

Puun ja ruokohelpin kuitumassan soveltuvuus metsäpuiden taimien kasvualustoiksi

**Kiteen Mato ja Multa Oy:n ja Metsäntutkimuslaitoksen
yhteisrahoitteen tutkimuksen loppuraportti**

Metla yrt-hanke 7592

28.10.2014

Juha Heiskanen
Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen yksikkö
77600 Suonenjoki

juha.heiskanen@metla.fi

Johdanto

Viime vuosina metsäpuiden taimia on tuotettu Suomessa 142-177 milj. kpl vuosittain, joista kuusen taimien osuus on yli 65 %. Taimista alle 1 % on paljasjuurisia. Suomessa metsätaimien paakkukasvualustat ovat lähes 100 %:sti vaaleaa rahkaturvetta, jota käytetään metsätaimitarhoilla vuosittain noin 17 000 m³.

Turve on yleisestikin perinteinen kasvualustamateriaali niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa. Esimerkiksi Euroopassa noin 80 % kaikista ei-avomaan kasvualustoista on turvepohjaisia. Turpeen hyvä asema kasvualustamateriaalina perustuu ennen kaikkea sen erinomaisiin fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin. Suomessa kasvualustoihin sopivaa vaaleaa kasvuturvetta riittää pitkälle tulevaisuuteen.

Ympäristökysymykset ovat herättäneet keskustelua siitä, onko turve uusiutuva vai uusiutumaton luonnonvara. Tämä on lisännyt turvesoiden suojelupaineita, joka on osaltaan heijastunut myös kasvuturpeiden käyttöön. Esimerkiksi Iso-Britannian hallinnon tavoitteena (The UK Biodiversity Action Plan - Lowland Raised Bog Habitat Action Plan, jatkohanke: UK Post-2010 Biodiversity Framework) on ollut että vuonna 2010 vähintään 90 % maanparannusaineista ja kasvualustoista ei sisältäisi turvetta.

Toisaalta kaikki maat eivät ole omavaraisia turpeen suhteen, kuten Keski- ja Etelä-Euroopan maat, jonne turpeen käyttö kasvintuotannossa keskittyy. Kasvuturpeen osto- ja kuljetuskustannukset ulkomailta lisäävät kasvintuotannon kustannuksia. Paineet turpeen käytön vähentämiseen ja muiden kasvualustamateriaalien käyttöön ovat voimistuneet näillä alueilla. Kasvuturpeen korvaamiseksi on koekäytetty kasvihuonekasvatuksessa mm. puusellukuitua ja kasvukuituja kuten ruokohelpiä (*Phalaris arundinacea* L.).

Suomessa kasvualustaksi soveltuvien tuotteiden valmistusta ja kauppaa säätelee Lannoitevalmistelaki (539/2006). Laki säätelee kasvualustan ja sen raaka-aineiden valmistusta, markkinoille saattamista, käyttöä, kuljettamista ja valmistusta omaan käyttöön. Tuotteen myymisen tai vastikkeetta luovuttamisen edellytyksenä on mm., että tuotteessa on tuoteseloste eikä se saa sisältää ihmisten, eläinten tai kasvien terveydelle haitallisia taudinaiheuttajia tai tuholaisia. Turvetta sisältävät kasvualustoille on tehty erillinen laatuohje (Kasvuturpeen ja turvepohjaisten kasvu-alustojen laatuohje 2009, Turveteollisuusliitto, Kauppapuutarhaliitto ja Viherympäristöliitto ry.).

Tässä raportissa esitetään Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) Suonenjoen yksikön ja Kiteen Mato ja Multa Oy:n (KMM Oy) yhteisrahoitteen tutkimuksen ”Puun ja ruokohelpin kuitumassan soveltuvuus metsäpuiden taimien kasvualustoiksi” tuloksia. Kokeissa tutkittiin ruokohelpin ja sellun sivutuotteena syntyneen puukuidun sekä mineraalimaan seosten (kontrollina normaali metsätaimiturve, Kekkilä White 420 F6W) soveltuvuutta kuusen paakkutaimien kasvualustaksi laboratorio- ja taimikasvatuskokein.

Aineisto ja menetelmät

Kasvualustojen fysikaaliset ja kemialliset laboratoriomääritykset

Kasvualustaseokset sekoitettiin keväällä 2014 KMM Oy:ltä toimitetuista komponenteista varovasti käsin Metlan Suonenjoen maalaboratoriossa (Taulukko 1, Kuva 1). Ruokohelpikuitu on peräisin yksityisiltä viljelijöiltä Kiteen kaupungin alueelta ja Vapo Oy:ltä, ja se on korjattu keväällä ennen kasvukauden alkua osittain roudan päältä ja paalattu suurpyöröpaaleihin (1.2 m³). Paalit on murskattu vasaramyllyllä (Haybuster, malli H-1000 pienillä erillä ja H-1130 isoilla erillä, Duratech Industries International Inc., Jamestown, ND, USA) käyttäen seulakokoa 25/35 mm ja jätetty korkeaan aumaan maatumaan muutaman kuukauden ajaksi. Puukuitu on tuotettu UPM:n Lappeenrannan tehtaalla, joka on todennäköisesti mekaanisessa hiomossa syntynyttä hiokkeen pyörrepuhdistuksen sivutuotetta (rejektikuitua). Hieta on karkeaa hietaa (kHt) Suonenjoen Lintharjusta. Turve on Kekkilän metsätaimiturvetta White 420 W F6, jota on käytetty kontrollikasvualustana.

Lisäksi kesällä 2014 KMM Oy:ltä toimitettiin alustavia tutkimuksia varten lisää kasvualustoja (Taulukko 2). Ruokohelpeeseen ja puukuituun lisättiin ennen sekoitusta peruslannoitus samoin kuin kaikkiin lisäkasvualustoihin eli 1.0 kg/m³ Kekkilän Puutarhalannoitetta (NPK 12-5-14) ja 0.4 kg/m³ dolomiittikalkkia. Turpeessa peruslannoitus on 1.0 kg/m³ Kekkilän Peruslannoitetta 6 (NPK 16-4-17) ja 1.8 kg/m³ dolomiittikalkkia.

Taulukko 1. Tutkitut kasvualustat ja niistä tässä raportissa käytetyt lyhenteet.

	Lyhenne	Kasvualusta (osuudet tilavuudesta)
1	R100	Pelkkä ruokohelpi
2	R80K20	Ruokohelpi 80 %, puukuitu 20 %
3	R75K20H5	Ruokohelpi 75 %, puukuitu 20 %, hieta 5 %
4	R95H5	Ruokohelpi 95 %, hieta 5 %
5	R97.5H2.5	Ruokohelpi 97.5 %, hieta 2.5 %
6	R90K10	Ruokohelpi 90 %, puukuitu 10 %
7	R77.5K20H2.5	Ruokohelpi 77.5 %, puukuitu 20 %, hieta 2.5 %
8	R85K10H5	Ruokohelpi 85 %, puukuitu 10 %, hieta 5 %
9	R87.5K10H2.5	Ruokohelpi 87.5 %, puukuitu 10 %, hieta 2.5 %
10	T100	Pelkkä kasvuturve F6W

Taulukko 2. Tutkitut lisäkasvualustat ja niistä tässä raportissa käytetyt lyhenteet.

	Lyhenne	Kasvualusta (osuudet tilavuudesta)
11	R32K64H4	Ruokohelpi 32 %, puukuitu 64 %, hiekka 4 %
12	R46K46H9	Ohut ruokohelpi 46 %, puukuitu 46 %, hiekka 9 %
13	R64K32H4	Ruokohelpi 64 %, puukuitu 32 %, hiekka 4 %
14	Rm100	Maatunut ruokohelpi 100 %

Kasvualustojen vedenpidätyskyky ja muut fysikaaliset ominaisuudet määritettiin Metlan Suonenjoen maalaboratoriossa aiemmin kuvattujen vakiintuneiden menetelmien mukaan (Heiskanen 1993, 1995b, Veijalainen ym. 2008, Heiskanen 2013).



Kuva 1. Tutkimuksessa käytetyt kasvualustakomponentit (vasemmalta H hieta, T turve, R ruokohelpi ja K puukuuti) (Kuva Metla/Pekka Voipio).

