

Kosteusolosuhteiden vaikutus siementen itämiseen ja taimien varhaiskehitykseen turvemaan metsänuudistusalan muokkauspinnoilla

Effect of soil moisture conditions on seed germination and early seedling development in prepared microsites in peatland forest regeneration areas

Markku Saarinen, Virpi Alenius & Raija Laiho

Markku Saarinen, The Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Unit, Kaironientie 15, FIN-39700 Parkano, Finland (email: markku.saarinen@metla.fi)
Virpi Alenius, The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Unit, P.O.Box 16, FIN-96301 Rovaniemi, Finland
Raija Laiho, The Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Unit, Kaironientie 15, FIN-39700 Parkano, Finland

Tutkimuksessa selvitettiin turpeen kosteusvaihteluiden vaikutuksia männyn siementen itämiseen ja sirkkataimien varhaiskehitykseen vanhojen ojitusalueiden metsänuudistusalojen muokkauspinnoilla. Erilaisten muokkausvaihtoehtojen tarkastelussa rajoitettiin kaivurilla tehtyihin mättäisiin ja laikkuihin. Mättäillä tutkittiin niiden pintakerroksen vesipitoisuuden ja laikuissa turvemaan vedenpinnan syvyyden vaihteluiden vaikutuksia taimettumiseen. Aineisto kerättiin kahdelta Pirkanmaan pohjoisosassa sijaitsevalta koekentältä. Kummallakin kokeella kolmen sääsuhteiltaan erilaisen kasvukauden aikana toistetut kylvöt ja niillä tehty taimettumisen seuranta osoittivat, miten kylvön ja epäsuorasti päätellen myös luontaisen uudistamisen onnistuminen ovat sääoloille hyvin herkkiä. Laikkujen ja mättäiden edut ja haitat metsänuudistamisen kannalta riippuivat siitä, millaiset olivat siementen itämisen ja sirkkataimien varhaiskehityksen aikaiset lämpöolot, sademäärät ja niiden vaihtelu varsinkin ensimmäisen kasvukauden aikana. Keskimääräisen sadannan ja lämpöolojen kasvukausina aiheutuu todennäköisemmin ongelmia laikuissa liian korkealla olevasta vedenpinnasta kuin mättäissä pintaturpeen liiallisesta kuivumisesta. Laikkujen taimimäärät olivat suurimmillaan keskimääräistä kuivempien kasvukausien aikana. Vastaavissa oloissa taas mättäiden liiallinen kuivuminen on varsin todennäköisintä. Kasvukausien sateisuutta ja turvemaan vedenpinnan syvyyden vaihteluita ei kuitenkaan pystytä ennakoimaan. Tämän aineiston perusteella laikutus näyttääkin mielekkäältä maanpinnan muokkausmenetelmältä vain kun sirkkataimia on mahdollista syntyä usean vuoden aikana, eli lähinnä luontaisen uudistamisen yhteydessä. Hyvän uudistamistuloksen saavuttamiseksi kylvö on turvallisinta tehdä mahdollisimman pian maanmuokkauksen jälkeen vielä riittävän kosteuden säilyttäneisiin turvemättäisiin.

Avainsanat: Metsän uudistaminen, itäminen, turvemaata, maanmuokkaus, laikutus, mätästys, maan kosteus, pohjavesi, vedenpinnan syvyys.

Johdanto

Uudistettaessa metsää ojitetuilla soilla on otettava huomioon tiettyjä turvemaille ominaisia ympäristökäyttäjiä. Siementen itämiseen ja taimien varhaiskehitykseen vaikuttavista ympäristökäyttäjäistä tärkeimmät liittyvät kasvualustan kosteusvaihteluihin. Korkealla oleva turvemaan vedenpinta sekä turpeen kyky sitoa kosteutta ja toisaalta kuivan turpeen vettä hylkivät ominaisuudet erottavat turvemaat kosteusoloiltaan selvästi kangasmaista.

Turvemaan vedenpinnan syvyydestä, sääoloista ja maan huokoskokojakaumasta riippuva itämislustan vesipitoisuus ja veden sitoutuneisuus eli vesipotentiali vaikuttavat itämistulokseen ja sirkkataimien kehitykseen (Satoo & Goo 1954, Kamra 1968, 1969, Larson & Schubert 1969, Kaunisto 1971, Mannerkoski 1971, 1976, 1985). Itämisen mahdollistava kasvualustan vesipotentiali vaihtelee laajoissa rajoissa, mutta vesipotentialin laskiessa itämisnopeuskin laskee. Kun kasvualustan kosteus sateettoman kauden aikana on turpeessa olevan veden varassa, vedenpinnan kohoaminen lisää siementen itämistä. Liian lähellä kasvualustaa oleva vedenpinta on toisaalta sirkkataimien juurtumisen ja varhaiskehityksen kannalta epäedullinen (Kaunisto 1971, Mannerkoski 1971). Sirkkataimien kasvu heikkenee, jos vedenpinta nousee vaikka vain lyhytaikaisesti, mutta toistuvasti, alle 10 cm:n etäisyydelle turpeen pinnasta (Mannerkoski 1985).

Koejärjestelyissä, joissa vedenpinnan syvyys on pidetty vakiona, männyn sirkkataimien kasvu on ollut suurin vedenpinnan ollessa 10–30 cm syvyydellä kasvualustan pinnasta (Mueller-Dombois 1964, Paavilainen 1970, Kaunisto 1972, Paavilainen & Norlamo 1975, Mannerkoski 1976, 1985). Taimien kasvaessa ja juuriston laajetessa syvemmälle turpeeseen myös vedenpinnan on oltava syvemmällä kasvuoptimin saavuttamiseksi (Mueller-Dombois 1964, Ferda 1968). Luonnonoloissa vedenpinnan syvyys vaihtelee sääolojen mukaan ja sen vaikutus taimien kehitykseen vaihtelee turvemaille kasvukauden vaiheen mukaan (Mannerkoski 1985). Taimien alkukehityksen kannalta on tärkeää, millä tasolla vedenpinta on turpeessa heinä- ja elokuun aikana, jolloin puiden juuriston kasvu on voimakkaimmillaan (Pelkonen 1975, 1979, Päivänen 1984).

Korkealla olevan vedenpinnan epäedullinen vaikutus taimien kehitykseen ilmenee erityisesti muokkaamattomalla paljaalla turvepinnalla, johon on voimakas kapillaarinen yhteys vedenpinnasta (Kaunisto 1971). Tällaisia kasvipeitteitä turvepintoja paljastuu mm. turvemaata laikutettaessa. Paljaan pintaturpeen muokkaus rikkoo sen huokosrakenteen hidastaen veden kapillaarista nousua ja vähentäen itämislustan kosteutta erityisesti vähäasteisten ja kuivien sääjaksojen aikana (Groot & Adams 1994). Suurin osa turvemaiden uudistussaloista muokataan Suomessa kaivinkoneilla tai traktorikaivureilla, sillä kasvupaikan vesitalous usein edellyttää muokkauksen lisäksi myös ojaverkoston kunnostuksen. Varsinkin luontaisesti uudistettaessa on tarkoituksenmukaista tehdä muokkaus mätästyksen sijasta kevyemmin pintaturvetta paljastavana laikutuksena. Kun turvemaan metsänuudistusala muokataan kaivurilaikutuksella, on tärkeää välttää liian syvien laikkujen syntymistä, sillä turpeen pintakerrokset ovat usein pitkälle maatuneita ja siksi huonosti vettä läpäiseviä (Weiss ym. 1998). Elävä pintakasvillisuus poistetaan mahdollisimman pinnanmyötäisesti välttäen turpeeseen yltävien ja pintavesiä keräävien kuoppien syntymistä.

Ojitusalueille on tyypillistä kasvillisuuden vaihtelu kuivatussukessiivaiheen mukaan. Laikutuksessa muokkausjälkiä syntyy rahka- ja karhunsammalpinnoihin, sekä turvekankaille ominaisiin seinä- ja kynsisammalpinnoihin. Koska turvemaassa vedenpinnasta kapillaarisesti nousevan veden nousukorkeus ja -nopeus riippuvat turpeen huokoskokojakaumasta, on syytä olettaa taimettumispinnan kosteuden riippuvan myös laikkupinnan kasvijäännöskoostumuksesta. Turvekankaiden kasvillisuuspinnoille tehdyissä laikuissa pinnan ominaisuuksiin vaikuttaa myös karikkeista turpeen päälle muodostunut raakahumuskerrostuma (Kaunisto 1984, Kaunisto & Päivänen 1985), jonka paksuus vaihtelee ja riippuu ojitushistoriasta ja turvekangastyyppistä (Saarinen & Hotanen 2000). Kuohkeasta ja helposti kuivuvasta karikkekerrostumasta osa jää usein laikun pintaan. Kokonaisuudessaan raakahumus poistuu laikkuja tehtäessä silloin, kun se on ohut tai se poistuu kenttäkerroksen suurten rämevarpujen juuriston mukana.

Mätästyksessä turvema-aines pudotetaan kaivurin kauhasta raakahumus- tai kasvillisuus-pintaan tai toisinaan jopa hakkuutähteiden päälle. Turvemaan vedenpinnasta ei ole kapillaarista yhteyttä mättään turpeeseen tai yhteys on erittäin heikko. Toisaalta korkealle nouseva vedenpinta ei myöskään pääse heikentämään huokostilan ilmavuutta. Sateiden aikana mättään turvemaahan imeytyy lisää vettä ja vastaavasti kuivien sääjaksojen aikana mättäät osittain kuivuvat haihdunnan vaikutuksesta. Aukean uudistusalan mättäät ovat alttiita tuulelle ja auringon paisteelle. Kuivien sääjaksojen aikana mättäät kuivuvat pintaosistaan yleensä varsin nopeasti.

Turpeelle on ominaista, että kuivuttuaan sellaiseen kosteuteen, jossa turvemaan sisältämän veden tilavuuden osuus turpeen kokonais-tilavuudesta laskee alle 20–30 %, se muuttuu vettä hylkiväksi eli hydrofobiseksi (Berglund 1996, Naasz ym. 2008, Szajdak & Szatyłowicz 2010). Sen jälkeen turve kostuu uudelleen hyvin hitaasti. Ilmiöön vaikuttavat turpeen kasvijään-nöskoostumus, maatumisen aste ja kemialliset ominaisuudet, kuten rautahumaattiyhdisteiden pitoisuudet (Bunt 1988). Uudistusalan turvemätäissä hydrofobia tarkoittaa käytännössä sitä, että pintaosiltaan kuivuneiden ja ”kuolettuneiden” mättäiden uudelleen kostuminen edellyttää hyvin pitkäaikaisia sateita. Osin hydrofobisuuden vuoksi turpeen kosteusvaihtelussa voidaan havaita ns. hystereesi-ilmiö, jossa turpeen vedenpidätyskyky riippuu huokostilavuuden lisäksi siitä, onko turve kuivumassa vai kostumassa uudelleen (Schwärzel ym. 2002, Anlauf ym. 2012). Kuivuvassa turpeessa vesi on voimakkaammin sitoutunutta kuin samaan vesipitoisuuteen uudelleen kostuvassa turpeessa. Tämän vuoksi aiemmin jo kuivunut ja sateissa hieman lisäkosteutta saanut turvemätäs kuivuu herkästi uudelleen seuraavien kuivien sääjaksojen aikana.

Sekä luontaisen uudistamisen että kylvön osuudet ovat kumpikin olleet 2000-luvulla noin viidesosa metsänuudistamisen vuotuisesta kokonaispinta-alasta (Juntunen & Herrala-Ylinen 2012). Turvemaiden uudistamisessa kummankin uudistamismenetelmän osuudet tulevat todennäköisesti olemaan varsin suuret varsinkin varpu- ja puolukkaturvekankailla. Siten tarvitaan lisätietämystä turvemaille ominaisen vesitalouden

vaikutuksista siemensyntyisen taimettumisen onnistumiseen. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää turpeen kosteusvaihteluiden vaikutuksia männyn siementen itämiseen ja taimien varhaiskehitykseen kaivurimätästyksessä ja -laikutuksessa. Laikkujen kosteutta kuvaava muuttuja oli turvemaan vedenpinnan syvyys laikun pinnasta mitattuna. Jatkossa puhutaan turvemaan vedenpinnasta ja sen syvyydestä, joista yleisesti käytetään nimityksiä pohjavedenpinta ja pohjavedenpinnan syvyys. Tarkemmin ottaen kyse on pohjavedenpinnan ja maanpinnan välistä etäisyydestä (Päivänen 2007). Mättäiden kosteutta kuvattiin turpeen tilavuusperusteisella vesipitoisuudella. Kummassakin tapauksessa oletettiin, että kosteuden vaikutus syntyvien taimien lukumäärään ja varhaiskehitykseen riippuu kasvukauden sääoloista (sateinen vs. kuiva kasvukausi) sekä muokkausjäljen maa-aineksen laadusta.

Kolme neljäsosaa kaikista kylvöistä tehdään nykyään koneellisesti, jolloin siemenet jäävät luontaisen siemennyksen tapaan suoraan muokauspinnalle ilman peittämistä. Tämän vuoksi koejärjestelyissä siemenet kylvettiin vapaasti pudottaen ja konekylvöä simuloiden. Tutkimustulosten ajateltiin olevan sovellettavissa käytännön kylvökohteisiin sekä kuvaavan myös luontaisen uudistamisen kohteilla vallitsevia taimettumisen ja kosteusolojen välisiä riippuvuuksia.

Aineisto ja sen käsittely

Koekentät ja koejärjestelyt

Koekenttien sijainti

Tutkimuksen aineisto kerättiin kahdelta Pirkanmaan pohjoisosassa sijaitsevalta koekentältä, joista Haukilamminnevan koe sijaitsee Parkanon Karttiperän kylässä (N/lat: 62° 0' 48.373", E/lon: 23° 15' 34.555") ja Uudenkydön koe Parkanon Laholuoman kylässä (N/lat: 62° 0' 57.89", E/lon: 22° 43' 28.201"). Samoilta koekentiltä on tehty myös vuosittain toistetut kasvillisuuden peittävyysmittaukset (Saarinen ym. 2009).

