

Itä- ja keskieurooppalaisten kuusialkuperien menestyminen Etelä-Suomessa

Jaakko Napola

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute
-sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten
luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja
kokouskoosteita yms.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18
01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
faksi 029 532 2103
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
faksi 029 532 2103
sähköposti kirjaamo@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Napola, J. 2014. Itä- ja keskieurooppalaisten kuusialkuperien menestyminen Etelä-
Suomessa. Metlan työraportteja 288. 77 s.
Lisensiaatintutkimus maatalous- ja metsätieteiden lisensiaatin (MML) tutkintoa varten,
Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta.

Työn ohjaaja: dosentti Matti Haapanen, Metla, Vantaa.

Ohjausryhmän muut jäsenet: MMT Pirkko Velling (eläkkeellä); MMT Anneli Viherä-Aarnio,
Metla, Vantaa; MML Marja-Leena Napola, Metla, Haapastensyrjä.

Tarkastajat: professori Teemu Teeri, Helsingin yliopisto; dosentti Pertti Pulkkinen, Metla,
Haapastensyrjä; MMT Teijo Nikkanen, Metla, Punkaharju.

Tekijät Napola, Jaakko			
Nimeke Itä- ja keskieurooppalaisten kuusialkuperien menestyminen Etelä-Suomessa			
Vuosi 2014	Sivumäärä 77	ISBN 978-951-40-2466-5 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Etelä-Suomen alueyksikkö / Tulevaisuuden metsät ja metsänhoito / Hanke 3590 Metsänviljelyaineiston käyttöalueiden määrittely			
Hyväksynyt Egbert Beuker, hankepäällikkö, 12.3.2014			
Tiivistelmä <p>Tutkimuksessa selvitettiin kuusen itä- ja keskieurooppalaisten alkuperien menestymistä ja käyttömahdollisuuksia metsänviljelyssä Etelä-Suomessa. Tutkimuksen pääaineiston muodostivat 32 kuusen alkuperäkoetta, jotka Metsäntutkimuslaitos on perustanut vuosina 1959–87, sekä viisi muuta koeviljelystä, joissa on mukana ulkomaisia alkuperiä. Pääaineiston koeviljelykset sisältävät 149 ulkomaista alkuperää 16 maantieteelliseltä lähtöisyysalueelta. Alkuperät ryhmiteltiin alankoaineistoon (Baltia, Länsi-Venäjä, Valko-Venäjä ja Koillis-Puola) sekä vuoristoaineistoon (muiden muassa Böhmerwald, Sudeetit-Beskidit, Tatra ja Karpaatit).</p> <p>Kokeiden ikä oli mitattaessa 15–40 kasvukautta (keskimäärin 25 kasvukautta) istutuksesta. Eri koeviljelyksistä saadut tulokset muutettiin yhteismitallisiksi suhteuttamalla ne suomalaisten vertailuerien keskiarvoon. Tarkasteltuja kasvu- ja laatuominaisuuksia olivat pituus, rinnankorkeusläpimitta, rungon keskitilavuus ja puuston tilavuus sekä elävyys, poikaoksat ja korot. Korolla tarkoitetaan rungon kuoren halkeamaa tai muuta vaurioita, jossa on mustaa sienikasvustoa.</p> <p>Siemenen siirtomatkan eli leveys- ja pituusastesiirron sekä koepaikan lämpösumman vaikutusta elävyyteen, kasvuun ja rungon laatuun tutkittiin alankoaineistossa lineaarisen sekamallin avulla. Selitysasteet jäivät alhaisiksi. Korkein selitysaste oli poikaoksapuiden osuutta selittävällä mallilla, 38,7 %.</p> <p>Alankoaineistossa suhteellinen elävyys oli keskimäärin 97 % suomalaisten vertailuerien keskiarvosta (= 100) ja suhteellinen runkotilavuus 113 %. Koropuiden suhteellinen osuus oli alankoaineistossa 103 % ja poikaoksapuiden suhteellinen osuus 90 %.</p> <p>Käytökelpoisin lähtöisyysalue metsänviljelyn kannalta on Viro. Virolaisia kuusialkuperiä voidaan viljellä Etelä-Suomessa alueilla, joiden lämpösumma on yli 1250 d.d. Länsi-Venäjän alkuperiä (Pihkova ja Novgorod) voidaan toistaiseksi suositella käytettäväksi vain etelärannikolla, koska sisämaassa ei ole näillä alkuperillä perustettuja koeviljelyksiä. Latvialaiset alkuperät menestyvät hyvin etelärannikolla ja paikoin sisämaassa, mutta niiden kasvatukseen liittyy kohonnut korovaurioiden riski. Valko-Venäjän ja Koillis-Puolan alkuperät ovat nopeakasvuisia, mutta korojen yleisyyden vuoksi niitä ei voida suositella käytettäväksi Suomessa. Keski-Euroopan vuoristoalkuperistä parhaiten menestyvät Böhmerwaldin, Tatran ja Karpaattien alkuperät. Näitäkään alkuperiä ei kuitenkaan voida suositella käytettäväksi Suomessa niiden kasvatukseen liittyvien riskien takia. Tutkimus vahvistaa oikeaksi nykyisen suosituksen, jonka mukaan Viron alkuperiä voidaan viljellä Suomessa Salpausselän eteläpuolella.</p>			
Asiasanat kuusi, alkuperä, siemensierro			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp288.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla.			
Yhteydenotot Jaakko Napola. Haapastensyrjäntie 34, 12600 Läyliäinen. Sähköposti jaakko.napola@metla.fi			
Muita tietoja Taitto: Sari Elomaa/Metla			

Sisällys

1 Johdanto	6
1.1 Ulkomaisten kuusialkuperien käyttö Suomessa ja Skandinaviassa.....	6
1.2 Suositukset kuusen alkuperäsiirroille.....	7
1.3 Tutkimuksen tarkoitus.....	9
2 Tutkimuksen viitekehys	10
2.1 Kuusen levinneisyys ja alkuperävaihtelu.....	10
2.2 Kuusen alkuperätutkimuksen historiaa.....	12
2.3 Kasvurytmin merkitys kuusen sopeutumiselle.....	13
3 Aineisto ja menetelmät	18
3.1 Koeviljelykset.....	18
3.2 Kuusialkuperät ja lähtöisyysalueet.....	18
3.3 Koeviljelysten sijainti ja koejärjestely.....	27
3.4 Mittaukset ja inventoinnit.....	28
3.5 Tilastolliset analyysit.....	30
3.5.1 Peruslaskenta.....	30
3.5.2 Koostetiedosto.....	31
3.5.3 Lähtöisyysalueiden ja alkuperien vertailu.....	31
3.5.4 Mallien laskenta.....	32
4 Tulokset	33
4.1 Lähtöisyysalueiden vertailu.....	33
4.1.1 Elävyys.....	33
4.1.2 Runkotilavuus.....	35
4.1.3 Puuston tilavuus.....	37
4.1.4 Korot.....	39
4.1.5 Poikaoksat.....	39
4.2 Lähtöisyysalueet.....	41
4.2.1 Viro.....	41
4.2.2 Latvia.....	44
4.2.3 Liettua.....	44
4.2.4 Venäjä.....	45
4.2.5 Valko-Venäjä.....	45
4.2.6 Koillis-Puola.....	46
4.2.7 Etelä-Puola.....	47
4.2.8 Ruotsi-Norja.....	47
4.2.9 Harz.....	47
4.2.10 Böhmerwald.....	47
4.2.11 Sudeetit-Beskidit.....	48
4.2.12 Tatra.....	48
4.2.13 Karpaatit.....	48
4.2.14 Länsi-Eurooppa.....	49
4.2.15 Itävalta.....	49
4.2.16 Balkan.....	49

4.3 Siemenen siirtomatkan ja koepaikan lämpösumman vaikutus elävyyteen, kasvuun ja rungon laatuun	49
4.3.1 Elävyys	49
4.3.2 Puun pituus	50
4.3.3 Rungon läpimitta	52
4.3.4 Runkotilavuus	53
4.3.5 Puuston tilavuus	54
4.3.6 Koropuiden osuus	55
4.3.7 Poikaoksapuiden osuus	56
5 Tarkastelu	57
5.1 Lähtöisyysalueet	57
5.2 Koe 749/01	63
5.3 Siemensiirtomalli	64
5.4 Johtopäätöksiä	70
5.5 Tulevat tutkimustarpeet	71
Kiitokset	72
Kirjallisuus	73

1 Johdanto

1.1 Ulkomaisten kuusialkuperien käyttö Suomessa ja Skandinaviassa

Alkuperällä tarkoitetaan kasvilajin luontaisella levinneisyysalueella olevaa paikkakuntaa, josta on kerätty siementä tai muita kasvin lisäykseen käytettyjä osia (Hämet-Ahti ym. 1989). Metsänviljelyssä siemenalkuperien siirroilla tavoitellaan joko kasvunlisäyksiä tai parannuksia muissa ominaisuuksissa (Wright 1976). Synnä siirtoihin voi olla myös pula sopivasta paikallisesta siemenestä. Puulajista ja olosuhteista riippuu, kuinka pitkät siirrot ovat järkeviä ja ovatko ne ylipäänsä hyödyllisiä. Kuusella alkuperäsiirtojen hyödyistä on kuitenkin runsaasti esimerkkejä (Heikinheimo 1949, Sonesson & Karlsson 1995, Rosvall ym. 1998).

Suomessa ensimmäinen maininta ulkomaisista kuusentaimista on vuodelta 1881, jolloin metsänäytelyssä Helsingissä oli esillä taimia Ruotsista, Saksasta ja Baltiasta (Hagman 1980). Luultavasti osa taimista istutettiin metsään, mutta ei tiedetä minne. 1930-luvulla siementä tuli melko suuria määriä Baltian maista, mutta vain harvoissa tapauksissa tiedetään, missä niitä on käytetty – ne metsiköt, joiden alkuperä tiedetään, ovat kasvaneet melko hyvin (Hagman 1980).

Etelä-Suomeen tuotiin 1960-luvulla taimipulan takia kuusen taimia jopa Saksasta asti. Tuolloin esimerkiksi Asikkalassa Päijät-Hämeessä eräs kuuden hehtaarin uudistusala viljeltiin taimilla, jotka olivat Pohjois-Saksan Harz-vuoriston alkuperää (Latokartano 2012). Aluksi kuuset menestyivät hyvin, mutta keväällä 1985 ankaran talven jälkeen metsiköstä löytyi paljon puita, joissa oli runsaasti ruskeita neulasia. Puut kuitenkin toipuivat siinä määrin, että kasvatusta jatkettiin. 2000-luvulla metsikön harvennuksen yhteydessä havaittiin puissa monenlaisia vikoja, kuten haaroja, mutkia ja poikaoksia, joiden epäiltiin syntyneen pakkastalven 1985 seurauksena. Lopulta metsikkö päätettiin avohakata puiden kehnon laadun takia (Latokartano 2012).

Suomessa kuusi on nykyisin metsänviljelyn pääpuulaji. Vuonna 2012 kuusen osuus metsänviljelyn pinta-alasta oli 54,5 %. Metsänviljelyyn toimitettujen kotimaassa kasvatettujen kuusen taimien määrä oli 109,0 miljoonaa kappaletta. Lisäksi kuusen taimia tuotiin ulkomailta 6,9 miljoonaa kappaletta. Kuusen taimien tuonti oli 1990-luvulla keskimäärin noin kolme miljoonaa kappaletta vuodessa ja 2000-luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä noin 13 miljoonaa kappaletta vuodessa. (Metsätilastollinen vuosikirja 2013). Elintarviketurvallisuusvirasto Eviran tietojen mukaan pääasialliset tuontimaat ovat olleet vuosina 2005–2012 Ruotsi 88 %:n osuudella ja Viro (Metsänviljelyn siemen- ja taimikauppatilastot 2012). Tuontimaa ei kuitenkaan välttämättä ole sama kuin alkupe-
rämaa, sillä osa ulkomailta tuotetuista taimista on kasvatettu suomalaisesta siemenestä.

Taimitarhakylvöihin kuusen siementä käytettiin vuosina 2005–2012 keskimäärin 1240 kg/v ja sitä tuotiin ulkomailta 152 kg/v. (Metsätilastollinen vuosikirja 2013). Eviran tietojen mukaan pääasialliset tuontimaat myös siemenen kohdalla ovat olleet Ruotsi (osuus 86 %) ja Viro (Metsänviljelyn siemen- ja taimikauppatilastot 2012). Ruotsin suurta osuutta selittää se, että Ruotsista löytyy sopivia alkuperiä suureen osaa maattamme, kun taas Viron siemenen käyttö rajoittuu Etelä-Suomeen.

Siemenviljelyssiemenen osuus taimitarhakylvöistä on ollut 2000-luvulla enimmillään 80 % vuonna 2001, mutta laskenut vuosina 2009–2012 alle 30 prosentin (Metsätilastollinen vuosikirja 2013). Siemenviljelysten sato on jäänyt pieneksi 2000-luvulla useina vuosina huonon kukinnan sekä käpy- ja siementuhojen takia (Nikkanen 2008).

Ruotsissa käytännön metsätalouden tarpeisiin siementä tuotiin huomattavia määriä jo 1800-luvulla Saksasta, josta sitä saattoi ostaa helposti ja edullisesti. Kokemukset saksalaisesta siemenestä olivat verraten hyviä (Langlet 1960).

Professori Langlet toimi viime vuosisadan puolivälissä ulkomaisten kuusialkuperien innokkaana puolestapuhujana. Langlet (1960) totesi muun muassa, että hallattomille kohteille Etelä-Ruotsissa voidaan varsin vapaasti valita nopeakasvuisia alkuperiä – olipa siemen peräisin Belgiasta, Romaniasta tai Ruotsissa kasvaneista saksalaismetsiköistä. Hallaisille alueille hän taas suositteli myöhään keväällä kasvunsa aloittavia alkuperiä Itä-Euroopasta.

Tuontitilastojen mukaan kuusen siemen tuli Ruotsiin 1950-luvulta 1970-luvulle asti lähinnä Tsekkoslovakiasta ja Etelä-Puolasta, 1970-luvulla myös Romaniasta (Hannerz & Almäng 1997). Romanianlaisilla alkuperillä perustetuista kuusiviljelyksistä alkoi kuitenkin kantautua huonoja uutisia 1980-luvulla (Davner 1988). Puissa oli runsaasti runkohalkeamia, ranganvaihdoksia ja poikaoksia. Suhtautuminen romanialaisiin kuusiin muuttuikin kriittisemmäksi. Pääasialliseksi tuontimaaksi vaihtui Valko-Venäjä. Myös Baltian maista tuotiin siementä jonkin verran.

Norjassa ulkomaisia alkuperiä käytetään metsänviljelyssä lähinnä maan eteläosissa.. Lounais-Norjaan kuusi ei ole levinnyt luontaisesti. Tällä hyvin mereisellä alueella länsieurooppalaiset, esimerkiksi saksalaiset kuuset ovat menestyneet hyvin (Fottland & Skrøppa 1989). Kaakkois-Norjan ilmasto on selvästi mantereisempää kylmine talvineen. Tälle alueelle sopivimmat ulkomaiset alkuperät löytyvät Baltiasta (Skrøppa & Magnussen 1993.)

1.2 Suositukset kuusen alkuperäsiirroille

Metsänviljelyaineiston kauppaa säätelevät sekä EU-direktiivi (Neuvoston direktiivi 1999/105/EY metsänviljelyaineiston pitämisestä kaupan) että kansallinen lainsäädäntö (Suomessa Laki metsänviljelyaineiston kaupasta 241/2002). Suomessa säädösten noudattamista valvovat maa- ja metsätalousministeriö ja elintarviketurvallisuusvirasto Evira ja EU-tasolla EU-komissio. Euroopan unionissa metsänviljelyaineiston kauppa on eräin poikkeuksin vapaata, joten esimerkiksi Ruotsista ja Virosta voidaan tuoda siemeniä tai taimia Suomeen. EU:n ulkopuolelta metsänviljelyaineiston tuonti on mahdollista maista, jotka kuuluvat OECD:n metsänviljelyaineiston kansainvälistä kauppaa koskevaan sertifiointijärjestelmään. Tuonti on siten mahdollista Norjasta, mutta ei esimerkiksi Venäjältä tai Valko-Venäjältä, koska nämä kaksi maata eivät kuulu kyseiseen sertifiointijärjestelmään (Metsänviljelyaineiston tuonti EU:n ulkopuolelta 2013).

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion Hyvän metsänhoidon suosituksissa (2006) todetaan kuusen siemensiirroista seuraavaa:

”Etelä-Suomessa kuusen alkuperiä tulisi siirtää alueilta, joiden lämpösumma on 100–300 d.d.-yksikköä suurempi kuin viljelyalueella. Salpausselän eteläpuolella voidaan viljellä virolaisia alkuperiä. Pohjois-Suomessa suositellaan viljeltäviksi paikallisia tai vastaavien lämpösumma-alueiden alkuperiä.”

Suomessa kotimaisen kuusisiemenviljelyksen käyttöalue on määritelty siten, että se ulottuu 130 d.d.-yksikköä pohjoiseen ja 70 d.d.-yksikköä etelään siemenviljelyksen käyttöalueen keskiarvosta, joka lasketaan kantapuiden kasvupaikkojen lämpösummien ja siemenviljelyksen sijaintipaikan lämpösumman mukaan (Nikkanen ym. 1999).

Taulukko 1. Ruotsalaisten metsikkösiemenerien käyttöalueet Suomessa lämpösummina (d.d.). Lähde: Metsäntutkimuslaitos, Metsägeneettinen rekisteri.

Todistusno	Sijainti Ruotsissa	Lämpösumma Ruotsissa, d.d.	Käyttöalue Suomessa	
			minimi, d.d.	maksimi, d.d.
89P121	61°20', 200m	1100	950	1100
745712-01	61°30', 300m	1020	950	1000
S94/1501	56°36', 160m	>1300	1200	1350
S94/0105	64°30', 250m	900	900	1000
S94/1569	61°, 200m	1120	1000	1150
S94/1586	62°, 200m	1070	950	1050
S94/1579	61°30', 300m	1020	950	1050
H96/054	66°00', 100m	930	900	1000
S94/1567	61°00', 100m	1200	1050	1200
S94/1574	61°30', 200m	1100	1000	1150
S94/1622	62°30', 400m	880	900	1000
S94/1616	62°30', 300m	970	950	1050
S96/0409	62°08', 340m	950	950	1050

Metla on antanut käyttöaluesuosituksia ulkomaisille metsäpuiden siemenerille vuodesta 1995 lähtien. Suurin osa suosituksista koskee ruotsalaisia siemenviljelyseriä. Ruotsalaisille metsikkösiemenerille Metlan määrittämät käyttöalueet on esitetty taulukossa 1. Kyseiset ruotsalaiset metsiköt sijaitsevat enimmäkseen Keski-Suomen leveysasteilla, kun taas niiden käyttöalueet sijoittuvat lähinnä Pohjois-Pohjanmaalle ja Kainuuseen.

Siirtosuositusten antamista ruotsalaisille siemenerille vaikeuttaa yhtäältä se, että ruotsalaisia eriä on mukana suomalaisissa alkuperäkokeissa hyvin vähän (Pajamäki & Karvinen 1991) sekä toisaalta se, että Ruotsissa esiintyy muun muassa korkeuserojen takia sellaisia valo- ja lämpöilmaston yhdistelmiä, joille ei löydy vastinetta Suomesta (ks. Odín ym. 1983). Esimerkiksi Ruotsin keskiosien vuoristoalueilla lämpösumma on samaa suuruusluokkaa kuin Suomen Lapin eteläosissa (ks. kuva 4).

Ruotsissa ulkomaisia kuusialkuperiä käytetään nykyisin Etelä- ja Keski-Ruotsissa sekä jonkin verran myös pohjoisempana. Leveysasteen 60 pohjoispuolella alueilla, joissa lämpösumma on yli 1100 d.d., voidaan käyttää latvialaisia alkuperiä (Rosvall ym. 1998). Lämpösumma-alueen 1100 d.d. pohjoisraja ulottuu rannikolla suunnilleen 62. leveysasteelle. Siirtomatkaksi Latviasta (57°) tulee siten enimmillään noin viisi leveysastetta. Pohjoisempana Rosvall ym. (1998) suosittelevat käytettäväksi eteläsuomalaisia alkuperiä tai ruotsalaisia kuusia 2–3 leveysastetta etelämpää. Erikseen he tähdentävät, että puolalaiset kuusialkuperät eivät sovi Norlantiin ja että valkovenäläisiä kuusialkuperiä ei pidä käyttää 60. leveysasteen pohjoispuolella.

Jos lämpösummaan perustuvaa käyttöalueiden määrittäytapaa sovelletaan sellaisenaan ruotsalaisiin siemenviljelyseriin, käyttöalueet ulottuvat Suomessa huomattavasti pohjoisemmaksi kuin Ruotsissa. Ruotsalaisille siemenviljelyserille onkin kehitetty menetelmä, jossa niiden käyttöalue Suomessa määritellään sekä leveysasteen että lämpösumman perusteella (Ruotsalainen ja Haapanen 2011). Menetelmällä määritetyt käyttöalueet sijoittuvat etelämmäksi kuin pelkän lämpösumman avulla lasketut käyttöalueet.

Metla on määritellyt käyttöalueen kolmelle virolaiselle siemenerälle: Põlvan ja Kilingi-Nõmmen metsikköerille sekä Viljandin siemenviljelyserälle. Molemmille metsikköerille käyttöalueen pohjoisrajaksi suositeltiin 1270 d.d. ja siemenviljelyserälle 1240 d.d.. Latvian, Liettuan ja Valko-Venäjän siemenerien käyttöä Metla ei ole puoltanut.



Kuva 1. Koro valkovenäläisessä kuusessa kokeessa 655/01 Vihdissä.

Viime vuosina on kuusen alkuperäkokeista löytynyt suuri määrä puita, joissa on erilaisia runkovaurioita, kuten pihkaa vuotavia halkeamia ja mustia koroja (kuva 1) (Napola 2011). Ensimmäiset havainnot tällaisista vaurioista tehtiin maassamme 2000-luvun alkupuolella, mutta muissa Pohjois-Euroopan maissa samanlaisista oireista on raportoitu jo aiemmin: Ruotsissa (Persson 1994) ja Norjassa (Dietrichson ym. 1985) sekä siemenviljelyksessä Liettuassa (Vasiliaskas ym. 2001).

Lilja ym. (2011) ovat löytäneet Suomessa kasvavien kuusten koroista *Neonectria*-sukuun kuuluvia sieniä. *Neonectria fuckeliana* tunnetaan entuudestaan Pohjoismaissa kuusien haavaloisena, joka saa puun muodostamaan tartuntakohtaan koroja.

Dietrichson ym. (1985) löysivät selviä eroja runkovaurioiden määrässä kuusialkuperillä Norjassa: eniten vaurioita oli Keski-Euroopan erillä ja vähiten Suomen, Ruotsin ja Norjan erillä. Myös Persson (1994) havaitsi Etelä-Ruotsin alkuperäkokeissa, että nopeakasvuilla eteläisillä alkuperillä oli enemmän runkovaurioita kuin hidaskasvuilla pohjoisilla alkuperillä. Suomessa on havaittu, että suomalaista ja saksalaista alkuperää olevien kuusten välisissä risteytysjälkeläistöissä korot ovat yleisiä (Napola, M-L 2010).

1.3 Tutkimuksen tarkoitus

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on arvioida itä- ja keskieurooppalaisten kuusialkuperien käyttömahdollisuuksia Etelä-Suomessa tukeutuen uusimpiin koeviljelysten mittauksiin ja inventointeihin

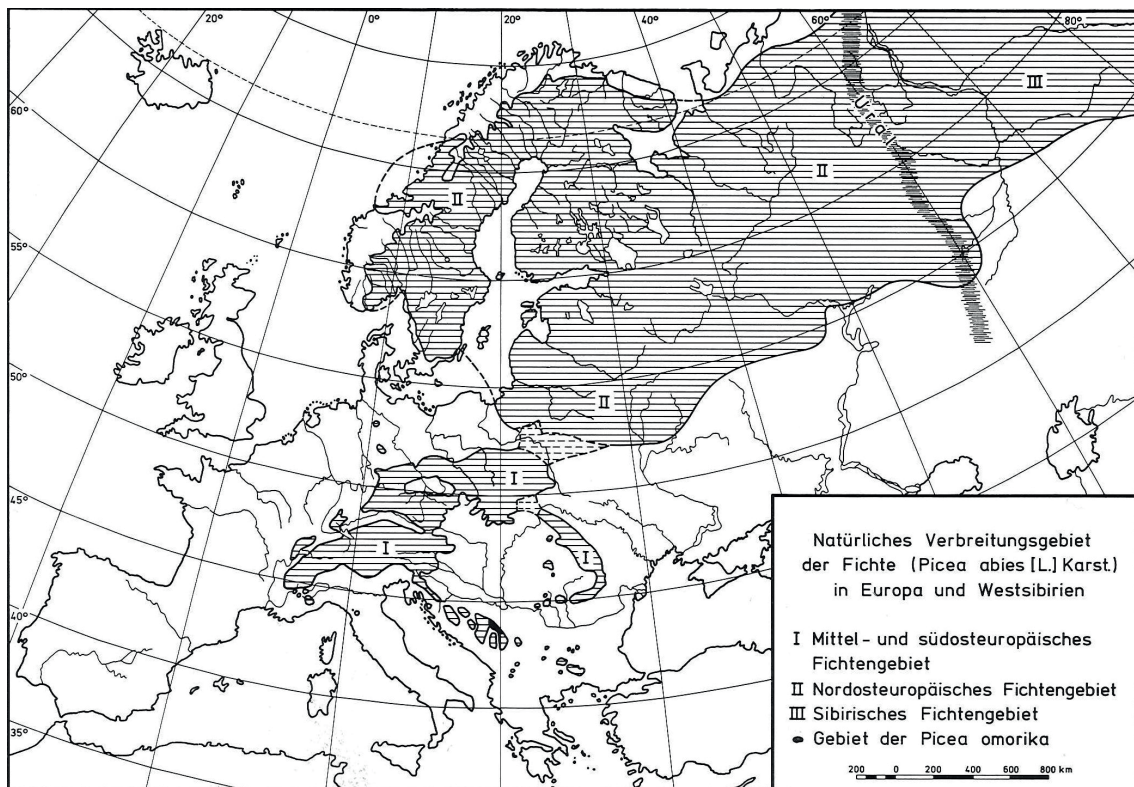
sekä soveltaen ulkomailta saatuja tutkimustuloksia. Tutkimuksessa pyritään vastaamaan erityisesti seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä etuja ulkomaiset kuusialkuperät mahdollisesti tarjoavat suomalaisiin alkuperiin verrattuna?
- Mitä mahdollisia haittoja ja riskejä ulkomaisiin kuusialkuperiin liittyy?
- Mitkä ulkomaiset kuusialkuperät soveltuvat Etelä-Suomeen parhaiten?
- Kuinka pitkälle pohjoiseen ulkomaisia kuusialkuperiä on järkevää siirtää?
- Miten siemenen siirtomatka vaikuttaa puiden elävyyteen, kasvuun ja vikoihin?

2 Tutkimuksen viitekehys

2.1 Kuusen levinneisyys ja alkuperävaihtelu

Kuusen eli **metsäkuusen** (*Picea abies* (L.) Karst.) levinneisyysalue ulottuu Ranskan Vercors'n vuorilta (5° 27' E) Venäjän kaukoitään Jamskiin Ohotan-meren rannoille (155° E) (kuva 2). Pohjoisimmat kuuset kasvavat Siperiassa Hatanga-joella (72° 25' N) ja eteläisimmät Rodoppien vuorilla Kreikassa (41° 27' N) (Schmidt-Vogt 1977). Metsäkuusi jaetaan tavallisesti kahteen alalajiin, jotka ovat **euroopankuusi** (subsp. *abies*) ja **siperiankuusi** (subsp. *obovata* (Ledeb.) Domin) (Hämet-Ahti ym. 1989).



Kuva 2: Kuusen luontainen levinneisyysalue Euroopassa ja Länsi-Siperiassa Schmidt-Vogtin mukaan (1977). I Keski- ja Etelä-Euroopan levinneisyysalue, II Koillis-Euroopan levinneisyysalue, III Siperian levinneisyysalue.

Keski- ja Etelä-Euroopan vuoristoissa kuusen luontaisen levinneisyyden alaraja on yleensä 200–700 metriä merenpinnan yläpuolella ja yläraja 1200–1800 metrin korkeudessa, paikoin jopa 2100–2200 metrin korkeudessa. Pohjois-Euroopassa kuusen vertikaalinen levinneisyys ulottuu merenpinnan tasolta noin 1000 metriin Etelä-Norjassa ja noin 400 metriin napapiirin pohjoispuolella (Schmidt-Vogt 1977).

Schmidt-Vogtin mukaan (1977) kuusi säilyi Euroopassa viime jääkauden aikana neljässä suppeassa esiintymässä eli **refugioissa**, jotka sijaitsivat Keski-Venäjällä, Karpaattien vuoriston ympäristössä, Balkanilla sekä Apenniinien niemimaan pohjoisosissa. Tollefsrudin ym. (2008) mukaan refugioita oli fossiiliaineiston perusteella kahdeksan ja ne sijaitsivat Venäjällä, Slovakiassa, Tsekissä, Itävallassa, Kroatiaassa, Ukrainassa, Romaniassa ja Bulgariassa.

Venäjän refugiosta kuusi levisi jääkauden jälkeen Baltiaan, Valko-Venäjälle ja Puolan koillisosiin sekä pohjoisempaan Suomeen, Ruotsiin ja Norjaan. Itä-Suomeen kuusi saapui 4500–5000 vuotta sitten ja Länsi-Suomen se valloitti noin 3000 vuotta sitten (Schmidt-Vogt 1977). Ruotsiin kuusi levisi pääasiallisesti pohjoista reittiä Pohjanlahden ympäri sekä myös eteläistä reittiä siten, että siemenet ovat kulkeutuneet voimakkaiden itätuulten mukana yli jäätyneen Itämeren 2000–3000 vuotta sitten (Tollefsrud ym. 2008). Atlantin rannikon Keski-Norjassa kuusi saavutti vasta noin 1000 vuotta sitten. On kuitenkin myös esitetty hypoteesi, jonka mukaan kuusi olisi säilynyt jääkauden yli Ruotsissa Skandien vuoriston eteläosissa (Kullman 2001).

Kuusen levinneisyysalueelta Keski- ja Kaakkois-Euroopasta on löytynyt mitokondrion DNA-analyysien perusteella neljä geneettistä ryhmää, joista suurin on levinnyt Alpeille ja Karpaateille (Tollefsrud ym. 2009). Tsekin ja Saksan kuuset muodostavat toisen ryhmän. Kolmanteen ryhmään kuuluvia kuusia kasvaa Bulgariassa ja Karpaattien eteläosassa Romaniassa. Pienin ryhmä on löytynyt Dinaarisilta Alpeilta Kroatiaasta.

Pitkäaikaisen isolaation ja erilaisen leviämishistorian takia Pohjois-Euroopan ja Keski-Euroopan kuuset poikkeavat geneettisesti selvästi toisistaan (Tollefsrud ym. 2008). Itä-Puolassa on kuitenkin alkuperiä, jotka ovat isoentsyymitutkimuksen perusteella geneettisesti Pohjois- ja Keski-Euroopan kuusten välimuotoja (Lagercrantz & Ryman 1990). Myös samasta refugiosta lähtöisin olevien kuusten välillä on suuria eroja, jotka johtuvat ennen muuta ilmastoon sopeutumisesta. Esimerkiksi Valko-Venäjän ja Keski-Ruotsin kuuset poikkeavat kasvurytminsä puolesta huomattavasti toisistaan (Hannerz 1994a).

Kuusen perinnöllinen vaihtelu Pohjois-Euroopassa vähenee pääsääntöisesti vanhoista populaatioista kohti nuoria populaatioita eli idästä länteen päin ja se on suurempaa Venäjällä ja Baltiassa kuin Etelä-Suomessa (Tollefsrud ym. 2008). Viron ja Latvian populaatioissa on isoentsyymitutkimuksessa ilmennyt enemmän geneettistä vaihtelua kuin Valko-Venäjän populaatioissa, mikä saattaa olla seurausta saksalaisten alkuperien tuomisesta Baltiaan (Goncharenko ym. 2005)

Kuusta on kasvatettu pitkään luontaisen levinneisyysalueensa ulkopuolella mm. Tanskassa ja Etelä-Ruotsissa. Tällaisia vierasta alkuperää olevia kuusiesiintymiä kutsutaan **alloktonisiksi**, joiden vastakohtana ovat **autoktoniset** eli luontaiset esiintymät. Keski-Euroopassa ei kuitenkaan aina ole selvää, onko jokin metsikkö autoktoninen vai alloktoninen (Skrøppa & Magnussen 1993).

2.2 Kuusen alkuperätutkimuksen historiaa

Kuusen alkuperätutkimuksen edelläkävijä oli itävaltalainen Cieslar (Kalela 1937). Hän tutki 1900-luvun vaihteessa Tirolin Alppien rinteiden eri korkeuksilta peräisin olevia kuusia, ja havaitsi niiden välillä suuria kasvueroja. Hieman myöhemmin, 1900-luvun alussa sveitsiläinen Engler tutki kuusien ”ilmastorotuja” (Kalela 1937). Termillä ymmärrettiin fysiologisesti ja morfologisesti toisistaan perinnöllisesti poikkeavia pikkumuotoja, joiden ominaisuuksien ja kotiseudun ilmaston välillä valitsee määrätty säännönmukaisuus.

Vanhemmassa kirjallisuudessa esiintyy usein käsite **proveniensi**, jota on käytetty kahdessa eri merkityksessä tarkoittamaan sekä alkuperää että lisäyslähdetä (Ruotsalainen 2010). Lisäyslähdeellä tarkoitetaan kasvin alkuperäpaikkakunnan ulkopuolella olevaa viljelypaikkaa, josta on kerätty siementä tai muita kasvin lisäykseen käytettyjä osia. Epäselvän merkityksensä vuoksi proveniensi-sanana käyttöä tulisi välttää (Hämet-Ahti ym. 1989).

Luotettavin tapa selvittää siemensierroihin ja alkuperän valintaan liittyviä kysymyksiä on tehdä pitkäaikaisia vertailevia viljelykokeita eli alkuperäkokeita. Muita keinoja alkuperien erojen selvittämiseksi ovat esimerkiksi puiden kasvurytmin havainnointi nuorista taimista (Mikola 1980) ja taimien karaistumisen tutkiminen pakastustestien avulla (Johnsen & Skrøppa 1992, Danusevicius 1998). Nämä menetelmät eivät kuitenkaan korvaa pitkäaikaisia, jopa vuosikymmeniä kestäviä vertailukokeita. Tässä yhteydessä on syytä korostaa nimenomaan pitkäaikaista seuranta, sillä lyhyt seurantajakso alkuperäkokeissa saattaa johtaa harhaan esimerkiksi epätyypillisen suotuisten sääolojen takia (Krutzsch 1974). Vieraiden alkuperien sopeutumattomuus ilmenee usein vasta myöhäisemmällä iällä sääoloiltaan erityisen epäedullisten ”pullonkaulavuosien” yhteydessä (Hämet-Ahti ym. 1989).

Laaja kansainvälinen kuusen alkuperäkoesarja perustettiin saksalaisen professori Werner Schmidtin aloitteesta vuonna 1938. (Langlet 1960) Tässä IUFRO 1938 -koesarjassa oli mukana 36 alkuperää Pohjois-Suomesta Etelä-Bulgariaan asti. Osakokeita oli neljässä maassa (Ruotsi, Suomi, Belgia ja Tsekkoslovakia) yhteensä kuusi kappaletta, joista kolme oli Ruotsissa. Suomen osakoe nro 27 sijaitsee Metlan tutkimusalueella Tuusulan Ruotsinkylässä.

Vuonna 1959 käynnistettiin uuden laajemman alkuperäkoesarjan valmistelut ruotsalaisen professori Olof Langletin aloitteesta (Krutzsch 1974). Seuraavat neljä vuotta kuluivat siemenerien hankintaan eri puolilta Eurooppaa. Vuonna 1964 siemenerät, joita oli kokonaista 1300 kappaletta, kylvettiin Schmalenbeckin instituutin taimitarhoille Saksassa. Taimimäärä oli peräti 1,1 miljoonaa. Keväällä 1968 taimet istutettiin 20 osakokeeseen, jotka sijaitsivat 12 Euroopan maassa sekä Kanadassa. Koesarja sai nimekseen IUFRO 1964/68.

IUFRO 1964/68 -koesarjasta ei perustettu varsinaista osakoetta Suomeen, vaan taimet istutettiin kahdeksi kokoelmaksi Lopelle Metsänjalostussäätiön toimesta (Napola M-L 1997). Haapastensyrjän jalostuskeskuksen kokoelmaan sijoitettiin alkuperät, jotka olivat 54. leveysasteen eteläpuolelta, ja tätä pohjoisemmat alkuperät istutettiin Finlayson Oy:n Salon kartanoon kuuluvalla alueella. Haapastensyrjän kokoelma, jota on kutsuttu Langletin kokoelmaksi, mitattiin yhdeksän vuoden iässä ja siitä valittiin 157 kantapuuta. Vuonna 1986 kantapuiden vapaapölytysjälkeläisiä istutettiin kokeisiin 1129/01-02 Hyvinkäälle ja Pieksämäelle.

Pohjoismaissa alkuperätutkimus on ollut vilkasta, mistä kertoo perustettujen alkuperäkokeiden suuri määrä. Vuosien 1917 ja 1970 välillä neljään suurimpaan Pohjoismaahan perustettiin yhteensä 297

kuusen alkuperäkoetta, joista valtaosa vuoden 1950 jälkeen (Dietrichson 1979). Eniten niitä oli perustettu Norjaan, 160 kpl. Ruotsiin kokeita oli perustettu 54 kpl, Suomeen 44 kpl ja Tanskaan 39 kpl (Dietrichson 1979).

