

Kuusen paakkutaimien uudistumisen perusteet - Kirjallisuuteen pohjautuva katsaus

Juha Heiskanen

Heiskanen, J. 2003. Kuusen paakkutaimien uudistumisen perusteet - Kirjallisuuteen pohjautuva katsaus. Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema. Moniste. 25 s. (<http://www.metla.fi/pp/JHei/Katsaus2003.pdf>)

Tiivistelmä

Käytännön metsänuudistaminen kehittäminen edellyttää tietoa käytettävien taimilajien biologisista uudistamisedellytyksistä. Nykyisin Suomessa istutettavista taimista on yli puolet kuusta, josta paakkutaimia on yli 90 %. Kuusen paakkutaimi on suhteellisen uusi taimilaji ja kokemukset ja selvitykset sen uudistamisesta varsin niukkoja ja hajallaan. Siten on tarvetta koota olemassa oleva tieto kuusenviljelyn edellytyksistä ja myös arvioida mitä tietoa vielä tarvitaan.

Kuusi on varjoasietävä kliimaksipuulaji, jonka ekofysiologia poikkeaa pioneeripuista kuten männystä. Silti kuusi uudistuu avohakkuualoillakin usein varsin hyvin, mutta sen alkukehitys on yleensä hitaampi ja vaihtelevampi. Havaintoja kuusen juromisesta on usein vanhastaan esitetty, mutta istutuksenjälkeistä kasvunvaihtelua ja -taantumaa paakkutaimilla ei ole Suomessa juurikaan tutkittu. Kuusentaimien kasvunvaihtelun suoranaiset syyt ovat myös osin avoimia. Hallan ja kuivuuden on todettu vähentävän kasvua paikoin merkittävästi istutuksen jälkeen. Myös pintakasvillisuus voi heikentää uudistumistulosta erityisesti maanmuokkauksen puuttuessa tai ollessa puutteellinen. Laikutettaessa ja äestettäessä uudistumistulos on yleensä heikompi kuin mätästyksessä, mikä voi johtua useista syistä kuten typensaatavuudesta, maan tiiviydestä, kylmyydestä ja erityisesti sadekesinä märkyydestä. Lisäksi on havaintoja, joiden mukaan kuusen verson- ja juuristonkasvu voi riippua mm. taimilajista, iästä, geneettisestä perimästä sekä ravinteidenoton mukautumisen ja mykorritsojen kolonisaation hitaudesta.

Kuusen paakkutaimien istutuksenjälkeinen kehitys ja siihen vaikuttavat syyt ovat monelta osin selvittämättä, vaikka pääpiirteet yksittäisten uudistamismenetelmien ja kasvuolojen vaikutuksesta kuusen alkukehitykseen tunnetaankin. Mätästys parantaa yleensä uudistumistulosta, mutta esim. taimilajin (ikä, paakkutyypin) ja maanmuokkausmenetelmän yhdistelmän vaikutusta ulottuen taimikon vakiintumiseen asti ei tunneta tarkasti. Nykyistä tietämystä sekä kuusi- että mäntytaimikoiden kasvusta ja sen vaihtelun kehittymisestä istutuksen jälkeen olisi tarpeen täydentää aikaisempaa kattavammilla ja systemaattisemmilla inventoinneilla. Järjestetyillä kasvatuskokeilla tulisi tutkia tarkemmin, mitkä käsittelyt ja olosuhteet tai niiden yhdistelmät saavat kuusenkasvun vaihtelevaan tai suoranaisesti juromaan uudistuslallalla. Myös kasvunvaihteluiden fysiologiset perusteet, kuten taimien elinvoimaisuuden vaikutus ennalta määräytyneeseen kasvuun, vaatisivat lisätutkimuksia.

Asiasanat: istutus, jurominen, kuusi, maanmuokkaus, metsänuudistaminen, metsänviljely, mukautuminen, mänty

Yhteydenotot: Juha Heiskanen, Metla, Suonenjoen tutkimusasema, 77600 Suonenjoki. Sähköposti juha.heiskanen@metla.fi

Johdanto

Vuotuinen metsänviljelyala on Suomessa ollut 40 vuoden ajan 100-140 000 ha (121 000 ha v. 2002), josta istutuksen osuus on ollut 70-120 000 ha (73 % v. 2002) (Parviainen 1990, Metsätilastollinen... 2003). Vuonna 2002 metsänviljelyyn toimitettiin 154 milj. tainta, josta kuusen osuus oli 56 %. Paakkutaimiosuus kuusella oli 93 %. Metsäpuiden taimienistutusta edeltää yleisesti maanpinnan käsittely, joista nykyään yleisin on äestys (vajaa puolet), mätästyksen ja laikutuksen ollessa seuraavaksi suosituimmat (molemmat noin neljännes) (Hämäläinen 1997, Metsätilastollinen... 2003). Voimaperäisintä muokkaustapaa eli aurausta käytetään enää vain Lapissa muutaman prosentin osuudella.

Metsänuudistamisen tuloksellisuutta on tutkittu varsin laajoin kenttäkokein ja maastoinventoinnein jo 1940-luvulta lähtien. Selvityksissä keskityttiin aluksi eri uudistamismenetelmien (luontainen, kylvä, viljely) ja puulajien vertailuun pääpainon siirtyessä myöhemmin maankäsittelyn ja istutettavien taimilajien tutkimiseen (esim. Pohtila 1977, Raulo ja Rikala 1981, Parviainen 1984, Valtanen ja Engberg 1987, Valtanen ja Tasanen 1996, Mäkitalo 1999). Koska männyn taimituotanto siirtyi suhteellisen nopeasti paljasjuurisista paakkutaimiin, männynuudistamista eri taimilajeilla on tutkittu runsaasti (esim. Parviainen 1984, Örlander 1986, Saksa 1998). Kuusen paakkutaimien tuotanto on lisääntynyt hitaammin (Parviainen 1990, Rikala 2000), minkä vuoksi sen uudistamisesta on tutkittua tietoa selvästi vähemmän (esim. Kinnunen 1989, Schildt 2000). Havainnot kuusentaimien alkukehityksen vaihtelevuudesta (Karjula ym. 1982, Jonsson 1999) ja väliaikaisesta kasvuntaantumasta istutuksen jälkeen (Heikinheimo 1941, Grossnickle 2000) viittaavat kuitenkin kuusen erilaiseen kehitysdynamiikkaan mäntyyn verrattuna.

Käytännön metsänuudistamisen toimenpiteiden toteutus ja kehittäminen edellyttävät tietoa taimilajien biologisista uudistamisedellytyksistä. Tietämys erityisesti kuusen paakkutaimien viljelystä on niukkaa. Männynuudistamisen menetelmät tunnetaan suhteellisen hyvin, mutta ovatko ne sovellettavissa kuuselle? Miten maanpinnan käsittely ja kasvuolosuhteet käytännössä vaikuttavat kuusentaimen mukautumiseen uudistusalalla? Missä määrin kuusi juroo istutuksen jälkeen? Ovatko paljasjuuristen taimien viljelykokemukset sovellettavissa paakkutaimille? Riittääkö tietopohjamme kuusenuudistamisen edistämiseksi käytännössä maanmuokkauksen ja metsänhoitotoimien avulla vai onko uudistamisen perusteita joiltain osin selvítettävä tarkemmin tutkimuksen keinoin?

Tämä katsaus pohjautuu v. 2000 alkaneen tutkimushankkeen 'Maankäsittely ja kuusen paakkutaimien menestyminen' esiselvitykseen, joka pyrki etsimään vastauksia em. kysymyksiin aiempien julkaistujen sekä tieteellisten tutkimusten että käytännön inventointien ja selvitysten pohjalta. Pyrkimyksenä ei ollut niinkään tehdä vanhojen tulosten uudelleenanalysointia vaan ennen kaikkea tunnistaa tietämyksen puutteita ja uusia tutkimusongelmia. Katsaus keskittyy ensisijassa kuusentaimen istutuksen jälkeiseen mukautumiseen ja vakiintumiseen, joten esim. taimihuollon (mm. kuljetus, käsittely, istutustyö), taimikunnon ja genetiikan erityiskysymykset jäävät vähemmälle huomiolle. Katsauksessa kuusi viittaa lajiin *Picea abies* (L.) Karst. ja mänty lajiin *Pinus sylvestris* L., ellei toisin mainita.

Kuusenuudistamisen edellytykset ja niiden erot suhteessa mäntyyn

Ekofysiologinen tausta

Kuusi on varjoasietävä puolivarjopuulaji ja varsinaisesti ainoa kliimaksipuulajimme, kun taas mänty on yleisominaisuuksiltaan pioneeri- ja valopuulaji (Kujala 1958, Kalela-Brundin 1984, Kellomäki 1991). Mänty kykeneekin lisäämään neulaspituuttaan valon lisääntyessä ja siten lisäämään verson biomassaa, kun taas kuusen neulasisto ei reagoi nopeasti valomäärän muutoksiin (de Chantal ym. 2003). Kuusi uudistuu luonnossa yleensä valtakuusikon aukkoihin tai pioneeripuulajien muodostaman metsikön alle. Mänty puolestaan uudistuu helposti avoimille alueille, joissa maanpinta on rikkoutunut. Varjostuksessa männyn latvus jää kapeaksi ja kasvu heikoksi. Kuusella pituuskasvu on alussa hidasta ja se saattaa ns. juroa vuosia ennen nopeamman kasvun alkua esim. ylispuuston poiston jälkeen. Kuusi sietää huonosti myös nopeita lämpö- ja tuuliolosuhteiden muutoksia ja on mäntyä arempi hallalle, joka voi usein toistua aiheuttaen kitukasvuisuutta (Jukka 1988, Laine 1983).

Kuusi on mäntyä vaativampi kasvupaikan ravinteisuuden ja kosteuden suhteen, mikä johtuu osin männyn kuusta syvemmästä juuristosta (Aaltonen 1936, Kalela 1950a, 1950b, Kujala 1958, Kellomäki 1991). Kuusen juuristo on tyypillisesti matala (Heikinheimo 1920, Aaltonen 1936, Köstler ym. 1968), kuten monilla varjoasietävillä kliimaksipuulajeilla (Gale ja Grigal 1987). Maan ollessa löyhää kehittyvä männynlehtien myötä paalujuuri. Mänty kestää myrskyjä paremmin kuin kuusi (Kalela-Brundin 1984, Laine 1983). Kuusen juuristo on herkkä kuivuudelle ja toipuminen sekä kuivuudesta että tulvasta on mäntyyn verrattuna hitaampaa (Kujala 1958, Orlov 1966, Hoffman 1974, Bartsch 1987, Cienciala ym. 1999). Vesipitoisuuden aletessa kuusi on myös hitaampi haihdunnan säätelyssä kuin mänty (Eidmann ja Schwenke 1967). Taimivaiheessa kuusi kärsii lyhytaikaisen tulvan seurauksena hapenpuutteesta enemmän kuin mänty (Orlov 1966, Pelkonen 1979, Zaerr 1983, vrt. Huikari 1959). Pidemmällä aikajaksolla kuusi kuitenkin kykenee kasvattamaan myöhäisjuuria juurenniskan yläpuolelle, mikä voi edesauttaa sen menestymistä märillä mailla (Lähde 1974, Lähde ja Mutka 1974).

Kuusella on kliimaksipuulajien tavoin suhteellisen heikko kyky käyttää kaikkia maan typpiyhdisteitä (erityisesti NO_3^-) hakkuualalla, mikä hidastaa taimien vakiintumista (Kronzucker ym. 1997, Grossnickle 2000). Samoin kuusentaimien kasvuunlähtöä uudistuslajilla voi mäntyyn verrattuna hidastaa sen heikko kyky kilpailla pioneerikasvien kanssa mykorrhizojen kolonisaatiosta (Björkman 1953, Grossnickle 2000). Kuusen- ja männyntaimien juurtenkasvun minimilämpötila on 8-12 °C välillä, josta lämpötilan edelleen alentuessa versonkasvukin alenee jyrkästi (Vapaavuori ym. 1992). Kuusentaimien juurtenkasvun maan optimilämpötila on 20-25 °C, kun taas männyntaimilla lämpötilaoptimi on jopa yli 30 °C. (Söderström 1976b, Örländer 1985, Vapaavuori ym. 1992). Kuusella juurtenkasvu on maan tiivistymiselle hieman herkempi kuin männynllä (Zisa ym. 1980, Korotaev 1992).

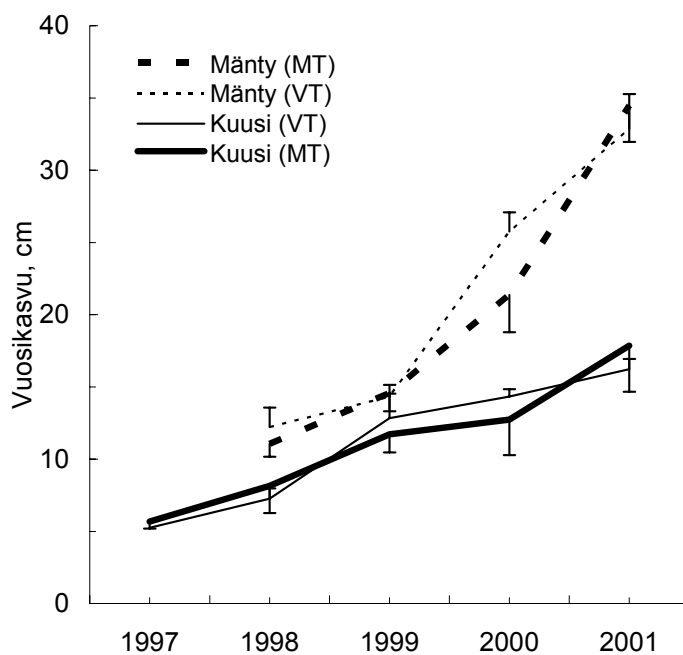
Uudistaminen ja taimikoiden kehitys

Kuusi uudistetaan käytännössä istuttaen ja mänty pääosin istuttaen ja osin kylväen (Metsänhoitosuositukseset 1994, Nygren ym. 1997). Kuusta viljellään tuoreille ja niitä paremmille kankaille sekä vastaaville korpimaille. Hallanaroilla paikoilla kuusi istutetaan usein verhopuuston suojaan. Kuusen

luontainen uudistaminen on myös mahdollista, mutta uusimmissa metsänhoidon suosituksissa siihen suhtaudutaan aiempaa kriittisemmin (Nygren ym. 1997, Hyvän metsänhoidon... 2001). Männyin luontaista uudistamista käytetään kanerva- ja puolukkatyyppin mailla tai kivisillä tuoreilla kankailla. Männyistutus sopii kylvölle sopimattomille heinittyville mailla.

