

MORFOLOGISET, GRAVIMETRISET JA FOTOMETRISET TUNNUKSET MÄNNYN TAIMIEN JUURISTOJEN KUVAAJINA

ERKKI LÄHDE JA ANTTI OKSANEN

SUMMARY:

MORPHOLOGICAL, GRAVIMETRIC, AND PHOTOMETRIC CHARACTERISTICS
IN DESCRIBING OF THE ROOT SYSTEMS OF PINE TRANSPLANTS

Saapunut toimitukselle 15. 8. 1969

Työssä on tutkittu erilaisia versoa ja juuristoa kuvaavia tunnuksia juuriston pinta-alan osoittajina sekä vertailtu näitä tunnuksia keskenään korrelaatio- ja regressioanalyysin avulla. Tutkimusaineistona käytettiin avomaalle koulittuja kaksivuotiaita ensimmäisen vuoden muovihuoneessa kasvaneita männyn taimia. Taimet koulittiin joko sellaisenaan avomaahan tai juuristostaan leikattuina. Osa taimista koulittiin kokonaisina muovisankoihin.

Tulokset osoittavat, että fotometrinen arvo antaa hyvän kuvan juuriston pinta-alasta. Menetelmän oleellisena etuna voidaan pitää mittauksen yksinkertaisuutta ja nopeutta gravimetriseen ja etenkin titrausmenetelmään verrattuna. Fotometrinen mittauksen jälkeen taimet ovat edelleen istutuskelpoisia ja siten voidaan seurata luokiteltujen taimien menestymistä istutuksen jälkeen ja saada täydentävää tietoa luokituksen kelpoisuudesta. Gravimetrinen menetelmän osalta todettiin, että sekä tuorepaino- että kuivapainomääritys olivat kiinteässä riippuvuussuhteessa toisiinsa.

Juuristojen mykoritsaisuus ja elävien pitkäjuurten kärkien lukumäärä korreloivat varsin voimakkaasti juuriston pinta-alan kanssa.

Edelleen voidaan todeta, että taimien muut morfologiset tunnuksiset eivät anna kovinkaan hyvää kuvaa juuristojen pinta-aloista. Parhaaksi selittäjäksi osoittautui vuosikasvaimen pituus ja seuraavaksi parhaaksi varren paksuus, sensijaan verson pituus ei korreloinut kovinkaan voimakkaasti muiden tunnusten kanssa.

1. JOHDANTO

Juuristoa kuvaamaan voidaan käyttää lukuisia morfologisia ja fysiologisia tunnuksia. Morfologisten tunnusten, kuten pituuden, paksuuden jne. valitsemisen luokitusperusteeksi on todennäköisesti ratkaissut niiden suhteellisen helppo mitattavuus ja se seikka, että näissä ominaisuuksissa ilmenee kontrolloiduissakin olosuhteissa vaihtelua, jonka on voitu ajatella vaikuttaneen taimien kehitykseen (RÄSÄNEN 1966). Toisaalta mm. FOWELLS (1953) ja WAKELEY (1948)

ovat tutkimuksissaan todenneet, että morfologisten tunnusten perusteella ei voida jakaa taimia elinvoimaltaan samanlaisiin ryhmiin.

Juuriston painon suhde verson painoon on ollut suosittu ja luotettavana pidetty taimen laadun kuvaaja (WILDE ym. 1964). Yleisesti on esitetty, että juuriston painon tulisi olla n. 1/3—1/4 koko taimen painosta (INGESTAD 1963). Paino ei kuitenkaan ilmaise juuriston pinta-alaa, vaan ohutjuurien ja mykoritsojen määrä aiheuttaa siinä huomattavaa vaihtelua (RÄSÄNEN 1966). MORRISON ja ARMSON (1968) toteavat, että taimien metsänviljelyarvon luokittamiseksi on välttämätöntä löytää jokin nopeasti mitattava juuriston pinta-alaa kuvaava tunnus. He sekä NEWMAN (1964) ja VOIGT (1966) pitävät juuriston pinta-alan mittausta parempana kuin kuiva-painon määrittystä haluttaessa saada käsitys taimien veden ja ravinteiden ottokyvystä ja menestymisestä erilaisilla kasvupaikoilla istutuksen jälkeen. Myös juurten kärkien määrä kuvaa varsin hyvin taimien istutuskelpoisuutta (YLI-VAKKURI 1957, YLI-VAKKURI ym. 1968).

Juurten pinta-alaa voidaan kuvata esim. absorptiokapasiteetin avulla mitattuna joko titrausmenetelmällä tai gravimetrillä menetelmällä (CHARLEY ja WATSON 1965). Siihen, kuinka paljon taimi pystyy käyttämään vanhoja juuriaan, vaikuttaa suuresti se, kuinka hyvin juuret on suojattu kuivumiselta noston ja istutuksen välisenä aikana (YLI-VAKKURI 1957). Yleensä jo kaksi- tai kolmivuotiaat lyhytjuuret menettävät toimintakykynsä (esim. LÄHDE 1966). Juuriston fysiologista tilaa voidaan MIKOLAN (1957) mukaan absorptiokapasiteetin ohella kuvata parhaiten mykoritsojen kehityksen ja lukumäärän perusteella. Mykoritsat laajentavat juuriston ravinteita ottavaa pintaa, ja niiden ravinnonottokyky pinta-alaa kohti on parempi kuin mykoritsattomien juurien, sillä ionivaihto mykoritsojen soluseinän läpi käy helpommin kuin juuren solujen (BJÖRKMANN 1961). Mykoritsaiset juuret myös hengittävät voimakkaammin (LÄHDE 1966) ja absorboivat ravinneioneja runsaammin (KRAMER ja WILBUR 1949) sekä paino- että pinta-alayksikköä kohti.

Jatkuvasti laajeneva metsänviljelytoiminta tarvitsee yhä kipeämmin käytökelpoista ja riittävän yksinkertaista menetelmää taimien istutuskelpoisuuden osoittamiseksi. Tämän työn tarkoituksena on osaltaan valaista tätä kysymystä. Työssä pyritään tutkimaan, miten aikaisemmin yleisesti käytetyt morfologiset tunnuksiset sekä gravimetrinen ja uutena kokeiltu fotometrinen menetelmä soveltuvat kyseiseen tarkoitukseen. Vertailun perustana käytetään aiemmin käytökelpoisiksi todettuja tunnuksia.

