

Maan vesipotentiaali paljasjuuristen männyn- taimien taimitarhakasvatuksessa

Juha Heiskanen & Hannu Raitio

SUMMARY: SOIL WATER POTENTIAL DURING THE PRODUCTION OF BARE-ROOTED SCOTS PINE SEEDLINGS

Heiskanen, J. & Raitio, H. 1991. Maan vesipotentiaali paljasjuuristen männyntaimien taimitarhakasvatuksessa. Summary: Soil water potential during the production of bare-rooted Scots pine seedlings. *Silva Fennica* 25(1): 23–36.

Tensiometrisesti mitattua maaveden matriisipotentiaalia sekä sen vaikutusta maan vesi-ilma -suhteeseen tutkittiin avomaalla paljasjuuristen männyntaimien taimitarhakasvatuksessa. Maan vesipotentiaalia seurattiin kasvukauden aikana v. 1983 kolmen taimitarhan eri taimilohkoilla 10 ja 20 cm:n syvyydeltä maanpinnasta. Vuonna 1986 kerättiin lisäksi lieriönäytteitä maan vedenpidätyskyvyn arvioimiseksi. Lisäksi tutkittiin harsokatteen (Agryl P 17) vaikutusta maan vesipotentiaaliin 5, 10 ja 15 cm:n syvyydellä maanpinnasta kahdella taimitarhalla v. 1985.

Maan vesipotentiaali oli yleensä suhteellisen korkea kaikilla taimilohkoilla. Yksi- ja kaksivuotisilla taimilohkoilla mediaanipotentiaali oli yli -10 kPa. Potentiaalilukemat olivat korkeampia kuin tensiometrin mittausalaraja (n. -85 kPa). Maan ilmanvaihto voi ajoittain olla riittämätön juurivyöhykkeessä liian korkean vesipitoisuuden vuoksi. Maan vesipotentiaalin tulisi olla korkeintaan -5 ... -6 kPa. Harsokate kohotti lievästi (1...4 kPa) maan vesipotentiaalia. Toisen kasvukauden aikana maan vesipotentiaali oli alhaisempi ensimmäisenä vuonna harsokatteen alla olleilla taimilohkoilla kuin ilman harsokatetta olleilla taimilohkoilla.

The matric potential, measured with tensiometers, and its effect on the soil air-water ratio were examined during the production of bare-rooted Scots pine seedlings in nursery fields. Soil water potential was monitored during the growing season of 1983 at three nurseries in Finland, and from fields grown various seedling types at depths of 10 and 20 cm. In 1986, soil core samples were collected in order to assess the water desorption characteristics of the soils. In addition, the effect of polypropylene gauze covering (Agryl P 17) on the soil water potential was examined during the growing season of 1985 at two nurseries in Finland at depths of 5, 10 and 15 cm.

The soil water potentials were relatively high in all the fields studied. In fields grown one- and two-year-old seedlings, the median potentials were higher than -10 kPa. The potentials did not fall below the lower limit of the measurement scale (ca. -85 kPa) of the tensiometers. Soil aeration may have been periodically insufficient in the rooting zone, as a result of high water content. The favourable water potential should be below -5 to -6 kPa. The gauze covering slightly (1 to 4 kPa) increased the soil water potential, an effect which could be harmful if the soil air space is low due to a high water content. During the second growing season, the soil water potential was lower in the seedling fields covered by the gauze during the first year than in the fields without the covering.

Keywords: tensiometers, water retention, air space, matric potential, *Pinus sylvestris*.
FDC 181.3

1 Johdanto

Kasvualustan vesipitoisuutta ja vesipotentiaalia ei Suomessa ole tutkittu taimitarhamailloilla. Etelä-Suomen peltoviljelyssä maan vesipitoisuus on Seunan (1977) mukaan keväisin ja runsaiden sateiden jälkeen lähellä kenttäkapasiteettia (n. -10 kPa), mutta laskee kesällä usein lähelle lakastumisrajaa (n. -1550 kPa). Metsänuudistusaloilla maan vesipitoisuus on yleensä riittävä, mutta karkeajakoisilla mailla maan kosteus voi laskea Pohjois-Suomenkin humidisissa oloissa alle lakastumisrajan (Mälkönen 1976, Lähde 1978, Mannerkoski ja Möttönen 1990, ks. myös Heiskanen 1989). Muutamilla eri metsätyyppien moreenimailla (valtalajite hienohiekka) maaveden potentiaali oli v. 1985 kasvukauden aikana keskimäärin kenttäkapasiteetissa tai jopa sen yli (Heiskanen 1988).

Metsäpuuiden taimitarhamaiden kosteusoloihin vaikuttavat maan fysikaalisten ominaisuuksien sekä sää- ja ilmasto-olojen lisäksi kastelu. Taimitarhoilla avomaan kastelu mitoitetaan käytännössä kokemuseräisesti (Rikala ja Westman 1978). Kastelu jakaantuu kasvualustaan usein epätasaisesti. Lisäksi kasvualustan fysikaaliset ominaisuudet vaihtelevat yleensä saman taimilohkonkin sisällä (Westman 1983, ks. myös Puustjärvi 1975). Näinollen maan kosteus- ja ilmanvaihto-olot voivat käytännössä vaihdella suhteellisen paljon.

Havupuiden taimien kasvun on todettu taantuvan selvästi ennen lakastumisrajaa (Glerum ja Pierpoint 1968). Maaveden potentiaalia -10...-75 kPa (-0,1...-0,75 bar) on pidetty kosteustilana, jossa taimien vedensaanti ja maan ilmanvaihto on riittävä (Day 1980, McDonald 1984). Sandsin ja Rutterin (1959) mukaan yksivuotiaat männyn taimet kasvavat heikommin -30 kPa:n kuin -10 kPa:n maaveden minimipotentiaalissa. Saman tutkimuksen mukaan kolmivuotiailla männyn taimilla kasvu oli kuitenkin merkittävästi heikompi vasta -50...-150 kPa:n kuin -10 kPa:n minimipotentiaalissa. Puustjärven (1973, 1982) mukaan vaalean rahkaturpeen vesipitoisuuden tulisi olla allasviljelyssä alle 45 % ja ilmatilan

yli 50 %. Kasvihuoneissa turvealustan matriisipotentiaalin tulisi olla noin -0,3...-0,8 kPa (-30...-80 cm H₂O) ja osmoottisen potentiaalin noin -50...-90 kPa (-500...-900 cm H₂O), kun maan ilmatila on riittävä (Puustjärvi 1978).

Juurten hengitykselle ja kasvulle maan ilmatilan minimirajaksi esitetään yleensä 10...15 % (esim. Vomocil ja Flocker 1961), sillä 10 %:n ilmatila on yleensä minimiraja kaasujen diffuusiolle maassa (Wesseling ja Wijk 1957). Maan ilmanvaihto on kuitenkin kasveille merkittävämpi kuin ilmatilan suuruus (esim. Hillel 1982). Hapen diffuusiivirta (Oxygen Diffusion Rate - ODR) ilmentää parhaiten hapensaataavuutta kasvien juurille (Glinski ja Stepniewski 1985). Useimpien kasvien juuret eivät kasva alle 0,20 µg/cm² min ODR-arvolla (Stolzy 1974).

Kastelu kohottaa kasvualustan vesipotentiaalia ja lisää vedensaataavuutta, mutta pienentää ilmatilaa ja vähentää ilmanvaihtoa. Yli 8 mm/vrk kastelun on todettu johtavan männyn paakkutaimikasvatuksessa pituuskasvun taantumiseen (Lähde ja Savonen 1983). Turvealustalla liikakastelu voi aiheuttaa puuntaimien juurille hapenpuutetta, juurtenkärkien kuolemista ja verson kasvuhäiriöitä (Langerud 1985, Langerud ja Sandvik 1987). Myös monivuotisilla puutarhakasveilla on todettu kasvuhäiriöitä maan liian alhaisen ilmatilan vuoksi (Puustjärvi 1975, 1981). Sienitautien leviämiseen vaikuttaa maan vesililma-suhde (esim. Cooley ym. 1985, Cooley 1987).