Kuusella nuoret ja lyhyet taimet saattavat kasvaa alussa pituutta nopeammin kuin isot, kun taas männyllä taimenkasvu korreloi yleensä istutuspuutteen kanssa (Kinnunen 1989, Saksa 1998). Männyin paljasjuuritaimilla lyhyiden taimien suhteellisen kasvunopeuden on todettu olevan sama kuin pitkillä (Rikala 1989). Kuusen 1 v. paakkutaimet saattavat puolestaan kasvaa istutusvuonna 6-8 cm, kun taas 2 v. taimet vain 5-6 cm (Tervo ja Kautto 1999, Heiskanen ja Viiri 2001). Toisaalta paakusta maahan kasvanut juurimassa voi olla 2 v. taimilla lähes kaksinkertainen verrattuna 1 v. taimiin (Heiskanen ja Viiri 2001, osin julkaisematon aineisto). Myös kuusen 2 v. paljasjuuritaimien on todettu kasvavan nopeammin heti istutuksen jälkeen kuin 3 v. taimien (Björkman 1953). Kuusi kasvattaa juuristoaan mäntyä hitaammin ja juuristonkasvun vaihtelu on mäntyä suurempaa (Kalela 1950b, Hultén 1991). Männyllä on kuusta laajempi juuristo taimikon kehityksen alkuvaiheessa (Kalela 1950b).

Kuusitaimikot kasvavat yleensä istutuksen jälkeen pituutta hitaammin noin 10-12 v. ajan mäntyyn verrattuna (Aaltonen 1936, Pohtila 1977, Söderström 1977, Parviainen 1979, 1985, Karjula ym. 1982, Valtanen 1983, Valtanen ja Engberg 1987, Kinnunen 1989, Saksa ym. 1990, Jonsson 1999) (kuva 1). Kuusen kasvu on yhtä suuri tuoreilla kankailla kuin männyin, mutta alittaa lehtomaisilla kankailla parhaat koivikot. Mänty kasvaa parhaiten kuivilla ja kuivahkoilla kankailla, mutta jää koivua ja kuusta heikompi kasvuisiksi lehtomaisilla kankailla.



Kuva 1. Männyin ja kuusen 1 v. paakkutaimien (PL-81F) alkukehitys neljässä, kasvupaikkatyypeittäin (VT + MT) vierekkäisessä taimikossa. Istutus on tehty äestysaloille Pieksänmäellä toukokuussa 1997 istutuspuutteen ollessa 8-14 cm männyllä ja 12-20 cm kuusella (Heiskanen ja Rikala 2003). Keskipituus oli v. 2001 noin 100 cm männyllä ja 65 cm kuusella. Pystyjanat osoittavat keskihajontaa.

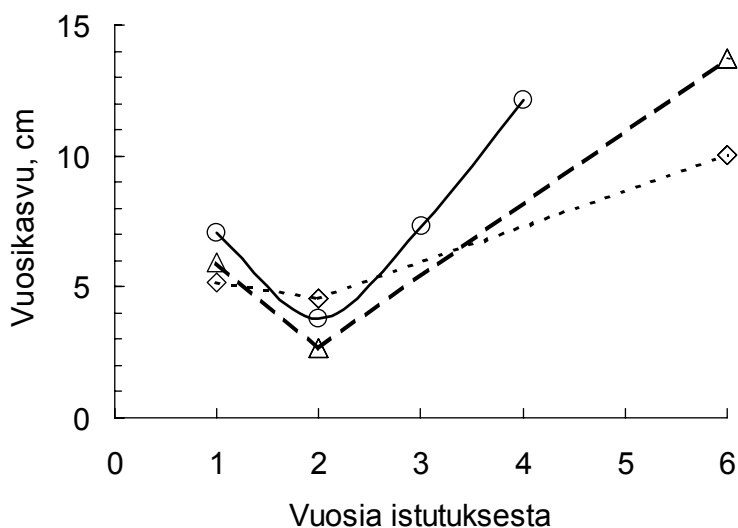
Mäntytaimikoissa kuolleisuus on yleensä samaa luokkaa tai suurempi kuin kuusitaimikoissa (Rikala 1994, Kinnunen 1989). Männyntaimilla kuolleisuus on suurinta 1-2 v. ajan istutuksesta, kuusella kuolleisuus voi lisääntyä hitaammin. Taimikoiden kuolleisuus on kuitenkin 5-10 v. istutuksesta keskimäärin noin 30 % (Kinnunen 1977, 1989, Söderström 1977, Parvianen 1985, Rikala 1994, Saksa 1998).

Valkosen (2000) tutkimien kuusitaimikoiden pituuden variaatiokerroin (CV) on 41 % tasoa (pituuksilla 1,8 ja 4,7 m). Kuusitaimikon pituusvaihtelu 8 vuotta istutuksen jälkeen oli samaa tasoa myös toisessa seurantatutkimuksessa; CV lisääntyi 1 v. taimilla keskimäärin 25:stä 40:een % ja 2 v. taimilla 35:een % (julkaisematon koe Suonenjoella). Tämä viittaa siihen, että kuusen kasvuerot saattavat yleisemminkin lisääntyä aluksi vajaan 10 v. ajan kunnes tasaantuvat noin 40 % CV tasolle. Myös Etelä-Suomen laajan inventoinnin mukaan (Räsänen ym. 1985) kehityskelpoisten kuusen istutustaimikoiden pituuden CV oli 40 % keskipituuksilla 1 ja 2 m. Istutusmänniköissä vastaavat arvot olivat 50 % (1 m) ja 38-40 % (2 m). Kuuset olivat iältään keskimäärin 5-6 v. (1 m) ja 12-13 v. (2 m) ja männyt vastaavasti 5 v. (1 m) ja 8-9 v. (2 m). Tarkempien johtopäätöksien teko kuusi- ja mäntytaimikoiden pituuseroista, niiden kehityksestä ja syistä edellyttää kuitenkin kattavampia ja vertailukelpoisempia aineistoja.

Kuusitaimikoiden alkukehityksen on kuitenkin toisaalta todettu olevan vaihtelevampi kuin mäntytaimikoiden (Karjula ym. 1982, Jonsson 1999). Kuusella halla ja ahava lienevät ainakin paikoittain kaikkein merkittävin kasvua ja uudistumistulosta heikentävä tekijä (Huuri 1980, Leikola ja Rikala 1983, Kinnunen 1989, Saksa ym. 1990, Tervo ja Kautto 1999). Lisäksi viljavalla kasvualustalla syntyy usein rehevä, elintilasta kilpaileva pintakasvillisuus, joka voi osaltaan aiheuttaa taimikossa epätasaista kehittymistä ja aukkoisuutta (Rautiainen ja Räsänen 1980, Raulo ja Rikala 1981, Schildt 2000). Luontaisesti syntyvillä taimilla onkin taimikon kasvatuskelpoisuudelle käytännössä usein suuri merkitys (Rautiainen ja Räsänen 1980, Räsänen ym. 1985, Saksa ym. 1990). Eräässä kuusen viljelykokeessa Keski-Suomessa suurimmat kuolleisuutta (yht. 17,7 %) aiheuttavat tuhot olivat 9 v. kuluttua istutuksesta halla (3,7 %), pintakasvillisuus (3,0 %) ja hyönteiset (tukkimiehentäi) (2,5 %) (Saksa 2001). Kuitenkin tunnistamattomia tuhoja, ehkä osin taimimateriaalista ja käsittelyvirheistä johtuvia, oli eniten (8,4 %).

Tasatiheänkin kuusitaimikon kasvu saattaa paikoin istutuksen jälkeen taantua, jolloin kuusi ns. juroo (Björkman 1953, Lehto 1969, Karjula ym. 1982, Parvianen 1994). Männyllä ja koivulla juromista ei ole tai se on hyvin vähäistä (Heikinheimo 1941). Heikinheimon (1941) mukaan paljasjuurinen istutuskuusi (2+2) juroo 2-3 kasvukautta, jolloin kasvuntaantuma on aukealla suurempi kuin suojuustuon alla (kuva 2). Jurominen selittyy Heikinheimon mukaan alkuperäisen vanhan juuriston toimimattomuudella ja uuden pinnallisemman juuriston kehittymisellä. Björkman (1953) viittaa samansuuntaisesti kuusen koulimattoman 2 v. paljasjuuritaimien (2+0) kasvavan usein nopeammin istutuksen jälkeen kuin vastaavien 3 v. taimien (3+0), minkä hän selittää johtuvan vanhempien taimien heikommasta veden- ja ravinteidenotosta ja uusien juurten kasvattamistarpeesta. Myös Kalelan (1939) mukaan istutuskuusikot jurovat muutaman vuoden ajan istutuksen jälkeen, mutta kuitenkin lyhemmän aikaa suojuustuon alla kuin aukealla. Juromista ei kuitenkaan ilmeisesti esiinny systemaattisesti aukeallakaan, mikä voi osin johtua nuoremmasta taimimateriaalista (2 v.) kuin mitä aiemmin viime vuosisadan alkupuolella yleensä

käytettiin (4 v.) (Osara 1952). Uudemmissa inventoinneissa juromista on havaittu yksittäisissä taimikoissa (Tuomola 2002).



Kuva 2. Kuusen paljasjuuristen (2+2) taimien vuosittainen keskipituuskasvu aukealla uudistusalueella (katkoviiva) ja harvennetun lepikön suojassa (pisteviiva) Ruotsinkylässä (Heikinheimo 1941) sekä *Picea glauca* x *Picea engelmannii* paakkutaimien (1+0, yhtenäinen viiva) Brittiläisessä Columbiassa (Vyse 1981). Istutus tehty vuonna 0.

Myös muilla kuusilajeilla on todettu muutaman vuoden pituisia kasvun taantumajaksoja (kuva 2), joiden pääsyyiksi on esitetty istutuksenjälkeistä vedenpuutetta ja hallavaurioita (Grossnickle 2000). Lisäksi kuusenkasvua uudistusalueella voi hidastaa mykorritsojen kolonisaation sekä typen ja muiden ravinteidenoton mukautumisen hitaus (Björkman 1953, Grossnickle 2000). Juromisen syitä ei käytännössä ole löydetty kasvupaikan ominaisuuksista (Tuomola 2002). Kuusen jurominen saattaa kuitenkin osaltaan johtua ennalta määräytyneestä kasvusta (osuus >80 %) (Grossnickle 2000), minkä vuoksi jo istutettaessa heikentyneen taimierän huono kunto voi ilmetä alentuneena kasvuna aikaisintaan vasta seuraavana vuonna.

Taimen mukautumiseen vaikuttavat tekijät uudistuslalla

Mukautumisprosessi

Kasvupaikalla syntyneiden luontaisten taimien kasvuolot eivät yleensä muutu kovin äkkiä. Sen sijaan istutustaimen toimintojen ja rakenteen täytyy mukautua (eli aklimoitua) uusiin, nopeasti muuttuneisiin oloihin istutuksen jälkeen. Uudistuslalla lämpö-, säteily- ja sadantaolot, kasvualustan rakenne, vesi- ja happiolot, ravinteisuus ja lämpöolot sekä kasvillisuuden ja eläimistön kilpailu ovat merkittävästi erilaiset verrattuna olosuhteisiin taimitarhalla (Lippu ja Puttonen 1990, Örlander ym. 1990).

Kasvualustan vesi- ja happiolot

Ensimmäiseksi istutuksen jälkeen taimi joutuu yleensä mukautumaan alentuneeseen vedensaatavuuteen, joka voi olla vuosia alempi kuin vakiintuneella samankokoisella luontaisella taimella (Hallman ym. 1978, Örlander 1986, Burdett 1990). Siten taimen täytyy veden- ja ravinteidensaatavuuden turvaamiseksi kasvattaa juuristonsa ympäröivään maahan mahdollisimman nopeasti. Pohjoismaissa metsien pintamaan (5-15 cm syv.) vesipitoisuus on kasvukaudella yleensä kenttäkapasiteetissa tai, erityisesti eteläisissä osissa ja muutaman vuoden ikäisillä hakkuualoilla, hieman kuivempi (matriisipotentiaalivälillä -10...-100 kPa) (Söderström 1970, 1977, Mälkönen 1976, Lähde 1978, Heiskanen 1988, Nordén 1989, Nilsson ja Örlander 1995, 1999b, Mannerkoski ja Mälkönen 2000). Nämä kosteustasot eivät juuri rajoita taimen vedensaatavuutta, mutta vaikka tuoreilla hakkuualoilla pohjavesitaso usein vielä kohoaa haihduttavan puuston poistumisen takia, voi maa uudistusalojen muokkauskohoumissa silti kuivua kesän kuivina jaksoina joskus lähelle lakastumisrajaa (-1500 kPa).

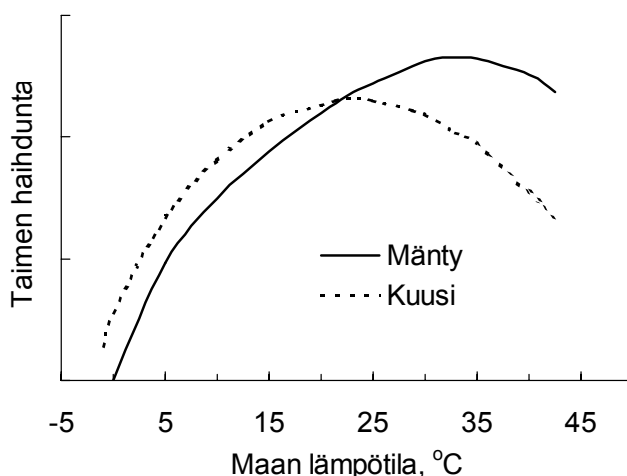
Taimien vedensaatavuus on periaatteessa sitä parempi mitä kosteampi maa on, mikäli märkyys (hapettomuus) ei muodostu rajoittavaksi tekijäksi. Örlanderin ym. (1990) mukaan taimen vedenotto alenee maksimitaan 50 %, kun maan matriisipotentiaali laskee -50 kPa:n tienoille. Taimen haihdunta voi kuitenkin alentua merkittävästi vasta selvästi kuivemmassakin maassa, mikäli ravinteisuus ja muut olosuhteet ovat taimille suotuisat (Jarvis ja Jarvis 1963, Heiskanen 1993). Toisaalta, erityisesti Pohjois-Suomen humidisissa oloissa, männyn- ja kuusentaimien istutuksenjälkeinen kasvu voi alentua voimakkaasti maan korkean vesipitoisuuden vuoksi (Lähde ja Mutka 1974, Lähde 1978). Märkyys vaikuttaa taimien juurtenkasvuun ja -rakenteeseen enemmän kuin verson (Richard ym. 1958).