Kasvualustojen (ei lisäkasvualustat) kemialliset ominaisuudet määritettiin Metlan Vantaan laboratoriossa. Kokonaistyyppi ja -hiili analysoitiin seulotuista ja ilmakehävistä näytteistä käyttäen Leco CHN analysointia (Leco-1000, Leco Corp., St. Joseph, MI, USA) ja standardien ISO 10694 ja ISO 13878 mukaan. Muut totaali-ravinteet uutettiin käyttäen HNO₃-HCl-happoseoksella mikroaaltouunissa (CEM MDS 2000). Uutoksesta määritettiin ravinteet ICP-emissiospektrometrilla (iCAP 6500 Duo ICP-emission spectrometer, Thermo Scientific Ltd., Cambridge, UK) standardin ISO 11466 mukaan. pH ja johtokyky mitattiin maa-vesisuspensiosta (1:5 yön yli) laboratoriomittarilla Suomenjoen maalaboratoriossa standardien ISO 11265 ja ISO 10390 mukaan sekä suoraan taimipaakkujen puristenesteistä.

Kasvualustojen liukoiset ravinteet määritettiin 14 vrk inkuboinnin jälkeen käyttäen ammoniumasetattiuttoa (Ac-pH 4.65, sisäinen menetelmä). Metallikationit mitattiin ICP-emissiospektrometrilla (iCAP 6500 Duo ICP-emission spectrometer, Thermo Scientific Ltd., Cambridge, UK) ja typpiyhdisteet FIA-analysointia (Quikchem 8000 FIA, A83200, Lachat Instruments, Loveland, CO, USA). Kationinvaihtokapasiteetti (KVK) ja emäskyllästysaste (EKA) laskettiin seuraavasti. $KVK (cmol/kg) = Na(cmol/kg) + K(cmol/kg) + Ca(cmol/kg) + Mg(cmol/kg) + ACI_E(cmol/kg)$, jossa ACI_E on vaihtuva happamuus BaCl₂ uutoksesta. $EKA = [Na(cmol/kg) + K(cmol/kg) + Ca(cmol/kg) + Mg(cmol/kg)] / KVK$.

Puristenestee puristettiin kasvualustoista myös 14 vrk inkuboinnin jälkeen. Näytteet esikäsiteltiin ja analysoitiin ICP-emissiospektrometrilla (iCAP 6500 Duo ICP-emission spectrometer), FIA-analysointia (Quikchem 8000 FIA, A83200) sekä pH- ja johtokyky-mittarilla standardien ISO 5667-3, SFS 3021, SFS-EN 27888, SFS-EN ISO 11732, SFS-EN ISO 13395, SFS-EN ISO 11905, SFS-EN ISO 11885 mukaan.

Taimikasvatuskoe lasikasvihuoneessa keväällä

Taimiarkit (kussakin 12 kpl paakkuja, leikattu Lännen PL 81F-arkeista, BCC Oy, Säskylä) täytettiin käsin kasvualustaseoksilla 1, 2, 4, 6, 9 ja 10 eli R100, R80K20, R95H5, R90K10, R87.5K10H2.5 ja T100 (kutakin 6 arkkia = yht. 36 arkkia = 432 paakkuja). Paakkuihin kylvettiin 2 kuusen siementä paakkuun kohti 6.5.2014. Siemeniän (Kuusi EY / FIN T03-12-0402 SV 374) laboratorioitavuus (7, 10 ja 14 vrk) on 77, 97 ja 98 %. Siemenet liotettiin ilmastetussa vedessä 15 h (+15 °C valossa) ennen kylvöä itävyyden parantamiseksi.

Ilman päivälämpötilaksi lasikasvihuoneessa säädettiin 20 °C (+suora valolämpö), yö 18 °C ja jaksotukseksi 20/4 h. Keinvaloja pidettiin päivällä klo 9-15 jos luonnon valo oli alle 200 μmol/m² s (PAR); niiden säteilyteho oli 20 cm kasvuturpeen pinnasta välillä 280-400 μmol/m² s.

Sirkkataimia kasteltiin aluksi sumuttamalla arkkeja päältäpäin. Kastelu tehtiin käsikasteluna tavoitemassaan 1-2 kertaa viikossa (tavoitevesipitoisuus = 0.55 x huokostila) (Heiskanen 2013). Taimia lannoitettiin

kastelulannoituksella (Kekkilän Forest Superex, 21.9, 5.0 ja 6.0 % NPK) viikoittain 5 g/m² 5.6. alkaen eli noin 1 kk kuluttua taimien itämisestä. Taimiarkkien reunat ympäröitiin taimettomilla, turpeella täytetyillä arkeilla. Arkkien sijaintia vaihdettiin viikoittain, jotta sijainnista johtuvaa kasvun vaihtelua saataisiin vähennettyä. 21.8. puolet taimiarkeista sumutettiin noin 0.4 g/m² Mycostop-biofungisidilla (Verdera Oy, Espoo). Uusintaidätyskoe kylvettiin 22.8. kasvualustoihin, joihin oli lisätty MycoStopia.

Ennen varsinaisen kasvuseurannan aloitusta, kuolleet sirkkataimet korvattiin ylimääräisillä sirkkataimilla priklaamalla. Kokeen aikana seurattiin taimien kuolleisuutta, kasvua, arkkien massaa, kasvualustan vajaantumista (pinnan painuminen) sekä sähkönjohtavuutta suoraan paakuista (SigmaProbe, DeltaT Devices, Cambridge, UK). Paakkujen vesipitoisuus arvioitiin käyttäen hyväksi arkkien punnitusmassoja ja paakkujen tilavuusmittoja. Koe lopetettiin 1.9., jolloin mitattiin taimien pituus, läpimitta tyveltä, kuntoluokka ja neulasväri sekä osasta taimia (3 kpl/arkki) taimiositteiden massat (ks. taimimittaukset tarkemmin: Heiskanen & Rikala 2003, Veijalainen ym. 2007, Heiskanen 2013). Lisäksi testattiin neulasten klorofyllipitoisuuden mittausta (CFR = ratio of fluorescence emission at F735nm/F700nm) käyttäen klorofyllimittaria (CCM-300, Opti-Sciences Inc., Hudson, NH, USA).

Tulosten analysointi

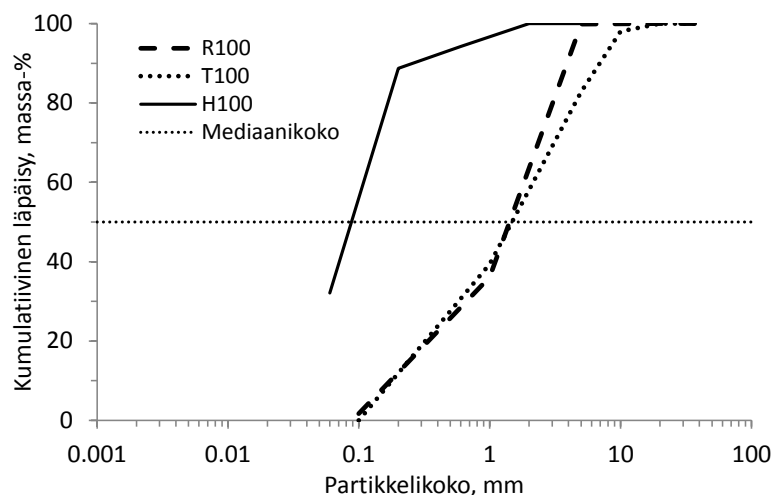
Tässä raportissa esitetään laboratorio- ja taimikasvatuskokeiden aineistosta lasketut kasvualustakohtaiset keskiarvotulokset. Tulosten varsinainen tilastollinen varianssianalyysi tehdään myöhemmin mahdollisesti julkaistavaa raporttia varten.

Tulokset

Kasvualustojen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet

Ruokohelpin ja turpeen partikkelikoon mediaani oli suhteellisen yhdenmukainen noin 1 mm. Turpeella oli kuitenkin 10 mm partikkeleita noin 17 %-yksikköä enemmän (Kuva 1). Hiedalla (kHt) mediaanikoko oli alhaisempi eli noin 0.08 mm (Kuva 1).

Orgaanisen aineksen määrä (hehkutuskevennys 550 °C) on suurin taimiturpeessa, mutta ruokohelpessä vain hieman alempi (Taulukko 3 ja 4). Hiedan ja hiekan määrä alensi orgaanisen aineksen määrää kasvualustaseoksessa (vrt. Taulukko 7). Hieta pyrki painavana aineksena voimakkaasti lajittumaan seoksessa, mikä on voinut vaikuttaa myös hehkutuskevennyksen vaihteluun näissä seoksissa. Puukuidun orgaanisen aineksen määrä on lähes yhtä suuri kuin ruokohelpin.



Kuva 1. Kasvualustakomponenttien partikkelikokojakauma (kuivaseulonta) (n=3 satunnaista näytettä).

