

Seppo Ruotsalainen, Egbert Beuker ja Matti Haapanen
Luonnonvarakeskus

1. Johdanto

Tämän tarkastelun tarkoituksena on tuottaa uusien siemensiirtomallien avulla tietoa käytössä olevien männyn siemensiirtosuositusten päivittämiseksi. Uusien mallien avulla on mahdollisuus ottaa huomioon myös tapahtunut ja odotettavissa oleva ilmaston lämpeneminen. Saatuja tuloksia verrataan aiempiin suosituksiin ja aiempiin tutkimustuloksiin.

2. Aineistot ja menetelmät

Tämä käyttöaluemäärittely pohjautuu Berlinin ym. (2016) männyn alkuperäsiirtomalleihin, jotka perustuvat laajaan suomalais-ruotsalaiseen kenttäkoeaineistoon. Näitä malleja on sovellettu myös uusissa suomalaisten männyn siemenviljelysten käyttöalueiden määrittelyohjeissa (Ruotsalainen ym. 2016). Nämä metsikkösiemenen siirtosuositukset on laadittu vastaavalla tavalla kuin em. siemenviljelysten käyttöaluesuositukset, joten käytetyn menetelmän osalta viitataan niihin. Metsikkösiemensiirroille käytettyä menettelytapaa on esitelty myös Tapiossa 31.8.2016 pidetyssä projektiryhmän kokouksessa (liite 1). Seuraavassa esitetään hyvin lyhyt yhteenveto käytetystä menettelystä, tarkempaa tietoa haluavat voivat perehtyä em. lähteisiin.

Nyt tuotetut siirtosuositukset perustuvat aiemmista poiketen lämpösumman sijaan leveysasteisiin. Siirtosuosituksen perusteena on koko Suomen kattavalle 10×10 km:n hilaruudukolle laskettu suhteellinen tuotos, joka kuvastaa käytetyn metsänviljelyaineiston puuntuotospotentiaalia ko. paikalla koko kiertoajan aikana. Tuotos perustuu malleilla laskettujen elävyyden ja pituuden tuloon. Tulevaisuuden ilmastomuutos on huomioitu laskennassa käyttämällä pituuden yhteydessä vuoden 2050 ennustettua lämpösummaa. Hila-aineistosta on poistettu keskikorkeudeltaan yli 350 m korkeudella olevat ruudut, yhteensä 3,5 %:a kaikista hilaruuduista. Nämä kaikki ruudut sijaitsevat Pohjois-Suomessa leveysasteen 67 °N pohjoispuolella, eivätkä edusta metsätalouden käytössä olevia alueita.

Siirtosuositusten laatimista varten laskettiin tuotokset kymmenelle kuvitteelliselle metsänviljelyaineistolle yhden leveysasteen välein (60 – 69 °N). Siirretyn alkuperän tuotos suhteutettiin jokaisessa hilaruudussa paikallisen alkuperän tuotokseen jakamalla se tällä. Kutakin kuvitteellista alkuperää edustavasta hila-aineistosta laskettiin edelleen viljelypaikan leveysasteiden mukaiset keskiarvot käyttäen yhden leveysasteen luokkia. Tällä aineistolla voitiin piirtää alkuperän tuotosta eri leveysasteilla kuvaava käyrä, jolta määriteltiin ne leveysasteet, joilla tarkastellun alkuperän tuotos oli 95, 97,5 ja 99 %:a paikallisen alkuperän tuotoksesta. Näitä raja-arvoja käytettiin siirtosuositusten laadinnassa. Tärkeimpänä kriteerinä käytettiin 97,5 %:n raja-arvoa, sillä näin muodostuvat metsänviljelyaineiston käyttöalueet ovat laajuudeltaan samaa suuruusluokkaa kuin nykyiset lämpösumman perusteella määritellyt käyttöalueet (2,5 leveysastetta ≈ 300 km vs. 250 dd-yksikköä ≈ 320 km). Lievempää 95 %:n raja-arvoa voidaan käyttää Pohjois-Suomessa alueilla minne ei ole paremmin soveltuvaa aineistoa saatavilla. Tiukempi 99 %:n raja-arvo kertoo suositeltavimman parhaan tuotoksen antavan alkuperän sijainnin.

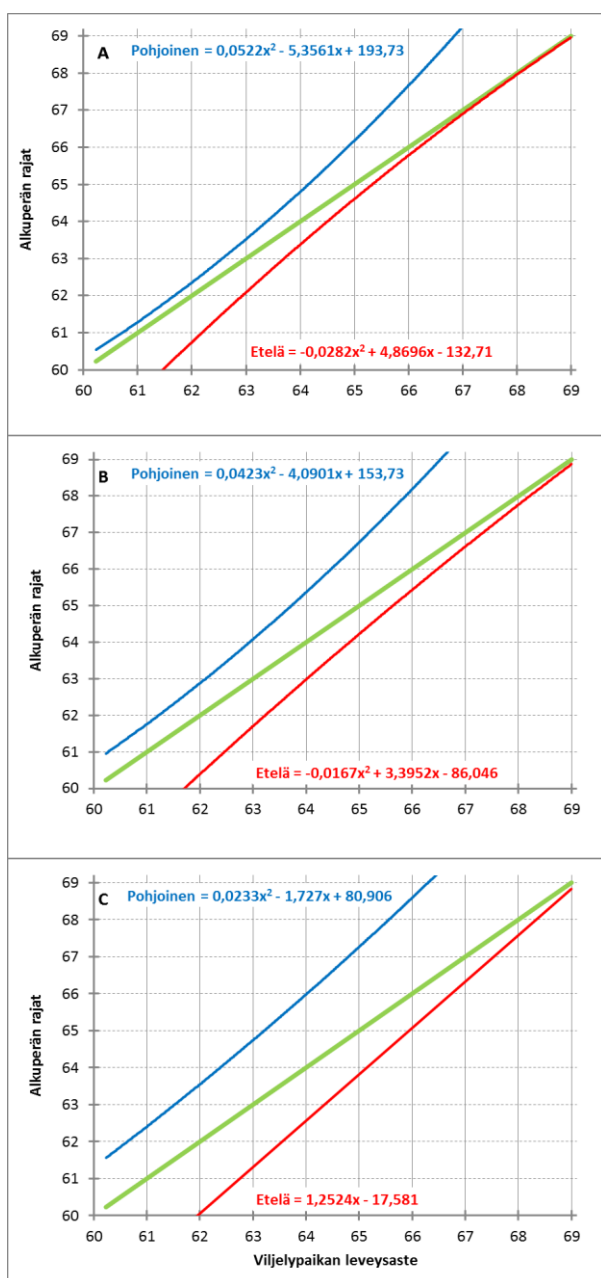
Vanhojen lämpösumma-asteikolla ilmoitettujen käyttöalueiden vertaamiseksi uusiin leveysasteisiin perustuviin käyttöalueisiin laskettiin hila-aineistosta lämpösumman ja leveysasteen

välinen regressioyhtälö (lämpösumma = $-87,3 \cdot \text{leveysaste} + 6789,6$). Suomen alueella lämpösumma siis laskee tässä hila-aineistossa 87 dd-yksikköä siirryttäessä yhden leveysasteen verran pohjoiseen.