Ruotsissa alkuperätutkimuksella on vankimmat perinteet, koska ulkomaisia kuusialkuperiä on käytetty siellä jo pitkään käytännön metsätaloudessa. Toinen syy, joka selittää ruotsalaisten kiinnostuksen ulkomaisia kuusialkuperiä kohtaan, liittyy käsitykseen kuusen leviämishistoriasta. Pitkään vallitsi nykytiedoista poikkeava käsitys, jonka mukaan kuusi levisi Ruotsiin yksinomaan Pohjanlahden pohjoispuolitse ja tällä matkalla se kehittyi kestävämpään kylmää ilmastoa. Tähän liittyen on esitetty, että Keski- ja Etelä-Ruotsiin saapuessaan kuusesta oli kehittynyt ikään kuin ylikeskittävä lämpimämpiin oloihin ja sen tähden myös hidaskasvuinen (Dormling 1980, Prescher 1983).

Suomessa professori Olli Heikinheimo perusti ensimmäiset kuusen alkuperäkokeet 1931 Bromarviin, Tuusulaan, Punkaharjulle, Vilppulaan, Muhokselle ja Rovaniemen maalaiskuntaan (Heikinheimo 1949). Kokeiden varhaisvaiheen tuloksia on julkaissut Kalela (1937). Näitä kokeita ei ole perustettu tilastollisen analyysin edellyttämän koejärjestelyn mukaisesti, joten alkuperien välisistä eroista ei saada kovin luotettavaa tietoa. Tuloksia on kuitenkin hyödynnetty Beukerin (1996) tutkimuksessa, jossa selvitettiin pohjoisesta etelään siirrettyjä alkuperien menestystä (Beuker 1996).

1940-luvulla Metla perusti kaksi kuusen alkuperäkoetta, toinen Punkaharjulle vuonna 1940 ja toinen Tuusulaan vuonna 1944 (Pajamäki & Karvinen 1991). Alkuperäkokeiden perustaminen vauhdittui 1950-luvulla. Vuosien 1954 ja 1987 välillä Metla perusti 59 sellaista alkuperäkoetta, joissa on mukana ulkomaisia kuusialkuperiä (Pajamäki & Karvinen 1991). Näiden lisäksi on perustettu useita kokeita, joiden tarkoitus on ulkomaisten ja kotimaisten kuusialkuperien välisten risteytysten vertailu tai Suomen rajojen sisäpuolella tapahtuvien alkuperäsiirtojen tutkiminen. Erityyppisiä kuusen alkuperäkokeita on maassamme perustettu yhteensä 170 kappaletta. Näistä yli puolet, 95 kappaletta, on professori Max. Hagmanin suunnitteleimia. Myös professori Veikko Koski sekä tutkijat Jouni Mikola ja Seppo Ruotsalainen ovat suunnitelleet lukuisia kuusen alkuperäkokeita.

2.3 Kasvurytmin merkitys kuusen sopeutumiselle

Kasvurytmillä on ratkaiseva merkitys puiden ilmastoon sopeutumisen kannalta. Kuusen verson keväistä kasvuunlähtöä säätelee pitkälti lämpösumma (Sutinen ym. 2012), kun taas verson kasvun päättymiseen vaikuttavat sekä lämpösumma että yönpituus eli fotoperiodi (Koski & Sievänen 1985). Myös puun ikä vaikuttaa kasvun päättymiseen siten, että nuorilla kuusentaimilla on pitempi kasvujakso kuin vanhoilla puilla (Ununger 1987). Tämä liittyy siihen, että nuorten taimien kasvutapa on erilainen kuin vanhojen puiden. Taimien kasvutapaa kutsutaan **vapaaksi kasvuksi**, jossa uusia neulasten aiheita muodostuu samalla, kun kasvain pitenee (Cannell & Johnstone 1978). Vanhojen puiden kasvutapaa nimitetään **ennalta määräytyneeksi kasvuksi**, jossa kaikki neulasten aiheet ovat kehittyneet silmuun jo edellisenä kesänä, eikä niitä enää muodostu lisää kasvaimen pidentyessä. Kuusella vapaa kasvu vaihtuu ennalta määräytyneeksi kasvuksi keskimäärin 5–7 vuoden iässä (Ununger 1987). Kun verson kasvu on päättynyt, puussa tapahtuu muutoksia, jotka johtavat talvenkestävyyden kehittämiseen (Skrøppa ja Magnussen 1993).

Ulkomaisten kuusialkuperien edut, kuten usein ripeä kasvu, ja myös haitat, kuten joissakin tapauksissa puutteellinen kestävyys, liittyvät pitkälti kasvurytmiin. Seuraavassa esitellään tutkimuksia, jotka käsittelevät kuusialkuperien välisiä kasvurytmi- ja kestävyyseroja.

Skrøppa (1982) tutki kuusipopulaatioiden sisäistä ja välistä vaihtelua kasvurytmissä. Erot alkuperäryhmien välillä pituuskasvussa johtuivat pääasiassa kasvuperiodin pituudesta, sillä kasvun intensiteetti oli lähes vakio, noin 12 mm/vrk. Pohjoismaisilla alkuperillä pituuskasvu kesti keskimäärin 23 vrk, latvialaisilla ja puolalaisilla 27–28 vrk.

Myös kestävyudessa on eroja kuusialkuperien välillä. Danusevicius (1998) havaitsi yksivuotiaiden kuusentaimien pakastustestien perusteella, että Itä- ja Pohjois-Euroopan alkuperien syyshallankestävyydessä on pääasiassa etelä-pohjoisuuntaista, mutta myös länsi-itäsuuntaista kliinallista vaihtelua. Rannikon alkuperät olivat vähemmän kestäviä kuin sisämaan alkuperät samalla leveysasteella. Syyshallankestävyys kasvoi Puolasta koilliseen päin. Pakastustesteissä syyshallan arkoja olivat Puolan, Liettuan ja Valko-Venäjän alkuperät, kun taas Etelä-Suomen alkuperät olivat kestävimpiä. Toiseksi kestävimmän ryhmän muodostivat Viron, Länsi-Venäjän ja Etelä-Ruotsin alkuperät. Latvialaiset kuuset olivat Danuseviciuksen (1998) tutkimuksessa kestävyydeltään virolaisten ja liettualaisten välimuotoja.

Hannerz ja Westin (2005) vertasivat 19-vuotiaassa kenttäkokeessa Tukholman pohjoispuolella kasvavien valkovenäläisten ja ruotsalaisten kuusialkuperien syyshallankestävyyttä neljässä pakastustestissä. Ruotsalaiset alkuperät olivat valkovenäläisiä kestävämpiä kolmessa ensimmäisessä pakastustestissä elokuulta lokakuun alkuun, mutta lokakuun lopussa valkovenäläiset olivat jo kestävämpiä kuin ruotsalaiset.

Kasvun päättymistä kuusella säätelee kriittinen yön pituus (Dormling 1979). Esimerkiksi alkuperältään valkovenäläinen kuusi saa Tukholman seudulla kasvunpäättymissignaalin noin kolme viikkoa myöhemmin kuin paikallinen kuusi. Varhaisina talvina valkovenäläinen kuusialkuperä ei siten ehdi kehittyä täysin kestäväksi (Hannerz 1994b). Myös Partanen (2004) on osoittanut, että pohjoiset alkuperät lopettavat kasvunsa lyhyemmällä yön pituudella kuin eteläiset alkuperät.

Kosken ja Sieväsen (1985) mukaan puiden kasvun päättymisen riippuu lämpösumman ja yön pituuden yhteisvaikutuksesta. Esimerkiksi Sulkavan kuusi lopettaa kasvunsa yhdistelmällä 9 tuntia ja 800 d.d. tai 8 tuntia ja 1200 d.d. (Koski 1984), kun taas Puolan Hajnowkan (52° N) kuusi vaatii joka lämpösummassa pitemmän yön, esimerkiksi 11 tuntia ja 1200 d.d. Kun Puolan alkuperä siirretään Suomeen, se siis lopettaa kasvunsa myöhemmin kuin paikallinen suomalainen kuusi.

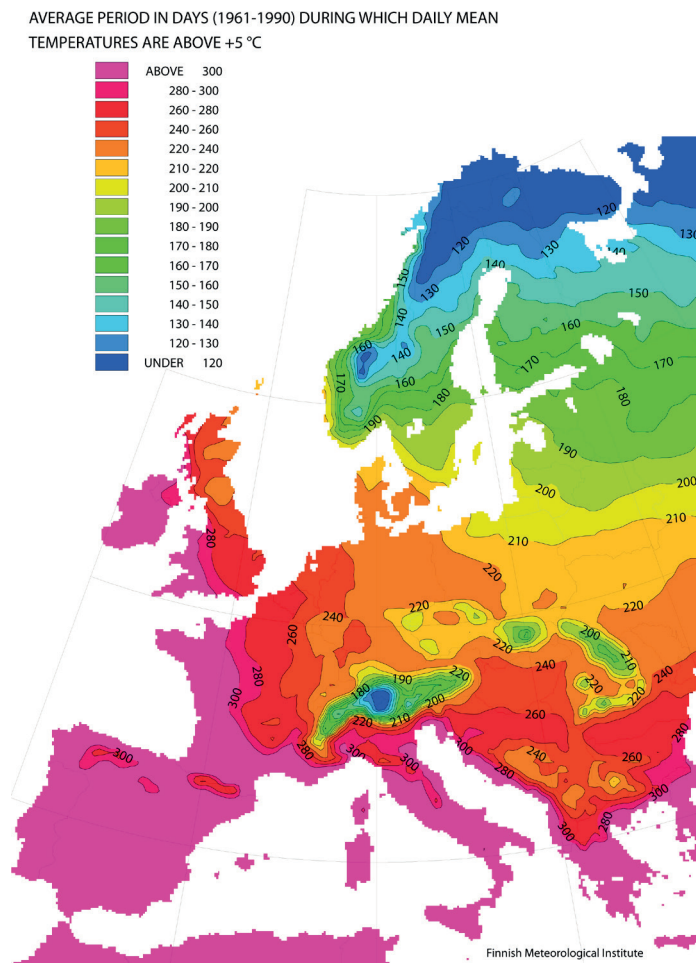
Beuker ym. (1998) tutkivat professori Olli Heikinheimon vuonna 1931 perustamissa alkuperäkokeissa kuusen talveentumista pakastamalla oksanäytteitä eri ajankohtina. Tuusulan alkuperä saavutti saman kestävyuden noin kuukautta myöhemmin kuin Sodankylän alkuperä. Eroja havaittiin kestävyudessa alkuperien välillä syys- ja lokakuussa, mutta marraskuuhun mennessä erot katosivat. Vuosien välillä oli vaihtelua jopa kuukausi, mikä osoittaa kirjoittajien mukaan, että talvenkestävyyden kehittymiseen vaikuttaa valojakson lisäksi myös lämpötila.

Varis ym. (2012) tutkivat ennustetun ilmaston lämpenemisen ja kohonneen hiilidioksidipitoisuuden vaikutuksia kuusen ja männyn taimien syyshallavaurioihin Etelä-Suomessa. Kasvihuoneissa jäljiteltiin olosuhteita, jotka vallitsevat eräiden skenaarioiden mukaan vuosina 2030 ja 2100. Pakastustestien perusteella neulasvaurioiden taso oli korkein kuusentaimilla, jotka olivat kasvaneet vuoden 2100 olosuhteissa. Vaurioita lisäsi kuivuus, joka yhdistyi korkeisiin lämpötiloihin. Tutkimuksen mukaan Saksan ja Puolan alkuperien kasvurytmi suhteessa valojakso-oloihin on siinä määrin erilainen kuin suomalaisten alkuperien, että ne tulevat kärsimään syyshallavaurioista myös ennustetuissa tulevaisuuden olosuhteissa.

Pulkkinen ja Varis (2012) tutkivat kuusen, männyn ja useiden lehtipuiden taimien kasvua, talvenkestävyyden kehittymistä ja muita vuosirytmiiin liittyviä ilmiöitä vastaavissa keinotekoisissa ilmasto-olosuhteissa kuin Variksen ym. (2012) tutkimuksessa. Suurimmalla osalla tutkimusaineistosta kesän korkeat lämpötilat ja maaperän kuivuus hidastivat talvenkestävyyden kehittymistä, mutta korkea hiilidioksidipitoisuus vaikutti vastakkaiseen suuntaan. Kuusen taimilla, jotka olivat kasvaneet vuoden 2100 olosuhteissa, talvenkestävyys kehittyi yhdestä kolmeen viikkoa myöhemmin kuin nykyisessä ilmastossa kasvaneilla taimilla. Puolan ja Saksan pohjoisosien alkuperät menestyivät oletetussa vuoden 2100 ilmastossa jopa huonommin kuin Etelä-Suomen nykyilmastossa.

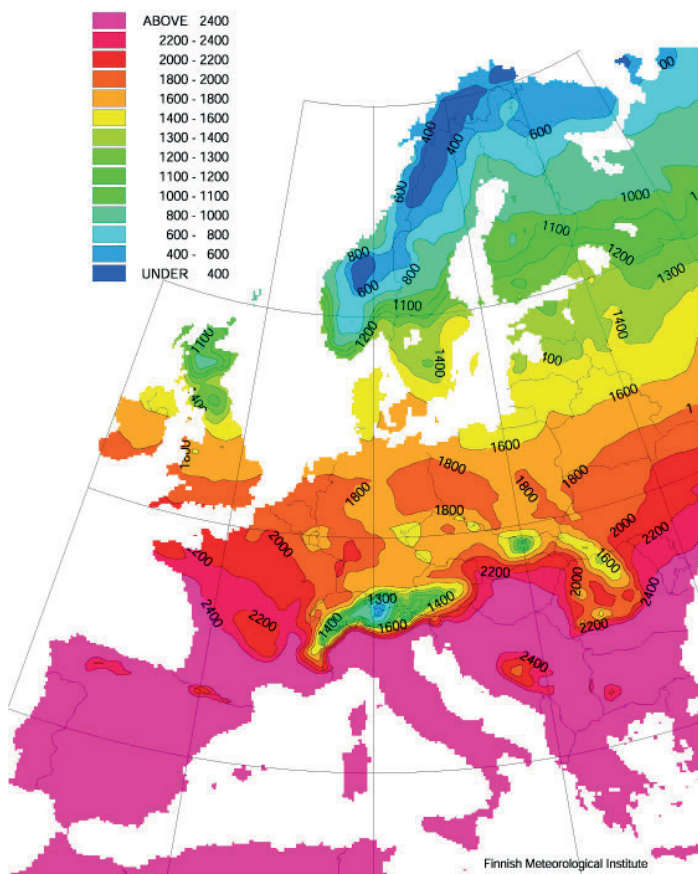
Skrøppa ja Magnussen (1993) tutkivat Etelä-Norjassa kuusialkuperien välistä vaihtelua pituuskasvussa taimien ollessa 6–7 -vuotiaita. Solbølen alkuperä Suomesta oli kasvuunlähde aikaisin alkuperä. Se aloitti kasvunsa 10–11 vrk aikaisemmin ja lopetti 19–21 vrk aiemmin kuin kokeen myöhäisin alkuperä, Lubelski Itä-Puolasta. Kirjoittavat tähdentävät, että pelkästään pituuskasvun päättymisen perusteella ei voi päätellä talvenkestävyyden kehittymistä. Nämä ovat peräkkäisiä vaiheita, mutta eri puilla näiden vaiheiden välinen aika voi vaihdella. Lisäksi kirjoittajat korostavat, että jonkin suuralueen, esimerkiksi Koillis-Puolan, sisällä on laajaa vaihtelua ja siksi metsätaloudessa käytettävä siemen tulisi hankkia mieluiten hyvistä osoittautuneista metsäkoista.

Puiden kasvurytmi on Pohjois-Euroopassa tiiviissä yhteydessä kasvukauden pituuteen (kuva 3) sekä kasvukauden tehoisaan lämpösummaan (kuvat 4 ja 5). Lämpöilmasto muuttuu Pohjois-Euroopassa



Kuva 3. Kasvukauden pituus Euroopassa. Lähde Ilmatieteen laitos.

MEAN EFFECTIVE TEMPERATURE SUM (DEGREE-DAYS, BASE +5 °C)
DURING THE PERIOD WITH TEMPERATURES ABOVE +5 °C (1961-1990)

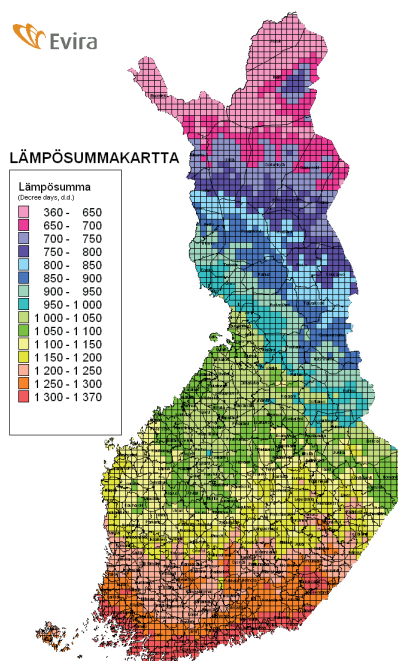


Kuva 4. Kasvukauden lämpösomma Euroopassa. Lähde Ilmatieteen laitos.

yleensä valoilmaston eli leveysasteen mukaan. Poikkeuksina ovat vuoristot sekä alueet, joissa Golfvirran ja Itämeren vaikutuksesta isotermit kulkevat poikittain tai vinosti leveysasteisiin nähden (Mátyas 1997). Esimerkiksi Baltiassa kasvukauden pituuden isotermit kulkevat vinosti leveysasteisiin nähden.

Syyshallavauriot ilmenevät uusien neulasten ruskettumisena ja varisemisena sekä myös haaralatvaisuutena. Neulasten variseminen voi johtua myös talvipakkasesta tai kevätahavasta (Hannerz 1994b).

Hagman (1986) tutki ankaran talven 1984–85 aiheuttamia vaurioita kuusen alkuperäkokeissa. Suomalaisetkaan alkuperät eivät silloin välttyneet vaurioilta, mutta nämä olivat yleensä lieviä ja näitä oli vähemmän kuin eteläisemmällä alkuperällä. Puolan-Viron -koesarjan 270 Pernajan ja Getan osakokeissa pakkasvaurioiden määrä muuttui alkuperän leveysasteen mukaan siten, että eniten vaurioita oli Puolan erillä, toiseksi eniten Viron erillä ja



Kuva 5. Kasvukauden lämpösomma Suomessa (1961–1990). Lähde Evira.

vähiten Suomen erillä. Itävallan-Puolan-Saksan -sarjan osakokeissa 90/01 Tenholassa ja 194/01 Kerimäellä Itävallan ja Saksan alkuperillä oli eniten pakkasvaurioita. IUFRO 1938 -kokeessa 27/01 Tuusulassa eniten vaurioita oli keskieuropalaisilla alkuperillä ja vähiten pohjoismaisilla alkuperillä. Myös vanhoissa Heikinheimon kokeissa Punkaharjulla, Solbölessä ja Vilppulassa keskieuropalaiset alkuperät kärsivät ankarasta talvesta eniten.

Keväthallankestävyydessä on kyse siitä, että kasvu alkaa riittävän myöhään, jolloin hallojen todennäköisyys on pieni. Kaikki kuusialkuperät ovat kuitenkin yhtä herkkiä paleltumaan, jos niille tehdään pakastustesti samassa verson kasvun vaiheessa, joka kuitenkin on eri aikaan eri alkuperillä (Dormling 1982). Christerssonin (1984) mukaan kuusen nuoret versot paleltuvat jo -3 °C lämpötilassa alkuperästä riippumatta.

Eteläiset kuusialkuperät aloittavat kasvunsa myöhemmin keväällä kuin suomalaiset alkuperät. Balut ja Sabor (1993) tutkivat IUFRO 1964/68 -koesarjan Krynican osakokeen alkuperiä Puolassa. Hidaskasvuisia ja aikaisin keväällä kasvunsa aloittavia ja siten hallanarkoja alkuperiä olivat Suomen, Ruotsin, Norjan, Länsi-Viron ja Länsi-Latvian sekä Alppien alkuperät. Nopeakasvuisia ja myöhäisiä olivat muiden muassa Kaakkois-Viron, Itä-Latvian, Itä-Liettuan, Venäjän, Valko-Venäjän, Puolan, Slovakian ja Romanian alkuperät.

Eteläisten alkuperien myöhäisempi kasvuunlähden ajankohta johtuu siitä, että ne vaativat suuremman lämpösumman lähteäkseen kasvamaan kuin pohjoiset alkuperät. Beuker (1994a) tutki kuusen silmujen puhkeamisen ajankohtaa ns. Heikinheimon kokeissa (perustettu vuonna 1931) Tuusulassa ja Punkaharjulla sekä ns. Mikolan kokeessa nro 516/01 (perustettu vuonna 1978) Punkaharjulla vuosina 1990–92. Tuusulan kuusialkuperä aloitti kasvunsa Heikinheimon kokeissa, kun lämpösummaa oli kertynyt keskimäärin 177 d.d. Tuusulassa ja 158 d.d. Punkaharjulla. Kokeen kahden saksalaisen vuoristoerän, Schmiedefeldin ja Carlsfeldin, vastaavat arvot olivat keskimäärin Tuusulassa 211 d.d. ja Punkaharjulla 178 d.d. Mikolan kokeessa Punkaharjulla eteläsuomalaiset vertailualkuperät aloittivat kasvunsa, kun lämpösummaa oli kertynyt keskimäärin 143 d.d.. Vastaavat lämpösummat olivat ulkomaisilla alkuperillä: Viro Veriora 189 d.d., Latvia Kalsnava 200 d.d., Liettua Kelme 233 d.d., Puola Augustow 238 d.d. ja Romania Vatra Dornei 255 d.d..

Hannerz (1994a) arvioi, että Keski-Ruotsissa keväthallavaurioiden riski pienenee lähes puoleen, jos käytetään valkovenäläisiä kuusialkuperiä paikallisten alkuperien sijasta. Keskiruotsalainen (60° N) kuusi aloittaa kasvunsa, kun lämpösummaa on kertynyt noin 120 d.d., mutta valkovenäläinen vasta 180 d.d.:n paikkeilla. Vuorokausina ero on noin 8 vrk.

Napola, M-L (2002) arvioi keväthallavaurioiden riskiä fenologisten havaintojen perusteella kuusikokeissa 1424/01–02 Lohjalla ja Vihdissä. Jos halla olisi käynyt kokeissa kesäkuun alussa, eteläviroalaisen Misson erästä olisi noin 10 % taimista paleltunut, mutta paikallisista vertailueristä noin 80 %.

Danusevicius ja Persson (1998) tutkivat kuusen nuoruusvaiheen fenologiaa ja kasvua Keski-Ruotsissa sijaitsevassa testaustarhatyypissä kokeessa, jossa oli suuri joukko ruotsalaisia sekä itä- ja keskieuropalaisia kuusialkuperiä. Lähinnä silmunpuhkeamisen ja pituuden perusteella alkuperät jaettiin kolmeen pääryhmään: I Keski-Eurooppa, II Itä-Eurooppa sekä Etelä- ja Keski-Ruotsi, III Pohjois-Ruotsi. Ryhmä II jaettiin edelleen alaryhmiin: II 1 Valko-Venäjän luoteisosat ja Itä-Latvia, II 2 Etelä-Ruotsi ja Länsi-Viro, II 3 Keski-Ruotsi (58–61° N) ja Itä-Viro.

Danusevicius ja Gabrilavicius (2001) saivat samansuuntaisia tuloksia kuin Danusevicius ja Persson (1998). Kuusialkuperien eroja kasvun alkamisessa ja päättymisessä sekä syyshallatuhojen suhteen

tutkittiin kolmen kasvukauden ajan taimitarhakokeissa. Vaihtelu kasvurytmissä oli kliinaalista. Baltiassa yhden leveysasteen (111 km) siirto pohjoiseen vastasi 2,4 pituusasteen (n. 130 km) siirtoa itään. Viron ja Venäjän alkuperillä ei havaittu mantereisuusgradienttia. Alkuperät jaettiin kolmeen ryhmään (Ruotsi ja Suomi eivät mukana): 1. Koillis-Puola, Valko-Venäjän keskiosa, Liettuan rannikko ja eteläosat, 2. Pohjois-Liettua, Valko-Venäjän länsi- ja pohjoisosat sekä Latvia, 3. Viro ja Venäjä.

Leinonen ja Hänninen (2002) lähestyivät kuusialkuperien kasvurytmieroja luonnonvalinnan näkökulmasta. Puiden sopeutuminen vuotuiseen sykliin on tulosta tasapainottavasta valinnasta kahden voiman kesken: yhtäältä kuusi pyrkii aloittamaan kasvunsa mahdollisimman myöhään välttääkseen hallatuhot keväällä (eloonjäämisadaptaatio); toisaalta kuusi pyrkii käyttämään kasvukauden mahdollisimman tarkkaan (kapasiteettiadaptaatio). Kirjoittajat tutkivat tietokonesimulaatiolla kolmen kuusialkuperän sopeutumista. Alkuperät olivat: Muonio, Tampere ja Voronez (51° 40' N.) Eri ilmastoissa optimaalinen adaptaatio vaihtelee: Jos kasvukausi on hyvin lyhyt, varhainen kasvuunlähtö saattaa olla suhteellisesti tärkeämpää kuin hallavaurioiden välttäminen.

3 Aineisto ja menetelmät

3.1 Koeviljelykset

Tutkimuksen **pääaineistoon** kuului 37 kuusen koeviljelystä, joista 32 oli Metlan vuosina 1959–87 perustamia kuusen alkuperäkokeita (taulukko 2). Pääaineistoon kuului lisäksi kaksi Metlan vuosina 1985–86 perustamaa, muutamia ulkomaisia koe-eriä sisältävää kuusen jälkeläiskoetta sekä kolme Metsänjalostussäätiön vuosina 1991–93 perustamaa kuusen koeviljelystä, joissa on muutamia ulkomaisia eriä. Tutkimusaineistoon kuului myös **koe 749/01** (Paimio), jota suuren alkuperämääränsä takia tarkasteltiin erillään pääaineistosta. Valittaessa tähän tutkimukseen soveltuvia kokeita kriteerinä oli, että kokeesta on saatavissa mittaustietoa vähintään 15 vuoden iältä.

3.2 Kuusialkuperät ja lähtöisyysalueet

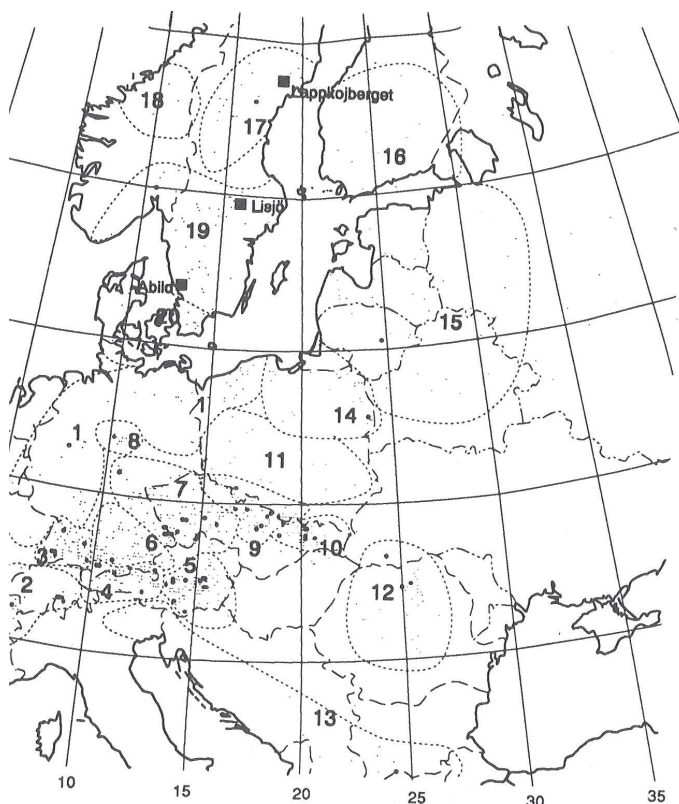
Euroopan kuusialkuperät voidaan jakaa kahteen pääryhmään, Itä-Euroopan alankoalkuperiin ja Keski-Euroopan vuoristoalkuperiin. Tässä tutkimuksessa alkuperät jaoteltiin edelleen pienempiin maantieteellisiin alueisiin, joita jäljempänä kutsutaan **lähtöisyysalueiksi**. Aluejaon pohjana käytettiin Dietrichsonin (1979) esittämää ja Fottlandin ja Skröppan (1989) edelleen kehittämää vyöhykejakoa, jota myös Persson ja Persson (1992) ovat soveltaneet (kuva 6). Tätä vyöhykejakoa tarkennettiin Koillis-Euroopan osalta siten, että laaja vyöhyke nro 15 jaettiin viideksi lähtöisyysalueeksi (Viro, Latvia, Liettua, Länsi-Venäjä ja Valko-Venäjä).

Tutkimusaineistossa on alkuperiä 18 lähtöisyysalueelta. Pääaineistossa on 89 eri alankoalkuperää yhdeksältä lähtöisyysalueelta ja 60 eri vuoristoalkuperää seitsemältä lähtöisyysalueelta. Alkuperien lukumäärät lähtöisyysalueittain kokeen pääaineistossa ja kokeessa 749/01 on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 2. Tutkimusaineistoon kuuluvien kuusen alkuperäkokeiden teknisiä tietoja.

Kokeen numero	Istutusaika	Kunta	Leveys-piiri	Pituus-piiri	Korkeus mpy, m	Lämpö-summa, d.d.	Kasvu-paikka	Koe-eriä	Lohkoja	Taimia ruudussa	Istutusväli, m	Taimityyppi	Lopetusvuosi
90/01	27.5.1959	Tenhola	60° 03'	23° 10'	15	1334	pelto	7	4	625	1,7 × 1,7	2+2	
143/01	keväät 1959	Vihti	60° 30'	24° 32'	70	1250	MT	7	4	400	2 × 2	ei tietoa	
170/01	23.5.1964	Sysmä	61° 33'	25° 42'	120	1225	OMT	28	6	25	2 × 2	2+2	
193/01	27.5.1961	Finström	60° 13'	19° 55'	3	1256	OMT	9	4	120	2 × 2	2+2	
194/01	9.6.1962	Kerimäki	61° 56'	29° 08'	80	1180	?	18	6	100	2 × 2	2+2	
219/01	25.5.1964	Geta	60° 20'	19° 52'	10	1238	OMT	31	6	25	2 × 2	2+2	
221/01	16.5.1964	Närpiö	62° 33'	21° 08'	10	1194	MT	21	6	25	2 × 2	2+2	
233/01	29.5.1964	Vilppula	62° 02'	24° 27'	110	1172	MT	16	6	25	2 × 2	2+2	
234/01	3.6.1964	Huittinen	61° 14'	22° 43'	55	1245	OMT	16	6	25	2 × 2	2+2	
237/01	9.10.1967	Geta	60° 20'	19° 52'	10	1238	MT	16	6	49	2 × 2	2+2	
237/02	19.9.1967	Tammela	60° 39'	23° 58'	125	1243	MT	17	6	49	2 × 2	2+2	
237/03	16.9.1967	Miehikkälä	60° 49'	27° 27'	60	1284	OMT	10	6	49	2 × 2	2+2	
237/04	13.9.1967	Hauho	61° 13'	24° 31'	100	1251	OMT	17	6	49	2 × 2	2+2	
237/06	18.5.1968	Ruotsinpyhtää	60° 28'	26° 24'	10	1345	MT	15	6	49	2 × 2	2+2	
242/01	21.5.1965	Kärsämäki	63° 49'	25° 42'	150	1031	VMT	12	6	25	2 × 2	2+2+1	
270/01	9.10.1969	Loppi	60° 34'	24° 26'	120	1249	MT	24	8	49	2 × 2	1+2	
270/02	3.6.1970	Imatra	61° 07'	28° 47'	55	1280	MT	24	8	49	2 × 2	1+2	1991
270/03	28.5.1970	Parainen	60° 08'	22° 14'	5	1347	MT	22	4	49	2 × 2	1+2	
270/04	23.5.1970	Pernaja	60° 25'	26° 00'	10	1335	Pelto	24	7	49	2 × 2	1+2	2011
270/05	10.6.1970	Geta	60° 20'	19° 52'	5	1238	MT	24	5	49	2 × 2	1+2	
270/06	23.5.1970	Eurajoki	61° 17'	21° 43'	40	1253	MT	10	5	49	2 × 2	1+2	2001
332/01	23.5.1968	Nauvo	60° 14'	21° 58'	10	1348	pelto	8	4	5	2 × 2	2+2+1+3	2006
516/01	28.6.1978	Punkaharju	61° 48'	29° 19'	95	1235	MT	24	3	132	2 × 2	1Kh+2A+1A	
524/01	15.6.1962	Imatra	61° 07'	28° 49'	50	1288	OMT	6	5	400	2 × 2	2 + 2 + 1	
535/01	30.9.1977	Parkano	62° 03'	23° 18'	180	1125	MT	40	6	25	2 × 2	1M+2A	
535/03	25.5.1977	Tammisaari	59° 53'	23° 25'	5	1356	pelto	32	6	24	2,5 × 1,6	1M+2A	2011
655/01	27.5.1982	Vihti	60° 20'	24° 17'	45	1316	pelto	30	6	25	2 × 2	2A+2A	
655/02	31.5.1982	Tammisaari	59° 57'	23° 18'	15	1342	pelto	28	6	25	2 × 2	2A+2A	
655/03	26.5.1982	Kemiö	60° 12'	22° 29'	20	1345	OMT	21	4	25	2 × 2	2A+2A	
655/04	3.6.1985	Paimio	60° 27'	22° 45'	40	1298	pelto	30	4	12	3 × 3	2A+2A+3A	
749/01	13.6.1984	Paimio	60° 27'	22° 45'	45	1298	MT	192	5	25	0,75 × 1,5	1Me, 1Ae+3A	
995/01	15.6.1987	Paimio	60° 27'	22° 45'	45	1298	pelto	30	13	25	0,75 × 1,5	1M + 3A	
995/02	29.5.1987	Tammisaari	59° 56'	23° 18'	10	1342	pelto	30	4	25	2 × 2	1M + 3A	
Metlan jälkeläiskokeita, joissa mukana ulkomaisia eriä													
976/01	31.5.1985	Saarijärvi	62° 46'	25° 40'	145	1090	pelto	43	4	25	0,75 × 1,5	1Mk-1Ak	
1045/02	16.6.1986	Saarijärvi	62° 46'	25° 40'	145	1090	pelto	44	4	25	0,75 × 1,5	1Mk-1Ak	2004
Metsänjalostussäätön kokeita, joissa mukana ulkomaisia eriä													
1393/03	22.5.1991	Juva	61° 43'	27° 55'	145	1222	pelto	88	6	6	2 × 2	1/2Ms-1As	
1424/01	6.5.1992	Lohja	60° 13'	23° 50'	50	1348	pelto	107	6	6	1 × 1	1Ms-1As	
1479/01	27.5.1993	Loppi	60° 41'	24° 30'	115	1235	pelto	50	5	9	1 × 1	1/2Lt+1/2Ms-2As	

Lämpösummat ovat vuosilta 1961–1990. Kynnyslämpötila on +5°C.



Kuva 6 Kuusen alkuperävyöhykkeet (lähtöisyysalueet) Euroopassa (Persson & Persson 1992).

- 1 Luoteis-Eurooppa,
- 2 Jura-vuoristo ja Sveitsi,
- 3 Schwarzwald-Schwaben,
- 4 Keski-Alppien länsiosa,
- 5 Keski-Alppien itäosa,
- 6 Alppien esivuoristo,
- 7 Böhmerwald,
- 8 Harz esivuorineen,
- 9 Sudeetit ja Beskidit,
- 10 Tatra-vuoristo,
- 11 Etelä-Puola,
- 12 Karpaatit,
- 13 Kaakkois-Eurooppa,
- 14 Koillis-Puola,
- 15 Baltia, Valko-Venäjä, Länsi-Venäjä,
- 16 Suomi,
- 17 Pohjois-Ruotsi,
- 18 Keski-Norja,
- 19 Kaakkois-Norja ja Keski-Ruotsi,
- 20 Tanska, Skoone ja Blekinge (alloktoninen).

Taulukko 3. Eri alkuperien lukumäärät lähtöisyysalueittain tutkimuksen pääaineistossa ja kokeessa 749/01, Paimio.

Lähtöisyysalue	Alkuperien lukumäärät, kpl	
	Pääaineisto	Koe 749/01
Alankoalkuperät		
Viro	20	33
Latvia	8	5
Liettua	3	3
Länsi-Venäjä	16	
Itä-Venäjä	2	
Pohjois-Venäjä	1	
Valko-Venäjä	28	67
Koillis-Puola	9	5
Etelä-Puola		2
Ruotsi-Norja	2	
Yhteensä	89	115

Lähtöisyysalue	Alkuperien lukumäärät, kpl	
	Pääaineisto	Koe 749/01
Vuoristoalkuperät		
Harz	2	1
Böhmerwald	20	7
Sudeetit-Beskidit	3	10
Tatra	10	7
Karpaatit	17	26
Länsi-Eurooppa	1	1
Itävalta	7	
Balkan		2
Yhteensä	60	54
Kaikki yhteensä	149	169

Kokeiden sisältämien alkuperien lukumäärät lähtöisyysalueittain on esitetty taulukossa 4. Eniten eriä on Valko-Venäjältä: kokeessa 749/01 67 kpl, koesarjassa 655/01–04 19–25 kpl ja yksittäisiä eriä seitsemässä kokeessa. Myös Virosta, Koillis-Puolasta, Böhmerwaldista, Tatalta ja Karpaateilta on runsaasti eriä useissa kokeissa.

Taulukko 4. Alkuperien lukumäärä lähtöisyysalueittain tutkimusaineistoon kuuluvissa kuusen alkuperäkokeissa.