Kasvualustojen tiheys (kuivamassa/kostea tilavuus -0.3 kPa:ssa) on alin puukuidussa (0.086 g/cm^3) ja kasvuturpeessa (0.096 g/cm^3) (Taulukko 3, 4 ja 7). Ruokohelpin tiheys on kuitenkin vain vähän suurempi kuin turpeen, mutta on selvästi suurempi maatuneessa ruokohelpeessä (0.185 g/cm^3) kuin tuoreessa (0.105 g/cm^3). Hieta ja hiekka lisäävät luonnollisesti seoksen tiheyttä. Huokostila on kaikissa seoksissa välillä 85-94 % ollen alin hietaa sisältävissä seoksissa ja suurin puhtaassa puukuidussa (94.5%).

Happamuus on alin turpeessa ja lisäkasvualustoissa (Taulukko 3, 4 ja 5). Puristenesteen pH-arvot ovat alempia kuin 1:5 menetelmällä saadut. Kasvualustan pH kohoaa ja johtokyky alenee hieman ajan myötä (14 vrk). Sähkönjohtokyky on alin turpeessa ja suurin puhtaassa ruokohelpeessä.

Taulukko 3. Seosten keskimääräinen orgaanisen aineksen määrä, ainestiheys (Ta), tiheys (T, kosteudessa - 0.3 kPa), huokostila (HT), sekä pH ja johtokyky (JK) 1:5 yön yli menetelmällä sekä taimipaakuista puristetusta nesteestä taimikasvatuskokeen jälkeen (n=3).

Kasvualusta	% KM Org.	g/cm^3 Ta	g/cm^3 T	til.% HT	(1:5) pH	mS/cm JK	(puristeneste) pH	mS/cm JK
R100	94.9	1.559	0.105	93.3	6.52	0.60	6.30	1.06
R80K20	94.0	1.569	0.096	93.9	6.42	0.58	6.34	1.03
R75K20H5	30.3	2.301	0.201	91.3	6.47	0.47	-	-
R95H5	82.9	1.696	0.252	85.1	6.45	0.43	6.41	0.86
R97.5H2.5	73.1	1.810	0.149	91.8	6.34	0.61	-	-
R90K10	94.6	1.562	0.101	93.6	6.40	0.57	6.21	1.12
R77.5K20H2.5	67.4	1.874	0.146	92.2	6.44	0.53	-	-
R85K10H5	60.4	1.955	0.213	89.1	6.40	0.53	-	-
R87.5K10H2.5	82.5	1.701	0.149	91.3	6.54	0.31	6.37	1.04
T100	95.6	1.551	0.096	93.8	6.08	0.20	4.85	0.67

Taulukko 4. Lisäseosten keskimääräinen orgaanisen aineksen määrä, ainestiheys (Ta), tiheys (T, kosteudessa -0.3 kPa), huokostila (HT), vesipitoisuus (VP) -0.3 kPa:ssa ja -1500 kPa:ssa, ilmatila -0.3 kPa:ssa (HT) sekä 1:5 yön yli menetelmällä pH ja johtokyky (JK) (n=3). Turve mukana vertailun vuoksi.

Kasvualusta	% KM Org.	g/cm^3 Ta	g/cm^3 T	til.% HT	til.% VP03	til.% HT03	til.% VP1500	(1:5) pH	mS/cm JK
R32K64H4	41.2	2.176	0.206	90.5	65.3	25.2	6.3	5.77	0.30
R46K46H9	52.4	2.048	0.201	90.2	68.3	21.8	8.7	5.89	0.29
R64K32H4	56.9	1.996	0.161	91.9	64.7	27.2	8.2	5.54	0.43
Rm100	91.0	1.604	0.185	88.4	71.9	16.6	11.9	5.33	0.60
T100	95.6	1.551	0.096	93.8	80.2	13.6	7.0	6.08	0.20

Taulukko 5. Lisäseosten keskimääräinen puristenesteen pH ja johtokyky (JK) täytettynä 4 dl lieriöön 1 ja 14 vuorokauden kuluttua (n=1).

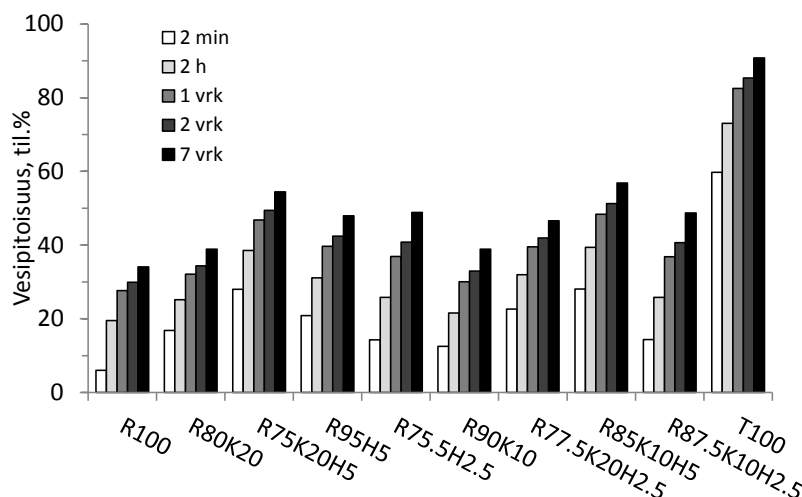
Seos	1 vrk		14 vrk	
	pH	JK, mS/cm	pH	JK, mS/cm
R32K64H4	5.69	2.65	5.86	1.67
R46K46H9	5.60	2.53	5.71	2.49
R64K32H4	5.20	3.53	5.73	1.43
Rm100	4.73	4.75	5.00	4.49
T100	4.51	1.85	4.67	1.79

Kasvualustat kostuvat säkkikuivasta tilanteesta alkaen 2 h sisällä karkeasti ottaen vain noin puolet kapasiteetistaan (eli kostuminen parin vuorokauden aikana) (Taulukko 6, Kuva 2). Ainoastaan turve kostuu selvästi ripeämmin sisältämänsä kostutusaineen vuoksi. Kuiduiltaan hienojakoisemmat lisäkasvualustat kostuvat hieman nopeammin kuin muut tutkitut kasvualustat, mutta niissäkin kostuminen on turvetta hitaampaa (Kuva 3). Kasvualustojen kutistuminen kostumisen aikana oli keskimäärin alle 2 til.%, mutta puukuitua 20 til.% sisältävissä kasvualustoissa kutistuminen oli keskimäärin 5-7 til.% (Kuva 4). Ruokohelpin osuuden kasvaminen ja maatuneisuus pääsääntöisesti lisäävät kasvualustan kutistumista kostumisen aikana (Kuva 5).

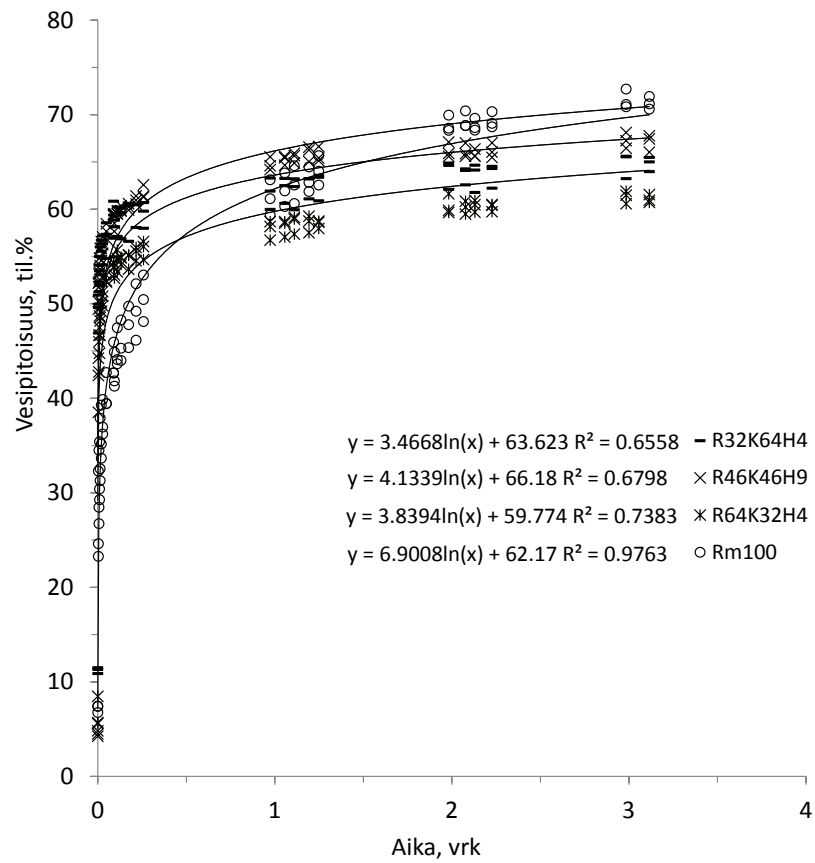
Kyllästysvedenjohtavuus on suurin puhtaassa ruokohelpikuidussa ja pienin turpeessa (Kuva 6), mikä ilmentää kasvualustan rakenteen karkeutta ja läpäisevyyttä. Kasvualustan vedenpidätyskyky ilmentää kasveille käytettävissä olevan vesimäärän. Kasvualustan kuivuessa ohi paakkukapasiteetin (suurin vesipitoisuus joka pysyy paakussa) eli matriisipotentialin aletessa alle -1 kPa:n suurin vedenpidätyskyky on turpeessa ja lisäkasvualustassa Rm100 (Kuva 7). Kasvualustojen tilavuuskutistuminen kuivuessa (-0.3 => -100 kPa) oli keskimäärin alle 3 %, ja oli suurin turpeessa (2.8 %) (dataa ei esitetä). Lisäkasvualustoissa kutistuminen aleni 6:sta 2:een % puukuituosuuden aletessa, Rm100:ssa kutistuminen oli 3.4 %.