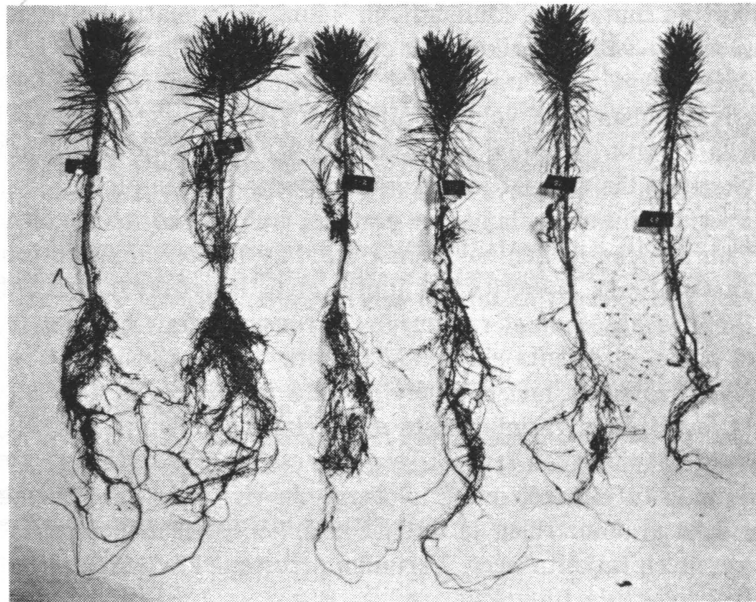
Esitetyn tutkimuksen ovat tekijät suunnitelleet yhteisvoimin saaden asiantuntija-apua metsänh. PENTTI RÄSÄSELTÄ, prof. PAAVO YLI-VAKKURILTA, lis. OLAVI LAIHOilta ja tri MATTI LEIKOLALTA. Samoin tutkimuksen julkaisukuntoon saattaminen on tapahtunut tekijöiden yhteistyönä. Kenttäkokeet sensijaan on tehnyt metsänhoitaja ANTTI OKSANEN, ja hän on laatinut niiden perusteella alustavan käsikirjoituksen metsänhoitotieteen laudaturtyöksi (OKSANEN 1969). Rouva MARJATTA OKSANEN on avustanut kenttätöissä. Edellä mainituille henkilöille sekä yliopiston metsänhoitajalle, tri JUHANI SARASTOLLE, joka monin tavoin on avustanut työn onnistumisessa, haluavat tekijät tässä yhteydessä lausua parhaat kiitoksensa.

2. KÄYTETYT MENETELMÄT

21. MORFOLOGISET MITTAUSMENETELMÄT

Taimia luokiteltaessa on ilmeisen tärkeätä saada kuva niiden juuristoista. Useat morfologiset tunnuksot osoittavat suoraan taimien fysiologista tilaa. Esim. MIKOLAN (1957) mukaan mykoritsojen kehitys ja lukumäärä lisätessään juuriston pinta-alaa osoittavat sen fysiologista kuntoa. Mykoritsojen määrittäminen voidaan suorittaa siten, että lasketaan kunkin taimen mykoritsaisten juurenkärkien lukumäärä tai rajoitetaan laskemaan vain 1, 2 tai 3 haaraiset mykoritsat (MIKOLA 1957). Mykoritsojen yksittäinen laskeminen on kuitenkin käytännössä liian työlästä suorittaa, joten mykoritsojen lukumäärä voidaan arvioida tai luokitella mykoritsaisuus silmävaraisesti. Viime mainitulla tavalla meneteltiin tässä työssä.

Ennen varsinaisia mittauksia etsittiin taimien joukosta yksilöitä, joissa oli erittäin runsaasti, kohtalaisesti tai vähän mykoritsoja. Näiden joukosta valit-



Kuva 1. Mykoritsaisuusluokituksen mallitaimet.
Fig. 1. Model plants for determining mycorrhizal frequency.

taimet 1 ja 2 runsaasti mykoritsoja
» 3 ja 4 kohtalaisesti »
» 5 ja 6 vähän »

plants 1 and 4 mycorrhizae abundant
» 3 and 4 » rather abundant
» 5 and 6 » few

tiin tyypilliset edustajat, jotka valokuvattiin (kuva 1) ja säilytettiin luokituksen malleina koko mittauksen ajan. Luokitus oli siis seuraava:

1. vähän mykoritsoja
2. kohtalaisesti mykoritsoja
3. runsaasti »

Taimien istutuskelpoisuutta arvosteltaessa on YLI-VAKKURIN (1957) mukaan syytä kiinnittää huomiota elävien juurenkärkien lukumäärään. Tässä tutkimuksessa tyydyttiin kuitenkin laskemaan vain elävien pitkäjuurten kärkien lukumäärät.

Lisäksi mitattiin taimista seuraavat tunnuksot, jotka luetaan kaikki morfologisten tunnuksien ryhmään.

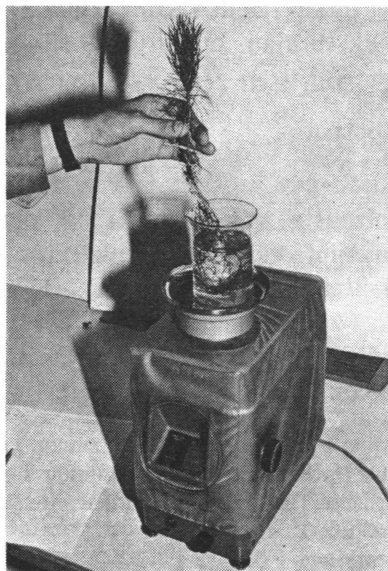
- Verson pituus (tarkkuus 1 cm, juuren niskasta silmun kärkeen)
- Vuosikasvaimen pituus (tarkkuus 1 mm, päätesilmun kärkeen)
- Varren läpimitta (tarkkuus 0.1 mm, 1 cm korkeudelta juuren niskasta)
- Juuriston pituus (tarkkuus 1 cm)
- Verson kuivapaino (tarkkuus 0.01 g, 2 t 105° C)
- Juuriston kuivapaino (tarkkuus 0.01 g, 2 t 105° C)
- Verson ja juuriston kuivapainojen suhde ja osasta taimia lisäksi
- Juuriston tuorepaino (tarkkuus 0.01 g, 2 t huoneessa pesun jälkeen)