Maan ilmanvaihto (diffuusio) on edellytys kasvien juurtenkasvulle. Diffuusio vaatii mineraalimaassa yleensä vähintään 10 % ilmatilaa ja kasvien juurtenkasvu 10-15 % ilmatilaa, mutta nämä arvot voivat käytännössä vaihdella välillä 5-30 % (Wesseling ja Wijk 1957, Vomocil ja Flocker 1961, Lähde 1978, Magnusson 1992). Orgaanisessa maassa, kuten turpeessa, optimi-ilmatila voi taimille olla jopa yli 40 % (Puustjärvi 1977, Lähde ja Savonen 1983, Heiskanen 1995). Taimet voivat kuitenkin kestää juurten suoranaista vedellä kyllästymistä useiden päivien ajan. Kasvun aikana kesällä ja syksyllä kuusen- ja männyntaimet kärsivät tulvasta kuitenkin huomattavasti enemmän kuin talvella ja keväällä (Orlov 1966, Pelkonen 1979).

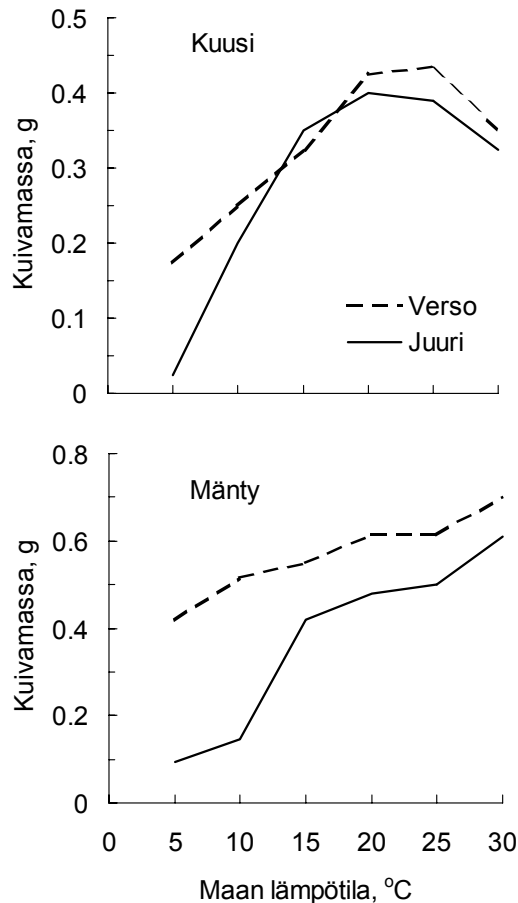
Säteily- ja lämpöolot

Säteilyolot uudistusallalla ovat erilaiset kuin taimitarhalla tai välivarastossa. Varjo- ja puolivarjopuulajit kuten kuusi, voivat stressaantua säteilyn äkillisestä lisääntymisestä (Mohammed ja Parker 1999). Maan alhainen typpipitoisuus voi edelleen lisätä valostressin vaikutusta ja aiheuttaa kloroottisuutta (Reed ym. 1983). Alhainen ilman lämpötila, halla ja ahava voivat erityisesti kuusella aiheuttaa merkittävää kasvuntaantumista ja usein toistuessaan jopa pensastumista (Laine 1983, Jukka 1988, Tervo ja Kautto 1999, Grossnickle 2000). Hallan seurauksena myös maan alentunut lämpötila hidastaa fotosynteesiä ja kasvua (DeLucia ja Smith 1987). Maan jäätyminen (routa ja rouste) voi myös haitata erityisesti pienten, pinnallisesti istutettujen taimien kasvua nostamalla niitä ylös maasta (Söderström 1977, Örlander ym. 1990, Goulet 1995).

Varsinkin keväällä istutettaessa voi maan kylmyys rajoittaa taimen juuristonkasvua ja mukautumista istutusallalla. Kesäistutuksessa taimien kasvuunlähtö onkin usein nopeampi (Luoranen 2000). Alhainen lämpötila kohottaa veden viskositeettia, alentaa vedenjohtavuutta ja heikentää juurten metaboliaa, jolloin veden- ja ravinteidenotto hidastuu (Lopushinsky ja Kaufman 1984, Örlander ja Due 1986, Ryyppö ym. 1998). Taimien juurtenkasvun minimilämpötila on noin 10 °C (Grossnickle 1987, Vapaavuori ym. 1992). Männyntaimilla on havaittu, että typenotto (neulasten typpipitoisuutena) voi aleta yli 50 %, kun maan lämpötila laskee 15:sta 10:een °C (Söderström 1976b). Kuusen ja männyn juurtenkasvun lämpötilaoptimi on kuitenkin yli 20 °C (kuva 3, 4) (Söderström 1976b, Vapaavuori ym. 1992), jota metsämaassa harvoin saavutetaan. Myös alempia lämpötilaoptimeja on esitetty (Domisch ym. 2001, Lahti ym. 2002). Avoimen, nurmipintaisen hiekkamaankin lämpötila on Keski-Suomessa (Suonenjoki 1981-1992) 5 cm syvyydessä keskimäärin heinäkuussa 17,6 °C sekä kesä- ja elokuussa noin 15 °C. 15 cm syvyydellä arvot ovat karkeasti ottaen asteen verran alempia (Luoranen 2000, osin julkaisematon aineisto).



Kuva 3. Maan lämpötilan vaikutus kuusen- ja männyntaimien haihduntaan Örlanderin (1985) mukaan.



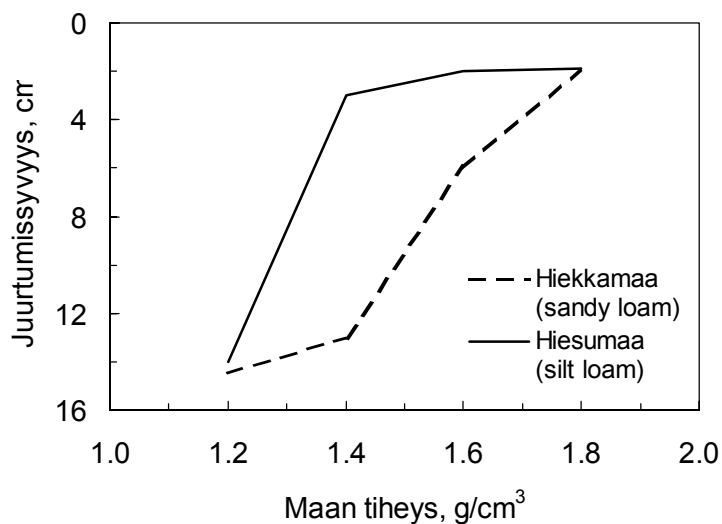
Kuva 4. Verson ja juuriston kasvu 112 (kuusi) ja 120 (mänty) vrk:n kuluttua istutuksesta eri maan lämpötiloissa (Söderström 1976a, 1976b).

Maan tiheys

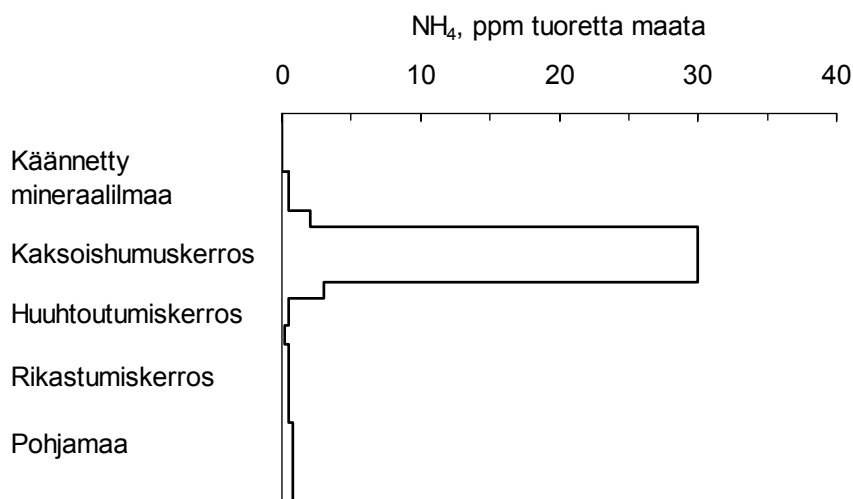
Istutusmaan mekaaninen vastus, joka lisääntyy maan tiheyden lisääntyessä, raekoon pienentyessä ja maan kuivuessa, hidastaa taimien juurtenkasvua ja vaikuttaa juuriston rakenteeseen. Nämä vaikutukset kasvuun riippuvat jossain määrin myös puulajista. Maan tiheyden noustessa yli $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ juurtenkasvu yleensä heikkenee ja pysähtyy kuusella tiheyden ollessa noin $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ (Zisa ym. 1980, Örländer ym. 1990, Sutton 1991, Korotaev 1992, Unger ja Kaspar 1994). Erityisesti taimen juurtumissyvyys istutuksen jälkeen mataloituu voimakkaasti maan tiheyden noustessa, mutta juurimassa voi olla lähes muuttumaton (Korotaev 1992). Kylvötaimen juurtumissyvyys voi esim. olla $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ tiheydessä vain vajaa 1/5 verrattuna $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ tiheyteen (kuva 5).

Ravinteet

Kasvualustan typpipitoisuus on yleisesti puidenkasvua rajoittava tekijä metsämailla. Kuitenkin istutusalueella kohonnut lämpötila, hakkuutähteiden maatumisen ja muokkaus lisäävät maan hajotustoimintaa ja edistävät ravinteiden vapautumista (Mälkönen 1972, Palmgren 1984, Lundmark-Thelin ja Johansson 1997, Smolander ym. 2000). Typen potentiaalinen saatavuus taimille riippuu ennen kaikkea humuksen ja muun orgaanisen aineksen pitoisuudesta ja sen mineralisoitumisesta (kuva 6) (Kraske ja Fernandez 1990, Örländer ym. 1990, Nordborg 2001). Liikavesi voi kuitenkin aiheuttaa typen immobilisoitumista ja siten taimilla sen puutetta ja kasvun heikkenemistä (Prescott ym. 1996). Fosforin ja



Kuva 5. Kuusentaimien juurtumissyvyys yhden kasvukauden kuluttua kylvämisestä kahdessa eri maalajissa (Zisa ym. 1980).



Kuva 6. Mineralisoituneen ammonium-typen määrä mättäessä (Örlander ym. 1990 pohjalta).

muiden ravinteiden saatavuus yleensä aluksi lisääntyy istutusalueella hakkuun jälkeen mineralisaation seurauksena, mutta voi myöhemmin heiketä, mikäli muodostuu vaikealiukoisia yhdisteitä (esim. Al-fosfaatteja). Tämän seurauksena voi taimilla esiintyä kasvuntaantumista (Cade-Menum ym. 2000).

Sienijuuret

Mykorritsat eli sienijuuret lisäävät isäntäkasvien juurten absorpoivaa pinta-alaa ja voivat edistää veden- ja ravinteiden saatavuutta maasta ja siten kasvua (Björkman 1953, Stenström 1990). Istutusalueella taimien juuret alkavat kolonisoitua tai aiemmin juurissa olleet mykorritsat korvautua maassa olevilla mykorritsoilla. Istutuksen jälkeen mykorritsattomien taimien kasvunopeus voi taantua kunnes juuret ovat kolonisoituneet mykorritsoilla. Ennen istutusta sopivilla mykorritsalajeilla kolonisoituneet taimet voivat kasvaa mykorritsattomia taimia paremmin istutuksen jälkeen, mutta toisaalta sopimattomilla lajeilla

kolonisoituneet taimet saattavat kasvaa hitaasti vuosiakin istutuksen jälkeen. Metallien (lähinnä Al, Fe) läsnäollessa taimien ravinteidensaataavuus (lähinnä P) ja kasvu voivat aleta merkittävästi, mitä sopivat mykorritsat pystyvät kuitenkin kompensoimaan (Göransson ja Eldhuset 1991, Schier ja McQuattie 1995, Ahonen-Jonnarth 2000).

Pintakasvillisuus

Pintakasvillisuus lisääntyy hakkuualoilla, mikä johtuu valon lisääntymisestä, lämpötilan kohoamisesta ja puuston kilpailun poistumisesta hakkuun jälkeen. Pintakasvillisuutta voi tuoreilla kankailla olla 4 t ha⁻¹ kuivamassana 4-6 v. kuluttua hakkuusta (Nilsson ja Örlander 1995, 1999a, Örlander ym. 1996). Pintakasvillisuuden kilpailu alentaa taimien elossaoloa ja kasvua, minkä on kuusentaimilla todettu johtuvan enemmän maanpinnan alaisista tekijöistä kuin varjostuksesta (Nilsson ym. 1996, Örlander ym. 1996, Nilsson ja Örlander 1999b). Pintakasvillisuus lisää maan kosteutta sateen jälkeen, mutta alentaa sitä kuivina kausina (Söderström 1977). Maan kuivuminen pintakasvillisuuden lisääntyessä voi aiheuttaa kasvun heikentymistä taimilla (Leikola ja Raulo 1973, Cole ja Newton 1986, Nilsson ja Örlander 1995). Samoin pintakasvillisuuden kilpailu ravinteista ja ennen kaikkea typestä voi alentaa kasvua (Nilsson ym. 1996, Örlander ym. 1996). Pintakasvillisuus voi heikentää kasvua myös muista tekijöistä kuten allelopatiasta, maan alentuneesta lämpötilasta ja muista biottisista tuhoista johtuen (Leikola ja Raulo 1973, Örlander ym. 1990, Kubin ja Kempainen 1994, Kolström ja Nuutinen 1995, Nilsson ja Örlander 1999a, 1999b).

