

Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 39/2016

# Männyn siemenviljelysaineiston käyttöalueen määrittäminen

Seppo Ruotsalainen, Egbert Beuker ja Matti Haapanen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 39/2016

# Männyn siemenviljelysaineiston käyttöalueen määrittäminen

Seppo Ruotsalainen, Egbert Beuker ja Matti Haapanen

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2016



ISBN: 978-952-326-269-0 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-270-6 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-270-6>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Seppo Ruotsalainen, Egbert Beuker ja Matti Haapanen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2016

Julkaisuvuosi: 2016

Kannen kuva: Matti Haapanen

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

## Esipuhe

Tällä hetkellä käytössä olevat siemenviljelysten käyttöalueiden määrittämismenetelmät on julkaistu vuonna 1999. Ne perustuvat jo aiemmin tehtyyn tutkimukseen ja 1980-luvulla kehitettyihin rutiineihin. Luonnonvarakeskuksessa käynnistettiin vuonna 2013 Metsänviljelyaineiston käyttöalueiden määrittely -hanke, jonka tavoitteena oli tuottaa uusia vaihtoehtoja Suomessa käytettävän metsänviljelyaineiston käyttöalueiden määrittämistä varten kenttäkoetulosten perusteella huomioiden mahdollinen ilmastonmuutos. Hankkeen tuloksena syntynyt, tässä raportissa esiteltävä uusi männyn siemenviljelysten käyttöalueiden määrittämismenetelmä on yhteneväinen Ruotsissa käytetyn menetelmän kanssa. Uusi menetelmä hyödyntää laajaa mittausaineistoa ja huomioi paremmin puun tuotoksen. Koska menetelmällä on ensimmäistä kertaa yhteispohjoismainen perusta, voidaan jatkossa Suomen ja Ruotsin metsänviljelyaineistolle laskea käyttöalueet, jotka perustuvat samoihin periaatteisiin.

Tavoitteena on, että raportissa esitellyt, uusimpaan tutkimustietoon perustuvat käyttöalueet saataisiin käyttöön mahdollisimman nopeasti. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira merkitsee uudet käyttöalueet perusaineistorekisteriin ja julkaisee käyttöaluekartat verkkosivuillaan sovitussa aikataulussa.

Metsänjalostusta on harjoitettu Suomessa pitkäjänteisesti usean vuosikymmenen ajan. Käyttämällä metsänuudistamisessa jalostettua, siemenviljelyksillä tuotettua siementä tai niistä kasvatettuja taimia, saadaan metsänjalostuksen tulokset hyödynnettyä. Metsälaki vaatii, että uudistamisessa käytetään alkuperältään alueelle soveltuvaa metsänviljelyaineistoa. On kuitenkin tärkeää, että siemenviljelyssiemenen käytöllä myös saavutetaan odotettu jalostushyöty. Tämän vuoksi siemenviljelysten käyttöalueet tulee määritellä siten, että tuotos ylittää selvästi paikallisen metsikköerän tuotoksen. Muussa tapauksessa metsänjalostuksen hyödyt ja valtion panostus siihen eivät tule täysimittaisesti hyödynnettyä.

Metsänjalostuksen tavoitteena on tuottoisa ja monenlaisissa ympäristöolosuhteissa menestyvä terve metsä. Kansallisen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelman 2022 päämääränä on, että suomalaisella yhteiskunnalla on kyky hallita ilmastonmuutokseen liittyvät riskit ja sopeutua ilmastossa tapahtuviin muutoksiin. Tässä raportissa esitelty männyn siemenviljelysten käyttöalueiden uudelleen määrittäminen on tärkeässä roolissa, kun metsätaloutta pyritään sopeuttamaan ilmastonmuutokseen. Ilmaston lämmitessä käyttöalueita täsmennetään määräjain, jotta tutkimustieto saadaan siirrettyä käytäntöön.

On ollut ilo seurata Luonnonvarakeskuksen aktiivista otetta käyttöalueiden määrittämisessä. Hankkeessa on tehty laajaa yhteistyötä sekä naapurimaan kollegojen että alan toimijoiden kanssa Suomessa.

Sanna Paanukoski  
ylitarkastaja  
maa- ja metsätalousministeriö

# Tiivistelmä

Seppo Ruotsalainen<sup>1)</sup>, Egbert Beuker<sup>1)</sup> ja Matti Haapanen<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Luonnonvarakeskus, Finlandiantie 18, 58450 Punkaharju

<sup>2)</sup>Luonnonvarakeskus, Jokiniemenkuja 1, 01370 Vantaa

Männyn siemenviljelysten käyttöalueiden uudelleen määrittely on katsottu tarpeelliseksi Suomen ja Ruotsin välisen metsänviljelyaineistolla käytävän kaupan lisääntyessä ja ilmaston lämmetessä. Juuri valmistuneet, laajaan suomalais-ruotsalaiseen kenttäkoeaineistoon perustuvat alkuperäsiirtomallit antavat nyt mahdollisuuden käyttöalueiden päivittämiseen.

Alkuperäsiirtomallien toimintaa havainnollistetaan kuvaamalla erikseen alkuperäsiirtojen vaikutusta elävyyteen ja pituuteen sekä niistä johdettuun puuntuotosindeksiin. Mallien avulla tuotetaan käyttöaluekartat erityyppisille siemenviljelyksille ja tarkastellaan käyttöalueiden muutoksia nykytilanteeseen nähden.

Uusien mallien myötä siemenviljelysten käyttöalueiden rajat muuttuvat enemmän leveysasteiden suuntaisiksi, kun ne nykyisellään seuraavat lämpösummavyöhykkeitä. Etelä- ja Keski-Suomessa, missä lämpösummakäyrät ovat likipitään leveysasteiden suuntaisia, käyttöalueet eivät olennaisesti muutu, lähinnä niiden etelärajat siirtyvät hieman pohjoiseen. Sen sijaan pohjoisempana, leveysasteelta 64 °N alkaen, missä lämpösummavyöhykkeet ovat lähinnä korkeuseroista johtuen kaakko-luode-suuntaisia, uudet käyttöalueet poikkeavat enemmän nykyisistä. Erityisesti alueen itäosassa ne siirtyvät selvästi nykyistä pohjoisemmaksi.

Kaikkein pohjoisinta alkuperää olevien siemenviljelysten käyttöalueiden määrittelyyn sovelletaan varovaisuussyistä lisäehtoja, sillä niiden tuottaman metsänviljelyaineiston menestymisestä Pohjois-Suomessa ei ole vielä riittävää kokeellista varmuutta. Siellä metsänviljelyaineiston käytössä on myös huomioitava paikallisista olosuhteista johtuvat keskimääräistä ankarammat viljelyolosuhteet.

Viime vuosien ilmaston lämpenemisestä seuraa, että käyttöalueet siirtyvät entisiin verrattuna hieman pohjoiseen päin. Uudet käyttöaluemallit mahdollistavat entistä kätevämmän käyttöalueiden määrittämisen myös ruotsalaiselle siemenviljelyaineistolle sekä yhteiset Suomen ja Ruotsin kattavat käyttöalueet.

Asiasanat: ilmastomuutos, käyttöalue, metsänviljely, mänty, siemenviljelys

# Sisällys

<b>Esipuhe .....</b>	<b>3</b>
<b>Tiivistelmä.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Johdanto .....</b>	<b>6</b>
1.1. Metsänviljelyaineiston käyttöalueiden määrittämisen historia Suomessa .....	6
1.2. Metsänviljelyaineiston käyttöalueiden määrittäminen Ruotsissa.....	8
<b>2. Metsänviljelyaineiston siirtomallit .....</b>	<b>10</b>
2.1. Aineistot.....	10
2.2. Elävyyismalli.....	11
2.3. Kasvumalli .....	11
2.4. Tuotos .....	12
<b>3. Mallien tarkastelua .....</b>	<b>13</b>
3.1. Teoreettinen tarkastelu .....	13
3.2. Tuotostarkastelu.....	17
<b>4. Mallien soveltaminen .....</b>	<b>21</b>
<b>5. Siemenviljelysten käyttöalueet.....</b>	<b>24</b>
<b>6. Yhteenveto ja johtopäätökset .....</b>	<b>26</b>
<b>Kiitokset.....</b>	<b>27</b>
<b>Viitteet.....</b>	<b>28</b>
<b>LIITTEET.....</b>	<b>30</b>

# 1. Johdanto

## 1.1. Metsänviljelyaineiston käyttöalueiden määrittämisen historia Suomessa

Perinteisenä lähtökohtana metsänviljelyaineiston käyttöalueen määrittämisessä on Suomessa ollut metsäpuiden oletettu sopeutuminen paikalliseen ilmastoon sukupolvia jatkuneen luonnonvalinnan tuloksena. Kosken (1988) mukaan siemenviljelyssiemenen käyttöalueella *”tarkoitetaan sitä maantieteellisesti rajattua aluetta, jonka sisäpuolella käytettynä sen viljelyvarmuus on yhtä hyvä kuin paikallisen metsikkösiemenen ja sen käytöllä saavutetaan jalostushyöty tuotosominaisuuksissa”*. Määrittäminen jättää auki kysymyksen siitä, kuinka laajalla alueella tietty viljelyaineisto on metsätaloudellisessa mielessä riittävän sopeutunut. Pitkäaikaiset kenttäkokeet ovat osoittaneet, että tuotoksena mitattava sopeutuneisuus riippuu alkuperän sijaintipaikkakunnan ja viljelypaikan lämpösummien erotuksesta. Tätä jatkuvaa muuttujaa on meillä käytetty pääkriteerinä käyttöalueiden rajaamisessa aineistokohtaisesti. Tämä onkin biologisesti perusteltua ottaen huomioon metsäpuiden vähittäisen (klinaalisen) alkuperävaihtelun. Monissa maissa metsänviljelyaineistojen käyttöalueet on rajattu hallinnollisin perustein, mikä ei ota huomioon kovin yksityiskohtaisesti viljelypaikan ja kunkin aineiston alkuperän välistä ilmastollista eroa (Sarvas 1970, Konnert ym. 2015).

Ensimmäiset suositukset männyn metsikköaineiston siirroille annettiin Heikinheimon (1949) julkaisussa. Nämä ohjeet perustuivat tuloksiin Etelä- ja Keski-Suomessa sijaitsevista nuorista kenttäkokeista, ja olivat varsin vapaamieliset sallien jopa 200 kilometrin pituiset siirrot etelästä pohjoiseen. Sen sijaan siirtoja pohjoisesta etelään Heikinheimon (1949) kehotti kasvutappioiden vuoksi välttämään pitäen 150 kilometrin siirtoa enimmäisrajana. Kalelan (1937) aikaisempaan tutkimukseen viitaten Heikinheimon päätteli, että vastaavan pituiset siirrot olisivat mahdollisia Pohjois-Suomessakin, vaikka hänen oma tutkimusaineistonsa ei sinne asti ulottunutkaan. Sarvas (1960) havaitsi Heikinheimon aineistoon perustuen, että kenttäkokeiden varttuessa viljelypaikan optimi siirtyy lähemmäs alkuperäpaikkakuntaa. Hänkin piti silti 200–300 kilometrin alkuperäsiirtoja mahdollisina sekä kuusella että männynllä.

Tapion viimeisimmissä alkuperäsiirto-ohjeissa (Tapio 2006) suositellaan Etelä-Suomessa männyn viljelyä paikallisella alkuperällä. Alkuperä katsotaan paikalliseksi, jos siirto etelä-pohjoissuunnassa on alle sata kilometriä. Toisaalta ohjeissa sanotaan, että Etelä-Suomessa metsänviljelyaineistoa *”...voidaan siirtää 150 d.d.-yksikköä alkuperäaluetta lämpimämmälle alueelle ja 100 d.d.-yksikköä kylmemmälle alueelle.”* Erityisesti versosurmalle alttiilla kasvupaikoilla suositellaan pohjoisemman alkuperän käyttöä. Itä-länsisuuntaisia siirtoja ei ohjeissa mainita lukuun ottamatta rannikolta sisämaahan tapahtuvia siirtoja, joita ei suositella. Pohjois-Suomessa Tapion suositeltu enimmäissiirtomatka on sama kuin Etelä-Suomessa, paitsi että kylmempään suuntaan tapahtuvia siirtoja ei suositella. Sen sijaan lämpimämpään suuntaan tapahtuvia siirtoja ohjeissa suositellaan sallimisen sijaan.

Ensimmäiset ohjeet siemenviljelyssiemenen käyttöalueiksi ovat 1960-luvun lopulta, jolloin Sarvas (1967, 1968, 1970) julkaisi ohjeet siemenviljelysten perustamista ja rekisteröintiä varten. Ne perustuivat teoreettisiin laskelmiin tietyn metsikön puiden kokeman vuotuisen lämpösummavaihtelun suuruudesta (Sarvas 1967) sekä kukintafenologiassa esiintyvään saman metsikön puiden väliseen vaihteluun (Sarvas 1970). Lämpösummavaihtelun perusteella määritetty käyttöalue oli 130 d.d.:n vyöhyke viljelyksen pluspuiden lämpösummakeskiarvon ympärillä (keskiarvo  $\pm$  65 d.d.) (Sarvas 1967). Myöhemmän ohjeen (Sarvas 1970) mukaan käyttöalueen laajuus perustui männyn kukintafenologiaan siten, että samaan viljelykseen tulisi sisällyttää pluspuita, joiden alkuperäalueen lämpösomma poikkeaa korkeintaan 6 %:a viljelyksen puiden keskiarvosta. Samaa 6 %:n sääntöä käytettiin myös siemenviljelyksen käyttöalueen määrittämiseen. Viljelyksen pluspuiden lämpösummakeskiarvon ollessa 1250 d.d.:tä tämä johtaa 150 d.d.:n laajuiseen käyttöalueeseen.

Edellä mainittua 6 %:n lämpösummasääntöä voitiin Sarvaksen (1970) mukaan soveltaa vain eteläisessä Suomessa. Siemenviljelyksille, jotka koostuivat pohjoisimman Suomen ns. marginaalialueen (lämpösumma alle 950 d.d.:tä) plusmännyistä, sallittiin suurempi, enimmillään jopa 12 %:n poikkeama keskimääräisestä lämpösummasta. Marginaalialueesta Sarvas (1970) totesi, että kukintafysiologisilla perusteilla kaikki tältä seudulta kotoisin olevat pluspuut voidaan sisällyttää samaan siemenviljelykseen, mainiten tosin, että asiassa voi olla muita rajoitteita. Sarvas (1970) ei määritellyt käyttöalueen tarkkoja rajausperusteita Pohjois-Suomessa, mutta antoi ymmärtää, että 6 %:n sääntö ei siellä päde, vaan laajempi käyttöalue olisi mahdollinen.

Sarvaksen esittämät menetelmät siemenviljelysten käyttöalueiden määrittämiseksi jäivät varsin vähälle käytölle, sillä 1960- ja 1970-luvuilla siemenviljelysten siemensadot olivat vielä hyvin vaatimatonta. Ensimmäiset viralliset siemenviljelysten käyttöalueet määriteltiin 1980-luvun alussa lähinnä omistajan tarpeiden mukaan, ja ne jäivät useimmiten varsin suppeiksi. Myöhemmin syntyi tarve laajentaa käyttöalueita kattamaan koko se alue, missä siementä voitiin turvallisesti käyttää (Nikkanen ym. 1999).

Koski (1988) esitti alkuperäkokeiden tulosten perusteella käyttöalueen laajuudeksi 200 lämpösummayksikköä (pluspuiden vartemäärällä painotettu lämpösummakeskisarvo  $\pm 100$  d.d.). Tämän ohjeen hän ei kuitenkaan katsonut soveltuvan kauas alkuperäalueensa ulkopuolelle (poikkeama yli 130 d.d.:tä) perustettujen nuorten siemenviljelysten siemensatoihiin. Niiden käyttöalueen laajuudeksi Koski (1988) määritteli 150 lämpösummayksikköä siten, että pohjoisrajana on viljelyksen sijaintipaikan ja sen pluspuiden alkuperälämpösummien keskiarvo ja etelärajana kyseinen keskiarvo, johon on lisätty 150 lämpösummayksikköä. Näiden lisäksi ohjeisiin sisällytettiin mahdollisuus harkinnanvaraisesti supistaa käyttöaluetta tapauksissa, joissa käyttöalue venyy hyvin pitkäksi luode-kaakko-suunnassa.

Alkuperäalueensa ulkopuolella sijaitsevien nuorten, mutta jo jossain määrin siitepölyä tuottavien siemenviljelysten käyttöalueita ei Kosken (1988) ohjeessa käsitelty. Myöhemmässä ohjeessaan Koski (1992) totesi, että niihin voidaan soveltaa aiemmin annettua nuorten viljelysten ohjetta (Koski 1988), vaikka siemenviljelyksen siitepölytuotanto olisikin yli 10 kg hehtaarilla. Samalla hän esitti, että näillä viljelyksillä käyttöalueen pohjoisrajalla lämpösumman tulee olla vähintään 950 d.d.:tä.

Vaikka käyttöalue määriteltiinkin lämpösumman avulla, se ilmoitettiin lämpösummaltaan vastaavina siemenkeräysalueina (Koski 1988, Nikkanen ym. 1999). 1990-luvun puolivälissä hankaliksi osoittautuneista siemenkeräysalueluetteloista luovuttiin, ja käyttöalue ilmoitettiin siitä lähtien pelkästään lämpösummayksikköinä.