Kokeen numero	Kunta	Koe-eriä	Suomi	Viro	Latvia	Valko-Venäjä	Koillis-Puola	Harz	Böhmerwald	Sudeetit-Beskidit	Tatra	Kar-paatit	Itä-valta	Muita alkuperiä	Muita eriä
90/01	Tenhola	7	1				1	1	1	1			2		
143/01	Vihti	7	2				1	1	1	1			1		
170/01	Sysmä	28	4						18		5	1			
193/01	Finström	9	2				1			1	5				
194/01	Kerimäki	18	1				1		1	1	1		7		6
219/01	Geta	31	4			1			19		6	1			
221/01	Närpiö	21	4			1			12		3	1			
233/01	Vilppula	16	2			1			10		2	1			
234/01	Huittinen	16	2			1			10		2	1			
237/01	Geta	16	2					1					13		
237/02	Tammela	17	3					1					13		
237/03	Miehikkälä	10	2										8		
237/04	Hauho	17	3					1					13		
237/06	Ruotsinpyhtää	15	1					1					13		
242/01	Kärsämäki	12	3						7		1	1			
270/01	Loppi	24	6	9			8				1				
270/02	Imatra	24	6	9			8				1				
270/03	Parainen	22	4	9			8				1				
270/04	Pernaja	24	6	9			8				1				
270/05	Geta	24	6	9			8				1				
270/06	Eurajoki	10	3	3			4								
332/01	Nauvo	8	1						3		3				1
516/01	Punkaharju	24	15	1	1	1	1				1	1		Li 1, L-Eur 1, P-Ve 1	
524/01	Imatra	6	1					1			3		1		
535/01	Parkano	40	4	1	8		7		1	10	3	2		Ru-No 2, E-Pu 2	
535/03	Tammisaari	32	3	1	5		4		1	9	3	2		Ru-No 2, E-Pu 2	
655/01	Vihti	30	3	1		25	1								
655/02	Tammisaari	28	2	1		24	1								
655/03	Kemiö	21	1			19	1								
655/04	Paimio	30	3	1		25	1								
749/01	Paimio	192	23	33	5	67	5	1	7	10	7	26		Li 3, E-Pu 2 L-Eur 1, Balkan 2	
995/01	Paimio	30	2	5		1	1					2		L-Ve 16, I-Ve 2, P-Ve 1	
995/02	Tammisaari	30	2	5		1	1					2		L-Ve 16, I-Ve 2, P-Ve 1	
Metlan jälkeläiskokeita, joissa mukana ulkomaisia eriä															
976/01	Saarijärvi	43	40	2			1								
1045/02	Saarijärvi	44	41	2			1								
Metsänjalostussäätön kokeita, joissa mukana ulkomaisia eriä															
1393/03	Juva	88	41	3										Li 2	42
1424/01	Lohja	107	66	2											39
1479/01	Loppi	50	46	1											3

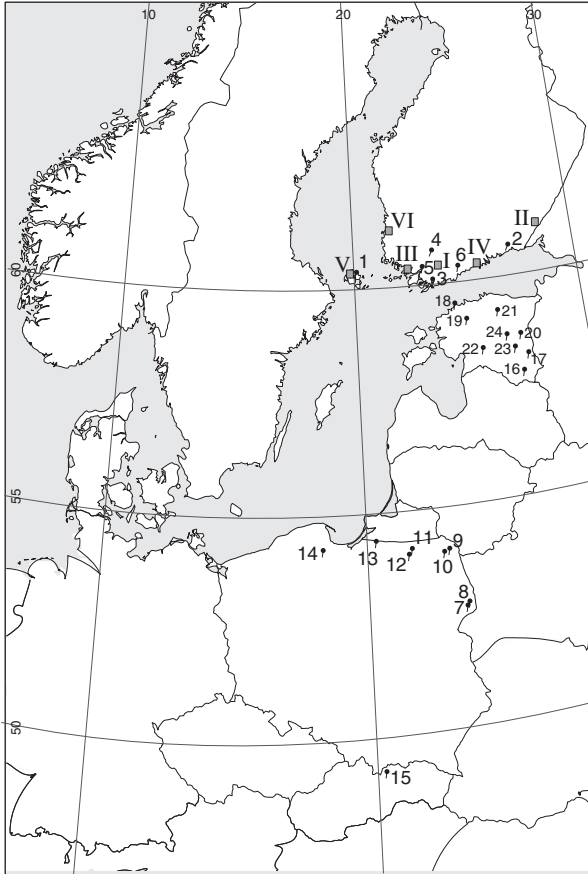
Lyhenteitä: L-Eur=Länsi-Eurooppa, Li=Liettua, E-Pu=Etelä-Puola, Ru-No=Ruotsi-Norja, L-Ve=Länsi-Venäjä, I-Ve=Itä-Venäjä, P-Ve=Pohjois-Venäjä

Tutkimukseen sisällytetyt kuusen alkuperäkokeet voidaan jakaa niiden sisältämän aineiston mukaan seuraaviin ryhmiin:

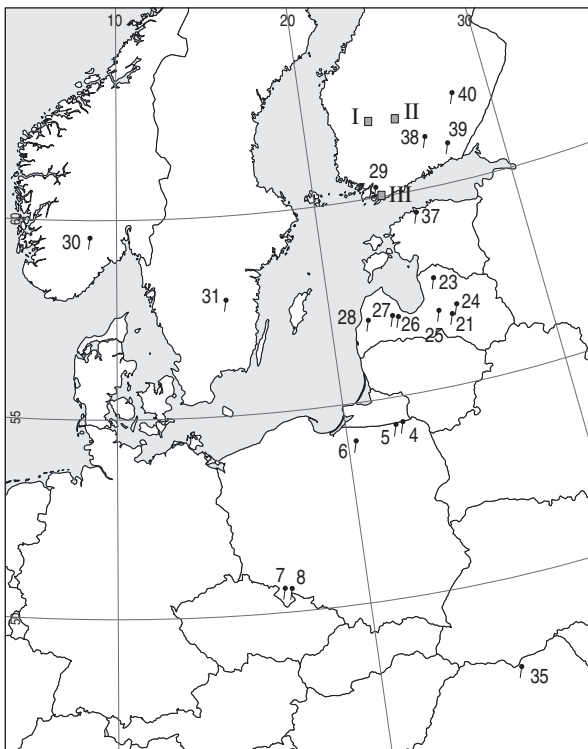
- *Itävalta-Puola-Saksa -koesarja*, 3 kpl (kokeet 90, 143 ja 194) – perustettu v. 1959–61, sisältävät 1–7 erää Itävallasta, yhden erän Koillis-Puolasta ja Sudeettien-Beskidien vuoristosta sekä 1–2 erää Saksasta (Harz ja Böhmerwald)
- *Slovakian koesarja*, 2 kpl, (193 ja 524) – perustettu 1961–62, sisältävät 3–5 erää Tatralta sekä yhden erän Koillis-Puolasta, Itävallasta, Harz-vuoristosta ja Sudeettien-Beskidien vuoristosta.
- *Saksa-Slovakia-koesarja*, 7 kpl (170, 219, 221, 233, 234, 242 ja 332) – perustettu 1959–68, sisältävät 3–19 erää Böhmerwaldista, 1–5 erää Tatralta ja yksi erä Karpaateilta.
- *Romanian koesarja*, 5 kpl (237/01–04 ja /06) – perustettu 1967–68, sisältävät 8–13 erää Karpaateilta ja yhden Harz-vuoriston erän.
- *Puola-Viro-koesarja*, 6 kpl (270/01–06) – perustettu 1969–70, sisältää yleensä 9 koillispuolalaista ja 8 virolaista erää.
- *Puola-Latvia-koesarja*, 2 kpl (535/01 ja /03) – perustettu 1972, sisältää mm. 9–10 erää Sudeettien-Beskidien vuoristosta, 4–7 erää Koillis-Puolasta, 5–8 erää Latviasta sekä yhden erän Ruotsista ja Norjasta.
- *Valko-Venäjän koesarja*, 4 kpl (655/01–04) – perustettu 1982 ja 1985, sisältää 19–25 valko-venäläistä erää.
- *Venäjän koesarja*, 2 kpl, (995/01–02) – perustettu 1987, sisältävät muiden muassa 19 venäläistä ja 5 virolaista erää.
- *Muut kokeet:*
 - *Koe 516* – perustettu 1978, näytealatyypinen koe, sisältää yhden erän yhdeksästä maasta.
 - *Koe 749/01*, perustettu 1982, sisältää 192 erää, eniten eriä Valko-Venäjältä, Virosta, Karpaateilta ja Sudeettien-Beskidien vuoristosta.

Seuraavassa tarkastellaan seikkaperäisemmin tärkeimpiä koesarjoja ja kokeita sekä niiden eriä siltä osin kuin niitä on mukana viime vuosien mittauksissa.

- *Puola-Viro-koesarja 270/01–06* – perustettu 1969–70 (kuva 7)
 - Puolan eristä Bialowieza ja Zwierzyniec (nrot 7 ja 8) ovat maan itäosasta, läheltä Valko-Venäjän rajaa, Mestwinowo (nro 14) pohjoisrannikon tuntumasta ja muut viisi erää maan koillisnurkasta. Viron eristä Tallinna, Kohila ja Rakvere (nrot 18, 19 ja 21) ovat peräisin maan pohjoisosasta, Kilingi-Nõmme (nro 22) lounaisosasta ja muut viisi erää itä- ja kaakkoisosista. Slovakian erä Hohe Tatra on vuoristosta yli 1000 metrin korkeudelta läheltä Puolan rajaa. Suomen eristä Sund (nro 1) on Ahvenanmaalta ja Jokioinen (nro 4) Lounais-Hämeestä, muut etelärannikolta tai sen tuntumasta.
- *Koe 516/01* – perustettu 1978
 - Pienilmastoltaan suotuisassa paikassa Punkaharjun Laukansaassa, näytealatyypinen koe, jossa vaihtelevan kokoiset ruudut, 2–3 toistoa erää kohti. Tunnetaan suunnittelijansa mukaan nimellä ”Mikolan koe”.
 - Erät Baltian maista, Valko-Venäjän pohjoisosasta, Koillis-Puolasta sekä vuoristoerät Slovakiasta, Romaniasta ja Ranskasta. Kuusi eteläsuomalaisista vertailuerää. (Kokeessa on myös pohjoissuomalaisia eriä.)
- *Puola-Latvia-koesarja 535/01 ja /03* – perustettu 1972 (kuva 8)
 - Parkanon osakoe /01 kärsi taimivaiheessa ankarista hallatuhoista, mutta osa kokeesta on toipunut kohtalaisesti. (Jämsänkosken osakoe /02 tuhoutui taimivaiheen hallavaurioihin).



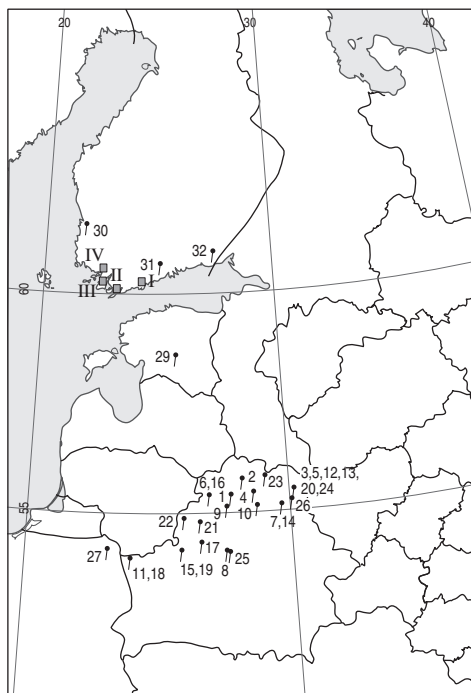
Kuva 7. Koesarjan 270 alkuperien ja osakkeiden I–IV sijainnit. Lähtöisyysalueet: Suomi, erät 1–6; Koillis-Puola, erät 7–14; Tatra (Slovakia), erä 15; Viro, erät 16–24.



Kuva 8. Koesarja 535 alkuperien ja osakkeiden I–III sijainnit. Lähtöisyysalueet: Koillis-Puola, erät 4–6; Sudeetit-Beskidit (Puola), erät 7 ja 8; Latvia, erät 21–28; Ruotsi-Norja, erät 30 ja 31; Karpaatit (Romania), erä 35; Suomi, erät 29 ja 38–40. Huom. Karttaan on merkitty vain ne erät, jotka on mitattu viimeisimmissä mittauksissa.

Osakoe /03 kasvoi lauhassa ilmastossa Tammisaaren saariston kansallispuistossa. Keväällä 2008 tehdyn viimeisen mittauksen jälkeen koe lopetettiin ja kaadettiin.

- Puolalaiset erät sisältyvät IUFRO 1972 -koesarjaan (ks. Matras 1993). Osakokeen /01 mitatuista viidestä Puolan erästä Przervarki, Borki ja Nowe Ramuki (nrot 4–6) ovat maan koillisosasta, Miedzygorze ja Stronie Slaskie Sudeettien vuoristosta (nrot 7 ja 8) läheltä Tsekin rajaa. Latvian erät ovat maan länsi- ja keskiosista. Mitattujen erien joukossa on myös yksi erä Kaakkois-Norjasta, Etelä-Ruotsista, Virosta ja Romanian Karpaateilta. Suomen erät ovat Tammisaaresta, Miehikkälästä, Heinolasta ja Juvalta. Osakokeesta /03 mitattiin ainoastaan viisi Latvian erää ja Tammisaaren erä.
- *Valko-Venäjän koesarja 655/01–04* – perustettu 1982 ja 1985 (kuva 9)
- Tammisaaren osakoe /02 ja Kemiön osakoe /03 sijaitsevat lauhassa ilmastossa lähellä meren rantaa, Vihdin osakoe /01 ja Paimion osakoe /04 hieman etäämmällä merestä.
 - Paimion osakoe poikkeaa muista. Sen istutustiheys on 3×3 m ja taimimäärä ruudussa 12 kpl. Lisäksi se on istutettu 3 vuotta myöhemmin kuin muut osakokeet; taimikasvatus on kuitenkin aloitettu samaan aikaan kuin muidenkin osakokeiden.
 - Valko-Venäjän erät ovat peräisin kolmelta alueelta: Vitebskin (valkovenäjäksi Viciebsk) oblastista maan pohjoisosista, Minskin oblastista maan keskiosista sekä Grodnon (Hrodna) oblastista maan länsiosista. Lisäksi on yksi erä Koillis-Puolasta Augustowista sekä Keski-Virosta Viljandista. Vertailuerät Eurajoelta, Tuusulasta ja Virolahdelta.
- *Koe 749/01* – perustettu 1984 (kuva 10)
- Metlan Preitilän tilalla Paimiossa sijaitseva testaustarhatyyppinen koe, jonka istutustiheys on $0,75 \times 1,5$ m. Viimeisin mittaus on vuodelta 1999, jonka jälkeen koe on kärsinyt ylitiheydestä.
 - Valko-Venäjän alkuperät, joita on yhteensä 67 kpl, ovat peräisin kuudelta alueelta (oblast): Vitebsk 30 kpl, Minsk 15 kpl, Grodno 10 kpl, Mogilev (valkovenäjäksi Mahilioú) 9 kpl, Brest 2 kpl ja Gomel (Homiel') 1 kpl.
 - Muut alankoalkuperät: Viro 33 kpl, Latvia 5 kpl, Liettua 3 kpl, Koillis-Puola 5 kpl ja Etelä-Puola 2 kpl.
 - Vuoristoalkuperät: Karpaatit 26 kpl, joista Romaniasta 11 kpl, Ukrainasta 14 kpl ja yksi kpl Puolan Itä-Karpaateilta (työnumero 152, Tarnawa 18, Sokoliki); Puolan Sudeetit-Beskidit 10 kpl; Slovakian Tatra 7 kpl; Saksan Böhmerwald 7 kpl ja Harz-vuoristo 1 kpl; Balkan 2 kpl, joista 1 kpl Kosovosta ja 1 kpl Montenegrosta; Länsi-Eurooppa 1 kpl (Vogeesit, Ranska).
 - Vertailuerät: Sulkava, Miehikkälä, Tuusula ja Tammisaari
 - Suuren erämääränsä takia koetta on tarkasteltu erillään muusta aineistosta.



Kuva 9. Koesarjan 655 alkuperien ja osakokeiden I–IV sijainnit. Lähtöisyysalueet: Koillis-Puola, erä 27; Viro, erä 29; Suomi, erät 30–32; Valko-Venäjä: Minskin alue, erät 8, 17 ja 25; Grodnon alue, erät 11, 15, 18, 19, 21 ja 22; Vitebskin alue, muut erät.



Kuva 10. Kokeen 749/01 sijainti sekä alkuperien keskimääräinen sijainti lähtöisyysalueittain. Lähtöisyysalueet ja alkuperien lukumäärät:

A Viro 33 kpl,
 B Latvia 5 kpl,
 C Liettua 3 kpl,
 D Valko-Venäjä 67 kpl,
 E Koillis-Puola 5 kpl,
 F Etelä-Puola 2 kpl,
 G Harz 1 kpl,
 H Böhmerwald 7 kpl,
 I Sudeetit-Beskitit 10 kpl,
 J Tatra 7 kpl,
 K Karpaatit 26 kpl,
 L Länsi-Eurooppa 1 kpl ja
 M Balkan 2 kpl.

Alkuperien keskimääräistä sijaintia osoittavan kirjaimen koordinaatit ovat lähtöisyysalueen alkuperien koordinaattien keskiarvoja.

– *Venäjän koesarja 995/01–02* – perustettu 1987 (kuva 11)

- Paimion osakokeen /01 istutustiheys on tavanomaista suurempi ($0,75 \times 1,5$ m), ja koe on kärsinyt ylitiheydestä. Kokeesta mitattiin vuonna 2005 vain Viron viisi erää ja Suomen kaksi erää. Tammisaaren osakoe /02 on onnistunut hyvin.
- Länsi-Venäjän erät ovat peräisin kuudelta alueelta, joista Novgorod, Pihkova ja Kalinin sijaitsevat Moskovan ja Pietarin välissä, Kaluga Moskovan eteläpuolella, Jaroslav ja Vologda Moskovasta pohjoiseen. Itä-Venäjän eristä Kirov on Moskovan itäpuolelta ja Kemerovo Länsi-Siperiasta. Komin erä on Pohjois-Venäjältä. Viron viisi erää ovat maan pohjois- ja itäosista. Kokeessa on kaksi erää Itä-Karpaattien vuoristosta Ukrainasta, yksi erä Koillis-Puolasta ja yksi erä Minskin alueelta Valko-Venäjältä. Suomen erät ovat Tuusulasta ja Tammisaaresta.

Analyyseja varten alkuperät jaettiin kahteen pääryhmään, **alanko-** ja **vuoristoaineistoon**. Edelliseen luettiin ne koe-erät, joiden alkuperäinen kasvupaikka sijaitsee enintään 300 metriä meren pinnan yläpuolella. Tätä korkeammalta peräisin olevat koe-erät sijoitettiin vuoristoaineistoon. Kokeissa esiintyvät Baltian, Venäjän ja Valko-Venäjän koe-erät ovat siten alankoalkuperiä ja kaikki Saksan,



Kuva 11. Koesarjan 955 alkuperien ja osakokeiden I ja II sijainnit. Lähtöisyysalueet:

Karpaatit (Ukraina), erät 1 ja 2
 Viro, erät 3–7
 Valko-Venäjä, erä 8
 Länsi-Venäjä: Vologda, erä 9
 Novgorod, erät 11–13
 Kalinin, erät 14–16
 Jaroslavl, erät 17–20
 Pihkova, erät 21 ja 22
 Kaluga, erät 23–25
 Itä-Venäjä:
 Kirov, erä 26
 Kemerovo, erä 28
 kartan ulkopuolella Länsi-Siperiassa;
 Pohjois-Venäjä: Komi, erä 27
 Suomi, erät 29 ja 30
 Koillis-Puola, erä 31.

Slovakian, Ukrainan, Romanian ja Itävallan erät ovat puolestaan vuoristoalkuperiä. Vain Puolasta on kokeissa mukana sekä alanko- että vuoristoalkuperiä. Vuoristoalkuperien korkeus merenpinnasta on esitetty lähtöisyysalueittain taulukossa 5.

Alkuperäkokeissa on suomalaisia koe-eriä 1–15 kpl. Vertailueriksi valittiin suomalaisten koe-erien joukosta ne, jotka alkuperältään vastasivat eniten koepaikkakunnan ilmastoa. Milloin tällaiset paikallisiksi katsottavat koe-erät puuttuivat kokeesta, vertailueriksi hyväksyttiin muitakin suomalaisia eriä, esimerkiksi Ahvenanmaan kokeissa manner-Suomen sisämaasta peräisin olevia eriä. Vertailueriä on tavallisesti 1–4 kpl/koe.

Taulukko 5. Vuoristoalkuperien altitudit eli korkeudet merenpinnasta (m) tutkimuksen pääaineistossa ja kokeessa 749/01, Paimio. N = eräkeskiarvojen lukumäärä aineistossa.

Alkuperien lähtöisyysalue	Altitudi pääaineistossa, m				Altitudi kokeessa 749/01, m			
	keskiarvo	min.	max.	N	keskiarvo	min.	max.	N
Balkan					1420	1200	1640	2
Böhmerwald	835	300	980	82	634	400	800	7
Harz	503	300	625	8	855			1
Itävalta	577	400	800	10				
Länsi-Eurooppa	800			1	800			1
Karpaatit	933	350	1260	83	893	400	1200	26
Sudeetit-Beskidit	733	580	820	6	808	580	1420	10
Tatra	885	600	1000	37	893	700	1125	7

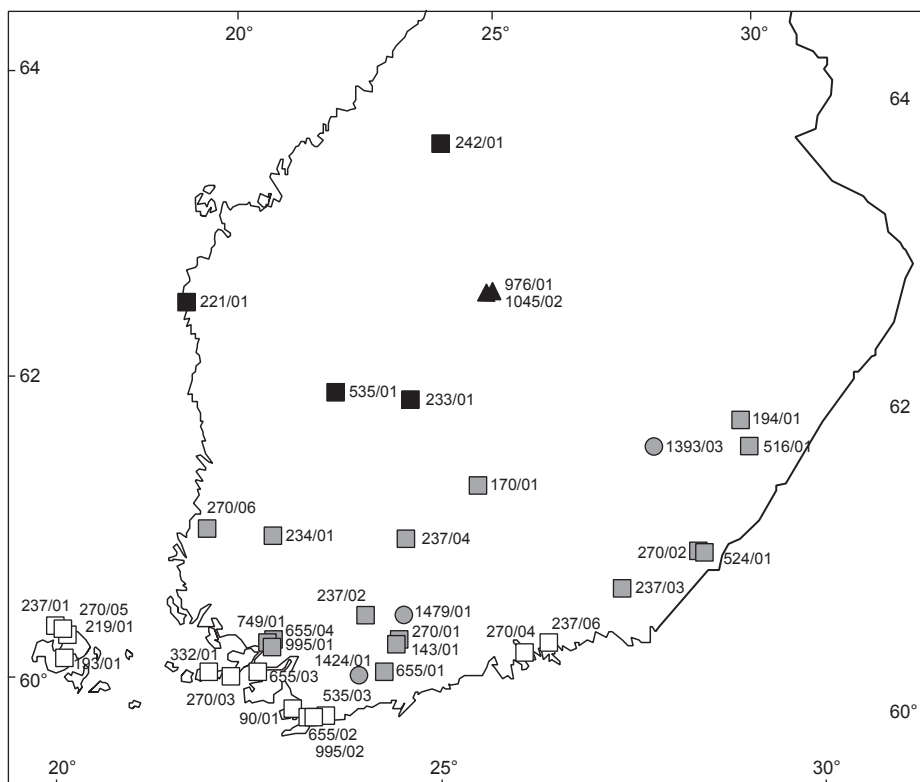
3.3 Koeviljelysten sijainti ja koejärjestely

Tutkimuksen pääaineistoon kuuluvien kokeiden sijainti painottuu maamme lounaisimpaan osaan, ja niiden määrä vähenee pohjoista kohti (kuva 12). Pääaineiston kokeet jaettiin koepaikan sijainnin ja tehoisan lämpösunnan perusteella kolmeen ryhmään eli **viljelyalueeseen**:

	kokeita, kpl
1. Rannikko (lämpösomma yli 1300 d.d.) ja Ahvenanmaa	13
2. Etelä-Suomi (lämpösomma 1300–1200 d.d.)	18
3. Keski-Suomi (lämpösomma 1200–1090 d.d.)	5

Pohjois-Pohjanmaalla Kärsämäellä sijaitsevaa keskieuropalaisia vuoristoalkuperiä sisältävää koetta 242/01 tarkasteltiin erikseen pohjoisen sijaintinsa (63° 49') ja alhaisen koepaikan lämpösunnan (1031 d.d.) takia.

Lämpösunnat ovat ajanjaksolta 1961–1990, ja kynnyslämpötila on +5 °C. Ahvenanmaan koepaikojen lämpösunnat ovat alle 1300 d.d. Rannikon ja Ahvenanmaan yhdistämistä samaan viljelyalueeseen puoltaa se, että näillä alueilla kasvukausi päättyy selvästi myöhemmin kuin Etelä-Suomen sisämaassa. Melko kaukana rannikosta sijaitsevat kokeet 655/01 Vihdissä ja 1424/01 Lohjalla sijoitettiin Etelä-Suomen viljelyalueeseen, vaikka niiden koepaikojen lämpösunnat ovat yli 1300 d.d. Myös koe 194/01 Kerimäellä (lämpösomma 1180 d.d.) sijoitettiin Etelä-Suomeen, koska



Kuva 12. Tutkimusaineistoon kuuluvien kokeiden sijainnit. Merkkien selitykset: neliö = alkuperäkoee; kolmio = Metlan jälkeläiskoe; ympyrä = Metsänjalostussäätiön koeviljelys. Merkin täyteväri ja sitä vastaava viljelyvyöhyke: valkoinen = rannikko; harmaa = Etelä-Suomi; musta = Keski-Suomi. Kokeita 242/01 ja 749/01 tarkasteltiin erikseen.

koepaikka sijaitsee kuusen eteläisimmällä kotimaisella lähtöisyysalueella (Metsänviljelyaineiston lähtöisyysalueet 2011).

Koejärjestely on kaikissa kokeissa satunnaistettujen lohkojen koe, ja lohkojen lukumäärä on yleensä 4–6 kpl. Taimien istutusväli kokeissa oli tavallisesti 2 × 2 m ja taimien lukumäärä ruudussa useimmiten 25 tai 49 kpl. Taimet olivat istutettaessa yleensä 3–4 vuoden ikäisiä. Kokeiden tekniset tiedot on esitetty taulukossa 2.

Kokeiden yleisin kasvupaikkatyyppi on tuore kangas (MT) runsaan 40 prosentin osuudella. Muita kasvupaikkoja ovat lehtomainen kangas (OMT) ja pelto, joita molempia on runsas neljännes kokeista.

Tutkimuksessa mukana olevat alkuperäkokeet on suunnitellut professori Max. Hagman lukuun ottamatta kahta koetta, 516/01 Punkaharjulla ja 524/01 Imatralla, joista edellisen on suunnitellut MML Jouni Mikola ja jälkimmäisen Enso-Gutzeit Oy.

3.4 Mittaukset ja inventoinnit

Tutkimuksessa käytettiin kunkin kokeen viimeisintä mittaus- ja inventointiaineistoa (taulukko 6). Viimeisimmän mittausiän keskiarvo on 24,5 kasvukautta istutuksesta, alhaisin mittausikä on 15 kasvukautta ja korkein 40 kasvukautta. Elävyystiedot ovat eräiden kokeiden osalta kuitenkin 10–13 kasvukauden iältä.

Vain harvoja kokeita voitiin mitata uudelleen tätä tutkimusta varten. Mittaukset kohdistuivatkin parhaiten onnistuneisiin ja aineistoltaan kiinnostavimpiin kokeisiin, joita ovat ennen kaikkea Baltian, Venäjän, Valko-Venäjän ja Puolan eriä sisältävät kokeet. Aiempien havaintojen perusteella näistä maista peräisin olevien kuusialkuperien voitiin olettaa menestyvän Suomessa paremmin kuin muiden alkuperien. Viime vuosien mittauksissa tyydyttiin monesti kokeen osittaiseen mittaukseen, jolloin osa eristä tai lohkoista jätettiin mittaamatta.

Vuosina 2005–11 tehtiin mittauksia ja inventointeja yhteensä kuudessatoista koeviljelyksessä, joista kaksitoista oli alkuperäkokeita ja neljä muita koeviljelyksiä.

Vuosien 2005–11 mittauksissa ja inventoinneissa mitattiin rinnankorkeusläpimitta (mm) kaikista puista, pituus (dm) otannalla joka neljänestä tai viidennestä mittausjärjestyksessä eteen sattuvasta puusta sekä laskettiin puukohtaiset korojen ja poikaoksien lukumäärät kaikista puista. Korolla tarkoitetaan vaihtelevan kokoista mustan sienikasvuston peittämää muodostumaa puun rungolla (ks. kuva 1). Puun kuori on koron kohdalta rikkoutunut. Poikaoksalla tarkoitetaan pystyoksaa, joka syntyy vahingoittuneesta pääversosta ranganvaihdon seurauksena (Kärkkäinen 2003). Poikaoksien ja korojen lukumäärä laskettiin elävistä puista neljän metrin korkeudelle asti. Harventamattomista kokeista laskettiin elävyys.

Taulukko 6. Tutkimukseen kuuluvat mittaukset ja inventoinnit kuusen alkuperäkokeissa.

Kokeen numero	Kunta	Istutusvuosi	Ikä kasvukausina mittauksen ajankohtana				
			Elävyys	Pituus	Läpimitta	Korot	Poikaoksat
90/01	Tenhola	1959	26	26	26		
143/01	Vihti	1959	22	22	22		
170/01	Sysmä	1964	21	21	21		
193/01	Finström	1961	35	35	35		
194/01	Kerimäki	1961	26	26	26		
219/01	Geta	1964	37	21	37		
221/01	Närpiö	1964	21	21			
233/01	Vilppula	1964	17	17	17		
234/01	Huittinen	1964	21	21	21		
237/01	Geta	1967	33	17	33		
237/02	Tammela	1967	17	17			
237/03	Miehikkälä	1967	17	17	17		
237/04	Hauho	1967	31	31	31		
237/06	Ruotsinpyhtää	1968	17	17	17		
242/01	Kärsämäki	1965	20	20	20		
270/01	Loppi	1969	39	39	39	39	39
270/02	Imatra	1970	15	15			
270/03	Parainen	1970	40	40	40	40	40
270/04	Pernaja	1970	15	15	36	36	36
270/05	Geta	1970	31	15	31		
270/06	Eurajoki	1970	15	15			
332/01	Nauvo	1968	20	20	20		
516/01	Punkaharju	1978	13	33	33	33	33
524/01	Imatra	1962	24	24	24		
535/01	Parkano	1977	31	31	31	31	31
535/03	Tammisaari	1977	31	31	31	31	31
655/01	Vihti	1982	25		25	25	25
655/02	Tammisaari	1982	10	28	28	28	28
655/03	Kemiö	1982	10	27	27	27	27
655/04	Paimio	1985	20	20	20		
749/01	Paimio	1984	16	16	16		
995/01	Paimio	1987	19	19			
995/02	Tammisaari	1987	22	22	22	22	22
Metlan jälkeläiskokeita, joissa mukana ulkomaisia eriä							
976/01	Saarijärvi	1985		24	24		
1045/02	Saarijärvi	1986		19			
Metsänjalostussäätön kokeita, joissa mukana ulkomaisia eriä							
1393/03	Juva	1991				20	20
1424/01	Lohja	1992	15	15			
1479/01	Loppi	1993		15			

3.5 Tilastolliset analyysit

3.5.1 Peruslaskenta

Kokeiden mittausdatat ja laskentatulokset on tallennettu metsägeneettiseen rekisteriin. 1980-luvulla tai sitä myöhemmin tehdyistä mittauksista on olemassa tiedostot yleensä sähköisessä muodossa, vanhemmista usein ainoastaan paperitulosteena tai käsinkirjoitettuna tallenteena. Vanhat lomakepohjaiset tiedostot muutettiin Muunnos-ohjelmalla (Haapanen 1995) yhteensopiviksi nykyisten taulukkolaskenta- ja tilasto-ohjelmien kanssa.

Puiden pituudet mitattiin uusissa mittauksissa vain otantapuista, joiden osuus oli yleensä 20–25 % runkoluvusta. Muille puille pituudet laskettiin regressioyhtälön avulla:

$$h = a + b_1 \cdot d_{1,3} + b_2 \cdot d_{1,3}^2 \quad (1)$$

jossa

h = laskennallinen pituus

a = vakio

b_1, b_2 = regressiokertoimia

$d_{1,3}$ = läpimitta rinnankorkeudelta

Yksittäisen puun tilavuus laskettiin Laasasenahon (1982) kaavalla:

$$v = 0.022927 \cdot (d_{1,3}^{1.91505}) \cdot (0.99146^{d_{1,3}}) \cdot (h^{2.82541}) \cdot ((h-1.3)^{-1.53547}) \quad (2)$$

jossa

v = tilavuus kuoren päältä (dm^3)

$d_{1,3}$ = läpimitta kuoren päältä rinnankorkeudelta (cm)

h = pituus (m)

Ensimmäisessä vaiheessa puiden puukohtaisista mittaustiedoista laskettiin aritmeettiset keskiarvot koeruuduille (koeyksikkö). Näistä puolestaan laskettiin pituuden, läpimitan ja runkotilavuuden pienimmän neliösumman keskiarvot (estimated marginal means) kullekin koe-erälle käyttäen painokertoimena havaintojen lukumäärää koeruudussa.

Poikaoksien ja korojen osalta laskettiin niiden puiden osuus, joissa oli yksi tai useampia poikaoksia / koroja. Tämä oli perusteltua, koska etenkin korojen kohdalla niiden lukumäärä puussa ei ole ratkaiseva seikka puun terveyttä arvioitaessa. Poikaoksapuiden osuuden, koropuiden osuuden sekä elävyyden eräkeskiarvot laskettiin koeruutukohtaisista luvuista.

Puuston tilavuus hehtaaria kohti laskettiin vain harventamattomista kokeista. Harvennettujen kokeiden harvennuspoistumaa ei yleensä tunneta, joten puuston kokonaiskasvua ei näiden kokeiden osalta voida laskea.

Eri kokeista saatujen tulosten saattamiseksi keskenään vertailukelpoisiksi pituuden, läpimitan, runkotilavuuden ja puuston tilavuuden eräkeskiarvot muutettiin suhteellisiksi arvoiksi kaavalla

$$\bar{x}'_i = (\bar{x}_i \cdot 100) / \bar{x}_p \quad (3)$$

ja elävyyden, koropuiden osuuden ja poikaoksapuiden osuuden eräkeskiarvot suhteellisiksi arvoiksi kaavalla

$$\bar{x}'_i = \bar{x}_i - \bar{x}_p + 100 \quad (4)$$

jossa

\bar{x}'_i = ulkomaisen erän suhteellinen keskiarvo,

\bar{x}_i = ulkomaisen erän pienimmän neliösumman keskiarvo,

\bar{x}_p = paikallisten (suomalaisten) vertailuerien pienimmän neliösumman keskiarvo.

3.5.2 Koostetiedosto

Kun kokeiden peruslaskenta oli tehty yllä selostetulla tavalla, muodostettiin koostetiedosto kaikkien kokeiden suhteellisista eräkeskiarvoista eri ominaisuuksissa. Jokaisesta erästä tiedostoon koottiin seuraavat tiedot:

- erän alkuperä sekä sen leveysaste, pituusaste (desimaalimuodossa) ja korkeus meren pinnasta
- kokeen mittausikä, leveysaste, pituusaste ja korkeus meren pinnasta sekä koepaikan lämpösumma
- siemenen siirtomatka eli leveysastesiirto ja pituusastesiirto (desimaalimuodossa)
- mitattu ominaisuus
- suhteellinen eräkeskiarvo
- vertailuerien absoluuttinen keskiarvo

Siemenen siirtomatka määriteltiin koepaikan leveysasteen ja erän alkuperäisen kasvupaikan leveysasteen erona (tai vastaavana pituusasteiden erona).

Koe 749/01 analysoitiin erikseen, koska se olisi suuren erämääränsä (192 kpl) takia saanut liian hallitsevan aseman aineistossa.

3.5.3 Lähtöisyysalueiden ja alkuperien vertailu

Lähtöisyysalueita vertailtiin toisiinsa ja suomalaisiin vertailualkuperiin koko pääaineistossa, jossa olivat mukana sekä alanko- että vuoristoalkuperät. Vertailussa käytettiin suhteellisia eräkeskiarvoja. Tarkastellut ominaisuudet olivat elävyys, runkotilavuus, puuston tilavuus, koropuiden osuus ja poikaoksapuiden osuus. Vertailu tehtiin erikseen rannikon, Etelä-Suomen ja Keski-Suomen viljelyalueille. Lähtöisyysalueiden eroja testattiin ei-parametrisella mediaanitestillä, koska parametristen testien vaatimus jäännösvaihtelun samansuuruisuudesta ryhmien välillä ei täyttnyt. Eräiden lähtöisyysalueiden, kuten Valko-Venäjän ja Venäjän osalta vertailuja tehtiin myös pienempien maantieteellisten alueiden (oblast) välillä.

Paimion kokeessa 749/01 ulkomaisia lähtöisyysalueita verrattiin suomalaisiin vertailualkuperiin Dunnetin testillä. Vertailu tehtiin elävyydestä, runkotilavuudesta ja puuston tilavuudesta käyttäen laskenta-aineistona ruutukeskiarvoja. Elävyyden yhteydessä käytettiin arcsin-muunnosta.

Kärsämäen kokeessa 242/01, jota pohjoisen sijaintinsa takia tarkasteltiin erikseen, ja eräissä yksittäisissä pääaineiston kokeissa, muiden muassa Parkanon kokeessa 535/01, tehtiin lähtöisyysalueiden

ja eräissä tapauksissa alkuperien välisiä tilastollisia vertailuja kaksisuuntaisella varianssianalyysillä ja Tukeyn testillä. Laskenta-aineistona käytettiin tällöin ruutukeskiarvoja.

