

FOLIA FORESTALIA 627

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1985

RISTO RIKALA

PAAKKUTAIMIEN KASTELUTARPEEN
MÄÄRITTÄMINEN HAIHDUNNAN
PERUSTEELLA

ESTIMATING THE WATER REQUIREMENTS
OF CONTAINERIZED SEEDLINGS ON THE
BASIS OF EVAPOTRANSPIRATION



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyssönen
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 627

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1985

Risto Rikala

PAAKKUTAIMIEN KASTELUTARPEEN MÄÄRITTÄMINEN HAIHDUNNAN PERUSTEELLA

Estimating the water requirements of containerized seedlings
on the basis of evapotranspiration

Approved on 14.6.1985

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. MENETELMÄ	4
21. Kasvatusmateriaali ja -ympäristö	4
22. Koekäsittelyt	4
23. Mittaukset	4
24. Vertailuaineisto	5
25. Sääolosuhteet kokeen aikana	5
3. TULOKSET	6
31. Taimiarkkien massan, kosteuden ja haihdunnan vaihtelu	6
32. Säätökijöiden ja turpeen kosteuden vaikutus haihduntaan	9
33. Kastelutaajuuden vaikutus haihduntaan	9
34. Kastelunogrammien testaaminen	11
4. TULOSTEN TARKKAILU	13
41. Haihdunnan ja kastelutarpeen määrittäminen	13
42. Tulosten soveltaminen käytäntöön	14
KIRJALLISUUS — REFERENCES	15
SUMMARY	16
LIITTEET — APPENDICES	18

RIKALA, R. 1985. Paakkutaimien kastelutarpeen määrittäminen haihdunnan perusteella. Summary: Estimating the water requirements of containerized seedlings on the basis of evapotranspiration. *Folia For.* 627: 1—18.

Tutkimuksessa selvitetiin paakkutaimien haihdunnan vaihtelua ja siihen vaikuttavia tekijöitä muovihuoneessa sekä tutkittiin haihduntaa kuvaavien tunnusten käyttöä kastelutarpeen määrittämisessä. Kokeet tehtiin Suonenjoen taimitarhan (62°39'N, 27°03'E; 140 m mpy) betonipohjaisessa muovihuoneessa. Männyntaimet kasvatettiin paperikeno- ja turveruokkuarkeissa, joissa oli kasvualustana keskikarkeata vaaleata rahkaturvettä.

Haihduntaa selvitetiin kahdella kokeella. Ensin tutkittiin paakkutyypin ja kasvualustan kosteuden vaikutusta arkkien haihduntaan sekä arinakasvatuksessa että betonipohjaisella alustalla. Toisessa kokeessa selvitetiin kastelutajuuden vaikutusta paperikenoarkkien haihduntaan betonialustalla.

Haihduntaa arkeista seurattiin punnitsemalla arkit ja palauttamalla ne kastelussa tavoitemasoihinsa. Samanaikaisesti muovihuoneessa seurattiin lämpötilaa, suhteellista kosteutta, haihduntaa sekä Pichen evaporimetrillä että vapaasta vesipinnasta ja kokonaissäteilyä bellani-pyranometrillä.

Vuorokautinen haihdunta taimiarkeista vaihteli päivittäin kasteltaessa turpeen kosteuden ja sääolosuhteiden mukaan keskimäärin välillä 2,2—3,5 mm. Turveruokkuarkeiden suhteelliset massan muutokset olivat huomattavasti suuremmat kuin paperikenoarkkien, vaikka haihduntaerot olivat varsin pienet.

Haihdunta taimiarkeista korreloi voimakkaimmin evaporimetrihaihdunnan ja kokonaissäteilyn kanssa. Havaintoaineistosta laskettiin lineaariset regressioyhtälöt ja piirrettiin nomogrammit päivittäistä kastelua varten. Kasteluvälin pidentyessä yli yhden vuorokauden mittaiseksi paakkuarkeista mitatun haihdunnan ja säätekijöiden välinen regressio muuttui epälineaariseksi. Riippuvuuksia kuvattiin rectangulaarisella ja nonrectangulaarisella hyperbelillä.

Esitettyä evaporimetrihaihduntaan tai kokonaissäteilyyn perustuvaa kastelutarpeen määrittämenetelmää suositellaan kokeiltavaksi taimitarhoilla täydennettynä mahdolliset systemaattiset kasteluvirheet eliminoivalla viikottaisella taimiarkeiden punnitukseen perustuvalla kastelulla.

The variation in evapotranspiration of containerized seedlings and the factors affecting this process were studied in the greenhouse. In addition, the use of parameters depicting evapotranspiration for estimating the need for watering was also studied.

The experiments were carried out at Suonenjoki Research Nursery (69° 39'N, 27° 03'E, 140 m asl) in a plastic greenhouse with a concrete floor. The Scots pine seedlings were raised in paperpots and peat-pots containing medium-milled, light-coloured Sphagnum peat as the substrate.

Evapotranspiration was studied in two experiments. The effect of the moisture content of the substrate and the type of base on the evapotranspiration of seedling units was studied in the first experiment by growing the seedlings in container units placed on the concrete floor and on a raised stage made of wooden laths. The effect of watering frequency on evapotranspiration of the paperpot units growing on the concrete floor was studied in the second experiment.

Evapotranspiration was followed by weighing the units and then watering them to the targeted weight. The air temperature, relative humidity, evaporation with a Piche evapometer, evaporation from a free water surface and total radiation with a Bellani pyranometer, were followed at the same time in the plastic greenhouse.

When watered daily, the daily evapotranspiration from the seedling units varied, depending on the moisture content of the peat and the weather conditions, between 2,2—3,5 mm. The relative change in the weight of the peat-pot units was considerably greater than that from the paperpot units, although the differences in evapotranspiration were rather small.

Evapotranspiration from the seedling units was most strongly correlated with the Piche evaporation and the total radiation. Linear regression equations were calculated from the data, and nomogrammes drawn up for the daily watering regime. The regression between climatic factors and evapotranspiration from the container units became nonlinear when the interval between watering was longer than one day. The dependences were depicted using rectangular and non-rectangular hyperbolae.

It is recommended that the method presented here for estimating the need of watering be tested in the practice. The possible systematic watering errors can be eliminated by means of watering based on weekly weighting of the seedling units.

ODC 232.329.6 + 232.325.1 + 232.412
ISBN 951-40-0707-7
ISSN 0015-5543

Helsinki 1985. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Taimien kastelua on pidetty eräänä ongelmallisimmista tehtävistä metsäpuiden taimikasvatuksessa ja kastelutarpeen määritysmenetelmien kehittäminen on katsottu keskeiseksi tutkimustarpeeksi (Rikala ja Westman 1979). Taimien kasvatusta rajoitetussa kasvualustassa kuten paakkuarkissa tai peräti yksittäisissä, eristetyissä paakuissa, vaatii vielä huomattavasti tarkempaa kastelua kuin paljasjuuritaimien kasvatusta avomaalla. Tarkkuusvaatimusta lisäävät muovihuoneen avomaata epätasaisemmat haihduntaolosuhteet, kasvualustan kosteuseroja tasoittavan 'luonnonsateen' puute sekä lannoitteiden antamisen kasteluveden mukana.

Kasteluun vaikuttavia tekijöitä on Suomessa selvitetty varsin monipuolisesti sekä avomaaolosuhteissa peltomailla (Kara ja Pälikkö 1975, Seuna 1977) että kasvihuoneolosuhteissa kasvuturvealustalla (Puustjärvi 1969b, 1970, 1973, 1978). Metsäpuiden taimitarhoja varten Nisula (1975, 1976) on kehittänyt kastelulaitteita avomaaja muovihuoneolosuhteisiin. Viime vuosina on myös taimituottajien toimesta testattu taimitarhoilla käytettäviä kastelulaitteita (Holopainen 1979, 1983). Erilaisia muovihuoneiden kastelulaitteita ratkaisuja on esitetty myös ulkomaisessa puutarha-alan (Welch 1970, Hanan 1978) ja metsäpuiden taimitarha-alan kirjallisuudessa (esim. Tinus ja McDonald 1979).

Taimien kastelutarvetta ja kastelun vaikutusta taimiin on Suomessa tutkittu vasta viime vuosina (Rikala 1982, Lähde ja Savonen 1983). Kastelun ja erityisesti eri pituisien kuivusjaksojen on todettu vaikuttavan paitsi taimien morfologiaan ja vuosirytmiiin (Young ja Hanover 1978) myös niiden kuivuuden (Shirley ja Meuli 1939) ja kylmyyden (Blake ym. 1979) kestävyyyteen. Vaikka ulkomailla saavutettuja tuloksia ei aina voidakaan yleistää oloihimme, korostuu taimien kastelun hallinnan tärkeys paitsi taimisaannon myös taimien laadun kannalta.

Kastelutarve voidaan määrittää suoraan taimien vesitilan tai kasvualustan kosteuden

perusteella tai epäsuorasti korrelaatiotekniikalla haihduntaolosuhteiden perusteella. Taimista kastelutarve määritetään esim. mittaamalla niiden vesipotentiali Scholanderin painepommilla (esim. Tinus ja McDonald 1979). Kasvualustan kosteuden mittaamiseen on kehitetty erilaisia epäsuoria menetelmiä ja mittalaitteita kuten tensiometrit, kaksimetalliset kosteusmittarit ja sähkövastukseen perustuvat kipsiblokkimittarit (Wells ja Soffe 1961, Cope ja Trickett 1965, Tinus ja McDonald 1979). Myös kasvatusyksikön massan muutoksella on mitattu paakkuaitaimien kastelutarvetta (Nisula 1975, Tinus ja McDonald 1979, Hallet 1981).

Korrelaatiotekniikkaan perustuvat haihduntamallit voidaan jakaa kahteen ryhmään (Jarvis ym. 1981). Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat perustuvat ympäristötekijöiden ja haihdunnan väliseen riippuvuuteen. Toinen ryhmä sisältää lisäksi haihduttavan pinnan ominaisuuksia ja perustuu pinnan säteilyfyysiikkaan sekä lämmön ja veden vaihtoon. Edelliseen ryhmään kuuluvat mm. puutarhapuolella kastelun ohjaukseen käytetyt säteilyyn (Morris ym. 1957) ja vapaan vesipinnan haihduntaan (Nielsen 1962) perustuvat menetelmät. Suomessa menetelmää ovat soveltaneet mm. Juusela ym. (1969) ja Mannerkoski (1977).

Kastelutarpeen määrittäminen taimitarhoilla niin Suomessa (Rikala ja Westman 1979) kuin esim. Yhdysvalloissa (Abbott ja Fitch 1977) perustuu kuitenkin pääasiassa silmävaraiseen arvioon, sormin tunnusteluun ja taimitarhanhoitajan kokemukseen. Tosin apuvälineitäkin käytetään. Esimerkiksi Yhdysvaltojen luoteisvaltioissa puolet paljasjuuritaimitarhoista käyttää tensiometrejä ja peräti kaksi kolmasosaa painepommia kastelutarpeen seurannassa (McDonald 1984).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää paakkuaitaimien haihdunnan vaihtelua ja siihen vaikuttavia tekijöitä muovihuoneessa sekä tutkia haihduntaa kuvaavien tunnus-ten käyttömahdollisuuksia paakkuaitaimien

kastelutarpeen arvioimisessa. Tulokset kasvualustan kosteuden vaikutuksesta taimien kehittymiseen taimitarhalla ja istutuksen jälkeiseen menestymiseen esitetään myöhemmin toisessa yhteydessä. Esituloksia tähän koearjaan liittyvästä aineistosta on taimien osalta esitetty jo aiemmin (Rikala 1982).

