

Metlan työraportteja **192**

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp192.htm>

ISBN 978-951-40-2287-6 (PDF)

ISSN 1795-150X

Metsän uudistaminen mustikkaturvekankaalla – luontaisesti vai viljellen?

Mikko Moilanen, Jorma Issakainen & Heikki Vesala

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouiskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18
01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Moilanen Mikko, Issakainen Jorma & Vesala Heikki			
Nimeke Metsän uudistaminen mustikkaturvekankaalla – luontaisesti vai viljellen?			
Vuosi 2011	Sivumäärä 30	ISBN 978-951-40-2287-6 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Pohjois-Suomi / SUM-tutkimusohjelma / 3484 Suometsien uudistaminen			
Hyväksynyt Markku Saarinen, hankkeen vetäjä, 15.1.2011			
Tiivistelmä <p>Tutkimuksessa seurattiin avo- tai suojuspuuasentoon hakatun ja muokatun kuusivaltaisen turvekankaan luontaista taimettumista ja taimikon alkukehitystä 15 vuoden ajan. Avoalan viljelyvaihtoehtoja olivat kuusen ja männyn kylvö ja istutus ja muokkausvaihtoehtoja mätästys, laikutus ja konetallaus. Tutkimuskohteena ollut paksaturpeinen korpikuvio oli ojitettu lapiotyönä 1930-luvulla ja kunnostusojitettu metsäoja-auralla 1960- ja 1980-luvulla. Kuivatuksen seurauksena kasvupaikka oli muuttunut mustikkaturvekankaaksi. Hakattaessa puuston valtapituus oli 18 m ja runkotilavuus 200–250 m³ ha⁻¹.</p> <p>Valtapuuston alla esiintyneen kuusialikasvoksen tiheys vaihteli 11 000–4 000 kpl ha⁻¹. Hakkuuta seuranneen vuoden aikana suojuspuualoille syntyi luontaisia kuusen taimia 3 400 kpl ha⁻¹ ja hieskoivun taimia 7 000 kpl ha⁻¹. 15 vuoden kuluttua hakkuusta suojuspuualoilla oli kuusia lähes 7 000 kpl ha⁻¹, hieskoivuja lähes 16 000 kpl ha⁻¹ ja mäntyjä 200 kpl ha⁻¹. Muokkaamattomilla avohakkuualoilla kuusen taimia oli lähes 17 000 kpl ha⁻¹, hieskoivun taimia noin 20 000 kpl ha⁻¹ ja männyn taimia vajaat 500 kpl ha⁻¹.</p> <p>Maanpinnan rikkominen ja muokkaus edistivät merkittävästi niin havupuiden kuin hieskoivun luontaista taimettumista. Kuusen ja männyn kylvö tuottivat runsaan taimiaineksen etenkin mätäspinoilla. Myös istutustaimet kasvoivat mättäillä paremmin kuin muilla muokkauspinoilla.</p> <p>Kaikki vertailtavina olleet metsänuudistamisvaihtoehdot tuottivat tiheän lehtipuusekoitteisen kuusitaimikon 1–2 vuodessa. Metsänhoitosuosituksen mukainen vähimmäistaimitiheys täyttyi luontaisen kuusialikasvoksen ja hakkuuta seuranneen täydentävän taimettumisen ansiosta. 14 vuoden kuluttua uudistamistoimista kasvatuskelpoinen kuusen taimitiheys vaihteli viljely- ja muokkaustavasta riippuen 1 930–2 920 kpl ha⁻¹. Kasvatuskelpoinen männyn taimitiheys männyn istutusaloilla vaihteli 670–930 kpl ha⁻¹ ja männyn kylvöaloilla 450–1 750 kpl ha⁻¹. Kasvatuskelpoisten luontaisten hieskoivujen määrä vaihteli 0–730 kpl ha⁻¹.</p> <p>Muokkaus- ja viljelytoimet osoittautuivat tutkitulla kohteella tarpeettomiksi. Välittömien uudistamiskustannusten (muokkaus, siemen- ja taimimateriaali) ohella kustannuksia aiheutui työläämmästä taimikonhoidosta, sillä muokatulle avohakkuualalle syntyi runsaasti luontaista hieskoivua.</p> <p>Noin 10 vuoden iässä taimikossa havaittiin kaliumin puutosoireita, jotka yleistyivät seuraavien vuosien kuluessa. On pääteltävissä, että ravinne-epätasapaino rajoittaa puuston kasvua ja että kasvitappioiden ehkäisemiseksi tarvitaan kaliumlannoitusta.</p>			
Asiasanat avohakkuu, mätästys, laikutus, metsänviljely, turvemaa, taimitiheys			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp192.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Mikko Moilanen, Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen toimipaikka, Kirkkosaarentie 7, 91500 MUHOS mikko.moilanen@metla.fi			
Muita tietoja			

Sisältö

Johdanto	5
2. Aineisto ja menetelmät.....	7
2.1 Tutkimusmetsikkö	7
2.2 Koejärjestelyt	8
2.3 Aineiston keruu	10
2.4 Aineiston käsittely	12
3. Tulokset	12
3.1 Maan kosteusolot ja muokkauspintojen kasvillisuus	12
3.2 Luontainen taimiaines	13
3.3 Kylvötaimet	14
3.4 Istutustaimet	17
3.5 Taimikon kasvatuskelpoisuus ja ulkoinen laatu	19
3.5.1 Kasvatuskelpoinen taimitiheys.....	19
3.5.2 Taimikon tekninen laatu ja terveydentila	20
3.6 Pintaturpeen ravinteisuus ja puiden ravinneolot.....	21
3.6.1 Kasvualustan ravinnemäärät	21
3.6.2 Taimikon ravinnetila	21
4. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset.....	23
Johtopäätökset.....	27
Viitteet.....	27

Johdanto

Metsätalouskäytössä olevista ojitetuista turvemaista korprien osuus on noin neljännes eli 1,5 miljoonaa hehtaaria (Hökkä ym. 2002). Ennen 1950-lukua tavanomaisia ojituskohteita olivat puustoiset eli aidot korpityypit (ruoho-, mustikka- ja kangaskorvet). 1960–70-luvuilla ojitustoimintaa suunnattiin myös vähäpuustoisille sekatyypeille eli nevakorpiin (Keltikangas ym. 1986). Korpisoien puusto on joko puhdasta kuusikkoa tai kuusen ja lehtipuiden, etenkin hieskoivun muodostamaa sekametsää (Heikurainen 1971, Hörnberg 1995, Norokorpi ym. 1997). Ojituskohteina aidot korpityypit omaavat korkeamman puuntuotospotentiaalin rämeisiin verrattuna (Hånell 1988, Gustavsen ym. 1998, Zalitis & Indriksons 2004).

Nykyisten metsänhoito-ohjeiden kriteerien mukaan lähes 10 % ojitusaluemetsistä (n. 400 000 ha) on varttunut uudistamisvaiheeseen. Vanhemmilla korprien ojitusalueilla puustot ovat jo suurelta osin saavuttaneet ikänsä tai järeytensä perusteella uudistamiskypsyyden (Hökkä ym. 2002). Korpimetsää uudistettaessa pääpuulajina pyritään säilyttämään kuusi, joka onkin tukkipuukasvatusta ajatellen hieskoivua tai mäntyä sopivampi puulaji.

Nuorilla ojitusalueilla suokasvillisuus on vielä vallitseva ja kasvualusta taimettumisolot luontaista uudistamista ajatellen hyvät (Multamäki 1937, 1939, 1942, Lukkala 1946, Heikurainen 1954, Peltonen 1986). Kosteaa rahkasammalpinta onkin herkkä taimettumaan (Lukkala 1938, Place 1955, Heinselmann 1957, Sarasto & Seppälä 1964, Mannerkoski 1971, Johnston 1977, Wood & Jeglum 1984, Groot & Adams 1994).

Ojituksesta kuluvan ajan myötä kasvualustan kosteutta suosiva ja ylläpitävä suolajisto häviää ja korvautuu turvekangasvaiheessa kivennäismaille tyypillisillä kasvilajeilla. Samalla turpeen pinnalle syntyy puiden karikkeesta ja varpujen juurihuovastosta ilmavan kuiva nk. raakahumuskerros, joka eristää kapillaarista vedennousua ja samalla taimettumista etenkin puolukka- ja varpu-turvekankailla (Kaunisto & Päivänen 1985, Saarinen 1997, Saarinen & Hotanen 2000). Ilman maanpinnan rikkomista luontainen taimettuminen tai kylvötulos on tällaisilla kohteilla heikkoa (Kaunisto 1984, Moilanen & Issakainen 1984, Kaunisto & Päivänen 1985). Vastaavia selvityksiä korpiojitusalueiden taimettumisedellytysten muutoksista pitkällä aikavälillä ei liene olemassa. On kuitenkin ilmeistä, että korvissa raakahumuskerros jää ohuemmaksi ja suotuisempien kosteusolojen ansiosta taimettumisherkyys säilyy parempana kuin rämeillä. On siis epäselvää, missä määrin korpimetsien uudistamisessa tarvitaan maanmuokkausta.

Avosoiden ja korprien luontaista uudistumista kuuselle on tutkittu melko vähän Suomessa (esim. Multamäki 1939, Lukkala 1946) tai Ruotsissa (Hånell 1991, 1992, 1993). Pienialaisessa avohakkuussa reunametsän oletetaan tuottavan pääosan hakkuualalle syntyvästä taimiaineksesta (Lukkala 1946). Jos metsikössä kuusen taimiainesta, voidaan sitä täydentää ennen varsinaista päte-hakkuuta nk. suojustrupuhakkuulla, jossa metsikköön jää hehtaarille 150-200 sementävää puuta (Hånell 1993, Holgén & Hånell 2000). Samalla suojustrupuusto vähentää pintakasvillisuuden ja vesakoitumisen kilpailuvaikutusta.

Varjostusta sietävänä puulajina kuusella on hyvät edellytykset uudistua luontaisesti valtapuuston alle nk. alikasvoksena. Kun alikasvostaimia on riittävästi ja niiden tilajärjestys tasainen, voidaan alikasvos vapauttaa ylispuuhakkuulla ilman taimettumiseen tähtäävää kaistale- tai suojustrupuhakkuuta (Moilanen & Saksa 1998 ja siinä mainitut viitteet). Turvemaiilla kuusialikasvoksia esiintyy kuusivaltaisissa korvissa ja etenkin ruohoisten ja saraisten rämeojitusalueiden männiköissä ja hieskoivikoissa (Seppälä & Keltikangas 1978).

Metsänhoitosuosituksissa kuusen kylvöä pidetään epävarmana ja ei suositeltuna menetelmänä niin turve- kuin kivennäismaidenkin uudistamisessa (Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007). Varhaisissa turvemaiden metsityskokeiluissa kylvöt epäonnistuivat muokkausalan roustevaurioiden (Multamäki 1939) tai karhunsammaloitumisen vuoksi (Lukkala 1951). Korpikuusikoissa uudistamisaloilla pintakasvillisuus rehevöityy nopeasti avohakkuun jälkeen ja muokausjälki sammaloituu nopeasti, mikä vaikeuttaa niin kylvö- kuin luonnontaimien alkukehitystä (Hannerz & Hånell 1993, Moilanen ym. 1995). Kuusen kylvöstä korpikuusikon uudistamisessa on kuitenkin saatu myös hyviä kokemuksia: hajakylvö voimaperäisesti muokatuilla ohutturpeisilla kohteilla on tuottanut runsaasti taimiainesta (Moilanen ym. 1995).

Korpimetsien yleisin uudistamismenetelmä viime vuosina on ollut avohakkuu, mätätystymuokaus ja kuusen istutus, mikä on myös tutkimuksissa osoittanut toimivaksi menetelmäksi. Taimikuolleisuutta ovat aiheuttaneet lähinnä rouste ja hallavauriot (Hånell 1991, 1992, 1993, Moilanen ym. 1995). Muokatulle pinnalle on saatu täydennykseksi runsaasti luontaista havu- ja lehtipuun taimiainesta (Mannerkoski 1975, Moilanen & Issakainen 1984, Kaunisto 1985). Viljavalla kasvupaikalla ovat tehokas maanmuokaus ja kookkaiden kuusentaimien käyttö usein tarpeen, jotta taimet selviytyvät rehevöityvän kasvillisuuden ja lehtipuuvesakon kilpailusta (Hytönen & Jylhä 2008). Lisäksi heinittymisen torjunta (Hytönen 2008) ja perkaus ovatkin tarpeen usein jo taimikon kehityksen alkuvaiheissa. Nämä metsikön perustamisajankohtaan ajoittuvat työt lisäävät uudistamisen kokonaiskustannuksia ja vaikuttavat merkittävästi metsikön koko kasvatusajan taloustulokseen. On myös todennäköistä, että avohakkuu ja maanmuokaus lisäävät etenkin viljavissa kohteissa kiintoaines- ja ravinnehuuhtoumia (typpi ja fosfori) alapuolisiin vesistöihin (Nieminen 2004). Korpimetsien uudistamisessa olisikin pyrittävä kustannustehokkaisuun ja ympäristöä mahdollisimman vähän kuormittaviin menetelmiin.

Käytännön metsänuudistamisalojen maanmuokkauksissa yleisimmin käytettyä naveromätätystä huokeampia ja kevyempiä vaihtoehtoja (laikkumätätyst, jyräntä tai laikutus) on tutkittu vähän. Kangasmaiden lautasaurajälkeä muistuttavaa muokauspintaa tekevällä jyräntämuokkauksella on karuhkoilla kasvupaikoilla saatu aikaan täystiheä männyntaimikko (Kaunisto 1984, Saarinen 2002). Korpimetsän uudistamiseen on esitetty erääksi vaihtoehdoksi kuusen istutusta suojuus- tai verhopuuston (usein koivikko) alle muokkaamattomaan maanpintaan (Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007), jolloin vältytään heinäntorjunnalta ja vesakonperkaukselta ja jolloin myös ravinnehuuhtoumat jäänevät vähäisiksi.