Haukilamminnevan koe (Koe 1)

Vuonna 1912 ojitetulla suolla sijaitseva koe oli kasvupaikaltaan pääosin varsinaisesta sararämeestä kehittyntä puolukkaturvekangasta (Ptkg II, Laine ym. 2012). Mäntyvaltainen mänty-koi-vusekapuusto (noin 180 m³/ha) hakattiin avohakuuna 1995. Kokeen pinta-ala oli 7,2 ha viiteen lohkokseen jaettuna. Jokainen lohko ositettiin kahteen osaruutuun arvottavia muokkausikäsitellyjä varten, jotka olivat mätästys tai kaivurilaikutus. Muokkaus tehtiin syksyllä 1996. Keväällä 1997 sijoitettiin sekä mätäille että laikkuihin systemaattisesti (joka kolmas mätäs tai laikku) 0,25 m²:n kokoiset näytealaympyrät. Tutkimukseen poimittuja näytealaympyrät tuli yhteensä 250 ja -laikkuja 240 siten, että jokaiseen lohkokseen tuli 30–60 näytealaa.

Uudenkydön koe (Koe 2)

Koekenttä 2 sijaitsee 1950-luvulla ojitetulla suolla. Sen kasvillisuus vaihteli varsinaisesta sararämeestä kehittyneestä puolukkaturvekankaasta (Ptkg II) ruohoisen sararämeen kuivatuksen tuloksena syntyneeseen mustikkaturvekankaaseen (Mtkg II). Osa varsinaisen sararämeen kasvivyhdyskunnista oli jäänyt rahkasammalvaltaiseksi muuttumaksi ja osa kehittyntä karhunsammalturvekankaaksi (Kstkg, Laine ym. 2012). Koekentälle tehtiin tammikuussa 1998 n. kuuden hehtaarin päätehakkuu (siemenpuuhakkuu) jättämällä siemenpuut 5–10 puun ryhmiin. Hakkuu tehtiin yhdensuuntaisilla 20 m:n välein linjatuilla korjuu-urilla. Kaksi rinnakkaista korjuukaistaa muodosti lohkon, jossa kumpaankin kaistaan arvottiin muokkausikäsitellynä joko laikutus tai mätästys. Näin muodostettuja eri mittaisia muokkauksen osaruutuihin (kaistoihin) jaettuja lohkoja oli kaikkiaan seitsemän. Maanmuokkaus tehtiin syksyllä 1998.

Muokkauksen jäljiltä syntyneille täysin kasvi- peitteettömille laikku- ja mätäspinoille asetettiin systemaattisesti (joka kolmas mätäs tai laikku) 0,5 m²:n kokoiset näytealaneliöt. Kokeesta 1 poiketen jaettiin laikut seuraaviin muokkauspinnan ominaisuutta kuvaaviin luokkiin:

1 = ”Turvelaikku”. Turvekankaan karike/kangassammalpinnaan tehty turvepinainen laikku,

jossa kasvillisuuden lisäksi turvekankaan raakahumus kokonaisuudessaan poistettu ja raakahumuksen alapuolinen maaton turve paljastettu.

2 = ”Raakahumuslaikku”. Turvekankaan karike/kangassammalpinnaan tehty raakahumuspinainen laikku, jossa vain kasvillisuus ja enintään osa raakahumuksesta poistettu.

3 = ”Karhunsammallaikku”. Karhunsammal- kasvustoon tehty laikku. Elävä kasvusto poistettu. Laikkupinta muodostuu karhunsammalen kuoleista maatumattomista kasvinosista.

4 = ”Rahkasammallaikku”. Rahkasammal- kasvustoon tehty laikku. Elävä kasvusto poistettu. Laikkupinta muodostuu rahkasammalen kuoleista maatumattomista kasvinosista.

Jokaiseen kokeen 2 lohkokseen sijoitettiin lohko- kaistan piteuden mukaan 15–31 näytealalaikkuja tai -mätästä. Kokeella seurattiin taimettumista yhteensä 150 laikkupinnalla ja 148 mätäspinnalla. Molemmilla kokeilla mätäiden lakiosia ja laikkujen reunoja levennettiin tarpeen mukaan heti konetyön jälkeen siten, että näytealaneliö edusti koko pinta-alaltaan mahdollisimman yhtenäistä muokkausjälkeä.

Näytealojen kylvöt

Kummankin kokeen näytealoilla pyrittiin itämisen mahdollisimman tarkkaan seurantaan ja samalla konekylvöä jäljittelevään kylvöön siten, että etukäteen pieniin kylvöpusseihin lasketut 50 männyn siementä (Sv. 200 Hiirola, A3, M29-92-003, itävyys 97 % 1996) kylvettiin näytealoille ”vapaasti pudottaen” ilman peittämistä ja koskematta näytealan pintaan. Kukin näyteala jaettiin neljänneksiin, joihin siemenet kylvettiin kolmena peräkkäisenä vuotena toukokuun lopussa. Kukin vuoden kylvöneljänneksestä seuraava vielä tyhjänä oleva neljännes toimi luontaisen siemensadon kontrollineljänneksenä sirkkaimia luettaessa. Kukin vuonna ennen kylvöä edellisenä kesänä kontrollina toiminut neljännes puhdistettiin mahdollisista luontaisesti syntyneistä sirkkaimista.

Mittaukset

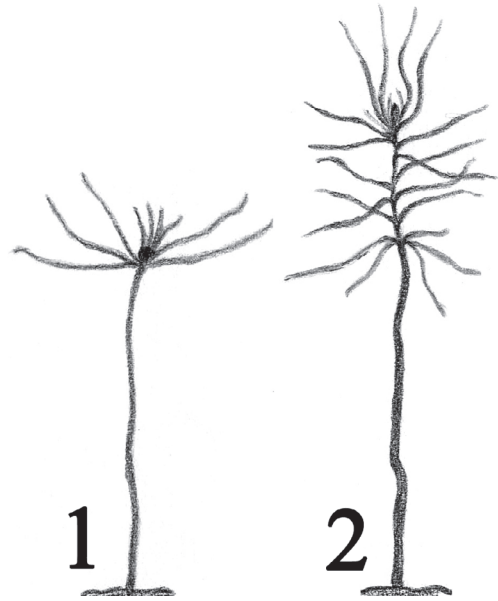
Kylvöalat inventoitiin vuosittain: kokeessa 1 viitenä ja kokeessa 2 kolmena vuotena. Inventoinnit tehtiin kasvukauden lopussa syyskuun aikana.

Tällöin kaikki elävät sirkkataimet laskettiin ja luokiteltiin sirkkasilmun (*plumula*) puhkeamisen ja primääriverson kasvun mukaan. Ensimmäisessä luokassa sirkkasilmusta oli puhjennut varhaisneulasruusuke mutta selkeää primääriversoa ei vielä voitu havaita. Sirkkataimi saattoi usein jäädä juromaan tähän vaiheeseen vielä seuraavaankin kasvukauden aikana. Toisessa luokassa oli selvästi erotettava pääverso lähtenyt kasvuun (kuva 1).

Viimeisen seurantak kasvukauden lopussa taimista mitattiin vuosittaiset pituuskasvut kaksi ensimmäistä vuotta yhdistäen. Ensimmäisen kasvukauden aikana kehittyneitä sirkkataimia ei siis mitattu, vaan pituuden mittausta aloitettiin vasta sitten kun taimiin oli kehittynyt selvästi havaittava primääriverso.

Turvemaan vedenpinnan syvyyden vaihtelua mitattiin aluksi (1997 ja 1998) satunnaisesti muutaman kerran kasvukauden aikana ja myöhemmin (1999–2001) viikoittain. Kummallakin koekentällä asennettiin kaikkien laikkunäytealojen keskelle muoviputket turvemaan vedenpinnan syvyyden vaihtelun seuranta varten. Mätäissä kasvualustan kosteusvaihtelua mitattiin niiden 3 cm:n pintakerroksen tilavuuspohjaisena vesipitoisuutena (veden tilavuuden suhteellinen osuus maanäytteen kokonaistilavuudesta). Mittauksessa käytettiin Delta-T:n ML2x-ThetaProbe anturia (www.delta-t.co.uk), jonka toiminta perustuu sähkömagneettisen impulssiin ja maan vesipitoisuuden mukaan vaihtelevan maan impedanssin mittaamiseen. Perinteisestä TDR-mittauksesta poiketen laite on suunniteltu siten, että sen neljäpiikkinen anturiyksikkö mittaa maan tilavuuspohjaisen vesipitoisuuden piikkien pituuden (6 cm) ja uloimpien piikkien muodostaman kehän (läpimitta 2,5 cm) mukaisesti määräytyvästä sylinterin muotoisesta tilasta. Jokaiseen mätääseen tehtiin pieni pystysuora leikkauspinta, jonka yläosasta anturipiikit työnnettiin vaakasuoraan mätään pinnanmyötäisesti sen 3 cm pintakerroksen keskelle. Leikkauspinta peitettiin jokaisen mittauksen jälkeen ja avattiin samasta kohdasta seuraavaa mittausta varten mitattavan pintaturpeen säilyessä koko ajan häiriintymättömänä. Kosteusmittaukset tehtiin viikottain kesä-heinäkuun aikana vuosina 2000 ja 2001.

Mittalaite oli kalibroitu erikseen kivennäismaata ja orgaanista maata varten. Koska



Kuva 1. Sirkkataimien laskennassa sovellettu kehitysvaiheiluokitus (selostettu tarkemmin tekstissä).

Fig. 1. Classification of developmental phases applied in seedling survey.

kokeen 2 mätäävät olivat osin joko pelkästään turpeesta tai kivennäismaasta muodostuneita sekä osittain myös näiden eriaisteisia sekoitteita, tehtiin kosteusmittaus aluksi kaikista mätäistä kummallakin kalibraatiolla. Koska kahdella eri kalibrointiasetuksella saatujen lukemien poikkeama korreloi voimakkaasti maanäyteistä analysoidun orgaanisen aineksen osuuden kanssa, laadittiin muunnoskaava, jolla jatkossa pelkästään orgaanisella kalibraatioasetuksella mitatut lukemat muunnettiin orgaanisen aineksen osuudesta riippumattomiksi kosteuspitoisuuksiksi.

Kummankin kasvukauden kosteusmittausten kuivimmasta havainnosta laskettua keskiarvoa (tekstissä ja kuvissa myöhemmin ”kuivakosteus”) käytettiin vertailuarvona arvioitaessa sitä, kuinka voimakkaasti mätäävät voivat kuivua sateettoman sääjakson aikana. Vastaavasti loppukesän sateiden aikaansaaman kosteustason ja kuivimman kosteuden erotusta (tekstissä ja kuvissa myöhemmin ”kosteuslisäys”) käytettiin vertailuarvona mätäiden pintakerroksen uudelleen kostuvuudesta. Kyseiset vuonna 2000 ja 2001 mitatut kosteusarvot

eivät siis kerro mitään kylvövuosien 1997–1999 kosteusoloista. Sen sijaan niiden avulla pyrittiin erottelemaan mättäitä 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).

Kokeella 2 mättäistä määritettiin kosteusvaihtelun lisäksi orgaanisen aineksen osuus, maatuneisuus ja turvelaji. Määritykset tehtiin mättään 3 cm:n pintaturvekerrosta edustavista tilavuustarkoista näytteistä, jotka otettiin 3 cm:n pituisella ja 10 cm:n läpimittaisella terässylinterillä yksi näyte jokaisesta mättäistä. Orgaanisen aineksen osuus saatiin hehkuttamalla näytteet 550 asteen lämpötilassa ja laskemalla hehkutushävikki (orgaanisen kuivapainon osuus kokonaiskuivapainosta). Ennen hehkutusta määritettiin samoista näytteistä turvelaji ja maatuneisuus silmävaraisesti käyttämällä maatuneisuuden luokittelussa von Postin asteikkaa (von Post 1922). Mättäiden kosteusvaihteluun ja laikuissa olevaan turpeen vedenpinnan syvyyteen olennaisesti vaikuttavien säätekijöiden mittaamiseksi kummallekin koekentälle oli asennettu automaattiset tiedonkeruulaitteet, jotka tallensivat vuorokausikohtaiset lämpötilamaksimit, -minimit ja -keskiarvot sekä sadesummat.

Aineiston käsittely

Toistettujen mittausten aineistorakenne ja vastemuuttujien jakaumat

Taimitehyttä selittävien mallien vastemuuttujana oli taimien kappalemäärä näytealalla. Kappalemääräisen vasteen mallittamisessa sovellettiin yleistettyä lineaarista sekamallia, jossa käytetään linkkifunktiota vasteen odotusarvon ja selittävien tekijöiden välillä (esim. Littell ym. 1996).

Malli voidaan kirjoittaa muotoon

$$g(\mu_{ijk}) = \sum_{i=1, j=1}^{n \cdot p} \beta_j x_j + \sum_{k=1}^m Z_k u(v)_k$$

jossa

g = linkkifunktio, joka Poisson-jakauman kysessä ollessa on logaritmfunktio.

$\beta_j x_j$ = sisältää mallin estimoitavat parametrit, vakion ja kiinteät selittäjät, kuten toistotekijä (mittausvuosi), vedenpinnan syvyyshavainnot ja turpeen kosteushavainnot.

$Zu(v)_k$ = sisältää mallin satunnaistekijät eli lohkotekijän ja näytealan (lohkon sisällä). Saman näytealan eri vuosina saadut havainnot olivat keskenään korreloituneita. Tämän vuoksi käytettiin ensimmäisen asteen autoregressiivistä kovarianssirakennetta AR(1) oletuksena määritettäessä näytealojen jäännösvaihtelun riippuvuutta peräkkäisten mittaussajankohtien välillä.