2. MENETELMÄ

21. Kasvatusmateriaali ja -ympäristö

Kokeet tehtiin kesällä 1979 Suomenjoen taimitarhan (62°39'N, 27°03'E) koillis-lounais-suunnassa olleessa betonipohjaisessa muovihuoneessa, jonka pituus oli 60 m, leveys 16 m ja harjakorkeus 8 m. Huonetta tuuletettiin päätyluukuista ja -ovista. Huoneen pinta-alasta oli kokeen aikana noin puolet kasvatuskäytössä.

Taimet kasvatettiin paperiksenno (FS 408)-ja turveruukku (Fp 620)- arkeissa. Paperiksennoarkit, jotka muodostuvat 192 kennosta, viritettiin 40 × 60 cm kokoiisiin Lännen Tehtaiden muovisiin ritiläpohjaisiin laatikoihin. Turveruukkuarkit (90 ruukku/arkki) asetettiin solumuovisille alustoille (32 × 76 cm, n:o 620), joiden pohjalla on alaspäin levenevää, turveruukkuja tukevia ja samalla ruukkujen seinämän haihduntaa hidastavia väliseiniä. Muuten laatikoiden pohja oli avoin.

Paakkuarkit täytettiin lannoitetulla, keskikarkealla, vaalealla rahkaturpeella (VAPO B1). Turpeeseen on sekoitettu peruslannoitteeksi Kemiran Turpeen Y-lannosta 0,8 kg/m³ ja dolomiittikalkkia 8 kg/m³. Rakennepuutoksen analyysin (Puustjärvi 1969) mukaan turpeen tiheys (tilavuuspaino) oli 0,063 kg/l, turveaineksen tiheys (ominaispaino) 1,35 kg/l, huokostila 95,3 %, sekä vesikapasiteetissa olevan turpeen vesitila 70,3 % ja ilmatila 25,0 %.

Muoviseen ritilälaatikkoon viritetyn ja turpeella täytetyn paperiksennoarkin kokonaiskuivamassa oli keskimäärin 1760 g, joka jakautui seuraavasti: kennoarkki 150 g, muoviritilälaatikko 600 g ja turve 1010 g. Vastaavasti turveruukkuarkkien keskimääräinen kokonaiskuivamassa oli 860 g, mikä jakautui seuraavasti: ruukkuarkki 300 g, solumuovinen alusta 160 g ja turve 400 g. Syksyllä taimien massa oli turveruukkuarkeissa n. 75 g ja paperiksennoarkeissa n. 140 g.

Turpeella täytetyt paakkuarkit kasteltiin perusteellisesti ja 24.5.1979 paakkuihin kylvettiin männynsiemen. Kylvös peitettiin ohuella hiekkakerroksella (400 g/arkki). Itämisjakson aikana kaikkia arkkeja pyrittiin kastelemaan itämisen kannalta optimaalisesti. Kolmen viikon kuluttua kylvöstä taimet harvennettiin yksi taimi/paakku-asettoon.

Turpeen kosteus sekä tilavuutta että kuivamassaa kohti laskettuna saatiin arkkiaineksen keskimääräisen turvetilavuuden (Fp 620: 6.3 l ja FS 408: 16.0 l), turpeen tiheyden ja arkkiaineksen sisältämän vesimäärän perusteella. Yhden arkki turveruukkujen seinämämateriaalin tilavuudeksi mitattiin 1,8 l, joka lisättiin arkkiin täyttötalavuuden laskettaessa koko arkkiaineksen kosteutta.

Työ kuuluu metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosaston 'taimien kasvatusta' -tutkimuksiin. Koekäytön toteuttamisessa ja aineiston laskennassa sekä kuvien piirtämisessä avustivat Ritva Pitkänen ja Helena Vesterinen. Käsikirjoituksen lukivat Erkki Lähde ja Juhani Päivänen. Englanninkieliset käännökset on tehnyt John Derome, M.Sc. Parhaat kiitokset kaikille työssä mukana olleille.

22. Koekäsittelyt

Kastelutarpeen selvittämiseksi järjestettiin kaksi koetta. Toisaalta tutkittiin turpeen kosteuden ja kasvatusalustan sekä toisaalta kastelutaajuuden vaikutusta taimiarkista tapahtuvaan haihduntaan ja taimien kehitykseen. Kasvualustan kosteuskokeessa käytettiin sekä paperiksenno- ja turveruukkuarkeja, kumpiakin 24 kappaletta. Puolet arkeista sijoitettiin muovihuoneen betonialustalle ja puolet puurimoista rakennetulle 30 cm korkealle 6,5 m²:n laajuuiselle arinatasolle, jonka reunat oli osittain peitetty muovilla ilmanvaihdon vähentämiseksi. Järjestelyllä pyrittiin simuloimaan käytännön kasvatusolosuhteita.

Paakkuarkeja kasteltiin itämisjakson aikana tarpeen mukaan useamman kerran päivässä niin, että turpeen pinta pysyi jatkuvasti kosteana. Kastelu eriytyi eri käsittelyiksi (taulukko 3) itämisjakson jälkeen 15.6.1979. Arkki punnittiin päivittäin vaa'alla (Dayton DV 301), mittatarkkuus 20 g, ja kasteltiin kastelukannalla koekäsittelyjen edellyttämiin tavoitemassoihin. Jokaista koekäsittelyä (kastelutasoa) edusti 4 paperiksenno- ja 4 turveruukkuarkeja sekä betonialustalla että arinalla. Yksi arkki jokaisesta kastelukäsittelystä kummallakin kasvatusalustalla ja paakkulajilla jätettiin kylvämättä, jotta voitaisiin erottaa turpeen haihdunnan (evaporaatio) ja taimien haihdunnan (transpiraatio) osuus kokonaishaihdunnasta (evapotranspiraatio).

Kastelutaajuuskokeessa kasvatettiin taimia vain paperiksennoarkeissa betonialustalla. Erona kasvatusalustan kosteuskokeeseen oli se, että arkki (4 kpl/käsittely) kasteltiin tavoitekoosteuteen eri pituisin väliajoin: 7, 4, 2 ja 1 kertaa viikossa. Kennoarkeiden tavoitemassa kastelun jälkeen oli 9600 g, jolloin turpeen vesivarasto oli 7300 g ja turpeen kosteus 46 til.-%.

23. Mittaukset

Kokeen aikana muovihuoneen lämpötilaa ja suhteellista kosteutta seurattiin betonialustalle sääkojuun asetulla termohygrograafilla (Lambrech nr. 252). Vuorokautista kokonaissäteilyä mitattiin muovihuoneessa Bellani-pyranometrilla (Rossi 1951, Wilska 1968), jossa säteilyä vastaanottava pinta on vaakasuora taso (Leikola 1976). Pyranometri luettiin tavallisesti kerran, mutta kirkkaina päivinä kahdesti vuorokaudessa.

Haihduntaa seurattiin Pichen evaporimetreillä (Lambrech nr 1522), joita luettiin päivittäin. Pichen

Taulukko 1. Kesäkuukausien keskilämpötila ja vuorokautinen kokonaissäteily koevuonna 1979 sekä vuosien 1973—1983 keskiarvona ($\bar{x} \pm s$) Suonenjoen tutkimusasemalla.

Table 1. The mean air temperature and daily total radiation during the summer months in 1979, and the mean values ($\bar{x} \pm s$) for the period 1973—1983.

Kuukausi month	Keskilämpötila Mean temperature		Kokonaissäteily Total radiation	
	1979	1973—83	1979	1973—83
	°C		KJcm ⁻² vrk ⁻¹	
Kesä June	15,1	13,7 ± 2,1	2,219	1,989 ± 0,406
Heinä July	15,4	16,3 ± 1,5	1,796	1,938 ± 0,327
Elo August	15,5	13,9 ± 0,8	1,453	1,436 ± 0,289

evaporimetri on alapäästään avoin 12 mm:n läpimittainen lasiputki, jossa on millilitran kymmenesosa-asteikko. Vesi haihtuu pyöreästä valkoisesta 30 mm:n läpimittaisesta imupaperista, joka on kiinnitetty pidikkeellä lasiputken alapäähän. Putki täytetään vedellä ja asetetaan imupaperipuoli alaspäin mittaustehtäseen. Haihdunta luetaan lasiputkessa olevan vesipatsaan alenemisestä. Pichen evaporimettrin toimintaa on kuvannut mm. Odin 1976. Viidestä evaporimetristä kolme oli sijoitettu 10 cm betonilattian yläpuolelle ja kaksi arinatason ja betonilattian puoliväliin.

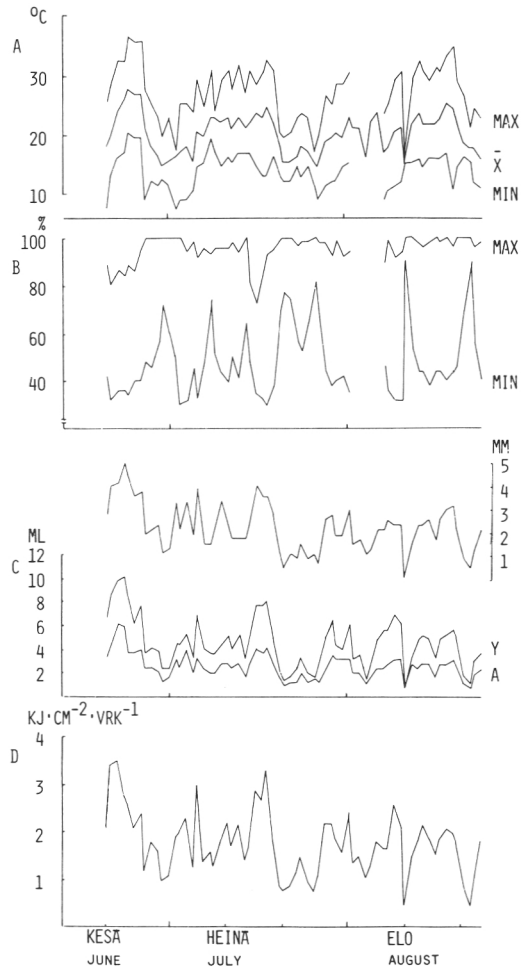
Haihduntaa seurattiin myös punnitsemalla päivittäin solumuovisesta laatikosta (12,8 dm²) haihtuneen veden määrä. Kaikki päivittäin luettavat mittarit tarkastettiin aamulla klo 8—10 välillä samanaikaisesti kun taimiarikit punnittiin ja kasteltiin. Mainittujen huoneesta tehtyjen mittausten lisäksi oli käytettävissä Suonenjoen koeaseman säähavaintoaseman mittaukset. Säähavaintoasema sijaitsi 60 m muovihuoneesta kaakkoon.

24. Vertailuaineisto

Kokeen tuloksien perusteella laadittujen kastelunogrammien soveltuvuutta verrattiin kesällä 1978 kerättyyn esikoeaineistoon. Esikoe toteutettiin samassa muovihuoneessa ja samalla menetelmällä, mutta suppeampana kuin varsinainen koe. Erona oli myös paperikennoarkkien tyyppi, joka esikokeessa oli suurempi (Fh508, 38 × 90 cm). Vertailua varten Fh508-arkkien pinta-ala muutettiin vastaamaan pienempiä, varsinaisessa kokeessa käytettyjä, FS408 arkkeja. Sekä turveruukku- että paperikennotaimia oli kaksi arkkia kosteustasoa kohti. Kosteustasoja oli kolme. Ilmakasvatuksessa arina-alustalla toteutettiin kuitenkin vain keskimääräinen kosteustaso. Turpeen kosteusprosentit eri tasoilla olivat esikokeessa hieman korkeampia kuin varsinaisessa kokeessa.

