48
	lannoitettu	55	55	45	52
Valtapituus, cm v^{-1}	lannoittamatta	54	41	45	47
	lannoitettu	57	61	50	56

3.2 Kuusijakson kasvu

3.2.1 Alikasvoksen läpimitan kasvu Muhoksen kokeessa

Kasvupaikan viljavuusvaihtelu vaikutti alikasvoskuusten kasvuun, joten männikön pituusboniteettia käytettiin analyysissä kovariaattina. Kuvassa 4 on esitetty koko tutkimusjaksolta mitatut keskiläpimitan ja pohjapinta-alan kasvat käsittelykeskiarvoina ja niiden kovariaattikorjatut estimaatit keskimääräisellä viljavuustasolla.



Kuva 4. Alikasvoskuusikon keskiläpimitan (A) ja pohjapinta-alan (B) kasvut lannoituskäsittelyittäin neljällä mittausjaksolla sekä koko 22 vuoden tutkimusjaksolta mitatut keskiarvot ja kovariaattikorjatut estimaatit keskimääräisellä pituusboniteetilla 23,6 m. Eri kirjaimin (a–b) merkittyjen lannoituskäsittelyjen vaikutukset kasvuun poikkesivat tilastollisesti toisistaan alle 5 %:n riskillä.

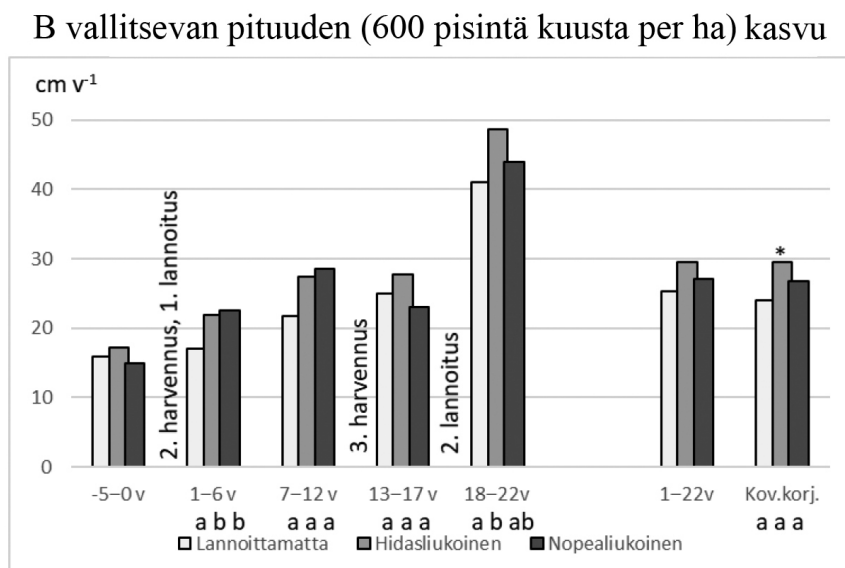
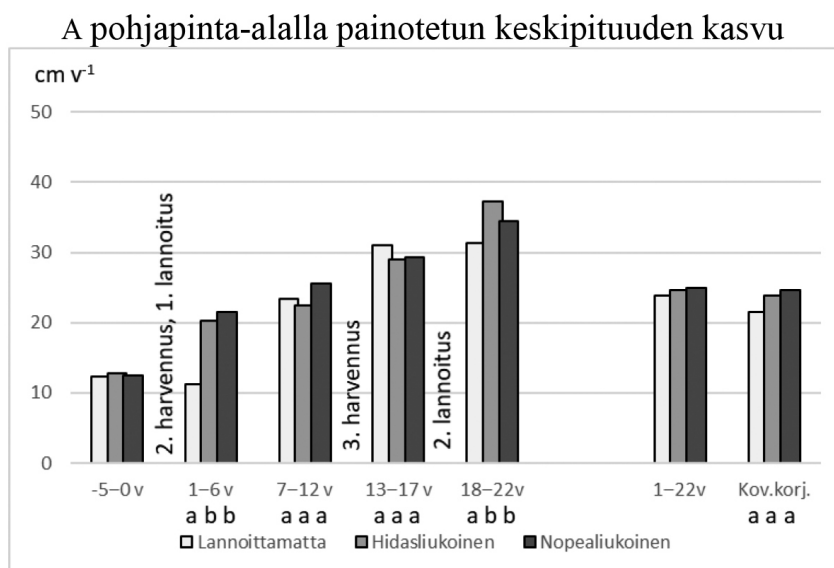
Ensimmäisellä mittausjaksolla nopealiukoinen urea lisäsi alikasvoskuusten keskiläpimitan kasvua $0,75 \text{ mm v}^{-1}$ verrattuna lannoittamattomaan (Kuva 4A, Taulukko 5). Toisella mittausjaksolla urean vaikutus oli $0,58 \text{ mm v}^{-1}$, mutta oli enää tilastollisesti suuntaa antava ($p=0,098$). Hidasliukoisella Kemifixillä ei ollut vaikutusta. Kolmannella mittausjaksolla lannoituksella ei ollut vaikutusta kuusten läpimitan kasvuun. Neljännellä mittausjaksolla, heti toisen lannoitusker-

Taulukko 5. Lineaariset sekamallit lannoituksen vaikutuksille alikasvoskuusikon kasvuun mänty–kuusikaksijakso-kokeessa Muhoksella: III-tyypin testi lineaaristen sekamallien kiinteille vaikutuksille ja kovariaatin (männyn valta-pituusboniteetti H_{100}) kertoimet sekä satunnainen lohko- ja jäännösvaihtelu.

Jakso	1–6 v		7–12 v		13–17 v		18–22 v		1–22 v	
Pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan kasvu (mm v^{-1})										
Kiinteä vaikutus	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Vakio	1,14	0,32	0,50	0,51	0,75	0,42	0,24	0,64	0,29	0,61
Lannoitus	17,1	0,00	2,0	0,19	0,26	0,87	2,3	0,16	3,6	0,07
H_{100} m	5,2	0,06	0,28	0,62	4,9	0,07	2,1	0,19	3,6	0,10
	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe
H_{100} kerroin	0,161	0,071	0,041	0,079	0,172	0,077	0,152	0,105	0,135	0,071
Satunn. vaikutus										
u_j lohko	0,056	0,061	0,027	0,070	0,034	0,057	0,110	0,120	0,041	0,052
e_{ij} jäännös	0,067	0,034	0,157	0,078	0,135	0,063	0,164	0,081	0,089	0,043
Pohjapinta-alan kasvu ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$)										
Kiinteä vaikutus	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Vakio	0,98	0,34	0,016	0,902	3,73	0,078	0,749	0,408	1,142	0,307
Lannoitus	12,6	0,004	3,16	0,103	2,08	0,203	3,83	0,067	4,661	0,051
H_{100} m	3,5	0,088	0,583	0,46	7,42	0,019	2,20	0,170	3,247	0,097
	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe
H_{100} kerroin	0,026	0,014	0,018	0,024	0,062	0,023	0,042	0,029	0,041	0,023
Satunn. vaikutus										
u_j lohko	0,005	0,004	0,011	0,010	0,017	0,015	0,013	0,012	0,012	0,011
e_{ij} jäännös	0,002	0,001	0,005	0,003	0,003	0,002	0,008	0,004	0,004	0,002
Pohjapinta-alalla painotetun keskipituuden kasvu (cm v^{-1})										
Kiinteä vaikutus	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Vakio	0,35	0,59	0,45	0,53	0,35	0,58	0,00	0,96	0,14	0,72
Lannoitus	2,9	0,10	0,61	0,56	0,09	0,92	4,7	0,04	1,1	0,36
H_{100} m	0,02	0,91	1,67	0,24	4,9	0,08	1,9	0,21	2,3	0,17
	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe
H_{100} kerroin	-0,20	1,59	2,00	1,55	1,68	0,76	1,35	0,98	1,33	0,87
Satunn. vaikutus										
u_j lohko	16,23	29,5	22,9	28,1	1,91	6,3	9,13	10,1	8,37	8,79
e_{ij} jäännös	53,03	26,7	37,3	18,9	16,2	7,8	15,0	7,3	10,54	5,27
Vallitsevien alikasvoskuusien (600/ha) pituuskasvu (cm v^{-1})										
Kiinteä vaikutus	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Vakio	0,37	0,56	3,2	0,10	4,2	0,06	7,3	0,02	0,02	0,89
Lannoitus	5,3	0,03	0,73	0,50	1,1	0,36	7,0	0,02	1,8	0,22
H_{100} m	1,3	0,27	1,0	0,33	0,79	0,39	12,2	0,004	0,94	0,38
	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe	Estim.	Keski- virhe
H_{100} kerroin	1,69	1,46	-1,37	1,36	0,80	0,90	8,5	2,4	0,98	1,01
Satunn. vaikutus										
u_j lohko	37,3	30,6	-	-	-	-	165,5	141	7,33	13,8
e_{ij} jäännös	19,2	9,81	67,0	27,4	29,3	11,9	38,9	22,3	19,9	10,7