22. GRAVIMETRINEN MENETELMÄ

Erittäin tarkkana juuriston absorptiokapasiteettia osoittavana menetelmänä pidetään niin kutsuttua titrausmenetelmää. Tällöin juuret upotetaan 3 N HCl-liuokseen 15 sekunnin ajaksi, annetaan kuivua viiden minuutin ajan ja upotetaan astiaan, jossa on tislattua vettä. Hapon huuhtomiseksi juurista astiaa heilutetaan ja annetaan seistä vähintään kymmenen minuuttia. Saatu happoliuos titrataan 0.3 N NaOH-liuoksella käyttäen sopivaa väri-indikaattoria. Näin saadaan selville juuriston absorptiokapasiteetin ja pinta-alan suhteellinen arvo millilitroissa natriumhydroksidia (WILDE ja VOIGT 1949, WILDE ym. 1964, CHARLEY ja WATSON 1966).

Titrausmenetelmä on kuitenkin käytännön mittakaavassa liian hidas vaahtien lisäksi laboratoriotyöskentelyä ja myrkyllisten happojen käsittelyä. Titraaminen voidaan korvata gravimetrisellä menetelmällä. Kalsiumnitraatti ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) liukenee lämmitettäessä veteen (1 osa H_2O ja 6 osaa $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) eikä enää sen jälkeen kiteydy. Tällainen raskas liuos (molekyylipaino 164) tarttuu ohuimpiinkin juuriin tuoden pinta-alaerot esiin.

Varsinainen mittaus tapahtuu siten, että asetetaan valmistettu kalsiumnitraattiliuos astiassa laboratoriovaalealle, joka omaa riittävän tarkkuuden, esim. 0.01 g. Taimien juuristo upotetaan liuokseen kymmenen sekunnin ajaksi ja nostetaan sen jälkeen astian yläpuolelle valumaan kolmenkymmenen sekunnin ajaksi. Vaa'asta luetaan arvot ennen ja jälkeen upotuksen. Erotus ilmoittaa ab-



Kuva 2. Gravimetrinen mittaus käynnissä.
Fig. 2. Gravimetric measurement being carried out.

sorptoituneen liuosmäärän kuvaten juuriston pinta-alaa (CHARLEY ja WATSON 1966).

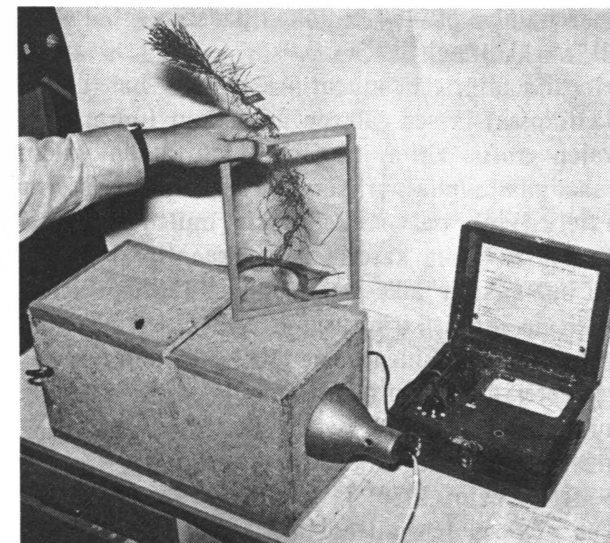
Tässä työssä käytettiin vastaavaa menetelmää (kuva 2) kuitenkin siten laajennettuna, että tämä ns. gravimetrinen arvo määritettiin sekä tuoreista että kuivatuista (2 t 105 C) juuristoista.

23. FOTOMETRINEN MENETELMÄ

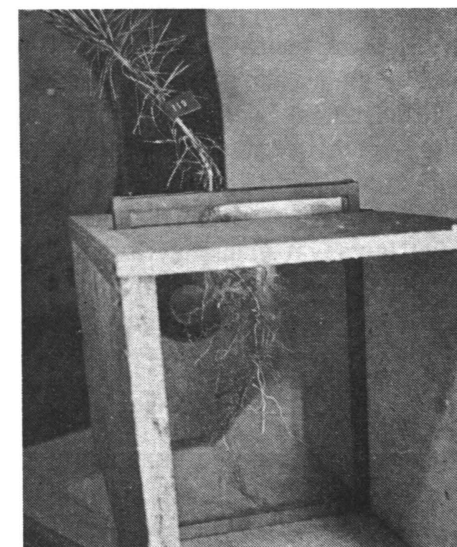
Uutena menetelmänä käytettiin fotometristä menetelmää, jossa mittauslaitteena oli saksalaisvalmisteinen Rextolux seleenivalokennomittari eli valoparisto. Valokenno kytkettiin mittariin n. 50 cm pituisella johdolla ja valaistuksen voimakkuus voitiin lukea suoraan asteikolta. Valittavana oli kolme eri asteikkoa (1–60 lx, 1–600 lx, 1–6000 lx).

Valon intensiteetin mittarit, lux-mittarit, perustuvat estokerrossähköiseen ilmiöön, jossa vaikeasti mitattava valoenergia muuttuu helposti mitattavaksi sähköenergiaksi. Otturina on puolijohdevalokenno ja anturina herkkä virtamittari. Mittarit eivät integroi tulosta, vaan antavat kunkin hetkisen valaistuksen voimakkuuden.

Varsinaista mittausta varten rakennettiin umpinainen laatikko (kuvat 3 ja 4), jonka takaseinään kiinnitettiin mittarin otturi. Laatikko tiivistettiin eristysnauhalla. Juuret asetettiin kahden lasilevyn muodostaman kasetin väliin,



Kuva 3. Fotometrissä mittauksessa käytetty laitteisto.
Fig. 3. Apparata used in photometric measurement.