1990-luvun lopulla käyttöalueiden laskentamenettelyn automatisoimiseksi kehitettiin yksinkertainen matemaattinen yhtälö (Nikkanen ym. 1999). Eräänä muutoksen ponttimena olivat havaitut epäloogisuudet tapauksissa, joissa siemenviljelyksen alkuperän ja sijaintipaikan välinen lämpösummaero oli lähellä 150 d.d.:tä. Männyn siemenviljelysaineiston käyttöalueen keskiarvo ( $x_{KA}$ ) laskettiin Nikkasen ym. (1999) mukaan:

$$x_{KA} = 0,75 * AP + 0,25 * SV + sj,$$

missä AP = pluspuiden alkuperälämpösummien keskiarvo  
SV = siemenviljelyksen sijaintipaikan lämpösumma  
sj = ns. siirtojarru.

Laskelmissa oletetaan, että puolella siemenviljelyksen siemenistä isänä ovat viljelyksen lähiympäristössä kasvavat luonnonpopulaatioon kuuluvat männyt, toisella puolella viljelyksellä olevat pluspuut. Viljelyksen pluspuiden osuus syntyvän siemensadon geneettisestä koostumuksesta on siis 75 %, jäljelle jäävän osuuden tullessa ympäristön luonnonpopulaatiosta. Siirtojarru on kokemusperäinen korjaustekijä (Nikkanen 1982, Venäläinen 1990), jonka tarkoituksena on välttää liian pohjoiset käyttö-



alueet siemenviljelyksillä, joiden pluspuiden lämpösummien keskiarvo on alle 1100 yksikköä. Männyllä siirtojarru lasketaan seuraavasti:

$$s_j = (1100 - AP) / 1,75$$

Siirtojarrua käytettäessä käyttöalueen pohjoisrajaksi tulee pohjoisimmillakin aineistoilla vähintään 930 lämpösummayksikköä. Siirtojarrun soveltamistapaa on myöhemmin täsmennetty siten, ettei sitä käytetä jos siemenviljely sijaitsee 1100 d.d.:n rajan kylmemmällä puolella, eikä erotus SV-AP ole yli 100 d.d.:tä (Nikkanen & Ruotsalainen 2014). Ilman tätä täsmennystä uusien aiempaa pohjoisemmaksi perustettujen siemenviljelysten käyttöalueet olisivat muodostuneet luonnottoman eteläisiksi.

Nikkasen ym. (1999) ohjeessa asetettiin aiemmasta poiketen rajat myös etelään päin tapahtuville alkuperäsiirroille. Viljelypaikan lämpösumma sai olla enintään 300 d.d.:tä suurempi kuin pluspuiden alkuperälämpösumman keskiarvo. Tämä rajoitus yhdessä siirtojarrun kanssa johti siihen, että alkuperältään pohjoisimpien, lähinnä inarilaisista plusmännyistä koostuvien siemenviljelysten käyttöalueista muodostui hyvin kapeita, vain 50 lämpösummayksikön levyisiä ”nauhoja” (Nikkanen ym. 1999).

Pohjoissuomalaisen siemenviljelyksen yksittäisille siemensadoille on 1990-luvun puolivälistä lähtien määritetty käyttöalueita myös pakastustestauksen avulla (Pulkinen 1995, Ohje siemenviljelyssiemenen... 1996). Siemenviljelyksiltä kerätyistä siemeneristä kasvatettuja yhden kasvukauden ikäisiä taimia on pakastettu syksyllä yhdessä alkuperältään tunnetuista metsikkösiemeneristä kasvatettujen taimien kanssa. Menetelmässä metsikkösiemenerien pakkasvaurioille estimoidaan regressioyhtälö niiden alkuperälämpösumman suhteen. Tämän regression avulla määritellään edelleen, mitä alkuperälämpösummaa testatun siemenviljelyserän taimien pakastusvauriot vastaavat. Ohjeen mukaan siemenerälle määritetään käyttöalue siten, että käyttöalueellaan viljelyaineiston kestävyys tulee olla hiukan paikallista alkuperää parempi. Tätä on käytännössä sovellettu niin, että pakastustestissä saavutettu keskimääräinen kestävyys on asetettu käyttöalueen pohjoisrajaksi. Etelärajana käytetään siemenviljelykselle lämpösumman avulla määritetyn käyttöalueen etelärajaa, kuitenkin enintään 200 d.d.:tä pakastustestauksella määritettyä pohjoisrajaa suurempaa lämpösumma-arvoa (Kari Leinonen, Evira, suull. tied.).

Pakastustestausta on käytetty myös valittaessa kestäviä pluspuita uusiin pohjoissuomalaisiin siemenviljelyksiin. Tällöin pakastuksen kohteena ovat olleet yksittäisten pluspuiden jälkeläistöt, mutta muuten menettely on ollut yllä kuvatun kaltainen. Näiden uusien siemenviljelysten käyttöalueet on määritelty pluspuukohtaisten pakastustulosten avulla käyttäen pakastustestillä saatua pluspuiden keskimääräistä laskennallista lämpösummaa käyttöalueen pohjoisrajana ja käyttöalueen laajuutena 200 d.d.:tä (Kari Leinonen, Evira, suull. tied.).

## 1.2. Metsänviljelyaineiston käyttöalueiden määrittäminen Ruotsissa

Ruotsissa käytetyt männyn alkuperäsiirtomallit ennustavat, että suurin elävyys saavutetaan käyttämällä metsänviljelyssä jopa neljä leveysastetta viljelypaikkaa pohjoisempaa alkuperää (Eriksson ym. 1980, Persson 1994, Andersson ym. 2003, 2007). Ilmastollisesti suotuisammilla kasvupaikoilla suositeltava siirtomatka on kuitenkin lyhyempi, ja lämpösumman noustessa 1250 d.d.:hen alkuperällä ei näytä olevan enää vaikutusta elävyyteen (Persson 1994). Paras pituuskasvu puolestaan saavutetaan siirtämällä metsänviljelyaineistoa etelästä pohjoiseen 0–2 leveysastetta (Persson 1994, Andersson ym. 2003, 2007).

Ruotsissa metsänviljelyaineiston käytön optimointiin on kehitetty julkinen internetsovellus (Plantval), joka perustuu kenttäkoetulosten pohjalta laskettuihin siirtomalleihin (Berlin ym. 2014). Alkuperäsiirron vaikutus kokonaistuotokseen on määritetty kertomalla keskenään siirron vaikutus elävyyteen ja pituuteen 30 vuoden iällä istutuksesta ja korjaamalla tulosta ns. ryhmittäisyystekijällä (Berlin ym. 2014). Siirron vaikutusta on kuvattu suhteellisella tuotosindeksillä, joka saadaan jakamalla

siirretyn aineiston tuotos paikallisen aineiston tuotoksella. Menetelmää käytetään alueella, missä lämpösumma on alle 1200 d.d.:tä. Lämpösummavälillä 1200–1300 d.d. alkuperän ei oleteta vaikuttavan elävyyteen, mutta kylläkin pituuskasvuun, ja 1300 d.d.:tä lämpimämmässä ilmastossa alkuperällä ei oleteta olevan mitään vaikutusta tuotokseen (Berlin ym. 2014).

Nykyisen Plantval-sovelluksen mukaan paras puuntuotos kylmässä ilmastossa (700 d.d.) saavutetaan männyllä käyttämällä jopa kolme leveysastetta paikallista pohjoisempaa alkuperää. Leudomassa ilmastossa siirtomatka lyhenee, kunnes noin lämpösummalla 1050 d.d.:tä paikallisen alkuperän tuotos on paras. Lämpösumman ylittäessä 1150 d.d.:tä alkuperällä ei ole käytännössä vaikutusta puuntuotokseen tai sitten suositellaan käytettäväksi hieman eteläisempää (noin yksi leveysaste) alkuperää. Meillä käytössä oleviin alkuperäsiirtosuosituksiin verrattuna Ruotsissa suositellaan käytettäväksi kylmässä ilmastossa selvästi pohjoisempaa alkuperää kuin Suomessa. Sen sijaan lämpimämmässä ilmastossa (noin 1050 d.d. alkaen) ei eroa Suomen alkuperäsiirtosuosituksiin juuri ole.

Siemenviljelysten tuotosindeksit lasketaan Ruotsissa edellä esitettyyn tapaan lisäämällä siemenviljelyksen tuotokseen sen pluspuuaineiston geneettisen tason mukainen arvioitu jalostushyöty. Tuotosindeksejä ei kuitenkaan käytetä suoraan ilmaisemaan siemenviljelyksen käyttöaluetta, vaan nämä perustuvat harkinnanvaraisesti käsityönä tehtyyn kohdistukseen. Mainittakoon vielä, että Ruotsissa metsänviljelyaineiston käytölle on laissa annettu hyvin väljät rajoitukset: tiettyä alkuperää voidaan käyttää jopa 5–6 leveysasteen laajuisella alueella.

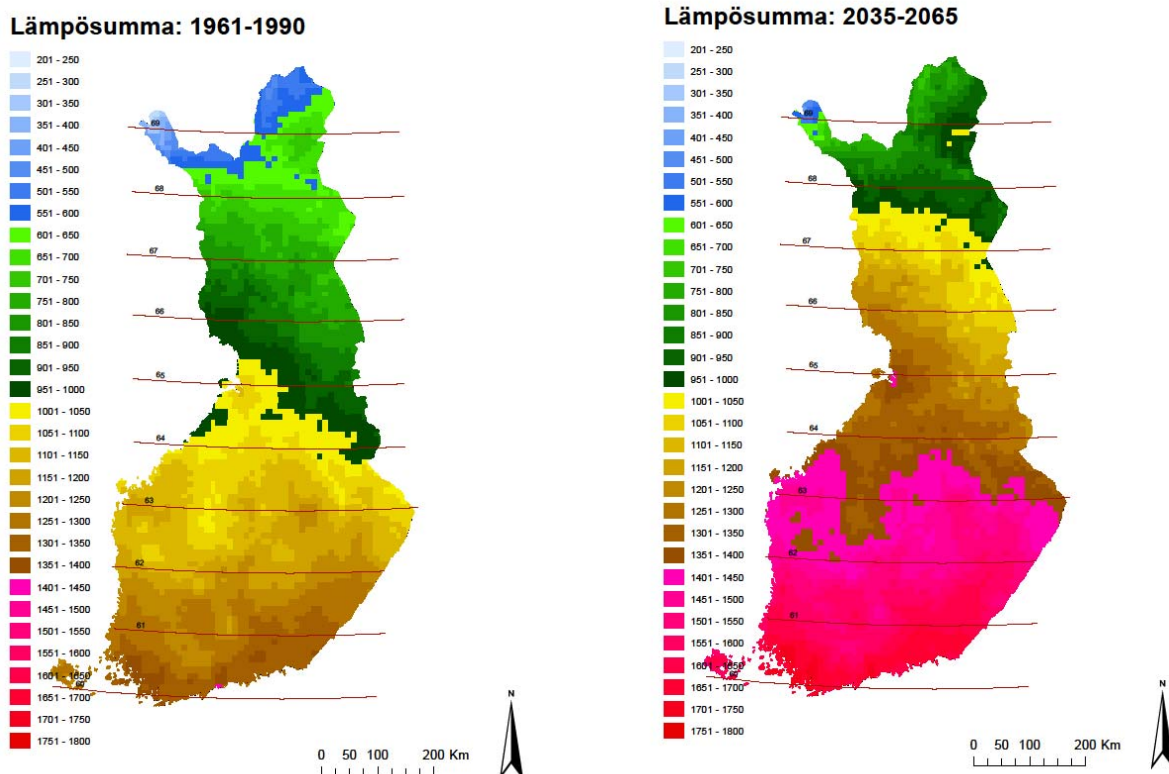
Suomen ja Ruotsin välisen metsänviljelyaineistolla käytävän kaupan lisääntyessä edellä kuvatut erot käyttöaluesuosituksissa ovat olleet yhtenä tärkeänä perusteena ryhdyttäessä kehittämään yhteisiä alkuperäsiirtomalleja männylle. Vuonna 2009 alkanut yhteistyö Metsäntutkimuslaitoksen (nykyisin Luonnonvarakeskuksen) ja Skogforskin välillä on saavuttanut tärkeän virstanpylvään uusien, kattavaan kenttäkoeaineistoon perustuvien alkuperäsiirtomallien valmistuttua (Berlin ym. 2016). Tässä raportissa kuvataan kyseisten mallien soveltamista männyn siemenviljelysten käyttöalueiden määrittämiseen Suomessa.

## 2. Metsänviljelyaineiston siirtomallit

### 2.1. Aineistot

Yhteisten männyn käyttöaluemallien laadinnan perustaksi Suomesta ja Ruotsista koostettiin mahdollisimman laaja mittausaineisto, johon sisältyi saatavilla olleita kasvumittauksia metsänjalostuksen alkuperä- ja jälkeläiskokeista. Aineistossa oli yhteensä 378 kenttäkoetta, joista enemmistö, 289 koetta sijaitsi Suomessa. Kenttäkokeet kattoivat etelä-pohjoissuunnassa käytännössä koko Suomen, mutta Ruotsissa mukana olivat vain leveysasteen 60 °N pohjoispuolella olevat kokeet. Kokeissa on testattu 163 suomalaista ja 113 ruotsalaista metsikkösiemenerää. Koska samoja koe-eriä on monessa eri kokeessa, erillisiä havaintopisteitä kertyi aineistoon yhteensä 2850 kpl. Kummankin maan kokeissa oli mukana lähinnä kotimaisia aineistoja, vain muutamia metsikköeriä oli testauksessa naapurimaan puolella. Kokeissa olleet metsikköerät olivat taustaltaan vaihtelevia; suurin osa oli kokeisiin vertailuaineistoksi kerättyjä sijainniltaan tarkoin tunnettuja metsikköeriä, osa taas alkuperältään vähemmän tarkasti tunnettuja, talouskäyttöön kerättyjä kaupallisia metsikköeriä. Siirtomallien laadinnassa käytetyn aineiston lisäksi mallien oikeellisuuden testaamisessa hyödynnettiin laajaa, edellä mainitusta aineistosta erillistä pluspuiden jälkeläisaineistoa (119 koetta ja 3921 koe-erää). Tämä testiaineisto painottui Ruotsiin (100 koetta), toisin kuin mallin laadinnassa käytetty aineisto.

Kenttäkokeet oli perustettu vuosina 1951–1996, ja ne oli mitattu keskimäärin noin 17 vuoden iällä (vaihteluväli 7–35 vuotta). Mallinnuksessa käytetty kasvutunnus oli puun kokonaispituus. Koeerän elävyys johdettiin pituusmittauksista, sillä kokeissa oli pääsääntöisesti mitattu pituus kaikista elävistä puista. Pituuskasvu oli monessa kokeessa mitattu useammin kuin kerran. Mallien laadinnassa käytettiin viimeisintä mittausta, johon puiden välinen kilpailu tai harvennuskäsittely ei ollut vielä vaikuttanut.



**Kuva 1.** Vasemmalla: Vuosien 1961–1990 keskimääräinen vuotuinen lämpösumma 10×10 kilometrin hilaruudukolle laskettuna (nykyinen Eviran käyttöaluemäärityksessä käytetty jakso). Oikealla: Skenaari A1B mukainen vuosien 2035–2065 keskimääräinen vuotuinen lämpösumma 10×10 kilometrin hilaruudukolla (vastaa vuoden 2050 lämpösummaa mallin soveltamisessa).

Mallien laadinnassa käytettiin säähavaintoasemien mittauksista johdettuja, hilapisteisiin (Suomessa 10×10 km, Ruotsissa 4×4 km) laskettuja vuosien 1961–2007 ilmastotunnusten keskiarvoja kuvaamaan kunkin kenttäkokeen ilmastoa. Mallien soveltamisessa käytettiin puolestaan ilmastoskenaario SRES A1B:lle perustuvaa kuuden alueellisen skenaarion keskiarvon mukaista ennustetta vuonna 2050 vallitsevasta lämpösummasta (Bärring ym. 2016), sekä mitattujen ilmastohavaintojen ja em. vuoden 2050 ilmastoennusteen avulla interpoloitua vuoden 2020 lämpösummaa (kuva 1). Käytetyn skenaarion mukainen vuoden 2050 lämpösumma on Etelä-Suomessa 300 d.d.-yksikköä (25 %) ja Pohjois-Suomessa 250 d.d.-yksikköä (40 %) suurempi kuin vuosien 1961–1990 keskiarvo.

## 2.2. Elävyysmalli

Eri-ikäisistä kenttäkokeista saadut elävyytulokset muunnettiin vastaamaan odotettua elävyyttä 2,5 metrin keskipituudessa. Elävyyttä selitti parhaiten tilastollinen malli (tekstilaatikko 1), jossa selittäjänä oli logit-muunnettu elävyys 2,5 metrin keskipituudessa ja selittävinä tekijöinä viljelypaikan lämpösumma, leveysastesiirto (alkuperäpaikka – viljelypaikka) sekä leveysastesiirron ja viljelypaikan korkeuden yhdysvaikutus. Koska elävyys Suomen ja Ruotsin koeaineistoissa erosi toisistaan vielä senkin jälkeen, kun muiden selittävien tekijöiden vaikutukset oli otettu mallissa huomioon, yhteiseen elävyyssmalliin jouduttiin sisällyttämään maakohtainen korjaustekijä. Tämän maiden välisen elävyyseron pääteltiin johtuvan kokeiden perustamis- ja hoitotekniikan eroista, jotka eivät välttämättä näy käytännön metsänviljelyn tuloksissa (Berlin ym. 2016). Tällä erolla ei kuitenkaan ole merkitystä käyttöalueisiin, sillä elävyyden ennustamiseen käytetään Suomessa samaa (korjaustekijän sisältävää) mallia riippumatta viljelyaineiston alkuperästä. Elävyyden logit-arvot muunnettiin %-asteikolle alla kuvatulla tavalla (tekstilaatikko 1).