3.5.4 Mallien laskenta

Mallien laskentaa varten koostetiedostosta poistettiin vuoristoalkuperät. Myös suomalaiset erät jätettiin pois alankoaineistosta, koska tarkoituksena oli selvittää ulkomaisten alkuperien menestymistä Suomessa eikä siirtojen vaikutusta suomalaisten alkuperien menestymiseen. Lisäksi kolme venäläistä erää poistettiin alankoaineistosta muuhun aineistoon nähden liian pohjoisen (Njandoma, koe 516/01 ja Komi, koe 995/02) tai itäisen (Kirov, koe 995/02) sijaintinsa takia. Niin ikään jätettiin pois aineiston ainoa norjalaiserä (Sanden, koe 535/01) ja ainoa ruotsalaiserä (Stallarp, koe 535/01) läntisen sijaintinsa vuoksi.

Mallien laskennassa käytetyn alankoaineiston koko vaihteli ominaisuudesta riippuen: kokeita oli 10–24 kpl ja eräkeskiarvoja 113–221 kpl (taulukko 7). Kokeiden ikä mittaushetkellä oli eräkeskiarvojen määrällä painottaen keskimäärin 23–30 kasvukautta ominaisuudesta riippuen.

Alankoaineistoa sisältävät kokeet sijaitsevat lämpösumma-alueella 1356–1090 d.d. (keskiarvo n. 1290 d.d.). Erämäärästä vain noin 10 % oli kokeissa, joiden sijaintipaikkakuntien lämpösumma on alle 1235 d.d. Kokeiden erämäärällä painotettu keskipiste oli Someron kunnan alueella (noin 60° 30'N, noin 23° 30'E). Pohjoisimmat alankoalkuperiä sisältävät kokeet sijaitsevat Saarijärvellä (62° 46'N).

Alankoaineiston erämäärillä painotettu keskipiste sijoittuu osapuilleen Kaakkois-Latvian ja Koillis-Liettuan rajamaille (noin 56°N, noin 26°E). Eteläisin erä oli leveysasteelta 53° N, läntisin pituusasteelta 18° E ja itäisin pituusasteelta 39° E.

Alankoaineistossa leveysastesiirto oli keskimäärin noin 4,5 astetta etelästä pohjoiseen päin ja siirron vaihteluväli 1–9 astetta. Pituusastesiirto oli keskimäärin 2,5 astetta idästä länteen päin, mutta enimmillään siirtomatka oli 16 astetta idästä länteen tai 10 astetta lännestä itään.

Taulukko 7. Siemenssiirtomallien laskennassa käytetty aineisto.

	Kokeita kpl	Eräkeski- arvoja, kpl	Kokeiden keski-ikä v.	Koepaikkojen lämpö- summakeskiarvo d.d.	Siirtomatka keskimäärin	
					leveysasteita	pituusasteita
Elävyys	22	221	22,6	1293	4,75	-2,51
Pituus	24	201	23,4	1284	4,65	-2,25
yli 5 m:n kokeet	20	159	25,6	1292	4,64	-2,74
Läpimitta	19	193	28,4	1293	4,82	-3,03
Runkotilavuus	14	146	26,2	1295	4,75	-2,76
Puuston tilavuus	10	113	25,6	1293	4,53	-2,84
Koropuiden osuus	11	145	29,5	1302	4,59	-2,42
Poikaoksapuiden osuus	11	145	29,5	1302	4,59	-2,42

Tutkittaessa siemenen siirtomatkan vaikutusta alankoaineiston elävyyteen, kasvuun ja rungon laatuun käytettiin seuraavaa lineaarista mallia.

$$y_{ijk} = \mu + b_1T_i + b_2N_j + b_3N_j^2 + b_4E_k + b_5E_k^2 + b_6N_jE_k + b_7T_iN_j + b_8T_iE_k + \varepsilon_{ijk} \quad (5)$$

Analysoidut vastemuuttujat (y) olivat elävyys, pituus, läpimitta, runkotilavuus, puuston tilavuus, poikaoksapuiden osuus ja koropuiden osuus. Siemenen leveysastesiirtoa (N), pituusastesiirtoa (E) ja näiden neliöitä sekä kokeen sijaintipaikan lämpösummaa (T) käytettiin jatkuvina muuttujina (kova-riatteina). Lisäksi pituuden mallissa puuston kokoa (H) käytettiin selittävänä luokkamuuttujana.

Mallien laskenta suoritettiin vaiheittain siten, että kussakin vaiheessa mallia supistettiin pudottamalla p-arvoltaan suurin ei-merkitsevä faktori pois mallista. Näin edettiin lopulliseen malliin, josta parametrien arvot laskettiin (ks. taulukko 9 luvussa 4.3.). Tilastolliset analyysit tehtiin PASW Statistics 17.0 -tilasto-ohjelmalla (SPSS, Chicago, IL.).

4 Tulokset

4.1 Lähtöisyysalueiden vertailu

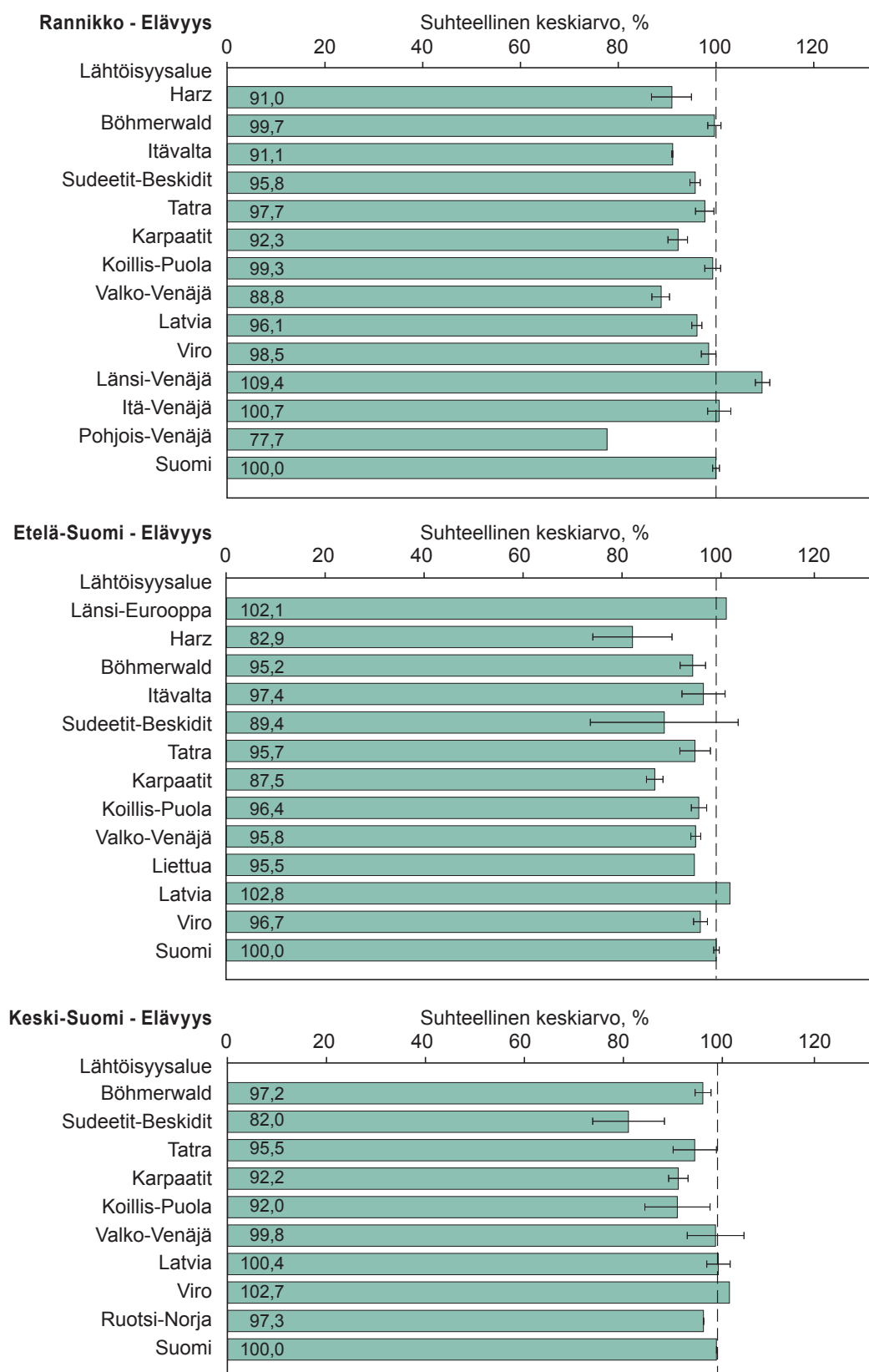
4.1.1 Elävyys

Ulkomaisten alkuperien elävyys oli keskimäärin suomalaisia vertailueriä alhaisempi kaikilla viljelyalueilla (kuva 13). Lähtöisyysalueiden väliset erot olivat merkitseviä rannikolla ($p < 0,001$) ja Etelä-Suomessa ($p < 0,001$). Lähtöisyysalueiden erojen tilastollinen merkitsevyys testattiin ei-parametrisella mediaanitestillä, koska parametristen testien vaatimus jäännösvaihtelun samansuuruisuudesta ryhmien välillä ei täyttynyt. Keskiarvojen yhteydessä esitetään niiden keskivirheet.

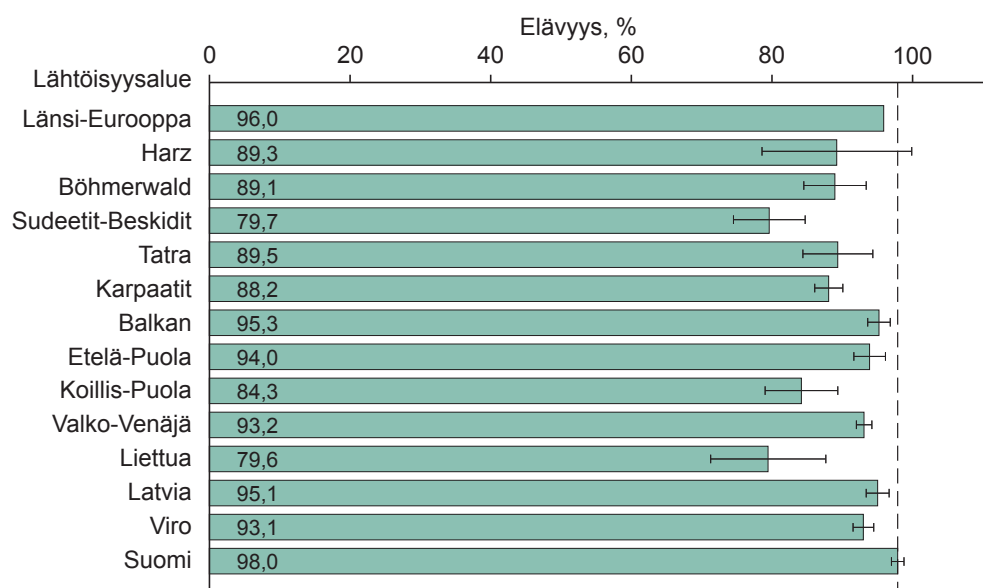
Rannikon viljelyalueella korkein suhteellinen elävyys oli Länsi-Venäjän alkuperillä, $109,4 \pm 1,5$ %, ja alin Valko-Venäjän alkuperillä, $88,8 \pm 1,8$ %. (Pohjois-Venäjän Komin alkuperällä, joka ei kuulunut varsinaiseen tutkimusaineistoon, elävyys oli $77,7$ %).

Etelä-Suomen viljelyalueella korkein suhteellinen elävyys oli Latvian ainoalla alkuperällä, $102,8$ % ja alin suhteellinen elävyys Harz-vuoriston alkuperillä, $82,9 \pm 8,0$ %.

Keski-Suomessa alin suhteellinen elävyys, $82,0 \pm 7,3$ %, oli Sudeettien-Beskidien alkuperillä ja korkein Viron ainoalla alkuperällä, $102,7$ %.



Kuva 13. Lähtöisyysalueiden suhteelliset elävyydet rannikon (ylin kuva), Etelä-Suomen (keskimmäinen kuva) ja Keski-Suomen (alin kuva) viljelyalueilla. Virhejana osoittaa keskiarvon keskivirheen.



Kuva 14. Lähtiöisyysalueiden absoluuttiset elävyydet kokeessa 749/01 Paimiossa. Virhejana osoittaa keskiarvon keskivirheen. Suomalaisten vertailualkuperien keskiarvo (98,0 %) on merkitty katkoviivalla.

Paimion kokeessa 749/01 16 vuoden iässä kaikkien ulkomaisten lähtiöisyysalueiden elävyydet olivat alempia kuin suomalaisilla vertailuerillä keskimäärin (kuva 14). Korkeimmat suhteelliset elävyydet olivat Balkanin, 97,2 %, ja Latvian, 97,0 %, lähtiöisyysalueilla, alimmat puolestaan Liettuan, 81,2 % ($p = 0,048$), ja Sudeettien-Beskitien vuoriston, 81,3 % ($p = 0,010$), lähtiöisyysalueilla. P-arvot: Suhteellisen keskiarvon yhteydessä mainittu p-arvo ilmaisee, eroaako kyseinen keskiarvo suomalaisten vertailualkuperien keskiarvosta tilastollisesti merkitsevästi Dunnettin testin mukaan.

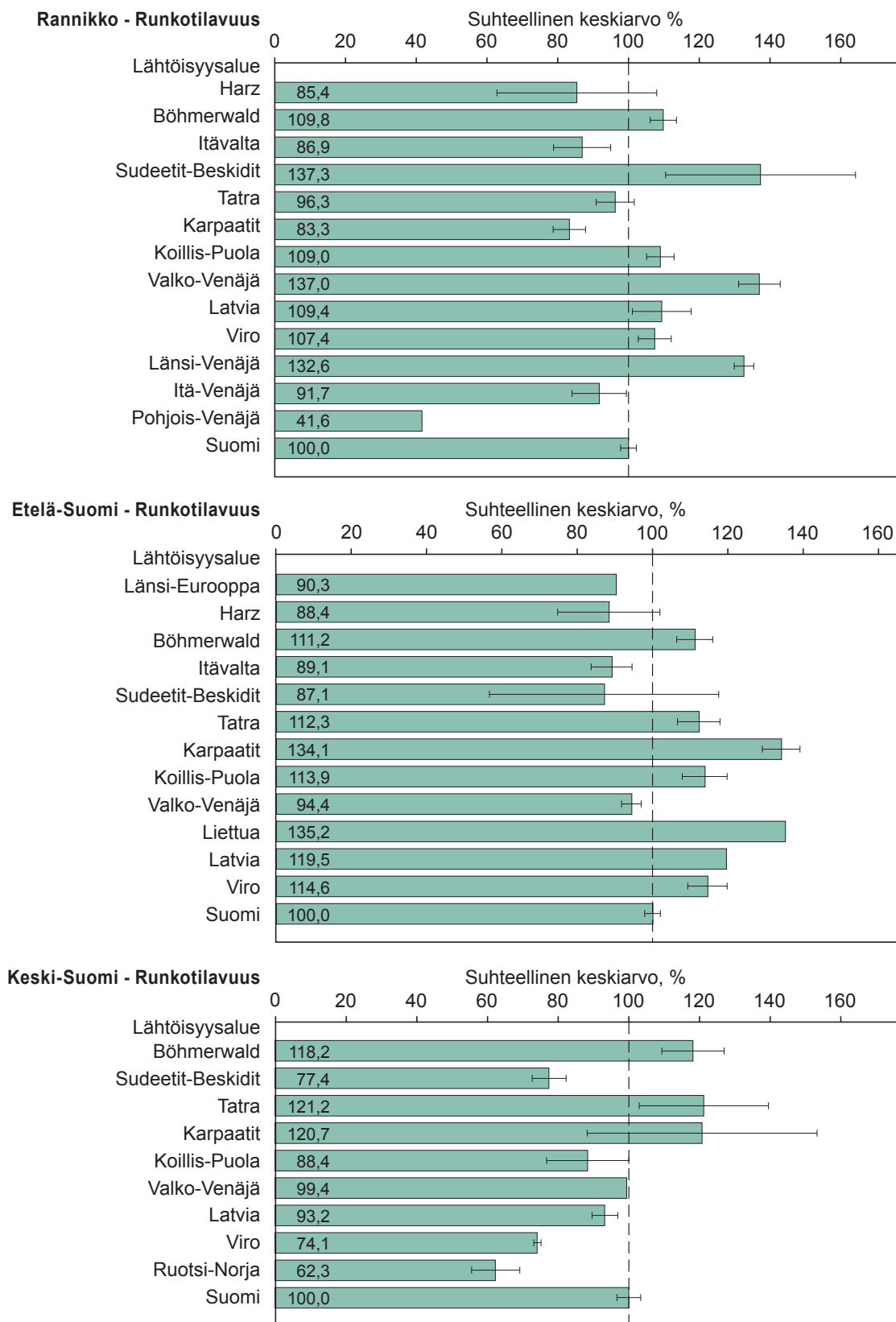
4.1.2 Runkotilavuus

Ulkomaisten alkuperien rungon koko oli keskimäärin suomalaisia vertailueriä suurempi rannikon ja Etelä-Suomen viljelyalueilla, mutta Keski-Suomessa se jäi samalle tasolle kuin suomalaisilla vertailuerillä (kuva 15). Lähtiöisyysalueiden väliset erot olivat mediaanitestin mukaan merkitseviä rannikolla ($p < 0,001$) ja Etelä-Suomessa ($p < 0,001$).

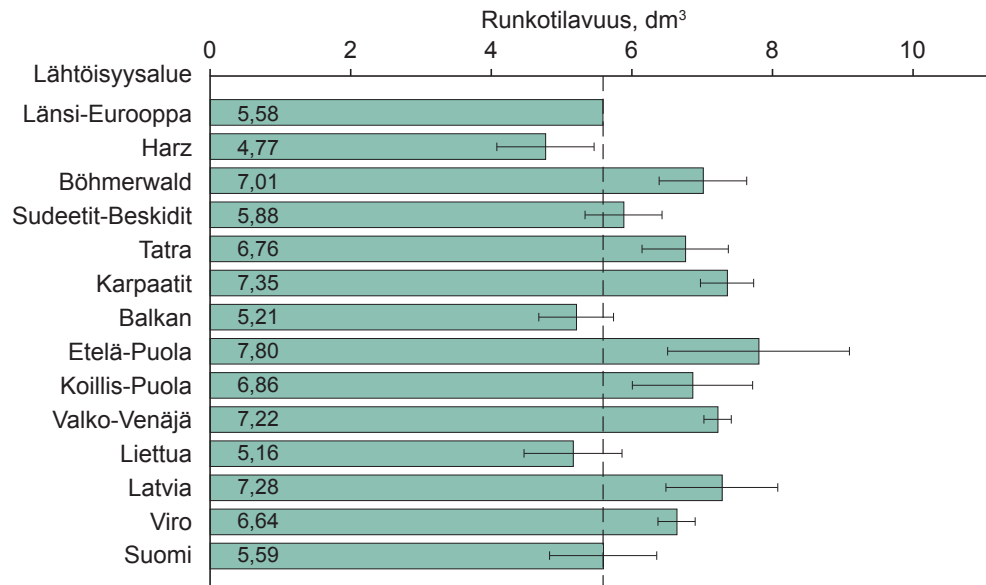
Rannikolla suurimmat suhteelliset runkotilavuudet olivat Sudeettien-Beskitien lähtiöisyysalueella, $137,3 \pm 26,9$ %, Valko-Venäjän lähtiöisyysalueella, $137,0 \pm 5,9$ %, ja Länsi-Venäjän lähtiöisyysalueella, $132,6 \pm 2,2$ %. Pienin suhteellinen runkotilavuus oli Karpaattien alkuperillä, $83,3 \pm 4,6$ %. (Pohjois-Venäjän Komin alkuperällä suhteellinen runkotilavuus oli 41,6 %.)

Etelä-Suomessa suurimmat suhteelliset runkotilavuudet olivat Liettuan ainoalla alkuperällä, $135,2$ %, ja Karpaattien lähtiöisyysalueella, $134,1 \pm 5,0$ %. Pienimmät suhteelliset runkotilavuudet olivat Sudeettien-Beskitien alkuperillä, $87,1 \pm 30,4$ %, ja Saksan Harz-vuoriston alkuperillä, $88,4 \pm 13,6$ %.

Keski-Suomessa suurimmat suhteelliset runkotilavuudet olivat Tatran lähtiöisyysalueella $121,2 \pm 18,3$ % ja Karpaattien lähtiöisyysalueella $120,7 \pm 32,5$ %. Pienimmät suhteelliset runkotilavuudet olivat Ruotsin-Norjan lähtiöisyysalueella, $62,3 \pm 6,8$ % ja Viron lähtiöisyysalueella, $74,1 \pm 1,0$ %.



Kuva 15. Lähtöisyysalueiden suhteelliset runkotilavuudet rannikon (ylin kuva), Etelä-Suomen (keskimmäinen kuva) ja Keski-Suomen (alin kuva) viljelyalueilla. Virhejana osoittaa keskiarvon keskivirheen.



Kuva 16. Lähtöisyysalueiden runkotilavuudet kokeessa 749/01 Paimiossa. Virhejana osoittaa keskiarvon keskivirheen. Suomalaisten vertailualueiden keskiarvo ($5,6 \text{ dm}^3$) on merkitty katkoviivalla.

Paimion kokeessa 749/01 16 vuoden iässä useimpien lähtöisyysalueiden runkotilavuudet olivat suurempia kuin suomalaisten vertailuerien (kuva 16). Vain Harz-vuoriston, Balkanin ja Liettuan lähtöisyysalueiden runkotilavuudet olivat pienempiä kuin suomalaisilla vertailuerillä. Suurin suhteellinen runkotilavuus, 139,5 % ($p = 0,670$), oli Etelä-Puolan alankoalueen alkuperillä. Myös Karpaattien ja Latvian lähtöisyysalueiden suhteellinen runkotilavuus oli yli 130 %.

4.1.3 Puuston tilavuus

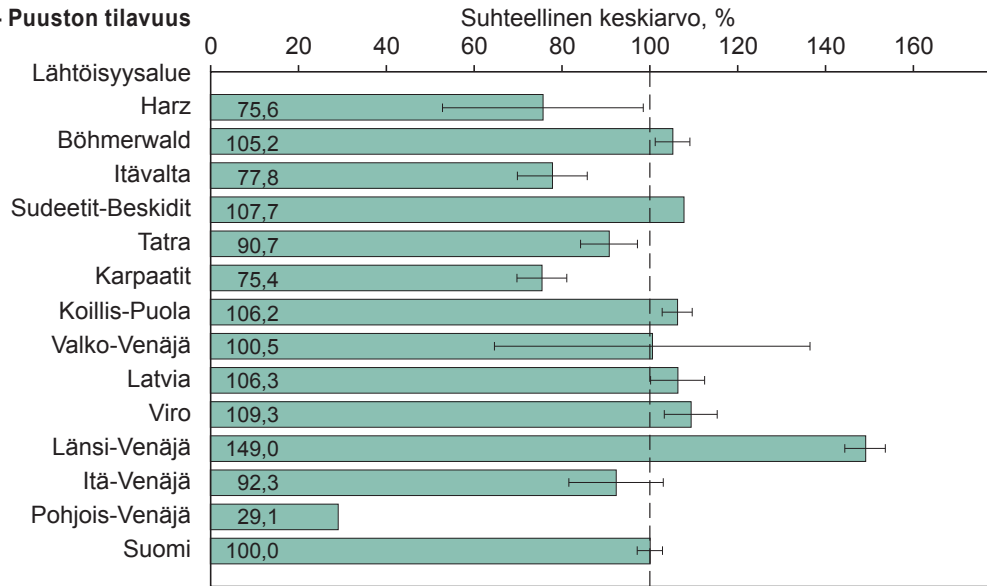
Puuston tilavuus oli ulkomaisilla alkuperillä keskimäärin jokseenkin samalla tasolla suomalaisten vertailuerien kanssa kaikilla viljelyalueilla (kuva 17). Lähtöisyysalueiden väliset erot olivat tilastollisesti merkitseviä vain rannikon viljelyalueella ($p < 0,001$). Rannikolla suurin suhteellinen puuston tilavuus oli Länsi-Venäjän alkuperillä, $149,0 \pm 4,6$ %. Pienin tilavuus oli Karpaattien alkuperillä, $75,4 \pm 5,7$ %. (Tätä pienempi puuston tilavuus oli Pohjois-Venäjän Komin alkuperällä, joka ei kuulunut varsinaiseen tutkimusaineistoon.)

Etelä-Suomessa suurin suhteellinen puuston tilavuus, $116,0 \pm 6,0$ %, oli Karpaattien lähtöisyysalueella, joka rannikon viljelyalueella oli puuston tilavuudeltaan viimeinen. Pienin suhteellinen puuston tilavuus Etelä-Suomessa oli Harzin alkuperillä, $73,2 \pm 17,9$ %.

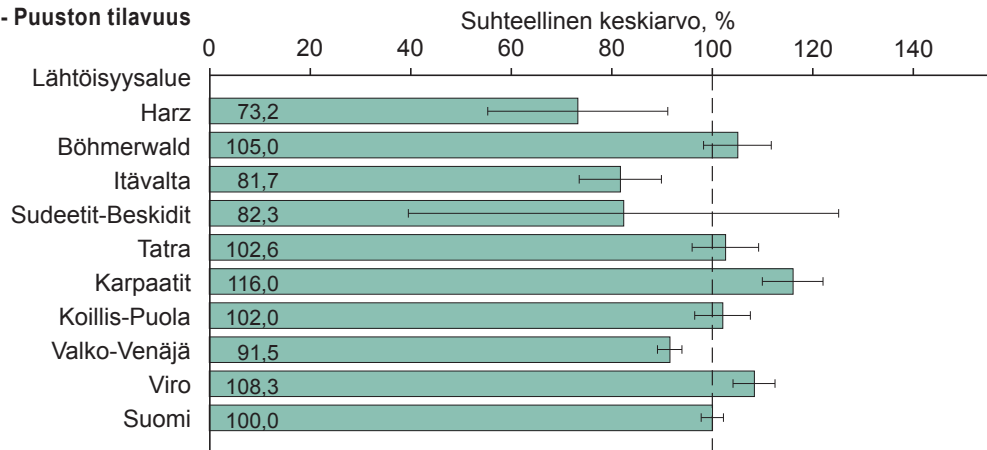
Keski-Suomessa suhteellinen puuston tilavuus olivat suurin Tatran lähtöisyysalueella, $129,1 \pm 21,6$ %, ja pienin Sudeettien-Beskidien lähtöisyysalueella, $48,5 \pm 3,8$ %.

Paimion kokeessa 749/01 16 vuoden iässä useimpien lähtöisyysalueiden puuston tilavuudet olivat suurempia kuin suomalaisten vertailuerien (kuva 18). Suurin suhteellinen puuston tilavuus, 133,0 % ($p = 0,633$), oli Etelä-Puolan alankoalueen alkuperillä. Valko-Venäjän ja Latvian lähtöisyysalueiden suhteelliset runkotilavuudet olivat yli 125 %. Pienin suhteellinen puuston tilavuus, 76,0 % ($p = 0,973$), oli Saksan Harz-vuoriston alkuperällä.

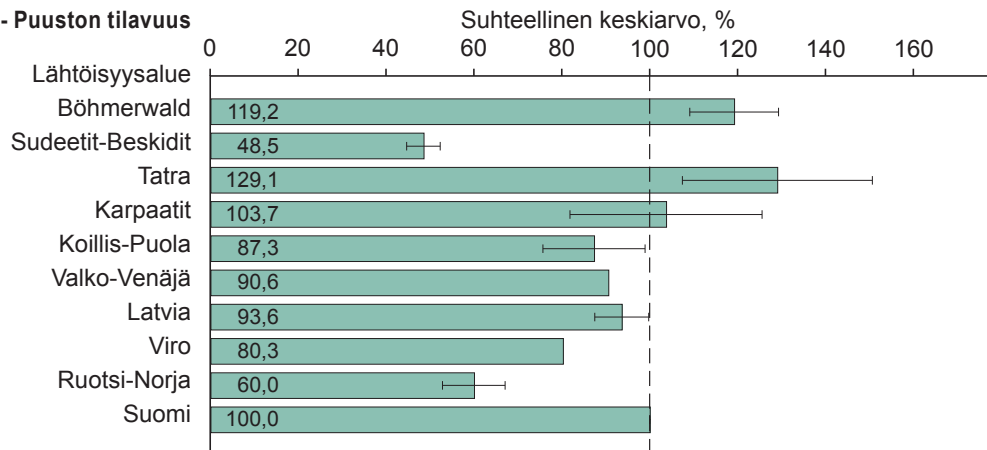
Rannikko - Puuston tilavuus



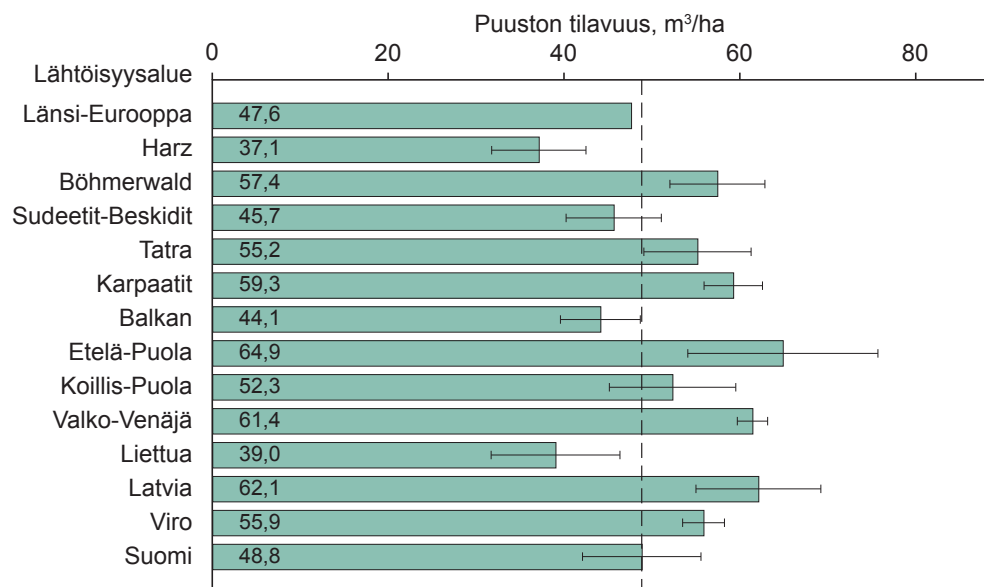
Etelä-Suomi - Puuston tilavuus



Keski-Suomi - Puuston tilavuus



Kuva 17. Lähtöisyysalueiden suhteelliset puuston tilavuudet rannikon (ylin kuva), Etelä-Suomen (keskimäinen kuva) ja Keski-Suomen (alin kuva) viljelyalueilla. Virhejana osoittaa keskiarvon keskivirheen.



Kuva 18. Lähtöisyysalueiden puuston tilavuudet kokeessa 749/01 Paimiossa. Virhejana osoittaa keskiarvon keskivirheen. Suomalaisen vertailualkuperien keskiarvo (48,8 m³/ha) on merkitty katkoviivalla.

4.1.4 Korot

Koropuiden osuus oli suomalaisilla vertailualkuperillä keskimäärin $14,6 \pm 3,1$ %. Ulkomaisilla alkuperillä koropuiden osuus oli keskimäärin suurempi kuin suomalaisilla vertailuerillä (kuva 19). Lähtöisyysalueiden väliset erot olivat merkitseviä rannikolla ($p < 0,001$) ja Etelä-Suomessa ($p < 0,009$).

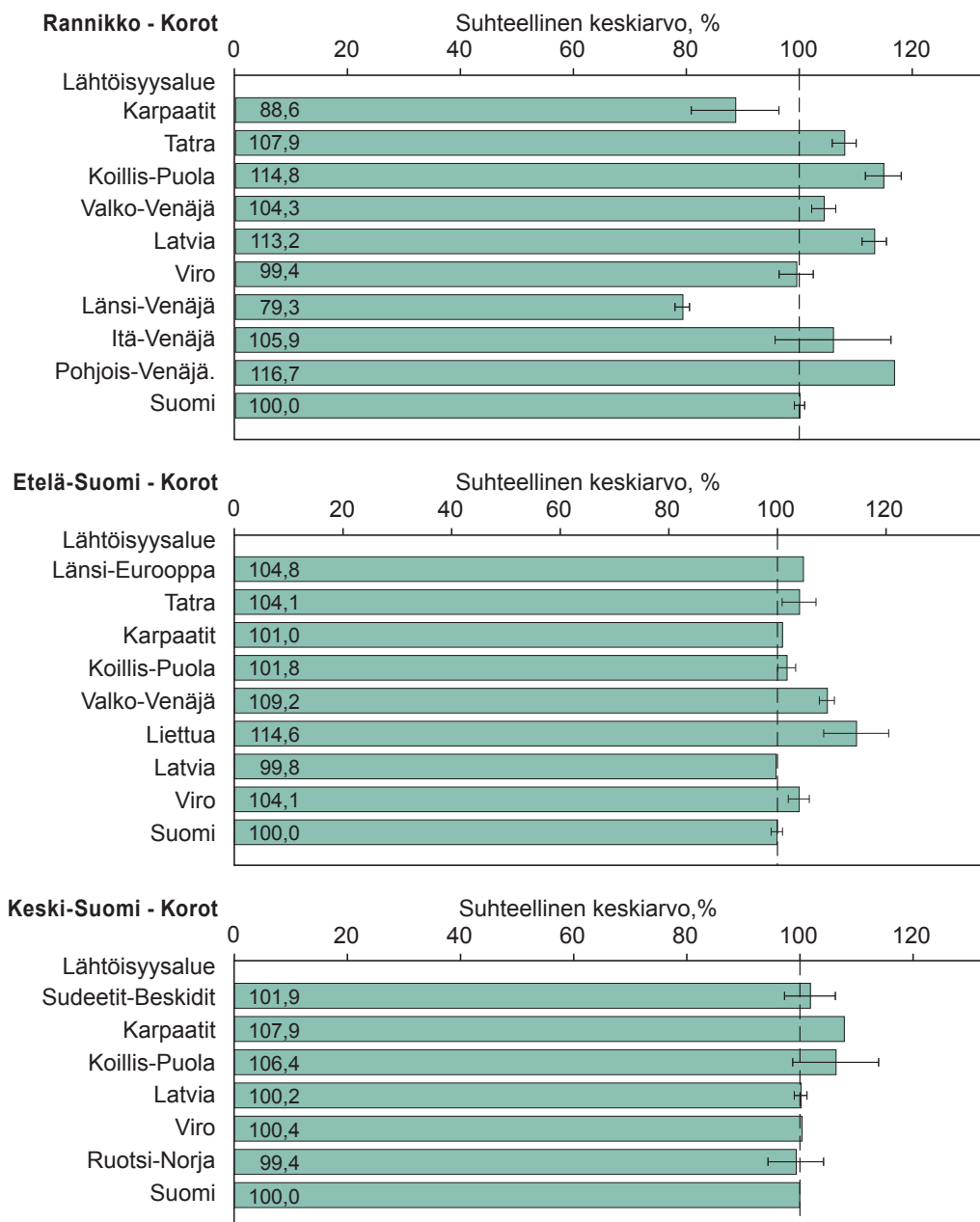
Rannikolla koropuita oli Koillis-Puolan lähtöisyysalueella eniten, $14,8 \pm 3,2$ %-yksikköä enemmän kuin vertailuerissä, joissa koropuiden osuus oli keskimäärin $23,4 \pm 5,0$ %. Vähiten koropuita oli Länsi-Venäjän lähtöisyysalueen kuusissa, $20,3 \pm 1,3$ %-yksikköä vähemmän kuin vertailuerissä.

Etelä-Suomessa ulkomaisilla lähtöisyysalueilla koropuiden suhteellinen osuus oli korkeampi kuin vertailuerillä lukuun ottamatta Latvian ainoaa alkuperää, jolla osuus oli 99,8 %. Korkein koropuiden suhteellinen osuus oli Liettuan lähtöisyysalueella, $114,6 \pm 6,0$ %. Vertailualkuperillä koropuiden osuus oli Etelä-Suomessa keskimäärin $5,4 \pm 1,5$ % eli selvästi alhaisempi kuin rannikon viljelyalueella.

Keski-Suomen ainoassa inventoidussa kokeessa 535/01 Parkanossa paikallisen vertailualkuperän koropuiden osuus oli 11,0 %. Korkein suhteellinen osuus oli Karpaattien alkuperällä, 107,9 %, ja alin Ruotsin-Norjan alkuperillä, $99,4 \pm 4,9$ %.

