

## Dissertationes Forestales 164

# Männyn kylvö ja luontainen taimettuminen vanhoilla ojitusalueilla – turvemaiden uudistamisen erityispiirteitä

Markku Saarinen

Metsätieteiden laitos  
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta  
Helsingin yliopisto

Akateeminen väitöskirja

Esitetään Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan luvalla julkisesti tarkastettavaksi Helsingin yliopiston Hyytiälän metsäaseman auditoriossa (Instituutti, Hyytiälän metsäasema, Hyytiäläntie 124, 35500 Korkeakoski )  
20.9.2013 kello 12.00.

*Väitöskirjan nimi:* Männyn kylvö ja luontainen taimettuminen vanhoilla ojitusalueilla –  
turvemaiden uudistamisen erityispiirteitä.

*Tekijä:* Markku Saarinen

*Dissertationes Forestales* 164

*Ohjaajat:*

Professori Harri Vasander  
Helsingin yliopisto  
Professori (emeritus) Jukka Laine  
Metsäntutkimuslaitos

*Esitarkastajat:*

Professori (emeritus) Hannu Mannerkoski  
Itä-Suomen yliopisto  
Dr. Kalev Jõgiste  
Estonian University of Life Sciences

*Vastaväittäjä:*

Professori Seppo Kellomäki  
Itä-Suomen yliopisto

*Taitto:*

Tuire Kilponen

*Kansikuva:*

Terhi Asumaniemi

ISSN 2323-9220 (painettu)  
ISBN 978-951-651-417-1 (nid.)

ISSN 1795-7389 (verkkojulkaisu)  
ISBN 978-951-651-418-8 (pdf)

*Painopaikka:*

Unigrafia, Helsinki 2013

*Julkaisijat:*

Suomen Metsätieteellinen Seura  
Metsäntutkimuslaitos  
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto  
Metsätieteiden osasto, Itä-Suomen yliopisto

*Toimitus:*

Suomen Metsätieteellinen Seura  
PL 18, 01301 Vantaa  
<http://www.metla.fi/dissertationes>

**Saarinen, M.** 2013. Männyn kylvö ja luontainen taimettuminen vanhoilla ojitusalueilla – turvemaiden uudistamisen erityispiirteitä. *Dissertationes Forestales* 164. 64 s.  
<http://www.metla.fi/dissertationes/df164.htm>

## ABSTRACT

Artificial and natural seeding of Scots pine in old drainage areas – Unique features of forest regeneration on peatlands

The aim of this dissertation was to investigate site characteristics unique to nutrient-poor, forestry-drained peatlands from the standpoint of establishing the second post-drainage generation of forest. Specifically, the effects of ground vegetation succession, surface peat structure and composition, water table level, and peat water retention capacity on the regeneration success of Scots pine after artificial and natural seeding were examined.

As *Sphagnum* moss cover declines and moss species typical of upland soils increase in abundance, seedbed receptivity of forestry-drained sites gradually becomes weaker. Thus, in order for natural regeneration to succeed in old drainage areas, some means of soil preparation is necessary, at the very least scarification. Depending on the progression of vegetation succession, a raw humus layer originating from plant litter may also have developed in the forestry-drained area. Following the disappearance of *Sphagnum* cover, the presence of raw humus most notably reduces seedbed receptivity in old drainage areas.

After final felling, changes in the ground layer of vegetation often occur quite slowly especially on dwarf shrub and *Vaccinium vitis-idaea* drained peatland site types, provided that the water table level does not rise too high. The total coverage of vegetation in scalps decreased and succession markedly slowed when the water table level corresponded to that of a well drained site. Maintenance drainage carried out concurrently with soil preparation in the regeneration area is thus an effective measure when attempting to retard the invasion of vegetation onto scalped surfaces. In mounded areas, relatively large, over 25 cm high mounds remained free of vegetation for a long time, particularly when they had been created from deeply dug, highly decomposed peat.

Due to the inherent variation in the water table level (in scalps and rotavated furrows) and sensitivity of the peat to desiccation (in mounds), forest regeneration via artificial or natural seeding is highly susceptible to weather conditions. In a growing season characterized by average rainfall and temperature, the regeneration result tends to be better in mounded than scalped regeneration areas. Such is the case particularly in years when the fluctuating water table level in a scalped regeneration area rises too high during late summer. From the seedling regeneration aspect, this problematic variation in the water level of scalps is a more probable scenario than excessive desiccation of the surface peat in mounds during an average growing season. Scalps, on the contrary, are ideal seedbeds during dry and warm growing seasons when excess drying of mounds is most likely to occur.

**Keywords:** *Pinus sylvestris*, forest regeneration, drained peat soils, water table level, peat moisture, peat water retention, scalping, mounding, vegetation succession, raw humus.

**Saarinen, M.** 2013. Männyn kylvä ja luontainen taimettuminen vanhoilla ojitusalueilla – turvemaiden uudistamisen erityispiirteitä. Dissertations Forestales 164. 64 s.

<http://www.metla.fi/dissertations/df164.htm>

## TIIVISTELMÄ

Tämän väitöstyön tavoitteena oli selvittää vähäravinteisille ojitusalueille ominaisia kasvupaikkatekijöitä toisen kuivatuksen jälkeisen puusukupolven perustamisen näkökulmasta. Tarkastelun kohteeksi valittiin pintakasvillisuuden kehityksen, pintaturpeen rakenteen, vedenpinnan tason sekä turpeen vedenpidätyskyvyn vaikutukset männyn kylvön ja luontaisen uudistamisen onnistumiseen.

Rahkasammalpintojen kadotessa ja kangasmailla ominaisten sammallajien lisääntyessä ojitusalueiden kasvupaikat menettävät vähitellen niille alun perin ominaisen luontaisen taimettumisherkkyytensä. Luontaisen uudistamisen onnistuminen vanhalla ojitusalueella edellyttää näin ollen vähintäänkin kevyttä maanpinnan rikkomista. Kasvillisuussukcession etenemisestä riippuu myös se, onko ojitusaluekuviolla karikkeista muodostunutta raakahumuskerrostumaa, jonka ilmaantuminen on rahkasammalpintojen katoamisen jälkeen merkittävin luontaista taimettumisherkkyyttä heikentävä muutos vanhoilla ojitusalueilla.

Päätehakuun jälkeen pohjakerroksen kasvillisuusmuutokset ovat usein varsin hitaita varsinkin varpu- ja puolukkaturvekankailla, mikäli vedenpinnan taso ei nouse kovin korkealle. Kasvillisuuden kokonaispeittävyys laikuissa pieneni ja kehitys hidastui huomattavasti, kun vedenpinnan taso vastasi hyvässä kuivatustilassa olevan ojitusalueen vedenpinnan tasoa. Uudistusalan kunnostusojitus heti muokkauksen yhteydessä on siten tehokas toimenpide pyrittäessä hidastamaan laikkupintojen peittymistä kasvillisuuteen. Mätästysaloilla suhteellisen kookkaat, yli 25 cm:n korkuiset mättäät pysyivät pitkään kasvipeitteettöminä ja varsinkin silloin, kun ne oli tehty syvältä nostetusta hyvin maatuneesta turpeesta.

Kylväen tai luontaisesti tapahtuva metsänuudistaminen on vedenpinnan tason vaihtelun (laikut ja jyrsinvaot) ja turpeen kuivumisherkkyuden (mättäät) vuoksi hyvin sääoloille herkkiä uudistamismenetelmiä. Sadannan ja lämpötilan suhteen pitkäaikaiskeskiarvoa edustavan kasvukauden aikana taimettumistulos on todennäköisesti parempi mätästetyllä kuin laikutetulla uudistamisalalla. Mättäät ovat taimettumiselle suotuisampia varsinkin sellaisina vuosina, jolloin herkästi vaihteleva vedenpinnan taso laikutetulla uudistamisalalla nousee loppukesän aikana liian korkealle. Tämä laikuissa havaittava vedenpinnan tason taimien syntymiselle epäedullinen vaihtelu on keskimääräisen kasvukauden aikana todennäköisempi ongelma kuin turpeen liiallinen kuivuminen mättäiden pintakerroksessa. Laikut ovat parhaimmillaan kuivien ja lämpimien kasvukausien aikana, jolloin mättäiden liiallinen kuivuminen on todennäköisintä.

Sateiden aiheuttaman vedenpinnan tason vaihtelun vuoksi laikutus on tarkoituksenmukainen maanpinnan valmistusmenetelmä lähinnä luontaisen uudistamisen yhteydessä. Kylvä on turvallisin tehdä mättäisiin ja mahdollisimman pian mätästyksen jälkeen ennen mättäiden pintakerrosten kuivumista.

**Asiasanat:** *Pinus sylvestris*, metsän uudistaminen, ojitetut turvemaat, vedenpinnan taso, turpeen kosteus, turpeen vedenpidätys, laikutus, mätästys, kasvillisuussukcessio, raakahumus.

## KIITOKSET

Sanonta ”rakennettiin kuin Iisakin kirkkoa” on jäänyt pysyvästi suomalaiseen ”ikuisuus-hankkeita” kuvaavaan ilmaisuperinteeseen. Se juontaa juurensa ajalta, jolloin kyseistä kirkkoa rakennettiin Pietariin neljän vuosikymmenen ajan. Tämä työ on ollut minun Iisakin kirkkoni, jota on rakennettu pätkissä vähitellen yli kaksi vuosikymmentä. Ei tätä yhtenäisesti niin pitkään ole tehty, mutta tuo aika on kulunut siitä, kun suuresti arvostamani emeritus-professori ja ”oppi-isäni” Seppo Kaunisto ohjasi minut tämän aihepiirin tutkijaksi ja aloitin ensimmäiseen osajulkaisuun johtaneen tutkimukseni maastotyöt.

Minulta on puuttunut lähes kokonaan kunnianhimo itse väittelemiseen ja tohtorin tutkintoon. Sen sijaan, että olisin alusta asti keskittynyt väitösaieheeseeni, on työtäni aina leimannut tarve hajottaa kiinnostusta ja ajankäyttöä lähes kaikkeen mahdolliseen suometsä-taloutta koskevaan tutkimukseen. Nämä ovat olleet suurimmat syyt siihen, että tämän työn valmistuminen edellytti lopulta ulkoisia pakotteita. Tästä johtuen tunnustan kiitollisuuteni nykyiselle Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusjohtajalle, professori Taneli Kolströmille. Hän laittoi minut ”seinää vasten” irrottamalla työtehtäväni vuodeksi kaikesta muusta ja kehotti tekemään väitöstyöni vihdoinkin loppuun. Olen ymmärtänyt, että kyse oli etuoikeudesta ja suuren mahdollisuuden tarjoamisesta, jota ilman tästä ikuisuushankkeesta ei olisi tullut mitään.

Helsingin yliopiston suometsätieteen professorina aikanaan toiminutta Juhani Päivästä haluan kiittää siitä kannustuksesta, jonka varassa sain pitkän ”pöytälaatikkovaiheen” jälkeen vihdoinkin aikaiseksi tälle työlle tarvittavan kunnollisen suunnitelman. Nyt jo emerituksena hän jaksoi lisäksi tehdä suuren työn sekä viimeisen osajulkaisun että tämän yhteenvedon kieli-asun korjaamisessa. Eihän tästä nytkään kovin helppolukuista tullut, mutta vaikeaselkoisen tekstini perusteellisempi korjaaminen olisi todennäköisesti vaatinut Juhanilta työn kirjoittamista kokonaan uudelleen.

Seppo Kauniston jälkeen Metsäntutkimuslaitoksen suometsätieteen professoriksi tuli Jukka Laine, työni ohjaaja, joka oli myös esimieheni. Hän on useassa eri vaiheessa luonut taisteluhenkä tilanteissa, joissa olen ollut lukkiutuneena työni yksityiskohtiin. Kuten sotaveteraani isältäni, olen myös Jukalta saanut toistuvasti muistutuksen siitä, että ei pidä jäädä ”tuleen makaamaan”.

Jukkakin on jo ehtinyt siirtyä emeritusvaiheeseen, mutta hänen jälkeensä seuraavaksi suometsätieteen professoriksi tuli Raija Laiho, nykyinen esimieheni. Hän on uuden professoriuransa alkuvaiheiden kiireistä huolimatta jaksanut ottaa osan taakastani kannettavakseen ja tehnyt todella paljon töitä avustaessaan käsikirjoitusteni viimeistelyssä.

”Ikuisuushankkeeni” aikana on myös yliopiston puolella ehtinyt suometsätieteen professori vaihtua. Juhani Päiväsen seuraajaksi tuli Harri Vasander, työni nykyinen pääohjaaja. Tälle luonteeltaan välittömälle ystävälleni olen voinut soittaa vaikka illan myöhäisinä tunteina saadakseni apua monissa käytännön järjestelykysymyksissä.

Professorien pitkä lista jatkuu kiittäessäni vielä esitarkastajia eli emeritusprofessori Hannu Mannerkoskea (Itä-Suomen yliopisto) ja professori Kalev Jõgisteä (Estonian University of Life Sciences). Kaikki heidän parannusehdotukset tarkasti huomioiden sain lopulta kasaan sellaisen yhteenvedon, johon itsekritiikkiäni tukahduttaen saatoinkin olla kohutuullisen tyytyväinen. Kiitokset myös professori Seppo Kellomäelle (Itä-Suomen yliopisto), joka suostui tulemaan vastaväittäjäkseni ja lähtemään Joensuusta asti Juupajoelle Hyytiälän metsäasemalle, jonka levollisessa ja hiljaisessa ilmapiirissä halusin väitöstilaisuuteni järjestää.

Väitökseni osajulkaisut perustuvat hyvin työläisiin kenttäkokeisiin ja niillä tehtyihin lukemattomiin toistomittauksiin. En olisi koskaan selviytynyt niistä ilman kenttätöitä työkesseen tekeviä työtovereitani. Hannu Latvajärvi, Ari Ryyänen, Lauri Hirvisaari ja Markku Nikola vastasivat suurimmasta osasta kaikista kenttätöistä. Varsinkin Lauria ja Markkua on kiittäminen suunnatonta sitkeyttä ja kärsivällisyyttä vaatineesta ja uuvuttavasta sirkkaimien laskennasta sekä pintakasvillisuuden kartoituksista. Valitettavasti Markku siirtyi tästä ajasta ikuisuuteen ennen kuin ehdin antaa hänelle kaiken ansaitsemansa kiitoksen. Kenttätöihin liittyivät myös automaattiset tiedonkeruulaitteet kaikkine antureineen, joiden suunnittelusta, tekemisestä, asennuksesta ja huollosta ei olisi tullut mitään ilman Tauno Suomilammin synnynäistä lahjakkuutta kaikenlaisten teknisten laitteiden ja toimenpiteiden hallinnassa. Minulta olisivat kaikenlaiset ”konfiguroinnit” jääneet tekemättä ilman Taunoa.

Osajulkaisut perustuvat osin myös siihen apuun, jota olen saanut tutkijakollegoilta Juha-Pekka Hotaselta, Virpi Aleniukselta, Markku Nygreniltä ja Juha Heiskaselta. Minun tutkijaurani vaiheisiin on kuulunut lukuisia hetkiä, jolloin olen ollut lopen uupunut yrityksiini selviytyä yksin ja oppia asioita omin avuin ”kantapään kautta”. Silloin ei ole auttanut muu kuin tunnustaa vajavaisuutensa ja nöyryä pyytämään apua niiltä, jotka osaavat asiat jo ennestään ja vieläpä paljon minua paremmin. Samalla olen huomannut, kuinka paljon antoisampaa, helpompaa ja sisältörikkaampaa työn tekeminen on, kun tekee sitä yhteistyössä Juha-Pekan, Virpin, Markun ja Juhan kaltaisten ystävien ja oman aihepiirinsä todellisten osaajien kanssa.

Ainoat väitöstyöni osat, jotka ovat saaneet kieliasultaan pelkkää kiitosta, ovat kahden viimeisen osajulkaisun ja yhteenvedon englanninkieliset lyhennelmät. Kunnia siitä kuuluu työtoverilleni ja ystävälleni Meeri Pearsonille, joka juuri sai valmiiksi oman väitöksensä. Haluan sanoa kaikille kielentarkastus- ja käännösapua tarvitseville, että kyse on huippuluokan ammattilaisesta. Tämä minun työni voisi olla kieliasultaan täydellinen, jos olisin antanut sen kokonaan Meerin käännettäväksi.

Joutijärven rannalla, Kihniön Mäkikylässä, juhannuspäivänä 2013

Markku Saarinen

## TUTKIMUKSEEN SISÄLTYVÄT ARTIKKELIT

Väitöskirja koostuu yhteenvedosta ja seuraavista neljästä osajulkaisusta, joihin yhteenvetotekstissä viitataan roomalaisin numeroin I–IV. Tutkimusartikkeleiden uudelleen painattamiseen on saatu lupa artikkelien julkaisijalta.

- I** Saarinen, M. & Hotanen, J-P. 2000. Raakahumuksen ja kasvillisuuden yhteisvaihtelu Pohjois-Hämeen vanhoilla ojitusalueilla. Summary: Covariation between raw humus layer and vegetation on peatlands drained for forestry in western Finland. *Suo* 51(4): 227–242.
- II** 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-scrub and *Vaccinium vitis-idaea* type peatland forests. *Suo* 53(2): 41–60.
- III** Saarinen, M., Hotanen, J-P. & Alenius, V. 2009. Muokkausjälkien kasvillisuuden kehittyminen ojitettujen soiden metsänuudistamisaloilla. Summary: Vegetation succession in prepared microsites in drained peatland forest regeneration areas. *Suo* 60(3-4): 85–109.  
[http://www.suoseura.fi/suo/pdf/Suo60\\_Saarinen.pdf](http://www.suoseura.fi/suo/pdf/Suo60_Saarinen.pdf)
- IV** Saarinen, M., Alenius, V. & Laiho, R. 2013. Kosteusolosuhteiden vaikutus siementen itämiseen ja sirkkataimien varhaiskehitykseen turvemaan metsänuudistamisalan muokkauspinnoilla. *Suo* 64(2). Painossa.

Markku Saarinen on suunnitellut kaikkien yhteenvetoon sisältyvien osajulkaisujen koejärjestelyt ja otantamittaukset. Hänen ohjauksessaan mittaukset on tehty pääosin Metsäntutkimuslaitoksen kenttähenkilöstön toimesta. Saarinen on myös vastannut suurimmasta osasta aineiston käsittelystä, tulosten esittämiseen liittyvästä grafiikasta, tilastomatematiikan analyysien laadinnasta sekä käsikirjoitusten kirjoittamisesta. Alenius on avustanut logististen regressiomallien (**III**), yleistettyjen additiivisten mallien (**III**) ja yleistettyjen lineaaristen sekamallien (**IV**) soveltamisessa. Hän on myös kirjoittanut tilastomatematiikkaa menetelmäkuvaukset (**III**, **IV**). Hotanen on avustanut moniulotteisen skaalauksen käytössä, kirjoittaen myös siihen liittyvän menetelmäkuvauksen (**I**). Lisäksi hän on käynyt laajalti läpi kasviekologista kirjallisuutta ja osallistunut johdannon sekä tulosten tarkastelun kirjoittamiseen (**I**, **III**). Laiho on osallistunut käsikirjoituksen viimeistelyyn ja kirjoittamiseen (**IV**).

## SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Ojitusalue metsien uudistamisen erityispiirteitä .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Vanhojen ojitusalueiden kasvillisuus.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Päätehakuuta seuraava kasvillisuussukessio ojitusalueella.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Kasvillisuuden vaikutus taimettumiseen .....</b>	<b>14</b>
<b>1.5 Pintaturpeen muutokset ojituksen jälkeen.....</b>	<b>15</b>
<b>1.6 Vedenpinnan tason vaikutus laikutusjäljen taimettumiseen .....</b>	<b>15</b>
<b>1.7 Mättään pintakerroksen kosteusvaihtelun vaikutus taimettumiseen .....</b>	<b>16</b>
<b>1.8 Tutkimuksen tavoitteet .....</b>	<b>17</b>
<b>2 AINEISTO JA MENETELMÄT .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Kuivatuksen aiheuttamat kasvillisuuden ja pintaturpeen muutokset .....</b>	<b>18</b>
2.1.1 <i>Vanhojen ojitusalueiden kasvillisuus ja karikkekerrostumat .....</i>	<i>18</i>
2.1.2 <i>Päätehakuun käynnistämä kasvillisuussukessio .....</i>	<i>19</i>
<b>2.2 Itäminen ja sirkkataimien varhaiskehitys.....</b>	<b>20</b>
2.2.1 <i>Kasvillisuuden vaikutus taimettumiseen.....</i>	<i>20</i>
2.2.2 <i>Pintaturpeen muutokset ja niiden vaikutus taimettumiseen .....</i>	<i>21</i>
2.2.3 <i>Vedenpinnan tason vaikutus taimettumiseen .....</i>	<i>21</i>
2.2.4 <i>Mätästurpeen ja kivennäismaan kosteusominaisuudet .....</i>	<i>22</i>
<b>2.3 Kasvihuonekokeet .....</b>	<b>23</b>
2.3.1 <i>Kasvihuonekoe I.....</i>	<i>23</i>
2.3.2 <i>Kasvihuonekoe II .....</i>	<i>24</i>
2.3.3 <i>Kasvihuonekoe III .....</i>	<i>25</i>
<b>3 TULOKSET .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Kuivatuksen aiheuttamat kasvillisuuden ja pintaturpeen muutokset .....</b>	<b>26</b>
3.1.1 <i>Vanhojen ojitusalueiden kasvillisuus .....</i>	<i>26</i>
3.1.2 <i>Karikkekerrostumien esiintyminen.....</i>	<i>26</i>
3.1.3 <i>Kasvillisuus männyn siemenpuualoilla .....</i>	<i>27</i>
3.1.4 <i>Kasvillisuuden leviäminen muokkausjälkiin .....</i>	<i>27</i>



<b>3.2 Itäminen ja sirkkataimien varhaiskehitys .....</b>	<b>29</b>
3.2.1 <i>Jyrsintä ja mätätys luontaisen uudistumisen edistäjinä.....</i>	29
3.2.2 <i>Laikkujen ja mättäiden edut vaihtelevat sääolojen mukaan.....</i>	30
3.2.3 <i>Vedenpinnan tason vaikutus taimien syntyyn kaivurilaukuissa.....</i>	31
3.2.4 <i>Taimien kuolleisuus ja pituuskehitys laukuissa myöhempinä kasvukausina .</i>	32
3.2.5 <i>Kosteusvaihtelu, itämistulos ja taimien pituuskehitys turvemättäillä.....</i>	33
3.2.6 <i>Kivennäismaasekoituksen vaikutus itämistulokseen ja taimien pituuskehitykseen turvemättäillä .....</i>	33
3.2.7 <i>Turvelajin vaikutus itämistulokseen ja taimien pituuskehitykseen .....</i>	33
<b>3.3. Kosteusvaihtelun vaikutus taimettumiseen .....</b>	<b>34</b>
3.3.1 <i>Kasvihuonekoe I.....</i>	34
3.3.2 <i>Kasvihuonekoe II.....</i>	35
3.3.3 <i>Kasvihuonekoe III .....</i>	38
<b>4 TARKASTELU</b>	
<b>4.1 Kuivatuksen aiheuttamat kasvillisuuden ja pintaturpeen muutokset.....</b>	<b>39</b>
4.1.1 <i>Kasvillisuus vanhoilla ojitusalueilla .....</i>	39
4.1.2 <i>Raakahumus vanhoilla ojitusalueilla .....</i>	39
4.1.3 <i>Kasvillisuuslaskennan merkitys taimettumisen kasvupaikkatekijänä .....</i>	41
4.1.4 <i>Kasvillisuusmuutokset muokatulla uudistuslallalla.....</i>	42
4.1.5 <i>Vedenpinnan tason vaikutus laikkupinnan kasvillisuuteen .....</i>	43
4.1.6 <i>Kasvillisuuden leviäminen mätäspinoille .....</i>	44
<b>4.2 Itäminen ja sirkkataimien varhaiskehitys .....</b>	<b>45</b>
4.2.1 <i>Muokkauksen ja pintakasvillisuuden vaikutus siemenpuualan taimettumiseen.....</i>	45
4.2.2 <i>Raakahumuksen vaikutus taimettumiseen .....</i>	46
4.2.3 <i>Muokkauksen ajoitus ja voimakkuus sekä muokattavan turpeen ominaisuudet .....</i>	47
4.2.4 <i>Vedenpinnan tason vaihtelu ja itämistulos laikkupinoilla.....</i>	48
4.2.5 <i>Vedenpinnan tason vaikutus taimen pituuskehitykseen laukuissa.....</i>	49
4.2.6 <i>Turpeen tiheyden, turvelajin ja kivennäismaasekoituksen vaikutus mättäiden kosteuteen .....</i>	49
4.2.7 <i>Mättäiden kosteusvaihtelun vaikutus taimettumiseen.....</i>	50
4.2.8 <i>Taimien pituuskehitys mättäissä.....</i>	51
4.2.9 <i>Laikkujen ja mättäiden taimettumisen vertailua .....</i>	51
4.2.10 <i>Taimettumisen seurantalosten luotettavuuden arviointia.....</i>	54
<b>5 PÄÄTELMÄ.....</b>	<b>54</b>
<b>KIRJALLISUUS .....</b>	<b>57</b>



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Ojitusluemetsien uudistamisen erityispiirteitä

Vuonna 1928 säädetyn ensimmäisen metsänparannuslain seurauksena alkoi maassamme runsaan vuosikymmenen kestänyt uudisojituksen voimakkaan laajentumisen aikakausi. Tämän sotien jälkeen päättyneen lapio-ojituskauden tuloksena kuivattiin soita lähes miljoona hehtaaria (Hökkä ym. 2002). Näin ollen huomattava osa kyseisistä ojitusalueista on saavuttanut 70–80 vuoden ojitusiän. Jo kuivatushetkellä puustoisina olleista osa on ollut jo pitkään uudistamiskypsässä vaiheessa tai uudistaminen on edessä viimeistään lähimmän vuosikymmenen aikana. Etelä- ja Kaakkois-Suomessa tuon aikakauden ojitusalue on tavanomaisimmin ollut jokin ns. aidoista korpityypeistä kuten ruoho-, mustikka- tai kangaskorpi (Keltikangas ym. 1986). Rämetyyppien osuus on sitä vastoin ollut suurin Pohjanmaalla, Kainuussa ja Lapissa. Puolukkaturvekankaaksi kehittyvä varsinainen sararäme on yksittäisistä suotyypeistä ollut yleisin ojituskohde uudisojitus toiminnan kaikkina aikakausina (Keltikangas ym. 1986). Pohjanmaan-Kainuun alueella sen osuus 1930- ja 1950-lukujen kaikista ojitusalueista on lähes neljännes.

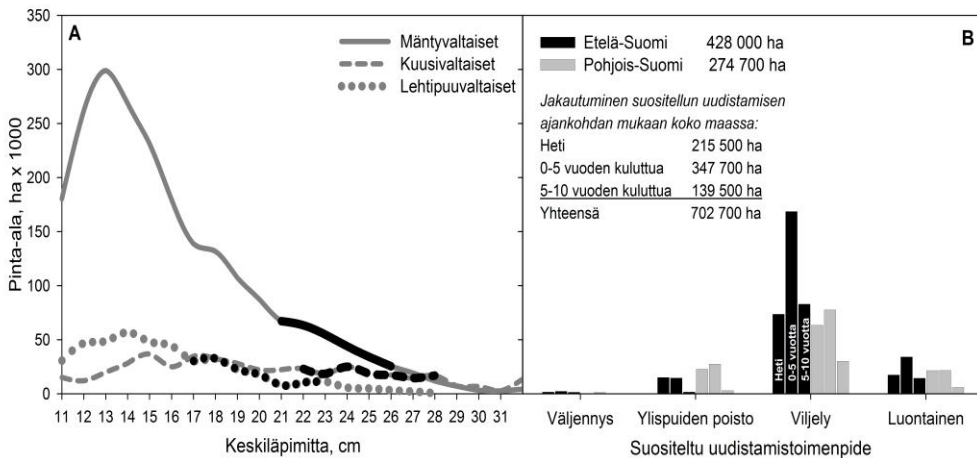
Ojitetuilla soilla ollaan siis yhä nopeutuvassa tahdissa siirtymässä toisen puusukupolven kasvatukseen. Samalla mäntyvaltaisten metsien osuus uudistettavista ojitusalueista lisääntyy voimakkaasti suhteessa kuusi- ja lehtipuuvaltaisiin uudistamiskohteisiin. Lähitulevaisuuden metsänuudistaminen ojitetuilla soilla onkin erityisesti mäntyvaltaisten metsiköiden uudistamista varpu- ja puolukkaturvekankailla. Valtakunnan metsien inventointiaineiston (Metla, Ihalainen, VMI 10) pohjalta laaditun kaavion (kuva 1A) osoittama mäntyvaltaisten metsien "aallonhuippu" kuvaa sitä missä läpimittaluokissa on eniten ojitusluemetsiä. Toistaiseksi vielä 12–14 cm:n läpimittaiset ensiharvennusemetsiköt ovat yleisiä ojitusalueilla ja uudistamisläpimittoihin on niiden kohdalla vielä aikaa useita vuosikymmeniä. Aaltorintaman nousujyrkkyys lisääntyy kuitenkin juuri sillä kohtaa, jossa ollaan saavuttamassa metsänhoitosuosituksissa (Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007) määritellyt uudistamiskypsyyden minimiläpimitat. Tämä tarkoittaa, että vuosittain siirtyy uudistamissuosituksia täyttäviin läpimittaluokkiin kiihtyvässä määrin mäntyvaltaisia metsiköitä.

Ojitusalueilla metsä kannattaa usein uudistaa jo suositusten mukaisessa minimiläpimitassa (Kojola ym. 2012). Mikäli minimiläpimittoja käytetään ainoana kriteerinä, voidaan uudistamiskypsiä ojitusluemetsiä arvioida olevan tällä hetkellä vajaa 400 000 ha. Valtakunnan metsien kymmenennen inventoinnin mukaan välittömästi toteutettaviksi katsottuja uudistamishakkuuehdotuksia oli runsas 215 000 ha (kuva 1B). Näissä ehdotuksissa sovellettiin myös muita hakkuukriteereitä kuin vain minimiläpimittaa. Samoin kriteerein olisi lähimmän viisivuotiskauden aikana ojitusalueilla uudistettavia metsiköitä peräti 347 000 ha välittömästi uudistettavien lisäksi. Kymmenen vuoden aikaperspektiivillä voitaisiin ojitusluemetsiä uudistaa tehdä yhteensä yli 700 000 hehtaarilla.

Ojitusalueilla uuden puusukupolven perustamisen kannattavuus on todennäköisesti heikompi kuin vastaavan tuotospotentiaaloin omaavalla kangasmaalla. Tämä johtuu erityisesti suotuisan vesi- ja ravinnetalouden ylläpitämisen sekä vesistöjen suojelun edellyttämistä lisäkustannuksista. Kannattavuuteen vaikuttavat myös huonosti kantavan maapohjan ja oja-verkoston aiheuttamat korkeammat korjuukustannukset, joiden ainakin teoriassa voisi olettaa johtavan kangasmaiden leimikoita pienempiin kantorahatuloihin. Varsinkin varputurvekankailla on syytä miettiä, kannattaako seuraavaa puusukupolvea perustaa lainkaan. Harkinta on paikallaan ainakin silloin, mikäli kalliiksi osoittautunutta mätästys-istutus-

uudistamisketjua aiottaisiin käyttää eteläisintä Suomea pohjoisempana. Etelä-Suomi pois lukien on ojitusalueilla kaikkiaan 575 000 ha varputurvekankaita (Keltikangas ym. 1986), joista huomattavalla osalla toisen puusukupolven kasvatuksen kannattavuus lienee varsin kyseenalaista, mikäli metsikön perustamiskustannukset nousevat korkeiksi.