Tekstilaatikko 1. Elävyysmalli:

$$LE_{2.5} = -86,3416 - 0,9286 * C - 0,01082 * LS + 14,2905 * \ln(LS) + 0,1626 * \Delta LAT - 0,05642 * \Delta LAT^2 + 0,000864 * ALT * \Delta LAT - 0,00007 * ALT * \Delta LAT^2$$

$$E_{2.5} = 100 * e^{LE_{2.5}} / (1 + e^{LE_{2.5}})$$

jossa:

$LE_{2.5}$  = logit-muunnettu elävyys keskipituudeltaan 2,5 metrin taimikossa

$E_{2.5}$  = elävyyssprosentti (keskipituudeltaan 2,5 metrin taimikossa)

C = maatekijä (0 = Ruotsi, 1 = Suomi)

LS = viljelypaikan lämpösumma (mallia sovellettaessa vuoden 2020 lämpösumma)

$\Delta LAT$  = siirtomatka leveysasteina (alkuperän leveysaste – viljelypaikan leveysaste)

ALT = viljelypaikan korkeus, metriä merenpinnasta

## 2.3. Kasvumalli

Puuston kokonaispituutta (muunnettuna luonnolliselle logaritmiasteikolle) selitti parhaiten tilastollinen malli, jossa olivat mukana viljelypaikan lämpösumma, leveysastesiirto sekä viljelypaikan lämpösumman ja leveysastesiirron yhdysvaikutus (tekstilaatikko 2). Lisäksi mallissa olivat mukana taimien ikä mittaushetkellä sekä istutusvuosi (Berlin ym. 2016). Istutusvuoden vaikutukseen sisältyy sekä ilmaston lämpeneminen että taimi- ja viljelytekniikan paraneminen.

Pituuden logaritmiarvot muunnettiin alkuperäiselle mittaasteikolle alla kuvatulla tavalla (tekstilaatikko 2). Tulosta korjattiin ottamalla huomioon logaritmiasteikollisen satunnaismuuttujan taikaisinmuunnokseen liittyvä harha (puolet pituusmallin satunnaistekijöiden varianssikomponenttien summasta).

## Tietolaatikko 2. Pituusmalli:

$$\ln(\text{Pituus}) = -6,0063 + 1,6279 \cdot \ln(I) + 0,156 \cdot \ln(IV - 1945) + 0,995 \cdot \ln(LS) + 0,02907 \cdot \Delta\text{LAT} - 0,01714 \cdot \Delta\text{LAT}^2 - 0,00005 \cdot LS \cdot \Delta\text{LAT} + 0,000011 \cdot LS \cdot \Delta\text{LAT}^2 \text{ (kaavaa korjattu 3.1.2017)}$$

$$\text{Pituus} = e^{(\ln(\text{Pituus}) + m)}$$

jossa

I = ikä (mallia sovellettaessa 30 vuotta)

LS = viljelypaikan lämpösumma (mallia sovellettaessa vuoden 2050 lämpösumma)

IV = istutusvuosi (mallia sovellettaessa 2020)

$\Delta\text{LAT}$  = siirtomatka leveysasteina (alkuperän leveysaste – viljelypaikan leveysaste)

m = muunnosharhan korjaus (= 0,04785)

## 2.4. Tuotos

Metsikön puuntuotoskykyä kuvataan pituussummalla, joka saadaan malleilla ennustetun elävyyden ja pituuskasvun tulona (tietolaatikko 3). Tätä pituussummaa korjataan ns. ryhmittäisyystekijällä, joka kuvaa puiden kykyä hyödyntää tilavuuskasvussaan kuolleisuudesta johtuva kasvutilan vapautuminen. Mitä tasaisemmin kuolleisuus on jakautunut metsikön sisällä, sitä tehokkaammin puut hyödyntävät vapautuvan kasvutilan (Berlin ym. 2009). Ilman ryhmittäisyyskorjausta puiden kasvun oletettaisiin olevan riippumaton niiden käytössä olevasta tilasta. Puuston ryhmittäisyys otetaan huomioon vastaavalla tavalla Skogforskin Plantval-sovelluksessa Ruotsissa (Berlin ym. 2014).

Jokaiselle 10×10 kilometrin hilaruudulle koko Suomen alueella laskettiin mallien avulla ennuste sekä paikallisen (kyseisen hilaruudun) että siirretyn aineiston elävyydelle ja kasvulle käyttäen kyseisen ruudun keskimääräisiä sijainti- ja lämpösummatietoja. Siemenviljelysaineistoille elävyyden- ja kasvumallien ennusteisiin lisättiin ko. ominaisuuksien arvioidut jalostushyödyt (nämä on kuvattu tarkemmin kohdassa 4. Mallien soveltaminen, s. 21–22). Tulokset muutettiin suhteelliseksi arvoiksi jakamalla ne vastaaviin hilaruutuihin lasketuilla paikallisen metsikköaineiston arvoilla (tietolaatikko 3). Puuntuotokseltaan paikallista alkuperää parempi aineisto saa tällöin yli yhden olevia arvoja ja paikallista huonompi aineisto vastaavasti alle yhden olevia arvoja.

## Tietolaatikko 3. Indeksikaava:

Paikallisen metsikköalkuperän ( $\Delta\text{LAT} = 0$ ) pituussumma (10x10 km hilaruudussa):

$$T_p = P_p \cdot E_p \cdot r$$

jossa

$P_p$  = ennustettu kokonaispituus 30 vuoden iällä

$E_p$  = ennustettu elävyys

r = ryhmittäisyystekijä

Siemenviljelyssiemenenerän pituussumma:

$$T_{sv} = ((1 + (\Delta G_p/100)) \cdot P_{sv}) \cdot ((1 + (\Delta G_e/100)) \cdot E_{sv}) \cdot r$$

jossa

$P_{sv}$  = ennustettu pituus 30 vuoden iällä

$E_{sv}$  = ennustettu elävyys

$\Delta G_p$  = tuotoksen jalostushyöty (%)

$\Delta G_e$  = elävyyden jalostushyöty (%)

Suhteellinen tuotosindeksi:

$$I = T_{sv}/T_p$$

## 3. Mallien tarkastelua

### 3.1. Teoreettinen tarkastelu

Seuraavassa tarkastellaan Berlinin ym. (2016) alkuperäsiirtomallien toimintaa muuttamalla kerrallaan yhtä tai kahta mallin tekijää ja vakioimalla muut. Muuttujayhdistelmistä osa ei ole todellisuudessa mahdollisia, mutta esitys on tarkoitettu ainoastaan tekijöiden välisten riippuvuussuhteiden tarkasteluun, ei varsinaisten käyttöaluejohtopäätösten tekoon.

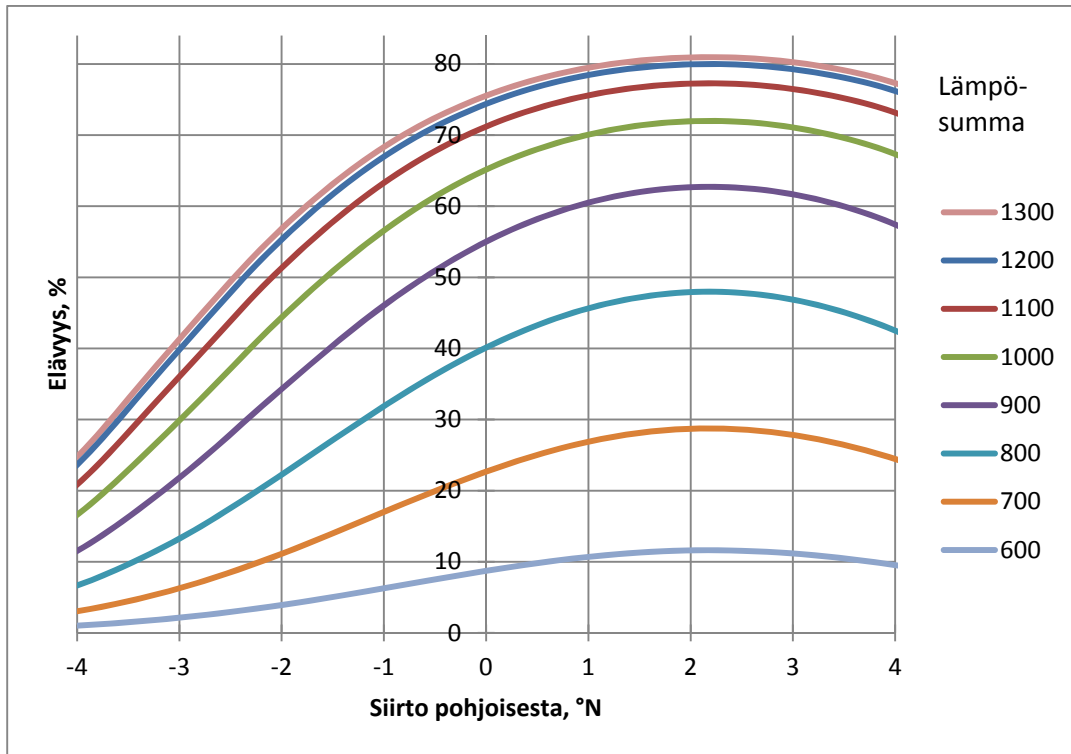
Mallin mukaan elävyys paranee viljelypaikan lämpösumman noustessa (kuva 2). Muutos on suurempi kylmemmässä kuin lämpimämmässä ilmastossa niin, että lämpösummien 1200 ja 1300 d.d.:tä välillä ei enää ole merkittävää eroa elävyydessä. Mallin mukaan pohjoisesta etelään suuntautuvilla siirroilla on myönteinen vaikutus elävyyteen koko Suomessa (kuva 2). Siirron avulla saavutettavissa oleva elävyyden paraneminen on suurin, noin 8 %-yksikköä, Pohjois-Suomessa, viljelypaikan lämpösumman ollessa 800–900 d.d.:tä. Viljelypaikan ollessa 150 m korkeudella maksimielävyys saavutetaan käyttämällä noin kaksi leveysastetta pohjoisempaa aineistoa. Toisaalta vastaavansuuruiset siirrot etelästä pohjoiseen johtavat huomattavaan elävyyden alenemiseen; 900–1000 d.d.:n alueella vaikutus on jopa -20 %-yksikköä. Pohjoisimmassa Suomessa (600–700 d.d.) etelästä pohjoiseen siirtojen vaikutus jää pienemmäksi kuin lämpimämmässä ilmastossa (kuva 2). Tämä johtuu paikallisen alkuperän alhaisesta elävyydestä, joka ei voi prosenttiyksikköinä mitaten enää paljoakaan aleta, vaikka siirretyn aineiston sopeutuneisuus olisikin paikallista aineistoa huonompi.

Tarkasteltaessa alkuperäsiirron vaikutusta elävyyteen viljelypaikan lämpösumman funktiona kuvan 3 tapaan nähdään samat ilmiöt: siirto pohjoisesta etelään parantaa elävyyttä hieman ja erityisesti lämpimässä ilmastossa etelästä pohjoiseen siirto alentaa elävyyttä huomattavasti. Käytännön metsätalouden kannalta kuitenkin Pohjois-Suomessa pienelläkin muutoksella elävyydessä on huomattava merkitys, sillä siellä elävyyden lähtötaso on selvästi alhaisempi kuin etelämpänä. Merkitteä pantavaa on, että paikallisen aineiston elävyys ei mallin mukaan ylitä 50 prosenttia 860 d.d.:ssä ja sitä kylmemmällä alueella.

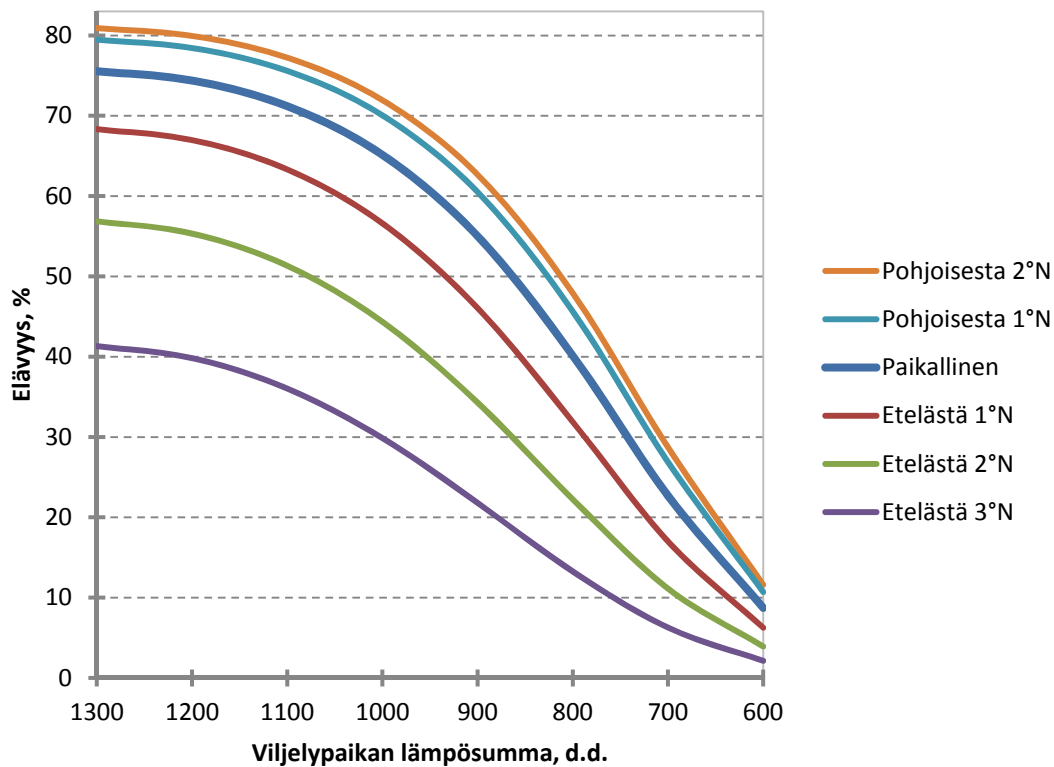
Elävyyksmallissa viljelypaikan korkeus ja alkuperäsiirron pituus riippuvat toisistaan siten, että mitä korkeammalla merenpinnasta viljelypaikka on, sitä kauempaa pohjoisesta aineistoa on siirrettävä suurimman elävyyksparannuksen saavuttamiseksi (kuva 4). Samoin elävyyden nousu pohjoisesta siirrettäessä on suurempi korkeammalla olevilla viljelypaikoilla. Toisaalta etelästä pohjoiseen tehtävissä siirroissa elävyys heikkenee voimakkaammin korkeilla paikoilla kuin alempana sijaitsevilla paikoilla. Korkeilla alueilla alkuperän vaikutus on siis ylipäätään selvästi suurempi kuin alemmilla alueilla.

Tarkasteltaessa viljelypaikan korkeuden vaikutusta elävyyteen on syytä huomata, että vaihteluväli 0–300 m kattaa suurin piirtein koko Suomessa metsämailla esiintyvän korkeusvaihtelun. Käytännössä tietyllä rajoitetulla maantieteellisellä alueella tavattavissa oleva korkeusvaihtelu on huomattavasti suppeampi. Yli 250 metriä m.p.y. korkeudella sijaitsevia alueita on maassamme varsin vähän, näihin lukeutui vain 16 % 10x10 km:n hilaruuduista, lähes kaikki 64:n leveysasteen pohjoispuolella. Viljelypaikkojen välisen korkeuseron ollessa sata metriä, vaikutus elävyyteen on enintään viiden prosenttiyksikön luokkaa sekä siirrettäessä leveysasteen verran etelästä, että maksimielävyyteen johtavan siirron verran pohjoisesta.

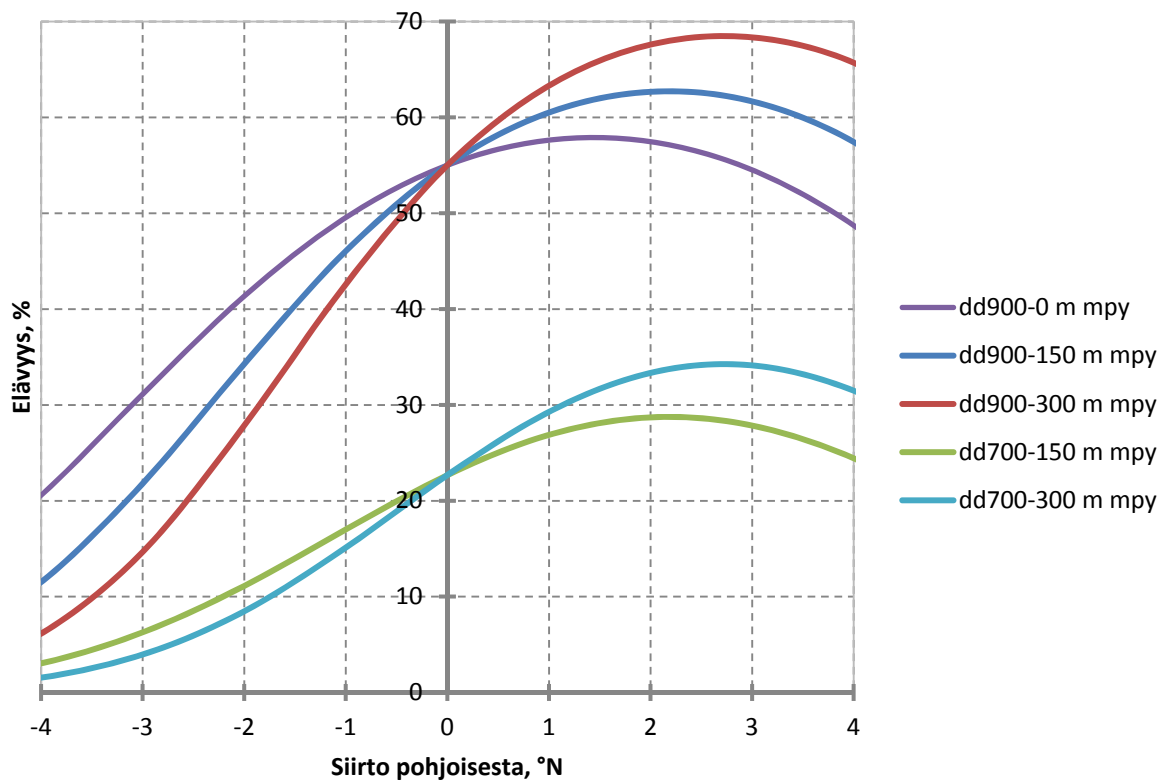
Alkuperäsiirron vaikutus elävyyteen on näissä uusissa malleissa pääpiirteissään samanlainen kuin edellä esitellyissä Ruotsissa aiemmin käytetyissä Plantvalissa sovelletuissa malleissa.