4.1.5 Poikaoksatsat

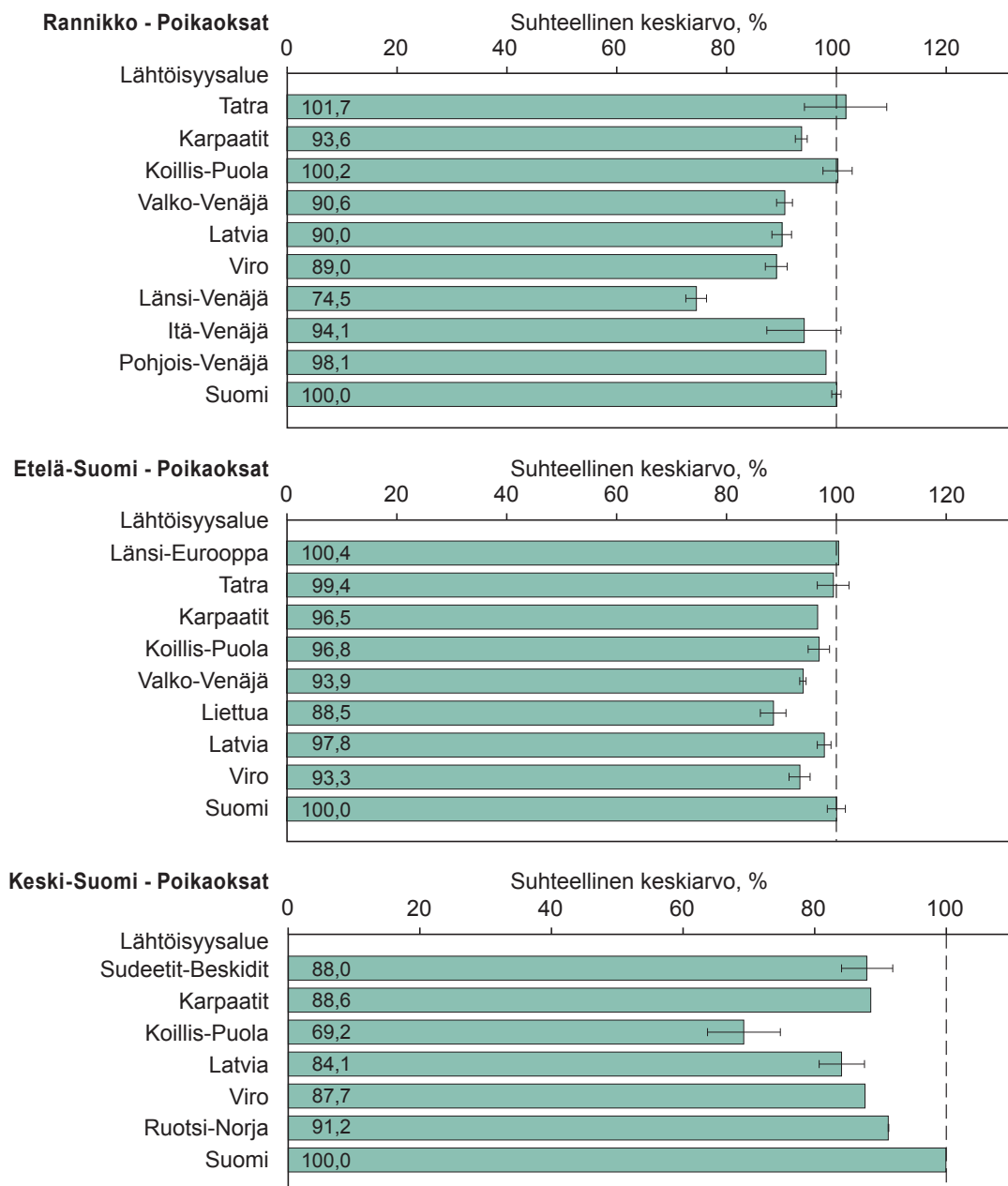
Poikaoksapuiden osuus oli suomalaisilla vertailualkuperillä keskimäärin $26,5 \pm 3,1$ %. Kaikilla viljelyalueilla poikaoksapuiden suhteellinen osuus oli ulkomaisilla alkuperillä keskimäärin pienempi kuin vertailuerillä (kuva 20). Lähtöisyysalueiden väliset erot olivat merkitseviä rannikolla ($p < 0,001$) ja Etelä-Suomessa ($p < 0,022$).



Kuva 19. Lähtöisyysalueiden suhteelliset koropuiden osuudet rannikon (ylin kuva), Etelä-Suomen (keskimäinen kuva) ja Keski-Suomen (alin kuva) viljelyalueilla. Virhejana osoittaa keskiarvon keskivirheen.

Rannikon viljelyalueella poikaoksapuiden osuus oli vertailuerillä keskimäärin $32,6 \pm 2,7$ % ja Etelä-Suomen viljelyalueella $16,1 \pm 3,5$ %. Rannikolla korkein poikaoksapuiden suhteellinen osuus oli lähtöisyysalueista Tatralla, $101,7 \pm 7,5$ %, pienin osuus Länsi-Venäjällä, $74,5 \pm 1,8$ %. Etelä-Suomessa alin poikaoksapuiden suhteellinen osuus oli Liettuan alkuperillä $88,5 \pm 2,3$ %.

Keski-Suomen ainoassa inventoidussa kokeessa 535/01 Parkanossa kaikilla ulkomaisilla lähtöisyysalueilla poikaoksapuiden suhteellinen osuus oli pienempi kuin vertailuerällä, jolla poikaoksapuiden osuus oli $79,3$ %. Alin poikaoksapuiden suhteellinen osuus oli Koillis-Puolan alkuperillä, $69,2 \pm 5,5$ %.



Kuva 20. Lähtöisyysalueiden suhteelliset poikaoksapuiden osuudet rannikon (ylin kuva), Etelä-Suomen (keskimmäinen kuva) ja Keski-Suomen (alin kuva) viljelyalueilla. Virhejana osoittaa keskiarvon keskivirheen.

4.2 Lähtöisyysalueet

4.2.1 Viro

Rannikon ja Etelä-Suomen viljelyalueilla sekä erikseen tarkastellussa Paimion kokeessa 749/01 Viron lähtöisyysalueen alkuperät olivat elävyydeltään suomalaisia vertailualkuperiä hieman heikompia (95,0–98,5 %) ja runkotilavuudeltaan suurempia (107,4–118,8 %). Tutkimuksen pääaineistoon kuuluvien Viron alkuperien suhteelliset elävyydet, runkotilavuudet sekä koropuiden ja poikaoksapuiden osuudet on esitetty taulukoissa 8a-d. Paimion kokeessa ei tehty koro- eikä poikaoksainventointeja.

Taulukko 8. Viron alkuperien suhteelliset a) elävyydet, b) runkotilavuudet, c) koropuiden osuudet ja d) poikaosapuiden osuudet rannikon, Etelä-Suomen ja Keski-Suomen viljelyalueiden koetiljelyksissä.

Taulukko 8a. Alkuperien suhteellinen elävyys

Alkuperä	Rannikon kokeet					Etelä-Suomen kokeet							K-Suomi 535/01 Parkano	Alku- perän keski- arvo	
	270/03 Parainen	270/04 Pernaja	270/05 Geta	655/02 Tammisaari	995/02	270/01 Loppi	270/02 Imatra	270/06 Eurajoki	516/01 Punka- harju	655/01 Vihti	655/04 Paimio	995/01			1424/01 Lohja
Vöru, Sömerpalu	105,2	101,6	84,5			100,3	84,8								95,3
Veriora, Ilumetsa	100,4	96,8	89,6			86,0	106,2								95,8
Tallinna, Trigi	105,2	98,2	91,2			92,2	72,8								91,9
Kohila, Jarvakandi	106,7	100,9	94,7			94,2	92,1							102,7	98,6
Tartu, Alatskivi		99,5	88,6			104,4	97,5								97,5
Rakvere, Porkun	98,8	96,8	100,7			96,2	100,8								99,0
Kilingi-Nõmme		99,9	93,2			84,7	97,0	108,2							96,6
Elva, Kambja		100,6	109,5			97,6	99,0	106,5							102,7
Tartu, Kärknä		100,4	96,6			93,5	90,4								95,2
Veriora								101,9							101,9
Viljandi				91,3					105,3	101,4					99,3
Rakvere					76,6						100,0				88,3
Rapla					113,0						97,3				105,2
Räpina					103,0						94,7				98,8
Rõuge					113,0						87,3				100,2
Tudu					100,0						98,7				99,3
Misso												100,9			100,9
Põlva												106,5			106,5
Viron alkuperien keskiarvo:															
- kokeessa	103,3	99,4	94,3	91,3	101,1	94,4	93,4	105,2	101,9	105,3	101,4	95,6	103,7	102,7	97,7
- viljelyalueella					98,5								96,7		

Taulukko 8b. Alkuperien suhteellinen runkotilavuus

Alkuperä	Rannikon kokeet				Etelä-Suomen kokeet			Keski-Suomen kokeet		Alku- perän keski- arvo
	270/03 Parainen	270/04 Pernaja	655/02 Tammisaari	995/02 Tammisaari	270/01 Loppi	516/01 Punkaharju	655/04 Paimio	535/01 Parkano	976/01 Saarijärvi	
Vöru, Sömerpalu	77,4	129,5			115,9					107,6
Veriora, Ilumetsa	91,9	80,6			117,0					96,5
Tallinna, Trigi	87,5	93,6			138,2					106,5
Kohila, Jarvakandi	89,6	90,9			99,6			76,1		93,4
Tartu, Alatskivi		87,8			115,3					101,5
Rakvere, Porkun	105,0	92,4			99,2					98,9
Kilingi-Nõmme		112,9			137,2					125,0
Elva, Kambja		121,4			117,0					119,2
Tartu, Kärknä		112,6			131,3					122,0
Veriora						109,2				109,2
Viljandi			132,7				80,5			106,6
Rakvere				105,3						105,3
Rapla				146,0						146,0
Räpina				139,3						139,3
Rõuge				129,6						129,6
Tudu				122,3						122,3
Kilingi-Nõmme, Lodja									72,8	72,8
Rakvere									73,5	73,5
Viron alkuperien keskiarvo:										
- kokeessa	90,3	102,4	132,7	128,5	119,0	109,2	80,5	76,1	73,1	106,8
- viljelyalueella				107,4			114,6		74,1	

Huom. Kohilan alkuperän keskiarvossa ei ole mukana koetta 535/01

Taulukko 8c. Alkuperien suhteellinen koropuiden osuus

Alkuperä	Rannikon kokeet				Etelä-Suomen kokeet				Keski-Suomi 535/01 Parkano	Alku- perän keski- arvo
	270/03 Parainen	270/04 Pernaja	655/02 Tammisaari	995/02 Tammisaari	270/01 Loppi	516/01 Punkaharju	655/01 Vihti	1393/03 Juva		
Vöru, Sömerpalu	113,5	115,5			103,3					110,8
Veriora, Ilumetsa	115,4	109,7			100,4					108,5
Tallinna, Trigi	102,1	100,1			103,6					102,0
Kohila, Jarvakandi	96,2	93,0			102,3				100,4	98,0
Tartu, Alatskivi		104,6			101,3					103,0
Rakvere, Porkun	114,0	101,4			100,4					105,2
Kilingi-Nõmme		106,7			100,8					103,8
Elva, Kambja		102,7			99,6					101,1
Tartu, Kärknä		112,7			101,4					107,0
Veriora						97,3				97,3
Viljandi			98,2				100,3			99,3
Rakvere				93,1						93,1
Rapla				69,1						69,1
Räpina				78,5						78,5
Rõuge				77,2						77,2
Tudu				84,6						84,6
Põlva								123,9		123,9
Venevere								105,8		105,8
Misso								116,4		116,4
Viron alkuperien keskiarvo:										
- kokeessa	108,2	105,2	98,2	80,5	101,4	97,3	100,3	115,4	100,4	101,3
- viljelyalueella				99,4				104,1		

Taulukko 8d. Alkuperien suhteellinen poikaoksapuiden osuus

Alkuperä	Rannikon kokeet				Etelä-Suomen kokeet				Keski-Suomi 535/01 Parkano	Alku- perän keski- arvo
	270/03 Parainen	270/04 Pernaja	655/02 Tammisaari	995/02 Tammisaari	270/01 Loppi	516/01 Punkaharju	655/01 Vihti	1393/03 Juva		
Vöru, Sömerpalu	103,4	83,3			94,1					93,6
Veriora, Ilumetsa	99,2	92,7			84,9					92,3
Tallinna, Trigi	89,3	94,4			96,2					93,3
Kohila, Jarvakandi	98,8	94,1			86,5				87,7	91,8
Tartu, Alatskivi		90,2			91,8					91,0
Rakvere, Porkun	95,3	95,9			96,6					95,9
Kilingi-Nõmme		84,9			102,5					93,7
Elva, Kambja		94,2			108,9					101,5
Tartu, Kärknä		91,0			95,4					93,2
Veriora						96,5				96,5
Viljandi			92,3				90,1			91,2
Rakvere				81,3						81,3
Rapla				76,3						76,3
Räpina				73,6						73,6
Rõuge				73,6						73,6
Tudu				77,0						77,0
Põlva								82,8		82,8
Venevere								94,7		94,7
Misso								85,3		85,3
Viron alkuperien keskiarvo:										
- kokeessa	97,2	91,2	92,3	76,4	95,2	96,5	90,1	87,6	87,7	90,7
- viljelyalueella				89,0				93,3		

Viron alkuperien suhteellisen elävyyden koekeskisarvo vaihteli rannikon ja Etelä-Suomen kokeissa 91,3 %:sta 105,2 %:iin. Koesarjan 270 yhdeksästä Viron alkuperästä on elävyystietoja 4–6 kokeesta. Näistä alkuperistä korkein suhteellinen elävyys, 102,7 %, oli Elvan Kambjan alkuperällä ja alhaisin, 91,9 %, Tallinnan Trigin alkuperällä.

Niissä rannikon ja Etelä-Suomen kokeissa, joissa oli kaksi tai useampia Viron alkuperiä, suhteellisen runkotilavuuden koekeskisarvo vaihteli 90,3 %:sta 128,5 %:iin. Koesarjan 270 kolmessa osakokeessa (Loppi, Pernaja ja Parainen) keskimäärin suurin suhteellinen runkotilavuus, 125,0 %, oli Kilingi-Nõmmen alkuperällä, ja pienin, 93,4 %, Kohilan Jarvakandin alkuperällä.

Viron alkuperien suhteellinen koropuiden osuus oli rannikon viljelyalueella $99,4 \pm 3,0$ % ja Etelä-Suomen viljelyalueella $104,1 \pm 1,9$ %. Kokeiden väliset erot olivat suuret: vaihteluväli oli 80,5–115,4 %. Niistä Viron alkuperistä, joista on koroinventointitietoa useammasta kuin yhdestä kokeesta, suurin suhteellinen koropuiden osuus, 110,8 %, oli Võrun Sõmerpalun alkuperällä, ja pienin, 98,0 %, Kohilan Jarvakandin alkuperällä.

Suhteellinen poikaoksapuiden osuus oli Viron alkuperillä pienempi kuin vertailualkuperillä sekä rannikolla, $89,1 \pm 2,0$ % että Etelä-Suomessa, $93,3 \pm 1,9$ %. Kaikilla Viron alkuperillä suhteellinen poikaoksapuiden osuus jäi keskimäärin alle 100 %:n Elvan Kambjan alkuperää lukuun ottamatta.

Keski-Suomessa runkotilavuus mitattiin kolmesta virolaisalkuperästä. Kokeessa 976/01 Saarijärvellä Kilingi-Nõmmen ja Rakveren alkuperien suhteelliset runkotilavuudet olivat molemmilla noin 73 % ($p < 0,001$). Kokeessa 535/01 Parkanossa Kohilan alkuperän suhteellinen runkotilavuus oli 76,1 % ($p < 0,001$) ja muut suhteelliset arvot olivat: elävyys 102,7 %, koropuiden osuus 100,4 % ja poikaoksapuiden osuus 87,7 %. Nämä erot vertailualkuperiin eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

4.2.2 Latvia

Latvian lähtöisyysalueen suhteellinen elävyys vaihteli rannikon viljelyalueen $96,1 \pm 1,0$ %:sta Keski-Suomen $100,4 \pm 2,4$ %:iin ja suhteellinen runkotilavuus Keski-Suomen $93,2 \pm 3,6$ %:sta Paimion kokeen 749/01 $130,2$ %:iin.

Etelä-Suomen viljelyalueen ainoan latvialaisalkuperän Kalsnavan suhteelliset arvot olivat kokeessa 516/01 Punkaharjulla 33 vuoden iällä: runkotilavuus 119,5 %, koropuiden osuus 99,8 % ja poikaoksapuiden osuus 97,8 %. Suhteellinen elävyys oli 102,8 % kokeen ollessa 13 vuoden ikäinen.

Koropuiden suhteellinen osuus Latvian alkuperillä oli rannikon viljelyalueella $113,2 \pm 2,2$ % ja Keski-Suomessa $100,2 \pm 1,1$ % sekä poikaoksapuiden suhteellinen osuus rannikolla $90,0 \pm 1,8$ % ja Keski-Suomessa $84,1 \pm 3,4$ %.

4.2.3 Liettua

Liettuan alkuperiä on kolme erää kokeessa 749/01 Paimiossa, kaksi erää kokeessa 1393/03 Juvalla ja yksi erä kokeessa 516/01 Punkaharjulla. Juvalla tehtiin ainoastaan koro- ja poikaoksainventoryntointi 20 vuoden iässä. Paimiossa Liettuan lähtöisyysalueen suhteellinen elävyys oli 81,2 % ja suhteellinen runkotilavuus 92,3 %. Punkaharjulla Kelmen alkuperän suhteellinen elävyys oli 13 vuoden iässä 95,5 % ja suhteellinen runkotilavuus oli 33 vuoden iässä 135,2 %. Etelä-Suomen viljelyalueen kokeissa (Juva ja Punkaharju) suhteellinen koropuiden osuus oli $114,6 \pm 6,0$ % ja suhteellinen poikaoksapuiden osuus $88,5 \pm 2,3$ %.

4.2.4 Venäjä

Venäläisiä alkuperiä on ainoastaan rannikon viljelyalueella sijaitsevassa kokeessa 995/02 Tammisaaressa. Kokeessa on Länsi-Venäjän lähtöisyysalueelta kuusitoista erää kuudelta alueelta (oblastista), Pohjois-Venäjältä Komin alkuperä sekä Itä-Venäjältä Kirovin ja Kemerovon alkuperät.

Länsi-Venäjän lähtöisyysalueen elävyys oli korkeampi ($109,4 \pm 1,5$ %), runkotilavuus suurempi ($132,6 \pm 2,7$ %) sekä koropuiden ja poikaoksapuiden osuus pienempi kuin suomalaisilla vertailu-alkuperillä. Suhteellinen elävyys vaihteli Vologdan $104,0$ %:sta Kalininin $116,9$ %:iin. Suurimmat suhteelliset runkotilavuudet olivat Novgorodin alkuperillä ($148,8$ %) ja Pihkovan alkuperillä ($138,1$ %). Runkotilavuudet kokeessa 995/02 on esitetty kuvassa 21.

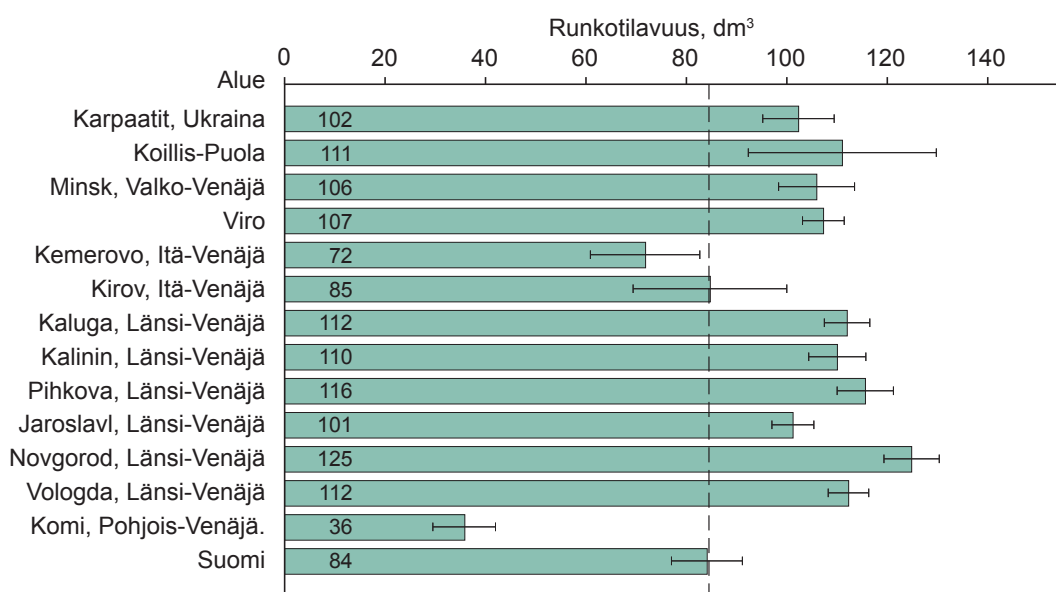
Länsi-Venäjän lähtöisyysalueen suhteellinen koropuiden osuus oli $79,3 \pm 1,3$ %. Pienimmät osuudet olivat Kalininin alkuperillä, $74,0$ %, ja Novgorodin alkuperillä $77,4$ %. Suhteellinen poikaoksapuiden osuus oli Länsi-Venäjän lähtöisyysalueella $74,5 \pm 1,8$ %. Pienimmät osuudet olivat Vologdan alkuperällä, $62,2$ %, ja Pihkovan alkuperillä, $72,9$ %.

Itä-Venäjän lähtöisyysalueen suhteellinen runkotilavuus oli $91,7 \pm 7,7$ % ja elävyys samaa tasoa kuin vertailuerillä. Koropuiden osuus Itä-Venäjän alkuperillä oli $105,9 \pm 10,3$ %. Pohjois-Venäjän ainoa alkuperä Komi oli hyvin hidaskasvuinen (suhteellinen runkotilavuus $41,5$ %) ja sen suhteellinen elävyys oli $77,5$ %.

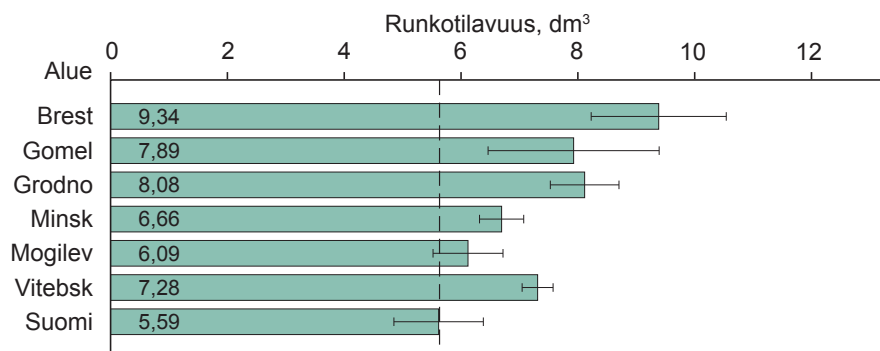
4.2.5 Valko-Venäjä

Rannikon viljelyalueella Valko-Venäjän alkuperät olivat hyvin nopeakasvuisia, niiden suhteellinen runkotilavuus oli $137,0 \pm 5,9$ %, mutta niiden suhteellinen elävyys oli alhainen, $88,8 \pm 1,8$ %.

Etelä-Suomessa suhteellinen elävyys oli $95,8 \pm 3,1$ % ja suhteellinen runkotilavuus $94,4 \pm 2,6$ %. Paimion kokeessa 749/01 Valko-Venäjän lähtöisyysalue ei eronnut suomalaisista vertailu-alkuperistä



Kuva 21. Alkuperäalueiden keskimääräiset runkotilavuudet kokeessa 995/02 Tammisaaressa 22 vuoden iässä. Virhejana osoittaa keskiarvon keskivirheen. Vertailu-alkuperien keskiarvo on merkitty katkoviivalla.



Kuva 22. Valko-Venäjän alueiden (oblastien) runkotilavuudet kokeessa 749/01 Paimiossa. Virhejana osoittaa keskiarvon keskivirheen. Vertailualkuperien keskiarvo on merkitty katkoviivalla.

tilastollisesti merkitsevästi elävyyden eikä tilavuuden suhteen. Paimion kokeessa suhteellinen elävyys oli 95,1 % ja suhteellinen runkotilavuus 129,2 %. Vihdin kokeesta 655/01 ei ole runkotilavuustietoja; suhteellinen läpimitta Valko-Venäjän alkuperillä oli 101,7 %.

Rannikon ja Etelä-Suomen viljelyalueella oli alkuperiä neljältä Valko-Venäjän alueelta eli oblastista: Vitebskistä, Minskistä, Grodnosta ja Mogilevistä. Rannikon viljelyalueella suhteellinen runkotilavuus oli Minskin alkuperillä 150,1 % ja Vitebskin alkuperillä 140,1 %. Etelä-Suomessa Vitebskin alkuperät kasvoivat parhaiten, niidenkin suhteellinen runkotilavuus jäi kuitenkin 98,6 %:iin.

Kokeessa 749/01 Paimiossa on alkuperiä kuudelta Valko-Venäjän alueelta (kuva 22). Runkotilavuus oli Tukeyn testin mukaan merkitsevästi suurempi kuin vertailualkuperillä Brestin alkuperillä (suhteellinen arvo 167,1 %, $p = 0,010$, 2 erää) ja Grodnon alkuperillä (141,1 %, $p = 0,027$, 10 erää). Elävyyden suhteen Valko-Venäjän alueet eivät eronneet vertailualkuperistä tilastollisesti merkitsevästi.

Keski-Suomen ainoa valkovenäläinen alkuperä, Mogilev, oli mukana kokeessa 221/01 Närpiössä ja kokeessa 233/01 Vilppulassa. Ensimmäisessä kokeessa sen suhteellinen elävyys oli 105,6 % ja jälkimmäisessä 94,0 %. Närpiössä runkotilavuutta ei mitattu, Vilppulassa Mogilevin alkuperän suhteellinen runkotilavuus oli 99,4 %. Mogilevin alkuperästä ei tehty koro- eikä poikaoksainventointeja.

Koropuita oli Valko-Venäjän alkuperillä Etelä-Suomessa keskimäärin $9,2 \pm 1,4$ % -yksikköä enemmän kuin vertailualkuperillä: suhteellinen koropuiden osuus vaihteli Grodnon alueen 110,8 %:sta Minskin alueen 106,6 %:iin. Rannikolla Valko-Venäjän lähtöisyysalueen suhteellinen koropuiden osuus oli $104,3 \pm 2,1$ %.

Poikaoksapuita Valko-Venäjän alkuperillä oli vähemmän kuin vertailualkuperillä. Rannikon viljelyalueella poikaoksapuiden suhteellinen osuus oli Valko-Venäjän alkuperillä $90,6 \pm 1,4$ % ja Etelä-Suomessa $93,9 \pm 0,6$ %. Rannikolla kyseinen osuus vaihteli Vitebskin alueen 88,2 %:sta Grodnon alueen 94,3 %:iin ja Etelä-Suomessa Grodnon 92,6 %:sta Vitebskin 94,3 %:iin.

4.2.6 Koillis-Puola

Koillis-Puolan alkuperien suhteellinen elävyys vaihteli Paimion kokeen 86,0 %:sta rannikon viljelyalueen $99,3 \pm 1,6$ %:iin. Suhteellinen runkotilavuus vaihteli Koillis-Puolan alkuperillä Keski-Suomen $88,4 \pm 11,6$ %:sta Paimion kokeen 122,7 %:iin.

Koropuiden suhteellinen osuus oli Koillis-Puolan alkuperillä rannikon viljelyalueella $114,8 \pm 3,2\%$, joka oli korkein lukema lähtöisyysalueiden joukossa. Etelä-Suomessa vastaava osuus oli $101,8 \pm 1,6\%$ ja Keski-Suomen ainoassa inventoidussa kokeessa 535/01 Parkanossa kolmella koillispuolalaisella alkuperällä $106,4 \pm 7,6\%$.

Poikaoksapuiden suhteellinen osuus Koillis-Puolan alkuperillä oli rannikolla keskimäärin $100,2 \pm 2,7\%$ ja Etelä-Suomessa $96,8 \pm 1,9\%$. Keski-Suomen ainoassa inventoidussa kokeessa 535/01 Parkanossa vastaava osuus oli $69,2 \pm 5,5\%$.

4.2.7 Etelä-Puola

Etelä-Puolan alankoalueelta oli Paimion kokeessa 749/01 kaksi alkuperää, Zwierzyniec Lubelski ja Blizyn Swinia Gora. Näiden suhteelliset elävyydet olivat $95,2\%$ ja $96,6\%$ ja suhteelliset runkotilavuudet $153,8\%$ ja $125,2\%$. Etelä-Puolan lähtöisyysalue ei eronnut suomalaisista vertailualkuperistä tilastollisesti merkitsevästi.

4.2.8 Ruotsi-Norja

Keski-Ruotsin ja Kaakkois-Norjan lähtöisyysalueen alkuperiä on tutkimusaineistossa vain kokeessa 535/01 Parkanossa, yksi erä kummastakin maasta.

Norjan Selfjord Sandenin alkuperän suhteelliset arvot olivat: elävyys $97,3\%$, runkotilavuus $55,5\%$ ($p < 0,001$), koropuiden osuus $104,3\%$ ja poikaoksapuiden osuus $91,3\%$. Ruotsin Stallarpin alkuperän suhteelliset arvot olivat: elävyys $97,3\%$, runkotilavuus $69,1\%$ ($p < 0,001$), koropuiden osuus $94,4\%$ ja poikaoksapuiden osuus $91,2\%$. Erot suomalaisiin vertailualkuperiin eivät olleet tilastollisesti merkitseviä lukuun ottamatta eroja runkotilavuudessa.

4.2.9 Harz

Saksan Harz-vuoristosta on tutkimusaineistossa kaksi alkuperää. Westerhofin alkuperä on mukana kokeessa 749/01 Paimiossa ja neljässä koesarjan 237 osakokeessa. Osteroden alkuperä on mukana kolmessa kokeessa (taulukko 4).

Harzin lähtöisyysalueen suhteellinen elävyys vaihteli Etelä-Suomen viljelyalueen $82,9 \pm 8,0\%$:sta Paimion kokeen $91,1\%$:iin ja suhteellinen runkotilavuus Paimion kokeen $79,6\%$:sta Etelä-Suomen viljelyalueen $88,4 \pm 13,6\%$:iin.

4.2.10 Böhmerwald

Suhteellinen elävyys vaihteli Böhmerwaldin lähtöisyysalueella Paimion kokeen 749/01 $90,9\%$:sta rannikon viljelyalueen $99,7 \pm 1,3\%$:iin ja suhteellinen runkotilavuus rannikon viljelyalueen $109,8 \pm 3,7\%$:sta Keski-Suomen $118,2 \pm 8,8\%$:iin. Koro- tai poikaokсахavaintoja ei tehty Böhmerwaldin alkuperistä.

Kärsämäen kokeessa 242/01 Pohjois-Pohjanmaalla Böhmerwaldin alkuperien suhteellinen elävyys oli 20 vuoden iässä keskimäärin $96,5\%$ ja suhteellinen runkotilavuus $68,8\%$ ($p = 0,016$).

4.2.11 Sudeetit-Beskidit

Sudeettien-Beskidien lähtöisyysalueelta on tutkimusaineistossa kymmenen erää kokeessa 749/01 Paimiossa ja kaksi erää kokeessa 535/01 Parkanossa Keski-Suomessa. Lisäksi Istebnan alkuperä on mukana kahdessa rannikon ja kahdessa Etelä-Suomen kokeessa. Paimion kokeessa Sudeettien-Beskidien alkuperien suhteellinen elävyys oli 81,3 % ($p = 0,010$) ja suhteellinen runkotilavuus 105,2 % ($p = 0,999$).

Istebnan alkuperän suhteellinen elävyys oli rannikolla $95,8 \pm 1,0$ % ja Etelä-Suomessa $89,4 \pm 15,0$ % sekä suhteellinen runkotilavuus rannikolla $137,3 \pm 26,9$ % ja Etelä-Suomessa $87,1 \pm 30,4$ %.

Parkanon kokeessa Sudeettien-Beskidien alkuperien suhteelliset arvot olivat: elävyys $82,0 \pm 7,3$ %, runkotilavuus $77,4 \pm 4,8$ %, koropuiden osuus $101,9 \pm 4,5$ % ja poikaoksapuiden osuus $88,0 \pm 3,9$ %.

4.2.12 Tatra

Slovakian Tatran lähtöisyysalueen suhteellinen elävyys vaihteli Paimion kokeen 749/01 $91,3$ %:sta rannikon viljelyalueen $97,7 \pm 1,9$ %:iin ja suhteellinen runkotilavuus rannikon $96,3 \pm 5,4$ %:sta Keski-Suomen $121,2 \pm 18,3$ %:iin. Erikseen tarkastellussa Kärsämäen kokeessa 242/01 Pohjois-Pohjanmaalla Hohe Tatran alkuperän suhteellinen elävyys oli 20 vuoden iässä $89,8$ % ja suhteellinen runkotilavuus $94,4$ %.

Koro- ja poikaokсахavaintoja tehtiin kahdesta Tatran erästä. Hohe Tatran alkuperän suhteellinen koropuiden osuus vaihteli koesarjan 270 Pernajan osakokeen $105,8$ %:sta Paraisten osakokeen $110,0$ %:iin ja suhteellinen poikaoksapuiden osuus Pernajan $94,2$ %:sta Paraisten $109,2$ %:iin. Kolmannessa tutkitussa osakokeessa 270/01 Lopella vastaavat osuudet sijoittuivat Paraisten ja Pernajan osakokeiden osuuksien väliin.

Kokeessa 516/01 Punkaharjulla Gierny Wahin alkuperän suhteellinen koropuiden osuus oli $101,0$ % ja suhteellinen poikaoksapuiden osuus $96,2$ %.

4.2.13 Karpaatit

Etelä-Suomen viljelyalueella sekä Paimion kokeessa 749/01 Karpaattien (Romania ja Ukraina) alkuperät olivat nopeakasvuisia. Niiden suhteellinen runkotilavuus oli Etelä-Suomessa $134,1 \pm 5,0$ %, mutta niiden suhteellinen elävyys oli alhainen, $87,5 \pm 1,7$ %. Rannikon viljelyalueella Karpaattien alkuperien suhteellinen elävyys oli $92,3 \pm 2,0$ %. Niiden suhteellinen runkotilavuus jäi rannikolla Etelä-Suomeen verrattuna hyvin alhaiseksi ja oli vain $83,3 \pm 4,6$ %.

Paimion kokeessa 749/01 Karpaattien alkuperien suhteellinen runkotilavuus oli $131,5$ % ja suhteellinen elävyys $90,0$ %. Keski-Suomessa Karpaattien alkuperien suhteellinen elävyys oli $92,2 \pm 2,0$ % ja suhteellinen runkotilavuus $120,7 \pm 32,5$ %. Erikseen tarkastellussa Kärsämäen kokeessa 242/01 Pohjois-Pohjanmaalla romanialaisen Vatra Dornein alkuperän suhteellinen elävyys oli 20 vuoden iässä keskimäärin $83,4$ % ja suhteellinen runkotilavuus $90,9$ %. Erot suomalaisiin vertailualkuperiin eivät olleet tilastollisesti merkitseviä kokeissa 242/01 ja 749/01.

Koro- ja poikaokсахavaintoja tehtiin neljästä Karpaattien erästä. Rannikon viljelyalueella kahden ukrainalaisen suhteellinen koropuiden osuus oli $88,6 \pm 7,8$ % ja suhteellinen poikaoksapuiden osuus $93,6 \pm 1,1$ %. Vastaavat osuudet Punkaharjun kokeessa 516/01 romanialaisella Vatra Dornei

olivat 101,0 % ja 96,5 % sekä Parkanosssa kokeessa 535/01 romanialaiserällä Dorna Cindrea 107,9 % ja 88,6 %. Erot vertailualkuperiin eivät olleet näissä kahdessa kokeessa tilastollisesti merkitseviä.

4.2.14 Länsi-Eurooppa

Länsi-Euroopan lähtöisyysalueelta on tutkimusaineistossa yksi alkuperä Ranskan Vogeesien vuoristosta. Alkuperä on kokeessa 516/01 Punkaharjulla ja kokeessa 749/01 Paimiossa, viimeksimainitussa ainoastaan yhtenä ruutuna.

Punkaharjulla Vogeesien alkuperän suhteelliset arvot olivat 33 vuoden iässä: runkotilavuus 90,3 %, koropuiden osuus 104,8 % ja poikaoksapuiden osuus 100,4 %. Suhteellinen elävyys oli 102,1 % kokeen ollessa 13 vuoden ikäinen. Paimiossa Vogeesien alkuperän suhteellinen elävyys oli 98,0 % ja suhteellinen runkotilavuus 99,8 %.

4.2.15 Itävalta

Itävallan lähtöisyysalueen alkuperiä on Etelä-Suomen viljelyalueen kokeessa 194/01 Kerimäellä seitsemän erää, joista Altenburgin erä on mukana myös rannikon kokeessa 90/01 Tenholassa ja Etelä-Suomen kokeessa 143/01 Vihdissä sekä Weyerin erä kokeessa 90/01.

Itävallan alkuperien suhteellinen elävyys oli rannikon viljelyalueella $91,1 \pm 0,1$ % ja Etelä-Suomen viljelyalueella $97,4 \pm 4,4$ % sekä suhteellinen runkotilavuus rannikolla $86,9 \pm 8,1$ % ja Etelä-Suomessa $89,1 \pm 5,4$ %.

4.2.16 Balkan

Balkanin lähtöisyysalueelta oli Paimion kokeessa 749/01 kaksi alkuperää, yksi Montenegrosta ja yksi Kosovosta (paikkakunnat eivät ole tiedossa). Näiden suhteelliset elävyydet olivat 97,9 % ja 96,7 % ja suhteelliset runkotilavuudet 77,1 % ja 109,3 %. Balkanin lähtöisyysalue ei eronnut suomalaisista vertailualkuperistä tilastollisesti merkitsevästi.

4.3 Siemenen siirtomatkan ja koepaikan lämpösumman vaikutus elävyyteen, kasvuun ja rungon laatuun

4.3.1 Elävyys

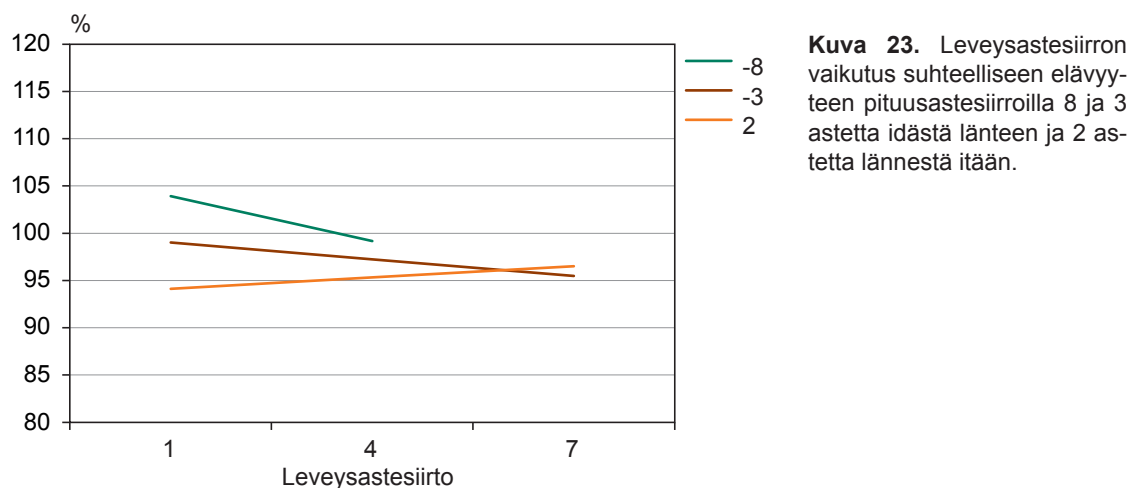
Suomalaisten vertailualkuperien elävyys oli mallilaskelmien kokeissa keskimäärin 82,9 %. Vertailualkuperien korkein elävyys, 99,3 %, oli Tammisaaren kokeessa 655/02 ja matalin, 57,3 %, Parkanon kokeessa 535/01.