Tutkimuksin tulisikin kyetä vastaamaan, mitä näille varputurvekankaille tehdään jatkossa. Jos uusi puusukupolvi perustetaan, niin millä menetelmillä saadaan uudistaminen pienimmillä kustannuksilla tyydyttävästi onnistumaan? Tämä edellyttää uutta tutkimustietoa erityisesti luontaisen uudistamisen ja kylvön mahdollisuuksista turvemaiden uudistamisalojen erityisolissa. Uudistamisalan lämpöolojen suuri vaihtelu eli käytännössä hallanarkeus ja turvemaan ravinnesuhteet poikkeuttavat turve- ja kivennäismaat toisistaan (Kaunisto ja Päivänen 1985; Saarinen 1997). Tärkeimmät siementen itämiseen ja sirkkataimien varhaiskehitykseen vaikuttavat ympäristötekijät liittyvät kuitenkin ojitusalueille ominaiseen kasvillisuuteen ja siinä tapahtuviin muutoksiin sekä kasvualustan kosteusvaihteluihin. Kosteiden rakkasammalkasvustojen vaihteleva esiintyminen, lähellä maanpintaa oleva vedenpinnan taso sekä turpeen kyky toisaalta sitoa kosteutta ja toisaalta kuivan turpeen taipumus hylkiä vettä ovat ominaisuuksia, jotka erottavat turvemaat selvästi kangasmaista. Nämä ovat samalla niitä kylväen tai luontaisesti tapahtuvan uudistamisen onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä, joihin liittyvät suurimmat tiedon puutteet ojitetuilla turvemailla.



**Kuva 1.** Mänty-, kuusi-, ja lehtipuuvalltaisten ojitusaluemetsien runkolukujakaumat alkaen 11 cm:n läpimittaluokasta (1A). Tummennettu osuus käyrästä ilmaisee metsänhoitosuosittelusten (Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007) mukaisten uudistamisen minimiläpimittojen vaihtelualueen, jonka laajuus määräytyy kasvupaikkatyyppin, lämpösommuvyöhykkeen ja kasvatusvaihtoehtojen mukaan. Valtakunnan metsien 10. inventoinnin yhteydessä tehtyjen uudistamishdotusten pinta-alat kiireellisyysluokittain erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomessa (1B). Molemmat kuvat piirretty Metsäntutkimuslaitokselta (Antti Ihalainen) saadun valtakunnan metsien inventointiaineiston pohjalta.

## 1.2 Vanhojen ojitusalueiden kasvillisuus

Ojituksen tuloksena vedenpinnan taso laskee ja turpeen korkeuskasvu hidastuu tai pysähtyy orgaanista hajotusta edistävän ilmavuuden lisääntyessä (Karsisto 1979; Clymo 1984; Lieffers 1988). Riittävän tehokkaan kuivatusvaikutuksen lopputuloksena korkealla olevaan vedenpinnan tasoon sopeutunut ja turvetta tuottanut suokasvillisuus vaihtuu vähitellen kangasmaille tyypilliseksi kasvilajistoksi (Sarasto 1952, 1957, 1961; Kuusipalo ja Vuorinen 1981; Pienimäki 1982; Reinikainen 1984; Laine ym. 1995). Mikäli vedenpinnan taso pysyy jatkossakin riittävän syvällä, muodostavat kangasmetsien sammalet pääosan pohjakerroksen kasvillisuudesta ja kasvupaikka muuttuu turvekankaaksi (Sarasto 1957, 1961; Mannerkoski 1970, 1976b; Kuusipalo ja Vuorinen 1981; Pienimäki 1982; Kurimo ja Uski 1988). Suurella osalla vanhoista ojitusalueista kasvillisuussuksessio kuitenkin keskeytyy ja saattaa jopa vaihtaa suuntaansa rahkasammalpintojen lisääntyessä ojien kunnan heikkenemisen sekä sitä seuraavan turvemaan vedenpinnan nousun takia. Ojitusalueille onkin tyypillistä kasvillisuuden erisuuntaisten kehityskulkujen luoma vaihtelu, jonka voi olettaa vaikuttavan hyvin voimakkaasti luontaiseen taimettumiseen ja luontaisen uudistamisen onnistumisen edellytyksiin. Tämän vuoksi tarvitaan erityisesti uudistamisen näkökulmasta tietoa siitä, miten kasviekologisissa tutkimuksissa kuvatut ojitettujen soiden kasvillisuussuksessiot todella ilmenevät kuivatushistorialtaan erilaisilla vanhoilla ojitusalueilla.

## 1.3 Päätehakkuuta seuraava kasvillisuussuksessio ojitusalueella

Metsäojitetuilla soilla kasvillisuuden sukseksioon vaikuttavat ympäristötekijät muuttuvat voimakkaasti, kun ojituksen jälkeen kehittynyt ensimmäinen puusukupolvi uudistetaan. Puuston poiston ja maanmuokkauksen seurauksena uusistusalalla esiintyy paljon pieni-piirteistä kasvupaikkavaihtelua. Uudistusalat ovat myös kasvillisuudeltaan nopean muutoksen tilassa (esim. Moilanen ym. 1995). Muokkaamattomiksi jääneiden kasvillisuuspintojen lisäksi uudistamisalalla on runsaasti paljastunutta turvepintaa sekä turpeen ja kivennäismaasekoituksen muodostamia erityyppisiä kasvipeitteettömiä pintoja kuten mätätäitä ja laikkuja. Näillä pinnoilla käynnistyy kasvillisuuskehitys (vrt. Ferm ja Pohtila 1977; Ferm ja Sepponen 1981), jonka myötä ojitusalueiden pintakasvillisuuden rakenteeseen muodostuu kokonaan uusia vaihtelusuuntia (Moilanen ym. 1995).

Uudistamisalan muokkauksella pyritään parantamaan maan lämpö- ja vesitaloutta sekä ilmavuutta, ja vähentämään kasvillisuuden kilpailua. Lopullisena tavoitteena on edistää joko luontaista taimettumisherkkyyttä tai viljelytaimien alkukehitystä (mm. Mannerkoski 1975; Moilanen ja Issakainen 1981; Kaunisto ja Päivänen 1985; Moilanen ym. 1995). Kuten kivennäismailla, turvemaidenkin muokkausjäljet säilyvät kasvipeitteettöminä enimmillään vain muutaman kasvukauden ajan. Turvemaiden muokkausjälkien kasvillisuuden kehittymiseen voidaan olettaa vaikuttavan ainakin seuraavat tekijät: kasvualustan koostumus (esim. turvelaji, maatuneisuus) ja sen ravinteisuus (Reinikainen 1965; Salonen ja Laaksonen 1994; Moilanen ym. 1995), turpeen vedenpinnan taso (mm. Tuittila ym. 2000a, b), ilmasto ja säänvaihtelut (mm. kuivakaudet, sateet), paljastuneessa turpeessa mahdollisesti olevat kasvilajien leviämimet (Jauhiainen 1998) sekä ympäröivä kasvillisuus (Moilanen ym. 1995).

Uudistusalojen muokkauspintojen, kuten muokkaamattomienkin pintojen, kasvillisuussukseksiosta on kuitenkin esitetty hyvin niukasti havaintoja tai tutkimustuloksia (Saarinen 1993; Moilanen ym. 1995). Jonkin verran vertailuaineistoa tarjoavat kivennäismaiden muokkausjälkien tutkimukset (Ferm ja Pohtila 1977; Ferm ja Sepponen 1981; Hauessler

ym. 1999) sekä myös paljaiden, eri tavoin käsiteltyjen turvekenttien sukkessiotutkimukset (esim. Reinikainen 1965; Salonen 1990, 1992; Salonen ja Laaksonen 1994; Tuittila ym. 2000a, b). Siitä, miten turpeen vedenpinnan taso ja sen vaihtelu vaikuttavat turpeen pintaan tehtyjen muokkausjälkien kuten laikkujen kasvillisuuskehitykseen ei toistaiseksi ole julkaistua tietoa. Sama koskee mättäitä siltä osin kuin on kyse niiden kosteusvaihteluiden ja turpeen fysikaalisten ominaisuuksien kasvillisuusvaikutuksista.

#### 1.4 Kasvillisuuden vaikutus taimettumiseen

Luonnontilaisella suolla siemenen itämisen ja sirkkataimen alkukehityksen kannalta on olennaista rahkasammalkerroksen kosteus, mikä säilyy kuivimmissakin sääolosuhteissa sammalten vettä varastoivan solukon ja suonpintaa lähellä olevan vedenpinnan tason ylläpitämänä (Losee 1961; Jeglum 1979; Groot ja Adams 1994). Sammalkerroksen kasvu ja ajoittain liian korkealle nouseva vedenpinta tukahduttavat kuitenkin suurimman osan suonpinnalle vuosittain syntyvästä taimimateriaalista (Saarinen 1933; Roe 1949; Arnott 1968; Johnston 1977; Jeglum ja Kennington 1993). Ojitusalueella vedenpinnan haitallinen vaikutus on poistettu, kunnes ojaverkoston toimivuus aikaa myöten heikkenee. Rahkasammalversojen kasvu on myös taantunut, vaikka niiden peittävyys säilyykin pitkään merkittävänä osana ojitusalueen kasvillisuutta.

Yleisesti ottaen erityisesti rahkasammalpinnat, ruskean rahkasammalen muodostamia mättäitä lukuunottamatta, tarjoavat otollisen itämisalustan puiden siemenille ojitusalueilla (Place 1955; Heinselmann 1957; Sarasto ja Seppälä 1964; Johnston 1977; Wood ja Jeglum 1984; Groot ja Adams 1994). Myös rämekarhunsammal- ja suonihuopasammalpinnat sekä ruohoturvekankaiden varstasammalpinnat voivat olla hyviä taimettumisalustoja. Sen sijaan muut karhunsammalpinnat sekä turvekankaille ominaiset seinä- ja kerrossammalkasvustot taimettuvat erittäin huonosti. Seinäsammalpinnoilla taimettumisherkkyyks tosin vaihtelee, sillä taimettumista heikentävät ominaisuudet liittyvät todennäköisesti enemmän sammalten kasvutapaan ja -nopeuteen kuin sammalajiin sinänsä (Sarasto ja Seppälä 1964).

Kenttäkerroksen kasvilajeista taimettumista heikentävät niukkaravinteisilla ojitusalueilla erityisesti tupasvilla sekä harmaa- ja pallosara (Sarasto 1963). Näistä tupasvilla voi varpu- ja puolukkaturvekankailla levitä erittäin voimakkaasti uudistushakkuun jälkeen (Kuusipalo ja Vuorinen 1981). Ruohoturvekankaiden uudistusaloilla kenttäkerroksen kasvillisuuden kehitys on erityisen voimakasta. Tiheät vadelmakasvustot ovat usein tavanomaisia viljavimpien turvemaiden avohakkuualueilla. Samoin maitohorsma ja mesiangervo muodostavat tiheitä ja taimia varjostavia kasvustoja (Hannerz ja Hännell 1993; Moilanen ym. 1995).

Havainnot tupasvillan leviämisestä turvekankaiden siemenpuualoilla koskevat muokkaamattomien pintojen lisäksi myös jyrsinpintoja. Vastaavasti mätästyspinnat saattavat jo parissa vuodessa peittyä karhunsammalkasvustoihin ja menettää taimettumisherkkyytensä nopeammin kuin vastaavat kivennäismaiden muokkausjäljet (Moilanen ym. 1995). Turvemaiden uudistusalojen muokkausjälkien pintakasvillisuuden kehittymisestä on hyvin vähän kasvillisuuden seurantaan perustuvaa tietoa. Erityisesti luontaisen uudistamisen näkökulmasta tarvitaan lisätietoa siitä miten kasvillisuuden kehitys muokkausjäljissä vaikuttaa niiden taimettumisherkkyyden säilymiseen uudistamistoimenpiteitä seuraavina kasvukausina.

### 1.5 Pintaturpeen muutokset ojituksen jälkeen

Luonnontilaisilla soilla puiden ja pintakasvillisuuden karikkeet hautautuvat nopeasti kasvavaan sammalkerrokseen ja muodostuvaan pintaturvekerrokseen. Ojituksen, suokasvillisuuden häviämisen, turpeen kerrostumisen loppumisen sekä puustobiomassan ja sen karikemäärän lisääntymisen myötä tilanne muuttuu. Vaikka luonnontilaisen suon sammalajisto vähitellen katoaa, ei uusi kuivempiin oloihin sopeutunut ja kangasmaille tyypillinen lajisto yleensä kykene välittömästi korvaamaan syntynyttä uutta kasvutilaa (Vasander 1990). Sen biomassassa on lisäksi suosammallajiston biomassaa selvästi vähäisempi (Vasander 1987). Ojitusalueen biomassatuotoksen painopiste siirtyy sammal- ja varpukasvillisuudesta puustoon, joka tuottaa yhä runsaammin kariketta (Laiho ja Laine 1996). Lisääntyvä maanpäällinen karikesato kerrostuu kasvunsa lopettaneen turvekerroksen pinnalle (Vasander 1987). Tämän pääosin puiden karikkeista muodostuvan raakahumuskerroksen on todettu olevan merkittävä uudistusalan taimettumiseen vaikuttava ympäristötekijä (Yli-Vakkuri 1958; Sarasto 1963; Kaunisto 1984; Kaunisto ja Päivänen 1985). Sen vaikutuksia on kuitenkin kokeellisesti tutkittu hyvin vähän. Täysin tuntemattomaksi on jäänyt se, miten raakahumuskerroksen paksuuden ja vedenpinnan tason vaihtelut vaikuttavat taimettumiseen.

### 1.6 Vedenpinnan tason vaikutus laikutusjäljen taimettumiseen

Vedenpinnan taso ja sen etäisyys maanpinnasta, vaikuttaa ojitusalueilla suoraan puiden juuriston kasvutilaan ja sen ilmavuuteen (Paavilainen 1967, 1970; Lähde 1969; Päivänen 1973; Mannerkoski 1985). Toisaalta puusto vaikuttaa haihdunnallaan voimakkaasti vedenpinnan tasovaihteluun (Päivänen 1982; Hökkä ym. 2008). Useimmiten vedenpinta on riittävän lähellä (alle 50 cm) suonpintaa mahdollistaakseen katkeamattoman kapillaarisen vedennousun pintaturpeeseen (Paavilainen ja Virrankoski 1967; Paavilainen 1970; Ahti 1974; Laine ja Mannerkoski 1975; Mannerkoski 1985). Pintaturve voi näin ollen pysyä turpeen ominaisuuksista ja haihdunnan voimakkuudesta riippuen taimettumisen kannalta riittävän kosteana pitkienkin sateettomien kausien ajan. Maan kosteuteen voidaan sääolojen sallimissa rajoissa vaikuttaa metsätaloudellisin toimenpitein. Ojaverkoston kunnostuksen jälkeen vedenpinnan keskimääräinen etäisyys maanpinnasta lisääntyy ja turvekerroksen pintaosat kuivuvat. Toisaalta kunnostustoimenpiteiden viivästyminen, ojien patoaminen ja voimakkaat puuston hakkuut nostavat vedenpinnan tasoa.

Vedenpinnan tasosta, sääoloista ja turpeen rakenteesta riippuva itämisalustan kosteus ja veden sitoutuneisuus eli vesipotentiali vaikuttavat itämistulokseen ja sirkkataimien kehitykseen (Sato ja Goo 1954; Kamra 1968, 1969; Larson ja Schubert 1969; Kaunisto 1971; Mannerkoski 1971, 1976a, 1985). Itämisen mahdollistava kasvualustan vesipotentiali vaihtelee laajoissa rajoissa, mutta vesipotentialin laskiessa itämisnopeuskin laskee. Toisaalta taas liiallinen vesi haittaa itämistä vaikeuttamalla siementen hapen saantia (esim. Kramer ja Kozłowski 1960).

Vedenpinnan läheisyys ei kuitenkaan edistä siementen itämistä, mikäli itämisalusta saa muutoinkin riittävästi kosteutta esimerkiksi sateen muodossa. Kuivakausina kasvualustan kosteus on turpeessa olevan veden varassa. Tällöin vedenpinnan läheisyys edistää siementen itämistä. Liian lähellä kasvualustaa oleva vedenpinta (alle 10 cm) on toisaalta sirkkataimien juurtumisen ja varhaiskehityksen kannalta epäedullinen (Kaunisto 1971; Mannerkoski 1971). Vedenpinnan tason vaikutus riippuu myös puulajista; hieskoivun taimettuminen on mäntyä ja kuusta vähemmän herkkä korkealle vedenpinnan tasolle (Paavilainen 1970).

Maanpintaa lähellä olevan vedenpinnan tason epäedullinen vaikutus ilmenee erityisesti muokkaamattomalla turvepinnalla, johon on katkeamaton kapillaarinen yhteys (Kaunisto 1971). Turvepinnan muokkaus ja kapillaarihuokosten rikkoutuminen taas vähentää itämisalustan kosteutta vähäsateisten ja kuivien sääjaksojen aikana (Groot ja Adams 1994).

Koejärjestelyissä, joissa vedenpinnan taso on pidetty vakiona, männyn sirkkataimien kasvu on ollut parasta vedenpinnan ollessa 10–30 cm etäisyydellä kasvupisteestä (Mueller-Dombois 1964; Paavilainen 1970; Kaunisto 1972; Paavilainen ja Norlamo 1975; Mannerkoski 1976a, 1985). Taimien varttuessa vedenpinnan tason on oltava syvemmillä turpeessa kasvoptimin saavuttamiseksi (Mueller-Dombois 1964; Ferda 1968). Luonnonoloissa vedenpinnan taso kuitenkin vaihtelee sääolojen mukaan. Tällöin ne kosteusolot, jotka vallitsevat vedenpinnan ollessa lähimpänä maanpintaa, vaikuttavat eniten sirkkataimien kehitykseen. Sirkkataimien kasvu heikkenee, jos vedenpinnan taso nousee vaikka vain lyhytaikaisestikin mutta toistuvasti, alle 10 cm:n etäisyydelle turpeen pinnasta (Mannerkoski 1985).

Vedenpinnan tasoa on siis syytä tarkastella myös suhteessa sen vaihteluun kasvukauden aikana. Tämän vaihtelun huomioimisessa on erityisen tärkeää se, kuinka korkealle vedenpinta nousee heinä- ja elokuun aikana, jolloin juuriston kehitys on voimakkaimmillaan (Pelkonen 1979). Itämistäpahtuman ja syntyneen sirkkataimen kasvun optimit vedenpinnan tason suhteen ovat näin ollen erilaiset. Toistaiseksi ei ole kenttäolosuhteissa toteutettuja taimettumisen seurantakokeita, joissa olisi tarkasteltu miten eri ajankohtina vallitsevien vedenpinnan tasojen vaikutukset taimettumiseen riippuvat toisistaan. Luonnonoloissa taimien synty ja varhaiskehitys riippuvat erilaisten ympäristötekijöiden yhdysvaikutuksista eli siitä miten ne vaikuttavat taimettumiseen toisistaan riippuvina tekijöinä. Ojitusalueilla vedenpinnan tasovaihtelu riippuu paitsi sääoloista myös etäisyydestä lähimpään ojaan sekä muusta ojitusalueen sisäisestä kuivatustehon vaihtelusta. Näin ollen vedenpinnan tason vaihtelu voi vaikuttaa taimettumiseen eri tavoin sääoloiltaan erilaisina kasvukausina. Syvällä tai korkealla olevan vedenpinnan vaikutus siis riippuu siitä onko kasvukausi niukka- vai runsassateinen. Näitä uudistusalan kasvupaikkatekijöiden ja kasvukausien yhdysvaikutuksia ei aiemmin ole kenttäkokeissa tutkittu. Tietoa tarvitaan erityisesti siitä, miten vedenpinnan tason vaikutusta taimien syntyyn voitaisiin ennustaa vaihtelevissa sääoloissa.

### 1.7 Mättään pintakerroksen kosteusvaihtelun vaikutus taimettumiseen

Turpeen vedenpidätysominaisuudet poikkeavat suuresti kivennäismaasta. Suuren huokostilavuuden omaava heikosti maaton turvenäyte sitoo vedellä kyllästettynä itseensä kaksinkertaisen määrän vettä saman kokonaistilavuuden omaavaan hiekkänäytteeseen verrattuna (Andersson ja Wiklert 1972). Kun maanäytteestä valuu kaikki painovoimaisesti poistettavissa oleva vesi, näytteen vesimäärä vastaa teoreettista kenttäkapasiteettia (Veihmeyer ja Hendrickson 1949; Päivänen 1973). Kenttäkapasiteetissa turpeeseen on sitoutuneena moninkertaisesti enemmän vettä kuin hiekkaan. Turpeen suuren vedenpidätyskyvyn vuoksi maalajien välinen suhteellinen ero kasvaa, kun maanäytteet kuivuvat haihtumisen myötä lisää.

Ojitusmätästetyllä turvekankaan uudistamisalalla mättäiden turve on pudotettu kaivurin kauhasta raakahumus- ja kasvillisuuspinnaan tai toisinaan jopa hakkuutähteiden päälle. Viljelyalustan kapillaariyhteys vedenpintaan katkeaa tai yhteys on erittäin heikko. Toisaalta vedenpinta ei myöskään pääse nousemaan mättääseen heikentämään huokostilan ilmapuutta. Turpeeseen heikosti sitoutunut liika vesi pääsee valumaan pois ja mätästurpeen sitoma



vesimäärä vastaa kenttäkapasiteettia. Kuivien sääjaksojen aikana mättäät kuivuvat lisää, mutta mitä maatumempi ja samalla tiheämpi ja pienemmän huokoskokojakauman omaava turve, sitä voimakkaammin se pidättää vettä ja sen myötä myös säilyttää kosteutensa (Päivänen 1973).

Aukean uudistamisalan mättäät ovat alttiita tuulelle ja auringon paisteelle, joten pitkien sateettomien ja lämpimien sääjaksojen aikana ne kuivuvat pintaosistaan. Turpeelle on ominaista, että tiettyyn vesipitoisuuteen kuivuttuaan se muuttuu vettä hylkiväksi eli hydrofobiseksi, jonka jälkeen se kostuu uudelleen hyvin hitaasti (Brandyk ym. 2003; Naasz ym. 2008; Szajdak ja Szatyłowicz 2010). Tämä ilmiö tulee esiin, kun turpeen kokonaistilavuudesta laskettu vesipitoisuus on kuivumisen seurauksena laskenut alle 20–30 % (Berglund 1996). Ilmiöön vaikuttavat vesipitoisuuden lisäksi turpeen kasvijäännöskoostumus, maatuneisuus ja kemialliset ominaisuudet kuten rautahumaattiyhdisteiden pitoisuudet (Bunt 1988). Uudistamisalan turvemättäissä hydrofobia tarkoittaa käytännössä sitä, että kuivan alkukesän vaikutuksesta pintaosiltaan kuivuneiden ja ”kuorettuneiden” mättäiden uudelleen kostuminen edellyttää hyvin pitkäaikaisia sateita, jotta vesi pääsee vähitellen imeytymään turpeeseen. Turpeen kosteusvaihtelussa voidaan havaita myös ns. hystereesi-ilmiö, jossa turpeen vedenpidätyskyky riippuu huokostilavuuden lisäksi siitä, onko turpeen vesipitoisuus lasku- vai noususuunnassa eli onko turve kuivumassa vai kostumassa uudelleen (Schwärzel ym. 2002; Anlauf ym. 2012). Kuivuvassa turpeessa vesi on voimakkaammin sitoutunut kuin saman vesipitoisuuden omaavassa uudelleen kostuvassa turpeessa. Tämän vuoksi aiemmin jo kuivunut ja sateissa kosteutta saanut turvemätäs kuivuu herkästi uudelleen seuraavan sateettoman jakson aikana.

Mättäiden kuivumista ei ole aiemmin tutkittu taimettumiseen liittyvänä ongelmana. Metsänuudistamisesta tähän mennessä saadut kokemukset vanhoilla ojitusalueilla osoittavat, että istuttaminen mättäisiin onnistuu yleensä varsin hyvin, mutta kylvötulokset ovat vaihtelevia (mm. Mannerkoski 1975; Moilanen ja Issakainen 1981; Kaunisto ja Päivänen 1985; Moilanen ym. 1995). Tämän vuoksi on tarpeen tutkia, miten mättäiden pintaosien kosteusvaihtelut vaikuttavat itämistulokseen ja toisaalta pienten sirkkataimien kehitykseen.

## 1.8 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimus rajattiin palvelemaan niitä tavoitteita, jotka liittyvät männyn luontaisen uudistamisen ja kylvön edistämiseen varpu- ja puolukkaturvekankaiden metsänuudistamisaloilla. Tavoiteltiin siis sellaista siemensyntyiseen taimettumisprosessiin vaikuttavien syy- ja seuraussuhteiden tarkempaa tuntemusta, jonka avulla karuimmilla kasvupaikoilla kannattavuuden rajamailla oleva uuden puusukupolven perustaminen voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti oikein suunnatuilla toimenpiteillä. Tämän päätavoitteen saavuttamiseksi asetettiin seuraavat osatavoitteet:

### Kasvillisuuden muutokset

1. Luodaan kuvaus vanhojen ojitusalueiden kasvillisuusmuutoksista sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Pyrittiin muodostamaan käsitys siitä, minkälaisia vanhan ojitusalueen kasvupaikat ovat luontaisen uudistamisen näkökulmasta (I).
2. Tehdään hakkuuta ja muokkausta seuraavan kasvillisuussukcession kuvaus. Tarkoituksena oli tutkia paitsi muokkaamattomilla pinnoilla tapahtuvia kasvillisuuden muutoksia (II), myös jyrsinjälkiin (II) sekä kaivurin tekemiin mättäisiin (III) ja laikkuihin (III) kolonisoituvaa kasvillisuutta. Kasvillisuusmuutosten seurannalla

selvitettiin, kuinka nopeasti kasvillisuus peittää muokkausjäljet ojitettujen soiden metsänuudistamisaloilla riippuen muokkausjäljen pinnan ominaisuuksista ja vedenpinnan tasosta.

### Itäminen ja sirkkataimien varhaiskehitys

3. Selvitetään miten luontaisesti uudistettujen siemenpuualojen kasvillisuus vaikuttaa taimettumiseen. Tähän pyrittiin analysoimalla kasvillisuuden vaihtelua ja sitä miten se selittää taimien tilajakaumaa muokatuilla ja muokkaamattomilla pinnoilla (II).
4. Kartoitetaan turpeen pinnalle karikkeista kertyvän raakahumuskerrostuman esiintymistä ja paksuutta suhteessa kasvillisuuden sukkessiovaiheisiin ja erilaisiin kasvupaikkatekijöihin. Näin pyritään saamaan tietoa kerrostumien yleisyydestä ja esiintymisestä erilaisilla ojitusalueilla (I). Erikseen tässä yhteenvedossa esiteltävien ja aiemmin julkaisemattomien kasvihuonekokeiden ja osajulkaisuaineistoihin (IV) kuuluvien kenttäkokeiden avulla selvitettiin kerrostuman paksuuden vaikutuksia taimettumiseen vedenpinnan tason vaihdellessa.
5. Selvitetään vedenpinnan tason ja sen kasvukautisen vaihtelun vaikutusta männyn siementen itämiseen ja sirkkataimien kehitykseen muokatun metsänuudistamisalan kaivurilaikuissa. Tavoitteeseen pyrittiin paitsi tässä yhteenvedossa erikseen esitellyin kasvihuonekokein myös kenttäkokeina (IV), joissa asiaa tutkittiin usean sääoloiltaan erilaisen kasvukauden aikana toteutettuina käsittelytoistoina.
6. Tutkitaan turpeen ja kivennäismaan vesipitoisuuden vaihtelua mättäissä ja niiden vaikutusta taimettumiseen. Tavoitteeseen pyrittiin paitsi kasvihuonekokein myös kenttäkokeilla (IV), joissa mättään pintaturpeen kuivumisen ja uudelleen kostumisen vaikutuksia tutkittiin erilaisten kasvukausien vaihtelevissa sääoloissa.

## 2 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1 Kuivatuksen aiheuttamat kasvillisuuden ja pintaturpeen muutokset

#### 2.1.1 Vanhojen ojitusalueiden kasvillisuus ja karikkekerrostumat

Uudisojituksen käynnistämää kasvillisuuden primäärisuksessiota selvitettiin systemaattiseen linja-arviointiin perustuvana otantatutkimuksena (I). Perusjoukoksi valittiin Kurun kunnan koillisosassa ja Ruoveden kunnan länsiosassa sijaitsevat Metsähallituksen entisen Kurun hoitoalueen kertaalleen ojitetut suot, joiden kuivatus oli ajottunut vuosille 1930–1970. Aineisto rajattiin kolmeen turvekangastyyppiin; mustikka-, puolukka- ja varputurvekankaisiin. Kukin kolmesta luokasta jaettiin lisäksi alkuperäisen suotyyppiryhmän (aidot puustoiset suot ja sekatyypin suot) perusteella kahteen alaluokkaan (Laine ym. 2012).

Otantalinjoille määrävällein sijoitetuista mittauspisteistä määritettiin kasvupaikkatyyppi aarin alalla havaitun kasvillisuuden perusteella. Tämän lisäksi tehtiin kasvillisuuden peittävyysmääritykset 0,5 m<sup>2</sup>:n näytealalta. Kasvilajiston peittävyudet määritettiin joko laji- tai lajiryhmätasolla sen mukaan katsottiinko lajikohtaisuudella olevan merkitystä siementen itämiselle ja sirkkataimien kehitykselle.

Kasvillisuusmäärittysten jälkeen otettiin samalta 0,5 m<sup>2</sup>:n näytealalta turvenäyte 20 cm syvyyteen asti raakahumuskerrostuman paksuuden, turpeen maatuneisuuden ja turvelajin määritystä varten. Muita havaintopisteen näytealaan sidottuja ympäristötunnuksia olivat

ojituksen ikä, pistettä lähinnä olevan ojan etäisyys ja sen syvyys, näytealalle kertyneen puustokarikkeen laji sekä näytealan topografinen sijainti. Karikelaji määritettiin kahteen luokkaan: joko havu- tai lehtikarিকেvaltainen karikemassa. Topografia ilmaisi näytealan sijainnin suon peruspintaan nähden eli muuttuja kuvaa mätäs-välipinta-painanne -vaihtelua (arvo suurenee kohti painannepintoja). Havaintopiste keskipisteenä mitattiin lopuksi puuston pohjapinta-ala puulajeittain relaskoopilla sekä puuston valtapituus.

Näytealojen aluskasvillisuuden rakennetta, vaihtelusuuntia sekä kasvillisuuden ja ympäristömuuttujien (ml. raakahumuskerros) välistä yhteisvaihtelua havainnollistettiin globaalilla ei-metrisellä moniulotteisella skaalauksella (GNMDS) käyttämällä Decoda-ohjelmistoa (Minchin 1991). Moniulotteinen skaalaus on menetelmä, joka tämän aineiston tapauksessa pyrkii esittämään näytealojen väliset kasvillisuuden erot mahdollisimman hyvin yksi- tai useampiulotteisessa avaruudessa. Skaalaus perustuu näytealojen välisten erilaisuuksien järjestyslukuihin ja siten se kuvaa näytealojen järjestyksen havaintoavaruudessa. GNMDS on todettu parhaaksi ordinaatiomenetelmäksi erityisesti kasvillisuusgradienttien kuvaamiseen (Minchin 1991). Ympäristömuuttujien ja kasvillisuuden yhteisvaihtelun riippuvuustarkastelua täydennettiin faktori- ja korrelaatioanalysein (Pearson) käyttäen SAS-Factor ohjelmaa (SAS 1992). Tuloksin helpottamiseksi saatuja faktorirakenteita yksinkertaistettiin ortogonaalisella Varimax-rotatiolla.