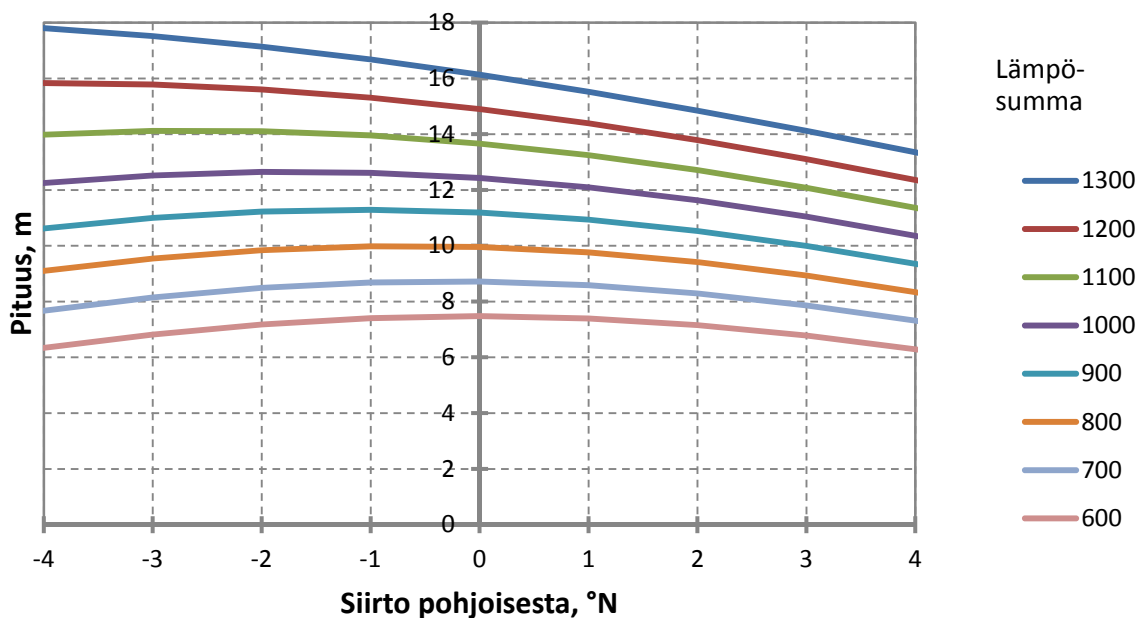
**Kuva 2.** Mallin mukainen elävyys eripituisilla ja -suuntaisilla alkuperäsiirroilla leveysasteen suhteen eri viljelypaikan lämpösummilla. Negatiiviset arvot tarkoittavat siirtoa etelästä pohjoiseen, positiiviset pohjoisesta etelään.



**Kuva 3.** Mallin ennustama elävyys eri viljelypaikan lämpösummilla paikallisella ja eripituisia matkoja etelästä tai pohjoisesta siirretyllä metsänviljelyaineistolla.



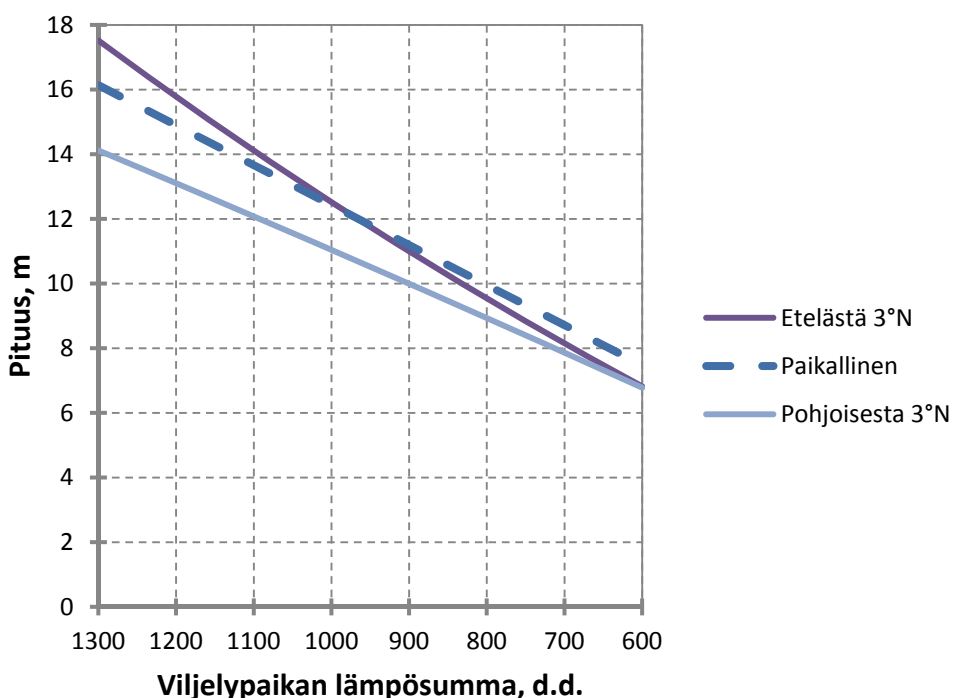
**Kuva 4.** Mallin ennustama elävyys eripituisilla ja -suuntaisilla alkuperäsiirroilla leveysasteen suhteen eri viljelypaikan korkeuksilla ja lämpösummilla. Negatiiviset arvot tarkoittavat siirtoa etelästä pohjoiseen, positiiviset pohjoisesta etelään.



**Kuva 5.** Mallin mukainen pituus 30 vuoden iällä eripituisilla ja -suuntaisilla alkuperäsiirroilla leveysasteen suhteen eri viljelypaikan lämpösummilla. Negatiiviset arvot tarkoittavat siirtoa etelästä pohjoiseen, positiiviset pohjoisesta etelään.



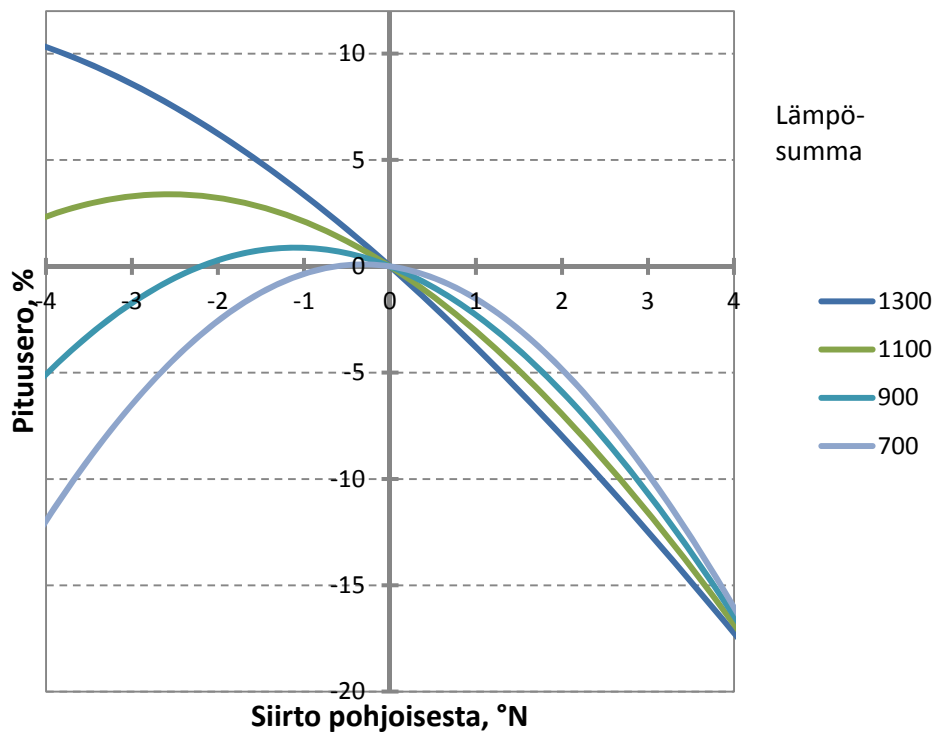
Viljelypaikan lämpösummalla on selvä pituuskasvuun (kuvat 5 ja 6). Paikallisen aineiston ennustettu pituus on lämpösummalla 1300 d.d. noin kaksinkertainen lämpösummaan 600 d.d.:tä verrattuna. Pituuden lämpösummariippuvuus on itse asiassa hyvin suoraviivainen (kuva 6). Sen sijaan leveysaste-siirron vaikutus on käyräviivainen, ja sillä on selvä yhdysvaikutus viljelypaikan lämpösumman kanssa (kuva 7). Valtaosassa tarkasteltavaa lämpösoma- aluetta etelästä siirto lisää pituuskasvua, ainoastaan lämpösummasta 700 d.d.:tä kylmempään päin paikallinen alkuperä on pituuskasvultaan paras (kuva 5). Maksimikasvun antava leveysaste-siirto on lämpösummalla 1200 d.d.:tä neljä leveysastetta etelästä, mutta lyhenee viljelypaikan lämpösumman laskiessa, niin että lämpösummalla 1000 d.d.:tä kasvultaan paras alkuperä on siirretty kaksi leveysastetta etelästä ja lämpösummalla 700 d.d.:tä paikallinen on kasvultaan paras. Siirto pohjoisesta päin vähentää pituuskasvua kaikissa viljelyolosuhteissa. Leveysaste-siirron ja viljelypaikan lämpösumman välinen yhdysvaikutus näkyy erityisen hyvin tarkasteltaessa siirron vaikutusta suhteellisena erotuksena paikallisen alkuperän kasvuun (kuva 7).



**Kuva 6.** Mallin mukainen pituus 30 vuoden iällä paikallisella sekä kolmen leveysasteen verran etelästä ja pohjoisesta siirretyillä alkuperillä eri viljelypaikan lämpösummilla.

Leveysaste-siirron vaikutus pituuteen on suurin suurimmilla lämpösummilla. Lämpösumman ollessa 1300 d.d.:tä yhden leveysasteen siirto etelästä lisää pituutta noin puoli metriä ja kahden leveysasteen siirto noin metrin (vastaa 3–6 %:n kasvunlisäystä) (kuva 5). Siirto pohjoisesta päin alentaa pituuskasvua enemmän kuin vastaavan pituinen siirto etelästä parantaa sitä. Viljelypaikan lämpösumman laskiessa etelästä päin tehtävän siirron kasvua parantava vaikutus heikkenee nopeasti, niin että lämpösummalla 1100 d.d.:tä suurin saavutettavissa oleva kasvunlisäys on vain noin puoli metriä ja 1000 d.d.:ssä vain parikymmentä senttiä.

Lyhyissä leveysaste-siirroissa vaikutukset pituuskasvuun ovat suhteellisella asteikolla varsin pieniä. Yhden leveysasteen siirroissa pituuskasvuvaikutukset ovat alle 5 %:a ja kahden leveysasteen siirroissa enintään 8 %:a (kuva 7). Myös suhteellisella asteikolla leveysaste-siirron vaikutus on suurin korkeimmilla lämpösummilla. Suhteellisista arvoista näkee erityisen selvästi, että mitä alhaisempi on viljelypaikan lämpösoma, sitä enemmän pitkät alkuperäsiirrot etelästä heikentävät pituuskasvua.



**Kuva 7.** Mallin mukainen suhteellinen pituusero paikalliseen alkuperään verrattuna 30 vuoden iällä eripituisilla ja -suuntaisilla alkuperäsiirroilla leveysasteen suhteen eri viljelypaikan lämpösummilla. Negatiiviset arvot tarkoittavat siirtoa etelästä pohjoiseen, positiiviset pohjoisesta etelään.

### 3.2. Tuotostarkastelu

Mallien siemenviljelysaineistolle ennustamaa tuotosta sekä elävyyden ja pituuden vaikutusta tuotokseen tarkasteltiin laskemalla koko Suomen kattavalla hila-aineistolla ennusteet tuotokselle, elävyydelle ja pituuskasvulle (30 vuoden iällä) neljälle kuvitteelliselle siemenviljelykselle. Tässä tarkastelussa pituuskasvun oletetaan kuvastavan metsänviljelyaineiston kasvupotentiaalia myös tilavuuskasvun osalta. Tästä syystä siemenviljelyaineiston kasvun jalostushyötynä käytettiin arviota metsikön koko kiertoajan keskituotoksen lisäyksestä (taulukko 1), vaikka itse alkuperäsiirtomalli on laadittu pituuskasvun perusteella. Oletuksena oli myös, että pituus- ja tilavuuskasvun alkuperäriippuvuudet ovat samanlaiset.

Geneettiseltä tasoltaan siemenviljelykset vastaavat ensimmäisen polven geneettisesti harvennettuja siemenviljelyksiä (kasvun jalostushyöty 12,5 %, elävyyden jalostushyöty 0 %). Viljelyksen oletetaan olevan varttunut eli sen taustapölytysosuus on 50 %. Tällä ei tosin ole käyttöalueen määrätymisen kannalta merkitystä, sillä tässä kuvitteellisessa esimerkissä oletetaan, että viljely sijaitsee samalla leveysasteella, mistä sillä olevat pluspuutkin ovat peräisin. Tarkastelusta poistettiin yli 350 m korkeudessa olevat hilapisteeet (129 kpl, 3,5 % aineistosta, leveysasteelta 67 °N alkaen pohjoiseen), sillä ne eivät edusta käytännössä mahdollisia metsänviljelyalueita, vaikka mallit laskevat ennusteet niillekin.

Kuvitteellisille siemenviljelyksille saadut elävyyden- ja kasvutulokset vastaavat teoreettisilla mallitarkasteluilla saatuja tuloksia: elävyys paranee siirrettäessä aineistoa etelään ja huononee pohjoiseen siirrossa. Kasvussa siirron vaikutus on päinvastainen (kuva 8).

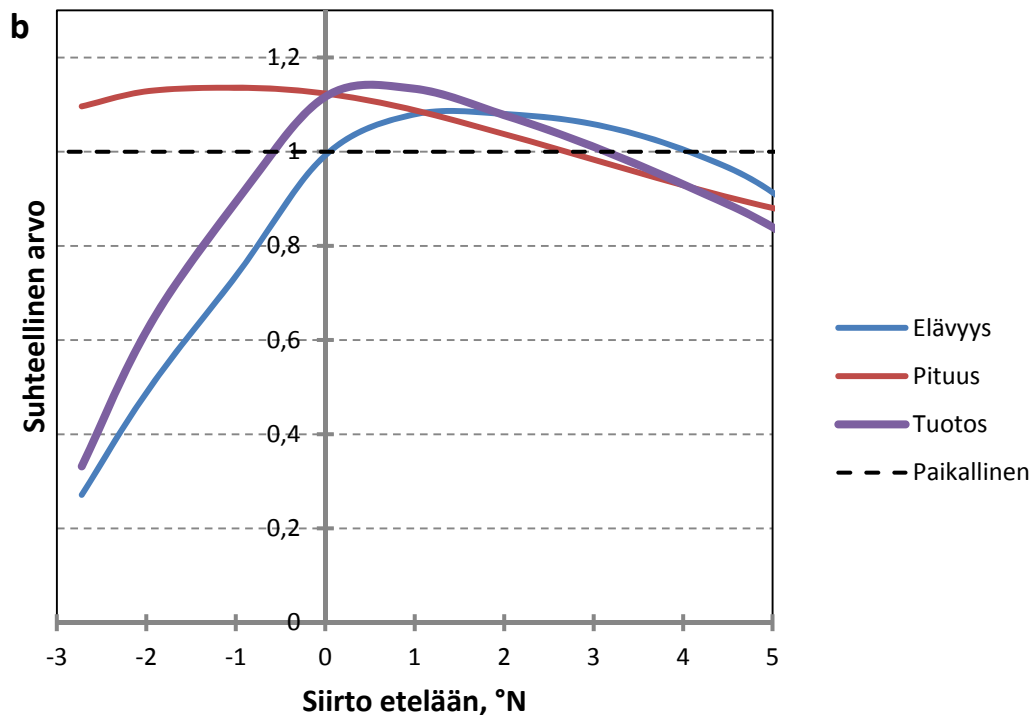
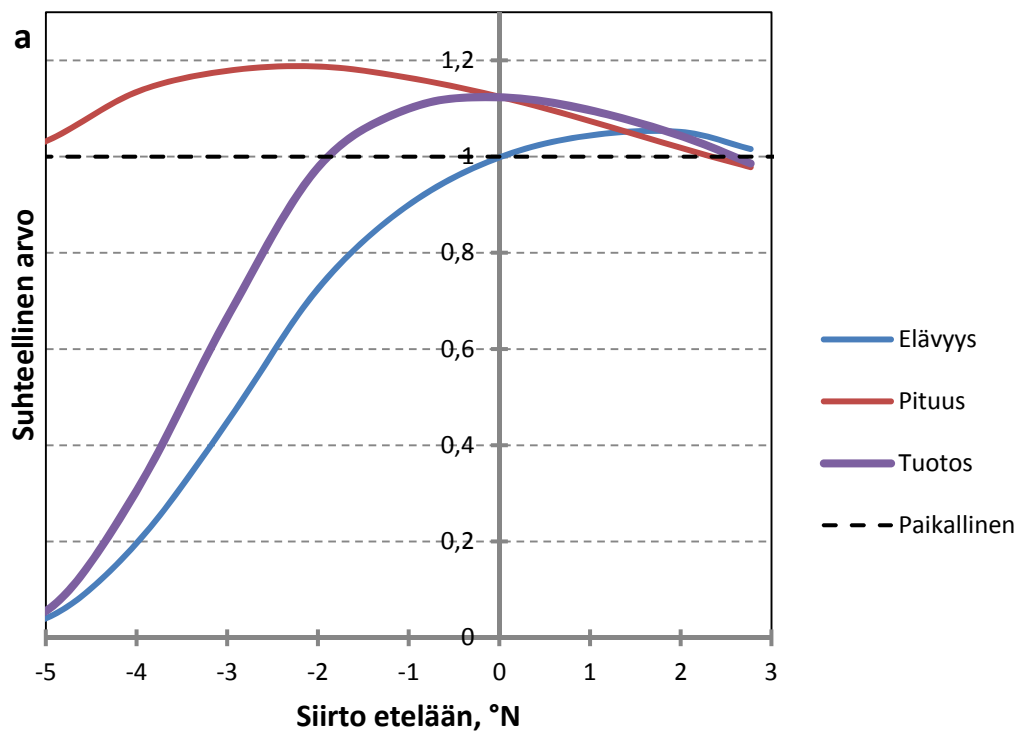
Koska jalostuksella ei oletettu olevan vaikutusta tässä tarkasteltujen siemenviljelysaineistojen elävyyteen, elävyys on arvioitu alkuperäpaikallaan paikallisen metsikköalkuperän veroiseksi vastaten