Bioottiset tuhot

Tukkimiehentäi, jota hakkuutähteet houkuttelevat tuoreille hakkuualoille, on suurin hyönteistuhoriski istutetuilla taimilla. Taimikuolleisuus voi suojaamattomissa taimissa ja muokkaamattomassa maassa olla jopa 3/4. Etelä-Ruotsissa tukkimiehentäin tuhoriski on todettu olevan hakkuualoilla suuri 4-5 v. hakkuusta (Örlander ja Nilsson 1999). Etelä-Suomessa suurimman riskin aika on noin 3 v. hakkuusta ja vieläkin lyhempi Pohjois-Suomessa, mikä johtuu täin sukupolven kiertoajan hidastumisesta pohjoiseen mentäessä (Långström 1982). Myös juuriniluri voi paikoin merkittävästi hidastaa kasvua ja lisätä kuolleisuutta kuusentaimilla (Juutinen 1962, Lindelöw 1992). Lisäksi taimien sienituhoriski voi olla merkittävä erityisesti Pohjois-Suomessa (Jalkanen 1989).

Paljasjuurisen ja paakkutaimen uudistamisen erot

Istutustaimi kärsii yleensä vedenpuutteesta istutuksen jälkeen. Paljasjuurisen taimen juuristo on istutuksen jälkeen periaatteessa suorassa kontaktissa istutusmaahan, mutta vedenotto ja kontakti voi silti olla puutteellinen (Sands 1984, Grossnickle 1988). Heikentyneen vedenoton vuoksi juuriston läpimitta voi kutistua, mikä edelleen heikentää maakontaktia ja lisää vedenpuutosta (Russell 1977, Atkinson ja Wilson 1979, Nobel ja Cui 1992).

Paakkutaimi menettää istutuksen jälkeen paakkuun helpoimmin pidättyneen veden ympäröivään istutusmaahan muutamien tuntien kuluessa (Day ja Skoupy 1971, Heiskanen ja Rikala 2000). Toisaalta kuiva paakku voi hitaasti, usean päivän ajan, imeä kosteasta maasta vettä itseensä (Heiskanen 1999,

Heiskanen ja Rikala 2000). Mikäli paakku kuitenkin voimakkaan haihduttamisen vuoksi menettää vettä enemmän kuin se imee itseensä, paakku kutistuu ja maakontakti voi heikentyä. Tämä voi parissa päivässä aikaansaada taimen kuivumisen.

Paakkutaimi kärsii istutusvirheistä, vedenpuutteesta ja pintakasvillisuuden kilpailusta istutuksen jälkeen yleensä vähemmän kuin paljasjuurinen taimi ja kasvaa siten alussa yleensä paremmin (Grossnickle ja Blake 1987, Nilsson ja Örlander 1995, 1999a, Saksa 1998, Nilsson ym. 2000). Tämä johtunee juuriston säilymisestä istutettaessa vahingoittumattomana paakun sisällä, jolloin juuristolla on helpostisaatavia vesi- ja ravinneresursseja ympäröivään maahan kasvamista varten. Paljasjuuriset taimet hyötyvätkin maanmuokkauksesta suhteellisesti enemmän kuin paakkutaimet (Nilsson ym. 2000). Paakkutaimien riittävä kastelu ennen istutusta vähentää kuolleisuutta ja nopeuttaa juurtumista paakusta maahan (Heiskanen ja Rikala 2000). Sekä paljasjuurisilla että paakkutaimilla (erityisesti varhaisimmilla paakkutyypeillä) esiintyy istutuksen jälkeen juurien kiertymistä ja rakenteen epämuotoisuutta (Huuri 1976, Parviainen 1976, Rautiainen ja Kubin 1997). Pienten taimien juuristo kasvaa yleensä tasasuhteisemmin kuin kookkaiden (Rautiainen ja Kubin 1997).

Pisimmät taimet kasvavat istutuksen jälkeen yleensä pituutta enemmän kuin lyhimmät, vaikka suhteellinen kasvunopeus voi olla samaa tasoa (Rikala 1989, McMinn ym. 1995, Saksa 1998). Koska istutuksessa käytetyt paakkutaimet ovat yleensä paljasjuurisia lyhempiä, niiden pituusero paljasjuurisiin nähden voi olla vielä useiden vuosienkin jälkeen suhteessa sama kuin istutettaessa (Nilsson ja Örlander 1999a, Mäkitalo 1999). Taimien kokoerot vaikuttavat taimilajia enemmän myös hyönteistuhokestävyys. Mitä paksumpi taimen tyviläpimitta on, sitä parempi on sen kestävyys ja elossaolo tukkimiehentäitä vastaan (Örlander ja Nilsson 1999, Nilsson ym. 2000). Samoin suurien taimien kilpailukyky pintakasvillisuutta vastaan on yleensä parempi pieniin verrattuna (Örlander ym. 1990, Johansson 1995).

Paakkutaimet lähtevät usein keväällä kasvuun paljasjuurisia aikaisemmin, mikä altistaa paakkutaimet herkemmin kevätkauden hallatuholle ainakin 1-2 v. istutuksesta (Nilsson ym. 2000, Langvall ym. 2001). Lisäksi erityisesti pienten (paakku)taimien on todettu olevan alttiita roustetuholle, joita, samoin kuin kuivumistuhoja, voidaan kuitenkin merkittävästi vähentää istuttamalla taimet normaalia syvempään (Örlander ym. 1990, 1991, Sutton 1993, Repo ja Valtanen 1994). Toisaalta pienet, matalat taimet voivat pintakasvillisuuden suojassa selvitä hallasta isoja paremmin (Kolström 1991, Örlander ym. 1991). Eri paakkutyyppeiden (paakun syvyys, muoto, tilavuus) vaikutuksista kuusen uudistumiseen ei liene tutkimuksia.

Kasvupaikan vaikutus mukautumisolosuhteisiin

Kasvupaikkojen ominaisuudet antavat potentiaaliset rajat istutustaimien kasvuedellytyksille ja tuotoskyvylle jatkossa. Suomessa valtaosa metsämaista sijaitsee lajittumattomilla moreenimailla (Kujansuu 1985), joista suurin osa on tyypiltään hienohiekkamoreenia (Virkkala 1969, Haavisto 1983, Tamminen 1991). Maan raekoon perusteella ei yksinomaan voida päätellä kasvupaikkatyyppiä,

ravinteisuutta tai maan vesipitoisuutta, vaikka sillä onkin niihin merkittävä vaikutus (Aaltonen 1941, Urvas ja Erviö 1974, Heiskanen 1988, 1989, Tamminen 1998).

Maan vesipitoisuus riippuu säätekijöiden ohella maan vedenpidätyskyvystä, pohjavedenpinnan tasosta ja topografiasta (Heiskanen 1989, Nordén 1989, Holmgren 1994, Nyberg 1996, Heiskanen ja Mäkitalo 2002). Pääsääntöisesti kosteat, hienojakoiset ja viljavat maat ovat kuusen kasvupaikkoja, kun taas mänty menestyy kuivemmilla, karkeajakoisemmilla ja niukkaravinteisilla kasvupaikoilla (Cajander 1949, Kujala 1958, Hägglund ja Lundmark 1977, Heiskanen ja Mäkitalo 2002). Kuusen on todettu erityisesti Pohjois-Suomessa valikoituvan luontaisesti kosteille (maan vesipitoisuus 10-50 %) ja männyn kuiville (<30 %) kankaille, joiden maaperän fysikaaliset ominaisuudet poikkeavat merkitsevästi toisistaan (lähinnä vedenpidätyskyky ja ilmatila) (Sepponen ym. 1979, Sutinen ym. 1996, Hänninen 1997, Penttinen 2000, Heiskanen ja Mäkitalo 2002). Lapissa liian märän kasvupaikan valinta männylle on myös todettu heikentävän uudistamistulosta tai aiheuttavan sen täydellisen epäonnistumisen vielä 10-20 v. kuluttua istutuksesta (Lähde 1974, Lähde ja Mutka 1974, Lähde 1978, Mäkitalo 1999, Mäkitalo ja Heiskanen 2001). Lapissa kuusen kasvupaikoilla maan ilmatila voi olla pitkiäkin aikoja kasvukauden alussa ja sadejaksojen jälkeen varsin alhainen (alle 10-15 %) (Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981, Sutinen ym. 1997). Ruotsissa kastelun on todettu lisäävän kuusenkasvua Etelä- muttei Pohjois-Ruotsissa (Bergh ym. 1999).

Paitsi kasvupaikkojen välillä myös niiden sisälläkin puuston veden- ja ravinteidensaataavuus ja kasvu vaihtelevat ja riippuvat maan ominaisuuksista (Viro 1947, 1962, Hägglund ja Lundmark 1977, Heiskanen 1988, Holmgren 1994). Maan hienojakoisuus indikoi yleensä hyvää veden- ja ravinteidensaataavuutta, mutta ennen kaikkea humuskerroksen typpipitoisuus korreloi sekä männyn että kuusen tuotoskyvyn kanssa (Tamminen 1991, 1993, Nohrstedt ja Jacobson 1994). Uudistusalalla maan typpipitoisuus ja sen potentiaalinen saataavuus taimille riippuvat orgaanisen aineksen pitoisuudesta ja sen mineralisoitumisesta (Örlander ym. 1990, Smolander ym. 2000). Toisaalta erityisesti hienojakoisilla ja viljavilla uudistusaloilla lisääntyvä pintakasvillisuus kilpailee taimen kanssa vedestä ja ravinteista.

Maalajin routaantuminen riippuu pääosin samoista tekijöistä kuin vedenpidätyskyky ja -johtavuus. Vedenjohtavuus lisääntyy raekoon pienetessä, mutta on aivan hienoimmilla savimailla heikkoa. Vedenjohtavuus on hienossa hiekassa noin 10-100 mm vrk⁻¹ ja moreenimaassa noin 100-1000 mm vrk⁻¹ kenttäkapasiteetissa (n. -10 kPa) (Heiskanen 1999, Heiskanen ja Mäkitalo 2002). Taimien roustetuhoriski on myös suuri alavilla, hallanaroilla, hyvin vettäjohtavilla, kosteilla mailla (Goulet 1995). Pahiten roustuvat hiesumaat (Repo ja Valtanen 1994). Karkeilla ja toisaalta savisilla mailla routaantuminen ja roustuminen on vähäistä. Kuitenkin hienojakoisilla hiesu- ja savimailla erityisesti mänty, mutta myös kuusi, menestyy heikosti maan tiiviydestä ja märkyydestä johtuen (Bärring 1967, Laiho ja Hovila 1992, Repo ja Valtanen 1994, Johansson 1995).

Taimien juurtenkasvu on istutuksen jälkeen parempi maan tunkeumavastuksen ollessa alhainen (Heiskanen ja Rikala 1998). Maan tunkeumavastus lisääntyy hienoaineksen määrän ja maan tiheyden kohotessa sekä orgaanisen aineksen määrän ja vesipitoisuuden aletessa. Maan tiivistyessä taimien

juurtumissyvyys pienenee siten enemmän hienojakoisessa kuin karkeassa maassa (kuva 5) (Zisa ym. 1980). Maalajista riippuen metsämaan tiheys vaihtelee suuresti (1,0-1,8 g cm⁻³) ja niinkin suuria arvoja kuin 2,0 g cm⁻³ voi esiintyä pohjamaassa (Heiskanen 1988, Tamminen ja Starr 1994, Heiskanen ja Mäkitalo 2002).

Periaatteessa turvekankaat ja metsitettävät pellot ovat uudistumisolosuhteiltaan verrattavissa vastaaviin kangasmaihin (Kaunisto ja Päivänen 1985, Saarinen 1989, 1997, Wall ja Heiskanen 1998). Viljavat turvekankaat ja pellot heinittyvät voimakkaasti kuten lehtomaiset kankaat. Kuitenkin maan orgaanisen aineksen pitoisuus on kangasmaita suurempi. Lisäksi pohjavesitaso voi turvekankailla olla korkeampi (märkyysriski), lämpöolot äärevämmät (erityisesti alavilla mailla) ja ravinnetalous epätasapainoinen (usein N ylimäärä ja B puute). Lisäksi voi paikoin esiintyä runsasta hieskoivuvesakkoa. Maatunut pintaturve voi lisätä myös taimien roustetuhoriskia.

Maanpinnan käsittelyn vaikutus mukautumisolosuhteisiin

Lämpö- ja vesiolot

Humuskerros hidastaa lämmönjohtumista maahan, koska sen lämmönjohtavuus on huomattavasti alhaisempi kuin paljaan mineraalimaan (Laurén 1997). Siten maanmuokkauksessa eristävän humuskerroksen poisto (Bjor 1971) ja kohoumien muodostaminen lisäävät maahan imeytyvän säteilyn määrää erityisesti märillä mailla ja kylmissä oloissa, mikä kohottaa maan lämpötilaa ja lämpösummaa tasamaahan verrattuna jopa yli 10 v. ajan (Mälkönen 1972, Söderström 1976a, 1976b, Lähde 1978, Lähde ym. 1981, Kubin ja Kemppainen 1994, Macadam & Bedford 1998). Lämpösumman nousu on suhteessa sitä suurempi, mitä pohjoisempana uudistusala on (Mannerkoski ja Mälkönen 2000). Myös humuskerroksen sekoittuminen mineraalimaan voi parantaa kuivatusta ja kohottaa lämpötilaa (Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981). Muokkauksehoidon muodostuminen vähentää kasvukaudella maanpinnan läheisen ilman lämpötilavaihteluja ja siten myös hallariskia (Kubin ja Kemppainen 1994).