Männyn taimien kasvuhäiriöitä taimitarhamailloilla koskevien tutkimusten (esim. Raitio 1985, Poteri ym. 1987) yhteydessä yhtenä syyhypoteesina kasvuhäiriöiden syntyyn esitettiin maan liiallista vesipitoisuutta ja heikkoa ilmanvaihtoa. Tutkimustietoa näistä tekijöistä ei kuitenkaan ole ollut käytettävissä. Myös taimitarhamaiden hoito ja taimien yleisten kasvuolojen tunteminen edellyttävät tietoa maan fysikaalisista oloista ja niihin vaikuttavista ominaisuuksista.

Harsokatetta on käytetty 1980-luvun alkupuolelta alkaen ensimmäisen kasvukauden aikana

männyn taimitarhakasvatuksessa. Harsokatteen käytöllä pyritään estämään hyönteisten aiheuttamia kasvuhäiriöitä (Poteri ym. 1987) sekä edistämään taimien alkukehitystä. Harsokate kohottaa merkittävästi maanpinnan ja maan lämpötilaa (Henriksen 1981, Heiskanen ja Raitio 1991). Lämpöolojen muutokseen vaikuttaa ilmeisesti ilman diffuusion ja haihdunnan muuttuminen kateen alla. Konvektion ja haihdunnan vähentyminen pääsääntöisesti lisää maan pintakerrosten vesipitoisuutta.

Tämä tutkimus perustuu kasvuhäiriötutkimusten yhteydessä kerättyyn aineistoon, jonka pohjalta tutkittiin maan vesipotentiaalia sekä ar-

vioitiin sen vaikutusta maan vesi-ilma-suhteeseen avomaalla paljasjuuristen männyn taimien (*Pinus sylvestris* L.) taimitarhakasvatuksessa. Lisäksi tutkittiin harsokatteen (Agryl P 17) vaikutusta maan vesipotentiaaliin.

Tutkimuksen aineiston keruusta on vastannut FL Hannu Raitio. MML Juha Heiskanen on analysoinut aineiston ja laatinut alustavan käsikirjoituksen. FM Sevastiana Ruusamo on tarkastanut englanninkielisen tekstin. Kiitämme kaikkia tutkimukseen myötävaikuttaneita ja erityisesti MH Risto Rikalaa käsikirjoituksen viimeistelyehdotuksista.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Maan vesipotentiaali eri taimilohkoilla

Tutkimusaineisto (Koe 1) kerättiin v. 1983 KML Tapion Alakärpän (Oulu) taimitarhalla (64°59'N, 25°39'E), Pohjois-Karjalan metsälautakunnan Juuan (63°14'N, 29°10'E) taimitarhalla ja Metsänjalostussäätiön Keuruun (62°17'N, 24°38'E) taimitarhalla. Aineisto koostuu tensiometri- ja sademäärämittauksista. Mittausjaksot vaihtelivat jonkin verran taimitarhoittain ja taimilajeittain. Yleensä mittausjakso oli kesäkuun alusta elokuun loppuun. Syksyllä v. 1983 kerättiin taimilohkoilta maanäytteet, joista määritettiin laitteiden osuudet (Elonen 1971) sekä maan irtotiheys. Orgaanisen aineksen määrä mitattiin hehkutus-häviönä kuumentamalla näytettä kolmen tunnin ajan 550 °C:ssa. Alueittainen vuorokautinen haihdunta (Class A-astiasta) saatiin Ilmatieteen laitoksen mittauksista. Taimilajeista on käytetty Raulon ja Hinttalan (1972) esittämää merkintätapaa.

Toukokuussa 1986 kerättiin lisäksi kultakin taimilohkolta, edustavasta kohtaa kolmelta eri syvyydeltä määrättilavuuksinen lierionäyte maan vedenpidätyskyvyn ja vesi-ilma-suhteen arvioimiseksi (Klute 1986, Heiskanen 1988, 1990). Näytteiden oletettiin edustavan maan normaaleja fysikaalisia ominaisuuksia keskimäärin, vaikka maata taimilohkoilla oli välillä käsitelty (muokaus, turpeen lisäys).

Tutkituilla taimilohkoilla kasvatettiin 1A, 2A ja 2A×1A männyn taimia. Taimet kasvoivat penkeissä, joiden tehoveveys oli 90 cm ja joita

erottivat 50...60 cm leveät ajourat. Taimien kasvustiheys oli 1A- ja 2A-lohkoilla noin 800 kpl/m² ja 2A×1A-lohkoilla noin 100 kpl/m². Kasvukauden lopulla taimien pituus oli keskimäärin 3...5 cm (1A), 5...10 cm (2A) ja 10...20 cm (2A×1A).

Koealojen maaperä oli 0...10 cm:n kerroksessa suhteellisen lajittunutta (< 2,0 mm fraktiosta) valtalajitteen ollessa hienoa hiekkaa (taulukko 1). Juuan taimitarhalla valtalajitteena oli kuitenkin karkea hieta. Soran (> 2,0 mm) osuus oli yleensä alle 0,1 % (m/m). Orgaanisen aineksen pitoisuus oli 2...8 % (m/m). Tiheys vaihteli välillä 0,6...1,1 g/cm³. Orgaanisen aineksen pitoisuus aleni ja tiheys kohosi näytteenotto-syvyyden kasvaessa, mutta lajiteosuudet eivät muuttuneet systemaattisesti. Taimilohkot olivat maaperältään keskimäärin samantyyppisiä, vaikka maan lajiteosuuksissa esiintyi vaihtelua myös lohkojen sisällä.

Maaveden potentiaalia mitattiin elohopea-metriin perustuvilla tensiometreillä (Schuster 1974, Heiskanen 1988), joita sijoitettiin kolmeen ryhmään kunkin taimilohkon keskelle 20...40 m:n välein niin, että eri syvyyksille asetetut tensiometrit olivat ryhmässä noin 20 cm:n etäisyydellä toisistaan. Tensiometriin kärkien (100 kPa keramiikka) keskikohta asetettiin 10 ja 20 cm:n syvyyteen maanpinnasta. Tensiometri luettiin arkipäivisin klo 8.00 ja 14.00. Tensiometri mittaa noin -85 kPa:iin asti maaveden potentiaalin matriisikomponenttia (Hillel 1982, Marshall ja Holmes 1979).

Taulukko 1. Maalajitteet (% m/m) raekoon mukaan eriteltynä, orgaanisen aineksen osuus (% m/m) ja tiheys (g/cm³) taimilohkoittain mitattuna alle 2 mm:n fraktiosta 0...10 cm:n maakerroksesta (Koe 1).

Table 1. Soil fractions (% m/m), organic matter content (% m/m) and bulk density (g/cm³) in the seedling fields measured from fractions below 2 mm in diameter at a depth of 0 to 10 cm (Experiment 1).

Lohko Field	Lajite Fraction %		Org.aines Org.matter %	Tiheys Density g/cm ³		
	mm					
	2...0,6	0,6...0,2	0,2...0,06	0,06...0		
	Juuka					
1A	9,3	18,0	62,7	10,1	7,3	0,76
2A	5,4	26,5	51,1	17,0	3,8	0,92
2A×1A	3,0	25,0	61,6	10,5	4,9	0,80
	Keuruu					
1A	1,5	36,7	40,8	21,0	6,5	0,64
2A	17,0	51,9	23,0	8,1	2,6	1,10
2A×1A	8,5	50,0	34,9	6,6	4,4	0,76
	Alakärppä					
1A	9,0	54,5	30,2	6,2	7,4	0,84
2A	1,5	64,7	31,6	2,3	2,1	1,07
2A×1A	4,3	50,8	37,5	7,4	5,4	0,61

Sade- ja kastelumäärä mitattiin taimilohkoittain 12 keräimellä, joiden suppilon pinta-ala oli keskimäärin 70,88 cm². Keräimien vesimäärä mitattiin kaksi kertaa viikossa klo 14.00. Vesimäärä jaettiin kerääjien ja mittausvälin päivien lukumäärällä sekä suppilon pinta-alalla. Tulokset ovat siten 3...4 vrk:n keskiarvoja (mm/vrk).

Haihdunta-arvot (mm/vrk) perustuvat Class A-astiahaihduntaan taimitarhoja lähinnä sijaitsevilla sääasemilla (Oulu-Ruukki, Juuka-Valtimo, Keuruu-Tikkakoski). Class A-astiahaihdunta kuvaa lähinnä suurinta potentiaalista haihduntaa (PET) (Vakkilainen 1982).

