

# Rauduskoivun alkuperien tuotos ja rungon laatu eri osissa Suomea

Anneli Viherä-Aarnio, Katri Kostiainen, Riikka Piispanen, Pekka Saranpää & Elina Vapaavuori

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](mailto:julkaisutoimitus@metla.fi)

#### Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos  
PL 18  
01301 Vantaa  
puh. 029 532 2111  
faksi 029 532 2103  
sähköposti [info@metla.fi](mailto:info@metla.fi)  
<http://www.metla.fi/>

<b>Tekijät</b> Anneli Viherä-Aarnio, Katri Kostainen, Riikka Piispanen, Pekka Saranpää & Elina Vapaavuori			
<b>Nimeke</b> Rauduskoivun alkuperien tuotos ja rungon laatu eri osissa Suomea			
<b>Vuosi</b> 2014	<b>Sivumäärä</b> 23	<b>ISBN</b> 978-951-40-2507-5	<b>ISSN</b> 1795-150X
<b>Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet</b> VA / Metsänkäsittelyn ja ympäristötekijöiden vaikutus puuaineen kuituominaisuuksiin ja kemialliseen koostumukseen (hanke 3584)			
<b>Hyväksynyt</b> Prof. Katri Kärkkäinen, 27.11.2014			
<b>Tiivistelmä</b> Tutkimuksessa verrattiin kaupallisen ainespuun koon saavuttaneita pohjoiseurooppalaisia rauduskoivu-alkuperiä (peräisin leveysasteilta 53-67°N) sekä selvitettiin etelä-pohjoissuuntaisten siemensierrojen vaikutusta elävyyteen, kasvuun ja runkovikojen määrään maastokokeissa eri osissa Suomea. Pitkäaikaiset provenienssikokeet sijaitsivat viidellä paikkakunnalla (Loppi, Kannonkoski, Ilomantsi, Toholampi ja Rovaniemi).  Alkuperien välillä oli suuria eroja 19-vuotiaiden puiden elävyydessä, pituudessa, läpimitassa, tuotoksessa ja runkovikojen määrässä kaikilla koepaikoilla. Kaikkien tutkittujen ominaisuuksien vaihtelu suhteessa alkuperän leveysasteeseen oli käyräviivainen. Pitkä alkuperäsiirto sekä etelästä että pohjoisesta johti heikkoon tulokseen. Paras elävyys ja vähiten runkovikoja oli paikallisilla tai enintään noin kaksi leveysastetta koepaikkaa pohjoisemmilla alkuperillä. Pituuskasvultaan parhaita olivat paikalliset tai enintään noin kaksi leveysastetta eteläisemmät alkuperät. Samanlainen tulos saatiin myös tuotoksessa Lopen, Kannonkosken ja Toholammin koepaikoilla, kun taas Ilomantsin ja Rovaniemen ankarammissa oloissa paikalliset tai hieman pohjoisemmat alkuperät olivat menestyneet parhaiten. Tulosten perusteella ei ole syytä muuttaa nykyisiä siemensiertosuosituksia rauduskoivulle tai suositella aiempaa pidempiä siemensierroja etelästä pohjoiseen.			
<b>Asiasanat</b> <i>Betula pendula</i> , ilmastoon sopeutuminen, metsänviljely, provenienssi, rauduskoivu, siemensierro			
<b>Julkaisun verkko-osoite</b> <a href="http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp314.htm">http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp314.htm</a>			
<b>Tämä julkaisu korvaa julkaisun</b>			
<b>Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla</b>			
<b>Yhteydenotot</b> Anneli Viherä-Aarnio, <a href="mailto:anneli.vihera-aarnio@metla.fi">anneli.vihera-aarnio@metla.fi</a>			
<b>Muita tietoja</b> Taitto: Anne Siika/Metla			

## Sisältö

<b>1 Johdanto</b> .....	5
<b>2 Aineisto ja menetelmät</b> .....	7
2.1 Kenttäkokeet ja siemenalkuperät .....	7
2.2 Mittaukset .....	9
2.3 Tilastollinen analyysi.....	9
<b>3 Tulokset</b> .....	10
3.1 Elävyys .....	10
3.2 Puiden koko.....	12
3.3 Runkotilavuus/ha .....	14
3.4 Runkoviat.....	14
<b>4 Tulosten tarkastelu</b> .....	16
4.1 Tulosten yhteenveto .....	16
4.2 Siirto etelästä pohjoiseen .....	17
4.3 Siirto pohjoisesta etelään .....	18
4.4 Alkuperän leveysasteeseen perustuvien mallien tarkastelu ja kenttäkokeiden virhelähteet.....	19
4.5 Ilmaston lämpenemisen vaikutukset.....	19
4.6 Johtopäätökset .....	20
<b>Kiitokset</b> .....	20
<b>Kirjallisuus</b> .....	21

## 1 Johdanto

Rauduskoivun kasvatuksen tärkeimpänä tavoitteena maassamme on ollut tuottaa hyvälaatuisia ja järeätä tukkipuuta vaneri- ja sahateollisuuden raaka-aineeksi (Niemistö ym. 2008, Hynynen ym. 2010). Kun kaskiviljelyn tuloksena luontaisesti syntyneet koivikot alkoivat käydä vähiin, aloitettiin 1960-luvulla koivun viljely hyvälaatuisen koivupuun saannin turvaamiseksi. Rauduskoivun vuotuinen viljely saavutti 1990-luvun alkupuolella huippunsa, yli 14 000 ha vuodessa. Pellonmetsityksen vähentyessä sekä suuren hirvituhoriskin vuoksi rauduskoivun viljely on noista ajoista vähentynyt nopeasti vajaan 3000 hehtaariin vuonna 2012 (Metsätilastollinen vuosikirja 2013). Hyvälaatuiselle vanerikoivulle on kuitenkin kysyntää myös tulevaisuudessa, ja koivu on edelleen varteenotettava puulajivaihtoehto mm. uudistettaessa maannouseman vaivaamia kuusikoita, maiseman- ja maanhoidon kannalta sekä monimuotoisuuden lisääjänä (Niemistö ym. 2008).

Ilmaston lämpenemisen on ennustettu lisäävän metsien kasvua Suomessa (Kellomäki ym. 1996, Brizeño-Elizondo ym. 2006). Koivun ennustetaan hyötyvän lämpenemisestä havupuista enemmän (Kellomäki ym. 1996, Way ja Oren 2010) ja yleistyvän havupuiden kustannuksella erityisesti Etelä-Suomessa (Kellomäki ym. 2005). Malleihin perustuvien ennusteiden tueksi on kuitenkin tarpeen saada lisää tietoa koivun kyvystä sopeutua muuttuvaan ilmastoon. Maastoon perustetut proveniensi- eli alkuperäkokeet tarjoavat puiden sopeutumiskyvyn tutkimisessa yhden lähestymistavan (Beuker 1996). Niissä verrataan saman puulajin erilaisia maantieteellisiä alkuperiä samalla kasvupaikalla, ja niiden perusteella voidaan tehdä päätelmiä puiden sopeutumisesta erilaisiin ilmasto-oloihin. Provenienssikokeista saatava tieto puulajien maantieteellisestä vaihtelusta on myös ollut lähtökohdana metsänviljelyaineiston alkuperävalinnalle, siemenalkuperien siirto- ja käyttöaluesuosituksille sekä metsänjalostukselle.

Erilaisten rauduskoivualkuperien menestymisestä sekä siemensierrojen vaikutuksesta menestymiseen tarvitaan lisää tietoa monestakin syystä. Kansallisessa ilmastonmuutosstrategiassamme on ehdotettu metsänviljelyssä käytettäväksi nykyistä eteläisempiä alkuperiä, jotka voisivat pidemmän kasvujaksonsa ansiosta hyödyntää pitenevää kasvukautta paikallisia alkuperiä paremmin. Alkuperiä, joilla on suuri biotisten tai abiotisten tuhojen riski, tulee kuitenkin välttää (Marttila ym. 2005). Yleinen havainto on, että alkuperien siirroilla tietyissä rajoissa etelästä pohjoiseen, ts. leudommasta ilmastosta ankarampaan, voidaan saavuttaa kasvunlisää, mutta pitkät siirrot lisäävät kuolleisuutta ja alentavat tuotosta (White ym. 2007). Myös rauduskoivun tuotosta voidaan lisätä käyttämällä hieman viljelypaikkakuntaa eteläisempiä alkuperiä, mutta samalla rungon laatu heikkenee ja hirvituhoriski kasvaa (Viherä-Aarnio ja Heikkilä 2006, Viherä-Aarnio ja Velling 2008). Pitkät siirrot etelästä pohjoiseen johtavat heikkoon elävyyteen, tuotokseen ja laatuun (Raulo 1976, Viherä-Aarnio ja Velling 2008). Rauduskoivun viljelyssä Suomessa ei ole toistaiseksi käytetty ulkomaisia alkuperiä, koska saatavilla on ollut runsaasti hyvälaatuisia, jalostettua kotimaista siemenviljelyssiementä. Metsänviljelyaineiston vapaasta kaupasta EU:n sisällä saattaa kuitenkin seurata pyrkimyksiä tuoda koivun siementä tai taimia esim. Baltian maista tai Ruotsista. Tästä syystä on tärkeää saada kenttäkokeisiin perustuvaa tietoa myös ulkomailta tuodun aineiston menestymisestä. Provenienssikokeet ja siemensierrotutkimukset tarjoavat tietoa käytännön alkuperävalintaan ja samalla lisäävät ymmärtämystämme puulajien ilmaston sopeutumisesta ja maantieteellisestä vaihtelusta.

Tärkeä osa puiden sopeutumista pohjoisessa ilmastossamme on oikeaan aikaan tapahtuva kasvun päättymisen ja sitä seuraava lepotilan ja pakkaskestävyyden kehittyminen. Koivun taimilla, jotka edustavat ns. vapaata kasvutapaa (Junttila & Nilsen 1993), näitä prosesseja säätelee suurelta osin valojakso (fotoperiodi) (Wareing 1956, Nitsch 1957, Luoranen 2000), jonka vaikutusta

modifioivat myös muut tekijät, kuten lämpötila sekä kosteus- ja ravinneolot. Yön piteneminen loppukesällä yli tietyn kynnyksarvon, ns. kriittisen yön pituuden, saa ne päättämään kasvunsa ja siirtymään lepotilaan. Eri leveysasteilta kotoisin olevilla koivuilla kriittinen yön pituus on erilainen ollen eteläisillä alkuperillä pidempi kuin pohjoisilla (Håbjørg 1972, 1978, Viherä-Aarnio ym. 2005, 2006). Kun koivualkuperiä siirretään pitkiä matkoja etelästä pohjoiseen tai päinvastoin, ne joutuvat lähtöalueestaan poikkeaviin valojakso-oloihin. Näin ollen siirto vaikuttaa puiden kasvun päättymisen ja talveentumisen aikatauluun ja edelleen menestymiseen.

