

Alexi Kauhanen

SIEMENVILJELYSTEN GENEETTISEN HARVENTAMISEN VAIKUTUKSET

Opinnäytetyö

Luonnonvara-alan ammattikorkeakoulututkinto

Metsätalouden koulutus

2020



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Aleksi Kauhanen	Metsätalous (AMK)	Toukokuu 2020
Opinnäytetyön nimi		38 sivua
Siemenviljelysten geneettisen harventamisen vaikutukset		
Toimeksiantaja		
Luonnonvarakeskus		
Ohjaaja		
Kalle Karosto, Pertti Kilpeläinen Matti Haapanen, Seppo Ruotsalainen, Jukka Antola, Ari Kinnunen		
Tiivistelmä		
<p>Siemenviljelysten harventamisella varmistetaan vartteiden käpyjä tuottavan latvuksen hyvä elinvoimaisuus ja satoisuus. Tavoitteena on ylläpitää siemenviljelyksen siemensatoa ja siitepölytuotantoa sekä parantaa siemenviljelykseltä saatavan siemenen geneettistä laatua. Harvennuksissa poistetaan suhteellisesti runsaammin jalostettavilta ominaisuuksiltaan heikompien kloonien vartteita. Luonnonvarakeskus laatii harvennussuunnitelmat SvG-harvuri-sovelluksella.</p> <p>Työssä keskityttiin SvG-harvurilla toteutettujen siemenviljelyksien harvennusten vaikutuksiin. Tarkasteltavia ominaisuuksia työssä olivat siemenviljelyksillä esiintyvien vartteiden kukinta (hede ja emi) ja käpysato sekä siemenjälkeläisten pituus ja elävyys. Käytetty aineisto oli peräisin Luonnonvarakeskukselta. Aineiston perusteella tarkasteltiin muutoksia harvennuksen jälkeen. Analyysit tehtiin SPSS-tilasto-ohjelmalla.</p> <p>Harvennusten todettiin vaikuttaneen myönteisesti kaikkiin tarkasteltuihin ominaisuuksiin lukuun ottamatta vartteiden hedekukintaa. Männyn siemenviljelyksillä jalostusominaisuuksissa saavutettiin keskimäärin 5–6 menestystasoyksikön suuruinen parannus käpysadossa ja 4–6 menestystasoyksikön parannus pituudessa. Kuusen siemenviljelyksillä jalostusominaisuuksien menestystasoissa vastaavat parannukset olivat keskimäärin 5 ja 8 menestystasoyksikköä.</p>		
Asiasanat		
geneettinen harvennus, metsänjalostus, siemenviljelys, mänty <i>Pinus sylvestris</i> , kuusi <i>Picea abies</i>		

Author (authors)	Degree	Time
Aleksi Kauhanen	Bachelor of Natural Resources	May 2020
Thesis title		38 pages
Effects of genetic thinning in seed orchards		
Commissioned by		
Natural Resources Institute Finland, Luke		
Supervisor		
Kalle Karosto, Pertti Kilpeläinen Matti Haapanen, Seppo Ruotsalainen, Jukka Antola, Ari Kinnunen		
Abstract		
<p>Genetic thinnings promote the vitality and productivity of seed orchards. They also result in improved genetic quality of the seeds produced. When drafting the thinning plan, the removal of grafts is directed at the plus-tree clones of the poorest genetic value. The Natural Resources Institute Finland (Luke) prepares the thinning plans using the SvG-harvuri software application.</p>		
<p>This thesis focused on thinnings planned with the SvG-harvuri application. The features analysed comprised female and male flowering and cone crops of the grafts as well as genetic values in height and the survival of seed orchard clones. Data for this thesis were from the Natural Resources Institute Finland (Luke). The data contained information about the features before and after the thinning. This information focused on the observed changes in these features. The analyses were performed with the statistical software SPSS.</p>		
<p>The results suggested that genetic thinnings affected positively all the features excluding male flowering. The improvement in the average performance level of Scots pine seed orchard clones due to thinning was 5-6 units in cone crops, and 4-6 units in height. The respective improvement gained in Norway spruce seed orchards were 5 and 8.</p>		
Keywords		
genetic thinning, forest tree breeding, seed orchard, pine <i>Pinus sylvestris</i> , spruce <i>Picea abies</i>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	METSÄNJALOSTUS	5
3	SIEMENVILJELYSTEN HARVENTAMINEN	10
3.1	Siemenviljelysten harventamisen yleiset periaatteet.....	10
3.2	Geneettinen harventaminen	11
3.2.1	Geneettisen harventamisen perusteet	11
3.2.2	SvG harvuri -sovellus.....	13
3.3	Klooni- ja vartetietojen vertaileminen	13
3.4	Indeksilukujen muodostaminen.....	14
3.4.1	Klooni-, kunto- ja vertailuindeksin muodostaminen.....	14
3.4.2	Painotetun klooni-indeksin laskenta.....	15
4	AINEISTO JA MENETELMÄT	18
4.1	Aineisto.....	18
4.2	Tilastolliset menetelmät	21
5	TULOKSET.....	22
5.1	Männyn eteläiset siemenviljelykset.....	22
5.2	Männyn pohjoiset siemenviljelykset.....	26
5.3	Kuusen siemenviljelykset.....	30
6	TULOSTEN TARKASTELU	33
6.1	Opinnäytetyön luotettavuus	33
6.2	Tuloksien pohdintaa.....	34
6.3	Johtopäätökset	35
	LÄHTEET.....	37

1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkittiin männyn ja kuusen siemenviljelysten geneettisen harventamisen vaikutusta siemenviljelysten ominaisuuksiin. Tarkasteltavia ominaisuuksia olivat kukinta (hede ja emi), käpysato ja siementuotto. Näistä arvoista kerättiin tietoja ennen harventamista sekä harventamisen jälkeen.

Lisäksi tutkittiin siemenviljelyksiltä saatavien jälkeläisten ominaisuuksien muutoksia. Jälkeläisten osalta tarkasteltiin seuraavia tekijöitä: pituus, pituussumma, elävyys ja laatu. Jälkeläisten ominaisuuksia on hyvä tarkastella, koska geneettisen harventamisen tavoitteena on tuottaa entistä parempaa metsänuudistamismateriaalia. Geneettisen harventamisen vaikutus tulisi näkyä myös siemenviljelyksiltä saatavien jälkeläisten ominaisuuksien parantumisena.

Harvennuksen suunnitteluun käytetään SvG-harvuri -nimistä sovellusta. Opin näytetyön tavoitteena oli tarkastella tällä sovelluksella suunniteltujen harvennusten vaikutuksia männyn ja kuusen siemenviljelmissä.

2 METSÄNJALOSTUS

Suomessa metsänjalostuksen toteuttamisesta vastaa tänä päivänä Luonnonvarakeskus. Suomessa metsänjalostustoiminta alkoi 12.4.1947, kun perustettiin Metsäpuiden rodunjalostussäätiö. Säätiö teki alusta asti tiivistä yhteistyötä Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) kanssa. (Tasanen 2010, 272; Tyystjärvi 1998,11–14.)

Toiminta alkoi lähtöaineiston keräämisellä, eli ryhdyttiin kartoittamaan nopeakasvuisia ja hyvälaatuisia pluspuita. Pluspuita oli tarkoitus ensisijaisesti hyödyntää siemenviljelysten perustamiseen. Ensimmäiset kaksi vuosikymmentä Metsänjalostussäätiö vastasi pluspuiden valinnasta. 1960-luvun loppupuolella perusvalinta siirtyi vähitellen Metsäntutkimuslaitoksen vastuulle, kun Metla sai lisää henkilökuntaa metsänjalostuksen tutkimusosastolle. Viimeinen Metsänjalostussäätiön yhdessä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa toteuttama suurvalinta tapahtui vuonna 1969 Lapissa. Kaikkiaan Säätiö valitsi 22 vuoden aikana

8 000 puuta, joista 6 300 oli mäntyjä, 1 000 koivuja ja 700 kuusia. (Tyystjärvi 1998, 24–25.)

Pluspuiden lisäksi valittiin myös plusmetsiköitä, joiden puusto oli kauttaaltaan kasvullisesti sekä laadullisesti erittäin hyvää. Näistä oli tarkoitus kerätä mahdollisimman paljon perimältään hyvää siementä, kunnes siemenviljelykset alkaisivat tuottaa satoa. Metsänjalostussäätiö jatkoi plusmetsikkövalintaa vuoteen 1967, jolloin perusvalinta siirtyi Metsäntutkimuslaitokselle. Säätiön kartoittamien plusmetsiköiden kokonaispinta-ala oli 3 900 hehtaaria, ja niissä merkittiin 135 000 runkoa siemenkeräyspuiksi. Metsäntutkimuslaitos jatkoi siemenkeräysmetsiköiden valintaa ja merkkausta vuoden 1970 lopulle, jolloin rekisteröitynä oli 937 metsikköä, joista 684 männikköä, 199 kuusikkoa ja 54 muita lajeja. Siemenkeräysmetsiköiden kokonaispinta-ala oli vähän yli 7 000 hehtaaria. (Tyystjärvi 1998, 26–28.)

Vuoden 2000 alussa Suomen metsänjalostustoiminta keskitettiin Metsäntutkimuslaitokseen, ja siitä huolehtiminen määrättiin Metsäntutkimuslaitoksen lakisääteiseksi velvoitteeksi (Haapanen & Mikola 2008, 5). Metsäntutkimuslaitos jatkoi toimintaansa, kunnes se fuusioitui Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT), Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen (RKTL) sekä Maa- ja metsätalousministeriön tietopalveluskeskuksen (Tike) kanssa. Tästä syntyi Luonnonvarakeskus (Luke), joka on toiminut jalostustoiminnan jatkajana 1.1.2015 lähtien ja vastaa siitä viranomaistehtävänä (Luke 2020a.)

Metsänjalostuksen päätavoitteita ovat korkealaatuisen ja järeän tukkipuun tuotoksen lisääminen, metsänkasvatuksen kiertoajan nopeuttaminen sekä luontaisen viljelyvarmuuden parantaminen. Muihin metsänparannusmenetelmiin verrattuna metsänjalostuksen etuna on se, että saavutetut parannukset säilyvät pysyvästi ilman lisäpanostusta. Lisäksi jokaisessa sukupolvessa saavutetut jalostushyödyt kertyvät aikaisempien hyötyjen lisäksi. (Haapanen 2008, 174–177.)

Metsänjalostus perustuu valintaan, risteyttämiseen ja testaukseen. Näiden avulla rikastetaan haluttuihin ominaisuuksiin vaikuttavien perintötekijöiden esiintymistä. (Haapanen 2008, 174–177.) Valintajalostus aloitetaan valitse-

malla puuyksilöitä villeistä populaatioista eli luonnonvaraisista, paikallisiin olo-suhteisiin sopeutuneista metsiköistä. Valinta tehdään sillä perusteella, kuinka hyvin puut vastaavat fenotyypiltään eli ilmiänsultaan viljelypuun ihannetyyppiä. Fenotyypin perusteella valittuja puita kutsutaan pluspuiksi, ja ne muodostavat metsänjalostuksen lähtöaineiston (Häggman & Oksa 1999, 13.)

Pluspuiden valinta alkoi Suomessa 1940-luvun lopulla. Pluspuita ovat useimmiten luonnonmetsistä valitut parhaat yksilöt, joiden on katsottu olevan elinvoimaisia, laadultaan erinomaisia ja hyväkasvuisia tukkipuita. Metsäluonnossa huippuyksilöt ovat harvinaisia, eivätkä ne tästä syystä saa juuri koskaan mahdollisuutta risteytyä keskenään. Pluspuut vartetaankin keskitetysti siemenviljelyksiin, joissa niillä on mahdollista risteytyä keskenään. Näin saadaan tuotettua jalostettua siementä tietylle ennalta määritetylle käyttöalueelle. (Haapanen 2008, 174–177.) Risteytyksessä tavoitteena on, että vanhemmaispuiden geeniyhdistelmien hajotessa ja uusien syntyessä muodostuisi sellaisia jälkeläisiä, joiden perimään olisi rikastunut paljon haluttuja perintötekijöitä (Häggman & Oksa 1999, 13).