Taimien määrän jakauma oli vasemmalle vino, sillä tyhjät tai hyvin vähän taimia sisältävät näytealat olivat runsaslukuisimpia, kun taas suurimpien taimimäärien havaintofrekvenssit lähestyivät nolaa. Taimettomien laikkujen tai mättäiden osuus vaihteli eri kylvövuosina, mutta jäi alle 50 % vuosittain mitatuista laikuista ja mättäistä (vaihteluvälit koe 1 1–48 % ja koe 2 0–38 %), joten nollahavainnot eivät muodostuneet ongelmaksi mallinnuksen yhteydessä. Aineiston mallinnuksessa kappalemääräisen taimilukuvasteen ennustevirheiden oletettiin noudattavan Poisson-jakaumaa, jossa ylihajontaparametrin oletetaan olevan 1, jolloin odotusarvo ja varianssi ovat yhtäsuuret:

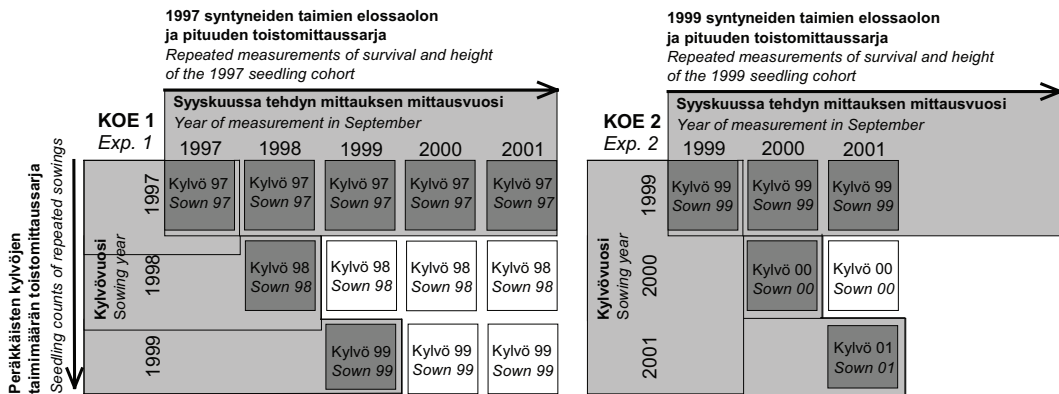
$$y_{ij} \sim Poi(\mu_{(ij)k})$$

$$E(y_{(ij)k}) = \mu_{(ij)k} = Var(y_{(ij)k})$$

$\mu_{(ij)k}$ = taimien lukumäärähavainnon $y_{(ij)}$ k :n odotusarvo näytealalla i , käsittelylohkossa j , vuonna k .

Aineiston sisältämä toistettujen mittausten rakenne oli kaksiulotteinen (kuva 2). Kolmena peräkkäisenä kylvövuotena syntyneiden sirkkataimien määrä riippui kasvukausien sääoloista. Näin saatiin eri vuosina samalta näytealalta lasketun kylvötuloshavainnon muodostama toistomittausarja. Ensimmäisenä kylvövuotena syntyneiden taimien selviytymistä ja pituuden kehitystä seurattiin myös kylvövuoden jälkeisinä vuosina. Samoista taimista vuosittain tehdyt mittaukset muodostivat puolestaan toisen mittaussarjan.

Myös jatkuvien vastemuuttujien, taimien pituus ja pituuskasvu, jakaumat olivat vasemmalle



Kuva 2. Aineiston kaksisuuntainen toistettujen mittausten rakenne. Kummallakin kokeella kaikkien kolmen kylvövuoden (kokeella 1 vuodet 1997–1999 ja kokeella 2 vuodet 1999–2001) taimet on laskettu ensimmäisen kasvukautensa lopussa. Näitä kuvan pystysuuntaisia havaintosarjoja kutsutaan peräkkäisten kylvöjen taimimääräksi. Kuvan vaakasuuntaisessa havaintosarjassa kuvataan kummankin kokeen vanhimpien taimien elossaoloa ja pituutta joko viiden (koe 1) tai kolmen (koe 2) vuoden seurantajakson ajan.

Fig. 2. Two-way structure of repeated measures data. Seedlings of all three sowing years (years 1997–1999 in experiment 1 and years 1999–2001 in experiment 2) were measured at the end of their first growing season. The vertical arrow indicates data concerning the number of seedlings after consecutive sowings. The horizontal arrow indicates the repeated measures data on survival and height growth of the oldest seedling cohort in each experiment (those sown in 1997 in experiment 1 and in 1999 in experiment 2).

vinoja. Siksi pituuskehitykseen vaikuttavien tekijöiden tarkastelussa sovellettiin mallia, jossa vastemuuttujan jakaumaoletuksena oli Poisson-jakauman sijasta gammajakauma:

$$y_{ij} \sim \text{Gamma}(\mu_{(ij)k})$$

$$E(y_{(ij)k}) = \mu_{(ij)k}$$

$$\text{Var}(y_{(ij)k}) = \mu_{(ij)k}^2$$

Malli voidaan kirjoittaa samaan tapaan kuin edellä. Myös gammajakaumassa käytettiin logaritmista linkkifunktiota. Kaikissa analyyseissä käytettiin SAS ohjelmistopakettin Glimmix-proseduuria (SAS Institute 2002).

Kosteuden kasvukautista vaihtelua kuvaavat muuttujat

Turvemaan vedenpinnan syvyyden vaihtelun vaikutuksen testaamisessa ensisijaisiksi taimettumistulosta selittäviksi tekijöiksi valittiin

kylvöhetken vedenpinta, koko seurantajakson vedenpinnan mediaanisyyvyys ja se korkein taso, jolle vedenpinta nousee heinä- ja elokuun aikana (vrt. Pelkonen 1979). Eniten oltiin kiinnostuneita siitä, miten kylvöhetken vedenpinnan tai koko seurantajakson mediaanivedenpinnan syvyys vaikuttaa taimitiheyteen riippuen loppukesän vedenpinnan syvyydestä.

Kylvöhetken vedenpinta ja sen yhdysvaikutus loppukesän korkeimman vedenpinnan kanssa otettiin testattavaksi tarkasteltaessa peräkkäisinä keväinä kylvetyistä siemenistä syntyneiden sirkkataimien määrää kylvövuotensa syksyllä (peräkkäisten kylvöjen taimimäärät kuvassa 2). Tutkittaessa vedenpinnan syvyyden vaikutusta tietystä siemenerästä syntyneiden sirkkataimien (taimikohortin) menestymiseen ja kasvuun syntyyvuotta seuranneina kasvukausina (elossaolon ja pituuskehityksen havaintosarjat kuvassa 2) testattiin koko seurantajakson vedenpinnan mediaanisyyvyyden ja loppukesän korkeimman vedenpinnan syvyyden yhdysvaikutusta. Kummallakin kokeella testattiin myös sitä, miten nämä

eri vedenpintojen syvyyksien väliset yhdysvaikutukset riippuvat kasvukaudesta, ja kokeella 2 lisäksi sitä, miten ne riippuvat myös laikkupinnan kasvijäännöskoostumuksesta ja raakahumuskerrostuman esiintymisestä.

Mättäillä testattiin sitä, miten kuivumisen vaikutus taimien määrään kasvukauden loputtua riippuu pintaturpeen kyvystä imeä uutta kosteutta loppukesän sateista. Ilmiötä tarkasteltiin sara- ja rahkavaltaisilla turpeilla sekä erilaisilla turpeen ja kivennäismaan sekoitusasteilla korkeudeltaan vaihtelevissa mättäissä.

Tulokset

Kasvukausien välinen vaihtelu

Sekä mättäiden että laikkujen taimettuminen riippui kylvövuoden lämpö- ja sadantaoloista. Kylvöt ajoituivat kahteen kolmen vuoden jaksoon (koe 1 vuosina 1997–1999 ja koe 2 vuosina 1999–2001). Niistä ensimmäisessä oli pitkän aikavälin (1960–2011) keskiarvoon verrattuna kaksi tavallista lämpimämpää vuotta, joista toinen oli sadannan osalta keskiarvoa vastaava vuosi (1997) ja toinen poikkeuksellisen kuiva (1999). Kolmas (1998) oli sekä kylmä että sateinen. Toisen kokeen kylvöt osuivat keskiarvoiseen vuoteen (2001) ja edellä mainittuun lämpimään ja kuivaan kasvukauteen (1999). Kolmas kasvukausi oli viileä ja kuiva (2000).

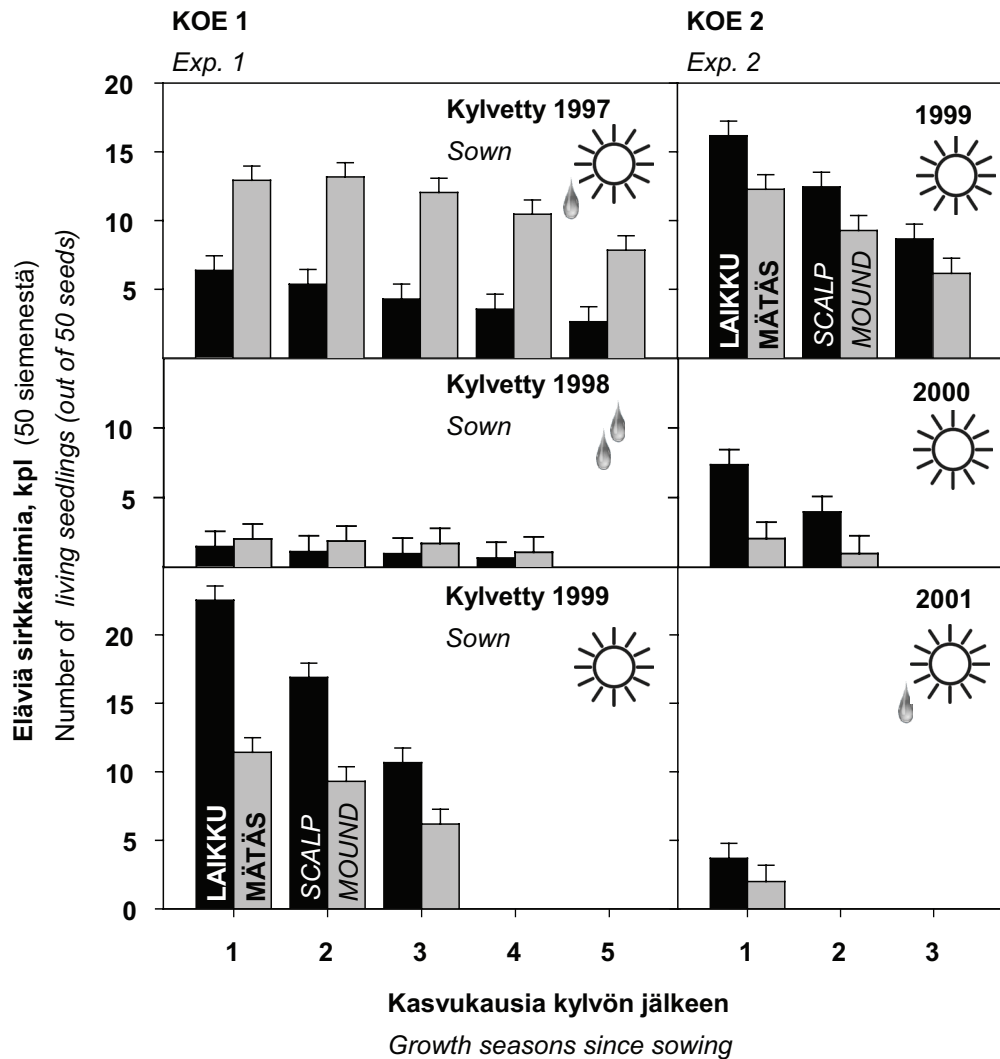
Lämpimän ja kuivan kasvukauden (kuva 3, kylvö 1999, kasvukausi 1) samoin kuin viileän ja kuivan kasvukauden (kuva 3, kylvö 2000, kasvukausi 1) lopussa oli eläviä sirkkataimia huomattavasti enemmän laikuissa kuin mättäissä. Lämpimän mutta keskimääräisen sadannan kasvukautena taimia oli puolestaan kaksinkerroin enemmän mättäissä kuin laikuissa (kuva 3, kylvö 1997, kasvukausi 1). Toisena sadannan suhteen keskimääräisenä kasvukautena 2001 kävi päinvastoin, joskin viileän alkukesän vuoksi taimimäärät jäivät hyvin pieniksi samoin kuin muokkausten väliset erotkin. Sama koski kaikkein kylmintä ja sateisinta kasvukautta (1998), jolloin taimia syntyi hyvin vähän niin mättäille kuin laikkuihinkin.

Samalla tavoin kuin laikkujen ja mättäiden väliset erot taimimäärissä riippuivat sääoloista, myös laikuissa vallitsevan turvemaan vedenpinnan syvyyden vaikutukset taimettumiseen riippuivat siitä, minkälaisen kasvukauden aikana taimet syntyivät ja kehittyivät. Myös pintaturpeen kosteuden, tiheyden, orgaanisen aineksen osuuden ja turvelajin vaikutukset mättäiden taimimääriin riippuivat kasvukausien välisestä sääolojen vaihtelusta. Seuraavassa käsitellään tarkemmin näitä laikkujen ja mättäiden sisäistä vaihtelua aiheuttaneita kasvupaikkatekijöitä sekä niiden välisiä yhdysvaikutuksia.