Koivun viljelyssä suositellaan käytettäväksi paikallista alkuperää (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Mikäli paikallista alkuperää ei ole saatavissa, joudutaan turvautumaan siemenen siirtoon. Rauduskoivun viljelyalueella Etelä- ja Keski-Suomessa on suosituksena, että käytettäessä metsikkökeräyssiementä siirtoetäisyys etelästä pohjoiseen tai päinvastoin olisi enintään 150 km ja lämpösummissa mitaten enintään 150 d.d. (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Vallitseva käytäntö maassamme on kuitenkin jo pitkään ollut tuottaa rauduskoivun taimitarhakylvöihin tarvittavaa jalostettua siementä muovinalaisissa siemenviljelyksissä (Hagqvist 1991, Ahtikoski 2000), joskin ajoittain on turvauduttu myös metsikkösiemenen keräyksiin (Viherä-Aarnio 1991). Siemenviljelyksillä tuotettuja siemeniä tulee käyttää erikseen määritellyillä käyttöalueilla, jotka rajataan viljelykseen vartettujen kantapuukloonien alkuperäpaikkakuntien lämpösummien perusteella (Niemistö ym. 2008). Myös siemenviljelysten klooniaineiston valinnassa ja käyttöalueiden määrittelyssä tarvitaan perustietoa eri alkuperien menestymisestä ja eripituisten siemensiirtojen vaikutuksista.

Nykyiset koivun siemensiirto- ja käyttöaluesuositukset perustuvat yksittäisten, valittujen kantapuiden jälkeläiskokeisiin, joita on perustettu 1960-luvulta lähtien Etelä- ja Keski-Suomen alueelle. Aiempien tutkimusten mukaan noin 200 km mittaiset siirrot etelästä pohjoiseen tai päinvastoin eivät vaikuta merkittävästi rauduskoivun kasvuun tai laatuun (Raulo & Koski 1977, Raulo 1979). Toisin kuin havupuilla (Heikinheimo 1949, Beuker 1996, Napola 2014), varsinaisia provenienssikokeita koivulla on maassamme vain muutamia, ja siten niihin perustuvaa tietoa on vähän. Toistaiseksi on tutkittu balttilaisten alkuperien kasvurytmiä ja syysfenologiaa taimivaiheessa (Velling 1979), varttuneiden puiden tuotosta ja rungon laatua Viherä-Aarnio & Velling (2008) sekä rauduskoivualkuperien hirvituhoja Viherä-Aarnio & Heikkilä (2006).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on verrata pohjoiseurooppalaisia rauduskoivualkuperiä kenttäkokeissa eri osissa maattamme sekä selvittää etelä-pohjoissuuntaisten siemensiirtojen vaikutusta koivujen tuotokseen ja rungon laatuun kaupallisen ainespuun koon saavuttaneissa puissa.

Tutkimusaineistosta on aiemmin julkaistu yleiset mallit siemensiirron vaikutuksesta rauduskoivun tuotokseen ja laatuun (Viherä-Aarnio ym. 2013). Tämän raportin tavoitteena on tarkastella yksityiskohtaisemmin eri alkuperien menestymistä eri koepaikoilla. Lisäksi arvioidaan, antavatko kenttäkoetulokset aihetta siirtosuositusten muuttamiseen, ja voidaanko nykyistä eteläisempiä koivualkuperiä suositella viljeltäviksi ilmaston muuttuessa.

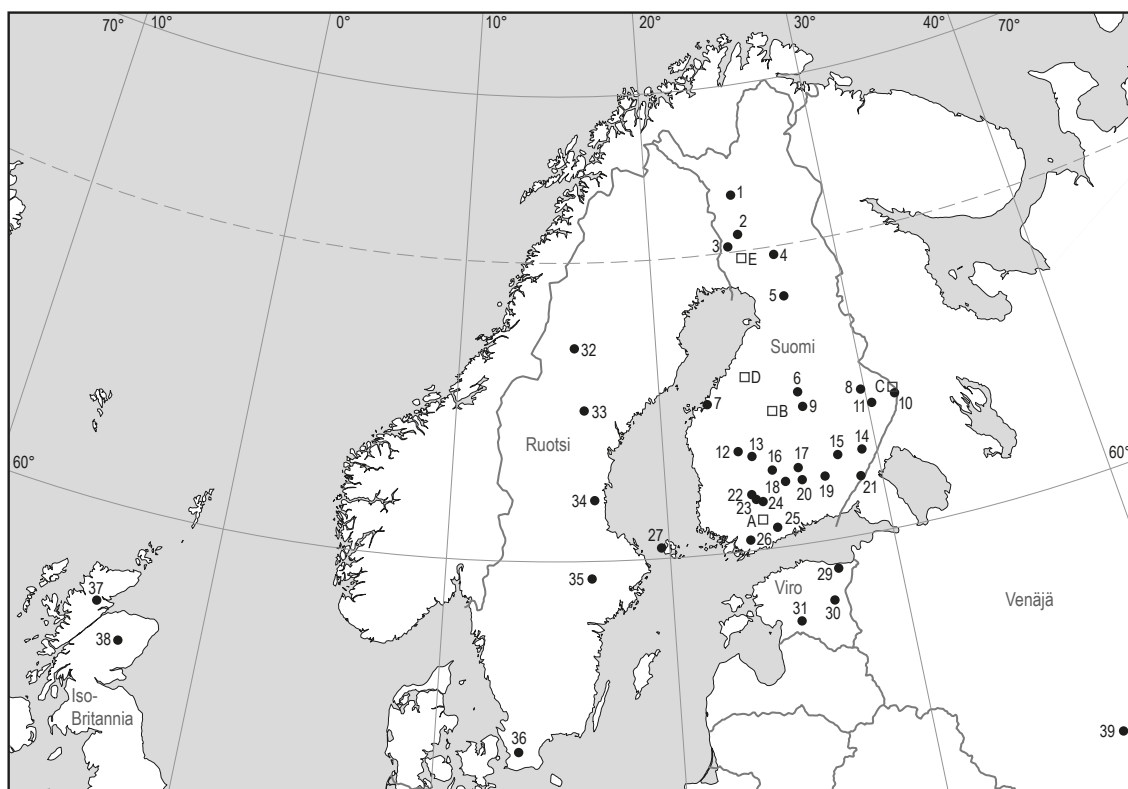
## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Kenttäkokeet ja siemenalkuperät

Tutkimuksen aineiston muodosti viisi rauduskoivun provenienssikoetta (koesarja no 1231), jotka sijaitsevat Lopella, Kannonkoskella, Ilomantsissa, Toholammella ja Rovaniemellä (taulukko 1, paikkakunnat A-E kuvassa 1). Kokeet sisältävät yhteensä 38 rauduskoivun metsikkösiemenenä leveysasteiden 53° ja 67°N väliseltä alueelta. Näistä 27 on Suomesta, viisi Ruotsista, kolme Virossa, kaksi Skotlannista ja yksi Venäjältä (taulukko 2, kuva 1). Siemenet kerättiin luontaisesti syntyneistä metsiköistä, lukuun ottamatta Punkaharjua ja Pudasjärveä, joiden keruumetsiköt oli perustettu viljellen paikallisella alkuperällä. Kukin metsikkösiemenenä koostettiin yhdistämällä useasta emopuusta kerättyjä, vapaapölytyksen tuloksena syntyneitä siemeniä. Kussakin kokeessa on 36 alkuperää, lukuun ottamatta koetta E (Rovaniemi), jossa alkuperien lukumäärä on 33.

**Taulukko 1.** Tutkimukseen sisältyvät kenttäkokeet ja kasvukauden keskimääräinen lämpösума (>+5°, d.d) koepaikkakunnilla vuosina 1991–2008 Venäläisen ym. (2005) mukaan.

Kokeen numero 1231	Koepaikka	Leveysaste °N	Pituusaste °E	Korkeus m mpy	Maalaji	Lämpösума, d.d. 1991–2008
A	Loppi	60°39'	24°22'	135	hietamoreeni	1314
B	Kannonkoski	62°58'	25°26'	130	hietamoreeni	1220
C	Ilomantsi	62°58'	31°21'	180	hietamoreeni	1124
D	Toholampi	63°47'	24°18'	95	savi, hietä	1116
E	Rovaniemen mlk	66°21'	24°57'	130	hiekkamoreeni	963



**Kuva 1.** Tutkimukseen sisältyvät rauduskoivun alkuperät (●) ja kenttäkokeet (□). Kirjaimet (A-E) viittaavat kenttäkokeisiin (ks. taulukko 1) ja numerot (1-38) alkuperiin (ks. taulukko 2).

**Taulukko 2.** Tutkimukseen sisältyvät rauduskoivun siemenalkuperät. EST = Viro, SWE = Ruotsi, GBR = Iso-Britannia, RUS = Venäjä. Alkuperien numerointi viittaa kuvaan 1.

Paikkakunta	Leveysaste °N	Pituusaste °E	Korkeus merenpinnasta, m
1 Kittilä	67°44'	24°51'	200
2 Rovaniemi	66°52'	24°55'	140
3 Pello	66°38'	24°18'	110
4 Rovaniemi	66°20'	26°41'	235
5 Pudasjärvi	65°24'	26°54'	110
6 Pielavesi	63°18'	26°49'	165
7 Oravainen	63°17'	22°20'	10
8 Lieksa	63°06'	29°49'	160
9 Karttula	62°58'	26°56'	105
10 Ilomantsi	62°55'	31°32'	210
11 Eno	62°46'	30°11'	120
12 Virrat	62°11'	23°36'	165
13 Ruovesi	62°03'	24°15'	100
14 Punkaharju	61°49'	29°18'	92
15 Sulkava	61°48'	28°10'	110
16 Kuhmoinen	61°41'	25°04'	125
17 Joutsa	61°40'	26°15'	110
18 Sysmä	61°25'	25°36'	90
19 Ristiina	61°24'	27°24'	90
20 Pertunmaa	61°24'	26°21'	115
21 Rautjärvi	61°15'	29°03'	80
22 Valkeakoski	61°13'	24°00'	90
23 Kalvola	61°07'	24°11'	90
24 Hämeenlinna	61°03'	24°28'	100
25 Tuusula	60°27'	24°58'	50
26 Karjalohja	60°14'	23°43'	50
27 Hammarland	60°14'	19°44'	15
28 E1970 x E1980 (JR1) <sup>a</sup>	61°26' / 60°36'	24°08' / 23°57'	
29 EST, Alutaguse	59°16'	27°20'	
30 EST, Tartu	58°36'	27°08'	
31 EST, Viljandi	58°10'	25°32'	
32 SWE, Brattåsen	64°34'	15°47'	375
33 SWE, Johannisberg	63°16'	16°15'	325
34 SWE, Bollnäs	61°14'	16°42'	100
35 SWE, Västerås	59°30'	16°30'	50
36 SWE, Revinge	55°43'	13°28'	30
37 GBR, Strathgarve	57°40'	4°45'W	
38 GBR, Balmoral Castle	57°02'	3°15'W	
39 RUS, Tulsakaja obl., Bogoroditsk	53°50'	38°	

<sup>a</sup> JR1 on kahden pluspuun risteytysjälkeläistä E1970 Kangasala x E1980 Nummi-Pusula

Kokeisiin sisältyy myös tunnettu JR1 -siemenerä, joka on kahden Etelä-Suomesta valitun pluspuun välinen risteytys (E1970 Kangasala x E1980 Nummi-Pusula) (Åkerman ym. 1995). JR on aiemmin kenttäkokeessa todettu nopeakasvuiseksi ja rungon ulkoiselta laadultaan hyväksi jälkeläistiksi (Raulo & Koski 1977, Raulo 1979), minkä perusteella sitä tuotettiin metsänviljelyyn muovihuonesiemenviljelyksissä 1980–90 -luvulla (Viherä-Aarnio & Velling 1998).