Jalostuksella saavutetut parannukset saadaan siirrettyä käytäntöön siemenviljelyksien tuottamien siemenien kautta (Haapanen & Kärkkäinen 2017). Tämän takia pluspuut on tärkeää varttaa siemenviljelyksiin tai kloonikokoelmiin, jotta niiden valinnasta olisi metsätaloudelle hyötyä. Mikäli varttaminen ei ole mahdollista, tulisi pluspuusta saada suoraan kerättyä vapaapölytyssiementä jälkeläistestaukseen. (Häggman & Oksa 1999, 15). Varttamisessa otetaan pluspuun latvasta oksa, joka siirretään kasvamaan tavallisessa saman puulajin taimessa. Siemenviljelysvartteen kukintoja ja käpyjä tuottava latvaosa on pluspuun täydellinen kopio eli kloon. Näin saadaan periytettyä pluspuun hyvät ominaisuudet sen jälkeläisiin. (Haapanen 2008, 174–177.) Varttaminen ei heikennä jalostetun siemenen monimuotoisuutta, koska siemen syntyy suvullisesti eri vartteiden tuulipölytyksen tuloksena. Tällöin siemenviljelyksiltä saatu siemen on todennäköisesti perimältään monimuotoisempaa kuin luonnosta kerätty siemen. Tuulipölytys kuitenkin mahdollistaa siemenviljelyksillä kasvavien vartteiden emikukintojen pölyttymisen ulkopuolisella siitepölyllä. Tällöin tuotetun siemenen potentiaalinen jalostushyöty laskee noin neljänneksellä. (Haapanen 2008, 174–177.)

Eri jalostusasteita edustavien siementen (luonnonsiemen, 1. sukupolven siemen ja 1,5-sukupolven siemen) välillä on todettu selviä eroja kasvunopeudessa ja laadussa. Jalostettu siemenviljelyssiemen tarjoaa todettuja etuja jalostamattomaan siemeneen verrattuna. Haapasen ym. (2016, 1002) mukaan männyn pituuskasvu parantui sukupolvesta riippuen 7,7–11,7 %, ja tilavuuskasvu 14,5–33,5 %. Lisäksi suhteellinen oksanpaksuus pieneni eli parani 6,4–8,4%.

Kuusella koeviljelykset ovat nuorempia kuin männyllä ja niistä on toistaiseksi vain vähän tuloksia. Alustavat arviot viittaisivat samankaltaisiin tuloksiin kuin männyllä. (Haapanen 2008, 174–177.) Pohjois-Suomen osalta on osoitettu, että kuusen siemenviljelysaineiston pituuskasvu on nuorissa kokeissa noin 10 % parempi kuin paikallisella metsikköaineistolla (Ruotsalainen & Nikkanen 2001).

Siemenviljelyssiemenen käyttöön liittyy myös siemenfysiologisia etuja. Siemenviljelysten edullisissa oloissa kehittynyt siemen on painavampaa ja tasaisemmin itävää kuin luonnonmetsikkösiemen. Näistä ominaisuuksista on erityisesti hyötyä taimitarhakäytössä. Ensimmäisen sukupolven siemenviljelyksiltä saatavan siemenen jalostusaste on hieman pienempi kuin valiosiemenviljelyksiltä saatavien siementen jalostusaste. Näihin valiosiemenviljelyksiin eli 1,5-polven siemenviljelyksiin on valikoitu jälkeläiskokeissa testattujen pluspuiden parhaimmisto (25–30 pluspuuta jokaista siemenviljelystä kohden). (Haapanen 2008, 174–177.)

Pluspuiden todellinen perinnöllinen arvo selvitetään kenttäkokeissa, joissa kasvupaikan vaihtelu on mahdollisimman vähäistä. Kenttäkokeiden kestoaika on noin 15 vuotta. Kaikki jalostusaineisto testataan useilla eri paikkakunnilla, jotta saadaan selvitettyä pluspuista ne yksilöt, joiden jälkeläiset selviävät keskimääräisesti parhaiten erilaisilla kasvupaikoilla ja ilmasto-olosuhteissa. Testauksella ja valinnalla voidaan myös kehittää metsänviljelysaineistojen kykyä mukautua vaihtelevien ympäristöolosuhteiden mukaan. Tästä on erityistä hyötyä mm. ilmaston muuttuessa. (Haapanen 2008, 174–177.) Metsänuudistamisessa metsänomistajan yksi tärkeimmistä päätöksistä on metsänuudistamis-

materiaalin valinta. Käytettäessä oikeilla kasvupaikoilla jalostetut taimet antavat paremmat mahdollisuudet suurempaan kasvuun ja paremman sietokyvyn muuttuvassa ilmastossa. (Davidson ym. 2018, 7.)

Testauksella heikoksi todetut pluspuut poistetaan jalostusaineistosta. Parhaaksi todetut pluspuut hyödynnetään metsänviljelysaineiston tuottamisessa (1,5-polven siemenviljelyssä) sekä jatkojalostuksessa. Jatkojalostuksessa parhaita pluspuita risteytetään keskenään uuden muuntelevan jälkeläisaineiston luomiseksi. Valinnan vaikutuksesta jalostusaineisto puhdistuu heikoista perintötekijöistä ja rikastuu suotuisista perintötekijöistä. (Haapanen 2008, 174–177.)

Kuusen tärkein jalostettava ominaisuus on kasvunopeus. Pohjois-Suomessa myös ilmastokestävyyteen on tärkeää kiinnittää huomiota, mutta se ei kuusen luontaisesti hyvän kestävyiden takia ole niin tärkeä ominaisuus kuin männyllä. Kuusen epäedulliset kukkimisominaisuudet hidastavat jalostustyötä mäntyyn verrattuna. Kuusen kukinta alkaa myöhäisellä iällä, luonnossa 20–30-vuotiaana, joten sukupolvien väli on varsin pitkä. Varsinkin emikukinta on lisäksi hyvin epäsäännöllistä. (Häggman & Oksa 1999, 19.)

Kuusen siementarve on metsäkylvöjen puuttumisen vuoksi selvästi pienempi kuin männyllä. Tämä on yksi syy siihen, että sillä ei ole ollut niin suurta tarvetta siemenviljelysten perustamiseen kuin männyllä. (Häggman & Oksa 1999, 19.) Tähän on myös lisäksi vaikuttanut se, että kuusi ei ollut 1960-luvulla niin merkitsevässä asemassa metsänjalostuksessa kuin mänty. Uudemman tiedon valossa voidaan kuitenkin huomata, että kuusen siementarve on taimitarhakylvöissä noussut. 2019 männyllä taimitarha kylvössä käytetyn 1.polven ja 1,5-polven osuus kokonaissiemenmäärästä (351 kg) oli 91 %. Kuusella vastaavasti kokonaissiemenmäärästä (1 131 kg) 63 %. (Luke 2020b.)

Männyn ja kuusen jalostetusta metsätaloussiemenestä suurin osa kerätään ensimmäisen polven siemenviljelyksiltä. Männyllä siementä saadaan sekä 1.polven että 1,5-polven viljelyksiltä. Kuusella jalostetut siemenet ovat peräisin 1.polven viljelyksiltä. (Luke 2020c.) Kuusen kohdalla on olemassa riski, että

kohdataan siemenpulaa, koska ensimmäisen polven siemenviljelykset ovat lähestymässä elinkaarensa loppupäätä. Epävarmuus kuusen kohdalla tulee helpottamaan, kun uudet viljavimmille maapohjille perustetut siemenviljelykset kasvavat täyteen tuotantokuntoon. (Haapanen ym. 2017, 4.) Kuusella helpotusta tuo myös lupaavalta vaikuttava kasvullinen lisäys, jossa voidaan monistaa kasvullisen alkioisäyksen avulla siemenalkioita taimiksi (Haapanen & Kärkkäinen 2017).

Määrätietoinen metsänjalostus vaatii puulajikohtaisen ohjelman hyvin pitkälle aikavälille. Ohjelmasta tulee käydä ilmi jalostettavat ominaisuudet tärkeysjärjestyksessä sekä yksityiskohtaiset, puulajin lisääntymisbiologiasta riippuvat keinot tavoitteiden saavuttamiseksi. (Häggman & Oksa 1999, 14.)

3 SIEMENVILJELYSTEN HARVENTAMINEN

3.1 Siemenviljelysten harventamisen yleiset periaatteet

Tämän luvun asiat ovat ensimmäistä kappaletta lukuun ottamatta peräisin Luonnonvarakeskuksen erityisasiantuntija Jukka Antolalta saaduista dokumenteista. Dokumenteissa on vuosijulkaisu, joka on osa Metsänjalostussäätiön 1986 vuosikertomusta sekä moniste, jossa on esitetty harventamisen yleiset periaatteet. Antolan asiantuntemusalueisiin kuuluvat metsäpuiden siemenviljelysten suunnittelu valtakunnallisen siemenviljelyohjelman mukaisesti ja vartetuotanto siemenviljelyksiin sekä siemenviljelysten geneettiset harvennukset. Lisäksi hän on osallistunut siemenhuolto- ja siemenviljelyohjelmien laadintaan ja niiden toteuttamisen seurantaan.

Siemenviljelyksen harventamisen tavoite on lisätä vartteiden kasvutilaa, säilyttää niiden latvukset elinvoimaisina sekä ylläpitää niiden siitepöly- ja siemen- tuotantoa. Lisäksi siemenviljelyksen geneettistä kokoonpanoa parannetaan poistamalla jälkeläiskoetulosten perusteella heikkoja klooneja. Huomioitavaa on, että harvennus vähentää välittömästi siemenviljelyksen siitepölytuotantoa sekä siemensatoa keskimäärin poistettavan vartemäärän osuudella. (Antola 1986, 17; Antola 1994, 2.)

Harvennus on suoritettava ennen kuin vartteiden alaoksat alkavat kuolla vie- reisten puiden varjostuksen vaikutuksesta. Vartteille luodaan kasvutilaa, jotta

niiden latvukset pysyvät elävinä mahdollisimman lähellä maanpintaa ja kasvu- paikan tuotoskyky siemenen muodostuksessa tulee samalla hyödynnettyä tehokkaasti. Viljelysten jalostusastetta pyritään parantamaan varsinaisen geneettisen harventamisen avulla. Geneettisiltä ominaisuuksiltaan huonoja kloonveja poistetaan kokonaan viljelyksestä tai niiden osuuksia vartemäärässä vähennetään.

Harvennussuunnitelman laadinnassa ensin kerätään kloonikohtainen tieto, joka toimii geneettisen harvennuksen perusteena. Tämä kloonikohtainen tieto saadaan siemenen käyttöalueella olevien jälkeläiskokeiden kasvatiedoista, laatumittauskelpoisilta siemenviljelyksiltä mitatuista laatutunnuksista sekä samoista siemenviljelyksistä mitatuista kloonij- ja vartekohtaisista hede- ja emikukintatiedoista. Seuraavaksi tarkistetaan harvennettavan siemenviljelyksen vartekartta ja siihen merkitään kuolleet, huonokuntoiset, ympäröiviä vartteita huomattavasti pienemmät täydennysvartteet, perusrungot sekä hyvin huonolaatuiset vartteet. Tässä vartteille annetaan myös huonontavat kertoimet (0–0,5) joilla kerrotaan vartteen kloonin indeksi.