ran jälkeen alikasvoksen keskiläpimitan kasvu pysyi ennallaan, mutta lannoittamattomilla koealoilla se hidastui (Kuva 4A, Taulukko 5). Koko tutkimusjaksolla urealannoitus lisäsi alikasvoksen keskiläpimitan kasvua boniteetti huomioiden $0,51 \text{ mm v}^{-1}$, mutta hidasliukoisella tyypellä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta (Kuva 5). Urealannoituksen ja hidasliukoiseen typpilannokseen ero $0,35 \text{ mm v}^{-1}$ ei ollut merkitsevä ($p=0,117$). Vallitsevan alikasvoksen keskiläpimitan kasvuun lannoitusten vaikutus oli samanlainen kuin koko alikasvospuuston keskiläpimitan kasvuun.

Alikasvoksen pohjapinta-alan kasvu lisääntyi voimakkaasti urealannoituksella kahdella ensimmäisellä mittausjaksolla ja pysyi sitten samalla tasolla, kunnes kohosi taas toisen lannoituksen jälkeen (Kuva 4B). Hidasliukoisella tyypellä lannoitettuna alikasvoksen pohjapinta-alan



Kuva 5. Alikasvoskuusikon keskipituuden (A) ja vallitsevan pituuden (B) kasvut lannoituskäsittelyittäin ennen kokeen perustamista ja neljällä mittausjaksolla sen jälkeen sekä koko 22 vuoden tutkimusjakson mitatut keskiarvot ja kovariaattikorjatut estimaatit keskimääräisellä pituusboniteetilla 23,6 m. Eri kirjaimin (a–b) merkittyjen lannoituskäsittelyjen vaikutukset kasvuun poikkesivat tilastollisesti toisistaan alle 5 %:n riskillä. * = Hidasliukoisen lannoitteen vaikutus oli tilastollisesti suuntaa antava ($p = 0,097$) lannoittamattomaan verrattuna.

kasvun lisäys oli hitaampi jatkuen kuitenkin koko tutkimusjakson ajan. Ilman lannoitusta kasvu lisääntyi 7–12 vuoden jaksolla männikön harvennuksen jälkeen ja jatkoi lisäystä heti seuraavan harvennuksen jälkeen. Neljännellä mittausjaksolla (18–22 v) alikasvoksen pohjapinta-alan kasvu kääntyi laskuun lannoittamattomilla koealoilla. Koko 22 vuoden mittausjaksolla lannoitus lisäsi taimikon pohjapinta-alan vuotuista kasvua $0,11 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (36 %) lannoittamattomaan verrattuna eikä lannoittelajien välillä ollut eroa.

3.2.2 Alikasvoksen pituuskasvu Muhoksen kokeessa

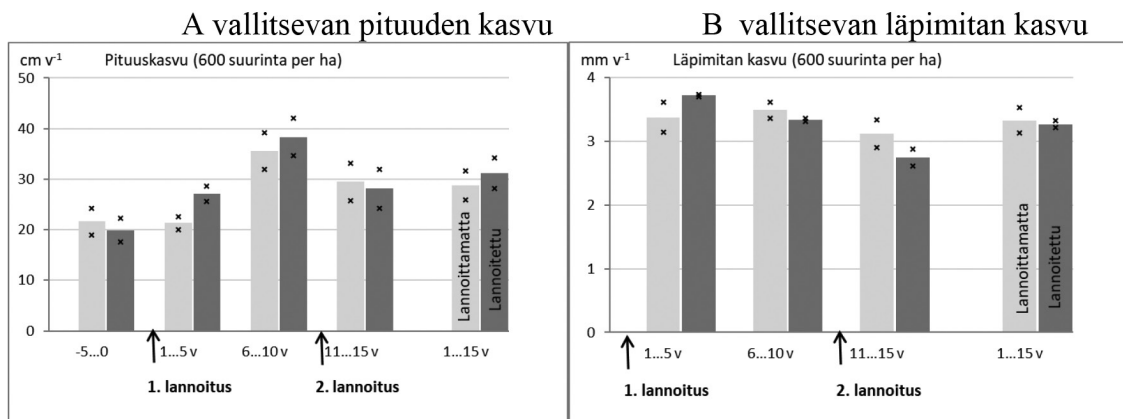
Alikasvoskuusten keskipituuden kasvu lisääntyi selvästi koko tutkimusjakson ajan (Kuva 5). Toisella mittausjaksolla, 7–12 vuotta kokeen perustamisesta, keskipituuden kasvu oli noin kaksinkertainen ja neljännellä mittausjaksolla noin kolminkertainen kokeen perustamista edeltäneeseen pituuskasvuun verrattuna. Lannoitus lisäsi alikasvoskuusten keskipituuden kasvua ainoastaan jaksoilla 1–6 ja 18–22 v kokeen perustamisesta, eli ensimmäisillä mittausjaksoilla kummankin lannoituskerran jälkeen. Lannoittelajilla ei ollut vaikutusta alikasvoksen keskipituuden kasvuun. Koko tutkimusjaksolla ja kokeen keskimääräisellä boniteetilla alikasvoskuusten keskipituuden vuotuinen kasvu oli lannoitettuna 24,3 cm ja lannoittamatta 21,6 cm, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0,154$).

Vallitsevan kuusialikasvoksen (600 pisintä per ha) pituuskasvu noudatteli aluksi samankaltaista rytmiä kuin pohjapinta-alalla painotetun keskipituuden kasvu ollen noin 3 cm suurempi vuodessa (Kuva 5B). Kolmannella mittausjaksolla, 11–15 vuotta ensimmäisen lannoituksen jälkeen, vallitsevan alikasvoksen pituuskasvu ei enää lisääntynyt, mutta viimeisellä mittausjaksolla se lisääntyi voimakkaasti kaikissa käsittelyissä, myös ilman lannoitusta. Tällöin vallitsevan alikasvoksen pituuskasvun elpymistä edisti lannoituksen toistamisen rinnalla myös kuusi vuotta aikaisemmin tehty männikön harvennus (vrt. Niemistö ja Valkonen 2021).

Samoin kuin keskipituuden kasvua, lannoittaminen lisäsi vallitsevan alikasvoksen pituuskasvua merkitsevästi vain kummankin lannoituskerran jälkeisellä ensimmäisellä mittausjaksolla eikä lannoitusvaikutus ollut merkitsevä koko tutkimusjaksolle laskettuna. Lannoittelajien välillä ei nytkään ollut merkitseviä eroja, mutta hidaslukuoksen tyyppien positiivinen vaikutus pituuskasvuun näyttää voimistuvan tutkimusjakson loppua kohden etenkin vallitsevassa alikasvoksessa (Kuva 5B), jonka pituuskasvu koko tutkimusjaksolla oli $5,6 \text{ cm v}^{-1}$ suurempi verrattuna lannoittamattomaan ($p=0,097$).

3.2.3 Alikasvoksen pituuskasvu kasvu Jämsän kokeessa

Ilman lannoitusta vallitsevan alikasvoksen pituuskasvu lisääntyi vasta toisella viisivuotisjaksolla männikön ensiharvennuksen jälkeen, mutta lannoitus lisäsi pituuskasvua ensimmäisellä jaksolla 27 % ja toisella 7 % lannoittamattomaan verrattuna (Kuva 6A). Toisesta lannoituksesta huolimatta vallitsevan alikasvoksen pituuskasvu taantui kolmannella viisivuotisjaksolla, lannoitetuilla koealoilla enemmän kuin lannoittamattomilla. Kahden lannoituksen positiivinen vaikutus koko 15 vuoden tutkimusjakson pituuskasvuun oli merkityksettömän pieni: $2,3 \text{ cm v}^{-1}$. Tulos oli samanlainen myös aritmeettisen keskipituuden kasvussa. Sen sijaan valtapituuden (100 pisintä per ha) kasvu oli heti lannoitusta seuraavalla viisivuotisjaksolla 44 % lannoittamattomasta suurempi (Taulukko 6). Vastaava ero oli toisen lannoituksen jälkeen 30 %. Koko tutkimusjaksolla kaksi lannoitusta lisäsivät alikasvoksen valtapituutta 118 cm ja sen kasvua 8 cm vuodessa.