Kuusen ja männyn juurtenkasvun lämpötilaoptimia (>20 °C) ei metsämaassa useinkaan saavuteta. Varsinkin keväällä istutettaessa minimilämpötilakin (8-12 °C) voi usein jäädä saavuttamatta. Siten lämpötilan nousu maanmuokkauksen seurauksena lisää istutustaimien kasvua ja elossaoloa sekä luontaista taimettumista sekä männyllä että kuusella koko Suomen alueella (Levula 1990, Saksa ym. 1990, Örländer ym. 1990, Kubin ja Kemppainen 1994). Kuusen paljasjuuriset taimet hyötyvät maanmuokkauksesta paakkutaimia enemmän (Nilsson ym. 2000). Yleensä muokkauksen voimakkuuden lisääntyessä taimien elossaolo ja kasvu lisääntyvät (Kubin ja Savilampi 1995, Valtanen ja Tasanen 1996, Mäkitalo 1999, Nordborg 2001). Esim. mättäissä uudistumistulos on parempi kuin laikuissa. Mättäiden koon suurentaminen ei sen sijaan ole hyödyllistä (Kubin ja Savilampi 1995, Schildt 2000). Muokkaus lisää myös juuriston kokoa ja ennen kaikkea sen syvyyttä (Rautiainen ja Kubin 1997). Erityisesti männyllä kohonnut maan lämpötila lisää juurtenkasvua (Söderström 1977). Toisaalta muokkauksehoidossa ilman lämpötila maanpinnalla voi nousta selvästi yli 30 °C:een (Raulo ja Rikala 1981, Kubin ja Kemppainen 1994), mikä voi jo haitata kasvua erityisesti kuusella (Söderström 1976b, Örländer 1985).

Koska muokkauksen seurauksena maan lämpötila kohoaa, vesipitoisuus kohoumassa alenee lisääntyneen haihdunnan vuoksi vaikka pohjavesitaso hakkuualalla yleensä nousee puuston poistuttua. Mättäiden vesipitoisuus on usein todettu alhaisemmaksi kuin tasamaalla varsinkin jos mätäs on asetettu veden kapillaarista nousua eristävän humuskerroksen päälle (Mälkönen 1976, Lähde 1978, Örlander ym. 1990, Nohrstedt 2000, Mäkitalo ja Heiskanen 2001). Vaikka humuskerros varastoi vettä, kuivuneena se alentaa vesipitoisuutta korkeissa mättäissä ja hidastaa vedensaatavuutta alhaalta päin, mikä voi heikentää taimienkasvua (Örlander 1985, 1986). Erityisesti pienet minitaimet ovat alttiita kuivuudelle, joilloin äestysjälki voi olla korkeita mättäitä parempi istutuskohta (Lindström & Hellkvist 2003). Lisäksi hienojakoinen maa mättäissä voi lisätä kuivuutta, koska se korkean vedenjohtavuuden vuoksi kuivuu nopeammin kuin karkea maa. Erityisesti savi- ja hiesumailla korkeat mättäät voivat myös kovettua, halkeilla ja tiivistyä (Laiho ja Hovila 1992). Toisaalta laikuissa tai äestysurassa taimet voivat sateisina kausina joutua veden valtaan. Märkyys haittaa uudistumista erityisesti alavissa notkelmissa, mutta kuivatusta (auraus, ojitus) vaativat yleensä tasaisetkin savimaat (Bärring 1967, Johansson 1995). Kosteilla mailla syvät aurausvaot voivat toisaalta rajata juuriston vain palteeseen, koska märissä vaoissa juuret kuolevat (Markova 2000).

Vaikka ilman lämpötilavaihtelut voivatkin vähetä, muokkaukskohoumissa lämpötilavaihtelut ja siten sulamis-jäätymis-sykliit voivat toisaalta lisääntyä, mikä lisää taimien roustetuhoriskiä erityisesti kosteilla, hienojakoisilla, vettäjohtavilla mailla (Örlander ym. 1990, 1991, Kubin ja Kemppainen 1994, Repo ja Valtanen 1994, Goulet 1995). Rousteriski on olemassa myös laikuissa ja aurausjäljessä, koska niissä kosteus on usein suuri (Örlander ym. 1990). Sen sijaan kuivissa mättäissä rousteriski on yleensä vähäisempi (Örlander 1995). Käyttämällä maanpinnalla kateaineita, kuivattamalla maa riittävästi, jättämällä maa käsittelemättä sekä käyttämällä isoja taimia ja istuttamalla riittävän syvään voidaan rouste- sekä kuivumisriskiä vähentää (Örlander ym. 1990, 1991, Goulet 1995).

Kääntömätästyksessä paikalleen käännetty maa lämpenee keväällä aikaisemmin kuin tavallisessa mättäessä, koska ilmeisesti maan routaantuminen on vähäisempää (Örlander 1997, Örlander ym. 1998). Kääntömättäissä taimien onkin todettu kasvavan jopa paremmin kuin laikkumättäissä, koska maan kosteus on suurempi ja ravinteiden vapautuminen nopeampaa. Koko uudistusalan täydellinen muokkaaminen tasaa maan ominaisuuksien eroja ja vähentää pintakasvillisuutta ja tasaa siten myös kuusitaimien pituuskasvun vaihtelua (Nordborg 2001). Molempien menetelmien soveltuvuus märille maille on ilmeisesti tutkimatta.

Syksyisin maan jäähtyessä muokkaukskohoumissa minimilämpötilat ovat tasamaata alemmat, mikä voi lisätä hallatuhoja myös kasvukauden lopulla (Örlander ym. 1990, Ritari 1995, Örlander 1995). Minimilämpötiloissa voi esim. aurauspalteen ja laikun välillä olla -5...-6 °C ero (Örlander ym. 1990). Kohoumissa kuusenkasvu alkaa usein keväällä aiemmin kuin matalammassa istutuskohdissa, mikä voi myös lisätä hallatuhojen riskiä keväällä. Erityisesti liian korkeissa mättäissä kuusi saattaa juroa, mikä johtunee pääasiassa kevätahavasta sekä siitä että juuret eivät yllä humuskerroksen typpivarantoon. Kevätahavan ja hallan suorita vaurioita on voitu kuitenkin vähentää käyttämällä taimen vieressä

varjostavaa taimisuoja (Lundmark ja Hällgren 1987, Örlander ym. 1990, 1991). Varjostussuojan käyttö voi lisätä myös taimienkasvua ja vähentää tuhoja, mikä todennäköisesti selittyy lähinnä kuivan alkukesän paahteen alenemisella (julkaisematon koe Suonenjoella).

Mineralisaatio ja ravinteet

Hallsbyn (1994) Pohjois-Ruotsissa tekemien tutkimusten mukaan humuskerroksen sekoittaminen (murskattuna tai palasina) mineraalimaan lisää kuusen paakkuksien kasvua istutuksen jälkeen (3 v.). Humuskerroksen pintaosa (F) lisäsi kasvua enemmän kuin maatumempi pohjaosa (H). Hakkuutähdehakkeen sekoituksen puolestaan todettiin vähentävän kasvua, koska todennäköisesti lisääntynyt hajotustoiminta sitoi ravinteita. Hakkeen pintalevitys voi toisaalta vähentää pintakasvillisuuden kilpailua. Kaikkein parhaiten taimet kuitenkin kasvoivat heti hakkuun jälkeen käsittelemättömään maahan istutettaessa, jolloin juuret pääsivät hetimiten kasvamaan humuskerrokseen tai välittömästi alle sen. Tällöin voi kuitenkin olla olemassa maankäsittelyyn nähden suurempi tukkimiehentäin tuhoavaara sekä pintakasvillisuuden kilpailu (Långström 1982, Örlander ym. 1990, 1991, Örlander ja Nilsson 1999). Humuksen kasvuvaikeus kuusentaimilla liittyy ennen kaikkea typensaatavuuden lisääntymiseen (Nordborg 2001). Lisäksi humuksen maassa mahdollisesti aiheuttama lisääntynyt ilmavuus ja lämpötila sekä alentunut rousteen muodostus saattoivat edistää taimien kasvua.

Istutusalan kohonnut lämpötila sekä erityisesti voimakas humuksen ja mineraalimaan sekoittuminen (auraus, mätästys, jyrästä) lisää biologista aktiivisuutta ja orgaanisen aineksen hajoamista sekä parantaa uudistumistulosta (Mälkönen 1972, Ritari ja Lähde 1978, Salenius 1983, Palmgren 1984, Hallsby 1994, McMinn ym. 1995, Lundmark-Thelin ja Johansson 1997, Smolander ym. 2000). Mätäissä onkin usein moninkertainen typpipitoisuus verrattuna käsittelemättömään maahan, koska mätäisiin on kertynyt maatumaa humusta ja niillä pintakasvillisuus ja sen typenotto on vähäistä (Örlander ym. 1990, Nohrstedt 2000, Smolander ym. 2000). Lievempi maankäsittely (laikutus, äestys) lisää maatumista ja ravinteiden mineralisaatiota vähemmän (Johansson 1994, Nesdoly ja Rees 1998). Toisaalta, mikäli muokkauksessa poistuu humuskerros laajalti istutuskohdan ympäriltä, se voi heikentää ravinteidensaatuutta (lähinnä N ja P) ja siten taimienkasvua (Nyland ym. 1979).

Lannoitus istutuksen jälkeen voi joskus lisätä taimienkasvua, mutta yleensä vaikutus on vähäinen tai jopa negatiivinen (Pohtila 1972, Leikola ja Rikala 1974, Mälkönen 1976, Huuri 1980, Levula 1990). Voimakas (typpi)lannoitus saattaa heikentää taimien vedensaatuutta ja johtaa heikentyneeseen kasvuun ja kuolleisuuden lisääntymiseen (Söderström 1976a). Toisaalta tippukasteluun yhdistetty lannoitus (Örlander 1995) ja pelkkä kastelukin (Heiskanen ja Rikala 2000) edistävät kasvua istutuksen jälkeen. Maanmuokkaus ja pintakasvillisuuden torjunta lisäävät maaveden typpipitoisuutta, koska vapautuvaa typpeä ei sitoudu kasveihin (Örlander ym. 1996, Nohrstedt 2000, Smolander ym. 2000). Alussa typpeä voi hakkuun ja muokkauksen jälkeen huuhtoutua pohjaveteen (Kubin 1995, 1998). Toisaalta muokkaamattomat kohdat heinittyvät pian ja sitovat typpeä, jolloin koko muokkausala kohti vapautuva typpimäärä ei juuri lisääny.

Maanmuokkauksessa vapautuu myös rikastumiskerroksen rautaa ja alumiinia (Macdonald ym. 1998, Tanskanen ja Ilvesniemi 1999). Liukoinen alumiini ja muut metallit voivat riittävän suurina pitoisuuksina aiheuttaa taimille juurivaurioita ja kasvuhäiriöitä (Nosko ym. 1988, Henriksen ym. 1992, Ilvesniemi 1992, Nosko ja Kershaw 1992, Cizkova 1995, Brunner ym. 1999, Ahonen-Jonnarth 2000), mutta uudistusaloilla männyn- ja kuusentaimien lisääntyneiden alumiinipitoisuuksien ei ole käytännössä todettu aiheuttavan taimille haittaa (Levula 1988, 1990, Macdonald ym. 1998).

Kulotus alentaa maan happamuutta ja lisää ravinteidensaataavuutta, mikä yleensä edistää uudistumistulosta muokkaamattomassa maassa (Levula 1988, Örlander ym. 1990). Kuusi saattaa kuitenkin juroa mikäli maata ei muokata hyvin, minkä syytä ei tiedetä. Kulotusalalla kuusi saattaa altistua tuhkan ainesosille, kuivumisriskille ja/tai mikroilmaston äärevöitymiselle sekä mykorritsojen muutoksille.

Maan rakenne

Humuskerroksen sekoittaminen kivennäismaahan yleensä parantaa uudistamistulosta (Palmgren 1984, Ritari ja Lähde 1978, McMinn ym. 1995), mikä voi osin johtua maan rakenteen muutoksesta. Maan löyhtyminen ja humuskerroksen sekoittuminen muokkauksessa ainakin aluksi alentaneen vedenjohtavuutta ja routivuutta. Heikosti maatuneessa männikön humuskerroksessa vedenjohtavuus kenttäkapasiteetissa on hyvin alhainen noin 0,1-1 mm vrk⁻¹, joka kuivuessa edelleen alenee jyrkästi (Laurén ja Heiskanen 1997). Löyhässä muokkausjäljessä sadeveden imeytyminen on puolestaan suurempi kuin laikussa (Mannerkoski 1991). Humuskerroksen kyllästysvedenjohtavuus voi olla niinkin korkea kuin 10-1000 m vrk⁻¹ (Laurén ja Heiskanen 1997), kun se moreenimaassa on vain 0,1-2 m vrk⁻¹ (Heiskanen ja Mäkitalo 2002).

Yleensä viljavat, hienojakoiset kuusen kasvupaikat edellyttävät voimakkaampaa maankäsittelyä kuin karkearakeiset (Lähde 1978, Örlander ym. 1990, Repo ja Valtanen 1994, McMinn ym. 1995, Mäkitalo 1999). Tämä selittyy osaltaan sillä, että viljavat hienot moreenimaat ovat usein liian tiiviitä taimien juurtenkasvulle. Muokkaamattomassa maassa hienoainespitoisuus vähentää juurtumista paakusta maahan (Rautiainen ja Kubin 1997). Tiiviillä ja kosteilla mailla myös istutus liian tiukka istutuskuoppaan (kanki-istutus) ja syvään heikentävät juurten kasvua ja elossaoloa (Huri 1972). Toisaalta heti istutuksen jälkeen tiiviikkössä maassa taimien vedenotto ja haihdutus voivat olla suurempia kuin löyhässä maassa sen paremman vedenjohtavuuden vuoksi. Vedenotto on kuitenkin lopulta parempi löyhässä maassa, koska siinä juuret ovat kasvaneet paremmin (Smolander ym. 1981). Koska metsämaan tiheys on keskimäärin suurempi (1,4-1,5 g cm⁻³) (Heiskanen 1998, Tamminen ja Starr 1994) kuin juurtenkasvun optimitiheys (<1,2 g cm⁻³) (Zisa ym. 1980, Korotaev 1992), voidaan taimienkasvua ja juurtumista maahan edistää pienentämällä maan tiheyttä. Juurtenkasvu voi lisääntyä myös humuskerroksessa, kun sen rakenne rikkoutuu, vaikka tiheys ei muuttuisikaan (den Ouden ja Vogels 1997). Muokattu maa voi silti jäädä liian tiiviiksi mätästyksen verrattuna, mikä voi selittää heikompaa uudistumistulosta äestyksessä ja laikutuksessa (Kivimaa 1987, Schildt 2000).

Pintakasvillisuus

Heinittymiselle alttiit viljavat ja hienojakoiset maat sekä viljavat turvekankaat edellyttävät muokkausta myös pintakasvillisuuden torjumiseksi, sillä kasvillisuus tulee paljastettuun maahan ja mätäisiini hitaasti.