Tämän jälkeen harvennus toteutetaan vartekartalla, jossa ensin poistetaan itsepölytystaajamat, alkuperältään tuntemattomat vartteet ja klooninumeroltaan virheelliseksi todetut vartteet sekä kaikki kloonit, jotka ovat viljelyksien käyttötarkoitukseen sopimattomia tai mahdollistavat käyttöalueen muutoksen tarkoituksenmukaisemmaksi. Osa näistä on yleensä jo poistettu rekisteröinnin yhteydessä. Yksittäisinä tai alle viitenä vartteena esiintyvät kloonit voidaan poistaa kokonaan, koska niiden geneettinen merkitys on häviävän pieni tai niillä saattaa olla virheellinen klooninumero. Poistaminen ei ole kuitenkaan välttämätöntä, jos ne ovat kasvu- tai laatumietojensa puolesta hyviä.

3.2 Geneettinen harventaminen

3.2.1 Geneettisen harventamisen perusteet

Geneettisen harventamisen toteuttamiseen tarvittava harvennussuunnitelma, eli yksityiskohtaiset harvennusohjeet, laaditaan Luonnonvarakeskuksessa kehitetyn tietokonesovelluksen avulla. Uusi SvG-harvuri -sovellus on ohjelmoitu Excel-taulukkolaskentaohjelman VisualBasic-sovellusympäristöön. SvG-harvuri korvasi ensimmäisen geneettisten harvennussuunnitelmien laadintaan

käytetyn tietokonesovelluksen, jonka kehittivät Metsäntutkimuslaitoksessa Teijo Nikkanen ja Timo Pukkala VAX/VMS-tietokoneelle. (Nikkanen & Pukkala 1987; Kinnunen & Karvinen 2010, 3.)

Geneettistä harvennusta suunniteltaessa aluksi on määriteltävä tavoitteet, joihin siemenviljelyksen harvennuksella pyritään. Tämän jälkeen SvG-harvuria käyttäen simuloidaan useita harvennustapoja tavoitteiden saavuttamiseksi. Näistä ohjelman simuloimista vaihtoehdoista valitaan sopivin, jossa tavoitteiden katsotaan täyttyvän parhaiten. (Kinnunen & Karvinen 2010, 6.)

Kun on valittu haluttu harvennusuvaltu, siitä tehdään siemenviljelyksen omistajalle harvennussuunnitelma, joka on tulostuskelpoinen Excel-työkirja. Siinä on harvennuksen yhteenvetotiedot, kloonitiedot ja vartekartta, jossa poistettavat vartteet erottuvat selvästi. Tämä vartekartta toimii samalla omistajalla maastokarttana siemenviljelyksellä poistettavia vartteita merkittäessä. Lisäksi Evira käyttää samaa vartekarttaa, kun se tarkistaa harvennuksen toteutuksen. (Kinnunen & Karvinen 2010, 6.)

Geneettisessä harvennuksessa viljelyksen vartteita vertaillaan toisiinsa. Yksittäisen vartteen poistumiseen vaikuttaa kasvutila ja vartteen edustaman kloonin jalostuksellinen arvo. Lisätekijöitä ovat vartteen fyysinen koko ja kunto. (Kinnunen & Karvinen 2010, 6.)

VAX-sovelluksella laadittiin ensimmäisten harvennuskertojen suunnitelmia vuoden 2001 loppuun saakka. Tämä tietokoneohjelma ei sopinut vanhojen siemenviljelysten toisen harvennuskerran suunnitteluun, koska siitä puuttui vartetiheyteen perustuva kasvutilan lisäysmenetelmä. Myöskään uudempien siemenviljelyksien harventamisessa se ei olisi aina toiminut, koska niissä vartetiheys eli tilajärjestys on erilainen kuin vanhoissa siemenviljelyksissä. Kaiken lisäksi VAX-tietokoneen huoltosopimus oli umpeutumassa. Näistä syistä ryhdyttiin kehittämään uutta harvennussovellusta siemenviljelysten geneettisten harvennussuunnitelmien laadintaan. (Kinnunen 2003, 1.)

3.2.2 SvG harvuri -sovellus

Uusi harvennussovellus päätettiin kehittää Excel-taulukkolaskentaohjelmaan (Microsoft Office Excel 97–2003) siinä olevan VisualBasic-ohjelmointikielen avulla vanhan VAX-sovelluksen periaatteiden pohjalta. Ohjelman lähdekoodin kirjoitti ATK-suunnittelija Kaarlo Karvinen Metsäntutkimuslaitokselta. Sovelluksen testaajana, korjaus-, muutos- ja kehittämisehdotusten esittäjänä sekä sovelluksen dokumentoijana toimi tutkimusinsinööri Ari Kinnunen. (Kinnunen & Karvinen 2010, 5.)

Uuden sovelluksen vaatimukset olivat, että se 1) toimii PC-tietokoneissa, 2) sillä voidaan tehdä geneettisiä harvennussuunnitelmia tilajärjestykseltään ja kooltaan erityyppisille viljelyksille sekä 3) sillä saavutetaan harvennuksen jälkeen haluttu viljelyksen vartetiheys. (Kinnunen & Karvinen 2010, 5.)

Käyttäjä säätää ja ohjaa sovelluksen toimintaa lukuisten parametrien avulla. Tämän ansiosta käyttäjä voi tehdä harvennussuunnitelmia rakenteeltaan ja kloonitiedoiltaan erilaisille viljelyksille. Toisaalta yhdelle ja samalle viljelykselle voidaan laatia monenlaisia harvennussuunnitelmia. (Kinnunen & Karvinen 2010, 6.)

Vaihtoehtoisten harvennustapojen eli simulointivaihtoehtojen ajaminen voidaan aloittaa SvG-harvurilla, kun on määritelty harvennuksen tavoitteet, selvitetty ja koottu tarvittavat tiedot sekä määritelty kloonitietojen painotukset. (Kinnunen & Karvinen 2010, 8.)

3.3 Kloonin- ja vartetietojen vertaileminen

Kloonien eri ominaisuuksien koekohtaiset mittaustulokset saadaan yhteismittaisiksi standardoimalla, eli muutetaan jokaisen ominaisuuden kloonikohtaiset mittaustulokset menestystasoluviiksi. Erilaisissa olosuhteissa kasvaneista koikeista mitatut ominaisuuksien lukuarvot saadaan näin keskenään vertailukelpoisiksi lukuarvoiksi. (Kinnunen 2003, 10.) Jos jollakin ominaisuudella on vain absoluuttiset arvot, sovellus laskee niille menestystasoluviut (Kinnunen & Karvinen 2010, 25).

Yhdestä kokeesta mitatun absoluuttisen arvon (X) menestystaso saadaan kaavasta (Kinnunen 2003, 10; Mikola 1982, 5.)

$$MT_x = \frac{25(X - ka)}{s} + 50$$

Kaavassa ka on ominaisuuden klooneittaisten absoluuttisten arvojen keskiarvo kyseenomaisessa kokeessa, ja s on niiden keskihajonta. Menestystason (MT) lukuarvo rajoitetaan välille 0–100, jolloin se on suoraviivainen. Jokaisen ominaisuuden menestystasolukujen keskiarvo on 50. Klooniin eri ominaisuuksien menestystasoluista voidaan muodostaa yksi, klooniin hyvyyttä kuvaava lukuarvo. Tässä luvussa on jokaisen mitatun ominaisuuden merkitys eli painoarvo, yhtä suuri. Jotta jonkin ominaisuuden merkitystä klooniin hyvyysarvossa voidaan korostaa tietyllä tavalla, on ominaisuuden arvoa pystyttävä painottamaan. Esimerkiksi hyvin kukkivien klooniin vartteiden jäämisen todennäköisyyttä voidaan painotuksen ansiosta nostaa ja vastaavasti huonosti kukkivien laskea. (Kinnunen 2003, 10.)

3.4 Indeksilukujen muodostaminen

3.4.1 Klooni-, kunto- ja vertailuindeksin muodostaminen

Harvennettavan viljelyksen vartteiden paremmuustietoa ei ole valmiina misään, vaan se on muodostettava yhdistämällä vartteen klooni-, kunto-, ja muut tiedot siten, että jokaiselle harvennettavan viljelyksen vartteelle saadaan yhteismitallinen lukuarvo, jota SvG-harvuri käyttää vartteiden vertailussa. Tästä lukuarvosta käytetään nimitystä vartteen *vertailuindeksi*. (Kinnunen & Karvonen 2010, 25.)

Vertailuindeksiin täytyy sisältyä tiedot sekä kyseisen vartteen että sen edustaman klooniin ominaisuuksista. Sen vuoksi kunkin klooniin eri ominaisuuksien mitatuista lukuarvoista (=kloonitiedot) muodostettu lukuarvo, klooni-indeksi (i_k), ja kunkin vartteen saama sen fyysistä kuntoa (=kuntotiedot) ilmaiseva lukuarvo, kuntoindeksi (i_f), yhdistetään yhdeksi lukuarvoksi, vertailuindeksiksi (i_v), kertomalla ne keskenään ($i_v = i_k \times i_f$). Tässä siis annetaan jokaiselle vartteelle sen edustaman klooniin indeksi-arvo (klooni-indeksi), ja tätä klooni-

indeksiä korjataan kertomalla se vartteen fyysisestä olemuksesta mahdollisesti tulevalla kuntoindeksillä. Näin jokaiselle viljelyksen vartteelle saadaan muodostettua vertailuindeksi. (Kinnunen 2003, 12.)

Sovellus käy läpi vartekartassa jokaisen vartteen ja tarkistaa, onko sillä kuntoindeksilukua. Samalla sovellus tulostaa vartteen kuntoindeksin ja vartteen klooni-indeksin tulon eli vertailuindeksin Kartta-lehdelle vartteen kloonitunnuksen alapuolelle. Mikäli vartteella ei ole kuntoindeksilukua, sovellus tulostaa kloonitunnuksen alapuolelle vertailuindeksiksi klooni-indeksin. (Kinnunen & Karvinen 2010, 31.)

Klooni saa ominaisuuden indeksin arvoksi 1, jos kloonille ei ole saatavilla menestystasoa jollekin ominaisuudelle. Tästä seuraa, että mikäli kloonilla ei ole menestystasotietoa mistään ominaisuudesta, kloonin klooni-indeksi tulon arvoksi tulee 1 (ellei kloonille ole annettu kloonin lisäkerroinarvoa). (Kinnunen & Karvinen 2010, 30.)

Suojeltavilla klooneilla tarkoitetaan klooneja, joiden vartteita ei ole jäljellä muualla kuin harvennettavassa siemenviljelyksessä. Näistä klooneista jätetään viljelykselle harvennuksen jälkeen vähintään viisi vartetta. Käyttäjä voi määrätä jätettävät vartteet tai syöttää jätettävien vartteiden määrän manuaalisesti. Viimeksi mainitussa tapauksessa sovellus etsii vastaavan määrän kyseisten kloonien parhaita vartteita ja antaa niille arvon 2, jolloin nämä vartteet ovat ehdottomasti paikoilleen jääviä harvennusajossa. (Kinnunen & Karvinen 2010, 32.)

3.4.2 Painotetun klooni-indeksin laskenta

Klooniominaisuuksien menestystasolukujen painotuslaskennassa määrätään painotuksen suunta sekä voimakkuus niin, että tuloksena saadaan indeksilukuja, jotka ovat positiivisia desimaalilukuja välillä 0–2. Painotukseltaan neutraali menestystasoluku saa arvon 1. (Kinnunen 2003, 11.)

Ennen indeksilaskentaa halutuille klooneille on mahdollista antaa ylimääräinen kerroin. Kertoimen avulla voidaan halutessa esimerkiksi poistaa jokin klooni

kokonaan siemenviljelyksestä, jolloin sille annetaan kertoimeksi 0. (Kinnunen & Karvinen 2010, 30.)