Suometsien ravinnetila vaihtelee riippuen suon alkuperäisestä päämuodosta (korpi, räme, neva), turvekangastyypistä ja turpeen paksuudesta (Westman & Laiho 2003, Laiho & Alm 2005, Moilanen ym. 1996, Saarinen 1997, Moilanen ym. 2010). Turpeessa on runsaasti typpeä, mutta niukasti kivennäisravinteita (fosfori, kalium) verrattuna kangasmaihin. Fosforin heikko saatavuus (hidas mineralisoituminen) rajoittaa yleisesti puiden kasvua turvemaille (esim. Moilanen 1992, Hytönen & Kokko 2006, Silfverberg & Moilanen 2008). Paksuturpeisilla, alkuaan märillä ja nevapinta-aisilla nk. sekatyypin soilla puut kärsivät myös kaliumin puutoksesta jo ensimmäisen ojituksen jälkeisen puusukupolven aikana (Kaunisto & Tukeyva 1984, Pietiläinen ym. 2005, Silfverberg & Moilanen 2008). Riski ravinnepuutosten ilmaantumiselle ja puiden kasvutappioille on suurin kasvupaikoilla, jotka ovat kehittyneet tai kehitymässä mustikka- tai puolukkaturvekankaiden II-tyypeiksi (MtkgII ja PtkgII, ks. Vasander & Laine 2008). Toisaalta runsaiden typpi- ja kalsiumvarojen ansiosta niiden puuntuotospotentiaali on korkea. Ravinnepuutoksista kärsiviä suometsiköitä on Suomessa arviolta miljoona hehtaaria, mikä on noin viidennes koko metsäojitetusta turvemaalasta (Kaunisto 1997).

Ravinnepuutosalueilla voi toisen puusukupolven kasvatus ilman lannoitusta muodostua ongelmalliseksi jo metsikön alkuvaiheissa. Tutkimustieto turvemaan ravinteiden riittävydestä useamman puusukupolven kasvattamiseen on kuitenkin hyvin vähäistä. Uudistamisalojen taimikoissa paikoin havaitut ravinnepuutosten ulkoiset oireet kuitenkin viittaavat siihen, että ravinnelisäys ainakin tietyillä kasvupaikoilla on välttämätöntä puiden kasvukunnon ylläpitämiseksi. Lannoituksella puuntuotosta voidaan myös merkittävästi lisätä (esim. Moilanen 2005), mutta samalla kasvavat myös metsikön kasvatuskustannukset, varsinkin jos metsikön kasvatusaikana lannoitus joudutaan uusimaan 1–2 kertaa (Silfverberg & Moilanen 2008).

Tässä tutkimuksessa selvitettiin mustikkaturvekankaan taimettumista ja taimikon alkukehitystä kuusivaltaisessa korven uudistamiskohteessa avo- ja suojuspuuhakkuun jälkeen. Uudistamismenetelminä verrattiin keskenään kuusen ja männyn kylvää, kuusen ja männyn istutusta sekä luontaista uudistumista eri tavoin muokatulla ja muokkaamattomalla kasvualustalla. Samoin selvitettiin metsikköön ennen päätehakkuuta syntyneen alikasvoksen määrä ja kasvatuskelpoisuus uuden taimikon täydentäjänä. Hakkuualalle vakiintuneen taimikon tiheys- ja pituuskehitystä sekä ravinetilaa seurattiin 15 vuotta uudistamishakkuun jälkeen.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusmetsikkö

Tutkimuskohde oli Vaalan kunnassa Kainuussa metsähallituksen maalla sijaitseva 9,3 hehtaarin laajuinen Hyrynpuron korpikuvio (KKJ 64° 36', 17° 56'). Perusojitus oli tehty lapiotyönä 1930-luvulla ja kunnostusojitukset metsäoja-auralla 1960-luvulla ja vuonna 1989. Turpeen paksaus vaihteli 0,4 metristä yli metriin (keskiarvo 75 cm). Puuston valtapituus ennen hakkuuta vuonna 1988 oli 18 m ja runkotilavuus 200–250 m³ ha⁻¹. Metsikön runkotilavuudesta kuusta (*Picea abies* Karst.) oli 65 %, mäntyä (*Pinus sylvestris* L.) 25 % ja hieskoivua (*Betula pubescens* Ehrh.) 10 %. Valtapuuston alla esiintyi kuusivaltaista, paikoin tiheää mutta ryhmittäistä ja vaihtelevankokoista alikasvosta.

Alunperin Hyrynpuro oli ollut osaksi nevakorpea (VSK-RhSK), osaksi mustikkakorpea (MK) (suotyyppien kuvaus ks. Vasander&Laine 2008). Kuivatuksen seurauksena korpi oli 1980-luvulle tultaessa muuttunut ”laihanpuoleiseksi” mustikkaturvekankaaksi (MtkgI-MtkgII). Elokuussa 1988 ennen hakkuuta suosammallajistosta näkyvimpänä esiintyi varvikkorahkasammal (*Sphagnum russowii*); muita yleisiä lajeja olivat korpirahkasammal (*Sphagnum girgensohnii*), rämerahkasammal (*Sphagnum angustifolium*) ja rämekynsisammal (*Dicranum bergeri*). Kangassammalista seinäsammalen (*Pleurozium schreberi*) peittävyys oli keskimäärin 30–50 % (monin paikoin jopa 90 %) ja selvästi suurempi kuin kerrossammalen (*Hylocomium splendens*) peittävyys. Myös kangaskynsisammalta (*Dicranum polysetum*) esiintyi tasaisesti koko alueella. Kenttäkerroksessa etenkin mustikka (*Vaccinium myrtillus*) mutta myös puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*) olivat yleisiä, samoin hilla (*Rubus chamaemorus*). Saroista tavattiin harvakseltaan pallosaraa (*Carex globularis*) ja harmaasaraa (*Carex canescens*). Metsäalvejuurta (*Dryopteris carthusiana*) esiintyi laikuittain.

2.2 Koejärjestelyt

Tutkimusmetsikön ojaverkosto muodostui 10 kuivatussarasta, joiden pituus oli 150–250 m ja ojaväli eli sarkaleveys oli 50–55 m. Uudistamishakkuut tehtiin metsurityönä talvella 1989: kahdeksan sarkaa avohakattiin ja kahdella saralla tehtiin suojuuspuuhakkuu (jäävä puusto 200 kpl ha⁻¹, valtaosa kuusia). Alueelta korjattiin vain ainespuu, jolloin latvukset, hakkuutähteet ja raivauspuu jäivät uudistusalalle. Sarkaojasto perattiin kaivinkoneella syksyllä 1989.

Maanmuokkaukset tehtiin kaivinkoneella loka-marraskuussa 1989. Avohakatuille saroille arvottiin satunnaisesti kahtena toistona neljä maanpinnan käsittelyvaihtoehtoa. Kaksi sarkaa sai saman muokkauksikäsitteilyn (kuva 1):

- A. Vertailu eli muokkaamaton
- B. Konetallaus teloilla varustetulla kaivurilla (maanpinnan tiivistäminen/rikkominen). Kaivuri kulki ”mutkitellen” pitkin sarkaa ja tiivistäen ja osaksi rikkoen maanpintaa. Tallatun pinnan osuus koko alasta oli 60–70 %.
- C. Laikutus kaivurin kauhaosalla (elävän kasvillisuuden ja raakahumuksen poisto/ turvepinnan paljastaminen). Turvepintaisia 1–2 m²:n laikkuja tehtiin noin 2000 kpl ha⁻¹. Laikkujen keskiosa jäi usein reunaosia syvemmäksi laakeaksi kuopaksi eikä toivottua tasaista pintaa läheskään aina saatu. Muokatun pinnan osuus oli 45–55 %.
- D. Mätästys kaivurilla (kohoumien aikaansaaminen/paikalliskuivatuksen tehostaminen). Mätätäiden korkeus vaihteli välillä 20–50 cm ja tiheys 2 500–3 000 kpl ha⁻¹. Paikalliskuivatuksen parantamiseksi tehtiin pienojat 10 metrin välein. Muokattua pintaa syntyi 70–80 % koko alasta.

Suojuuspusaroilla maanmuokkauksia ei tehty.

Avohakatuille ja eri tavoin muokatuille saroille rajattiin kullekin saran pituussuunnassa kaksi riviä neliönmuotoisia koealoja (koko 0,05–0,08 ha). Koealan yksi sivu rajautui sarkaojaan ja vastakkainen sivu saran keskelle. Koealoja tuli alueelle kaikkiaan 102 kpl. Kukin sarka jaettiin pituussuunnassa 2–3 lohkokoon, jotka kukin muodostivat eri viljelykäsittelyille kaksi toistoa. Lohkotuksen avulla varmistettiin se, että eri käsittelyt jakaantuvat tasaisesti uudistamisalueelle. Kullekin lohkolle arvottiin 4–6 toistona seuraavat käsittelyt:

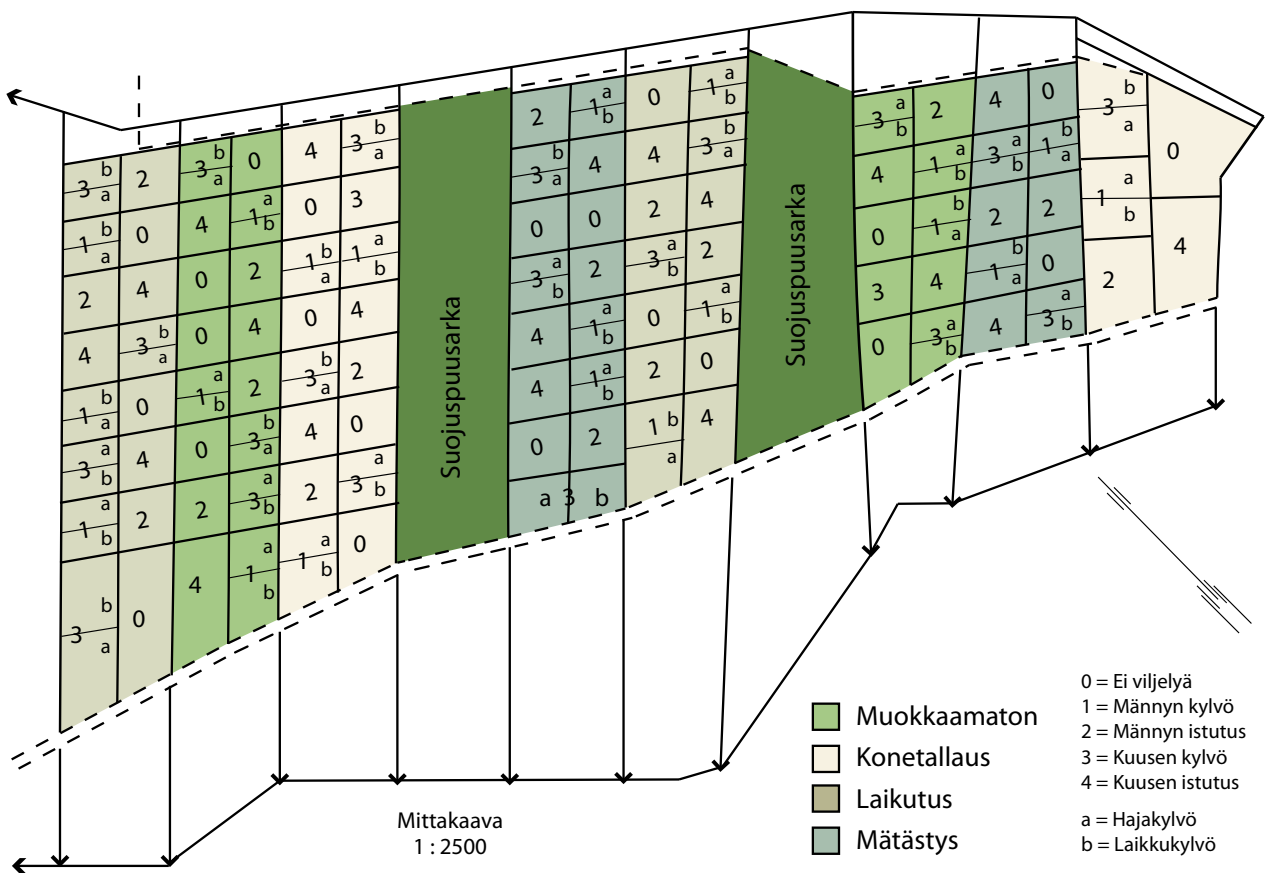
0	ei viljelyä	3	kuusen kylvö
1	männyn kylvö	3a	hajakylvö
	1a hajakylvö	3b	laikkukylvö
	1b laikkukylvö	4	kuusen istutus
2	männyn istutus		

Jätepuuston raivaus ja viljelytyöt tehtiin 4.–11.6.1990. Yksivuotiaat männyn ja kaksivuotiaat kuusen istutustaimet olivat 10–12 cm:n pituisia paakkutaimia (siementunnukset mänty M29 88 0292 ja kuusi M29 83 0699). Taimet istutettiin pottiputkilla tiheyteen (3 500 kpl ha⁻¹).

Muokatuilla saroilla kuusen ja männyn kylvökoealat jaettiin kahteen osakoealaan, joista toisella tehtiin käsinlevityksenä hajakylvö ja toisella laikkukylvö. Laikkukylvössä siemenet levitettiin ympyrän (0,25 m²) alalle muokkamattomaan ja eri tavoin muokattuun pintaan.

Muokkaamattomilla saroilla kylvöalat jaettiin samoin kahteen osakoealaan, joista toisella tehtiin joko haja- tai laikkukylvö luonnonpintaan ja toisella laikkukylvö kuokalla tehtyihin 0,25 m²:n suuruisiin turvepintaisiin laikkuihin. Näin laikkukylvöille saatiin mukaan viides muokkausvaihtoehto eli kuokkalaikutus. Siemenmäärä oli hajakylvöissä n. 2 kg ha⁻¹ ja laikkukylvöissä n. 1 kg ha⁻¹. Sahanpuruihin sekoitetut siemenet kylvettiin käsityönä.

Suojuspuusaroilla viljelytoimenpiteitä ei tehty.



Kuva 1. Hyrynpuron uudistamiskohteen koejärjestelyt.

2.3 Aineiston keruu

Tutkimusaineisto koostui uudistushakkuuta ennen ja sen jälkeen 15 vuoden aikana tehdyistä pohjavesimittauksista, turve- ja neulasanalyyseistä ja taimimittauksista. Taimikko perattiin ja harvennettiin syksyllä 2006, jolloin kokeen perustamisesta oli kulunut 17 vuotta (kuva 2).