Maanmuokkauksella voidaan torjua pintakasvillisuutta yhtä tehokkaasti kuin useilla herbisidikäsitteilyillä, mutta erillinen heinätorjunta saattaa silti olla tarpeen voimakkaasti heinittyvillä kasvupaikoilla (Raulo ja Rikala 1981, Nilsson ja Örlander 1999a, 1999b). Pintakasvillisuutta on mahdollista torjua myös höyrytyksellä (Norberg 1998).

Tukkimiehentäi

Pintakasvillisuuden torjunta ei kuitenkaan vaikuta tukkimiehentäin tuhoihin (Örlander ja Nilsson 1999). Sen sijaan maanpinnan käsittely, jossa paljastuu riittävästi mineraalimaata taimen ympärille (10-20 cm), vähentää taimituhoja merkittävästi ja estää osaltaan juromista (Söderström 1977, Örlander ym. 1990, Örlander ym. 1991, Örlander ja Nilsson 1999). Taimien perimetriinikäsitteily torjuu tukkimientäin tuhoja tehokkaasti (Örlander ja Nilsson 1999). Mikäli sopivien kemikaalien käyttö ei tulevaisuudessa ole mahdollista, voidaan tukkimiehentäin tuhoja vähentää myös mekaanisilla suojilla (Hofsten ym. 1999, Nordlander ym. 2000).

Jatkotutkimustarpeita

Kuusi on varjoasietävä kliimaksipuulaji, mutta se voi silti uudistua usein avohakkuualoillakin varsin hyvin. Kuusenuudistamisen ekofysiologiset perusteet poikkeavat kuitenkin pioneeripuista kuten männystä. Kasvuvaatimukset esim. ravinteiden ja hapensaataavuuden suhteen sekä maanpinnan käsittelyn vaikutukset uudistamistulokseen ovat kuusella erilaiset kuin männyllä. Myös verson ja juuriston alkukehitys poikkeaa näillä puulajeilla toisistaan. Siten männynuudistamisen periaatteet eivät suoraan sovellu kuuselle.

Kuusitaimikoiden pituuskehitys on yleensä hitaampi ja vaihtelevampi kuin männyllä. Havaintoja kuusen juromisesta on usein vanhastaan esitetty (mm. Kalela 1939, Heikinheimo 1941, Karjula ym. 1982, Kivimaa 1987, Parviainen 1994), mutta käytännön inventointituloksia istutuksenjälkeisestä kasvunvaihtelusta ja taantumasta paakkutaimilla on Suomessa niukasti (Tuomola 2002). Kuusen kasvunvaihtelun suoranaiset syyt ovat myös osin avoimia. Kuitenkin kuivuus, halla ja ahava voivat vähentää kuusenkasvua merkittävästi istutuksen jälkeen. Mätästyksen verrattuna laikutettaessa ja äestettäessä kuusen uudistuminen (elossaolo) on usein heikompaa (Kivimaa 1987, Schildt 2000). Tämä voi johtua heikommasta typensaataavuudesta, maan tiiviyydestä, kylmyydestä ja/tai erityisesti sadekausina märkydestä, mutta kattavaa tietoa niistä ei ole. Lisäksi kuusen pituuskasvu ja juurten kasvupotentiaali voi riippua taimen iästä (Heikinheimo 1941, Osara 1952, Björkman 1953), geneettisestä perimästä (Napola 2001) ja/tai ravinteidenoton mukautumisen sekä mykorritsojen kolonisaation hitaudesta (Björkman 1953, Kronzucker ym. 1997, Grossnickle 2000), joista lisätietoa myös tarvittaisiin. Tietoa puuttuu myös esim. paakkutyypin ja taimimateriaalin laadun sekä istutuksen ajankohdan ja työnlaadun vaikutuksista uudistumistulokseen.

Kuusen paakkutaimien istutuksenjälkeinen kehitys ja siihen vaikuttavat syyt ovat siis monelta osin selvittämättä, vaikka pääpiirteet yksittäisten uudistamismenetelmien ja kasvuolojen vaikutuksesta kuusen alkukehitykseen tunnetaankin. Mätästys yleensä edistää kuusen uudistumista (elossaoloa ja kasvua),

mutta esim. taimilajin (ikä, paakkutyypin) ja maanmuokkausmentelmän yhdistelmän vaikutusta ulottuen taimikon vakiintumiseen asti ei käytännössä tunneta. Olemassa oleva tieto sekä kuusi- että mäntytaimikoiden pituuseroista heti istutuksen jälkeen sekä kasvuerojen ja pituusjakaumien myöhemmästä kehityksestä on puutteellista ja hajanaista ja tulisi täydentää aikaisempaa kattavammilla ja systemaattisemmilla inventoinneilla. Inventoinneissa tulisi etsiä myös syitä kasvueroihin esim. vertailemalla hyviä ja huonoja taimikoita. Lisäksi järjestetyillä kasvatuskokeilla tulisi tutkia tarkemmin, mitkä käsittelyt ja olosuhteet tai niiden yhdistelmät saavat kuusen kasvun vaihtelevaan tai suoranaisesti juromaan uudistusallalla. Myös kasvunvaihteluiden fysiologiset perusteet, kuten taimikunnan vaikutus ennalta määräytyneeseen kasvuun, vaativat lisätutkimuksia.

Kiitokset

Käsikirjoitusta ovat kommentoineet dos. H. Smolander, MMT:t R. Rikala, T. Saksa ja J. Luoranen sekä MH K. Mäkitalo.

Viitteet

- Aaltonen, V.T. 1936. Kuusi männyn kilpailijana kasvupaikasta. *Acta Forestalia Fennica* 42.2. 39 s.
- 1941. Die finnischen Waldböden nach der Erhebungen den zweiten Reichswaldschätzung. *Metsäntukimuslaitoksen julkaisuja* 29.5. 71 s.
- Ahonen-Jonnarh, U. 2000. Growth, nutrient uptake and ectomycorrhizal function in *Pinus sylvestris* plants exposed to aluminium and heavy metals. *Acta Univ. Agr. Sueciae*. Doctoral dissertation. *Silvestria* 130. 61 s.
- Atkinson, D. & Wilson, S.A. 1979. The root-soil interface and its significance for fruit tree roots of different ages. Teoksessa: Harley, J.L. & Russell, R.S. (toim.) *The soil-root interface*. Academic Press, London. s. 259-271.
- Bartsch, N. 1987. Responses of root systems of young *Pinus sylvestris* and *Picea abies* plants to water deficits and soil acidity. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 805-812.
- Bergh, J., Linder, S., Lundmark, T. & Elfving, B. 1999. The effect of water and nutrient availability on the productivity of Norway spruce in northern and southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 119: 51-62.
- Bjor, K. 1971. Forstmeteorologiske, jordbunnsklimatiske og spireøkologiske undersøkelser. Summary: Forest meteorological, soil climatological and germination investigations. *Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen* 28: 429-526.
- Björkman, E. 1953. Om orsakerna till granes tillväxtsvårigheter efter plantering i nordsvensk skogsmark. *Norrlands Skogsvårdsförbunds Tidskrift*: 285-316.
- Brunner, I., Rigling, D., Egli, S. & Blaser, P. 1999. Response of Norway spruce in relation to chemical properties of forest soils. *Forest Ecology and Management* 116: 71-81.
- Burdett, A.N. 1990. Physiological processes in plantation establishment and development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 415-427.
- Bärring, U. 1967. Studier av metoder för plantering av gran och tall på åkermark i södra och mellersta Sverige. *Studia Forestalia Suecica* 50. 332 s.
- Cade-Menun, B.J., Berch, S.M., Preston, C.M. & Lavkulich, L.M. 2000. Phosphorus forms and related soil chemistry of podzolic soil on northern Vancouver Island. II. The effects of clear-cutting and burning. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1726-1741.
- Cajander, A.K. 1949. Metsätyypit ja niiden merkitys. *Acta Forestalia Fennica* 56.4. 69 s.
- De Chantal, M., Leinonen, K., Kuuluvainen, T. & Cescatti, A. 2003. Early response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings to an experimental canopy gap in a boreal spruce forest. *Forest Ecology & Management* 176: 321-336.
- Cienciala, E., J. Kucera, and A. Lindroth 1999. Long-term measurements of stand water uptake in Swedish boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 89-99: 547-554.
- Cizkova, R. 1995. Phytohormonal levels in spruce roots under aluminium stress. Teoksessa: Baluska, T., Ciamporová, M., Gaspariková, O. & Barlow, P.W. (toim.) *Structure and Function of Roots. Development in plant and soil sciences*, Vol. 58. s. 335-339.
- Cole, E.C. & Newton, M. 1986. Nutrient, moisture and light relations in 5-year-old Douglas fir plantations under variable competition. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 727-732.
- Day, R.J. & Skoupy, S.J. 1971. Moisture storage capacity and post-planting patterns of moisture movement from seedlings containers. *Canadian Journal of Forest Research* 1: 151-158.
- DeLucia, E.H. & Smith, W.K. 1987. Air and soil temperature limitations on photosynthesis in Engelmann spruce during summer. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 527-533.
- Domisch, T., Finér, L. & Lehto, T. 2001. Effects of soil temperature on biomass and carbohydrate allocation in Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings at the beginning of the growing season. *Tree Physiology* 21: 465-472.
- Eidmann, F.-E. & Schwenke, H.-J. 1967. Beiträge zur Stoffproduktion, Transpiration und Wurzelatmung einiger wichtiger Baumarten. *Forstwissenschaftliche Forschungen* 23. 46 s.
- Gale, M.R. & Grigal, D.F. 1987. Vertical root distributions of northern tree species in relation to successional status. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 829-834.
- Goulet, F. 1995. Frost heaving of forest tree seedlings: a review. *New Forests* 9: 67-94.
- Grossnickle, S.C. 1987. Influence of flooding and soil temperature on the water relations and morphological development of cold-stored black spruce and white spruce seedling. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 821-828.
- 1988. Planting stress in newly planted jack pine and white spruce. 1 Factors influencing water uptake. *Tree Physiology* 4: 71-83.
- 2000. *Ecophysiology of northern spruce species: The performance of planted seedlings*. NRC Research Press, Ottawa. 409 s.
- & T.J. Blake 1987. Water relation patterns of bare-root and container black spruce seedlings planted on boreal cut-over sites. *New Forests* 1: 101-116.
- Göransson, A. & Eldhuset, T.D. 1991. Effects of aluminium on growth and nutrient uptake of small *Picea abies* and *Pinus sylvestris* plants. *Trees: Structure and Function* 5: 136-142.
- Haavisto, M. (toim.) 1983. *Maaperäkartan käyttöopas*. Geologinen tutkimuslaitos. Opas 10. 80 s.
- Hallman, E., Hari, P., Räsänen, P. & Smolander, H. 1978. Effect of planting shock on the transpiration, photosynthesis and height increment of Scots pine seedlings. *Acta Forestalia Fennica* 161. 26 s.
- Hallsby, G. 1994. Growth of planted Norway spruce seedlings in mineral soil and forest organic matter - Plant and soil interactions with implications for site preparation. *Swedish Univ. Agr. Sci., Dept. Silviculture*. 27 s.
- Heikinheimo, O. 1920. Über die bestimmung des Alters der Fichte und ihre Adventivwurzeln. *Metsäntukimuslaitoksen julkaisuja* 2. 38 s.
- 1941. *Metsänistutusmenetelmistä*. Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja 29.4. 63 s.
- Heiskanen, J. 1988. Metsämaan vedenpidätyskyvystä ja sen suhteista eräisiin kasvupaikasta mitattuihin tunnuksiin. *Lis.työ*. Helsingin yliopisto, Metsänhoitotieteen laitos. 92 s.
- 1989. Kangasmaiden vesitalous. *Kirjallisuustarkastelu*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 339. 53 s.
- 1993. Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production: A review. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 337-358.
- 1995. Irrigation regime affects water and aeration conditions in peat growth medium and the growth of containerized Scots pine seedlings. *New Forests* 9: 181-195.
- 1999. Hydrological properties of container media based on sphagnum peat and their potential implications for availability of water to seedlings after outplanting. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 78-85.