3. Tulokset ja niiden tarkastelu

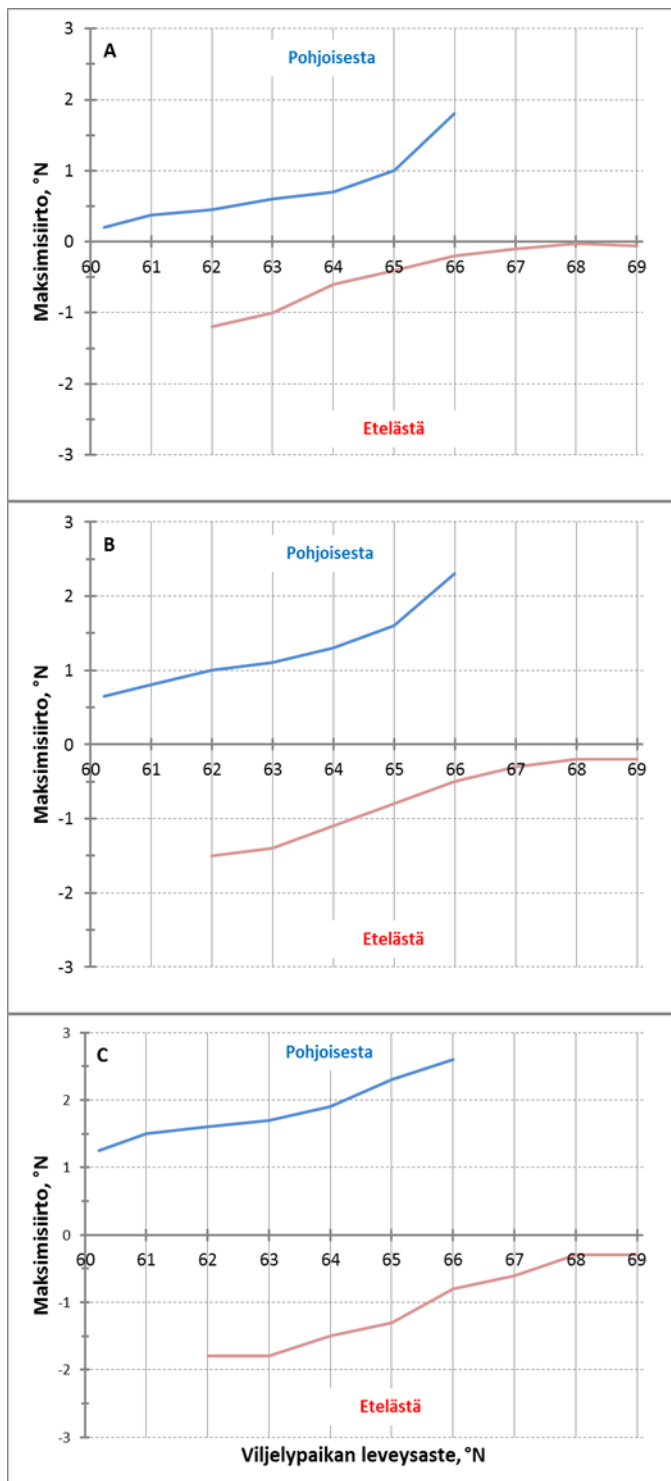
3.1. Viljelypaikan kannalta

Tietyllä viljelypaikalla käyttökelpoisen alkuperäalueen laajuus suhteellisen tuotoksen arvolla 97,5 %:a on lähes viljelypaikan leveysasteesta riippumatta noin 2,5 leveysastetta (kuva 1). Käytettäessä kriteerinä 99 %:n suhteellista tuotosta alkuperäalueen laajuus on vähän yli yhdestä leveysasteesta kahteen leveysasteeseen ja 95 %:n tuotoksella noin 3,5 leveysastetta. Erityisesti



Kuva 1. Tuotosindeksin mukaiset käyttöaluerajat 99 (A), 97,5 (B) ja 95 %:n (C) tuotosvaatimuksen perusteella. Kuvassa vihreä viiva osoittaa paikallisen alkuperän sijainnin.

tiukimman tuotoskriteerin mukainen alkuperäalue on kapeimmillaan Suomen puolivälin tienoilla, leveysasteilla 64 – 65 °N. 97,5 %:n tuotosvaatimuksella alkuperäalueen laajuuden riippuvuus viljelypaikasta lievenee ja 95 %:n tasolla se on käytännössä tasalevyinen viljelypaikan leveysasteesta riippumatta.



Kuva 2. Mahdollisen alkuperäsiirron pituus ja suunta eri leveysasteilla sijaitsevilla viljelypaikoilla 99 (A), 97,5 (B) ja 95 %:n (C) %:n tuotosvaatimuksen mukaan.

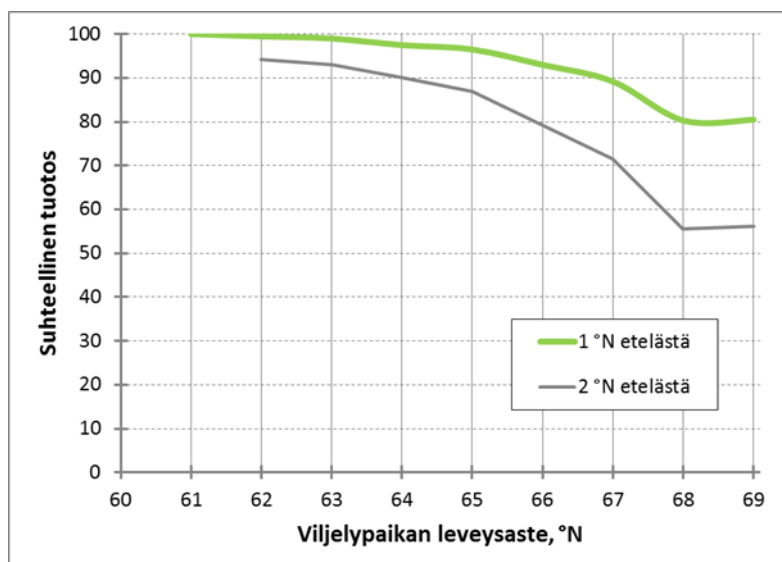
Tietyllä viljelypaikalla käyttökelpoisen alkuperäalueen laajuus on melko riippumaton viljelypaikan leveysasteesta (99 %:n suhteellista tuotosta lukuun ottamatta). Sen sijaan mahdollisen siemensirron suunta riippuu vahvasti leveysasteesta (kuva 2). Etelä-Suomessa voidaan leveysasteelle 63 °N saakka siirtää viljelyaineistoa vähintään 1,5 leveysasteen verran etelästä edellytettäessä vähintään 97,5 %:n suhteellista tuotosta. Pohjoisesta päin tehtävän siirron pituus on syytä rajoittaa alle yhteen leveysasteeseen samalla suhteellisen tuotoksen raja-arvolla.

Pohjois-Suomessa, leveysasteelta 65 °N pohjoiseen, etelästä siirrot jäävät pääsääntöisesti alle puolen leveysasteen, jos tuotoksen halutaan olevan vähintään 97,5 %:a paikallisesta aineistosta. Sen sijaan pohjoisesta päin metsänviljelyaineistoa on mahdollista siirtää tällä alueella vähintään puolentoista leveysasteen verran. Kaikkein pohjoisimmassa Suomessa (leveysasteelta 68 °N pohjoiseen) alkuperäsiirrot etelästä jäävät käytännössä nimellisiksi, vain noin 0,2 leveysasteen pituisiksi, mutta pohjoisesta tehtäville siirroille ei ole mitään enimmäisrajaa. Etelästä tehtävien alkuperäsiirtojen mahdollisuudet eivät juurikaan kasva, vaikka hyväksyttäisiin 95 %:n suhteellinen kasvu (kuva 2).

Leveysasteiden 63 ja 65 °N välisellä alueella siirtomahdollisuudet muuttuvat hyvin nopeasti. Etelärajalla sallitut siirrot 97,5:n %:n tuotosvaatimuksella ovat puolitoista leveysastetta etelästä ja yksi leveysaste pohjoisesta, kun taas pohjoisrajalla tilanne on kääntynyt päinvastaiseksi; etelästä voidaan siirtää yksi aste ja pohjoisesta puolitoista leveysastetta (kuva 2).

Edellä oleva tarkastelu on tehty 97,5 %:n tuotosvaatimuksen perusteella. Normaalioloissa näitä siirtorajoja ei ole syytä ylittää; niiden sisältä löytyy hyvin suurella todennäköisyydellä käyttökelpoista metsänviljelyaineistoa. Pohjois-Suomessa voidaan paikallisen siemenpulan vuoksi joutua tyytymään eteläisempään, vaikkakin huonomman tuotoksen antavaan, metsänviljelyaineistoon. Tällöin voidaan hyväksyä 5 %:n tuotoksen alenemiseen johtavat siemensirrot etelästä, mikä ei kuitenkaan pohjoisimmassa Suomessa (68 °N –) salli kuin vajaan puolen leveysasteen siirron etelästä. Jos tällä alueella kaikesta huolimatta joudutaan poikkeuksellisesti käyttämään yhtä leveysastetta eteläisempää aineistoa, jää tuotos vain 80 %:iin paikallisesta ja kahden leveysasteen siirrossa alle 60 %:iin (kuva 3). 67:nneellä leveysasteellakin tuotostappio on yhtä leveysastetta eteläisempää aineistoa käytettäessä yli 10 %. Pohjoisimmassa Suomessa eteläisemmän alkuperän käytön aiheuttamaa tuotostappiota korostaa se, että juuri tällä alueella olisi mahdollista saavuttaa paikalliseen alkuperään nähden kohtuullinen tuotoksen lisäys käyttämällä paikallista pohjoisempaa alkuperää (kuva 4).