tässä hilapisteessä arvoa 1. Etelään siirrettäessä elävyys paranee 5–8 %-yksikköä maksimin ollessa kahden leveysasteen siirron kohdalla. Pohjoiseen siirrettäessä elävyys laskee jyrkästi, erityisesti pohjoisimmassa Suomessa, jossa jo yhden leveysasteen siirto pohjoiseen johtaa 25 %:a paikallista alkuperää huonompaan elävyyteen. Eteläisemmällä siemenviljelysaineistolla vastaava elävyyden aleneminen syntyy kahden leveysasteen pituisella pohjoiseen siirrolla (kuva 8). Tässä todellisiin viljelyolosuhteisiin perustuvassa tarkastelussa elävyyden muutokseen vaikuttaa leveysasteesiirron lisäksi se, että siirron myötä myös viljelypaikan lämpösumma muuttuu, mitä ei tapahtunut luvun 3.1 teoreettisissa tarkasteluissa. Tästä syystä myös elävyyden muutokset ovat suuremmat kuin teoreettisessa tarkastelussa.

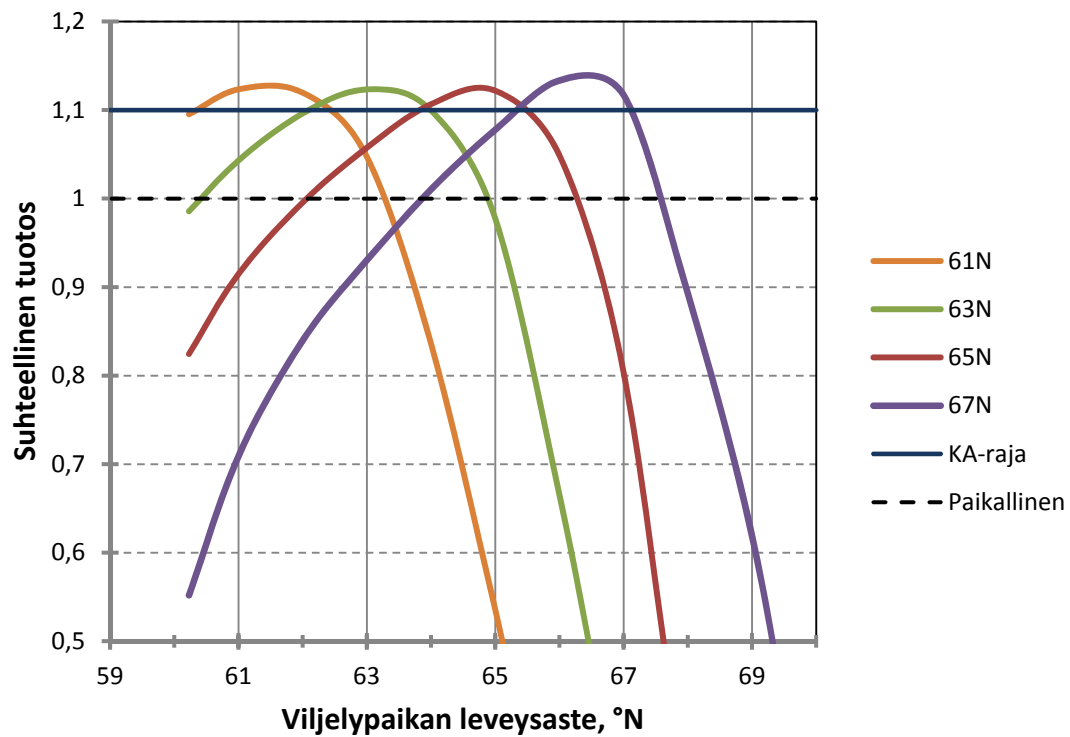
Kasvussa siemenviljelysaineisto on arvioitu alkuperäpaikallaan jalostushyötyprosentin (12,5) verran paikallista metsikköaineistoa paremmaksi. Maksimikasvu saavutetaan siirtämällä aineistoa pohjoiseen 1 (pohjoinen siemenviljely) – 3 leveysastetta (eteläinen siemenviljely) (kuva 8). Siirto etelään päin pienentää kasvua, mutta varsin hitaasti, niin että vasta kolmen leveysasteen pituisella siirrolla kasvu alittaa paikallisen metsikköaineiston kasvun.

Tuotosindeksi, joka siis saadaan elävyyden ja pituuden ryhmittäisyystekijällä korjattuna tulona, seuraa pienellä viiveellä elävyyttä siirtojen suhteen. Siemenviljelysaineiston alkuperän leveysasteella indeksi on kasvun jalostushyödyn verran paikallista metsikköaineistoa parempi. Tämä on luonnollista, koska tällöin siemenviljelysaineiston elävyys on sama kuin paikallisen metsikköaineiston elävyys. Siirrettäessä metsänviljelyaineistoa pohjoiseen päin tuotos alkaa laskea saavuttaen eteläisellä viljelyksellä paikallisen metsikköerän tason kahden ja pohjoisella viljelyksellä jo noin puolen leveysasteen siirrolla (kuva 8). Etelään siirron vaikutus tuotokseen on selvästi pienempi; eteläisellä siemenviljelyksellä tuotos pienenee välittömästi etelään siirrettäessä ja putoaa paikallisen metsikköaineiston tasolle kun siirron pituus on kolme leveysastetta. Pohjoisella siemenviljelyksellä siirron vaikutus on erilainen; siirrettäessä etelään tuotos kasvaa hieman niin, että maksimi saavutetaan noin yhden leveysasteen siirrolla. Tätä pitemmillä siirroilla tuotos alkaa laskea. Myös pohjoisella siemenviljelyksellä paikallisen metsikköaineiston taso saavutetaan, kun siirto etelään on kolme leveysastetta (kuva 8).

Tuotoksen maksimi suhteessa viljelyaineiston alkuperään riippuu viljelypaikan leveysasteesta. Etelä-Suomessa paras tuotos saavutetaan siirtämällä metsänviljelyaineistoa hieman pohjoiseen, kun taas Pohjois-Suomessa pieni etelään siirto antaa maksimituotoksen (kuva 9). Yksittäisten hilaruutujen välillä on samalla leveysasteella suuria eroja metsänviljelyolosuhteissa. Esimerkiksi lämpösumman vaihteluväli on ruutujen välillä 200 – 300 d.d.:tä, mikä vastaa noin kolmen leveysasteen eroa keskimääräisessä lämpösummassa. Näin ollen käyttöalueita ei voi määrittää yksioikoisesti pelkän leveysasteesiirron perusteella. Kuten edellä on esitetty, laskennassa käytettävissä malleissa viljelypaikan lämpösumma onkin keskeinen viljelypaikkaa kuvaava tunnusluku. Käytännön metsänviljelyssä tarvittavia varmuusmarginaaleja ajatellen on muistettava myös, että laskennassa käytetyt arvot ovat 10 × 10 kilometrin hilaruutujen keskiarvoja, joten ne eivät kata todellisissa viljelyolosuhteissa olevia ääriolosuhteita. Niihin ei myöskään sisälly vuosien välinen vaihtelu sääolosuhteissa.



**Kuva 8.** Leveysastesiirron vaikutus kahden kuvitteellisen siemenviljelyksen (a = 63 °N, b = 67 °N) tuottaman viljelymateriaalin elävyyteen, kasvuun ja tuotokseen. Paikallisen metsikköaineiston suhteellinen arvo on 1 (merkitty katkoviivalla). Laskennassa käytetyt siemenviljelysaineiston jalostushyödyt ovat elävyydelle 0 % ja kasvulle 12,5 %. Negatiiviset arvot tarkoittavat siirtoa etelästä pohjoiseen, positiiviset vastaavasti siirtoa pohjoisesta etelään.



**Kuva 9.** Neljän kuvitteellisen siemenviljelyksen tuottaman viljelymateriaalin (alkuperät 61–67 °N) tuotos eri leveysasteilla Suomessa. Kuvaan on merkitty myös paikallisen metsikköaineiston tuotos (1,0) ja käyttöalueen rajauksessa käytetty tuotosraja (1,1).

## 4. Mallien soveltaminen

Sovellettaessa alkuperäsiirtomalleja käyttöalueiden laatimiseen käytettiin elävyyden yhteydessä viljelypaikalle interpoloimalla laskettua lämpösumman ennustetta vuodelle 2020. Elävyyden mallintaminen viljelyajankohdan ilmastoon (jota vuoden 2020 lämpösumma kuvaa varsin hyvin) on perusteltua, koska elävyyden kannalta ratkaisevin on taimikon kehityksen alkuvaihe. Sen sijaan pituuskasvun siirtovaikutusta laskettaessa käytettiin ilmastoskenaario A1B:hen perustavaa kuuden alueellisen skenaarion keskiarvon mukaista vuonna 2050 vallitsevaa ilmastoa (Bärring ym. 2016), koska se edustaa niitä keskimääräisiä olosuhteita, joissa nykyisin ja lähitulevaisuudessa viljeltävät puut tulevat tuottamaan suurimman biomassan kasvunsa. Käyttöalueiden määrittämisen yhteydessä pyrittiin näin ottamaan huomioon sekä metsänviljelyn alkuvaiheen onnistumiselle kriittinen alkuvaihe että hyödyntämään ilmaston lämpenemisestä aiheutuva kasvupotentiaalin paraneminen. Sovellettu menettely sallii käyttöalueiden joustavan muuttamisen, mikäli skenaariot ilmaston tulevasta kehityksestä ratkaisevasti muuttuvat.

Siemenviljelysaineiston tuotos poikkeaa paikallisen metsikköaineiston tuotoksesta määrällä, joka riippuu jalostushyödyistä ja aineiston siirtomatkasta. Laskennassa erityyppisille siemenviljelyksille käytetyt jalostushyödyt on esitetty taulukossa 1. Ne viittaavat keskituotoksen odotettuun paranemiseen puuston kiertoaikana. Arviot ovat likimääräisiä, perustuen Ruotsissa ja Suomessa tuotoskokeisiin sekä valinnan vasteen arvioimiseen laskennallisesti geneettisten parametrien pohjalta (Rosvall ym. 2001, Jansson 2007, Haapanen ym. 2016). Elävyyden osalta jalostushyöty on oletettu empiirisen tiedon puuttuessa nolaksi. Jalostushyötyarvoilla ei ole sinänsä merkitystä käyttöalueen laajuuden kannalta, koska käyttöalueen rajaamiseen käytetty tuotosindeksin kriittinen arvo suhteutetaan jalostushyötyyn (taulukko 1).

Ensimmäisen polven siemenviljelykselle tehdyllä geneettisellä harvennuksella on arvioitu saatavan noin 2,5 %:n lisäys kasvun jalostushyötyyn, eli niiden kasvun lisäykseksi tulee 12,5 % (taulukko 1). 1,5 polven viljelyksille, joita ei toistaiseksi ole geneettisesti harvennettu, esitetty 25 % jalostushyöty on likimääräinen arvio hyödystä kiertoajan keskikasvussa harventamattomille ja geneettisesti harvennetuille siemenviljelyksille. Muutamia vastikään Pohjois-Suomeen perustettuja siemenviljelyksiä tarkastellaan omana ryhmänään, sillä niille pluspuut on valittu pakastustestauksessa todennetun kestävyuden perusteella. Alustavan arvion mukaan valinnalla on saatu 5 %:n kestävyuden paraneminen. Arvio perustuu tuloksiin jälkeläiskokeista, jotka on perustettu nuorista siemenviljelyksistä kerätyllä siemenellä. Pituuden osalta pohjoisten siemenviljelysten jalostushyöty on samansuuruinen kuin eteläisilläkin 1. polven siemenviljelyksillä ennen harvennusta, sillä pituuden suhteen ei niillä ole tehty mitään jälkeläiskokeisiin perustuvaa valintaa (Ruotsalainen 2015).

Jalostushyödyn tarkka taso ei ole olennainen käyttöalueen määrittämisen kannalta. Tavoitteena on, että käyttöalueet ovat kaikilla siemenviljelyksillä sopeutuneisuuden salliessa suunnilleen samansuuruisia. Tällöin viljelyaineiston ennustettu tuotos ei vaihtele liikaa käyttöalueen sisällä. Jalostushyödyillä onkin merkitystä lähinnä siinä, että niiden avulla käyttöalue voidaan sijoittaa optimaalisesti. Tästä syystä tässä ei ole myöskään tarpeen erikseen tarkastella jalostuksen avulla saatua laadun paranemista tai jalostushyödyn vaikutusta metsänviljelyn taloudelliseen kannattavuuteen.

Siemenviljelysten käyttöalueet määritetään laskemalla koko Suomen alueelle jokaiselle 10×10 km hilaruudulle edellä kuvattu tuotosindeksi. Indeksiarvot lasketaan käyttäen siemenviljelyksen alkuperä- ja sijaintitietoja ottaen huomioon viljelyksen arvioitu pölytystilanne ja edellä esitetyt jalostushyödyt. Indeksiarvojen perusteella määrätään käyttöalueet tiettyjen jalostushyötyyn perustuvien raja-arvojen mukaisesti. Ensimmäisen polven siemenviljelyksillä käyttöalueen muodostavat ne hilaruudut, joilla tuotosindeksi on suurempi kuin 1,10 (aineisto 10 % paikallista parempaa), 1,5-polven viljelyksillä puolestaan 1,20:n ylittävät hilaruudut (20 % parempi tuotos). Tämä käyttöalueen raja-arvo on sidoksissa viljelyksen odotettavissa olevaan jalostushyötyyn, joten jos viljelyksen jalostushyöty poikkeaa selvästi sen luokan mukaisesta odotusarvosta, käytetään sen käyttöalueen määrittämi-

sessä vastaavasti poikkeavaa raja-arvoa. Käytetyt raja-arvot ovat yleistyksiä, joissa ei huomioida taustapölytyksosuuuden muutoksia tai toistuvien geneettisten harvennusten vaikutuksia.

Käyttöalueen määrittämisen periaatetta havainnollistetaan ensimmäisen polven siemenviljelykselle kuvassa 9. Siemenviljelyksen käyttöalueeksi määritellään se leveysasteväli, millä suhteellinen tuotos ylittää raja-arvon 1,10. Käyttöalueen laajuudeksi tulee siis noin kaksi leveysastetta viljelyksen sijainnista riippumatta. Eteläisimmän kuvitteellisen siemenviljelyksen (61 °N) käyttöalue alkaa hie-man alkuperäleveysastetta etelämpää ja ulottuu siitä selvästi pohjoiseen. Keski-Suomessa käyttöalue ulottuu suunnilleen yhtä paljon alkuperäleveysasteen molemmille puolille, mutta pohjoisimmalla siemenviljelyksellä (67 °N) käyttöalue ulottuu käytännössä alkuperäleveysasteelta vain etelään päin (kuva 9).

**Taulukko 1.** Siemenviljelysten käyttöalueiden laskennassa käytetyt siemenviljelystyytit ja niille käytetyt muutujanarvot. Siemenviljelyksen taustapölytyksosuudeksi on kaikissa tapauksissa oletettu 50 % (l. ”vanha” siemenviljelys).

Siemenviljelyksen tyyppi	Kasvun jalostushyöty, %	Elävyyden jalostushyöty, %	Tuotosindeksin raja-arvo
1. polvi	12,5	0	1,10
1. polvi, P-S, pakastustestaus	10	5	1,10
1.5 polvi, E-S	25	0	1,20

Määrittelemällä siemenviljelyksen käyttöalue siten, että tuotos säilyy vähintään tietyn määrän paikallisen metsikköalkuperän tuotosta korkeampana, saadaan varmistettua, että siemenviljelyssiemenen käytöllä saavutetaan tietty vähimmäisjalostushyöty koko käyttöalueella. Samasta syystä geneettisesti eritasoisille siemenviljelyksille sovelletaan erisuuruisia tuotosrajoja. Jos viljelyksille sovellettaisiin niiden geneettiseen tasoon nähden liian alhaista tuotosindeksin minimirajaa, käyttöalueet laajenisivat kohtuuttoman laajoiksi, eikä tuotos reuna-alueilla enää vastaisi siemenviljelyssiemeneltä odotettua jalostushyödyn tasoa. Koko maan tasolla liian laajat käyttöalueet voisivat myös johtaa siemenviljelysaineiston epäoptimaaliseen kohdentamiseen.