- & Mäkitalo, K. 2002. Soil water-retention characteristics of Scots pine and Norway spruce forest sites in Finnish Lapland. *Forest Ecology and Management* 162: 137-152.
- & Rikala, R. 1998. Influence of different nursery container media on rooting of Scots pine and silver birch seedlings after transplanting. *New Forests* 16: 27-42.
- & Rikala, R. 2000. Effect of peat-based container media on establishment of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings after transplanting in contrasting water conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 49-57.
- & Rikala, R. 2003. Effect of peat-based container media on establishment of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings. *Tree Planters' Notes* 50: 28-33.
- , Viiri, H. 2001. Mätästys lisää kuusentaimien kasvua ja vähentää tukkimiehentäin tuhoja. *Taimi uutiset* 3: 4-6.
- Henriksen, T.M., Eldhuset, T.D., Stuanes, A.O. & Langerud, B.R. 1992. Effects of aluminium and calcium on *Picea abies* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7: 63-70.
- Hoffman, G. 1974. Beziehungen zwischen Bodenfeuchte und dem Wurzelwachstum von Forstgehölzen. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 8: 94-96.
- von Hofsten, H., Petersson, M. & Örlander, G. 1999. Mekaniska snytbaggeskydd - En lägesrapport. *Skogforsk Resultat* 24. 4 s.
- Holmgren, P. 1994. Topographic and geochemical influence on the forest site quality with respect to *Pinus sylvestris* and *Picea abies* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 75-82.
- Huikari, O. 1959. On the effect of anaerobic media upon the roots of birch, pine and spruce seedlings. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 50. 14 s.
- Hultén, H. 1991. Formning av täckrotsplantors rotsystem - RGC aktivitet i sammanband med plantering. *Sveriges Lantbruksuniversitetet, Inst. Skogsprod. Stencil* 73. 18 s.
- Huuri, O. 1972. Istutuksen suoritustavan vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 75.6. 92 s.
- 1976. Kallistumisilmiö istutusmänniköissä: tiedustelun tuloksia. *Folia Forestalia* 265. 22 s.
- 1980. Juurten hienofosfaattikäsiteltyyn vaikutus männyn ja kuusen istutustaimien alkukehitykseen kivennäismailla. *Folia Forestalia* 445. 25 s.
- Hyvän metsänhoidon suosituksset 2001. *Metsäkeskus Tapio*. 96 s.
- Hägglund, B. & Lundmark, J.-E. 1977. Site index estimation by means of site properties Scots pine and Norway spruce in Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 138. 38 s.
- Hämäläinen, J. 1997. Maanmuokkaus kevenee ja kehittyy. *Koneyrittäjä* 3: 28-29.
- Hänninen, P. 1997. Dielectric coefficient surveying for overburden classification. *Geological Survey of Finland. Bulletin* 396. 72 s.
- Häussling, M., Jorns, C.A., Lehmbecker, G., Hecht-Buchholz, Ch. & Marschner, H. 1988. Ion and water uptake in relation to root development in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Journal of Plant Physiology* 133: 486-491.
- Ilvesniemi, H. 1992. The combined effect of mineral nutrition and soluble aluminium on *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Forest Ecology and Management* 51: 227-238.
- Jalkanen, R. 1989. Lapin metsäpatologiset ongelmat. *Acta Lapponiae Fennica* 15: 32-47.
- Jarvis, P.G. & Jarvis, M.S. 1963. The water relations of tree seedlings. II. Transpiration in relation to soil water potential. *Physiologia Plantarum* 16: 236-253.
- Johansson, M.-B. 1994. The influence of soil scarification on the turn-over rate of slash needles and nutrient release. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 170-179.
- Johansson, T. 1995. Site index curves for Norway spruce plantations on farmland with different soil types. *Studia Forestalia Suecica* 198. 19 s.
- Jonsson, B. 1999. Stand establishment and early growth of planted *Pinus sylvestris* and *Picea abies* related to microsite conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 425-440.
- Jukka, L. (toim.) 1988. Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. *Samerka Oy*. 168 s.
- Juutilainen, P. 1962. Tutkimuksia metsätuhojen esiintymisestä männyn ja kuusen viljelytaimistoissa Etelä-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 54.5. 77 s.
- Kalela, E.K. 1939. Istutuskuusikoista. *Yksityismetsänhoitajayhdistyksen Vuosikirja* 12. 17 s.
- 1950a. Ecological characters of tree species and its relation to silviculture. *Acta Forestalia Fennica* 57.1. 35 s.
- 1950b. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista. *Acta Forestalia Fennica* 57.2. 79 s.
- Kalela-Brundin, M. 1984. Kuusen ekologiasta ja metsänhoidollisista erikoispiirteistä. *Sorbifolia* 15: 71-78.
- Karjula, M., Kaila, S., Parviainen, J., Päivänen, J. & Räsänen, P.K. 1982. Metsänviljelyvaihtoehtojen valintaperusteet kivennäismailla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 56. 116 s.
- Kaunisto, S. & Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemailla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. *Folia Forestalia* 625. 75 s.
- Kellomäki, S. 1991. Metsäekologia. *Silva Carelica* 7. 391 s.
- Kinnunen, K. 1977. Istutuksen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Länsi-Suomen yksityismetsissä. *Folia Forestalia* 318. 25 s.
- 1989. Taimilajin ja maanmuokkauksen vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. *Folia Forestalia* 727. 23 s.
- Kivimaa, T. 1987. Kuusen uudistaminen. *Teollisuuden Metsäviesti* 3: 18-22
- Kolström, T. 1991. Kuusen kylvö- ja istutuskoe viljavilla kivennäismailla Pohjois-Karjalassa. *Silva Fennica* 25: 99-108.
- , Nuutinen, J. 1995. Pintakasvillisuuden määrän vaikutus maan kosteus- ja lämpöoloihin sekä koivuntaimien kehitykseen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 581: 74-89.
- Korotaev, A.A. 1992. Bodenverdichtung und Wurzelwachstum der Bäume. *Forstarchiv* 63: 116-119.
- Kraske, C.R. & Fernandez, I.J. 1990. Conifer seedling growth response to soil type and selected nitrogen availability indices. *Soil Science Society of America Journal* 54: 246-251.
- Kronzucker, H.J., Siddiqi, M.Y. & Glass, A.M.D. 1997. Conifer root discrimination against soil nitrate and the ecology of forest succession. *Nature* 385: 59-61.
- Kubin, E. 1995. Site preparation and leaching of nutrients. *The Finnish Forest Research Institute. Research Papers* 567: 55-62.
- 1998. Leaching of nitrate nitrogen into the groundwater after clear felling and site preparation. *Boreal Environment Research* 3: 3-8.
- & Kempainen, L. 1994. Effect of soil preparation of boreal spruce forest on air and soil temperature conditions in forest regeneration areas. *Acta Forestalia Fennica* 244. 56 s.

- & Savilampi, P. 1995. Mättäiden koon ja istutuspaikan vaikutus taimettumiseen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 552: 28-41.
- Kujala, V. 1958. Kuusen suku. Teoksessa: Jalas, J. (toim.) *Suuri kasvikirja I* Otava. s. 129-141.
- Kujansuu, R. 1985. Quaternary deposits of Finland. Julkaisussa: Saarnisto, M. (toim.). *INQUA till symposium. Excursion guide. Field workshop. August 20-29. 1985. Finland.* s. 7-18.
- Köstler, J.N., Brückner, E. & Bibelriether, H. 1968. Die Wurteln der Wald bäume. Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. Verlag Paul Parey. Hamburg - Berlin. 284 s.
- Lahti, M., Aphalo, P.J., Finér, L., Lehto, T., Leinonen I., Mannerkoski, H. & Ryyppö, A. 2002. Soil temperature, gas exchange and nitrogen status of 5-year-old Norway spruce seedlings. *Tree Physiology* 22: 1311-1316.
- Laiho, O. & Hovila, K. 1992. Männyn äestysistutus savimaahan Somerolla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 423: 10-18.
- Laine, L. 1983. Kuusta uhkaavat tuhot. *Sorbifolia* 14: 167-171.
- Langvall, O., Nilsson, U. & Örländer, G. 2001. Frost damage to planted Norway spruce seedlings - influence of site preparation and seedling type. *Forest Ecology and Management* 141: 223-235.
- Laurén, A. 1997. Physical properties of the mor layer in a Scots pine stand. III. Thermal conductivity. *Canadian Journal of Soil Science* 77: 643-648.
- & Heiskanen, J. 1997. Physical properties of the mor layer in a Scots pine stand. I. Hydraulic conductivity. *Canadian Journal of Soil Science* 77: 627-634.
- Lehto, J. (toim.) 1969. *Metsänviljely. Kirjayhtymä.* 276 s.
- Leikola, M. & Raulo, J. 1973. Pellolle istutettujen männyn, kuusen ja rauduksen taimien alkukehityksestä. *Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja* 8. 24 s.
- & Rikala, R. 1974. Lannoituksen vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen kangasmailla. *Folia Forestalia* 201. 33 s.
- & Rikala, R. 1983. Verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin ja kuusen taimien menestymiseen. *Folia Forestalia* 559. 33 s.
- Levula, T. 1988. Kulutus ja muokkaus maankunnostusmenetelminä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 300: 15-30.
- 1990. Maanmuokkaus metsän uudistamiseksi. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 350: 71-84.
- Lindström, A. & Hellkvist, C. 2003. Miniplantor kan bli något stort. *Plantaktuellt* 1/2003: 1-3.
- Lippu, J. and P. Puttonen 1990. Istutustaimien juuriston alkukehitys kasvupaikalla. *Kirjallisuuskatsaus. Silva Fennica* 24: 57-75.
- Lopushinsky, W. & Kaufmann, M.R. 1984. Effects of cold soil on water relations and spring growth of Douglas fir seedlings. *Forest Science* 30: 628-634.
- Lundmark, T. & Hällgren, J.E. 1987. Effects of frost on shaded and exposed spruce and pine seedlings planted in the field. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 1197-1201.
- Lundmark-Thelin, A. & Johansson, M.-B. 1997. Influence of mechanical site preparation on decomposition and nutrient dynamics of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) needle litter and slash needles. *Forest Ecology and Management* 96: 101-110.
- Luoranen, J. 2000. Control of growth and frost hardening of silver birch container seedlings: growth retardants, short day treatment and summer planting. *Väitöskirja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 777. 167 s.
- Långström, B. 1982. Abundance and seasonal activity of adult *Hyllobius-weevils* in reforestation areas during first years following final felling. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 106. 23 s.
- Lähde, E. 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 94.5. 59 s.
- 1974. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 84.3. 23 s.
- , Mutka, K., 1974. Luontaisesti syntyneiden ja istutettujen kuusentaimien kehitys ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 83.3. 43 s.
- , Manninen, S. Tervonen, M., 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 98.7. 43 s.
- & Savonen, E.-M. 1983. Kastelun vaikutus männyn paakkutaimien kehitykseen sekä turpeen vesi- ja ilmasuhteisiin paakussa. *Folia Forestalia* 571. 40 s.
- Lindelöw, Å. 1992. Seedling mortality caused by *Hylastes cunicularius* Er. (Coleoptera, Scolytidae) In *Picea abies* plantations in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7: 387-392.
- Macadam, A. & Bedford, L. 1998. Mounding in the sub-boreal spruce zone of west-central British Columbia: 8-year results. *The Forestry Chronicle* 74: 421-427.
- Macdonald, E.S., Schmidt, M.G & Rothwell, R.L. 1998. Impacts of mechanical site preparation on foliar nutrients of planted white spruce seedlings on mixed-wood boreal forest sites in Alberta. *Forest Ecology and Management* 110: 35-48.
- Magnusson, T. 1992. Temporal and spatial variation of the soil atmosphere in forest soils of northern Sweden. Doctoral dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. Forest Site Research, Umeå. Stencil 22. 25 s.
- Mannerkoski, H. 1991. Maanmuokkauksen vaikutus maan vesi-, happi- ja lämpöolouteen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 383: 43-51.
- & Mälkönen, E. 2000. Soil preparation for forest regeneration. 790: 147-157.
- Markova, I.A. 2000. The main factors contributing to successful growth of forest plantations in northwestern Russia. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 790: 175-182.
- McMinn, R.G., Grismer, M. & Herring, L.J. 1995. Site preparation, stock selection and white spruce performance in western Canada. *The Finnish Forest Research Institute. Research Papers* 567: 63-68.
- Metsätalostollinen vuosikirja* 2003. Metsäntutkimuslaitos. 385 s.
- Metsänhoitosuosituksset. Luonnonläheinen metsänhoito* 1994. Metsäkeskus Tapio. Julkaisu 6/1994. 72 s.
- Mohammed, G.H. & Parker, W.C. 1999. Photosynthetic acclimation in eastern hemlock [*Tsuga canadensis* (L.) Carr] seedlings following transfer of shade-grown seedlings to high light. *Trees* 13: 117-124.
- Mäkitalo, K. 1999. Effect of site preparation and reforestation method on survival and height growth of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 512-525.
- , Heiskanen, J. 2001. Männynviljelyn onnistuminen ja siihen vaikuttavat tekijät - tuloksia pitkäaikaisesta metsänviljelykokeesta Lapissa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 803: 71-103.
- Mälkönen, E. 1972. Näkökohtia metsämaan muokkauksesta. *Folia Forestalia* 137. 11 s.
- 1976. Markberedningens ekologi och inverkan på planteringsresultatet. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse* 6: 11-15