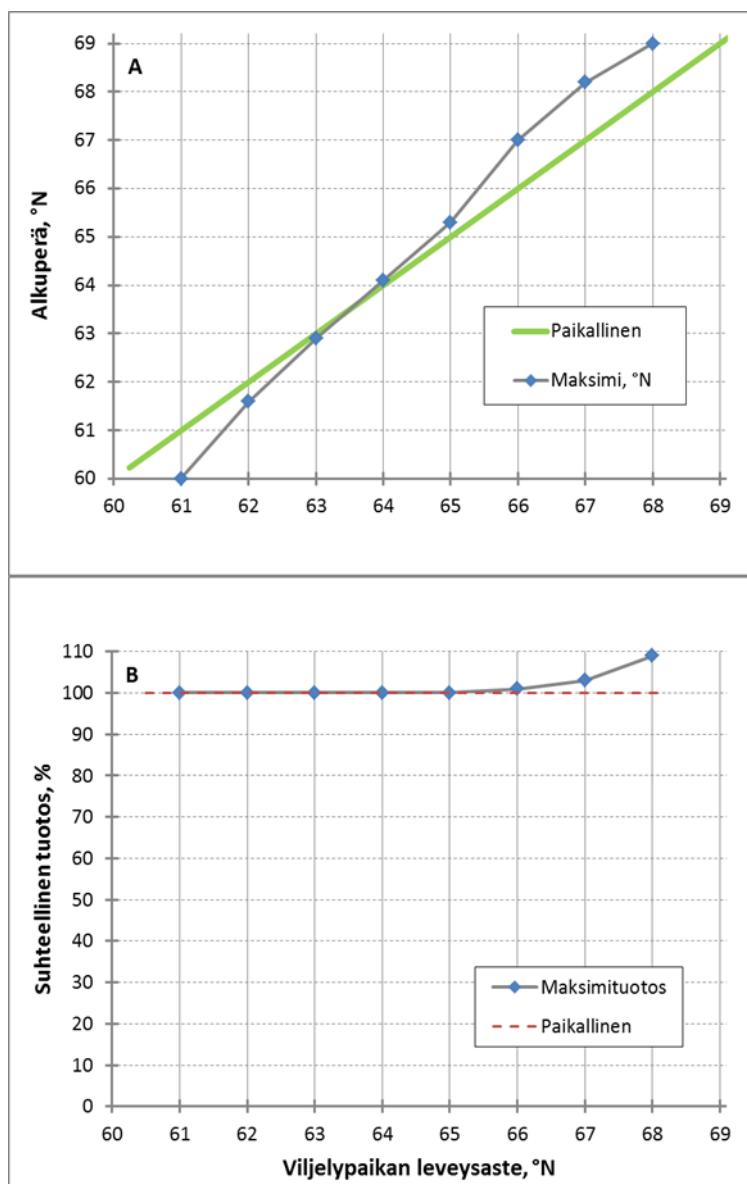
Männyn tuotos metsänviljelyssä on Suomen eteläpuoliskolla varsin hyvin puskuroitu alkuperäsiirtojen suhteen. Aina leveysasteelle 65 °N saakka voidaan käyttää vähintään yhden leveysasteen verran siirrettyä metsänviljelyaineistoa ilman että tuotos laskee yli 5 % paikallisen alkuperän tuotoksesta (kuva 2). Tämä kuvastaa männyn populaatorakenteesta johtuvaa laajaa sopeutuneisuutta. Tuotoksen yksittäisissä komponenteissa, elävyydessä ja pituuskasvussa alkuperän vaikutus on suurempi, mutta koska näissä ominaisuuksissa alkuperäsiirrot vaikuttavat vastakkaisiin suuntiin, alkuperäsiirron vaikutus tuotokseen jää lyhyissä siirroissa vähäiseksi (liite 1).



Kuva 3. Suhteellinen tuotos viljeltäessä yhden tai kahden leveysasteen verran etelästä siirrettyä aineistoa eri leveysasteilla sijaitsevilla uudistusaloilla.

Edellä olevat tarkastelut perustuvat uudistusalojen keskimääräisiin olosuhteisiin kyseisellä leveysasteella (tarkkaan ottaen yhden leveysasteen levyisessä luokassa). Paikallisista ilmasto-olosuhteista johtuen yksittäisillä uudistusaloilla voi olla mahdollista käyttää yleissäännöstä poikkeavaa metsänviljelyaineistoa, ja päinvastoin, joissakin ankarissa ilmasto-oloissa yleisohjeen mukaiset siirrot voivat johtaa ennustettua huonompaan uudistamistulokseen. Melko laajamittaisesta paikallisilmaston vaikutuksesta kertoo se, että etelästä siirron vaikutus tuotokseen tasaantuu pohjoisimmassa Suomessa Inarinjärven ilmastollisesti suotuisan vaikutuksen vuoksi, vaikka muuten siirron haitallinen vaikutus kasvaa kiihtyvällä tahdilla pohjoiseen mentäessä (kuva 3).

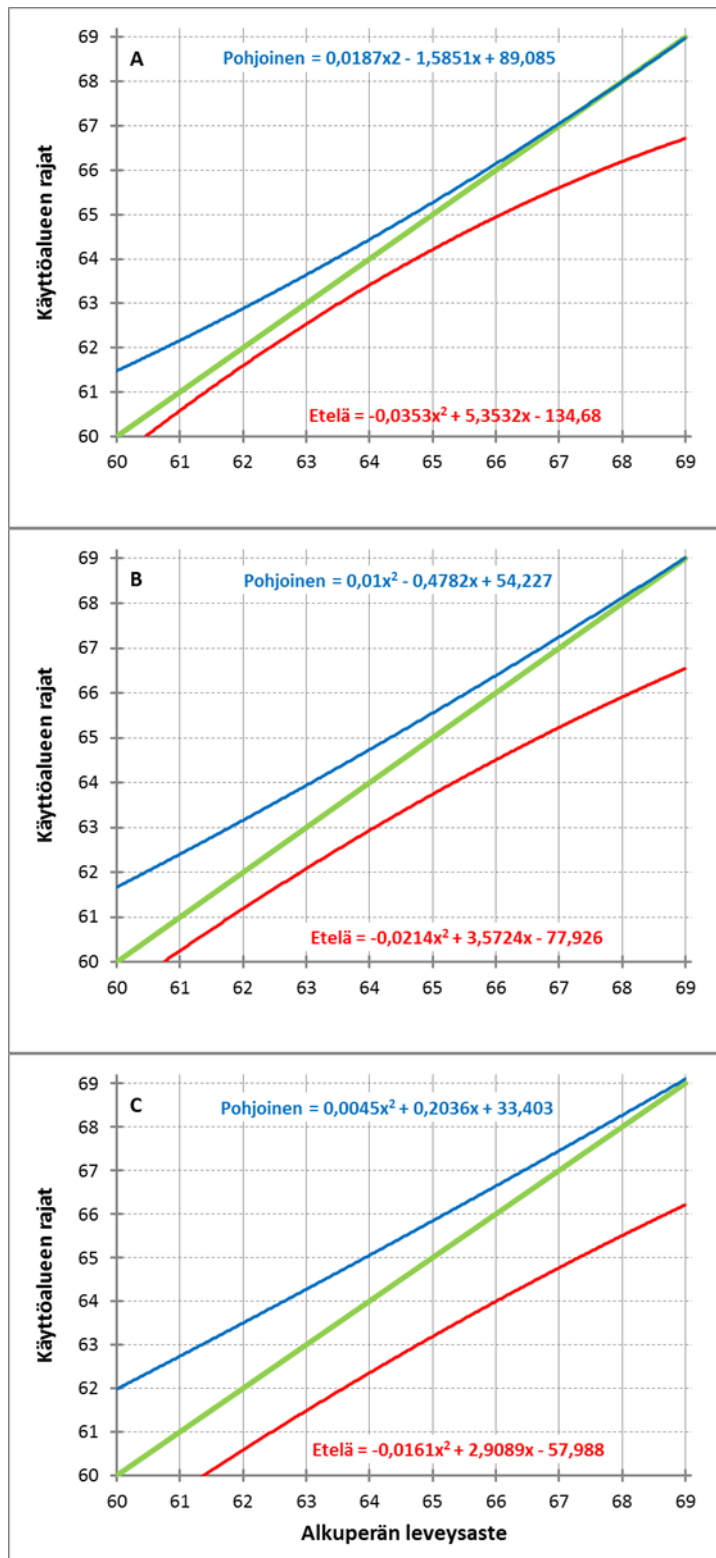
Sen lisäksi, että käyttöalueiden rajauksessa tarkastellaan siemensierroin seurauksena syntyviä tuotostappioita, voidaan tehdä myös positiivisempia tarkasteluja siitä millaiset siirrot tuottavat suurimman tuotoksen ja kuinka suuri on saavutettavissa oleva tuotoksen paraneminen. Maksimituotoksen antavan alkuperän tarkastelussa havaitaan sama ilmiö kuin suositeltavissa siirtosuunnissa; leveysasteen 63 °N eteläpuolella hieman paikallista eteläisempi alkuperä antaa suurimman tuotoksen ja 66 °N leveysasteesta pohjoiseen päin noin yhden leveysasteen verran pohjoisesta siirretty alkuperä antaa parhaan tuotoksen (kuva 4a). Välialueella paikallinen alkuperä on paras. Suurimman saavutettavissa olevan tuotoksen tarkastelu kuitenkin muuttaa jossain määrin johtopäätöksiä. Etelä-Suomessa etelästä tehtävät alkuperäsiirrot antavat niin mitättömän lisäyksen tuotokseen, että paikallisen alkuperän voidaan sanoa olevan paras etelästä aina leveysasteelle 66 °N saakka (kuva 4b). Vasta sitä pohjoisemmilla viljelypaikoilla on pohjoisesta siirrolla saavutettavissa muutaman prosenttiyksikön suuruinen tuotoksen paraneminen.