Tulosten laskennassa pääpaino oli aikasarjakuvaajien koostamisessa ja niiden deskriptiivisessä analysoinnissa. Taimilohkoittain laskettiin kolmen tensiometrilukeman keskiarvokuvaaja. Tästä vesipotentiaalin lukusarjasta las-

Taulukko 2. Maalajitteet (% m/m), orgaanisen aineksen osuus (% m/m) ja tiheys (g/cm³) taimilohkoittain mitattuna alle 2 mm:n fraktiosta 0...30 cm:n maakerroksesta (Koe 2).

Table 2. Soil fractions (% m/m), organic matter content (% m/m) and bulk density (g/cm³) in the seedling fields measured from fractions below 2 mm in diameter at a depth of 0 to 30 cm (Experiment 2).

Lohko Field	Lajite Fraction %		Org.aines Org.matter %	Tiheys Density g/cm ³		
	mm					
	2...0,6	0,6...0,2	0,2...0,06	0,06...0		
	Juuka					
1A	1,8	22,0	66,9	9,3	11,0	1,23
2A	2,8	16,7	72,3	8,3	3,3	1,33
	Alakärppä					
1A	1,8	59,7	35,4	3,2	3,4	1,38
2A	1,9	57,6	37,3	3,2	4,2	0,93

kettiin edelleen mediaaniarvo (ja sen keskivirhe), joka kuvaa keskiarvoa paremmin todellista esiintyvää vesipotentiaalin arvoa. Tilastollisissa analyyseissä käytettiin BMDP-ohjelmistoa (BMDP... 1990).

2.2 Harsokatteen vaikutus maan vesipotentiaaliin

Aineisto (Koe 2) harsokatteen vaikutuksen tutkimiseksi kerättiin v. 1985 KML Tapion Alakärppän taimitarhalta Oulusta (64°59'N, 25°39'E) ja Pohjois-Karjalan metsälautakunnan Juuan (63°14'N, 29°10'E) taimitarhalta. Aineisto koostuu taimilohkoittaisista tensiometrihavainnoista, joiden mittausjakso oli yleensä kesäkuun alusta elokuun loppuun.

Tutkittu harsokate Agryl P 17 (SODOCA/Ranska) on valmistettu vaaleasta, ohuesta (0,17 mm) ja kevyestä (17 g/cm²), harsomaisesta polypropyleenistä. Harso läpäisee vettä ja ilmaa, sillä suurimmat huokokset ovat läpimitaltaan noin 2 mm. Valonläpäisevyys on uutena 88 %, käytössä noin 80 % (Henriksen 1981, Heiskanen ja Raitio 1991). Harso levitettiin keväällä kylvöpenkin ylitse ja kiinnitettiin painoilla reunoista.

Taulukko 3. Keskimääräiset sade- ja kastelumäärät (mm/vrk) taimilohkoittain sekä alueittaiset Class A-astiahaihdunnat (mm/vrk) kesä-, heinä- ja elokuussa v. 1985 (Koe 2).

Table 3. Mean rainfall and irrigation (mm/d) in the seedling fields and regional class A-pan evaporation (mm/d) in June, July and August 1985 (Experiment 2).

Lohko Field	Juuka			Alakärppä		
	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII
1A	3,8	3,7	4,7	5,2	2,7	3,4
1AH	1,9	2,5	3,8	4,6	1,8	3,0
2A	2,6	3,2	6,4	1,9	1,7	3,4
2AH	2,6	1,2	5,5	2,2	2,2	3,4
Class A	4,1	3,9	2,5	4,3	4,3	2,4

Harsokatetta käytettiin vain ensimmäisen kasvukauden aikana.

Maaperän valtalajitteena oli (< 2,0 mm fraktiosta) 0...30 cm:n kerroksessa Juuan taimitarhalla karkea hietä ja Alakärppän taimitarhalla hieno hiekka (taulukko 2). Soran (> 2,0 mm) osuus oli yleensä alle 0,1 % (m/m). Orgaanisen

aineuksen pitoisuus vaihteli välillä 3,3...12,8 % (m/m) ja tiheys välillä 0,93...1,33 g/cm³. Maanpinnasta alaspäin maan orgaanisen aineksen pitoisuus yleensä aleni ja tiheys kohosi. Lajiteosuudet eivät muuttuneet systemaattisesti.

Tutkituilla taimilohkoilla kasvatettiin 1A ja 2A männynaitimia. Taimilajimerkintään (Raulo ja Hinttala 1972) lisättiin H-kirjain merkinnän loppuun silloin, kun harsokatetta oli käytetty ensimmäisen kasvukauden aikana. Koejärjestely ja mittaukset toteutettiin vastaavasti kuten kokeessa 1.

Taimilohkoittaiset maan vesipotentiaalin, sade- ja kastelumäärien sekä aluekohtaisten Class A-astiahaihduntojen mittaukset (taulukko 3) tehtiin vastaavasti kuin kokeessa 1. Sade- ja kastelumäärät harsoaloilla mitattiin harson päältä. Harson sitoman ja haiduttaman veden osuutta ei voitu arvoida.

Tensiometriä mittauskärkien keskikohta asennettiin 5, 10 ja 15 cm:n syvyyteen maanpinnasta. Havaintotoistoista (3 kpl/syvyys) laskettiin taimilohkoittain keskiarvokuvaaja ja mediaaniarvot mittausjaksolle. Harsokatteen vaikutusta maan vesipotentiaaliin eri syvyyksillä testattiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä jaksoilla ennen ja jälkeen harsonpoiston. Student-Newman-Keuls-testillä verrattiin pareittain eri lohkojen eri syvyyksien vesipotentiaalien eroavuuksien merkitsevyyksiä (BMDP... 1990).

3 Tulokset

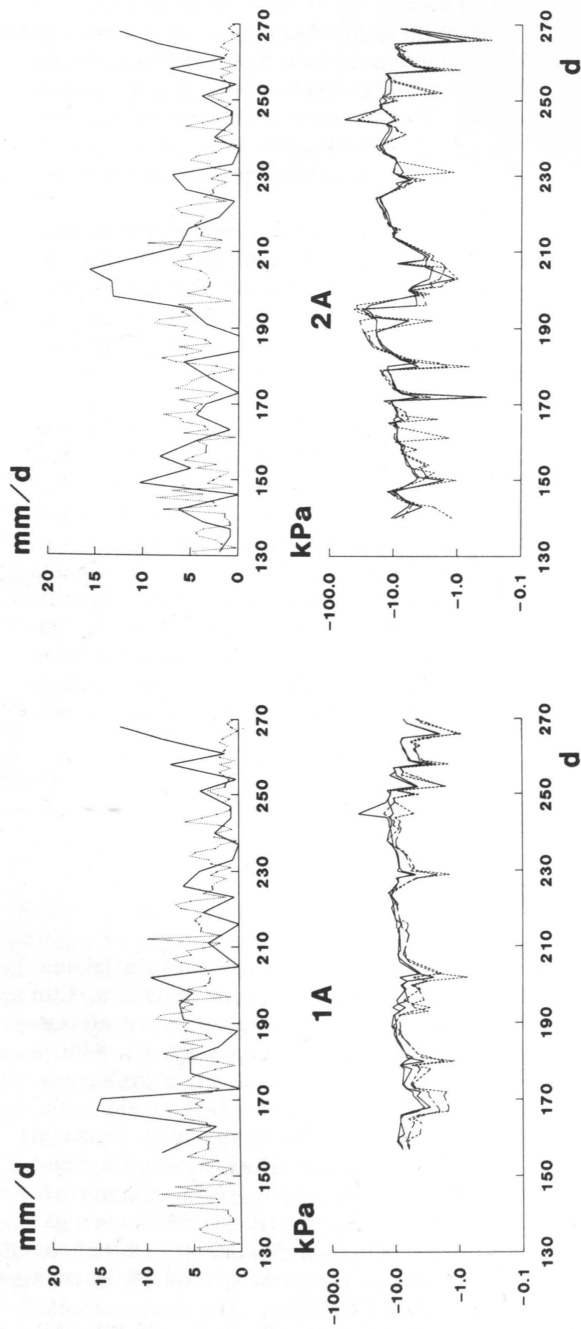
3.1 Maan vesipotentiaali eri taimilohkoilla

Maan vesipotentiaali oli taimitarhoilla suhteellisen korkea kasvukauden aikana, yleensä noin -10 kPa:n tasolla (kuva 1), mikä vastaa likimain kenttäkapasiteettia. Maaveden potentiaali aleni haihduntapotentiaalin kasvaessa ja kohosi selvästi sateen ja kastelun jälkeen erityisesti lähellä maanpintaa. Ajallinen vaihtelu oli 20 cm:n syvyydellä yleensä vähäisempää ja taso alempi kuin 10 cm:n syvyydellä. 1A-lohkoilla maaveden potentiaali vaihteli vähemmän kuin muilla taimilohkoilla, mikä johtunee tiheästä kasteluvälisestä ja haihdunnan pienestä vaihtelusta.