### *2.1.2 Päätehakuun käynnistämä kasvillisuussukessio*

Päätehakuuta seurannutta kasvillisuussukessiota tutkittiin kymmenellä turvemaan metsänuudistamisen koekentällä (II). Niistä valtaosa oli alunperin perustettu metsänviljelyn ja luontaisen uudistamisen vertailukokeiksi. Nyt käsillä olevaan aineistoon sisällytettiin vain luontaisen uudistamisen lohkot. Yhtä koetta lukuunottamatta kaikki kokeet olivat osaruuturakenteisia, joissa lohkot oli ositettu muokkaamattomiin ja muokattuihin ruutuihin. Tämän lisäksi kaksi koetta oli edelleen ositettu suometsien PK-lannoksella lannoitettuihin sekä lannoittamattomiin osaruutuihin. Aineiston mittaukset tehtiin kolmena eri ajankohtana; 1990, 1992 ja 1999. Kyseiset mittausajankohdat eivät kuitenkaan olleet kaikilla kokeilla samanaikaisesti toistettuja seurantamittauksia. Vuonna 1990 tehtiin ensimmäiset mittaukset kokeilla 1–4. Näillä kokeilla mittausaika edusti 4–6 kasvukauden tilannetta siemenpuuhakuun jälkeen. Kaksi vuotta myöhemmin (1992) käytiin läpi kokeet 5–8. Näissä siemenpuuhakuusta oli puolestaan kulunut 6–10 kasvukautta. Vuonna 1999 oli mahdollista mitata edellä mainituista vain kokeet 4, 7 ja 8 (15, 14 ja 13 kasvukautta siemenpuuhakuusta) sekä uusina mittauksina vielä aiemmin mitaamattomat kokeet 9 ja 10 (11 ja 10 kasvukautta siemenpuuhakuusta). Jokainen koe mitattiin systemaattisesti määräväleihin ruutujen ja osaruutujen läpi johdetuilta otantalinjoilta. Otantalinjoille asetettiin määräväleihin näytealoja, joiden rajaamalta alalta havainnot tehtiin. Muokkaamaton pinta mukaan lukien kaikista kolmesta taimettumispinnasta luokiteltiin vallitsevan pohjakerroksen kasvillisuus yleisimmän lajin tai lajiryhmän mukaan viitenä luokkana: sammalpeitteetön karike- tai turvepinta sekä rahkasammal-, karhunsammal-, seinäsammal- ja kynsisammalvaltainen pinta.

Vuoden 1992 inventoinnissa pohjakerroksen kasvillisuus luokiteltiin kuten edellä (vuoden 1990 inventointi) mutta lisäksi otettiin mukaan kenttäkerroksesta seuraavat lajiryhmäluokat: suovarpu-, kangasvarpu-, heinä-, tupasvilla- ja saravaltaiset näytealat. Luokka suovarvut koostui pääasiassa suopursusta, juolukasta ja vaivaiskoivusta ja luokka kangasvarvut mustikasta, puolukasta ja kanervasta. Mainitut kenttäkerroksen lajiryhmät yhdistettiin varpuvaltaisiin ja toisaalta tupasvilla-pallosaravaltaisiin luokkiin. Vuonna 1999 kasvillisuus

havainnoitiin edellisiä inventointeja tarkemmin: koko lajisto mitattiin peittävyksinä aarin näytealalle systemaattisesti sijoitetulta neljältä 1 m<sup>2</sup>:n kasvillisuusnäytealalta. Heinät, sarat, saniaiset ja rahkasammalet yhdistettiin lajiryhmiksi. Muut mitattiin lajikohtaisesti. Laji-peittävyksien ja taimettumisen välistä yhteisvaihtelua havainnollistettiin globaalilla ei-metrisellä moniulotteisella skaalauksella (GNMDS) soveltamalla PC-ORD ohjelmistopakettia (McCune ja Mefford 1999).

Lisäksi perustettiin kaksi intensiivisen seurannan koekenttää, joissa alun perin kasvipeitteettömään muokkausjälkeen syntyvän kasvillisuuden kuvaamiseksi tehtiin näytealotanta kaivurilaikku- ja mätäspinoille (III). Toinen koekentistä edusti puolukkaturvekankaan viljavuustasoa joko karhunsammalturvekankaana (Kstkg, Laine ym. 2012), puolukkaturvekankaana (PtkgII) tai rahkasammalpintaisena varsinaisen sararämeen muuttamana. Tämän lisäksi osa koekentästä edusti ruohoisesta sararämeestä kehittyntä mustikkaturvekangasta (MtkgII). Toinen koekenttä oli varsinaisesta sararämeestä kehittyntä puolukkaturvekangasta (Ptkg II).

Kumpikin koekenttä muokattiin laikuttaen ja mätästäen ja kasvipeitteettömille laikku- ja mätäspinoille sijoitettiin systemaattisella otannalla (joka kolmas mätäs tai laikku) 0,5 m<sup>2</sup>:n tai 0,25 m<sup>2</sup>:n kokoiset näytealat, joihin syntyvää kasvillisuutta seurattiin välittömästi muokauskausta seuranneina kolmena tai viitenä kasvukautena. Kummallakin koekentällä näytealojen kasvilajiston peittävyys määritettiin joko yksittäisten lajien tai lajiryhmien peittävyksinä samaan tapaan kuin primäärisukcession kuvaamiseen tehdyssä inventointitutkimuksessa.

Kummallakin koekentällä kaivurilaikkuihin oli asennettu metrin syvyyteen yltävät muoviputket, joista vedenpinnan taso mitattiin pietsosummerilla varustetulla mittatikulla. Vedenpinnan tasoon olennaisesti vaikuttavien säätekijöiden havainnoimiseksi kummallekin koekentälle oli asennettu automaattiset tiedonkeruulaitteet, jotka tallensivat vuorokausikohtaiset lämpötilamaksimit, -minimit ja -keskiarvot sekä sadesummat.

Kasvillisuusmuutosseurantojen viimeisen kasvukauden lopulla määritettyihin lajipeittävyksiin perustuvaa kasvillisuuden rakennetta analysoitiin ja havainnollistettiin PC-ORD ohjelmistopakettin globaalilla ei-metrisellä moniulotteisella skaalauksella. Lisäksi kasvillisuuden laji- tai lajiryhmäkohtaisen esiintymisen todennäköisyys (0 = ei esiinny / 1 = esiintyy) mallinnettiin logistisella regressiolla. Logistisen regression lisäksi lajikohtaiset yleistetyt additiiviset mallit, joissa hyödynnetään parametrittomia menetelmiä ja yleistettyä lineaarista mallinnusta.

## 2.2 Itäminen ja sirkkataimien varhaiskehitys

### 2.2.1 Kasvillisuuden vaikutus taimettumiseen

Edellisessä luvussa kuvattua kymmenen luontaisen uudistamisen koekentän (II) kasvillisuutta käytettiin tässä yhteydessä yhtenä taimettumiseen vaikuttavana ympäristötekijänä. Taimettumispinnat luokiteltiin pohjakerroksen yleisimmän lajin tai lajiryhmän mukaan viiteen luokkaan: sammalpeitteetön karike- tai turvepinta, rahkasammal-, karhunsammal-, seinäsammal- ja kynsisammalvaltainen pinta. Muokkaus- ja kasvillisuusvaikutusta sekä näiden yhdysvaikutusta testanneissa malleissa edellä kuvatut pohjakerroksen kasvillisuusluokat yhdistettiin siten, että ”kangassammal”- ja karikepinnat edustivat kuivumissukcession turvekangasastetta ja karhunsammal- sekä rahkasammalpinnat vastaavasti sukcession muuttuma-astetta.

Vuoden 1999 inventoinneissa mitattujen lajipeittävyysien ja taimettumisen välistä yhteisvaihtelua havainnollistettiin globaalilla ei-metrisellä moniulotteisella skaalauksella (GNMDS) soveltamalla PC-ORD ohjelmistopakettia (McCune ja Mefford 1999). Taimitiheyttä selittävien mallien vastemuuttujana oli taimien lukumäärä näytealalla. Tyhjät tai hyvin vähän taimia sisältävät näytealat olivat runsaslukuisimpia, kun taas suurimpien taimimäärien havaintofrekvenssit lähestyivät nolaa. Näin ollen vastemuuttuja oli tyypillisesti Poisson-jakautunut. Tämän vuoksi sovellettiin yleistettyä lineaarista mallia logaritmisella linkkifunktiolla. Koska koejärjestelyissä kiinteät osaruututekijät (muokkaus ja lannoitus) oli satunnaistettu ositettuihin lohkoihin, sovellettiin samalla sekamalla. Tämä yleistetty lineaarinen sekamalli (generalized linear mixed model) toteutettiin SAS -ohjelmistopakettin Glimmix-makrolla (Littel ym. 1996). Tässä sekamallissa kasvillisuuden vaikutusta kuvaavina tekijöinä olivat vuosien 1990 ja 1992 aineistoissa aiemmin kuvatut vallitsevan kasvillisuuspinnan luokkamuuttujat. Niiden sijasta käytettiin vuoden 1999 aineistossa kasvillisuusordinaation ja taimitiheyden maksimikorrelaatiota vastaavan vaihtelu suunnan koordinaattipiste arvoja. Muokkauksen ja lannoituksen vaikutus taimien pituuteen testattiin käyttämällä SAS Mixed proseduuria. Testauksessa vastemuuttujana käytetty pituus oli näytealan pisimmän taimen pituus. Tulosten esittelyssä valtapituuksilla tarkoitetaan näistä pisimmistä taimista laskettuja käsittelykohtaisia pituuskeskiarvoja.

### *2.2.2 Pintaturpeen muutokset ja niiden vaikutus taimettumiseen*

Otantatutkimuksen (I) yhteydessä tehtiin mittauksia myös raakahumuskerrostumien esiintymisestä ja paksuusvaihtelusta. Kerrostumisen esiintymiseen vaikuttavia tekijöitä tutkittiin analysoimalla raakahumuksen, kasvillisuuden ja eri ympäristömuuttujien välistä yhteisvaihtelua globaalilla ei-metrisellä moniulotteisella skaalauksella (GNMDS) Decoda-ohjelmistopakettia soveltaen (Minchin 1991). Yhteisvaihtelun riippuvuustarkastelua täydennettiin faktori- ja korrelaatioanalysein.

Uudistusalojen kaivurilaikkujen taimettumisen seurantakokeen yhteydessä tarkasteltiin raakahumuskerroksen vaikutusta niissä laikuissa, joihin oli jäänyt osa kerrostumasta turpeen pinnalle (IV). Raakahumuksen esiintymisen vaikutus testattiin tekijänä, joka riippui myös turpeen vedenpinnan tason vaihtelusta. Raakahumuksen esiintymisen ja paksuuden sekä niiden ja vedenpinnan tason yhdysvaikutusta testattiin tarkemmin kasvihuonekokeissa, jotka aiemmin julkaisemattomina ja tämän tutkimuksen osajulkaisuihin kuulumattomina esitellään myöhemmin omana lukunaan.

### *2.2.3 Vedenpinnan tason vaikutus taimettumiseen*

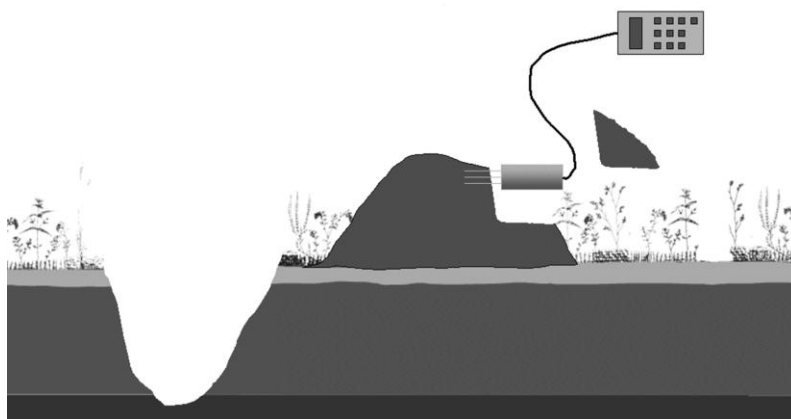
Kaivurilaikkujen kohdalla vedenpinnan tasoa ja sen vaikutusta taimettumiseen (IV) seurattiin samoilla kahdella intensiiviseurannan kokeella, joilla tehtiin myös muokkausjälkien kasvillisuuden seuranta (III). Näytealoilla pyrittiin itämisen mahdollisimman tarkkaan havainnointiin ja samalla konekylvöä jäljittelevään kylvöön siten, että 50 siementä kylvettiin näytealoille ”vapaasti pudottaen” ilman peittämistä ja koskematta näytealan pintaan. Jokaisen näytealan kylvöneljännes kylvettiin toukokuun lopussa. Vuosittain saman näytealan viereisiin neljänneksiin tehdyt toistokylvöt tehtiin joka vuosi samalla siemenmateriaalilla. Kylvökset inventoitiin vuosittain viitenä (koe 1, IV) tai kolmena (koe 2, IV) vuotena kylvön jälkeen kunkin kasvukauden lopussa. Viimeisen kasvukauden lopussa taimista mitattiin vuosittaiset pituuskasvut kaksi ensimmäistä vuotta yhdistäen.

Vedenpinnan tason vaihtelua mitattiin aluksi (1997 ja 1998) satunnaisesti muutaman kerran kasvukauden aikana ja myöhemmin (1999–2001) viikoittain. Erillisessä kasvihuonekokeessa (kasvihuonekoe I) tarkasteltiin turvepintaisten laikkujen taimettumista suhteessa muokkaamattomaan pintaan, raakahumuspinntaiseen laikkuun ja jyrsinjälkeen. Kokeessa oli kuiva- ja sadetuskäsittely sekä kaksi vedenpinnan tasoa. Lisäksi turvepintaista laikkua verrattiin turvemättääseen ja kivennäismaasekoitteiseen mättääseen kahdella vedenpinnan tasolla sekä kastelukäsittelyllä (kasvihuonekoe II).

#### 2.2.4 Mättästurpeen ja kivennäismaan kosteusominaisuudet

Mättäissä kasvualustan kosteusvaihtelua mitattiin 3 cm paksun pintakerroksen tilavuuspohjaisena vesipitoisuutena (veden tilavuus prosentteina maanäytteen tilavuusyksikköä kohden) (IV). Mittaukset tehtiin viiden vuoden mittaisen seurantajakson kahden viimeisen kasvukauden aikana. Kummankin kasvukauden kosteusmittausten kuivimmasta havainnosta laskettua keskiarvoa käytettiin vertailuarvona arvioitaessa sitä, kuinka voimakkaasti mättäät voivat kuivua sateettoman sääjakson aikana. Vastaavasti loppukesän sateiden seurauksena nousseen vesipitoisuuden ja kuivimman hetken vesipitoisuuden erotusta käytettiin arvioitaessa mättäiden pintakerroksen kykyä sitoa uutta kosteutta. Tällä menettelyllä pyrittiin erottelemaan mättäät sen mukaan miten herkästi ne toisiinsa nähden voivat erilaisten kasvukausien aikana kuivua ja toisaalta miten ne toisiinsa verrattuina pystyivät sitomaan sateiden jälkeen uutta kosteutta (hydrofobisuus).

Mättäistä mitattiin ja määritettiin kosteusvaihtelun lisäksi orgaanisen aineksen osuus, turvelaji ja maatuneisuus. Mättäiden kosteusvaihteluun ja laikkujen kohdalla vedenpinnan tasoon olennaisesti vaikuttavien säätelijöiden mittaamiseksi kaikille koekentille oli asennettu automaattiset tiedonkeruulaitteet, jotka tallensivat vuorokausikohtaiset lämpötilamaksimit, -minimit ja -keskiarvot sekä sadesummat. Mitattujen ympäristötekijöiden sekä sirkkataimien määrän ja kasvun riippuvuutta testattiin yleistettyä lineaarista sekamallinnusta soveltavalla SAS-ohjelmiston Glimmix -proseduurilla.



**Kuva 2.** Mättään pintakerroksen kosteusmittaus.

## 2.3 Kasvihuonekokeet

Kasvihuoneoloissa testattiin mättään kuivumisen aiheuttaman hydrofobisuuden vaikutusta taimettumiseen antamalla niiden sadetuksen jälkeen kuivua ja kosteuttamalla ne sadetuksella uudelleen (kasvihuonekoe II). Koe tehtiin kuudella erilaisella turpeella siten että kokeessa turveprofiilien kasvillisuuspinnoille lasketut mätäsapaakut simuloivat toisaalta puhtaita turvemättäitä ja toisaalta kivennäismaasekoitteisia turvemättäitä.

### 2.3.1 Kasvihuonekoe I

Luontaisen uudistamisen kenttäkokeen (II) tueksi perustettiin Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon toimipisteeseen erillinen kasvihuonekoe (kasvihuonekoe I). Siinä pyrittiin lämpö- ja sadantaolojen sekä turpeen vedenpinnan tason suhteen mahdollisimman hyvin kontrolloitua koearjestelyyn. Kokeessa vertailtiin turvekankaan muokkaamattoman kasvillisuuspinnan, kasvipeitteestä paljastetun raakahumuspinnan, raakahumuksen alta paljastetun maatuneen turvepinnan sekä raakahumuksesta ja turpeesta sekoittamalla tehdyn ”jyrsinpinnan” taimettumista kahdella eri turpeen vedenpinnan tasolla (15 cm ja 30 cm).

Kenttäkokeiden (II) ketju- ja kiekkojyrsimellä tehdyille muokkausjäljille oli ominaista raakahumuksen alta paljastettu turvepinta jyrsinvaossa ja sen viereen syntynyt jyrsinpalle, jossa raakahumus ja osa turvekerrostumasta olivat sekoittuneet. Tämän kasvihuonekokeen ajatuksena oli näin ollen jäljitellä paitsi paljaan turvepinnan taimettumisoloja, myös raakahumuspinnaista muokkausjälkeä sekä turpeen ja raakahumuksen jyrsitettyä seospintaa eli käytännössä jyrsinpalletta. Kesäaikana toteutetun kasvihuonekokeen haihduntaolot olivat kuitenkin aika ajoin korkealle nousseiden lämpötilojen vuoksi poikkeukselliset ulko-oloihin verrattuina. Tämän vuoksi seurattiin sirkkataimien syntymisen lisäksi myös kylvöpinnasta tapahtuvaa haihduntaa.

Koetta varten haettiin mustikka- ja puolukkaturvekankaan ojitusalueilta 40 cm korkeita ja läpimitaltaan 20 cm:n kokoisia turveprofiileita, joissa turpeen rakenne, raakahumuskerros ja pintakasvillisuus säilyivät häiriintymättöminä. Kummastakin turvekangastyypistä otettiin 32 turveprofiilia. Turveprofiilit otettiin painamalla vastaavan kokoiset muoviset sylinterit turpeeseen. Näytesylinterit asennettiin pyöreisiin muoviastioihin, joiden sisällä oli tiivisterenkaat. Näin sylinteri saatiin suljettua alaosastaan vesitiiviiksi. Tämä mahdollisti turpeen vedenpinnan säätämisen automaattisesti halutulle tasolle siten että turpeessa vastaavalle syvyydelle asennettu syöttöputki piti vedenpinnan vakiotasolla. Vesi syötettiin mittaasteikolla varustetuista pulloista, jolloin haihdunnan kautta tapahtuva vedenkulutus voitiin mitata. Puolet (16 kpl) kummankin turvekangastyypin näytesylintereistä asennettiin kasvihuoneeseen siten että vedenpinnan tasoksi säädettiin 15 cm tai 30 cm. Neljä sylinteriä kummaltakin turvekangastyypiltä käsiteltiin poistamalla elävä kasvillisuus, neljältä poistettiin lisäksi raakahumus ja neljän sylinterin raakahumus ja sen alla oleva pintaturve sekoitettiin jyrsinjälkeä simuloiden. Lopuilla neljällä pinta jäi kasvipeitteinen koskemattomaksi. Kaikkien pintakäsittelyiden kohdalla kumpikin vedenpinnan taso säädettiin siten että se mitattiin käsittelyn jälkeisestä pinnasta, jolloin vedenpinnan taso oli käsittelystä riippumatta kaikissa sylintereissä sama. Jokainen pintakäsittely kummallakin vedenpinnan tasolla tuli kaksi turvekangastyypistä yhdistäen toistettua kahdeksan kertaa. Turvekangastyypistä tulkittiin koearjestelyn satunnaisiksi lohkoketekijäksi, jossa kumpaankin lohkokon arvoitiin kylvöpintaa ja vedenpinnan tasoa edustavat käsittelyt neljänä toistona.

Jokaiseen näyteastiaan kylvettiin 50 männyn siementä. Siementen annettiin itää olosuhteissa, joissa kosteutta oli tarjolla vain kapillaarisesti vedenpinnasta nousevasta vedestä.

Itämisalustoja ei siis kasteltu. Kuuden viikon kuluttua syntyneet ja juurtuneet sirkkataimet laskettiin. Seuraavan kuuden viikon aikana astioita kasteltiin paikkakunnan keskimääräistä kesä–heinäkuun sademäärää vastaavalla vesimäärällä siten, että kastelu tehtiin satunnaisesti arvottuina päivinä joko kolmen tai kymmenen millimetrin sadantaa vastaavilla vesimäärillä. Kuuden viikon sadetusjakson jälkeen laskettiin elossa olevat taimet.

### 2.3.2 Kasvihuonekoe II

Myös taimettumisen intensiiviseurannan kenttäkokeen (IV) hypoteeseja testattiin kontrolloiduissa olosuhteissa Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon toimipisteen kasvihuoneessa (kasvihuonekoe II ja III). Kasvihuonekokeessa II verrattiin kasvillisuuden ja raakahumuskerrostuman alta paljastetun turpeen laikkupintaa sekä turvemättääseen että kivennäismaan sekoitemättääseen. Laikkupintaa tässä kokeessa jäljittelivät edellistä kasvihuonekoetta vastaavat turveprofiilit, joista pintakasvillisuus ja raakahumus oli poistettu alla olevaa turvepintaa myöten. Mätästystä jäljiteltiin laittamalla koskemattoman turveprofiilin pinnalle kasvillisuuden päälle turvepaakku, joko puhtaasta turpeesta tai turpeen ja hienon hiekan sekoituksesta. Turveprofiilit olivat edellisen kokeen tapaan raakahumuksen pinnasta 40 cm:n syvyydelle ulottuvia, mutta poikkileikkauksiltaan neliömäisiä. Sivun mitat olivat 20 cm. Mättäitä edustavat turvepaakut olivat niinkään poikkileikkaukseltaan 20x20 cm ja korkeudeltaan 10 cm. Turveprofiilit otettiin kuutta eri kasvupaikkaa edustavalta ojitusalueelta (taulukko 1), kaksitoista profiilia kustakin (neljä profiilia kullekin kolmelle käsittelylle), jolloin koejärjestely rakentui yhteensä 72 profiilista.

Kaikki 72 turveprofiilia asennettiin samaan suureen vesialtaaseen. Neljä kuukautta kestänyt koejärjestely ajoitettiin talviaikaan, jotta kasvihuoneen lämpötila ja sen myötä ilman kosteus ja haihdunta saataisiin pysymään mahdollisimman vakiona. Kasvihuoneen lämmitys oli rytmitetty siten, että päiväaikaan lämpötila nostettiin 20 asteeseen ja yöksi se laskettiin kymmeneen asteeseen.

Profiilit olivat alapäästään avoimissa muovialustoissa, jolloin altaaseen laskettu vesi nousi astioiden sisällä samalle tasolle kuin altaassakin. Ensimmäisessä vaiheessa vedenpinta nostettiin viiden senttimetrin etäisyydelle turveprofiilin pinnasta. Mätäs- ja turvepaakkujen profiileissa paakun alareuna oli siis viiden senttimetrin etäisyydellä vedenpinnasta.

**Taulukko 1.** Turveprofiilien alkuperä, turvelaji ja maatuneisuus kasvihuonekokeessa II.

Ojitusalue	Turvekangastyyppi	Turvelaji	Turpeen maatuneisuus
1. Haukilampi	Vatkg II	S (papillosum)	3
2. Häädetjärvi	Mtkg II	C	6
3. Riuttajärvi	Rhtkg I	LS	6
4. Pirttineva	Ptkg II	C	3
5. Jaakkoinsuo	Vatkg I	ErS	5
6. Pirttineva	Ptkg II	LCS	5



Ensimmäisen vaiheen aikana kylvöpintoja kasteltiin kesä–heinäkuun pitkäaikaisen kuukausikeskiarvon mukaisella sadetuksella kuten kasvihuonekokeessa I. Jokaisen profiilin yhteen neljännekseen (10x10 cm) kylvettiin 50 männyn siementä, joiden annettiin itää neljä viikkoa. Sen jälkeen itäneet ja juurtuneet sirkkataimet laskettiin ja nypittiin pois ennen seuraavaan vielä koskemattomaan neljännekseen tehtävää kylvöä. Toisen kylvön jälkeen idätysvaiheen ajaksi kastelu lopetettiin, jotta itäminen tapahtuisi pelkän turpeessa olevan kosteuden varassa vedenpinnan ollessa yhä viiden senttimetrin tasolla. Kolmannessa vastaavassa vaiheessa vedenpinnan taso laskettiin 30 senttimetriin. Kylvöpinnan kosteus oli tuolloinkin vain turpeen oman kapillaarisen kosteuden varassa eli kosteutta ei lisätty sadetuksella. Viimeisen eli neljännen kylvön siemenet saivat itää edelleen 30 senttimetrin vedenpinnan tasolla mutta nyt annettiin jälleen ulkoista kosteuslisää samalla sadetuksella kuin toisessa vaiheessa.

### 2.3.3 Kasvihuonekoe III

Jaakkoinsuon ojitusalueen varputurvekankaalla (taulukko 1) oli erityisen paksu 9 cm:n raakahumuskerrostuma, jota päätettiin hyödyntää erilliseen raakahumuskerroksen paksuuden vaikutusta testaavaan koejärjestelyyn. Raakahumuksen ja vedenpinnan tason vaikutuksen sekä niiden yhdysvaikutuksen testaamiseksi Jaakkoinsuolta irroitettiin yhteensä 24 turveprofiilia, jotka olivat kokeen II tapaan kooltaan 20x20x40 cm. Kaikkiin profiileihin jäi pintakasvillisuuden poistamisen jälkeen vähintään 9 cm raakahumuskerrostuma, joka oli ojitushistorian aikana syntynyt tehokkaan kuivatuksen vaikutuksesta hyvin terävärajaisesti maatuoneen rahkaturpeen pinnalle.

Profiilit jaettiin satunnaisesti neljään ryhmään, kuusi profiilia ryhmää kohden. Ensimmäisessä ryhmässä jätettiin kaikkiin profiileihin maksimaalinen 9 cm:n raakahumuskerrostuma. Toisessa ryhmässä se ohennettiin 6 cm:n vahvuiseksi, kolmannessa 3 cm:n vahvuiseksi ja neljännessä ryhmässä raakahumus poistettiin kokonaisuudessaan siten että kylvöpinta muodostui paljastetusta maatuoneesta turpeesta. Kaikki profiilit asennettiin kasvihuoneeseen samanaikaisesti kasvihuonekokeen II turveprofiilien kanssa viereiseen vesialtaaseen. Koe toteutettiin vastaavalla periaatteella ja samoilla lämpötilan säädöillä. Kastelu jätettiin kuitenkin pois kaikissa neljässä peräkkäisessä idätysvaiheessa mutta vedenpinnan tasoa laskettiin jokaisen vaiheen yhteydessä. Ensimmäisessä vaiheessa vedenpinnan taso oli 10 cm, toisessa 15 cm, kolmannessa 20 cm ja neljännessä 25 cm etäisyydellä kylvöpinnasta.

Kaikissa kolmessa kasvihuonekokeessa sovellettiin samaa yleistettyä lineaarista sekamallintamisen periaatetta kuin maastomittaustenkin analysoinnissa (IV). Kunkin kasvihuonekokeen peräkkäiset seurantajaksot, joissa vedenpinnan tasoa ja sadetusta vaihdeltiin, vastasivat osajulkaisussa IV esitettyjä peräkkäisiä kasvukausia vaihtelevine sääoloineen. Laaditun mallin muuttujien hierarkiassa seurantajaksot otettiin siis huomioon toistotekijänä, jossa samoista taimista tai samasta turveprofiilista mitattujen ja toistettujen havaintojen jäännösvaihtelun riippuvuus oli erilainen kuin saman seurantajakson sisäinen havaintoyksiköiden välinen riippuvuus.

### 3 TULOKSET

#### 3.1 Kuivatuksen aiheuttamat kasvillisuuden ja pintaturpeen muutokset

##### 3.1.1 Vanhojen ojitusalueiden kasvillisuus

Tutkimuksen kohteena olleiden pohjoisen Pirkanmaan vielä uudistamattomien ojitusaluemetsiköiden selvästi yleisin kasvupaikkatyyppi oli nevista tai nevarämeestä kehittynyt puolukkaturvekangas (I). Saman viljavuustason aidoista puustoisista suotyypeistä kehittyneet turvekankaat ja kumpikin varputurvekangasluokka olivat tasaväkisesti seuraavina. Mustikkaturvekankaan luokkia esiintyi edellisiä puolta harvemmin. Ojitusten kohdentuminen eri viljavuustasoille oli ollut samanlaista 1930- ja 1950-luvuilla, mutta 1960-luvun aikana painopiste oli siirtynyt kohti niukkaravinteisempia kasvupaikkoja. Mustikka- ja puolukkaturvekankaiden viljavuusluokissa perinteisesti määritetyille turvekangasasteelle (suosammalia alle 25 %, Sarasto 1961) kehittyneitä näytealoja oli 1930-luvulla ojitetuista kohteista runsas kolmannes. Varputurvekangasasteella osuus jäi alle viidennekseen. 1950-luvun ojituskohteista oli 20–30 % edennyt turvekangasasteelle kahdessa viljavimmassa luokassa, mutta varputurvekangasasteella oli saavuttanut vain alle 10 %. Nuorimassa 1960-luvun ojitusajankohtaluokassa turvekankaiden osuus oli kaikissa viljavuusluokissa alle 15 %.

Uudistamiskypsät tai uudistamiskypsyyttä lähestyvät varttuneet kasvatusmetsiköt olivat pääosin 1930- tai 1950-luvuilla ojitetuilla soilla, jotka nyt luokiteltiin mustikka- ja puolukkaturvekankaiksi. Niistä noin 40 % oli saavuttanut kasvillisuussuorituksensa turvekangasasteen. Turvekangasasteelle edenneet näytealat jakautuivat joko kangasmaille ominaisten sammalajien muodostamiin kasvillisuuspintoihin tai valtaosiltaan sammalpeitteettömiin karikepintoihin. Ensimmäiset kasviyhdyksuntia, joita jatkossa kutsutaan ”kangassammalkasvustoiksi”, oli kaikilla viljavuustasoilla mutta karikepinnat painottuivat mustikka- ja puolukkaturvekankaiden kasvupaikoille (I kuvat 1b, 3 ja 6) ja näistä erityisesti neva- ja sekatyypin soista kehittyneille II-typin turvekankaille (ptkgII ja mtkgII). Karikepintaisille näytealoille oli tyypillistä, että suosammalet olivat jo kadonneet, mutta kangassammalien peittävyys oli vielä varsin vähäinen. Kun kangassammalia esiintyi, olivat kyseessä enimmäkseen vähäisen peittävyuden omaavat kerros-, kynsi- ja suikerosammalet (I kuva 2a). Varputurvekangasasteen näytealoilla kangassammalien peittävyys oli yli 75 %. Tällöin valtalajina oli seinäsammal. Sammalpeitteettömät karikepinnat olivat siten yleisempiä viljavimmilla kasvupaikoilla kangassammalien peittävyuden lisääntyessä kohti niukkaravinteisiä tyyppisiä. Karikepinnat lisääntyivät myös aidoista suotyypeistä neva- ja sekatyypialkuperää (saranevat, -rämeet ja -korvet) olevien turvekankaiden (Mtkg II, Ptkg II ja Vatk II) suuntaan (I kuva 6).