Klooniominaisuuksien painotuksessa muunnetaan harvennettavan viljelyksen haluttujen ominaisuuksien menestystasoluvut ($0 \leq MT \leq 100$) halutulla tavalla lineaarisesti painottaen ominaisuuskohtaisiksi indeksiluvuiksi välille $0 \leq IND \leq 2$, jossa 0 on pienin painotus, 1 painottamaton ja 2 on suurin painotus. Kloonin indeksin laskentakaavasta seuraa, että indeksiluvun ollessa nolla myös kloonin indeksin tulo arvoksi tulee nolla (Kinnunen & Karvinen 2010, 25–32.)

Sovelluksella voidaan muunnoslaskennassa käyttää kahta eri menetelmää (keskipisteen 50;1 kautta tai suoraan). Kloonien ominaisuuksien indeksit voidaan laskea siten, että menestystason eli MT:n arvolla 50 indeksi saa arvon 1. (Kinnunen & Karvinen 2010, 28.) (Kuva 1.)

Keskipisteen (50;1) kautta:

$0 \leq MT \leq MT_{ala}$: Indeksi = IND_{ala}

$MT_{ala} \leq MT \leq 50$: Indeksi = $1 - \frac{(50 - MT) \times (1 - IND_{ala})}{50 - MT_{ala}}$

$50 \leq MT \leq MT_{yla}$: Indeksi = $1 + \frac{(MT - 50) \times (IND_{yla} - 1)}{MT_{yla} - 50}$

$MT_{yla} \leq MT \leq 100$: Indeksi = IND_{yla}

Suoraan:

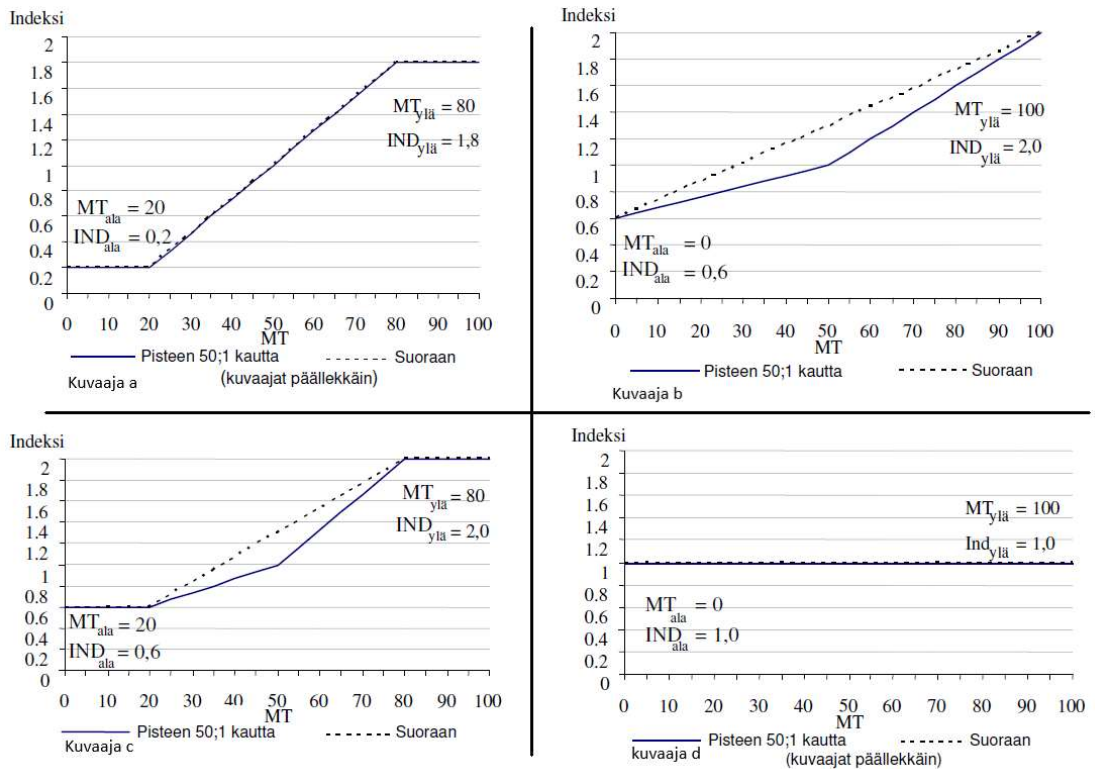
$0 \leq MT \leq MT_{ala}$: Indeksi = IND_{ala}

Indeksi = $IND_{ala} + \frac{(MT - MT_{ala}) \times (IND_{yla} - IND_{ala})}{MT_{yla} - MT_{ala}}$

$MT_{yla} \leq MT \leq 100$: Indeksi = IND_{yla}

Kuva 1. Laskentakaavat menestystasoluvun muuntamiseen indeksiluvun välillä $0 \leq MT \leq 100$ (Kinnunen & Karvinen 2010)

Tällöin indeksin suora kulkee pisteen MT;indeksi = (50;1) kautta. Toisella menetelmällä laskettaessa suora kulkee pisteiden $MT_{ala};IND_{ala}$ ja $MT_{yla};IND_{yla}$ välillä suoraan. (Kinnunen & Karvinen 2010, 28.) (Kuva 2.)



Kuva 2. Esimerkkejä indeksiluvun kuvaajasta kahdella laskentatavalla välillä $MT_{\text{ala}} - MT_{\text{ylä}}$: keskipisteen (50;1) kautta ja suoraan (Kinnunen & Karvinen 2010, 28)

Kuvassa 2 havainnollistetaan neljällä eri tavalla, kuinka suoran kulmakerroin muuttuu riippuen siitä, mitä laskentatapaa käytetään ja kuinka menestystason ja indeksin lukuarvot rajautuvat. Tarkasteltaessa kuvassa 2 esitettyjä kuvaajia a-d, voidaan tehdä seuraavanlaisia havaintoja. Kuvaajassa a MT on saanut ala-arvoksi 20 ja yläarvoksi 80. Indeksiluku on saanut ala-arvoksi 0,2 ja yläarvoksi 1,8. Laskentatavasta riippumatta kuvaajissa ei esiinny eroavaisuuksia, vaikka toisessa laskentamallissa suoran painottaisi kulkemaan pisteen 50;1 kautta. Tämä johtuu siitä, että suora kulkee pisteen $MT=50$; $IND=1$ kautta kummallakin laskentamallilla, jolloin kuvaajaan muodostuu kaksi suoraa pisteiden $MT=20$; $IND=0,2$ ja $MT=80$; $IND=1,8$ välille. Näin ollen kuvaajat ovat samanlaiset keskenään.

Kuvaajat b ja c havainnollistavat näiden kahden laskentavan vaikutuksia suorien kulmakertoimiin. Esimerkiksi kuvaajassa c menestystason ala-arvo on 0 ja yläarvo 100, indeksiluku on saanut ala-arvon 0,6 ja ylä-arvon 2. Mikäli laskennassa suora painotetaan kulkemaan pisteen $MT=50$; $IND=1$ kautta kuvaajasta nähdään, kuinka jana kulkee pisteeseen $MT=50$; $IND=1$ paljon pienem-

mällä kulmakertoimella ja sen jälkeen kulmakerroin muuttuu jyrkemmäksi. Ilman painotusta saadaan suora pisteestä $MT_{ala}=20$; $IND_{ala}=0,6$ pisteen $MT_{ylä}=80$; $IND_{ylä}=2$ välille. Tällöin suora saavuttaa pisteen $IND=1$ menestystason arvolla 30, kun taas menestystason arvolla 50 indeksin arvoksi tulee 1,3.

Tämä voidaan myös tarkastaa hyödyntämällä kuvassa 1 esitettyä kaavaa. Koska kyseessä on suora, käytetään kuvassa oikealla puolella olevaa kaavaa, johon sijoitetaan menestystason arvot ja indeksin arvot seuraavasti.

$$IND = IND_{ala} + \frac{(MT + MT_{ala}) \times (IND_{ylä} - IND_{ala})}{MT_{ylä} - MT_{ala}}$$

$$IND = 0,6 + \frac{(50 + 0) \times (2 - 0,6)}{100 - 0}$$

$$IND = 1,3$$

Huomataan, että menestystason arvolla 50 indeksi saa arvon 1,3. Viimeisessä kuvaajassa tulee huomioida, että indeksin ylä- ja ala-arvot ovat sama. Tämän takia suoran kulmakerroin on 0 eli suora on x-akselin suuntainen.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

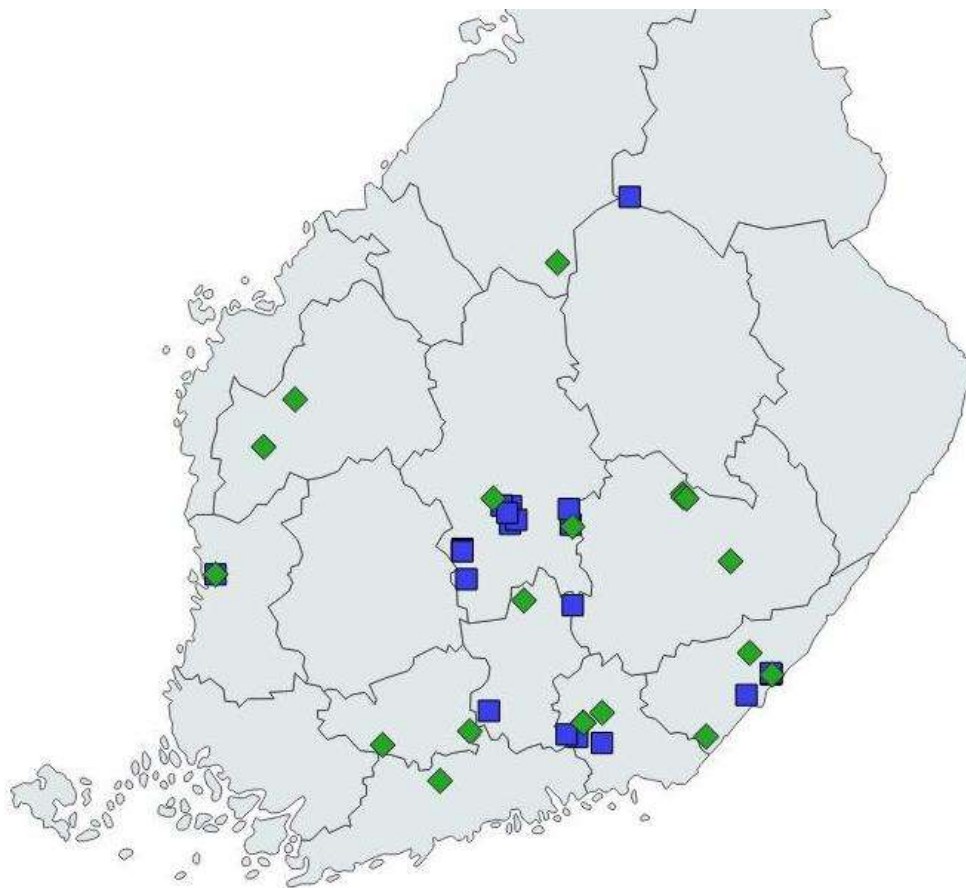
4.1 Aineisto

Aineistona käytettiin männyn ja kuusen siemenviljelysten harvennustietoja. Aineisto oli valmiiksi koottu Excel-tiedostoksi Luonnonvarakeskuksen toimesta. Luonnonvarakeskukselta saadun Excel-tiedoston pohjalta poimittiin tarkasteluun SvG-harvurilla toteutetut siemenviljelmien harvennukset. Lopputuloksena tiedostossa oli kaikkiaan mukana 60 eri siemenviljelystä, joista 42 on männyn ja 18 kuusen siemenviljelyksiä. Männyn siemenviljelyksistä Sv284 ja Sv124 oli jaettu kahteen osaan johtuen siitä, että ne on harvennettu kahdella eri kerralla, ja näistä eri harvennuskerroista on saatavilla omat ennen ja jälkeen tietonsa.