Erytyisesti 1A- ja 2A-lohkoilla maan pintakerros (10 cm) oli kosteaa (taulukko 4). Mitä vanhempi taimilaji oli kyseessä sitä alhaisempi

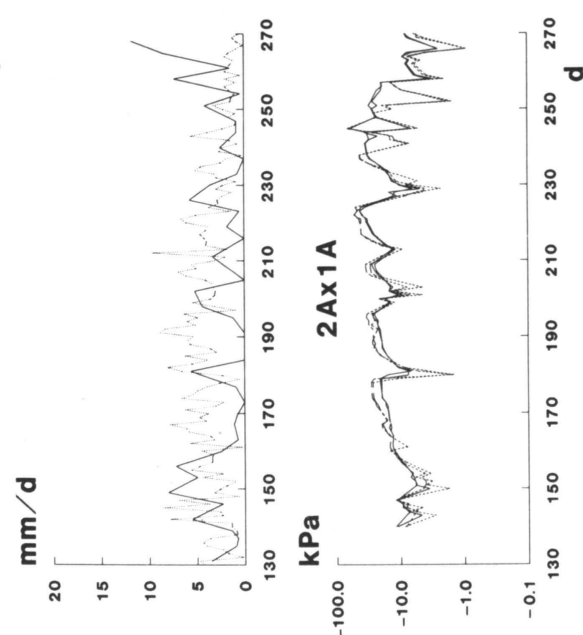
maaveden potentiaali oli keskimäärin lukuunottamatta Alakärppän taimitarhan taimia. Erot olivat merkitseviä keskivirheiden perusteella tarkasteltuna. Mediaanilukemien ero klo 8.00 ja 14.00 välillä oli pieni. 1A- ja 2A-lohkoilla maaveden potentiaali oli yleensä hiukan alhaisempi 20 cm:n kuin 10 cm:n syvyydessä. Juuan ja Keuruun taimitarhojen 2A×1A-lohkoilla pinta-kerros oli kuivempaa kuin syvemmällä maassa. Näillä lohkoilla maa oli myös selvästi kuivempaa kuin muilla lohkoilla. Alakärppän taimitarhalla 2A×1A-lohkon kosteusolot eivät poikenneet selvästi muista lohkoista.

Potentiaalilin vaihteluväli oli 0...-85 kPa. Alhaisimmat arvot esiintyivät lähinnä vain helלקausina 2A×1A-lohkoilla pintakerroksessa. Näillä lohkoilla maaveden potentiaali esiintyi



Kuva 1. Sade- ja kastelumäärien (mm/vrk, yhtenäinen viiva) ja aluehaidunnan (Class A, mm/vrk, katkoviiva) sekä maan vesipotentiaalin (kPa) kulku taimilohkoittain klo 8.00 ja 14.00 Juuan taimitarhalla v. 1983 (10 cm/katkoviiva ja 20 cm/yhtenäinen viiva). x-akselilla on vuoden vuorokausien järjestysluku (Koe 1).

Fig. 1. Rainfall, irrigation (mm/d, solid line) and regional evaporation (Class A, mm/d, broken line), as well as soil water potential (kPa) in the seedling fields and at 8.00 and 14.00 hours in Juuka in 1983 (10 cm/broken line, 20 cm/solid line). Julian dates on the x-axis (Experiment 1).



Taulukko 4. Maaveden mediaanipotentiali (kPa) ja sen keskivirhe jaksolla 6.6.–31.8. 1983 (päivät 157–243) taimilohkoittain 10 ja 20 cm:n syvyydellä klo 8.00 ja 14.00 (Koe 1).

Table 4. Median soil water potential (kPa) and its standard error during the period of 6 June to 31 August, 1983 (Julian dates: 157–243) in the seedling fields at depths of 10 and 20 cm at 8.00 and 14.00 hours (Experiment 1).

Syvyys Depth		Juuka			Keuruu			Alakärppä		
		1A	2A	2A×1A	1A	2A	2A×1A	1A	2A	2A×1A
10 cm	8.00	-6,1±0,4	-9,1±1,1	-21,5±2,5	-6,3±0,4	-9,9±0,8	-19,7±2,0	-10,9±0,3	-7,0±0,7	-9,4±0,8
	14.00	-6,0±0,3	-9,0±1,0	-21,0±2,8	-6,2±0,5	-9,2±0,9	-17,5±1,5	-10,6±0,2	-7,1±0,8	-9,4±0,8
20 cm	8.00	-8,6±0,3	-9,9±0,7	-17,3±1,1	-8,0±0,4	-11,4±1,0	-15,6±1,2	-9,5±0,3	-8,6±0,4	-9,1±0,5
	14.00	-8,7±0,2	-9,3±0,6	-17,6±1,3	-7,5±0,4	-10,3±0,7	-16,2±1,6	-9,4±0,3	-8,4±0,4	-9,1±0,4

Taulukko 5. Maaveden potentiaalin frekvenssi (päiviä) eri potentiaaliluokissa mittausjaksolla 6.6.–31.8. 1983 (päivät 157–243, n=62) taimilohkoittain 10 cm:n syvyydellä klo 14.00 (Koe 1).

Table 5. The frequency (days) of soil water potential in different potential classes during the measurement period of 6 June to 31 August, 1983 (Julian dates 157–243, n=62) in the seedling fields at a depth of 10 cm at 14.00 hours (Experiment 1).

Potentiaali Potential kPa	Juuka			Keuruu			Alakärppä		
	1A	2A	2A×1A	1A	2A	2A×1A	1A	2A	2A×1A
0... -5	22	17	3	19	13	3	0	17	10
-6...-10	37	21	8	40	22	9	23	27	23
-11...-50	3	24	49	3	27	49	39	18	29
-51...	0	0	2	0	0	1	0	0	0

useimmin välillä -11...-50 kPa (taulukko 5). Korkeiden potentiaalien (> -5 kPa) frekvenssi oli suurin 1A-lohkoilla, joilla potentiaali oli useimmin kuitenkin välillä -6...-10 kPa. Alakärppän taimitarhan 1A-lohkoilla ei kuitenkaan esiintynyt yli -5 kPa:n arvoja.

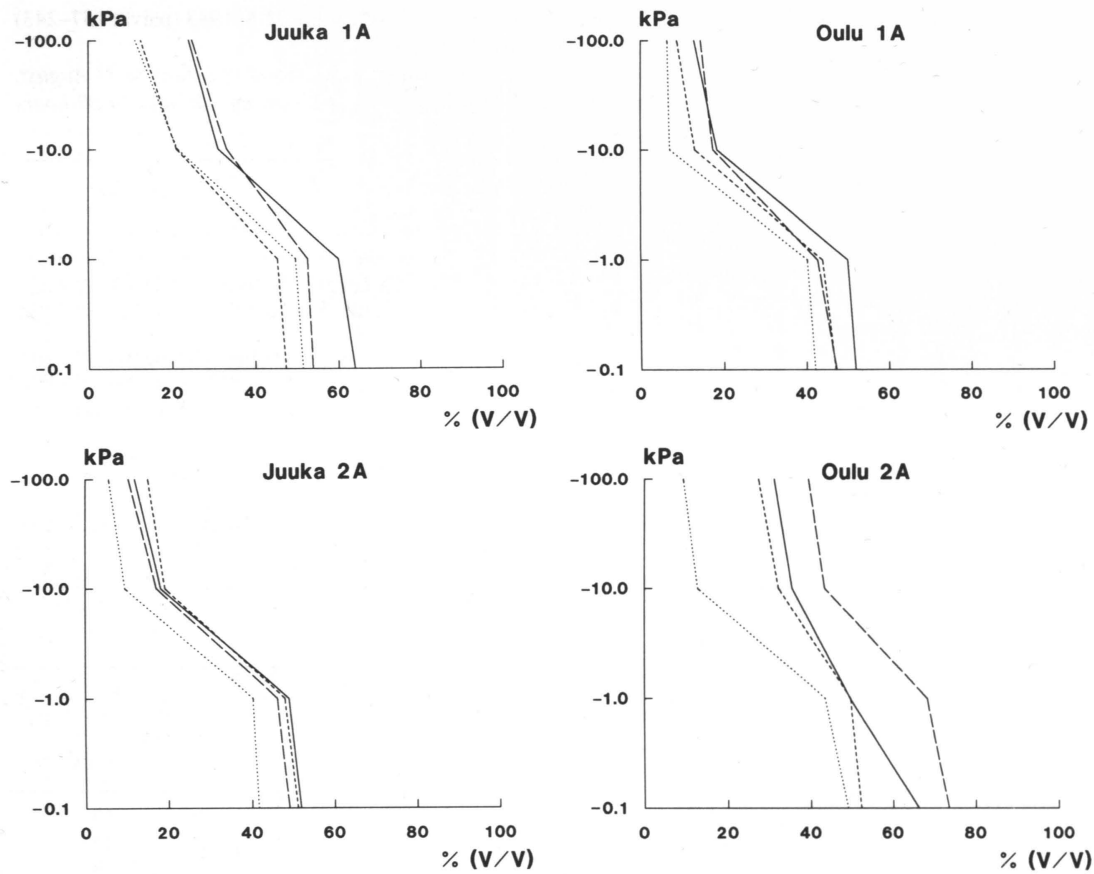
Alakärppän taimitarhalla haihduntapotentiali ja kastelu olivat hieman alhaisemmalla tasolla kuin toisilla taimitarhoilla. Alakärppän taimitarhalla maaveden potentiaalin vaihtelu oli selvästi vähäisempää erityisesti 1A-lohkoilla kuin muilla taimilohkoilla. Lisäksi erot taimilohkojen mediaanilukemien välillä eivät olleet niin selvät kuin toisilla tarhoilla.