Hakkuuta edeltävänä syksynä 1988 asennettiin kolmelle saralle niiden pituussuunnassa 44 pohjavesiputkea, joiden etäisyys toisistaan oli 20 m ja sarkaojan reunasta 12 m. Pohjavesimittaukset (syvyys maanpinnasta, cm) tehtiin ennen hakkuuta, hakkuun jälkeisenä kesänä ennen kunnostusojitusta ja kunnostusojituksen jälkeisinä kahtena kesänä (3–4 kertaa kasvukauden aikana kesä-elokuussa).

Ilmatieteen laitoksen säähavaintoihin ja kohteen koordinaatteihin perustuva laskentamalli (Ojan-suu & Henttonen 1983) osoitti viljelyvuoden 1990 sademäärän kesä-elokuussa olleen 213 mm, mikä on lähellä pitkän aikavälin keskiarvoa 201 mm. Alkukevät 1990 oli kuitenkin poikkeuksellisen kuiva, sillä toukokuussa satoi vain 6 mm. Kasvukauden tehoisa lämpösumma vuosijaksolla 1985–2005 oli Hyrynpurolla keskimäärin 1067 d.d..



Ennen hakkuuta, helmikuu 1989



Mätästetty sarka, kesäkuu 1990



Maanmuokkauksesta 5 vuotta, elokuu 1995



Perattu kuusen kylvöala, maaliskuu 2009

Kuva 2. Hyrynpuron tutkimuskohde vuosina 1989–2009. Kuvat: Jorma Issakainen.

Metsikköön valtapuuston alle vakiintuneen luontaisen alikasvoksen määrä inventoitiin ennen hakkuuta syyskuussa 1988. Mittausympyrät (säde 3–4 m) sijoitettiin kolmelle saralle pohjavesikaivojen ja turvenäytteiden keruukohtien läheisyyteen, jolloin niitä tuli sarkaa kohti 10–22 kpl. Mittausympyrältä luettiin puulajeittain kaikki elävät alikasvostaimet (erikseen kokoluokat < 0,5 m ja 0,5–1,3 m).

Hakkuun ja viljelyn jälkeen taimi-mittaukset tehtiin kolme kertaa: yhden (kesäkuu 1991), neljän (toukokuu 1994) ja 14 (kesä 2004) vuoden kuluttua taimikon perustamisesta. Kahdessa ensimmäisessä mittauksessa päähuomio oli kokeen perustamisen jälkeen eri muokkauspinnoille syntyneissä luonnon- ja viljelytaimissa, kolmannessa mittauksessa mukaan otettiin myös ennen uudistamishakkuuta syntyneet taimet.

Ensimmäisessä ja toisessa mittauksessa luontaisesti syntyneet ja hajakylvötaimet luettiin koealoille tasavälein sijoitetuilta 1 m²:n suuruisilta 12 mittausympyrältä. Koko uudistusosalalle mittausympyröitä tuli 902 kpl. Mittausympyrältä laskettiin puulajeittain kokeen perustamisen jälkeen syntyneiden taimien määrä ja vuonna 1994 lisäksi kolmen pisimmän taimen pituus (cm). Muokatuilla saroilla arvioitiin rikutun pinnan osuus ympyrän pinta-alasta. Muokkaamattomilla saroilla mittausympyrän pohjakasvillisuus luokiteltiin vallitsevan kasvillisuuden mukaan kuuteen luokkaan: turve, karike-hakkuutähde, seinä-kerrossammal, kynsi-karhunsammal, rahkasammal, ruoho-heinä. Laikkukylvö- ja istutusaloilla taimet inventoitiin koealalle tasavälein sijoitetuista 12 mittauspisteestä siten, että mukaan otettiin 4 kutakin mittauspistettä lähinnä olevaa kylvölaikkuu tai istutustainta (= 48 kylvölaikkuu tai istutustainta/koeala. Kaikkiaan inventoitiin 965 kuusen ja 975 männyn istutustainta sekä 1 200 kuusen ja 1 200 männyn kylvölaikkuu. Kylvölaikuista laskettiin viljellyn puulajin sirkkataimet 0,2 m²:n alalta ja arvioitiin pohjakasvillisuus kuten hajakylvöaloilla. Istutustaimista mitattiin taimen pituus (cm) ja arvioitiin vuoden 1990 kasvaimen ja neulasten värin perusteella taimen kuntoluokka asteikolla: terve, kituva, kuollut (vuonna 1991); hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono, kuollut (vuonna 1994). Vuonna 1994 istutustaimista määritettiin myös tuhonaiheuttajat ja tuhojen aste. Jos istutustaimi oli kuollut ennen mittausta tai kylvölaikku oli jäänyt taimettumatta, tilalle otettiin sitä lähinnä oleva elävä istutustaimi tai taimettunut kylvölaikku, joista tehtiin em. mittaukset ja luokitukset.

Kolmannessa mittauksessa taimet inventoitiin koealalle sijoitetuilta 2–3 mittausympyrältä (20 m², säde 2,52 m). Ympyrän keskipistettä lähinnä olevasta suon tasapinnasta määritettiin turpeen paksuus ja pohjakerroksen kasvillisuuden peittävyys asteikolla 1–4 (luokat: turvekangas-, rahkasammal-, karhunsammal- tai karikepinta). Ympyrän sisään rajattiin samaa keskipistettä käyttäen pienempi 10 m²:n ympyrä (säde 1,78 m). Isommalta mittausympyrältä luettiin puulajeittain kaikki vähintään 1,5 m:n pituiset taimet. Pienemmältä ympyrältä luettiin puulajeittain myös pienet taimet (kokoluokka 0,3–1,5 m). Pienemmältä ympyrältä arvioitiin myös kasvatuskelpoisten puiden määrä (minimi 0, maksimi 3 kpl) puulajeittain. Kasvatuskelpoisuutta määritettäessä kriteerinä oli, että enintään 3 000 puuta/hehtaari saavuttaa ensiharvennusvaiheessa kuitupuun mitat. Kasvatuskelpoisten puiden välisen minimietäisyyden tuli olla 80 cm ja puun pituuden yli 30 cm. Kulakin mittausympyrältä valittiin puidenluvun yhteydessä otannalla 10–15 koepuuta, joista määritettiin silmävaraisesti kuntoluokka, tuhonaiheuttajat ja tekninen laatu sekä mitattiin läpimitta (d1.3, mm) ja pituus (dm). Lisäksi vähintään kahden metrin pituisista mäntykoepuista mitattiin elävän latvuksen paksuimman sivuverson tyviosan läpimitta (mm). Mäntykoepuista mitattiin myös vuotuiset pituuskasvut (cm) taannehtivasti taaksepäin (koepuiden luokitukset ks. Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987).

Kasvualustan (30 cm:n paksuinen pintaturve) ravinnemäärät analysoitiin ennen hakkuuta syyskuussa 1988. Kolmelta saralta otettiin turvekairalla (poikkileikkausala 25 cm²) yhteensä 22 turvenäytettä. Kukin näyte koostui neljästä osanäytteestä, jotka otettiin saran keskiosan ja ojanreunan puoliväliin sijoitetun neliönmuotoisen alan (sivu 2 m) kulmapisteistä ja jotka analyysivaiheessa yhdistettiin. Elävä kasvillisuus ja maatumaton karike poistettiin näytteistä ennen niiden analysointia. Turvenäytteet analysoitiin kerroksittain (0–5 cm, 5–15 cm ja 15–25 cm). Kuivatuksen (70 °C 2 vrk) ja punnituksen jälkeen näytteistä määritettiin tilavuuspaino. Typpipitoisuus (N) määritettiin Kjeldahl-menetelmällä (Halonen ym. 1983) ja kivennäisravinnepitoisuudet kuivapoltetuista ja HCl-uutetuista näytteistä: kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), rauta (Fe), mangaani (Mn), sinkki (Zn) ja kupari (Cu) atomiabsorptiospektrofotometrillä (Aas), boori (B) atsometiini-H menetelmällä ja fosfori (P) vanado-molybdaaatti-menetelmällä (Halonen ym. 1983). Tilavuuspainojen avulla ravinnepitoisuudet muunnettiin ravinnemääräksi (kg ha⁻¹).

Kuusen ja männyn istutusaloilta kerättiin maaliskuussa 2006 neulasnäytteet taimikon ravinnetilan selvittämiseksi. Näytteet edustivat luonnonpintaan, konelaikkuun ja mättäälle istutettuja taimia. Kuusen neulasnäyte koostui koealan 12–15 puun ja männyn neulasnäyte 8 puun sivuversojen (1–2 kpl/puu) nuorimmista neulasista, jotka otettiin toiseksi tai kolmanneksi ylimmästä oksakiehkuras-ta. Molempien puulajien neulasnäytteitä analysoitiin 16 kpl ja ne edustivat eri tavoin muokattu- ja istutusaloja. Ravinnemääritykset (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu ja B) tehtiin samoilla menetelmillä kuin turvenäytteiden ravinnemääritykset. Lisäksi punnittiin 100 neulasen kuivamassa.

2.4 Aineiston käsittely

Luokkamuuttujien jakaumia ja niiden välisiä riippuvuuksia tutkittiin Khin-neliö-testillä (χ^2 -testi). Taimitunnusten ja taimien ravinnetilan riippuvuutta uudistamistavasta ja/tai maanmuokkauskäsittelystä testattiin varianssianalyysillä (SPSS 15.0-ohjelmisto). Käsittelyjen pareittaisessa vertailussa käytettiin Bonferron-testiä.

3 Tulokset

3.1 Maan kosteusolot ja muokkauspintojen kasvillisuus

Kunnostusojituksen on havaittu alentavan pohjavesipintaa 5–15 cm (Ahti 1995) ja korpikuusi-kon avohakkuun vastaavasti kohottavan sitä 20–25 cm (Päivänen 1982). Hyrynpurolla pohjavesipinnan syvyys maanpinnasta oli elokuussa 1988 ennen hakkuuta välillä 15–25 cm. Talvihakkuun jälkeen seuraavana kesänä 1989 pohjaveden syvyys oli 20–30 cm, siitä vuotta myöhemmin 25–55 cm ja kahta vuotta myöhemmin 45–65 cm. Säähavaintojen mukaan kesä-elokuun sademäärä oli jaksolla 1988–1991 vuosittain samaa suuruusluokkaa (vaihtelu 211–241 mm). Näin ollen on luultavaa, että pohjavesipinnan aleneminen neljäntenä mittausvuonna 1991 oli seurausta syksyllä 1989 tehdystä kunnostusojituksesta. Pohjaveden pinta ei ehtinyt avohakkuun seurauksena juuri nousta, kun kunnostusojitus tehtiin heti hakkuun jälkeen.

Maanmuokkaustapa vaikutti avohakatulla alalla pohjakerroksen kasvilajiston koostumukseen ja kehittymiseen. Syksyllä 1993 – hakkuusta neljä kasvukautta – tehdystä silmävaraisessa taimikotarkastuksessa havaittiin muokkaamattomalle ja konetallatulle alalle ilmaantuneen uutta rahkasammalkasvustoa, laikutussalalle myös karhunsammalta. Mätäspinnalla ei rahkasammalkasvus-

toa juurikaan ollut. Kun maanpinnan käsittelystä oli kulunut 15 vuotta, rahkasammalia esiintyi edelleen muokkaamattomalla, konetallatulla ja laikutusosalalla. Mätästysalalta rahkasammalet olivat väistyneet ja pohjakerros edusti lähes poikkeuksetta kangassammallajien dominoimaa turvekangaspintaa. Muokkaamattomalla alalla turvekangaspinnan osuus oli 75 %, konetallatulla alalla 65 % ja laikutusosalalla 25 %. Karhunsammalkasvustoa tavattiin lähinnä vain laikutusosalalta.

3.2 Luontainen taimiaines

Valtapuuston alla kasvaneen alle 0,5 metrin mittaisen kuusialikasvoksen tiheys ennen hakkuuta oli n. 10 000 kpl ha⁻¹ (taulukko 1). Kookkaampi alikasvos (pituus 0,5–1,3 m) oli valtaosin hieskoivua ja sen tiheys vaihteli n. 700–2 000 kpl ha⁻¹. Männyn taimia esiintyi vain satunnaisesti (< 200 kpl ha⁻¹).

Suojuspuualalle syntyi kahden kasvukauden aikana hakkuusta kuusen taimia 3400 kpl ha⁻¹ (taulukko 2). Avohakkuualalla kuusen taimia oli muokkausta seuranneen ensimmäisen kasvukauden jälkeen muokkaustavasta riippuen 2 800–11 400 kpl ha⁻¹. Muokatuilla aloilla taimitiheys oli 3–4-kertainen muokkaamattomaan verrattuna. Kolmen seuraavan vuoden aikana kuusen taimitiheys aleni huomattavasti, mutta erot muokkaustapojen välillä säilyivät. Kuusen taimien keskipituus oli 5 vuoden kuluttua hakkuusta 9–11 cm.

Hieskoivun taimia oli suojuspuualalla ensimmäisessä inventoinnissa 7 000 kpl ha⁻¹ ja muokatuilla avoaloilla 4 700–24 000 kpl ha⁻¹. Konetallatulla ja laikutetulla alalla hieskoivua oli merkittävästi enemmän kuin mätästys- tai muokkaamattomalla alalla (taulukko 2). Seuraavan kolmen vuoden aikana hieskoivun määrä aleni tuntuvasti kaikilla muokkausvaihtoehdoilla. Hieskoivun taimien keskipituus oli 5 vuoden kuluttua hakkuusta 30–40 cm.

Männyn taimia syntyi kokeen perustamisen jälkeen hyvin vähän–muokkaustavasta riippuen 0–400 kpl ha⁻¹, eikä niitä tavattu enää 4 vuoden kuluttua kokeen perustamisesta. Suojuspuualalla männyn taimia löytyi vuoden kuluttua suojuspuuhakkuusta 1000 kpl ha⁻¹.