Koetaimet kasvatettiin Metsähallituksen taimitarhoilla: neljälle eteläisimmälle kokeelle (A-D) Pataman taimitarhalla Saarijärvellä (62°45'N, 25°38'E) ja pohjoisimmalle kokeelle (E) Imarin taimitarhalla Rovaniemellä (66°28'N, 25°32'E). Kokeet perustettiin istuttaen 1-vuotiailla paakutaimilla keväällä 1991 satunnaistettujen lohkojen kokeina. Kukin alkuperä istutettiin 36 taimen koeruutuihin viidelle lohkolle satunnaistaen ruutujen paikat lohkojen sisällä. Koeruudun koko oli 12 x 12 m, ja taimien istutusväli 2 x 2 m. Kokeet perustettiin avohakatuille tuoreen kankaan (MT tai vastaava) metsämaille, lukuun ottamatta Toholammin koetta, joka istutettiin entiselle kivennäismaapellolle. Metsämaiden koepaikoilla Lopella, Kannonkoskella ja Ilomantsissa maalaji oli hietamoreeni ja Rovaniemellä hiekkamoreeni. Toholammin peltokokeella maalaji oli savi sekä hieta (taulukko 1). Metsämaiden kokeiden kasvupaikan laatu vaihteli paljon topografian, kivisyyden ja kosteuden mukaan, ja Kannonkosken, Ilomantsin ja Rovaniemen koealueet olivat koivun kasvatukseen karuja. Ennen istutusta koepaikkojen maanmuokkaus tehtiin äestämällä tai lautasaurauksella (Kannonkoski). Toholammilla pelto kynnettiin ja äestettiin. Koealueet aidattiin hirviltä 2 m korkealla teräslanka-aidalla paitsi Toholammilla, missä hirvien torjuntaan käytettiin kevytrakenteisempaa aitaa ja näkyvää muovinauhaa. Toholammin kokeella kaksi koelohkoa jouduttiin myöhemmin hylkäämään niiden poikkeuksellisen kosteiden kasvuolojen ja korkean kuolleisuuden johdosta.

## 2.2 Mittaukset

Kokeiden puut mitattiin 19-vuotiaina myöhään syksyllä 2008 ja varhain keväällä 2009. Kaikista elossa olevista puista mitattiin pituus (dm) ja läpimitta 1,3 m korkeudelta (mm), sekä laskettiin runkovikojen lukumäärä. Runkovioiksi luettiin pääranan vahingoittumisesta johtuvat poikkeamat suorasta, yksirunkoisesta kasvatavasta, eli pystyoksat, haarat ja ranganvaihdokset.

Elävyys (%) laskettiin istutettujen ja elossa olevien puiden lukumäärän perusteella. Puukohtaiset kuutiomäärät laskettiin pituuteen ja rinnankorkeusläpimittaan perustuen (Laasasenaho 1982). Rungon ollessa haarautunut rinnankorkeuden alapuolelta sen kuutiomäärä laskettiin haarojen summana. Hehtaarikohtaiset runkotilavuudet laskettiin. Kokeita ei oltu harvennettu ennen mitausta.

## 2.3 Tilastollinen analyysi

Tilastollinen analyysi tehtiin ruutukeskiarvoilla. Elävyysprosentteille tehtiin  $\arcsin \sqrt{p}$ -muunnos ennen analyysiä. Muunnoksella ei ollut käytännöllisesti katsoen vaikutusta testien tuloksiin, joten lopullisissa analyyseissä käytettiin alkuperäisiä arvoja. Alkuperien välisten erojen merkittävyys elävyydessä, pituudessa, rinnankorkeusläpimitassa, hehtaarikohtaisessa kuutiomäärässä sekä runkovikojen puukohtaisessa määrässä testattiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Alkuperien kotipaikkakunnan leveysasteen vaikutusta elävyyteen, pituuteen, läpimittaan, hehtaarikohtaiseen kuutiomäärään sekä runkovikojen määrään tutkittiin koekohtaisesti lineaarisella sekamallilla,

$$y = \mu + \alpha L + \beta L^2 + \gamma_i + \varepsilon, \quad (1)$$

missä  $y$  on vastemuuttuja,  $\mu$  on yleiskeskisarvo,  $L$  on siemenalkuperän leveysaste,  $\gamma_i$  on satunnainen lohkon vaikutus ( $i = 1, \dots, 5$ ) ja  $\varepsilon$  on virhetermi.

Tarkastellut vastemuuttajat olivat elävyys, puiden pituus, läpimitta, runkotilavuus/ha sekä runkovikojen lukumäärä puuta kohti. Alkuperän leveysaste ( $L$ ) ja sen toinen potenssi ( $L^2$ ) olivat kovariaatteina.

Alkuperän leveysasteen selitysaste laskettiin seuraavasti,

$$R^2 = \frac{s_0^2 - s_d^2}{s_0^2} \quad (2)$$

missä  $s_d^2$  on mallin (1) jäännösvarianssi ja  $s_0^2$  on jäännösvarianssi redusoidussa mallissa, josta leveysastemuuttajat on poistettu.

## 3 Tulokset

### 3.1 Elävyys

Tutkimusaineiston keskimääräinen elävyys oli korkein Kannonkosken (77 %) ja alhaisin Ilomantsin (26 %) kokeessa (taulukko 3). Myös parhaiten menestyneen alkuperän elävyys oli Kannonkoskella korkein (91 %) ja Ilomantsissa heikoin (71 %).

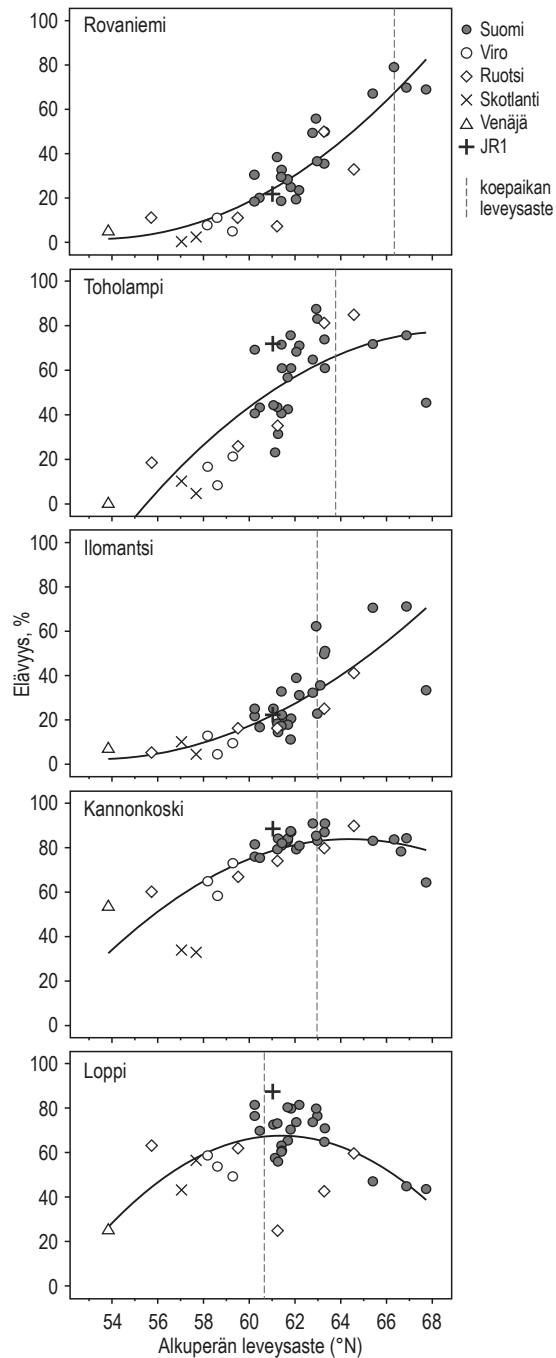
Alkuperien väliset erot elävyydessä olivat kaikissa kokeissa suuria ja tilastollisesti merkitseviä (kaikki  $p < 0.001$ ). Eteläisimpien alkuperien (Venäjä, Skotlanti ja Skåne) elävyys oli hyvin heikko kaikilla koepaikkakunnilla, kun taas koepaikkaan nähden paikallisten tai hieman pohjoisempien alkuperien elävyys oli yleensä korkein (kuva 2).

Lopen kokeessa JR1-siemenerän (88 %) ja etelä- ja keskisuomalaisten alkuperien elävyys oli korkein, mutta tässä ryhmässä oli myös suurta vaihtelua (kuva 2). Pohjoissuomalaisten alkuperien (Pudasjärvi, Rovaniemi, Kittilä) elävyys oli Lopella heikko jääden alle 50 %:n. Kittilän alkuperää lukuun ottamatta Kannonkosken kokeessa oli korkea elävyys (80–90 %) kaikilla kotimaisilla alkuperillä, ja samaa tasoa oli myös Pohjois-Ruotsin Johannisbergin ja Brattåsenin alkuperien elävyys. Ilomantsin kokeen elävyys oli alhainen, ja kohtalaisen hyviä elävyydeltään (yli 60 %) olivat ainoastaan paikallinen Ilomantsin alkuperä sekä kaksi Lapin eteläosien alkuperää (Pudasjärvi, Rovaniemi). Toholammin peltokokeessa elävyydeltään parhaita olivat Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan ja edellä mainitut Pohjois-Ruotsin alkuperät, mutta jo eteläsuomalaisten alkuperien elävyys oli niitä selvästi heikompi (n. 40 %), ja edelleen virolaisten ja niitäkin eteläisempien erien hyvin heikko (20 % tai alle). Rovaniemellä ainoastaan koepaikkaan nähden läheisten pohjoissuomalaisten alkuperien (Pudasjärvi, Rovaniemi, Kittilä) elävyys oli korkea (70–80 %), ja selvästi alhaisempi keskisuomalaisilla ja edelleen eteläsuomalaisilla alkuperillä.

Alkuperien elävyyden vaihtelu suhteessa alkuperän leveysasteeseen oli käyräviivainen kaikissa kokeissa (Loppi, Kannonkoski, Rovaniemi  $p < 0.001$ , Ilomantsi  $p = 0.001$ , Toholampi  $p = 0.002$ ) (kuva 2, taulukko 4). Mallin mukaan paras elävyys saavutettiin paikallisilla tai koepaikkaan nähden jonkin verran pohjoisemmilla erillä. Siirto etelästä ja pitkä siirto pohjoisesta heikensi elävyyttä (kuva 2).

**Taulukko 3.** Elävyyden (%), pituuden (m), läpimitan (cm), runkotilavuuden (m<sup>3</sup>/ha) ja runkovikojen määrän/puu keskiarvo ja vaihtelu kenttäkokeissa Lopella (60°39'N), Kannonkoskella (62°58'N), Ilomantsissa (62°58'N), Toholammilla (63°47'N) ja Rovaniemellä (66°21'N).