Aineistossa oli siemenviljelyksiltä ja jälkeläiskokeista kerättyjen jalostusominaisuuksien menestystasolukuja ennen harvennusta ja harvennuksen jälkeen.

Tiedot olivat laskennallisia kloonikeskiarvoja, jotka perustuivat klooni/vartejakaumaan välittömästi ennen harvennusta ja harvennuksen jälkeen. Siemenviljelyksiltä mitattuja jalostusominaisuuksia, joita työssä tarkasteltiin, olivat siemenviljelyksen sato- ja hedekukinta. Alkuperäisessä aineistossa oli erikseen mitattu emikukinta sekä käpysato. Näistä yhdistettiin siemenviljelyksen satoisuutta kuvaava muuttuja. Yhdistämisessä käytettiin ensisijaisesti käpysato tietoa ja tarvittaessa täydennettiin emikukinta tiedolla. Näiden lisäksi tarkasteltiin jälkeläiskokeista mitattuja ominaisuuksia, joita olivat pituus, pituussumma, elävyys ja laatu. Näistä ominaisuuksista ei ollut mitattua tietoa kaikilta siemenviljelyksiltä.

Männyn siemenviljelyksiä tarkasteltiin jaoteltuna eteläisiin ja pohjoisiin siemenviljelyksiin. Tämä jako perustui siemenviljelyksien pluspuiden alkuperään ja niiden sijaintiin. Pluspuut olivat peräisin joko pohjoisesta tai eteläisestä Suomesta. Tästä johtuen siemenviljelyksien sijainti ei kerro suoraan sitä, onko kyseessä pohjoinen vai eteläinen siemenviljelys (kuva 3). Pohjoisilta siemenviljelyksiltä oli käytettävissä elävyystiето, jonka avulla on valikoitu vartteita, joilla on parempi mahdollisuus selviytyä pohjoisemmissa, karuissa oloissa. Vastavuoroisesti eteläisimmillä alueilla oli painotettu pituuskasvua, mikä voi parantaa taimien kilpailukykyä heinää ja lehtipuustoa vastaan.



Kuva 3. Kuvasta nähdään, että männyn siemenviljelyksien sijainnin perusteella ei voida suoraan päätellä sitä, onko kyseessä pohjoinen vai eteläinen siemenviljelys. Siemenviljelyksen jakoon pohjoisen ja eteläisen välillä vaikuttaa pluspuiden alkuperäinen sijainti. ◆ = Männyn eteläiset siemenviljelykset, ■ = Männyn pohjoiset siemenviljelykset

Huomioitavaa on myös se, että siemenviljelykset itsessään sijaitsevat joissakin tapauksissa ristiriitaisesti eri lämpösomma-alueilla, kuin niiden tuottaman siemenen lämpösomma-alueen perusteella voisi olettaa. Syynä tähän on se, että 1.polven siemenviljelyksiä perustettaessa haluttiin varmistaa siemenen tuulentuminen sijoittamalla pohjoista alkuperää olevat siemenviljelykset etelämpään (Sarvas 1970). Lisäksi maata oli niukasti tarjolla siemenviljelyskäyttöön, joten siemenviljelyksiä perustettiin alueille, minne se sillä hetkellä oli mahdollista. Nykyään pyritään siihen, että 1,5-polven siemenviljelykset perustetaan käyttöalueelleen.

Lähtöaineistossa oli mukana kaikkiaan 88 siemenviljelyksen harvennusta. Näistä harvennuksista osa oli suunniteltu VAX-ohjelmalla, joten ne rajattiin pois tarkasteltavasta aineistosta, koska työssä haluttiin tarkastella SvG-harvurilla toteutettuja harvennuksia. Tarkasteltavien siemenviljelysten lukumäärä

laski 63:een siemenviljelykseen. Lisäksi rajattiin pois ne siemenviljelykset, joista ei ollut tarpeeksi kattavasti tietoja saatavilla. Lopulliseksi siemenviljelyksien lukumääräksi muodostui 60.

Männyn eteläisiä siemenviljelyksiä aineistossa oli kaikkiaan 18. Tarkasteltavia harvennuskertoja oli lopulta kaikkiaan 19, koska siemenviljelys Sv124 oli harvennettu kahtena eri ajankohtana. Männyn eteläisiltä siemenviljelyksiltä tarkasteltiin siemenviljelmänsatoa ja hedekukintaa sekä jälkeläisten pituuskasvua ja laatua. Männyn pohjoisia siemenviljelyksiä aineistossa oli 23. Männyn pohjoisilla siemenviljelyksillä tarkasteltiin kaikkia mitattuja jalostusominaisuuksia.

Kuusella aineistosta tarkasteltiin vartetiedoista siemensatoa ja jälkeläistiedoista pituutta. Aineistossa oli kahdelta kuusen siemenviljelykseltä lisäksi elävyystieto, mutta sen suppeuden takia elävyyden tarkastelu oli rajattu kuusen kohdalta pois. Kuusella aineisto oli kaikista suppein siemenviljelysten lukumäärän ja tarkasteltavien jalostusominaisuuksien perusteella. Aineistossa tarkasteltavien ominaisuuksien otanta oli kuitenkin männyn aineistoon verrattuna kattavampi, koska kuusella löytyy siemensatotieto ja pituustieto kaikilta harvennuksilta.

4.2 Tilastolliset menetelmät

Työssä käytetty aineisto analysoitiin tilasto-ohjelma SPSS:llä. Ohjelmalla tarkistettiin aineiston normaalijakautuneisuutta sekä tutkittiin pareittaisella t-testillä menestystasolukujen keskiarvojen muutoksia sekä niiden tilastollista merkitsevyyttä. Normaalijakautuneisuutta tutkittiin Shapiro-Wilk:n testillä, koska kyseessä oli otannaltaan pieni aineisto ($n < 50$).

Normaalijakauma tarkoittaa sitä, että muuttujan arvot keskittyvät keskiarvon lähelle ja niistä muodostettu kuvaaja on symmetrinen. Symmetrisyys kuvaa sitä, että poikkeamia keskiarvosta on molemmin puolin suurin piirtein saman verran. Työssä normaalijakautuneisuutta tarkasteltiin, koska haluttiin varmistua testaustulosten luotettavuudesta. Pareittainen t-testi soveltuu käytettäväksi, kun otoskoko on vähintään 30 tai pienemmillä otoksilla ($n < 30$) aineiston tulisi noudattaa likimain normaali jakautuneisuutta. Työssä huomattiin, että

osa aineiston muuttujista ei noudata normaalijakautuneisuutta, joten nämä muuttujat haluttiin tarkastella lisäksi vielä erikseen niille paremmin sopivalla Wilcoxonin testillä.

Pareittaista t-testiä käytetään, kun halutaan tarkastella kahden riippuvan otoksen erojen merkitsevyyttä. Pareittainen t-testi (kahden riippuvan otoksen t-testi), antaa tulokseksi p-arvon, joka kertoo todennäköisyyden sille, että erojen keskiarvon poikkeama nolasta voidaan selittää otantavirheellä. Mitä suurempi p:n arvo saadaan, sitä todennäköisemmin poikkeama nolasta johtuu otantavirheestä. Vastavuoroisesti mitä pienempi p:n arvo saadaan, sitä enemmän erojen keskiarvon poikkeamaa voidaan pitää merkitsevänä. Tyypillisesti p:n arvon merkitsevyyden rajana pidetään 5 % ($p < 0,05$).

Wilcoxonin testi (merkittyjen sijalukujen testi) ei edellytä aineistolta normaali jakautuneisuutta ja se soveltuu käytettäväksi pienien ($n < 30$) otantojen testaamiseen. Testin tuloksena saadaan p:n arvo, joka kertoo todennäköisyyden, jolla nolahypoteesi hylätään. Testin tulosteesta käy ilmi myös tämä testattu nolahypoteesi. Mikäli tuloksena saadaan p:n arvo, joka on pienempi kuin 0,05 voidaan nolahypoteesi kumota.

5 TULOKSET

5.1 Männyn eteläiset siemenviljelykset

Aineisto oli Shapiro-Wilkin testin (taulukko 1) mukaan eri muuttujilla normaali-jakautunutta ($p > 0,05$) lukuun ottamatta jälkeläisten pituuksia (ennen $p=0,015$, jälkeen $p=0,030$).

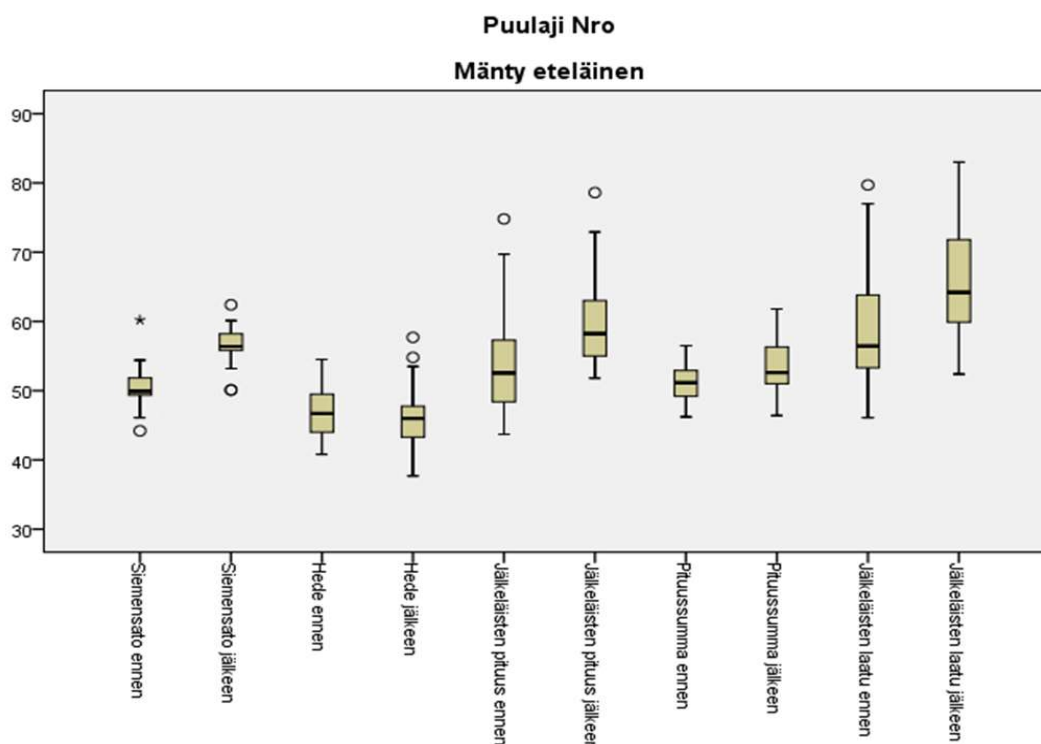
Taulukko 1. Männyn eteläistä alkuperää olevien siemenviljelysten, jalostusominaisuuksien normaaliuden testitulokset sekä millä testillä ominaisuuksien keskiarvojen erojen merkitsevyyttä on testattu.