Mallilaskelmien aineiston, joka koostuu Baltian, Länsi-Venäjän, Valko-Venäjän ja Puolan alankoalkuperistä, suhteellinen elävyys oli keskimäärin 97,2 % (95 %:n luottamusväli 96,1–98,3 %). Alkuperän leveysastesiirrolla tai koepaikan lämpösummalla ei ollut merkitsevää vaikutusta suhteelliseen elävyyteen. Sen sijaan pituusastesiirron vaikutus sekä leveysastesiirron ja pituusastesiirron yhdysvaikutus olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,001$). Mallin selitysaste, 7,6 %, jäi kuitenkin hyvin alhaiseksi (taulukko 9).

Taulukko 9. Siemenssiirtomallien parametrien estimaatit sekä selitysaste R² (%).

	Vakio μ	Kertoimet							R ²
		koepaikan lämpö- summa	leveys- astesiirto	leveys- astesiirto ²	pituus- astesiirto	lev.siiirto × pit.siiirto	lev.siiirto × koepaikan lämpösumma	pit.siiirto × koepaikan lämpösumma	
Elävyys	96,088				-1,178	0,198			7,6
Pituus ¹	75,557	0,021	1,936	-0,250					71,0
Läpimitta	104,113		-8,189		16,847		0,006	-0,013	17,1
Runkotilavuus	109,816		-28,104		54,507		0,022	-0,042	22,8
Puuston tilavuus	111,337			-0,321	65,319			-0,050	34,1
Koropuiden osuus	90,496			-0,664			0,006	0,001	37,2
Poikaoksapuiden osuus	220,808	-0,100	-36,513				0,029	0,001	38,7

¹ keskipituudeltaan yli 5 m:n kokeet

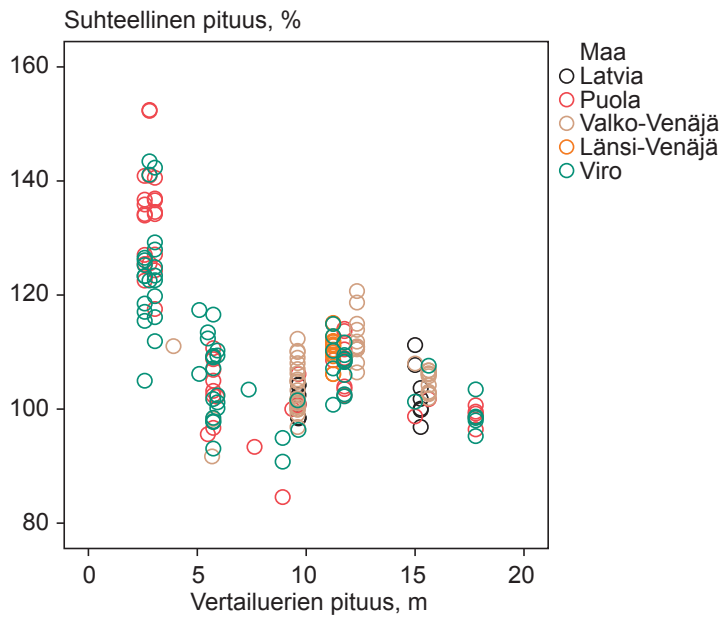


Mallin ennusteen mukaan elävyys on kaikilla siemenssiirroilla hieman heikompi kuin vertailuerillä lukuun ottamatta pisimpiä idästä päin tapahtuvia siirtoja, joihin yhdistyy lyhyt siirto etelästä. Esimerkiksi jos siirto idästä länteen olisi kahdeksan pituusastetta ja etelästä pohjoiseen yksi leveysaste, ennuste suhteelliseksi elävyydeksi on 103,9 % (kuva 23). Alhaisin (94,1 %) suhteellinen elävyys toteutuu mallin mukaan silloin, kun siirto on lännestä kaksi astetta ja etelästä yksi aste.

Jos siirtosuunta on idästä länteen, suhteellinen elävyys pienenee hieman, kun siirtomatka etelästä pitenee. Yhden leveysasteen muutosta siirtomatassa vastaa -1,6 %-yksikön muutos suhteellisessa elävyydessä, jos pituusastesiirto on -8 astetta. Vastaava muutos on -0,6 %-yksikköä, jos pituusastesiirto on -3 astetta. Sitä vastoin siirron ollessa lännestä itään päin, suhteellinen elävyys suurenee, kun siirtomatka etelästä kasvaa. Yhden leveysasteen muutosta siirtomatassa vastaa +0,4 %-yksikön muutos suhteellisessa elävyydessä, jos pituusastesiirto on +2 astetta. Pituusastesiirron vaikutus suhteelliseen elävyyteen on suurimmillaan lyhyiden leveysastesiirtojen yhteydessä, ja vastaavasti pitkien leveysastesiirtojen yhteydessä erot ovat merkityksettömän pieniä.

4.3.2 Puun pituus

Puolan ja Viron alkuperillä ilmeni laajaa vaihtelua suhteellisessa puun pituudessa. Tämä vaihtelu oli yhteydessä kokeen paikallisten vertailualkuperien puiden pituuksien keskiarvoon (kuva 24). Alle viisimetrisissä puustoissa ulkomaisten alkuperien suhteellinen puun pituus oli 130,4 % (95 %:n

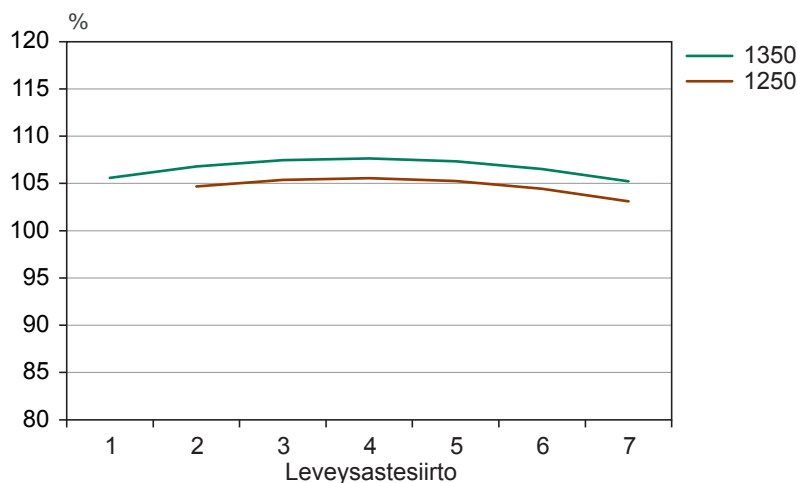


Kuva 24. Ulkomaisten erien suhteellinen pituus (paikallisten vertailuerien keskiarvo = 100 %) suhteutettuna paikallisten vertailuerien keskipituuksien keskiarvoon.

luottamusväli 128,3–132,5 %), kun yli viisimetrisissä puustoissa vastaava arvo oli ainoastaan 104,8 % (95 %:n luottamusväli 103,8–105,8 %). Erosta johtuen kokeen puuston keskipituus otettiin mallilaskelmissa huomioon selittävänä luokkamuuttujana. Ensimmäisessä luokassa (alle 5 m:n keskipituus) oli neljä koetta ja 42 koe-erää ja toisessa luokassa (yli 5 m:n keskipituus) 20 koetta ja 159 koe-erää.

Mallin, jossa suhteellista puun pituutta selittävät leveysastesiirron, tämän neliön ja koepaikan lämpösunnan yhdysvaikutukset luokkamuuttuja puuston koon kanssa, selitysaste oli 71 % (taulukko 9). Mallin perusteella luokassa 1 (yli 5 m:n kokeet) leveysastesiirron ja suhteellisen puun pituuden riippuvuus on käyräviivainen siten, että suhteellisen puun pituuden maksimi saavutetaan 3–5 leveysasteen siirrolla etelästä pohjoiseen (kuva 25). Tämä maksimi on lämpösomma-alueella 1350 d.d. noin 107 % ja lämpösomma-alueella 1250 d.d. noin 105 %.

Siirtomatkan pituudella oli mallin ennusteen mukaan varsin pieni vaikutus siirretyn alkuperän suhteelliseen pituuskasvuun. Jos siirtomatkalla on 1–2 tai vastaavasti 6–7 leveysastetta, mallin



Kuva 25. Leveysastesiirron vaikutus suhteelliseen pituuteen lämpösommilla 1350 d.d. ja 1250 d.d.. Aineistona kokeet, joiden vertailuerien puuston pituus yli 5 metriä.

ennustama suhteellinen pituus on vain 1–2 %-yksikköä 3–4 asteen siirrolla saavutettavaa maksimiarvoa pienempi.

4.3.3 Rungon läpimitta

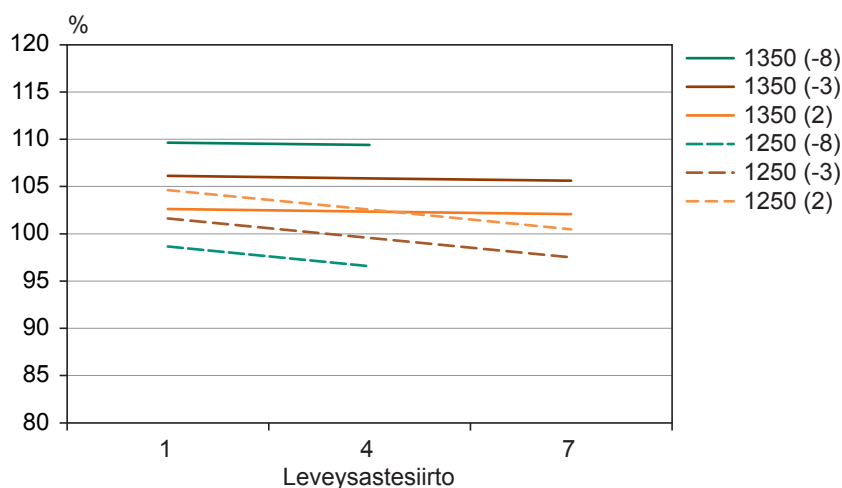
Rungon suhteelliseen läpimittaan vaikuttivat leveysaste- ja pituusastesiirrot sekä koepaikan lämpösumman yhdysvaikutukset leveysastesiirron ja pituusastesiirron kanssa. Mallin selitysaste oli alhainen, vain 17,1 % (taulukko 9).

Ulkomaisten alkuperien suhteellinen rungon läpimitta oli keskimäärin 103,7 % (95 %:n luottamusväli 102,3–105,1 %). Lämpösumma-alueella 1350 d.d. malli ennusti kaikille siirroille yli 100 %:n suhteellista läpimittaa (kuva 26). Suurinta suhteellista läpimittaa (109 %) vastaava siemensiirto on kahdeksan astetta idästä ja 1–4 astetta etelästä.

Lämpösumma-alueella 1350 d.d. leveysastesiirron muutos vaikuttaa hyvin vähän: siirtomatkan piteneminen yhdellä asteella pienentää läpimittaa mallin ennusteen mukaan vain 0,1 %-yksiköllä. Pituusasteella vastaava vaikutus on 0,7 %-yksikköä: idästä länteen päin siirretyn aineiston läpimitta on suurempi kuin lännestä itään siirretyn.

Lämpösumma-alueella 1250 d.d. suhteellinen rungon läpimitta jää yleensä alemmalle tasolle kuin lämpösumma-alueella 1350 d.d. Korkeimmillaan suhteellinen läpimitta on 105 %, mutta monissa tapauksissa suhteellinen läpimitta jää alle 100 %:n eli suomalaisia vertailueriä pienemmäksi.

Lämpösumma-alueella 1250 d.d. siirtoetäisyyden piteneminen yhdellä leveysasteella pienentää suhteellista läpimittaa 0,7 %-yksikköä. Yhden pituusasteen muutos puolestaan muuttaa suhteellista läpimittaa 0,6 %-yksikköä siten, että lännestä itään päin siirretyn aineiston läpimitta on suurempi kuin idästä länteen siirretyn. Pituusastesiirron vaikutus on siis päinvastainen kuin lämpösumma-alueella 1350 d.d.



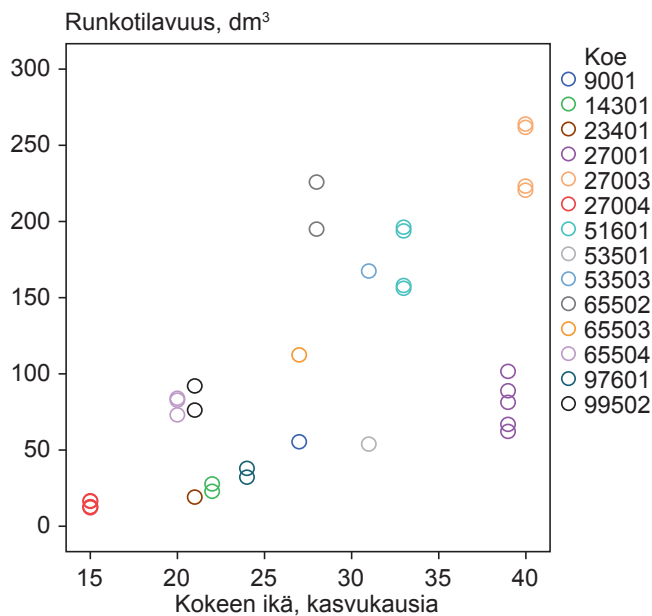
Kuva 26. Leveysastesiirron vaikutus suhteelliseen läpimittaan lämpösummilla 1350 d.d. ja 1250 d.d. ja pituusastesiirroilla 8 ja 3 astetta idästä länteen ja 2 astetta lännestä itään.

4.3.4 Runkotilavuus

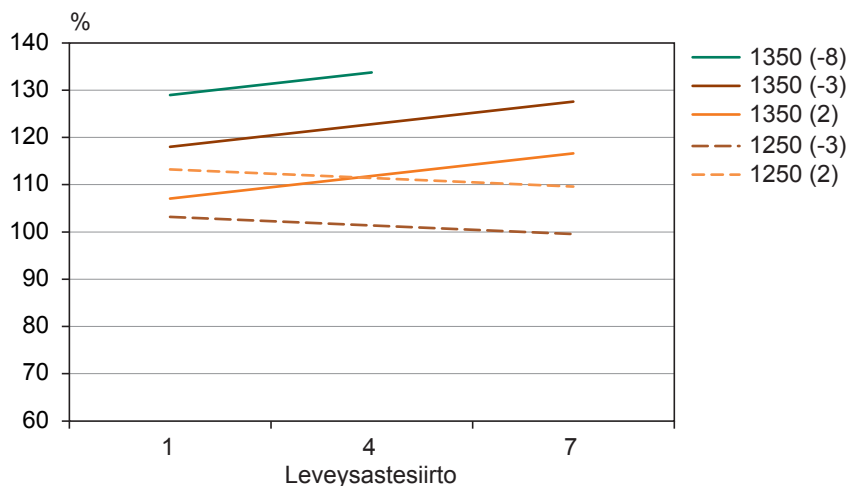
Suomalaisten vertailualkuperien runkotilavuudet on esitetty kuvassa 27. Vertailualkuperien suurin runkotilavuus, keskimäärin $242,4 \text{ dm}^3$, oli Paraisten kokeessa 270/03, joka oli kokeista vanhin, 40 kasvukauden ikäinen.

Suhteelliseen runkotilavuuteen vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi sekä leveysaste- että pituusaste- siirto, samoin koepaikan lämpösumman yhdysvaikutus leveysastesiirron ja pituusastesiirron kanssa. Mallin selityksaste oli myös tämän ominaisuuden kohdalla alhainen, 22,8 % (taulukko 9).

Ulkomaisten aineiston puiden suhteellinen runkotilavuus oli keskimäärin 113,0 % (95 %:n luottamusväli 109,0–117,0 %), mutta vaihtelu oli suurta siirtomatkasta ja koepaikan lämpösummasta riippuen (kuva 28). Suhteellinen runkotilavuus oli keskimäärin suurempi lämpösumma-alueella 1350 d.d. kuin lämpösumma-alueella 1250 d.d..



Kuva 27. Suomalaisten vertailualkuperien runkotilavuus kokeen iän funktiona.



Kuva 28. Leveysastesiirron vaikutus suhteelliseen runkotilavuuteen lämpösummilla 1350 d.d. ja 1250 d.d. ja pituusastesiirroilla 8 ja 3 astetta idästä länteen ja 2 astetta lännestä itään.

Mallin perusteella eteläisimmässä Suomessa (lämpösumma 1350 d.d.) runkotilavuus lisääntyy lineaarisesti etelästä pohjoiseen sekä idästä länteen päin siirrettyssä aineistossa. Yhden asteen muutosta leveysasteessa vastaa suhteellinen 1,6 %-yksikön muutos suhteellisessa runkotilavuudessa. Pituusasteelle vastaavan siirron vaikutus on 2,2 %-yksikköä.

Lämpösumma-alueella 1350 d.d. kaikilla tarkasteltavilla siemensierroilla saavutetaan vähintään 107 %:n suhteellinen runkotilavuus. Suurin suhteellinen runkotilavuus, noin 134 %, saavutetaan 4 asteen siirrolla etelästä ja 8 asteen siirrolla idästä.

Lämpösumma-alueella 1250 d.d. leveysastesiirron ja pituusastesiirron vaikutukset muuttuvat päinvastaiseksi lämpösumma-alueeseen 1350 d.d. verrattuna siten, että yhden leveysasteen muutosta (etelästä pohjoiseen) siirtomatassa vastaa ennustetun suhteellisen runkotilavuuden pieneneminen 0,6 %-yksiköllä, ja pituusastesiirron (idästä) osalta vastaava muutos on -2,0 %-yksikköä.

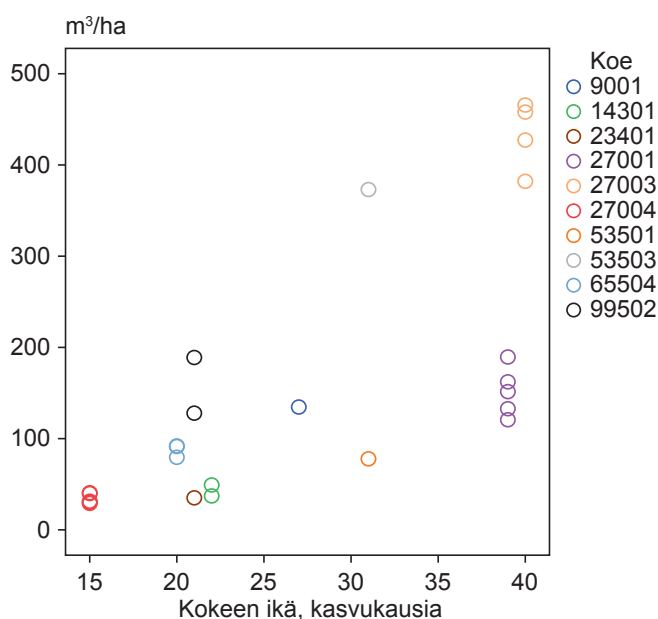
Lämpösumma-alueella 1250 d.d. kahden asteen siirto lännestä itään merkitsee huomattavaa lisäystä suhteelliseen runkotilavuuteen kaikilla tarkasteltavilla leveysastesierroilla. Sitä vastoin kolmen asteen siirrolla idästä länteen ei ole juurikaan vaikutusta suhteelliseen runkotilavuuteen.

4.3.5 Puuston tilavuus

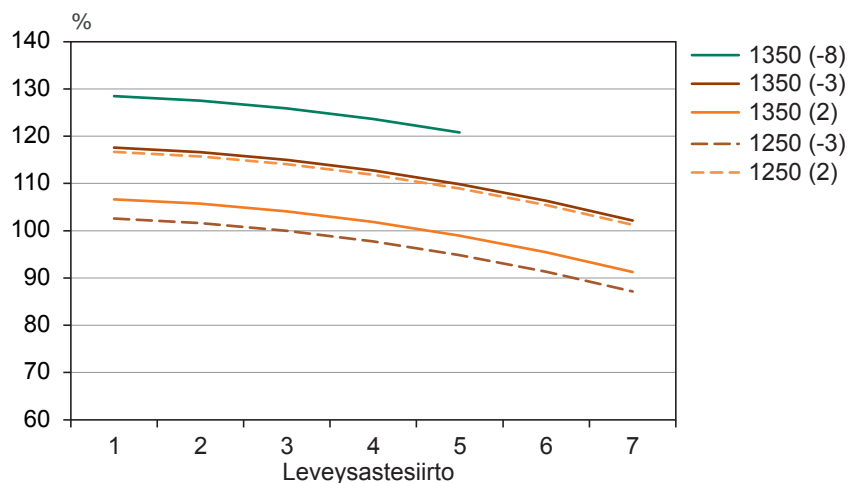
Suomalaisten vertailualkuperien puuston tilavuus eli kuutiomäärä hehtaarilla on esitetty kuvassa 29. Suurin puuston tilavuus, 433,3 m³/ha, oli vertailualkuperillä Paraisten kokeessa 270/03.

Leveysastesiirron ja puuston suhteellisen tilavuuden suhde oli käyräviivaisesti laskeva (kuva 30). Pituusastesiirron vaikutus sen sijaan oli suoraviivainen. Myös yhdysvaikutus koepaikan lämpösumma x pituusastesiirto oli merkitsevä. Mallin selityssaste oli 34,1 % (taulukko 9).

Ulkomaisten alkuperien suhteellinen puuston tilavuus oli keskimäärin 107,4 % (95 %:n luottamusväli 102,9–111,9 %), mutta kuten runkotilavuuden kohdalla vaihtelu oli suurta siirtomatasta



Kuva 29. Suomalaisten vertailualkuperien puuston tilavuus eli kuutiomäärä hehtaarilla kokeen iän funktiona.



Kuva 30. Leveysastesiirron vaikutus suhteelliseen puuston tilavuuteen lämpösummilla 1350 d.d. ja 1250 d.d. ja pituusastesiirroilla 8 ja 3 astetta idästä länteen ja 2 astetta lännestä itään.

ja koepaikan lämpösummasta riippuen (kuva 30). Suhteellinen puuston tilavuus oli keskimäärin suurempi lämpösumma-alueella 1350 d.d. kuin lämpösumma-alueella 1250 d.d..

Mallin perusteella suhteellinen puuston tilavuus pienenee leveysastesiirron pidentyessä ensin loivasti ja sitten jyrkemmin. Seitsemän leveysasteen siirron yhteydessä suhteellinen puuston tilavuus jää noin 15 %-yksikköä pienemmäksi kuin yhden asteen leveysastesiirroissa.

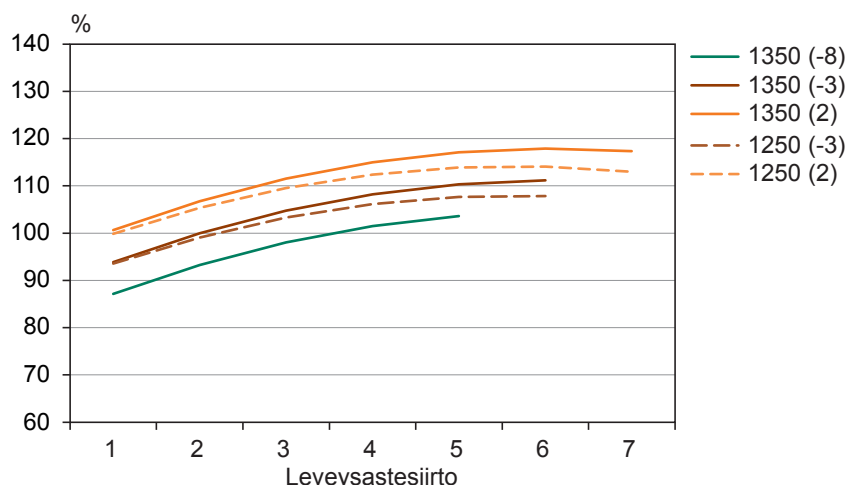
Lämpösumma-alueella 1350 d.d. siirto idästä länteen lisää suhteellista puuston tilavuutta 2,2 %-yksikköä kutakin pituusastetta kohti. Ennustettu maksimi 128–123 %, saavutetaan kahdeksan pituusasteen siirrolla idästä länteen ja 1–4 leveysasteen siirrolla etelästä pohjoiseen. Pohjoisempaan, lämpösumma-alueella 1250 d.d. siirtoon idästä länteen sitä vastoin liittyy suhteellisen puuston tilavuuden pieneneminen 2,8 %-yksikköä kutakin pituusastetta kohti. Suurin suhteellinen puuston tilavuus, 116–111 %, saavutetaan 1–4 asteen siirrolla etelästä pohjoiseen ja kahden asteen siirrolla lännestä itään.

Mallin perusteella pisimmät, kuudesta seitsemään asteen siirrot etelästä pohjoiseen johtavan suhteellisen tilavuuden pienenemiseen molemmilla lämpösumma-alueilla, siten että eräissä siirroissa tilavuus jää pienemmäksi kuin paikallisilla vertailualueilla.

4.3.6 Koropuiden osuus

Koropuiden osuus oli suomalaisilla vertailualueilla keskimäärin 14,6 %. Osuus oli suurin, 64,2 %, kokeessa 655/02 Tammisaassa, ja pienin, 1,4 %, kokeessa 535/03, joka myös sijaitsi Tammisaassa.

Ulkomaisessa aineistossa koropuiden suhteellinen osuus oli keskimäärin 103,0 % (95 %:n luottamusväli 100,9–105,1 %). Leveysastesiirron ja koropuiden suhteellisen osuuden suhde oli käyräviivaisesti nouseva (kuva 31). Koropuiden suhteellisen osuuteen vaikuttivat myös koepaikan lämpösumman yhdysvaikutukset leveysastesiirron ja pituusastesiirron kanssa. Mallin selitysaste oli 37,2 % (taulukko 9).



Kuva 31. Leveysastesiirron vaikutus suhteelliseen koropuiden osuuteen lämpösummilla 1350 d.d. ja 1250 d.d. ja pituusastesiirroilla 8 ja 3 astetta idästä länteen ja 2 astetta lännestä itään.

Mallin perusteella suhteellinen koropuiden osuus kasvaa leveysastesiirron pidentyessä ensin jyrkästi ja sitten loivemmin ja saavuttaa maksimin noin kuuden asteen kohdalla. Koropuiden osuus on silloin 14–17 %-yksikköä korkeampi kuin yhden asteen leveysastesiirrossa.

Pituusastesiirron vaikutus on lineaarinen. Lämpösumma-alueella 1350 d.d. yhden asteen muutosta vastaa -1,4 %-yksikön muutos suhteellisessa koropuiden osuudessa. Vastaava muutos lämpösumma-alueella 1250 d.d. on -1,3 %-yksikköä.

Lännestä itään päin tehdyt siemensiirot kasvattavat korovaurioiden riskiä enemmän kuin siirrot idästä länteen. Kahden asteen siirto lännestä itään johtaa yli 110 %:n koropuuosuuteen jos samanaikainen leveysastesiirto etelästä pohjoiseen on vähintään kolme astetta. Turvallisimmat siemenlähteet näyttäisivät olevan kaakkoisia: Kun siirtoihin idästä länteen yhdistyy lyhyt yhdestä kolmeen asteen siirto etelästä pohjoiseen, koropuiden osuus jää jopa pienemmäksi kuin suomalaisilla vertailualueilla.

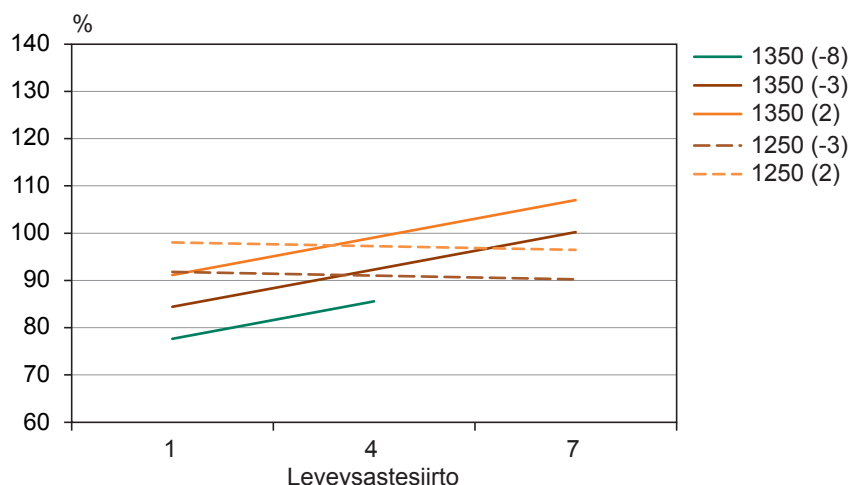
Lämpösumma-alueella 1350 d.d. suhteellinen koropuiden osuus on suurempi kuin lämpösumma-alueella 1250 d.d., joskin ero on enimmillään vain kolmen prosenttiyksikön luokkaa. Ero kasvaa leveysastesiirron pitenemisen myötä.

4.3.7 Poikaoksapuiden osuus

Poikaoksapuiden osuus oli suomalaisilla vertailualueilla keskimäärin 26,4 %. Osuus oli suurin, 79,3 %, Parkanon kokeessa 535/01 ja pienin, 3,5 %, Punkaharjun kokeessa 516/01.

Suomalaisilla vertailualueilla poikaoksapuita oli enemmän kuin ulkomaisilla alueilla, joilla poikaoksapuiden suhteellinen osuus oli keskimäärin 90,2 % (95 %:n luottamusväli 88,5–91,9 %). Poikaoksapuiden suhteellista osuutta selittivät leveysastesiirto, koepaikan lämpösumma sekä koepaikan lämpösumman yhdysvaikutukset leveysastesiirron ja pituusastesiirron kanssa. Mallin selitysaste oli 38,7 % (taulukko 9).

Mallin perusteella eteläisimmässä Suomessa, jossa lämpösumma on 1350 d.d., suhteellinen poikaoksapuiden osuus suurenee leveysastesiirron pidentyessä (kuva 32). Yhden asteen muutosta



Kuva 32. Leveysastesiirron vaikutus suhteelliseen poikaoksapuiden osuuteen lämpösummilla 1350 d.d. ja 1250 d.d. ja pituusastesiirroilla 8 ja 3 astetta idästä länteen ja 2 astetta lännessä itään.

leveysasteessa vastaa 2,6 %-yksikön muutos suhteellisessa osuudessa. Pituusasteelle vastaavan siirron vaikutus on -1,4 %-yksikköä, eli idästä länteen siirrettyssä aineistossa on vähemmän poikaoksapuita kuin lännessä itään siirrettyssä aineistossa.

Lämpösumma-alueella 1250 d.d. suhteellinen poikaoksapuiden osuus sitä vastoin pienenee hieman leveysastesiirron pidentyessä: yhden asteen muutosta leveysasteessa vastaa -0,3 %-yksikön muutos suhteellisessa osuudessa. Vastaava pituusastesiirron vaikutus on -1,3 %-yksikköä yhtä pituusastetta kohti eli samansuuntainen kuin lämpösumma-alueella 1350 d.d.

5 Tarkastelu

5.1 Lähtöisyysalueet

Viro

Viron alkuperät ovat rannikolla ja Etelä-Suomessa vähintään yhtä nopeakasvuisia kuin suomalaiset vertailualkuperät. Myös elävyydeltään ne vastaavat Suomen vertailualkuperiä. Koropuiden osuuskaan ei ole niin korkea, että Viron alkuperiä olisi syytä välttää metsänviljelyssä. Viron alkuperien etuna on lisäksi kotimaisia kuusiin verrattuna pienempi poikaoksapuiden osuus.

Viron alkuperien varhaiskehitys on nopeaa, mikä on etu taimikon vakiintumisen kannalta. Metsänjalostussäätien koeviljelyksissä 1424/01 Lohjalla ja 1424/02 Vihdissä kaakkoisvirolaisten Pölvän ja Misson alkuperät olivat 23–40 % pitempiä kuin suomalaiset vertailuerät yhdeksän vuoden iällä (Napola, M-L 2002). Koetulosten perusteella Viron kuusialkuperät ovat menestyviä ainakin alueilla, joiden lämpösumma on vähintään 1250 d.d.. Todennäköisesti ne menestyvät myös alueilla, joiden lämpösumma on 1200–1250 d.d.. Tutkimusaineistossa virolaisia alkuperiä ei kuitenkaan ole tällä lämpösumma-alueella riittävästi asian varmistamiseksi.

Viron eri metsikköalkuperiä verrattiin tutkimuksessa toisiinsa, mutta tulosten perusteella ei voida yksiselitteisesti sanoa, mitä alkuperiä tulisi suosia tai välttää metsänviljelyssä. Kaakkoisvirolaisessa Võrun Sõmerpalun alkuperässä todettu korkea suhteellinen koropuiden osuus, 111 %, antaa kuitenkin aiheen epäillä, että kyseessä saattaa olla allohtoninen, mahdollisesti saksalainen alkuperä (ks. Napola J. 2011). Kuusen siementä Virosta hankittaessa olisikin syytä mahdollisuuksien mukaan aina varmistaa, että siemen on peräisin aidosti paikallisesta metsiköstä.

Tämän tutkimuksen aineistossa on vain vähän alkuperiä, jotka ovat peräisin Viron mereisimmiltä alueilta eli länsi- ja pohjoisrannikolta, joten johtopäätösten teko on niiden osalta epävarmaa. Mereisimpien virolaisalkuperien viljelyä olisi silti syytä välttää Suomen sisämaassa. Danusevicius (1998) on havainnut, että Baltian alueella rannikon alkuperät ovat vähemmän syyskallankestäviä kuin saman leveysasteen sisämaan alkuperät.

Aikaisemmin julkaistut Viron alkuperiä koskevat tulokset ovat puoltaneet niiden käyttöä Suomessa. Heikinheimo (1949) tutki 14 vuoden ikäisiä kuusen alkuperäkokeita ja totesi niiden perusteella, että Etelä-Virosta tuotu kuusen siemen on antanut hyviä tuloksia Suomen eteläosissa. Beuker (1994b) tutki samoja kokeita 60 vuoden iällä ja havaitsi, että Viron Peravalla oli kasvanut kokeen keskiarvoa paremmin kaikissa kokeissa, joissa se oli mukana eli Tenholassa, Punkaharjulla, Vilppulassa ja jopa Muhoksella, joskin se hävisi parhaille suomalaisille alkuperille. Yksittäisten onnistuneiden koeviljelysten perusteella ei voida kuitenkaan vielä katsoa varmaksi, että virolaiset alkuperät sopisivat metsänviljelyyn Keski-Suomessa tai vielä pohjoisempana.

Latvia

Latvian lähtöisyysalue oli runkotilavuuden perusteella nopeakasvuisimpien lähtöisyysalueiden joukossa sekä rannikon viljelyalueella että kokeessa 749/01 Paimiossa. Toisaalta suhteellinen koropuiden osuus oli Latvian alkuperillä rannikolla yksi korkeimmista, joskin tulos perustuu vain yhteen kokeeseen (535/03 Tammissaari).

Latvian erien menestymisestä sisämaassa ei voida tehdä kovin luotettavia päätelmiä, koska aineistoa on vain yhdestä erästä Punkaharjun kokeessa 516/01 sekä puustoltaan hyvin epätasaisesti kehittyneestä Parkanon kokeesta 535/01. Nämä tulokset viittaavat siihen, että Latvian alkuperien käytölle Keski-Suomessa ei ole perusteita. Rannikolla ja paikoin Etelä-Suomen sisämaassa Latvian alkuperät voivat menestyä hyvin, mutta niiden kasvatukseen liittyy korovaurioiden kohonnut riski.

Latvian kuusialkuperistä on julkaistu runsaasti tutkimuksia. Rone ym. (1993) vertailivat Latviassa eri maakuntien alkuperiä ja totesivat, että nopeakasvuisimmat ja keväällä myöhään kasvunsa aloittavat alkuperät löytyvät Kaakkois-Latviasta Latgalen maakunnasta läheltä Valko-Venäjän rajaa. Kuurinmaan (Kurzeme) ja Liivinmaan (Vidzeme) ylänköjen alkuperät ovat Latvian alkuperien joukossa keskimääräistä hidaskasvuisempia ja varhemmin kasvunsa aloittavia. Myös Gailis (1993) on todennut kaakkoislatvialaiset alkuperät nopeakasvuisimmiksi Latviassa kasvavissa koeviljelyksissä, ja parhaat niistä yhtä nopeakasvuisiksi kuin Puolan, Slovakian ja Romania alkuperät.

Ruotsissa ja Norjassa Latvian alkuperiä pidetään käyttökelpoisina. Skrøppa (1982) suosittelee latvialaisia alkuperiä Kaakkois-Norjaan. Keski-Ruotsissa Sveanmaalla Latvian kuuset ovat kasvaneeet nopeammin kuin paikalliset alkuperät (Sonesson & Karlsson 1995).

Ruotsissa Latvian alkuperiä voidaan käyttää Rosvallin ym. (1998) mukaan lämpösumma-alueella 1200–1100 d.d., joka rannikolla ulottuu 62.–63. leveysasteelle, mutta jää sisämaassa paikoin 60.

leveysasteelle. Ruotsalaisia lämpösummaan perustuvia siirtosuosituksia ei kuitenkaan pidä soveltaa sellaisenaan Suomen oloihin maiden välisten topografia- ja ilmastoerojen takia.

Rosvall ym. (1998) varoittavat Latvian rannikon alkuperien käytöstä metsänviljelyssä. Persson ja Persson (1992) puolestaan kehottavat välttämään Keski-Latvian (eli Riianlahden ympäristön) alkuperiä, ja pitävät parempina Itä-Latvian sekä toisaalta Länsi-Latvian Kuurinmaan ylängön alkuperiä.