Suojuspuualalla oli 15 vuoden kuluttua hakkuusta kuusia lähes 7 000 kpl ha⁻¹, hieskoivuja lähes 16 000 kpl ha⁻¹ ja mäntyjä noin 200 kpl ha⁻¹. Muokkaamattomalla avohakkuualalla kuusen taimia oli lähes 17 000 kpl ha⁻¹, hieskoivun taimia noin 20 000 kpl ha⁻¹ ja männyn taimia vajaat 500 kpl ha⁻¹ (kuva 3). Muokatuilla avohakkuualoilla kuusen taimia oli merkittävästi vähemmän kuin muokkaamattomalla alalla. Hieskoivua oli laikutusosalalla merkittävästi enemmän kuin muilla muokkausvaihtoehdoilla.

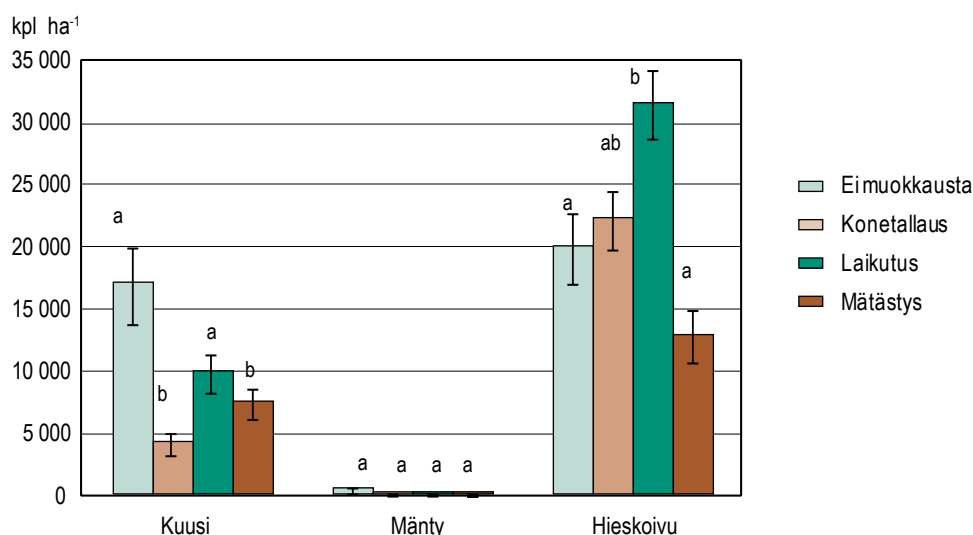
Suojuspuualalla kuusen keskipituus oli 2,3 m ja hieskoivun 3,5 m. Avohakkuualan kuuset olivat keskimäärin 1,9 metrin ja hieskoivut 3,1 metrin pituisia.

Taulukko 1. Alikasvoksen tiheys (kpl ha⁻¹) puulajeittain ennen uudistamishakkuuta syksyllä 1988.

Sarka	Kuusi		Hieskoivu		Mänty	
	<0,5 m	0,5–1,3	<0,5 m	0,5–1,3	<0,5 m	0,5–1,3
2	9 950	550	450	2 200	100	0
4	10 000	150	50	750	0	0
7	10 900	300	0	1 850	200	100

Taulukko 2. Taimitiheys (kpl ha⁻¹) suojustuuston alla ja eri tavoin muokatuilla avohakkuualoilla yhden ja neljän vuoden kuluttua muokkauksesta, hakkuun jälkeen luontaisesti syntynyt taimiaines. - = ei mittausta. Samalla kirjaimella merkityt arvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan (muokkauksikäsitteilyjen väliset erot puulajeittain ja ajankohdittain, Bonferron testi).

	1 vuosi muokkauksesta			4 vuotta muokkauksesta		
	Kuusi	Hieskoivu	Mänty	Kuusi	Hieskoivu	Mänty
SUOJUSTUUSTO						
Muokkaamaton	3 400 a	7 000 a	1 000	-	-	-
AVOALA						
Muokkaamaton	2 800 a	4 700 a	< 400	2 200 a	1 300 a	0
Konetallaus	9 100 ab	24 000 b	< 400	5 700 ab	14 000 b	0
Laikutus	11 400 b	17 300 b	< 400	8 500 b	9 400 b	0
Mätästys	10 300 b	4 700 a	< 400	5 800 ab	1 700 a	0



Kuva 3. Luonnontaimien tiheys maanmuokkauksikäsitteilyittäin (kpl ha⁻¹, keskiarvot ja -virheet) Hyrynpuron avohakkuualoilla. Hakkuusta 15 vuotta, maanmuokkauksesta 14 vuotta. Mukana kaikki yli 0,3 m pituiset taimet. Samalla kirjaimella merkityt pylväiden arvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan (muokkauksikäsitteilyjen väliset erot puulajeittain, Bonferron testi).

3.3 Kylvötaimet

Kuusen taimitiheys kuusen hajakylvöaloilla oli vuoden kuluttua kylvöstä muokkauksikäsitteilystä riippuen 17 900–84 900 kpl ha⁻¹ ja männyn taimitiheys männyn hajakylvöaloilla 10 400–10 5000 kpl ha⁻¹ (taulukko 3). Luvuissa ovat mukana myös ne luonnontaimet, joita inventoinnissa ei voitu erottaa kylvötaimista. Kuusen taimitiheys hajakylvetyllä alalla oli muokkauksikäsitteilystä riippuen 4–8-kertainen kylvämättömän alan kuusen taimitiheyteen verrattuna.

Muokatulla hajakylvöalalla kuusentaimia oli 2–5-kertaisesti ja männyn taimia 5–10-kertaisesti muokkaamattomaan hajakylvöalaan verrattuna (taulukko 3). Kuusen ja männyn taimia oli syntynyt eniten mätästetylle alalle, jolla myös muokattua pintaa oli muita maanmuokkausvaihtoehtoja enemmän. Seuraavan kolmen vuoden kuluessa kuusen taimitiheys hajakylvöalalla aleni alle puoleen ja männyn taimitiheys kolmasosaan.

Taulukko 3. Kuusen ja männyn taimitiheys (kpl ha⁻¹) hajakylvöaloilla 1 ja 4 vuoden kuluttua muokkauksesta ja kylvöstä. Samalla kirjaimella merkityt arvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan ko. vuonna (muokkauskäsittelyjen väliset erot puulajeittain, Bonferron testi).

	1 vuosi kylvöstä		4 vuotta kylvöstä	
	Kuusi	Mänty	Kuusi	Mänty
Muokkaamaton	17 900 a	10 400 a	12 700 a	2 900 a
Konetallaus	40 000 ab	53 700 b	25 000 ab	17 700 ab
Laikutus	60 600 b	57 000 b	26 200 ab	20 800 b
Mätästys	84 900 b	105 000 b	35 700 b	35 500 b

Kuusen kylvötaimet olivat neljän vuoden kuluttua kylvöstä muokatulla alalla merkitsevästi pitempiä (8–11 cm) kuin muokkaamattomalla (6 cm). Männyn kylvötaimien pituus oli muokatulla alalla 14–16 cm ja muokkaamattomalla 11 cm.

Kuusen taimitiheys laikkukylvöalojen muokatulla pinnalla oli vuoden kuluttua kylvöstä muokkauskäsittelystä riippuen 11–109 kpl m⁻² ja männyn taimitiheys 8–100 kpl m⁻² (taulukko 4). Kuusen taimia oli muokatulla pinnalla 5–10-kertaisesti ja männyn taimia 6–12-kertaisesti muokkaamattomaan luonnonpintaan verrattuna. Sekä kuusen että männyn kylvötaimia oli mättäillä merkitsevästi enemmän kuin muilla pinnoilla. Muokkaamattomalla pinnalla joka viides kuusen kylvölaikku ja joka neljäs männyn kylvölaikku oli jäänyt taimettumatta. Muokatulla pinnalla riippumatta muokkaustavasta lähes kaikissa kylvöpisteissä oli vuoden kuluttua kylvöstä vähintään yksi elävä taimi.

Ensimmäisen ja neljännen kylvön jälkeisen vuoden välillä taimitiheys aleni alle puoleen kaikilla kylvöpinnoilla (taulukko 4). Eniten taimimäärät vähenivät konelaikuissa. Muokkaamattoman luonnonpinnan kylvökohdista noin puolet oli taimettomia ja muokatuilla pinnoilla taimettomia kylvökohtia oli puulajista ja muokkaustavasta riippuen vain 7–63 %, kun kylvöstä oli kulunut 4 vuotta (taulukko 5). Elossa olevien havupuiden taimien kunto oli lähes poikkeuksetta 'hyvä' tai 'tydyttävä'. Kuntoluokaltaan 'välttävien' ja 'huonojen' taimien osuus jäi alle 5 %:n.

Taulukko 4. Kuusen ja männyn taimitiheys (kpl m⁻²) laikkukylvöalojen eri muokauspinnoilla 1 ja 4 vuoden kuluttua muokkauksesta ja kylvöstä. Samalla kirjaimella merkityt arvot eivät poikkea toisistaan ko. vuonna (muokkauskäsittelyjen väliset erot puulajeittain, Bonferron testi).

	1 vuosi kylvöstä		4 vuotta kylvöstä	
	Kuusi	Mänty	Kuusi	Mänty
Luonnonpinta	11 a	8 a	6 a	4 a
Kuokkalaikkupinta	55 b	48 b	15 b	18 b
Konetallauspinta	57 b	58 b	17 bde	19 bde
Laikkupinta	62 b	53 b	8 a	10 a
Mätäspinta	109 c	100 c	50 f	31 f

Taulukko 5. Taimettomien kylvökohtien suhteellinen osuus (%) laikkukylvössä 1 ja 4 vuoden jälkeen eri kylvöpinnoilla.

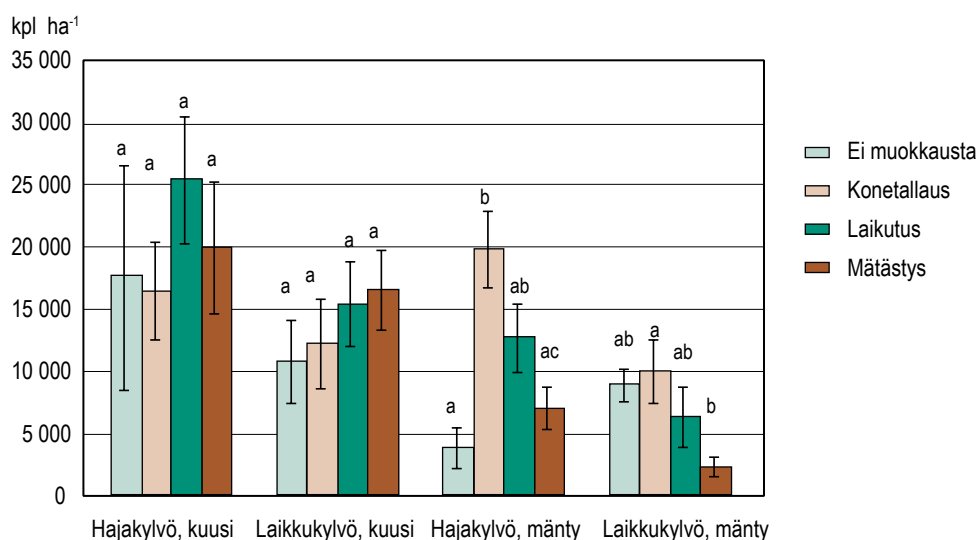
	1 vuosi kylvöstä		4 vuotta kylvöstä	
	Kuusi	Mänty	Kuusi	Mänty
Luonnonpinta	23	51	28	51
Konetallauspinta	0	36	0	27
Laikkupinta	< 1	63	< 1	43
Mätäspinta	0	7	0	14

Kuusen taimien pituus oli 4 vuoden kuluttua kylvöstä mättäällä 11 cm, muilla muokkauspinoilla 8–9 cm ja luonnonpinnalla 6 cm. Myös männyn taimet olivat kookkaimpia mättäällä (18 cm) kuin muilla muokkauspinoilla (14–16 cm) tai luonnonpinnalla (pituus 10 cm).

14 vuoden kuluttua kylvöstä kuusen taimitiheys vaihteli kuusen kylvöaloilla muokkaustavasta riippuen vajaasta 11 000:sta reiluun 25 000:een kpl ha⁻¹ (kuva 4). Eri muokkaustapojen väliset erot eivät olleet merkitseviä, vaikka taimia oli muokatulla alalla yleensä enemmän kuin muokkaamattomalla. Hajakylvöaloilla kuusentaimia oli kaikissa muokausvaihtoehdoissa enemmän kuin laikkukylvöaloilla. Muokatuilla hajakylvöaloilla kuusen taimitiheys oli yli kaksinkertainen verrattuna viljelemättömiin muokkausaloihin, mutta muokkaamattomilla aloilla erot kylvön ja luonnon uudistumisen välillä jäivät vähäisiksi (vrt. kuvat 3 ja 4).

Myös männyn hajakylvö tuotti yleensä enemmän taimia kuin laikkukylvö (kuva 4). Mänty näytti olleen niin haja- kuin laikkukylvössäkin herkin taimettumaan konetallatuilla aloilla. Männyn kylvöaloilla männyn taimitiheys oli merkitsevästi suurempi kuin viljelemättömillä aloilla.

Kuusen taimien keskipituus kylvöaloilla 14 vuoden iässä oli keskimäärin 1,7 metriä eli lähes sama kuin luontaisten kuusten pituus. Männyn taimien pituus oli 1,8 metriä ja edellisen 10-vuotiskauden keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu 17 cm.



Kuva 4. Kuusen ja männyn taimitiheys kylvöaloilla maanmuokauskäsittelyittäin (kpl ha⁻¹, keskiarvot ja -virheet) 14 vuoden kuluttua viljelystä. Mukana kaikki yli 0,3 m pituiset taimet. Samalla kirjaimella merkityt pylväiden arvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan (Bonferroni testi, muokauskäsittelyjen väliset erot).