Turvemaan vedenpinnan syvyyden vaikutus taimettumiseen kaivurilaikuissa

Ensimmäisen kasvukauden itämistulos

Kummallekin kokeelle oli yhteistä kylvöhetken vedenpinnan syvyyden vaikutus sirkkataimien syntyyn samoin kuin vaikutuksen riippuvuus loppukesän vedenpinnasta. Yhteistä oli myös tämän eri ajankohtina mitattujen vedenpintojen välisen yhdysvaikutuksen riippuvuus kylvövuodesta. Yhdysvaikutus oli kummallakin kokeella merkitsevä vain kuivan ja lämpimän kasvukauden (1999) aikana. Kokeella 1 kyseinen vuosi oli ainoa, jonka aikana useissa laikuissa turvemaan vedenpinta oli loppukesällä syvemmillä kuin kylvöhetkellä. Tuolloin kokeen 1 turvepintaolosissa laikuissa kylvöhetken vedenpinnan kohoaminen lisäsi taimien määrää varsinkin jos loppukesän ylin vedenpinta pysyi yli 10 cm syvyydellä. Taimimäärät olivat suurimmillaan, jos kylvöhetkellä vedenpinta oli 10–20 cm:n syvyydellä ja samalla loppukesän vedenpinta vähintään 25–30 cm syvyydellä (kuva 4, kylvö 1999). Keskimääräistä kasvukauden sadantaa edustavana kylvövuotena sirkkataimia syntyi vajaa kolmannes kuivaan ja lämpimään vuoteen verrattuna (kuva 4, kylvö 1997). Kylvöhetken vedenpinnan syvyyden vaikutus jäi vähäiseksi. Tämä johtui etupäässä heinä-elokuun sadejaksosta, jonka aikana tuhoutui huomattava osa sirkkataimista. Tuon ajankohdan korkein vedenpinta siis vaikutti syvällä olutta kylvöhetken vedenpintaa enemmän pienehkön taimimäärän vähäiseen vaihteluun. Taimia syntyi eniten niissä laikuissa, joissa loppukesän ylin vedenpinta oli

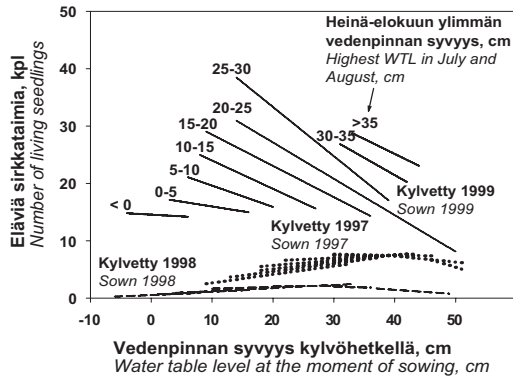


Kuva 3. Laikkujen ja mättäiden taimimäärien keskiarvot ja keskiarvon keskivirheet kaikkien taimikohorttien syntyvuoden syksyllä sekä seurantajaksojen aikana. Kuvan symbolit:

= Sademääriltään keskimääräinen kasvukausi, = keskimääräistä sateisempi kasvukausi ja = keskimääräistä kuivempi kasvukausi.

Fig. 3. Means and standard errors of seedling counts from scalps and mounds for all seedling cohorts in the autumn after emergence and throughout the monitoring periods. Symbols in the figure:

= Growing season characterized by average rainfall, = season with higher than average rainfall and = season with less than average rainfall.



Kuva 4. Kylvöhetkellä vallinneen turvemaan vedenpinnan (liitetaulukossa SowWTL) ja heinä-elokuun ylimmän vedenpinnan (MaxWTL) syvyyden vaikutukset elävien sirkkataimien lukumäärään kolmen eri kylvövuoden (Year) lopussa kokeella 1. Kuva on piirretty liitetaulukossa esitetyn mallin odotusarvoista.

Fig. 4. Effects of the peat water table level (WTL) prevailing at the time of sowing (SowWTL in appendix table) and the highest WTL in late summer (MaxWTL) on the number of living seedlings at the conclusion of three different sowing years (Year) in experiment 1. The graph has been drawn based on the expected values of the model presented in the appendix table.

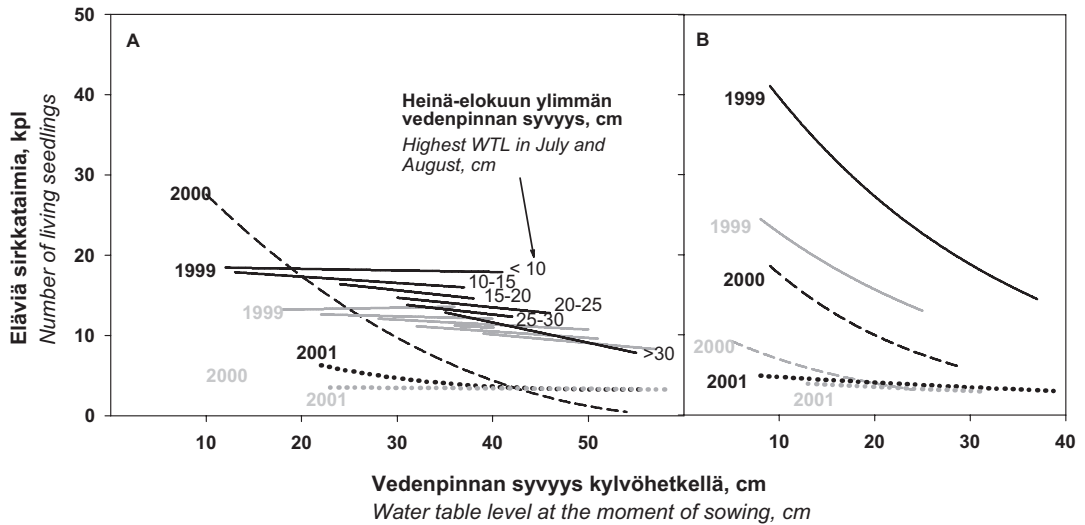
vähintään noin 25 cm:n syvyydellä. Tasaisesti koko kasvukauden ajan sateisena pysyneen kesän taimettumistulos oli kaikkein huonoin ilman että vedenpintojen syvyydellä vaihtelulla olisi ollut mitään merkitystä (kuva 4, kylvö 1998). Puolet laikuista jäi kokonaan ilman sirkkataimia ja parhaimmillaankin taimien lukumäärä oli vain noin 20 % kylvettyjen siementen määrästä.

Kokeella 2 kylvöhetken vedenpinnan ja loppukesän korkeimman vedenpinnan yhdysvaikutus oli luonteeltaan erilainen, sillä kylvöhetken vedenpinnan kohoamisen lisäksi myös loppukesän vedenpinnan kohoaminen lisäsi taimettumista (kuva 5, kylvö 1999). Tämä johtui siitä, että kokeesta 1 poiketen vedenpinta oli kylvöhetkellä aina loppukesän vedenpintaa syvemmällä. Tämän vuoksi itämisen kannalta kosteimmat olot ilmenivät useimmissa laikuissa vasta heinäkuussa kuivan alkukesän jälkeen. Mitä syvemmällä kylvöhetken vedenpinta oli, sitä voimakkaammin loppukesän vedenpinnan nousu lisäsi taimimääriä.

Kuivan kesän aikana kylvöhetken ja loppukesän vedenpintojen yhdysvaikutus riippui myös laikkupinnan kasvijäännöskoostumuksesta. Vedenpinnan syvyyden vaikutus oli heikompi niissä laikuissa, joihin oli jäänyt raakahumuskerrosta turpeen päälle. Kun vedenpinnat olivat syvimmillään, raakahumus- ja turvepintaisten laikkujen taimimäärät olivat samaa suuruusluokkaa. Kylvöhetken vedenpinnan ollessa ylempänä kuin 30 cm syvyydellä, raakahumuslaikkujen taimimäärät jäivät noin neljänneksen pienemmiksi kuin raakahumuksen alta kokonaan paljastuneilla turvepinoilla (kuva 5, kylvö 1999). Suurimmillaan raakahumus- ja turvepintalaikkujen välinen ero oli kuivana ja viileänä kesänä, jolloin turvepinoille syntyi nelinkertainen määrä taimia kylvöhetken vedenpinnan ollessa 10–20 cm syvyydellä (kuva 5, kylvö 2000). Rahkasammalpinnoille tehdyissä laikuissa taimimäärät olivat suurimmillaan kuivana ja lämpimänä vuonna kaikkein korkeimmilla kylvöhetken vedenpinoilla (kuva 5B, kylvö 1999). Sama koski karhunsammalkasvustoihin tehtyjä laikkuja mutta taimia oli enintään kaksi kolmanesta rahkasammallaikkujen taimimääristä.

Myöhempien kasvukausien kuolleisuus

Kummallakin koekentällä seurattiin kolmen kasvukauden ajan sirkkataimia, jotka syntyivät runsaimman taimimäärän tuottaneen lämpimimmän ja kuivimman kesän (1999) kylvöstä. Kaikkien elävien sirkkataimien kokonaismäärä oli seurantajakson lopussa pudonnut noin puoleen (kuva 6). Kummallakin kokeella taimimäärät olivat kolmessa vuodessa pudonneet sitä enemmän, mitä pienempi oli seurantajakson vedenpinnan mediaanisyyvyys. Erityisen voimakkaasti se näkyi kokeella 1 (kuva 6A), jonka laikuissa loppukesän vedenpinta nousi usein alle 10 cm:n syvyydelle. Samalla näkyi myös vedenpinnan mediaanisyyvyden ja ylimmän vedenpinnan syvyyden yhdysvaikutus. Kuolleisuus oli pienintä kun vedenpinnan mediaanisyyvyys oli noin 30 cm sillä edellytyksellä että ylin vedenpinta loppukesien aikana ei noussut ylemmäksi kuin 20 cm. Kun vedenpinnan mediaani oli tätä syvyyttä ylempänä, kuolleiden taimien määrä riippui etenkin ylimmän vedenpinnan syvyydestä ja taimikato oli sitä suurempi, mitä korkeammalle vedenpinta nousi loppukesän aikana.



Kuva 5. Kylvöhetkellä vallinneen turvemaan vedenpinnan (liitetaulukossa SowWTL) ja heinä-elokuun ylimmän vedenpinnan (MaxWTL) syvyyden sekä laikun pinnan ominaisuuksien (Sb) vaikutukset elävien sirkkataimien lukumäärään kolmen eri kylvövuoden (Year) lopussa kokeella 2. Kaikki elävät sirkkataimet turvepintaisissa ja raakahumuspintaisissa laikuissa osakuvassa A ja rahkasammalpintoihin sekä karhunsammalpintoihin tehdyissä laikuissa osakuvassa B. Osakuvassa A on turvepintaisille laikuille syntyneet taimet esitetty tummalla viivoituksella ja raakahumuspintaisille syntyneet taimet harmaalla. Kuvassa B on rahkasammalpintoihin tehdyt laikut esitetty tummalla ja karhunsammalpintaisille tehdyt harmaalla viivalla. Kuvat piirretty liitetaulukossa esitetyn mallin odotusarvoista.

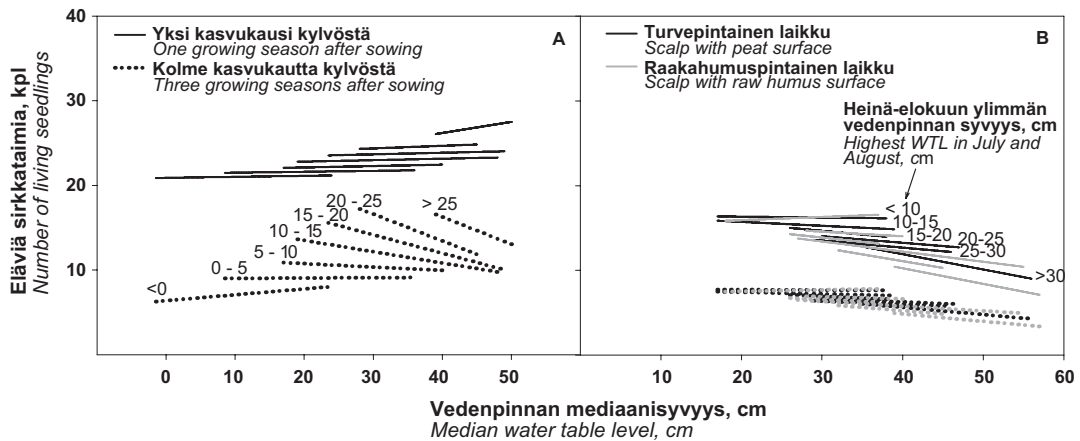
Fig. 5. Effects of the prevailing peat water table level at the time of sowing (SowWTL in appendix table) and the highest water table level in late summer (MaxWTL) as well as scalp surface properties (Sb) on the number of living seedlings at the conclusion of three different sowing years (Year) in experiment 2. The total number of living seedlings in scalps characterized by a peat or raw humus surface are presented in 5A and those in scalps having a Sphagnum or Polytrichum moss surface in 5B. In 5A, seedlings which have emerged in peat-surfaced scalps are presented with a black line and those in raw humus-surfaced scalps with a gray one. In 5B, Sphagnum scalps are indicated with a black line and Polytrichum scalps with a gray one. The graphs have been drawn based on the expected values of the model presented in the appendix table.

Taimien pituuden kehitys

Vedenpinnan syvyyden vaikutus pituuskehitykseen poikkesi huomattavasti sen vaikutuksesta siementen itämiseen ja sirkkataimien syntyyn kummallakin koekentällä. Jo ensimmäisen kasvukauden aikana tämä näkyi tarkasteltaessa taimien syntyä ja varhaiskehitystä pelkästään niiden sirkkataimien osalta, jotka tuottivat primääriverson jo kylvövuoden aikana. Kaikkina vuosina näitä jo kylvövuotena kasvuun lähteneitä taimia oli eniten kuivimmissa laikuissa eli suurimmilla kylvöhetken vedenpinnan syvyyksillä. Lisäksi kylvöhetken vedenpinnan syvenemisen primääriversotaimia lisäävä vaikutus riippui voimakkaasti loppukesän vedenpinnan syvyydestä. Jos loppukesän ylin vedenpinta nousi alle 10 cm:n syvyydelle, ei primääriversoja juurikaan

kehittynyt. Taimien juurtuminen ja kasvuunlähtö edellytti siis selvästi syvemmällä olevaa vedenpintaa kuin itämistapahtuma.