Maan vedenpidätyskyky oli suhteellisen korkea. Maanpinnasta syvemmälle vedenpidätyskyky aleni (kuva 2). Maa on lähes vedellä kylästynyt, kun maaveden potentiaali on -0,1 kPa. Vähentämällä tällä maaveden potentiaalin arvolla

pidättyneestä vesimäärästä alhaisemmalla potentiaalin arvolla pidättynyt vesimäärä, saadaan keskimääräinen ao. potentiaalissa maassa olevan ilman tilavuusosuus. Maassa oli näin laskien -1 kPa:ssa keskimäärin 3 % (2,2...8,1) ilmaa, -10 kPa:ssa 30 % (26,4...32,4) ja -100 kPa:ssa 35 % (31,2...38,1).

3.2 Harsokatteen vaikutus maan vesipotentiaaliin

Tässä kokeessa maan vesipotentiaali oli yksi-vuotisten taimien kasvualustassa myös noin -10 kPa:n tasolla (taulukko 6 ja 7, kuva 3). Maa oli harsokatteen alla (1AH) hieman kosteampaa kuin ilman harsokatetta (1A). Ero oli selvempi Juuan kuin Alakärppän taimilohkoilla. Mediaanipotentialien keskivirheet (taulukko 6) olivat Juuan



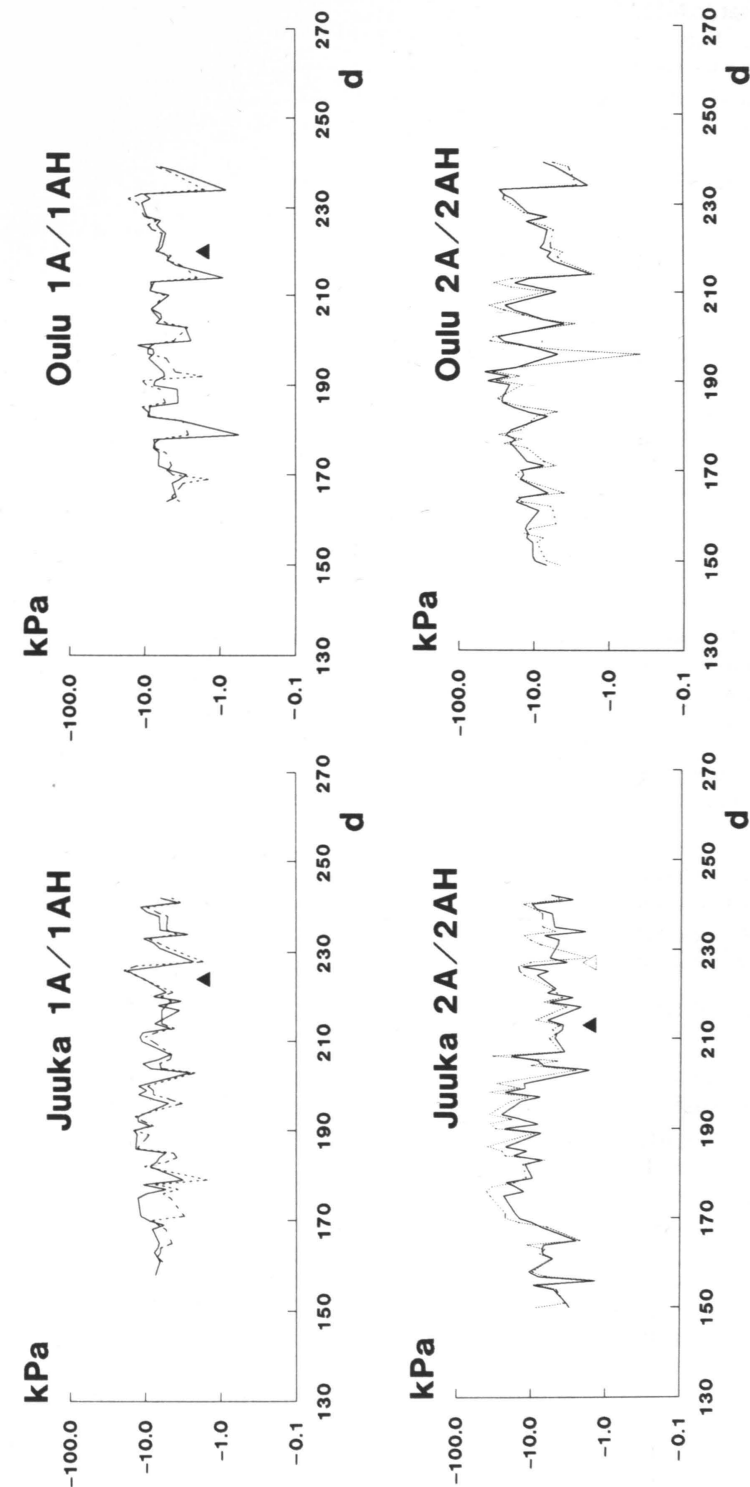
Kuva 2. Maan vedenpidätyskyky eri syvyyksiltä 1A- ja 2A-taimilohkoilta kerätystä lieriönäytteistä. (Pintakerros/viiva, 10 cm/pitkät katkoviivat, 20 cm/lyhyet katkoviivat, 30 cm/pisteviiva) (Koe 1).
 Fig. 2. Water retention of soil core samples collected from various depths (surface/solid line, 10 cm/lines of long dashes, 20 cm/lines of short dashes, 30 cm/dotted line) in fields of one- and two-year-old seedlings (Experiment 1).

taimitarhan aineistossa yleensä niin pienet, että pienehköjä eroja (keskimäärin 1...3 kPa) lohkojen välillä voidaan pitää merkitsevinä. Maan vesipotentiaali oli alhaisempi kaksivuotisten taimien kasvualueilla kuin yksivuotisten. Juuan taimitarhamaa oli 10 cm:n syvyydessä jonkin verran kosteampi kuin kerrokset ylä- tai alapuolella. Alakärpän taimitarhamaan vesipotentiaali ei muuttunut syvyyden suhteen. Klo 14.00 maan vesipotentiaalierot 1A- ja 1AH-lohkojen välillä olivat selvemmät kuin klo 8.00.

Harsoinnin jälkeen Juuan taimitarhamaan vesipotentiaali oli edelleen korkeampi harsoinnin alla olleilla lohkoilla (1AH) (kuva 3).

Alakärpän taimitarhalla vesipotentiaali ei juuri poikennut lohkojen välillä. Vesipotentiaalinvaihtelu syvyyden suhteen oli vastaava kuin ennen harsoinnin. Varianssianalyysillä testattaessa ei 1A- ja 1AH-lohkojen välillä havaittu merkitseviä eroja maan vesipotentiaalissa ennen eikä jälkeen harsoinnin kummallakaan taimitarhalla.