Kuva 4. Sisäkuva fotometrissä mittauksessa käytetystä laatikosta.
Fig. 4. Inside view of box used in photometric measurement.

joka pudotettiin laatikkoon sen yläreunan keskellä olevasta tarkalleen kasetin kokoisesta raosta. Kasettiin piirrettiin merkit, joiden avulla juurenniska saatiin aina tarkalleen samaan kohtaan. Suoritetuissa esikokeissa havaittiin, että mittarin herkkyyden on erilainen eri valaistuksen arvoilla. Edullisimmaksi osoittau-

tui kokeiden tuloksena alue 50—60 lx, johon päästiin asteikolla 1—60 lx, 15 W lampulla ja 220 V verkkojännitteellä.

Mittaus suoritettiin niin, että mittarin asteikolta luettiin ensin arvo ilman juuria (kasetti laatikossa) ja sen jälkeen arvo, kun juuret oli asetettu kasetin väliin. Em. arvojen erotus antoi juuriston pidättämän valomäärän suoraan luxeina, ja näin saadulla luvulla pyrittiin kuvaamaan juuriston pinta-alaa. Mittarista voitaisiin tietysti lukea arvot suoraankin, mutta erotusmenetelmän käyttö lienee välttämätöntä, koska kasetin lasit likaantuvat eikä puhdistusta voi suorittaa jokaisen mittauksen jälkeen työn hidastumisen vuoksi.

Tämän työn ollessa jo käsikirjoitusvaiheessa todettiin, että Kanadassa oli kehitetty periaatteessa samanlainen menetelmä. Mittaukseen käytettyä laitetta nimitetään »Rhizometer»-laitteeksi (MORRISON ja ARMSON 1968). Laite on teknillisesti pidemmälle kehitetty kuin tässä työssä käytetty.

Idean Rhizometer- laitteen kehittämiseksi MORRISON ja ARMSON saivat FREARIN (1935), MITCHELLIN (1936) ja KRAMERIN (1937) tutkimuksista, jotka käsittelevät lehtien pinta-alojen mittausta.

Fotometrisen menetelmän käyttökelpoisuutta tässä tutkimuksessa esitettyssä muodossa arvosteltaessa on syytä tuoda esille eräitä käytetyn Rextolux-mittarin haittapuolia. Haittaa aiheuttavat tekijät olivat otturina toimivan valokennon levymäinen muoto ja sen halkaisijan pienuus.

Levymäiset kennot reagoivat voimakkaimmin kohtisuoraan saapuvalla säteilylle, ja mitä suurempi tulokulma on, sen pienempi on mittarin näyttö. Valokennoilla voidaan siis mitata tehokkaasti vain yhdeltä suunnalta saapuvaa säteilyä. Koska ei ole väliä absoluuttisesti oikeista valaistusarvoista, voidaan tätä haittaa pitää pienempänä kuin otturin koosta ja kiinnitystavasta johtuvia.

Otturiin saapui siis vain tietyn juuriston osan läpäisemä valomäärä suoraviivaisesti ja saadut arvot kuvaavat vain tiettyä osaa juuristosta. Tämän tähden lasiseen kasettiin piirrettiin merkit juurenniskan saamiseksi tarkalleen samaan kohtaan ja suuntaan. Näin saatuja arvoja voitiin pitää systemaattisina näytteinä juuriston pääosasta.

3. TUTKIMUSAINIESTO JA SEN KÄSITTELY

Tutkimusaineisto kerättiin Helsingin yliopiston metsäharjoitteluasemalla keuhalla 1968. Taimimateriaali saatiin läheiseltä Korkeakosken hoitoalueen Hyytiälän taimitarhalta. Koemateriaaliksi valittiin n. 650 yhden vuoden muovihuoneessa turvealustalla kasvaneita männyn taimia.

Kaikki taimet koulittiin sateisena keuhpäivänä (14. 5. 1968). Noin 400 tainta koulittiin avomaalle (nimitys normaalit taimet, lyhennys A). Tästä populaatiosta osasta taimia juuristo leikattiin 8 cm:n pituiseksi (leikatut, lyhennys B), 250 tainta koulittiin reijitettyihin muovisankoihin (sankotaimet, lyhennys C), jotka upotettiin avomaapenkkeihin muiden koulittujen taimien välittömään läheisyy-

teen. Näin voitiin varmistaa se, ettei taimien noston yhteydessä jäänyt juuria maahan. Taimia kasteltiin säännöllisesti ja lannoitettiin kaksi kertaa kesän kuluessa käyttäen lannoitteena normaalit määrät oulunsalpietaria veteen liuotettuna.

Taulukko 1. Mitattujen tunnusten keskiarvot ja keskiarvon keskivirheet taimiryhmittäin
Table 1. Means and standard errors of means of the measured characteristics in the various groups of plants

Tunnus Characteristic	Lyhenne Abbreviation	Normaalit Normal A	Leikatut Cut B	Sankotaimet Pail plants C
Verson pituus, cm — Plant height	Vpt	21.07 ± 0.34	20.57 ± 0.37	21.26 ± 0.34
Vuosikasvaimen pituus, cm — Leader length	Ksvp	5.24 ± 0.17	5.41 ± 0.19	5.85 ± 1.65
Varren läpim., mm — Stem diameter	Vlpm	3.43 ± 0.07	3.45 ± 0.07	3.28 ± 0.06
Juuriston pituus, cm — Length of root system	Jpt	20.49 ± 0.55	13.73 ± 0.32	25.88 ± 0.84
Verson kuivapaino, g — Dry weight of plant, excluding roots	Vkp	2.73 ± 0.12	2.51 ± 0.11	2.05 ± 0.08
Juuriston kuivap., g — Dry weight of root system	Jkp	0.83 ± 0.04	0.81 ± 0.05	0.69 ± 0.04
Verso/juuri-suhde — Shoot/root dry weight ratio	V/J	3.50 ± 0.12	3.50 ± 0.13	3.40 ± 0.11
Juuriston tuorep., g — Fresh Weight of root system	Jtp	2.38 ± 0.19	2.333 ± 0.18	—
Mykoritsaisuus, 1—3 — Mycorrhizal frequency	Mkrs	1.8 ± 0.08	1.9 ± 0.08	1.7 ± 0.07
Juurenkärkiä, kpl — Number of living longroot tips	Jkär	8.0 ± 0.44	9.3 ± 0.49	9.4 ± 0.62
Grav.arvo tuorep., g — Gravimetric fresh weight value	Gtp	1.78 ± 0.08	1.38 ± 0.08	2.11 ± 0.09
Grav.arvo kuivap., g — Gravimetric dry weight value	Gkp	1.62 ± 0.12	1.26 ± 0.10	1.71 ± 0.10
Fotometrinen arvo, lux — Photometric value	Fot	7.59 ± 0.27	7.58 ± 0.36	6.22 ± 0.27

Taimien nosto aloitettiin elokuun 14. päivänä ja taimet pestiin vesisuihkulla harvasilmäiselle metalliverkolle asetetun harsokankaan päällä varoen juurten katkomista. Tämän jälkeen niistä tehtiin erilaiset mittaukset. Nämä mittaukset tehtiin 10 taimen ryhmissä. Keskimääräiset arvot taimiaineistosta esitetään taulukossa 1.