3.4 Istutustaimet

Viljelykesän lopulla kuusen istutustaimet olivat silmävaraisesti arvioituna huonokuntoisia, männyn istutustaimet puolestaan elinvoimaisia. Vuoden kuluttua kuusen taimista 57–68 % oli terveitä ja lähes kaikki taimet olivat elossa (taulukko 6). Männyn istutustaimista vastaavasti 68–85 % oli terveitä ja kuolleiden osuus oli vähäinen. Seuraavan kolmen vuoden aikana kuusen taimista kuoli 15–21 % ja männyn taimista 14–33 %. Kuusen taimet olivat 4 vuoden kuluttua istutuksesta etenkin muokatuilla aloilla selvästi parempikuntoisia kuin männyn taimet (taulukko 7). Mättäälle istutetut taimet olivat elinvoimaisempia kuin muille muokkauspinnoille istutetut taimet.

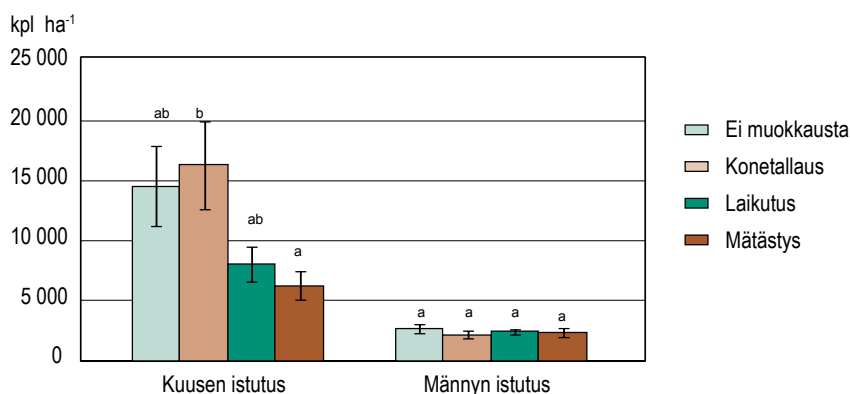
Istutustaimia kohdanneista alkuvaiheen tuhoista merkittävimpiä olivat kuusella halla ja männylä hirvet. Hallan vikuuttamia kuusia löytyi jo kahden vuoden kuluttua viljelystä, samoin hirvien talleamia ja katkomia mäntyjä ja hieskoivuja. Neljän vuoden kuluttua viljelystä kuusen istutustaimista lähes kolmasosa oli hallan vikuuttamia. Hallavaurioiden yleisyys vaihteli muokkaustavoitain: tasapinnalla vaurio ilmeni 49 %:lla, konetallauspinnalla 39 %:lla, laikkupinnalla 27 %:lla ja mätäspinnalla 12 %:lla. Hallasta siis kärsivät eniten muokkaamattoman pinnan taimet ja vähiten mätästaimet. Erot eri muokkaustapojen välillä olivat myös Khin-neliö-testin mukaan tilastollisesti merkitsevät ($\chi^2=84,2$; $df = 3$; $p = 0.000$). Männyllä hirven aiheuttamia vikoja esiintyi 8 %:lla ja harmaakaristetta 7 %:lla taimista, kun istutuksesta oli kulunut 4 vuotta.

Taulukko 6. Kuusen ja männyn istutustaimien kuolleisuus (% taimista) 1 ja 4 vuoden kuluttua viljelystä.

	Kuusi		Mänty	
	1 vuosi	4 vuotta	1 vuosi	4 vuotta
Muokkaamaton	1	15	0	19
Konetallaus	1	24	4	21
Laikutus	0	33	1	22
Mätästys	1	18	2	17

Taulukko 7. Kuusen ja männyn istutustaimien elinvoimaisuus (% taimista) 4 vuoden kuluttua viljelystä.

	Mänty (n=959)			
	Hyvä	Tyydyttävä	Välttävä	Huono
Muokkaamaton	42	43	13	2
Konetallaus	41	46	10	3
Laikutus	31	45	16	8
Mätästys	52	41	6	1
	Kuusi (n=954)			
	Hyvä	Tyydyttävä	Välttävä	Huono
Muokkaamaton	45	50	4	1
Konetallaus	59	40	1	< 1
Laikutus	58	39	2	1
Mätästys	71	26	3	< 1



Kuva 5. Kuusen ja männyn taimitiheys 14 vuoden kuluttua istutuksesta eri maanmuokkauskäsittelyillä (kpl ha⁻¹, keskiarvot ja -virheet). Mukana kaikki yli 0,3 m mittaiset taimet. Samalla kirjaimella merkityt pylväiden arvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan (muokkauskäsittelyjen väliset erot puulajittain, Bonferron testi).

Kuusen istutusaloilla kuusen taimia oli 14 vuoden kuluttua viljelystä 6 300–14 600 kpl ha⁻¹ ja männyn istutusaloilla männyn taimia 2 400–2 750 kpl ha⁻¹ (kuva 5). Kuusen taimitiheys oli muokkaamattomilla ja konetallatuilla saroilla selvästi suurempi kuin laikutus- tai mätästysaloilla. Männyntaimien määrään muokkauskäsittely ei vaikuttanut.

Kuusen istutustaimien pituus 4 vuotta viljelyn jälkeen oli muokkaustavasta riippuen 21–32 cm ja männyn istutustaimien pituus 43–53 cm (taulukko 8). Mättäällä kasvaneet taimet olivat merkitsevästi (6–7 cm) pitempiä kuin muilla muokkauspinnoilla kasvaneet taimet, jotka puolestaan poikkesivat merkitsevästi luonnonpintaan istutetuista taimista.

Sekä kuusen että männyn taimien pituus- ja läpimitan kehitys oli jatkossakin nopeinta mätästysaloilla (taulukko 8). 14 vuoden kuluttua viljelystä kuusten keskipituus vaihteli välillä 1,7–2,3 metriä ja istutusmätäntyjen pituus välillä 2,5–3,1 metriä. Kuuset olivat istutusaloilla keskimäärin 20 cm ja istutusmätäntä keskimäärin 70 cm kookkaampia kuin kylvöaloilla.

Männyntaimien pituuskasvu istutusaloilla oli viimeisen 10-vuotiskauden aikana 23 cm v⁻¹, eli 6 cm v⁻¹ kylvötaimien kasvua nopeampaa. Männyn vuotuinen pituuskasvu oli mätästysaloilla 2–4 cm suurempi kuin muilla muokkausaloilla. Myös hieskoivu oli kookkainta mättäillä (3,7 m) ja pienintä laikutus- ja konetallausaloilla (2,8–3,0 m).

Taulukko 8. Kuusen ja männyn pituus yhden ja neljän vuoden kuluttua istutuksesta sekä pituus ja läpimitta 14 vuoden kuluttua istutuksesta. Samalla kirjaimella merkityt arvot eivät poikkea toisistaan ko. vuonna. (muokkauskäsittelyjen väliset erot puulajeittain ja ajankohdittain, Bonferron testi).

	1 vuosi viljelystä		4 vuotta viljelystä	
	Pituus (cm)		Pituus (cm)	
	Kuusi	Mänty	Kuusi	Mänty
Luonnonpinta	10 a	10 a	21 a	43 a
Konetallauspinta	11 a	10 a	24 b	47 b
Laikkupinta	12 a	12 a	26 b	47 b
Mätäspinta	11 a	11 a	32 c	53 c

	14 vuotta viljelystä			
	Pituus (dm)		Läpimitta (d1.3, cm)	
	Kuusi	Mänty	Kuusi	Mänty
Luonnonpinta	1,4 a	3,4 a	1,8 a	2,5 a
Konetallauspinta	1,3 a	2,9 a	1,7 a	2,5 a
Laikkupinta	1,3 a	2,9 a	1,8 a	2,7 a
Mätäspinta	2,3 b	4,8 b	2,3 b	3,1 b

3.5 Taimikon kasvatuskelpoisuus ja ulkoinen laatu

3.5.1 Kasvatuskelpoinen taimitiheys

Hakkuuta ja uudistamista seuranneella 10-vuotisjaksolla Hyrynpuron tutkimuskohteelle muodostui täystiheä havu- ja lehtipuusekoitteinen taimikko. Hieskoivun runsaus ja nopea alkukehitys haittasivat paikoin havupuiden – etenkin männyn – kehitystä. 2000-luvun alkuvuosina kuusen taimissa havaittiin kaliumin puutosoireita, jotka voimistuivat vuoden 2006 taimikonperkauksen jälkeen. Männyn kylvö- ja istutusaloilla hirvet tekivät useana vuonna huomattavaa vahinkoa. Suojuspuualoilla puusto harveni tuulenkaatojen vuoksi; loput suojuspuut poistettiin jo 5 vuoden kuluttua kokeen perustamisesta.

14 vuoden kuluttua taimikon perustamisesta arvioitiin niiden taimien määrä, joiden arvioitiin voivan tilajärjestyksen puolesta kasvaa kuitupuumittoihin, kun taimikko perataan ja harvennetaan metsänhoito-ohjeen mukaisesti. Laskelmassa suurin hyväksytty kasvatustiheys oli 3 000 kpl ha⁻¹.

Kaikki uudistamisvaihtoehdot tuottivat täystiheän hieskoivusekoitteisen kuusitaimikon. Kasvatuskelpoinen kuusen taimitiheys vaihteli viljely- ja muokkaustavasta riippuen 1 930–2 920 kpl ha⁻¹. Erot viljelyalojen (kylvö, istutus) ja luontaisesti uudistuneiden alojen (avoala, suojuspuusto) välillä eivät olleet merkittäviä (taulukko 9). Männyn istutusaloilla kasvatuskelpoinen männyn taimitiheys vaihteli 670–930 kpl ha⁻¹ ja männyn kylvöaloilla 450–1 750 kpl ha⁻¹. Luontaisen hieskoivun vastaava taimitiheys vaihteli muokkauskäsittelystä ja viljelytavasta riippuen 0–730 kpl ha⁻¹ ja luontaisen männyn taimitiheys 0–280 kpl ha⁻¹.

Taulukko 9. Kasvatuskelpoinen taimitehyys puulajeittain ja muokkaus- ja viljelytavoittain. Uudistamistoimenpiteistä kulunut 14 vuotta.

	MUOKKAAMATON			
	Kuusi	Mänty	Hieskoivu	Yhteensä
Suojuspuusto	2 215	25	355	2 595
Ei viljelyä	2 780	60	170	3 010
Kuusen kylvä	2 600	0	0	2 600
Kuusen istutus	2 800	70	0	2 870
Männyn kylvä	1 750	800	0	2 550
Männyn istutus	1 400	930	200	2 530
	KONETALLAUS			
	Kuusi	Mänty	Hieskoivu	Yhteensä
Ei viljelyä	1 930	130	730	2 790
Kuusen kylvä	2 690	0	125	2 815
Kuusen istutus	2 920	80	0	3 000
Männyn kylvä	810	1 750	375	2 935
Männyn istutus	2 170	670	170	3 010
	LAIKUTUS			
	Kuusi	Mänty	Hieskoivu	Yhteensä
Ei viljelyä	2 670	280	60	3 010
Kuusen kylvä	2 700	160	80	2 940
Kuusen istutus	2 610	60	60	2 730
Männyn kylvä	1 665	1 170	40	2 875
Männyn istutus	1 890	720	280	2 890
	MÄTÄSTYS			
	Kuusi	Mänty	Hieskoivu	Yhteensä
Ei viljelyä	2 400	70	70	2 540
Kuusen kylvä	2 850	0	0	2 850
Kuusen istutus	2 470	0	270	2 740
Männyn kylvä	1 850	450	50	2 350
Männyn istutus	1 600	730	0	2 330

3.5.2 Taimikon tekninen laatu ja terveydentila

Maanmuokkaus tai viljelytapa eivät merkittävästi vaikuttaneet kuusten ulkoasuun tai tekniseen laatuun. Kylvetyistä kuusista 87 % ja istutetuista kuusista 81 % luokiteltiin 14 vuoden iässä ulkoiselta laadultaan 'normaaleiksi', luontaisesti syntyneistä kuusista 80 %. Joka viidennellä kuusella ilmeni monilatvaisuutta tai latvanvaihtoa, joka kolmannella kuusella neulaskatoa. Muokkaamattomien ja konetallausalojen kuusentaimissa havaittiin enemmän neulasten poikkeavaa kellertävää värisävyä (14 % taimista) kuin laikutus- tai mätätysalojen kuusentaimissa (2–4 %:lla).

Ulkoasultaan 'normaalien' mäntyjen osuus kaikista männyistä oli muokkaustavasta riippuen 30–50 %, loput olivat eriasteisesti oksikkaita ja mutkaisia. Istutusmännyistä 10 % ja kylvömännyistä 5 % luokiteltiin oksikkaiksi. Mätätysalojen männyt olivat muita mäntyjä selvästi oksikkaampia: joka neljäs luokiteltiin normaalia oksikkaammaksi. Oksikkuus näkyi männyllä myös paksuim-

man elävän oksan läpimitassa, joka oli mätästysaloilla 21 mm ja muilla muokkauskäsittelyillä 13–15 mm. Muokkaustavasta riippuen 77–94 %:lla männystä esiintyi monilatvaisuutta tai latvan vaihtoa. Yli 90 %:lla todetuista vauriotapauksista kyseessä oli hirven katkoma latva tai oksa. Hirvi oli käyttänyt ravinnokseen myös kuusta ja hieskoivua - syöntijälkiä havaittiin joka kolmannessa hieskoivussa ja joka kuudennessa kuudessa.

3.6 Pintaturpeen ravinteisuus ja puiden ravinnetilat

3.6.1 Kasvualustan ravinnemäärät

Turpeen pinnalle oli Hyrynpurolla kuivumissukcession seurauksena muodostunut 4–6 cm:n paksuinen raakahumuskerros. Rakenteeltaan löyhän ja lähes maatumattoman raakahumuksen alla oleva turve oli kohtalaisen runsastyypinen (N-pitoisuus 2,2–2,6 % turpeen kuiva-aineesta). 15 vuoden kuluttua uudistamishakkuusta ja kunnostusojituksesta pintaturpeen (5–10 cm:n kerros) maatumisuus oli muokkaamattomilla saroilla keskimäärin 3 ja muokatuilla 4–5 (von Post).