Viiden (koe 1) ja kolmen (koe 2) kasvukauden jälkeen mitatut vanhimman taimikohortin taimien pituudet olivat suurimmillaan laikuissa, joissa koko seurantajakson vedenpinnan mediaanisyyvyys oli 30–40 cm. Tämä edellytti yli 10 cm:n syvyydellä ollutta loppukesän vedenpintaa (kuva 7A ja 8A). Vedenpinnan mediaanisyyvyyden ja loppukesän vedenpinnan syvyyksien yhdysvaikutus ilmeni kuitenkin eri tavoin eri kokeilla. Kokeella 1 loppukesän syvällä olevan vedenpinnan merkitys korostui sitä enemmän, mitä pienempi vedenpinnan mediaanisyyvyys oli (kuva 7A). Jos mediaanisyyvyys oli pienempi kuin 30 cm, loppukesän vedenpinnan syvenemisen positiivinen vaikutus



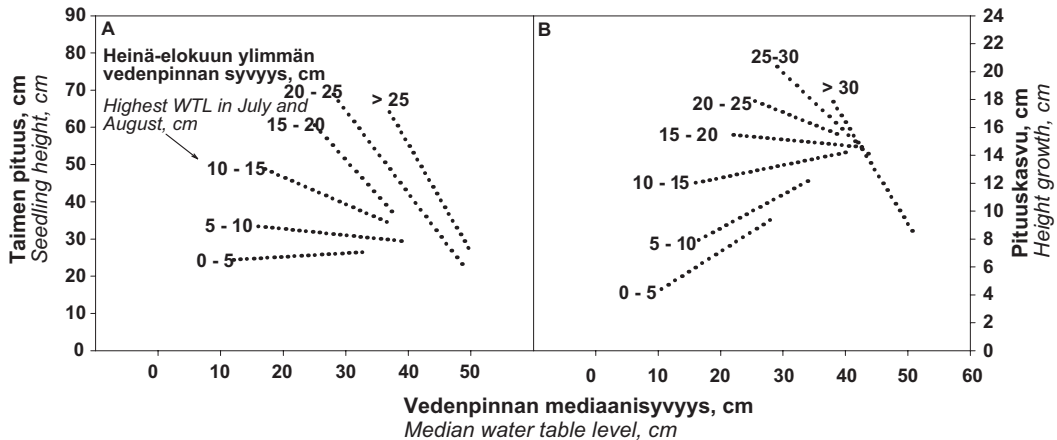
Kuva 6. Kolmen kasvukauden vedenpinnan mediaanisyyvyyden (liitetaulukossa MedWTL) ja mittausjakson kasvukausien heinä-elokuun ylimmän vedenpinnan (MaxWTL) syvyyden vaikutukset kaikkien elävien ja samaan taimikohorttiin (kylvövuosi 1999) kuuluvien sirkkataimien lukumäärään ensimmäisen ja kolmannen kasvukauden (Year) lopussa kokeella 1 (A) ja kokeella 2 (B). Kuva piirretty liitetaulukossa esitetyn mallin odotusarvoista.

Fig. 6. Effects of the median water table level over three growing seasons (MedWTL in appendix table) and the highest water table level occurring in late summer (MaxWTL) during the measurement period on the total number of living seedlings belonging to the same cohort (sowing year 1999) at the end of the first and third growing seasons (Year) in experiment 1 (6A) and experiment 2 (6B). The graphs have been drawn based on the expected values of the model presented in the appendix table.

tuli voimakkaasti esiin. Kokeella 2 ylimmän vedenpinnan syvyyden vaikutus oli päinvastainen (kuva 8A). Tämä johtui siitä että kokeella 2 oli vain vähän niitä näytealoja, joilla loppukesän ylin vedenpinta kohosi kriittiselle alle 10 cm:n syvyydelle, ja niiltäkin taimet olivat jo ennen pituusmittausta kuolleet. Loppukesän vedenpinnan haitallisinta vaikutusta ei siis saatu esiin tässä pituuskehityksen tarkastelussa. Kokeesta 1 poiketen tuolle enintään 10 cm:n tasolle yltävän ylimmän vedenpinnan kohoaminen lisäsi pituutta ja sitä voimakkaammin, mitä suurempi vedenpinnan mediaanisyyvyys oli (kuva 8A). Toisaalta kun laikku oli loppukesän aikana erityisen kuiva (loppukesän ylin vedenpinta syvemmällä kuin 35 cm), vedenpinnan mediaanisyyvyyden lisääntymisen positiivinen vaikutus pituuteen alkoi heikentyä. Kun laikun pinnassa oli lisäksi jäljellä osa alkuperäisestä raakahumuskerrostumasta, mediaanivedenpinnan syvenemisen pituutta lisäävä vaikutus muuttui kokeen 1 tapaan pituutta pienentäväksi.

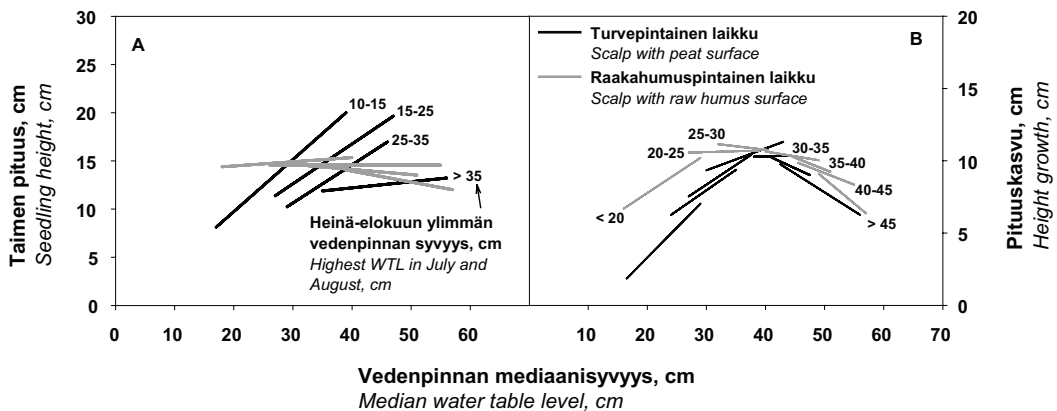
Edellisen kasvukauden vedenpinnan syvyyden vaikutus pituuskasvuun

Turvemaan vedenpinnan syvyyden ja taimien pituuskehityksen riippuvuus ilmeni voimakkaimmillaan, kun vuotuisen pituuskasvun riippuvuutta selitettiin edellisen kasvukauden vedenpinnan syvyyden vaihteluilla (kuvat 7B ja 8B). Vanhimmalla taimikohortin (viisi vuotta kokeella 1 ja kolme vuotta kokeella 2) viimeisimmän kasvaimen pituus kertoi kokonaispituutta selvemmin, kuinka edellisen kasvukauden loppukesän korkealla oleva vedenpinta alkaa yhä voimakkaammin heikentää pituuskasvua taimien koon kasvaessa. Kummallekin kokeelle oli ominaista, että loppukesän ylimmän vedenpinnan ollessa tietyn rajan yläpuolella, mediaanivedenpinnan syveneminen lisäsi pituuskasvua, ja ylimmän vedenpinnan ollessa kyseistä rajaa syvemmällä mediaanivedenpinnan syveneminen puolestaan heikensi kasvua. Tuo raja-arvo oli kokeella 1 noin 20 cm:n syvyydellä ja kokeella 2 vastaavasti noin 35 cm:n syvyydellä.



Kuva 7. Viiden kasvukauden vedenpinnan mediaanisyyvyyden (liitetaulukossa MedWTL) ja mittausjakson ylimmän heinä-elokuun aikaisen vedenpinnan (MaxWTL) syvyyden vaikutukset vuoden 1997 taimikohortin taimien pituuteen viidennen kasvukauden (Year) lopussa kokeella 1 kuvassa A. Lisäksi viidennen kasvukauden (2001) pituuskasvun riippuvuus edellisen kasvukauden vedenpinnan mediaanisyyvyydestä ja saman kasvukauden loppukesän ylimmästä vedenpinnasta kuvassa B. Kuvat piirretty liitetaulukossa esitetyn mallin odotusarvoista.

Fig. 7. Effects of the median water table level over five growing seasons (MedWTL in appendix table) and the highest water table level occurring in late summer (MaxWTL) during the measurement period on total height of the 1997 seedling cohort at the end of the fifth growing season (Year) in experiment 1 (7A). In 7B, the dependence of height growth during the fifth growing season (2001) on the median water table level of the previous growing season and the highest level in late summer of the same growing season is presented. The graphs have been drawn based on the expected values of the model presented in the appendix table.



Kuva 8. Kolmen kasvukauden vedenpinnan mediaanisyyvyyden (liitetaulukossa MedWTL) ja mittausjakson ylimmän heinä-elokuun aikaisen vedenpinnan (MaxWTL) syvyyden sekä laikun pinnan ominaisuuksien (Sb) vaikutukset vuoden 1999 taimikohortin taimien pituuteen kolmannen kasvukauden (Year) lopussa kokeella 2 kuvassa A. Lisäksi kolmannen kasvukauden pituuskasvun riippuvuus edellisen kasvukauden vedenpinnan mediaanisyyvyydestä ja saman kasvukauden heinä-elokuun ylimmästä vedenpinnasta eri laikkupinnoilla kuvassa B. Kuvat piirretty liitetaulukossa esitetyn mallin odotusarvoista.

Fig. 8. Effects of the median water table level over three growing seasons (MedWTL in appendix table) and the highest water table level occurring in late summer (MaxWTL) during the measurement period as well as scalp surface properties on total height of the 1999 seedling cohort at the end of the third growing season (Year) in experiment 2 (8A). In 8B, the dependence of height growth during the third growing season on the median water table level of the previous growing season and the highest level in late summer of the same growing season in peat- or raw humus-surfaced scalps is presented. The graphs have been drawn based on the expected values of the model presented in the appendix table.

Pituuskasvu oli kokeella 1 suurimmillaan 30 cm:n ja kokeella 2 noin 40 cm:n mediaanivedenpinnan syvyyksillä, mikäli ylimmän vedenpinnan syvyys pysyi edellä mainituissa raja-arvoissa. Koska korkealle nousevia loppukesän vedenpintoja esiintyi vain kokeella 1, vedenpinnan mediaanisyyvyyden ja ylimmän vedenpinnan syvyyksien yhdysvaikutuksen luonne poikkesi tässäkin tapauksessa kokeesta 2. Se ilmenee kuvan 7B suoraparven voimakkaan viuhkamaisesta muodosta, jonka mukaisesti alle 40 cm:n mediaanivedenpinnan syvyyksillä kasvu määräytyi voimakkaasti sen mukaan, kuinka korkealle vedenpinta loppukesällä nousi. Mikäli vedenpinnan mediaanisyyvyys oli suurempi, haitallisia ylimmän vedenpinnan syvyyksiä ei enää esiintynyt, ja kasvu määräytyi vedenpinnan mediaanisyyvyyden mukaan.

Pintaturpeen kosteusvaihteluiden vaikutus taimettumiseen

Ensimmäisen kasvukauden itämistulos turvemättäillä

Kummallakin kokeella mättäiden pintaturpeen kuivumista ja uudelleen kostumista kuvaavien tunnusten yhdysvaikutus tuli esiin erityisesti vähäsateisen ja lämpimän kasvukauden 1999 aikana (kuvat 9A ja 10A, kylvä 1999). Taimien lukumäärä oli sitä suurempi, mitä korkeampi oli pintaturpeen kuivumisherkkyyttä kuvaava kuivakosteuden vertailuarvo (vuosien 2000 ja 2001 kuivimpina ajankohtina mitattu pintaturpeen alimpien kosteuspitoisuuksien keskiarvo). Kuivakosteuden lisääntyminen nosti taimimäärää sitä voimakkaammin, mitä suurempi oli loppukesän sateiden tuoma ja turpeen hydrofobisuutta kuvaava kosteuslisäys. Sama yhdysvaikutus näkyi myös kasvukausina 1998, 2000 ja 2001. Näinä kasvukausina taimettumistulokset olivat kuitenkin kokonaisuudessaan huonot (alle 10 % kylvetyistä siemenistä), joten taimien kappalemääräiset erot kosteusarvojen suhteen jäivät hyvin pieniksi. Sääoloiltaan keskimääräinen kasvukausi 1997 oli ainoa, jonka aikana kuivakosteuden ja kosteuslisäyksen yhdysvaikutusta ei esiintynyt (kuva 9A, kylvä 1997).

Taimien pituuskehitys turvemättäillä

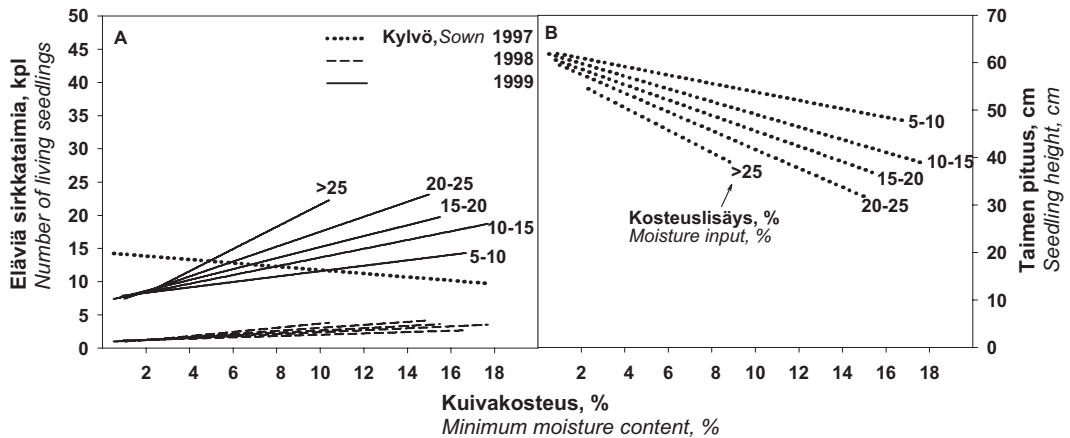
Taimien pituuskehityksen riippuvuus mättään kosteusominaisuuksista oli päinvastainen verrattuna taimimäärään eli niissä mättäissä, joihin oli syntynyt eniten taimia, taimet kasvoivat huonoimmin ja päinvastoin. Mitä suurempi kuivakosteus oli, sitä lyhyemmiksi taimet jäivät erityisesti niissä mättäissä, joissa kosteuslisäys oli suurin (kuvat 9B ja 10B). Tämä kuivakosteuden ja kosteuslisäyksen yhdysvaikutus riippui ajasta. Se ilmeni kokeella 1 vasta neljännessä kylvöä seuranneesta kasvukaudesta alkaen.