Käyttöalueet määritetään mallien avulla kaikille alkuperäleveysasteeltaan alle 66,56 °N (napapiiri) oleville leveysasteen 64 °N eteläpuolella sijaitseville siemenviljelyksille. Syynä tähän rajaukseen on, että mallit on laadittu käyttäen metsikköaineistoa, eikä alkuperäaluettaan selvästi etelämpänä osittain taustapölytyksen tuloksena syntyneen siemenviljelysaineiston menestymisestä pohjoisimmassa Suomessa ole täyttä varmuutta. Tämän vuoksi ankarimmilla alueilla on perusteltua olla varovainen mallien soveltamisessa. Alkuperältään tätä pohjoisemmilla viljelyksillä käyttöalue kyllä lasketaan alustavasti tässä esitetyn mallin avulla, mutta käyttöalueen pohjoisraja määritetään kuvitteellisen, leveysasteella 62 °N sijaitsevan alkuperältään napapiirin leveysastetta (66,56 °N) edustavan viljelyksen avulla (taustapölytyks 50 %). Tämä alkuperärajaus perustuu todellisilla siemenviljelyksillä tehtyihin käyttöaluekokeiluihin. Alkuperältään tätä pohjoisemmilla siemenviljelyksillä käyttöalueet olisivat tulleet ilman lisärajoituksia olemassa olevaan kokeelliseen näyttöön nähden selvästi liian pohjoisiksi.

Mallia kuitenkin käytetään sellaisenaan niille Pohjois-Suomen siemenviljelyksille, jotka sijaitsevat likipitään käyttöalueellaan riippumatta niiden alkuperän pohjoisuudesta. Näillä viljelyksillä käytetään käyttöalueen rajauksessa lisäehtoa, että mallin hilaruudulle ennustaman elävyyden on oltava yli 50 %.

Käytetty 10 × 10 km:n hilajako on varsin karkea. Yhden ruudun sisälle mahtuu olosuhteiltaan keskimääräisestä paljonkin poikkeavia viljelyaloja erityisesti Pohjois-Suomessa, missä paikalliset kor-

keuserot ovat muuta maata suurempia. Koska metsänviljelyn riskit kasvavat viljelypaikan korkeuden kasvaessa, ja koska erityisesti siemenviljelysaineiston menestymisestä korkeilla alueilla (yli 250 – 300 m) ei ole paljon kokemusta, on siemenviljelysaineiston käyttöä syytä harkita tarkkaan tällaisilla vaikeilla alueilla. Erityisen varovainen on oltava käyttöalueen pohjoisosissa olevilla lähiympäristöään selvästi korkeammilla viljelypaikoilla, sillä tällöin hilaruudun keskimääräinen lämpösumma antaa liian positiivisen kuvan kyseisen paikan uudistamisolosuhteista. Rajatapauksissa on syytä luottaa paikallisen ammattikunnan näkemyksiin metsänuudistamisen paikallisista riskitekijöistä.



## 5. Siemenviljelysten käyttöalueet

Uuden menetelmän ja tulevaisuuden ilmastoennusteiden vaikutuksia käyttöalueen määrittelyyn havainnollistetaan seuraavassa vertaamalla nykyisiä Eviran vahvistamia käyttöalueita mallilla saatuihin käyttöalueisiin erityyppisillä siemenviljelyksillä. Kahdella viljelyksellä pyritään myös esittämään mikä on laskentamenetelmän ja mikä ilmastonmuutoksen osuus käyttöalueen muutoksessa.

Tarkasteltavat tapaukset ovat seuraavat:

- Liite 1. Eteläsuomalainen 1. polven siemenviljelys nro 124
- Liite 2. Keski-suomalainen 1. polven siemenviljelys nro 165
- Liite 3. Etelä-Suomessa sijaitseva Etelä-Lapin – Kainuun -alueen 1. polven siemenviljelys nro 302
- Liite 4. Keski-Suomessa sijaitseva 1. polven pohjoinen siemenviljelys nro 241
- Liite 5. Eteläsuomalainen 1,5-polven siemenviljelys nro 404
- Liite 6. Pohjois-Suomessa sijaitseva nuori siemenviljelys nro 410
- Liite 7. Keski-suomalainen 1. polven siemenviljelys nro 165, vertaus myöhempään ilmastojaksoon

Uusien alkuperäsiirtomallien ja ilmastonmuutoksen vaikutusta siemenviljelysten käyttöalueisiin havainnollistetaan ensimmäisen polven siemenviljelysten nro 124 ja 165 avulla (liitteet 1 ja 2). Liitteiden kuvassa A on nykyinen voimassa olevan Eviran käyttöaluekartta, joka perustuu vuosien 1961–1990 keskimääräiseen vuotuisen lämpösummaan. Kuva B näyttää käyttöalueen, joka perustuu uusiin siirtomalleihin, kun molemmissa malleissa on käytetty jakson 1961–1990 lämpösummaa. Tämä vertailu havainnollistaa siis vanhan ja uuden käyttöalueen määrittelytavan eroa. Eteläsuomalaiselle siemenviljelyksellä nro 124 uudella menetelmällä määritelty käyttöalue muuttuisi hieman nykyistä kapeammaksi, jos laskennassa käytettäisiin samaa vuosien 1961–1990 lämpösummajaksoa (liite 1, A ja B). Samalla käyttöalueen rajat muuttuvat enemmän leveysasteiden suuntaisiksi, eivätkä seuraile niin tarkoin lämpösummavyöhykkeitä kuin nykyiset käyttöalueet. Kun mallien soveltamisessa käytetään tulevaisuuden ennustettuja lämpösummia (elävyydelle vuoden 2020 ja pituudelle vuoden 2050) uusi menetelmä antaa likipitään samanlaisen käyttöalueen kuin Eviran käyttämä lämpösummaan perustuva Nikkasan ym. (1999) menetelmä (liite 1C). Käyttöalueen eteläraja siirtyy hieman pohjoisemmaksi ja pohjoisraja seuraa enemmän leveysasteita, kuin aiemmassa käyttöalueessa, mutta edelleenkin viljelypaikan lämpösumman vaikutus näkyy mm. Suomenselällä ja Pohjanlahden rannikolla.

Keski-suomalaisella siemenviljelyksellä nro 165 uudella menetelmällä ja 1961–1990 lämpösummajaksoa käyttäen lasketun käyttöalueen pohjoisraja on lännessä yli sata kilometriä eteläisempi, kun taas idässä se on suurin piirtein samalla korkeudella kuin nykyisessä käyttöalueessa (liite 2, A ja B). Käyttöalueen eteläraja asettuu molemmilla menetelmillä suurin piirtein samalle korkeudelle. Kuvassa C oleva käyttöalue perustuu myös uusiin siirtomalleihin, mutta siinä elävyyksmallissa on käytetty vuoden 2020 lämpösumman ennustetta sekä pituusmallissa vuoden 2050 lämpösumman ennustetta. Uudet mallit ja lämpösummat yhdessä saavat aikaan, että käyttöalueen eteläraja ja idässä myös pohjoisraja siirtyvät noin 50 km pohjoiseen, mutta lännessä pohjoisraja säilyy suurin piirtein ennallaan nykyiseen käyttöalueeseen verrattuna.

Pohjois-Suomen eteläosien (Etelä-Lappi, Kainuu) pluspuita sisältävän Etelä-Suomessa sijaitsevan siemenviljelyksen nro 302 käyttöalue siirtyy selvästi pohjoisemmaksi, mutta vanha ja uusi käyttöalue ovat kuitenkin osittain päällekkäisiä (liite 3). Suurin muutos on alueen itäosissa, missä uusi käyttöalue käsittää miltei koko Kainuun. Myös käyttöalueen eteläraja siirtyy pohjoisemmaksi ja suoristuu.

Alkuperältään pohjoisinta Suomea edustavalla Keski-Suomessa sijaitsevalla ensimmäisen polven siemenviljelyksellä nro 241 on käyttöalueen pohjoisraja rajattu sallimalla aineiston käyttö pohjoisessa vain leveysastealkuperältään napapiiriä vastaavan siemenviljelyksen tasolle edellä kuvatulla tavalla (liite 4). Tämän seurauksena myös uusi käyttöalue jää varsin kapeaksi, mutta siitä tulee selvästi poh-

joisempi kuin nykyinen ja enemmän leveysasteiden suuntainen. Länsiosiltaan nykyinen ja uusi käyttöalue ovat osittain päällekkäisiä.

Eteläsuomalaisella 1,5-polven siemenviljelyksellä nro 404 käyttöalue määritettiin uudella menetelmällä tuotosraja-arvon 1,20 (20 % yli paikallisen metsikköaineiston) avulla (liite 5). Nykytilanteeseen verrattuna käyttöalue muuttuu hyvin vähän. Muutoksissa on lähinnä kyse käyttöalueen rajojen muuttumisesta leveysasteiden suuntaisiksi.

Pohjois-Suomessa sijaitsevan, pakastustestaustulosten perusteella koostetun siemenviljelyksen nro 410 uusi käyttöalue vastaa pääpiirteissään nykyisin voimassaolevaa (liite 6). Käyttöalue siirtyy kokonaisuudessaan lievästi (50 km) pohjoiseen, itäosassa selvästi enemmänkin. Tämän viljelyksen kohdalla sekä nykyisen että uuden käyttöalueen määrittämisessä on käytetty erikoismenettelyä. Nykyinen käyttöalue perustuu kokonaan viljelyksen pluspuiden jälkeläisten pakastustestillä arvioituun kestävyYTEEN. Uuden käyttöalueen laskentaan on lisäksi otettu mukaan vaatimus vähintään 50 % ennustetusta elävyydestä. Tämä ehto leikkaa pienen siivun käyttöalueen pohjoisreunalta, erityisesti sen koillisosasta.

Muutostrendin jatkuvuuden selvittämiseksi tehtiin siemenviljelykselle nro 165 käyttöalue-laskelma myös käyttäen lämpösumma-aineistosta laskettuja vuosien 2030 ja 2060 arvoja. Kymmenessä vuodessa tapahtuneen lämpösumman nousun vaikutus käyttöalueisiin oli hyvin lievä käyttöalueen siirtyessä pohjoiseen enimmillään kymmenen kilometriä (liite 7).

## 6. Yhteenveto ja johtopäätökset

Uudet käyttöalueet perustuvat ylivoimaisesti laajimpaan kahdesta maasta kerättyyn yhteiseen kokeelliseen tutkimusaineistoon, joka tähän mennessä on ollut käytettävissä siemenalkuperien menestymisen mallintamiseksi ja käyttöalueiden määrittämisen perustaksi. Laaja empiirinen pohja-aineisto lisää mallien ennusteiden varmuutta, mutta myös merkittävästi parantaa niiden sovellettavuutta mahdollistaen tietyn siemenviljelyaineiston menestymisen ennustamisen Suomen lisäksi myös Ruotsissa.

Uudet siemenviljelysten käyttöalueet säilyvät likimain entisen suuruisina. Niiden voidaan siten olettaa toteuttavan Kosken (1988) esittämän vaatimuksen aineiston viljelyvarmuudesta ja jalostushyödyistä. Viime vuosien ilmaston lämpenemisestä seuraa, että käyttöalueet myös siirtyvät entisiin verrattuna hieman pohjoiseen päin. Siirtymä ei kuitenkaan ole niin suuri kuin lämpösumman kasvun perusteella voisi odottaa. Tämä johtuu siitä, että käyttöalueen määrittämisessä sovelletaan suhteutettuja elävyy- ja kasvuarvoja, ja ilmastonmuutos vaikuttaa paikalliseen metsikköaineistoon vastaavalla tavalla kuin jalostettuunkin aineistoon.

Merkittävin periaatteellinen ero uuden ja nykyisin käytössä olevan menetelmän välillä on, että uudet siirtomallit painottavat leveysasteissa mitattavien siirtojen vaikutuksia, kun taas tähän asti käytetty menetelmä on pohjautunut yksinomaan lämpösummiin. Tämän seurauksena uudet käyttöalueet ovat enemmän leveysasteiden suuntaisia kuin nykyiset viralliset käyttöalueet, jotka seuraavat tarkoin lämpösummavyöhykkeitä. Etelä-Suomessa, missä lämpösumma muuttuu suhteellisen samatahtisesti leveysasteen kanssa, eri menetelmillä saatavat käyttöalueet ovat varsin yhteneväiset. Sen sijaan Pohjois-Suomessa (leveysasteelta 64 °N alkaen) lämpösummavyöhykkeet ovat lähinnä korkeuseroista johtuen kaakko-luode-suuntaisia, jolloin ero lämpösummaan ja leveysasteisiin perustuvien menetelmien tuottamien käyttöalueiden välillä on suurempi. Erityisesti alueen itäosassa siemenviljelysten käyttöalueet siirtyvät selvästi nykyistä pohjoisemmaksi, mikä johtuu osittain myös siitä, että aiemmin käytetystä siirtojarrusta luovutaan.

Pohjoissuomalaisten, Etelä-Suomessa sijaitsevien ensimmäisen polven siemenviljelysten tuottaman metsänviljelyaineiston menestymisestä Pohjois-Suomessa ei ole toistaiseksi selvää kokeisiin tai kokeuksiin perustuvaa näyttöä. Tämän vuoksi niille sovelletaan varovaisuussyistä laskennallista pohjoisrajaa, jota pohjoisempana tällaisten siemenviljelysten tuottamaa aineistoa ei suositella käytettäväksi. Jos myöhemmin kertyvä tutkimustieto osoittaa, että tällaista aineistoa voidaan turvallisesti viljellä asetetun rajan pohjoispuolellakin, asiaa on luonnollisesti tarkasteltava uudestaan. Pohjoisempia käyttöalueita voidaan tuki edelleen määrittää siemensatokohtaisesti pakastustestauksen avulla, kuten tähänkin asti.

Käyttöalueiden käytännön sovelluksessa on muistettava, että hilaruutujen sisäinen ja viljelyvuosien välinen ilmaston ja olosuhteiden vaihtelu on suurta, joten poikkeuksellisen vaativissa olosuhteissa toteutunut tuotos ei välttämättä yllä ennustetun tuotoksen tasolle. Viljelypaikan erityisolosuhteiden huomioiminen on erityisen tärkeää käyttöalueen pohjoisrajan läheisyydessä Pohjois-Suomessa, missä korkeuserot ovat suuria ja ilmasto ankara.

## Kiitokset

Tahdomme lausua kiitoksemme niille lukuisille henkilöille ja organisaatioille, joiden apu on ollut ratkaisevan tärkeää uuden männyn siemenviljelysten käyttöalueiden määrittelymenetelmän työstämisessä. Ensimmäiseksi on syytä nostaa esille ruotsalaiset yhteistyökumppanimme Mats Berlin ja Bengt Andersson Gull Skogforskissa, joista erityisesti ensinmainitun osuus uusien yhteisten männyn alkupe- räsiirtomallien kehittämisessä yhdistetyn koeaineistomme avulla on ollut ratkaiseva. Suomessa työ- tämme ovat tukeneet lukuisissa neuvottelutilaisuuksissa Sanna Paanukoski maa- ja metsätalousmi- nisteriöstä ja Kari Leinonen Elintarviketurvallisuusvirasto Evirasta. Siemen- ja taimituottajat ovat myös esittäneet varteen otettavia näkökohtia sekä menetelmän kehittämisen aikana että lausunto- kierroksella olleeseen raportin luonnokseen.

Raportin ovat lukeneet myös kollegamme Teijo Nikkanen ja Leena Yrjänä, joita kiitämme paran- nusehdotuksista, joita he ovat siihen esittäneet.