Turpeen ravinnemäärät ennen uudistamishakkuuta elokuussa 1988 olivat samaa suuruusluokkaa kuin aiemmissa tutkimuksissa on mustikkaturvekankaalle esitetty (taulukko 10) (Kaunisto & Paavilainen, Kaunisto & Moilanen 1998, Westman & Laiho 2003). Raakahumuskerros mukaan lukien puiden kasvualustassa oli tyypeä, fosforia ja kaliumia enemmän, mutta kalsiumia vähemmän kuin Kauniston ja Paavilaisen (1988) tai Kauniston ja Moilasan (1996) raportoimissa vanhoilta ojitusalueilta kerätyissä turvenäyteaineistoissa.

Taulukko 10. Kasvualustan ravinnemäärät (kg ha⁻¹) kerroksittain (sarat 2, 4 ja 7).

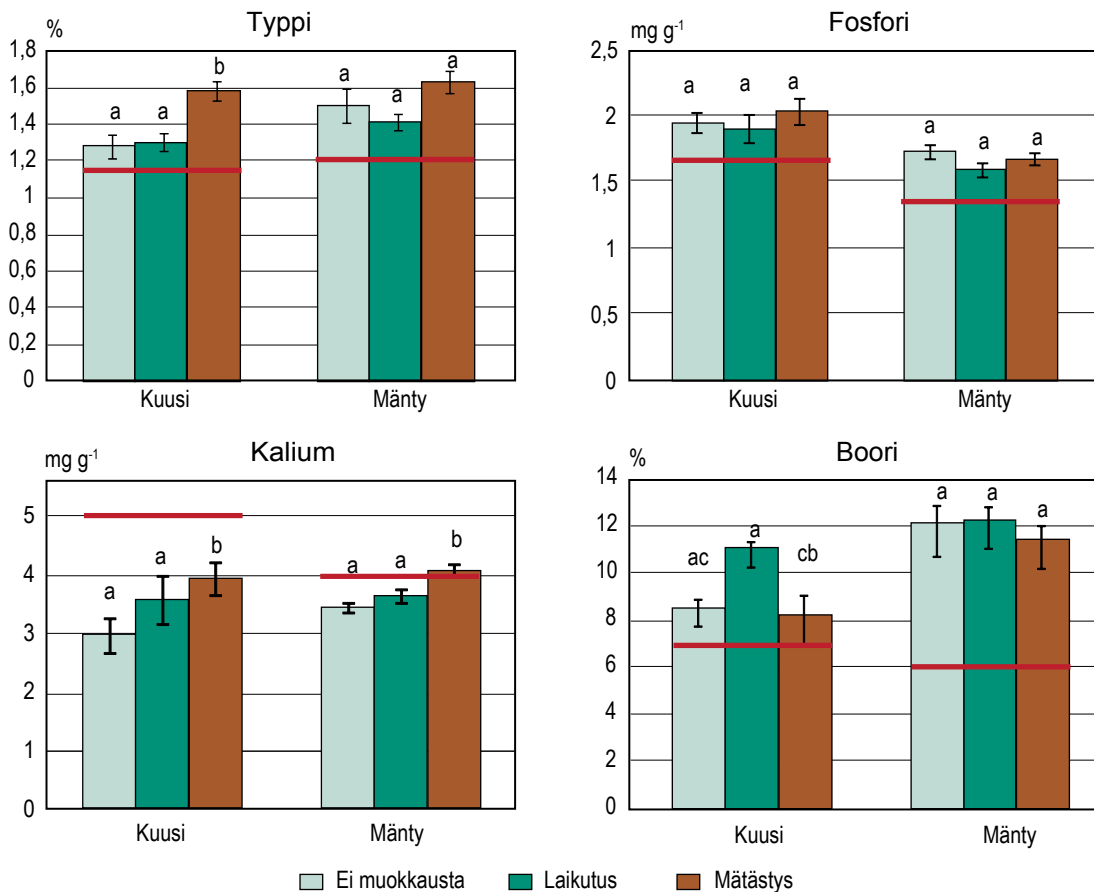
Ravinne	Raakahumus (5 cm)	Turve (10 cm)	Turve (10–20 cm)
N	540–665	3 590–4 245	4 410–4 730
P	40–42	225–300	185–230
K	25–30	45–75	10–30
Ca	185–245	430–500	500–940
Mg	20–25	55–80	55–120
Fe	70–190	1 750–3 200	1 765–2 060
Mn	11–15	8–9	7–18
Zn	1,0–1,4	1,2–1,5	0,6–0,9
Cu	0,1–0,2	0,6–0,8	0,7–1,0
B	0,10–0,15	0,14–0,20	0,10–0,80

3.6.2 Taimikon ravinnetila

Kuusen taimissa alkoi esiintyä n. 10 vuoden iällä ravinnepuutosten ulkoisia oireita, jotka viittasivat kaliumin saatavuuden ongelmiin. Seuraavina vuosina myös osa männyn istutustaimista näytti kärsivän kaliumpulasta. Kun metsikön perustamisesta oli kulunut 15 vuotta, kaliumin puutokseksi tulkittua kuusen neulasten keltaisuutta ilmeni varsinkin muokkaamattomilla (21–28 % taimista) ja konetallatuilla aloilla (25 % taimista). Selvästi vähemmän neulasten keltaisuutta esiintyi laikutusaljoilla (8 % taimista) ja mätästysaloilla (3 % taimista).

Neulasanalyysin mukaan kuusen ja männyn istutustaimien ravinnetila oli 15 vuoden iällä yleensä hyvä tai tyydyttävä (kuva 6, taulukko 11). Poikkeuksena oli kalium, jonka alhainen pitoisuus osoitti varsinkin kuusella mutta myös männyllä voimakasta puutostilaa, etenkin muokkaamattomilla ja laikutetuilla aloilla. Kuusen neulasten K-pitoisuus oli keskimäärin $3,5 \text{ mg g}^{-1}$ ja männyn neulasten $3,7 \text{ mg g}^{-1}$, kun sen tulisi olla kuusella yli 5 mg g^{-1} ja männyllä yli 4 mg g^{-1} (Reinikainen ym. 1998, Moilanen ym. 2005). Neulasten B-pitoisuus oli molemmilla puulajeilla puutosrajojen (kuusi 7 mg kg^{-1} , mänty 5 mg kg^{-1}) yläpuolella.

Käytetty maanmuokkaustapa vaikutti tiettyjen ravinteiden pitoisuuksiin. Kuusen neulasten N- ja K-pitoisuus olivat mätätysaloilla merkitsevästi korkeammat kuin muokkaamattomilla tai laikutusaloilla (kuva 6). Männyllä tulos oli samansuuntainen. Kuusen neulasten B-pitoisuus olivat mätätysaloilla merkitsevästi alemmat (8 mg kg^{-1}) kuin laikutusaloilla (11 mg kg^{-1}), ja männyn neulasten Cu-pitoisuus oli mätätysaloilla merkitsevästi alempi ($2,3 \text{ mg kg}^{-1}$) kuin muilla maankäsittelyaloilla ($2,7\text{--}2,9 \text{ mg kg}^{-1}$) (taulukko 11). Männyn neulasten kuivamassa oli mätätysaloilla merkitsevästi korkeampi kuin laikutusaloilla.



Kuva 6. Kuusen ja männyn istutustaimien neulasten N-, P-, K- ja B-pitoisuudet 15 vuoden iällä. Samalla kirjaimella merkittyjen pylväiden arvot eivät poikkea toisistaan merkitsevästi (muokkauskäsittelyjen väliset erot puulajeittain, Bonferron testi). Punainen viiva osoittaa ko. ravinteen puutosrajan.

Taulukko 11. Kuusen ja männyn istutustaimien neulasten Ca-, Mg-, Fe-, Mn-, Zn- ja Cu-pitoisuudet sekä neulasten kuivapaino (100 kpl) 15 vuoden iällä. Samalla kirjaimella merkityt arvot eivät poikkea toisistaan merkitsevästi (muokkauskäsittelyjen väliset erot puolajeitain, Bonferron testi).

	KUUSI			MÄNTY		
	Muokkaamaton	Laikutus	Mätästys	Muokkaamaton	Laikutus	Mätästys
Ca, mg g ⁻¹	3,18	2,98	3,07	2,12	2,12	2,12
Mg, mg g ⁻¹	1,14	1,23	1,25	1,35	1,35	1,39
Fe, mg kg ⁻¹	21	22	24	28	27	28
Mn, mg kg ⁻¹	591	778	659	630	653	562
Zn, mg kg ⁻¹	19	23	21	46	43	36
Cu, mg kg ⁻¹	2,3	2,4	2,4	2,9 a	2,7 a	2,3 b
Neulaspaino, g	0,40	0,37	0,42	2,42 ab	2,22 a	3,04 b

4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Taimettumisolot

Käytetty maanmuokkaustapa vaikutti Hyrynpurolla kasvilajiston koostumukseen ja lajien väliin runsaussuhteisiin käsittelyjä seuranneen 14 vuoden aikana. Muokkaamattomalla, konetalatulla ja etenkin laikutetulla pinnalla esiintyi rahkasammalkasvustoa, joka ajan myötä paikoin yleistyi. Tämä viittaa siihen, että huolimatta kunnostusojituksesta pohjaveden pinta viipyi keväisin ja syksyisin lähellä maanpintaa ja turvasi rahkasammalelle suotuisan kasvualustan, kun käytettiin em. ”kevyitä” muokkautapoja. Sitä vastoin kaivurimättäät lienevät säilyneen kuivempina, koska niillä rahkasammalia ei juuri tavattu taimikon vakiintumisen jälkeen ja kasvillisuus edusti lähes poikkeuksetta kynsi-karhunsammalsekoitteista turvekangaspintaa. Mätästykseen liitetty pienojitus lienee sekin voimistanut paikalliskuivatusta. On pääteltävissä, että luontaisen taimettumisen edellytykset kosteusolojen osalta säilyivät kohtuullisina useiden vuosien ajan käytettäessä ’kevyitä’ maanmuokkaustapoja, joissa vältettiin selvästi tasapintaa korkeampien kohoumien tekemistä. Mätäspinnan itämisolot voivat etenkin kuivina kesinä heikentyä (Saarinen 2005). Tuoreet muokkauspinnat – niin laikuissa kuin mättäissä – tosin taimettuivat Hyrynpurolla kylvön jälkeen erittäin hyvin. Missä määrin luontaista taimettumista eri muokkaus- ja kasvillisuuspinnoilla myöhemminä vuosina tapahtui, ei erikseen selvitetty.

Luontainen uudistuminen

Luontaisesti syntyneitä kuusia oli avohakatulla uudistusosalalla 15 vuoden kuluttua hakkuusta 17 000 kpl ha⁻¹ ja hieskoivuja 20 000 kpl ha⁻¹. Päätehakkuuajankohtaan verrattuna kuusen taimia oli puolitoistakertainen ja hieskoivun taimia kymmenkertainen määrä. Männyn luontainen taimettuminen jäi heikoksi siementävän mäntypuuston vähäisyyden ja osaltaan myös kasvupaikan rehevyyden takia. Hieskoivut syntyivät pääosin hakkuun jälkeen, mutta kuusista valtaosa oli olemassa jo hakkuuvuonna. Aiemmissa inventointitutkimuksissa on tehty samansuuntainen havainto: vakiintuneen taimikon kasvatuskelpoisista puista merkittävä osa oli syntynyt emopuuston alle ennen hakkuuta (Hänninen ym. 1972, Räsänen ym. 1985). Myös Lukkalan (1946) tutkimuksessa uuden puusukupolven muodostaneista kuusista yli 60 % oli syntynyt jo ennen uudistamiseen tähtäävää kaistalehakkuuta.

Kaikki maanmuokkaustavat – myös käsintehty kuokkalaikku – edistivät merkittävästi uudistusalan luontaista taimettumista. Muokatuilla aloilla kuusen taimitiheys oli vuoden kuluttua muokkauksesta 3–4-kertainen ja hieskoivun taimitiheys paikoin 4–5-kertainen muokkaamattomaan verrattuna. Kauniston (1985) tutkimuksessa mustikkaturveturvekankaan muokatuille uudistusaloille syntyi 10 vuodessa runsaasti hieskoivua ja riittävästi kuusen taimia, myös laaja-alaisille 4–5 hehtaarin kohteille. Samoin Moilasen ym. (1995) tutkimuksessa muokkaus lisäsi kuusen taimien määrää usean hehtaarin kokoisella avohakkuualalla. Hyrynpurollakin kuusen luontaista uudistumista tapahtui myös uudistamisalueen – lähes 10 hehtaaria – keskiosissa. Maanpinnan muokkauksen on havaittu edistäneen hieskoivun luontaista taimettumista myös Hyrynpuron kohdetta karummilla ojitusalueilla (Moilanen & Issakainen 1984, Kaunisto 1984, Saarinen 2002). 14 vuoden jälkeen ei muokkausten vaikutusta enää havaittu ja kuusen taimia oli muokatulla alalla jopa vähemmän kuin muokkaamattomalla alalla. Huomattava osa muokkauspinnaalle syntyneestä taimiaineksesta oli kuollut jo seuraavan 3 vuoden kuluessa ja väheneminen jatkui niin kuusella kuin hieskoivulla myös myöhemmin vuosina. Vähenemisen syyt ja ajoittuminen jäivät tarkemmin selvittämättä.

Suojuspuustolla ei Hyrynpurolla näyttänyt olleen siementävää vaikutusta. Suojuspuusto harvennutu tuulenskaatojen vuoksi jo hakkuuta seuranneen parin kolmen vuoden kuluessa ja loput puut poistettiin, kun suojuspuuhakkuusta oli kulunut 4 vuotta. Myös Hånellin ja Ottosson-Löfveniuksen (1994) viljavien korprien uudistamistutkimuksessa tuulituhot yleistyivät suojuspuuhakkuun jälkeen: kuuden vuoden aikana puista kaatui 40 %. Tuulenskaatojen riski riippuu mm. kohteen topografiasta, lähikuvioiden aukkoisuudesta ja voimakkaiden tuulien vuotuisesta ja paikallisesta vaihtelusta.