Toisen kasvukauden aikana edellisenä vuonna harsoinnin alla olleilla taimilohkoilla (2AH) maan vesipotentiaali oli alhaisempi kuin ilman harsoinnin alla olleilla lohkoilla (2A) (taulukko 7, kuva 3). Lisäksi vesipotentiaalinvaihtelu oli äärevämpiä 2AH-lohkoilla.



Kuva 3. Maan vesipotentiaalinvaihtelu klo 14.00 5 cm:n syvyydellä yksi- ja kaksivuotisten taimien lohkoilla Juuan ja Alakärpän (Oulu) taimitarhoilla v. 1985. Harsoinnin alla olleilla lohkoilla ja lohko ilman harsoinnin yhtenäisellä viivalla. Täytetty kolmio osoittaa harsoinnin 1AH-lohkoilla ja koulun 2AH-lohkoilla ja täyttämättömät koulun 2A-lohkoilla. (2A-koulun ei tiedossa Alakärpän taimitarhalla.) (Koe 2).
 Fig. 3. Soil water potential at 14.00 hours at a depth of 5 cm in the fields of one- and two-year-old seedlings in Juuka and Alakärppä (Oulu) in 1985. The dotted line indicates covered fields and the solid line indicates removal of the covering (at 1AH) and transplanting in 2AH, the open triangle indicates transplanting in 2A. (The time of the transplanting in Alakärppä is not known.) (Experiment 2).

Taulukko 6. Maaveden mediaanipotentiali (kPa) ja sen keskivirhe yksivuotisten taimien lohkoilla jaksolla 13.6.–28.8. 1985 (päivät 164–240) 5, 10 ja 15 cm:n syvyydellä klo 8.00 ja 14.00. A: ennen harsonpoistoa (Alakärppä: 7.8., Juuka: 12.8.) ja B: harsonpoiston jälkeen (Koe 2).

Table 6. Median soil water potential (kPa) and its standard error in the fields of one-year-old seedlings during the period of 13 June to 28 August, 1985 (Julian dates: 164–240) at depths of 5, 10 and 15 cm at 8.00 and 14.00 hours. A: before, B: after removal of the covering (Alakärppä: 7 August; Juuka: 12 August) (Experiment 2).

Syvyys Depth		Juuka				Alakärppä			
		A		B		A		B	
		1A	1AH	1A	1AH	1A	1AH	1A	1AH
5 cm	8.00	-8,2±1,0	-7,3±0,7	-9,3±2,1	-9,0±1,5	-8,3±0,3	-8,1±0,5	-7,4±2,1	-7,9±1,5
	14.00	-8,4±0,8	-6,1±0,6	-7,2±1,5	-6,9±2,3	-6,1±0,8	-5,3±0,9	-6,2±0,8	-7,1±1,1
10 cm	8.00	-7,9±0,6	-5,9±0,7	-9,2±2,1	-7,2±1,4	-8,3±0,4	-8,3±0,4	-8,1±1,4	-8,2±1,1
	14.00	-6,9±0,8	-4,5±0,5	-7,5±1,6	-5,2±1,8	-6,9±0,6	-6,0±0,5	-6,8±0,8	-7,6±0,8
15 cm	8.00	-9,1±0,3	-7,9±0,6	-9,6±1,2	-8,5±2,0	-8,1±0,4	-7,4±0,3	-7,8±1,1	-7,6±0,9
	14.00	-8,6±0,6	-7,7±0,5	-9,4±1,3	-6,8±0,8	-7,5±0,5	-6,2±0,5	-6,7±0,7	-7,0±0,5

Taulukko 7. Maaveden mediaanipotentiali (kPa) ja sen keskivirhe eri taimilohkoilla jaksolla 13.6.–28.8. 1985 (päivät 164–240) 5, 10 ja 15 cm:n syvyydellä klo 8.00 ja 14.00 (Koe 2).

Table 7. Median soil water potential (kPa) and its standard error in the seedling fields during the period of 13 June to 28 August, 1985 (Julian dates: 164–240) at depths of 5, 10 and 15 cm at 8.00 and 14.00 hours (Experiment 2).

Syvyys Depth		Juuka				Alakärppä			
		1A	1AH	2A	2AH	1A	1AH	2A	2AH
		5 cm	8.00	-9,1±1,0	-7,4±0,7	-7,7±1,4	-13,0±2,2	-8,3±0,4	-8,1±0,6
14.00	-8,1±0,9		-6,2±0,6	-7,7±1,0	-11,0±1,7	-6,2±0,4	-6,5±0,6	-12,6±2,0	-14,3±2,2
10 cm	8.00	-8,4±0,5	-6,1±0,7	-8,9±1,8	-11,8±1,2	-8,2±0,4	-8,2±0,4	-13,7±1,3	-15,6±2,8
	14.00	-6,9±0,7	-4,7±0,5	-9,1±1,2	-11,8±1,7	-6,8±0,4	-6,8±0,5	-12,0±1,1	-15,2±2,4
15 cm	8.00	-9,2±0,3	-8,0±0,5	-11,1±1,7	-13,7±4,3	-8,1±0,4	-7,5±0,3	-12,2±0,5	-16,9±2,8
	14.00	-8,9±0,6	-7,5±0,6	-11,0±2,1	-15,1±4,5	-7,4±0,4	-6,5±0,3	-11,6±0,6	-14,7±2,5

4 Tulosten tarkastelu

Maaveden potentiaali oli kaikilla tutkituilla taimilohkoilla ja eri syvyyksillä suhteellisen korkea. 1A- ja 2A-lohkoilla mediaanipotentiali oli yli -10 kPa. Arvot olivat keskimäärin yli optimitason verrattuna ohjearvoihin (-10...-75 kPa) (Sands ja Rutter 1959, Day 1980, McDonald 1984). Maaveden potentiaali oli korkeampi kuin tensiometrin mittausalueen alaraja (n. -85 kPa). Siten maan vesipotentiaalin voidaan katsoa olleen riittävän korkea taimien vedensaannille.

Taimilohkoilla maan ilmatila oli toisaalta varsin alhainen korkean vesipitoisuuden vuoksi. Vedenpidätyskyvyn perusteella maan vesipitoisuus oli taimilohkoilla -10 kPa:ssa noin 20...40 % ja sitä vastaava ilmatila noin 25...35%. Vastaavasti ilmatilan suuruus olisi -5 kPa:ssa keskimäärin noin 15 % ja -3 kPa:ssa noin 9 %. Koska jo maaveden mediaanipotentialien arvot olivat lähellä -6 kPa:a (taulukko 4 ja 6), on todennäköistä, että ainakin ajoittain taimien juurivyöhykkeessä erityisesti 1A- ja 2A-lohkoilla ilmatila oli liian alhainen maan edullisen ilmanvaihdon kannalta. Taimitarhamailla ilmatilan ohjearajaksi on esitetty 20 % (Warkentin 1984). Anaerobisessa kasvualustassa männyn taimien juurten kasvu vähenee voimakkaasti (Huikari 1954, 1959). Puut kestävät vähähappisia oloja jossain määrin lähinnä kasvukauden ulkopuolella, mutta kasvukauden aikana primaarijuuret ovat herkkiä liikavedelle (Orlov 1962, ks. Lähde 1972, Lippu ja Puttonen 1990). Zaerrin (1983) laboratoriokokeen mukaan yksivuotiaat männyn taimet voivat kuitenkin sietää lyhytaikaista (alle 4 päivää) tulvaa ilman nettofotosynteesin oleellista vähenemistä.

Taimilohkoilla (1AH), joilla käytettiin harsokatetta, maan vesipotentiaali oli keskimäärin hieman korkeampi (+1...+4 kPa) kuin ilman harsokatetta olleilla lohkoilla (1A) siitäkin huolimatta, että harsolohkoja kasteltiin vähemmän (taulukko 3). Ilmeistä onkin, että harsokate vähensi konvektiota ja siten haihduttaa maanpinnasta ja taimikasvustosta.