##### 3.1.2 Karikekerrostumien esiintyminen

Turpeen pintakerrosten ominaisuuksista tarkasteltiin karikekerrostuman eli raakahumuksen esiintymistä ja paksuutta (I). Raakahumuskerrostuman esiintyminen oli selvästi sidoksissa kasvillisuuden pohjakerroksen muutoksiin. Mikäli rahkasammalet ja yleisemminkin suosammalet olivat kuivumissuorituksen myötä hävinneet, oli mahdollista löytää ojitusta edeltäneen turvekerroksen pinnalle kuivatuksen jälkeen syntyneitä karikekerrostumia. Kasvillisuudessa tämä ilmeni joko kokonaan sammalpeitteettöminä karikepintoina tai

kangasmaille ominaisina seinä- ja kynsisammalkasvustoina. Rahkasammalpintaisina säilyneillä näytealoilla kerrostumia ei esiintynyt. Poikkeuksena olivat näytealat, joilla kasvillisuuden sukkessio sammalpeitteettömien karikepintojen kautta kangassammalkasvustojen suuntaan oli selvästikin keskeytynyt. Tällöin ohut karikekerrostuma tai pintaturvekerrostumassa näkyvä rajapinta katkaisi jatkumon elävästä rahkasammalversosta heikosti maatuneiden versonosien kautta pidemmälle maatuneeseen turpeeseen. Tämä tulkittiin merkiksi rahkasammalkasvuston kuivumisesta ja kuolemista jossain kuivatushistorian aiemmassa vaiheessa. Turvekangas- tai muuttuma-asteelle (Sarasto 1961) kehittyneille ojitusalueille oli heikentyneen kuivatustilan seurauksena saattanut myös syntyä uusia "regressiivisiä" rahkasammalpintoja. Rahkasammalia oli siis levinnyt uudelleen aiemmin syntyneelle sammalpeitteettömälle pinnalle.

Yhdessä viljavuuden ja puuston määrän kanssa raakahumuksen paksuus oli voimakkaampia erisuuntaisten kasvillisuusgradienttien kanssa korreloineista muuttujista (I kuva 4). Kasvillisuuden vaihtelusta tehdyssä ordinaatiossa raakahumusta kuvaava vektori kasvoi rahkasammalpinnoista kohti kangassammalpintoja etenevän sukkession suunnassa kohti viljavuusgradientin keskivaiheilla olevia puolukkaturvekankaita (I kuvat 3 ja 4). Raakahumusta oli eniten aidoista puustoisista suotyypeistä kehittyneillä puolukkaturvekankailla (I kuva 5). Näillä, kuten myös vastaavilla mustikkaturvekankailla, raakahumuskerros oli paksumpi kuin saman viljavuustason neva- tai sekatyypisyntyisillä turvekankailla. Varpurivekankailla, joilla raakahumusta oli vähiten, tilanne oli päinvastainen. Raakahumuksen peittävyuden kasvaessa kohti viljavuusgradientin keskustaa se korreloi heikosti viljavuusmuuttujan kanssa. Korrelaatiot olivat heikkoja myös muiden ympäristömuuttujien kanssa.

### *3.1.3 Kasvillisuus männyn siemenpuualoilla*

Tarkasteltaessa kasvillisuutta uudistamishakkuun jälkeen siemenpuuasentoon hakatuilla 4–15 vuoden ikäisillä uudistamisaloilla, voitiin niissäkin todeta edellä kuvatuille vanhoille hakkaamattomille ojitusalueille ominainen pohjakerroksen kasvillisuusmosaiikki rahkasammalkasvustoista turvekankaalle ominaisiin karike- ja kangassammalpintoihin (II). Rahkasammalpinnot sijaitsivat yleensä saran keskellä ojitusalueen märemmillä osilla, joissa kasvillisuuden primäärisuksessio oli jäänyt kesken tai joissa esiintyi regressiivistä eli palautuvaa kasvillisuuden kehitystä takaisin kohti suosammalvaltaisia kasviyhdyskuntia. Turvekangaskasvillisuus oli jakautunut edellisen aineiston tapaan erityisesti alun perin nevamaisille soille ominaisiin runsaisiin sammalpeitteettämiin karikepintoihin ja toisaalta seinä- ja kynsisammalvaltaisiin kasvustoihin, jotka olivat kolonisoituneet suosammalien katoamisen jälkeen vapautuneisiin paljaisiin karikepintoihin (II kuvat 2, 3 ja 4a). Sellaista regressiivistä pohjakerroksen suolajiston leviämistä, joka liittyisi hakkuun jälkeiseen vedenpinnan tason nousuun, ei voitu havaita kuin kahdella koekentällä. Uudistamishakkuun avartama valoilmasto oli kuitenkin paikoin edistänyt tupasvillan runsastumista kenttäkerroksen kasvillisuudessa.

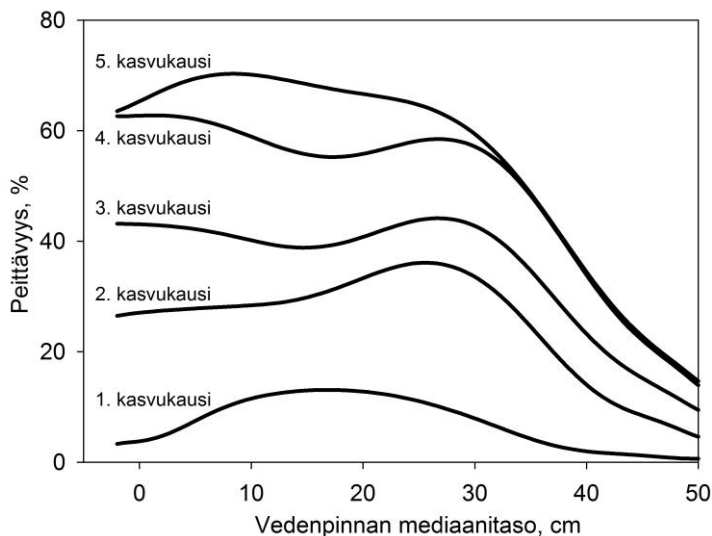
### *3.1.4 Kasvillisuuden leviäminen muokkausjälkiin*

Puolukkaturvekankaan uudistamisaloilla alkaa kasvipeitteettömissä kaivurilaikkupinnoissa kasvillisuuden sekundäärisuksessio, joka viiden vuoden aikajaksolla tuottaa varsin vähäisen peittävyuden keskivedenpinnan tasosta riippuen (III). Rahkasammalet ja tupasvilla dominoivat keskivedenpinnan tason ollessa alle 10 cm:n etäisyydellä maanpinnasta. Rahkasammalten lisäksi laikkuun ilmaantuu matalakasvuista ojanukkasammalta 10–20 cm:n

vedenpinnan tasoilla. Ojanukkasammal vallitsee vielä 20–30 cm:n vedenpinnan tasoilla kuten myös myöhemmin laikkuihin leviävät karhunsammalet, jotka vähitellen peittävät ojanukkasammalen. Yli 40 cm:n vedenpinnan tasoilla laikut säilyvät pääosin kasvipeitteetöminä (kuva 3). Mustikkaturvekankaalla karhunsammalien esiintymisen todennäköisyys on vähintään kaksinkertainen puolukkaturvekankaaseen verrattuna. Viljavampi kasvupaikka tuo kenttäkerroksen lajistoon tupasvillan lisäksi harmaasaran. Molemmille turvekangastyypeille on ominaista myös kanervan esiintyminen silloin, kun laikun pintaan on jäänyt osa raakahumuskerrostumasta (III kuva 6). Karhunsammalturvekankaan karhunsammalkasvustoihin tehtyihin laikkuihin karhunsammal leviää nopeasti uudelleen kasvullisesti.

Mättäillä kasvillisuuden kehitys oli hyvin hidasta. Kaikkien lajien yhteispeittävyys oli viiden kasvukauden jälkeen keskimäärin vain runsaat 10 %. Suurin osa mättäistä oli edelleen kasvipeitteetömiä. Ainoastaan mustikan ja puolukan yhteispeittävyys sekä pallosaran, suomuraimen, hieskoivun ja kytökarhunsammalen peittävyudet olivat yli 5 % osalla mättäistä. Näistä mustikka, puolukka ja pallosara määräävät kasvillisuuden voimakkaimman vaihtelusuunnan mättään pinnan ollessa pääosin sammalpeitteetöntä paljasta turvepintaa. Kivennäismaasekoituksen lisääntyessä karhunsammal, pallosara ja harmaasara runsastuivat. Ne olivat yleisimmillään ohutturpeisen Mtkg:n mättäissä. Tupasvilla, suomurain ja puolukka olivat turvemättäillä tavanomaisia lajeja.

Mättään korkeusvaihtelu vaikutti ainoastaan mustikan ja puolukan sekä karhunsammalien sekä suomuraimen peittävyteen (III kuva 8). Runsaimmillaan kasvillisuus oli matalissa alle 20 cm:n mättäissä. Korkeuden vaikutus oli tosin ehdollinen eli korkeudella ja kivennäismaasekoitusta ilmentävällä maan tiheydellä oli voimakas yhdysvaikutus. Todennäköisyys kenttäkerroksen kasvillisuuden esiintymiseen yli 5 %:n peittävyydellä lisääntyi voimakkaasti mättään korkeuden pienentyessä pelkästä turpeesta muodostuneissa mättäissä.



**Kuva 3.** Vedenpinnan mediaanitason vaikutus laikun pohjakerroksen kasvillisuuden kokonaispeittävyteen viitenä laikutusta seuranneena kasvukautena.

Edellä esitetyn kaltainen muokattujen pintojen kasvillisuussukcession tulos (III) oli havaittavissa myös luontaisen uudistamisen koekenttien 4–15 vuoden ikäisillä hakkuualoilla (II). Useimmilla koekentillä jyrshintäjälkien (palteet ja vaot) kasvillisuusjakauma poikkesi muokkaamattomasta pohjakerroksen kasvillisuudesta joko sammalpeitteettömänä karikepintana tai karhunsammalkasvustoina (pääosin kytökarhunsammalkasvustoja) ja varsinkin vaoissa esiintyi paikoin runsaasti rahkasammalkasvustoja (II kuvat 2 ja 3). Vanhimmilla uudistamisaloilla pintakasvillisuus oli peittänyt useimmat jyrsinvaot ja -palteet lähes kokonaan. Jyrshittujen koealojen kasvillisuus ja sen jakauma kasvillisuuden ordinaatiossa oli ajan myötä muuttunut samankaltaiseksi kuin muokkaamattomilla pinnoilla (II kuva 4b). Ainoastaan yhdellä uudistamisalalla voimakkaasti muokatut kytökarhunsammalten valtaamat jyrshintäpinnat erottautuivat ordinaatiodiagrammissa selvästi muiden näytealojen yläpuolelle (II kuva 4a).

Mätästys oli edustettuna vain kahdella koekentällä, joilla hakkuusta ja muokkauksesta oli kulunut jo kymmenen vuotta. Kummassakin mättäät olivat vielä pääosin kasvipeitteettömiä ja enimmäkseen erilaisen karikkeen peitossa. Kytökarhunsammal oli tyypillisin mättäisiin ilmaantunut pohjakerroksen laji. Kasvillisuuden kolonisaatio ollut hitainta huonosti maatuneesta saraturpeesta tehdyillä mättäillä.

## 3.2 Itäminen ja sirkkataimien varhaiskehitys

### 3.2.1 Jyrshintä ja mätästys luontaisen uudistumisen edistäjänä

Luontaisen uudistamisen koekenttien inventoinneissa (II) kävi selvästi ilmi kuinka nuorimmilla uudistamisaloilla (4–6 vuotta muokkauksesta) jyrsinvaot olivat paras taimettumisalusta erityisesti hieskoivun taimille (II kuva 5). Osittain tämä kuitenkin riippui sammalkasvustojen sukkessiosta jyrsinvaoissa, sillä koivujen taimia oli eniten sammalpeitteettöminä säilyneillä (karikepinta- ja vakopinnoilla (II kuva 6). Niillä kahdella kokeella, joilla esiintyi suo- ja kangassammalajiston vaihtelua, männyn taimia oli eniten suosammalkasvustoissa (karhunsammalet ja rahkasammalet) sekä muokkaamattomilla että jyrshityillä pinnoilla. Jyrshintäjäljistä erityisesti vaot olivat sammalpeitteestä riippumatta muokkaamattoman turvekangaskasvillisuuden kuivia seinä- ja kynsisammalpinnoita paremmin taimettuneita.

Hieman vanhemmassa eli 6–10 vuoden ikäisten uudistumisalojen aineistossa korostui edellä esitettyä paremmin, kuinka muokkaamattomilla rahkasammalpinnoilla oli sekä koivun että männyn taimia enemmän kuin karike- ja seinäsammalpinnoilla. Tämän vuoksi jyrshinnän taimettumista edistävä vaikutus oli merkittävä vain, kun jyrshintä oli tehty karike- ja seinäsammalpinnoille. Jyrshinnän taimia lisäävä vaikutus tuli erityisen hyvin esiin niissä voimakkaasti tehdyissä muokkausjäljissä, jotka mittaushetkellä olivat harvan kytökarhunsammalkasvuston peitossa erotuksena heikosti jyrshityistä ja seinäsammalten sekä tupasvillan peittämisestä muokkausjäljistä.

Myös kaikkein vanhimmilla uudistumisaloilla, joissa mittaukset tehtiin 10–15 vuotta kokeiden perustamisen jälkeen, männyn taimien lukumäärä lisääntyi siirryttäessä kohti suosammalvaltaisia kasvillisuuspinnoita (II kuva 4a). Koivun taimien määrä puolestaan lisääntyi voimakkaimmin kohti karikepinnoita. Taimimäärien ja kasvillisuuden välisiin riippuvuuksiin ordinaatioavaruudessa sisältyi kuitenkin runsaasti koekenttien ja muokkauksittelyiden välistä vaihtelua. Uudistumisaloilla, joilla esiintyi suo- ja turvekangaskasvillisuuden vaihtelua, jyrshinnän ja kasvillisuuden yhdysvaikutus männyn taimitehyeen ilmeni ordinaatiossa

taimitehden lisääntymisenä muokkaamattomilla pinnoilla rahkasammalvaltaisten näytealojen suuntaan ja jyrskyillä koejäsenillä puolestaan kohti kytökarhunsammalvaltaisia näytealoja. Mikäli uudistumisalan suokasvillisuus oli jo kadonnut kasvillisuuden kehityttyä turvekankaan kasviyhdyksunniksi, männyn taimitehys lisääntyi seinä- ja kynsisammalpinnoista kohti sammalpeitteettömiä karike- ja muokkauspintoja. Tähän olivat etupäässä vaikuttamassa vielä sammalpeitteettömät mätäspinnat, mutta sama voitiin havaita myös jyrskyillä aloilla.

Jyrsintäjälkien osuus uudistumisalan kokonaispinta-alasta oli mätästyskäsittelyyn verrattuna huomattavasti pienempi ja jyrskyillä koealoilla esiintyi siten myös laajoja muokkaamattomia turvekankaan karikepintoja. Muokkaamattomat karikepinnat yhdessä sammalpeitteettömien jyrsintäjälkien kanssa olivat taimettuneet seinä- ja kynsisammalkasvustoja paremmin, mutta erot olivat pienempiä kuin mätästetyillä koealoilla (II kuva 10). Mätästyksellä ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta männyn eikä koivun luontaiseen taimettumiseen, mikäli mättäät olivat muodostuneet huonosti maatuneesta ja sarojen juurikuituja sisältävästä saraturpeesta.

Koekentästä, sen kasvillisuusvaihtelusta ja muokkauksen voimakkuudesta riippuen koivujen taimitehdyt erilaisilla pinnoilla vaihtelivat voimakkaasti (II). Taimitehden ja muokkaamattoman pintakasvillisuuden korrelaatio oli merkittävä taimitehden lisääntyessä toisaalta rahkasammalien ja toisaalta taas karikepintojen suuntaan. Jyrsityillä koealoilla korrelaatio oli myös merkittävä taimitehden lisääntyessä enemmän karike- ja seinäsammalpinnojen suuntaan. Koivutehys siis oli suurimmillaan niillä seinäsammalen ja tupasvillan peittämällä jyrsintäpinnoilla, joilla männyn taimitehys oli pienimmillään. Tällaisia jyrsintäpintoja esiintyi niillä uudistamisaloilla, joilla jyrsintä oli onnistunut heikoimmin ja koivun vesasyntyisten taimien määrä oli muita suurempi. Mikäli uudistumisala oli erityisen hyvin kuivuneella ojitusalueen osalla, saattoi koivun taimitehys olla kaikkiin muihin koekenttiin verrattuna poikkeuksellisen pieni. Käsittelyjen välillä ei tuolloin ollut tilastollisesti merkittäviä eroja koivun taimien tiheydessä. Ilmeisesti vesominen oli muokkauksenkäsittelyistä vähemmän riippuvana ilmiönä määräävä tekijä taimitehden säätelijänä. Koivun taimitehys kuitenkin lisääntyi seinä- ja kynsisammalpinnoista kohti sammalpeitteettömiä pintoja. Tämä korrelaatio oli tosin merkittävä vain mätästetyillä koealoilla; se ilmeni myös merkittävänä muokkauksen ja kasvillisuuden yhdysvaikutuksena.

### 3.2.2 Laikkujen ja mättäiden edut vaihtelevat sääolojen mukaan

Sekä mättäiden että laikkujen taimettuminen riippui kylvövuoden lämpö- ja sadantaoloista. Lämpimän ja kuivan kasvukauden (IV kuva 3, kylvö 1999, kasvukausi 1) samoin kuin viileän ja kuivan kasvukauden (IV kuva 3, kylvö 2000, kasvukausi 1) lopussa oli eläviä sirkkataimia huomattavasti enemmän laikuissa kuin mättäissä. Lämpimän mutta keskimääräisen sadannan kasvukautena taimia oli puolestaan kaksin verroin enemmän mättäissä kuin laikuissa (IV kuva 3, kylvö 1997, kasvukausi 1).

Sadannan suhteen vertailukelpoisina kasvukausina myös lämpöolojen vaikutus tuli esiin. Viileän alkukesän vuoksi saattoivat keskimääräisenkin sadannan omaavana vuotena sekä taimimäärät että muokkausten väliset erot jäädä hyvin pieniksi. Sama koski kaikkein kylmintä ja sateisinta kasvukautta, jolloin taimia syntyi hyvin heikosti niin mättäille kuin laikkuihinkin.

Samalla tavoin kuten laikkujen ja mättäiden väliset erot taimimäärissä riippuivat sääoloista, myös laikuissa vallitsevan turvemaan vedenpinnan tason vaikutukset taimettumiseen riippuivat siitä, minkälaisen kasvukauden aikana taimet syntyivät ja kehittyivät.

Niinikään mättäillä pintaturpeen kosteuden, tiheyden, orgaanisen aineksen osuuden ja turvelajin vaikutukset taimimääriin riippuivat kasvukausien välisestä sääolojen vaihtelusta. Seuraavassa käsitellään tarkemmin näitä laikkujen ja mättäiden sisäistä vaihtelua aiheuttaneita kasvupaikkatekijöitä sekä niiden välisiä yhdysvaikutuksia.

### 3.2.3 Vedenpinnan tason vaikutus taimien syntyyn kaivurilaikuissa

Turvemaan vedenpinnan tason keskiarvo- ja mediaani kasvukauden aikana osoittautuivat yksinään varsin heikoiksi taimettumisen ja vedenpinnan tason riippuvuutta kuvaaviksi tunnuksiksi tarkasteltaessa kylvökesän aikana syntyneiden ja syksyllä elossa olevien sirkkataimien määrää. Parhaiten riippuvuuksia kuvasivat kylvöhetken vedenpinnan taso, heinä-elokuun ylimmän vedenpinnan taso ja näiden yhdysvaikutus. Syksyllä elossa olevien sirkkataimien lukumäärä oli sitä suurempi, mitä korkeammalla vedenpinnan taso oli kylvöhetkellä. Kylvöajan vedenpinnan tason kohoamisen taimia lisäävä vaikutus edellytti toisaalta riittävän syvällä olevaa loppukesän vedenpinnan tasoa vaikutuksen voimistuessa loppukesän vedenpinnan tason laskiessa. Lisäksi tämä eri ajankohtina mitattujen vedenpintojen välinen yhdysvaikutus riippui kylvövuodesta. Yhdysvaikutus oli merkitsevä vain kuivan ja lämpimän kasvukauden aikana.

Taimimäärät olivat korkeimmillaan, jos kylvöhetkellä vedenpinta oli 10–20 cm:n etäisyydellä maanpinnasta edellyttäen että loppukesän vedenpinta oli ylimmillään noin 25–30 cm etäisyydellä. Kasvukauden keskimääräistä sadantaa edustavana vuotena sirkkataimia syntyi vain vajaa kolmannes kuivaan ja lämpimään vuoteen verrattuna. Tasaisesti koko kasvukauden ajan sateisena pysyneen kesän taimettumistulos oli kaikkein heikoin riippumatta vedenpinnan tason vaihtelusta. Kylvöhetken ja loppukesän korkeimman vedenpinnan tason yhdysvaikutus voi ilmetä myös toisella tavalla, mikäli alkukesä on kuiva ja kylvöhetken vedenpinnan taso syvemmällä kuin loppukesällä (**IV** kuva 5A, kylvö 1999). Tällöin kylvöhetken vedenpinnan tason kohoamisen lisäksi myös loppukesän vedenpinnan tason kohoaminen lisäsi taimettumista, sillä itämisen kannalta kosteimmat olot ilmenivät laikuissa vasta heinäkuussa kuivan alkukesän jälkeen.

Kylvövuoden lisäksi yhdysvaikutus riippui myös laikun pinnan ominaisuuksista. Sekä kylvöhetken että loppukesän vedenpinnan tason vaikutus oli heikompi niissä laikuissa, joihin oli jäänyt osa raakahumuskerrostumasta turpeen päälle. Taimimäärät olivat suuruudeltaan samaa luokkaa silloin, kun vedenpinnan tasot olivat syvimmillään. Ylimmillä vedenpinnan tasoilla raakahumuslaikkujen taimimäärät jäivät kuivan kasvukauden aikana noin neljänneksen pienemmiksi. Suurimmillaan raakahumus- ja turvepintalaikkujen välinen ero oli toisena kuivanviileänä kesänä, jolloin turvepinnoille syntyi nelinkertainen määrä taimia kylvöhetken vedenpinnan tason ollessa 10–20 cm etäisyydellä maanpinnasta (**IV** kuva 5A, kylvö 2000). Sateisen kesän taimimäärät olivat pienet molemmilla laikkupinnoilla.

Rahkasammalpinnoille tehdyissä laikuissa suuren huokostilavuuden omaava hyvin vähän maatonut rahkaturve mahdollisti kuivana ja lämpimänä vuonna runsaan taimettumisen kaikkein korkeimmilla kylvöhetken vedenpinnan tasoilla (**IV** kuva 5B, kylvö 1999). Korven karhunsammalkasvustoihin tehdyissä laikuissa oli runsas puolet rahkasammallaikkujen taimimääristä. Kumpaankaan kasvillisuuspintaan tehdyissä laikuissa ei voitu havaita kylvöhetken vedenpinnan ja loppukesän korkeimman vedenpinnan tasojen yhdysvaikutusta.

### 3.2.4 Taimien kuolleisuus ja pituuskehitys laikuissa myöhempinä kasvukausina

Laikuissa seurattiin kolmen kasvukauden ajan sirkkataimia, jotka syntyivät runsaimman taimimäärän tuottaneen lämpimimmän ja kuivimman kesän kylvöstä. Kaikkien elävien sirkkataimien kokonaismäärä oli seurantajakson lopussa pudonnut noin puoleen. Taimimäärät olivat kolmessa vuodessa vähentyneet sitä enemmän, mitä pienempi oli seurantajakson vedenpinnan tason mediaanietäisyys maanpinnasta (**IV** kuva 6). Taimimäärien vähentyminen oli erityisen voimakasta, mikäli loppukesän ylimmän vedenpinnan taso nousi usein alle 10 cm:n etäisyydelle. Kuolleisuus oli pienintä kun vedenpinnan mediaanitaso oli noin 30 cm sillä edellytyksellä, että ylin vedenpinnan taso loppukesien aikana ei noussut ylempiä kuin 20 cm:n etäisyydelle. Kun vedenpinnan mediaanitaso oli tätä ylempänä, kuolleiden taimien määrä riippui etenkin ylimmästä vedenpinnan tasosta: taimikato oli sitä suurempi, mitä korkeammalle vedenpinnan taso nousi loppukesän aikana.

Vedenpinnan tason vaikutus taimien pituuskehitykseen poikkesi huomattavasti sen vaikutuksesta siementen itämiseen ja sirkkataimien syntyyn. Tämä näkyi jo ensimmäisen kasvukauden aikana tarkasteltaessa taimien syntyä ja varhaiskehitystä niiden sirkkataimien osalta, jotka tuottivat primääriverson jo kylvövuoden aikana. Kaikkina vuosina näitä jo kylvövuotena kasvuun lähteneitä taimia oli eniten kuivimmissa laikuissa eli syvimmällä olevilla kylvöhetken vedenpinnan tasoilla. Lisäksi kylvöhetken vedenpinnan tason syvenemisen primääriversotaimia lisäävä vaikutus riippui voimakkaasti loppukesän vedenpinnan tasosta. Jos loppukesän ylin vedenpinnan taso nousi alle 10 cm:n etäisyydelle maanpinnasta, ei primääriversoja kehittynyt laisinkaan. Taimien juurtuminen ja kasvuun lähtö edellytti selvästi syvemmällä olevaa vedenpinnan tasoa kuin itämistapahtuma.

Viiden kasvukauden jälkeen oli taimien pituus suurimmillaan laikuissa, joissa koko seurantajakson vedenpinnan mediaanitaso oli n. 30 cm edellyttäen, että loppukesän vedenpinnan ylin taso oli vähintään 20–25 cm:n etäisyydellä maanpinnasta (**IV** kuva 7A). Vedenpinnan ylimmän tason alentamisen pituutta lisäävä vaikutus oli sitä voimakkaampaa mitä ylempänä vedenpinnan mediaanitaso oli seurantajakson aikana. Siten korkean mediaanitason laikuissa loppukesän vedenpinnan tason alhaisuus vaikutti positiivisesti taimien pituuskehitykseen. Toisaalta mitä alempana vedenpinnan taso loppukesänkin aikana pysyi, sitä enemmän koko seurantajakson vedenpinnan mediaanitaso heikensi pituuskasvua. Tämä merkitsi sitä, että kun laikku oli loppukesänkin aikana kuiva, alkoi vedenpinnan mediaanitason alentaminen heikentää taimien pituuskasvua samalla tavoin kuin se vähensi elossa pysyvien taimien määrää.

Vedenpinnan tason ja taimien pituuskehityksen välinen riippuvuus ilmeni voimakkaimmillaan, kun vedenpinnan vaihtelumuuttujia tarkasteltiin taimien seurantakauden viimeisen kasvukauden pituuskasvuun vaikuttavina tekijöinä siten, että malliin valittiin edellisen kasvukauden vedenpinnan ylin taso ja mediaanitaso. Taimien viimeisimmän kasvaimen pituus osoittaa kokonaispituutta selvemmin kuinka edellisen kasvukauden loppukesän korkea vedenpinnan taso alkaa taimien koon kasvaessa yhä voimakkaammin heikentää seuraavan kesän pituuskasvua. Vedenpinnan mediaanitason alentaminen lisäsi kasvua mikäli ylin taso nousi loppukesän aikana tietyn rajan yläpuolelle. Mediaanitason alentamisen positiivinen vaikutus oli sitä voimakkaampi mitä korkeammalle vedenpinnan ylin taso nousi (**IV** kuva 7B). Vedenpinnan mediaanitason alentamisen kasvua lisäävä vaikutus muuttui kuitenkin vähitellen negatiiviseksi, mikäli loppukesän ylin taso pysyi riittävän syvällä. Kasvuvaikutus näytti kulminoituvan silloin kun vedenpinnan ylin taso oli n. 20–30 cm:n etäisyydellä maanpinnasta. Pituuskasvu oli suurimmillaan vedenpinnan 30–40 cm:n mediaanitasoilla. Mediaanitason ja ylimmän tasojen yhdysvaikutus voidaan tulkita



myös siten, että mediaanitason ollessa alle 30 cm:n etäisyydellä maanpinnasta kasvu määräytyi sen mukaan kuinka korkealle vedenpinta loppukesällä nousi. Mikäli vedenpinnan mediaanitaso oli tätä syvemmällä, ei haitallisia ylimmän vedenpinnan tason etäisyyksiä enää esiintynyt. Tällöin kasvu määräytyi mediaanitason mukaan. Raakahumuspinmaisissa laikuissa taimet kestivät korkealla olevaa vedenpinnan tasoa paremmin kuin turvepinmaisissa laikuissa (IV kuva 8B).

### 3.2.5 Kosteusvaihtelu, itämistulos ja taimien pituuskehitys turvemättäillä

Turvemättäillä taimien lukumäärä oli sitä suurempi, mitä vähäisempi oli pintaturpeen kuivumisherkyys (mitä suurempi kosteusmittausvuosien kuivimpina ajankohtina mitattujen kosteuspitoisuuksien keskiarvo). Vaikutuksen suuruus riippui kuitenkin siitä, kuinka paljon pintaturve pystyi uudelleen sitomaan kosteutta kuivimman ajankohdan jälkeen. Mättään pintakerroksen kuivakosteuden lisääntyminen nosti sitä voimakkaammin taimimäärää mitä suurempi oli sateiden tuottama kosteuslisäys loppukesällä. Mättään kuivumisherkyyttä kuvaavan kuivakosteuden ja hydrofobisuutta käänteisesti kuvaavan kosteuslisäyksen yhdysvaikutus riippui kuitenkin myös kasvukaudesta; yhdysvaikutus tuli esiin vain keskimääräistä kuivemman ja vähäsateisemman kesän aikana (IV kuvat 9A ja 10A, kylvö 1999). Keskimääräistä sadantaa edustavan kesän taimettumistulos oli kuivumisherkeimmillä mättäillä hyvä mutta vastaavasti huonompi kosteammilla mättäillä. Edellä kuvattua kuivakosteuden ja kosteuslisäyksen yhdysvaikutusta ei tullut esiin (IV kuva 9A, kylvö 1997). Sateisen kesän taimettumistulos jäi kaikkiaan heikoksi.

Taimien pituuskehityksen riippuvuus mättään kosteusominaisuuksista oli päinvastainen verrattuna taimimäärään eli niissä mättäissä, joihin oli syntynyt eniten taimia, taimet kasvoivat huonoimmin ja päinvastoin. Mitä suurempi kuivakosteus oli, sitä lyhyemmiksi taimet jäivät erityisesti niissä mättäissä, joissa kosteuslisäys oli suurin (IV kuvat 9B ja 10B). Havaittu kuivakosteuden ja kosteuslisäyksen yhdysvaikutus riippui ajasta ja ilmeni vasta neljännessä kylvössä seuranneesta kasvukaudesta alkaen.

Kuivakosteus oli korkeimmillaan orgaanisen ainesosuuden eli turpeen osuuden kasvaessa ja pienimmillään pintamaanäytteen suurilla tiheysarvoilla (IV kuva 11). Kuivakosteus ja sen myötä taimimäärä oli näin ollen pienimmillään ja samalla pituus suurimmillaan niillä turvemättäillä, joilla pintaturpeen tiheysarvo oli korkein (IV kuva 12B).