Kuva 4. Maksimituotoksen antava alkuperä (A) ja suurin saavutettavissa oleva suhteellinen tuotos (B) viljelypaikan leveysasteen mukaan.

3.2. Alkuperäkohtainen tarkastelu

Edellä metsikköaineiston käyttöalueita on tarkasteltu viljelypaikan näkökulmasta. Tarkastelu voidaan tehdä myös alkuperittäin niin, että katsotaan miten laajalla alueella tiettyä alkuperää voidaan käyttää valitulla tuotosraja-arvolla (kuva 5). Tulos on luonnollisesti hyvin samankaltainen kuin viljelyalueittain tehdyssä tarkastelussa: etelässä alkuperiä voi siirtää reilun leveysasteen verran pohjoiseen, mutta pohjoisessa siirtosuunta on jopa kaksi leveysastetta etelään 97,5 %:n tuotosraja-arvolla. Välialueen alkuperillä (64 – 66 °N) käyttöalue on hieman kapeampi kuin eteläisemmillä ja pohjoisemmilla.

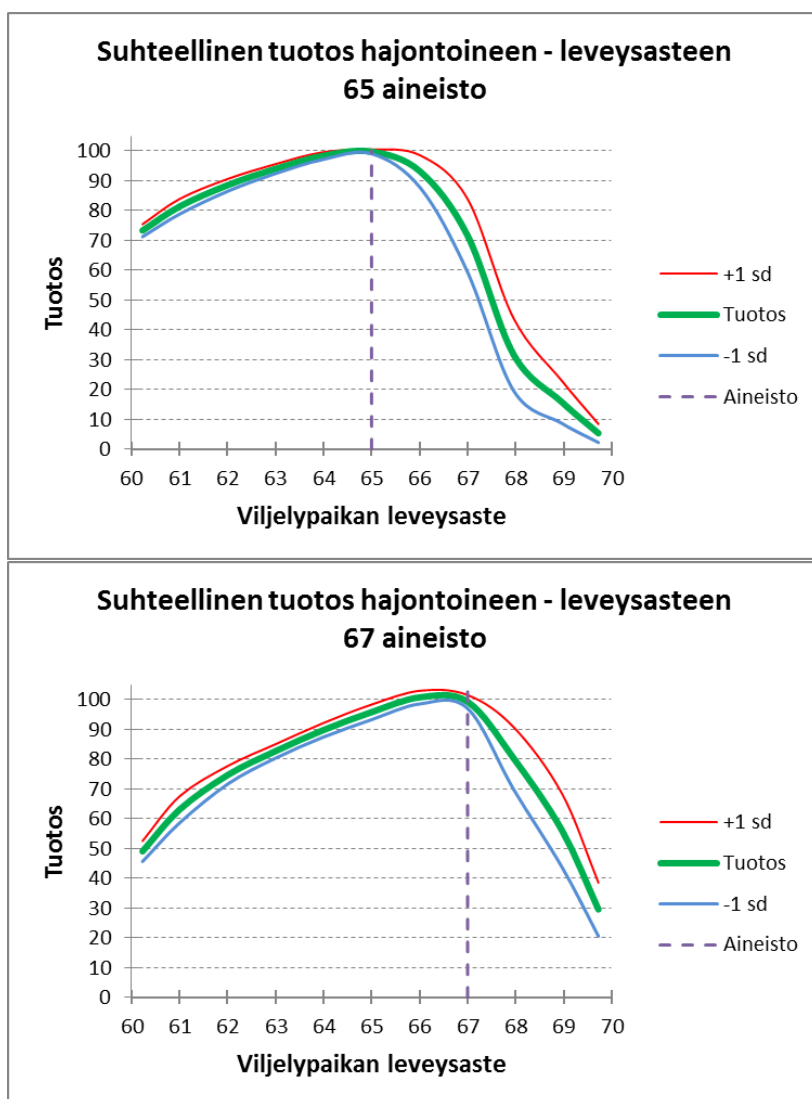


Kuva 5. Alkuperän käyttöalueen rajat 99 (A), 97,5 (B) ja 95 (C) %:n tuotosvaatimuksen mukaan. Kuvassa vihreä viiva osoittaa paikallisen alkuperän sijainnin.

Tietyn leveysasteen alkuperän tuotomahdollisuuksia voidaan kuvata viljelypaikan leveysasteisiin perustuvan keskimääräisen tarkastelun lisäksi myös yksityiskohtaisemmin karttojen

avulla (liite 2). Esimerkiksi 97,5 %:n tuotoksen perusteella määritelty käyttöalueen pohjoisraja ei yleensä poikkeakaan kovin suuresti keskimääräisestä arvosta. Suurimmat poikkeamat keskimääräisestä ovat yhden leveysasteen luokkaa, ja ne johtuvat siitä, että lämpimällä Pohjanlahden rannikolla käyttöalue kurottautuu selvästi keskimääräistä pohjoisemmaksi (esim. alkuperä 63 °N, liite 2, kuva 5). Tämän alueellisista ilmastollisista erityispiirteistä johtuvan poikkeaman voi haluttaessa ottaa huomioon valittaessa metsänviljelymateriaalia rannikkoalueelle. Viljelyn onnistumisen kannalta on hyvä, että käyttöalueen pohjoisraja ei missään jään merkittävästi keskimääräistä etelämmäksi. Siispä suosituksia noudatettaessa ei missään päin Suomea tule suurilmastollisista syistä johtuvia odottamattomia tuotostappioita.