Mitä vanhempia taimia lohkoilla kasvatettiin sitä alhaisempi oli kasvualustan vesipotentiaali keskimäärin kasvukauden aikana. Kaksivuotisten taimien alhaisempaan kasvualustan vesipotentiaaliin vaikuttaa todennäköisesti paitsi haihduntaero myös erilainen kastelutaso verrattuna yksivuotisiin taimiin. Ensimmäisen kasvukauden

aikana taimikylvöstä kastellaan useammin kuin muulloin. Maan vesipotentiaali oli alhaisempi ensimmäisenä vuonna harsokatteen alla olleilla lohkoilla (2AH) kuin ilman harsokatetta olleilla (2A). Juuan taimitarhalla sadanta- ja kasteluerot eri lohkojen välillä (taulukko 3) ovat voineet aikaansaada vesipotentiaalin tasoeron näiden lohkojen välillä, lisäksi 2AH-lohkojen taimet olivat jonkin verran kookkaampia ja saattoivat siten haihduttaa enemmän.

Harsokatteen käyttö kohottaa lievästi maan vesipotentiaalia, mikä edistää siementen itämistä. Kuitenkin kosteassa kasvualustassa maan vesipotentiaalin kohoaminen saattaa myöhemmin kasvukaudella olla haitallista, mikäli maan ilmatila on jo ennestään alhainen korkean vesipitoisuuden vuoksi. Kosteusolot voivat edelleen heikentyä, mikäli kohonneita lämpötiloja harsokatteen alla pyritään alentamaan kastelua lisäämällä. Näin ollen harsokatteen tarkoituksenmukainen käyttö taimikasvatuksessa edellyttää paitsi lämpöolojen huomioimista myös sopivan maan vesipotentiaalin ja riittävän ilmanvaihdon ylläpitämistä.

Tutkituilla taimilohkoilla maalajitteiden osuudet ja maan vedenpidätyskyky vastaavat Westmanin (1983) tutkimien taimitarhamaiden ominaisuuksia. Saman tutkimuksen mukaan maan ilmatila oli -10 kPa:ssa (-pF 2) välillä 13...43 %, mikä tukee myös tässä työssä saatua ilman tilavuusosuuksien arvoja. Tarkasteluvuosien kastelutaso (taimitarhojen mukaan) ja sadeolot (Kuukausikatsaus... 1983, Kuukausikatsaus... 1985) olivat kesä-, heinä- ja elokuussa normaalit, suhteellisen lähellä pitkäaikaisia keskiarvoja. Siten voidaan katsoa, että tutkimuksen tulokset ovat yleistettävissä ainakin sää- ja kasteluoloiltaan normaaleihin vuosiin.

Tämän tutkimuksen perusteella paljasjuuristen männyn taimien avomaakasvatuksessa maaveden potentiaali ylittää ajoittain kasvukauden aikana maan riittävän ilmanvaihdon kannalta edullisen tason. Tästä johtuen kasvualustassa hapensaattavuus jää kasvukauden aikana ajoittain alle optimitason, mikä voi edelleen rajoittaa kasvua ja vaikuttaa erilaisten kasvuhäiriöiden syntyyn (Langerud ja Sandvik 1987, ks. myös Raitio 1985). Maaveden potentiaalin tulisi siten olla korkeintaan -5...-6 kPa, koska tämän rajan yläpuolella maan ilmatila (< 15...18 %) on riit-

tämätön ohjearvoihin nähden (Warkentin 1984). Maan pintakerrosten, joiden vedenpidätyskyky on suuri, vesipotentiaalin alentamiseksi ja ilmanvaihdon lisäämiseksi on taimitarhoilla syytä selvittää mahdollisuuksia kastelutason alenta-

miseen sekä kuivatuksen ja vedenläpäisevyyden lisäämiseen. Edullisen kastelutason määrittäminen edellyttää maaveden potentiaalin mitaamista.

Kirjallisuus

- BMDP statistical software manual 1990. Vol 1 & 2. University of California Press. Berkeley, Los Angeles, Oxford. 1385 s.
- Cooley, S.J. 1987. Management of Phytophthora root rot in conifer nurseries of the Pacific Northwest. *Tree Planters' Notes* 38(4):37-40.
- , Hamm, P.B. & Hansen, E.M. 1985. Management guide to Phytophthora root rot in bareroot conifer nurseries of the Pacific Northwest. USDA Forest Service. Pacific Northwest Region. 10 s.
- Day, R.J. 1980. Effective nursery irrigation depends on regulation of soil moisture and aeration. *Proceedings North American Forest Tree Nursery Soils Workshop, July 28–August 1 1980, Syracuse, New York.* s. 52–71.
- Elonen, P. 1971. Particle-size analysis. *Seloste: Maan raekoostumuksen määrittäminen. Acta Agraria Fennica* 122. 122 s.
- Glerum, C. & Pierpoint G. 1968. The influence of soil moisture deficits on seedling growth of three coniferous species. *The Forestry Chronicle* 44: 26–29.
- Glinski, J. & Stepniewski, W. 1985. Soil aeration and its role for plants. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida. 229 s.
- Heiskanen, J. 1988. Metsämaan vedepidätyskyvystä ja sen suhteista eräisiin kasvupaikasta mitattuihin tunnuksiin. *Metsänhoitotieteen lisensiaattityö. Helsingin yliopisto.* 92 s.
- 1989. Kangasmaiden vesitalous. *Kirjallisuustarkastelu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 339. 53 s.
- 1990. Näytelierrön täyttötavan vaikutus kasvuturpeen vedenpidätyskykyyn. *Summary: The effect of sample handling on the water retention of growth peat substrate. Suo* 41(4-5): 91–96.
- & Raitio, H. 1991. Influence of polypropylene gauze covering on soil temperature in nurseries. *Käsikirjoitus.*
- Henriksen, K. 1981. Influence of temporary covering with plastic on timing, yield and quality of Iceberg lettuce. *Acta Horticulturae* 122: 61–75.
- Hillel, D. 1982. *Introduction to soil physics.* Academic Press, Inc. San Diego, California. 365 s.
- Huikari, O. 1954. Experiments on the effect of anaerobic media upon birch, pine and spruce seedlings. *Seloste: Kokeita kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja kuusen taimiin. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 42(5). 13 s.
- 1959. On the effect of anaerobic media upon the roots of birch, pine and spruce seedlings. *Commun. Selostus: Kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn, ja kuusen taimien juuristoihin. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 50(9). 16 s.
- Klute, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. *Teoksessa: Klute, A. (toim.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Agronomy* 9. s. 635–662.
- Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Kesäkuu/Heinäkuu/Elokuu. 1983/1985. Ilmatieteen laitos. 12 s.
- Langerud, B.R. 1985. A simple in situ method for the characterization of porosity in growth media. *Plant and Soil* 93: 413–425.
- & Sandvik, M. 1987. Development of containerized *Picea abies* (L.) Karst. seedlings grown with heavy watering on various peat, perlite and mineral wool mixtures. *New Forests* 1: 89–99.
- Lippu, J. & Puttonen, P. 1990. Itutustaimien juuriston alkukehitys kasvupaikalla. *Kirjallisuuskatsaus. Abstract: The early development of seedling roots at the planting site: A literature study. Silva Fennica* 24(1): 57–75.
- Lähde, E. 1972. Seasonal variation in the depth of the aerobic limit and the ground water table in virgin and drained Myrtillus spruce swamp. *The Proceedings of the 4th International Peat Congress. Vol III. Otaniemi, Finland. June 25–30, 1972.* s. 355–369.
- 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. *Summary: Effect of soil treatment on physical properties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce seedlings. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 94(5). 59 s.
- & Savonen E.-M. 1983. Kastelun vaikutus männyn paakkutaimien kehitykseen sekä turpeen vesi- ja ilmasuhteisiin paakussa. *Summary: Effects of watering on the development of containerized Scots pine seedlings and water and air conditions in peat growing media. Folia Forestalia* 571. 40 s.
- Mannerkoski, H. & Möttönen, V. 1990. Maan vesitalous ja ilmatila metsäaurausalueilla. *Summary: Soil water conditions and air-filled porosity on ploughed reforestation area. Silva Fennica* 24(3): 279–301.
- Marshall, T.J. & Holmes, J.W. 1979. *Soil physics.*