Koekentällä 2 mitattiin kosteuspitoisuuksien lisäksi myös kasvualustan maa-aineksen tiheys ja määritettiin turvelaji. Niitä analysoimalla voitiin todeta, että kuivakosteus oli korkeimmillaan orgaanisen ainesosuuden eli turpeen osuuden kasvaessa ja pienimmillä kasvualustan tiheysarvoilla (kuva 11). Kuivakosteus ja sen myötä taimimäärä oli näin ollen pienimmillään ja samalla pituus suurimmillaan niillä turvemättäillä, joilla turpeen kuiva-ainetiheys oli suurin (kuva 12B).

Kivennäismaasekoituksen ja turvelajin vaikutus itämistulokseen ja taimien pituuden kehitykseen

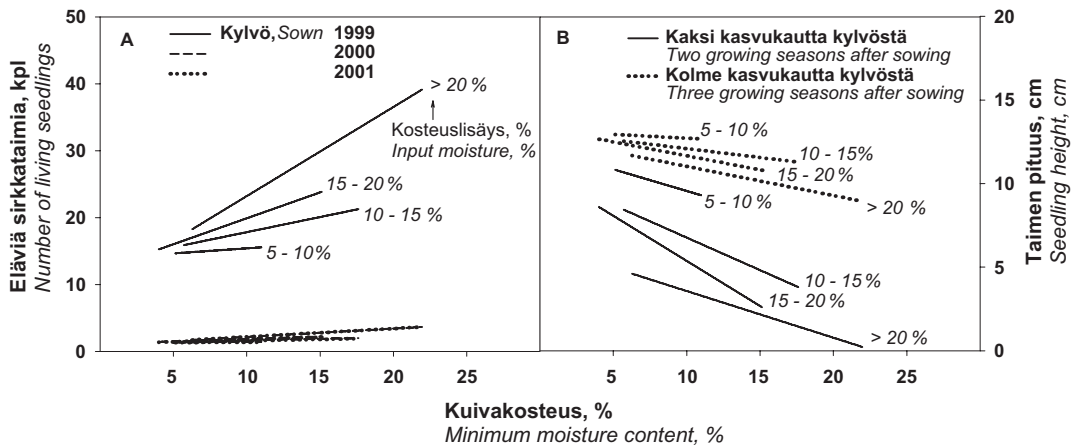
Kokeella 2 turvepaksuus vaihteli, jolloin mättäisiin sekoittui vaihteleva määrä kivennäismaata, joka oli pääosin karkeaa hiekkaa. Kivennäismaan määrään lisääntyminen eli mättään maa-aineksen orgaanisen osuuden (%) pieneneminen vähensi kylvön jälkeisen ensimmäisen kasvukauden lopun taimimäärää kuivimpana kylvövuotena (kuva 12A, kylvä 1999). Valtaosin karkeasta kivennäismaasta muodostuneissa mättäissä myös kuivakosteus oli alhaisimmillaan (kuva 11).

Pelkästään turpeesta tehdyissä mättäissä turvelaji vaikutti mättäiden taimettumistulokseen yhdessä turpeen tiheyden kanssa (kuva 13A). Mitä suurempi oli saraturpeen osuus, sitä voimakkaammin tiheyden lisääntyminen pienensi sirkkataimien määrää. Rahkavaltaisilla turpeilla taimettumisessa ei ollut eroja tiheyden suhteen. Sen sijaan rahkavaltaisilla turpeilla taimien kuolleisuus oli kolmen kasvukauden jälkeen mitattuna selvästi suurempi kuin pelkillä saraturpeilla. Taimien pituus oli suurimmillaan maatuneimmilla saraturpeilla erojen ilmaantuessa kokeella 2 vasta



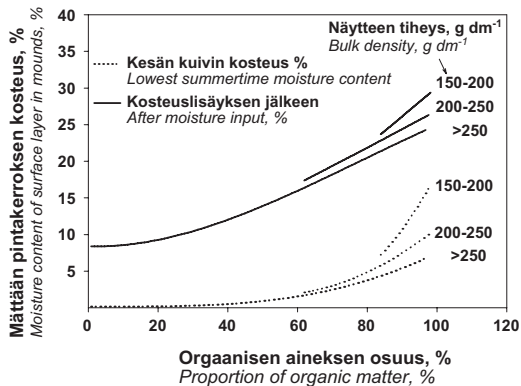
Kuva 9. Kaikkien elävien sirkkaimien kappalemäärän riippuvuus mättään pintakerroksen kuivakosteudesta (liitetaulukossa DrM eli kosteus mittauskesän kuivimmalla hetkellä) ja kosteuslisäyksestä (AdM) kolmen eri kylvövuoden (Year) lopussa kokeella 1 kuvassa A. Taimien pituuden riippuvuus samoista tekijöistä viidennen kasvukauden jälkeen kuvassa B. Kuvat piirretty liitetaulukossa esitetyn mallin odotusarvoista.

Fig. 9. Dependence of the total number of living seedlings on the minimum moisture content (i.e., soil moisture at the driest juncture of the reference summer; DrM in appendix table) and moisture input (AdM) in the surface layer of mounds at the end of three different sowing years (Year) in experiment 1 (9A). The dependence of seedling height on the same two factors after fifth growing season is presented in 9B. The graphs have been drawn based on the expected values of the model presented in the appendix table.



Kuva 10. Kaikkien elävien sirkkaimien kappalemäärän riippuvuus mättään pintakerroksen kuivakosteudesta (liitetaulukossa DrM eli kosteus vertailukesän kuivimmalla hetkellä) ja kosteuslisäyksestä (AdM) kolmen eri kylvövuoden (Year) lopussa kokeella 2 kuvassa A. Taimien pituuden riippuvuus samoista tekijöistä toisen ja kolmannen kasvukauden jälkeen kuvassa B. Kuvat piirretty liitetaulukossa esitetyn mallin odotusarvoista.

Fig. 10. Dependence of the total number of living seedlings on the minimum moisture content (i.e., soil moisture at the driest juncture of the reference summer; DrM in appendix table) and moisture input (AdM) in the surface layer of mounds at the end of three different sowing years (Year) in experiment 2 (10A). The dependence of seedling height on the same two factors after the second and third growing seasons is presented in 10B. The graphs have been drawn based on the expected values of the model presented in the appendix table.



Kuva 11. Mittään pintakerroksen kosteuden riippuvuus orgaanisen aineksen osuudesta (liitetaulukossa Org) ja maanäytteen tiheydestä (BDen) kokeella 2 kesän kuivimmalla hetkellä (Time) sekä myöhemmin loppukesän sateiden jälkeen. Kuva piirretty liitetaulukossa esitetyn mallin odotusarvoista.

Fig. 11. Dependence of moisture content in the surface layer of mounds on the proportion of organic material (Org in appendix table) and bulk density (BDen) of the soil sample in experiment 2 at the driest juncture of the summer (Time) as well as after abundant rainfall in late summer. The graph has been drawn based on the expected values of the model presented in the appendix table.

kolmannen kasvukauden aikana (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 maatuoneella saraturpeella.

Tulosten tarkastelu

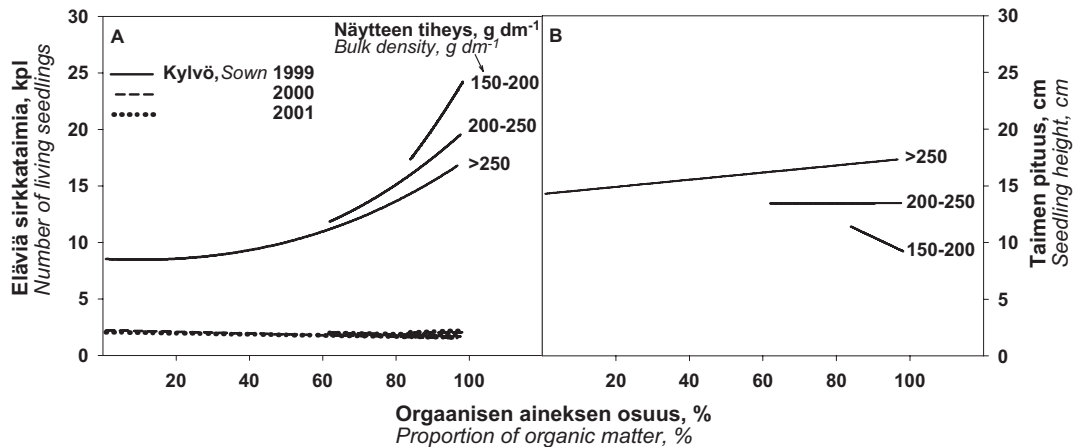
Turvemaan vedenpinnan syvyys ja taimettuminen

Kasvukauden eri ajankohtien vedenpintojen syvyyksien yhdysvaikutusten tarkastelu osoitti, kuinka vedenpinta voidaan alkukesän aikana pitää varsin korkealla ja samalla edistää taimien syntyä, mikäli se loppukesällä laskee riittävän alas eli käytännössä vähintään noin 25 cm:n syvyydelle. Se, miten eri ajankohtien vedenpintojen syvyyksien vaikutukset taimettumiseen

riippuvat toisistaan, vaihtelee kuitenkin suuresti kasvukauden sääoloista riippuen. Turvemaan vedenpinnan syvyys voi ajallisesti vaihdella varsin paljon riippuen siitä, miten sateet ajoittuvat saman kasvukauden aikana (esim. Straková ym. 2012). Kylvöhetken ja loppukesän vedenpintojen syvyyksien yhdysvaikutus itämiseen ja sirkkataimien kehitykseen ilmenee kahdella eri tavalla riippuen juuri tuosta sateiden ja sen myötä turvemaan vedenpinnan syvyysvaihtelun ajallisesta jakautumisesta. Kylvöhetkellä korkealla oleva vedenpinta edistää itämistä, jolloin sirkkataimia syntyy nopeasti, mikäli lämpöolot ovat itämisen kannalta suotuisat. Laikkuun jo alkukesän aikana juurtuneet sirkkataimet vaativat selviytyäkseen loppukesällä riittävän syvälle vajonnutta vedenpintaa. Toisaalta, jos lämpimän ja kuivan alkukesän vedenpinta on syvällä, jää voimakkaan haihdunnan vaikutuksesta osa siemenistä itämättä ja sirkkataimien syntymisen ajankohta siirtyy osittain heinäkuun puolelle. Tällöin korkealla olevan loppukesän vedenpinnan rooli syksyllä mitattavien elävien sirkkataimien määrää vähentävänä tekijänä muuttuu päinvastaiseksi vedenpinnan nousun edistäessä myöhemmin tapahtuvaa itämistä. Tässä tapauksessa loppukesän vedenpinnan syvyyden positiivinen vaikutus riippuu alkukesän vedenpinnan vaihtelusta eli siitä, ovatko siemenet itäneet jo heti alkukesästä vai onko osa siemenistä itämättöminä yhä jäljellä itääkseen vasta loppukesän korkealla olevan vedenpinnan vaikutuksesta.

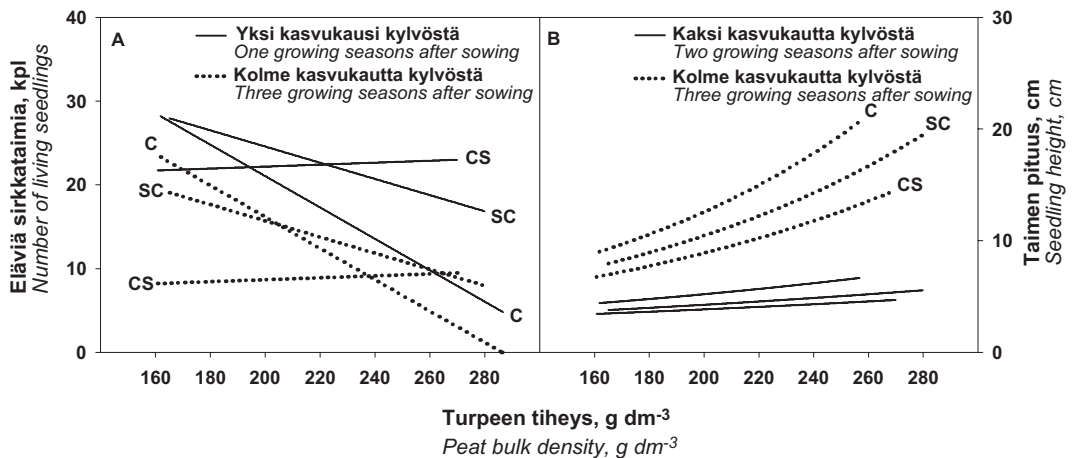
Turvemaan vedenpinnan syvyys ja taimien kasvu

Eri ajankohtina vaikuttaneiden vedenpintojen syvyyksien yhdysvaikutukset johtuvat siemenen itämisen ja toisaalta sirkkataimen alkukehityksen erilaisista kosteusvaatimuksista (Mannerkoski 1985). Loppukesän vedenpinnan syvyyden vaihtelun vaikutus korostuukin hieman eri tavoin, kun taimettumistapahtumaa tarkastellaan siementen itämisen ja sirkkataimien syntymisen sijasta niiden kasvuun lähtemisen näkökulmasta. Turvemaan vedenpinnan syvyydellä näyttää olevan oma optiminsa toisaalta siemenen itämisen (sirkkataimien määrä) ja toisaalta jo syntyneen taimen kasvun kannalta. Itämiselle edullisin vedenpinta



Kuva 12. Kaikkien elävien sirkkaimien kappalemäärän riippuvuus mättään pintakerroksen orgaanisen aineksen osuudesta (liitetaulukossa Org) ja maanäytteen tiheydestä (BDen) kolmen eri kylvövuoden (Year) lopussa kokeella 2 kuvassa A. Taimien pituuden riippuvuus samoista tekijöistä kolmannen kasvukauden jälkeen kuvassa B. Kuvat piirretty liitetaulukossa esitetyn mallin odotusarvoista.