Elävyys, %						
Koe	Keskiarvo	Hajonta	Minimi	Maksimi	Pienin alkuperä	Suurin alkuperä
keskiarvo						
A Loppi	62,8	24,5	0	97,2	25,0	88,3
B Kannonkoski	76,5	18,0	0	100,0	32,9	91,1
C Ilomantsi	25,7	22,4	0	88,9	4,4	71,1
D Toholampi	49,8	28,7	0	97,2	0	87,8
E Rovaniemi	30,5	24,6	0	97,2	0,7	79,2
Pituus, m						
Koe	Keskiarvo	Hajonta	Minimi	Maksimi	Pienin alkuperä	Suurin alkuperä
keskiarvo						
A Loppi	10,1	2,9	2,2	17,5	5,6	11,8
B Kannonkoski	9,6	2,3	1,6	16,7	6,0	11,7
C Ilomantsi	6,1	1,8	1,4	10,7	3,7	7,1
D Toholampi	10,9	2,4	1,8	19,2	6,8	12,8
E Rovaniemi	6,7	2,1	0,3	11,3	1,9	8,3
Läpimitta, cm						
Koe	Keskiarvo	Hajonta	Minimi	Maksimi	Pienin alkuperä	Suurin alkuperä
keskiarvo						
A Loppi	8,0	3,2	1,5	17,9	4,2	9,5
B Kannonkoski	7,4	2,5	1,0	18,0	4,5	9,0
C Ilomantsi	6,4	2,7	0,2	15,1	3,8	7,9
D Toholampi	10,3	3,0	1,1	21,2	6,7	12,5
E Rovaniemi	6,5	2,9	0,2	13,5	2,4	8,3
Runkotilavuus, m <sup>3</sup> /ha						
Koe	Keskiarvo	Hajonta	Minimi	Maksimi	Pienin alkuperä	Suurin alkuperä
keskiarvo						
A Loppi	51,5	32,9	0	148,6	7,5	93,2
B Kannonkoski	47,3	23,8	0	103,4	5,0	84,3
C Ilomantsi	9,2	8,5	0	36,8	0,5	23,3
D Toholampi	63,9	46,7	0	165,6	0	133,3
E Rovaniemi	12,5	13,7	0	71,8	0	38,7
Runkovikoja / puu, kpl						
Koe	Keskiarvo	Hajonta	Minimi	Maksimi	Pienin alkuperä	Suurin alkuperä
keskiarvo						
A Loppi	1,8	0,9	0	5	1,4	2,6
B Kannonkoski	2,1	1,0	0	7	1,6	4,1
C Ilomantsi	2,7	1,3	0	10	1,6	4,4
D Toholampi	2,7	1,8	0	12	1,9	4,4
E Rovaniemi	1,5	1,4	0	8	0,8	7,0



**Kuva 2.** Rauduskoivualkuperien keskimääräinen elävyys (%) suhteessa alkuperän kotipaikan leveysasteeseen Rovaniemen, Toholammin, Ilomantsin, Kannonkosken ja Lopen kenttäkokeissa. Alkuperien kotimaat on merkitty eri symbolein. Toisen asteen tasoituskäyrä on laskettu alkuperien ruutukeskiarvojen perusteella. Pysty katkoviiva osoittaa kenttäkokeen sijainnin leveysasteina.

mukaan kaikissa kokeissa paikalliset tai koepaikkaan nähden hieman eteläisemmät alkuperät olivat keskimäärin kookkaimpia (kuvat 3 ja 4). Alkuperän siirtoetäisyyden kasvaessa puiden koko pieneni, mitä eteläisempi tai pohjoisempi alkuperä oli kyseessä.

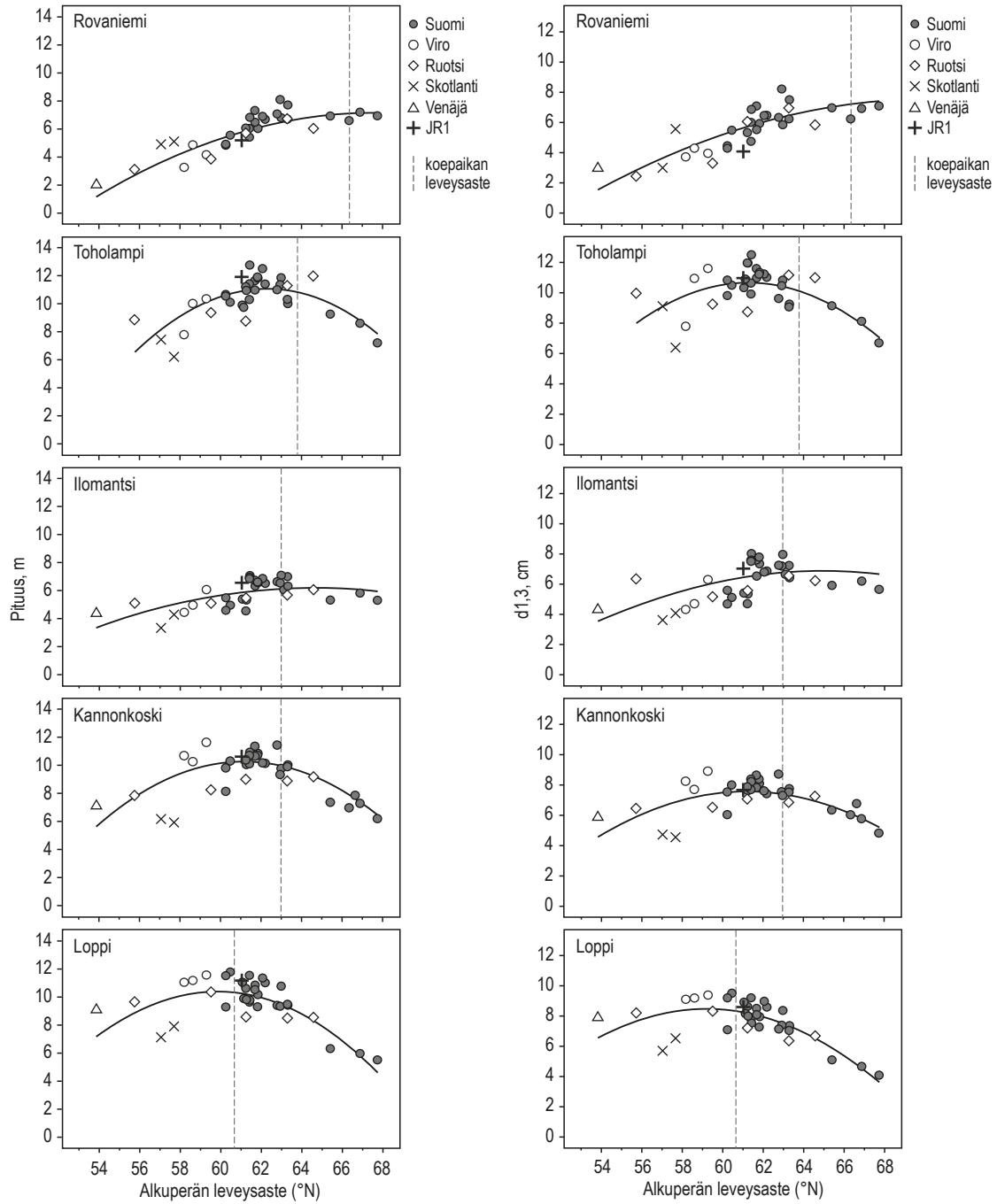
### 3.2 Puiden koko

Puut olivat suurimpia Toholammin pellolle perustetussa kokeessa, kun taas Ilomantsissa ja Rovaniemellä puiden kasvu oli jäänyt selvästi heikommaksi kuin muilla koepaikoilla (taulukko 3). Toholammilla kaikkien alkuperien pituus oli keskimäärin 10,9 m ja läpimitta 10,3 cm, ja parhaan alkuperän vastaavasti 12,8 m ja 12,5 cm. Ilomantsissa parhaankin alkuperän pituus jäi 7,1 m:iin ja läpimitta 7,9 cm:iin, ja Rovaniemellä luvut olivat samaa luokkaa.

Alkuperien väliset erot puiden pituudessa ja läpimitassa olivat kaikissa kokeissa suuria ja tilastollisesti merkitseviä (kaikki  $p < 0.001$ ). Kaikissa kokeissa paikallisten tai koepaikkaan nähden hieman eteläisempien alkuperien puut olivat keskimäärin kookkaimpia (kuvat 3 ja 4).

Lopen ja Kannonkosken kokeissa sekä pituuden että läpimitan suhteen suurimman koon olivat saavuttaneet eteläsuomalaiset ja virolaiset alkuperät sekä JR1, kun taas pienimmiksi olivat jääneet pohjoissuomalaiset ja skotlantilaiset alkuperät. Ilomantsin kokeessa kaikkien alkuperien puiden kasvu oli heikko ja alkuperien väliset erot pieniä. Toholammin kokeessa kookkaimmiksi olivat kasvaneet etelä- ja keskisuomalaiset, pohjoissavolaiset ja –karjalaiset sekä kaksi pohjoisruotsalaista alkuperää. Rovaniemellä kaikkien alkuperien puiden kasvu jäi keskimäärin melko heikoksi. Kookkaimmiksi kasvoivat pohjoissavolaiset ja –karjalaiset, keskisuomalaiset sekä pohjoissuomalaiset erät.

Puiden pituuden (Ilomantsi  $p = 0.002$ , muut kokeet  $p < 0.001$ ) ja läpimitan (Ilomantsi  $p = 0.016$ , Rovaniemi  $p = 0.035$ , muut kokeet  $p < 0.001$ ) vaihtelu suhteessa alkuperän leveysasteeseen oli käyräviivainen kaikissa kokeissa (kuvat 3 ja 4, taulukko 4). Mallin



**Kuva 3.** Rauduskoivualkuperien keskimääräinen pituus (m) suhteessa alkuperän kotipaikan leveysasteeseen Rovaniemen, Toholammin, Ilomantsin, Kannonkosken ja Lopen kenttäkokeessa. Alkuperien kotimaat on merkitty eri symbolein. Toisen asteen tasoituskäyrä on laskettu alkuperien ruutukeskiarvojen perusteella. Pysty katkoviiva osoittaa kenttäkokeen sijainnin leveysasteina.

**Kuva 4.** Rauduskoivualkuperien keskimääräinen läpimitta (cm) suhteessa alkuperän kotipaikan leveysasteeseen Rovaniemen, Toholammin, Ilomantsin, Kannonkosken ja Lopen kenttäkokeessa. Alkuperien kotimaat on merkitty eri symbolein. Toisen asteen tasoituskäyrä on laskettu alkuperien ruutukeskiarvojen perusteella. Pysty katkoviiva osoittaa kenttäkokeen sijainnin leveysasteina.

### 3.3 Runkotilavuus/ha

Tutkimusaineiston keskimääräinen hehtaarikohtainen runkotilavuus oli korkein Toholammin (64 m<sup>3</sup>/ha) ja alhaisin Ilomantsin (9 m<sup>3</sup>/ha) kokeessa (taulukko 3). Parhaan alkuperän keskimääräinen hehtaarikohtainen runkotilavuus oli Toholammilla 133 m<sup>3</sup>/ha ja Ilomantsissa 23 m<sup>3</sup>/ha.