4. Luotettavuustarkastelu

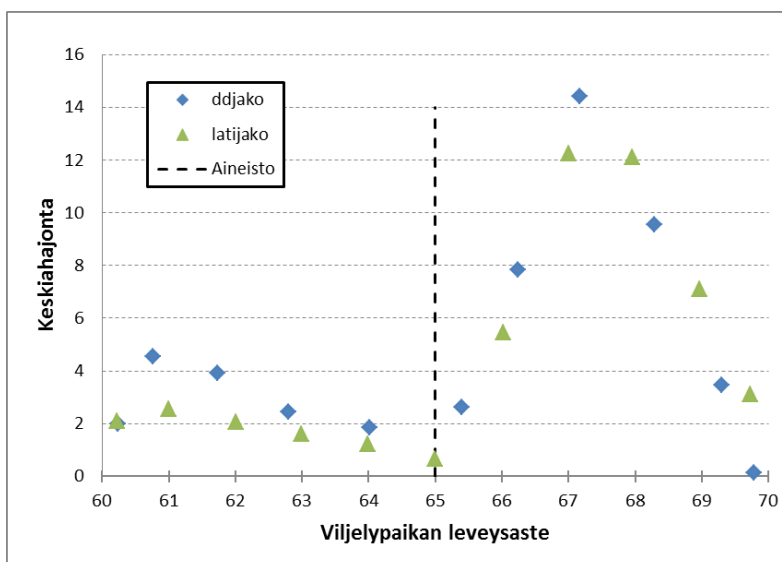


Kuva 6. Tuotosindeksi ja sen yhden keskihajontayksikön suuruinen luottamusväli (± 1 sd) eri viljelypaikoilla kahden eri leveysasteen aineistolla

Mallien avulla lasketun tuotoksen luotettavuutta tarkasteltiin useilla eri tavoilla. Yksi tapa oli tarkastella tuotosindeksin hajontaa eri viljelypaikoilla ja eri alkuperää olevilla aineistoilla (kuva 6). Aineiston alkuperäleveysasteella ja siitä etelään mallin laskema ennuste on varsin tarkka, 68 %:a hilaruuduista on 2 – 5 yksikön sisällä ennustetusta arvosta. Sen sijaan pohjoiseen siirroissa epävarmuus kasvaa selvästi. Jo yhden leveysasteen verran pohjoiseen siirretyllä aineistolla ennusteen 68 %:n luottamusväli on 10 – 20 yksikköä. Tämä epävarmuuden kasvu johtuu osaksi tuotoskäyrän muodosta: pohjoiseen siirretyn aineiston tuotos laskee jyrkästi siirtomatkan kasvaessa, jolloin samaan leveysasteluokkaan tulee menestymiseltään hyvin erilaisia havaintoja. Se että vaihtelun kasvaminen johtuu lähinnä käyrän muodosta, ei niinkään kasvupaikkavaihtelusta, näkyy siinä, että 65 °N aineistolla vaihtelu on jo hyvin suurta leveysasteella 67 °N, mutta tämän leveysasteen omalle aineistolle saadaan siellä hyvin tarkka ennuste.

Leveysastesiirron lisäksi myös viljelypaikan olosuhteilla on jossain määrin vaikutusta metsänviljelyaineiston tuotokseen. Leveysasteen 65 °N aineiston keskimääräinen suhteellinen tuotos viljeltäessä sitä yhtä leveysastetta pohjoisempaan on alentunut noin 7 %:a, kun 50 metrin korkeudella tuotoksen alenema on vain 1 % ja 300 m korkeudella 13 %:a (liite 1). Korkeus vaikuttaa tuotokseen pääasiassa lämpösunnan alenemisen kautta. Tarkasteltaessa em. aineistoa lämpösunnan mukaan jaoteltuna, havaitaan että lämpösunnaltaan 1200 dd:tä olevilla alueilla tuotos ei ole alentunut ollenkaan paikalliseen verrattuna, mutta korkealla sijaitsevilla 1000:en dd:n alueilla alenema on 8 %:a (liite 1).

Käytetyn leveysasteisiin perustuvan siirto-ohjeistuksen oikeutusta testattiin vertaamalla tuotosindeksin keskihajontaa leveysaste- ja lämpösunnaluokkien välillä leveysasteen 65 °N aineistolla (kuva 7). Jaettaessa aineisto luokkiin lämpösunnan perusteella luokkien sisäinen hajonta oli hieman suurempi kuin leveysasteluokkien sisällä. Tämä osoittaa, että leveysasteita voidaan luotettavasti käyttää siirto-ohjeiden perusteena.



Kuva 7. Tuotosindeksin keskihajonnan vaihtelu leveysasteen 65 °N alkuperällä luokiteltaessa aineisto vaihtoehtoisesti leveysasteen (kolmio) tai lämpösunnan (neliö) perusteella.

5. Alkuperäsiirtoja koskeva tutkimus ja aiemmat siirtosuositukset

5.1. Kestävyys ja kasvu

5.1.1. Yleistä

Männyn alkuperäsiirtoja on Suomessa tutkittu jo pitkään sekä varsinaisten kokeiden että alkuperältään tunnettujen käytännön viljelysten avulla. Pääpiirteissään tulokset ovat noudattaneet muuallakin saatuja tuloksia, eli että kohtuullinen siirto etelästä (lämpimämmästä ilmastosta) parantaa kasvua mutta alentaa elävyyttä ja pohjoisesta (kylmemmästä ilmastosta) etelään tehtävillä siirroilla on päinvastaiset vaikutukset (Kalela 1937, Heikinheimo 1949, Sarvas 1960, Mononen 1987, Koski 1989). Tutkimustulosten välillä on ollut eroja siinä, mikä on ollut optimaalisen siirtomatkan pituus ja mikä on tarkasteltujen ominaisuuksien perusteella tehty siemensuositus.

Ensimmäiset männyn siemensuoritoja ja käyttöalueita koskevat tutkimukset Suomessa perustuivat melko suppeaan professori Olli Heikinheimon perustamaan koeaineistoon (Kalela 1937, Heikinheimo 1949, Sarvas 1960). Tulosten mukaan männyllä oli mahdollista tehdä kohtuullisen pitkiä alkuperäsiirtoja, jopa lähes kaksi leveysastetta pohjoiseen. Etelään siirtojen suhteen oltiin kasvutappioiden pelossa vähän varovaisempia, enimmäissiirroksi suositeltiin noin 1,5 leveysastetta (Heikinheimo 1949). Kosken (1989) saman koeaineiston tilavuuskasvuun perustuvan tarkastelun mukaan paikallisen tai hieman pohjoisemman alkuperän tuotos oli paras, mutta tuotoksen optimialue oli kohtuullisen laaja, ± 100 kilometrin sisällä on turvallista siirtää.

Monosen (1987) mukaan Pohjois-Suomessa ($65 - 67^\circ \text{N}$) olevissa provenienssikokeissa maksimipituussumma saavutettiin $1,5 - 3^\circ \text{N}$ siirrolla etelään. Erot paikallisen aineiston pituussummaan olivat kuitenkin melko pieniä. Elävyyden maksimi oli noin 2°N pohjoisemmalla alkuperällä. Merkille pantavaa oli myös, että kylvö ja istutus antoivat alkuperäsiirtojen suhteen hyvin samanlaisen tuloksen.

Kakkosen (2013) tutkimuksessa Kolarissa ja Muonioissa sijaitsevilla kokeilla paras elävyys saavutettiin $1 - 2^\circ \text{N}$ viljelypaikkaa pohjoisemmalla aineistolla, joka oli kokeen pohjoisinta materiaalia. Lämpösummaltaan tämä paras aineisto oli noin 100 dd:tä viljelypaikkaa kylmempää alkuperää.

Pohjois-Ruotsissa, ilmastollisesti Suomea vastaavalla alueella saadut alkuperäsiirtotulokset ovat samansuuntaisia kuin meilläkin, mutta yleensä elävyyden maksimiarvo on saavutettu pidemmällä siirroilla pohjoisesta (Remröd 1976, Persson & Ståhl 1990, Persson 1994).

5.1.2. Pohjois-Suomen erityiskysymyksiä

Pohjois-Suomessa todettiin 1960-luvulla paljon epäonnistumisia metsänuudistamisessa. Syinä tähän olivat mm. viljelymateriaalipula, viileät kasvukaudet ja puutteellinen maanmuokkaus (Leikola 1979). Erääksi syyksi arveltiin myös liian eteläistä alkuperää yhdistyneenä kylmiin kasvukausiin (Etholén 1972). Paikallisen viljelyaineiston puuttumisen vuoksi Pohjois-Suomessa on jouduttu turvautumaan etelämpää tuotuun aineistoon. Sen käyttökelpoisuutta on selvitetty parissa tutkimuksessa.

Sirén (1958) vertaili noin 30-vuotiaita Tuomarniemen ja paikallista alkuperää olevia mäntyviljelyksiä. Tulosten mukaan eteläiset männyn olivat paikallisia selkeästi huonompia ainoastaan lumikaristealttiudessa. Muissa ominaisuuksissa alkuperät olivat joko samanarvoisia tai sitten erot saattoivat johtua metsiköiden ikäerosta (kasvu, oksanpaksuus). Tässä tutkimuksessa eteläistä alkuperää oli viljelty neljä leveysastetta (450 km) alkuperäpaikkaansa pohjoisempana. Sirénin (1958)

mukaan myös 1950-luvun alkupuolella Lapin läänin eteläosissa tehdyssä viljelytaimikoiden inventoinnissa löytyi paljon onnistuneita kylvötaimikoita, joiden siemen oli peräisin jopa 300 km viljelypaikkaa etelämpää. Sirén (1958) piti suositeltavana ja siemenhuollon kannalta jopa välttämättömänä siirtää siementä 300 – 400 kilometriä etelästä pohjoiseen Pohjois-Suomen metsänviljelyssä.