Fig. 12. Dependence of the total number of living seedlings on the proportion of organic material (Org in appendix table) and bulk density (BDen) of the soil surface layer in mounds at the end of three different sowing years (Year) in experiment 2 (12A). The dependence of seedling height on the same two factors after the third growing season is presented in 12B. The graphs have been drawn based on the expected values of the model presented in the appendix table.



Kuva 13. Samaan taimikohorttiin kuuluvien kaikkien elävien sirkkaimien kappalemäärän riippuvuus pelkästä turpeesta tehdyn mättään pintakerroksen maanäytteen tiheydestä (liitetaulukossa BDen) ja turvelajista (Peat; C = saraturve, SC = rahka-saraturve, CS = sara-rahkaturve) yhden ja kolmen kasvukauden (Year) jälkeen kokeella 2 kuvassa A. Taimien pituuden riippuvuus samoista tekijöistä kahden ja kolmen kasvukauden jälkeen kuvassa B. Kuvat piirretty liitetaulukossa esitetyn mallin odotusarvoista.

Fig. 13. Dependence of the total number of living seedlings representing the same cohort on bulk density (BDen in appendix table) and peat type (Peat; C = carex-peat, SC = sphagnum-carex-peat, CS = carex-sphagnum-peat) of the surface layer in peat mounds after the first and third growing seasons (Year) in experiment 2 (13A). The dependence of seedling height on the same two factors after the second and third growing seasons is displayed in 13B. The graphs have been drawn based on the expected values of the model presented in the appendix table.

voi varsinkin voimakkaissa haihduntaoloissa olla huomattavasti korkeammalla kuin mitä se on sirkkasilmusta puhkeavan primääriverson kasvun kannalta. Vedenpinnan syvyyden merkitys korostuu koko ajan taimien varttuessa. Siinäkin tilanteessa, jossa kuivan alkukesän jälkeen loppukesän vedenpinnan kohoaminen lisää taimien syntymistä, se muodostuu taimien vuotuiskasvua hidastavaksi tekijäksi jo kolmannen kasvukauden kuluessa.

Raakahumus vaikuttaa laikon kosteuteen

Mikäli laikon pintaan jää lehti- ja neulas- sekä seinä- ja kynsisammalkarikkeista muodostunutta raakahumusta, se näyttää hidastavan kapillaarikosteuden nousunopeutta. Tästä syystä turvemaan vedenpintojen syvyyden vaikutus heikkenee paljaaseen turvepintaan verrattuna, jolloin taimien syntyminen on vähäisempää ainakin kuivien kasvukausien aikana. Toisaalta raakahumus voi korkeimpien vedenpintojen vallitessa vähentää liiallisen kosteuden kasvua hidastavaa vaikutusta ainakin ensimmäisten kasvukausien aikana.

Pintaturpeen kosteusvaihtelun vaikutus mättään taimettumiseen

Mättäiden pintakerrosten kosteusmittaukset tehtiin vasta tutkimuksen kahden viimeisimmän kasvukauden aikana. Näin ollen ne osuivat kuvaamaan todellisia sirkkataimien syntymisen kosteusoloja ainoastaan kokeella 2 kahtena viimeisimpänä kylvökesänä. Tutkimuksessa oletettiin, että yksittäisten mättäiden väliset suhteelliset erot kuivumisherkkyiden ja uudelleen kostuvuuden suhteen pysyisivät samanlaisina sääoloiltaan erilaisina vuosina. Tämä oletus näytti osuvan oikeaan ainakin seurantajakson kuivimman kasvukauden aikana. Kuivumisherkkyyttä ja uudelleen kostuvuutta kuvaamaan tarkoitetut tunnuksot selittivät tuolloin hyvin mättäiden välistä taimimäärien vaihtelua. Vaikka itse kylvöhetken kosteuden vaikutus jäi selvittämättä, niin mättään pintakerroksen kuivumisen myöhemmin kasvukauden aikana voitiin osoittaa vaikuttaneen kasvukauden lopussa inventoituun taimettumistulokseen. Mikäli kuivan vuoden sinänsä vähäiset sateet ajoittuivat loppukesään, korostui mättäiden

kuivumisherkkyiden lisäksi myös niiden kyky kostua uudelleen heinä- ja elokuussa saaduista sateista. Tämän vuoksi myös kuivumisen ja kosteuslisäyksen yhdysvaikutus tuli voimakkaasti esiin keskimääräistä kuivemman kasvukauden aikana.

Mitä kuivemmaksi mättään pintakerros alkukesän aikana kuivui, sitä vähemmän myöhemmällä kosteuslisällä oli taimettumista lisäävää vaikutusta. Vaikka moni siemen lähti itämään kylvöhetkellä vielä vallinneen kosteuden vaikutuksesta, osa sirkkataimista kuoli myöhemmin kaikkein voimakkaimmin kuivuneilla mättäillä, koska sirkkajuuren ja sirkkavarren kehittymisen ajoittui kuivaan jaksoon. Tämän jälkeen ei loppukesällä lisääntynyt kosteus enää jälki-itämisestäkään huolimatta pystynyt olennaisesti parantamaan myöhemmin syksyllä mitattua taimettumisen kokonaistulosta.

Kosteuslisäyksen positiivinen vaikutus lisääntyi sitä enemmän mitä vähemmän mätäs oli ehtinyt kuivua. Niissä mättäissä, joissa pintakerroksen vedenpidätyskyky oli suurin, heti alkukesällä syntyneet sirkkataimet selvisivät paremmin kuin huonon pidätyskyvyn omaavissa ja voimakkaasti kuivuneissa mättäissä. Tästä johtuen ensimmäisen kasvukauden taimettumisen kokonaistulos jälki-itäminen mukaan lukien muodostui parhaaksi. Kuivan alkukesän jälkeen sirkkataimia syntyi loppukesän sateiden myötä lisääntyneen kosteuden vaikutuksesta vielä elokuunkin aikana, jolloin kosteuslisäyksen vaikutus syksyllä mitattuun kylvön onnistuneisuuteen oli merkitsevä.

Tässä yhteydessä on syytä myös mainita, että kylvöajankohtana touko-kesäkuun vaihteessa syksyllä tehdyt mättäät olivat jo osittain kuivuneet vähäsateisen ja lämpimän toukokuun aikana. Tämän vuoksi mättäissä oli pintakosteuden vaihtelua jo kylvöhetkellä. Vaikka mättään lakiosa tasoitettiin ennen kylvöä paljastaen samalla pinnanalaista kosteampaa turvetta, saattoi osa mättäistä olla jo kylvöhetkellä lähellä itävyyttä rajoittavaa kuivuustilaa. Vaikka osa mättäistä taimettui heti kesäkuun aikana, saattoi osa taimettua vasta heinä- ja elokuun sateiden aikana. Kosteusmittausvuosien (2000 ja 2001) aikana kesän alhaisin kosteus ("kuivakosteus") alitti molemmissa kokeissa 20 %:n vesipitoisuuden, joka maatuoneissa turpeissa usein lähestyy jo lakastumisrajaa vastaavaa vesipotentiaalia (Päivänen 1973). Koska kylvö tehtiin

luontaista siementämistä ja konekylvöä jäljitellen mättään pintaan sirottamalla, oli itäminen valtaosin ohuen pintaturpeen kosteuden varassa.

Pintaturpeen kosteusvaihtelun vaikutus taimien pituuskasvuun

Mättäiden pintakerroksen kosteusominaisuudet vaikuttivat taimien pituuskehitykseen eri tavoin kuin taimien lukumäärään. Siinä missä taimien määrä lisääntyi kuivuuden aikaisen suurimman vedenpidätyskyvyn ja kuivan jakson jälkeisten sateiden tuottaman suurimman kosteuslisäyksen suuntaan, pituuden kehitys vastaavasti taantui. Käänteistä riippuvuutta selittänee parhaiten se, että niissä mättäissä, joissa pintaturpeen kosteus rajoittaa itämistä, voi syvemmällä olevan turpeen parempi ravinteisuus edistää syntyneiden taimien kasvua. Mitä tiheämpi turve, sitä pienempi oli huokostilavuus ja sen myötä vähemmän vettä tilavuusyksikössä. Samalla vesi on voimakkaammin turpeeseen sitoutuneena eli itämistä ja sirkkataimien syntymistä ajatellen vaikeammin käytettävissä (Päivänen 1973, Weiss ym. 1998). Toisaalta tiheämpi turve on pidemmälle maatunutta, jolloin ravinteiden määrä maatilavuutta kohden on suurempi (Hartman ym. 2001). Turpeen maatuneisuuden ja typpipitoisuuden välinen positiivinen korrelaatio riippuu myös turvelajista siten, että saraturvetekijän osuuden lisääntyessä typpipitoisuus lisääntyy samalla turpeen maatuneisuuden asteella (Isotalo 1951, Vahtera 1955, Kaunisto 1987). Siten siementen itämisen ja sirkkataimien syntymisen kannalta huonoimmat maatuneen saraturpeen mättäät olivat niille myöhemmin juurtuneiden taimien kasvun kannalta parhaita kasvualustoja.

Maatuneet ja tiheät turpeet ovat pienen huokostilavuuden vuoksi kuivempia kuin vähemmän maatuneet turpeet silloin, kun puhutaan mättäiden kenttäkapasiteettia vastaavasta kosteudesta (Veihmeyer & Hendrickson 1949, Päivänen 1973). Kuivumisen myötä vesipitoisuus kuitenkin pienee tiheämmässä turpeessa hitaammin, ja tietyn rajan jälkeen huokostilavuudeltaan suurempi ja heikommin maatunut turve on kuivempaa. Tämän vuoksi tuntuu oudolta, että tutkimusaineiston pelkäästä turpeesta tehtyjen mättäiden (joissa ei ollut kivennäismaasekoitusta) tiheimmät pintaturpeet

olivat tilavuuteen suhteutetun ja kasvukauden kuivimpana hetkenä mitatun vesipitoisuuden perusteella kuivempia. Nuo kuivakosteudet olivat pääsääntöisesti niin alhaisia (alle 20 %), että vesipitoisuuksien olisi olettanut olevan korkeimmillaan tiheimmillä ja maatuneimmilla turpeilla (Päivänen 1973).

Koekentällä eri vaiheissa tehdyt havainnot kuitenkin osoittivat, kuinka erityisesti maatuneimpien 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. Tämä merkitsi sitä, että syksyllä kosteana otetun turvenäytteen tiheys olisi ollut suurempi näytteenottohetkellä kuin kuivan ajanjakson kosteusmittauksen hetkellä. Pitkälle maatunut saraturve on myös jo aiempien vähäsateisten jaksojen aikana saattanut kuivuessaan muuttua muita turvelajeja voimakkaammin vettä hylkiväksi (Berglund 1996). Tämä merkitsi sitä, että maatunut saraturve on ollut muita turvelajeja kuivempaa jo ennen kuivimman ajanjakson alkua. 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 maatuneempaa turve oli. Sama yhdysvaikutus oli nähtävissä myös ensimmäisen kesän taimettumistuloksessa siten, että saraturvetekijän osuuden lisääntyminen vähensi taimimääriä ja sitä voimakkaammin, mitä suurempi oli turpeen tiheys. Kolmen kasvukauden kuluttua parhaiten sirkkataimia tuottaneiden rahkavaltaisten mättäiden taimilukemat olivat kuitenkin pudonneet saraturpeita voimakkaammin. Syy tähän jäi selvittämättä.

Päätelmät

Kylvön ja luontaisen uudistamisen onnistuminen turvemaidella riippuu voimakkaasti sääoloista. Taimettumisen edistämiseksi valittavan muokkausmenetelmän edut ja haitat riippuvat siitä, millaiset ovat siementen itämisvaiheen ja sirkkataimien kehittymisvaiheen lämpöolot ja sademäärät sekä

niiden ajallinen vaihtelu. Sateisina ja kylminä kasvukausina taimia syntyy vähän itämisalustasta riippumatta, mutta kuivempien ja lämpimämpien kasvukausien aikana laikut ja mättäät eroavat toisistaan sen mukaan, miten sateet kasvukauden aikana ajoittuvat. Sadannan ja lämpötilan suhteen keskimääräisen kasvukauden aikana taimettumistulos on todennäköisesti parempi mättäillä kuin laikuissa. Näin on varsinkin sellaisina kasvukausina, jolloin sademäärä painottuu loppukesään. Tuolloin vedenpinta voi laikuissa nousta taimien kehittymisen kannalta liian korkealle. Keskimääräisinä kasvukausina laikkujen liian suuren kosteuden ongelma on huomattavasti todennäköisempää kuin mättäiden pintaturpeiden liiallinen kuivuminen. Laikut puolestaan ovat taimettumisen kannalta parhaita kasvualustoja kuivien kasvukausien aikana.

Kasvukausien sateisuutta ja turvemaan vedenpinnan syvyyden vaihteluita ei pystytä ennakoimaan. Tämän aineiston perusteella laikut näyttääkin mielekkäältä maanpinnan muokkausmenetelmältä vain kun sirkkataimia on mahdollista syntyä usean vuoden aikana. Siis lähinnä luontaisen uudistamisen yhteydessä. Kylvö on turvallisinta tehdä mahdollisimman pian maanmuokkauksen jälkeen vielä riittävän kosteuden säilyttäneisiin turvemättäisiin. Maatuneen saraturpeen mättäillä kylvö todennäköisesti onnistuu paremmin manuaalisena vakokylvönä kuin koneellisesti toteutettuna pintakylvönä. Kyseisille mättäille ominainen pintaturpeen kuivumisesta johtuva ongelma korostuu silloin, kun siemenet jäävät peittämättöminä turpeen pinnalle.