Koetulosten laskennassa käytettiin korrelaatio- ja regressioanalyysijä. Kuktakin käsittelytapaa edustaa laskelmissa kunkin tunnuksen osalta 100 tainta. Gravimetrinen arvo kuivapainosta ja verson sekä juuriston tuorepaino laskettiin kuitenkin vain 40 taimen keskiarvoina.

4. TUTKIMUKSEN TULOKSET

41. MORFOLOGISTEN TUNNUSTEN VERTAILU MUIHIN TUNNUKSIIN

Kuten tutkimusmenetelmien yhteydessä (sivu 236) esitettiin, käytettiin mykoritsaisuutta yhtenä taimien juuristojen morfologisena tunnuksena. Luokitus perustui silmävaraiseen arviointiin mykoritsojen runsaussuhteista. Riippuvaisuussuhde mykoritsaisuuden ja muiden mitattujen tunnusten välillä on erittäin voimakas lukuunottamatta muutamia morfologisia tunnuksia, kuten verson ja juuriston pituus (taulukko 2). Taimiryhmässä A eli avomaahan sellaiseen koulituissa taimissa juuriston kuivapaino korreloi muihin tekijöihin verrattuna voimakkaimmin mykoritsaisuuteen. Leikatuissa (B) ja sankoihin (C)

Taulukko 2. Taimesta mitattujen morfologisten tunnusten ja taimen muiden tunnusten väliset korrelaatiot.

Table 2. Correlations between morphological characteristics and other characteristics of plants.

Mykoritsaisuus — Mycorrhizal frequency

Taimiryhmä Group of plants	Tunnus — Characteristic ¹⁾										
	Vpt	Ksvp	Vlpm	Jpt	Vkp	Jkp	V/J	Mkrs	Jkär	Gtp	Fot
A	.10	.41***	.31**	.22*	.44***	.68***	-.39***		.45***	.56***	.52***
B	.08	.26**	.26**	.35*	.34***	.51***	-.41***		.52***	.41***	.59***
C	.27**	.33***	.32***	.11*	.34***	.44**	-.39***		.50***	.48***	.51***

Juurenkärkiä — Number of living long-root tips

A	.15	.39***	.32**	.27	.37***	.53***	-.30**	.45***		.42***	.42***
B	.13	.28**	.33***	.49***	.43***	.59***	-.43***	.52***		.53***	.62***
C	.14	.17	.23*	.22*	.22*	.31**	-.43***	.50***		.32***	.31**

Verson pituus — Plant height

A		.65***	.44***	.14	.55***	.29**	.37***	.10	.15	.22*	.24*
B		.66***	.45***	.06	.57***	.37***	.08	.08	.14	.26**	.25**
C		.59***	.52***	.08	.67***	.41***	.04	.27**	.14	.46***	.41***

Varren läpimitta — Stem diameter

A	.44***	.49***		.03	.74***	.55***	.25*	.31**	.32**	.51***	.32***
B	.45***	.61***		.40***	.82***	.73***	-.10	.26**	.33***	.69***	.56***
C	.52***	.51***		.17	.78***	.59***	-.15	.32***	.23*	.64***	.54***

Vuosikasvaimen pituus — Leader length

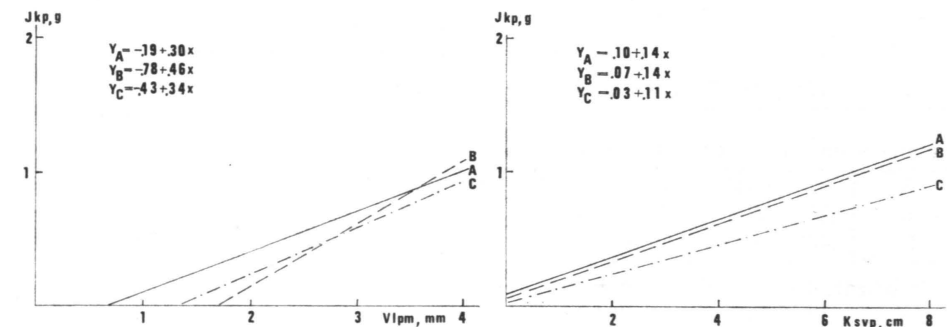
A	.65***		.46***	.03	.68***	.64***	-.01	.41***	.39***	.56***	.49***
B	.66***		.61***	.12	.73***	.57***	.00	.26**	.28**	.47***	.47***
C	.59***		.51***	.10	.62***	.52***	-.03	.33***	.17	.44***	.48***

¹⁾ lyhenteet ks. taulukko 1, sivu 241. — abbreviations see table 1, page 241.

koulituissa taimiryhmissä taas fotometrinen arvo korreloi voimakkaimmin mykoritsaisuuden kanssa. Myös gravimetrinen arvo sijoittuu varsin lähelle juuriston kuivapainoa ja fotometristä arvoa. Tämä osoittaa, että käytetty suhteellisen karkea mykoritsaisuusluokitus kuvaa erinomaisen hyvin juuriston pinta-alaa.

Juuren kärkien lukumäärän korreloidessa erittäin voimakkaasti mykoritsaisuuden kanssa on luonnollista, että ensin mainittu korreloi vastaavien tunnusten kanssa, kuten taulukosta 2 edelleen havaitaan.