Tests of Normality								
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk			Pareittainen T-testi	Wilcoxonin testi
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.		
Siemensato ennen	0,161	19	,200*	0,916	19	0,094	×	
Siemensato jälkeen	0,195	19	0,056	0,936	19	0,223	×	
Hede ennen	0,137	19	,200*	0,954	19	0,453	×	
Hede jälkeen	0,180	19	0,107	0,948	19	0,363	×	
Jälkeläisten pituus ennen	0,184	18	0,107	0,865	18	0,015		×
Jälkeläisten pituus jälkeen	0,213	18	0,031	0,884	18	0,030		×
Pituussumma ennen	0,108	10	,200*	0,982	10	0,973	×	
Pituussumma jälkeen	0,150	10	,200*	0,971	10	0,897	×	
Jälkeläisten laatu ennen	0,214	16	0,048	0,889	16	0,054	×	
Jälkeläisten laatu jälkeen	0,204	16	0,073	0,923	16	0,189	×	
*. This is a lower bound of the true significance.								
a. Lilliefors Significance Correction								

Taulukon 2 ja kuvassa 4 esitetyn laatikko-janakuvion perusteella nähdään, että männyn eteläistä alkuperää olevilla siemenviljelyksillä menestystasolukujen keskiarvo on kasvanut, eli parantunut harvennuksen jälkeen. Siemensadolla muutosta on tullut 6,04 yksikköä, pituudessa 5,51 yksikköä, pituussummassa 2,15 yksikköä ja laadussa 6,73 yksikköä. Hede on ainoa ominaisuus, jonka kohdalla parannusta ei tullut. Heteen keskiarvo on laskenut harvennuksen myötä 0,79 yksikköä.

Taulukko 2. Männyn eteläistä alkuperää olevien siemenviljelysten menestystasojen keskiluvut sekä pareittaisen t-testin tulokset.

Mänty eteläinen										
	Vartetiedot				Jälkeläistiedot					
	SvSato		Hede		Pituus		Pituussumma		Laatu	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
N	19	19	19	19	18	18	10	10	16	16
N, missing	0	0	0	0	1	1	9	9	3	3
Keskiarvo	50,41	56,45	47,28	46,49	54,70	60,21	51,36	53,51	59,21	65,94
Mediaani	49,90	56,40	46,70	46,00	52,55	58,25	51,15	52,60	56,45	64,20
Keskihajonta	3,39	3,12	4,08	4,93	8,65	7,42	3,07	4,45	9,91	9,19
Minimi	44,20	50,10	40,80	37,70	43,70	51,80	46,20	46,40	46,10	52,40
Maksimi	60,20	62,40	54,50	57,70	74,80	78,60	56,50	61,80	79,70	83,00
Pareittainen t-testi										
Keskiarvo	-6,04		0,79		-5,51		-2,15		-6,73	
Keskihajonta	3,15		2,01		3,01		1,92		4,17	
Keskivirhe	0,72		0,46		0,71		0,61		1,04	
95% luot.-ala	-7,56		-0,18		-7,00		-3,52		-8,95	
95% luot.-ylä	-4,52		1,76		-4,01		-0,78		-4,51	
t	-8,36		1,71		-7,75		-3,54		-6,46	
df	18		18		17		9		15	
p (2-suuntainen)	0,019		0,105		(0,000)		0,006		0,000	



Kuva 4. Laatikko-janakuviio männyn eteläistä alkuperää olevien siemenviljelysten menestystasojen muutoksista, n = 19. Laatikko-janakuviiossa laatikon alareuna vastaa alaneljänneistä ja yläreuna yläneljänneistä. Laatikon sisällä oleva viiva vastaa mediaania. Janojen päät vastaavat pienintä ja suurinta arvoa. Aineistossa esiintyvät poikkeavat arvot esitetään ulkopuolisinä pisteinä ja tähtinä.

Siemensato jälkeen arvo 56,45 (keskihajonta=3,12, n=19) on suurempi kuin siemensato ennen 50,41 (keskihajonta = 3,39, n=19). Tämä ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä merkitseväksi $t(18) = -8,36$, $p = 0,019$ 2-suuntainen. Hede ennen keskiarvo 47,28 (keskihajonta = 4,08, n = 19) on suurempi kuin hede ennen keskiarvo 46,39 (keskihajonta = 4,93, n = 19). Tämä ero osoittautui t-testillä ei merkitseväksi $t(18) = 1,71$, $p = 0,105$ 2-suuntainen.

Jälkeläisten pituuden keskiarvo ennen harvennusta 54,70 (keskihajonta = 8,65, n=18) on pienempi kuin pituuden keskiarvo jälkeen 60,21 (keskihajonta = 7,42 n=18). Tämä ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä erittäin merkitseväksi $t(17) = -7,749$, $p=0,000$ 2-suuntainen. Koska pituustiedot eivät noudata normaalijakaumaa tämä testattiin myös lisäksi Wilcoxonin testillä, joka soveltuu paremmin aineistoille, jotka eivät noudata normaalijakaumaa (kuva 5).

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The median of differences between Jälkeläisten pituus ennen and Jälkeläisten pituus jälkeen equals 0.	Related-Samples Wilcoxon Signed Rank Test	,000	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is ,05.

Kuva 5. Männyn eteläistä alkuperää olevien siemenviljelysten jälkeläisten pituuden menestystasoluvun keskiarvojen eron merkitsevyyden testaamistulos Wilcoxonin testillä esitettynä.

Wilcoxonin testin perusteella ero on tilastollisesti erittäin merkitsevä, koska $p=0,000 < 0,005$. Pituussumman ennen keskiarvo 51,36 (keskihajonta = 3,07, n= 10) on pienempi kuin pituussumma jälkeen keskiarvo 53,51 (keskihajonta = 4,45, n=10). Ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä merkitseväksi $t(9) = -3,541$ $p=0,006$ 2-suuntainen. Laatu ennen keskiarvo 59,21 (keskihajonta = 9,91, n=16) on pienempi kuin keskiarvo jälkeen 65,94 (keskihajonta = 9,19, n=16). Ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä merkitseväksi $t(15) = -6,460$ $p=0,000$ 2-suuntainen.

5.2 Männyn pohjoiset siemenviljelykset

Pohjoisten mäntyjen aineisto noudattaa normaalijakaumaa kaikkien muiden ominaisuuksien paitsi siemensadon ennen tiedon ja hedekukinnan osalta. Taulukosta 3 on havaittavissa, että siemensadon ennen ($p = 0,003 < 0,05$) ja hedekukinnan ($p = 0,024$, $p = 0,006$) p-arvot ovat Shapiro-Wilkin testillä alle 0,05. Tästä johtuen aineistoa ei voida siemensadon ennen tiedon ja hedekukinnan osalta pitää normaalisti jakautuneena.

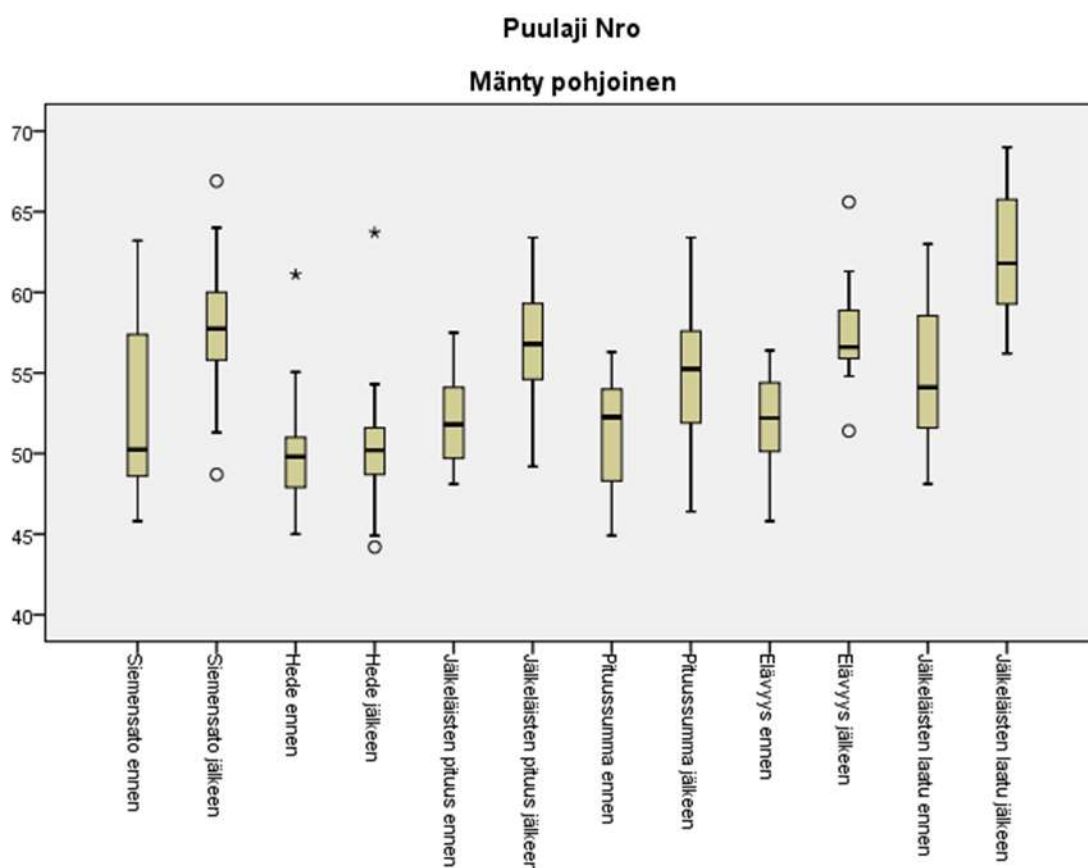
Taulukko 3. Männyn pohjoista alkuperää olevien siemenviljelysten, jalostusominaisuuksien normaaliuden testitulokset sekä millä testillä ominaisuuksien keskiarvojen erojen merkitsevyyttä on testattu.

Tests of Normality								
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk			Parittainen T-Testi	Wilcoxonin testi
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.		
Siemensato ennen	0,267	22	0,000	0,848	22	0,003		×
Siemensato jälkeen	0,112	22	,200*	0,980	22	0,912	×	
Hede ennen	0,183	21	0,066	0,891	21	0,024		×
Hede jälkeen	0,205	21	0,022	0,859	21	0,006		×
Jälkeläisten pituus ennen	0,118	22	,200*	0,946	22	0,264	×	
Jälkeläisten pituus jälkeen	0,093	22	,200*	0,981	22	0,938	×	
Pituussumma ennen	0,142	18	,200*	0,925	18	0,156	×	
Pituussumma jälkeen	0,149	18	,200*	0,962	18	0,641	×	
Jälkeläisten elävyys ennen	0,131	13	,200*	0,965	13	0,827	×	
Jälkeläisten elävyys jälkeen	0,168	13	,200*	0,951	13	0,616	×	
Jälkeläisten laatu ennen	0,146	15	,200*	0,956	15	0,628	×	
Jälkeläisten laatu jälkeen	0,168	15	,200*	0,944	15	0,436	×	
*. This is a lower bound of the true significance.								
a. Lilliefors Significance Correction								

Pohjoisilla männyillä aineistossa on havaittavissa muutoksia menestystasolukujen keskiarvoissa. Suurimmalla osalla tarkasteltavista ominaisuuksista keskiarvo vaikuttaisi kasvaneen eli parantuneen. Tämä näkyy taulukossa 4 sekä kuvassa 6 esitetystä laatikko-janakuviosta. Hedekukinta on ainoa ominaisuus, jonka keskiarvossa ei ole tapahtunut selkeää muutosta.