### 3.2.6 Kivennäismaasekoituksen vaikutus itämistulokseen ja taimien pituuskehitykseen turvemättäillä

Kivennäismaan määrään lisääntyminen eli mättään maa-aineksen orgaanisen osuuden (paino-%) pieneminen vähensi kylvönjälkeisen ensimmäisen kasvukauden lopun taimimäärää kuivimpana kylvövuotena (IV kuva 12A, kylvö 1999). Valtaosin karkeasta kivennäismaasta muodostuneissa mättäissä myös kuivakosteus oli alhaisimmillaan (IV kuva 11). Pelkästään turpeesta muodostuneilla mättäillä turpeen tiheys oli voimakkain pituuteen vaikuttava tekijä taimien koon kasvaessa kuiva-ainetiheyden lisääntyessä (IV kuva 12B).

### 3.2.7 Turvelajin vaikutus itämistulokseen ja taimien pituuskehitykseen

Tarkasteltaessa pelkästään turpeesta tehtyjä mättäitä (ei kivennäismaasekoitusta), todettiin myös turvelajin vaikuttaneen mättäiden taimettumistulokseen yhdessä turpeen tiheyden kanssa (IV kuva 13A). Mitä suurempi oli saraturpeen osuus, sitä voimakkaammin turpeen

tiheyden lisääntyminen pienensi sirkkataimien määrää. Rahkavaltaisilla turpeilla taimettumisessa ei ollut eroja turpeen tiheyden suhteen. Sen sijaan rahkavaltaisilla turpeilla taimien kuolleisuus oli kolmen kasvukauden jälkeen selvästi suurempi kuin puhtailla saraturpeilla. Taimien pituus oli suurimmillaan maatuneimmilla saraturpeilla erojen ilmaantuessa vasta kolmannen kasvukauden aikana (IV kuva 13B). Sirkkataimien syntymisen ja toisaalta myöhemmän pituuskehityksen käänneinen riippuvuus turpeen tiheydestä korostui näin ollen saravaltaisilla turpeilla eli sirkkataimien syntyminen oli heikointa ja pituuskehitys voimakkainta erityisesti maatuneella saraturpeella.

### 3.3 Kosteusvaihtelun vaikutus taimettumiseen

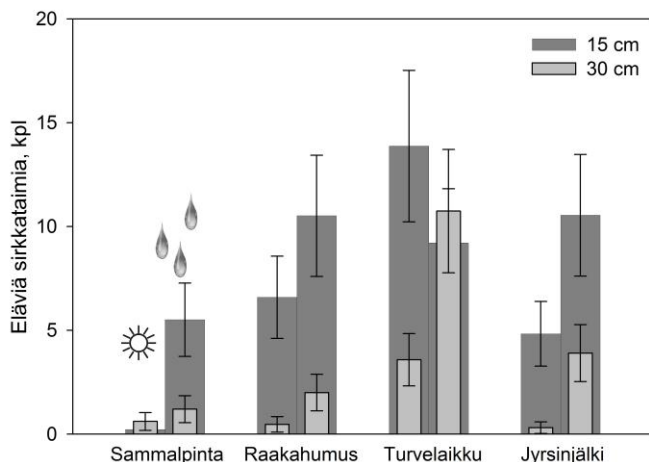
#### 3.3.1 Kasvihuonekoe I

Vedenpinnan tason vaikutus taimettumiseen oli erittäin voimakas (taulukko 2 ja kuva 4). Koskemattomia sammalpintoja lukuunottamatta kaikilla kylvöpinnoilla 15 cm:n syvyydellä oleva vedenpinta lisäsi taimien määrää vähintään nelinkertaisesti 30 cm:n syvyyteen verrattuna ensimmäisen kastelemattoman ”sääjakson” aikana. Siementen itäminen oli tällöin yksinomaan vedenpinnasta nousevan kapillaarikosteuden varassa. Myös kylvöpinnan laadun vaikutus oli voimakas. Ilman kastelua taimimäärä oli paljaan turpeen pinnoilla monikymmenkertainen muokkaamattomiin sammalpintoihin verrattuna sekä kaksinkertainen raakahumuspinnaan ja kolminkertainen jyrsettyn pintaan verrattuna. Mikäli vedenpinnan taso oli 30 cm:n etäisyydellä kylvöpinnasta, ei pelkkä kasvillisuuden poistaminen riittänyt edistämään taimettumista eli jäljelle jäänyt raakahumuspinna pysyi liian kuivana. Sama koski kuohkeaa raakahumuksen sekaista jyrsinpintaa, joskin sadetuksen vuoksi myös turvetta sisältävä jyrsinäkerros tarjosi riittävästi kosteutta tuottamaan sammalpintaa paremman kylvötuloksen. Ilman kastelua taimia syntyi vain paljaan turpeen ”laikkupintoihin”. Sadetuksen jälkeen taimia syntyi myös muille pinnoille, mutta silloinkin paljalle turpeelle syntyi vähintään kaksinkertaisesti taimia muihin pintoihin verrattuna.

Vedenpinnan tason ja kylvöpinnan laadun välillä oli myös yhdysvaikutusta taimettumiseen, joka kuitenkin riippui myös ”sääjaksosta” eli käytännössä sadetuksesta. Toisin sanoen vedenpinnan tason vaikutuksen riippuvuus kylvöpinnasta ilmeni eri tavalla kuivan jakson kuin sadetusjakson aikana. Tämä johtui pääasiassa siitä että paljaalla turvepinnalla sadetuksen vaikutus oli voimakkaasti taimettumista heikentävä korkeimmalla vedenpinnan

**Taulukko 2.** Itäneiden ja elossa olevien taimien määrää selittävän mallin parametrien testisuureiden arvot kasvihuonekokeessa I. T=kylvön jälkeinen ”sääjakso” (kuiva tai sadetus), GW=vedenpinnan taso ja S=kylvöpinnan laatu.

Muuttuja	DF	F	p
T	1	12.4	0.0006
GW	1	12.5	0.0006
S	3	9.6	0.0000
T*GW*S	10	2.3	0.0167



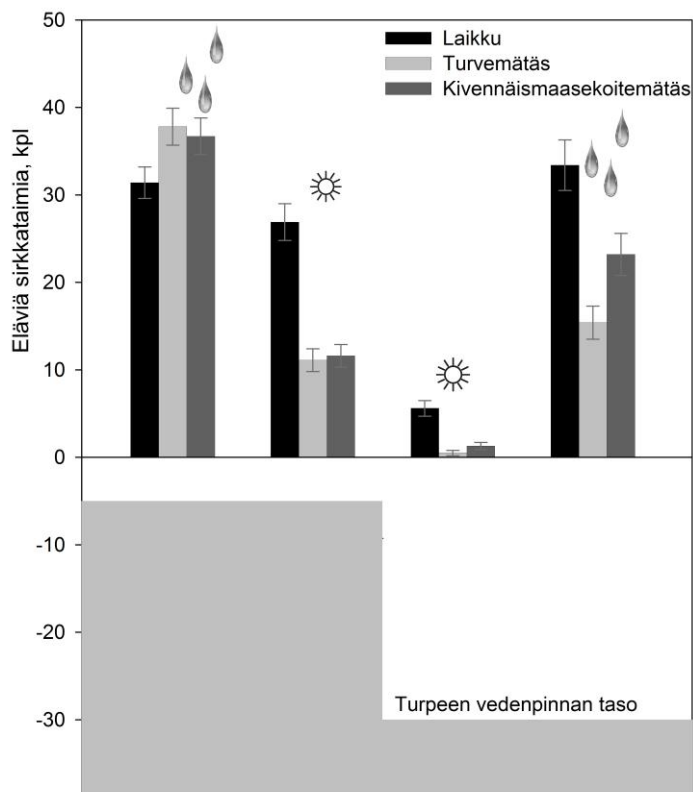
**Kuva 4.** Kylvöä seuranneen ”sääjakson” (kuiva ☀ ja sadetus ☔), vedenpinnan tason ja kylvöpinnan laadun vaikutukset itäneiden siementen ja elossa olevien taimien määrään kasvihuonekokeessa I.

tasolla eli sirkkataimia kuoli liialliseen kosteuteen. Kaikilla muilla kylvöpinnoilla sadetus tuotti lisää sirkkataimia kuivan kauden aikana itämättä jääneistä siemenistä. Koskemattomilla sammalpinnoilla taimia syntyi vain silloin kun vedenpinnan taso oli korkeimmillaan ja kylvöpinta sai lisäkosteutta sadetuksesta.

### 3.3.2 Kasvihuonekoe II

Sekä kylvöpinnan laatu (laikku, turvemätäs tai kivennäismaasekoitteinen mätäs) että ”kasvukauden” kosteusominaisuudet (sadannan ja vedenpinnan tason yhdistelmät) vaikuttivat merkittävästi syntyneeseen taimimäärään. Lisäksi näiden tekijöiden vaikutukset riippuivat voimakkaasti toisistaan (kuva 5 ja taulukko 3). Keskimääräinen taimettumistulos kummankin mätäspinnan kohdalla oli laikkuja parempi korkean vedenpinnan tason ja sadetuksen vallitessa kun taas sateettomina jaksoina laikut olivat mättäitä parempia vedenpinnan tasosta riippumatta. Vedenpinnan tason vaikutus itävyyteen oli sateettomina jaksoina voimakas laikkupinnoilla mutta menetti merkityksensä sadetuksen vaikutuksesta. Kuivien jaksoiden ja vedenpinnan tason laskun jälkeen annettu uusi sadetus nosti laikkujen taimimäärät samalle tasolle kuin ensimmäisen sadetusjaksonkin aikana.

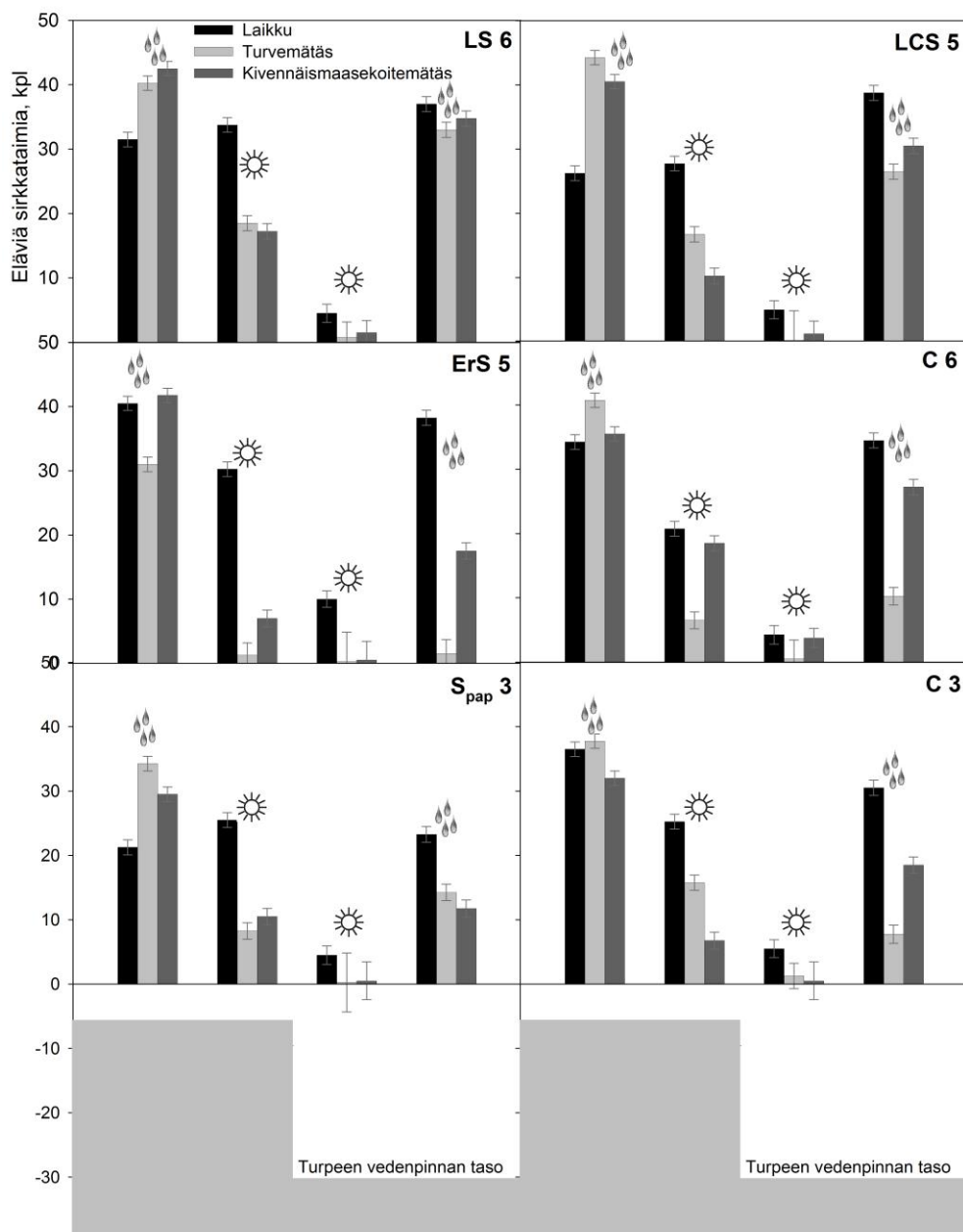
Mättäillä sen sijaan ei sadetuksellakaan pystytty palauttamaan niiden alkuperäistä taimettumisherkkyyttä. Kylvöalustojen vesipitoisuuksien muutoksia ei mitattu, mutta silmävaraisesti ja tunnustelemalla voitiin havaita, että vesi ei enää imeytynyt kaikkiin kahden sateettoman jakson aikana kuivuneisiin mättäisiin. Kivennäismaasekoituksen vaikutus oli kuitenkin selvästi havaittavissa: se edisti sadetuskosteuden imeytymistä ja sen myötä sirkkataimien syntymistä. Sen lisäksi, että laikkujen ja molempien mätästyyppien väliset erot taimettumistuloksessa vaihtelivat edellä kuvatulla tavalla sääjaksoittain, oli kylvöpinnan ja sääjakson yhdysvaikutus taimettumistulokseen lisäksi riippuvainen turvelajista (kuva 6, taulukko 3). Selvimmin tämä ilmeni siinä miten voimakkaasti vettähylliväksi mättään turve oli kuivuttuaan muuttunut. Laikuissa säilyi kuivinaikin jaksoina sellainen kapillaarikontakti että turpeen pinta ei niissä päässyt kuivumaan ja muuttumaan hydrofobiseksi kuten osalla



**Kuva 5.** Peräkkäisten kylvöjen jälkeen vallinneiden ”kasvukausien” (kuivan sääjakson ☀️ tai sadetusjakson 🌧️ ja vedenpinnan tason yhdistelmät) eli aikatekijän (T) ja kylvöpinnan laadun (S) vaikutukset itäneiden siementen ja elossa olevien taimien määrään keskimäärin eri turvelajeilla kasvihuonekokeessa II.

**Taulukko 3.** Itäneiden siementen ja elossa olevien taimien määrää selittävän mallin parametrien testisuureiden arvot kasvihuonekokeessa II. T = peräkkäisten kylvöjen jälkeen vallinnut ”kasvukausi” (kuivan sääjakson ☀️ tai sadetusjakson 🌧️ ja vedenpinnan tason yhdistelmät), S = kylvöpinnan laatu ja P = turvelaji.

Muuttuja	DF	F	p
T	3	156.0	0.0000
S	2	39.7	0.0000
P	5	3.0	0.0169
T*S	6	31.7	0.0000
T*P	15	3.9	0.0000
T*S*P	40	2.1	0.0033



**Kuva 6.** Peräkkäisten kylvöjen jälkeen vallinneiden "kasvukausien" (kuivan sääjakson ☀ tai sadetusjakson ☔ ja vedenpinnan taso yhdistelmät), kylvöpinnan laadun ja turvelajin vaikutukset itäneiden siementen ja elossa olevien taimien määrään kasvihuonekokeessa II.

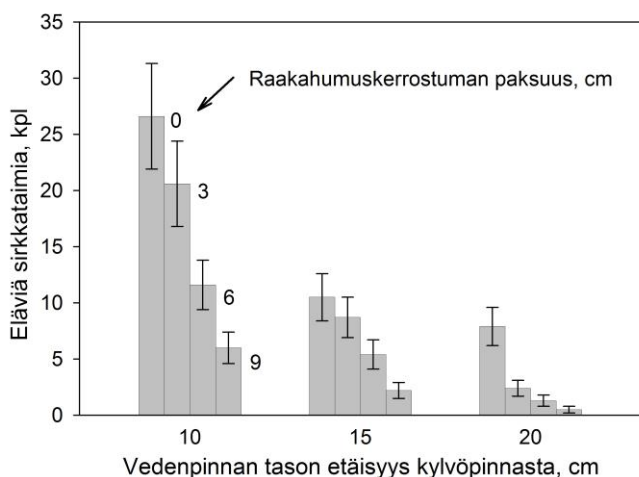
turvemättäissä, joissa ei ollut kivennäismaasekoitusta. Hydrofobisuuden suhteen ongelmallisimpia olivat puhtaat saraturpeet (C) ja maatunut rahkaturve (ErS 5). Puuainesta (L) sisältäneissä turpeissa (LS ja LCS) sadetuskosteutta pääsi imeytymään mättään pinta-kerrokseen ja taimettumisherkkyys palautui kastelun vaikutuksesta lähes samalle tasolle kuin laikuissakin.

### 3.3.3 Kasvihuonekoe III

Vedenpinnan taso ja raakahumuksen paksuus vaikuttivat merkittävästi taimimäärään. Lisäksi niiden yhdysvaikutus oli merkittävä (taulukko 4 ja kuva 7) eli vedenpinnan tason nousu vaikutti sitä voimakkaammin taimimäärän lisääntymiseen mitä ohuempi oli raakahumuskerrostuman paksuus. Toisaalta myös raakahumuksen paksuusvaihtelun vaikutus taimimäärän vaihteluun oli sitä voimakkaampi mitä korkeammalle vedenpinnan taso oli nostettu.

**Taulukko 4.** Itäneiden siementen ja elossa olevien taimien määrää selittävän mallin parametrien testisuureiden arvot kasvihuonekokeessa III. GW = vedenpinnan taso ja RH = raakahumuskerrostuman paksuus.

Muuttuja	DF	F	p
GW	2	76.2	0.0000
RH	3	38.7	0.0000
GW*RH	6	2.8	0.0169



**Kuva 7.** Vedenpinnan tason ja raakahumuskerrostuman paksuuden vaikutukset itäneiden siementen ja elossa olevien taimien määrään kasvihuonekokeessa III.

## 4 TARKASTELU

### 4.1 Kuivatuksen aiheuttamat kasvillisuuden ja pintaturpeen muutokset

#### 4.1.1 Kasvillisuus vanhoilla ojitusalueilla

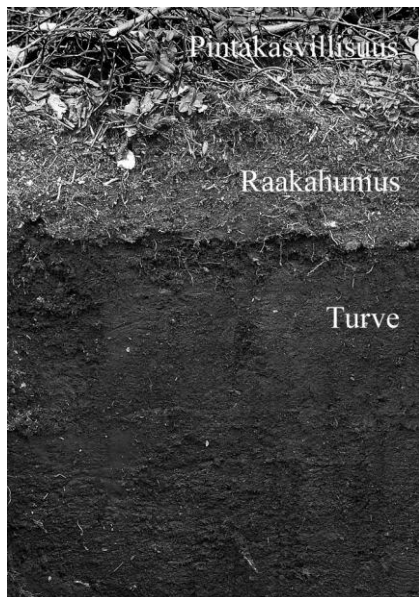
Pääosin sararämeistä kehittyvä puolukkaturvekangas (Ptkg II) oli Koillis-Pirkanmaalla toteutetun ojitusalueinventoinnin otanta-alueen yleisin kasvupaikkatyyppi (I). Se on yleisin myös koko maan ojitusalueilla keskimäärin (Keltikangas ym. 1986). Uudisojituksen varassa edennyt kasvillisuuden kehitys oli 1930- ja 1950-luvun ojitusalueilla saavuttanut turvekangasasteen (Sarasto 1961) enimmillään kolmanneksella kaikista havaintoaloista. Varttuneiden ja uudistuskypsien metsiköiden havaintoaloista osuus oli noin 40 %. Kasvillisuuden sukkessiovaiheen kuvaaminen ja mieltäminen oli lopuilla havaintoaloilla ongelmallista. Ainakin osa näytealan rahkasammalpinna-alueesta oli syntynyt sammalpeitteettömän karikepinnan päälle. Havaintopiste oli siis aiemmin ollut siirtymässä karikepinnan kautta seinä- ja kynsisammalvaltaiseksi turvekankaaksi, mutta sekundäärinen soistuminen oli käynnistynyt ennen kangassammalien tuloa. Useimmat vielä osittain suokasvillisuuden peittämät havaintoalat osoittautuivatkin mosaikiksi erisuuntaisia sukkessiovaiheita (Kuusipalo ja Vuorinen 1981). Pääosin tämän vuoksi ojitusikä ja kuivatustekniset tunnuksot korreloivat heikosti pintakasvillisuudessa esiintyvien ja kasvillisuuden sukkessiovaiheita kuvaavien vaihtelusuuntien kanssa.

#### 4.1.2 Raakahumus vanhoilla ojitusalueilla

Turvekankailla tai turvekankaille ominaisilla kasvillisuuspinnoilla esiintyvän raakahumuskerroksen rakennetta ja ominaisuuksia ei ole tarkemmin kuvattu aiemmassa kirjallisuudessa. Verrattaessa raakahumuskerrostumaa kangasmailla esiintyvän kangashumuksen kerrosrakenteeseen (Mälkönen ja Tamminen 2003), voitiin siitä erottaa kangashumuksen kahta ylintä kerrosta vastaavat tasot: karikekerros (L-horisontti) ja sen alla oleva multautumis- tai fermentaatiokerros (F-horisontti). Kerrosten erottaminen toisistaan oli useimmiten melko vaikeaa ja tulkinnanvaraista, sillä varsinkin ohuimpien raakahumuskerrosten kohdalla koko kerrostuma koostui hajoamattomasta tai vain hyvin vähän hajonneesta karikemassasta, jossa yksittäiset kasvijäännökset voitiin helposti erottaa varpukasvien hienojuurten seasta. Kangashumukselle ominainen humusainekerros (H-horisontti) joko puuttui kokonaan tai sitä ei ollut silmävaraisesti mahdollista erottaa maatuneen turvekerroksen rajapinnasta (kuva 8).

Raakahumuskerroksen paksuus korreloi, vaikkakin hyvin heikosti, ainoastaan kuusi- ja mäntypuuston määrän ja ojitusiän kanssa. Heikon riippuvuuden voi tulkita johtuvan kuivatus-tilan heikkenemisestä. Havaintoalat olivat vain kertaalleen ojitettuja soita ja huomattava osa varsinkin 1930- ja 1950-luvun ojitusalueista olisi edellyttänyt kunnostusojitusta palautuvan sukkession välttämiseksi.

Raakahumuskerroksen paksuuden ja sen alapuolisen turvekerroksen rajapinnan määrittäminen oli usein myös melko tulkinnanvaraista. Suon kuivatus-tila voi heikentyä merkittävästi juuri siinä vaiheessa, jossa rahkasammalkasvustot ovat häviämässä mutta raakahumuskerrostuma vasta syntymässä. Karikkeet sekoittuvat elpymään rahkasammalkasvustoon, jolloin selvää rajapintaa ei pääse syntymään.



**Kuva 8.** Raakahumuksen ja turpeen jyrkkä rajapinta puolukkaturvekankaalla.

Raakahumuksen paksuuden voimakas korrelaatio kasvillisuusgradientin kanssa johtui erityisesti rahkasammal- ja turvekangaspintojen vaihtelusta, ts. sukkessiovaihtelusta. Kosteilla, edelleen kasvavilla, rahkasammalpinnoilla raakahumusta ei ole, kun taas kuivuneilla pinnoilla karikkeiden kerrostuminen ja seinäsammalen tehokas leviäminen (Lloret 1994) alkavat heti rahkasammalkasvustojen häviämisen jälkeen. Näin ollen raakahumuskerroksen paksuus on sidoksissa ajanjakson pituuteen, joka on kulunut rahkasammalien häviämisestä. Paksuimmat (5,4–6,5 cm) raakahumuskerrostumat painoutuivat niille turvekankaalle, joille oli ehtinyt syntyä yhtenäinen seinäsammalkasvusto.

Minkkisen ja Laineen (1998) minerotrofisilta nevarämeiltä keräämässä aineistossa raakahumuskerroksen paksuus oli peräti 8 cm. Se että tässä aineistossa puolukkaturvekankailla oli paksummat kerrostumat kuin mustikkaturvekankailla selittyyne kariketta kestävän seinäsammalen (Tarkhova ja Ipatov 1975) ja pääosin männyn neulasista muodostuvan karkeajakaisen karikkeen runsauteen. Viljavimmilla soilla helposti hajoavan sekä tiiviisti kerrostuvan lehtikarikkeen osuus on suurempi. Myös kuusen mäntyä hienojakoisemman neulaskarikkeen tiiviimpi kerrostuminen lienee yksi osasy ohuempiin raakahumuskerrostumiin. Hajotusaktiivisuus on myös korpisyntyisillä ja yleensäkin viljavilla turvemailla nopeampaa kuin rämesyntyisillä ja niukkaravinteisilla turvemailla (Karsisto 1979; Hotanen ja Nousiainen 1990). Varputurvekankailla seinäsammalta esiintyy tavallisesti puolukkaturvekankaitakin enemmän (Sarasto 1961, Laine ym. 1995) (vrt. kuitenkin korpikämmä, Sarasto 1961), mutta kasvillisuuden sukkessio on ensin mainituilla hitaampaa. Tämän tutkimuksen aineistossa varputurvekankaat sijaitsivat myös keskimäärin nuoremmilla ojitusalueilla. Tämä vaikuttaa luonnollisesti sen ajan pituuteen, jolloin raakahumuksen kerrostuminen on ollut mahdollista. Varputurvekankaiden muita kasvupaikkoja niukempi puusto tuottaa myös vähemmän karikemassaa.



Yleisesti ottaen suosammalien häviämisestä ja turvekangaspintojen syntymisestä kulunut aika on kasvupaikkaominaisuuksien ja karikkeen koostumuksen lisäksi merkittävä raakahumuskerrostumien paksuusvaihteluun vaikuttava tekijä ojitusalueilla. Aineiston keruun yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella näyttäisi myös varpujen ja puiden hienojuurten määrällä olevan vaikutusta raakahumuskerrostuman paksuusvaihteluun. Männyn hienojuurten hajoamisnopeuden tiedetään olevan neulaskarikkeenkin hajoamista hitaampaa (Domisch ym. 1998). Yhdessä varpujen juurihuovaston kanssa männyn hienojuuret lisäävät karikemassan ja siitä muodostuvan raakahumuskerrostuman kuohkeutta ja paksuutta.

Sammalpeitteettömien karikepintojen runsaus koski erityisesti mustikkaturvekankaiden varjoisia kuusikoita ja runsaan lehtipuusekoituksen omaavia alunperin nevapintaisia sekatyypin kasvupaikkoja. Kokonaan kangassammalien peitossa olevia näytealoja oli suhteessa eniten aidoista suotyypeistä kehittyneillä varputurvekankailla (Vatkg I), jolloin kyse oli valtaosin seinäsammalesta. Karikepintojen runsas esiintyminen muuttuma- ja turvekangasasteen ojitusalueilla voi liittyä erityisesti lehtikarikkeiden sammalkasvustoja tuhoavaan vaikutukseen (Hertz 1932; Mannerkoski 1976b) ja varjoisten kuusikoiden seinäsammalle epäedullisiin valaistusoloihin. Metsäkerrossammal ja kangaskynsisammal sietävät karikepeitettä huonommin kuin seinäsammal (Tarkhova ja Ipatov 1975). Karikepintojen ja kangassammalien mosaiikki oli kuitenkin luonteenomaista myös monille puhtaille männiköille, mikä synnyttää ajatuksen kuivatusta seuraavan kasvillisuussukcession mahdollisesta kaksivaiheisuudesta (Reinikainen 1984). Ensimmäisessä vaiheessa suosammalet katoavat laikuittain (kuivumissukcessio), jättäen jälkeensä sammalettoman ja karikkeisiin peittyvän pohjakerroksen. Mikäli ojituksen kuivatusteho säilyy, valtaavat kangasmaiden sammallajit vähitellen suolajeilta vapautuvaa tyhjää kasvutilaa (metsäsukcessio). Kangassammalpintojen suurempi osuus aidoista puustoisista suotyypeistä kehittyneillä puolukka- ja varputurvekankailla voisi tällöin selittyä seinäsammalen voimakkaalla kasvullisella leviämiskyvyllä, mikä mahdollistaa sen leviämisen tehokkaasti suosammalkasvustoon syntyneisiin aukkoihin (Lloret 1994). Monet suikerosammalet, joita oli erityisesti mustikkaturvekankailla, kasvavat karikkeella. Ne ilmeisesti hyötyvät lisääntyneestä karikesadosta (Rydin 1997) kasvillisuussukcession myöhäisissä vaiheissa (Mäkipää 2000).

#### *4.1.3 Kasvillisuussukcession merkitys taimettumisen kasvupaikkatekijänä*

Luontaisen uudistamisen näkökulmasta on tärkeä tiedostaa ojitusalueen kasvillisuussukcession merkitys erilaisten “taimettumispintojen” muodostajana. Uudistaminen varsinkin ilman muokkausta edellyttää tietoa itämiselle otollisten rahkasammalpintojen esiintymisestä uudistamiskypsissä ojitusaluemetsiköissä. Tämän tutkimuksen aineistossa hakkuukypsissä ja varttuneissa metsiköissä rahkasammalien osuus oli enää vain runsaat kymmenen prosenttia pohjakerroksen peittävydestä. Se tarkoittaa käytännössä sitä, että vielä rahkasammalvaltaisille ojitusalueille ominainen luontainen taimettumisherkyys on hävinnyt ja luontaisen uudistamisen onnistuminen edellyttää jonkinlaista maanpinnan rikkomista. Hakkuukypsyyttä lähentelevät ojitusaluemetsät ovat siis valtaosin turvekankaita, joissa kangassammalien osuus oli keskimäärin puolet pohjakerroksen peittävydestä. Runsaat kolmannes oli edelleen sammalpeitteetöntä karikepintaa, mikä saattaa toisinaan olla hyväkin taimettumisalusta erityisesti silloin, kun on kyse ohuen lehtikarikkeen muodostamista pinnoista.

Karikepintojen taimettuminen riippuu karikemassan ominaisuuksista. Runsaat lehtikarikkeen määrä tukahduttaa sirkkataimia, mutta toisaalta myös estää sammalien kasvua ja paran-

taa siten maan taimettumisherkkyyttä (Hertz 1932). Niinikään eri kangassammalkasvustojen välillä voi esiintyä huomattavia eroja riippuen paitsi kosteusoloista myös kyseisen sammalen kasvunopeudesta (Sarasto ja Seppälä 1964). Karike- ja kangassammalpinnoilla esiintyy todennäköisesti vielä merkittävää taimettumisherkkyyden vaihtelua riippuen raakahumuskerrostuman paksuudesta. Taimettumisherkkyyden erot eri raakahumuskerrostumilla riippuvat lisäksi kasvukauden kosteusoloista ja vedenpinnan tasosta. Taimettumisherkkyyks näyttää olevan heikointa paksun mäntykarikekerrostuman ja seinäsammalkasvustojen peittämällä varputurvekankailla.

Siemenpuuasentoon hakattujen uudistamisalojen pintakasvillisuuden moniulotteinen tarkastelu osoitti, kuinka vanhallakin siemenpuualalla esiintyy samoja pohjakerroksen kasvillisuuden päävaihtelu suuntia, kuin vielä hakkaamattomilla ojitusalueilla (II). Muokkaamattomilla aloilla taimettumispinta voitiin jakaa rahkasammalvaltaisiiin osakasvustoihin ja toisaalta kuiviin turvekangaspintoihin, joissa pohjakerros vaihteli ”kangassammalien” kokonaan valtaamista pinnoista osittain paljaan karikepinnan ja erillisten kangassammal- laikkujen muodostamaan kasvillisuusmosaiikkiin.