Taulukko 6. Kasvualustojen kostuminen lieriössä (lpm 5.8 ja kork 6.0 cm) alapäin kun vesitaso lieriön pohjalla on 1-2 cm (n=3). Funktiossa y = vesipitoisuus (til.%) ja x = aika vuorokausina.

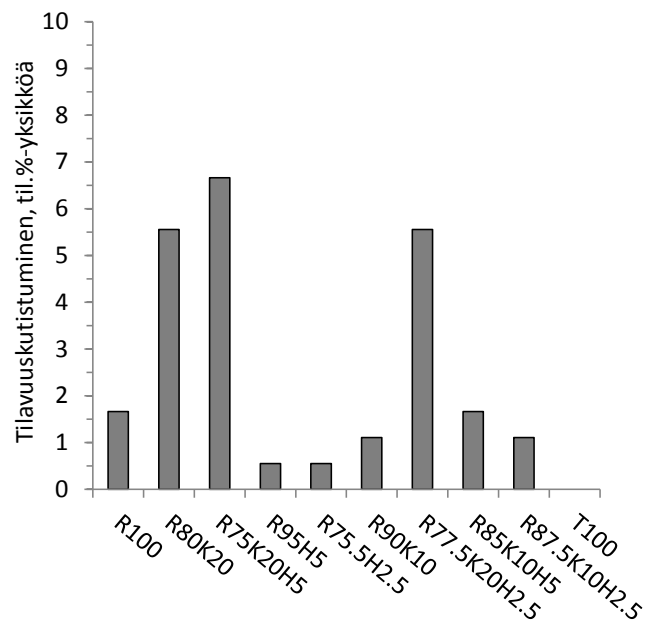
Kasvualusta	Funktio	Selitysaste (R^2)
R100	$y = 3.2872\ln(x) + 27.662$	0.8353
R80K20	$y = 32.13x^{0.0981}$	0.7806
R75K20H5	$y = 46.785x^{0.0781}$	0.8822
R95H5	$y = 39.629x^{0.0975}$	0.6357
R75.5H2.5	$y = 36.896x^{0.1441}$	0.9059
R90K10	$y = 30.016x^{0.1329}$	0.7144
R77.5K20H2.5	$y = 39.517x^{0.085}$	0.7189
R85K10H5	$y = 48.739x^{0.0827}$	0.7761
R87.5K10H2.5	$y = 36.387x^{0.1433}$	0.8378
T100	$y = 82.503x^{0.0491}$	0.8239



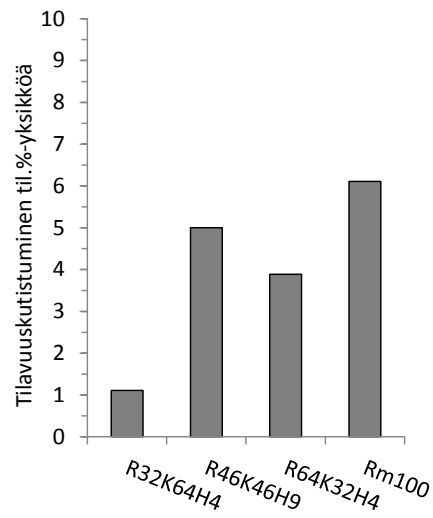
Kuva 2. Kasvualustojen laskennallinen kostuminen lieriössä ajan myötä taulukon 6 funktioiden mukaan



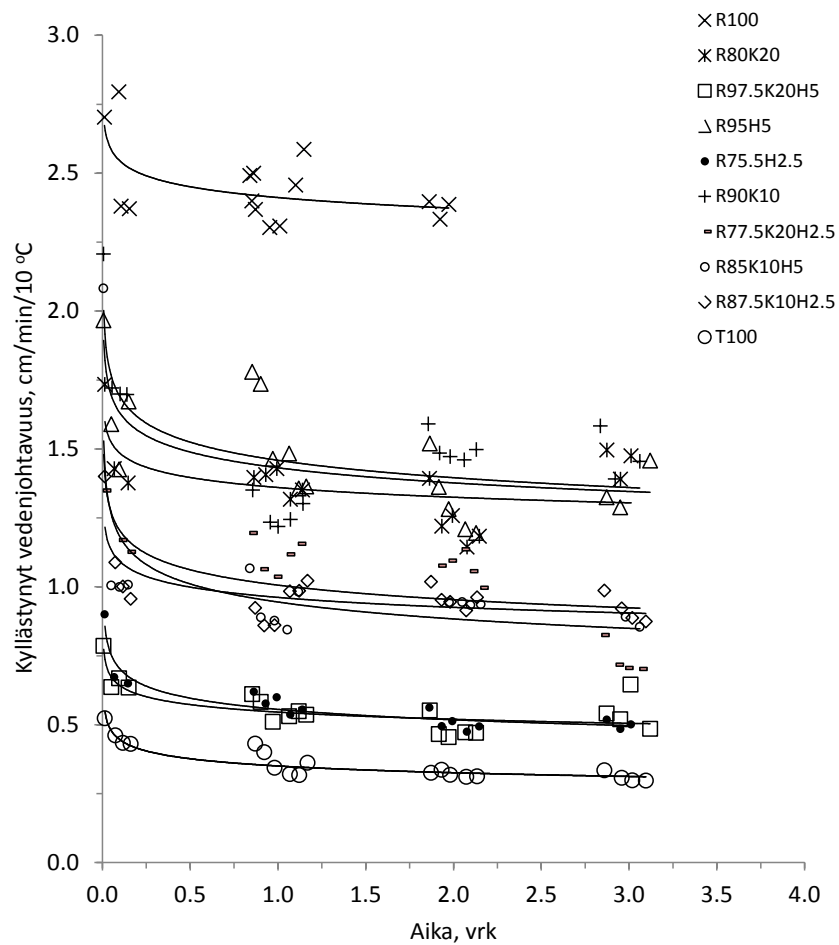
Kuva 3. Lisäkasvualustojen kostuminen lieriössä (lpm 5.8 ja kork 6.0 cm) alapäin kun vesitaso lieriön pohjalla 1-2 cm (n=3).



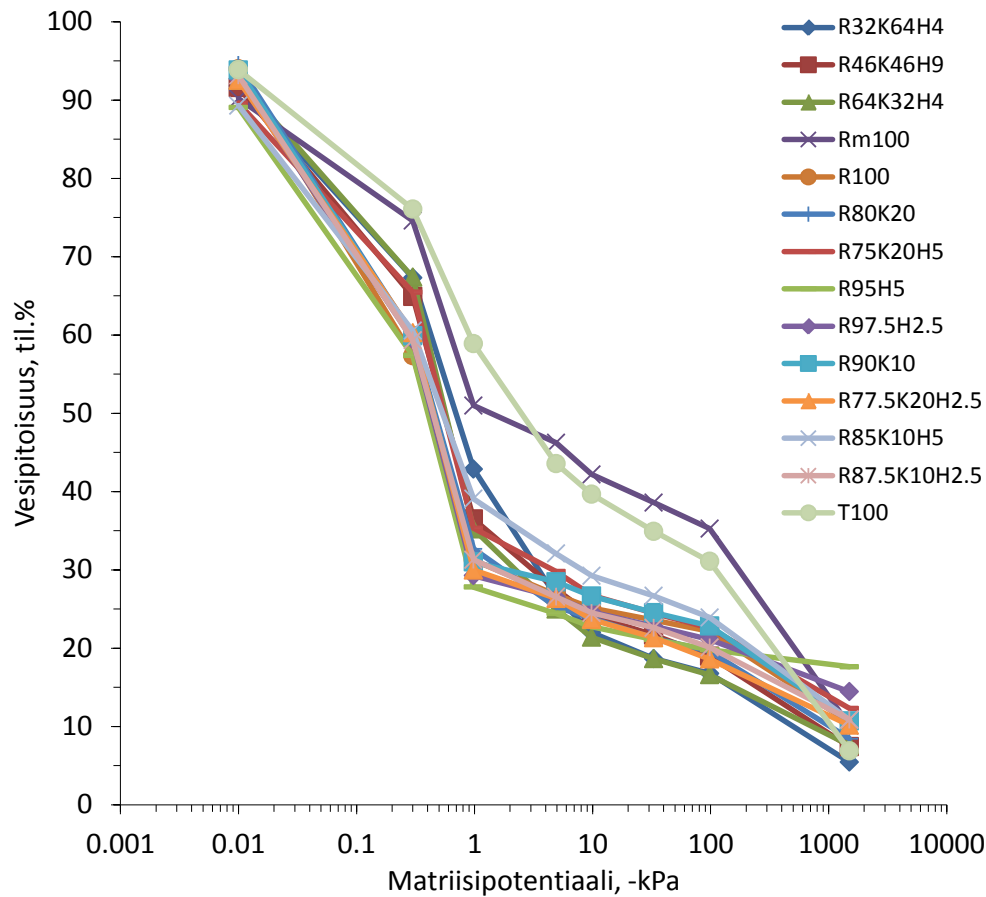
Kuva 4. Kasvualustojen keskimääräinen tilavuuskutistuminen niiden kostuessa säkkikuivasta alkaen (n=3).