Etholén (1972) vertasi käytännön metsänviljelyaloja koskeneessa inventointitutkimuksessaan alkuperäsiirtoja jakamalla alkuperät 950 dd-ajan mukaan eteläisiin ja pohjoisiin. Tulosten mukaan pohjoisemman alueen alkuperien välillä ei ollut eroa elävyydessä, ja mikä yllättävämpää, tässä aineistossa elävyys ei juuri riippunut viljelypaikan lämpösummastakaan. Kaikkein yllättävin havainto tässä aineistossa oli kuitenkin se, että eteläisemmässä alkuperäluokassa elävyys oli sitä parempi mitä alhaisempi oli viljelypaikan lämpösumma. On todennäköistä, että tällaisessa käytännön metsänviljelysten inventointiin perustuvassa aineistossa viljelypaikan lämpösumma on yhteydessä viljelypaikan maaperään, viljelyksen ikään tai muuhun vaikuttavaan tekijään, jota ei tässä yhteydessä tarkasteltu.

Pohjois-Suomen siemenpulaan liittyy myös ilmastollisesti suotuisalta Inarin järviolueelta peräisin olevan männyn siemenen käyttökelpoisuuden tarkastelu etelämpänä Lapissa tehtävässä viljelyssä. Sen kestävyys etelämpänä ilmastollisesti ankarammalla korkealla alueella viljeltynä on suhtauduttu tietyllä varauksella (Tuula Kenttälä, Siemen Forelia, suullinen tiedonanto). Pakastustestaustulokset tukevat jossain määrin tätä epäilyä. Anderssonin (1990) mukaan inarilaiset ja utsjokelaiset alle 150 m korkeudelta olevat alkuperät vaurioituivat hieman enemmän pakastustestauksessa kuin jonkin verran eteläisemmät yli 200 metrin korkeudelta olevat alkuperät. Kenttäkokeisiin perustuvaa tietoa tästä erityiskysymyksestä on kuitenkin saatavilla melko vähän. Monosen (1987) mukaan tällainen korkeussuuntainen siirto alentaa jossain määrin elävyyttä ja pituussummaa, mutta samanaikainen siirto etelään osittain kompensoi siirron vaikutusta.

Nummisen (1987) 10 – 19-vuotiaisiin kenttäkokeisiin perustuvan selvityksen mukaan Inarin ja Utsjoen alueen mäntyjen siementä voidaan käyttää koko Lapin läänin alueella korkeilla alueilla ilman ongelmia kestävyudessa tai kasvussa. Tuloksen soveltamista Inarinjärven alueen matalalla sijaitsevista männiköistä kerättyihin siemeniin tosin heikentää se, että kokeissa olleet Inarin alueen siemenet ovat useissa tapauksissa kohtuullisen korkealta merenpinnasta (200 m tai ylempää), eivät siis alhaalta järviolueen männiköistä. Alemmalta kotoisin olevien Utsjoen alkuperien elävyys olikin jonkin verran inarilaisia alempi, mutta kuitenkin selvästi korkeampi kuin etelämpää siirrettyjen alkuperien.

5.1.3. Korkeusalkuperä

Koska kasvukausi lyhenee ja kasvukauden keskimääräinen lämpötila alenee maaston korkeuden kasvaessa, on loogista olettaa, että tämä näkyy paikallispopulaatioiden sopeutumisessa vastaavalla tavalla kuin on tapahtunut sopeutumisessa leveysasteiden suuntaiseen ilmaston huononemiseen. Tämä olettaimus on osoitettu paikkansa pitäväksi useilla pohjoisamerikkalaisilla puulajeilla (Callahan & Liddicoet 1961, Rehfeldt 1987). Suomessa ja muissakin Pohjoismaissa korkeuserot ovat kuitenkin selvästi pienempiä, joten on epäilty onko näissä olosuhteissa voinut syntyä populaatioiden välistä erilaistumista. Erään ruotsalaisen tutkimuksen mukaan kuitenkin 150 metrin korkeusero metsiköiden välillä riittää aiheuttamaan osittaisen ajallisen eristyksen kukinnassa ja populaatioiden välistä geneettistä erilaistumista (Gullberg ym. 1982).

Kokeellista näyttöä korkeusalkuperän vaikutuksesta männynviljelyn tuloksiin on Suomesta olemassa hyvin vähän. Monosen (1987) mukaan 100 metrin alkuperäsiirto ylhäältä alas paransi elävyyttä 7 – 8 %-yksikköä.

Ruotsalaisissa tutkimuksissa (Persson & Ståhl 1990) on saatu yleensä tulokseksi, että korkeusalkuperä ei vaikuta taimien elävyyteen tai kasvuun. Joissakin tapauksissa tämä johtuu kuitenkin aineiston rajauksesta; siitä puuttuvat riittävän suuret korkeussuuntaiset siirrot (esim. Persson & Ståhl 1990). Myös analyysissä käytetyt muuttujat vaikuttavat tulokseen; esim. Perssonin (1994) mukaan korkeusalkuperällä oli vaikutusta, jos viljelypaikan lämpösumma ei ollut mukana mallissa. Myöskään uusimmassa suomalais-ruotsalaisessa tutkimuksessa (Berlin ym. 2016) korkeuden suuntainen alkuperäsiirto ei muodostunut tilastollisesti merkitseväksi. Toisaalta joissain aiemmissa tutkimuksissa korkeusalkuperällä oli selvä, joskin lievä vaikutus elävyyteen. Esimerkiksi Remrödin (1976) mukaan 275 metrin siirto korkeussuunnassa vastasi yhden leveysasteen siirtoa pohjois-eteläsuunnassa. Tällöin siirto 100 m korkeussuunnassa aiheutti 4 %-yksikön muutoksen elävyyteen. Erikssonin ym. (1980) mukaan vastaava 100 m siirto vaikutti elävyyteen 3 %-yksikköä.

Kaikissa edellä kuvatuissa korkeusalkuperän vaikutusta koskevissa tutkimuksissa korkeuden vaikutusta on vaikea saada erotettua leveysasteen vaikutuksesta, sillä ne ovat usein kytkeytyneet toisiinsa. Tämä ongelma on kuitenkin vältetty Kakkosen (2013) tutkimuksessa, missä oli käytettävissä suppealta alueelta vaarojen rinteiltä eri korkeuksilta kerättyjä siemeneriä, joiden menestymistä vertailtiin eri korkeuksille perustetuissa kenttäkokeissa. Tulosten mukaan elävyys laskee 5 %-yksikköä käytettäessä 100 m alemmaa peräisin olevaa siementä ja vastaavasti nousee 5 %-yksikköä kun viljellään 100 ylempää alkuperää. Pituudessa on lievä vastakkaisuuntainen riippuvuus, joten tuotoksen muutos on pienempi kuin elävyyden muutos. Elävyyden muutosta ei ollut nähtävissä alle 200 m korkeudella olevilla koepaikoilla.

5.2. Muut ominaisuudet

5.2.1. Laatu

Alkuperäsiirtojen vaikutuksesta puiden laatuun on olemassa hyvin vähän suomalaisia tutkimustuloksia, vaikka yleisellä tasolla esitetäänkin että esim. rungon mutkaisuus on suurempaa lämpimämmän ja mereisemmän alueen alkuperillä. Samoin eteläistä alkuperää olevien mäntyjen laatu on paikallista huonompi (rungon suoruus, oksakulma, haaroittuminen) erityisesti Pohjois-Suomessa (Kalela 1937). Remrödin (1976) tutkimuksessa ei alkuperällä todettu olevan vaikutusta oksanpaksuuteen, jos poistettiin erilaisesta elävyydestä johtuva ero alkuperien kasvutiheydessä. Sen sijaan pohjoisilla alkuperillä oli hieman suurempi oksakulma ja vähemmän oksia kiehkuraa kohti, sekä hieman vähemmän runkomuodoltaan huonoja puita.