Alkuperien väliset tuotoserot olivat kaikissa kokeissa suuria ja tilastollisesti merkitseviä (kaikki  $p < 0.001$ ). Korkeimmat hehtaarikohtaiset runkotilavuudet mitattiin paikallisilla tai koepaikkakuntaan nähden jonkin verran eteläisemmällä alkuperillä (kuva 5).

Lopen kokeessa korkein hehtaarikohtainen runkotilavuus oli JR1:llä (93 m<sup>3</sup>/ha) sekä joillakin muilla etelä- ja keskisuomalaisilla alkuperillä (kuva 5). Etelä- ja keskisuomalaisessa aineistossa vaihtelu oli kuitenkin suurta samalta leveysasteeltakin kotoisin olevien alkuperien välillä. Venäjän, Skotlannin, Keski-Ruotsin sekä Pohjois-Suomen alkuperät menestyivät Lopen kokeessa heikosti. Kannonkoskella korkein tuotos (84 m<sup>3</sup>/ha) oli pohjoiskarjalaisella Enon alkuperällä. Myös etelä- ja keskisuomalaiset alkuperät ja JR1 sekä pohjoisvirolainen alkuperä (Alutaguse) olivat kärkipäässä. Ilomantsin kokeessa kaikkien alkuperien tuotos oli alhainen ja erot pieniä. Korkein runkotilavuus, mutta tosin vain 23 m<sup>3</sup>/ha, oli paikallisella Ilomantsin alkuperällä. Toholammilla pohjoisruotsalaisen Brattåsenin alkuperän hehtaarikohtainen tilavuus (133 m<sup>3</sup>/ha) oli korkein, ja myös Johannisberg oli tuotokseltaan kärkipäässä. Etelä- ja keskisuomalaisten alkuperien välillä oli suuria eroja, ja hyvin menestyneitä tässä ryhmässä olivat alkuperät Sulkavalta, Sysmästä, Ruovedeltä, Virroilta, Karttulasta ja Ilomantsista. Venäjän, Skotlannin, Skånen, Viron sekä Pohjois-Suomen alkuperät menestyivät Toholammilla heikosti. Rovaniemellä tuotos jäi yleisesti ottaen alhaiseksi, ja parhaankin alkuperän tilavuus oli 39 m<sup>3</sup>/ha. Parhaiten Rovaniemellä olivat menestyneet Ilomantsin sekä Pohjois-Suomen alkuperät.

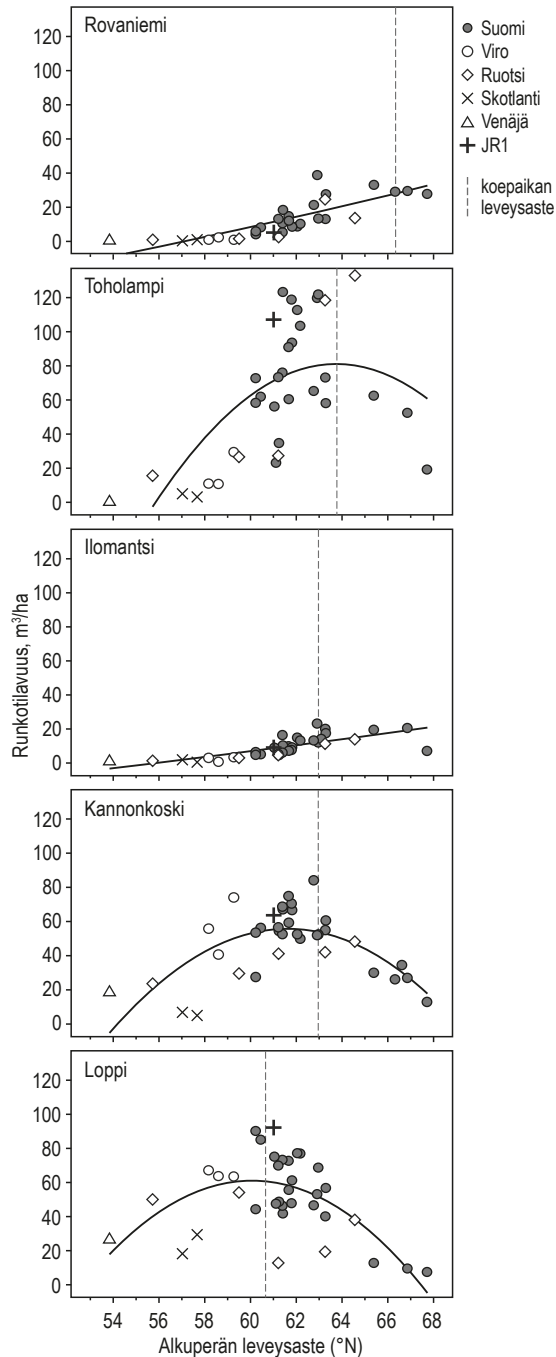
Alkuperien hehtaarikohtainen tilavuus vaihteli käyräviivaisesti suhteessa alkuperän leveysasteeseen kaikissa kokeissa (kaikki  $p < 0.001$ ) (taulukko 4). Korkein hehtaarikohtainen runkotilavuus saavutettiin paikallisilla tai koepaikkakuntaan nähden jonkin verran eteläisemmällä alkuperillä, kun taas pitkä siirto etelästä tai pohjoisesta alensi tuotosta (kuva 5).

### 3.4 Runkoviat

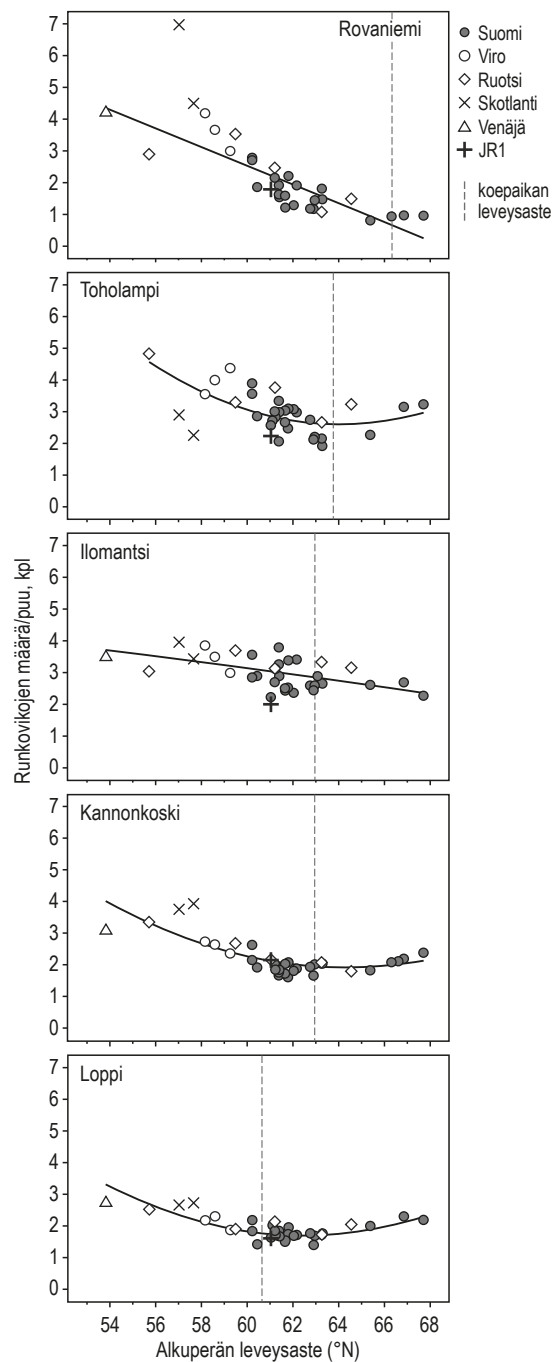
Runkovikojen lukumäärä puuta kohti oli keskimäärin korkein Ilomantsin ja Toholammin kokeissa (2,7 kpl/puu) (taulukko 3), ja vähiten runkovikoja oli Rovaniemellä (1,5 kpl/puu). Toisaalta korkein alkuperäkeskiarvo runkovikojen määrässä (7 kpl/puu) oli Rovaniemellä.

Alkuperien väliset erot runkovikojen puukohtaisessa määrässä olivat tilastollisesti merkitseviä ( $p < 0.001$ , Toholampi  $p = 0.028$ ) lukuun ottamatta Ilomantsin koetta. Eniten runkovikoja oli koepaikkaan nähden selvästi eteläisemmällä alkuperillä ja vähiten paikallisilla tai niitä hieman pohjoisemmilla alkuperillä (kuva 6). Alkuperien väliset erot runkovikojen määrässä olivat suurimmat Rovaniemen kokeessa (0.8–7.0 kpl/puu) (taulukko 3), missä runkovikoja esiintyi eniten Venäjän, Skotlannin, Etelä-Ruotsin ja Viron alkuperillä ja vähiten pohjoissuomalaisilla alkuperillä.

Runkovikojen määrän suhde alkuperän leveysasteeseen oli käyräviivainen (Loppi, Kannonkoski  $p < 0.001$ , Ilomantsi, Toholampi  $p = 0.001$ ) (taulukko 4), paitsi Rovaniemellä, missä runkovikojen määrä laski mallin mukaan suoraviivaisesti alkuperän leveysasteen kasvaessa ( $p < 0.001$ ).



**Kuva 5.** Rauduskoivualkuperien keskimääräinen hehtaarikohtainen runkotilavuus (m<sup>3</sup>/ha) suhteessa alkuperän kotipaikan leveysasteeseen Rovaniemen, Toholammin, Ilomantsin, Kannonkosken ja Lopen kenttäkokeissa. Alkuperien kotimaat on merkitty eri symbolein. Toisen asteen tasoituskäyrä on laskettu alkuperien ruutukeskiarvojen perusteella. Pysty katkoviiva osoittaa kenttäkokeen sijainnin leveysasteina.



**Kuva 6.** Rauduskoivualkuperien keskimääräinen runkovikojen (pystyoksa, haara, ranganvaihdos) lukumäärä puuta kohti suhteessa alkuperän kotipaikan leveysasteeseen Rovaniemen, Toholammin, Ilomantsin, Kannonkosken ja Lopen kenttäkokeissa. Alkuperien kotimaat on merkitty eri symbolein. Toisen asteen tasoituskäyrä on laskettu alkuperien ruutukeskiarvojen perusteella. Pysty katkoviiva osoittaa kenttäkokeen sijainnin leveysasteina.

**Taulukko 4.** Parametrien arvot elävyyden (%), pituuden (m), läpimitan (cm), runkotilavuuden (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>) ja runkovikojen lukumäärän leveysasteille (yhtälo 2) sekä selitysaste  $R^2$  (%) alkuperän leveysasteelle.