Kuva 5. Lisäkasvualustojen keskimääräinen tilavuuskutistuminen niiden kostuessa säkikiuvasta alkaen (n=3).



Kuva 6. Kasvialustojen keskimääräinen vedenjohtavuuden (vedenläpäisevyyden) kehittyminen kyllästyneessä tilassa (n=1).



Kuva 7. Kasvualustojen keskimääräinen vedenpidätyskyky kuivussa (n=3). Vesipitoisuus ilmoitettu suhteessa märkään alkutilavuuteen, huokostila merkitty vesipitoisuudeksi potentiaalilla-0.01 kPa.

Kasvualustojen ravinteet

Kivennäismaa hieta sisältää niukasti typpeä mutta varsin runsaasti muita totaaliravinteita Al, Ca, Fe, K, Mg ja P suhteessa suositukseen (Viljavuustutkimuksen tulkinta metsätaimatarhoilla 1996) (Taulukko 7). Hietaa lukuun ottamatta komponenttien raskasmetallien ja raudan pitoisuudet alittivat viljavuustutkimuksen suositusten ylärajan. Lisäksi komponentit sisältävät suhteellisen vähän kuparia. Sen sijaan fosforia on niissä kaikissa runsaasti. Ruokohelpi sisältää eniten rikkiä ja suhteellisen paljon myös kaliumia. pH on kaikissa tutkituissa kasvualustakomponenteissa korkeahko, pH on alle 6 vain puukuidussa.

Metsätaimiturve sisältää kasvualustoista eniten liukoista kalsiumia, magnesiumia ja typpeä, jotka eivät kuitenkaan ylitä suositusarvoja (Taulukko 8). Ruokohelpi sisältää puolestaan eniten liukoista rikkiä ja kaliumia. Kationinvaihtokapasiteetti on noin puolet pienempi kuin turpeessa, mutta emäskyllästysaste on samalla tasolla kaikissa kasvualustoissa.

Puristenesteen kokonaistyyppi on selvästi alle suositusarvojen kaikissa tutkituissa kasvualustoissa paitsi turpeessa (Taulukko 9). Muiden kasvualustojen puristenesteissä on typpeä (mg/l) parhaimmillaankin vain 30 % turpeen tyyppitasosta. Kuparia on vähän ja rikkiä reilusti kaikissa alustoissa. pH on yli suositusarvojen kaikissa alustoissa paitsi turpeessa. On kuitenkin huomattava, että tämä puristeneste ei ole kasvatuskokeen taimipaakuista, joihin on lisätty lannoitetta viikoittain.

Taulukko 7. Keskimääräiset totaaliravinteet, orgaaninen aines (hehkutuskevennys 550 °C), tiheys, happamuus ja johtokyky (1:5 menetelmä) pakkauksista otetuille tuoreille kasvualustaseoksien komponenteille (n=3). Ravinnearvot mg/kg saa muutettua mg/l kertomalla tiheydellä.

Tunnus	Yksikkö	R100	K100	T100	H100
C	%	47.1	50.3	48.8	0.05
N	%	1.02	1.21	0.64	0.03
C/N	-	46.3	41.7	76.7	1.9
Al	mg/kg	611	613	631	7113
B	mg/kg	6.1	6.4	4.6	<0.4
Ca	mg/kg	3540	7043	2803	2937
Cd	mg/kg	<0.08	0.2	<0.08	<0.07
Cr	mg/kg	13.1	4.9	18.9	15.7
Cu	mg/kg	7.6	4.5	5.8	7.7
Fe	mg/kg	1038	1200	452	11033
K	mg/kg	4730	2440	2507	1610
Mg	mg/kg	1780	2430	1843	2830
Mn	mg/kg	102.7	62.8	51.7	121.7
Na	mg/kg	111.0	187.3	402.7	189.3
Ni	mg/kg	8.0	3.5	11.2	6.8
P	mg/kg	1670	969	777	551
Pb	mg/kg	1.2	7.1	<1.07	2.5
S	mg/kg	3053	1687	2490	18.7
Zn	mg/kg	29.8	17.3	12.8	21.7
Org.aines	% KM	94.9	95.4	95.6	0.41
Tiheys*	g/cm ³	0.105	0.086	0.096	1.522
Happamuus (1:5)	pH	6.52	5.10	6.08	7.03
Johtokyky (1:5)	mS/cm	0.597	0.240	0.196	0.018

*) kuivamassa/kosteaa tilavuus

Taulukko 8. Keskimääräiset liukoiset ravinteet, kationinvaihtokapasiteetti (KVK) ja emäskyllästysaste (EKA) kasvualustaseoksille 14 vrk inkuboinnin jälkeen (n=3). NO₃ sisältää myös NO₂. Kasvualustanäytteitä ei ole käytetty taimikasvatuksessa. Ravinnearvot mg/kg saa muutettua mg/l kertomalla tiheydellä (Taulukko 3).

Tunnus	Yksikkö	R100	R80K20	R95H5	R90K10	R87.5K10H2.5	T100
Al	mg/kg	20.6	16.6	28.8	9.1	21.4	13.8
Ca	mg/kg	2767	3057	1543	2623	2230	5917
Fe	mg/kg	3.9	4.5	14.9	3.2	12.4	16.3
K	mg/kg	3330	3280	1350	2113	1707	1790
Mg	mg/kg	938	961	487	764	673	1953
Mn	mg/kg	78.6	78.2	45.5	70.5	63.7	50.1
Na	mg/kg	112.9	148.0	55.9	92.6	83.7	168.0
P	mg/kg	991	969	326	596	460	457
S	mg/kg	1590	1643	509	821	536	452
B	mg/kg	4.6	4.7	1.8	3.1	2.1	4.0
NH ₄	mg/kg	85	61	15	39	24	721
NO ₃	mg/kg	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3	288.0
N _{tot}	mg/kg	684	655	236	473	355	1002
KVK	cmol/kg	32.4	31.7	15.4	26.2	21.3	64.6
EKA	%	91.6	91.4	95.8	93.9	95.9	91.3

Taulukko 9. Keskimääräiset ravinteet, pH ja johtokyky puristenesteistä 14 vrk inkuboinnin jälkeen kasvualustaseoksille (n=3). NO₃ sisältää myös NO₂, orgaaninen N (N_{org}) estimoitu = N_{tot} - NH₄ - NO₃ -NO₂. Kasvualustanäytteitä ei ole käytetty taimikasvatuksessa. Mukana suositusarvoja metsäpuiden taimille kasvatusvaiheessa (Viljavuustutkimuksen tulkinta metsätaimitarhoilla 1996).