Verson pituus korreloi varsin selvästi muiden versotunnusten kanssa, mutta sen sijaan huomattavasti heikommin juuristosta mitattujen tunnusten kanssa. Kuitenkin varren paksuus ja viimeisen vuosikasvaimen pituus, siis avomaalla kehittyneen verson osuus, korreloivat voimakkaasti edellä lueteltujenkin tunnusten kanssa. Juuriston kuivapainon regressiofunktion todettiin laskelmissa olevan sekä varren läpimitan että viimeisen vuosikasvaimen pituuden suhteen lähempänä lineaarista kuin logaritmista kuvaajaa. Regressiosuorat taimien erilaisten käsittelytapojen osalta esitetään kuvassa 5.



Kuva 5. Juuriston kuivapainon riippuvuus varren läpimitasta ja kasvaimen pituudesta.
Fig. 5. Correlations of dry weight of root system between stem diameter and leader length.

¹⁾ lyhenteet ks. taulukko 1, sivu 241. — abbreviations see table 1, page 241.

Morfologisten tunnusten osalta on selvästi todettavissa juuriston pituuden ja verso/juuri-suhteen heikko korrelaatio muiden mitattujen tunnusten kanssa (taulukko 2).

42. GRAVIMETRISTEN ARVOJEN RIIPPUVUUS MUISTA TUNNUKSIIN

Kuivapainoltaan samansuuruisen juurten pinta-ala saattaa vaihdella huomattavasti (CHARLEY ja WATSON 1966). Tämä tulos osoittaa, että kuivapaino ei ole riittävä tunnus osoittamaan taimien elinvoimaisuutta. Gravimetrinen arvo, jonka on todettu vastaavan titrausmenetelmällä määritettyä arvoa (emt.), kuvaa erinomaisen hyvin juuriston pinta-alaa.

Nyt käsiteltävässä tutkimuksessa katsottiin tarpeelliseksi määrittää gravimetrinen arvo sekä tuorepainosta että kuivapainosta laskettuna (taulukko 3). On syytä kuitenkin ottaa huomioon se, että tuorepainoon perustuva gravimetrinen arvo määritettiin kussakin taimiryhmässä vain 40 taimesta. Tulokset kummassakin tapauksessa ovat käytännöllisesti katsoen samanlaisia, joten on mahdollista käyttää kumpaa määrittystapaa tahansa. Tätä tukee myös näiden arvojen välinen kiinteä riippuvuus (esim. leikatut taimet, $r = 0.91^{***}$). Erityisesti on syytä huomioida gravimetrinen arvojen kiinteä riippuvuus juuriston kuivapainon kanssa. Heikoin korrelaatio sankotaimien osalta on 0.60, ja se on tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Taulukko 3. Gravimetrinen arvojen ja taimen muiden tunnusien väliset korrelaatiot.
Table 3. Correlations between gravimetric values and other characteristics of plants.

Kuivapainosta määritetty — Dry weight

Taimiryhmä Group of plants	Tunnus — Characteristic ¹⁾									
	Vpt	Ksvp	Vlpm	Jpt	Jkp	Mkrs	Jkär	Gtp	Gkp	Fot
A	.13	.63***	.49***	.59***	.96***	.72***	.64***	.85***		.51***
B	.11	.27	.64***	.48**	.92***	.33*	.49***	.91***		.83***
C	.42*	.60**	.36	.46*	.60**	.61**	.30	.78***		.59**

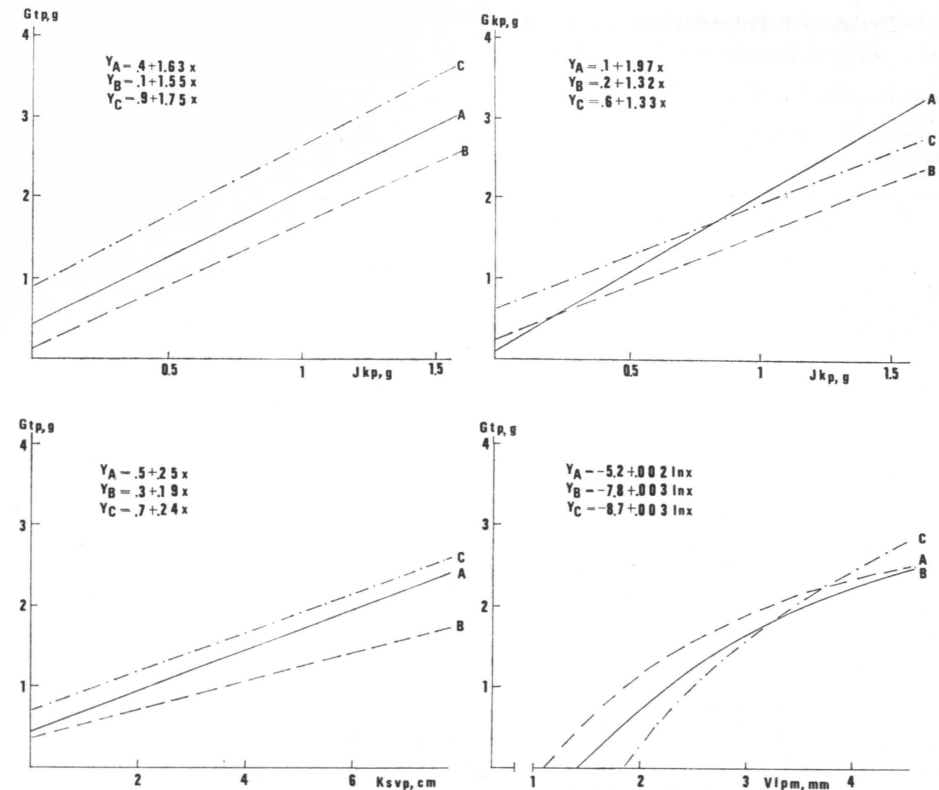
Tuorepainosta määritetty — Fresh weight

A	.01	.52***	.45**	.55***	.84***	.51***	.61***		.85***	.49**
B	.03	.26	.69***	.45**	.91***	.38*	.26		.91***	.78***
C	.46*	.67***	.52**	.63***	.69***	.62***	.46*		.78***	.56**

¹⁾ lyhenteet ks. taulukko 1, sivu 241. — abbreviations see table 1, page 241.