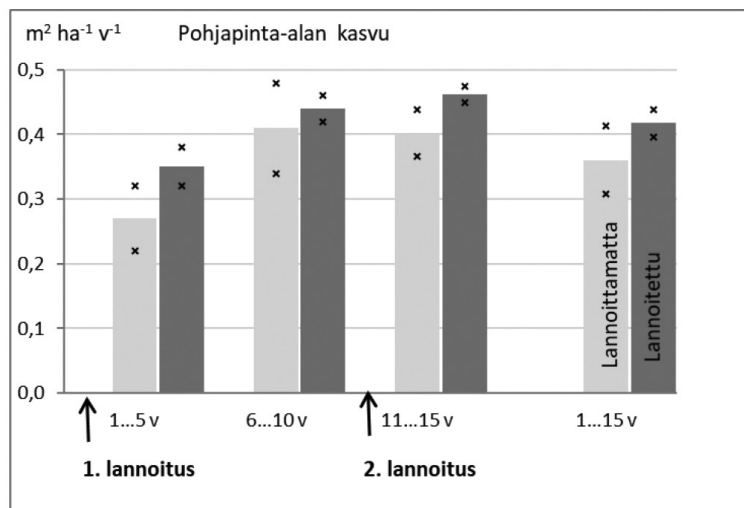
Kuva 6. Lannoituksen vaikutus kuusialikasvoksen vallitsevien taimien (600 pisintä per ha) keskipituuden (A) ja -läpimitan (B) kasvuun kolmella viisivuotisjaksolla männikön ensiharvennuksen jälkeen Jämsän kokeessa (x tarkoittaa koealaa).

Taulukko 6. Lannoituksen vaikutus alikasvoskuusikon (1600 kpl per ha) aritmeettisen keskiläpimitan ja keskipituuden sekä valtaläpimitan ja valtapituuden kasvuihin kolmella viisivuotisjaksolla puuston ensiharvennuksen jälkeen Jämsän kokeessa (valtaapuilla tarkoitetaan tässä 100:a pisintä alikasvoskuusta hehtaarilla).

Kasvutunnus		1...5 v	6...10 v	11...15 v	1...15 v
Keskiläpimitta, mm v ⁻¹	lannoittamatta	2,6	3,0	2,1	2,6
	lannoitettu	3,0	2,8	2,1	2,6
Valtaläpimitta, mm v ⁻¹	lannoittamatta	4,6	4,4	3,5	4,2
	lannoitettu	4,4	3,7	3,3	3,8
Keskipituus, cm v ⁻¹	lannoittamatta	18	25	22	22
	lannoitettu	22	26	24	24
Valtapituus, cm v ⁻¹	lannoittamatta	25	33	36	31
	lannoitettu	36	35	46	39

3.2.4 Alikasvoksen läpimitan Jämsän kokeessa

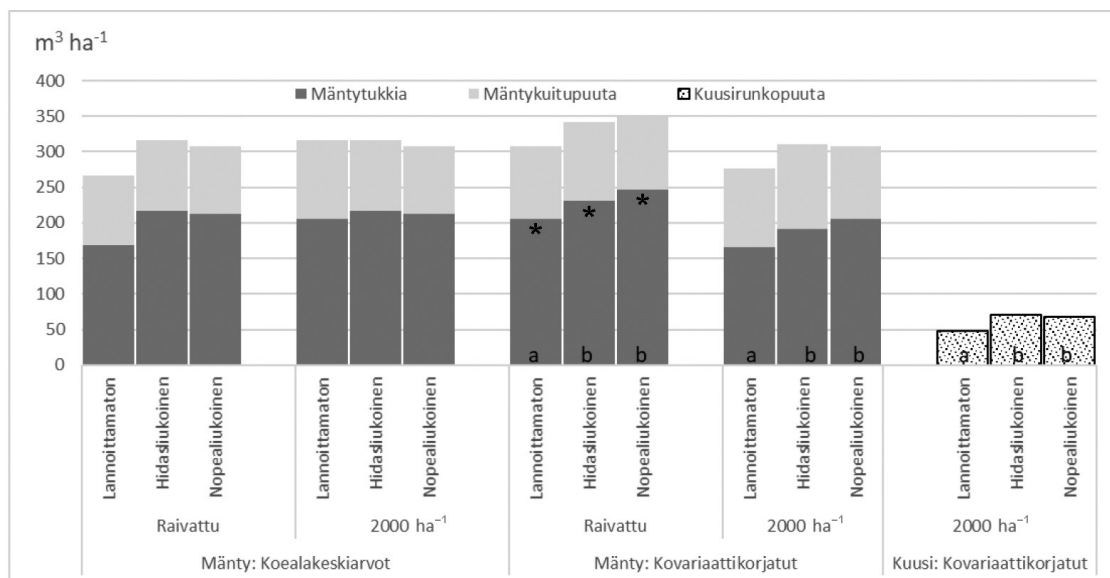
Ensimmäisellä viisivuotisjaksolla lannoituksen jälkeen vallitsevien alikasvoskuusten (600 pisintä per ha) läpimitan kasvu oli 10 % suurempi kuin lannoittamattomilla koealoilla (Kuva 6B). Toisella 5-vuotisjaksolla ero hävisi ja kolmannella jaksolla, toisen lannoituksen jälkeen, ero kääntyi päinvastaiseksi, joten koko 15 vuoden tutkimusjaksolla lannoittaminen ei vaikuttanut alikasvoskuusten läpimitan kasvuun. Tulos oli samanlainen myös aritmeettisen keskiläpimitan kasvussa, ja valtaläpimitan (100 paksuinta per ha) kasvu jopa pieneni 8 prosentilla lannoitetuilla koealoilla verrattuna lannoittamattomiin. Lannoituksen vaikutus alikasvoksen pohjapinta-alan kasvuun poikkesi keskiläpimitan kasvusta ollen positiivinen koko tutkimusjakson ajan (Kuva 7). Koko 15 vuoden jaksolla alikasvoksen pohjapinta-ala kasvoi lannoitusten ansiosta 16 %.



Kuva 7. Lannoitusten vaikutus kuusialikasvoksen pohjapinta-alan kasvuun kolmella viisivuotisjaksolla männikön ensiharvennuksen jälkeen Jämsän kokeessa (x tarkoittaa koelalalta mitattua havaintoa).

3.3 Puuntuotos ja puusto tutkimusjakson lopussa Muhoksen kokeessa

Koemetsikön puuntuotoksessa on huomioitava, että alikasvos raivattiin 13 vuotta ennen mittauksia ja 14 vuotta ennen ensimmäistä lannoitusta ja tuotoksesta puuttuu männikön ensiharvennuskertymä. Laskennallinen puuntuotos oli korkein lannoitetuilla kaksijaksoisilla koelaloilla (Kuva 8). Kaksijaksoisuus lisäsi puuntuotosta keskimäärin 26 m³ ha⁻¹ (7,8 %) ja kaksi lannoituskertaa puolestaan 47 m³ ha⁻¹ (14,8 %), mutta toisen lannoituksen vaikutusaika ei ole vielä ohi. Lannoitusten vaikutus oli suurempi kaksijaksoisessa metsässä (54 m³ ha⁻¹) kuin puhtaassa männikössä (39 m³ ha⁻¹).



Kuva 8. Mäntyjakson tukki- ja kuitupuukokoisen puutavaran tuotos ja alikasvoskuusikon runkopuun tuotos käsittelytään tutkimusjakson lopussa (ei sisällä männikön ensiharvennuspoistumaa, arviolta 25 m³ ha⁻¹ kuitupuuta). Koelaloilta laskettujen keskiarvojen rinnalla kovariaattikorjatut estimaatit kokeen keskimääräisellä boniteetilla 23,6 m. Eri kirjaimin (a–b) merkittyjen lannoituskäsittelyjen vaikutukset kasvuun poikkesivat tilastollisesti toisistaan alle 5 %:n riskillä. * = Alikasvoskuusten raivaus lisäsi männyn tukkituotosta lähes merkitsevästi verrattuna kaksijaksoiseen puustoon (p = 0,059).