Tunnus	Yksikkö	R100	R80K20	R95H5	R90K10	R87.5K10H2.5	T100	Suositus
Al	mg/l	0.14	0.16	0.18	0.20	0.18	0.21	<5
B	mg/l	0.14	0.16	0.11	0.13	0.09	0.22	0.1...0.5
Ca	mg/l	68.70	89.70	70.33	96.73	62.07	39.70	20...100
Cd	mg/l	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	
Cr	mg/l	0.004	0.005	0.002	0.005	0.003	0.003	
Cu	mg/l	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.1...1
Fe	mg/l	0.82	0.82	4.70	1.32	2.45	2.52	1...5
K	mg/l	242.67	266.00	213.33	271.00	201.67	111.67	100..200
Mg	mg/l	34.87	40.67	36.03	43.60	31.57	24.30	20...500
Mn	mg/l	1.02	1.14	1.01	1.40	0.90	0.39	0.2...2
Na	mg/l	9.10	13.67	10.26	11.00	9.54	12.30	<50
Ni	mg/l	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	
P	mg/l	66.57	78.07	36.33	63.77	47.93	73.63	20...50
Pb	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.006	
S	mg/l	113.3	160.0	106.4	152.7	77.7	73.0	10...50
Si	mg/l	33.7	36.8	40.2	37.5	37.3	16.6	5...50
Zn	mg/l	0.049	0.036	0.011	0.029	0.049	0.053	0.2...2
Happamuus	pH	6.3	6.3	6.4	6.3	6.5	4.4	4.3...5.5
Johtokyky	mS/cm	1.4	1.6	1.3	1.6	1.2	1.3	1...2
NH ₄	mg/l	8.5	12.4	3.2	15.1	2.6	61.9	0...200
NO ₃	mg/l	0.06	0.05	0.04	0.04	0.06	51.9	0...200
N _{tot}	mg/l	36.3	37.9	24.4	37.1	27.3	119.0	100...200
N _{org}	mg/l	27.7	25.5	21.2	21.9	24.6	5.2	

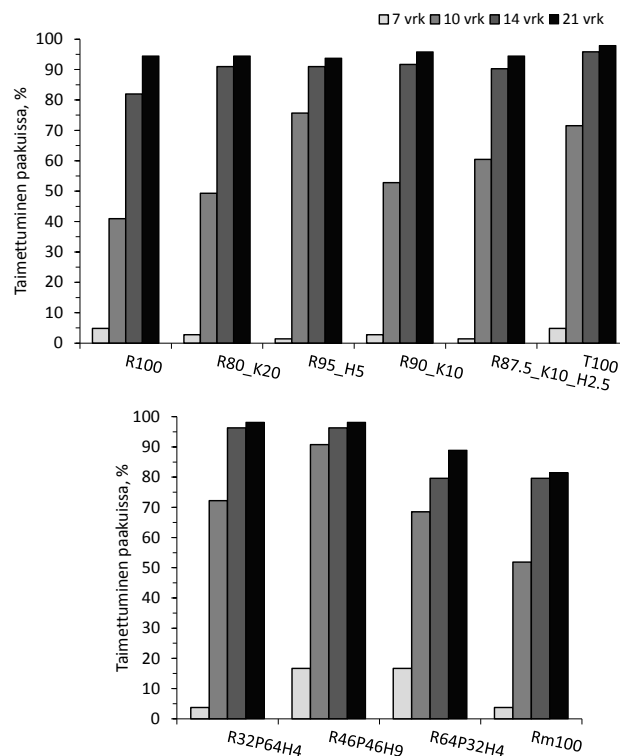
Taimikasvatuskoe

Siementen itävyys oli kaikissa kasvualustoissa hyvä eli keskimäärin 95 % (21 vrk) (Kuva 8). Ripeintä itävyys oli turpeessa. Itäminen nopeutui ja itävyys nousi hieman uusintaidätyksessä, jossa kasvualustaan oli lisätty MycoStopia (ei turpeeseen). Itävyys lisääntyi alustoissa keskimäärin 5, 14, 4, ja 1 %-yksikköä ajalla 7, 10, 14 ja 21 vrk kylvöstä verrattuna itävyyteen ilman MycoStopia. Lisäseosten lopullinen itävyys oli ruokohelpiä vähintään 64 % sisältävissä kasvualustoissa noin 10 %-yksikköä heikempi kuin varsinaisissa kasvualustaseoksissa huolimatta Mycostop lisäyksestä. Kasvualustojen painuminen paakuissa oli idätystestin lopussa alin turpeessa, jossa se oli keskimäärin 7.5 mm ja muissa keskimäärin 9-12.5 mm peittohiekkan alta mitattuna. Sirkkataimien neulasväri oli silmävaraisesti tummin turpeessa.

Taimikasvatuksen aikana kasvualustojen vesipitoisuus paakuissa pysyi suhteellisen vakaana mutta hieman alle kastelun tavoitetason (tavoite = 0.55 x huokostila) (Kuva 9, Taulukko 10), mikä saattoi osaltaan johtua heikosta vedenpidätyskyvystä ja voimakkaasta haihdunnasta. Lisäksi taimiarkkien punnitustuloksiin vaikutti hivenen taimien versojen massat (kasvukauden lopulla korkeintaan 1 g kuiva-ainetta per taimi), mikä voi lisätä arkin kokonaisuutta ja vesipitoisuuden yliarviota, mutta korkeintaan 2 til.-%-yksikköä. Ilmatila oli kaikissa alustoissa yli 20 %:n tason, jonka alla kasvu voi hidastua. Kasvualustojen tiheys taimipaakuissa oli lähellä laboratorioissa mitattuja arvoja. Johtokyky pysytteli kohtuullisen hyvin tavoitearvojen 1-2 mS/cm sisällä (Kuva 10).

Taimikasvatuskokeessa kaikissa kasvualustoissa esiintyi jonkin verran taimipoltetta eli sieni-infektiosta johtuvaa sirkkataimien lakastumista, vähiten kuitenkin turpeessa. Priklauksessa poistettujen ylimääräisten elävien taimien juurissa esiintyi taimipoltteen aiheuttamia vauriokohtia (Kuva 11). Turpeessa juurivaurioita ei ollut ja juuret olivat pidempiä.

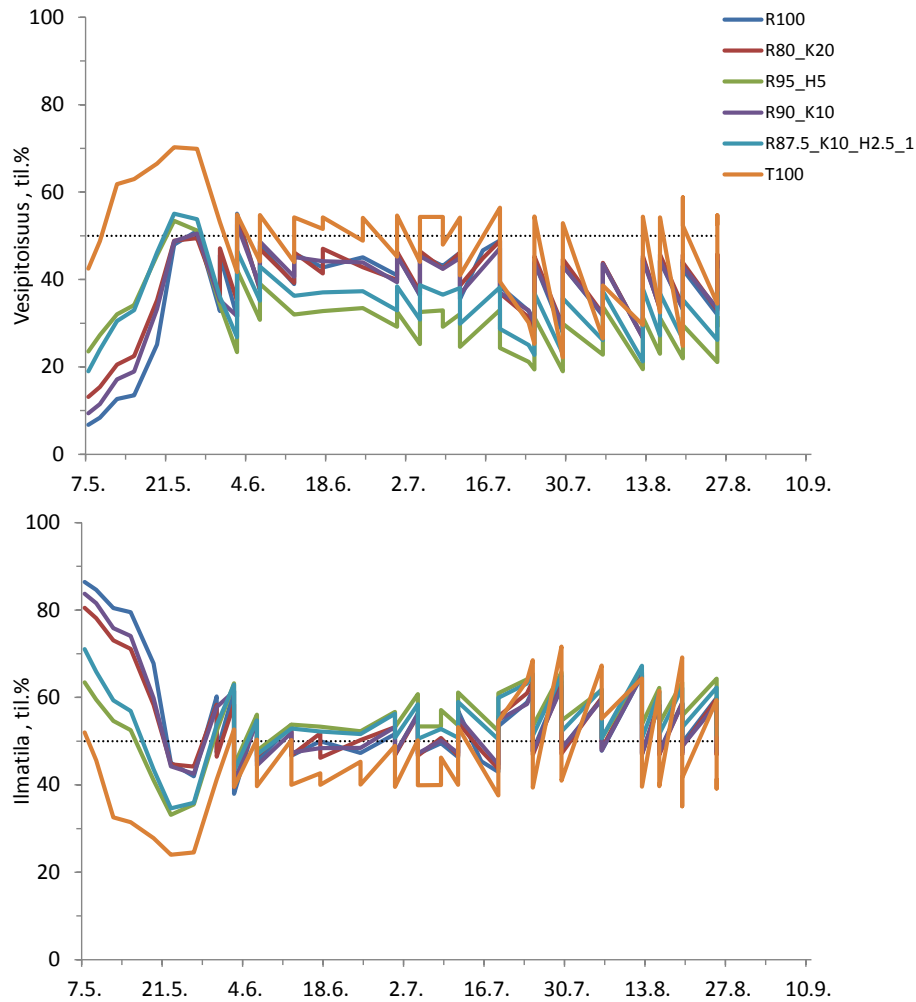
Taimikasvatuksessa turpeessa kasvaneet taimet kasvoivat selvästi parhaiten, mikä lienee johtunut siitä että niissä ei ollut esiintynyt juurivaurioita (Kuva 12, Taulukko 11). Myös neulasväri oli terveen tumma. Muissa kasvualustoissa taimet jäivät pieniksi ja kalvakoiksi, ainoastaan juuri-verso-suhde oli turvetta suurempi. Juuret olivat kuitenkin eläviä ja terveennäköisiä (Kuva 12), mikä antaa aiheen olettaa että taimet olisivat juromisesta huolimatta kasvatuskelpoisia seuraavana kasvukautena. Taimikasvatuksen loppupuolella 21.8. puoleen taimiarkeista (ei turpeeseen) lisätty MycoStop ei enää saanut aikaan eroja taimissa arkkien välillä. Ainoastaan taimien verson keskimassa oli keskimäärin hieman alempi (0.089 vs. 0.103 g KM) ja juuri-verso suhde hieman korkeampi (1.5 vs. 1.1) niissä arkeissa joihin oli lisätty MycoStopia kuin arkeissa joihin sitä ei oltu lisätty (turve ei mukana).