#### 4.1.4 Kasvillisuusmuutokset muokatulla uudistusalalla

Eri osa-aineistojen analyysit osoittivat kuinka ojitettujen soiden metsänuudistamisalojen erityyppisillä muokkauspinnoilla käynnistyi erilaisia häiriösuknessioita (II ja III). Nämä ilmenevät ordinaatioanalyseissä kasvillisuuden eri vaihtelusuuntina, joihin vaikuttaa mm. kasvupaikan viljavuustaso. Reinikainen (1965) on osoittanut, että pintakasvittomalle turve- kentälle kolonisoituva kasvillisuus ei ole sattumanvaraista, vaan eri tavoin lannoitetuille mutta muuten homogeenisille koealoille muodostuu jo alunpitäen erilainen kasvillisuus: turpeen ravinteisuus säätelee vahvasti suknession kulkua (myös Salonen ja Laaksonen 1994).

Moilasen ym. (1995) tutkimuksessa ohutturpeisten ruohoisuus- ja mustikkaisuustason ojitettujen korpjen uudistamisalojen kivennäismaavaltaisille mätäspinoille kehittyi hyvin nopeasti mm. karhunsammalkasvustoja (*Polytrichum commune*, *P. juniperinum*, *Polytrichastrum longisetum*). Jo kahden vuoden kuluttua kasvillisuus peitti valtaosan muokkaus- pinnoista. Kasvillisuusuknessio oli ollut nopeampaa kuin mitä kivennäismaan auras- alueilta oli aiemmin esitetty (Ferm ja Pohtila 1977; Ferm ja Sepponen 1981). Muokkaus- pinnat voivat siis sopivan kosteissa ja ravinteikkaissa oloissa jo muutamassa vuodessa peittyä tuuheisiin karhunsammalkasvustoihin, joiden on havaittu ehkäisevän taimien synty- mistä ja alkukehitystä tehokkaasti (mm. Sarasto ja Seppälä 1964; Lähde 1965; Moilanen ym. 1995).

Siemenpuuhakkuun avartamien valaistusalojen ja maanpinnan käsittelyn vaikutukset ilmenivät varpu- ja puolukkaturvekankaan viljavuustason uudistamisaloilla näkyvimmin tupasvillan runsautena ja kytökarhunsammalen esiintymisenä jyrksityillä ja mätätetyillä pinnoilla (II). Alle kymmenen vuoden ikäisillä uudistamisaloilla jyrksintäjälkien kasvilli- suusjakaua poikkesi muokkaamattomasta pohjakerroksen kasvillisuudesta joko sammal- peitteettömänä karikepintana tai karhunsammalkasvustoina, ja varsinkin vaoissa esiintyi paikoin runsaasti rahkasammalkasvustoja. Vanhemmilla uudistamisaloilla pintakasvillisuus oli peittänyt jyrsinvaot ja -palteet lähes kokonaan eivätkä lajisto ja sen vaihtelusuunnat enää poikenneet muokkaamattomien pintojen kasvillisuudesta. Mättäät sen sijaan säilyvät pitkään kasvipeitteettöminä varsinkin, jos kyseessä on heikosti maatumesta saraturpeesta tehdyt mättäät.

Karhunsammalet valtasivat lähinnä laikkupintoja, kun taas mättäiden sammaloituminen oli edellä kuvattuun verrattuna huomattavasti hitaampaa (III). Kytökarhunsammal (*Polytrichastrum longisetum*) näytti olevan tavanomaisin laji turvekankaiden raakahumuskerrostuman alta paljastetuilla maatumeneen turpeen laikkupinnoilla erityisesti mustikkaturvekankaan uudistamisaloilla. Kasvupaikkatyypin vaikutus ilmeni myös harmaasara esiintymisen runsautena mustikkaturvekankaalla. Pallosaran esiintyminen oli harmaasaraa laaja-alaisempaa. Se oli tämän tutkimuksen muokkauspinnoilla yleinen ja kaikilla viljavuustasoilla esiintyvä. Pallosara lisääntyy useimmiten kasvullisesti, ja sillä on pitkä maaversosto (Skult 1958). Se hyötyy runsaasta valosta ja kukkii parhaiten aukkopaikoissa, joissa se leviää kohtalaisesti myös siemenistä. Pallosara suosii maatunutta, melko hapanta (pH 3,5–4,9) turvetta. Sen optimikasvupaikkoja ovat mustikka- ja puolukkaturvekankaiden viljavuustasoa edustavat kasvupaikat. Varpaturvekankaillakin sitä voi jossain määrin kasvaa, jos turve on maatunutta (Hotanen 2000, 2003).

#### 4.1.5 Vedenpinnan tason vaikutus laikkupinnan kasvillisuuteen

Vedenpinnan taso on keskeinen laikkupintojen kasvillisuuden kehitykseen vaikuttava ympäristömuuttuja ojitusalueilla (III). Uuden kasvillisuuden kehitykseen vaikuttavat lisäksi laikutuskohdan alkuperäinen kasvillisuus sekä laikun syvyys eli mihin turpeen pinta-kerroksen horisontaaliseen tasoon (raakahumus vai sen alainen turve) laikku on tehty. Suurimmalla osalla kaivurilaikkujen kasvilajeista tai lajiryhmistä voitiin havaita vedenpinnan tason vaihtelun mukaan määräytyvä optimialue. Rahkasammalien peittävyys oli odotetusti suurimmillaan vedenpinnan tason lähestyessä laikun pintaa – joskin eri lajien välillä tiedetään olevan eroja (Bragazza ja Gerdol 1996; Tahvanainen ja Tolonen 2004). Tupasvillan peittävyuden maksimi kaivurilaikkujen paljailla turvepinnoilla saavutettiin, kun vedenpinnan taso oli 5–10 cm:n etäisyydellä laikun pinnasta. Mikäli laikku oli tehty rahkasammalvaltaisiin kasvustoihin, saattoi tupasvillaa esiintyä runsaasti myös vedenpinnan alemmilla tasoilla. Tämä johtunee tupasvillan runsaammasta esiintymisestä rahkasammal- kasvustoissa, jolloin laikkupintaan jääneistä tupasvillan maavarsista syntyy laikutuksen jälkeen nopeasti uusia tupasvillakasvustoja. Aiemmin on muokkaamattomilla metsäojitusaloilla havaittu, että tupasvilla on usein runsaimmillaan vedenpinnan tason ollessa 20–40 cm:n etäisyydellä maanpinnasta ja puuston tilavuuden ollessa alle 100m<sup>3</sup>/ha (Laine ja Vanha-Majamaa 1992). Tuittilan ym. (2000b) tutkimuksessa tupasvillan esiintymisen todennäköisyys näytti olevan suurimmillaan vedenpinnan mediaanitason ollessa alle 25 cm:n etäisyydellä.

Tupasvilla on kenttäkerroksen laji, joka tehokkaimmin valtaa paljastetun kasvutilan. Se ilmaantuu ensimmäisenä laikkuihin, joiden kohdalla vedenpinnan taso on korkealla. Syntyneet tupaat laajenevat kasvullisesti peittäen laikun nopeasti varsinkin sateisina kasvukausina. Tupasvilla voi varpu- ja puolukkaturvekankailla levitä erittäin voimakkaasti uudistushakkuun jälkeen, etenkin jos vedenpinnan taso nousee riittävän lähelle maan pintaa ja turve on sopivan hapanta (pH alle 4,5) lajille tyypillisten mättäiden muodostumiseksi (Kuusipalo ja Vuorinen 1981; Saarinen 1993). Havainnot tupasvillan tehokkaasta leviämisestä turvekankaiden siemenpuualoilla koskevat myös jyrsinpintoja (Saarinen 1993). Se leviää niille helposti tuulen kuljettamissa haivenellisissä pähkylöissä olevista siemenistä (Ruuhijärvi 1958; Gardner ym. 1986). Myös tuotannosta poistetuilla turvekentillä vedenpinnan noston jälkeen tupasvillan on todettu runsastuvan nopeasti (mm. Salonen 1990, 1992).

Ojanukkasammalille ja karhunsammalille optimaalinen vedenpinnan taso oli tässä tutkimuksessa 20–30 cm:n etäisyydellä laikun pinnasta. Tuittilan ym. (2000b) mukaan vastaava ojanukkasammalen optimi oli paljaililla turvekentillä 25–30 cm ja rämekarhunsammalen noin 35 cm. Matalakasvustoinen ojanukkasammal valtaa turvepintaist laikut nopeasti jo kahden ensimmäisen kasvukauden aikana. Turvekentillä on todettu tupasvillan lehtien antaman suojan voivan vielä tehostaa ojanukkasammalen kolonisaatiota (Tuittila ym. 2000b). Myöhemmin laikkuihin ilmaantuu karhunsammalia, jotka osittain peittävät ojanukkasammalen allensa.

Karhunsammalista varsinkin korpikarhunsammal on voimakas kilpailija (Rydin 1997). Se leviää tehokkaasti itiöiden avulla ja voi uudistua myös kasvullisesti, jos sen maanpäälliset osat ovat vahingoittuneet (Callaghan ym. 1978; Jonsson 1993). Tässä tutkimuksessa (III) kasvullisen uudistumisen tehokkuus ilmeni selvästi karhunsammalmuuttumapintaan tehdyissä laikuissa. Sammalet voivat kilpailla intensiivisesti paitsi keskenään, myös putkilokasvien kanssa.

Kanerva ilmaantui tämän tutkimuksen koekentille (III) jo ensimmäisenä seuranta-vuotena erityisesti raakahumuspintaisiin turvekankaan laikkuihin. Se ilmestyi ensin kosteimpiin laikkuihin, mutta kanervan peittävyuden erot vedenpinnan mediaanitason suhteen tasoittuivat seurantajakson lopussa. Tuolloin kanervan esiintymisen todennäköisyys oli raakahumuspintaissa laikuissa nelinkertainen turvepintaisiin laikkuihin verrattuna. Maaperän siemenpankissa on yleensä suuret määrät kanervan siemeniä, jotka voivat säilyä itämiskykyisinä jopa vuosikymmeniä (Granström 1988; vrt. Jauhiainen 1998). On todennäköistä, että varsinkin raakahumuspintaissa laikuissa on ollut siementen lisäksi myös kasvullisia leviäimiä, kuten juuria ja varren osia – lajilla tiedetään olevan hyvä regeneraatiokyky (Mohamed ja Gimingham 1970; Lindholm 1980; Lindholm ja Vasander 1981).

#### 4.1.6 Kasvillisuuden leviäminen mätäspinoille

Mättäissä – erityisesti korkeissa turvemättäissä – kasvillisuuden kehitys oli laikkupintoja huomattavasti hitaampaa (III). Kenttäkerroksen kasvillisuus oli useimmiten puolukkaa ja mustikkaa. Mättäillä menestyvät ajoittaista kuivuutta kestävät mätäspinalajit. Toisaalta mättään korkeus ei sinänsä ole oleellinen kasvillisuuden kehitykseen vaikuttava tekijä. Enemminkin kyse voi olla mätästyksen liittyvästä kaivutekniikasta. Kummallakin kokeella mättäiden korkeusvaihtelu oli kiinteä koejärjestelyyn liittynyt tekijä, joka saatiin aikaan tekemällä systemaattisesti vuoroin pieniä ja suuria mättäitä. Mitä ilmeisimmin suuri osa matalista mättäistä oli tehty pintaturpeesta ja korkeisiin mättäisiin oli tullut suhteessa suurempi osa syvältä nostettua turvetta, jossa oli pintaosaa vähemmän kasvilajien leviäimiä (Jauhiainen 1998). Ensin mainituissa oli mukana osa varpujen ja kenttäkerroksen muun kasvillisuuden juuristosta, joista mm. puolukka oli päässyt nopeasti leviämään kasvullisesti (Reinikainen ja Salemaa 2000). Mättään korkeudella oli tosin vaikutusta myös turpeen fysikaalisiin ominaisuuksiin: korkeiden turvemättäiden pintaosat kuivuvat nopeammin kuin matalien mättäiden.

Mättäiden maalajikoostumus on myös tärkeä kasvillisuuden kehitykseen vaikuttava tekijä: Uudenkydön kokeella kasvillisuus oli jakautunut selkeästi mättäiden kivennäismaapitoisuuden mukaan. Eniten karhunsammalia oli ohutturpeisen Mtkg-lohkon kivennäismaasekoitteisissa mättäissä ja vähiten Ptkg:n puhtaissa turvemättäissä. Kenttäkerroksen lajeista pallosara ja harmaasara esiintyivät yleisimmin kivennäismaasekoitteisissa mättäissä,

joskin harmaasara lähinnä sen vuoksi, että kyse oli Mtkg:n viljavuustasosta. Tupasvilla, suomuurain ja puolukka olivat tyypillisiä turvemättäiden lajeja.

## 4.2 Itäminen ja sirkkataimien varhaiskehitys

### 4.2.1 Muokkauksen ja pintakasvillisuuden vaikutus siemenpuualan taimettumiseen

Koivun taimitiheydet olivat männyn tiheyksiä suuremmat suurimmalla osalla inventoiduista luontaisen uudistamisen koekentistä (II). Muokkauksen ja taimitiheyden välinen riippuvuus oli koivulla kuitenkin heikompi kuin männyllä. Tämä johtui osittain koivun mäntyä paremmasta kyvystä uudistua muokkaamattomillekin kasvillisuuspinnoille. Erilaisilla taimettumispinnoilla koivun taimitiheyteen vaikuttaa myös vesasyntyisten taimien runsaus, joiden osuus taimimäärästä riippuu enemmän metsikön uudistamista edeltäneen puuston puulajisuhteista kuin pintakasvillisuudesta ja muokkauksesta. Huomattava osuus koivun kokonaistaimimäärästä voi olla puuston hakkuussa ja erityisesti hakkuualan raivauksessa poistetun koivupuuston kantovesoja. Osuus on suuri varsinkin muokkaamattoman turvekankaan paljailla karikepinnoilla ja kangassammalpinnoilla, missä siemensyntyinen taimettuminen on vähäistä. Se että koivun taimien määrä kasvoi kasvillisuusordinaatiossa paljaiden karikepintojen suuntaan, johtui todennäköisesti juuri vesasyntyisistä taimista. Paikoissa, joissa puolukkaturvekankaille tavanomaista riukumaista alikasvoskoivua on esiintynyt runsaasti, on pohjakerroskin ollut enimmäkseen sammalpeitteetöntä koivunlehtikariketta. Näille karikepinnoille oli alikasvoksen raivauksen jälkeen syntynyt runsaasti vesoja eli karike oli syntynyt sinne, missä oli ennen hakkuutakin ollut runsaasti koivua eikä päinvastoin.

Valtaosalla kokeista jyrinnän vaikutus siemensyntyisten koivuntaimien määrään ilmeni jyrinnän ja kasvillisuuden yhdysvaikutuksena eli muokkausvaikutus riippui siitä osakasvustosta, johon se kohdistui. Rahkasammalkasvustoihin tehdyt jyrintäjäljet olivat paremmin taimettuneita kuin jyrintäjäljet kuivilla kangassammalpinnoilla. Toisaalta yhdysvaikutus saattoi ilmetä myös käänteisesti; kasvillisuuden vaikutus riippui siitä oliko maanpinta muokattu vai ei. Näissä tapauksissa eri osakasvustoihin tehdyt jyrintäjäljet olivat taimettuneet toisiinsa verrattuina yhtä hyvin, mutta muokkaamattomina rahkasammalpinnot olivat paljon paremmin taimettuneita kuin turvekankaan kasvillisuutta edustavat muokkaamattomat kangassammal- ja karikepinnot.

Muokkaamattomien pintojen kasvillisuusvaihtelun ja taimettumisen välinen vuorovaikutus ilmeni selkeimmin männyllä. Rahkasammalkasvustot olivat usein edistäneet taimettumista ja puolella koekentistä taimitiheys oli suurimmillaan nimenomaan rahkasammalvaltaisilla pinnoilla. Rahkasammalet pystyvät varastoimaan runsaasti vettä ja rahkasammalpinnot pysyvät yleensä kosteina kuivienkin sääjaksojen ajan (Losee 1961; Jeglum 1979; Groot ja Adams 1994). Yleensä rahkasammalpinnot tarjoavatkin varsin otollisen itämisalustan puiden siemenille (Place 1955; Heinselmann 1957; Sarasto ja Seppälä 1964; Johnston 1977; Wood ja Jeglum 1984; Groot ja Adams 1994).

Vakiintuneiden taimien määrissä oli runsaasti vaihtelua, eikä rahkasammalpintojen esiintyminen aina taannut riittävää taimettumista. Vaikka rahkasammalpinnoille yleensä syntyy enemmän sirkkataimia kuin kangasmalle tyypillisille sammalpinnoille, on niillä toisaalta todettu olevan vähemmän vakiintuneita taimia (Immonen-Joensuu 1987). Tämä saattaa johtua liiallisesta kosteudesta osalla rahkasammalkasvustoja. Joissain tapauksissa voi kyseessä olla myös rahkasammalien versojen suuri kasvunopeus, jolloin pienet

sirkkataimet tukehtuvat sammalkasvustoon (Saarinen 1933; Roe 1949; Arnott 1968; Johnston 1977; Jeglum ja Kennington 1993). Myös rahkasammalkasvustojen erilainen syntyhistoria on saattanut osaltaan vaikuttaa asiaan. Ojaverkoston kunnan vähitellen rappeutuessa saattaa kasvillisuussukkersio osalla ojitusalueita pysähtyä ja jopa kääntyä takaisin kohti luonnontilaisten soiden kasvillisuutta. Näin käynnistynyt turvekankaan sekundäärinen soistuminen synnyttää rahkasammalpintoja, jotka karikkekerrostumien päällä eivät kapillaarisen vedenpintakontaktin ja kosteusolojen suhteen ole rinnastettavissa turvekangasastetta edeltäneisiin ”alkuperäisiin” rahkasammalkasvustoihin. Tässä tutkimuksessa syntyhistorialtaan erilaisia rahkasammalkasvustoja ei kuitenkaan eritelty toisistaan. Uudistusalat olivat jo varsin iäkkäitä, mikä tuotti muutoinkin ongelmia inventointiajankohdalla vallinneen kasvillisuuden ja taimettumisen välisen riippuvuuden tulkinnassa. Siemenpuuhakkuun ja inventoinnin välinen aika oli kokeesta riippuen 4–16 vuotta. Siten taimien syntyajankohdan ja inventoinnin välillä on saattanut tapahtua suuriakin pintakasvillisuuden muutoksia.

Muokkaus useimmiten lisäsi männyn taimettumista vallitsevasta pintakasvillisuudesta riippumatta. Muokkausvaikutus siis ilmeni samansuuntaisena kaikissa osakasvustotyypeissä. Osittain muokkausvaikutukseen kuitenkin liittyi myös pintakasvillisuuden yhdysvaikutus. Mikäli kosteat rahkasammalpinnot olivat muokkaamattominakin hyvin taimettuneet, saattoi jrsinnän taimettumista edistävä vaikutus ilmetä vain kuivilla turvekangaspinoilla. Toisaalta männyn taimia saattoi olla eniten rahkasammalkasvustoihin tehdyissä jrsintäjäljissä. Tähän on saattanut vaikuttaa muokkausta seurannut kuiva alkukesä, jolloin kosteimmat jrsintäjäljet ovat osoittautuneet muita paremmiksi taimettumisalustoiksi. Yhdysvaikutus voi aiheutua myös siemenpuuhakkuun ja muokkauksen jälkeen tapahtuneista, taimettumiselle epäedullisista kasvillisuusmuutoksista. Kenttäkerroksen kasvilajeista taimettumista heikentävät niukkaravinteisilla ojitusalueilla erityisesti tupasvilla sekä harmaa- ja pallosara (Sarasto 1963). Näistä tupasvilla voi varpu- ja puolukkaturvekankailla levitä erittäin voimakkaasti uudistushakkuun jälkeen (Kuusipalo ja Vuorinen 1981; Saarinen 1993). Jrsintäjälkien peittyessä nopeasti tupasvillakasvustoihin jää taimettumiselle otollinen aika varsin lyhyeksi. Tämä tuli ilmi yhdellä uudistamisalalla, jossa parhaiten olivat taimettuneet vain harvan kytökarhunsammalkasvuston peittämät jrsintäjäljet.

#### *4.2.2 Raakahumuksen vaikutus taimettumiseen*

Eräs vanhojen ojitusalueiden taimettumiseen olennaisesti vaikuttavista tekijöistä on turvekankaille ominainen raakahumuskerrostuma (Kaunisto 1984). Osajulkaisun II kokeentällä 9 aiemmin tehty pienimuotoinen kylvökoe havainnollisti selvästi sekä raakahumuksen (3–5 cm) että raakahumuksen ja seinäsammalkasvuston yhteisvaikutuksen puolukkaturvekankaalla (Saarinen 1993). Paljastettu turvepinta taimettui selvästi kasvi- peitteetöntä raakahumuspintaa paremmin. Raakahumuksen pinnalla olevan koskemattoman seinäsammalkasvuston (turvekangaspinta) taimettuneisuus jäi vain murto-osaan edellisistä. Sirkkataimien suuren kuolleisuuden vuoksi erot osittain tasoittuivat jo ensimmäisen talven jälkeen. Kontrolloiduissa kasvihuoneolosuhteissa samaa asiaa selvitettiin sadannan ja vedenpinnan tason vaihdellessa (kasvihuonekokeet 1 ja 3). Muokkaamattomille seinäsammalen ja raakahumuksen peittämille turvekangaspinoille oli kasvihuoneessa vaikea saada taimia syntymään muutoin kuin korkean vedenpinnan tason ja sadetuksen yhteisvaikutuksella. Myös sammalen alta paljastetulla raakahumuspinnalla taimettuminen oli hyvin vähäistä, mikäli vedenpinnan taso oli syvemmällä kuin 20 cm. Kyseisellä vedenpinnan tasolla taimettuminen oli heikkoa pienilläkin raakahumuskerrostuman paksuuksilla,

mikäli kosteus oli pelkästään vedenpinnasta nousevan kapillaarikosteuden varassa. Kuivina sääjaksoina vedenpinnan tason pitäisi kasvihuonekokeen mukaan olla 10 cm:n etäisyydellä kylvöpinnasta, jotta turvekankailla tavanomaisesti esiintyvillä 4–6 cm:n vahvaisilla raakahumuskerroksilla saavutettaisiin vähintään 25 % itävyys.

Mikäli laikun tai jyrsinvaon pintaan jää lehti- ja neulas-, tai seinä- ja kynsi-sammalkarikkeesta muodostunutta raakahumusta, kapillaarikosteuden nousunopeus hidastuu oleellisesti. Tällöin taimien syntyminen on turvepintoihin verrattuna vähäistä ainakin kuivien kasvukausien aikana. Myös kangashumuskerroksella on havaittu olevan kapillaarikosteuden muodostumista ehkäisevä vaikutus (Vaartaja 1950; Winsa 1995a). Nopeasti kuivuvassa kangashumuksessa siementen itämistulos voi ilman kivennäismaan kapillaarista kosteutta jäädä hyvin heikoksi vaikka viikoittain saataisiinkin sadetta. Osasyyy heikkoon itämistulokseen voi myös olla se että siemenen ja kasvualustan välinen kontakti on heikko karkearakenteisessa karikemateriaalissa (Dasberg ja Mendel 1971; Hadas 1982; Gibson ja Bachelard 1986). Turvemaille tehdyissä laikuissa raakahumus voi korkeimpien vedenpinnan tasojen vallitessa toisaalta myös vähentää taimettumispinnan liiallista kosteutta ja sen taimien kasvua hidastavaa vaikutusta ainakin ensimmäisten kasvukausien aikana.

Jyrsinjäljissä parhaiten taimettuivat vakopinnat, joissa turve oli paljastunut kokonaan sekä kasvillisuuden että mahdollisen raakahumuksen alta. Jyrsinpalle, joka oli syntynyt raakahumuksen ja turpeen seoksena, on todennäköisesti ollut liian kuohkea ja helposti kuivuva itämialusta. Sama voitiin havaita myös kasvihuonekokeessa (kasvihuonekoe 1). Raakahumusta ja turvetta sekoittamalla kuohkeutettu pinta jäi taimimäärältään samalle tasolle kuin pelkän kasvillisuuden poiston jälkeen paljastunut raakahumuspinna. Kuivan sateettoman sääjakson aikana paljaalle turvepinnalle syntyi edellisiin verrattuna lähes kolminkertainen taimimäärä. Ero kuitenkin tasoittui sadetuksen aikana. Pitkälle maatu-neeseen pintaturpeeseen vesi nousee kapillaarisesti hyvin, mutta huonosti pintavettä läpäisevänä se muodostuu sateilla ja vedenpinnan tason ollessa lähellä maanpintaa liian kosteaksi kasvualustaksi.

#### *4.2.3 Muokkauksen ajoitus ja voimakkuus sekä muokattavan turpeen ominaisuudet*

Luontaisen uudistamisen koekenttien kasvatuskelpoisten taimien määrää ja niiden tilajakaumaa tarkasteltaessa voitiin todeta, että koekentät jakautuivat jyrkästi kahteen ääripäähän: toisaalta hyvin heikosti taimettuneisiin ja aukkoisiin, ja toisaalta täystiheisiin ja tilajakaumaltaan tasaisiin taimikoihin. Ensin mainitussa ryhmässä kahdella koekentällä jyrshintä ei edistänyt lainkaan männyn taimettumista missään pintakasvillisuuden osakasvustossa. Kyseisille jyrshintäkokeille oli yhteistä useat huonot siemenvuodet välittömästi muokkauksen jälkeen. Samoihin ajankohtiin osuivat myös vuosien 1985 ja 1988 pahat versosurmaepidemat, joiden voi olettaa vaikuttaneen siemensatoa heikentävästi. Lisäksi muokkauksen laatu on näillä kokeilla ollut heikoimmillaan. Muokkauksen yllättävän vähäinen vaikutus taimettumiseen myös toisella mätästyskokeella selittynee mättäiden turvelajilla ja turpeen maatuneisuudella. Kirjoittajan julkaisemattomien maastohavaintojen perusteella heikosti maatuneet saraturpeet ovat yleensä olleet kaikkein ongelmallisimpia taimettumisalustoja. Tämän tutkimuksen aineistoissa vastaava turvelajiin liittyvä havainto tuli esiin kasvihuonekokeessa II ja osajulkaisussa IV. Ensin mainitussa mättäiden taimettumistulos oli huono sekä heikosti että hyvin maatuneilla saraturpeilla vaikkakin maatunut rahkaturve oli kuivuttuaan ja kovettuaan vieläkin ongelmallisempi itämialusta. Osajulkaisussa IV esitellyllä koekentällä maatuneesta saraturpeesta käännetty mättäät olivat heikoimmin taimettuneita.

#### 4.2.4 Vedenpinnan tason vaihtelu ja itämistulos laikkupinnoilla

Kasvukauden eri ajankohtina mitattujen vedenpinnan tasojen ja niiden yhdysvaikutusten tarkastelu (IV, kasvihuonekokeet I ja III) osoitti, vedenpinnan taso voidaan alkukesän aikana pitää varsin korkealla ja samalla edistää taimien syntyä, mikäli vedenpinnan taso loppukesällä laskee riittävän alas eli käytännössä vähintään noin 25 cm:n etäisyydelle maanpinnasta. Eri ajankohtien vedenpinnan tasojen vaikutukset taimettumiseen riippuvat sekä toisistaan, että kasvukauden sääoloista. Vedenpinnan taso voi ajallisesti vaihdella varsin paljon riippuen siitä, miten sateet kasvukauden aikana ajoittuvat (Straková ym. 2012). Kylvöhetken ja loppukesän vedenpinnan tasojen yhdysvaikutus itämiseen ja sirkkataimien kehitykseen ilmenee kahdella eri tavalla riippuen nimenomaan sateiden ja sen myötä turvemaan vedenpinnan tasovaihtelun ajallisesta jakautumisesta. Kylvöhetkellä korkealla oleva vedenpinnan taso edistää itämistä, mikäli lämpöolot ovat suotuisat. Laikkuun jo alkukesän aikana juurtuneet sirkkataimet vaativat kuitenkin selviytyäkseen loppukesällä riittävän syvällä olevaa vedenpinnan tasoa. Toisaalta, jos lämpimän ja kuivan alkukesän aikana vedenpinnan taso on syvällä, jää voimakkaan haihdunnan vaikutuksesta osa siemenistä itämättä ja sirkkataimien syntymisen ajankohta siirtyy osittain heinäkuun puolelle. Tällöin korkealla olevan loppukesän vedenpinnan taso edistää sirkkataimien syntymistä. Loppukesällä korkealla olevan vedenpinnan tason taimien syntymistä edistävä vaikutus riippuu siten alkukesän vedenpinnan tason vaihtelusta eli siitä, ovatko siemenet itäneet jo heti alkukesästä vai onko osa siemenistä itämättöminä yhä jäljellä itääkseen vasta loppukesän aikana.

Kasvihuonekokeissa, joissa lämpötilan ja sadannan vaikutukset olivat kontrolloituja, voitiin osoittaa, kuinka vedenpinnan tason etäisyyden mukaan vaihteleva kapillaarinen kosteus yksinään ilman kastelua vaikuttaa voimakkaasti taimettumiseen (kasvihuonekoe I, kuva 4). Kesäaikaan toteutetussa kokeessa kasvihuoneen lämpötila oli ajoittain yli 30 °C, joten myös haihdunta oli poikkeuksellisen voimakasta. Näissä oloissa sirkkataimia syntyi vain paljaille turvepinnoille, mikäli vedenpinta oli ojitusalueille tavanomaisella 30 cm:n syvyydellä. Turpeen pintaosan jyrskintä tai turpeen pinnalle jäänyt kuohkea raakahumus hidastivat kapillaarista vedennousua siinä määrin, että itämisalusta kuivui voimakkaan haihdunnan vuoksi taimien syntymistä ajatellen liikaa. Raakahumuskerroksen kapillaarista vedennousua hidastava vaikutus tosin riippuu kerrostuman paksuudesta (kasvihuonekoe III, kuva 7). Vajaan kymmenen sentin vahvuinen kerrostuma voi pienentää taimimäärän viidennekseen siitä, mitä taimimäärä vastaavissa oloissa olisi kokonaan ilman raakahumusta.

Vedenpinnan nostaminen 15 cm:n etäisyydelle korvasi kapillaarivetenä haihdunnan kautta itämisalustasta katoavaa vettä siten, että taimimäärät kasvoivat koskemattomia sammalpintoja lukuunottamatta moninkertaisiksi kaikilla itämisalustoilla. Edellä kuvatut erot eri itämisalustojen välillä ovat vertailukelpoisia vastaaviin eroihin kenttäoloissa silloin, kun on kyse pitkistä sateettomista poutajaksoista. Tilanne muuttui kun itämisalusta sai kesäkauden keskimääräistä sadantaa vastaavan pintakastelun. Kaikilla muilla itämisalustoilla kuin kasvipeitteettömillä turvepinnoilla taimimäärät lisääntyivät voimakkaasti varsinkin korkeimmalla vedenpinnan tasolla. Koskemattoman sammalkasvuston peittämällä raakahumuspinoilla vasta 15 cm:n etäisyydellä kylvöpinnasta oleva vedenpinnan taso yhdessä sadetuksen kanssa sai aikaan itämisen mahdollistavat kosteusolot. Paljaille turvepinnoilla kosteus puolestaan nousi tuolloin jo liian suureksi, jolloin taimimäärät olivat pienempiä kuin ilman sadetusta. Tämä vastaa varsin hyvin kenttäkokeista (IV) saatuja tuloksia, joiden mukaan vedenpinnan tason nousu loppukesän aikana 10–15 cm:n etäisyydelle maanpinnasta heikensi voimakkaasti taimettumistulosta. Kasvihuonekokeessa (koe I) ei kasvukauden



aikaista vedenpinnan tason vaihtelua kuitenkin esiintynyt. Sen vuoksi on vaikea sanoa, johtuiko taimettumistuloksen heikentyminen liian suuresta kosteudesta siementen itämisen kannalta vai siitä, että korkealla oleva vedenpinta lisäsi sirkkataimien kuolleisuutta niiden myöhemmissä kehitysvaiheissa.