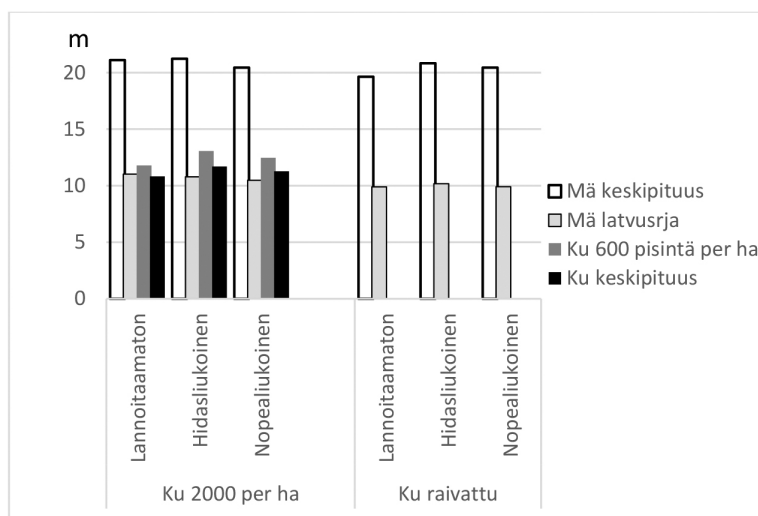
Taulukko 7. Lineaariset sekamallit lannoituksen ja alikasvoksen raivauksen vaikutukselle mänty- ja kuusijakson puuntuotukseen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) männikön 72 vuoden ikään mennessä: III-typin testi lineaaristen sekamallien kiinteille vaikutuksille ja kovariaatin (männyn valtapituusboniteetti H_{100}) kertoimet sekä satunnainen lohko- ja jäännösvaihtelu.

Tuotos	Mäntyainespuuta		Mäntytkkia		Kuusirunkopuuta	
	F-arvo	p-arvo	F-arvo	p-arvo	F-arvo	p-arvo
Vakio	12,8	0,003	14,2	0,003	0,6	0,448
Lannoitus	5,9	0,011	5,7	0,013	5,8	0,031
Kuusen raivaus	2,2	0,178	5,1	0,059		
$H_{100} \text{ m}$	31,9	0,000	28,6	0,000	2,2	0,167
	Estimaatti	Keskivirhe	Estimaatti	Keskivirhe	Estimaatti	Keskivirhe
H_{100} kerroin	36,3	6,4	29,3	5,5	5,8	3,9
Sat. vaikutus						
u_j lohko	453,8	400,1	261,8	286,8	386,3	331,1
e_{ij} jäännös	742,5	268,2	633,3	230,7	111,0	62,4

Mäntyjakson 72 vuoden ikään mennessä tukkipuukokoisen runkopuun tuotos laskettuna kokeen keskimääräiselle boniteetille oli alikasvoksesta raivatussa männikössä $40 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ korkeampi kuin kaksijaksoisessa metsässä ($p=0,059$, Taulukko 7). Kuitupuukokoisen mäntypuutavaran tuotokseen alikasvoksen raivaus ei vaikuttanut (Kuva 8). Myös lannoitus lisäsi pääasiassa tukkipuukokoisen mäntypuutavaran tuotosta (Taulukko 7), urea keskimäärin $41 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ ja hidaslukuoinen typpilannos $26 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, mutta tämä lannoitelajien ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0,26$). Ainespuukokoisen mäntypuutavaran tuotoksessa lannoitelajien välillä ei ollut eroa.

Tutkimusjakson lopussa pituudeltaan keskimäärin 11,3-metrinen alikasvoskuusikon runko-tilavuus oli lannoittamattomilla koelohjoilla keskimäärin $48 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ (Kuva 8). Lannoitus lisäsi alikasvoksen tilavuutta keskimäärin $21 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, mutta lannoitelajien vaikutuksessa ei ollut eroa.

Tutkimusjakson lopussa mäntyjakson keskipituus oli vähän yli 20 m ja elävän latvuksen alaraja hieman yli 10 m (Kuva 9). Alikasvoskuusten keskipituus on saavuttanut tai äskettäin ohittanut mäntyjen keskimääräisen latvusrajan. Lannoitetuissa puustoissa vallitsevan kuusialikasvoksen (600 pisintä per ha) keskipituus on ohittanut mäntyjen latvusrajan keskimäärin 2,5 metrillä, lannoittamattomissa vähemmän.

**Kuva 9.** Mäntyjakson aritmeettinen keskipituus ja elävän latvuksen alaraja käsitteilyttään tutkimusjakson lopussa sekä vastaava alikasvoskuusikon keskipituus painotettuna pohjapinta-alalla ja laskettuna 600 pisimmälle kuuselle hehtaarilla.

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Kasvupaikan viljavuuden vaikutukset

Kasvupaikan viljavuuden vaihtelulla oli selvä vaikutus puuston kasvuun laajassa kokeessa Muhoksella, joten kasvun analysoinnissa käytettiin kovariaattina männyn valtapituusboniteettia, jonka keskiarvo oli 23,7 m ja vaihteluväli 21,5–27,0 m vastaten vaihtelua tuoreista lehtomaisiin kankaisiin (Gustavsen 1980). Pituusboniteetilla ei ollut merkitsevää vaikutusta tutkimusjakson pituuskasvuun männikössä, mikä voi johtua puuston yli 50 vuoden iästä. Metrin lisäys boniteetissa lisäsi mäntyjakson vuotuista tilavuuskasvua $0,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Taulukko 3) ja kuusijakson vuotuista läpimitan kasvua 0,13 mm (Taulukko 5) koko tutkimusjaksolla. Kuusijakson pituuskasvun lisäys oli vastaavasti 1,3 cm vuodessa, kun Laihon ym. (2014) tutkimuksessa vaikutus oli vain 0,25 cm vuodessa. Pituusboniteetilla ja lannoituksella ei havaittu merkitsevää yhdysvaikutusta kummankaan puujakson kasvussa, mikä vastaa männikön osalta Kukkolan ja Saramäen (1983) tulosta, jonka mukaan männyn lannoitusrekio on suurimmillaan juuri Muhoksen kokeen keskiarvoa vastaavalla viljavuustasolla ja muuttuu vain lievästi sen vaihteluvälillä.

4.2 Alikasvoksen raivauksen vaikutus

Alikasvoksesta raivatut koealat olivat pituusboniteetiltaan keskimäärin 1,5 metriä karummalla kasvupaikalla kuin kaksijaksoisina kasvatetut koealat (Kuva 1). Kun koealojen viljavuuserot otettiin huomioon, alikasvoksen raivaus lisäsi männikön runkotilavuuden kasvua koko tutkimusjaksolla $0,95 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ (Kuva 2B). Vaikutus oli vain suuntaa antava 8,7 %:n riskillä, ja myös viljavuuseron vuoksi tulokseen on suhtauduttava varauksella. Toisaalta kasvuvaihtelun ajoittuminen saa tukea aikaisemmista tutkimuksista. Kuusialikasvoksen raivauksella ei ollut tässä tutkimuksessa vaikutusta mäntyjakson kasvuun aluksi, 12 vuoden aikana kokeen perustamisesta lukien, mutta sen jälkeen pohjapinta-alan kasvu oli suurempi, mikäli alikasvos oli raivattu (Taulukko 3). Tilavuuskasvussa merkitsevä ero $1,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ mitattiin vasta viimeisellä mittaussyksyllä, kun mäntyjakso oli 67–72-vuotias ja kuusialikasvoksen keskipituus 9–10 m. Isomäen (1979) mukaan männikön alla kasvava kuusialikasvos alkoi vähentää ylemmän mäntyjakson kasvua samassa iässä ja yli 70-vuotiaassa puustossa vaikutus oli noin $2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$. Niemistön ja Valkosen (2021) tutkimuksessa vastaava vaikutus oli $1,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ ja se havaittiin jo toisen harvennuksen jälkeen 40–50-vuotiaassa mäntyjaksossa, mutta ei sitä nuoremmissa puustoissa.