Sopivimpia alkuperiä etenkin Etelä-Suomen sisämaahan löytyy todennäköisesti Latvian koillisosista Liivinmaalta, jossa lämpösumma on alle 1400 d.d. ja kasvukauden pituus alle 190 d.d. Näitä alkuperiä ei kokeissa kuitenkaan ole, vaan arvio perustuu ennen kaikkea lähialueiden eli Kaakkois-Viron ja Venäjän Pihkovan alueen alkuperien kokeissa todennettuun menestymiseen.

Liettua

Liettuan alkuperiä on tutkimusaineistossa kuusi koe-erää, joista Paimion kokeessa 749/01 kasvavien kolmen erän suhteellinen elävyys ja suhteellinen runkotilavuus olivat kokeen muihin alkupe-riin verrattuna poikkeuksellisen alhaiset. Toisaalta kolmen muun liettualaiserän keskimääräinen suhteellinen koropuiden osuus oli varsin korkea, 115 %. Pelkästään tämän niukan tutkimusaineiston perusteella Liettuan alkuperien sopivuudesta Suomeen on vaikea tehdä päätelmiä, vaan johtopäätösten tukena on käytettävä tuloksia naapurimaiden Latvian, Valko-Venäjän ja Puolan alkuperien menestymisestä. Kaikkien näiden kolmen lähtöisyysalueen alkuperät ovat nopeakasvuisia, mutta etenkin kahden viimeksi mainitun alkuperät myös alttiita koroille. Liettuan alkuperiä ei voi suuren korovaurioriskin takia suositella metsänviljelyyn Suomessa.

Liettuan kuusialkuperät ovat useiden tutkimusten mukaan nopeakasvuisia. Virossa Liettuan alku-perien pituus oli 19 % suurempi kuin paikallisilla vertailuerillä yhdeksän vuoden iällä (Etverk 1980). IUFRO 1964/68 -koesarjan kokeissa Liettuan alkuperät ovat menestyneet hyvin useissa maissa (Balut & Sabor 1993). IUFRO 1938 -koesarjan osakokeessa Tukholman lähellä Wilnon alkuperä Liettuasta oli yksi parhaista alkuperistä 25 vuoden iässä (Langlet 1964). Persson ja Persson (1992) suosittelivatkin Itä-Liettuan alkuperiä Keski-Ruotsiin Tukholman leveysasteille. Sen sijaan Pohjois-Ruotsiin he eivät näitä alkuperiä suosittele, koska niihin kehittyi siellä runsaasti poika-oksia ja haaroja.

Venäjä

Venäjän alkuperiä on tutkimusaineistossa vain yhdessä rannikkovyöhykkeellä sijaitsevassa kokeessa 995/02 Tammisaaressa. Länsi-Venäjän lähtöisyysalueen (40. pituuspiirin länsipuolella oleva alue) alkuperien elävyys oli tässä kokeessa korkeampi, runkotilavuus suurempi sekä koropuiden ja poika-oksapuiden osuus pienempi kuin suomalaisilla vertailualueilla. Tuloksiin on syytä kuitenkin suhtautua varauksellisesti etenkin koropuiden osalta, sillä kokeen suomalaisilla vertailualueilla koroja on tässä kokeessa epätavallisen paljon; koropuiden osuus on peräti 20 %-yksikköä korkeampi kuin esimerkiksi Valko-Venäjän ja Puolan erillä. Tämä herättää epäilyksen mahdollisesta erien sekoittumisesta taimikasvatusvaiheessa.

Kun Länsi-Venäjän lähtöisyysalueen kuusialkuperiä vertaillaan kokeen viiteen virolaisalkuperään, niiden elävyys ja runkotilavuus sekä koropuiden ja poikaoksapuiden osuus ovat jokseenkin saman suuruisia. Tällä perusteella on pääteltävissä, että ainakin osa venäläisalkuperistä voisi soveltaa

käytettäväksi metsänviljelyssä eteläisimmässä Suomessa, lähinnä rannikolla. Venäläisten alkuperien käyttöä sisämaassa ei voida suositella vajavaisen testaustiedon takia.

Länsi-Venäjän alkuperistä sopivimpia lienevät Velikij Novgorodin ja Pihkovan eli lähinnä Viroa sijaitsevien alueiden alkuperät, mutta myös muilta alueilta voi löytyä sopivia alkuperiä. Tietoa venäläiserien hyvästä kasvusta on käytetty hyväksi kuusen jalostusohjelmassa valitsemalla Tammisaaren kokeesta uusia kantapuita ulkomaisista, pääasiassa balttilaisista Suomessa kasvavista kantapuista koostuvaan jalostuspopulaatioon (Napola, M-L 2011).

Länsi-Venäjän alkuperät muistuttavat monessa suhteessa Baltian itäosien ja Valko-Venäjän alkuperiä. Keski-Ruotsissa Länsi-Venäjän alkuperien pituus ja elävyys olivat samaa hyvää tasoa kuin valkovenäläisillä ja liettualaisilla alkuperillä (Persson & Persson 1992). Talvivaurioita, kuten ruskettuneita neulasia, oli Länsi-Venäjän alkuperillä Norjassa suunnilleen yhtä paljon kuin Baltian alkuperillä (Skrøppa & Dietrichson 1986). Sama koskee runkohalkeamia Norjassa ja Ruotsissa (Dietrichson ym. 1985, Persson 1994).

Valko-Venäjä

Valko-Venäjä oli runkotilavuuden perusteella nopeakasvuisin lähtöisyysalue rannikon viljelyalueella ja yksi nopeakasvuisimmista erikseen tarkastellussa kokeessa 749/01 Paimiossa. Sen sijaan toisessa Paimion kokeessa 655/04, joka lämpösumman perusteella (alle 1300 d.d.) luettiin Etelä-Suomen viljelyalueeseen, valkovenäläisten alkuperien suhteellinen runkotilavuus jää 93 prosenttiin. Syynä valkovenäläisalkuperien heikompaan menestymiseen saattaa olla kokeen poikkeuksellinen perustamishistoria. Koe istutettiin kolme vuotta myöhemmin kuin muut koesarjan osakokeet, vaikka kylvöt tehtiin samanaikaisesti. Toisin kuin suomalaiserien kohdalla, kaikista valkovenäläiseristä ei riittänyt taimia kaikkiin neljään lohkoon, joten on mahdollista, että osa istutetuista valkovenäläiserien taimista on ollut heikompilaatuisia kuin suomalaiserien taimet. Paimion koeviljelys antanee siten liian kielteisen kuvan Valko-Venäjän alkuperien menestymisestä Etelä-Suomen viljelyalueella. Etelä-Suomen toisessa Valko-Venäjän koesarjan kokeessa 655/01 Vihdissä valkovenäläisten alkuperien keskimääräinen läpimitta oli lähes sama kuin suomalaisilla vertailuerillä (pituutta ei mitattu). Tulosten perusteella näyttää siis siltä, että Valko-Venäjän alkuperien suuri kasvupotentiaali tulee esille selvimmin rannikon viljelyalueella.

Etelä-Suomessa koropuiden osuus oli valkovenäläiserillä 9 %-yksikköä suomalaiseriä korkeampi, rannikolla vastaavasti 4 %-yksikköä korkeampi. Rannikon pienempi osuus voi kuitenkin johtua ainakin osittain siitä, että molemmat Valko-Venäjän koesarjan rannikon osakokeet 655/02 Tammisaarella ja 655/03 Kemiössä oli harvennettu ennen korojen inventointia. Harvennuksessa huonokuntoisia korovaurioisia runkoja on todennäköisesti poistettu, jolloin jäljellejäävässä puustossa ryhmien väliset erot koropuiden osuudessa ovat tasoittuneet. Inventoinnit saattavat siten johtaa virheelliseen johtopäätökseen korovaurioiden riskin suuruudesta.

Valko-Venäjän alkuperiä ei voida suositella ainakaan Etelä-Suomen sisämaahan. Rannikolla niiden viljely olisi perusteltavissa lähinnä nopealla kasvulla, mutta korovaurioiden riskin takia niitä ei voida varauksettomasti suositella rannikollekaan.

Valko-Venäjän kolmen eniten testatun alueen Grodnon, Minskin ja Vitebskin väliset erät olivat melko pieniä, eikä alueita voida yksiselitteisesti asettaa paremmuusjärjestykseen. Suomen oloihin sopivimmat alkuperät löytynevät pohjoisimmalta alueelta eli Vitebskistä.

Ulkomaisten tutkimusten mukaan Valko-Venäjän alkuperät ovat nopeakasvuisia ja kasvurytmiltään myöhäisiä (ks. esim. Balut & Sabor 1993). Keski-Ruotsissa Sveanmaalla sijaitsevassa kokeessa valkovenäläiset olivat pisin ulkomainen alkuperäryhmä yhdeksän vuoden iässä (Sonesson & Karlsson 1995). Hannerzin (1994a) mukaan Keski-Ruotsissa hallavaurioriski keväällä lähes puolittuu, kun viljellään valkovenäläisiä alkuperiä paikallisten sijasta. Talvituhoja on saman tutkimuksen mukaan valkovenäläisillä alkuperillä enemmän kuin paikallisilla. Rosvallin ym. (1998) mukaan valkovenäläiseriä ei tulisi käyttää Ruotsissa 60. leveysasteen pohjoispuolella.

Valko-Venäjän eri osien alkuperät poikkeavat kasvurytmiltään toisistaan siten, että maan keski-osien alkuperät (esimerkiksi Minsk) muistuttavat Koillis-Puolan alkuperiä, kun taas pohjoisosien alkuperät (Vitebsk) ovat lähinnä Pohjois-Liettuan ja Kaakkois-Latvian kaltaisia (Danusevicius & Persson 1998, Danusevicius & Gabrilavicius 2001). Etelä- ja Keski-Ruotsissa leveysasteiden 56 ja 60 välisellä alueella Minskin alkuperät ovat menestyneet hyvin (Kiellander 1970).

Koillis-Puola

Koillis-Puolan alkuperät muistuttavat koemenestykseltään monessa suhteessa Viron alkuperiä. Molempien lähtöisyysalueiden elävyys ja runkotilavuus olivat rannikon ja Etelä-Suomen kokeissa samaa tasoa. Kun otetaan huomioon Koillis-Puolan erien suuri koropuiden osuus, voidaan todeta, että Koillis-Puolan alkuperät eivät tarjoa mitään ilmeistä etua Viron alkuperiin verrattuna, eikä niiden käyttö metsänviljelyssä Suomessa ole suositeltavaa.

Nopeakasvuiset ja kasvurytmiltään myöhäiset Koillis-Puolan alkuperät menestyivät hyvin vielä Keski-Ruotsissa (Sonesson & Karlsson 1995). Kaikkein parhaat alkuperät löytyivät sinne Koillis-Puolan lähtöisyysalueen koillisimmasta osasta (Persson & Persson 1992). Myös Kaakkois-Norjassa Koillis-Puolan alkuperät ovat kasvaneet hyvin (Fottland & Skrøppa 1989). Sen sijaan Ruotsin Norlantiin Koillis-Puolan alkuperiä ei pidä siirtää (Rosvall ym. 1998).

Koillis-Puolan alkuperillä on todettu enemmän tuhoja kuin pohjoisemmilla alkuperillä. Tämä koskee talvituhoja Suomessa (Hagman 1986) ja Norjassa (Skrøppa & Dietrichsson 1986), runkohalkeamia Norjassa (Dietrichsson ym. 1985) sekä myyrätuhoja Suomessa (Rousi & Sikanen 1999).

Etelä-Puola

Etelä-Puolan alankoalueilta on tutkimusaineistossa vain kaksi alkuperää yhdessä kokeessa. Toinen alkuperistä, Zwierzyniec Lubelski, vaikuttaa hyvin nopeakasvuiselta, sillä sen suhteellinen runkotilavuus oli 154 % kokeessa 749/01 Paimiossa. Tämä alkuperä on yksi parhaista puolalaisalkuperistä lähes kaikissa maissa IUFRO 1972 -koesarjan kokeissa (Matras 1993, 2009).

Koska Etelä-Puolan alkuperistä ei ole Suomessa tehty tuoreita tuhoinventointeja, ja niiden herkkyyden sientuhoille on todennäköisesti vähintään yhtä suuri kuin Koillis-Puolan alkuperillä, niiden käyttö metsänviljelyssä ei ole suositeltavaa nopeasta kasvusta huolimatta.

Keski-Ruotsi ja Kaakkois-Norja

Keski-Ruotsin ja Etelä-Norjan lähtöisyysalueelta on tutkimusaineistossa vain yksi alkuperä molemmista maista, joten tätä lähtöisyysaluetta koskevia johtopäätöksiä ei voida tehdä. Ruotsalaisten alkuperien puuttuminen Etelä-Suomen alkuperäkokeista onkin suurin puute muuten hyvin kattavassa kuusen alkuperäaineistossa.

Harz

Pohjoissaksalaisen Harz-vuoriston kaksi alkuperää olivat elävyydeltään ja runkotilavuudeltaan heikoimpien lähtöisyysalueiden joukossa. Tutkitut alkuperät ovat verraten alhaalta vuoristosta, Osterode noin 300 metriä ja Westerhof noin 600 metriä m.p.y., mikä selittänee erien heikkoa menestystä. Toisena syynä saattaa olla Harz-vuoriston läntinen sijainti melko mereisessä ilmassa. Kiellanderin ja Nilssonin (1967) mukaan Westerhof on erityisen syyshallanarka alkuperä.

Böhmerwald

Saksan Böhmerwaldin vuoriston lähtöisyysalue oli yksi nopeakasvuisimmista ja myös elävyyden suhteen parhaista Keski-Euroopan lähtöisyysalueista. Suurin osa Böhmerwaldin lähtöisyysalueen alkuperistä on peräisin Erzgebirgen vuoristosta. Eräät Erzgebirgen alkuperät on tiedetty nopeakasvuisiksi jo pitkään ja niitä on käytetty kuusen provenienssiristeyksissä Suomi x Saksa (Napola, M.-L. 1989).

Saksalaiset alkuperät ovat olleet nopeakasvuisia Etelä-Suomessa sijaitsevista vuonna 1931 perustetuissa kuusen alkuperäkokeissa (Beuker 1994b). Toisaalta Saksan alkuperistä on raportoitu runsaasti huonoja ominaisuuksia. Vellingin (1976) mukaan Carlsfeldin alkuperällä, joka on kotoisin Erzgebirgen vuoristosta, oli alhainen puuaineen tiheys. Heikinheimo (1949) havaitsi, että varhainen syyshalla 12. syyskuuta 1935 vaurioitti etenkin Carlsfeldin taimia. Carlsfeld oli eniten kärsineiden alkuperien joukossa myös ankarana pakkastalvena 1985 (Hagman 1986). Saksalaisilla kuusilla on ollut myös paljon myyrätuhoja (Rousi & Sikanen 1999) sekä runkohalkeamia (Dietrichson ym. 1985). IUFRO 1964/68 -koesarjan osakokeessa Puolan Krynicassa saksalaisalkuperistä löytyi paljon sairaita puita, latvan kuivumista, pihkavuotoa, nekroosia juurissa jne. (Zölciak ym. 2009).

Sudeetit-Beskidit

Puolan etelärajalalla sijaitsevan Sudeettien-Beskidien vuoriston lähtöisyysalueen koemenestyksessä huomionarvoista on verrattain alhainen suhteellinen elävyys (81 %, $p = 0,010$) Paimion kokeessa 749/01. Myöskään tilavuuskasvussa tämä lähtöisyysalue ei ole parhaiden Keski-Euroopan lähtöisyysalueiden veroinen. Poikkeuksena on kuitenkin Istebnan alkuperä, jonka runkotilavuus oli rannikon viljelyalueella 37 % suomalaisia vertailueriä korkeampi. Istebnan alkuperä on todettu syyshallanaraksi (Kiellander & Nilsson 1967), mutta nähtävästi Suomen rannikolla kasvukausi on riittävän pitkä tälle alkuperälle. Nopeakasvuisuuden selityksenä saattaa olla se, että kyseessä ei ole paikallinen autoktoninen, vaan muualta siirretty alloktoninen alkuperä (ks. Sabor 2009).

Sudeettien kuusialkuperien on todettu menestyvän hyvin Länsi-Norjassa Atlantin rannikolla, mutta ei mantereisemmässä Itä-Norjassa (Fotland & Skrøppa 1989). Matras (2009) vertaili puolalaisia kuusialkuperiä keskenään IUFRO 1972 -koesarjan kokeissa eri maissa ja havaitsi, että Sudeettien alkuperät olivat keskimäärin huonoimpien joukossa.

Tatra

Slovakian Tatra-vuoriston lähtöisyysalue osoittautui elävyyden ja runkotilavuuden suhteen yhdeksi parhaista Keski-Euroopan lähtöisyysalueista. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella Tatran lähtöisyysalueen alkuperiä ei kuitenkaan voida suositella käytettäväksi Suomessa. Niiden viljelyllä ei saavuteta mitään olennaista hyötyä, ja toisaalta runkohalkeamia niillä on enemmän kuin esimerkiksi Baltian alkuperillä (Dietrichson ym. 1985). Etelä- ja jopa Keski-Ruotsissa Tatran alkuperiä

pidetään käyttökelpoisina, sillä ne ovat siellä nopeakasvuisia ja niiden elävyys on korkea (Persson & Persson 1992).

Tatran lähtöisyysalue ulottuu myös Puolan puolelle, mutta suomalaisissa alkuperäkokeissa puolalaisia Tatran alkuperiä ei ole mukana. Keski-Ruotsissa Puolan Zakopanen alkuperä on menestynyt hyvin (Werner & Karlsson 1982).

Karpaatit

Karpaattien vuoriston alkuperien menestys oli huomiota herättävään vaihtelevaa: Etelä-Suomen viljelyalueella ne olivat kaikkein nopeakasvaisin ja Paimion kokeessa 749/01 toiseksi nopeakasvaisin ryhmä, kun taas rannikolla niiden runkotilavuus jäi suomalaisia vertailueriä pienemmäksi. Elävyys oli Karpaattien alkuperillä yleensä heikompi kuin parhailla keskieurooppalaisilla, Böhmerwaldin ja Tatran lähtöisyysalueilla.

Romanialaiset Karpaattien lähtöisyysalueen kuuset ovat kasvaneet hyvin Etelä-Norjassa Atlantin rannikolla (Fotland & Skrøppa 1989), Ruotsissa Tukholman lähellä (Langlet 1964) ja Etelä-Suomessa Tuusulassa kokeessa nro 27 (Koski 1989).

Romanian alkuperien elävyys on kuitenkin Keski-Ruotsissa ollut alhaisempi kuin esimerkiksi Slovakian alkuperillä (Persson & Persson 1992). Romanian alkuperät ovat alttiita myyrätuhoille (Rousi & Sikanen 1999), runkohalkeamille (Dietrichson ym. 1985) sekä talvivaurioille (Hagman 1986). Tuhoalttiuden ja vaihtelevan menestyksen takia Karpaattien alkuperiä ei voi suositella Suomeen.

Itävalta

Itävallan lähtöisyysalueen vuoristoalkuperät olivat runkotilavuuden perusteella hidaskasvaisimpia Keski-Euroopan alkuperiä, mutta elävyydeltään ne olivat keskitasoa. Alppien kuusialkuperät on todettu hidaskasvaisiksi myös Puolassa (Balut & Sabor 1993) sekä lähes kaikissa IUFRO 1938 -koesarjan kokeissa Euroopassa (Giertych 1976).

Muut

Länsi-Euroopan ja Balkanin lähtöisyysalueiden vuoristoalkuperien määrä tutkimusaineistossa on liian pieni johtopäätösten tekemiseen.

5.2 Koe 749/01

Paimion koetta 749/01 tarkasteltiin suuren alkuperämääränsä takia erillään tutkimuksen pääaineistosta. Tämä yksittäinen koe olisi saanut liian hallitsevan aseman, jos se olisi yhdistetty pääaineistoon. Kokeessa oli yhteensä 169 ulkomaista alkuperää 13 eri lähtöisyysalueelta (taulukko 3).

Kokeessa 749/01 lähtöisyysalueita verrattiin suomalaisiin vertailueriin Dunnettin testillä, mutta vain elävyydessä erot olivat tilastollisesti merkitseviä. Lähtöisyysalueiden suureen sisäinen vaihteluun vaikutti koejärjestely, ennen muuta lohkojen riittämätön määrä (3 kpl) ja suuresta erämäärästä johtuva lohkojen suuri pinta-ala (suuri lohkon sisäinen ympäristövaihtelu).

5.3 Siemensiirtomalli

Tässä tutkimuksessa käytetyn lineaarisen sekamallin antamat ennusteet eri ominaisuuksille poikkesivat toisistaan huomattavasti. Tätä selittää muun muassa tutkimusaineiston koon vaihtelu. Esimerkiksi pituusaineistossa oli 20 koetta ja 159 eräkeskiarvoa, mutta puuston tilavuusaineistossa vain 10 koetta ja 113 eräkeskiarvoa (taulukko 7). Aineiston koon perusteella pituuden ennustetta voidaan pitää luotettavampana kuin puuston tilavuuden ennustetta. Sen sijaan koepaikkojen lämpösummien keskiarvo tai siirtomatka keskimäärin eivät poikenneet olennaisesti eri ominaisuuksissa. Mallien selitysasteet vaihtelivat suuresti. Korkein selitysaste 71,0 % oli pituuden mallilla ja matalin elävyydellä 7,6 %.

Kuusen alkuperäkokeet sijaitsevat voittopuolisesti lounaisessa Suomessa. Tästä seuraa että mallit antavat luotettavimpia ennusteita lounaisosiin maattamme, ja ennusteet ovat vähemmän luotettavia pohjoisempana ja idempänä. Erämäärillä painotettu kokeiden lämpösummakeškiarvo on ominaisuudesta riippuen lähellä 1300 d.d. (1284–1302 d.d.) (taulukko 7). Mallin ennusteissa käytetyt lämpösummat 1350 d.d. ja 1250 d.d. ovat niin lähellä keskiarvoa, että niitä koskevia ennusteita voidaan pitää suhteellisen luotettavina. Sitä vastoin pohjoisempana alueilla, joiden lämpösumma on alle 1200 d.d., koeviljelyksiä on niin vähän, että luotettavia ennusteita alkuperien menestymisestä ei voida tehdä.

Mallit antavat ennusteita 1–7 asteen leveysastesiirroille. Yksi leveysaste on 111 km, joten siirtomatkaa malleissa on 111–777 km. Vastaavasti malli antaa ennusteita pituusastesiirroille -8 asteesta (idästä länteen) +3 asteeseen (lännestä itään). Pituusasteen pituus vaihtelee leveysasteen mukaan siten, että se on 60. leveysasteen kohdalla n. 55 kilometriä ja 55. leveysasteen kohdalla n. 60 km. Siirtomatka malleissa on siis pisimmillään n. 440–480 km idästä ja 165–180 lännestä. Keskimääräinen siirtomatka malleissa on 4,53–4,82 (n. 500 km) astetta etelästä pohjoiseen ja 2,42–3,03 (n. 150 km) astetta idästä länteen.

Elävyys

Elävyyttä koskevan mallin selitysaste oli alhainen ($R^2=7,6\%$), toisin sanoen valtaosa elävyyden vaihtelusta oli selittämätöntä. Elävyyden vaihteluun vaikuttivat siis pääasiassa jotkin muut tekijät kuin siemenen siirtomatka tai koepaikan lämpösumma.

Leveysastesiirron piteneminen vaikutti elävyyteen varsin vähän. Loiva laskeva trendi näkyi kuitenkin silloin, kun pituusastesiirto oli idästä länteen päin. Toisaalta elävyys hieman kasvoi leveysastesiirron pidetessä silloin, kun pituusastesiirto oli lännestä itään.

Mallin ennusteen mukaan alhaisin elävyys liittyisi virolaisten alkuperien siirtämiseen koilliseen päin. Tämä tulos johtuu pitkälti kahden virolaisen alkuperän heikosta elävyydestä Imatran kokeessa 270/02, joka on jo lopetettu. Koska Itä-Suomessa on alkuperäkokeita vähän, tuloksissa korostuu tämän yhden kokeen tulos. Kokeen muiden virolaisalkuperien elävyydet olivat lähellä suomalaisten vertailuerien keskiarvoa.

Mallin antaman ennusteen mukaan venäläisillä alkuperillä tehdyillä lyhyillä leveysastesiirroilla saavutetaan korkein elävyys, joka on jopa korkeampi kuin paikallisilla suomalaisilla vertailu-alkuperillä. Tähän tulokseen on kuitenkin syytä suhtautua varauksellisesti, sillä venäläisiä alkuperiä on vain yhdessä kokeessa (995/02 Tammisaari). Lisäksi tässä kokeessa on vain kaksi vertailuerää, joista toinen (työnumero 30 Tammisaari) on elävyydeltään ja kasvultaan huomiota herättävän

heikko (erän 30 elävyys 68 %, kun kokeen keskiarvo 79 %). Voidaan jopa epäillä, että erä 30 olisi vaihtunut johonkin toiseen tuntemattomaan erään. Jos erä 30 jätettäisiin pois analysista, venäläisten elävyys asettuisi toisen suomalaiserän (työnumero 29 Tuusula, elävyys 82 %) tasolle.

Venäläiseriä sisältävään kokeeseen 995/02 liittyvä epävarmuus, joka johtuu vertailuerien pienestä määrästä, koskee myös eräitä muita tutkimusaineiston kokeita. Valkovenäläissarjan kokeessa 655/03 (Kemiö) on vain yksi vertailuerä, mistä syystä tämän kokeen suhteellisia eroja voidaan pitää varsin epäluotettavina. Sama pätee Latvian erien kokeeseen 535/03 (Tammisaari). Paras tilanne puolestaan on Viro-Puola-koesarjassa 270, jonka useimmissa osakokeissa on kuusi vertailuerää.

Ulkomaisten alkuperien elävyys oli keskimäärin alempi kuin suomalaisten paikallisten vertailuerien. Ero oli kuitenkin yleensä vain muutamien prosenttiyksiköiden luokkaa. Näin pienillä eroilla ei ole käytännön merkitystä, joten erot elävyydessä eivät olisi este Baltian, Länsi-Venäjän, Valko-Venäjän tai Koillis-Puolan alkuperien käytölle metsänviljelyssä eteläisimmässä Suomessa.

Syitä elävyyseroihin ei tässä tutkimuksessa saatu selville. Alhaisempi elävyys saattaa johtua puutteellisesta syyshallan- ja talvenkestävyydestä. Vaikka syyshalla- tai pakkasvauriot eivät olisikaan välittömänä syynä kuolleisuuteen, ne voivat toistuessaan heikentää tainta siinä määrin, että se hautautuu pintakasvillisuuden alle ja kuolee.

Yhtenä syynä kuolleisuuteen voivat olla myös myyrätuhot taimivaiheessa. Rousi ja Sikanen (1999) tutkivat Metlan Etelä-Suomeen perustamien kuusen alkuperäkokeiden inventointeja 3–8 vuoden iässä ja havaitsivat, että Keski- ja Itä-Euroopasta siirretyillä alkuperillä oli enemmän myyrätuhoja kuin suomalaisilla alkuperillä.

Kuolleisuutta voivat aiheuttaa myös kasvitaudit. Tässä tutkimuksessa ilmeni, että koropuiden osuus on ulkomaisilla alkuperillä suurempi kuin kotimaisilla paikallisilla vertailuerillä. Korovauriot voivat johtaa puun kuolemaan. Patogeeniset sienet voivat joko yksinään tappaa puun tai ne voivat heikentää puuta siinä määrin, että tuhohyönteiset pääsevät iskeytymään siihen. Viime vaiheessa puun latva tai runko voi katketa lumikuorman painosta (kuva 33).

Alttius korosairaudelle voi siis lisätä kuolleisuutta vasta kun puusto on jo varttunut. Tällä ei olisi suurta merkitystä, jos koropuut pystyttäisiin poistamaan tarkoin harvennuksissa. Käytännössä näin harvoin tapahtuu. Kun lisäksi korosairaus voi yleistyä vasta harvennusten jälkeen, siihen liittyy riski lopullisen puusadon määrän pienenemisestä ja laadun heikkenemisestä.

Epävarmuutta ulkomaisten kuusialkuperien osalta lisää myös se mahdollisuus, että tulevaisuudessa ilmenisi uusia tauti- tai hyönteistuhoja, joista nykyisin ei ole mitään merkkejä nähtävissä. Tämä uhkakuva koskee toki myös kotimaisia kuusialkuperiä. Toisaalta on esitetty, että eteläiset kuusialkuperät pystyisivät sopeutumaan ennustettuun lämpimämpään ilmastoon jopa paremmin kuin alkuperäiset kotimaiset kuusemme (Kellomäki ym. 2005). Alkuperäkokeiden kehitystä ja terveydentilaa on joka tapauksessa tarpeen seurata vielä pitkään, mieluusti taloudellisen kiertoajan loppuun asti.

Pituus

Mallin antaman ennusteen mukaan suhteellisen puun pituuden maksimi, 105–107 %, saavutetaan 3–5 leveysasteen siirrolla etelästä pohjoiseen, mutta jo 1–2 asteen siirrolla saavutetaan lähes yhtä suuri pituus. Etelä-Suomessa Salpausselän eteläpuolella eli 60. ja 61. leveysasteiden välissä pituuden



Kuva 33. Valkovenäläinen kuusi on katkennut koron kohdalta. Koe 655/01 Vihti.

maksimi saavutettaisiin siis siemensirroilla Latviasta (56.–58. leveysaste) ja Valko-Venäjän pohjoisosista. Viron alkuperillä päästään lähes samaan pituuden lisäykseen.

Edellä mainittu tulos on saatu koeviljelyksistä, joiden keskipituus on yli viisi metriä. Nuorissa koeviljelyksissä, joiden puuston pituus on tätä pienempi, ulkomaisten alkuperien suhteellinen pituus on 130 %. Tulos johtuu Viron ja Puolan alkuperien suuresta suhteellisesta pituudesta koesarjan 270 osakokeissa 2 (Imatra), 5 (Geta) ja 6 (Eurajoki), joiden mittausta on tehty 15 vuoden iässä.

Eteläisten alkuperien nopean nuoruusvaiheen kasvun yhtenä syynä on todennäköisesti niiden kevähallan kestävyys. Ne aloittavat kasvunsa myöhemmin keväällä kuin suomalaiset alkuperät, jotka saattavat kevähallissa menettää latvakasvaimensa. Myöhemmin puuston varttuessa kevähallasta on vähemmän haittaa, koska pakkasasteita esiintyy yleensä vain alimmissa ilmakerroksissa lähellä maan pintaa. Tämä selittäisi ulkomaisten ja suomalaisten suhteellisen pituuseron supistumista iän myötä.

Suomalaisten paikallisten alkuperien kevähallan arkuus ei ole haitta, jos ajatellaan kuusen sopeutumista luontaiseen uudistumiseen. Kuusihan pystyy hyvin uudistumaan verhopuuston alla, joka antaa suojaan halleja vastaan (Kalela 1961). Verhopuuston alla saattaa olla hallayöinä 4–8 astetta lämpimämpää kuin aukealla paikalla (Christersson 1984). Kuusen hallanarkuudesta on tullut ongelma vasta metsänviljelyn myötä, kun kuusta on alettu istuttaa avohakkuualueille.

Kuusen alkuperäkokeiden tulosten arvioimista vaikeuttaa se, että kuusi on puulajina herkkä paikallisille olosuhteille, etenkin kasvupaikan hallaisuudelle. Tästä syystä kuusialkuperien menestymistä saatetaan tulkita siemensierrosta eli suurilmastosta johtuvaksi silloinkin, kun kysymys on puhtaasti paikallisten olosuhteiden vaikutuksesta. Kuusi saattaa sietää pitkiäkin siirtoja, jos paikalliset olosuhteet ovat edulliset, kun taas epäedullisella kasvupaikalla lyhytkin siirto saattaa antaa huonon tuloksen.

Siirron vaikutus pituuskasvuun on samansuuntainen Ruotsissa tehdyn tutkimuksen (Kroon ja Rosvall 2004) tulosten kanssa. He tutkivat kuusen siemensierrojen vaikutusta pituuteen Pohjois-Ruotsissa regressiomallin avulla. Aineisto koostui kahdeksasta 17 vuoden ikäisestä kokeesta, jotka sijaitsivat 61. ja 67. leveysasteen välillä, sekä kahdeksasta siemenerästä, jotka olivat peräisin 59. ja 67. leveysasteen väliltä. Tutkimuksen yksi päätuloksista oli se, että lauhkeassa ilmastossa voidaan tehdä pitempiä siemensierroja pohjoiseen kuin kylmässä ilmastossa. Vastaavasti myös saavutettu kasvunlisäys oli lauhkeassa ilmastossa suurempi kuin kylmässä ilmastossa. Optimaalinen siirtomatka oli lauhkeassa ilmastossa noin neljä leveysastetta ja kylmässä ilmastossa noin kaksi leveysastetta (Kroon ja Rosvall 2004).

Rungon läpimitta

Mallin ennuste ei ole yhtä selväpiirteinen läpimitan kuin pituuden osalta. Pääsääntöisesti siirto etelästä pohjoiseen merkitsee suurempaa läpimittaa kuin suomalaisilla kuusilla – ei kuitenkaan aina. Leveysastesierroissa siirtomatkan piteneminen ei mainittavasti pienennä läpimittaa Suomen etelärannikolla (1350 d.d.). Sisämaassa (1250 d.d.) leveysastesierroilla on suurempi vaikutus: Viron alkuperien kuusilla on suurempi läpimitta kuin Puolan alkuperillä.

Pituusastesiirron vaikutus ilmenee etelärannikolla siten, että Länsi-Venäjän alkuperien läpimitta on suurin. Tähän tulokseen liittyy kuitenkin epävarmuustekijöitä, joita tarkasteltiin elävyyden yhteydessä. Sisämaassa sen sijaan lännestä itään siirretyillä alkuperillä on suurempi läpimitta kuin idästä länteen siirretyillä.

Runkotilavuus

Lähes kaikilla tarkastelluilla siemensierroilla saavutetaan paikallisia vertailueriä suurempi runkotilavuus. Mallin ennusteen mukaan sisämaassa suurin runkotilavuus saavutetaan lyhyillä leveysastesierroilla, joihin yhdistyy lyhyt siirto lännestä itään. Sisämaassa kannattaisi siten käyttää lähinnä virolaisia alkuperiä.

Rannikolla (1350 d.d.) sitä vastoin pitemmät 4–7 leveysasteen siirrot, jotka tarkoittavat lähinnä Valko-Venäjän ja Länsi-Venäjän alkuperiä, johtavat suurempaan runkotilavuuteen kuin virolaisten alkuperien käyttö. Rannikolla siirrot idästä länteen ovat edullisempia kuin siirrot lännestä itään. Tulos johtuu lähinnä länsivenäläisten ja valkovenäläisten alkuperien suuresta runkotilavuudesta lounaisrannikon koeviljelyksissä. Tässä korostuvat etenkin kokeen 655/03 (Kemiö) valkovenäläiserät, joiden suhteelliset arvot olivat erittäin korkeita. Tämä puolestaan johtuu siitä, että kokeessa on vain yksi vertailuerä, joka on kasvanut huonosti.

Suomessa tehtyjen puuainetutkimusten perusteella kuusen alkuperäsiirrot vaikuttavat kannattavilta pyrittäessä lisäämään kuiva-aineen tuottoa. Velling (1976) tutki kuusialkuperien puuainetiheyden vaihtelua Punkaharjulla vuonna 1931 perustetussa kokeessa, jossa on mukana alkuperiä Suomen lisäksi kaksi kappaletta luovutetusta Karjalasta, viisi Saksasta ja yksi Virosta, Latviasta,

Norjasta ja Sveitsistä. Puun tiheydessä oli merkitseviä eroja alueiden välillä, mutta leveysaste ei selittänyt tiheyden vaihtelua. Kuutiomäärän ja tiheyden välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio. Eteläisillä alkuperillä oli suurempi kuiva-aineen tuotto kuin pohjoisilla alkuperillä. Myös toisessa tutkimuksessaan, jonka aineisto käsitti kuusi alkuperäkoetta, Velling (1980) havaitsi alkuperien välillä tilastollisesti merkitseviä eroja puuaineen tiheydessä, mutta erot eivät ryhmittyneet alkuperän leveysasteen tai korkeuden (altitudin) mukaan. Tiheyden alkuperävaihtelu ei ollut sitä luokkaa, että se asettaisi lupaavat alkuperäsiirrot kyseenalaisiksi.

Puuston tilavuus

Mallin perusteella pisimmät 6–7 leveysasteen siirrot etelästä pohjoiseen johtavat joko vain pieneen lisäykseen puuston tilavuudessa paikallisiin vertailueriin verrattuna tai jopa vertailueriä pienempään puuston tilavuuteen.

Lyhyet 1–3 asteen siirrot etelämpää ovat Etelä-Suomessa puuston tilavuuden kannalta edullisimpia, mikä merkitsee Viron ja Latvian sekä näiden kanssa samoilta leveysasteilta Länsi-Venäjältä peräisin olevien alkuperien käyttöä. Saatu tulos on samansuuntainen Ruotsissa tehdyn tutkimuksen tulosten kanssa. Westin ym. (2002) tutkivat leveysastesiirron vaikutusta Pohjois-Ruotsissa neljässä kuusen kenttäkokeessa 46 vuoden iässä. Kokeet sijaitsivat 62. ja 66. leveysasteen välissä. Kahdesta neljään asteen siirto pohjoiseen antoi suurimman tilavuuskasvun lisäyksen.

Pituusastesiirron osalta puuston tilavuuden malli on samankaltainen kuin läpimitan ja runkotilavuuden mallit: rannikolla (1350 d.d.) suurimman puuston tilavuuden tuottaa siirto idästä länteen, sisämaassa (1250 d.d.) siirto lännestä itään.

Korot

Koropuiden osuus on mallin antaman ennusteen mukaan lyhyiden leveysastesiirtojen yhteydessä jopa pienempi kuin paikallisilla vertailualkuperillä, mutta osuus kasvaa siirtomatkan kasvaessa. Pituusastesiirto vaikuttaa siten, että koropuiden osuus on lännestä itään siirretyillä alkuperillä suurempi kuin idästä länteen siirretyillä.