Ominaisuus	Koeaikka	Vakio $\mu$	Kerroin		$R^2$ , %
			Leveysaste $\alpha$	Leveysaste <sup>2</sup> $\beta$	
Elävyys	Loppi	-2633,080	87,994	-0,7167	16
	Kannonkoski	-1804,628	58,617	-0,4548	36
	Ilomantsi	908,181	-34,111	0,3210	44
	Toholampi	-2033,028	61,502	-0,4481	47
	Rovaniemi	1133,002	-42,365	0,3965	64
Pituus	Loppi	-314,750	10,879	-0,0910	39
	Kannonkoski	-315,199	10,649	-0,0871	41
	Ilomantsi	-99,296	3,274	-0,0254	19
	Toholampi	-402,902	13,305	-0,1069	30
	Rovaniemi	-140,157	4,369	-0,0324	50
d1,3	Loppi	-221,957	7,788	-0,0658	35
	Kannonkoski	-198,058	6,720	-0,0549	30
	Ilomantsi	-107,285	3,518	-0,0271	13
	Toholampi	-313,330	10,576	-0,0863	21
	Rovaniemi	-100,944	3,083	-0,0219	37
Tuotos	Loppi	-3966,754	134,110	-1,1163	22
	Kannonkoski	-3778,449	124,476	-1,0102	34
	Ilomantsi	-44,336		0,0142	37
	Toholampi	-5196,571	165,530	-1,2978	30
	Rovaniemi	-79,259		0,0243	45
Runkoviat	Loppi	83,333	-2,612	0,0209	43
	Kannonkoski	79,135	-2,397	0,0186	47
	Ilomantsi	6,031		-0,0008	6
	Toholampi	117,252	-3,577	0,0279	19
	Rovaniemi	20,230	-0,295		44

## 4 Tulosten tarkastelu

### 4.1 Tulosten yhteenveto

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin pohjoiseurooppalaisten rauduskoivualkuperien tuotosta ja rungon ulkoista laatua kenttäkokeissa eri osissa maattamme 19 vuoden ikäisistä puista. Aineisto sisälsi leveysasteiden 53° ja 67°N väliseltä alueelta yhteensä 39 alkuperää, joiden menestymistä vertailtiin viidellä koeaikkakunnalla Lopelta (leveysaste 60°N) Rovaniemelle (leveysaste 66°N). Tämä työ sekä samasta aineistosta aiemmin julkaistu tarkastelu siemensierotäisyyden vaikutuksista (Viherä-Aarnio ym. 2013) ovat tähän mennessä laajimmalla aineistolla toteutettuja koivun provenienssitutkimuksia maassamme.

Alkuperien välillä oli suuria ja tilastollisesti merkitseviä eroja kaikissa tutkituissa ominaisuuksissa (elävyys, pituus, läpimita, tuotos ja runkovikojen määrä) kaikilla koeaikoilla. Tämä oli odotettavissa oleva tulos, koska aineistoon sisältyi maantieteellisesti hyvin erilaisia alkuperiä kenttäkokeissa eri puolilla Suomea ja myös erilaisilla kasvupaikoilla. Alkuperän leveysasteen vaikutus kaikkiin ominaisuuksiin oli tilastollisesti merkitsevä ja käyräviivainen. Pitkä siirtoetäisyys sekä etelästä että pohjoisesta johti heikkoon tulokseen.



Paras elävyys ja vähiten runkovikoja oli paikallisilla tai enintään noin kaksi leveysastetta (n. 220 km) koepaikkaa pohjoisemmilla alkuperillä. Pituuskasvultaan parhaita olivat paikalliset tai enintään noin kaksi leveysastetta koepaikkaa eteläisemmät alkuperät. Tuotoksen suhteen paras siirtoetäisyys ja siirron suunta vaihteli kokeittain. Lopen, Kannonkosken ja Toholammin kokeilla saavutettiin paras tuotos paikallisilla tai enintään kaksi leveysastetta eteläisemmällä alkuperillä, kun taas ankarammissa oloissa sijaitsevilla Ilomantsin ja Rovaniemen kokeilla tuotokseltaan parhaita olivat enimmäkseen paikalliset tai koepaikkaa hieman pohjoisemmat alkuperät. Mallin mukaan alkuperän leveysasteen muutos vaikutti tutkittuihin ominaisuuksiin mainituissa siirtorajoissa keskimäärin melko vähän.

Tulokset ovat pitkälti yhdenmukaisia aiempien tutkimustulosten kanssa (Eriksson & Jonsson 1986). Raulon & Kosken (1977) ja Raulon (1979) mukaan Etelä- ja Keski-Suomen alueella tehdyt noin 200 km mittaiset siirrot etelästä pohjoiseen ja päinvastoin eivät vaikuttaneet merkittävästi rauduskoivun kasvuun tai laatuun. Viherä-Aarnion ja Vellingin (2008) mukaan noin kahden leveysasteen siirto etelästä lisäsi rauduskoivun tuotosta, mutta pidempi siirto etelästä ja siirto pohjoisesta heikensi tuotosta, ja runkoviollisten puiden osuus oli sitä suurempi, mitä eteläisempi alkuperä oli kyseessä. Ruotsissa Erikssonin ja Johnssonin (1986) mukaan koivuntaimien paras pituuskasvu oli kahden leveysasteen verran etelästä siirrettyillä alkuperillä, kun taas siirto pohjoisesta heikensi pituuskasvua. Stenerin mukaan (1997) siirto pohjoiseen saisi olla Etelä-Ruotsissa enintään kaksi ja Pohjois-Ruotsissa enintään 1,5 leveysastetta, ja vastaavat siirrot etelään päin Etelä-Ruotsissa kolme ja Pohjois-Ruotsissa kaksi leveysastetta.

## 4.2 Siirto etelästä pohjoiseen

Alkuperien elävyys oli sitä heikompi, mitä eteläisempi alkuperä oli suhteessa koepaikkaan. Alkuperän vaikutus elävyyteen näkyy erityisen selvästi pohjoisimmalla koepaikalla Rovaniemellä, missä korkeaan elävyyteen yltivät vain paikalliset pohjoissuomalaiset erät (Pudasjärvi, Rovaniemi, Kittilä). Keski-suomalaisten elävyys oli jo huomattavasti alempi, mikä heikensi niiden tuotosta hyvästä kasvusta huolimatta. Rovaniemen kokeessa etelä- ja keski-suomalaisten alkuperien välillä oli selkeä ero sopeutumisessa, ja tulos on yhdenmukainen Raulon (1976) tutkimuksen kanssa. Kosken ym. (2009) mukaan pitkä siirto ankarampaan ilmastoon aiheuttaa niin kovan valintapaineen, että pienetkin erot sopeutumisessa tulevat esiin, kun taas eteläisemmällä koepaikoilla samojen alkuperien väliset erot eivät näy. Virolaisten alkuperien menestyminen vaihteli koepaikoittain Rovaniemen ja Toholammin heikosta Lopen ja Kannonkosken melko hyvään tuotokseen. Viherä-Aarnion & Vellingin (2008) mukaan etelävirolaiset (Viljandi) alkuperät menestyivät etelä- ja keski-suomalaisia erä heikommin Viitasaarella sijaitsevassa kokeessa, joka vastaa leveysasteeltaan Kannonkosken koetta. Ruotsalaisten koivu-alkuperien menestymisestä Suomessa ei ole aiemmin julkaistu tuloksia. Merkillepantavaa olikin pohjoisruotsalaisten alkuperien korkea elävyys ja tuotos Toholammin kokeessa.

Runkovikojen määrä puuta kohti oli sitä suurempi, mitä eteläisemmästä alkuperästä oli kyse. Myös Viherä-Aarnion ja Vellingin (2008) mukaan runkoviollisten puiden osuus kasvoi, kun siirtoetäisyys etelästä piteni. Lopen kokeessa eteläisten alkuperien heikompa laatua selittänevät osittain hirvituhot, kun hirviaidan rikkoonnutta hirvet olivat päässeet kokeelle ruokailemaan. Aiemman tutkimuksen perusteella hirvituhoja on sitä enemmän mitä eteläisemmästä alkuperästä on kyse (Viherä-Aarnio & Heikkilä 2006). Muilla koepaikkakunnilla hirvituhoja ei ollut, joten niillä ei ollut vaikutusta rungon laadussa havaittuihin eroihin alkuperien välillä. Rovaniemen ko-

keella tulokseksi saatu lineaarinen riippuvuus näyttäisi johtuvan Venäjän, Etelä-Ruotsin ja Skotlannin keskinäisistä eroista.

Jonkin verran eteläisempien alkuperien parempi kasvu ja tuotos selittynevät pääosin sillä, että niiden kasvu jatkuu syksyllä paikallisia ja pohjoisia alkuperiä pidempään (Eriksson & Jonsson 1986, Eriksson 2011). Koivualkuperän leveysasteen ja kasvun päättymisen, syysvärin sekä leh-tien varisemisen ajankohdan välillä on käänteinen riippuvuus (Velling 1979, Viherä-Aarnio ym. 2005). Kasvihuonekokeessa, Etelä-Suomen päivänpituusoloissa, on aiemmin todettu, että alku-perän leveysasteen kasvu yhdellä asteella aikaistaa rauduskoivun pituuskasvun päättymistä noin kolmella päivällä (Viherä-Aarnio ym. 2005). Pohjoissuomalaisen ja etelävirolaisen alkuperän ero pituuskasvun päättymisajankohdassa on noin kuukausi (Viherä-Aarnio ym. 2005). Syynä eroihin kasvun päättymisajankohdassa on valojakso eli fotoperiodi, joka säätelee voimakkaasti nuorten koivuntaimien kasvua (Nitsch 1957, Junttila & Nilsen 1993, Luoranen 2000). Pitenevä yö lop-pukesällä toimii signaalina, joka käynnistää pituuskasvun päättymiseen, päätesilmun kehittymi-seen, lepotilaan ja pakkasenkestävyyteen johtavat prosessit. Talveentumista säätelevät yön-pituuden ohella myös muut tekijät, kuten lämpötila, kosteus, veden ja ravinteiden saatavuus (Håbjørg 1972, Li ym. 2002, Black-Samuelsson & Eriksson 2002, Tanino ym. 2010). Kasvun päättymisen indusoiva kriittinen yön-pituus on eteläisillä koivuilla pidempi kuin pohjoisilla (Håbjørg 1972, 1978, Viherä-Aarnio ym. 2006). Tästä johtuen eteläiset alkuperät pohjoiseen päin siirrettyinä saa-vat syyskesällä kriittisen yön-pituussignaalin pohjoisia alkuperiä myöhemmin. Kasvun pääTTY-misen viivästyessä myös talveentumiseen johtavat prosessit viivästyvät, mikä lisää paleltumisris-kiä. Siirron pituuden kasvaessa paleltumisen riski kasvaa, aiheuttaen lisääntyviä runkovikoja sekä alentaen elävyyttä ja tuotosta.

### 4.3 Siirto pohjoisesta etelään

Pohjoiset alkuperät, joita oli siirretty useita leveysasteita etelään päin olivat myös elävyydeltään, kasvultaan ja tuotokseltaan heikkoja verrattuina paikallisiin alkuperiin, mikä on yhdenmukainen tulos useiden aiempien Pohjoismaissa tehtyjen tutkimusten kanssa (esim. Erken 1972, Johnsson 1976). Myös Stenerin (1995) mukaan etelä- ja keskisuomalaiset rauduskoivualkuperät siirret-tyinä 400–600 km etelään Etelä-Ruotsiin olivat sekä elävyydeltään että kasvultaan paikallisia ruotsalaisia heikompia, eikä niitä suositella viljeltäväksi Ruotsissa 59. leveysasteen eteläpuolella. Pohjoismaiset koivualkuperät ovat myös menestyneet hyvin heikosti verrattuna paikallisiin al-kuperiin kenttäkokeissa Saksassa (Kleinschmit & Svolba 1982) sekä Skotlannissa (Worrell ym. 2000). Näistä tuloksista poiketen on kuitenkin raportoitu suomalaisten koivujen menestyneen hyvin myös alkuperäpaikkaansa huomattavasti etelämpänä Etelä-Koreassa (37°N) ja Etelä-Kana-dassa (54°N) (Han ym. 1985, Rousi ym. 2012).