Varttuneissa männiköissä lannoitusvaikutuksen on havaittu pienentyvän puuston ylitheyden vaikutuksesta (Viro 1967, 1968; Kukkola ja Saramäki 1983). Muhoksen kokeessa alikasvoksen raivauksella ja lannoituksella ei ollut kuitenkaan yhdysvaikutusta mäntyjakson kasvuun, siitäkään huolimatta, että kuusten kasvunlisäyksestä päätellen osa lannoitteesta näyttää päätyvän alikasvoksen käyttöön. Raivatun kuusialikasvoksen neulasten ravinteet vapautuvat nopeasti, mutta puuaineksen hajotus ja muun kasvillisuuden runsastuminen voivat myös sitoa ohimenevästi ravinteita, etenkin typpeä, joka on todennäköinen minimitekijä mäntyjen kasvuun. Maahan kaadettuun raivauspuuhun rinnastettavan hakkuutähteen pitkäaikainen kokonaisvaikutus maan ravinnetilaan on kuitenkin positiivinen (Smolander ym. 2008). Kuusen harvennustähteillä on ollut selvästi positiivinen vaikutus puuston kasvuun 20 vuoden aikana verrattuna kokopuunkorjuuseen (Kaarakka ym. 2014), mutta männyllä vastaava vaikutus on hitaampi ja epäselvempi (Tamminen ja Saarsalmi 2013). Alikasvoksen olemassaoloon tai raivaukseen liittyvät valaistuksen, lämpötilan, kosteuden ja karikkeen eroavaisuudet ravinnevaikutuksineen muodostavat kuitenkin juuristokilpailun ohella niin moniulotteisen kokonaisuuden (Smolander ym. 2008), etteivät lannoituksen ja alikasvoksen raivauksen mahdolliset yhdysvaikutukset tulleet tässä tutkimuksessa esiin.

4.3 Alikasvoskuusten pituuskasvun elpyminen

Lannoitetuilla koealoilla alikasvoskuusten pituuskasvu lisääntyi selvästi ensimmäisellä 5–6 vuoden jaksolla männikön harvennuksen ja ensimmäisen lannoituksen jälkeen (Kuva 5). Pelkän harvennuksen vaikutuksesta, ilman lannoitusta alikasvoksen pituuskasvu lisääntyi vasta toisella mittausjaksolla, kuten havaittiin myös Niemistön ja Valkosen (2021) tutkimuksessa. Tutkimuksen alkaessa vallitsevien alikasvoskuusten keskipituus oli Muhoksella 6,2 m ja Jämsässä 4,6 m (Taulukko 2), ja ilman lannoitusta se kaksinkertaistui tutkimusjakson aikana pituuskasvujen ollessa vastaavasti 26 cm ja 31 cm vuodessa (Kuva 5). Laihon ym. (2014) mallin mukaan yli 4 m:n pituiset alikasvoskuuset kasvaisivat vastaavissa olosuhteissa männikön ja koivikon alla yli 50 cm vuodessa.

Muhoksen kokeen lannoitetuilla koealoilla kuusten keskipituuden kasvu jatkoi lisääntymistään koko tutkimusjakson ajan (Kuva 5), mutta vallitsevan alikasvoksen (600 pisintä kuusta per ha) pituuskasvussa havaittiin lievä taantumisen kolmannella mittausjaksolla, jonka jälkeen toinen lannoitus lisäsi pituuskasvua voimakkaasti. Kahden lannoituskerran aiheuttama lisäys kuusten keskipituudessa oli urealla 0,5 m (4 %) ja hidasvaikutteisella typellä kaksinkertainen. Jämsän kokeessa yhden lannoituskerran vaikutus kuusten pituuskasvuun oli voimakas, mutta nopeasti ohimenevä. Latviassa viljelykuusten NPK-kertalannoituksen vaikutus keskipituuteen 34 vuoden jaksolla on ollut 3 % (Jansons ym. 2015) eli jakson pituus huomioiden samaa luokkaa kuin nopeavaikutteisten typpilannoitteiden vaikutus tässä tutkimuksessa.

Ilman lannoitustakin alikasvoskuusten pituuden ja läpimitan kasvu lisääntyivät Muhoksen kokeessa selvästi toisella ja kolmannelle mittausjaksolla (Kuva 5). Ilmeisesti männikön harvennuksen toistaminen 12 vuoden kuluttua riitti ylläpitämään alikasvoskuusten elpynyttä pituuskasvua.

4.4 Lannoituksen vaikutukset mäntyjakson kasvuun

Muhoksen kokeen typpilannoituksissa käytettiin nopealiukoista ureaa ja hidasliukoisina lannoitteina ensin Kemifixiä ja toisella kerralla metyleeniureaa. Kahden lannoituksen väli oli 16 vuotta. Lannoitus lisäsi vallitsevan jakson mäntyjen kasvua kaikilla muilla mittausjaksoilla paitsi kolmannella, kun ensimmäisestä lannoituksesta oli kulunut 11–16 vuotta (Kuva 2). Urea lisäsi kasvua aluksi enemmän kuin hidasliukoinen Kemifix, mutta koko tutkimusjaksolla lannoitelajien vaikutukset tilavuuskasvuun tai tukkipuun tuotokseen eivät eronneet toisistaan, vaikka urea lisäsi pohjapinta-alan kasvua enemmän kuin hidasliukoinen typpi.

Keskimääräinen lannoitusvaikutus mäntyjakson vuotuisen tilavuuskasvuun koko tutkimusjaksolla oli $1,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (20 %), eikä kuusialikasvoksen raivauksella ollut vaikutusta lannoitusreaktioon. Lannoitusvaikutukset vastaavat hyvin aikaisemmissa tutkimuksissa männiköistä mitattuja vaikutuksia, kun otetaan huomioon typpimäärä (Mälkönen ym. 1997: $12\text{--}20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ per 150 kg N ha^{-1}), lannoitusten toistaminen (Kukkola ja Saramäki 1983: $1,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) ja lannoitusvaikutuksen ajoittuminen (Hynynen ja Kukkola 1989: $1,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ viiden vuoden jaksolla). Kasvupaikka ja tutkimuspuuston ikä olivat lannoituksen kannalta lähes optimaaliset (Gustavsen ja Lipas 1975), eikä maantieteellinen sijainti näyttänyt pienentävän kasvureaktiota Muhoksella. Kukkolan ja Saramäen (1983) mukaan se oli Pohjois-Suomessa 63 % Etelä-Suomen vastaavasta.

Jämsän kokeessa lannoite oli nopeavaikutteinen salpietari ja lannoitusväli 10 vuotta. Kuutiometreissä lannoituksen kasvuvaikutus oli vähän pienempi kuin edellä, mutta prosenteissa vain 9 %, koska kasvun taso Jämsässä oli korkeampi (Kuva 3). Alikasvos ei vaikuttanut lannoitusreaktioon, mutta puuston nuoruus ja kasvupaikan viljavuus saattoivat pienentää sitä (Gustavsen ja Lipas 1975). Lannoitus lisäsi valtapituuden kasvua saman verran kuin Hynynen ja Kukkolan (1989) tutkimuksessa, 9 cm vuodessa (Taulukko 6).

Mäntyjakson lannoitusvaikutus jatkui Muhoksen kokeessa 6–11 vuoden jaksolla lähes yhtä voimakkaana kuin se oli ensimmäisellä mittausjaksolla lannoitelajista riippumatta (Kuva 2). Vaikka tarkkaa vaikutusaikaa ei mittausväleistä johtuen voitu määrittää, oli se urealannoitukselle melko pitkä. Kukkolan ja Saramäen (1983) mukaan männikön typpilannoitus kannattaisi toistaa 4–8 vuoden välein ennen kuin edellisen lannoituksen vaikutus loppuu. Kolmannella jaksolla (12–16 v lannoituksesta) ei kasvuvaikutusta havaittu edes hidasliukoisella Kemifix-lannoitteella. Nuoremassa männikössä, paremmalla kasvupaikalla lannoitusvaikutus oli ohi viidessä vuodessa (Kuva 3) lukuun ottamatta pituuskasvua, jota lannoitus lisäsi etenkin toisella 5-vuotisjaksolla lannoituksen jälkeen (Taulukko 4).

4.5 Lannoituksen vaikutukset kuusialikasvoksen kasvuun

Nopeavaikutteinen typpilannos lisäsi alikasvoskuusten läpimitan kasvua selvästi heti ensimmäisellä viisivuotisjaksolla (Kuva 4). Myöhemmin vaikutus pieneni eikä toinen lannoituskerta enää lisännyt kuusten läpimitan kasvua. Alikasvoksen pohjapinta-alan kasvussa tulos oli kuitenkin erilainen johtuen siitä, että heti tutkimusjakson alussa lisääntynyt läpimitan kasvu suurensi nopeasti kehää, jolle uudet vuosilustot syntyivät. Jatkossa yhtä suuri tai pienempikin läpimitan kasvu saattoi johtaa suurempaan poikkileikkauspinnan kasvuun. Molemmissa kokeissa lannoituksen positiivinen vaikutus kuusialikasvoksen pohjapinta-alan kasvuun oli suurempi ensimmäisellä 5-vuotisjaksolla verrattuna toiseen mittausjaksoon. Tämän jälkeen ensimmäisen lannoituskerran vaikutus loppui, mutta reaktio toiseen lannoituskertaan oli yhtä voimakas kuin ensimmäiseen.