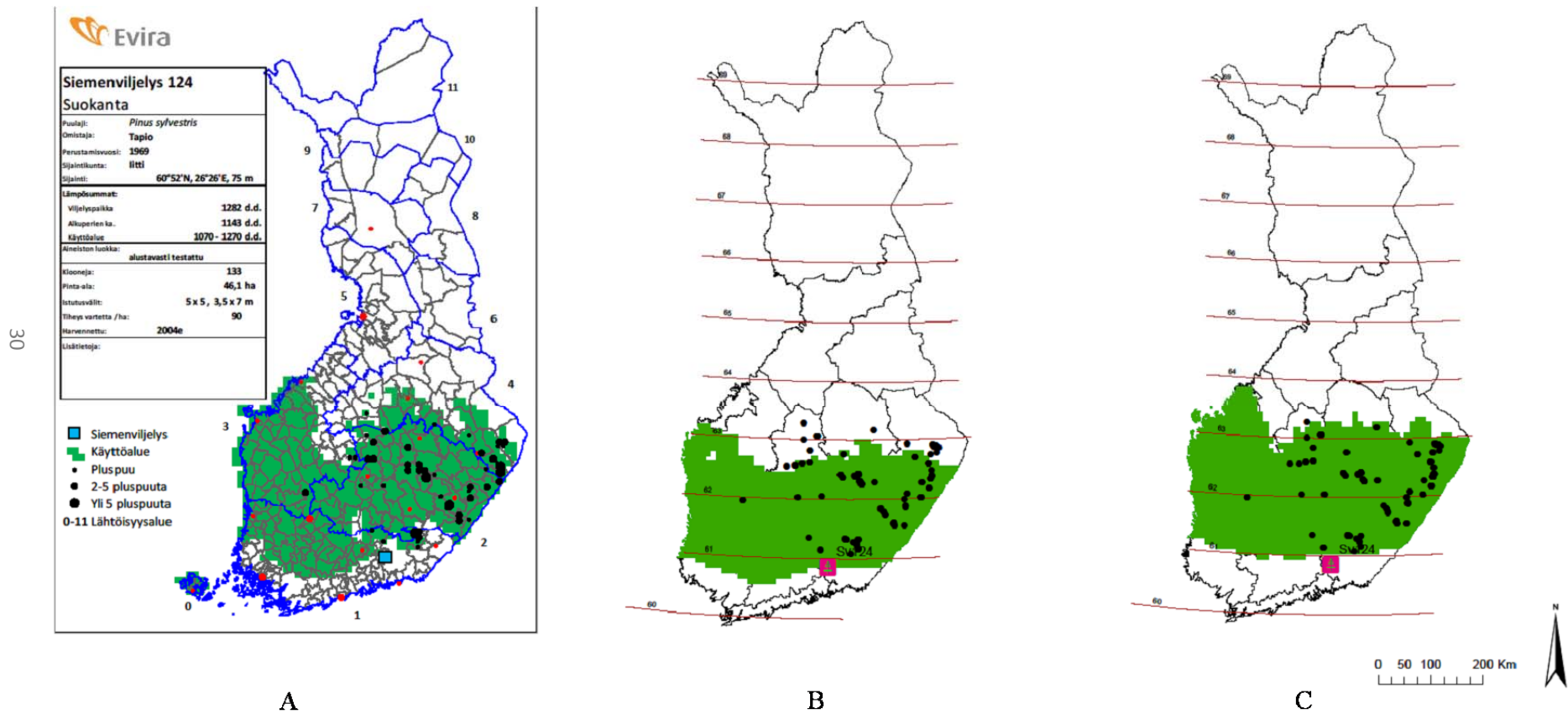
## Viitteet

- Andersson, B., Elfving, B., Ericsson, T., Persson, T. & Gregorsson, B. 2003. Performance of improved *Pinus sylvestris* in Northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 199–206.
- Andersson, B., Elfving, B., Persson, T., Ericsson, T. & Kroon, J. 2007. Characteristics and development of improved *Pinus sylvestris* in northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 84–92.
- Berlin, M., Danell, Ö., Jansson, G., Andersson, B., Elfving, B. & Ericsson, T. 2009. A model to estimate economic weight of tree survival relative to volume production taking patchiness into account. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24: 278–287.
- Berlin, M., Ericsson, T. & Andersson Gull, B. 2014. Plantval – manual med implementeringsteknisk bakgrund. Summary: Plantval – manual and background to technical implementation. Skogforsk. Arbetsrapport Nr. 851. 58 s.
- Berlin, M., Persson, T., Jansson, G., Haapanen, M., Ruotsalainen, S., Barring, L. & Andersson Gull, B. 2016. Scots pine transfer effect models for growth and survival in Sweden and Finland. *Silva Fennica* vol. 50 no. 3 article id 1562. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1562>
- Barring, L., Berlin, M. & Andersson Gull, B. 2016. Tailored climate indices for climate-proofing operational forestry applications in Sweden and Finland. *International Journal of Climatology* (Julkaistu verkossa). DOI: 10.1002/joc.4691
- Eriksson, G., Andersson, S., Eiche, V., Ifver, J. & Persson, A. 1980. Severity index and transfer effects on survival and volume production of *Pinus sylvestris* in Northern Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 156. 32 s.
- Kalela, A. 1937. Zur Synthese der experimentellen Untersuchungen über Klimarassen der Holzarten. (Suomenkielinen selostus: Puulajien ilmatorotuja koskevista kokeellisista tutkimuksista). *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 26(1): 1–445.
- Haapanen, M., Hynynen, J., Ruotsalainen, S., Siipilehto, J. & Kilpeläinen, M. 2016. Realised and projected gains in growth, quality and simulated yield of genetically improved Scots pine in Southern Finland. *European Journal of Forest Research*. (<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10342-016-0989-0>)
- Heikinheimo, O. 1949. Tuloksia kuusen ja männyn maantieteellisillä roduilla suoritetuista kokeista. Summary: Results of experiments on the geographical races of spruce and pine. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 37(2): 1–44.
- Jansson, G. 2007. Gains from selecting *Pinus sylvestris* in southern Sweden for volume per hectare. *Scand J For Res* (22): 85–192.
- Konnert, M., Fady, B., Gömöry, D., A'Hara, S., Wolter, F., Ducci, F., Koskela, J., Bozzano, M., Maaten, T. & Kowalczyk, J. 2015. Use and transfer of forest reproductive material in Europe in the context of climate change. *European forest genetic resources programme (EUFORGEN), Biodiversity International*. Rome, Italy. 75 + XVI s.
- Koski, V. 1988. Männyn siemenviljelyksen käyttöalueen määrittäminen. *Muistio*. 5 s.
- Koski, V. 1992. Etelään siirrettyjen männyn siemenviljelysten käyttöalueista. *Muistio*. 3 s.
- Nikkanen, T. 1982. Pohjois-Suomen mäntyjen nuorissa siemenviljelyksissä syntyneen siemenen käyttömahdollisuuksista Oulun läänin alueella. Summary: Survival and height growth of North Finland x South Finland hybrid progenies of Scots pine in intermediate areas. *Folia Forestalia* 527. 31 s.
- Nikkanen, T. & Ruotsalainen, S. 2014. Tarkennus siemenviljelysten käyttöalue määritysmenettelyyn. *Moniste*. 1 s.
- Nikkanen, T., Karvinen, K., Koski, V., Rusanen, M. & Yrjänä-Ketola, L. 1999. Kuusen ja männyn siemenviljelysten ja niiden käyttöalue. *Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja* 730. 203 s.
- Ohje siemenviljelyssiemenen pakastustestaukseen perustuvasta valikoivasta keruusta männyllä. 1996. *Metsätutkimuslaitos. Metsägeneettinen rekisteri. Työohje* No. 222. 1 s.
- Persson, B. 1994. Effects of provenance transfer on survival in nine experimental series with *Pinus sylvestris* (L.) in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 275–287.

- Pulkkinen, P. 1995. Valikoivalla keruulla männyn siemenviljelyssiementä entistä pohjoisemmille käyttöalueille. Summary: Enlarging the seed utilization areas toward to north by selective harvesting of Scots pine seed orchards. Metsänjalostussäätiön tiedonantoja 11. 16 s.
- Rosvall, O., Jansson, G., Andersson, B., Ericsson, T., Karlsson, B., Sonesson, J. & Stener, L. 2001. Genetiska vinster i nuvarande och framtida fröplantager och klonblandningar. Summary: Genetic gains from present and future seed orchards and clone mixes. Redogörelse nr 1, Skogforsk, Uppsala. 41 s.
- Ruotsalainen, S. 2015. Männyn Pohjois-Suomen jälkeläiskoetulokset metsänviljelyaineiston kestävyys- ja kasvun kannalta. Luonnonvarakeskus. Moniste. 9 s.
- Sarvas, R. 1960. Metsänviljelyksessä käytetyn siemenen kotipaikan etäisyys viljelypaikasta. Summary: The distance of the provenance of seed used in forest cultivation from the place of cultivation. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 77: 217–220.
- Sarvas, R. 1967. Siemenen käyttöalue. Metsänjalostuksen yhteistyötoimikunnan tiedotus N:o 1: 1–3. Moniste.
- Sarvas, R. 1968. Siemenviljelysten perustaminen ja rekisteröiminen. Moniste. 26 s.
- Sarvas, R. 1970. Establishment and registration of seed orchards. Folia Forestalia 89. 24 s.
- Tapio 2006. Hyvän metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy. 100 s.
- Venäläinen, M. 1990. Menestykö Kolarin ja Jämsän mäntyjen risteytymä Oulujoen rannoilla? Julkaisussa: Valtanen, J., Murtovaara, I. & Moilanen, M. (Merja) (toim.). Metsäntutkimuspäivät Oulussa 22.–23.11.1989. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 361:1–14.

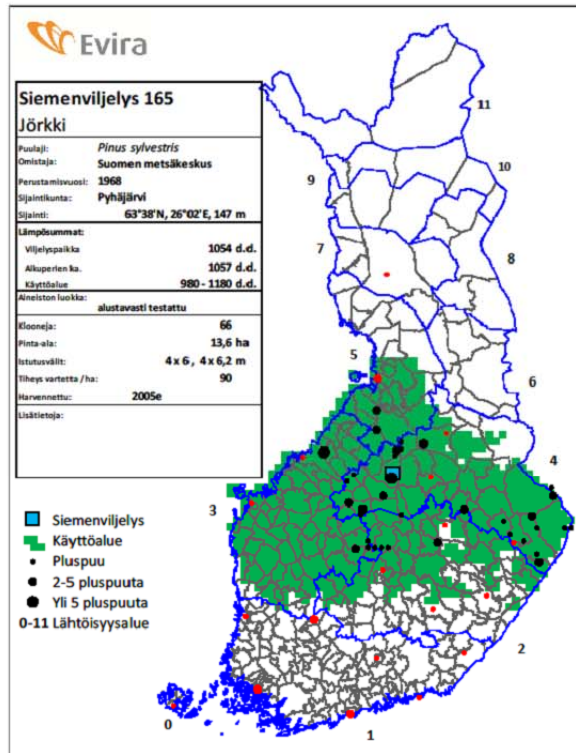
# LIITTEET

**Liite 1.** Siemenviljelys nro 124. A. Nykyinen Eviran vahvistama käyttöalue (lämpösomma jaksolta 1961–1990, Nikkanen ym. 1999). B. Uudella menetelmällä määritetty käyttöalue perustuen lämpösommajakson 1961–1990 keskiarvoon (elävyyss- ja pituusmallit). C. Uudella menetelmällä määritetty käyttöalue perustuen arvioituihin lämpösommeihin vuonna 2020 (elävyyssmalli) ja 2050 (pituusmalli).

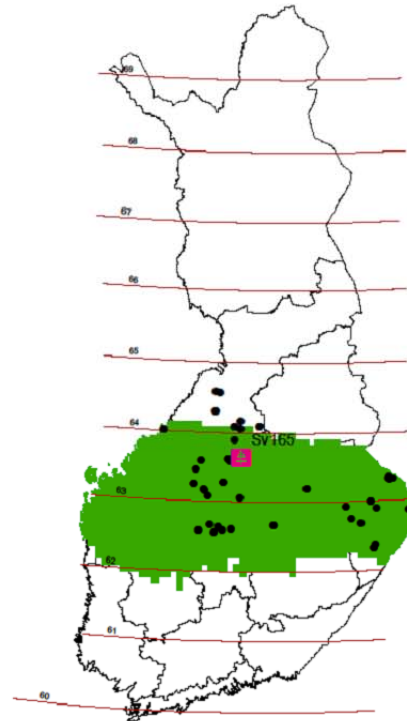


**Liite 2.** Siemenviljelys nro 165 A. Nykyinen Eviran vahvistama käyttöalue (lämpösukka jaksolta 1961–1990, Nikkanen ym. 1999). B. Uudella menetelmällä määritetty käyttöalue perustuen lämpösukmajakson 1961–1990 keskiarvoon (elävyyss- ja pituusmallit). C. Uudella menetelmällä määritetty käyttöalue perustuen arvioituihin lämpösukmiin vuonna 2020 (elävyyssmalli) ja 2050 (pituusmalli).

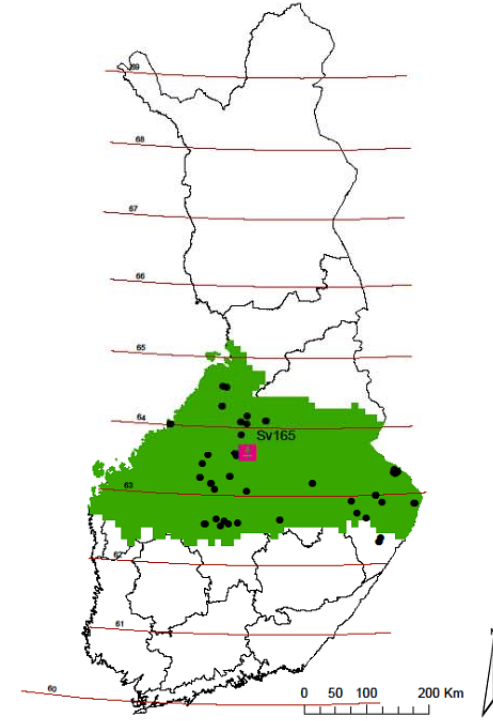
31



A



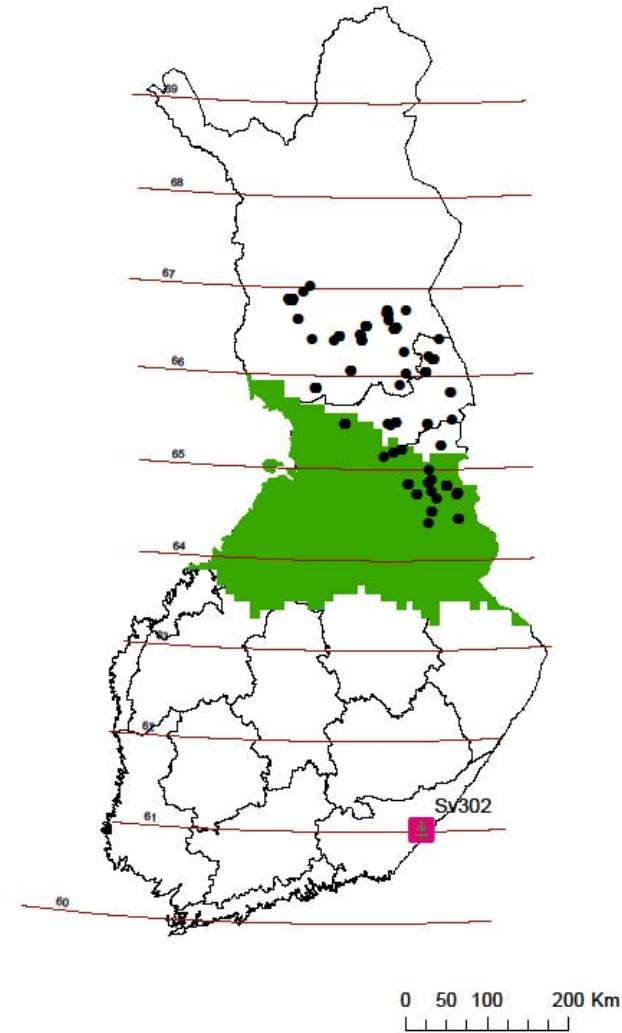
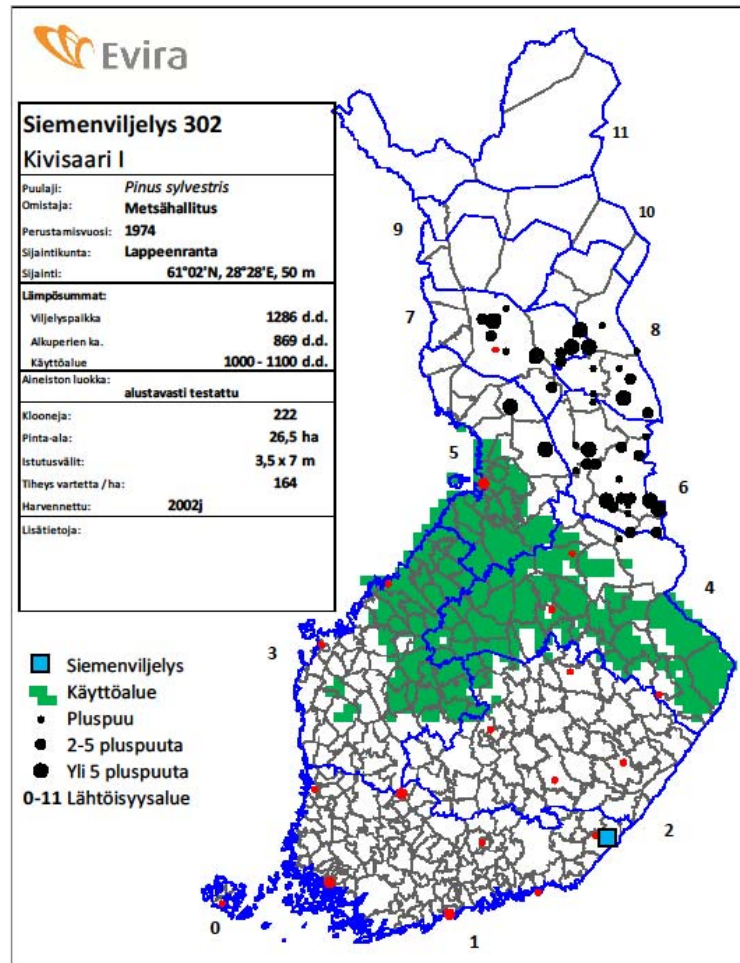
B