Pohjoisilla alkuperillä pituuskasvun päättymisen aiheuttava kriittinen yön-pituus on lyhyempi kuin eteläisillä (Håbjørg 1972, 1978, Viherä-Aarnio ym. 2006), minkä johdosta ne etelää kohti siirrettyinä päättävät kasvunsa jo varhain kesällä (Viherä-Aarnio ym. 2005). Kun tämä toistuu vuodesta toiseen, jäävät pohjoiset alkuperät kasvussa ja tuotoksessa eteläisistä jälkeen, ja pit-källä aikavälillä erot alkuperien välillä korostuvat. Pohjoisten alkuperien menestymistä etelässä saattaa heikentää myös niiden hitaasta kasvusta seuraava huono kilpailukyky (Eriksson 2011). On kuitenkin mahdollista, että kasvun päättymisen fotoperiodinen säätely muuttuu, kun koivuja kasvatetaan meikäläisistä täysin poikkeavissa olosuhteissa (korkea lämpötila ja kosteus), joiden on arveltu liittyvän suomalaisten koivujen hyvään menestymiseen huomattavasti eteläisemmillä leveysasteilla Etelä-Koreassa ja Kanadassa (Rousi ym. 2012).

#### 4.4 Alkuperän leveysasteeseen perustuvien mallien tarkastelu ja kenttäkokeiden virhelähteet

Alkuperän leveysasteella oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus kaikkiin tutkittuihin ominaisuuksiin. Leveysasteen selitysasteet ( $R^2$ ) jäivät kuitenkin melko alhaisiksi (6–64 %). Korkeimmat selitysasteet olivat pääsääntöisesti pohjoisimmassa kokeessa Rovaniemellä. Selittämättömän vaihtelun osuus oli kuitenkin suuri, eikä alkuperän leveysaste yksinään selitä rauduskoivun menestymistä maastossa (Viherä-Aarnio & Velling 2008). Kun menestymisen selittäjänä käytettiin alkuperän ja koepaikan leveysasteiden erotusta, eli etelä-pohjoissuuntaisen siemensiirron pituutta, saatiin samansuuntainen tulos, ja selitysasteet eri ominaisuuksille vaihtelivat 27 ja 39 % välillä (Viherä-Aarnio ym. 2013). Myöskään alkuperän kotipaikan ja koepaikkakunnan välisen lämpösummaeron käyttö selittäjänä ei parantanut mallien selitysasteita (Viherä-Aarnio ym. 2013).

Selittämättömän vaihtelun suuri osuus johtunee osaksi siitä, että tutkimuksen koepaikat olivat kasvupaikkatekijöiden suhteen vaihtelevia. Maaston pinnanmuodot, kosteus, kivisyys ja rehevyys vaihtelivat sekä lohkojen välillä että lohkojen sisällä. Rauduskoivu on herkkä maaperän ominaisuuksien, kuten ravinteisuuden, kosteuden ja maa-aineksen raekoon vaihtelulle, ja menestyy heikosti märillä, kylmillä, hienojakoisilla ja tiiviillä mailla (Sutinen ym. 2002, Niemistö ym. 2008). Karuilla mailla rauduskoivun kasvu jää heikoksi (Hynynen ym. 2010). Näin ollen koivunviljelyn onnistumiseen ja koivuntaimien menestymiseen maastossa vaikuttavat alkuperän lisäksi suuresti myös kasvupaikkatekijät. Todennäköistä on, että mallien tarkkuus ja selitysasteet paransivat, mikäli niihin lisättäisiin kenttäkokeiden ja koeruutujen kasvupaikkaa kuvaavia muuttujia.

Myös kenttäkokeiden välillä oli suuria eroja kasvupaikan laadussa. Koepaikoista rehevin oli Toholammin pelto, missä saavutettiin korkeimmat tuotosluvut. Sen sijaan kangasmaiden koepaikat olivat koivun kasvatuksen kannalta liian karuja, ja niillä jäi parhaidenkin alkuperien puiden koko ja tuotos pieneksi verrattuna Niemistön (1997) saamiin tuloksiin mustikkatyypin harventamattomista viljelykoivikoista. Tuloksissa esitetyt hehtaariohtaiset tuotosluvut ovat laskennallisia, ja perustuvat kenttäkokeiden pieneen ruutukokoon (12 m x 12 m, 144 m<sup>2</sup>). Pienillä koeruuduilla ympäröivien ruutujen reunavaikutus voi olla merkittävä. Siemensiirtoetäisyyden vaikutuksen tarkastelua koesarjassa hankaloittaa se, että kokeiden kasvupaikka, maantieteellinen sijainti ja ilmasto-olot ovat toisiinsa sulautuneita tekijöitä.

#### 4.5 Ilmaston lämpenemisen vaikutukset

Ilmastossamme on havaittu lämpenemistrendi, mikä on näkynyt erityisesti kevätkuukausien lämpötilojen nousuna (Tietäväinen ym. 2010) ja keväisten fenologisten ilmiöiden, kuten koivun lehteen tulon aikaistumisena (Linkosalo ym. 2009). Lämpenemistrendin on ennustettu jatkuvan, ja kuluvan vuosisadan loppuun mennessä vuoden keskilämpötilan ennustetaan nousevan 2–6 asteella verrattuna ajanjaksoon 1971–2002 (Jylhä ym. 2002). Vaihtelevuus ilmastossamme kuitenkin säilyy. Myös tulevaisuuden ilmastossa on tärkeitä, että puiden kasvun alkaminen ja päättyminen sekä niihin liittyvät muutokset pakkasenkestävyydessä tapahtuvat oikeaan aikaan suhteessa vuodenaikaisiin lämpötilan vaihteluihin. Koivun kasvun päättymiseen loppukesällä vaikuttavat fotoperiodin lisäksi myös muut tekijät, joista lämpötila on tärkein. Viimeaikaisissa tutkimuksissa on todettu, että lämpötilan nousu (Mäenpää ym. 2011, Kasurinen ym. 2012) ja ilman kohonnut hiilidioksidipitoisuus (Riikonen ym. 2004, Taylor ym. 2008) myöhentävät rauduskoivun lehtien kellastumista ja varisemista ja saavat puut jatkamaan kasvuaan pidemmälle syksyyn. Tämä saattaa lisätä paleltumisriskiä jopa paikallisilla alkuperillä, mutta mahdollisesti vielä enemmän pohjoisen pitkään päivään siirretyillä eteläisillä alkuperillä.

## 4.6 Johtopäätökset

Nykyistä eteläisempiä alkuperiä on ehdotettu käytettäväksi metsänviljelyssä sillä perusteella, että ne hyödyntäisivät pitenevää kasvukautta paremmin jatkaessaan kasvuaan syksyllä pidempään (Marttila ym. 2005). Koivuntaimien on kuitenkin selviydyttävä herkün taimivaiheen ohi viljelyajankohtana vallitsevassa ilmastossa, ja ilmastomuutoksesta saatava hyöty kasvun lisääntymisenä realisoituu myöhemmin puiden vakiinnuttua kasvupaikalleen. Huolimatta siitä, että lämpenemisen on ennustettu jatkuvan tulevina vuosikymmeninä, ilmastossamme esiintyy kuitenkin vuotuista vaihtelua, ja pakkasvaurioriskit kasvukauden alussa ja lopussa ovat edelleen olemassa. Eteläiset koivualkuperät voivat jossain tapauksissa ylittää korkeisiin tuotoslukuihin, mutta mallien ennustama keskimääräinen hyöty siemensierroista ei ole kuitenkaan kovin suuri (Viherä-Aarnio & Velling 2008, Viherä-Aarnio ym. 2013). Siirtoihin etelästä liittyy lisäksi hieman heikompi rungon ulkoinen laatu (Viherä-Aarnio & Velling 2008) sekä suurempi hirvituhoriski (Viherä-Aarnio & Heikkilä 2006). Satojen kilometrien mittaiset siirrot johtaisivat todennäköisesti huonoon tulokseen myös tulevaisuuden ilmastossa.

Koivun viljelyn kannalta keskeisellä alueella Etelä- ja Keski-Suomessa suositeltava siirtoetäisyys tuotoksen suhteen näyttäisi olevan enintään noin kaksi leveysastetta etelästä pohjoiseen ja vastaavasti laadun suhteen enintään kaksi leveysastetta pohjoisesta etelään (leveysaste = 111 km). Tulokset ovat yhtenevät Raulon & Kosken (1977) ja Raulon (1979) tulosten kanssa, joiden mukaan enintään noin 200 km mittaiset siirrot etelästä pohjoiseen tai päinvastoin eivät vaikuta merkittävästi rauduskoivu kasvuun tai laatuun, ja joihin perustuen nykyohjeissa suositellaan enintään 150 km siirtoetäisyyksiä etelä-pohjoissuunnassa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella ei näyttäisi olevan välitöntä syytä muuttaa nykyisiä siemensierrosuosituksia metsikkösiemenen kohdalla. Mikäli eteläisempien alkuperien pidemmästä kasvujaksosta halutaan hyötyä ilmaston lämmetessä, se voitaisiin tehdä olemassa olevien suositusten rajoissa, viljelypaikkaa hieman eteläisempiä alkuperiä suosimalla.

Rauduskoivun viljely on jo pitkään perustunut jalostetun kotimaisen siemenviljelyssiemenen käyttöön (Hagqvist 1991, Ahtikoski 2000). Ulkomaisten koivualkuperien tuonnille ei ole tarvetta, koska kotimaista jalostettua aineistoa on runsaasti saatavilla. Parhaiden kotimaisten ja paikallisiin olosuhteisiin sopeutuneiden alkuperien käyttö on todennäköisesti jatkossakin vähemmän riskialtista kuin siirrettyjen alkuperien viljely muuttuvassa ja vaikeasti ennustettavassa ilmastossa.

## Kiitokset

Kiitämme Metsähallitusta yhteistyöstä kokeiden perustamisessa ja hoidossa. Metsähallitus järjesti koealueen, taimien kasvatuksen, istutustyövoiman sekä kokeiden alkuvaiheen hoidon osalla kokeista. Kokeiden mittaamisesta vastasivat Taisto Jaakola, Erkki Kosonen, Heimo Tynkkynen ja Jouni Unga mittausryhmineen. Aineiston tilastolliseen analyysiin saimme apua Risto Häkkiselältä ja Jaakko Heinoselta. Tutkimusta rahoitti osittain Suomen Akatemia (projektit 640060 E.V. ja 640077 K.K.). Kiitämme kaikkia tutkimukseen osallistuneita.