25. Säöolosuhteet kokeen aikana

Kesä 1979 oli Suonenjoella hieman lämpimämpi kuin ajanjakson 1963—1983 keskimäärin, vaikka vuoden 1979 heinäkuu olikin noin yhden asteen keskimääräistä kylmempi (taulukko 1). Vuosi olikin sikäli normaalista poikkeava, että kaikki kesäkuukaudet olivat lähes sa-



Kuva 1. Säöolosuhteet muovihuoneessa kokeen aikana, A. Ilman maksimi-, minimi- ja keskilämpötila, B. Suhteellinen maksimi- ja minimikosteus, C. evaporimetrihaihdunta (ml), Y = arinatason yläpuolelta, A = arinatason alapuolelta, ja haihdunta vapaasta vesipinnasta (mm), D. kokonaissäteily.

Fig. 1. The climatic conditions in the plastic greenhouse during the course of the experiment, A. Maximum, minimum and mean air temperature, B. Maximum and minimum relative humidity, C. Piche evaporation (ml), Y = above the wooden stage, A = below the wooden stage, and evaporation from a free water surface (mm), D. total radiation.

manlämpöisiä. Kesäkuukausien säteilysumma oli lähes samansuuruinen kuin kauden 1963—1983 kesien keskimääräinen säteilysumma.

Koemuovihuoneessa vuorokautinen ääriämpötilojen erotus oli suurimmillaan 20°C (kuva 1). Kesän aikana vuorokauden keskilämpötila vaihteli 14,4—27,1°C ollen keskimäärin 4°C korkeampi kuin ulkolämpötila. Useimmissa taimien kasvatusohjeissa esitetään yön optimi-

lämpötila taimien kasvun kannalta 12—13°C päivälämpötilaa alhaisemmaksi ja päivälämpötilaoptimiksi 20—30°C (esim. Larson 1974). Keskimääräinen vuorokautinen kokonaissäteily oli muovihuoneessa noin 75 % ulkoa mitatusta kokonaissäteilystä.

Vuorokautinen suhteellinen maksimikosteus oli muovihuoneessa keskimäärin 94 % ja minimikosteus 49 %. Kuivimmillaan muovihuoneen suhteellinen kosteus oli vain 30 %. Muovihuoneessa suhteellinen maksimikosteus oli keskimäärin 1 %-yksikön ja minimikosteus 12 %-yksikköä alhaisempi kuin ulkona. Kasvatusolosuhteet olivat normaalia kuivemmat johtuen huoneessa kasvatettujen taimien vähäisyydestä. Esimerkiksi koe-

huoneen rinnalla olevassa samankokoisessa Suomenjoen taimitarhan tuotantohuoneessa minimikosteus vaihtelee yleensä 55—70 %:n välillä. Taimikasvatuksen optimikosteutena pidetään itämisjakson aikana 80 % ja kasvatusjakson aikana 60 % (Tinus ja McDonald 1979).

Haihdunta vapaasta vesipinnasta (keskimäärin 2,1 mm/vrk) sekä evaporimetrihaihdunta (keskimäärin 4,4 ml/vrk) myös osoittivat olosuhteiden olleen keskimääräisiä kasvatusolosuhteita kuivempia.

Eri säätunnusten arvot korreloivat varsin voimakkaasti keskenään (taulukko 2). Erityisesti haihduntatunnusten ja kokonaissäteilyn välillä vallitsi vahva riippuvuus.

Taulukko 2. Koemuovihuoneessa mitattujen säätunnusten keskinäiset korrelaatiot (66 havaintoa).
Table 2. The correlation between the climatic parameters measured in the plastic greenhouse (66 observations).

Säätunnukset Climatic parameters	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(1) Keskilämpötila <i>Mean temperature</i>	1.00							
(2) Maksimilämpötila <i>Max. temperature</i>	0.92	1.00						
(3) Minimilämpötila <i>Min. temperature</i>	0.69	0.56	1.00					
(4) Suht. maksimikosteus <i>Max. relat. humidity</i>	-0.34	-0.31	-0.19	1.00				
(5) Suht. minimikosteus <i>Min. relat. humidity</i>	-0.47	-0.61	0.03	0.04	1.00			
(6) Haihdunta vapaasta vesipinnasta <i>Evaporation from Free water surface</i>	0.63	0.67	0.17	-0.42	-0.75	1.00		
(7) Evaporimetrihaihdunta <i>Piche evaporation</i>	0.65	0.71	0.17	-0.48	-0.77	0.93	1.00	
(8) Kokonaissäteily <i>Total radiation</i>	0.59	0.68	0.14	-0.45	-0.79	0.89	0.95	1.00
(9) Suht. keskikosteus <i>Mean relative humidity</i>	-0.55	-0.68	-0.02	—	0.94	-0.81	-0.88	-0.88

3. TULOKSET

3.1. Taimiarkin massan, kosteuden ja haihdunnan vaihtelu

Paperikenoarkkien massa päivittäin kasteltaessa aleni turpeen kosteudesta ja sääolosuhteista riippuen tavoitemassasta (taulukko 3) keskimäärin 525—830 g, mikä vastaa 8,7—11,7 % vähennystä turpeen vesivarastosta ja 2,2—3,5 mm:n keskimääräistä vuorokautista haihduntaa (taulukko 4, kuva 2). Tällöin turpeen kosteus vaihteli 26—53 til.-%. Kuivimmissa kennoarkeissa (käsittely 3) suurin massanvähennys oli 1254 g, jolloin

kasvualustan kosteus oli vain 22 til.-%. Turveruokkuarkeissa suhteelliset massanmuutokset turpeen vesivarastoon verrattuna olivat suurempia kuin paperikenoarkeissa. Kuitenkin haihdunta turveruokkuarkeista pinta-alayksikköä kohden oli vain noin 10 % suurempi kuin paperikenoarkeista. Kuivimmillaan turveruokkuarkeiden kosteus oli 18 til.-%.

Kastelutaajuuskokeessa päivittäisessä kastelussa haihdunta oli keskimäärin 8,2 % ja viikoittaisessa kastelussa peräti 41 % turpeen vesivarastosta (taulukko 5, kuva 2). Tavoit-

temassassaan turpeen kosteus (46 til.-%) oli optimikosteusalueen ylärajoilla, jos turpeen ilmatilan minimivaatimuksena pidetään 50 % (Puustjärvi 1973, 1975). Neljä kertaa viikossa kasteltaessa oli turpeen kosteus laskenut ennen seuraavaa kastelua optimikosteusalueen alarajalle ja tuolloin haihdunta oli ollut 5,3 mm. Kaksi kertaa ja kerran viikossa kasteltaessa turpeen kosteus laski alle optimikosteusalueen ja haihdunta arkeista ylitti 10 mm. Turpeen kosteus oli ennen seuraavaa kastelua keskimäärin 26 til.-%, alimman arvon ollessa 20 %. Tällöin turpeen kastelu takaisin tavoitemassaan olikin vaikeampaa, koska turpeen vedenpidätyskyky heikkenee sen kuivussa liikaa.

Taulukko 3. Arkkien tavoitekosteudet ja -massat päivittäisen kastelun jälkeen. Sulkeissa olevissa kosteusarvoissa paakkumateriaali mukana.

Table 3. The target moisture content and weight of the units after daily watering. The container material (set) is included in the moisture values in parentheses.

Paakkulaji ja kastelutaso Type of container and watering level	Turpeen kosteus Moisture content of the peat		Arkin kokonais- massa Total weight of unit
	tilavuudesta Volume	kuivamassasta Dry weight	
	%		g
FS408 1	58 (59)	920	11600
	44 (45)	695	9300
	30 (30)	470	7000
Fp620 1	a) 53 (58)	844	5900
	b) 39 (44)	625	4800
	39 (44)	625	4800
3	29 (31)	455	3700

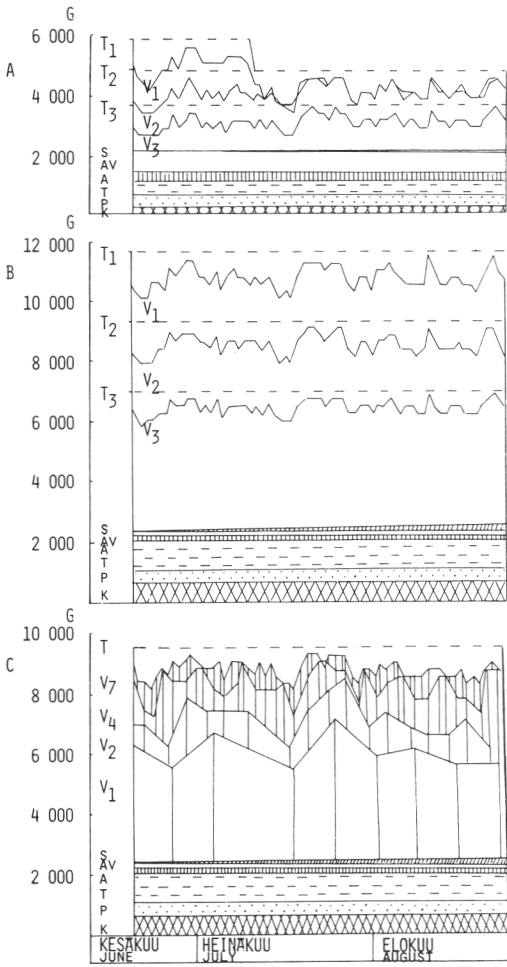
a) 20.6.—9.7.
b) 10.7.—24.8.

Taulukko 4. Paakkuarkkien turpeen keskimääräinen kosteus ja kokonaismassa ennen päivittäistä kastelua sekä vuorokautinen haihdunta. Sulkeissa olevissa kosteusarvoissa paakkumateriaali mukana.

Table 4. The mean moisture content and total weight of the seedling units before daily watering and the daily evapotranspiration. The container material is included in the moisture values in parenthesis.

Paakkulaji ja kasvatus- alusta Type of container and base	Turpeen tila- vuudesta Moisture content of peat vol.-%	Kosteus kuivamassasta dry weight-%	Arkin kokonais- massa Weight of unit	Haihdunta Evapotranspiration	
				Keskisarvo Mean	Vaihteluväli Range
				mm	
FS408					
Betoni Concrete	53 (54)	826	10770	3,5	0,7—6,3
Arina Stage	53 (54)	837	10780	3,4	0,5—6,6
Betoni Concrete	39 (40)	626	8610	2,9	0,3—6,5
Arina Stage	39 (40)	621	8560	3,1	0,5—6,1
Betoni Concrete	26 (27)	418	6480	2,2	0,5—4,1
Arina Stage	26 (27)	413	6430	2,4	0,4—5,2
Fp620					
Betoni Concrete	a) 38 (44) b) 32 (36)	608 510	4800 4160	4,6 2,7	2,3—7,6 0,8—5,2
Arina Stage	a) 40 (46) b) 31 (35)	633 492	4970 4030	3,9 2,8	1,5—7,3 0,6—6,5
Betoni Concrete	32 (35)	505	4080	3,0	0,8—5,2
Arina Stage	31 (35)	483	4050	3,1	0,6—6,5
Betoni Concrete	25 (24)	401	3170	2,2	0,3—4,1
Arina Stage	25 (23)	392	3080	2,6	0,5—4,9

a = 20.6.—9.7.
b = 10.7.—24.8.