Kuva 8. Siementen keskimääräinen itävyys taimiarkeissa 7, 10, 14 ja 21 vrk:n kuluttua kylvöstä ilman MycoStopin lisäystä. Alinna ovat lisäseokset, joihin lisätty MycoStopia.

Taulukko 10. Keskimääräinen laskennallinen kasvualustojen vesipitoisuus, ilmatila, huokostila ja tiheys (kuivamassana tilavuudessa) paakuissa taimikasvatuskokeen aikana.

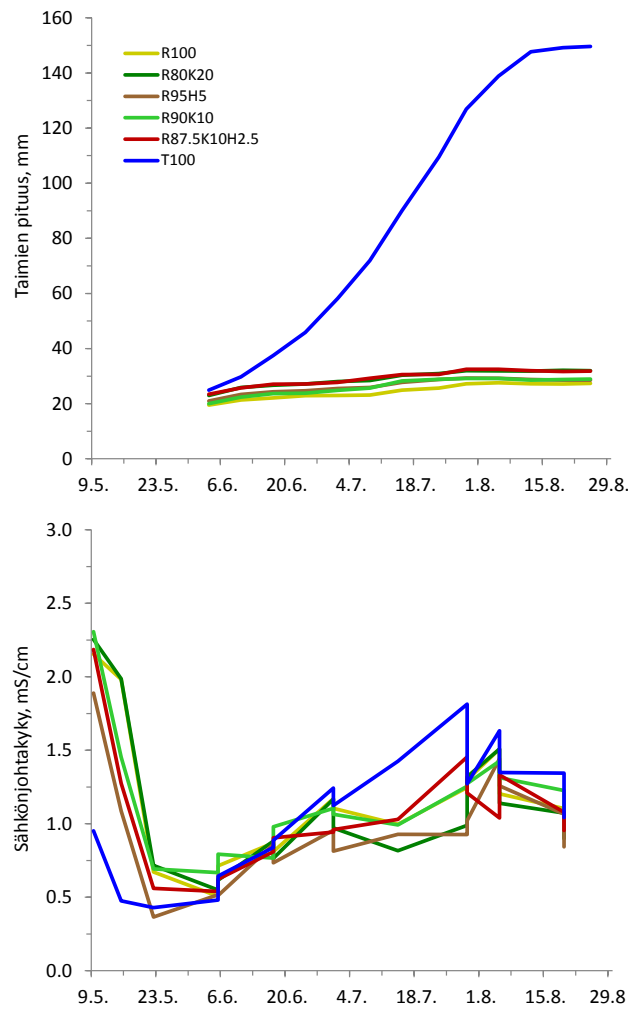
Tunnus	yksikkö	R100	R80K20	R95H5	R90K10	R87.5K10H2.5	T100
Vesipitoisuus	til.%	38.1	39.2	30.3	38.0	34.2	47.2
Ilmatila	til.%	54.2	53.7	55.4	54.2	54.7	46.9
Huokostila	til.%	92.3	92.9	85.7	92.2	88.9	94.1
Tiheys	g/cm ³	0.119	0.111	0.242	0.121	0.188	0.091



Kuva 9. Taimipaakkujen keskimääräinen vesipitoisuus (yllä) ja ilmatila (alla) eri kasvualustoissa taimien kasvatuskokeen aikana laskettuna arkkien punnitusmassoista ja kasvualustan tilavuuksista (n=6 arkkia). Arvo 50 % merkitty vaakaviivalla.

Taulukko 11. Taimitunnukset taimikasvatuskokeen lopussa. Selitykset: kuntoluokka 1 terve, 2 vika näky, 3 heikko, 4 kituva, 5 kuollut, neulasväriluokka 1-7 NCS värikartalla alkaen vaaleasta tummanvihreään, CFR klorofyllipitoisuus, KM kuivamassa, JV juuri-verso-suhde.

Seos	kpl n	mm Pituus	mm Lpm	1-5 Kunto	1-7 Neulasväri	CFR	mg/m ² CFR	g KM Verso	g KM Juuret	JV
R100	72	26.2	0.53	3.0	3.5	0.86	937	0.017	0.022	1.42
R80K20	72	29.5	0.52	3.0	3.2	0.76	873	0.019	0.022	1.20
R95H5	72	27.0	0.52	3.0	3.1	0.69	825	0.020	0.024	1.26
R90K10	71	24.7	0.51	3.0	3.4	0.77	877	0.020	0.024	1.18
R87.5K10H2.5	72	27.1	0.52	3.0	3.2	0.71	840	0.019	0.022	1.45
T100	72	142.9	2.3	1.0	6.0	1.30	1222	0.561	0.265	0.48



Kuva 10. Taimien keskimääräinen pituuskehitys (n=12; 2 tainta x 6 arkkia) sekä sähkönjohtavuus (SigmaProbe-mittarilla) kasvatuskokeessa paakuista mitattuna (n=6; 1 paakku x 6 arkkia).



Kuva 11. Tyypillisen sirkkataimen juuressa (alinna) taimipoltteen aiheuttamia vaalean ruskeita vyöhykkeitä (teipin leveys 2 cm). Yllänä turpeessa kasvanut sirkkataimi (Valokuva Metla/Pekka Voipio).



Kuva 12. Tyypillisiä turpeessa (vasen) ja muissa kasvualustoissa kasvaneita taimia (oikea) kasvatuskokeen lopussa (Valokuva Metla/Pekka Voipio).

Tulosten tarkastelu ja päätelmät

Kasvualustan vedenpidätyskyky ilmentää huokoskokojakaumaa, joka määrittää vedensaatavuutta taimille kasvualustan kuivuessa. Kasvualustan rakenteeseen ja vedenpidätyskykyyn vaikuttavat merkittävästi partikkelikokojakauma, partikkelien sisärakenne sekä kasvatuksen aikaiset tapahtumat kuten mm. paakkujen täyttö, kastelu, painuminen ja maatuminen.

Ruokohelpin partikkelikokojakauma on lähellä kasvaturpeen kokojakaumaa, mutta sen sisärakenne on läpäisevämpi ja vedenpidätyskyky alempi. Karkeampi rakenne voi kuitenkin heikentää taimikennostojen mekaanista täyttöä ruokohelpikuidulla. Hieman **maatuneemman ja hienojakoisemman ruokohelpikuidun käyttö** kasvualustana todennäköisesti helpottaisi paakkujen täyttöä ja parantaisi vedenpidätyskykyä, mitä tukee lisäkasvualusta Rm100, joka vedenpidätyskyky on verrattavissa kasvaturpeeseen. Tutkittujen kasvialustaseoksien fysikaaliset ominaisuudet (tiheys, huokostila, vedenpidätyskyky) ovat kuitenkin kohtuullisen lähellä toisiaan. Sen sijaan ruokohelpiä sisältävät kasvialustat vaativat vähintään 1 vrk:n kostuakseen riittävästi taimikasvatusta varten. Tämä osoittaa tarpeen lisätä käytännössä kasvialustoihin **kostutusainetta**. Kostumisen jälkeen karkeakin ruokohelpikuitu pystyy kuitenkin pidättämään vettä kohtuullisen hyvin. Toisaalta se myös läpäisee kyllästyneessä tilassa hyvin liikavettä.

Puukuitua sisältävä kasvualusta tiivistyy kastumisen ja ajan myötä muita tutkittuja kasvualustoja enemmän. Tämä osoittaa tarpeen **vähentää painumista** esim. esimaaduttamalla puukuitukomponenttia ennen kasvualustojen tekoa. Lisäksi kennoston täyttövaiheessa puukuitua sisältävä kasvualusta vaatinee enemmän kostuttamista ja tiivistämistä.