Koko tutkimusjaksolla nopea- ja hidasliukoisen typpilannoitteen vaikutus oli yhtä suuri. Muhoksen kokeessa lannoitusvaikutus alikasvoksen pohjapinta-alan kasvuun oli 36 % (Kuva 4B) ja Jämsän kokeessa 16 % (Kuva 7). Kokonaisvaikutus tulee olemaan suurempi, koska toisen lannoituskerran vaikutus on vielä kesken. Avoalalle perustetussa kuusikossa puiden keskinäinen kilpailu on aluksi vähäisempää, jolloin kertalannoitus on vaikuttanut vähemmän, lisäten keskiläpimittaa 7 % ja tilavuutta 17 % 34 vuoden jaksolla (Jansons ym. 2015).

Koko tutkimusjaksolla lannoitus ei lisännyt merkittävästi alikasvoksen pituuskasvua. Kuitenkin Muhoksen kokeessa lannoitus lisäsi alikasvoskuusten keskipituuden kasvua ensimmäisellä viisivuotisjaksolla kummankin lannoituskerran jälkeen (Kuva 5). Alikasvoksen pisimmillä puilla vaikutus näkyi pitempään, kuten myös Jämsän kokeessa (Kuva 6A), jossa toinen lannoituskerta ei kuitenkaan lisännyt alikasvoksen pituuskasvua, kun männikköä ei harvennettu uudelleen. Näin ollen alikasvoskuusten suotuisa pituuskehitys näyttää edellyttävän ylemmän mäntyjakson säännöllistä ja riittävää harventamista (vrt. Niemistö ja Valkonen 2021), jota lannoitus ei tässä tapauksessa korvannut.

Koko tutkimusjaksolla lannoitelajien vaikutuksessa ei ollut eroa, mutta havaittavissa oli trendi, jonka mukaan hidasvaikutteinen typpilannos edisti valitsevien alikasvoskuusten pituuskasvua tutkimusjakson loppua kohden (Kuva 5). Näyttää siltä, että lannoitus lisää alikasvoskuusten pituuskasvun eroja vallitsevien taimien hyväksi, etenkin hidasliukoisella typpilannoksella. Urealannoitus lisäsi pituuskasvua tasaisemmin kaiken kokoisilla kuusilla.

Alikasvoskuusten keskiläpimitan kasvu suhteessa pituuskasvuun oli voimakkaampaa tutkimusjakson alussa, etenkin urealannoituksella, mutta jatkossa kuusten keskimääräinen solakkuus lisääntyi siten, ettei lannoituskäsittelyillä ollut vaikutusta keskimääräiseen runkomuotoon. Viimeisellä jaksolla, heti toisen lannoituksen jälkeen vallitsevien kuusten solakkuus lisääntyi voimakkaasti, etenkin hidasliukoisella tyypellä lannoitettuna.

Odotusten mukaan kasvureaktiot nopealiukoiseen typpilannoitteeseen olivat nopeampia ja lyhytkestoisempia kuin hidasliukoisilla lannoitteilla. Selvin tämä ero oli kuusialikasvoksen läpi-

mitan kasvussa (Kuva 4A). Toisen lannoituskerran jälkeen kasvut on mitattu vain yhdeltä viisivuotisjaksolta, joten lannoitusvaikutukset puiden kasvuun ovat vielä kesken. Muhoksen kokeen viimeiseltä jaksolta mitattu lannoitusreaktio oli voimakas alikasvoksen pituuskasvussa (Kuva 5) ja myös mäntyjakson tilavuuskasvussa (Kuva 2B). Tämä reaktio oli suurempi hidasliukoisella tyypellä kuin urealla, joten on odotettavissa, että hidasliukoisen tyyppien vaikutukset tutkimusjakson jälkeen ovat positiivisempia kuin urealannoituksella.

4.6 Harvennuksen ja lannoituksen ajoitus

Ensimmäisen lannoituksen ja harvennuksen vaikutuksia ei tässä tutkimuksessa voitu erottaa toisistaan, koska toimenpiteet tehtiin samanaikaisesti. Näyttää siltä, että lannoitusvaikutus alikasvoskuusten pituuskasvuun tapahtuu välittömästi, mutta harvennusvaikutus tulee noin viiden vuoden viiveellä (Kuva 5). Kun toinen lannoitus tehtiin viisi vuotta mäntyjakson harvennuksen jälkeen, alikasvoskuusten kasvu lisääntyi hyvin voimakkaasti, etenkin hidasliukoisella typpilannoksella. Yksijakoisissa männiköissä tulos oli saman suuntainen, kun lannoitus kolme vuotta harvennuksen jälkeen sai aikaan suuremman kasvunlisäyksen kuin käsittelyjen samanaikaisuus tai lannoitus kolme vuotta ennen harvennusta (Möller ym. 1991). Kuusikoissa suurin kasvunlisäys saatiin samanaikaisella harvennuksella ja lannoituksella.

Tulokset viittaavat siihen, että typpilannoitus edistää alikasvoskuusten kasvua parhaiten silloin, kun niiden neulasisto on uusiutunut ja kasvukunto ehtinyt elpyä noin viiden vuoden ajan mäntyjakson harvennuksen jälkeen. Sitä vastoin Jämsän kokeessa alikasvoskuusikon pituuskehitys ei hyötynyt toisesta lannoituskerrasta silloin, kun edellisestä lannoituksesta ja mäntyjakson harvennuksesta oli kulunut 10 vuotta (Kuva 6A). Mäntyjen aiheuttama kilpailu oli ilmeisesti koventunut puuston runkotiilavuuden ja neulasalan lisääntyessä. Lannoituksen toistaminen ilman ennakoivaa harvennusta voikin koitua alikasvoksen haitaksi, koska lannoitus lisää mäntyjakson puustomäärää ja sen aiheuttamaa kilpailua. Tämän tutkimuksen aineisto on kuitenkin liian suppea lannoitusten ja harvennusten edullisimman ajoituksen selvittämiseen kaksijakoisessa metsässä.

5 Johtopäätökset

Kasvupaikan viljavuus vaikutti suhteellisesti enemmän alikasvoskuusten vallitsevan pituuden ja keskiläpimitan kasvuun kuin mäntyjakson tilavuuskasvuun, mutta ero ei ollut suuri.

Kahden typpilannoituksen aikaansaama lisäys mäntyjakson tilavuuden ja kuusijakson keskipituuden kasvussa vastasi kahden metrin lisäystä männikön pituusboniteetissa H_{100} . Alikasvoskuusten läpimitan kasvussa ja vallitsevien kuusten pituuskasvussa tutkitut lannoitukset vastasivat boniteetin kohoamista 2,5–3,0 metrillä eli noin yhdellä metsätyypillä.

Tulokset vahvistivat aikaisempia tutkimuksia siitä, että kuusialikasvoksen olemassaolo vaikuttaa negatiivisesti ylempään mäntyjakson kasvuun vasta varttuneissa puustoissa. Jos alikasvosta ei haluta hyödyntää uutena puusukupolvena, se kannattaa poistaa kustannussyistä jo aikaisessa vaiheessa ennen männikön ensiharvennusta, mutta männikön kasvun vuoksi sitä ei tarvitse poistaa. Alikasvoksen säästäminen viljavilla kasvupaikoilla antaa jatkossa mahdollisuuksia jatkuvapeitteeseen metsänkasvatukseen, tapahtuupa se sitten kaksijakoisen metsän kasvatuksena, alikasvoksen vapautuksena tai siirtymisenä erirakenteisen metsän kasvatukseen. Mäntyjakson suurimmat puut hyötyivät lannoituksesta pienempiä enemmän samoin kuin useissa muissakin tutkimuksissa (Hynynen ja Kukkola 1989; Pettersson 1980). Kun lannoitusvaikutus oli samansuuntainen myös alikasvoksen pituuskasvussa, lannoitus lisää kaksijakoisen metsän erirakenteisuutta, varsinkin jos sitä kehitetään harvennushakkuiden puuvalinnalla.