- Napola, M.-L. 2001. Kuusen jalostuksen tavoite: Korkealaatuisia metsänviljelyaineistoja nyt ja tulevaiuudessa. *Taimiutiset* 1/2001: 7-8.
- Nesdoly, R.G. & Van Rees, K.J.C. 1998. Redistribution of extractable nutrients following disc trenching on Luvisols and runisols in Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science* 78: 367-375.
- Nilsson, U., Bergqvist, J. & Langvall, O. 2000. Barrot eller täckrot i sydsvenska granplanteringar? *Plantaktuellt* 4/2000: 3-5.
- , P. Gemmel, & Hällgren, J.-E. 1996. Competing vegetation effects on initial growth of planted *Picea abies*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 26: 84-98.
- & Örlander, G. 1995. Effects of regeneration methods on drought damage to newly planted Norway spruce seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 790-802.
- & Örlander, G. 1999a. Vegetation management on grass-dominated clearcuts planted with Norway spruce in southern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1015-1026.
- & Örlander, G. 1999b. Water uptake by planted *Picea abies* in relation to competing field vegetation and seedling rooting depth on two grass-dominated sites in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 312-319.
- Nobel, P.S. & Cui, M. 1992. Hydraulic conductances of the soil, the root-soil air gap and the root: Changes for desert succulents in drying soil. *Journal of Experimental Botany* 248: 319-326.
- Nohrstedt, H.-Ö. 2000. Effects of soil scarification and previous N fertilisation on pools of inorganic N in soil after clear-felling of a *Pinus sylvestris* (L.) stand. *Silva Fennica* 34: 195-204.
- & S. Jacobson 1994. Relationship between nutrient concentrations in soil and current year needles. *SkogForsk. Redogörelse* 7. 18 s.
- Norberg, G. 1998. Ångbehandling - ett alternativ till markberedning. *Fakta Skog* 2/1988. 4 s.
- Nordberg, F. 2001. Effects of site preparation on soil properties and on growth, damage and nitrogen uptake in planted seedlings. *Acta Univ. Agr. Sueciae. Doctoral dissertation. Silvestria* 195. 25 s.
- Nordén, L.-G. 1989. Water use by Norway spruce - A study of two stands using field measurements and soil water modelling. *Doctoral dissertation. Swedish Univ. Agr. Sci., Umeå.* 43 s.
- Nordlander, G., Örlander, G., Petersson, M., Bylund, H., Wallertz, K., Nordenhem, H. & Långström, B. 2000. Snytbagebekämpning utan instkicider. *Severiges Lantbruksuniversitet, Asa försökspark.* 1/2000. 77 s.
- Nosko, P., Brassard, P., Kramer, J.R. & Kershaw, K.A. 1988. The effect of aluminium on seed germination and early seedling establishment, growth and respiration of white spruce (*Picea glauca*). *Canadian Journal of Botany* 66: 2305-2310.
- & Kershaw, K.A. 1992. The influence of pH on the toxicity of a low concentration of aluminium to white spruce seedlings. *Canadian Journal of Botany* 70: 1488-1492.
- Nyberg, L. 1996. Spatial variability of soil water content in the covered catchment at Gårdsjön, Sweden. *Hydrological Processes* 10: 89-103.
- Nygren, M., Ahonen, M., Koskinen, R., & Kubin, E. 1997. Monimuotoinen metsänuudistaminen. Uudistamismenetelmien perustan tarkastelua. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 636. 40 s.
- Nyland, R.D., Leaf, A.L. & Bickelhaupt, D.H. 1979. Litter removal impairs growth of direct-seeded Norway spruce. *Forest Science* 25: 244-246.
- Orlov, A.J. 1966. Growth and vitality of Scots pine, Norway spruce and downy birch seedlings with flooded root systems. *Julkaisussa: Effect of waterlogged soils on forest productivity. Moscow.* s. 112-154. (Venäjäksi).
- Osara, N.S. 1952. Eräs kuusen istutus. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 40.36. 12 s.
- den Ouden, J. & Vogels, D. 1997. Mechanical resistance by an ectorganic soil layer on root development of seedling *Pinus sylvestris*. *Plant and Soil* 197: 209-217.
- Palmgren, K. 1984. Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liminig. *Folia Forestalia* 603. 27 s.
- Parviainen, J. 1976. Männyn eri taimilajien juuriston alkukehitys. *Folia Forestalia* 268. 21 s.
- 1979. Istuttamalla perustetun männikön, kuusikon, siperialaisen lehtikuusikon ja rauduskoivikon kehitys. *Folia Forestalia* 386. 20 s.
- 1984. Männyn taimilajien menestyminen eri tavoin muokatuilla uudistamisaloilla. *Folia Forestalia* 593. 35 s.
- 1985. Istuttamalla perustetun männikön, kuusikon, siperianlehtikuusikon ja rauduskoivikon kasvu. *Silva Fennica* 19: 355-364.
- 1990. Metsäpuiden paakkutaimituotannon nykynäkömät. *Kirjallisuuskatsaus. Silva Fennica* 24: 93-103.
- 1994. Metsän uudistaminen. *Tapion taskukirja. Gummerus.* s. 160-177.
- Pelkonen, E. 1979. Männyn ja kuusen taimien kyvystä sietää tulvaa vuoden eri aikoina. *Suo* 30: 35-42.
- Penttinen, S. 2000. Electrical and hydraulic classification of forest till soils in central Lapland, Finland. *Geological Survey of Finland. Bulletin* 398. 88 s.
- Pohtila, E. 1972. Istutuskuoppaan annetun kupariheinosfaatin vaikutus männyn ja kuusen taimien elossapysymiseen ja pituuskasvuun eräällä kulotetulla ja auratulla uudistusallalla Koillis-Suomessa. *Silva Fennica* 6: 14-24.
- 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. *Seloste: Aurattujen alueiden viljely Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 91.4. 98 s.
- Prescott, C.E., Weetman, G.F. & Barker, J.E. 1996. Causes and amelioration of nutrient deficiencies in cutovers of cedar-hemlock forests in coastal British Columbia. *Forestry Chronicle* 72: 293-302.
- Puustjärvi, V. 1977. Peat and its use in horticulture. *Turveteollisuusliitto ry. Helsinki. Publication* 3. 160 s.
- Raulo, J. & Rikala, R. 1981. Istutettujen männyn, kuusen ja rauduskoivun taimien alkukehitys eri tavoin käsitellyillä viljelyalalla. *Folia Forestalia* 462. 13 s.
- Rautiainen, E. & Kubin, E. 1997. Männyn paakkutaimien juuriston rakenne eri tavoin muokatussa metsämaassa Pohjois-Suomessa. *Metsätieteenaikakauskirja* 1/1997: 5-24.
- & Räsänen, P. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968-1979. *Folia Forestalia* 426. 24 s.
- Reed, K.L., Shumway, J.S., Walker, R.B. & Bledsoe, C.S. 1983. Evaluation of the interaction of two environmental factors affecting Douglas-fir seedling growth: Light and nitrogen. *Forest Science* 29: 193-203.
- Repo, R. & Valtanen, J. 1994. Maan ominaisuudet metsänviljelyssä - mätästyksen perusteet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 520. 52 s.
- von Richard, F., Chausson, J.-S. & Surber, E. 1958. The influence of soil moisture tension and soil structure on the growth of spruce seedlings. *Mitteilungen, Schweizerische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen* 34.1. 34 s.
- Rikala, R. 1989. Planting performance of size graded Scots pine seedlings. *Forestry Supplement* 62:29-37.
- 1994. Miksi taimet kuolevat – tarvitaanko taimitutkimusta? *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 496: 11–26.
- 2000. Production and quality requirements of forest tree seedlings in Finland. *Tree Planters' Notes* 49: 56-60.

- Ritari, A. 1995. Effect of site preparation on seedling performance in a *Hylocomium myrtillus* stand. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 47-53.
- & Lähde, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 92.7. 37 s.
- Ryypö, A., Iivonen, S., Rikala, R., Sutinen, M.-L. & Vapaavuori, E. 1998. Responses of Scots pine seedlings to low root zone temperature in spring. *Physiologia Plantarum* 102: 503-512.
- Russell, R.S. 1977. Plant root systems: Their function and interaction with the soil. McGraw-Hill, London. 298 s.
- Räsänen, P.K., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltonen, A. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978-1979 inventointitulokset. *Folia Forestalia* 637. 30 s.
- Saarinen, M. 1989. Metsien uudistaminen vanhoilla ojitusalueilla. *Suo* 40: 31-36.
- 1997. Kasvupaikkatekijöiden vaikutus vanhojen ojitusalueiden taimettumiseen. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Effect of site factors on restocking of old drainage areas. A literature review. *Suo* 48: 61-70.
- Salonius, P.O. 1983. Effects of organic-mineral soil mixtures and increasing temperature on the respiration of coniferous raw humus material. *Canadian Journal of Forest Research* 13: 102-107.
- Sands, R. 1984. Transplanting stress in radiata pine. *Australian Forest Research* 14: 67-72.
- Saksa, T. 1998. Männyn istutustaimien menestyminen äestetyllä uudistusalalla. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1998: 15-31.
- 2001. Mihin taimet kuolevat istutuslalla inventointien mukaan. *Taimipäivät*, Oy Mellanä Plant Ab, Kurikka 20.-21.2.2001. s. 14-16.
- , Nerg, J. & Tuovinen, J. 1990. Havupuutaimikoiden tila 3-8 vuoden kuluttua istutuksesta tuoreilla kankailla Pohjois-Savossa. *Folia Forestalia* 753. 30 s.
- Schildt, J. 2000. Mätästys ja istutus ovat kuusen uudistamisessa ylivoimainen yhdistelmä. *UPM Metsä* 5/2000: 10-11.
- Schier, G.A. & McQuattie, C.J. 1995. Effect of aluminium on the growth, anatomy, and nutrient content of ectomycorrhizal and nonmycorrhizal eastern white pine seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 1252-1262.
- Sepponen, P., Lähde, E. & Roiko-Jokela, P. 1979. On the relationship of the forest vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland. *Folia Forestalia* 402. 31 s.
- Smolander, A., Paavola, L. & Mälkönen, E. 2000. C and N transformations in forest soil after mounding for regeneration. *Forest Ecology and Management* 134: 17-28.
- Smolander, H., Räsänen, P.K. & Kostamo, J. 1981. Maan tiivyyden vaikutus männyntaimien haihduntaan ja pituuskasvuun istutuksen jälkeen. *Silva Fennica* 15: 256-266.
- Stenström, E. 1990. Ecology of mycorrhizal *Pinus sylvestris* seedlings - Aspects of colonization and growth. Swedish Univ. Agr. Sci., Dept. Forest Mycology and Pathology, Uppsala. Doctoral dissertation. 44 s.
- Sutinen, R., Heiskanen, J., Hyvönen, E., Hänninen, P., Mäkitalo, K., Pulkkinen, E., Päänttjä M., & Sutinen, M.-L. 1996. Pine-spruce composition follows till moisture and geochemistry patterns in Lapland. *Julkaisussa: Bachmann, P., Kuusela, K. & Uutera, J. (toim.). Assessment of biodiversity for improved forest management. EFI Proceedings* 6: 29-40.
- , P. Hänninen, K. Mäkitalo, S. Penttinen, & M.-L. Sutinen. 1997. Snowmelt saturation restricts Scots pine growth on fine-grained tills in Lapland. *Julkaisussa: Iskandar, I.K., Wright, E.A., Radke, J.K., Sharratt, B.S., Groenevelt, P.H. & Hinzman, L.D. (toim.). Proceedings of the International Symposium on Physics, Chemistry, and Ecology of Seasonally Frozen Soils, Fairbanks, Alaska, June 10-12, 1997. CRREL Special Report* 10: 507-512.
- Sutton, R.F. 1991. Soil properties and root development in forest trees: A review. *Forestry Canada, Ontario Region, Great Lakes Forestry Centre. Information Report O-X-413*. 42 s.
- 1993. Mounding site preparation: A review of European and North-American experience. *New Forests* 7: 151-192.
- Söderström, V. 1970. Mätning av markfuktighet. *Skogen* 1971: 256-257.
- 1976a. Analys av markberedningseffekterna vid plantering på några färska hyggen. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 2-3: 59-333.
- 1976b. Markvärme - en minimifaktor vid plantering. *Skogsarbeten Redogörelse* 6: 16-22.
- 1977. Problem och metoder i skogsförnyngsarbetet. IV. Försök med markberedningsmetoder. Summary: Experiments with new methods for soil treatment before planting. *Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 116: 43-58.
- Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Eelä-Suomessa. *Folia Forestalia* 777. 40 s.
- 1993. Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä. *Folia Forestalia* 819. 26 s.
- 1998. Kangasmaiden ominaisuuksien kartoitus. *Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 691. s. 65.
- & Starr, M. 1994. Bulk density of forested mineral soils. *Silva Fennica* 28: 53-60.
- Tanskanen, N. & Ilvesniemi, H. 1999. Maan muokkauksen vaikutus metsämaan kemiallisiin ominaisuuksiin. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 745: 15-21.
- Tervo, L. & Kautto, K. 1999. Ennakkotuloksia kuusen 1- ja 2-vuotisten paakkutaimien istutuskokeista ja ahavavioitusten merkityksestä 1-vuotisilla kuusen paakkutaimilla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 755: 15-20.
- Tuomola, J. 2002. Kuusen paakkutaimien istutuksen jälkeinen pituuskasvu ja siihen vaikuttavat tekijät. *Metsäympäristön hoidon ja suojelun pro gradu*, Joensuun yliopisto. 49 s. (+3 liitettä).
- Unger, P.W. & Kaspar, T.C. 1994. Soil compaction and root growth: A review. *Agronomy Journal* 86: 759-766.
- Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Influence of the soil type and the chemical properties of soil on determining the forest type. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 46: 307-319.
- Valkonen, S. 2000. Kuusen taimikon kasvattamisen vaihtoehdot Etelä-Suomen kivennäismailla: Puhdas kuusen viljelytaimikko, vapautettu alikasvos ja kuusi-koivusekataimikko. Väitöskirja. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 763. 83 s.
- Valtanen, J. 1983. Muokkaustavat ja metsänuudistamisen tulos. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 119: 63-72.
- & Engberg, M. 1987. Vuosina 1970-72 perustetun aurasalueiden metsänviljelykokeen tulokset Kainuussa ja Pohjanmaalla. *Folia Forestalia* 686. 42 s.
- & Tasanen, T. 1996. Männyn viljelytavan valinta. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 608. 88 s.
- Vapaavuori, E.M., Rikala, R. & Ryypö, A. 1992. Effects of root temperature on growth and photosynthesis in conifer seedlings during shoot elongation. *Tree Physiology* 10: 217-230.
- Virkkala, K. 1969. Suomen moreenien rakeisuusluokitus. *Terra* 81: 273-278.
- Viro, P.J. 1947. The mechanical composition and fertility of forest soil taking into consideration especially the stoniness of the soil. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 35.2. 115 s.

- 1962. Forest site evaluation in Lapland. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 55.9. 14 s.
- Vomocil, J.A. & Flocker, W.J. 1961. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 4: 242-246.
- Vyse, A. 1981. Growth of young spruce plantations in interior British Columbia. Forestry Chronicle 57: 174-180.
- Wall, A. & Heiskanen, J. 1998. Physical properties of afforested former agricultural peat soils in western Finland. Suo 49: 1-12.
- Wesseling, J. & Wijk, W.R. 1957. Land drainage in relation to soils and crops I. Soil physical conditions in relation to drain depth. Julkaisussa: Luthin, J.N. (toim.). Drainage of agricultural lands. Amer. Soc. Agron., Madis. Wisc. s. 461-504.
- Zaerr, J.B. 1983. Short-term flooding and net photosynthesis of three conifers. Forest Science 29: 71-78.
- Zisa, R.P., H.G. Halverson, and B.B. Stout 1980. Establishment and early growth of conifers on compact soils in urban areas. USDA, For. Serv. Northeast For. Exp. Sta. Research Paper NE-451. 8 s.
- Örlander, G. 1985. Plantetablering - en fråga om vattenupptagning. Sver. Lantbruksuniv. Skogsfakta 28. 4 s.
- 1986. Effect of planting and scarification on the water relations in planted seedlings of Scots pine. Studia Forestalia Suecica 173. 17 s.
- 1995. Effects of site preparation on the development of planted seedlings in northern Sweden. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 39-45.
- 1997. Inversmetoden - framtidens markberedning? Fakta Skog 8: 4 s.
- & Due, K. 1986. Water relations of seedlings of Scots pine grown in peat as a function of soil water potential and soil temperature. Studia Forestalia Suecica 175. 13 s.
- , Gemmel, P. & Hunt, J. 1990. Site preparation: A Swedish overview. FRDA Report 105. 61 s. ISSN 0835-0752.
- , Gemmel, P. & Wilhelmsson, C. 1991. Effects of scarification, planting depth and planting spot on seedling establishment in a low humidity area in southern Sweden. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsskötsel 33. 92 s.
- , Hallsby, G. Gemmel, P. & Wilhelmsson, C. 1998. Inverting improves establishment of Pinus contorta and Picea abies - 10-year results from a site preparation trial in northern Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research 13: 160-168.
- & Nilsson, U. 1999. Effect of reforestation methods on pine weevil (Hylobius abietis) damage and seedling survival. Scandinavian Journal of Forest Research 14: 341-354.
- , Nilsson, U. & Hällgren, J.-E. 1996. Competition for water and nutrients between ground vegetation and planted Picea abies. New Zealand Journal of Forestry Science 26: 99-117.