Kuva 2. Arina-alustalla pidettyjen turveruokkuarkkien (A) ja paperikenoarkkien (B) sekä betonialustalla pidettyjen kastelutaajuuskokeen paperikenoarkkien (C) massa kesän aikana päivittäin ennen tavoitemasoihin (T_1 , T_2 , T_3 ja T) kastelua. Merkkien selitykset: k = kasvatuserä, p = peittohiekkä, t = turve, a = paakkuarkki, av = arkkiin sitoutunut vesi, s = taimet (tuoremassa), v_1 , v_2 ja v_3 = turpeessa oleva vesi eri kosteuskäsittelyissä (kuvat A ja B), v_7 , v_4 , v_2 ja v_1 = turpeessa oleva vesi eri kastelutaajuuskäsittelyissä.

Fig. 2. The daily weight of the paperpot units (B) and the peat-pot units (A) supported on the stage, and the paperpot units (C) lying on the concrete floor in the watering frequency experiment during the summer before watering to the target weight (T_1 , T_2 , T_3 and T). Key to abbreviations: k = growing tray, p = covering sand, t = peat substrate, a = container set, av = water bound in the set, s = seedlings (fresh weight), v_1 , v_2 and v_3 = amount of water in the peat with different moisture treatments (Figs. A and B), v_7 , v_4 , v_2 and v_1 = amount of water in the peat in different watering frequency treatments.

Taulukko 5. Kastelutaajuuskokeen FS508 arkkien keskimääräinen kosteus, ja kokonaismassa ennen kastelua sekä arkkien keskimääräinen haihdunta kastelujen välillä eri käsittelyissä. Arkkien tavoitemassa kastelun jälkeen oli 9600 g.

Table 5. The mean moisture content, total weight in the peat of the FS508 units in the watering frequency experiment before watering and the mean evapotranspiration of the units during the periods between watering in the different treatments. The target weight of the units after watering was 9 600 g.

Kastelutaajuus Watering frequency	Turpeen kosteus tila- kuiva- vuudesta massasta		Arkin kokonaismassa Total weight of unit	Haihdunta Evapotranspiration	
	Moisture content of the peat vol.	dry weight		Keskiaarvo Mean	Vaihteluväli Range
kertaa/vrk times/day	%	g	g	mm	mm
7	42	664	8860	3.1	0.5—5.6
4	39	613	8340	5.3	2.0—10.1
2	31	500	7190	10.0	4.0—14.2
1	26	405	6240	14.0	10.0—17.0

Paperikenoarkeissa kosteus oli ilmeisesti tasaisemmin jakautunut turveruokkuarkeissa, joissa vesi pakkautuu ruukun kapeenevaan alapäähän ja vastaavasti yläpinta kuivuu nopeammin. Tästä johtuneen turveruokkuarkkien kastelun vaikeus. Turveruokkuarkit haihduttavat hieman nopeammin kuin paperikenoarkit, mutta niiden vesivara on kuitenkin vain n. 40 % samassa kosteudessa olevan ja pinta-alaltaan samansuuruisen paperikenoarkin vesivara-astosta.

Turveruokussa turpeen pinta saattaa aurinkoisen päivän aikana ehtiä kuivua niin voimakkaasti, että seuraavassa kastelussa on vaikeuksia saada kasteluvesi imeytymään turpeeseen. Turpeen pinta voikin vuorotellen liettyä ja kuoretta entistä vaikeammin kasteltavaksi.

Taimettomien ja taimellisten paakkuarkkien haihdunnan erojen vertailua varten oli jokaista kastelutasoa kohti kolme taimellista ja yksi taimeton, kylvämättä jätetty, arkki. Vaikka eroja ei voidakaan testata tilastomatemattisiin menetelmiin, saatiin kuitenkin viitteitä taimien haihdunnan osuudesta koko arkin haihdunnasta. Taimellisten ja taimettomien arkkien haihdunnan erotus kasvoi loppukesää kohti. Paperikenoarkeissa haihduntaero oli loppukesällä 0,5—1,2 mm/vrk. Ero oli selvin kosteimmissä käsittelyissä (tavoitekosteus 58 ja 44 til.-%). Kuivimmissa paperikenoarkeissa samoin kuin turveruokkuarkeissa ero oli korkeintaan 0,5 mm.

32. Säätekijöiden ja turpeen kosteuden vaikutus haihduntaan

Taimiarkkien päivittäisillä punnituksilla määritettiin arkkien vuorokautinen kokonaishaihdunta, jota verrattiin muovihuoneesta mitattujen säätekijöiden vastaavan ajanjakson havaintoihin.

Arkki haihdunta korreloi voimakkaasti kaikkien mitattujen säätekijöiden kanssa (taulukko 6, kuva 3). Voimakkaimmat riippuvuudet olivat evaporimetrihaihdunnalla, kokonaissäteilyllä ja vapaan vesipinnan haihdunnalla. Myös muovihuoneen suhteellisen kosteuden, keskilämpötilan ja arkki haihdunnan välillä oli selvä joskin edellisiä heikompi riippuvuus.

Evaporimetrihaihduntaa ja kokonaissäteilyä tarkastellaan lähemmin, koska niillä oli voimakkain riippuvuus paakkuarkkien haihdunnan kanssa. Havaintoaineistosta laskettiin lineaariset regressioyhtälöt, joissa paakkuarkkien haihdunta oli selitettävänä ja joko evaporimetrihaihdunta tai kokonaissäteily selittävinä muuttujina (liite 1, kuva 4).

Evaporimetrihaihdunta selitti paakkuarkeista ja kasvualustan kosteudesta riippuen 73—91 % arkki haihdunnasta ja kokonaissäteily vastaavasti 67—90 %. Kosteimmassa kasvualustakäsittelyissä on kastelun jälkeen vettä saattanut suotautua pois, vaikka kaste-

lumäärä ei ylittänytkaan turpeen vesikapasiteettia. Tätä tukevat myös yhtälön vakioiden korkeat arvot ja suoran kulmakertoimien pieni ero kuivempiin käsittelyihin verrattuna. Muiden selittäjien lisääminen yhtälöön ei juuri lisännyt selitysasetta.

Paitsi säätunnuksista paakkuarkki haihdunta riippui myös turpeen kosteudesta (taulukko 4). Kosteuden lisääntyessä haihdunta voimistuu. Kosteimpien paperikenoarkkien (58 til.-%) haihdunta oli keskimäärin puolitoistakertainen alimman kosteustason (30 til.-%) arkki haihduntaan verrattuna.

33. Kastelutajuuden vaikutus haihduntaan

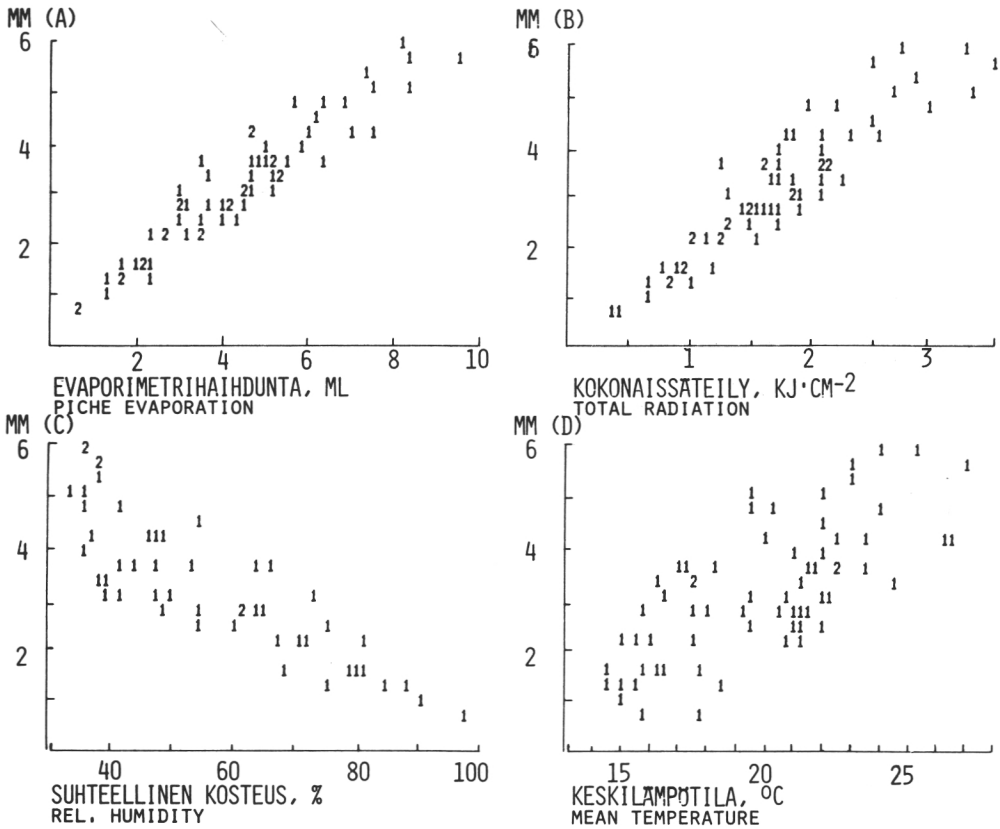
Harvemmillä kasteluväleillä paakkuarkki haihdunta hidastui turpeen pintakerroksen kuivussa. Kosteuden vaikutusta selvittäneen kokeen tulosten perusteella valittiin tässä kastelutarpeen laskennallista tarkastelua varten mitatuista ympäristötekijöistä evaporimetrihaihdunta ja kokonaissäteily. Laskentaa varten eri käsittelyjen havainnot yhdistettiin.

Arkki haihduntaa tarkasteltiin sekä evaporaation että kokonaissäteilyn funktiona (kuva 5). Regressio oli lineaarinen vain ensimmäisen vuorokauden aikana kun haihdunta ei ylittänyt 6 mm. Tämän jälkeen

Taulukko 6. Muovihuoneessa mitattujen säätunnusten ja eri paakkuarkki vuorokautisen kokonaishaihdunnan väli-
set korrelaatiokertoimet 20.6.—24.8. (66 havaintoa a = 22 havaintoa).

Table 6. The coefficients for the correlation between the daily total evapotranspiration from the seedling units and the climatic parameters measured in the plastic greenhouse 20.6.—24.8 (66 observations, a = 22 observations).

Kasvatusalusta/paakkuarkeista/ tavoitekosteus Growing base/type of container/ target	Kokonaissäteily Total radiation	Haihdunta			Suhteellinen kosteus		Lämpötila	
		evaporimetri	vapaa vesipinta		min.	keskiarvo	max.	keskiarvo
		Piche evaporimeter	Evaporation Free water surface		Relative humidity Min.	Mean	Temperature Max.	Mean
FS408								
Betoni	58 %	0.85	0.86	0.82	-0.81	-0.85	0.67	0.74
Concrete	44 %	0.90	0.89	0.84	-0.82	-0.85	0.67	0.74
	30 %	0.93	0.92	0.88	-0.85	-0.87	0.68	0.75
Arina								
Stage	58 %	0.94	0.95	0.90	-0.84	-0.89	0.68	0.72
	44 %	0.92	0.95	0.89	-0.81	-0.86	0.71	0.74
	30 %	0.95	0.95	0.89	-0.83	-0.86	0.69	0.72
Fp620								
Betoni	58 % (a)	0.91	0.97	0.94	-0.71	-0.84	0.67	0.61
Concrete	44 %	0.95	0.95	0.92	-0.81	-0.85	0.69	0.73
	31 %	0.92	0.92	0.90	-0.84	-0.86	0.70	0.74
Arina								
Stage	58 % (a)	0.83	0.92	0.89	-0.71	-0.80	0.66	0.62
	44 %	0.94	0.96	0.93	-0.82	-0.85	0.67	0.70
	31 %	0.94	0.96	0.93	-0.85	-0.86	0.69	0.72



Kuva 3. Paperikenoarkkien (tavoitekosteus 44 til.-%) haihdunnan ja säätekijöiden väliset pisteparvet. A. Evaporimetrihaihdunta, B. Kokonaissäteily, C. Ilman keskipasteisuus, D. Ilman keskilämpötila.
 Fig. 3. The point clusters for the dependence between the climatic factors and evapotranspiration from the paperpot units (target moisture content 44 volume-%). A. Piche evaporation, B Total radiation, C. Mean air humidity, D. Mean air temperature.

haihdunta hidastuu ja käyrä lähenee asympotoottisesti rajaa, joka on ympäristön kosteuden kanssa tasapainossa olevan turpeen kosteus.