Luontaista uudistamista edistäväksi maanmuokkausmenetelmäksi olisi laikutuksen lisäksi syytä kehittää mätästystapoja, joissa turvemassaa ei nosteta kokonaan irti turvemaan vedenpinnan kapillaarikontaktista rikkomattomalle kasvillisuuspinnaalle kuivumaan. Yksi tähän tavoitteeseen soveltuva menetelmä voisi olla kääntömätästys, jossa kauhallinen turvetta käännetään ylösalaisin omaan kuoppaansa. Tavoitteena on tällöin muodostaa laakeita ja matalia kohoumia, joissa ei ole laikuille ominaisten pintavesikertymien ja mahdollisesti liian korkealle nousevan turvemaan vedenpinnan aiheuttamia kosteusongelmia. Paremman kapillaarikontaktin vuoksi pintaturpeen kuivumisriski myös vähenee.

Kirjallisuus

- Anlauf, R., Rehrmann, P. & Schacht, H. 2011. Simulation of water uptake and redistribution in growing media during ebb-and-flow irrigation. *Journal of Horticulture and Forestry* 4(1): 8–21.
- Berglund, K. 1996. Cultivated organic soils in Sweden: Properties and amelioration. Department of soil sciences. Reports and dissertations 28. Uppsala 1996. 39 s.
- 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.
- 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*, 268–272.
- Groot, A. & Adams, M. 1994. Direct seeding black spruce on peatlands: fifth-year results. *The Forestry Chronicle* 70(5): 585–592.
- 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* 52(2): 57–74.
- Juntunen, M. & Herrala-Ylinen, H. 2012. Metsien hoito. Teoksessa: Ylitalo, E. (toim.). *Metsätilastollinen vuosikirja 2012. Summary: Finnish statistical year book of forestry.* Metsäntutkimuslaitos. Vammalan Kirjapaino Oy, Sastamala. s. 107–150.
- 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.
- 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. Suomettien 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 turvemailla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Summary: Forest regeneration and afforestation on drained peatlands. A literature review. *Folia Forestalia* 625: 1–75.
- 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.
- 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.
- 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. 1976. 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. 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Peltonen, A. 1986. Metsien uudistaminen turvemailla kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration on peatlands in the six southernmost forestry districts of Finland. Results from inventories in 1978–1979. *Folia Forestalia* 679: 26 s.
- Päivänen, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soil. Seloste: Turpeen vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky. *Acta Forestalia Fennica* 129: 1–70.
- Päivänen, J. 1982. Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan metsäoitusalueen vesitalouteen. Summary: The effect of cutting and fertilization on the hydrology of an old forest drainage area. *Folia Forestalia* 516: 1–19.

- Päivänen, J. 1984. The effect of runoff regulation on tree growth on a forest drainage area. Proceedings 7th International Peat Congress, Dublin, June 18–23. 1984. Volume 3: 476–488.
- Päivänen, J. 2007. Suot ja suometsät — järkevän käytön perusteet. Metsäkustannus Oy, Helsinki. 368 s.
- 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.
- 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.
- Satoo, T. & Goo, M. 1954. Seed germination as affected by suction force of soil and saccharose solution. *Bulletin of the Tokio University Forests* 46: 159–168.
- Schwärzel, K., Renger, M., Sauerbrey, R. & Wesolek, G. 2002. Soil physical characteristics of peat soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165: 479–486.
- 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. In: Kļavinš (ed.). *Mires and peat*. University of Latvia Press. Riga. 158–174.
- Vaartaja, O. 1954. Factors causing mortality of tree seeds and succulent seedlings. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 62: 1–31.
- 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.
- Weiss, R., Alm, J., Laiho, R. & Laine, J. 1998. Modelling moisture retention in peat soils. *Soil Science Society of America Journal* 62: 305–313.
- Veihmeyer, F.J. & Hendrickson, A.H. 1949. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. *Soil Science* 68: 75–94.
- von Post, L. 1922. Sveriges geologiska undersöknings torvinventering och några av dess hittills vunna resultat. *Svenska Mosskultur-föreningens Tidskrift*. Volume 1: 1–27.

Liitetaulukko 1. Laadittujen tilastollisten mallien kiinteiden tekijöiden (effect) testien vapausasteet (numDf), testisuureen arvot (F) ja malleja vastaavien hypoteesien virhepäätelmien todennäköisyydet (p). Mallit on esitetty kuvakohtaisesti, sillä jokainen kuva on piirretty sitä koskevan mallin odotusarvoista. Mallin muuttujien lyhenteet on esitelty sitä koskevan kuvan kuvatekstissä.

Appendix 1. Results of fixed effects models, where numDF is the degrees of freedom, F is the test statistic with an F-distribution, and pr the respective probability for rejecting a true null hypothesis. Each model corresponds to the figure specified since every figure has been drawn based on the expected values of the given model. The abbreviations for variables appearing in each model are given in the caption of the applicable figure.

Effect	Num			Effect	Num		
	DF	F	p		DF	F	p
Kuva / Fig. 4							
MaxWTL	1	31,44	<,0001				
Year	2	49,69	<,0001				
MaxWTL*SowWTL	1	15,67	<,0001				
SowWTL*Year	3	4,05	0,0078				
MaxWTL*SowWTL*Year	2	3,08	0,0480				
Kuva / Fig. 5 A							
Sb	1	8,93	0,0035	Kuva / Fig. 5 B			
Year	2	6,03	0,0034	Sb	1	5,37	0,0248
SowWTL*MaxWTL	1	20,08	<,0001	Year*Sb	4	3,79	0,0094
SowWTL*MaxWTL*Year*Sb	5	2,80	0,0208	Year*Sb	4	3,79	0,0094
Kuva / Fig. 6 A							
Year	2	109,82	<,0001	Kuva / Fig. 6 B			
MaxWTL	1	3,98	<,0472	Year	2	80,77	<,0001
MaxWTL*Year	2	9,39	<,0001	MaxWTL*MedWTL*Year	2	4,15	0,0186
MaxWTL*MedWTL*Year	3	3,60	<,0136				
Kuva / Fig. 7 A							
Year	3	38,83	<,0001	Kuva / Fig. 7 B			
MaxWTL	1	14,85	0,0002	MedWTL	1	8,98	0,0033
MaxWTL*Year	3	2,50	0,0592	MaxWTL	1	19,10	<,0001
				MedWTL*MaxWTL	1	17,91	<,0001
				MedWTL*Year	4	3,39	0,0097
				MaxWTL*MedWTL	1	13,22	0,0004
Kuva / Fig. 8 A							
Year	1	1166,89	<,0001	Kuva / Fig. 8 B			
Sb	1	6,64	0,0118	MedWTL	1	10,22	0,0020
MedWTL*Sb	2	6,96	0,0016	MaxWTL	1	12,03	0,0009
MedWTL*MaxWTL*Sb	2	4,15	0,0193	MedWTL*MaxWTL	1	16,10	0,0001
				Sb	1	6,54	0,0125
				MedWTL*MaxWTL*Sb	1	4,13	0,0456
Kuva / Fig. 9 A							
Year	2	98,24	<,0001	Kuva / Fig. 9 B			
DrM*AdM	1	21,20	<,0001	Year	3	478,45	<,0001
DrM*AdM*Year	2	17,92	<,0001	DrM*AdM*Year	4	5,01	0,0006
Kuva / Fig. 10 A							
Year	2	91,97	<,0001	Kuva / Fig. 10 B			
DrM*AdM	1	7,26	0,0107	DrM*AdM	1	9,54	0,0040
				DrM*AdM*Year	1	37,24	<,0001
Kuva / Fig. 11							
Org	1	140,30	<,0001				
Time	1	271,26	<,0001				
Org*BDen	1	9,52	0,0025				
Org*Time	1	66,57	<,0001				
Org*BDen*Time	1	6,40	0,0147				
Kuva / Fig. 12 A							
Year	2	44,54	<,0001	Kuva / Fig. 12 B			
Org*Year	3	12,32	<,0001	Org	1	12,45	0,0007
Org*BDen	1	4,50	0,0360	Org*Bden	1	10,75	0,0015
Kuva / Fig. 13 A							
Year	1	39,91	<,0001	Kuva / Fig. 13 B			
Year*Peat	2	3,51	0,0352	BDen	1	8,65	0,0059
BDen*Peat	3	3,69	0,0215	BDen*Peat*Year	5	58,89	<,0001

Summary: Effect of soil moisture conditions on seed germination and early seedling development in prepared microsites in peatland forest regeneration areas

When regenerating forestry-drained peatlands, the unique environmental factors associated with peat soils must be considered. The most important factors influencing seed germination and early seedling development are related to soil moisture changes occurring in the peat substrate. In addition to its high water table level and capacity to retain moisture, peat repels water when dry. Hence, these properties clearly distinguish peat soils from upland, mineral soils with regards to soil moisture conditions.

In the majority of peatland forest regeneration areas, the soil is prepared mechanically with an excavator. Particularly when relying on natural regeneration, a less intensive soil preparation method aimed only at revealing the surface peat, i.e., via scalping may be applied. During excavator-based scalping on peat soils, it is crucial to avoid creating overly deep scalps. Living ground vegetation should be peeled off without disturbing the surface peat and thus discouraging the formation of water-collecting depressions.

In the process of ditch mounding, peat excavated from the drainage ditch is dropped from the digger bucket onto a vegetated, intact surface or alternatively upon harvesting residues. Consequently, capillary contact between the created peat mound is largely diminished if not being entirely cut off from the peatland water table. At the same time, mounds in the clearcut area are susceptible to desiccation due to wind and sun exposure. During extended dry periods, the outer portions of mounds dry rather quickly resulting in a several centimeters thick crust. Upon drying to a specific water content, the peat becomes water-resistant, i.e., hydrophobic, after which it rewets very slowly. In practice hydrophobicity means that the dry, crusty peat mounds in the regeneration area require long-lasting rainfall in order to become rewetted.

The aim of this study was to investigate the consequences of peat soil moisture changes occurring in prepared microsites on Scots pine seed germination and early seedling development. The experiment was carried out in two drained peatland forest regeneration areas, which both represented the *Vaccinium vitis-idaea* site type and were located in Western Finland. In examining different soil preparation alternatives, the scope was limited to excavator-made mounds and scalps. In the experimental design for testing the effects of soil moisture variation, artificial seeding was repeated in the same microsite over three consecutive but weatherwise dissimilar growing seasons.

In testing the impact of depth variation of the peat water table, the primary independent variables selected to explain seedling regeneration were water table level at the time of sowing, median water table level during the entirety of the monitoring period, and the highest level reached by the water table during July and August. Above all, we were interested in how the water table level at the time of sowing or alternatively its median depth affects seedling density depending on the distance to the water table in late summer.

Peat moisture variation in mounds was measured from their outermost 3 cm and expressed as volumetric water content, i.e., % of water relative to soil volume. These moisture measurements were made weekly during June-July in the last two growing seasons of the five-year monitoring study. The mean calculated from the lowest recorded soil moisture observations in each of the two growing seasons served as the reference value in describing the degree of desiccation in mounds. Accordingly, the difference between the moisture input due to rainfall in late summer and the minimum moisture content was used as a reference value to describe rewetting of the surface layer in mounds. These reference values were not, however, representative of the prevailing soil moisture conditions during all study years. Instead, they were applied as generalized, comparative values towards all growing seasons in order to differentiate mounds based on how easily they dry and conversely rewet after rainfall (hydrophobicity) relative to each other.

Peatland forest regeneration through artificial or natural seeding is highly susceptible to weather conditions. The benefits and drawbacks of the soil preparation method selected to promote regeneration

depend on temperature, rainfall, and their temporal variation during seed germination and seedling development. During wet and cold growing seasons, new seedlings emerge inadequately regardless of the germination substrate, but during drier and warmer ones scalps and mounds differ from one another depending on the timing of rainfall over the course of the growing season. In a growing season characterized by average rainfall and temperature, the regeneration result tends to be better in mounds than scalps. Such is the case particularly in years when rainfall is most abundant towards the end of the summer. As a consequence, the water level in scalps may rise too high at the worst possible time from the aspect of seedlings. During average growing seasons, this problematic variation in the water level of scalps is considerably more probable than excessive desiccation of the surface peat in mounds. Scalps, on the contrary, are ideal seedbeds during dry growing seasons.

In light of this study, scalping appears to be feasible only when seedlings are allowed to emerge over a period of years due to the rainfall-induced, radical fluctuation of the peat water level. In other words, when regeneration is carried out by natural means. Artificial seeding of mounds involves the least risk and should be done preferably to recently created ones. It should also be noted that the best regeneration result in mounds consisting of rather decomposed *Carex* peat may be achieved when sowing is done manually in furrows instead of mechanically on the soil surface. In such mounds, the characteristic drying of the surface peat becomes especially problematic when seeds are sown on the peat surface without covering them.

In developing suitable soil preparation techniques for natural regeneration in addition to scalping, mounding procedures which refrain from lifting the excavated peat on top of the vegetated, intact peatland surface to dry, hence disconnecting capillary water movement from below, should be emphasized. One potentially suitable method is inverted mounding, wherein the bucketful of peat is turned upside down back onto the spot from which it was excavated. The aim of this method is to create flat, low mounds, which are not susceptible to problems associated with surface water accumulation and an excessively high peat water level as encountered in scalps. Likewise, the risk of surface peat desiccation is reduced on account of the improved capillary contact of the mound exterior.

Key words: Forest regeneration, germination, peatland, soil preparation, scalping, mounding, soil moisture, groundwater table, groundwater level.

(Received 15.3.2013, Accepted 24.5.2013)