Käytännössä tulokset tarkoittavat sitä, että virolaisilla ja Viron leveysasteilta peräisin olevilla venäläisillä alkuperillä koropuiden osuus on verraten pieni. Näitä alkuperiä voidaan turvallisesti käyttää eteläisimmässä Suomessa. Sen sijaan valkovenäläisillä ja puolalaisilla alkuperillä koropuiden osuus on niin suuri, että niitä ei pitäisi käyttää Suomessa. Sama todennäköisesti koskee Liettuan alkuperiä, joita kuitenkin on aineistossa niin vähän, että pitävää näyttöä niiden koroalttiudesta ei ole.

Latvian alkuperillä koropuiden osuus on korkeampi kuin Viron alkuperillä, mutta matalampi kuin Puolan ja Valko-Venäjän alkuperillä. Viron alkuperät ovat siten suositeltavampia kuin Latvian alkuperät. Meille lähinnä sopivimmat Latvian alkuperät löytynevät maan luoteisosasta läheltä Viron rajaa.

Koropuiden osuus on sisämaassa (1250 d.d.) alempi kuin rannikolla (1350 d.d.). Syynä voi olla se, että sisämaan koeviljelykset kasvavat keskimäärin karummilla mailla kuin rannikon kokeet. Karummalla kasvupaikalla ja kylmemmässä ilmastossa paksuuskasvu on hitaampaa, jolloin koroja aiheuttavien runkohalkeamien riski on todennäköisesti pienempi.

Dietrichson ym. (1985) tutkivat kuusen runkohalkeamien esiintymistä 31 alkuperäkokeessa Norjassa. Alkuperien välillä oli suuria eroja; eniten halkeamia oli Saksan, Tšekkoslovakian ja Etelä-Puolan alkuperillä, joilla jopa 40–50 % puista saattoi olla kuorivaurio. Hieman vähemmän halkeamia oli Alppien, Koillis-Puolan, Baltian ja Länsi-Venäjän alkuperillä ja vähiten Norjan, Suomen ja Pohjois-Ruotsin alkuperillä. Paksuissa rungoissa oli enemmän halkeamia kuin ohuissa. Viljava maaperä ja harva istutus lisäsivät halkeamien riskiä.

Dietrichsonin ym. (1985) mukaan pakkanen ei ole tärkein syy halkeamiin vaan kesän kuivuus. Mikroskooppiset havainnot osoittivat, että monet halkeamat olivat muodostuneet kasvukauden loppupuolella. Keskieurooppalaisten kuusten alttiutta halkeamille selitti se, että ne muodostavat kesäpuuta myöhemmin ja niiden puuaineen tiheys on alempi kuin pohjoismaalaisilla kuusilla.

Persson (1994) tutki runkohalkeamien esiintymistä 16 alkuperäkokeessa Etelä-Ruotsissa ja Etelä-Norjassa. Nopeakasvuissa kuusialkuperissä oli enemmän halkeamia kuin hidaskasvuissa. Vähemmän halkeamia kuin voisi paksuuskasvun perusteella olettaa, oli Suomen, Baltian, Valko-Venäjän, Länsi-Venäjän ja Koillis-Puolan alkuperillä. Slovakian ja Romanian alkuperillä oli puolestaan enemmän halkeamia kuin voisi niiden paksuuskasvun perusteella olettaa.

Persson (1994) totesi, että useimmat halkeamat syntyivät kesäpuun kehittyessä vuosilustoon ja että heinäkuussa alkanut kuuma kuiva sää edisti halkeamien syntyä. Talvivauriot eivät suinkaan olleet syynä halkeamiin vaan päinvastoin puut, jotka olivat kärsineet talvivaurioista ja karistaneet neulasiaan, olivat kasvaneet hitaammin ja olivat vähemmän alttiita saamaan halkeamia. Perssonin (1994) mukaan viljavilla kasvupaikoilla ei tulisi käyttää nopeakasvuista alkuperiä. Hän myös suosittelee tiheää $1,5 \times 1,5$ metrin istutusväliä hillitsemään paksuuskasvua ja siten halkeamista.

Dietrichsonin ym. (1985) ja Perssonin (1994) tietoja voitaisiin Suomessa soveltaa siten, että nopeakasvuisten kuusialkuperien istutus- ja kasvatustiheydet olisivat normaalia suurempia. Viljavampia kasvupaikkoja tulisi välttää, samoin lannoitusta.

Vasiliauskas ym. (2001) tutkivat runkohalkeamia ja sienikoroja 36-vuotiaassa kuusen vartesiemen-viljelyksessä Liettuassa. Klooneit olivat liettualaisia pluspuita. Kloonein keskiläpimitan ja haljenneiden runkojen osuuden välillä havaittiin selvä yhteys; kloonein sisällä paksuissa rungoissa oli useammin halkeamia kuin ohuissa. Puista, joissa oli halkeamia, kuoli 33,5 % 12 vuoden aikana, kun taas puista, joissa ei ollut halkeamia, kuoli vain 3,9 %. Haljenneisiin puihin iskeytyi usein ukkoniluri (*Dendroctonus micans*), mikä voi johtaa puun kuolemaan. Sienien merkitys halkeamien esiintymisessä jäi epäselväksi: sekä terveistä että haljenneista rungoista löytyi *Sarea resinæ* ja *Sarea difformis* -sieniä.

Poikaoksat

Tutkimusaineiston ulkomaisilla alkuperillä on pääsääntöisesti vähemmän poikaoksia kuin kotimaisilla vertailu-alkuperillä. Poikaoksat ovat paksuja pystyoksia, jotka syntyvät yleensä latvanvaihdon seurauksena. Poikaoksat heikentävät sahatavaran laatua.

Rannikolla (1350 d.d.) siirtomatkan piteneminen etelästä merkitsee poikaoksapuiden suurempaa määrää. Erityisesti Puolan alkuperillä poikaoksapuiden osuus on suuri, jopa korkeampi kuin suomalaisilla alkuperillä. Sisämaassa (1250 d.d.) poikaoksapuiden osuus ei mainittavasti muutu etelä-pohjois-suuntaisen siirtomatkan kasvaessa.

Pituusastesiirto vaikuttaa siten, että idästä länteen siirretyillä alkuperillä on vähemmän poikaoksapuita kuin lännestä itään siirretyillä. Erityisesti venäläisillä alkuperillä on vähän poikaoksia. Venäläiserien tuloksiin liittyy kuitenkin epävarmuutta, kuten edellä on todettu.

Poikaoksapuiden suuri osuus suomalaisilla alkuperillä johtuu todennäköisesti siitä, että niillä tapahtuu latvakasvaimen vaihdoksia kevähallujen yhteydessä useammin kuin muilla alkuperillä. Toinen syy latvakasvaimen vaihdoksiin voi olla tuomiruoste, jota esiintyy aikaisin kasvunsa aloitavilla kuusilla enemmän kuin myöhäisillä kuusilla (Napola, M-L 2010).

Puolalaisilla alkuperillä havaittu suuri poikaoksapuiden osuus johtunee siitä, että niillä latvakasvaimen vaihdoksia tapahtuu syyshallojen tai talvipakkasten takia enemmän kuin muilla alkuperillä.

5.4 Johtopäätöksiä

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ulkomaisten kuusialkuperien menestymistä ja käyttömahdollisuuksia Etelä-Suomessa. Tutkimuksessa keskityttiin Itä-Euroopan alankoalkuperiin ja Keski-Euroopan vuoristoalkuperät jäivät vähemmälle huomiolle.

Itä-Euroopan alankoalkuperien etuja suomalaisiin alkuperiin verrattuna ovat nopeampi kasvu, vähäisemmät kevähallavauriot ja poikaoksapuiden pienempi osuus. Kasvun paremmuus tulee esille selkeimmin etelärannikon ja Ahvenanmaan viljelyalueella ja vähenee sisämaassa viljelypaikan lämpösumman pienentyessä.

Itä-Euroopan alankoalkuperien heikkouksia suomalaisiin alkuperiin verrattuna ovat suurempi koropuiden osuus, runsaammat myyrätuhot sekä runsaammat ja vakavammat syyshalla- ja talvivauriot poikkeuksellisen epäedullisina vuosina.

Rannikon viljelyalueella, johon kuuluvat etelä- ja lounaisrannikon lisäksi lounaissaaristo ja Ahvenanmaa, menestyvät useat ulkomaiset alkuperät. Tällä viljelyalueella kasvavat kokeiden perusteella suomalaisia nopeammin Viron, Latvian, Länsi-Venäjän, Valko-Venäjän ja Koillis-Puolan alkuperät. Sama koskee todennäköisesti myös Liettuan alkuperiä, joita rannikon kokeissa ei ole. Vuoristoalkuperistä rannikolla menestyvät parhaiten Saksan Böhmerwaldin alkuperät.

Korovaurioriskin takia rannikon viljelyalueelle voidaan suositella vain Viron ja Länsi-Venäjän alkuperiä. On todennäköisestä, että myös Koillis-Latvian alkuperät ovat tällä alueella käyttökelpoisia, mutta niitä ei ole kokeissa mukana. Jos Valko-Venäjän, Latvian, Liettuan ja Koillis-Puolan alkuperiä halutaan rannikkoalueella käyttää, niiden viljelyssä tulisi välttää rehevimpiä kasvupaikkoja, kuten peltoja ja lehtomaisia kankaita, joissa korovaurioiden riski on keskimääräistä suurempi.

Sisempänä Etelä-Suomessa voidaan varauksetta suositella vain virolaisten kuusialkuperien viljelyä. Todennäköisesti myös Pihkovan ja Novgorodin venäläisalkuperät menestyvät samoilla alueilla Suomessa kuin Kaakkois-Viron alkuperät, mutta koeviljelytuloksiin perustuvaa näyttöä tästä ei ole. Sama koskee Koillis-Latvian alkuperiä. Viron alkuperät menestyvät koetulosten perusteella ainakin alueilla, joiden lämpösumma on vähintään 1250 d.d.. Todennäköisesti virolaisia alkuperät menestyvät hyvin myös alueilla, joiden lämpösumma on 1200–1250 d.d., mutta niitä ei ollut riittävästi tutkimusaineistossa asian varmistamiseksi. Sisämaassa kannattaa käyttää ensisijassa itävirolaisia alkuperiä ja siellä on syytä erityisesti välttää Viron länsirannikon alkuperiä.

Käsillä oleva tutkimus vahvistaa pääpiirteittäin oikeaksi Tapion suosituksen (2006), jonka mukaan Viron alkuperiä voidaan viljellä Salpausselän eteläpuolella. Tapion suosituksessa mainitaan lisäksi, että Etelä-Suomessa kuusen alkuperiä tulisi siirtää alueilta, joiden lämpösumma on 100–300 d.d. korkeampi kuin viljelyalueella. Ohjetta olisi kuitenkin syytä täsmentää siten, että se koskisi yksiselitteisesti vain Suomen sisällä tapahtuvia siirtoja. Jos suositusta sovellettaisiin sanatarkasti myös ulkomaisiin alkuperiin, se sallisi arveluttavan pitkät siirrot esimerkiksi Valko-Venäjän pohjoisosista jopa Salpausselän pohjoispuolelle asti.

5.5 Tulevat tutkimustarpeet

Kuusen alkuperätutkimusta tulisi edelleen jatkaa, koska monet alkuperiin liittyvät kysymykset jäivät käsillä olevassa tutkimuksessa vaille vastausta.

Siemenhuollon ja metsänviljelyn kannalta yksi keskeisimmistä kysymyksistä on, voidaanko Viron alkuperiä käyttää alueilla, joiden lämpösumma on alle 1250 d.d.. Tutkimuksen aineistossa ei ollut riittävästi virolaisalkuperiä tämän asian selvittämiseen. Lisävalaistusta asiaan voidaan hankkia viidestä koeviljelyksestä, jotka Metsänjalostussäätiö perusti 1990-luvulla alueille, joiden lämpösumma on 1230–1150 d.d.. Kussakin kokeessa testataan 2–3 virolaista kuusialkuperää.

Myös Keski-Euroopan vuoristoalkuperien menestymistä voidaan tutkia olemassa oleviin koeviljelystutkimuksiin perustuen. Tämä aihe jäi tässä tutkimuksessa vähälle huomiolle. Tuoreita mittauksia ja inventointeja olisi tehtävä etenkin Böhmerwaldin ja Karpaattien alkuperistä.

Uusien alkuperäkokeiden tarve on ilmeinen. Erityisesti tulisi perustaa maantieteellisesti kattava koesarja, joka sisältäisi ruotsalaisia kuusialkuperiä. Kuusen nykyisistä alkuperäkokeista ruotsalaiset alkuperät puuttuvat lähes kokonaan. Ruotsi on kuitenkin ollut tärkein kuusen siementen ja taimien tuontimaa jo pitkään. Sisämaahan tulisi perustaa koeviljelyksiä, jotka sisältäisivät Venäjän, Latvian ja Liettuan alkuperiä. Latvian ja Liettuan alkuperiä on sisämaan kokeissa toistaiseksi niukasti, ja lupaavat Venäjän alkuperät puuttuvat niistä kokonaan.

Nykyisistä alkuperäkokeista olisi pidettävä hyvää huolta. On varmistettava, että kokeita säilyy riittävä määrä pitkäaikaista seuranta varten ja että niissä on monipuolisesti edustettuina eri lähtöisyysalueiden alkuperiä. Sellaisetkin alkuperät, jotka tällä hetkellä vaikuttavat hyödyttömiltä, saattavat tulevaisuudessa ilmaston muuttuessa osoittautua hyvinkin käyttökelpoisiksi tutkimuskohteiksi.

Alkuperäkokeet kertovat, miten eri alkuperät ovat menestyneet viime vuosikymmeninä vallinneessa ilmastossa. Niistä ei voi kuitenkaan suoraan päätellä, miten eri alkuperät tulevat menestymään seuraavien vuosikymmenten ilmastossa. Etelä-Suomessa ilmasto saattaa muuttua kuusen kannalta epäedullisemmaksi, sillä etenkin pitkät kuivuuskaudet voivat heikentää kuusia (Kellomäki ym. 2005). Myös kevähallavaurioiden riski saattaa kasvaa (Langvall 2011), mikä puoltaisi eteläisten myöhään keväällä kasvunsa aloittavien kuusialkuperien käyttöä. Toisaalta alkuperäsiirrot eivät ole mikään yleispätevä ratkaisu, sillä vuosisadan loppuun mennessä olosuhteet Etelä-Suomessa voivat muuttua epäedullisiksi myös eteläisten alkuperien kannalta. Tähän ongelmaan on ratkaisuksi esitetty muun muassa alkuperien välisiä risteymiä (Pulkkinen ja Varis 2012). Joka tapauksessa on todennäköistä, että tulevaisuudessa kiinnostus ulkomaisten kuusialkuperien käyttöä kohtaan lisääntyy, ja sitä mukaa myös alkuperätutkimuksen merkitys korostuu.

Kiitokset

Tämä opinnäytetyö perustuu Metsäntutkimuslaitoksen professorin Max. Hagmanin (1923–2008) kauaskantoiseen työhön, jota hän yli puolen vuosisadan ajan teki kuusen alkuperätutkimuksen parissa. Professori Hagman perusti vuosina 1954–1989 kaikkiaan 95 kuusen alkuperä- eli prove-nienssikoetta, joista tässä tutkimuksessa on tarkasteltu 31 koetta.

Tutkimus on tehty Metsäntutkimuslaitoksen (Metlan) Etelä-Suomen alueyksikössä, jonka johtajaa dosentti Jari Varjoa kiitän hyvistä työskentelyedellytyksistä. Tutkimus on liittynyt kolmeen Metlan hankkeeseen: 'Jalostetun metsänviljelyaineiston tuotannon ja käytön tehostaminen' (nro 3457), 'Kasvurytmin, tauti- ja tuholaiskestävyysmuuntelun hyödyntämismahdollisuudet metsänjalostuk-sessa ja geenivaratyössä' (nro 3538) sekä 'Metsänviljelyaineistojen käyttöalueiden määrittely' (nro 3590).

Metlan metsägenetiikan professoria Katri Kärkkäistä kiitän hyvien työskentelyedellytysten järjes-tämisestä sekä kannustavasta suhtautumisesta tutkimustyötäni kohtaan. Professori emeritus Veikko Koskea kiitän arvokkaista neuvoista ja rohkaisusta työni alkuvaiheessa.

Opinnäytetyön ohjaajana on toiminut dosentti Matti Haapanen. Kiitän häntä lämpimästi perusteelli-sesta, asiantuntevasta ja kannustavasta opastuksesta työn eri vaiheissa, mittausaineiston käsittelystä alkaen aina käsikirjoituksen viimeistelyyn asti. Haluan kiittää myös ohjausryhmän muita jäseniä MMT Pirkko Vellingiä, MMT Anneli Viherä-Aarniota ja MML Marja-Leena Napolaa sekä työn seurantaryhmän jäseniä professori Teemu Teertä ja MML Jouni Mikolaa hyödyllisistä ohjeista ja neuvoista sekä kannustuksesta ja tuesta.

MMT Seppo Ruotsalaista ja MMT Anneli Viherä-Aarniota kiitän tutkimuksen käsikirjoitusta koske-vista rakentavista kommentteista ja parannusehdotuksista. Heitä sekä MMT Egbert Beukeria kiitän siitä hyödyllisestä tietojen ja ajatusten vaihdosta, jota olemme harrastaneet viime vuosina alku-peräkysymysten tiimoilla.

Tämän tutkimuksen tekemiseen ovat osallistuneet useat Metlan työntekijät. Erityisesti haluan kiittää Esa Ekiä ja Elvi Pääkköstä, jotka vastasivat viime vuosina suurimmasta osasta koevilje-lysten mittauksia. Koeviljelyksiä mittasivat myös muun muassa Markku Ahlqvist ja Arvi Laurila Lopella, Sakari Silvennoinen ja Heikki Partanen Punkaharjulla ja Ari Ryyänen ja Pauli Alavataja Parkanossa. Koeviljelyksiä ja niiden alkuperiä sekä ulkomaisten siemenerien käyttöalueita koskevat tiedot olen saanut Metsägeneettisestä rekisteristä Raija Koskelta sekä MMM Leena Yrjänältä. Julkaisun taiton teki Sari Elomaa ja alkuperäkartat Anne Siika. Tietoteknisissä ongelmissa olen saanut apua Raija Viirrokselta. Kaikille tutkimukseen osallistuneille esitän kiitokseni.

Tutkimusta on tukenut taloudellisesti Niemi-säätiö, jolle osoitan suuret kiitokset.

Lopella maaliskuussa 2014

Jaakko Napola

Kirjallisuus

- Balut, S. & Sabor, J. 1993. Current state of investigations in the international provenance test of Norway spruce – IUFRO 1964/68 in Krynica / site N19, Poland. Proc. IUFRO Symposium Norway spruce provenances and breeding, Latvia. s. 6–33.
- Beuker, E. 1994a. Adaptation to climatic changes of the timing of bud burst in population of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. Tree Physiology 14: 961–970.
- Beuker, E. 1994b. Long-term effects of temperature on the wood production of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. in old provenance experiments. Scandinavian Journal of Forest Research 9: 34–45.
- Beuker, E. 1996. Implications of climate adaptability in provenance trials with Scots pine and Norway spruce in Finland for the possible effects of climate warming. Väitöskirja. Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan tiedonantoja nro 42. 33 s. + 5 artikkelia.
- Beuker, E., Valtonen, E. & Repo, T. 1998. Seasonal variation in the frost hardiness of Scots pine and Norway spruce in old provenance experiments in Finland. Forest Ecology and Management 107: 87–98.
- Cannell, M.G.R.; Johnstone, R.C.B. 1978. Free or Lammas Growth and Progeny Performance in *Picea sitchensis*. Silvae Genetica 27(6): 248–254
- Christersson, L. 1984. Frost damage during the growing season. Teoksessa: Kaurin, Å., Junttila, O. & Nilsen, J. (toim.). Plant production in the north. s. 191–204.
- Danusevicius, D. 1998. Major influence of latitude and longitude on frost hardiness in the Baltic *Picea abies* (L.) Karst. provenances. Julkaisussa: Skrøppa, T., Paule, L. & Gömöry, D. (toim.). Genetics and Breeding of Norway spruce. Arbora Publishers, Zwolen, Slovakia. s. 15–30.
- Danusevicius, D. & Gabrilavicius, R. 2001. Variation in juvenile growth rhythm among *Picea abies* provenances from the Baltic states and the adjacent regions. Scandinavian Journal of Forest Research 16: 305–317.
- Danusevicius, D. & Persson, B. 1998. Phenology of natural populations of *Picea abies* as compared with introduced seed sources. Forest Genetics 5(4): 221–231.
- Danusevicius, J. 1993. Growth peculiarities of Norway spruce provenances and families in Lithuania. Proc. IUFRO Symposium Norway spruce provenances and breeding, Latvia. p. 38–43.
- Davner, L. 1988. Vitryssar eller rumäner? Skogen 3/88.
- Dietrichson, J. 1979. Norway spruce provenance trials in Nordic countries. Proc. IUFRO Norway spruce meeting S 2.03.11 - S 2.02.11 Bucharest 1979. s. 3–14.
- Dietrichson, J., Rognerud, P., Haveraaen, O. & Skrøppa, T. 1985. Stem cracks in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Reports of the Norwegian Forest Research Institute. 38.21. 32 s.
- Dormling, I. 1979. Influence of light intensity and temperature on photoperiodic response of Norway spruce provenances. Proc. IUFRO Norway spruce meeting S 2.03.11 - S 2.02.11 Bucharest 1979. s. 398–408.
- Dormling, I. 1980. Genekologi. Teoksessa: Lindgren, D.(toim.). Kompendium i skogsgenetik. Skogshögskolan, Umeå. s. 58–77
- Dormling, I. 1982. Frost resistance during bud flushing and shoot elongation in *Picea abies*. Silva Fennica 16(2): 167–177.
- Etverk, I. 1980. Geographical variability of the Norway spruce in the Estonian SSR. Silva Fennica 14(2): 167–177.
- Fottland, H. & Skrøppa, T. 1989. The IUFRO 1964/68 provenance experiment with Norway spruce (*Picea abies*) in Norway. Variation in mortality and height growth. Communications of the Norwegian Forest Research Institute. 43.1. 30 s.
- Friman, L. 2007. Siemenviljelyssiemenalkuperän vaikutus kuusen menestymiseen maan eri osissa sijaitsevilla koeviljelyksillä. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, metsäympäristön hoidon ja suojelun pro gradu, 71 s. + 3 kpl liitteitä.

- Gailis, A. 1993. Norway spruce provenances in Latvia. Proc. IUFRO Symposium Norway spruce provenances and breeding, Latvia. s. 44–49.
- Giertych, M. 1976. Summary results of the IUFRO 1938 Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) provenance experiment. Height growth. *Silvae Genetica* 25(5–6): 154–164.
- Goncharenko, G., Kurm, M., Birgelis, J., Maaten, T., Tamm, Ü., and Shevchenko, L. 2005. Isoenzymes' structure of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in natural populations in Estonia, Latvia and Byelorussia. *Baltic Forestry* 11: 9–19.
- Haapanen, M. 1995. MUUNNOS v. 5.0, metsänjalostusaineistojen esikäsittelyohjelma. Metsänjalostussäätiön työraportteja nro 18. 18 s.
- Hagman, M. 1980. Experiments with Norway spruce provenances in Finland. *Silva Fennica* 14(1): 32–39.
- Hagman, M. 1986. Kuusen pakkasvauriot talvella 1984–85 koetulosten valossa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 263: 68–89.
- Hannerz, M. 1994a. Predicting the risk of frost occurrence after budburst of Norway spruce in Sweden. *Silva Fennica* 28(4): 243–249.
- Hannerz, M. 1994b. Vinterskador på gran. SkogForsk. Resultat nr 18. 4 s.
- Hannerz, M. & Almäng, A. 1997. Utländska gran- och tallprovenienser i svensk skogbruk. Skogforsk. Resultat nr 7.
- Hannerz, M. & Westin, J. 2005. Autumn frost hardiness in Norway spruce plus tree progeny and trees of the local and transferred provenances in central Sweden. *Tree Physiology* 25: 1181–1186.
- Heikinheimo, O. 1949. Tuloksia kuusen ja männyn maantieteellisillä roduilla suoritetuista kokeista. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 37(2): 1–44.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.
- Hämäläinen, L., Palmén, A., Alanko, P. & Tigerstedt, P. 1989. Suomen puu- ja pensaskasvio. Dendrologian seura. Helsinki. ISBN 952-90103-5-4. 290 s.
- Johnsen, O. & Skrøppa, T. 1992. Possible influence of natural and artificial selection on autumn frost hardiness in *Picea abies*. *Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning* 45.3. 12 s.
- Kalela, A. 1937. Zur synthese der experimentelle Untersuchungen über Klimarassen der Holzarten. Dissertation. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 26. 434 s.
- Kalela, E. 1961. Metsät ja metsien hoito. WSOY, Helsinki. 367 s.
- Kellomäki, S., Strandman, H., Nuutinen, T., Peltola, H., Korhonen, K.T. & Väisänen, H. 2005. Adaptation of forest ecosystems, forests and forestry to climate change. FINADAPT Working Paper 4, Finnish Environment Institute Mimeographs 334, Helsinki. 44 s.
- Kiellander, C. & Nilsson, E. 1967. Skillnader i höstfrosthärdighet i ett proveniensmaterial av gran. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift*, 65: 6.
- Kiellander, C. 1970. Studies on populations in *Picea abies* (L.) Karst. with special regard to growth and frost resistance. Carl Bloms boktryckeri A.-B. Lund.
- Koski, V. 1984. Adaptation of trees to the variation in the length of the growing season. Teoksessa: Kaurin, Å., Junntila, O. & Nilsen, J. (toim.). Plant production in the north. s. 267–276.
- Koski, V. & Sievänen, R. 1985. Timing of growth cessation in relation to the variation in the growing season. Teoksessa: Tigerstedt, P.M.A., Puttonen, P. & Koski, V. (toim.). Crop physiology of forest trees. Helsinki University Press, Helsinki, Finland. s. 167–193.
- Koski, V. 1989. Siemensirrot ja ilmastoon sopeutuminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 328. s. 20–37.
- Kroon, J. & Rosvall, O. 2004. Optimal production vid nordförflytning av gran i norra Sverige. Skogforsk, Redogörelse nr 5.
- Krutzsch, P. 1974. The IUFRO 1964/68 provenance test with Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Silvae Genetica* 23: 58–62.
- Kullman, L. 2001. Immigration of *Picea abies* into North-Central Sweden. New evidence of regional expansion and tree-limit evolution. *Nordic Journal of Botany* 21 (1): 39–54
- Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. 451 s.

- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forrestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Lagercrantz, U. and Ryman, N. 1990. Genetic structure of Norway spruce (*Picea abies*): Concordance of morphological and allozymic variation. *Evolution* 44:38–53.
- Laki metsänviljelyaineiston kaupasta 241/2002.
- Langlet, O. 1960. Mellaneuropeiska granprovenienser i svensk skogsbruk. *Staatens skogsforskningsinstitutet. Uppsatser* Nr 80.
- Langlet, O. 1964. Proveniensalets betydelse för produktion och skogsträdsförädling av gran. *Svenska Skogvårdsföreningens Tidskrift* 62:2. s. 145–155.
- Langvall, O. 2011. Impact of climate change, seedling type and provenance on the risk of damage to Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings in Sweden due to early summer frosts. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26(S11): 56–63.
- Latokartano, M. 2012. Vääristä taimista vuosien riesa. *Aarre* 9/12. s. 49–54.
- Leinonen, I. & Hänninen, H. 2002. Adaptation of the timing of bud burst of Norway spruce to temperate and boreal climates. *Silva Fennica* 36(3): 695–701.
- Lilja, A., Rytönen, A., Napola, M-L., Napola, J., Talgo, V., Poteri, M. ja Hantula, J. 2011. *Neonectria-sieni, uusi koropatogeeni kuusella?* *Taimiuutiset* 3/2011: 21–23.
- Matras, J. 1993. Growth of Norway spruce in IUFRO 1972 experiment. In: *Proc. IUFRO Symposium Norway spruce provenances and breeding, Latvia*. s. 100–104.
- Matras, J. 2009. Growth and development of Polish provenances of *Picea abies* in the IUFRO 1972 experiment. *Dendrobiology* 61, Suppl. 145–158.
- Mátyás, C. 1997. Climatic adaptation of trees: rediscovering provenance tests. Teoksessa: Tigerstedt, P.M.A. (toim.), *Adaptation in Plant Breeding*, 49–58, 1997. Kluwer Academic Publishers.
- Metsänviljelyaineiston lähtöisyysalueet. 2011. Elintarviketurvallisuusvirasto. <http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/metsanviljely/kartat/lahtoisuusalueet/>
- Metsänviljelyaineiston tuonti EU:n ulkopuolelta. 2013. Elintarviketurvallisuusvirasto. <http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/tuonti+ja+vienti/metsanviljely/tuonti+eu+n+ulkopuolelta/>
- Metsänviljelyn siemen- ja taimikauppatilastot. 2012. Elintarviketurvallisuusvirasto. <http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/metsanviljely/tilastot+eu+n+sisamarkkinakauppa/>
- Metsätilastollinen vuosikirja 2013. SVT maa-, metsä- ja kalatalous. Metsäntutkimuslaitos. 450 s.
- Mikola, J. 1980. The effect of seed size and duration of growth on the height of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) provenances and progenies at the nursery stage. *Silva Fennica* 14(1): 84–94.
- Napola, J. 2011. Puolan ja Valko-Venäjän kuusialkuperät alttiita korosairaudelle. *Taimiuutiset* 2/2011: 8–10.
- Napola, M-L. 1989. Kuusen kaukoristeymät kasvavat hyvin – Provenienssihybridien menestyminen Etelä-Suomen koeviljelyksissä. *Metsänjalostussäätiö. Tiedote* 1/1989. 4 s.
- Napola, M-L. 1997. The growth and adaptation of the IUFRO 1964/68 Norway spruce provenance material in Finland. *IUFRO Working Party S2.02.11. Norway Spruce Provenances and Breeding. Slovakia* 31.8. – 7.9.1997. *Symposium Abstracts*. s. 23.
- Napola, M-L. 2002. Tuloksia kuusen siemenviljelyserien varhaiskehityksestä Etelä-Suomen jälkeläiskokeissa. *Taimiuutiset* 1/2002: 6–7.
- Napola, M-L. 2010. Kevätfenologia osoittautunut entistä tärkeämmäksi kuusen jalostuksessa. *Taimiuutiset* 1/2010: 9–12.
- Napola, M-L. 2011. Balttilaisten kuusien jalostus alulle. *Metsänjalostus ja metsägenetiikka – uutiskirje* 1/2011. Metsäntutkimuslaitos.
- Neuvoston direktiivi 1999/105/EY metsänviljelyaineiston pitämisestä kaupan.
- Nikkanen, T., Karvinen, K., Koski, V., Rusanen, M. & Yrjänä-Ketola, L. 1999. Kuusen ja männyn siemenviljelykset ja niiden käyttöalueet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 730. 203 s.

- Nikkanen, T. 2008. A review of Scots pine and Norway spruce seed orchards in Finland. Teoksessa: Lindgren, D. (toim.). Seed orchards. Proceedings from a conference at Umeå, Sweden, September 26–28, 2007. Sveriges lantbruksuniversitet, s. 195–198. ISBN 978-91-85911-28-8
- Odin, H., Eriksson, B. & Perttu, K. 1983. Temperaturklimatkartor för svensk skogsbruk. Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära, 45. Sveriges lantbruksuniversitet. 57 s.
- Pajamäki, J. & Karvinen, K. 1991. Metsänjalostuksen koeviljelyseluettelo. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 396. 160 s.
- Partanen, J. 2004. Dependence of photoperiodic response of growth cessation on the stage of development in *Picea abies* and *Betula pendula* seedlings. Forest Ecology and Management 188: 137–148.
- Persson, A. 1980. Proveniensforskning. Teoksessa Lindgren, D.(toim.): Kompendium i skogsgenetik. Skogshögskolan, Umeå. s. 101–115.
- Persson, A. 1994. Stem cracks in Norway spruce in southern Scandinavia: causes and consequences. Annales des Sciences Forestieres. 51: 315–327.
- Persson, A. & Persson, B. 1992. Survival, growth and quality of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) provenances at the three Swedish sites of the IUFRO 1964/1968 provenance experiment. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Yield Research, Report 29. 67 s.
- Prescher, F. 1983. Att frysa eller inte frysa – en granproveniensfråga. Skogsfakta 4/1983. Sveriges Lantbruksuniversitet. 4 s.
- Pulkkinen, P. & Varis, S. 2012. Between and within species differences of adaptive traits - how to select the best trees for future. Teoksessa: Genetic aspects of adaptation and mitigation: forest health, wood quality and biomass production. Latvian Forest Research Institute Silava, AdapCar. 3–5 October 2012, Riga, Latvia. s. 165–166.
- Rehfeldt, G.E., Ying, C.C., Spittlehouse, D.L. & Hamilton, D.A. Jr. 1999. Genetic responses to climate in *Pinus contorta*: niche breadth, climate change, and reforestation. Ecological Monographs. 69(3): 375–407.
- Rosvall, O., Andersson, B. & Ericsson, T. 1998. Beslutsunderlag för val av skogsodlingsmaterial i norra Sverige med trädslagsvisa guider. SkogForsk. Redogörelse, 1: 1–66, ISSN 1103-4580.
- Rousi, M. & Sikanen, H. 1999. Climatic adaptedness of conifers and susceptibility to damages by mammalian herbivores – a case study of *Microtus* voles and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) origins. Teoksessa: Lieutier, F., Mattson, W.J. & Wagner, M.R. (toim.). Physiology and Genetics of Tree-Phytophage Interactions. International Symposium. Gujan (France) August 31 – September 5, 1997. INRA Editions. Les Colloques 90: 122–131.
- Rone, V., Birgelis, J., Gailis, A. & Zvirgzds-Zvirgzdins, J. 1993. The Norway spruce of Latvia: geographical differences and genetic resources. In. Proc. IUFRO Symposium Norway spruce provenances and breeding, Latvia. s. 133–140.
- Ruotsalainen, S. 2010. Alkuperän vaikutus puulajin menestymiseen. (The importance of provenance for the performance of forest trees.) – Sorbifolia 41(4): 149–172. ISSN 0359-3568.
- Ruotsalainen, S. & Haapanen, M. 2011. Kuusen ruotsalaisen siemenviljelysaineiston käyttö-kelpoisuus Suomessa. Taimiuutiset 1/2011: 16–20.
- Sabor, J. 2009. Research on the variability of *Picea abies* in Poland: Genetic and breeding value of spruce populations in the Polish range of the species. Dendrobiology 61, Supplement 7–13.
- Schmidt-Vogt, H. 1977. Die Fichte. Band 1. Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin. 647 s.
- Skrøppa, T. 1982. Genetic variation in growth rhythm characteristics within and between natural populations of Norway spruce. Silva Fennica 16: 160–167.
- Skrøppa, T. & Dietrichson, J. 1986. Winter damage in the IUFRO 1964/68 provenance experiment with Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning 39(10): 161–183.
- Skrøppa, T. & Magnussen. 1993. Provenance variation in shoot growth components of Norway spruce. Silvae Genetica 42: 111–120.
- Sonesson, J. & Karlsson, B. 1995. Val av gran vid skogsodling i Svealand. Resultat 13, 1995. SkogForsk. 4 s.

- Sutinen, S., Partanen, J., Viherä-Aarnio, A. & Häkkinen, R. 2012. Development and growth of primordial shoots in Norway spruce buds before visible bud burst in relation to time and temperature in the field. *Tree Physiology* 32(8): 987–997.
- Tollefsrud, M., Kissling, R., Gugerli, F., Johnsen, Ø., Skrøppa, T., Cheddadi, R., van der Knaap, W.O., Latalowa, M., Terhürne-Berson, R., Litt, T., Geburek, T., Brochmann, C., Sperisen, C. 2008. Genetic consequences of glacial survival and postglacial colonization in Norway spruce: combined analysis of mitochondrial DNA and fossil pollen. *Molecular Ecology* (2008) 17: 4134–4150.
- Ununger, J. 1987. Dynamics of juvenile growth characters in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) full-sib families. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Genetics, Research Notes 39, 20 s. Uppsala. ISBN 91-576-3048-8.
- Varis, S., Dubois, A.-M. & Pulkkinen, P. 2012. Autumn frost hardening development of Scots pine and Norway spruce seedlings in future climate. Teoksessa: Adaptation Research meets Adaptation Decision-Making. Programme and Abstracts of the Second Nordic International Conference on Climatic Change Adaptation, 29–31 August 2012, Helsinki, Finland. s. 65–66.
- Vasiliauskas, R., Juska, E., Stenlid, J. & Vasiliauskas, A. 2001. Clonal differences and relations between diameter growth, stem cracks and fungi in a 36-year-old clonal seed orchard of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) *Silvae Genetica* 50(5-6): 227–233.
- Velling, P. 1976. Mänty- ja kuusiprovenienssien tiheyden vaihtelusta. *Folia Forestalia* 257. 32 s.
- Velling, P. 1980. Mänty- ja kuusialkuperien puuaineen tiheyden vaihtelusta provenienssikokeissa. *Silva Fennica* 14(1): 45–52.
- Werner, M. & Karlsson, B. 1982. Resultat från 1969 års granproveniensserie i syd- och mellansverige. Föreningen Skogsträdsförädling och Institutet för Skogsförbättring, Årsbok 1982. s. 90–127.
- Westin, J., Eriksson, P.-E. & Ulander, P. 2002. Nordflyttad gran i Norrland – fortfarande bäst i provenienstest efter 46 år. Resultat Nr 21/2002. Skogforsk.
- Wright, J.W. 1976. Introduction to forest genetics. New York. Academic Press. 463 s.
- Żółciak, A., Oszako, T., and Sabor, J. 2009. Evaluation of the health status of *Picea abies* provenances growing on the IUFRO 1964/68 experimental plots. *Dendrobiologi* 61, Supplement. s. 63–68.