Muodostuneen pisteparven kuvaamiseen käytettiin sekä rectangulaarista että nonrectangulaarista hyperbeliä (esim. Thornley 1976). Rectangulaarinen hyperbeli on yhtälönä muotoa

$$E = \frac{A \cdot X \cdot E_{\max}}{E_{\max} + A \cdot X}$$

missä E = haihdunta taimiarkista, mm
 A = käyrän kulmakerroin, kun X lähestyy 0:aa
 X = mitattu säättekijä (evaporimetrihaihdunta tai kokonaissäteily)
 E_{\max} = raja-arvo, jota taimiarkista haihtuneen veden määrä lähestyy, kun X lähestyy ääretöntä

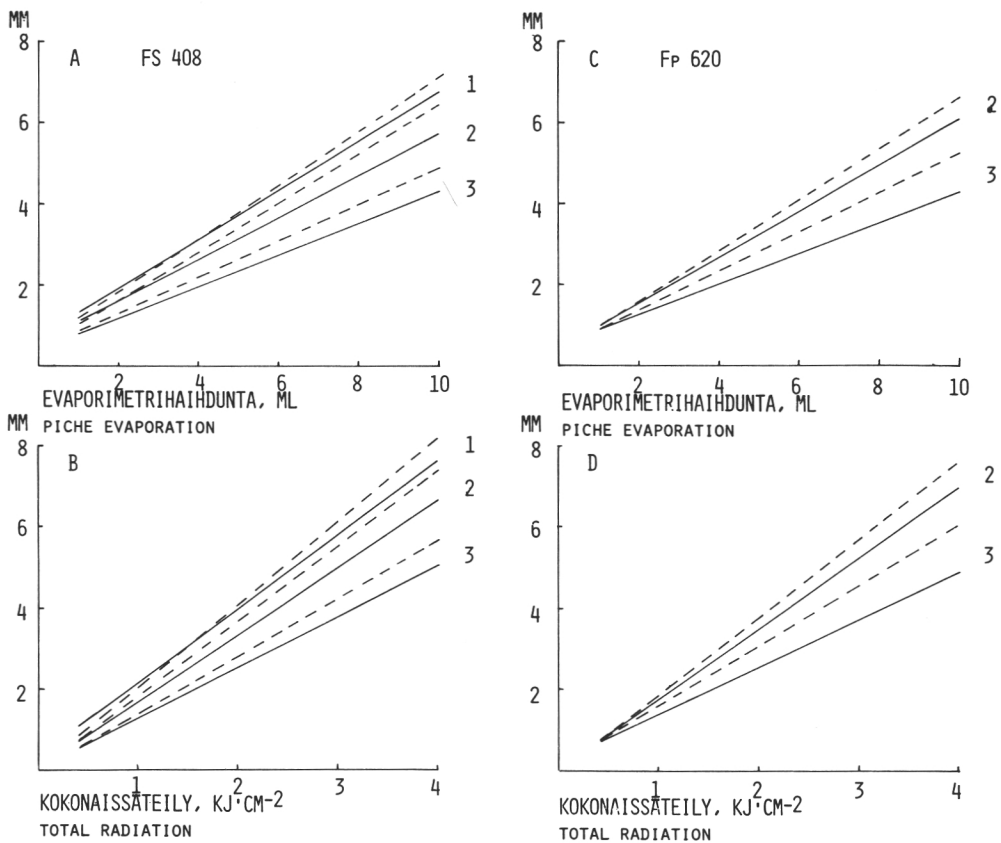
Rectangulaarisen hyperbelikäyrän maksimitasona pidettiin huonekuivan turpeen kosteutta, 50 % kuivamassasta (Puustjärvi 1973). Tämä vastaa veden määränä turpeessa 2,1 mm. Heti kastelun jälkeen turpeen kosteus oli 46 til.-% ja vesimäärä vastaavasti 30,4 mm.

Nonrectangulaarinen hyperbeli puolestaan on muotoa

$$\Theta E^2 - (A \cdot X + E_{\max})E - A \cdot X \cdot E_{\max} = 0$$

missä Θ = kyllästymisnopeuden määräävä parametri ja E , A ja E_{\max} kuten rectangulaarisessa hyperbelissä.

Parametrien arvot estimoitii iteratiivisesti pienimmän neliösumman menetelmällä AK-



Kuva 4. Taimiarkkien haihdunnan sekä evaporimetrihaihdunnan ja kokonaissäteilyn väliset regressiosuorat eri kasvatusalustoilla ja eri tavoitekosteuksissa. A. FS 408, evaporimetrihaihdunta, B. FS408, kokonaissäteily, C. Fp620, evaporimetrihaihdunta, D. Fp620, kokonaissäteily. Arina-alusta (katkoviiva), betonialusta (yhtenäinen viiva). Taimiarkkien tavoitekosteudet: 1 = 58 til.-%, 2 = 44 til.-%, 3 = 30 til.-%. Suorien yhtälöt ja selitysasteet liitteissä 1 ja 2.

Fig. 4. The curves for the regression between evapotranspiration from the seedling units and Piche evaporation and total radiation with different target moisture contents and different growing bases. A. FS408, Piche evaporation, B. FS408, total radiation, C. Fp620, Piche evaporation, D. Fp620, total radiation. Wooden stage (dashed line), concrete floor (line). Target substrate moisture contents: 1 = 58 volume-%, 2 = 44 volume-%, 3 = 30 volume-%. See Appendices 1 and 2 for the equations and coefficients of estimation of the curves.

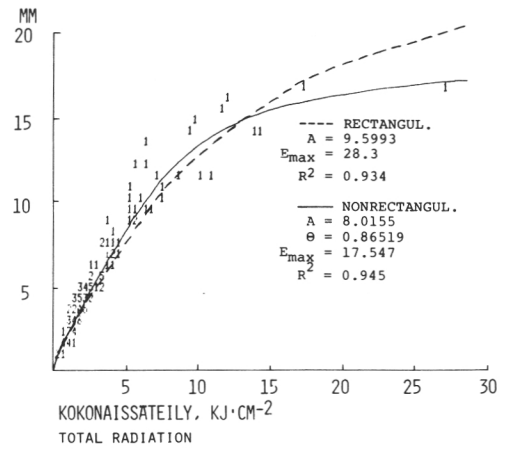
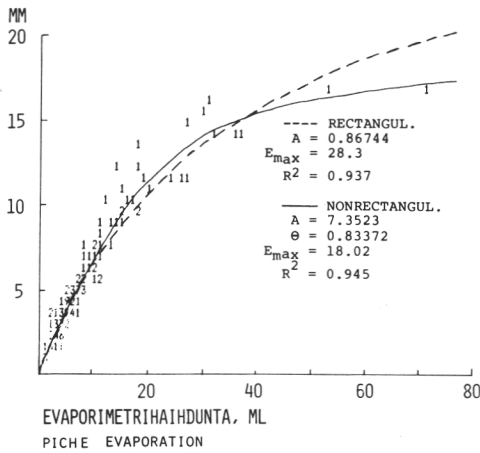
TA-ohjelmistoa (Lappi ja Smolander 1983) käyttäen.

Nonrectangulaarinen hyperbeli sopi rectangulaarista paremmin pisteparveen ja antoi korkeamman selitysasteen. Estimoitu haihtuvan veden maksimiarvo oli kuitenkin vain noin 18 mm, kun se huonekuivassa turpeessa on 28 mm. Pidettäessä arkkeja lattiatasolla vain turpeen avoin yläpinta haihduttaa ja alaosassa oleva turve pysyy pitkään kosteana pintakerroksen kuivan turpeen hidastaessa voimakkaasti haihduttaa. Turvekerroksen muodostuu jyrkkä kosteusgradientti ja huonekuivan turpeen kosteus saavutetaan ilmei-

sesti vasta useiden viikkojen tai kuukausien kuluttua. Kokeessa käytetyillä kasteluväleillä nonrectangulaarinen hyperbeli kuvaa paremmin pisteparvea, vaikka haihdunnan maksimiarvo onkin teoreettista arvoa huomattavasti pienempi.

34. Kastelunomogrammien testaaminen

Kesän 1979 koeaineistosta laadittujen regressiosuorien, nomogrammien, ja kesän 1978 evaporimetrihaihdunnan sekä kokonaissäteilyn perusteella laskettiin kastelutarve. Tätä



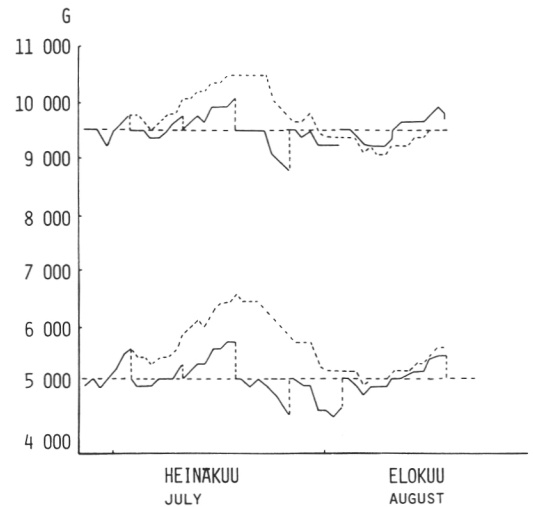
Kuva 5. Taimiarkkien haihdunnan sekä evaporimetrihaihdunnan (A) ja kokonaissäteilyn (B) väliset pisteparvet sekä rectangulaariset (katkoviiva) ja nonrectangulaariset (yhtenäinen viiva) hyperbelit kastelutaajuukskokeessa.

Fig. 5. The point clusters for the dependence between evapotranspiration from the seedling units and the Piche evaporation (A) and the total radiation (B), and the rectangular (dashed line) and non-rectangular (line) hyperbolae in the watering frequency experiment.

kastelutarvetta verrattiin todelliseen, päivittäisillä punnituksilla saatuun, kastelutarpeeseen. Koska kuvattu menettely saattaa johtaa esim. turpeen laadusta tms. syistä systemaattiseen, summautuvaan kastelutarpeen yli- tai aliarvioon, lisättiin menettelyyn kerran viikossa tapahtuva punnitus, jonka perusteella arkit palautetaan tavoitekosteuteen (kuva 6).

Jälkimmäinen menetelmä näytti evaporimetrihaihdunnan avulla laskettuna toimivan tyydyttävästi. Suurimmat erot tavoitemaassaan verrattuna kasvatusjakson aikana olivat noin 700 g/paperikenoarkki ja 750 g/turveruokkuarkki. Ilman viikottaisia punnituksia ja arkkien massan palauttamista tavoitemaassaan suurimmat erot olisivat olleet noin 1000 g/paperikenoarkki ja 1500 g/turveruokkuarkki. Evaporimetrin ja vaa'an käytön yhdistelmällä suurin poikkeama tavoitekosteudesta oli paperikenoarkkeilla noin 4 til.-% yksikköä ja turveruokkuarkkeilla 12 til.-% yksikköä.