Ainakin tuoreilla kankailla alikasvoksen kehitystä voidaan tukea typpilannoituksella, mutta samalla on huolehdittava mäntyjakson riittävästä harventamisesta. Kahden lannoituskerran hyöty 22 vuoden tutkimusjaksolla oli vallitsevien alikasvoskuusten pituudessa noin 90 cm ja läpimitassa noin 9 mm, mutta lannoitusvaikutus ei ollut vielä kokonaan ohi. Kaksijaksoisessa metsässä ylempi mäntytuusto on suhteellisen kova kilpailija kuusialikasvokselle siten, että alikasvoskuusikon hyödyntäminen edellyttää mäntyjakson voimakasta tai ainakin säännöllistä harventamista noin 10 vuoden välein (vrt. Niemistö ja Valkonen 2021). Lannoitus ei korvaa mäntyjakson harvennusta. Suuri osa lannoitusvaikutuksesta päättyy mäntyjen kasvuun, jolloin alikasvokseen kohdistuva kilpailu lisääntyy ja lannoitus voi päinvastoin lisätä männikön harvennustarvetta.

Kuusialikasvosta voidaan hyödyntää männiköissä ainakin kolmella tavalla:

1. Kuusi täydentää mäntyä kaksijaksoisessa metsässä siten, että kuusi korjataan päätehakkuussa kuitupuuna samalla kertaa mäntyjakson kanssa. Tällöin männikköä käsitellään säännöllisesti vähintään harvennusmallien mukaisin harvennuksin. Typpilannoitus on suositeltavaa.
2. Kuusi kasvatetaan mäntyä seuraavana sukupolvena, joka vapautetaan normaalia aikaisemmassa männikön hakkuussa. Tällöin mäntyjaksoa harvennetaan normaalia voimakkaammin, etenkin, jos mäntyjen laatu on huono. Kuusten päällä kasvatetaan vain tukkilaatuisia mäntyjä. Kasvupaikan tulee olla viljava, joten lannoitusta ei tarvita.
3. Kuusialikasvos saa kehittyä sellaisenaan siten, että se mahdollistaa siirtymisen eri-ikäisen metsän kasvatukseen. Vain välittömästi mäntyjen hakkuuta haittaavat kuuset ennakkoraivataan tarvittaessa. Varttunutta mäntyjaksoa yläharvennetaan. Pitkävaikutteinen typpilannoitus on suositeltavaa erirakenteisuuden kehittämiseksi.

Lisätutkimusta tarvitaan kasvupaikan viljavuuden ja lannoituksen vaikutuksista useampi-jakoisissa ja erirakenteisissa puustoissa sekä hakkuiden ja lannoitusten ajoituksesta. Kestävyyden ja taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta tarvitaan lisää tutkimusta puunkorjuun kustannuksista ja puustovaurioista jaksollisten ja erirakenteisten metsien käsittelyssä.

Selvitys tutkimusdatan avoimuudesta

Tutkimuksen aineisto on saatavissa Luonnonvarakeskuksen luvalla DataPuu-tietokannasta.

Kiitokset

Kiitän Luken entisiä ja nykyisiä työntekijöitä (mm. Eero Poutiainen, Pekka Helminen, Jorma Pasanen, Kyösti Markkanen ja Kari Alatalo) kokeiden hoidosta ja mittauksista sekä tutkijoita Jussi Saramäki ja Mikko Moilanen koejärjestelyn ideoinnista ja tutkimusprofessori Hannu Ilvesniemeä käsikirjoituksen kommentoinnista. Erityiskiitoksen käsikirjoituksen perusteellisesta ja ansiokkaasta tarkastustyöstä ansaitsee yliopistolehtori, dosentti Ilkka Korpela Helsingin yliopistosta.

Rahoitus

Tutkimus on rahoitettu kokonaan Luonnonvarakeskuksen budjettirahoituksella.

Lähteet

- Ageštam E (1985) En produktionsmodell för blandbestånd av tall, gran och björk i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion, Rapport 15.
- Ampoorter E, Baeten L, Koricheva J, Vanhellefont M., Verheyen K (2014) Do diverse overstoreys induce diverse understoreys? Lessons learnt from an experimental – observational platform in Finland. *For Ecol Manage* 318: 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.01.030>.
- Ampoorter E, Selvi F, Auge H, Baeten L, Berger S, Carrari E, Coppi A, Fotelli M., Radoglou K, Setiawan NN, Vanhellefont M, Verheyen K (2016) Driving mechanisms of overstorey – understorey diversity relationships in European forests. *Perspect. Plant Ecol* 19: 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2016.02.001>.
- Andreassen K, von Lüpke N (2015) Biomass production and stand development in a mixed birch and Norway spruce forest (in Skiptvet, Norge). Esitelmä: SNS Growth and Yield Conference 16–18.6.2015 Tönnersjöheden, Sweden.
- Bergan J (1987) Virkningen av björkeskjerm på etablering og vekst hos bartraer utplantet i Nord-Norge. Summary: The influence of birch shelter trees on establishment and growth of conifers planted in North Norway. Norsk Institutt for Skogforskning, Rapport 10.
- Bergqvist G (1998) Wood volume yield and stand structure in Norway spruce understory depending on birch shelterwood density. *For Ecol Manage* 122: 221–229. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00008-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00008-0).
- Bianchi S, Huuskonen S, Hynynen J, Oijala T, Siipilehto J, Saksa T (2021) Development of young mixed Norway spruce and Scots pine stands with juvenile stand management in Finland. *Scand J For Res* 36: 374–388. <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.1936155>.
- Cajander E (1934) Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 19(5). <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171051>.
- Erikäinen K, Miina J, Valkonen S (2007). Models for the regeneration establishment and the development of established seedlings in uneven-aged, Norway spruce dominated forest stands of southern Finland. *For Ecol Manage* 242: 444–461. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.078>.
- Erikäinen K, Valkonen S, Saksa T (2014) Ingrowth, survival and height growth of small trees in uneven-aged *Picea abies* stands in southern Finland. *For Ecosyst* 1, article id 5. <https://doi.org/10.1186/2197-5620-1-5>.
- Ekö PM (1985) En produktionsmodell för skog i Sverige, baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provtytor. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Report 1.
- Fahlvik N, Ageštam E, Ekö PM, Lindén M (2011) Development of single-storied mixtures of Norway spruce and birch in Southern Sweden. *Scand J For Res* 26: 36–45. <https://doi.org/10.1080/02827581.2011.564388>.
- Frivold LH, Frank J (2012) Growth of mixed birch-coniferous stands in relation to pure coniferous stands at similar sites in South-eastern Norway. *Scand J For Res* 17: 139–149. <https://doi.org/10.1080/028275802753626782>.
- Gustavsen HG (1980) Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. *Folia For* 454. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0479-5>.
- Gustavsen HG, Lipas E (1975) Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä. *Folia For* 246. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0188-5>.
- Heikurainen L (1985) Verhoppuuston vaikutus kuusitaimikon kehitykseen. *Silva Fenn* 19: 81–88. <https://doi.org/10.14214/sf.a15412>.
- Heinonen J (1994) Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1369-7>.