Kuusen siemensatojen vuotuista vaihtelua ei Hyrynpurolla selvitetty. Käpysatojen seurantametsiköiden tuottaman aineiston perusteella voi kuitenkin päätellä, että vuonna 1987 ja etenkin vuonna 1990 Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa varisi runsaasti kuusen siementä (Hokkanen 2000, 2010). Hyrynpurollakin luontaisten kuusten taimitiheys lisääntyi syksystä 1988 kevääseen 1991. On siis todennäköistä, että huomattava osa uudistusosalalle vakiintuneista luontaisista kuusista on peräisin em. vuosien siemensadosta.

Kylvö

Maanpinnan rikkominen lisäsi merkittävästi kuusen ja männyn taimettumista kylvöaloilla. Eniten kylvötaimia löytyi mätäspinnalta, jolla taimitiheys vuoden kuluttua kylvöstä oli 10-kertainen muokkaamattomaan ja kaksinkertainen muihin muokkauspinntoihin verrattuna. Neljän vuoden iällä kuusen kylvötaimista oli kuitenkin kuollut puolet ja männyn taimista vielä enemmän.

Muokkaus – etenkin mätästys – lisäsivät kylvötaimien pituuskasvua. Neljän ensimmäisen vuoden aikana kylvötaimet kasvoivat muokatulla pinnalla vuosittain 1–2 cm enemmän kuin muokkaamattomalla pinnalla. Myös taimien ulkoinen laatu ja elinvoimaisuus säilyivät parempana muokkausaloilla.

Kun kylvöstä oli kulunut 14 vuotta, erot taimitiheyksissä eri muokkauksikäsitteilyjen välillä olivat tasoittuneet. Kuusen kylvöaloilla kuusen taimia oli 11 000–25 000 kpl ha⁻¹ ja männyn kylvöaloilla männyn taimia 2 500–20 000 kpl ha⁻¹. Kylvetyillä muokkausaloilla oli enemmän kuusia kuin viljelemättömillä muokkausaloilla, mutta muokkaamattomilla aloilla erot kylvön ja luontaisen välillä jäivät hyvin vähäisiksi. Vanhoihin tutkimuksiin perustuen kuusen kylvöä pidetään

yleisesti epävarmana uudistamismenetelmänä eikä sitä suositella enempää kivennäis- kuin turve- maillekaan. Tässä tutkimuksessa kuusen kylvö onnistui kuitenkin hyvin. Tulos oli samansuuntainen kuin Moilasen ym. (1995) tutkimuksessa, jossa turve- ja kivennäismaasekoitteiselle muokkaus- pinnalle tehty kuusen hajakylvö tuotti korpikuusikoiden uudistamisaloilla 2–6 vuoden aikana kuusen taimia 7 000–42 000 kpl ha⁻¹.

Istutus

Kuusen ja männyn taimien kuolleisuus vuoden kuluttua istutuksesta oli hyvin pieni, mutta seuraavan 3 vuoden kuluessa molempien puulajien taimista kuoli viidennes. Muokkaustavalla ei ollut merkittävää vaikutusta istutustaimien kuolleisuuteen, toisin kuin Hännellin (1992) ja Holgénin & Hännellin (2000) tutkimuksissa, joissa kuusentaimien kuolleisuus oli avoalan muokkaamattomaan pintaan istutetuilla taimilla merkittävästi suurempi kuin mätäspintaan istutetuilla taimilla. Hyrynpurolla kuusen taimien kuolleisuus ensimmäisen 5 vuoden aikana oli pienempi kuin Hännellin (1992), mutta suurempi kuin Moilasen ym. (1995) tutkimuksessa.

Alkuvuosina männyn taimet olivat silmävaraisesti arvioiden parempikuntoisia kuin kuusen taimet, mutta tutkimusjakson lopussa tilanne oli päinvastainen. Männyn elinvoimaisuutta, laatua ja elossapysymistä häytti vesakoitumisen ohella lähes vuosittain toistuva hirvituho. Kuusen taimia vikuutti alkuvuosina halla. Hallavauriot keskittyivät muokkaamattomalle alustalle, vähiten tuhoja esiintyi mätäillä. Missä määrin mätästäimien parempi hallankestävyys oli seurausta niiden paremmasta ravinnetilasta tai edullisemmasta mikrotopografisesta asemasta, jäi selvittämättä.

14 vuoden kuluttua istutuksesta kuusen taimitiheys oli 6 300–14 600 kpl ha⁻¹ ja männyn taimitiheys 2 400–2750 kpl ha⁻¹. Istutettuja ja luontaisia kuusia ei viimeisessä mittauksessa voitu erottaa toisistaan eikä istutuskuusien kuolleisuutta jaksolla 4–14 vuotta istutuksesta voitu määrittää. Kokonaistaimitiheydestä voidaan kuitenkin päätellä, että istutusalojen kuusista suurin osa oli luontaisesti syntyneitä. Vaikka kaikki istutuskuuset (3 500 kpl ha⁻¹) olisivat säilyneet hengissä, niiden osuus kokonaistaimimäärästä – riippuen muokkaustavasta – oli vain 24–55 %. Männyn istutusaloilla luontaisia mäntyjä ei juuri esiintynyt ja istutusmännystä 69–79 % oli elossa 14 vuoden iällä. Tulos on samansuuntainen kuin 1970-luvun alussa Etelä-Suomeen perustetuissa nk. H-kulttuurikokeissa, joissa männyn istutustaimien elossaolo runsaan 10 vuoden iällä vaihteli Kauniston (1985) selvityksen mukaan välillä 57–86 %.

Istutuskuuset olivat 14 vuoden iällä vain hiukan kookkaampia (1,7–2,3 m) kuin kylvökuuset (1,7 m). Mahdollisesti eroa tasoitti se, että pituusmittauksiin tuli myös ennen hakkuuta syntyneitä kookkaampia luonnontaimia. Istutusmännnyt olivat keskimäärin 0,8 m pitempiä kuin istutuskuuset ja 1,0 m pitempiä kuin kylvömännnyt. Luontaisen hieskoivun keskipituus vaihteli välillä 3,1–3,5 m. Kuusen pituuskehitys oli avoalan muokkaamattomalla pinnalla hitaampaa kuin mätäspinnalla, samoin kuin Holgénin & Hännellin (2000) tutkimuksessa. Myös männyn ja hieskoivun pituuskehitys oli mätäspinnalla nopeampaa kuin muilla muokkauspinoilla.

Taimikon varttuessa ja tihentyessä hieskoivut alkoivat haitata havupuiden, etenkin männyn kehitystä. Ulkoasultaan normaalien mäntyjen osuus kaikista männnyistä jäi alle puoleen, loput olivat oksikkaita ja mutkaisia. Mätäspinnalle istutetuissa männnyissä oksikkuutta esiintyi 2–3-kertaisesti verrattuna muihin muokkauspintoihin. Monilatvaisuutta tai latvan vaihtoa esiintyi 80–90 %:lla männnyistä. Kuusen ulkoiseen laatuun maanmuokkauksella tai viljelytavalla ei ollut vaikutusta. Tekniseltä laadultaan normaaliksi luokiteltiin kuusista 80–87 %.

Kasvatuskelpoinen puusto

Kaikilla uudistamisvaihtoehdoilla saatiin aikaan täystiheä ja kohtalaisen tasainen taimikko. Muokkaus- ja viljelytavalla ei ollut olennaista vaikutusta niiden puiden määrään, joiden arvioitiin kehittyvän kuitupuun mittoihin taimikonhoidon ja ensimmäisen harvennushakkun välillä. Kokonaistaimitiheys oli muokatuilla kylvö- ja istutusaloilla korkeampi kuin muokkaamattomilla ja viljelemättömillä aloilla, mutta taimikon perkauksen jälkeen erot tasoittuivat. Perinteistä runko- puukasvatusta ajatellen maanpinnan rikkomista tai viljelytoimenpiteitä ei siis olisi tarvittu. Riittävän kuusen taimiaineksen takasivat paitsi ennen hakkuuta syntynyt kuusen alikasvos myös hakkuuta edeltävänä ja sen jälkeisenä vuonna saatu keskimääräistä parempi siemensato. Maanpinnan muokkauksia tai viljelyitä Hyrynpuron kohteella ei voitane perustella myöskään energiapuukasvatuksen näkökulmasta, ainakaan jos taloudelliset tekijät otetaan huomioon. Peltosen (1986) laajassa Etelä-Suomen turvemaiden uudistamisaloilta kerätyssä inventointiaineistossa päätulos oli samansuuntainen: kasvatuskelpoisia taimia oli riittävästi niin luontaisesti kuin viljellen uudistetuilla aloilla.

Männyn viljely lisäsi kasvatuskelpoisten männyn taimien määrää, koska Hyrynpuron kohteella edellytykset männyn luontaiselle uudistumisella olivat heikot. Kuusta on kuitenkin pidettävä mustikkaturvekankaan tyyppisillä kasvupaikoilla mäntyä sopivampana puulajina, kuten turvemaiden metsänhoito-ohjeissa (Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007) todetaan. Uudistushakkuun jälkeen nopeasti rehevöityvä pintakasvillisuus ja lehtipuuston voimakas kilpailuvaikutus heikentävät männyn kehitysedellytyksiä ja istutustaimista tulee etenkin mätäspinnalla tekniseltä laadultaan heikkoja.

Taimikon ravinnetila

Pintaturpeen typpi-, fosfori- ja kaliummäärät olivat Hyrynpurolla samaa suuruusluokkaa kuin aiemmissa tutkimuksissa vastaavilta kasvupaikoilta on esitetty (Kaunisto & Paavilainen, Kaunisto & Moilanen 1998, Westman & Laiho 2003). Päätehakkuun ajankohtana puusto oli kasvuissa eikä siinä näkynyt ulkoisia ravinnepuutosoireita. Kasvualustan ravinnevarojen niukkuus ei siis liene rajoittanut metsikön tuotosta ojituksen jälkeisen ensimmäisen puusukupolven aikana.

Kuusen taimissa alkoi näkyä kaliumin puutosta indikoivaa neulasten kellertävää värisävyä, kun metsikön perustamisesta oli kulunut 10 vuotta. Neulasanalyysi vahvisti kaliumvajauksenvaihtaan sekä kuusia että mäntyjä. Kesällä 2008 tehtyjen maastohavaintojen perusteella ongelma oli pahentunut edelleen ja esiintyi taimikossa kauttaaltaan. On pääteltävissä, että epätasapainoinen typen ja kaliumin suhde rajoittaa merkittävästi metsikön myöhempää kasvua ja että kasvatustapojen ehkäiseminen edellyttää kaliumlannoitusta. Hyrynpuron kaltaisissa runsastyyppisissä kohteissa lannoituksen vaikutus puuston kasvuun on yleensä voimakas ja lannoitus perusteltua metsikön nuorissakin kehitysvaiheissa (Rantala & Moilanen 1993, Aarnio ym. 1997, Moilanen ym. 2005).

Turpeen 20 cm:n pintakerroksessa oli kaliumia ennen hakkuuta noin 100 kg ha⁻¹, mikä määrä oli keskimääräistä suurempi verrattuna aiempiin ravinnetaseselvityksiin (mm. Kaunisto & Paavilainen 1988). Kaliumpuutoksen ilmeneminen taimikossa oli siis yllättävä. Aiemmin on esitetty, että puiden ravinnetilan häiriöt korostuvat II-tyyppin mustikka- ja puolukkaturvekankailla, jotka ovat kehittyneet avosoista tai hyvin vähäpuustoisista sekatyypeistä (esim. Moilanen ym. 2005). Sen sijaan I-tyyppin turvekankailla – jota tutkimuskohteestakin osa edusti – ei ongelmia tulisi esiintyä.

Päätehakkuun seurauksena puusto ei enää käytä ravinteita ja myös pintakasvillisuuden ravinteiden otto tilapäisesti taantuu (esim. Palviainen & Finér 2007). Tiedetään myös, että päätehakkuu ja maanmuokkaus aiheuttavat metsäojitusalueilla kaliumin huuhtoutumista (Nieminen & Ahti 2005). On siis mahdollista, että hakkuun jälkeisen muutaman vuoden aikana kaliumin määrä pintaturpeessa Hyrynpurolla merkittävästi väheni huuhtoutumisen seurauksena.

Kaliumia on eniten aivan turpeen pintakerroksessa (esim. Kaunisto & Paavilainen 1988, Laiho ym. 1999) ja syvemmälle mentäessä määrä nopeasti vähenee. Ohutturpeisilla (turvekerros alle 30 cm) kohteilla puut kuitenkin saavat kaliumlisää pohjamaasta eikä vakavia puutostiloja yleensä synny (Moilanen et al. 1996, Saarinen 1997). Hyrynpuron kohteella turvetta oli keskimäärin 70–80 cm ja vähimmilläänkin yli 40 cm, joten pohjamaan kivennäisravinteita taimille saattoi tulla ainoastaan mätästyksessä, jossa viljelyalustaksi kääntyi syvemmällä ollutta maata. Mahdollisesti siksi puiden kaliumtila oli mätäspinnalla parempi kuin muilla muokkauspinnoilla. Tosin mätäspinnallakaan kivennäismaata ei esiintynyt silmin havaittavasti. Joka tapauksessa mätäspinta osoitautui niin typen kuin kaliumin osalta ravinnetaloudellisesti parhaaksi kasvualustaksi.

Johtopäätökset

Hyrynpuron uudistamiskohteella kaikki vertailut metsänuudistamisvaihtoehdot tuottivat täystiheän kuusi-hieskoivu-sekataimikon jo muutaman vuoden kuluessa uudistamishakkuusta. Käytännön metsänhoitokriteerien edellyttämä taimitiheys ylittyi uudistamishetkellä olemassa olleen luontaisen alikasvoksen ja välittömästi hakkuuta seuranneen luontaisen täydentävän taimettumisen ansiosta. Tulokset osoittavat muokkaus- ja viljelytoimien olleen tarpeettomia ja epätaloudellisia: välittömien uudistamisen kustannusten (muokkaus, siemen- ja taimimateriaali) ohella lisäkustannuksia aiheutui työläämmästä taimikonhoidosta, joissa kuusikko ja paikoin myös luontainen hieskoivikko oli selvästi tiheämpää kuin muokkaamattomilla ja viljelemättömillä aloilla. Huolestuttava havainto taimikon tulevaa kehitystä ajatellen oli, että jo 10 vuoden iällä etenkin kuusella ilmeni kaliumpuutostila. On pääteltävissä, että ravinne-epätasapaino rajoittaa puuston tulevaa kasvua merkittävästi ja että kasvutappioiden ehkäisemiseksi metsikössä tarvitaan kasvatujalla ainakin yksi ravinnetilaa tasapainottava lannoitus.