Suomalaisessa tutkimuksessa männyn alkuperien väliset erot useimmissa puuaineen sisäistä laatua kuvaavissa ominaisuuksissa olivat tilastollisesti merkitseviä, mutta kasvuominaisuuksia pienempiä (Velling & Nepveu 1986). Vaihtelua oli kuitenkin vaikea selittää millään maantieteellisellä tekijällä. Ulkoista laatua koskevista ominaisuuksista saatiin kuitenkin havaintoja, joiden mukaan itäsuomalaiset alkuperät olisivat ulkoiselta laadultaan läntisiä parempia (Velling 1987).

Sirénin (1958) tekemässä vertailussa keskisuomalainen ja paikallinen mänty eivät eronneet puuaineen tiheydeltään toisistaan Rovaniemellä olevilla viljelyksillä. Remrödin (1976) mukaan eräissä pohjoisruotsalaisissa kokeissa havaitut pienet alkuperien väliset erot puuaineen tiheydessä johtuivat lähinnä erilaisen kasvutiheyden aiheuttamasta lustonleveyden vaihtelusta.

5.2.2. Tuhonkestävyys

Kalelan (1937) mukaan eteläisemmät alkuperät ovat yleensä pohjoisempia alttiita sienituhoille (männynkariste ja lumihome) sekä myös lumenmurroille. Etelä-Suomen alueella näyttäisi olevan myös sopeutumista mantereisuus-mereisyys –vaihteluun siten, että mereistä alkuperää olevat taimet ovat mantereisiä terveempiä Solbölessä ja vastaavasti mantereiset mereisiä terveempiä Punkaharjulla. Myös taimien kärsimissä latvavaurioissa on nähtävissä vastaavaa ilmaston mantereisuuteen tapahtunutta sopeutumista. Tuloksissa oli kuitenkin nähtävissä, että mantereisen ilmaston männyt toipuivat latvatuhoista melko hyvin myös mereisissä olosuhteissa, kun taas päinvastaisissa tapauksissa toipuminen oli huonompaa. Tämän seurauksena mereistä alkuperää olevien mäntyjen laatu oli huono mantereisemmissä oloissa Punkaharjulla.

Alkuperäsiirtojen vaikutusta taimien tautialttiuteen on versosurman osalta tutkinut Uotila (1985). Tulosten mukaan 100 dd:n siirto etelästä pohjoiseen lisäsi versosurmatartuntaa 3 – 10:llä %:lla ja vastaavasti siirto pohjoisesta vähensi tartuntaa. Alle 150 kilometrin siirroissa metsiköiden välinen vaihtelu kuitenkin peittää siirron vaikutuksen. Versosurmalle alttiilla kasvupaikoilla on siis syytä välttää eteläistä alkuperää olevaa metsänviljelyaineistoa, kuten nykyinenkin käyttöalueohje toteaa (Tapio 2006), vaikka se yleisen ohjeen mukaan olisikin käyttökelpoista.

Eteläisten alkuperien on myös todettu olevan paikallista tai pohjoisempia alttiimpia hirvituhoille (Niemelä ym. 1989).

5.3. Aiempien tulosten ja mallin yhteensopivuus

Yhteenvedona edellä olleesta kirjallisuustarkastelusta voidaan sanoa, että tulokset sopivat kohtuullisen hyvin yhteen nyt näiden siemensiirto-ohjeiden laadinnassa käytettyjen uusien tulosten (Berlin ym. 2016) kanssa. Eräissä aiemmissä ruotsalaisissa tutkimuksissa elävyyden maksimiarvo oli tätä tutkimusta pohjoisemmilla alkuperillä. Kirjallisuustarkastelun perusteella voidaan sanoa, että eteläinen alkuperä lisää mäntyjen tuhoriskiä, mikä kannattaa huomioida tuhoalttiilla uudistusaloilla. Myös vähäiset puiden laatua koskevat tulokset kehottavat valintatilanteessa suosimaan pohjoisempaa alkuperää. Pohjois-Suomen olosuhteissa kannattaa myös kiinnittää huomiota siemenen korkeusalkuperään.

6. Tiivistelmä

Kuvissa 1 ja 2 eri leveysasteilla oleville viljelypaikoille esitetyt tietyillä tuotoskriteereillä sopiviksi katsottujen alkuperien raja-arvot voidaan tiivistää Suomen eri alueita koskeviksi suhteellisen yksinkertaisiksi siirto-ohjeiksi (taulukko 1). Suositeltavan pisimmän alkuperäsiirron pituus etelästä vaihtelee 97,5 %:n tuotosvaatimuksella Etelä-Suomen 150 kilometristä Lapin nollaan kilometriin. Vastaava siirtoraja pohjoisesta on välillä 100 – 350 kilometriä (taulukko 1b). Etelästä siirtoa koskevat rajat ovat sikäli varovaisia, että ne vastaavat varsin tarkkaan asetettua tuotosvaatimusta alueen pohjoisrajalla, etelämpänä hieman pitemmätkin siirrot olisivat mahdollisia (kuva 8). Pohjoisesta siirroissa raja-arvo vastaa tuotosvaatimusta alueen keskiosissa, mutta erot tarkkaan siirtosuositukseen ovat osa-alueen laidallakin Suomen pohjoisosia lukuun ottamatta pieniä. Tästä epätarkkuudesta tuskin kuitenkaan tulee käytännön ongelmia, sillä siirtorajat pohjoisesta ovat siksi väljät, että todennäköisesti hyvin harvoin niin pitkiin siirtoihin on käytännössä tarvetta tai mahdollisuuttakaan.

Taulukossa 1 esitetyt siirtosuositukset tarkasteltaessa on huomattava, että ne vastaavat kunkin alueen keskimääräisiä viljelyolosuhteita. Rannikkoalueella enimmillään yhden leveysasteen pitemmät siirrot pohjoiseen ovat mahdollisia (liite 2). Toisaalta ympäristöään selvästi kylmemmillä paikoilla etelästä siirtojen suhteen on syytä olla taulukossa esitetyt raja-arvoja varovaisempi.

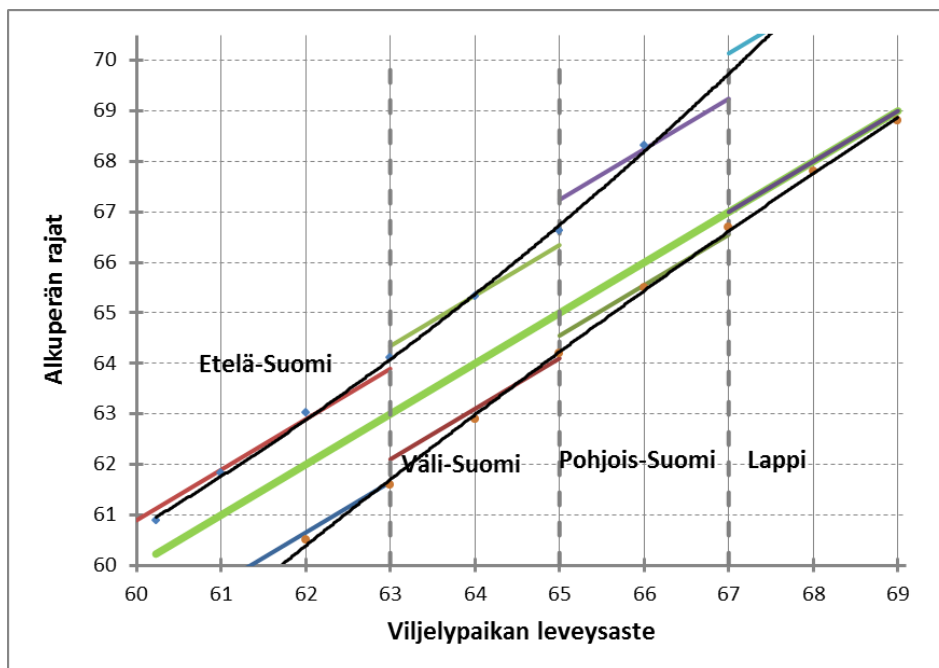
On tärkeää huomata, että suurimmassa osassa Suomea ei ole tuotoksen parantamiseksi syytä pyrkiä käyttämään muualta siirrettyä metsänviljelyaineistoa, jos vaan alkuperältään paikallista on saatavissa. Paikallisen aineiston tuotos on paras lukuun ottamatta pohjoisinta Suomea leveysasteelta 67 °N pohjoiseen, missä noin sata kilometriä pohjoisempi alkuperä antaa selvästi parhaan tuotoksen. Koska sopeutumisen optimialue on varsin laakea, antavat esitetyt alkuperäraajat tarvittaessa riittävää väljyyttä metsänviljelyaineiston valintaan.