Gravimetrinen arvojen riippuvuus juuriston kuivapainosta näytti noudattavan lineaarista korrelaatiota. Kyseiset regressiosuorat esitetään kuvassa 6. Suorat eri käsittelytapojen osalta ovat yleensä samansuuntaisia (poikkeus normaalit taimet). Tämä merkitsee sitä, että kussakin tapauksessa tiettyä kuivapainon lisäystä vastaa yhtä suuri juuriston pinta-alan lisäys. Suorien asettuminen eri tasoille on seuraus siitä, että sankotaimilla kuivapainoyksikköä vastaa suurempi pinta-ala kuin avomaassa kasvaneilla, koska maastaoton yhteydessä menetetään ohuita juuria, jotka pystytään sangoissa saamaan mukaan mittaukseen. Leikattujen taimien suora asettuu kaikkein alimmas, mikä johtuu siitä, että leikattujen juurten haarat ovat tukevampia ja siten pinta-alaltaan suhteellisesti pienempiä (HEIKINHEIMO 1940).

Sankotaimien osalta tuore- ja kuivapainoon perustuvat gravimetrinen arvot korreloivat muihin taimiin verrattuna heikoimmin, mikä johtuu siitä, että sankotaimien suhteellisen pitkät juuren haarat lisäävät painoa enemmän kuin pinta-alaa.



Kuva 6. Gravimetrinen arvojen riippuvuus taimen muista tunnuksista.
Fig. 6. Correlations between gravimetric values and other characteristics of plants.

¹⁾ lyhenteet ks. taulukko 1, sivu 241. — abbreviations see table 1, page 241.

Tuorepainosta määritetyn gravimetrinen arvo riippuvuus vuosikasvaimen pituudesta noudattaa myös lineaarista korrelaatiota (kuva 6), sen sijaan riippuvuus varren paksuudesta noudatti käyräviivaista korrelaatiota. Erot kuvaajien välillä johtuvat materiaaliaroista (vrt. taulukko 1, aineiston keskimääräiset mitaustulokset).

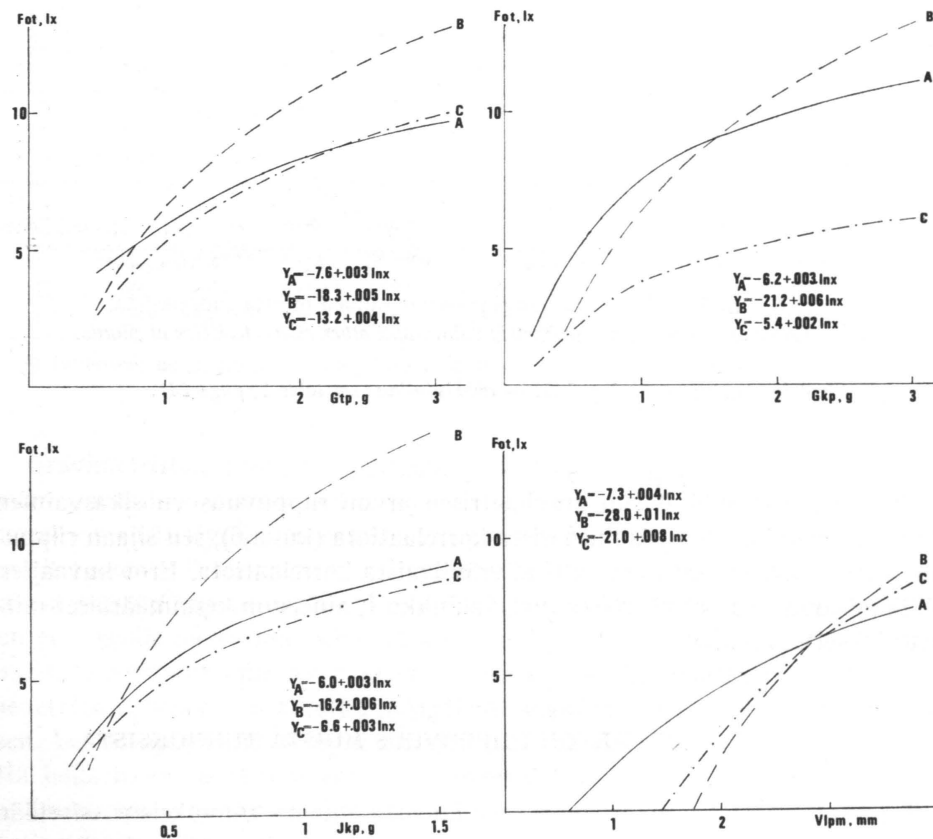
43. FOTOMETRINEN ARVON RIIPPUVUUS MUISTA TUNNUKSISTA

Tulokset fotometrinen arvo riippuvuudesta muista tunnuksista esitetään taulukossa 4 ja kuvassa 7. Oleellista on se, kuten jo aikaisemmin todettiin, että fotometrinen arvo korreloi varsin voimakkaasti gravimetrinen arvojen, juuriston kuivapainon, mykoritsaisuuden, juurten kärkien lukumäärän, varren paksuuden ja viimeisen vuosikasvaimen pituuden kanssa.

Taulukko 4. Fotometrisen arvon ja taimen muiden tunnusten väliset korrelaatiot.
Table 4. Correlations between photometric value and other characteristics of plants.

Taimiryhmä Group of plants	Tunnus — Characteristic ¹⁾							
	Vpt	Ksvp	Vlpm	Jpt	Jkp	Mkrs	Jkär	Gtp
A	.24*	.49***	.21**	.00	.56***	.52***	.43***	.54***
B	.25**	.47***	.56***	.51***	.84***	.59***	.62***	.79***
C	.41***	.48***	.54***	.16	.63***	.51***	.31***	.63***

¹⁾ lyhenteet ks. taulukko 1, sivu 241. — abbreviations see table 1, page 241.



Kuva 7. Fotometrisen arvon riippuvuus taimen muista tunnuksista.

Fig. 7. Correlation between photometric value and other characteristics of plants.

¹⁾ lyhenteet ks. taulukko 1, sivu 241. — abbreviations see table 1, page 241.

Fotometrinen arvo sopii parhaiten leikattujuuristen taimien kuvaamiseen mittaumenetelmästä johtuen, koska valaistus johdettiin juuristoon siten, että keskipiste oli 5 cm juurenniskasta alaspäin. Näin ollen fotometrinen arvo kuvaa suhteellisesti suurempaa osaa leikattujen taimien juuristosta kuin normaalien ja sankotaimien. Erot juuriston kuivapainoon ja gravimetriin arvoihin verrattuna ovat kaikissa tapauksissa samansuuntaiset, mutta vain muutaman sadasan suuruiset (taulukko 4).