## Kirjallisuus

- Ahtikoski, A. 2000. The profitability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and silver birch (*Betula pendula* Roth) next-generation seed orchards in Finland. Väitöskirja. Helsingin yliopisto. 148 s. + 41 liitettä.
- 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 yliopisto. 33 s. + 5 artikkelia.
- Black-Samuelsson, S. & Eriksson, G. 2002. Effects of nitrogen stress on adaptive genetic variation in *Acer platanoides* L. and *Betula pendula* Roth. *Forest Genetics* 9(1):71–86.
- Briceño-Elizondo, E., García-Gonzalo, J., Peltola, H., Matala, J. & Kellomäki, S. 2006. Sensitivity of growth of Scots pine, Norway spruce and silver birch to climate change and forest management in boreal conditions. *Forest Ecology and Management* 232:152–167.
- Erkén, T. 1972. Planterad björk i mellersta och övre Norrland. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 70:435–465.
- Eriksson, G. 2011. *Betula pendula* and *Betula pubescens*. Recent genetic research. Department of Plant Biology and Forest Genetics, Uppsala BioCenter, SLU. Uppsala. 119 s.
- Eriksson, G. & Jonsson, A. 1986. A review of the genetics of *Betula*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1:421–434.
- Haggqvist, R. 1991. Jalostetun koivunsiemenen tuotanto ja saatavuus. Metsänjalostussäätiö. Vuosikirja 1991. s. 12–17.
- Han, Y.C., Lee, Y.K., Ryu, K.O. & Park, M.S. 1985. Growth of European white birch (*Betula pendula* Roth) introduced from Finland at age of 11 in Korea. *Research Report of Institute of Forest Genetics Suwon Korea* 21:73–77.
- Heikinheimo, O. 1949. Tuloksia kuusen ja männyn maantieteellisillä roduilla suoritetuista kokeista. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 37(2):1–44.
- Hynynen, J., Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Brunner, A., Hein, S. & Velling, P. 2010. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry* 83(1):101–119.
- Hyvän Metsänhoidon Suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Helsinki. 100 s.
- Håbjørg, A. 1972. Effects of photoperiod and temperature on growth and development of three latitudinal and three altitudinal populations of *Betula pubescens* Ehrh. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* 51(2):1–27.
- Håbjørg, A. 1978. Photoperiodic ecotypes in Scandinavian trees and shrubs. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* 57(33):1–20.
- Johnsson, H. 1976. Syd- och nordförflyttning av björkprovenienser. Föreningen Skogsträdsförädling och Institutet för Skogsförbättring. Årsbok 1976. s. 48–61.
- Junttila, O. & Nilsen, J. 1993. Growth and development of northern forest trees as affected by temperature and light. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J.L. & Ødum, S. (toim.). *Forest development in cold climates*. Plenum Press, New York. s. 43–47.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. Ilmatieteen laitos, Raportteja No 2009:4. 102 s.
- Kasurinen, A., Biasi, C., Holopainen, T., Rousi, M., Mäenpää, M. & Oksanen, E. 2012. Interactive effects of elevated ozone and temperature on carbon allocation of silver birch (*Betula pendula*) genotypes in an open-air exposure. *Tree Physiology* 32:737–751.
- Kellomäki, S., Väisänen, H. & Strandman, H. 1996. Response of the boreal forest ecosystem to climatic change and its silvicultural implications: modelling, teoksessa: Roos, J. (toim.). *The Finnish Research Programme on Climate Change. Final Report. Publications of the Academy of Finland* 4/96. Edita, Helsinki. s. 252–253.
- 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.



- Kleinschmit, J. & Svolba, J. 1982. Prüfung von Birkenherkünften und Einzelbäumen – erste Ergebnisse der Feldversuche. *Der Forst- und Holzwirt* 37(10):257–263.
- Koski, V., Raulo, J., Sulkinoja, M. & Valanne, T. 2009. Pieni koe Utsjoella tuotti arvokkaita tuloksia rauduskoivun ilmastoonsopeutumisesta. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2009:141–144.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108:1–74.
- Li, C., Puhakainen, T., Welling, A., Viherä-Aarnio, A., Ernstsén, A., Junttila, O., Heino, P. & Palva, T. 2002. Cold acclimation in silver birch (*Betula pendula*). Development of freezing tolerance in different tissues and climatic ecotypes. *Physiologia Plantarum* 116:478–488.
- Linkosalo, T., Häkkinen, R., Terhivuo, J., Tuomenvirta, H. & Hari, P. 2009. The time series of flowering and leaf bud burst of boreal trees (1846–2005) support the direct temperature observations of climate warming. *Agricultural and Forest Meteorology* 149:453–461.
- Luoranen, J. 2000. Control of growth and frost hardening of silver birch container seedlings: growth retardants, short day treatment and summer planting. Väitöskirja. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 777. 167 s.
- Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatukia, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R., Paunio, M. 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 5/2005. 276 s.
- Metsätalastollinen vuosikirja. 2013. SVT maa-, metsä- ja kalatalous. Metsäntutkimuslaitos 450 s.
- Mäenpää, M., Riikonen, J., Kontunen-Soppela, S., Rousi, M. & Oksanen, E. 2011. Vertical profiles reveal impact of ozone and temperature on carbon assimilation of *Betula pendula* and *Populus tremula*. *Tree Physiology* 31:808–818.
- Napola, J. 2014. Itä- ja keskieurooppalaisten kuusialkuperien menestyminen Etelä-Suomessa. Metlan työraportteja 288. 77 s.
- Niemistö, P. 1997. Ensiharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus istutetun rauduskoivikon kasvuun ja tuotokseen. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1997(4):439–454.
- Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Velling, P., Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. (toim.). 2008. Koivun kasvatusta ja käyttöä. Metla ja Metsäkustannus, Karisto Oy, Hämeenlinna. 254 s.
- Nitsch, J.P. 1957. Photoperiodism in woody plants. *Proceedings of American Society of Horticultural Science* 70: 526–544.
- Raulo, J. 1976. Development of *Betula pendula* Roth progenies in northern Lapland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 88(4):1–19.
- Raulo, J. 1979. Rauduskoivujälkeläistöjen rungon laatu Etelä- ja Keski-Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 97(5):1–39.
- Raulo, J. & Koski, V. 1977. Growth of *Betula pendula* Roth progenies in southern and central Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 90(5):1–39.
- Riikonen, J., Lindsberg, M.M., Holopainen, T., Oksanen, E., Lappi, J., Peltonen, P. & Vapaavuori, E. 2004. Silver birch and climate change: variable growth and carbon allocation responses to elevated concentrations of carbon dioxide and ozone. *Tree Physiology* 24:1227–1237.
- Rousi, M., Possen, B.J.H.M., Hagqvist, R. & Thomas B.R. 2012. From the Arctic Circle to the Canadian prairies – a case study of silver birch acclimation capacity. *Silva Fennica* 46(3):355–364.
- Stener, L.-G. 1995. Jämförelse mellan björk av finskt och svenskt ursprung i ett försök i södra Sverige. *SkogForsk. Redogörelse* 1(1995):1–17.
- Stener, L.-G. 1997. Förflyttning av björkprovenienser i Sverige. *SkogForsk. Redogörelse* 3(1997):1–30.
- Sutinen, R., Teirilä, A., Pääntjä, M. & Sutinen, M.-L. 2002. Distribution and diversity of tree species with respect to soil electrical characteristics in Finnish Lapland. *Canadian Journal of Forest Research* 32:1158–1170.
- Tanino, K.K., Kalcsits, L., Silim, S., Kendall, E. & Gray, G.R. 2010. Temperature-driven plasticity in growth cessation and dormancy development in deciduous woody plants: a working hypothesis suggesting how molecular and cellular function is affected by temperature during dormancy induction. *Plant Molecular Biology* 73:49–65.

- Taylor, G., Tallis, M.J., Giardina, C.P., Percy, K.E., Miglietta, F., Gupta, P.S., Gioli, B., Calfapietra, C., Gielen, B., Kubiske, M.E., Scarascia-Mugnozza, G.E., Kets, K., Long, S.P. & Karnosky, D.F. 2008. Future atmospheric CO<sub>2</sub> leads to delayed autumnal senescence. *Global Change Biology* 14:264–275.
- Tietäväinen, H., Tuomenvirta, H. & Venäläinen, A. 2010. Annual and seasonal mean temperatures in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. *International Journal of Climatology* 30:2247–2256.
- Velling, P. 1979. Erilaisten rauduskoivuprovenienssien alkupehityksestä taimitarhalla ja kenttäkokeessa. *Folia Forestalia* 379:1–14.
- Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Pirinen, P., Drebs, A. 2005. A basic Finnish climate data set 1961–2000 – Description and illustrations. Tutkimuskäyttöön kootun vuosien 1961–2000 perusilmastoaineiston kuvaus. Ilmatieteen laitos, Raportteja No 2005 (5), 1–27.
- Viherä-Aarnio, A. 1991. History of birch (*Betula* spp. L.) breeding in Finland. *Metsänjalostussäätiön Tiedonantoja* 1: 49–57.
- Viherä-Aarnio, A. & Velling, P. 1998. Rauduskoivujälkeläistöjen kasvu ja laatu – tuoreita tuloksia Rautalahdesta. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 668: 69–84.
- Viherä-Aarnio, A. & Heikkilä, R. 2006. Effect of the latitude of seed origin on moose (*Alces alces*) browsing on silver birch (*Betula pendula*). *Forest Ecology and Management* 229: 325–332.
- Viherä-Aarnio, A. & Velling, P. 2008. Seed transfers of silver birch (*Betula pendula*) from the Baltic to Finland – effect on growth and stem quality. *Silva Fennica* 42(5):735–751.
- Viherä-Aarnio, A., Häkkinen, R., Partanen, J., Luomajoki, A. & Koski, V. 2005. Effects of seed origin and sowing time on timing of height growth cessation of *Betula pendula* seedlings. *Tree Physiology* 25: 101–108.
- Viherä-Aarnio, A., Häkkinen, R. & Junntila, O. 2006. Critical night length for bud set and its variation in two photoperiodic ecotypes of *Betula pendula*. *Tree Physiology* 26: 1013–1018.
- Viherä-Aarnio, A., Kostianen, K., Piispanen, R., Saranpää, P. & Vapaavuori, E. 2013. Effects of seed transfers on yield and stem defects of silver birch (*Betula pendula* Roth). *Forest Ecology and Management* 289: 133–142.
- Wareing, P.H. 1956. Photoperiodism in woody plants. *Annual Review of Plant Physiology* 7: 191–214.
- Way, D.A. & Oren, R. 2010. Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data. *Tree Physiology* 30: 669–688.
- White, T.L., Adams, W.T. & Neale, D.B. 2007. *Forest Genetics*. CABI Publishing, Oxfordshire, UK and Cambridge, MA, USA. 682 s.
- Worrell, R., Cundall, E.P., Malcolm, D.C. & Ennos, R.A. 2000. Variation among seed sources of silver birch in Scotland. *Forestry* 73(5): 419–435.
- Åkerman, S., Tammissola, J., Lapinjoki, S.P., Söderlund, H., Kauppinen, V., Viherä-Aarnio, A., Regina, M. & Hagqvist, R. 1995. RAPD markers in parentage confirmation of a valuable breeding progeny of European white birch. *Canadian Journal of Forest Research* 25:1070–1076.