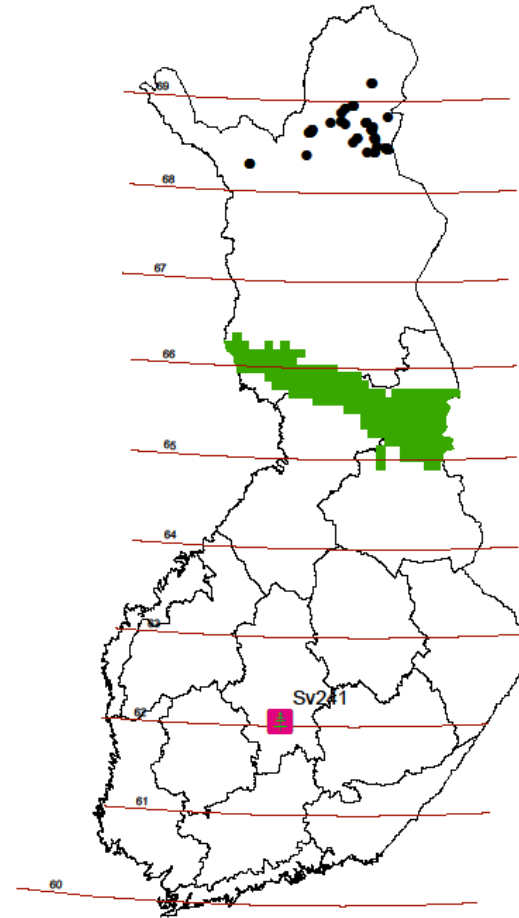
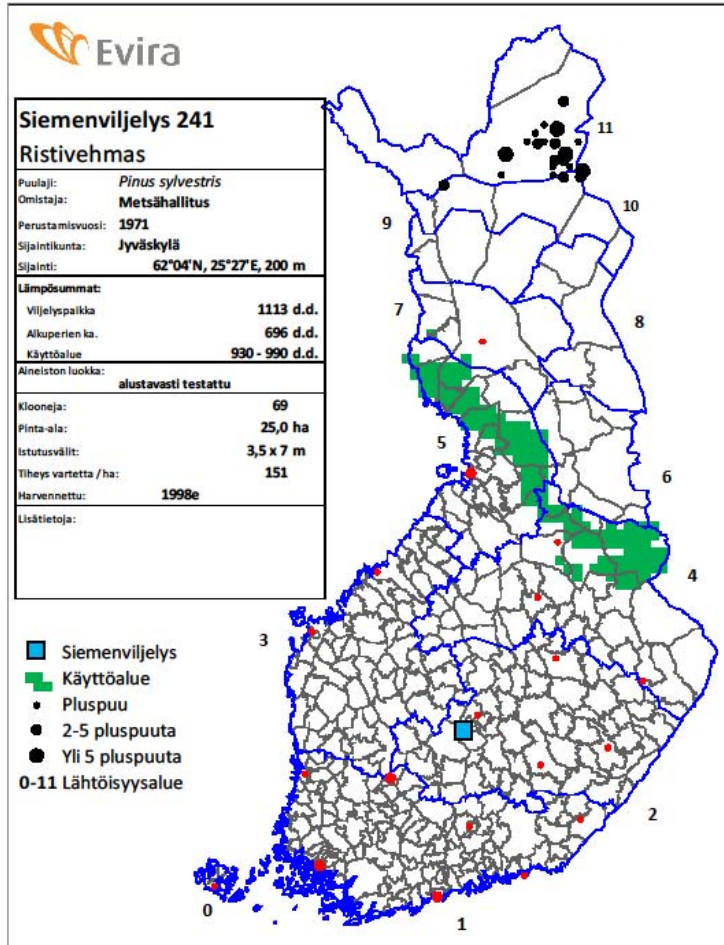
C



**Liite 3.** Siemenviljelys nro 302. Vasemmalla: Nykyinen Eviran vahvistama käyttöalue (lämpösukka jaksolta 1961–1990, Nikkanen ym. 1999). Oikealla: Uudella menetelmällä määritetty käyttöalue perustuen arvioituihin lämpösukkiin vuonna 2020 (elävyyssmalli) ja 2050 (pituusmalli).

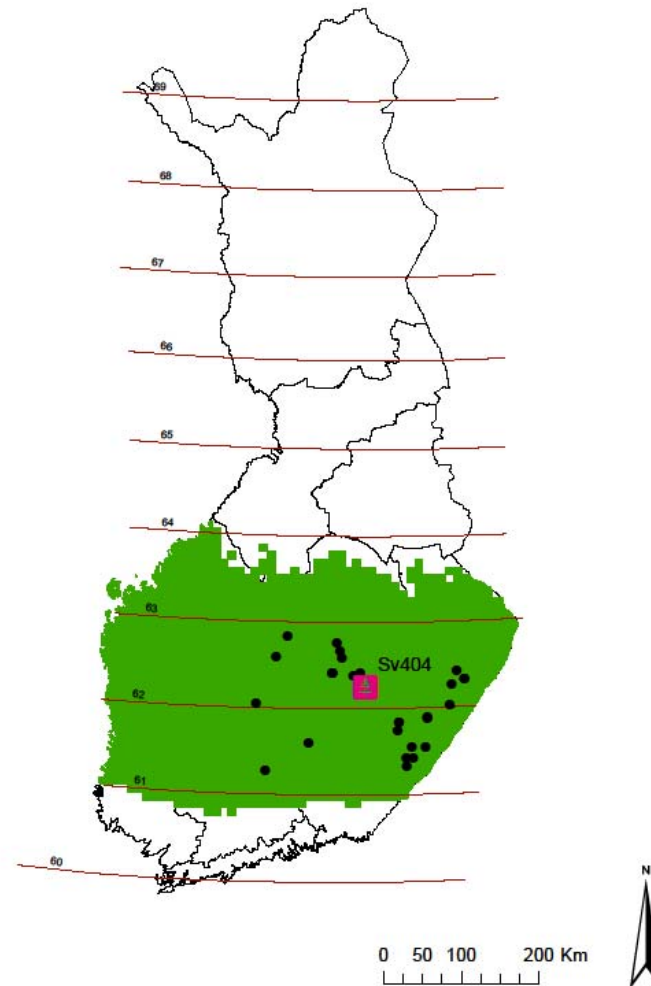
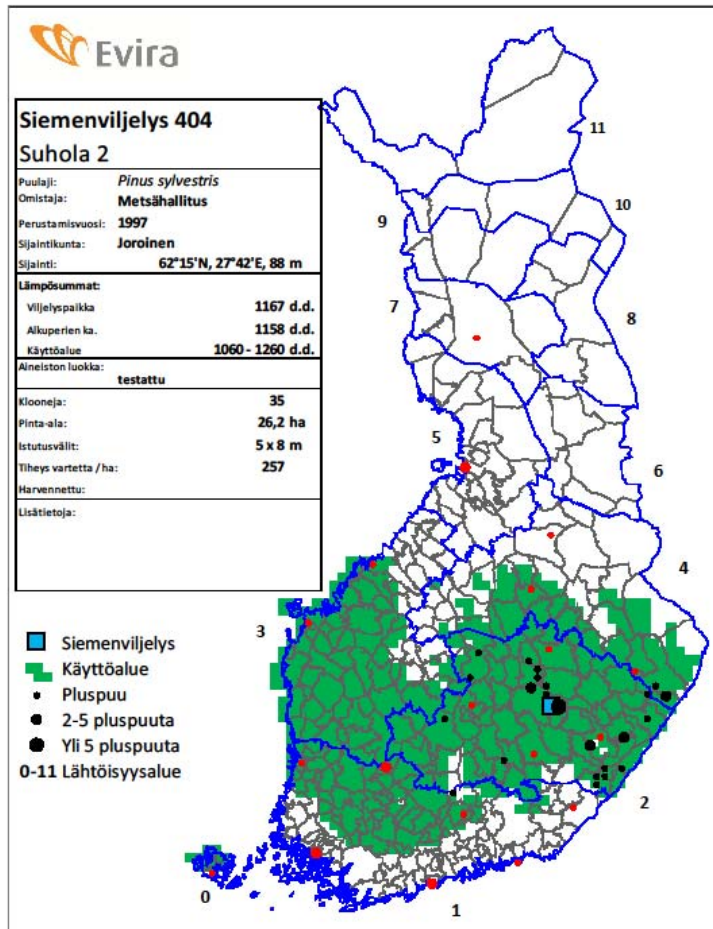


**Liite 4.** Siemenviljelys nro 241. Vasemmalla: Nykyinen Eviran vahvistama käyttöalue (lämpösukka jaksolta 1961–1990, Nikkanen ym. 1999). Oikealla: Uudella menetelmällä määritetty käyttöalue perustuen arvioituihin lämpösuggiin vuonna 2020 (elävyyssmalli) ja 2050 (pituusmalli). Käyttöalueen pohjoisraja on määritetty tekstissä kerrotulla tavalla.

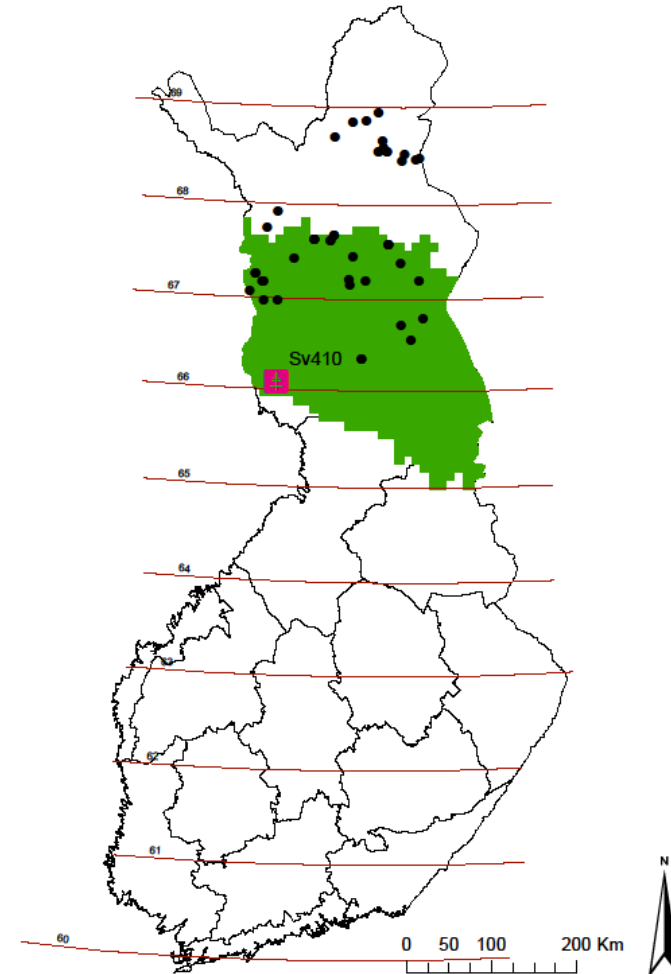
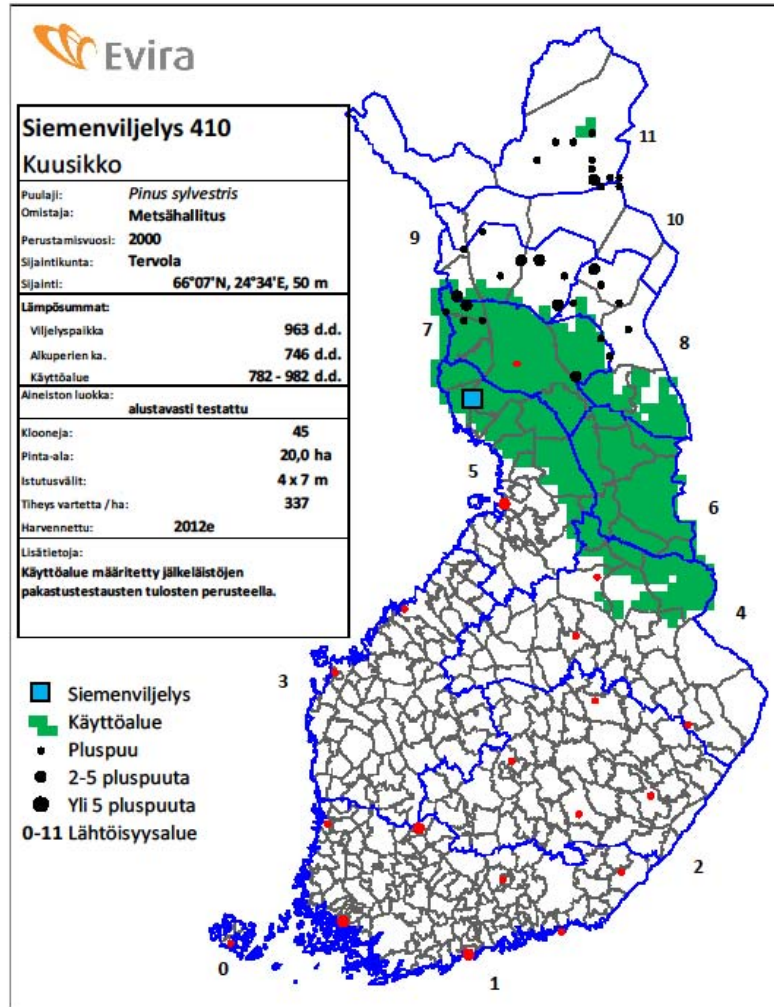


**Liite 5.** Siemenviljelys nro 404 (1,5-polvea). Vasemmalla: Nykyinen Eviran vahvistama käyttöalue (lämpösukka jaksolta 1961–1990, Nikkanen ym. 1999). Oikealla: Uudella menetelmällä määritetty käyttöalue perustuen arvioituihin lämpösukkoihin vuonna 2020 (elävyyssmalli) ja 2050 (pituusmalli).

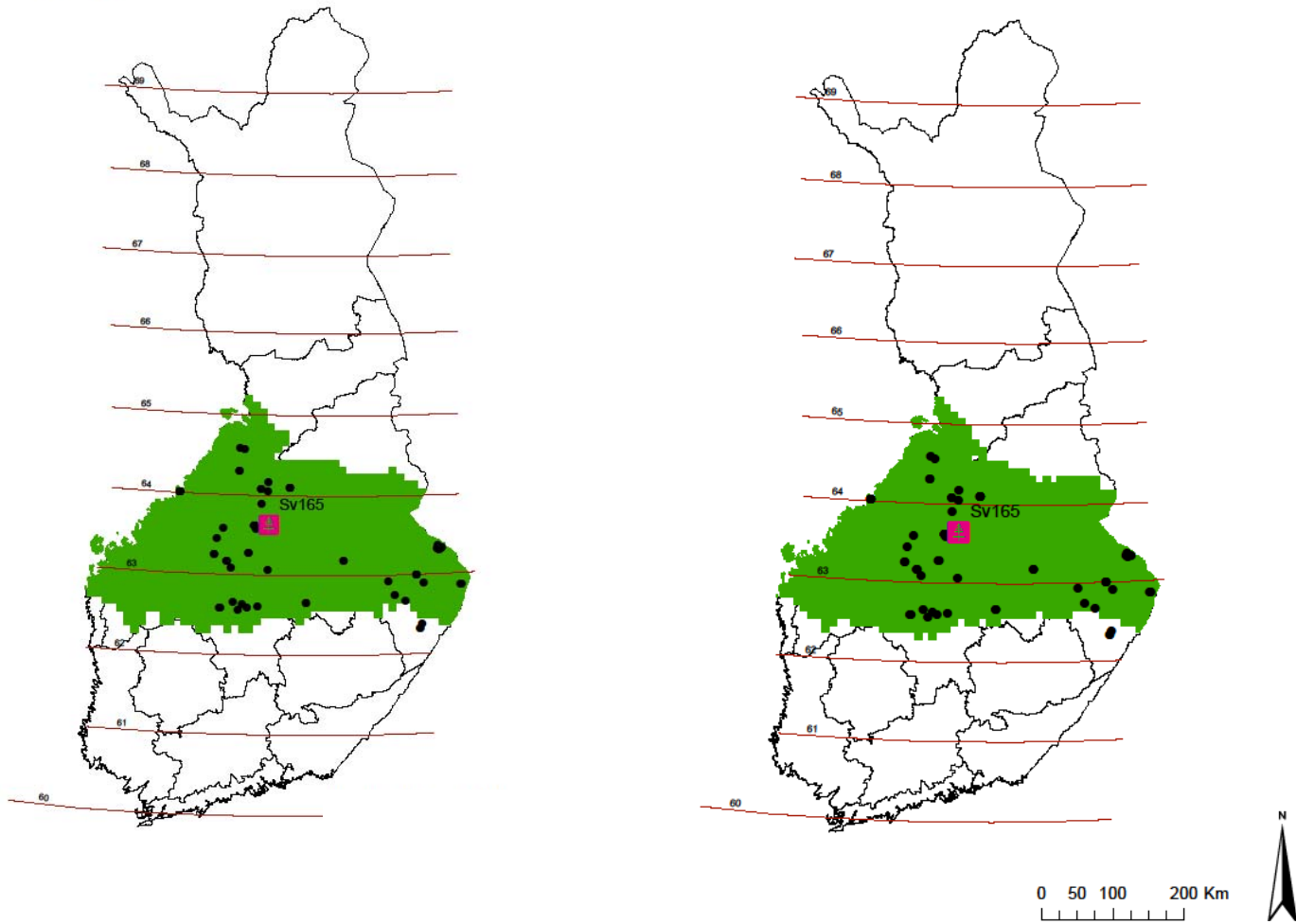
34



**Liite 6.** Siemenviljelys nro 410. Vasemmalla: Nykyinen Eviran vahvistama pakastustestaukseen perustuva käyttöalue (lämpösума jaksolta 1961–1990). Oikealla: Uudella menetelmällä määritetty käyttöalue perustuen arvioituihin lämpösумmiin vuonna 2020 (elävyyssmalli) ja 2050 (pituusmalli). Käyttöalueen pohjoisrajaan on sovellettu erityisehtoja tekstissä kuvatulla tavalla.



**Liite 7:** Siemenviljelys nro 165. Vasemmalla: Uudella menetelmällä määritetty käyttöalue perustuen arvioituihin lämpösommeihin vuonna 2020 (elävyyssmalli) ja 2050 (pituusmalli). Oikealla: Uudella menetelmällä määritetty käyttöalue perustuen arvioituihin lämpösommeihin vuonna 2030 (elävyyssmalli) ja 2060 (pituusmalli).





luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Viikinkaari 4  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000