Kokonaissäteilyyn perustuva kastelutarpeen laskenta ei antanut yhtä hyvää tulosta kuin Pichen evaporimetrihaihduntaan perustuva laskenta. Tämä saattaa osittain johtua esikokeen aikaisten säteilymittausten virheistä. Varsinaisessa kokeessa korrelaatio haihdunnan ja kokonaissäteilyn välillä oli selvästi korkeampi kuin esikokeessa.



Kuva 6. Simuloitu esikokeen (1978) paperikeno- ja turveruokkuarkkien massan kehitys betonialustalla. Katkoviiva = kastelu evaporimetrihavaintojen (1978) ja kastelunogrammien (1979) perusteella läpi kesän, yhtenäinen viiva = kuten edellä, mutta arkkien massa palautettu tavoitemaassaan kerran viikossa, vaakasuora katkoviiva = tavoitemaassa.

Fig. 6. Simulated development of the weight of the paperpot and peat-pot units in the pilot experiment on the concrete floor. Broken line = daily watering throughout the summer according to the watering nomogrammes (1979) and Piche evaporation measurements (1978), continuous line = as above, but the weight of the units taken to the target weight once a week, horizontal dashed line = target weight.

4. TULOSTEN TARKASTELU

41. Kastelutarve ja sen määrittäminen

Kasteluvirheiden seuraukset tunnetaan varsin hyvin. Liian vähäisen kastelun seurauksena on kuivuuden aiheuttama taimien kuoleminen ja juuriston heikko kehittyminen (Armson 1972, Lähde ja Savonen 1984), vaikka juuri/verso-suhte olisikin sinänsä riittävä (Rikala 1982). Ylikastelun seurauksena saattaa kasvualustaan muodostua hapen puutetta sekä hiilidioksidin ja etyleenin ylimäärää (Warkentin 1984). Ylikastelu aiheuttaa myös ravinteiden huuhtoutumista (Puustjärvi 1973, 1977b).

Lähteen ja Savosen (1984) mukaan ylikastelun vaara paakkutaimikasvatuksessa ei kuitenkaan ole kovin suuri, vaan liika vesi pääsee yleensä valumaan paakuista pois. Tämä kuitenkin riippuu olennaisesti turpeen laadusta, paakkutyypistä, kasvatusalustasta ja kastelumenetelmästä.

Paakkutaimien kastelutarve muodostuu taimien rakennusaineksi käyttämästä, verson ja kasvualustan haihduttamasta sekä arkista pois valuvasta vedestä. Taimien rakennusaineksi käyttämän veden osuus on niin vähäinen, ettei sillä ole kastelutarpeen arvioinnissa merkitystä. Arkeista valuvan veden määrä riippuu turpeen vedenpidätyskyvystä ja kosteudesta sekä kastelutavasta. Mikäli turpeen vesikapasiteettia ei ylitetä ja arkkeja ei kastella liian nopeasti, ei valuntaakaan pitäisi tapahtua.

Kastelutarve muodostuukin pääasiassa taimien haihdunnassa eli transpiraatiossa ja kasvualustan haihdunnassa eli evaporaatiossa kuluva vedestä. Yksivuotisessa havupuun taimien kasvatuksessa taimien massa etenkin alkukesällä on varsin pieni. Tässä kokeessa taimien haihdunnan osuus koko kastelutarpeesta loppukesällä taimien kuivamassan ollessa korkeimmillaan, oli 1,2 mm eli keskimäärin 30 % kokonaishaihdunnasta. Kuitenkin pääosan koko kasvukauden aikaisesta haihdunnasta muodostaa turpeesta tapahtuva haihdunta.

Sekä evaporaatio että transpiraatio edel-

lyttävät energiaa ja niiden suuruus määräytyy ensisijassa käytettävissä olevan energiamäärän perusteella. Puustjärven (1978) mukaan $419 \text{ J cm}^{-2} \text{ vrk}^{-1}$ säteily ulkona vastaa $1 \text{ l m}^{-2} \text{ vrk}^{-1}$:n eli yhden millimetrin kastelutarvetta täystiheässä kasvustossa kasvihuoneessa. Normaalisissa kasvatuskosteudessa kastelutarve alenee mikäli kasvusto ei ole täystiheä. Aleneminen on sitä voimakkaampaa mitä kuivempi on kasvatusalusta (Stanhill 1973).

Tässä tutkimuksessa 1 l m^{-2} eli yhden millimetrin kastelutarvetta vastasi paperikennonarkissa turpeen kosteudesta riippuen $350\text{—}725 \text{ J cm}^{-2}$:n muovihuoneessa mitattu kokonaissäteily.

Kokonaissäteily selitti taimiarkkien haihdunnasta 73—91 % paakkutyypistä, kasvatusalustasta ja turpeen kosteudesta riippuen. Pohjaveden kanssa yhteydessä olleilla kasvualustoilla on säteilyn ja haihdunnan riippuvuus ollut samaa luokkaa (esim. Morris ym. 1957, Stearns ja Carlson 1960, Juusela ym. 1969).

Kokonaissäteilyn ja turpeen pinnasta tapahtuvan haihdunnan välinen regressiosuoran kulmakerroin riippuu voimakkaasti pohjavesipinnan syvyydestä. Juuselan ym. (1969) mittaama kulmakerroin 10 cm :n pohjavesipinnan syvyydellä on hieman pienempi kuin tämän kokeen kuivimmassa kosteustasossa. Tämä johtunee siitä, että turve kasteltiin Juuselan ym. tutkimuksessa pohjaveden kautta ja tässä kokeessa päältä kasteluna.

Taimiarkkien haihdunnan ja evaporimetrihaihdunnan välinen korrelaatio oli hieman korkeampi kuin taimiarkkien haihdunnan ja kokonaissäteilyn välinen korrelaatio. Eron aiheuttanee muovihuoneen ilman kosteuden ja lämpötilan vaihtelu, mitä kokonaissäteily ei ”ota huomioon” samalla tavalla kuin evaporimetrihaihdunta. Tämä tuli esille myös regressioanalyysitarkastelussa. Muovihuoneen ilman kosteuden ja lämpötilan lisääminen regressioyhtälöön kasvatti selitysasetta enemmän kokonaissäteilyn kuin evaporaation kanssa. Muovihuoneen kosteus ja läm-

pövaihtelut saattavat olla varsin suuria etenkin lämpimien sääjaksojen aikana, jolloin joudutaan toisaalta tuulettamaan ja toisaalta käyttämään jäähdytyskastelua runsaasti.

Tuulella onkin erittäin selvä vaikutus Pichen evaporimetrin haihduntaan (Odin 1976). Muovihuoneessa tuulen merkitys on normaalisti erittäin vähäinen (Perttu ja Siren 1973), mutta tuuletustekniikasta riippuen saattaa huoneessa olla voimakkaitakin ilmavirtauksia, jotka lisäävät haihduntaa.

Keskimääräinen päivittäinen kastelutarve vaihteli 2,2—3,5 mm:n välillä riippuen turpeen kosteudesta. Turpeen pinnasta tapahtuvan haihdunnan nopeuteen vaikuttaa turpeen rakenne. Tiivis turve haihduttaa enemmän kuin löyhä, mikä johtuu tiiviin turpeen paremmasta kapillaarisesta veden noususta turpeen pintaan. Samoin märän turpeen haihdunta on voimakkaampaa kuin kuivan turpeen.

Turveruukku- ja paperikunnoarkkien välinen ero oli odottamattoman pieni. Ero olisi ilmeisesti suurempi jos kasteltaisiin useamman kerran päivässä. Turveruukun pinta kuivuu nopeasti ja hidastaa näin haihduntaa voimakkaasti. Myös arina- ja betonialustalla kasvatettujen arkkien haihduntaero oli varsin pieni. Lähteen ja Savosen (1984) mukaan paperikunno- ja turveruukkutaimien vuorokautinen kastelutarve oli 3—4 mm kokeissa, joissa käytettiin päivittäin vakiosuuruisia kastelumääriä. Vakioannoksilla kasteltaessa ja haihdunnan ollessa vähäinen ylimääräinen kasteluvesi valuu pois. Näin joudutaan kastelamaan todellista kastelutarvetta enemmän.

Tarpeellisten kastelukertojen taajuus riippuu olennaisesti kasvualueen tilavuudesta pinta-alayksikköä kohti ja turpeen vedenläpäisevyydestä. Kastelukertojen taajuus vaikuttaa veden jakautumaan turpeessa. Mitä harvemmin kastellaan sitä suuremmat kosteuserot muodostuvat turpeen syvyyssuunnassa.

Keskikarkean rahkaturpeen optimikosteusalue on 39—46 til.-% (Puustjärvi 1973). Tämä, 7 til.-% yksikön optimialue, vastaa noin 5 mm:n (n. 1,1 l) vesimäärää FS408-arkissa. Tilavuudeltaan pienemmässä, mutta pinta-alaltaan yhtä suuressa Fp620-turveruukkuarkissa vastaava vesimäärä on vain noin 2 mm (n. 0,4 l). Jos siis taimia kasvatetaan optimikosteudessa, riittää kun paperikunnoarkkeja kastellaan keskimäärin joka toinen päivä ja turveruukkuarkkeja kerran, mutta kirkkaina lämpiminä päivinä jopa kahdesti

päivässä (vrt. Lähde 1978). Tarvittaessa voidaan turpeen kosteuden antaa laskea 25 til.-%:een, jolloin optimikosteusalueen ylärajalle kasteltaessa paperikunnoarkkeihin lisätään 13 mm (n. 3,3 l) vettä ja turveruukkuarkkeihin 6 mm (n. 1,3 l) vettä. Turveruukkuarkkeissa tämä vastasi v. 1979 keskimäärin kahden päivän ja paperikunnoarkeissa viikon aikana syntynyttä kastelutarvetta.

42. Tulosten soveltaminen käytäntöön

Tutkittua menetelmää voidaan suositella käytännössäkin kokeiltavaksi. Kokeiluun tarvitaan evaporimetri tai säteilymittari ja vaakaa. Evaporimetri sijoitetaan sellaiseen paikkaan muovihuoneessa, ettei kastelusuihku piiskaa haihduttavaa imupaperia. Parempi keino olisi suojata imupaperi lasiputkeen kiinnitettävällä läpinäkyvällä levyllä. Pichen evaporimetri yksinkertaisuudestaan huolimatta vaatii huolellista hoitoa. Kokonaissäteilymittarit ovat tässä suhteessa huolettomampia, joskin huomattavasti kalliimpia. Kuvattua menettelyä voidaan soveltaa myös kasvihuoneita varten kehitetyissä säteilymittaukseen perustuvissa kasteluautomaattikalaitteistoissa.

Viikottaiseen taimiarkkien punnitukseen valitaan etukäteen eri puolilta huonetta 10—20 taimiarkkia, jotka merkitään. Turpeen johtokyvyn mittausta on helppo liittää seurantaan siten, että punnittavien arkkien viereisistä arkeista otetaan viikottain puristeväinäytteet johtokyvyn mittausta varten. Johtokykyarvojen tulkintaa auttaa turpeen kosteuden tunteminen ja toisaalta johtokyky vaikuttaa kastelutarpeeseen (Raitio ja Rikala 1981).