- Hilli A, Pääatalo ML, Moilanen M, Piironen ML, Issakainen J, Tillman-Sutela E (2003) Verhopuuston tiheyden ja lannoituksen vaikutus kuusen taimien pituuskasvuun ojitetulla turvemaalla. *Suo* 54: 69–79. <http://www.suo.fi/article/9827>.
- Holmström E, Goude M, Nilsson O, Nordin A, Lundmark T, Nilsson U (2018) Productivity of Scots pine and Norway spruce in central Sweden and competitive release in mixtures of the two species. *For Ecol Manage* 429: 287–293. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.008>.
- Huuskonen S, Domisch T, Finér L, Hantula J, Hynynen J, Matala J, Miina J, Neuvonen S, Nevalainen S, Niemistö P, Nikula A, Piri T, Siitonen J, Smolander A, Tonteri T, Uotila K, Viiri H (2021) What is the potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia? *For Ecol Manage* 479, article id 118558. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118558>.
- Hynynen J, Kukkola M (1989) Harvennustavan ja lannoituksen vaikutus männikön ja kuusikon kasvuun. *Folia For* 731. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1047-7>.
- Hynynen J, Repola J, Mielikäinen K (2011) The effect of species mixture on the growth and yield of mid-rotation mixed stands of Scots pine and silver birch. *For Ecol Manage* 262: 1174–1183. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.006>.
- Isomäki A (1979) Kuusialikasvoksen vaikutus männikön kasvuun, tuotoksen ja tuottoon. *Folia For* 392. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0390-X>.
- Jansons Ā, Matisons R, Krišāns O, Džeriņa B, Zeps M (2015) Effect of initial fertilization on 34-year increment and wood properties of Norway spruce in Latvia. *Silva Fenn* 50, article id 1346. <https://doi.org/10.14214/sf.1346>.
- Kaarakka L, Tamminen P, Saarsalmi A, Kukkola M, Helmisaari H-S, Burton A (2014) Effects of repeated whole-tree harvesting on soil properties and tree growth in a Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand. *For Ecol Manage* 313: 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.11.009>.
- Koistinen E, Valkonen S (1993) Models for height development of Norway spruce and Scots pine advance growth after release in southern Finland. *Silva Fenn* 27: 179–194. <https://doi.org/10.14214/sf.a15671>.
- Koski V, Tallqvist R (1978) Tuloksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon määrän mittauksista metsäpuilla. *Folia For* 364. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0355-1>.
- Kukkola M, Saramäki J (1983) Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatavakasvunlisäys kivennäismaiden männiköissä ja kuusikoissa. Commun Inst For Fenn* 114: 1–55. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0622-4>.
- Kärhä K (2005) Ennakkoraivaus ja ensiharvennuspuunkorjuu talvella. *Metsätehon katsaus* 14.
- Kärhä K (2015) Alikasvoksen ennakkoraivaus ja ensiharvennuspuun korjuu. *TTS:n tiedote Metsätyö, -energia ja yrittäjyys* 1/2015 (781). <https://www.tts.fi/files/1390/meti781.pdf>.
- Kärhä K, Keskinen S, Kallio T, Liikkanen R, Lindroos J (2006) Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta. *Metsätehon raportti* 186.
- Laasasenaho J (1982) Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Comm Inst For Fenn* 108. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0589-9>.
- Laiho O, Pukkala T, Lähde E (2014) Height increment of understorey Norway spruces under different tree canopies. *For Ecosyst* 1, article id 4. <https://doi.org/10.1186/2197-5620-1-4>.
- Lindén M (2003) Increment and yield in mixed stands with Norway spruce in southern Sweden. PhD thesis, Southern Swedish Forest Research Centre, Swedish University of Agricultural Sciences, *Silvestria* 260. ISBN 91-576-6344-0.
- Lindén M, Agestam E (2003) Increment and yield in mixed and monoculture stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* based on an experiment in southern Sweden. *Scand J For Res* 18: 155–162. <https://doi.org/10.1080/02827580310003722>.

- Mielikäinen K (1980) Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. *Commun Inst For Fenn* 99(3). <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171129>.
- Mielikäinen K (1985) Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. *Commun Inst For Fenn* 133. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0711-5>.
- Mielikäinen K, Valkonen S (1995) Kaksijaksoisen kuusi-koivu-sekametsikön kasvu. *Folia For* 2/1995: 81–97. <https://doi.org/10.14214/ma.5948>.
- Moilanen M, Saksa T (toim) (1998) Alikasvokset metsänuudistamisessa – varjosta valoon. Pihlajasarja 3. ISBN 952-5118-18-5.
- Mård H (1996) The influence of a birch shelter (*Betula* spp) on the growth of young stands of *Picea abies*. *Scand J For Res* 11: 343–350. <https://doi.org/10.1080/02827589609382945>.
- Mälkönen E, Kaunisto S, Aarnio J (1997) Metsänlannoitus (Forest fertilization). Julkaisussa: Häyrynen M (toim) Tapion Taskukirja. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, pp. 284–290.
- Möller G, Tveite B, Gustavsen HG, Pettersson F (1991) Gödslingens tidsmässiga anpassning till gallring. Delresultat från en 9-årig samnordisk studie. The Institute for Forest Improvement, Uppsala, Rapport 23.
- Niemistö P (2003) Kuusialikasvoksen kehitys harvennusemetsissä. Julkaisussa: Sarmäki J, Niemistö P, Kokko A (toim) 100 vuotta tutkimuksen ja opetuksen yhteistyötä Tuomarniemellä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 891: 39–53. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1879-6>.
- Niemistö P, Poutiainen E (2004) Hieskoivikon käsittelyn vaikutus kuusialikasvoksen kehitykseen Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan viljavilla ojitusalueilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2004: 441–459. <https://doi.org/10.14214/ma.5664>.
- Niemistö P, Valkonen S (2021) Growth response to thinning in two-storied mixed stands of Scots pine and Norway spruce. *Scand J For Res* 36: 448–459. <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.1961017>.
- Näslund M (1936) Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* 29(1). <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-e-1187>.
- Pettersson F (1980) Gödslingeffektens fördelning på diameterklasser. Institutet för skogsförbättring. Information, Gödsling 1.
- Pukkala T, Vettenranta J, Kolström T, Miina J (1994) Productivity of mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scand J For Res* 9: 143–153. <https://doi.org/10.1080/02827589409382824>.
- Pukkala T, Lähde E, Laiho O (2011) Metsän jatkuva kasvatus. Joen Forest Program Consulting, Joensuu. ISBN 978-952-6103-04-4.
- Päätalo ML, Hilli A, Moilanen M, Tillman-Sutela E (2003) Koivuverhoppuuston tiheyden ja kuusialikasvoksen pituuden tasauksen vaikutus taimikon pituuskasvuun ojitusalueella. *Suo* 54: 105–115. <http://www.suo.fi/article/9829>.
- Pöntynen V (1929) Tutkimuksia kuusen esiintymisestä alikasvoksina Raja-Karjalan valtionmailla. *Acta For Fenn* 35(1). <https://doi.org/10.14214/aff.7256>.
- Sarvas R (1968) Investigations on the flowering and seed crop of *Picea abies*. *Comm Inst For Fenn* 67(5). <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171099>.
- Siren G (1951) Alikasvoskuusten biologiaa. *Acta For Fenn* 58(2). <https://doi.org/10.14214/aff.7402>.
- Smolander A, Levula T, Kitunen V (2008) Response of litter decomposition and soil C and N transformations in a Norway spruce thinning stand to removal of logging residue. *For Ecol Manage* 256: 1080–1086. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.06.008>.
- Tahvanainen M (2001) On the effects of advance clearing of undergrowth when applying mechanised thinning. *Työtehoseuran metsätiedote* 638.
- Tamminen P, Saarsalmi A (2013) Effects of whole-tree harvesting on growth of pine and spruce seedlings in southern Finland. *Scand J For Res* 28: 559–565. <https://doi.org/10.1080/02827581.2013.786124>.

- Tapio (1989) Metsänhoitosuosituksset. Keskusmetsälautakunta Tapio, Helsinki.
- Tapio (2006) Hyvän metsänhoidon suositukset. Keskusmetsälautakunta Tapio, Helsinki.
- Tham Å (1988). Yield prediction after heavy thinning of birch in mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and birch (*Betula pendula* Roth ja *Betula pubescens* Ehrh.). Dissertation, Department of Forest Yield Research, Swedish University of Agricultural Sciences, Report 23. ISBN 91-576-3514-5.
- Tham A (1989). Prediction of individual tree growth in managed stands of mixed *Picea abies* (L.) Karst. and *Betula pendula* Roth & *Betula pubescens* Ehrh. Scand J For Res 4: 491–512. <https://doi.org/10.1080/02827588909382583>.
- Tham Å (1994) Crop plans and yield predictions for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and birch (*Betula pendula* Roth ja *Betula pubescens* Ehrh.) mixtures. Studia Forestalia Suecica 195: 1–21.
- Valkonen S (2000) Kuusen taimikon kasvattamisen vaihtoehdot Etelä-Suomen kivennäismailla: Puhdas kuusen viljelytaimikko, vapautettu alikasvos ja kuusi-koivusekataimikko. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 763. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1721-8>.
- Valkonen S, Valsta L (2001) Productivity and economics of mixed two-storied spruce and birch stands in Southern Finland simulated with empirical models. For Ecol Manage 140: 133–149. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00321-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00321-2).
- Vettenranta J (1999) Distance-dependent models for predicting the development of mixed coniferous forests in Finland. Silva Fennica 33: 51–72. <https://doi.org/10.14214/sf.670>.
- Viro PJ (1967) Forest manuring on mineral soils. Medd Norske Skogforsoksv 85: 113–136.
- Viro PJ (1968) Metsän lannoitus. Metsätaloudellinen aikakauslehti 4: 116–121.
- Vuokila Y (1977) Puolukkatyyppi kuusen kasvupaikkana. Folia For 324. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0294-6>.
- Äijälä O, Koistinen A, Sved J, Vanhatalo K, Väisänen P (toim) (2019) Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja. ISBN 978-952-5632-75-0.

68 viitettä.