- Cambridge University Press. 345 s.
- McDonald, S.E. 1984. Irrigation in forest-tree nurseries: monitoring and effects on seedling growth. *Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.) Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. The Hague, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis.* s. 107–121.
- Mälkönen, E. 1976. Markberedningens ekologi och inverkan på planteringsresultatet. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse* 6: 11–15.
- Orlov, A.J. 1962. [Growth and death of pine, birch and spruce roots when periodically submerged in standing water.] *Soobsc. Lab. Lesoved. (Moskva).* 6: 62–82.
- Poteri, M., Heikkilä, R. & Yuan-Yi L. 1987. Peltolteen aiheuttaman kasvuhäiriön kehittymisen yksivuotiailla männyntaimilla. *Summary: Development of the growth disturbance caused by Lygus rugulipennis in one-year-old pine seedlings. Folia Forestalia* 695. 14 s.
- Puustjärvi, V. 1973. Kasvuturve ja sen käyttö. *Turveteollisuusliitto r.y. Julkaisu* 1. Helsinki. 173 s.
- 1975. Growth disturbances induced by low air space. *Peat & Plant Yearbook 1973–1975.* s. 17–19.
- 1978. The water uptake as a function of matric potential and osmotic pressure in peat culture. *Peat & Plant Yearbook 1978.* s. 13–20.
- 1981. Juuriston hapenpuute kasvuhäiriöiden aiheuttajana. *Puutarha* 10:510–511.
- 1982. Turpeen viljelykosteus. *Puutarha* 8:422–424.
- Raitio, H. 1985. Yksivuotiaiden avomaalla kasvatettujen paljsuuristen männyntaimien kasvuhäiriön oireet ja esiintyminen. *English translation: Symptoms and occurrence of a growth disturbance in one-year-old, bare-rooted Scots pine seedlings raised in the open. Folia Forestalia* 611. 14 s.
- Raulo, J. & Hinttala, T. 1972. Taimilajin merkitsemisestä. *Metsä ja Puu* 5: 35.
- Rikala, R. & Westman, C.J. 1978. Markförbättring, gödsling och bevattning i finländska skogsträskolor. *Saertryck fra Årsskrift for Nordiske Skogplanteskoler.* 16 s.
- Sands, K. & Rutter, A.J. 1959. *Studies in the growth*

- of young plants of *Pinus sylvestris* L. II The relation of growth to soil moisture tension. *Annales of Botany, N.S.* 23(90): 269–284.
- Schuster, C. 1974. *Wasserspiegelabsenkung zwischen zwei Dreinagegräben in natürlich gelegertem Boden am Hang. Die Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen.* 50: 848–855.
- Seuna, P. 1977. Kasteluun vaikuttavista hydro-meteorologisista tekijöistä. *Summary: On the hydro-meteorological factors affecting irrigation. Vientutkimuslaitoksen julkaisuja* 24. 96 s.
- Stolzy, L.H. 1974. Soil atmosphere. *Teoksessa: Carson, E.W. (toim.) The plant root and its environment. University of Virginia.* s. 335–361.
- Vakkilainen, P. 1982. Maa-alueelta tapahtuvan haihdunnan arvioinnista. *Summary: On the estimation of evapotranspiration. Acta Universitatis Ouluensis. Series C. Artes Constructionum* 6. 146 s.
- Vomocil, J.A. & Flocker, W.J. 1961. Effect of soil compaction on storage and measurement of soil air and water. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering* 4:176–180.
- Warkentin, B.P. 1984. Physical properties of forest-nursery soils: relation to seedling growth. *Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. (toim.) Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. Martinus/Dr. W. Junk Publishers. The Hague, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis.* s. 53–61.
- Wesseling, J. & Wijk, W.R. 1957. Land drainage in relation to soils and crops. I Soil physical conditions in relation to drain depth. *Teoksessa: Luthin, J.N. (toim.) Drainage of Agricultural Lands. American Society of Agronomy.* s. 461–504.
- Westman, C.J. 1983. Taimitarhamaiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia sekä niiden suhde orgaanisen aineksen määrään. *Summary: Physical and physico-chemical properties of forest tree nursery soils and their relation to the amount of organic matter. Acta Forestalia Fennica* 184. 34 s.
- Zaerr, J.B. 1983. Short-term flooding and net photosynthesis in seedlings of three conifers. *Forest Science* 29(1): 71–78.

Total of 47 references

Summary

Soil water potential during the production of bare-rooted Scots pine seedlings

Irrigation schedules are commonly determined by visual or tactile examination of soil in the open forest tree nursery fields in Finland (Rikala and Westman 1978). The physical properties of the growth media often vary even within one seedling field (Westman 1983, Puustjärvi 1975). Therefore there may be rela-

tively great variations in the moisture content.

Soil water potentials of –10 to –75 kPa are considered to be favourable for the availability of water to seedlings and for adequate soil aeration (Day 1980, McDonald 1984). It is generally claimed that the soil air space should be at least 10 to 15 % (v/v) to

promote root respiration and growth. For nursery practice, 20 % is given as the normative minimum (Warkentin 1984).

High irrigation lowers air space and weakens aeration of soils. Excessive watering has been found to cause oxygen deficiency in the roots, death of the root tips, retarded growth and growth disturbances among tree seedlings (e.g. Lähde and Savonen 1983, Langerud 1985). Growth disturbances in Scots pine seedlings caused by insects (e.g. Raitio 1985, Poteri et al. 1987) have also been supposed to be affected by low aeration of the soils.

Gauze coverings have been used in the open nursery fields of one-year-old Scots pine seedlings in Finland from the beginning of the 1980's. They have been used in order to promote the early development of the seedlings and to prevent growth disturbances caused by insects. Polypropylene covering significantly affects the thermal regime of the soil surface and soil (Henriksen 1981, Heiskanen and Raitio 1991). The convection and evaporation conditions are changed under the covering, which, in turn, affects the soil water conditions.

The aim of the study was to examine the soil water potential and its effect on the soil air-water ratio during the production of bare-rooted Scots pine seedlings in open nursery fields. The data (Experiment 1) were collected during the growing season of 1983 from three nurseries in Alakärppä, Oulu (64°59'N, 25°39'E), Juuka (63°14'N, 29°10'E) and Keuruu (62°17'N, 24°38'E). Soil water potential was measured from fields grown various seedling types at depths of 10 and 20 cm using tensiometers (Schuster 1974) (three per depth). In 1986, soil core samples were collected in order to assess the water desorption characteristics of the soils (Klute 1986, Heiskanen 1988, 1990).

The aim of the study was also to examine the effect of polypropylene gauze covering (Agryl P 17, SODOCA/France) on soil water potential. The study material (Experiment 2) was collected during the growing season of 1985 from nurseries in Alakärppä, Oulu (64°59'N, 25°39'E) and Juuka (63°14'N, 29°10'E). Soil water potential was measured at depths

of 5, 10 and 15 cm using tensiometers (three per depth).

In Experiment 1, the soil of the seedling fields was relatively graded and the dominant fraction was fine sand (0.6 to 0.2 mm in diameter) at depths of 0 to 10 cm. In Juuka, the dominant fraction was very fine sand (0.2 to 0.06 mm) (Table 1). In experiment 2, the dominant fraction at depths of 0 to 30 cm was fine sand (0.6 to 0.2 mm) in Oulu and very fine sand (0.2 to 0.06 mm) in Juuka (Table 2). The soils of the seedling fields were quite similar although there was some variation within the fields.

The soil water potentials were relatively high in all the fields studied (Tables 4 to 7). In fields with one- and two-year-old seedlings, the median potentials were higher than -10 kPa. The potentials did not reach the lower limit of the measurement scale (ca. -85 kPa) of the tensiometer. The soil water potential tended to fall with increasing evaporation, and became clearly higher after rainfall and irrigation, especially close to the soil surface (Fig. 1). The potential usually varied less, and the level of potential was lower at the depth of 20 cm than at 10 cm (Experiment 1).

The polypropylene gauze covering slightly (1 to 4 kPa) increased the soil water potential (e.g. Fig. 3). This effect could be harmful if the soil air space was low due to a high water content. During the second growing season, the soil water potential of the seedling fields covered by the gauze during the first year was somewhat lower than that in the fields with no covering.

Water retention of the soils was fairly high (Fig. 2). The physical properties of the soil were comparable to the properties of the nursery soils studied by Westman (1983). Water retention was lower deeper in the soil. There was no lack of water in the fields. At -10 kPa there was 20 to 40 % (v/v) water and 25 to 35 % air space in the soils. At -5 to -6 kPa, the air space was about 15 %, which is below the recommended values. Hence, soil aeration may periodically be insufficient in the rooting zone as a result of high water content. It is suggested that irrigation and drainage should be adjusted so that the highest soil water potential would be -5 to -6 kPa.