#### *4.2.5 Vedenpinnan tason vaikutus taimen pituuskehitykseen laikuissa*

Eri ajankohtina vaikuttaneiden vedenpintojen syvyyksien yhdysvaikutukset johtuvat siemenen itämisen ja toisaalta sirkkataimen alkukehityksen erilaisista kasvualustan kosteusvaatimuksista (Mannerkoski 1985). Loppukesän vedenpinnan tason vaihtelun vaikutus ilmeneekin hieman eri tavoin, jos taimettumistapahtumaa tarkastellaan siementen itämisen ja sirkkataimien syntymisen sijasta taimien kasvuun lähtemisen näkökulmasta (**IV**). Vedenpinnan tasolla näyttää olevan oma optiminsa toisaalta siemenen itämisen (sirkkataimien määrä) ja toisaalta jo syntyneen taimen kasvun kannalta. Itämiselle edullisin vedenpinnan taso voi varsinkin voimakkaissa haihduntaoloissa olla itämiselle huomattavasti korkeampi kuin mitä se on sirkkasilmusta puhkeavan primääriverson kasvun kannalta. Vedenpinnan tason merkitys korostuu edelleen taimien varttuessa. Siinäkin tilanteessa, jossa kuivan alkukesän jälkeen loppukesän vedenpinnan kohoaminen lisää taimien syntymistä, se muodostuu taimien pituuskasvua hidastavaksi tekijäksi jo kolmannen kasvukauden kuluessa.

#### *4.2.6 Turpeen tiheyden, turvelajin ja kivennäismaasekoituksen vaikutus mättäiden kosteuteen*

Mättään pintakerroksen kosteusvaihteluun vaikutti turpeen ja kivennäismaan sekoitus-suhteet. Kivennäismaasekoituksen lisääntyessä orgaanisen aineksen osuus (painoprosentti) pieneni, maanäytteen tiheys kasvoi ja vesipitoisuus laski kivennäismaan ollessa pääosin huonosti vettä pidättävää hiekkaa (**IV** kuva 11). Kivennäismaasekoituksen pienentyessä ja turpeen osuuden lisääntyessä maanäytteen vesipitoisuus kasvoi sitä voimakkaammin, mitä heikommin maaton turve oli. Näytteiden välinen vesipitoisuuden vaihtelu oli suurimmillaan, kun mättäät olivat kokonaan turvetta. Mitä maatumemmasta ja suuremman tiheyden omaavasta turpeesta mätäs oli tehty, sitä pienempi oli sen pintakerroksen vesipitoisuus. Tämä järjestys säilyi myös kuivinta sääjaksoa seuraavien sateiden aikaansaaman kosteuslisäyksen jälkeen.

Hyvin maatuneet ja tiheet turpeet ovat pienen huokostilavuuden vuoksi kuivempia kuin vähemmän maatuneet turpeet silloin, kun tarkastellaan mättäiden kenttäkapasiteettia vastaavaa tilavuusperustaista vesipitoisuutta (Veihmeyer ja Hendrickson 1949; Päivänen 1973). Kuivumisen myötä vesipitoisuus kuitenkin pienenee tiheimmässä turpeessa hitaammin, ja tietyn rajan jälkeen huokostilavuudeltaan suurempi ja heikommin maaton turve on kuivempaa. Tämän vuoksi tuntuu oudolta, että tutkimusaineiston pelkästä turpeesta tehtyjen mättäiden (joissa ei ollut kivennäismaasekoitusta) tiheimmät pintaturpeet olivat tilavuuteen suhteutetun ja kasvukauden kuivimpana hetkenä mitatun vesipitoisuuden perusteella kuivempia (**IV** kuva 11). Tämän aineiston kuivakosteudet olivat pääsääntöisesti niin alhaisia (alle 20 % tilavuudesta), että vesipitoisuuksien olisi olettanut olevan korkeimmillaan tiheimmillä ja maatumemmilla turpeilla (Päivänen 1973).

Koekentällä eri vaiheissa tehdyt havainnot osoittivat lisäksi, että saraturvevaltaisten mättäiden pintaosat muuttuivat kuivuessaan vettä hylkiväksi jauhemaiseksi pölyksi. Näin oli varsinkin silloin, kun kuivaa kautta edeltäneet sateet olivat irrottaneet ja liettäneet mättäiden pinnan turvehiukkasia. Pitkälle maaton saraturve oli siis jo aiempien vähäsateisten

jaksojen aikana saattanut kuivuessaan muuttua muita turvelajeja voimakkaammin vettä hylkiväksi (Berglund 1996). Tämä kasvualusta on siten ollut muita turvelajeja kuivempaa jo ennen kasvukauden kuivinta sääjaksoa, jonka loppuvaiheessa kosteusmittaukset tehtiin. Selitys jää epävarmaksi, mutta turvemättäiden pinnasta otetut ja vain kolmen sentin syvyyteen yltäneet turvenäytteet kuitenkin osoittivat, että saraturvetekijän osuuden lisääntyminen vähensi mitattua kosteuspitoisuutta ja sitä voimakkaammin mitä suurempi niiden tiheys oli.

#### *4.2.7 Mättäiden kosteusvaihtelun vaikutus taimettumiseen*

Kasvihuoneoloissa mättäiden kuivuminen ja kuivumista seurannut vedenhylkivyyys tulivat taimettumistulosten kautta selvästi esille (kasvihuonekoe, kuva 5). Kosteuspitoisuuksia ei mitattu mutta ensimmäistä sadetusjaksoa seuranneen pitkän kuivusjakson aikana ”mättäiksi” kasvillisuuden pintaan nostetut turvepaakut kuivuivat, kutistuivat ja kovettuivat silminnähden voimakkaasti ja ne jäivät pääosin taimettumatta. Maatuneen rahkavaltaisen turpeen kovettuneet turvepaakut osoittautuivat hydrofobisiksi ja jäivät lähes ilman taimia myös uuden sadetusjakson jälkeen. Niihin sadetettu kosteus valui sivuun imeytymättä turpeeseen. Sama ilmiö oli havaittavissa saravaltaisesta turpeesta tehdyissä mätäspaakuissa. Ainoastaan ”multamaisen” mururakenteiset, puuainesta sisältäneet turpeet imivät itseensä uutta kosteutta ja taimettuivat lähes yhtä hyvin kuin ennen kuivumistaan. Kivennäismaan sekoittaminen edisti selvästi taimettumista varsinkin voimakkaan hydrofobisilla turpeilla.

Kenttäkokeissa kivennäismaasekoituksen vaikutus oli taimettumistulosta heikentävä (**VI** kuva 12A), mikä ilmeisesti johtui nopeasti kuivuvasta ja huonosti vettä sitovasta karkeasta hiekasta ja toisaalta siitä, että kivennäismaa ja turve eivät olleet samalla tavoin tehokkaasti sekoittuneet keskenään kuin kasvihuonekokeessa. Hiekan heikko kapillaarisuus ja vedensitomiskyky, sekä sen johdosta hiekalle tehtyjen kylvöjen huono taimettumistulos on todettu myös kivennäismaiden kylvökokeissa. Orgaanisen materiaalin sekoittuminen hiekkaan edisti taimettumista kuivissa sääoloissa (Oleskog 1999).

Kenttäkokeissa (**IV**) kuivimman kasvukauden kesäkuun sademäärät olivat reilusti alle pitkän aikavälin keskiarvon ja toisaalta kesäkuun lämpösumma oli keskiarvoa huomattavasti korkeampi. Itämistä rajoitti kylvöalustan riittämätön kosteus, ja siten seuraavana, lähes yhtä kuivana, vuotena mitatut mättäiden suhteelliset kosteuserot kuvasivat hyvin pelkästä turpeesta käännettyjen mättäiden vaihtelevaa vedensitomiskykyä. Koska ao. vuoden vähäiset sateet ajoittuivat loppukesään, turvemättäiden kuivumisherkkyyden lisäksi korostui myös niiden kyky kostua uudelleen heinä- ja elokuussa saaduista sateista. Tämän vuoksi myös kuivumisen ja kosteuslisäyksen yhdysvaikutus taimettumistulokseen tuli voimakkaasti esiin (**IV**, kuvat 9 ja 10, kylvövuosi 1999). Tämä yhdysvaikutus näkyi käytännössä siinä, että mitä kuivemmaksi turvemättään pintakerros kevään ja alkukesän aikana kuivui, sitä vähemmän myöhemmällä kosteuslisällä oli taimettumista edistävää vaikutusta.

Vastaavasti kosteuslisäyksen vaikutus taimien määrään voimistui sitä enemmän mitä vähemmän turvemätäs oli kuivunut. Ilmeisesti moni siemen lähti itämään kylvöhetkellä vielä vallinneen suotuisan kosteustilan vaikutuksesta, mutta sirkkajuuren ja sirkkavarren kehittämisajankohtana osa sirkkataimista kuoli kaikkein voimakkaimmin kuivuneilla mättäillä. Loppukesällä lisääntynyt kosteus ei enää jälki-itämisestäkään huolimatta pystynyt olennaisesti parantamaan myöhemmin syksyllä mitattua taimettumisen kokonaistulosta. Niissä turvemättäissä, joissa kuivakosteus oli suurin, myös alkukesällä syntyneet sirkkataimet selvisivät paremmin ja kokonaistulos jälki-itäminen mukaan lukien muodostui parhaimmaksi. Kuivan alkukesän jälkeen sirkkataimia syntyi lisääntyneen kosteuden

vaikutuksesta vielä elokuunkin aikana. Siten kosteuslisäyksen vaikutus syksyllä mitattuun taimien orastumistulokseen oli merkitsevä, mikäli liiallinen kuivuus ei tuhonnut heti kylvön jälkeen syntyneitä sirkkataimia.

Tässä yhteydessä on syytä myös mainita, että kylvöajankohtana touko–kesäkuun vaihteessa syksyllä tehdyt turvemättäät olivat jo osittain kuivuneet vähäsaateisen ja lämpimän toukokuun vuoksi. Täten mättäissä oli pintakosteuden vaihtelua jo kylvöhetkellä. Vaikka mättään lakiosa tasoitettiin ja samalla paljastettiin kosteaa turvepintaa ennen kylvöä, saattoi osa mättäistä olla jo kylvöhetkellä lähellä itävyyttä rajoittavaa liian alhaista kosteustilaa. Vaikka osa turvemättäistä taimettui heti kesäkuun aikana, saattoi osa taimettua vasta heinä- ja elokuun sateiden vaikutuksesta. Kosteusmittausvuosien aikana kesän alhaisin kosteustila (”kuivakosteus”) alitti molemmissa kokeissa 20 tilavuusprosentin vesipitoisuuden, joka maatuneissa turpeissa merkitsee jo lakastumisrajaa lähestyvää vesipotentiaalia (Päivänen 1973). Koska kylvö tehtiin luontaista siementämistä ja konekylvöä jäljitellen turvemättään pintaan sirottamalla, oli itäminen valtaosin ohuen pintaturpeen kosteuden varassa.

#### 4.2.8 Taimien pituuskehitys mättäissä

Taimien pituuskehitys noudatti taimien syntyyn nähden käännteistä riippuvuutta suhteessa kasvualustan kosteuspitoisuuksiin. Siinä missä taimien määrä lisääntyi kuivakosteuden ja kosteuslisäyksen nousun myötä, pituuskehitys vastaavasti taantui. Käännteinen riippuvuus puhtaasta turpeesta käännettyillä mättäillä johtui sekä turpeen tiheydestä että turvelajista. Mitä suurempi turvemättään pintakerroksen tiheys, sitä pienempi huokostilavuus ja sen myötä vähemmän vettä pintaturpeen tilavuusyksikössä, joskin voimakkaammin turpeeseen sitoutuneena eli itämistä ja sirkkataimien syntymistä ajatellen vaikeammin käytettävissä (Päivänen 1973). Toisaalta tiheämpi turve on pidemmälle maatunutta. Tämä merkitsee sitä, että taimille käyttökelpoisessa muodossa olevien ravinteiden määrä pintaturpeen tilavuusyksikössä on kasvua ja pituuskehitystä ajatellen suurempi (Hartman ym. 2001). Turvemättään pintakerroksen maatuneisuuden ja typpipitoisuuden välinen positiivinen korrelaatio riippuu myös turvelajista siten että saraturpeen osuuden lisääntyessä typpipitoisuus lisääntyy samassa turpeen maatuneisuuden luokassa (Vahtera 1955; Kaunisto 1987). Siementen itämisen ja sirkkataimien kehittymisen kannalta epäedullisimmat maatuneen saraturpeen mättäät olivat näin ollen niille myöhemmin juurtuneiden taimien kasvun kannalta parhaita kasvualustoja.

#### 4.2.9 Laikkujen ja mättäiden taimettumisen vertailua

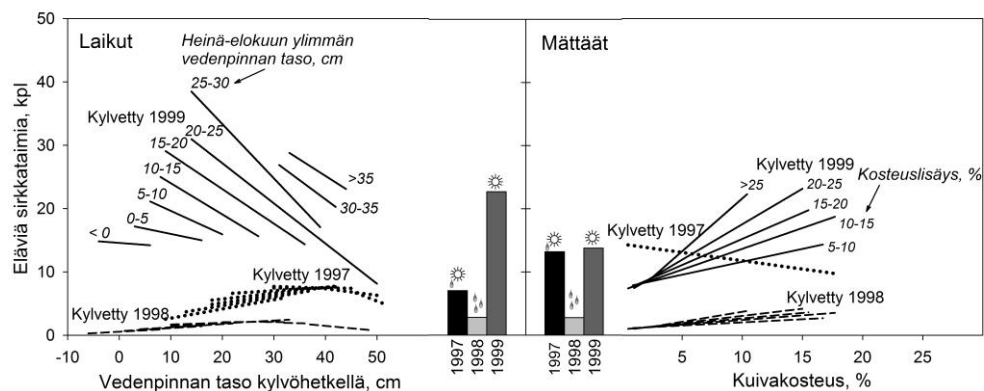
Tulokset osoittivat selvästi sen kuinka sääolojen vaihtelu vaikuttaa kylvöön perustuvan uudistamisen yhteydessä kahden eri muokkausvaihtoehdon paremmuusjärjestykseen (IV). Vastaava riippuvuus sääoloista on voitu havaita myös kangasmailla (esim. Winsa 1995b) Tätä järjestystä on vaikea ennustaa ilman, että ennusteen sitoo lämpötilaan ja sademäärään sekä näiden kasvukautiseen vaihteluun. Riittävän kosteuden lisäksi itämisen perusedellytyksenä on hapen saanti ja sopiva lämpötila (Nygren 2011). Männyn siemenen optimaalinen itämlämpötila on 20–22 °C ja itämisen on todettu alkavan vasta runsaan 10 asteen lämpötilassa (Bergsten 1989). Vielä 15–16 asteen lämpötilassakin itämistulos on vain puolet maksimaalisesta itävyydestä. Alkukesän alhaiset lämpötilat olivatkin todennäköisesti tärkeimpänä syynä siihen, että kahtena kasvukauden keskimääräistä sadantaa edustavana vuotena mättäät taimettuivat paremmin kuin laikut vain jos alkukesä oli riittävän lämmin (kuvat 9 ja 10, vertaa kylvövuosia 1997 ja 2001, joista edellinen lämmin ja jälkimäinen

viileä). Mättäiden laikkuja kuivemmista kosteusoloista ei siis ole suurta etua, jos mättään pinta ei alkukesän aikana lämpene riittävästi. Keskimääräistä alemmissa lämpötiloissa ei tuosta mättäiden suhteellisesta edusta ollut hyötyä edes normaalia sateisempänä kasvukautena (kuva 9, kylvövuosi 1998). Heikkoon taimettumiseen vaikuttivat todennäköisesti myös runsassateisen kesän voimakkaat sadekuurot, joiden havaittiin paikoittain huuhdelleen siemeniä mättäiden laelta mittauspisteiden ulkopuolelle.

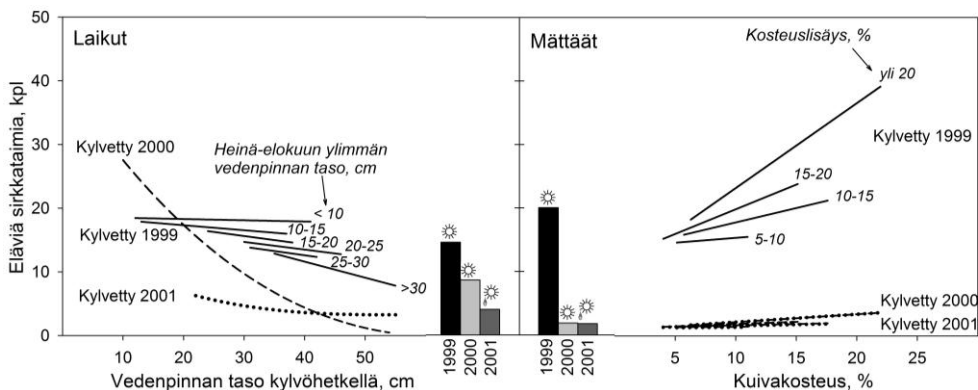
Ylivoimaisesti eniten taimia syntyi pitkäaikaiskeskiarvoa huomattavasti lämpimämmän kasvukauden aikana (kuvat 9 ja 10, kylvövuosi 1999). Kyseinen kasvukausi oli myös tavallista vähäsateisempi. Siten turpeen laikkujen olisi voinut olettaa olevan kuivumiselle herkkiä mättäitä selvästi paremmin taimettuneita vedenpinnasta nousevan kapillaarikosteuden vuoksi. Näin olikin, mutta vain siinä tapauksessa että korkeimmat vedenpinnan tasot laikutetulla uudistamisalalla painoutuivat alkukesään ja laskivat reilusti yli 10 cm:n etäisyydelle laikun pinnasta loppukesän aikana (kuva 9). Mikäli vedenpinnan tasot olivat keväällä tätä syvemmällä ja kohosivat vasta loppukesällä, jäivät laikkujen taimimäärät pieniksi (kuva 10). Näissä olosuhteissa mättäät olivat taimettuneet paremmin edellyttäen, että niiden pintaturve pystyi kuivimmissakin oloissa säilyttämään sellaisen kosteuden, ettei se muuttunut hydrofobiseksi (vrt. Berglund 1996).

Kasvihuoneessa järjestetty koe antoi vahvistuksen sille kentäkokeillakin saadulle tulokselle, jonka mukaan itämiselle optimaalisessa lämpötilassa keskimääräistä kesäsadantaa vastaavat kosteusolot tuottavat mättäillä paremman taimettumistuloksen kuin laikuissa (kasvihuonekoe II, kuva 5). Vastaavasti pitkien kuivuusjaksojen aikana laikkuihin syntyy kapillaarikosteuden ansiosta enemmän taimia kuin mättäille mikäli lämpötila on itämiselle suotuisa. Lisäksi kasvihuoneessa pystyttiin kentäoloja selkeämmin osoittamaan mättäiden kuivumisen ja sitä seuranneen hydrofobisuuden haitallinen vaikutus itävyyteen verrattuna laikkuihin, joissa kapillaarisuus ylläpiti siinä määrin korkeaa kosteuspitoisuutta, ettei hydrofobisuuteen johtavaa kuivuustilaa päässyt syntymään.

Myös taimien vuotuisen pituuskasvun osalta mätästyksen ja laikutuksen paremmuusjärjestys määräytyi näiden kasvualustojen kosteusvaihteluiden mukaisesti (IV). Mättäissä taimien pituuskasvu oli paras suuren tiheyden omaavilla ja saravaltaisilla turpeilla, joissa pintaturpeen kosteus kesän kuivimpana jaksana ja kosteuslisäys oli pienin (vedenhylykivyy

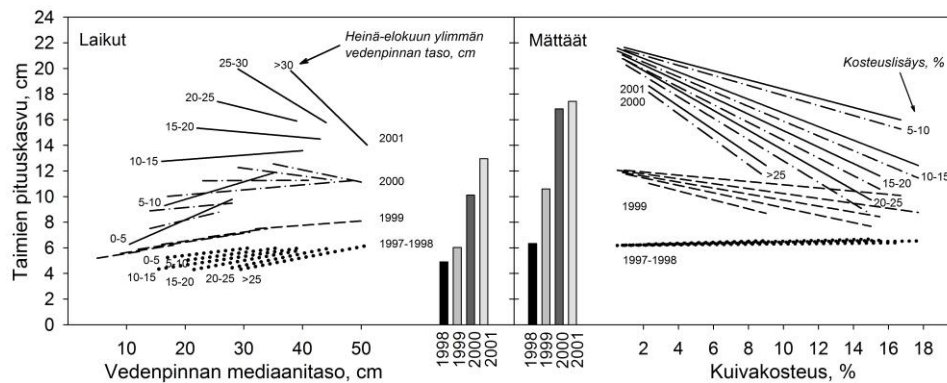


**Kuva 9.** Laikkujen ja pelkästä turpeesta tehtyjen mättäiden taimettuminen kolmen peräkkäisen kasvukauden vaihtelevissa sääoloissa (koe 1, IV).



**Kuva 10.** Laikkujen ja pelkästä turpeesta tehtyjen mättäiden taimettuminen kolmen peräkkäisen kasvukauden vaihtelevissa sääoloissa (koe 2, IV).

eli hydrofobisuus suurin, kuva 11). Tämä voitiin havaita neljännestä kasvukaudesta alkaen mutta ero laikkuihin syntyi selvästi jo kolmannen kasvukauden aikana, sitä edeltävän kesän sateisuuden vuoksi. Laikuissa taimet kasvoivat parhaiten tietyn keskivedenpinnan tason mukaan määritellyn optimin vallitessa, mikä tässä aineistossa viiden vuoden ikäisillä taimilla oli 30–40 cm. Tämä edellytti sitä, ettei vedenpinnan taso loppukesällä noussut enempää kuin 10 cm kyseistä keskivedenpinnan tasoa yleemmäksi. Keskivedenpinnan ja loppukesän ylimmän vedenpinnan tasojen yhdysvaikutus näkyi vasta neljännestä kasvukaudesta alkaen.



**Kuva 11.** Laikkujen ja mättäiden taimien vuotuinen pituuskasvu toisesta viidenteen kasvukauteen kylvön jälkeen laikuissa ja mättäissä (koe 1, IV). Laikkujen vedenpinnan mediaanitaso ja loppukesän ylimmän vedenpinnan taso on otettu edellisen kasvukauden vedenpinnan tason vaihtelusta. Mättäiden kosteuslukemat ovat kahden viimeisen seurantavuoden kuivimman ajankohdan ja tätä seuranneen kosteuslisäyksen vertailuarvoja (tarkemmin osajulkaisussa IV).

#### 4.2.10 Taimettumisen seurantatulosten luotettavuuden arviointia

Laikkujen ja mättäiden taimettumisen vertailemiseksi tehdyillä kenttäkokeilla (IV) kylvöt osuivat sääoloiltaan hyvin vaihtelevien kasvukausien aikajaksoille. Näiden sääolojen seurauksesta syntynyt taimettumistuloksen kokonaisvaihtelu huomioon ottaen mättäiden ja laikkujen välillä ei voitu havaita suuria eroja. Tämä johtui pääosin siitä, että muokkauksien jälkien taimettumistuloksen vertailussa mättäiden suurempi taimimäärä sääoloiltaan keskimääräisinä kasvukausina kompensoitui laikkujen paremmalla taimettumistuloksella kuivan ja lämpimän kesän aikana. Jos näistä havainnoista tekee erilaisten kasvukausien esiintymisen todennäköisyyden perusteella arvioitavan yleistyksen, voisi olettaa, että mättäisiin kylvämällä saadaan keskimäärin paras taimettumistulos. Tämä tutkimus oli tältä osin kuitenkin luonteeltaan tapaustutkimus ilman maantieteellistä yleistettävyyttä. Tulosten yleistäminen tietynlaisiin sääoloihin on myös ongelmallista, sillä sääoloiltaan samankaltaisten kasvukausien aikana tehdyistä kylvöistä ei myöskään ole kylvöistoja. Näin ollen on vaikea arvioida todennäköisyyttä esimerkiksi sille, että sadannan ja lämpötilan suhteen keskimääräisen kasvukauden taimettumistulos on mättäillä parempi kuin laikuissa. Erilaisissa sääoloissa saadut kylvötulokset ja niiden vaihtelu edustavat kuitenkin melko hyvin sitä vaihtelua, mikä on voitu todeta myös kivennäismaiden kylvökokeissa. Muokkauksella paljastettujen kivennäismaapintojen kylvöissä orastuminen eli ensimmäisen kasvukauden taimisaanto suoraan maan pintaan kylvetystä siemenmäärästä on ollut 10–55 % (Yli-Vakkuri ja Räsänen 1971; Bergsten 1988; Kinnunen 1992; Wennström 1999; Wall ja Kubin 2000; de Chantal ym. 2004; Erefur ym. 2008). Tämän aineiston vaihteluväli oli samaa suuruusluokkaa mutta taimisaanto oli keskimäärin 5–10 % pienempi. Kivennäismaiden kylvössä sirkkataimia oli neljän kasvukauden jälkeen elossa n. 10 % kylvetystä siemenmäärästä eli kolmannes keskimääräisestä ensimmäisen kasvukauden taimisaannosta. Tässä aineistossa elossa olevien sirkkataimien osuus neljän ensimmäisen kasvukauden jälkeen oli samaa suuruusluokkaa, joten ensimmäisen kasvukauden taimisaanto huomioon ottaen saadut tulokset eivät poikenneet siitä, mitä kivennäismailla tehtyjen tutkimusten mukaan oli odotettavissa. Sama koski myös taimien pituuskehitystä ensimmäisten viiden kasvukauden aikana, joskin taimipituudet varsinkin turvemättäillä olivat kivennäismaalla havaitun pituuskehityksen vaihtelualan yläpäässä.

## 5 PÄÄTELMÄ

Luontaisen uudistamisen näkökulmasta on tärkeä ymmärtää ojitusalueella etenevän kasvillisuussukcession merkitys erilaisten “taimettumispintojen” muodostajana. Uudistaminen varsinkin ilman muokkausta edellyttää tietoa itämiselle otollisten rahkasammalpintojen esiintymisestä uudistamiskypsissä ojitusalueetsiköissä. Tässä esitetyn aineiston hakkuukypsissä ja varttuneissa metsiköissä rahkasammalien osuus oli enää vain vajaa viidennes pohjakerroksen peittävydestä. Tämä merkitsee käytännössä sitä että ojitusalueiden metsät ovat hakkuukypsyyden läheisyydessä menettäneet luontaisen taimettumisherkkyytensä. Luontaisen uudistamisen onnistuminen edellyttää näin ollen vähintäänkin kevyttä maanpinnan rikkomista.

Kasvillisuussukcession etenemisestä riippuu myös se onko ojitusaluekuviolla karikkeista muodostunutta raakahumuskerrostumaa, jonka ilmaantuminen on rahkasammalpintojen katoamisen jälkeen merkittävin luontaista taimettumisherkkyyttä heikentävä muutos

vanhoilla ojitusalueilla. Raakahumuksen kerrostuminen estyy, jos rahkasammalen kasvunopeus on suuri tai jo syntyneelle paljaalle karikepinnalle leviää myöhemmin uutta rahkasammalkasvustoa. Hyvin ohueksi jääneet sammalpeitteettömät karikekerrostumat voivat yhä vielä olla hyviä taimettumispintoja verrattuna jo vuosikymmeniä sitten turvekankaaksi muuttuneen ojitusalueen paksuihin ja osin kangassammalien peittämiin karikekerrostumiin. Karikekerrostumien paksuudessa ja rakenteessa on myös puustosta ja viljavuustasosta riippuvaa vaihtelua. Paksuinta, ilmapinta ja pintaosistaan nopeimmin kuivuvaa raakahumusta esiintyy todennäköisimmin mäntyvaltaisten puolukka- ja varputurvekankaiden hyvin kuivuneilla ojitusalueilla, joilla laajat seinä- ja kynsisammalien kasvustot ovat merkinä jo pitkään jatkuneesta turvekangasvaiheesta. Varputurvekankailla voi runsaan rämevarvuston juurihuovasto lisätä kerrostuman ilmavuutta, jolloin sen kuivumisherkyys on erityisen suuri.

Päätehakkuun jälkeen pohjakerroksen kasvillisuusmuutokset ovat varsin vähäisiä varsinkin varpu- ja puolukkaturvekankailla. Toisinaan voi vedenpinnan tason nousu hakkuun jälkeen aiheuttaa rahkasammalpintojen leviämisen. Suurimmat muutokset liittyvät kenttäkerroksen lajistoon, jossa erityisesti tupasvillan peittävyys voi kasvaa erittäin voimakkaasti hakkuun jälkeen valaistuksen lisääntymisen myötä. Jyrsinjälkiin ja laikkuihin muodostuvan kasvillisuuden kehitys riippuu merkittävästi vedenpinnan tason vaihteluista. Kasvillisuuden kokonaispeittävyys laikuissa pieneni ja kehitys hidastui huomattavasti, kun vedenpinnan taso vastasi hyvässä kuivatustilassa olevan ojitusalueen vedenpinnan tasoa. Puolukkaturvekankaalla kasvillisuussukkession vaikutus laikkupintojen peittymiseen riippui selvemmin vedenpinnan tasosta kuin mustikkaturvekankaalla. Jos vedenpinnan taso oli yli 30 cm:n etäisyydellä laikun pinnasta, pintakasvillisuusmuutokset olivat varsin hitaita. Uudistusalan kunnostusojitus heti muokkauksen yhteydessä on siten tehokas toimenpide pyrittäessä hidastamaan laikkupintojen peittymistä kasvillisuuteen. Mustikkaturvekankaalla karhunsammalet ja harmaasara peittivät laikkupintoja myös vedenpinnan tason ollessa syvemmillä. Tämän vuoksi laikkujen säilyminen kasvipeitteettöminä oli huomattavasti lyhytaikaisempaa kuin puolukkaturvekankailla myös silloin, kun vedenpinnan taso vastasi kunnostusojitusta seuraavaa kuivatustilaa. Laikutusta voidaankin suositella muokkausmenetelmäksi etupäässä puolukka- ja varputurvekankaalle.

Mätätysaloilla suhteellisen kookkaat, yli 25 cm:n korkuiset, mättäät pysyivät pitkään kasvipeitteettöminä ja varsinkin silloin, kun ne oli tehty syvältä nostetusta hyvin maatuoneesta turpeesta. Hitaamman pintakasvillisuuskehityksensä ansiosta mättäät ovat laikkuja parempia taimettumisalustoja mustikkaturvekankailla. Mätätettäessä on kasvillisuuskehityksen näkökulmasta kuitenkin syytä välttää tekemästä matalia alle 20 cm:n korkuisia kivennäismaasekoitteisia mättäitä ohutturpeisilla mustikkaturvekankailla.

Yleisen käsityksen mukaan ojitusalueiden uudistusaloille syntyy runsaammin hieskoivun taimia kuin vastaavien viljavuustasojen kangasmaakohteille. Vaihtelu on kuitenkin suurta riippuen lähinnä kuivumissukkession vaiheesta ja alkuperäisestä suotyypistä. Kosteiden rahkasammalpintojen esiintyminen on omiaan lisäämään siemensyntyisten hieskoivujen taimien määrää erityisesti, jos rahkasammalkasvusto jyrsitään tai laikutetaan. Mikäli kyse on nevojen tai nevamaisten rämeiden ojitusalueista, voi niille kehittyneen puuston suuren koivuitiheyden vuoksi uudistamishakkuun jälkeinen vesasyntyisten taimien määrä olla kangasmaakasvupaikkoihin verrattuna huomattavan suuri. Sen sijaan aidoista rämetyypeistä kehittyneen mäntyvaltaisen varpu- ja puolukkaturvekankaan uudistusalan vesoituminen ei ongelmana välttämättä ole sen suurempi kuin kuivilla ja kuivahkoilla kankaillakaan.