Taulukko 4. Männyn pohjoista alkuperää olevien siemenviljelysten menestystasojen keskiluvut sekä pareittaisen t-testin tulokset

Mänty pohjoinen												
	Vartetiedot				Jälkeläistiedot							
	SvSato		Hede		Pituus		Pituussumma		Elävyys		Laatu	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
N	22	22	21	21	22	22	18	18	13	13	15	15
N, missing	1	1	2	2	1	1	5	5	10	10	8	8
Keskiarvo	52,82	57,86	50,29	50,43	52,32	56,48	51,43	54,81	51,75	57,77	54,82	62,33
Mediaani	50,25	57,74	49,80	50,20	51,80	56,80	52,25	55,25	52,20	56,60	54,10	61,80
Keskihajonta	5,48	4,13	3,57	4,01	2,76	3,49	3,59	4,10	2,86	3,53	4,46	4,21
Minimi	45,80	48,70	45,00	44,20	48,10	49,20	44,90	46,40	45,80	51,40	48,10	56,20
Maksimi	63,20	66,90	61,10	63,70	57,50	63,40	56,30	63,40	56,40	65,60	63,00	69,00
Pareittainen t-testi												
Keskiarvo	-5,036		-0,145		-4,169		-3,378		-6,018		-7,507	
Keskihajonta	3,926		1,848		2,672		2,753		2,922		2,576	
Keskivirhe	0,837		0,403		0,570		0,649		0,810		0,665	
95% luot.-ala	-6,777		-0,986		-5,353		-4,747		-7,783		-8,934	
95% luot.-ylä	-3,296		0,696		-2,984		-2,009		-4,252		-6,081	
t	-6,017		-0,359		-7,317		-5,206		-7,425		-11,288	
df	21		20		21		17		12		14	
p (2-suuntainen)	(0,000)		(0,723)		0,000		0,000		0,000		0,000	



Kuva 6. Laatikko-janakuviot männyn eteläistä alkuperää olevien siemenviljelysten menestystasolukujen muutoksista, $n = 22$. Laatikko-janakuviossa laatikon alareuna vastaa alaneljänneistä ja yläreuna yläneljänneistä. Laatikon sisällä oleva viiva vastaa mediaania. Janojen päät vastaavat pienintä ja suurinta arvoa. Aineistossa esiintyvät poikkeavat arvot esitetään ulkopuolisinä pisteinä ja tähtinä.

Siemensadon keskiarvo ennen harvennusta 52,82 (keskihajonta = 5,48, $n=22$) on pienempi kuin keskiarvo harvennuksen jälkeen 57,86 (keskihajonta = 4,13, $n=22$). Ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä erittäin merkitseväksi $t(21) = -6,017$ $p = 0,000$ 2-suuntainen. Siemensadon ennen tieto ei noudattanut normaalijakaumaa, joten keskiarvojen eron merkitsevyys testattiin t-testin lisäksi myös Wilcoxonin testillä (kuva 7). Wilcoxonin testin perusteella siemensadon keskiarvojen erojen merkitsevyys on tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p = 0,000$).

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The median of differences between Siemensato ennen and Siemensato jälkeen equals 0.	Related-Samples Wilcoxon Signed Rank Test	,000	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is ,05.

Kuva 7. Männyn pohjoista alkuperää olevien siemenviljelysten siemensatotiedon keskiarvojen erojen testaamistulos Wilcoxonin testillä.

Hede ennen keskiarvo 50,29 (keskihajonta = 3,57, n = 21) on pienempi kuin keskiarvo jälkeen 50,43 (keskihajonta = 4,01, n = 21). Ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä ei merkitseväksi $t(20) = -0,359$ $p = 0,723$ 2-suuntainen. Heteen tiedot eivät noudata normaalijakaumaa, joten ne testattiin lisäksi Wilcoxonin testillä (kuva 8). Wilcoxonin testin perusteella on havaittavissa, että hedekukinnan keskiarvojen eroissa ei voitu todeta tilastollista vaikutusta siemenviljelyksien hedekukintaan koska $\text{sig.} > 0,05$.

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The median of differences between Hede ennen and Hede jälkeen equals 0.	Related-Samples Wilcoxon Signed Rank Test	142,000	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is ,05.

Kuva 8. Männyn pohjoista alkuperää olevien siemenviljelysten heteiden menestystasojen erot keskiarvojen välillä testattuna Wilcoxonin testillä.

Jälkeläisten pituuden keskiarvo ennen harvennusta 52,32 (keskihajonta = 2,76, n = 22) on pienempi kuin keskiarvo harvennuksen jälkeen 56,48 (keskihajonta = 3,49, n = 22). Ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä merkitseväksi $t(21) = -7,317$ $p = 0,000$ 2-suuntainen. Pituussumman keskiarvo ennen harvennusta 51,43 (keskihajonta = 3,59, n=18) on pienempi kuin keskiarvo

harvennuksen jälkeen 54,81 (keskihajonta = 4,10, n=18). Ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä erittäin merkitseväksi $t(17) = -5,206$ $p=0,000$ 2-suuntainen.

Elävyyden keskiarvo ennen harvennusta 51,75 (keskihajonta=2,86, n=13) on pienempi kuin keskiarvo harvennuksen jälkeen 57,77 (keskihajonta=3,53, n=13). Ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä erittäin merkitseväksi $t(12) = -7,425$ $p=0,000$ 2-suuntainen. Jälkeläisten laadun keskiarvo 54,82 (keskihajonta = 4,46, n=15) on pienempi kuin keskiarvo harvennuksen jälkeen 62,33 (keskihajonta = 4,21, n=15). Ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä erittäin merkitseväksi $t(14) = -11,288$ $p=0,000$ 2-suuntainen.

5.3 Kuusen siemenviljelykset

Kuusen aineisto on normaalijakautunutta lukuun ottamatta pituus ennen tietoa. Taulukosta 5 nähdään että kuusen aineistossa siemensadon tiedot noudattavat normaalijakaumaa.

Taulukko 5. Kuusen siemenviljelysten normaalijakautuneisuuden testaustulos.

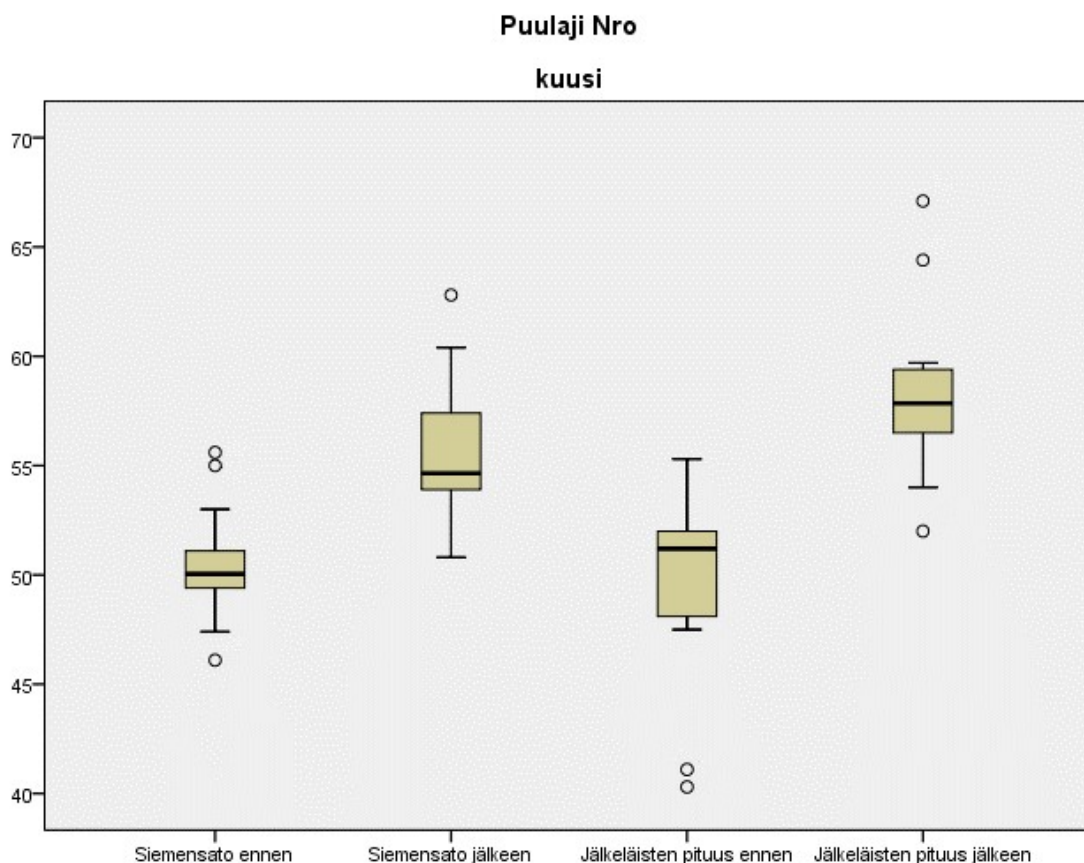
Tests of Normality								
	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk			Parittainen T-testi	Wilcoxonin testi
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.		
Siemensato ennen	0,180	18	0,125	0,930	18	0,195	×	
Siemensato jälkeen	0,167	18	,200*	0,941	18	0,299	×	
Jälkeläisten pituus ennen	0,165	18	,200*	0,886	18	0,033		×
Jälkeläisten pituus jälkeen	0,211	18	0,034	0,900	18	0,057	×	×
*. This is a lower bound of the true significance.								
a. Lilliefors Significance Correction								

Jälkeläisten pituustiedoista voidaan todeta, ettei pituuden ennen-tieto noudata normaalijakaumaa ($p = 0,033 < 0,05$). Shapiro-Wilkin testin mukaan pituuden jälkeen-tiedon normaalijakautuneisuus on tilastollisesti melkein merkitsevää ($p = 0,057 > 0,05$).

Kuusen menestystasolukuja tarkasteltaessa käy ilmi, että aineiston keskiarvoissa on havaittavissa muutosta. Keskiarvot vaikuttaisivat tulosten valossa kasvaneen (taulukko 6, kuva 9).

Taulukko 6. Kuusen siemenviljelysten menestystasojen keskiluvut ja pareittaisen t-testin tulokset.

Kuusi						
	Vartetiedot		Jälkeläistiedot			
	SvSato		Pituus		Elävyys	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
N	18	18	18	18	2	2
N, missing	0	0	0	0	16	16
Keskiarvo	50,37	55,60	49,96	58,12	37,40	42,80
Mediaani	50,05	54,65	51,20	57,85	37,40	42,80
Keskihajonta	2,37	3,25	4,12	3,42	10,75	16,69
Minimi	46,10	50,80	40,30	52,00	29,80	31,00
Maksimi	55,60	62,80	55,30	67,10	45,00	54,60
Pareittainen t-testi						
Keskiarvo	-5,23		-8,16		-5,40	
Keskihajonta	2,47		4,12		5,94	
Keskivirhe	0,58		0,97		4,20	
95% luot.-ala	-6,46		-10,21		-58,77	
95% luot.-ylä	-4,01		-6,11		47,97	
t	-9,01		-8,40		-1,29	
df	17,00		17,00		1,00	
p (2-suuntainen)	0,000		(0,000)		0,421	



Kuva 9. Laatikko-janakuviokuva kuusen siemenviljelysten menestystasolukujen muutoksista, $n = 18$. Laatikko-janakuviossa laatikon alareuna vastaa alaneljännestä ja yläreuna yläneljännestä. Laatikon sisällä oleva viiva vastaa mediaania. Janojen päät vastaavat pienintä ja suurinta arvoa. Aineistossa esiintyvät poikkeavat arvot esitetään ulkopuolisina pisteinä ja tähtinä.

Kuusella tarkasteltiin siemensadon ja jälkeläisten pituuden jalostusominaisuuksien menestystasojen muutosta. Kuusella oli saatavissa elävyys tieto kahdelta siemenviljelykseltä, mutta sen otannan pienuudesta johtuen siihen ei ole tässä työssä kiinnitetty suurempaa huomiota (taulukko 6).

Kuusen siemensadon keskiarvo ennen harvennusta 50,37 (keskihajonta = 2,37, $n=18$) on pienempi kuin keskiarvo harvennuksen jälkeen 55,60 (keskihajonta = 3,25, $n=18$). Ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä tilastollisesti merkitseväksi ($t(17) = -9,007$ $p=0,000$ 2-suuntainen). Kuusen jälkeläisten pituuden keskiarvo ennen harvennusta 49,96 (keskihajonta = 4,12, $n=18$) on pienempi kuin pituuden keskiarvo harvennuksen jälkeen 58,12 (keskihajonta = 3,42, $n=18$). Ero osoittautui riippuvien otosten t-testillä merkitseväksi $t(17) = -8,395$ $p=0,000$ 2-suuntainen.