Koska lukuisat tekijät vaikuttavat sekä kastelutarpeeseen ja näin myös nomogrammeihin ja tavoitemassoihin, on taimitarhoilla syytä kokeilla ja etsiä sopivat arvot käytettävälle paakkutyypeille, turpeelle sekä sen täytöitiiviydelle ja kastelulaitteille. Esimerkiksi hienojakoisina pisaroina, ”sumukasteluna” annettu vedestä suuri osa haihtuu suoraan ilmasta sekä taimien ja kasvualueen pinnalta kostuttamatta turvekerrosta syvemältä. Toisaalta sumukastelu lisäämällä taimien pinnan ja huoneilman kosteutta, laskee ilman ja taimien lämpötilaa sekä vähentää haihduntaa, mikä sen alkuperäinen tarkoitus onkin. Kuvattu menetelmä soveltuu kasvatusjakson aikaiseen kasteluun. Idätysjakson aikana kasvualueen pinta on pidettävä jatkuvasti kos-

teana. On kuitenkin muistettava, että liika vesi saattaa aiheuttaa hapen puutetta (Krugman ym. 1974) ja tappaa itäviä siemeniä (Dusek 1975, McDonald 1984). Karaisujakson aikana, heinäkuun loppupuolella, taas usein suosittellaan kasvualueen kuivattamista taimien kuivuuden ja kylmyyden kestävyyyden lisäämiseksi (Blake ym. 1979). On myös esitetty, että silmunmuodostumisen ja karaisutumisen aika syksyllä olisi herkkä liialle kuivuudelle (McDonald 1984).

Tämä tutkimus koski yksivuotiaiden havu-

puun paakkutaimien kastelutarvetta. Kuten käytäntö on osoittanut kaksivuotisen paakkutaimen kasvatuksessa ongelmat lisääntyvät. Turpeen massa vähenee kahden vuoden kasvatuksen aikana noin 20 % ja tilavuus lähes 30 % (Puustjärvi 1977a, 1980) ja samalla juurten määrä kasvaa. Vettä ja ravinteita pidättävän turpeen tilavuuden pienentyessä ja rakenteen heikentyessä taimien veden ja ravinteiden tarve kasvaa. Kaksivuotisten paakkutaimien kasvattaminen vaatiikin entistä tarkempaa kastelua ja lannoitusta.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Abbott, H. G. & Fitch, D. S. 1977. Forest nursery practices in the United States. *J. Forestry* 3: 141—145.
- Armson, K. 1972. Distribution of conifer roots in a nursery soil. *For.Chron.* 48: 141—143.
- Blake, J., Zaerr, J. & Hee, S. 1979. Controlled moisture stress to improve cold hardiness and morphology of Douglasfir seedlings. *Forest Sci.* 25: 576—582.
- Cope, F. & Trickett, E. S. 1965. Measuring soil moisture. *Soils and Fertilizers* 28(3): 201—208.
- Dusek, V. 1975. Differentiated waterings of sowing of forest trees. *Comm. Inst. For. Czechosl.* 9: 64—83.
- Hallet, R. D. 1982. Contrasting approaches to containerized seedling production. 3. The maritime provinces. Teoksessa: Scarrat, J. B., Glerum, C. & Plexman, C. A. (toim.). Proceedings of the Canadian Containerized Tree seedling symposium. September 14—16, 1981. Toronto, Ontario. Can. For. Serv. Min. of Natural Resources. s. 129—138.
- Hanan, J. J., Holley, W. D. & Goldsberry, K. L. 1978. Greenhouse management. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 530 s.
- Holopainen, L. 1979. Kastelu- ja sumusuuttimien testaustuloksia. *Metsänjalostussäätiö. Moniste.* 10 s.
- 1983. Taimi-Tapion osakastarhojen kastelulaitetutkimus. *Moniste.* 78 s.
- Jarvis, P. G., Edwards, W. E. & Talbot, H. 1981. Models of plant and crop water use. Teoksessa: Rose, D. A. & Charles-Edwards, D. A. (toim.). Mathematics and plant physiology. Academic Press. London. s. 151—194.
- Juusela, T., Kaunisto, S. & Mustonen, S. 1969. Turpeesta tapahtuvaan haihduntaan vaikuttavista tekijöistä. Summary: On factors affecting evapotranspiration from peat. *Comm. Inst. For. Fenn.* 67(1): 1—45.
- Kara, O. & Pälkkö, E. A. (toim.). 1975. Sadetusopas. Timokarin kustannus. Forssa. 129 s.
- Krugman, S. L., Stein, W. I. & Schmitt, D. M. 1974. Seed biology. Teoksessa: Schopmeyer, C. S. (toim.). Seeds of woody plants in the United States. U.S. Dep. Agric., Washington, D.C. Agric. Handb. 450: 5—40.
- Lappi, J. & Smolander, H. 1983. AKTA — aineistojen kuvallisen ja tilastollisen analyysin ohjelma. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 118: 1—38.
- Larson, P. H. 1974. The upper limit of seedling growth. Teoksessa: Tinus, R., Stein, W. & Balmer (toim.). Proc. North. Am. Containerized For. Tree Seedling Symp., Great Plains Agric. Council. Publ. 68. Denver Colo., Aug. 1974. s. 62—76.
- Leikola, M. 1976. Verhoppuuston tiheyden vaikutus metsikön säteilyoloihin. Summary: Effect of the density of the nurse crop on solar radiation inside the stand. *Comm. Inst. For. Fenn.* 90(1): 1—33.
- Lähde, E. 1978. Väliavarastoinnin vaikutus männyn paakkutaimien viljelyn onnistumiseen. Summary: Effect of intermediate storage of containerized Scots pine planting stock on reforestation success. *Folia For.* 338: 1—27.
- & Savonen, E. M. 1983. Kastelun vaikutus männyn paakkutaimien kehitykseen sekä turpeen vesi- ja ilmasuhteisiin paakussa. Summary: Effects of watering on the development of containerised Scots pine seedlings and water and air conditions in peat growing mediums. *Folia For.* 571: 1—40.
- Mannerkoski, H. 1977. Haihdunnan suhde kokonaisuuteen. Summary: Evaporation and global radiation. *Suo* 28(4—5): 89—92.
- McDonald, S. E. 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/Dr. W. Junk Publishers. The Hague, Forest Research laboratory, Oregon State University, Corvallis. s. 107—121.
- Morris, L., Neale, F. & Postletwhite. 1957. The transpiration of glasshouse crops, and its relationship to the incoming solar radiation. *J. Agr. Eng. Res.* 2(2): 111—122.
- Nielsen, B. 1962. Evapotranspiration og vanding i væksthuse. Summary: Evapotranspiration and irrigation in glasshouses. *Horticultura* 16(11): 191—209.
- Nisula, P. 1975. Liikkuva sadetuslaitteisto. Summary: Revolving sprinkler. *Folia For.* 228: 1—27.

- 1976. Muovihuoneen sadetuskone. Summary: A sprinkler for a plastic greenhouse. *Folia For.* 258: 1—14.
- Odin, H. 1976. Skogsmeteorologiska faktorers förändring med kallhuggning. Del I. Vinden och avdunstningen. Biometeorologisk introduktion. Summary: Studies of wind and evaporation in forest and clear felled areas. Skogshögsk. Instn. Skogsförnygr. Rapp. Uppsats. 73: 1—237.
- Perttu, K. & Siren, G. 1973. Jämförande pilotundersökning av några klimat- och tillväxtvariabler i växthus täckta med folie- och nätplast. Skogshögsk. Instn. Skogsförnygr. Rapp. Uppsats. 41: 1—23.
- Puustjärvi, V. 1969a. Fixing peat standards. *Peat and Plant News* 2(1): 3—8.
- 1969b. Water-air relationships of peat in peat culture. *Peat and Plant News* 2(4): 43—53.
- 1970. Water requirement of plants in peat culture. *Peat and Plant News* 3(2): 19—30.
- 1973. Kasvuturve ja sen käyttö. *Turvetoimintaliitto ry. Julkaisu* 1. 173 s.
- 1975. Minimum quantity of peat required in peat culture. *Peat & Plant Yearbook 1973—75*: 40—43.
- 1977a. Losses in organic matter from peat substrate during greenhouse cultivation. *Peat & Plant Yearbook 1976—77*: 12—23.
- 1977b. The nitrogen economy of Sphagnum moss peat substrate in greenhouse culture. *Peat & Plant Yearbook 1976—77*: 31—39.
- 1978. The water uptake as a function of matric potential and osmotic pressure in peat culture. *Peat & Plant Yearbook 1978*: 13—20.
- 1980. Turpeen rakennemuutokset ja ainetappiot viljelyn aikana. *Puutarha* 8: 378—379.
- Raitio, H. & Rikala, R. 1981. Näkökohtia taimien ravintaloudesta ja lannoituksesta taimitarhalla. *Met-säntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 15: 1—28.
- Rikala, R. 1982. Gödslingens och bevattningens inverkan på tallplantornas kvalitet. Teoksessa: Puttonen, P. (toim.). Skogsplantornas vitalitet och kvalitet. Nordiskt symposium Hyttiälä 12.—13. januari 1982. Helsingin Yliopisto. Metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 36: 111—122.
- & Westman, C. J. 1979. Markförbättring, gödsling och bevattning i Finländska skogsträdsplantskolor. Årskrift for Nordiske Skogsplantskoler 1978: 29—42.
- Rossi, V. 1951. Yksinkertainen säteilymittari meteorologia ja biologisia tutkimuksia varten. Summary: A simple radiometer for meteorological and biological investigations. *Terra* 63: 54—57.
- Shirley, H. L. & Meuli, L. J. 1939. Influence of moisture supply on drought resistance of conifers. *J. Agr. Res.* 59(1): 1—21.
- Seuna, P. 1977. Kasteluun vaikuttavista hydrometeorologisista tekijöistä. Summary: On the hydrometeorological factors affecting irrigation. *Vesihallitus. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 24: 1—96.
- Stanhill, G. 1973. Evaporation, transpiration and evapotranspiration. A case of Ockham's razor. Teoksessa: Hadas, A., Swartzendruber, D., Rijtema, P. E., Fuchs, M. & Yaron, B. Physical aspects of soil water and salts in ecosystem. Springer Verlag. Berlin — Heidelberg — New York. s. 207—220.
- Stearns, F. W. & Carlson, C. 1960. Correlation between soilmoisture depletion, solar radiation, and other environmental factors. *J. Geophys. Res.* 65: (11): 3727—3732.
- Thornley, J. H. M. 1976. Mathematical models in plant physiology. Academic Press. London — New York — San Francisco. 318 s.
- Tinus, R. W. & McDonald, S. E. 1979. How to grow tree seedlings in containers in greenhouses. U.S.D.A. Forest Serv. Rocky Mountain Forest and Range Exp. Sta., Fort Collins, Colorado. Gen. Tech. Rep. RM-60. 256 s.
- 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.
- Welch, H. J. 1973. Mist propagation and automatic watering. Faber and Faber. London. 172 s.
- Wells, D. A. & Soffe, R. 1961. A tensiometer for the control of glasshouse irrigation. *J. Agr. Eng. Res.* 6: 16—26.
- Wilksa, M. 1968. A new liquid distillation type instrument for integrating solar radiation. *Geophysica* 10: 81—87.
- Young, E. & Hanover, J. 1978. Effects of temperature, nutrient, and moisture stresses on dormancy of blue spruce seedlings under continuous light. *Forest Sci.* 24(4): 458—467.