Kokeissa havaittiin että hieta ja hiekka voivat painavina komponenttina lajittua tai valua karkeassa ruokohelpikuidussa. Taimikasvatuskokeen taimipaakkuja täytettäessä havaittiin myös, että sivureiällinen paakku Plantek PL81F saattoi päästää osan ruokohelpikuiduista ja hiedasta pois paakusta sekä kasvatuksen alussa kuivattaa karkeaa juuripaakkuja. Tämä voi osoittaa tarpeen käyttää jatkossa sivureiätöntä taimipaakkuja (esim. PL tai HIKO kennostot) käytettäessä karkeaa ruokohelpikuitua kasvualustan osana taimikasvatuksessa. Lisäksi hieman **maatuneemman ja hienojakoisemman ruokohelpikuidun** sekä **vähemmän lajittuvan** ja juoksevan saviaineksen käyttö hiedan ja hiekan sijaan vähentänevät lajittumista.

Tutkittujen kasvualustojen tai niiden puristenesteiden ravinnetasot eivät myöskään ole haitallisen korkeita tai matalia, joten niiden ominaisuudet soveltuvat metsäpuiden kasvatukseen (lisäkasvualustojen ravinteiden määrittäminen ei sisällynyt tähän tutkimukseen). Kuitenkin turvetta lukuun ottamatta kasvualustojen liukoisen **tyypen alhainen taso vaatii korjausta** peruslannoituksella (esim. hidasliukoinen tyypipitoinen Multicote 8 tai 12; Haifa Chemicals Ltd., Matam-Haifa, Israel). Lisäksi ruokohelpin ja puukuidun kationinvaihtokapasiteettia voisi lisätä niitä **esimaaduttamalla**. Kasvualustojen korkeaa **pH:ta on syytä alentaa** lannoituksella suositeltavalle tasolle, joka on havupuiden taimilla 4.5-5.5 (Rikala & Jozefek 1990).

Oljen ja puuperäisten aineiden maatuessa tyypeä sitoutuu aluksi voimakkaan immobilisaation seurauksena orgaaniseen muotoon. Tuore ruokohelpi ja puukuitu siis maatuivat kostuessaan taimikasvatuksen aikana ja sitoivat tyypeä, jonka saatavuus taimille heikentyi. Tämä näkyi taimikasvatuskokeessa vaaleana neulasvärinä ja alempana klorofyllipitoisuutena sekä oli mahdollisesti osasyynä taimien juromiselle. Tämän korjaamiseksi tulee lisätä ainakin tyypin määrää peruslannoituksessa ja kastelulannoituksessa kasvatuksen aikana sekä ehkä myös kuitujen esimaaduttamista ennen kasvualustakäyttöä. **Kastelu ja lannoitus tulee myös säätää kullekin kasvualustalle erikseen**. Taimikasvatuskoe antoi viitteitä siitä että karkea ruokohelpikuitu vaatii lannoitusta ja kastelua useammin ja vähemmän kerrallaan kuin turve.

Ruokohelpiä sisältävissä kasvualustoissa ilmeni itämisen edetessä taimipoltetta. Tämä aiheutti sirkkataimien juurissa (21 vrk kylvöstä) ruskeita vyöhykkeitä eli kuolioita. Lisäksi taimien kasvu hidastui voimakkaasti eli ne juroivat ja silmuuntuivat ennen aikaisesti. Taimipoltetta aiheuttavat eri sienet (*Fusarium*, *Phytium*, *Rhizoctonia* ym.), joita turpeen sisältämät antagonistiset sädesienet pystyvät torjumaan. Taimipoltesienet leviävät helposti ulkona, joten ne ovat ilmeisesti levinneet ruokohelpikuituun viimeistään paalauksessa tai aumassa. Tämän vuoksi tulee **taimipoltetta torjua** ruokohelpiä sisältävissä kasvualustoissa. Toimivaksi taimipoltteen vähentäjäksi on havaittu taimikasvatuksessa ainakin sädesientä sisältävä MycoStop biofungisidi (Verdera Oy, Espoo).

Aiheeseen liittyvää kirjallisuutta

- Heiskanen, J. 1993a. Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production: A review. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 337-358.
- Heiskanen, J. 1993b. Variation in water retention characteristics of peat growth media used in tree nurseries. *Silva Fennica* 27: 77-97.
- Heiskanen, J. 1995a. Irrigation regime affects water and aeration conditions in peat growth medium and the growth of containerized Scots pine seedlings. *New Forests* 9: 181-195.

- Heiskanen, J. 1995b. Physical properties of two-component growth media based on Sphagnum peat and their implications for plant-available water and aeration. *Plant and Soil* 172: 45-54.
- Heiskanen, J., Tervo, L. & Heinonen, J. 1996a. Effects of mechanical container-filling methods on texture and water retention of peat growth media. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 351-355.
- Heiskanen, J., Hänninen, P., Koivunen, M., Lindqvist, M., Nieminen, M., Rikala, R., Seppälä, J., Ylikoski, M. & Mäntylähti, V. 1996b. Viljavuustutkimuksen tulkinta metsätaimitarhoilla. Viljavuuspalvelu Oy, 18 s.
- Heiskanen, J. & Rikala, R. 2003. Effect of peat-based container media on establishment of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings. *Tree Planters' Notes* 50: 28-33.
- Heiskanen, J. 2013. Effects of compost additive in sphagnum peat growing medium on Norway spruce container seedlings. *New Forests* 44(1): 101-118.
- Himanen, K., Helenius, P. & Nygren, M. 2010. Liotuskäsittelyiden vaikutus kuusen siementen itämiseen. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2010: 103-114.
- Himanen, K. & Nygren, M. 2014. Effects of seed pre-soaking on the emergence and early growth of containerized Norway spruce seedlings. *New Forests* 45: 71-82.
- Kuisma, E., Palonen, P. & Yli-Halla, M. 2014. Reed canary grass straw as a substrate in soilless cultivation of strawberry. *Scientia Horticulturae* 178: 217-223.
- Lannoitevalmisteiden lainsäädäntö: <http://www.evira.fi/portal/13415>
- Lehtonen, K., Tontti, T., Kuisma, M. 2003. Biojäte- ja lietekompostien käyttömahdollisuudet kasvintuotannossa. MTT, Maa- ja elintarviketalous. 28: 1-120.
- Lilja, A., Lilja, S. & Kurkela, T. 1998. Sienitaudit metsäpuiden taimitarhoilla Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/1998: 195-205
- Lilja, A., Himanen, K., Poimala, A. Poteri, M. 2013. Metsäpuiden taimituotantoa ja joulupuiden kasvatusta uhkaavat taudit. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2013: 647-674.
- Local fuels – Backbone of Finland's National Security of Supply. Information on the use, qualities, classifications and environmental effects. Esite, VTT ja Vapo Oy.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2013. Metsäntutkimuslaitos. Vammalan kirjapaino Oy. 448 s. ISBN 978-951-40-2450-4.
- Mälkönen, E., Derome, J., Heiskanen, J., Helmisaari, H.S., Huhta, V., Lehto, T., Lindroos, P., Makkonen, K., Martikainen, P., Priha, O., Smolander, A. & Tamminen, P. 2003. Metsämaa ja sen hoito. *Metsälehti*. 220 s.
- Paatero, J., Lehtokari, M. & Kempainen, E. 1984. Kompostointi. Wsoy, Porvoo. 269 s. ISBN:951-0-12502-4
- Palviainen, M., Finér, L., Kurka, A.-M., Mannerkoski, M., Piirainen, S. & Starr, M. 2004. Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest. *Plant and Soil* 263: 53-67.
- Puustjärvi, V. 1991. Kasvu ja kasvun hallinta kasvihuoneviljelyssä. Kauppapuutarhaliitto ry. Tuotanto-osaston julkaisu 10. Mestari-Offset Oy. 287 s.
- Rikala, R. & Jozefek, H.J. 1990. Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings. *Silva Fennica* 24: 323-334.
- Rikala, R. & Heiskanen, J. 1995. Variation in the electrical conductivity and acidity of preculture peat growth media used in Finnish tree nurseries. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 161-166.
- Rikala, R. 2002. Metsätaimiopas - Taimien valinta ja käsittely tarhalta uudistusalalle. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 881. 107 s.
- Veijalainen, A.-M. 2007. Sustainable organic waste management in tree-seedling production (väitöskirja). Kuopion yliopiston julkaisuja C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet 217. 114 s.
- Veijalainen, A.-M., Juntunen, M.-L., Heiskanen, J. & Lilja, A. 2007. Growing *Picea abies* container seedlings in peat and composted forest-nursery waste mixtures for forest regeneration. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22(5): 390-397.
- Veijalainen, A.-M., Heiskanen, J., Juntunen, M.-L. & Lilja, A. 2008. Tree-seedling compost as a component on Sphagnum peat-based growing media for conifer seedlings: Physical and chemical properties. *Acta Horticulturae* 779: 431-438.
- Wall, A. & Heiskanen, J. 2003. Effect of air-filled porosity and organic matter concentration of soil on growth of *Picea abies* seedlings after transplanting. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 344-350.