Männyn taimettumistuloksen kannalta näyttäisi olevan syytä korostaa siemenpuuhakkuun ja muokkauksen ajoituksen merkitystä karuilla turvekankailla. Valmiin mänty-

alikasvoksen ja taimiaineksen määrä varpu- ja puolukkaturvekankailla on vähäinen ja siten uudistamistoimenpiteiden jälkeen välittömästi saatavan siemensadon ja ensimmäisten kasvukausien sääolojen merkitys korostuu. Runsaan siemensadon suhteen oikein ajoitettu hakkuu ja maanmuokkaus ovat ilmeisesti olleet ratkaisevia tekijöitä ainakin 1980-luvulla, johon tämän aineiston koekenttien uudistamistoimenpiteet pääosin ajoittuivat. Tuo aika-kausi oli sääolojen ja versosurmaepidemioiden vuoksi ongelmallinen erityisesti ojitusaluiden männiköissä.

Versosurmaepidemiät, hakkuita seuranneiden vuosien huonot siemensadot, tupasvilla-kasvustojen nopea leviäminen liian harvaan ja kevyesti tehtyihin jyrshintäjäjälkiin sekä mättäiden herkästi kuivuvat turvepinnat selittänevät huonoimmin taimettuneiden koekenttien heikkoa uudistumistulosta. Kangasmaiden lautasaurausta vastaavalla jyrshintäjä voidaan kuitenkin edesauttaa täysimääräisen taimiaineksen syntymistä, mikä männyn luontaisen uudistamisen yhteydessä rohkaisee muidenkin pintamuokkausmenetelmien käyttöön mätästysmuokkauksen vaihtoehtona. Taimet keskittyvät jyrshintäjäjäljissä vakopintoihin, ja siten hyvin kuivatetun uudistusalan mahdollisimman pinnanmyötäisellä kaivurilaikutuksella voitaneen päästä yhtä hyvään lopputulokseen kuin jyrshintäjä hyödyntämällä ojitusalueilla muutoinkin toimivaa ja saatavissa olevaa konekanta.

Jyrsinlaitteisiin perustuvan pintamuokkausjäljen taimettumista lisäävä vaikutus riippuu kuitenkin vallitsevasta pintakasvillisuudesta. Rahkasammalpinnat ovat usein muokkaamattominakin hyvin taimettuvia. Tällöin muokkauksen vaikutus näkyy vain kuivilla turvekangaspinoilla. Tosin rahkasammalkasvuston muokkaus saattaa joskus tuottaa kaikkein herkimmin taimettuvan pinnan erityisesti kuivina kesinä. Nämä pinnat ovat erityisen otollisia hieskoivun taimettumiselle, mikä saattaa muodostua ongelmaksi männyn taimien jatkokehitykselle varsinkin puolukkaturvekankailla. Näissä tapauksissa taimikon varhaisperkauksen merkitys korostuu.

Kylväen tai luontaisesti tapahtuva metsänuudistaminen turvemaalla on laikuissa olevan vedenpinnan tason vaihtelun (laikut) ja pintaturpeen kuivumisherkkyyden (mättäät) vuoksi hyvin sääoloille herkkiä uudistamismenetelmiä. Taimettumisen edistämiseksi valittavan muokkausmenetelmän edut ja haitat riippuvat täysin siitä millaisia ovat siementen itämisen ja sirkkataimien kehitysvaiheiden aikaiset lämpöolot, sateiden määrä ja niiden ajallinen vaihtelu. Sateisina ja kylminä kasvukausina taimia syntyy heikosti itämälustasta riippumatta, mutta kuivina ja lämpiminä kasvukausina laikut ja mättäät eroavat toisistaan sen mukaan, miten sateiden määrä vaihtelee. Keskimääräisen kasvukauden aikana mätästetyn uudistamisalan taimettumistulos on todennäköisesti parempi kuin laikutetulla varsinkin sellaisina vuosina, jolloin herkästi vaihteleva vedenpinnan taso laikutetulla uudistamisalalla nousee lyhytaikaisesti liian korkealle. Sadannan ja lämpötilan suhteen pitkäaikaiskeskiarvoa edustavana kasvukautena tämä laikuissa havaittava vedenpinnan tason taimettumiselle epäedullinen vaihtelu on huomattavasti todennäköisempi ongelma kuin turpeen liiallinen kuivuminen mättäiden pintakerroksessa. Laikut ovat parhaimmillaan keskimääräistä kuivempien ja lämpimämpien kasvukausien aikana, jolloin mättäiden liiallinen kuivuminen on todennäköisintä.

Sateiden aiheuttaman vedenpinnan tason vaihtelun vuoksi laikutus on tarkoituksenmukainen maanpinnan valmistusmenetelmä vain silloin, kun sirkkataimia on mahdollista syntyä usean vuoden aikana eli luontaisen uudistamisen yhteydessä. Kylvö on turvallisinta tehdä mättäisiin, mutta varsinkin silloin, kun on kyse hyvin maatuneen saraturpeen mättäistä, tulisi kylvö tehdä mieluummin manuaalisena vakokylvönä kuin koneellisesti toteutettuna pintakylvönä. Tämä sen vuoksi että mättään pintaturpeen kuivumisongelma korostuu, jos siemenet jäävät mättään pintaan. Kylvö on aina syytä tehdä mahdollisimman



pian mätästyksen jälkeen ennen mättäiden pintakerrosten kuivumista. Luontaista uudistamista edistäväksi maanmuokkausmenettelyksi olisi laikutuksen lisäksi syytä kehittää mätästystapoja, joissa turvemassaa ei nosteta kokonaan irti vedenpinnan kapillaarikontaktista. Yksi tähän tavoitteeseen soveltuva menetelmä olisi kääntömätästys, jossa kauhallinen turvetta käännetään ylösalaisin omaan kuoppaansa. Tällöin tavoitteena on muodostaa laakeita ja matalia kohoumia, joissa ei ole laikuille ominaisten pintavesikertymien ja liian korkealle nousevan vedenpinnan tason aiheuttamia kosteusongelmia. Samalla vähennetään pintaturpeen kuivumisriskiä, kun mättään pintaosien ja vedenpinnan tason kapillaarikontakti säilytetään.

## 6 KIRJALLISUUS

- Ahti E. (1974). Measuring seasonal moisture variation of drained peatlands by using tensiometers. Proceedings of the International Symposium on Forest Drainage, 2nd–6th September 1974, Jyväskylä-Oulu, Finland. s. 81–86.
- Andersson S. & Wiklert P. (1972). Marfysikaliska undersökningar: Odlad jord. XXIII. Om de vattenhållande egenskaperna hos svenska jordarter. Grundförbättring 25: 53–143.
- Anlauf R., Rehrmann P., Schacht H. (2012). Simulation of water uptake and redistribution in growing media during ebb-and-flow irrigation. Journal of Horticulture and Forestry 4(1): 8–21.
- Arnott J.T. (1968). Germination and survival of black spruce on certain moss seedbeds. Department of Forestry and Rural Development. Forestry Branch, Quebec, Canada. Information Report Q-X-4. 8 s.
- Berglund K. (1996). Cultivated organic soils in Sweden: Properties and amelioration. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences. Reports and dissertations 28. Uppsala, Sweden. 39 s.
- Bergsten U. (1988). Pyramidal indentations as a microsite preparation for direct seeding of *Pinus sylvestris* L. Scandinavian Journal of Forest Research 3(4): 493–503.
- Bergsten U. (1989). Temperature tolerance of invigorated seeds of *Pinus sylvestris* (L.) and *Picea abies* (L.) using TTGP –test. Forestry Supplement 62: 107–115.
- Bragazza L. & Gerdol R. (1996). Response surfaces of plant species along water-table depth and pH gradients in a poor mire on the southern Alps (Italy). Annales Botanici Fennici 33: 11–20.
- Brandyk T., Szatyłowicz J., Oleszczuk R., Gnatowski T. (2003). Water-Related Physical Attributes of Organic Soils. Teoksessa: L-E. Parent & P. Inicki (toim.) Organic soils and peat material for sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton, Florida. s. 33–66.
- Bunt A.C. (1988). Media and mixes for container-grown plants: a manual on the preparation and use of growing media for pot plants. 2nd ed. of modern potting composts. London. 309 s.
- Callaghan T.V., Collins N.J., Callaghan C.H. (1978). Photosynthesis, growth and reproduction of *Hylocomium splendens* and *Polytrichum commune* in Swedish Lapland. Oikos 57: 73–88.
- Clymo R.S. (1984). The limits to peat bog growth. Philosophical Transactions of the Royal Society, London. Series B 303: 605–654.
- Clymo R.S. & Hayward P.M. (1982). The ecology of *Sphagnum*. Teoksessa: Smith, A. J. E. (toim.). Bryophyte ecology. s. 229–289.

- Dasberg S. & Mendel K. (1971). The effect of soil water and aeration on seed germination. *Journal of Experimental Botany* 22(4): 992–998.
- de Chantal M., Leinonen K., Ilvesniemi H., Westman, C.J. (2004). Effects of site preparation on soil properties and on morphology of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings sown at different dates. *New Forests* 27(2): 159–173.
- Domisch T., Finér L., Karsisto M., Laiho R., Laine J. (1998). Relocation of carbon from decaying litter in drained peat soils. *Soil Biology & Biochemistry* 30(12): 1529–1536.
- Erefur C., Bergsten U., de Chantal M. (2008). Establishment of direct seeded seedlings of Norway spruce and Scots pine: Effects of stand conditions, orientation and distance with respect to shelter tree and fertilization. *Forest Ecology and Management* 255: 1186–1195.
- Ferda J. (1968). Determination of the optimum height of the groundwater level for young plantations on boggy soils. *Proceeding 3rd Int. Peat Congress, Quebec City, Canada.* s 268–272.
- Ferm A. & Pohtila E. (1977). Pintakasvillisuuden kehittyminen ja muokkausjäljen tasoittuminen auratuilla metsänuudistusaloilla Lapissa. Abstract: Succession of ground vegetation and levelling of ploughed tracks of reforestation areas in Finnish Lapland. *Folia Forestalia* 319: 1–34.
- Ferm A. & Sepponen P. (1981). Aurasjäljen muuttuminen ja kasvillisuuden kehittyminen metsänuudistusaloilla Lapissa 10 vuoden aikana. Summary: Development of ploughed tracks and vegetation on reforestation areas in Finnish Lapland during a period of 10 years. *Folia Forestalia* 493: 1–19.
- Gardner B.L., Chapin F.S., Shaver G.R. (1986). Reproduction of *Eriophorum vaginatum* by seed in Alaskan tussock tundra. *Journal of Ecology* 74: 1–18.
- Gibson A. & Bachelard E.P. (1986). Germination of *Eucalyptus sieberi* L. Johnson seeds. II International water relations. *Tree Physiology* 1: 67–77.
- Granström A. (1988). Seed banks at six open and afforested heathland sites in southern Sweden. *Journal of Applied Ecology* 25: 297–306.
- Groot A. & Adams M. (1994). Direct seeding black spruce on peatlands: fifth-year results. *The Forestry Chronicle* 70 (5): 585–592.
- Hadas A. (1982). Seed–soil contact and germination. Teoksessa: Khan, A. (toim.). *The Physiology and Biochemistry of Seed Development, Dormancy and Germination.* s. 508–525. Elsevier Biomedical Press, Amsterdam.
- 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.
- Hartman M., Kaunisto S., Silfverberg K. (2001). Peat properties and vegetation along different trophic levels on an afforested, fertilised mire. Turpeen ominaisuudet ja kasvillisuus metsitetyn ja lannoitetun avosuon eri trofiatasoilla. *Suo – Mires and Peat* 52(2): 57–74.
- Hauessler S., Bedford L., Boateng J.O., MacKinnon A. (1999). Plant community responses to mechanical site preparation in northern interior British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1084–1100.
- Heinselmann 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.
- Hertz M. (1932). Tutkimuksia aluskasvillisuuden merkityksestä kuusen uudistumiselle Etelä-Suomen kangasmailla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 17: 1–189.

- Hotanen J-P. (2000). *Carex globularis* – Pallosara. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi, Helsinki. s. 164–165.
- Hotanen J-P. (2003). Multidimensional site description of peatlands drained for forestry. *Silva Fennica* 37(1): 55–93.
- Hotanen J-P. & Nousiainen H. (1990). Metsä- ja suokasvillisuuden numeerisen ryhmittelyn ja kasvupaikkatyyppien rinnastettavuus. (Summary: The parity between the numerical units and the site types of forest and mire vegetation). *Folia Forestalia* 763: 1–54.
- Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. (2007). Metsänhoidon kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy. Helsinki. 50 s.
- Hökkä H., Kaunisto S., Korhonen K.T., Päivänen J., Reinikainen A., Tomppo E. (2002). Suomen suometsät 1951–1994. *Metsätieteen Aikakauskirja* 2B/2002: 201–357.
- Hökkä H., Repola J., Laine J. (2008). Quantifying the interrelationship between tree stand growth rate and water table level in drained peatland sites in Central Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 1775–1783.
- Immonen-Joensuu M. (1987). Luontaisen uudistamisen onnistuminen vanhoilla metsäojitusalueilla. Pysyviin tuotoskoealoihin perustuva selvitys. Tutkielma MMK-tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, suometsätieteen laitos. 68 s.
- Jauhiainen S. (1998). Seed and spore banks of two boreal mires. *Annales Botanici Fennici* 35: 197–201.
- Jeglum J.K. (1979). Effects of some seedbed types and watering frequencies on germination and growth of black spruce: a greenhouse study. Department of Environment, Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario. Information Report 0-X-292. 33 s.
- Jeglum J.K. & Kennington D.J. (1993). Strip clearcutting in black spruce: a guide for the practicing forester. Forestry Canada-Ontario Region, Sault Ste. Marie, Ontario. 102 s.
- 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.
- Jonsson B.G. (1993). The bryophyte diaspore bank and its role after small-scale disturbance in a boreal forest. *Journal of Vegetation Science* 4: 819–826.
- Kamra S.K. (1968). Effect of different distances between water level and seed bed on Jacobsen apparatus on the germination of *Pinus silvestris* L. seed. *Studia Forestalia Suecica* 65: 1–18.
- Kamra S.K. (1969). Further studies on the effect of different distances between water level and seed bed on Jacobsen apparatus on the germination of *Pinus silvestris* and *Picea abies* seed. *Svensk Botanisk Tidskrift* 63 (2): 265–274.
- Karsisto K. (1979). Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa 1. Pohjaveden etäisyyden ja NPK-lannoituksen vaikutus Vilppulan ja Kivalon rämeellä ja korvessa. Summary: Effects of forest improvement measures on activity of organic-matter decomposing microorganisms in forested peatlands. Part 1. Effect of drainage and NPK-fertilization in the spruce and pine swamps at Kivalo and Vilppula. *Suo* 30: 81–91.
- Kaunisto S. (1971). Lannoituksen, muokkauksen ja vedenpinnan etäisyyden vaikutus kylvötaimien ensi kehitykseen turvealustalla. Kasvihuoneessa suoritettu tutkimus. Summary: Effect of fertilization, soil preparation, and distance of water level on the initial development of Scots pine and Norway spruce seedlings on peat. A study performed in greenhouse. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 75(2). 64 s.
- Kaunisto S. (1972). Lannoituksen vaikutus istutuksen onnistumiseen ja luonnontaimien määrään rahkanevalla. Tuloksia Kivisuon koekentältä. Summary: Effect of fertilization

- on successful planting and the number of naturally born seedlings on a fuscum bog at Kivisuo experimental field. *Folia Forestalia* 139: 1–11.
- Kaunisto S. (1984). Suometsien uudistaminen turvekangasvaiheessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 137: 7–21.
- Kaunisto S. (1987). Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 140. 58 s.
- Kaunisto S. & Päivänen J. (1985). Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turve- mailla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Summary: Forest regeneration and affor- estation on drained peatlands. A literature review. *Folia Forestalia* 625: 1–75.
- 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: 1–94.
- Kinnunen K. (1992). Kylvöalustan, ajankohdan ja menetelmän vaikutus männyn kylvön onnistumiseen. *Folia Forestalia* 785. 45 s.
- Kojola S., Ahtikoski A., Hökkä H. (2012). T. Profitability of alternative management regimes in Scots pine stands on drained peatlands. *European Journal of Forest Research* 131 (2): 413–426.
- Kramer P.J. & Kozlowski T.T. (1960). *Physiology of trees*. McGraw-Hill Book Co., New York-Toronto-London. 642 s.
- Kurimo H. & Uski A. (1988). Short-term changes in vegetation on pine mires after drainage for forestry. Proceedings of the International Symposium on the Hydrology of Wetlands in Temperate and Cold Regions. Joensuu Finland 6–8 June. Suomen Akatemian Julkai- suja 4: 256–259.
- Kuusipalo J. & Vuorinen J. (1981). Pintakasvillisuuden sukkessio vanhalla ojitusalueella Itä-Suomessa. Summary: Vegetation succession on an old, drained peatland area in Eastern Finland. *Suo* 32(3): 61–66.
- Laiho R. & Laine J. (1996). Plant biomass carbon store after water-level drawdown of pine mires. Teoksessa: Laiho R., Laine J., Vasander H. (toim.). *Northern Peatlands in Global Climatic Change*. Edita, Helsinki. Publications of the Academy of Finland 1/96: 54–57.
- Laine J. & Mannerkoski H. (1975). Tensiometrin käyttö turvemaiden kosteusolojen kuvauksessa. Summary: On the use of tensiometers in describing moisture conditions of peat soils. *Suo* 26(2): 17–24.
- Laine J. & Vanha-Majamaa I. (1992). Vegetation ecology along a trophic gradient on drained pine mires in southern Finland. *Annales Botanici Fennici* 29: 213–233.
- Laine J., Vasander H., Laiho R. (1995). Long-term effects of water level drawdown on the vegetation of drained pine mires in southern Finland. *Journal of Applied Ecology* 32: 785–802.
- Laine J., Vasander H., Hotanen J-P., Nousiainen H., Saarinen M., Penttilä T. (2012). Suotyypit ja turvekankaat – opas kasvupaikkojen tunnistamiseen. *Metsäkustannus Oy*, Helsinki. 160 s.
- Larson M.M. & Schubert G.H. (1969). Effect of osmotic water stress on germination and initial development of *Ponderosa* pine seedlings. *Forest Science* 15 (1): 30–36.
- Lieffers V.J. (1988). Sphagnum and cellulose decomposition in drained and natural areas of an Alberta peatland. *Canadian Journal of Soil Science* 68: 755–761.
- Lindholm T. (1980). Dynamics of the height growth of the hummock dwarf shrubs *Empetrum nigrum* L. and *Calluna vulgaris* (L.) Hull on a raised bog. *Annales Botanici Fennici* 17: 343–356.

- Lindholm T. & Vasander H. (1981). The effect of summer frost damage on the growth and production of some raised bog dwarf shrubs. *Annales Botanici Fennici* 18: 155–167.
- Littell R.C., Milliken G.A., Stroup W.W., Wolfinger R.D. (1996). *SAS System for Mixed Models*, Cary, NC: SAS Institute Inc. 633 s.
- Lloret F. (1994). Gap colonization by mosses on a forest floor: An experimental approach. *Lindbergia* 19: 122–128.
- Losee S.T.B. (1961). Results of group cutting for black spruce regeneration at the Abitibi Woodlands Laboratory. Canadian Pulp and Paper Association, Woodlands Section Index No. 2086 (F-2).
- Lähde E. (1965). Havaintoja männyn istutuksesta karhunsammalmuuttumille. Summary: Observations on transplanting pine in a *Polytrichum*-covered drained swamp. *Suo* 16(2): 7–10.
- Lähde E. (1969). Biological activity in some natural and drained peat soils with special references to oxidation-reduction conditions. *Acta Forestalia Fennica* 94: 1–69.
- Mannerkoski H. (1970). Ojituksen vaikutus kasvilajien runsauden kehitykseen turvealustalla. Summary: On the development of plant cover after drainage on peatlands. *Suo* 21: 99–103.
- 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 mätästysmenetelmällä. Summary: Hummock-building method in reforestation of an old drainage area. *Suo* 26(3–4): 65–68.
- Mannerkoski H. (1976a). Effect of water table fluctuations on the growth of *Betula verrucosa* and *Pinus silvestris* seedlings on a peat substrate. *Proc. 5th Peat Congr., Poznan, Poland, Sept. 21–25, 1976*, 3: 211–219.
- Mannerkoski H. (1976b). Puuston ja pintakasvillisuuden kehitys ojituksen jälkeen saraisella suolla. Summary: changes in tree cover and ground vegetation of a sedge bog following drainage. *Suo* 27: 97–101.
- Mannerkoski H. (1985). Effect of water table fluctuation on the ecology of peat soil. Tiivistelmä: Vedenpinnan vaihtelun vaikutus turvemaan ekologiaan. *Helsingin yliopiston suomensäätieteen laitoksen julkaisuja* 7: 1–190.
- McCune B. & Mefford M.J. (1999). *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data*, Version 4.0. Mjm Software Design, Gleneden Beach, Oregon. 237 s.
- Minchin P.R. (1991). *DECODA. Database for Ecological Community Data*. Version 2.04. Australian National University. Canberra.
- Minkkinen K. & Laine J. (1998). Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1267–1275.
- Mohamed B.F. & Gimingham C.H. (1970). The morphology of vegetative regeneration in *Calluna vulgaris*. *New Phytologist* 69: 743–750.
- Moilanen M. & Issakainen J. (1981). Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus kuusen ja koivun uudistumiseen eräillä Kainuun soilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the regeneration of birch and spruce on thick peat soils in Kainuu. *Folia Forestalia* 481: 1–16.
- Moilanen M., Ferm A., Issakainen J. (1995). Kuusen- ja koivuntaimien alkukehitys korven uudistamisaloilla. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1995(2): 115–130.
- Mueller-Dombois D. (1964). Effect of depth to water table on height growth of tree seedlings in a greenhouse. *Forest Science* 10(3): 306–316.

- Mäkipää R. (2000). Brachythecium-suku. Suikerosammalet. Teoksessa: Reinikainen A., Mäkipää R., Vanha-Majamaa I., Hotanen J-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi, Helsinki. s. 238–239.
- Mälkönen E. & Tamminen P. (2003). Maannostuminen ja maannosten kuvaus. Teoksessa : Mälkönen, E. (toim.) Metsämaa ja sen hoito. Metsäntutkimuslaitos. Metsälehti Kustannus, Hämeenlinna 2003. s. 129–140.
- Naasz R., Michel J-C., Charpentier S. (2008). Water repellency of organic growing media related to hysteretic water retention properties. *European Journal of Soil Science* 59: 156–165.
- Nygren M. (2011). Metsänkylvöopas. Kylvön biologiaa ja tekniikkaa. Metsäkustannus Oy, Helsinki. 85 s.
- Oleskog G. (1999). The effect of seedbed substrate on moisture conditions, germination and seedling survival of Scots pine. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Management and Products. Uppsala 1999.
- Paavilainen E. (1967). Männyn juuriston suhteesta turpeen ilmatilaan. Summary: Relationships between the root system of Scots pine and the air content of peat. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 63(6): 1–20.
- Paavilainen E. (1970). Astiakokeita pintalannoituksen vaikutuksesta koivun, kuusen ja männyn kylvön onnistumiseen muokkaamattomalla kasvualustalla. Summary: On the effect of top dress fertilization on successful seeding of birch, spruce, and pine. Vessel experiments in soil with an untreated surface. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 72(1): 1–37.
- Paavilainen E. & Norlamo M. (1975). Effect of various nitrogen fertilizers on the initial development of birch, spruce and pine. Seloste: Typpilannoitelajien vaikutus koivun, kuusen ja männyn alkukehitykseen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 86(2): 1–43.
- Paavilainen E. & Virrankoski K. (1967). Tutkimuksia veden kapillaarisesta noususta turpeessa. Summary: Studies on the capillary rise of water in peat. *Folia Forestalia* 36: 1–16.
- Pelkonen E. (1979). Männyn ja kuusen taimien kyvystä sietää tulvaa vuoden eri aikoina. Summary: Seasonal flood tolerance of Scots pine and Norway spruce seedlings. *Suo* 30(2): 35–42.
- Pienimäki T. (1982). Kasvillisuuden ojituksenjälkeinen kehitys eräillä suotyypeillä Pohjois-Pohjanmaalla. Summary: Development of vegetation on some drained mire site types in North-Ostrobothnia. *Suo* 33(4-5): 113–123.
- 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. (1973). Hydraulic conductivity and water retention in peat soil. Seloste: Turpeen vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky. *Acta Forestalia Fennica* 129. 70 s.
- Päivänen J. (1982). Hakuun 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.
- Reinikainen A. (1965). Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngungs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittelfinnland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 59(5): 1–62.
- Reinikainen A. (1984). Suotyypit ja ojituksen vaikutus pintakasvillisuuteen. Teoksessa: Jaakkoinen koeojitusalue 75 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 156: 7–21.

- Reinikainen A. & Salemaa M. (2000). Varvut. Teoksessa: Reinikainen A., Mäkipää R., Vanha-Majamaa I., Hotanen J-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi, Helsinki. s. 97–103.
- Roe E.I. (1949). Sphagnum moss retards black spruce regeneration. USDA Forestry Service, Lake States Forest Experiment Station. Technical Note 321. 1 s.
- Ruuhijärvi R. (1958). *Eriophorum vaginatum* L. – Tupasvilla. Teoksessa: Jalas J. (toim.). Suuri kasvikirja I. Suomen luonto. Otava, Helsinki. s. 546–548.
- Rydin H. (1997). Competition among bryophytes. *Advances in Bryology* 6: 135–168.
- Saarinen E.K.E. (1933). Soiden pintaturpeen korkeuskasvusta. Referat: Über das Höhenwachstum des Oberflächentorfes auf den Mooren. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 19: 1–27.
- Saarinen M. (1993). Miten käsitellä uudistamiskypsiä ojitusaluemetsiä. Julkaisussa: Laiho O. & Luoto T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Porissa 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 470: 6–12.
- Saarinen M. (1997). Kasvupaikkatekijöiden vaikutus vanhojen ojitusalueiden taimettumiseen. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Effect of site factors on restocking of old drainage areas. A literature review. *Suo* 48(3): 61–70.
- Salonen V. (1990). Early plant succession in two abandoned cut-over peatland areas. *Holarctic Ecology* 13: 217–223.
- Salonen V. (1992). Plant colonization of harvested peat surfaces. *Biological Research Reports from University of Jyväskylä* 29: 1–29.
- Salonen V. & Laaksonen M. (1994). Effects of fertilization, liming, watering and tillage on plant colonization of bare peat surfaces. *Annales Botanici Fennici* 31: 29–36.
- Sarasto J. (1952). Metsäojituksen aiheuttamista aluskasvillisuuden muutoksista eräissä suotyypeissä. Referat: Über Veränderungen in der Untervegetation einiger Moortypen als Folge der Waldentwässerung. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 40: 1–32.
- Sarasto J. (1957). Metsän kasvattamiseksi ojitettujen soiden aluskasvillisuuden rakenteesta ja kehityksestä Suomen etelä-puoliskossa. Referat: Über Struktur und Entwicklung der Bodenvegetation auf für Walderziehung entwässerten Mooren in der südlichen Hälfte Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 65: 1–108.
- Sarasto J. (1961). Über die Klassifizierung der für Walderziehung entwässerten Moore. *Acta Forestalia Fennica* 74: 1–47.
- Sarasto J. (1963). Tutkimuksia koivun kylvöstä ojitetuilla soilla. Summary: Sowing of birch on drained swamps. *Suo* 14(4): 47–56.
- 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.
- SAS Institute Inc. (1992). SAS Technical Report P-229 SAS/STAT software: changes and enhancements, release 6.07. SAS Institute Inc., Cary, NC. 620 s.
- Satoo T. & Goo M. (1954). Seed germination as affected by suction force of soil and saccharose solution. *Bulletin of the Tokyo University Forests* 46: 159–168.
- Schwärzel K., Renger M., Sauerbrey R., Wessolek G. (2002). Soil physical characteristics of peat soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165: 479–486.
- Skult H. (1958). *Carex globularis* L. – Pallosara. Teoksessa: Jalas J. (toim.). Suuri kasvikirja I. Suomen luonto. Otava, Helsinki. s. 770–772.
- Straková P., Penttilä T., Laine J., Laiho R. (2012). Disentangling direct and indirect effects of water table drawdown on above- and belowground plant litter decomposition:

- consequences for accumulation of organic matter in boreal peatlands. *Global Change Biology* 18: 1354–1013.
- Szajdak L. & Szatyłowicz J. (2010). Impact of drainage on hydrophobicity of fen peat-peat-morsh soils. Teoksessa: Kļavinš (toim.) Mires and peat. University of Latvia Press. Riga. s. 158–174.
- Tahvanainen T. & Tolonen K. (2004). Patterns of plant species responses to the water table depth gradients in Finnish mires. Teoksessa: Päivänen J. (toim.). Wise use of Peatlands. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Peat Congress, Tampere, Finland 6–11 June 2004. *International Peat Society* 2: 925–930.
- Tarkhova T. & Ipatov V. (1975). Influence of illumination and litter-drop on the development of certain species of mosses. *Soviet Journal of Ecology* 6: 43–48.
- Tuittila E-S., Vasander H., Laine J. (2000a). Impact of rewetting on the vegetation of a cut-away peatland. *Applied Vegetation Science* 3: 205–212.
- Tuittila E-S., Rita H., Vasander H., Laine, J. (2000b). Vegetation patterns around *Eriophorum vaginatum* L. tussocks in a cut-away peatland in southern Finland. *Canadian Journal of Botany* 78: 47–58.
- Vaartaja O. (1950). On factors affecting the initial development of Pine. *Oikos* 2:1: 89–108.
- Vahtera E. (1955). Metsänkasvatusta varten ojitettujen soiden ravinnepitoisuuksista. Referat: Über die Nährstoffgehalt der für Walderziehung entwässerten Moore. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 45(4). 108 s.
- Vasander H. (1987). Diversity of understorey biomass in virgin and in drained and fertilized southern boreal mires in eastern Fennoscandia. *Annales Botanici Fennici* 24: 137–153.
- Vasander H. (1990). Plant biomass, its production and diversity on virgin and drained southern boreal mires. *Publications from the Department of Botany, University of Helsinki* 18: 1–16.
- Veihmeyer F.J. & Hendrickson A.H. (1949). Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. *Soil Science* 68: 75–94.
- Wall A. & Kubin E. (2000). Maanmuokkaustavan ja maalajin vaikutus männyn hajakylvön onnistumiseen. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2000: 5–17.
- Wennström U., Bergsten U., Nilsson J-E. (1999). Mechanized microsite preparation and direct seeding of *Pinus sylvestris* in boreal forest – a way to create desired spacing at low cost. *New Forests* 18: 179–198.
- Winsa H. (1995a). Influence of rain shelter and site preparation on seedling emergence of *Pinus sylvestris* L. after direct seeding. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 167–175.
- Winsa H. (1995b). Effects of seed properties and environment on seedling emergence and early establishment of *Pinus sylvestris* L. after direct seeding. Ph.D. dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture.
- 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.
- Yli-Vakkuri P. (1958). Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulotuksesta. Referat: Untersuchungen über das Absengen als Waldbauliche Massnahme auf entwässerten Torfböden. *Acta Forestalia Fennica* 67: 1–33.
- Yli-Vakkuri P. & Räsänen P.K. (1971). Siementen peittämisen ja kylvökohdan polkaisun vaikutus männyn ruutukylvön tulokseen *Silva Fennica* 5(1): 1–10.