Viitteet

- Aarnio, J., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Veijalainen, H. 1997. Suometsien lannoitus. Teoksessa: Mielikäinen, K. & Riikilä, M. (toim.). 1997. Kannattava puuntuotanto. Metsälehti Kustannus: 116–126.
- Ahti, E. 1995. Kunnostusojituksen vaikutus pohjavesipinnan syvyyteen ja männyn pohjapinta-alan kasvuun karuhkoilla rämemuuttumilla. Julkaisussa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kälviällä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 540: 49-58
- Groot, A. & Adams, M. 1994. Direct seeding black spruce on peatlands: fifth-year results. *Forestry Chronicle* 70: 585-592.
- Gustavsen, H., Heinonen, R., Paavilainen, E., & Reinikainen, A. 1998. Growth and yield models for forest stands on drained peatland sites in southern Finland. *Forest Ecology Management* 107:1-17.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Heikurainen, L. 1954. Rämemänniköiden uudistamisesta paljaaksihakkausta käyttäen. Referat: Über natürliche Verjüngung von Reisermoor – Kiefernbeständen unter Anwendung von Kahlschlag. *Acta Forestalia Fennica* 61(27): 1–21.

- Hannerz, M. & Hånell, B. 1993. Changes in the vascular plant vegetation after different cutting regimes on a productive peatland site in Central Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 193–203.
- Heikurainen, L. 1971. Virgin peatland forests in Finland. *Acta Agral. Fenn.* 12:11–26.
- Heinselman, M. L. 1957. Living Sphagnum found most favorable seedbed for swamp black spruce in Minnesota study. USDA Forest Service, Lake States Forest, Experiment Station. Technical Note. No. 504. 2 s.
- Hokkanen, T. 2000. Seed crops and seed crop forecasts for a number of tree species. Julkaisussa: Mälkönen, E., Babich, N.A., Krutov, V.I. & Markova, I.A. (toim.). Forest regeneration in the northern parts of Europe. Proceedings of the Finnish-Russian forest regeneration seminar in Vuokatti, Finland, Sept. 28th–Oct.2nd, 1998. Finnish Forest Research Institute, Research Papers 790: 87–97.
- Hokkanen, T. 2010. Kuusen käpysatojen vaihtelu vuosina 1986–1993 Muhoksen seurantametsiköissä. Metla, Etelä-Suomen alueyksikkö, Vantaa. Moniste. 1 s.
- Holgén, P. & Hånell, B. 2000. Performance of planted and naturally regenerated seedlings in *Picea abies*-dominated shelterwood stands and clearcuts in Sweden. *Forest Ecology and management* 127: 129–138.
- Hytönen, J. 2008. Suopeltojen metsitys. Julkaisussa: Korhonen, R., Korpela, L. & Sarkkola, S. (toim.). Suomi – Suomaa. Soiden ja turpeiden tutkimus sekä kestävä käyttö. Suoseura ry, Maahenki Oy, Helsinki. s. 212–216.
- Hytönen, J. & Jylhä, P. 2008. Fifteen-year response of weed control intensity and seedling type on Norway spruce survival and growth on arable land. *Silva Fennica* 42(3): 355–368
- Hytönen, J. & Kokko, A. 2006. Mäntyjen ravinnetila Kala- ja Pyhäjokilaaksojen suometsissä vuosina 1998–2005. Raportti Toimeentuloa metsästä -projektille. 12 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. 2007. Metsätalouden Kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus, Helsinki 2007. 50 s.
- Hånell, B. 1988. Post drainage forest productivity of peatlands in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 1443–1456.
- Hånell, B. 1991. Förnyelse av gransumpskog på bördiga torvmarker genom naturlig förnygring under högskärm. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Report 32. 35 s.
- Hånell, B. 1992. Skogsförnyelse på högproduktiva torvmarker – plantering av gran på kallhygge och under skärträd. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Report 34. 71 s.
- Hånell, B. 1993. Regeneration of *Picea abies* forests on highly productive peatlands – clearcutting or selective cutting? *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 518–527.
- Hökkä, H., Kaunisto, S., Korhonen, K. T., Päivänen, J., Reinikainen, A. & Tomppo, E. 2002. Suomen suometsät 1951–1994. [Peatland forests in Finland in 1951–1994. In Finnish.] *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2002.
- Hörnberg, G. 1995. Boreal old-growth *Picea abies* swamp forests in Sweden – disturbance history, structure and regeneration patterns. Swedish University of Agricultural Science, Department of Forest Vegetation Ecology. Umeå, Sweden. Diss. For. Veg. Ecol. 7: 1–25.
- Johnston, W. F. 1977. Manager's handbook for black spruce in the North Central States. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report. NC-34. 18 s.
- Kaunisto, S. 1984. Suometsien uudistaminen turvekangasvaiheessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 137: 7–21.
- Kaunisto, S. 1985. Alustavia tuloksia metsän tehoviljelykokeista turvemaille. Summary: Preliminary results from high efficiency forest regeneration experiments on peatlands. *Folia Forestalia* 619. 16 s.
- Kaunisto, S. 1997. Suometsien kasvu turvattava metsänparannus- ja metsänhoitotoimilla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedote* 27.11.1997.
- Kaunisto, S. & Moilanen, M. 1998. Kasvualustan, puuston ja harvennuspoistuman sisältämät ravinnemäärät neljällä vanhalla ojitusalueella. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 3/1998: 393–410.
- Kaunisto, S. & Tukeva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuvaiheen männiköissä. Summary: Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs. *Folia Forestalia* 585. 40 s.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. Summary: Peatlands drained for forestry during 1930–1978: results from field surveys of drained areas. *Acta Forestalia Fennica* 193. 94 s.

- Laiho, R. & Alm, J. 2005. Turvemaiden ravinteet ja niiden riittävyys. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 40–45.
- Laiho, R., Sallantausta, T. & Laine, J. 1999. The effect of forestry drainage on vertical distributions of major plant nutrients in peat soils. *Plant and soil* 207(2): 169–181.
- Laiho, R., Sarkkola, S., Kaunisto, S., Laine, J. & Minkkinen, K. 2008. Macroscale variation in peat element concentrations in drained boreal peatland forests. *Silva Fennica* 42(4): 555–570.
- Lukkala, O.J. 1938. Ojitettujen soiden metsittämisestä. Refrat: die Aufforstung der entwässerten Moore. *Silva Fennica* 46: 43–57.
- Lukkala, O. J. 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. Referat: Die natürliche Verjüngung der Bruchwälder. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 34(3). 150 s.
- Lukkala, O. J. 1951. Kokemuksia Jaakkoin-suon koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakkoin-suon experimental drainage area. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(6). 53 s.
- Mannerkoski, H. 1971. Lannoituksen vaikutus kylvösten ensi kehitykseen turvealustalla. Summary: Effect of fertilization on the initial development of Scots pine and Norway spruce plantations established by sowing on peat. *Silva Fennica* 5(2): 105–128.
- Mannerkoski, H. 1975. Vanhan ojitusalueen uudistaminen mätätysmenetelmällä. Summary: Hummock-building method in reforestation of an old drainage area. *Suo – Mires and Peat* 26(3-4): 65–68.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 257. ISBN 951-40-0853-79. 237 s.
- Moilanen, M. 2005. Suometsien lannoitus. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi – suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 134–166.
- Moilanen, M., Ferm, A. & Issakainen, J. 1995. Kuusen- ja koivuntaimien alkukehitys korven uudistamisaloilla. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1995(2): 115–130.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1984. Ojituksen, lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksesta luontaiseen uudistumiseen piensararämeellä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 133. 23 s.
- Moilanen, M. & Saksa, T. 1998. Alikasvokset metsänuudistamisessa – varjosta valoon. Pihlaja -sarja 3. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. ISBN 952-5118-18-5. 123 s.
- Moilanen, M., Kaunisto, S. & Sarjala, T. 2005. Puuston ravinnetilan arviointi. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 134–166.
- Moilanen, M., Piironen, M-L. & Karjalainen, J. 1996. Turpeen ravinnevarat metsähallituksen vanhoilla ojitusalueilla. Julkaisussa: Piironen, M-L. & Väärä, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 598: 35–54.
- Moilanen, M., Saarinen, M. & Silfverberg, K. 2010. Foliar nitrogen, phosphorus and potassium concentrations of Scots pine in drained mires in Finland. *Silva Fennica* 44(4): 583-601.
- Multamäki, S. E. 1937. Kuusen uudistamisesta vesiperäisillä mailla. Yksityismetsänhoitajyhdistyksen vuosikirja 10/1937: 147–171.
- Multamäki, S. E. 1939. Kuusen kylvöstä ja sen istutuksesta metsitettävillä soilla. Referat: Über Fichtensaaten und -pflanzung auf zu bewaldenden Mooren. *Acta Forestalia Fennica* 47(3): 1–132.
- Multamäki, S. E. 1942. Kuusen taimien paleltuminen ja sen vaikutus ojitettujen soiden metsittämiseen. Referat: Das Erfrieren der Fichtenpflanzen in seiner Wirkung auf die Bewaldung der entwässerten Moore. *Acta Forestalia Fennica* 51(1). 353 s.
- Nieminen, M. 2004. Export of dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus following clear-cutting of three Norway spruce forests growing on drained peatlands in southern Finland. *Silva Fennica* 38: 123–132.
- Nieminen, M. & Ahti, E. 2005. Hakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus huuhtoumiin. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 254–258.

- Norokorpi, Y., Lähde, E., Laiho, O. & Saksa, T. 1997. Stand structure, dynamics, and diversity of virgin forests on northern peatlands. In: Trettin, C.C., Jurgensen, M.F., Grigal, D.F., Gale, M.R. and Jeglum, J.K. (eds.). Northern forested wetlands. Ecology and management. CRC Press, Lewis Publishers, s. 73–88.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittaustiedoista. Summary: Estimation of the local values of monthly mean, effective temperature sum and precipitation sum from the measurements made by the Finnish Meteorological Office. *Silva Fennica* 17(2): 143–160.
- Palviainen, M. & Finér, L. 2007. Ravinteiden pidättyminen kasvillisuuteen päätehakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen. *Metsätieteen Aikakauskirja* 3/2007: 287–290.
- Peltonen, A. 1986. Metsien uudistaminen turvemaidella kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration on peatlands in the six southernmost forestry districts of Finland. Results from inventories in 1978–1979. *Folia Forestalia* 679. 26 s.
- Pietiläinen, P., Moilanen, M. & Vesala, H. 2005. Nutrient status and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on drained peatlands after potassium fertilization. *Suo – Mires and Peat* 56(3): 101–113.
- Place, I. C. M. 1955. The influence of seedbed conditions on the regeneration of spruce and balsam fir. Canada Department of Northern Affairs and Natural Resources. Forestry Branch, Bulletin 117. 87 s.
- Päivänen, J. 1982. Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan metsäojitusalueen vesitalouteen. Summary: The effect of cutting and fertilization on the hydrology of an old forest drainage area. *Folia Forestalia* 516: 1–19.
- Rantala, T. & Moilanen, M. 1993. Nuorten suomänniköiden lannoituksen kannattavuus Pohjois-Pohjanmaalla. Summary: Profitability of fertilization of young pine stands in northern Ostrobothnia. *Folia Forestalia* 821. 20 s.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – metsänkasvattajan ravinneopas. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 688. 44 s.
- Saarinen, M. 1997. Ojitusaluepuustojen kaliumin puutokset ja metsätalouden suunnittelu. Summary: Assessment of the potassium status of peatlands drained for forestry in connection with forest management planning. *Suo – Mires and Peat* 48(1): 21–25.
- Saarinen, M. 2002. Kasvillisuuden ja maanmuokkauksen vaikutus männyn ja koivun taimettumiseen varpu- ja puolukkaturvekankailla. Summary: Effect of vegetation and site preparation on the restocking of Scots pine and birch in dwarf-shrub and *Vaccinium vitis-idaea* type peatland forests. *Suo – Mires and Peat* 53(2): 41–60.
- Saarinen, M. 2005. Metsänuudistaminen turvemaidella. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 177–193.
- Sarasto, J. & Seppälä, K. 1964. Männyn kylvöistä ojitettujen soiden sammal- ja jäkäläkasvustoihin. Summary: On sowing of pine in moss and lichen vegetation on drained swamps. *Suo* 15(3): 54–58.
- Seppälä, K. & Keltikangas, M. 1978. Alikasvostaimistot Pohjanmaan ojitusalueiden hieskoivikoissa. Summary: Occurrence of understorey seedlings in drained *Betula pubescens* stands in Ostrobothnia. *Suo* 29(1): 11–16.
- Silfverberg, K. & Moilanen, M. 2008. Long-term nutrient status of PK fertilized Scots pine stands on drained peatlands in North-Central Finland. PK-lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan Pohjois-Pohjanmaan ojitusalueilla. *Suo – Mires and Peat* 59(3): 71–88.
- Vasander, H. & Laine, J. 2008. Site type classification on drained peatlands. Julkaisussa: Korhonen, R., Korpela, L. & Sarkkola, S. (toim.). Finland – Fenland. Research and Sustainable Utilisation of Mires and Peat, Finnish Peatland Society. ISBN 978-952-5652-47-5. Maahenki Ltd. Helsinki: 146–151.
- Westman, C.J. & Laiho, R. 2003. Nutrient dynamics of peatland forests after waterlevel draw-down. *Biochemistry* 63: 296–298.
- Wood, J. E. & Jeglum, J. K. 1984. Black spruce regeneration trials near Nipigon, Ontario: Planting versus seeding, lowlands versus upland, clearcut versus stripcut. Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario, Information Report O-X-361. 19 s.
- Zalitis, P. & Indriksons, A. 2004. Spruce forest on Latvian peatland. In: Päivänen, J. (ed.). Wise Use of Peatlands. Proceedings of the 12th International Peat Congress, Tampere, Finland, 6–11 June 2004. Vol 2. Poster presentations. International Peat Society, Saarijärvi, s. 1287–1291.