Total of 50 references

SUMMARY

The variation in evapotranspiration of containerized seedlings and the factors affecting this process were studied in a plastic greenhouse. In addition, the use of parameters depicting evapotranspiration for estimating the need for watering was also studied.

The study was carried out at Suonenjoki Research Nursery (69° 39'N, 27° 03'E, 140 m asl) in a plastic greenhouse with a concrete floor in summer 1979. The pine seedlings were grown in paperpot (FS408, 40 × 60 cm, 16.0 l, 192 seedlings) and peat-pot (Fp 620, 32 × 76 cm, 6.3 l, 90 seedlings) units. Medium-milled, light-

coloured Sphagnum peat (VAPO B1), fertilized with basic fertilizer, was used as the substrate. The pore space was 95,3 %. The paperpot sets were placed in plastic trays with slotted bottoms, and the peat-pot sets in polystyrene trays with open bottoms. The weight of each paperpot unit (container material, peat tray, covering sand) without water was 2 160 g, and each peat-pot unit 1 260 g.

Evapotranspiration was investigated in two experiments. The effect of the type of base and the moisture content of the peat on evapotranspiration was studied

in one experiment, and the effect of the watering frequency in one experiment, and the effect of the watering frequency in the other. 24 paperpot units and 24 peat-pot units were used in the first experiment. Half of the units were placed on the concrete floor and half on a stage made of wooden laths, the height above ground being 30 cm. The seedlings were grown at three substrate moisture contents in both types of container (Table 3). After the seedlings had been raised from seed for a similar period of time (about 3 weeks), the units were watered, weighed on a balance and watered daily until the targeted weights for each treatment had been reached.

The Scots pine seedlings for the watering frequency experiment were grown only in paperpots on the concrete floor. The units were watered to the targeted moisture content (9 600 g, 46 volume %) at regular intervals (7, 4, 2 and 1 times a week) after the germination period. A total of 16 seedling blocks were used in the experiment.

The air temperature, relative humidity, total radiation (with a Bellani pyranometer), evaporation with a Piche evaporimeter and evaporation from a free water surface were followed during the course of the experiment in the plastic greenhouse (Fig. 1, Table 2).

The weight of the paperpot units watered daily decreased, depending on the targeted moisture content and the weather conditions, by between 535—830 g a day from the targeted weight. This corresponds to a reduction in the water reserves of the peat of 8,7—11,7 %, and a mean daily evapotranspiration of 2,2—3,5 mm (Table 4, Fig. 2). Owing to the different shape of the containers, the relative change in the weight of the peat-pot units was considerably greater, although the difference in the daily rate of evapotranspiration

was very small. The effect of watering frequency on fluctuations in the moisture content of the paperpot units is presented in Table 5 and Fig. 2. Depending on the growing moisture content and the type of container, the proportion of evaporation attributable to evapotranspiration by the seedlings was 20—30 %.

Evapotranspiration from the seedling units was strongly correlated with all the climatic factors measured (Table 3, Fig. 3). The strongest correlations were with Piche evaporation, total radiation and evaporation from a free water surface. Linear regression equations were calculated from the data, and nomograms drawn up for the daily watering regimes (Appendices 1 and 2, Fig. 4).

The regression between evapotranspiration from the seedling units and the Piche evaporation and total radiation was nonlinear in the case of watering carried out less frequently than every day. The dependences were depicted using rectangular and non-rectangular hyperbolae (Fig. 5).

The watering nomograms were tested using the data obtained in a pilot experiment carried out the previous year (Fig. 6). A weighing regime based only on the nomograms and evaporation or radiation observations can easily result in systematic over or underestimates of the need for watering. For this reason, watering based on weekly weights was also included in the method in order to return the seedling units to the targeted moisture content.

It is recommended that the method for estimating the watering requirements presented in the article be tested in the practice. Owing to differences in the growing conditions and watering equipment, each nursery should determine its own watering nomograms and target weights.

Liite 1. Paakkuarkkien haihdunnan ja kokonaissäteilyn väliset lineaariset regressioyhtälöt, selitysaste (R_s) ja keskivirhe eri paakkutyypeillä, kasvatuskosteudessa ja kasvatusalustoilla. ET = päivittäinen haihdunta paakkuarkista (mm), R = kokonaissäteily $KJcm^{-2}$ (66 havaintoa, a = 20 havaintoa).

Appendix 1. The equations for the linear regression between total radiation and evapotranspiration from the seedling units, and the coefficient of determination (R^2) with different types of container, substrate moisture contents and different types of base. ET = daily evapotranspiration from the seedling units (mm), R = total radiation $KJcm^{-2}$, (a = 20 observations, all others 66 observations).

Paakkutyyppe/kasvatusalusta/tavoitekosteus Type of container/growing base/target	Regressioyhtälö Regression equation	Selitysaste Coeff. of determination
FS408		
Betoni	58 % ET = 1,84 R + 0,35	0.72
Concrete	44 % ET = 1,63 R + 0,12	0.81
	30 % ET = 1,23 R + 0,11	0.87
Arina	58 % ET = 2,05 R - 0,04	0.89
Stage	44 % ET = 1,85 R - 0,03	0.85
	30 % ET = 1,40 R + 0,05	0.90
Fp620		
Betoni	58 % (a) ET = 1,66 R + 1,40	0.73
Concrete	44 % ET = 1,75 R + 0,04	0.90
	31 % ET = 1,19 R + 0,22	0.85
Arina	58 % (a) ET = 1,91 R + 0,23	0.67
Stage	44 % ET = 1,92 R - 0,11	0.88
	31 % ET = 1,48 R + 0,11	0.89

Liite 2. Paakkuarkkien haihdunnan ja evaporaation (Pichen evaporimetri) väliset lineaariset regressioyhtälöt, ja selitysaste eri paakkutyypeillä, kasvatusalustoilla ja kasvatuskosteuksissa. ET = vuorokautinen haihdunta paakkuarkista (mm), E = haihdunta Pichen evaporimetrista (ml) (66 havaintoa paitsi a = 20 havaintoa).

Appendix 2. The equations for the linear regression between evaporation (Piche evaporimeter) and evapotranspiration from the seedling units, and the coefficient of determination (R^2) with different types of container, substrate moisture contents and different types of base. ET = daily evapotranspiration from the seedling units (mm), E = evaporation with a Piche evaporimeter (ml), (a = 20 observations, all others 66 observations).

Paakkutyyppe/kasvatusalusta/tavoitekosteus Type of container/growing base/target	Regressioyhtälö Regression equation	Selitysaste Coeff. of determination
FS408		
Betoni	58 % ET = 0.595 E + 0.80	0.73
Concrete	44 % ET = 0.518 E + 0.58	0.78
	30 % ET = 0.391 E + 0.44	0.85
Arina	58 % ET = 0.664 E + 0.47	0.91
Stage	44 % ET = 0.612 E + 0.37	0.90
	30 % ET = 0.449 E + 0.41	0.90
Fp620		
Betoni	58 % (a) ET = 0.577 E + 1.53	0.90
Concrete	44 % ET = 0.564 E + 0.49	0.90
	31 % ET = 0.383 E + 0.53	0.84
Arina	58 % (a) ET = 0.665 E + 0.37	0.84
Stage	44 % ET = 0.633 E + 0.30	0.93
	31 % ET = 0.484 E + 0.46	0.91

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

- No 611 Raitio, Hannu: Yksivuotiaiden avomaalla kasvatettujen paljasjuuristen männyntaimien kasvuhäiriön oireet ja esiintyminen.
Symptoms and occurrence of a growth disturbance in one-year-old, bare-rooted Scots pine seedlings raised in the open.
- No 612 Långström, Bo: Tukkimiehentäin aiheuttamat tuhot Suomessa vuosina 1970—1971. Yhteispohjoismaisen tutkimuksen Suomea koskevat tulokset.
Damage caused by *Hylobius abietis* in Finland in the years 1970—1971. Results from the Finnish part of a joint Nordic study.
- No 613 Ferm, Ari & Markkola, Annamari: Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu.
Nutritional variation of leaves, twigs and buds in *Betula pubescens* stands during the growing season.
- No 614 Hytönen, Jyrki: Teollisuuslietteellä lannoitetun vesipajun lehdetön maanpäällinen biomassatuotos.
Leafless above-ground biomass production of *Salix 'Aquatica'* fertilized with industrial sludge.
- No 615 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella.
Growth variation in the Forestry Board Districts of Keski-Suomi and Etelä-Pohjanmaa according to the 7th National Forest Inventory.
- No 616 Kaunisto, Seppo: Lannoituksen, ilman lämpösunnan ja eräiden kasvualustan ominaisuuksien vaikutus mäntytaimikoiden kasvuun turvemilla.
Effect of fertilization, temperature sum and some peat properties on the height growth of young pine sapling stands on peatlands.
- No 617 Paavilainen, Eero & Tiihonen, Paavo: Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan sekä Kainuun suomensäät vuosina 1951—1983.
Peatland forests in Keski-Pohjanmaa, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1951—1983.
- No 618 Lipas, Erkki: Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla.
Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties.
- No 619 Kaunisto, Seppo: Alustavia tuloksia metsän tehoviljelykokeista turvemilla.
Preliminary results from high efficiency forest regeneration experiments on peatlands.
- No 620 Metsätalastollinen vuosikirja 1984.
Yearbook of Forest Statistics, 1984.
- No 621 Salo, Kauko: Luonnonmarjojen ja sienten poiminta Suomussalmella ja eräissä Pohjois-Karjalan kunnissa.
Wild-berry and edible-mushroom picking in Suomussalmi and in some North Karelian communes, Eastern Finland.
- No 622 Metsäntutkimuslaitoksen päätös havupuutukkien, lehtipuutukkien, mäntypylväiden ja ratapölkkyyaihioiden mittauksessa käytettävistä yksikkötilavuusluvuista.
Skogsforskningsinstitutets beslut gällande enhetsvolymtal för användning vid mätning av barrtimmer, lövtimmer, tallstolpar och sliperstimmer.
- No 623 Hämäläinen, Jouko, Paavilainen, Eero, Salminen, Olli & Heinonen, Riitta: Tuloksia ojitettujen korpikuusi-koiden lannoituksesta.
The growth response to and profitability of fertilization in drained spruce swamp stands.
- No 624 Hakkila, Pentti (toim.-ed.): Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti.
The potential of forest energy in Finland. Interim report of PERA project.
- No 625 Kaunisto, Seppo & Päivänen, Juhani: Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemilla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
Forest regeneration and afforestation on drained peatlands. A literature review.
- No 626 Repo, Seppo & Löytyniemi, Kari: Lähiympäristön vaikutus männyn viljelytaimikon hirvivahinkoalttuteen.
The effect of immediate environment on moose (*Alces alces*) damage in young Scots pine plantations.
- No 627 Rikala, Risto: Paakkutaimien kastelutarpeen määrittäminen haihdunnan perusteella.
Estimating the water requirements of containerized seedlings on the basis of evapotranspiration.
- No 628 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula, Teuvo: Leppäviljelmän biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö.
Biomass production and nutrient and water consumption in an *Alnus incana* plantation.
- No 629 Moilanen, Mikko: Lannoituksen ja harvennuksen vaikutus hieskoivun kasvuun ohutturpeisilla ojitetuilla rämeillä.
Effect of thinning and fertilization on the growth of birch (*Betula pubescens*) on the drained mires with thin peatlayer.
- No 630 Aarnio, Jukka: Suomensäiköiden kasvatuksen yksityistaloudellinen edullisuus.
The profitability of timber growing on peatlands from the standpoint of the private forest owner.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17341

ISBN 951-40-0707-7
ISSN 0015-5543