Tätä jälkeläisten pituustietoa ei voida suoraan tällaisenaan pitää luotettavana, koska jälkeläisten pituusaineisto ei noudattanut normaalijakaumaa, keskiarvojen eron merkitsevyys testattiin vielä lisäksi Wilcoxonin testillä (kuva 10).

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The median of differences between Jälkeläisten pituus ennen and Jälkeläisten pituus jälkeen equals 0.	Related-Samples Wilcoxon Signed Rank Test	,000	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is ,05.

Kuva 10. Kuusen siemenviljelysten jälkeläisten pituuden menestystasojen erot keskiarvojen välillä testattuna Wilcoxonin testillä.

Wilcoxonin testin mukaan jälkeläisten pituuden keskiarvojen ennen ja jälkeen välistä eroa voidaan pitää tilastollisesti merkitsevänä ($p = 0,000 < 0,05$).

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Opinnäytetyön luotettavuus

Opinnäytetyön lähdemateriaalit olivat metsä- ja luonnonvara-alan tutkimuksia, kirjoja ja artikkeleita. Lähdemateriaalissa käytettiin uusinta mahdollista tietoa, poikkeuksena metsänjalostuksen ja SvG-harvurin taustojen selvitys. Näiden kohdalla lähteissä olevan tiedon voi katsoa pysyneen ennallaan.

Työn otanta oli tilastollisesti suppea ($n < 50$), jotta aineistosta johdettuja päätelmiä voisi pitää erityisen kattavina. Työssä käytetty aineisto on johdettu laskennallisista arvoista. Lasketut keskiarvot kuvaavat tilannetta välittömästi ennen harvennusta ja harvennuksen jälkeen. Tämän takia sitä, miten jalostusominaisuudet tulevat kehittymään harvennuksen jälkeen, ei voi päätellä näiden lukujen pohjalta. Työn tuloksissa on nähtävissä geneettisen harventamisen välittömät vaikutukset.

Työn tuloksissa on havaittavissa, että vaikka jalostusominaisuus paranee menestystasoluvulla mitattuna, pareittaisessa t-testissä keskiarvon tulos on negatiivinen. Tässä syy on todennäköisesti siinä, miten jalostusominaisuudet on esitetty aineistossa, koska luvut ovat muuten oikein, mutta ne esiintyvät negatiivisessa muodossa. Tämä voi kuitenkin heikentää työn tuloksien luotettavuutta.

Riippuvien otosten t-testissä menestystasolukujen muutoksen merkitsevyys osoittautui suurimmassa osassa tapauksissa merkittäväksi tai erittäin merkittäväksi. Tämä antaa työn tuloksille luotettavuutta lisää, kun tuloksissa on havaittavissa tilastollisesti merkittäviä tuloksia.

6.2 Tuloksien pohdintaa

Harvennuksella on ollut tilastollisesti merkitystä suurimmalla osalla mitatuista jalostusominaisuuksista. Tilastollisesti tarkasteltuna siemenviljelyksien hedekukinnassa ei ollut havaittavissa muutoksia. Hedekukintojen keskiarvot pysyivät lähes samana tai ne jopa laskivat lähtökohdasta.

Harvennuksilla on tilastollisesti merkitsevää tai jopa erittäin merkitsevää vaikutusta jalostusominaisuuksien menestystasolukujen paranemiseen. Männyn eteläistä alkuperää olevilla siemenviljelyksillä jalostusominaisuuksissa parannusta saatiin menestystasojen keskiarvoihin keskimäärin 2–6 yksikköä. Hedekukinta oli ainoa, jossa parannusta ei saatu. Hedekukinnassa menestystason keskiarvo laski 0,79 yksikköä. Tilastollisesti erittäin merkitseviä tuloksia saatiin männyn eteläistä alkuperää olevilla siemenviljelyksillä jälkeläisten pituudessa ja laadussa. Tilastollisesti merkitseviä tuloksia saatiin siemensadossa ja pituussummassa.

Männyn pohjoista alkuperää olevilla siemenviljelyksillä menestystasojen keskiarvoissa parannusta tuli kaikissa jalostusominaisuuksissa. Keskimäärin parannusta tuli 3–8 yksikköä. Heteellä parannusta tuli vähiten 0,14 yksikköä. Näistä parannuksista tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p = 0,000$) olivat kaikki muut jalostusominaisuudet paitsi hede. Heteen kohdalla ei tulosten perusteella voitu todeta tilastollista merkitsevyyttä.

Kuusen siemenviljelyksillä menestystasojen keskiarvoissa parannusta tuli 5–8 yksikköä. Kuusella tarkasteltiin siemensatoa ja pituutta, joista molemmissa voidaan todeta tilastollisesti erittäin merkitseviä tuloksia.

6.3 Johtopäätökset

Työn tulokset tukevat yleistä käsitystä siitä, että harvennuksella on jalostusominaisuuksien menestystasoja parantava vaikutus. Tämä tulos oli yhdenmukainen geneettisen harventamisen tavoitteiden kanssa. Geneettisellä harventamisella halutaan parantaa siemenviljelyksien jalostusominaisuuksia valikoidulla siemenviljelyksiltä poistettavaksi heikoimpia jalostusominaisuuksia ilmentävät kloonit sekä fenotyypiltään eli ilmiänsultaan huonoimmat vartteet. Kun nämä huonoimmat kloonit ja vartteet poistetaan siemenviljelyksen jalostusominaisuuksien keskiarvojen tulisivatkin parantua. Tämä jalostusominaisuuksien keskiarvojen parantuminen voitiin todeta työn tuloksista kaikkien muiden jalostusominaisuuksien paitsi heteen kohdalla.

Hedekukinta oli ainoa jalostusominaisuus, jonka ei voida tilastollisesti katsoa parantuneen harvennusten myötä. Harvennuksen on todettu laskevan aluksi siitepölytuotantoa poistettavien vartteiden verran, mutta se tasoittuu parissa vuodessa harvennuksen jälkeen (Antola 1994). Lisäksi hedekukinnalla on harvennussuunnitelman laadinnassa hyvin vähäinen painotusarvo muihin jalostusominaisuuksiin nähden. Tästä johtuen geneettisen harventamisen vaikutukset eivät näy hedekukinnan tuloksissa.

Jotta hedekukinta tietoja voitaisiin vertailla tällaisessa työssä paremmin, aineistosta olisi kyettävä erottelmaan hedekukintojen määrä jokaisella vartteella niin, että poistuvien vartteiden tekemä hedekukintojen poistuma voitaisiin välttää. Toimivampaa voisi olla toisenlainen tapa ilmoittaa hedekukintojen määrä siemenviljelyksellä. Esimerkiksi hedekukintojen määrä per varte. Näin voitaisiin helpommin tarkastella harvennuksen vaikutusta hedekukintojen ilmeneeseen siemenviljelyksillä. Tällä ei kuitenkaan ole geneettisessä harventamisessa niin suurta painoarvoa jalostusominaisuutena, että tällainen lisätyö olisi perusteltua.

Geneettisellä harventamisella saatiin parannettua menestystasolukujen keskiarvoja ja näiden keskiarvojen muutosten voitiin todeta olevan tilastollisesti merkitseviä tai jopa erittäin merkitseviä. Geneettisellä harventamisella on perusteltua hyötyä siemenviljelyksien jalostusominaisuuksien menestystasolukujen parannuksessa.

Kiitokset

Työn ohjauksessa Luonnonvarakeskukselta olivat mukana erikoistutkija Matti Haapanen, erikoistutkija Seppo Ruotsalainen, erityisasiantuntija Jukka Antola ja tutkimusinsinööri Ari Kinnunen. Ilman heidän kärsivällistä ja asiantuntevaa ohjausta tämän työn loppuun saattaminen olisi ollut mahdotonta.

LÄHTEET

Antola, J. 1986. Siemenviljelysten harventaminen päässyt vauhtiin. Metsänjalostussäätiön vuosikertomus 1986.

Antola, J. 1994. Männyn siemenviljelyksen harvennuksen ja vartteiden leikkauksen vaikutus kukintaan ja siementuotantoon. Metsänjalostussäätiön työraportteja 10. Helsinki.

Antola, J. Moniste. Siemenviljelysten harventamisen yleiset periaatteet.

Davidson, A. Berlin, M & Jönsson, P. 2018. PlantvalOptimal – Effektivare och bättre användning av plantmaterial för större skogsinnehav. Arbetsrapport 996 – 2018 Skogforsk. Uppsala. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.skogforsk.se/arbetsrapport-996-2018> [Viitattu 20.4.2020]

Haapanen, M & Kärkkäinen, K. 2017. Metsänjalostus. Teoksessa Hynynen, J. Huuskonen, S & Kojola, S (toim.) METSÄ 150 Metsänkasvatuksen keinot lisätä puuntuotantoa kestävästi ja kannattavasti. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 10-14.

Haapanen, M. Leinonen, H & Leinonen, K. Männyn ja kuusen siemenviljelyssiemenen taimitarhakäytön kehitys 2006-2016: Alueellinen tarkastelu. Metsätieteen aikakauskirja 2017.

Haapanen, M. Hynynen, J. Ruotsalainen, S. Siipilehto, J & Kilpeläinen, Marja-Leena. 2016. Realised and projected gains in growth, quality and simulated yield of genetically improved Scots pine in southern Finland. European Journal of Forest Research.

Haapanen, M & Mikola, J. 2008. Metsänjalostus 2050 – pitkän aikavälin metsänjalostusohjelma.

Haapanen, M. 2008. Tapion Taskukirja 25. uudistettu painos. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy. Metsänjalostus 174-177.

Häggman, J. & Oksa, E. (toim.) 1999. Metsänjalostuksen monimuotoisuus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 753. Punkaharju. 8-21.

Kinnunen, A. & Karvinen, K. 2010. SvG-Harvuri, sovellus metsäpuiden siemenviljelysten geneettisten harvennusten suunnitteluun. Metlan työraportteja 172.

Kinnunen, A. 2003. Excel2000-VBA sovelluskehitystyö metsäpuiden siemenviljelysten geneettisten harvennussuunnitelmien laadintaan. Opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu Evo.

Luke. 2020a. Luke. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.luke.fi/luke/> [viitattu 30.3.2020].

Luke. 2020b. Tilastotietokanta. WWW-dokumentti. Taimitarhakylvöt sekä testatun ja alustavasti testatun siemenen osuus (%) siemenmäärästä (kg) 1991-. Saatavissa: <https://statdb.luke.fi/> [Viitattu 19.4.2020]

Luke.2020c. Tilastotietokanta. WWW-dokumentti. Siemenkeräykset (kg) 2003-. Saatavissa: <https://statdb.luke.fi/> [Viitattu 19.4.2020]

Mikola, J. 1982. Menestystason laskenta. Työohje geneettistä testausta varten. METLA, metsänjalostuksen tutkimusosasto. Konekirjoite.

Nikkanen, T. & Pukkala, T. 1987. Siemenviljelysten harvennussuunnitelman laatiminen atk-ohjelmistolla. Työohje.

Sarvas, R. 1970. Establishment and registration of seed orchards. Folia forestalia 89. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207191746> [Viitattu 8.5.2020]

Ruotsalainen, S. & Nikkanen, T. 2001. Kuusen siemenviljelysaineiston menestyminen Pohjois-Suomessa. Summary: Survival and growth of Norway spruce seed orchard material in northern Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 709. 1-33.

Tasanen, T. (toim.) 2010. Siemenestä taimeksi. Metsäpuiden taimituotannon historia Suomessa. Tammerprint Oy, Tampere 2010.

Tyystjärvi, P. 1998. Ei kirveellä vaan geneillä – Metsänjalostussäätiö 1947 - 97. Vammalan kirjapaino Oy.