Taulukko 1a. Metsänviljelyaineiston käyttöaluesuositukset Suomen eri alueilla 97,5 %:n tuotosvaatimuksen mukaisesti leveysasteina.

Alue	Leveysasteet, °N	Suositeltavat suurimmat alkuperäsiirrot, °N		Optimialkuperä
		Etelästä	Pohjoisesta	
Etelä- Suomi	– 63	1,5	<1	Paikallinen
Väli-Suomi	63 – 65	1,5 – 1	1 – 1,5	Paikallinen
Pohjois-Suomi	65 – 67	0,5	2	Paikallinen
Lappi	67 –	0	3	1,2 °N pohjoisesta

Taulukko 1b. Alkuperäsiirrot ilmaistuna kilometreinä (50 kilometrin tarkkuus)

Alue	Leveysasteet, °N	Suositeltavat suurimmat alkuperäsiirrot, km		Optimialkuperä
		Etelästä	Pohjoisesta	
Etelä- Suomi	– 63	150	100	Paikallinen
Väli-Suomi	63 – 65	100	150	Paikallinen
Pohjois-Suomi	65 – 67	50	250	50 km pohjoisesta
Lappi	67 –	0	350	150 km pohjoisesta



Kuva 8. Tuotosindeksin mukaiset 97,5 %:n käyttöaluerajat ja taulukon 1b mukaiset Suomen eri alueille asetetut käyttöaluerajat.

Uudet suositukset eivät suuresti poikkeaa aiemmista suosituksista (taulukko 2). Etelä-Suomessa uusissa suosituksissa painotus muuttuu hieman eteläisempien alkuperien suuntaan siten, että nyt esitetään hieman pitempiä siirtoja etelästä ja lyhyempiä pohjoisesta kuin aiemmin. Tässä näkyy se, että uudet mallit ottavat huomioon jo tapahtuneen ja myös tulevan ilmaston lämpenemisen. Pohjois-Suomen osalta siirtojen eteläraajat pysyvät likipitään ennallaan, mutta pohjoisen suunnasta sallitaan aiempaa pitemmät siirrot. Aiempaan suositukseen nähden erona on myös Suomen jakaminen useampaan erikseen tarkasteltavaan osa-alueeseen sekä näiden alueiden tarkka rajaaminen. Lisäksi siirtosuositukset esitetään karttoina käyttäen 10×10 kilometrin hilaruudukkoa. Tämä mahdollistaa alkuperien tarkemman alueellisen kohdentamisen.

Taulukko 2. Uuden ja aiemman (Tapio 2006) alkuperäsiirtosuosituksen vertailu. Aiemmat lämpösummina ilmoitetut alkuperäsiirrot on muunnettu kilometreiksi käyttäen luvussa 2 esitettyä regressioyhtälöä.

	Etelä-Suomi, – 63 °N		Väli-Suomi, 63 – 65 °N		Pohjois-Suomi, 65 – 67 °N		Lappi, 67 °N –	
	Etelästä	Pohjoisesta	Etelästä	Pohjoisesta	Etelästä	Pohjoisesta	Etelästä	Pohjoisesta
Uusi suositus, km	150	100	100	150	50	250	0	350
Tapio 2006, dd	100	150	?	?	0	150	0	150
Tapio 2006, km	130	190			0	190	0	190

7. Kirjallisuus

- Andersson, B. 1990. Hårdighetsjämförelse med frystester av nordligt och svenskt beståndsmaterial av tall (*Pinus sylvestris* L.). Abstract: Comparison of hardiness with freezing tests of northern Finnish and Swedish material from natural stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Institutet för Skogsförbättring. Rapport nr 16. 6 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>
- Callaham, R. Z. & Liddicoet, A. R. 1961. Altitudinal variation at 20 years in Ponderosa and Jeffrey pines. *Journal of Forestry* 59(11):814-820.
- 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.
- Etholén, K. 1972. Männyn viljelyn tulos Pohjois-Suomessa ja siemenen alkuperä. Summary: The success of artificial regeneration of Scots pine in Northern Finland and origin of seed. *Folia Forestalia* 160. 27 s.
- Gullberg, U., Yazdani, R., Rudin, D. 1982. Genetic differentiation between adjacent populations of *Pinus sylvestris*. *Silva Fennica* 16: 205–214.
- 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. 44 s.
- Kakkonen, L. 2013. Männyn korkeusalkuperän vaikutus taimien elävyyteen ja pituuskasvuun maastossa Pohjois-Suomessa. *Metsätieteen pro gradu*. Itä-Suomen yliopisto. 46+5 s.
- Kalela, A. 1937. Zur Synthese der experimentellen Untersuchungen über Klimarassen der Holzarten. (Suomenkielinen selostus: Puulajien ilmastorotuja koskevista kokeellisista tutkimuksista). *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 26(1): 1-445.
- Koski, V. 1989. Siemensiirrot ja ilmastoon sopeutuminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 328: 20-37.
- Leikola, M. 1979. Tutkimustoiminta Lapin metsien hoidon ja käytön suuntaajana. *Silva Fennica* 13(1A). 50 s.
- Mononen, S. 1987. Männynsiemenen siirrot Pohjois-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 278: 80-91.
- Niemelä, P., Hagman, M. & Lehtilä, K. 1989. Relationship between *Pinus sylvestris* L. origin and browsing preference by moose in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 239-246.
- Numminen, E. 1987. Männyn siemenen siirto Pohjois-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 253: 48 – 60.
- 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
- Persson, B. & Ståhl, E. G. 1990. Survival and yield of *Pinus sylvestris* L. as related to provenance transfer and spacing at high altitudes in Northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5:381-395
- Rehfeldt, G. E. 1987. Components of Adaptive Variation in *Pinus contorta* from the Inland Northwest., USDA Forest Service Intermountain Research Station Research Paper INT-375.11 s.
- Remröd, J. 1976. Val av tallprovenienser i Norra Sverige - analys av överlevnad, tillväxt och kvalitet i 1951 års tallproveniensförsök. Summary: Choosing Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances in Northern Sweden - analysis of survival, growth and quality in provenance experiments

- planted 1951. Skogshögskolan. Institutionen för skogsgenetik. Rapporter och uppsatser 19. 132 s.
- Ruotsalainen, S., Beuker, E. & Haapanen, M. 2016. Männyn siemenviljelysaineiston käyttöalueen määrittäminen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 39/2016. 36 s.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-270-6>
- 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.
- Sirén, G. 1958. Eräitä havaintoja keskisuomalaisen ja paikallisen mäntyrodun biologisista ja teknillisistä ominaisuuksista Perä-Pohjolassa. Silva Fennica 96. 30 + 2 s.
[\[https://helda.helsinki.fi/handle/1975/91221\]](https://helda.helsinki.fi/handle/1975/91221) (Luettu 25.10.2016)
- Tapio 2006. Hyvän metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy. 100 s.
- Uotila, A. 1985. Siemenen siirron vaikutuksesta männyn versosyöpäalttiuteen Etelä- ja Keski-Suomessa. Folia Forestalia 639. 12 s.
- Velling, P. 1987. Männyn ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu. Esimerkki nuoresta provenienssikoesarjasta. Abstract: Geographical variation of properties on Scots pine. An example of young series of provenance trials. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Kokkolassa 13.3.1987. Metsäteknologian teemapäivä. Kannuksen tutkimusasema ja metsäteknologian tutkimusosasto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 250:54-68.
- Velling, P. & Nepveu, G. 1986. Männyn puuaineen laadun ja tuotoksen vaihtelu suomalaisessa provenienssikoesarjassa. Summary: Variation of wood quality and yield in a Finnish series of provenance trials on Scots pine. Résumé: Variabilité de la qualité du bois et du rendement en matière sèche dans un test multistationnel de provenances de pin sylvestre d'origine finlandaise. Silva Fenn. 20(3): 211-231 [<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/15454>] (Luettu 25.10.2016)

8. Liitteet

Liite 1. Seppo Ruotsalaisen Power Point –esitys Tapiossa 31.8.2016 pidetyssä projektiryhmän kokouksessa.

Liite 2. Kartat jotka osoittavat 95 %:n, 97,5 %:n ja 99 %:n tuotoksen leveysasteiden 60 – 69 alkuperää oleville metsikköaineistoille.