Fotometrinen arvojen regressiofunktioiden todettiin kaikissa vertailuissa tapauksissa olevan käyräviivaisia (kuva 7). Leikattujen taimien kuvaaja näyttää asettuvan ylimmäksi ja poikkeavan selvästi muista, sen sijaan normaali- ja sankotaimien kuvaajien väliset erot ovat hyvin vähäisiä.

5. TULOSTEN TARKASTELU

Useat tutkijat ovat todenneet, että verson morfologiset tunnuksiset eivät pysty jakamaan taimia elinvoimaisuudeltaan erilaisiin ryhmiin (WAKELEY 1948, FOWELLES 1953, MULLIN 1959). Toisaalta tiedetään, että taimen menestyminen istutuksen jälkeen on olennaisesti riippuvainen juuriston rakenteesta ja fysiologisesta tilasta. Ennen kaikkea juuriston pinta-ala kuvaa juuriston mahdollisuuksia ottaa maasta vettä ja ravinteita.

Nyt esitettyssä työssä tutkittiin sekä verson että juuriston morfologisia tunnuksia sekä lisäksi vertailtiin niitä juuriston painoon ja pinta-alaa kuvaaviin gravimetriin ja fotometriin tunnuksiin. Tulokset osoittavat, että verson pituus ja varren läpimitta eivät anna tilastomatematisesti tarkastellen riittävää käsitystä juuristosta, sen sijaan viimeisen vuosikasvaimen pituus, ja toisaalta vuosikasvaimen piteuden ja varren paksuuden yhteisvaikutus, on useissa tapauksissa korrelaatiossa juuristosta mitattujen tunnusten kanssa. Tämän työn aineisto perustuikin kaksivuotisiin ensimmäisen vuotensa muovihuoneessa turpeessa kasvaneisiin taimiin. On täysin ymmärrettävää, että tällaisissa poikkeuksellisen edullisissa olosuhteissa ja tiheässä kasvaneiden taimien verson ulkonaiset tunnuksiset eivät anna täydellistä kuvaa taimien elinkelpoisuudesta. Todennäköisesti taimien kuntoluokituksessa tarvitaan tiedot verson kehityksestä koulun jälkeen. Mainittakoon, että WENGER (1955) on todennut vuosikasvaimen piteuden käyttökelpoiseksi tulevaa kasvua ennustettaessa.

Juuristosta mitattavat tunnuksiset ovat tärkeitä laadittaessa taimien kuntoisuusluokitusta. Tutkimuksessa mitattu mykoritsaisuus-tunnus ja pitkäjuurten kärkien lukumäärä korreloivat voimakkaasti keskenään sekä myös juuriston kuivapainon että gravimetrisen ja fotometrisen arvon kanssa ja viimeainitut edelleen keskenään. Käytännön luokituksen kannalta mykoritsaisuuden luokitus on liian subjektiivinen ja toisaalta juurten kärkien laskeminen liian hidasta. Edelleen kuivapainon ja kuivapainoon perustuvan gravimetrisen arvon määrittäminen on kuivatuksen johdosta aikaa vievää, eivätkä taimet ole kyseisen kä-

sittelyn jälkeen enää istutuskelpoisia. Viime mainittu heikkous koskee myös tuorepainosta määritetyn gravimetrisen arvon käyttöä, vaikka se lieneekin yhtä luotettava kuin kuivapainoon perustuva gravimetrinen määrittäminen, kun on kyseessä juuriston pinta-alan kuvaaminen.

CHARLEY ja WATSON (1966) pääsivät gravimetristä kuivapainomäärittästä käyttäessään 60 juuriston tuntivauhtiin. Kuitenkin juuristojen kuivatus hidastaa määrittästä, joten tuorepainosta mittaaminen on nopeampaa. Titrausmenetelmää käytettäessä päästään vain 10 juuriston tuntivauhtiin (em 7.).

Oleellisen edun edellisiin menetelmiin verrattuna tarjoaa fotometrisen arvon käyttö. Se kuvaa tutkimusten tulosten mukaan erittäin hyvin juuriston pinta-alaa ja on suhteellisen nopeasti määritettävissä. Ainakin 80 määrittästä voidaan helposti tehdä tunnin kuluessa. Lisäksi fotometrinen arvo voidaan mitata silloinkin, kun taimi on esim. vedessä, kuten MORRISON ja ARMSON (1968) ovat menettelleet tämän työn kanssa suurinpiirtein samanaikaisesti tehdyssä tutkimuksessaan. Näin toimien taimia voitaisiin mittauksen jälkeen käyttää metsänviljelyyn ja tehdä tarvittaessa havaintoja niiden menestymisestä.

Luokitus voisi perustua esim. sellaisen suureen kuin »pienimmän fotometrisen arvon» käyttöön. Tämä luku saataisiin regressiokäyrältä, jonka funktiona olisivat fotometrinen arvo ja vaikkapa verson paksuus juurenniskan yläpuolelta tai koulinnan jälkeen kasvaneen verson pituus.

Fotometrisen arvon käyttökelpoisuutta kuvastaa, että se paljasti sankotaimien kärsineen jossain määrin kuivuudesta muihin taimiin verrattuna. Vaikka juuristot saatiin sangoista kokonaisina, olivat niiden fotometriset arvot tilastomatemattisesti erittäin merkittävästi pienempiä kuin normaalien ja leikattujuuristen taimien. Toisin sanoen sankotaimet kasvattivat laajan ja harvan juuriston, joka on tyypillistä kuivissa oloissa kasvaneille taimille.

6. KIRJALLISUUSLUETTELO

- BJÖRKMANN, E. 1961. The influence of ectotrophic mycorrhiza on the development of forest tree plants after planting. 13. IUFRO Kongress. Wien.
- CHARLEY, H. E. ja WATSON, R. D. 1966. A new gravimetric method for estimating root-surface areas. *Soil Sci.* 102: 289—291.
- FREAR, D. H. 1935. An improved photoelectric apparatus for measuring leaf areas. *Am. Journ. Bot.* 24: 375—376.
- FOWELLS, H. A. 1953. The effect of seed and stock sizes on survival of jefferey pine. *Journ. Forest.* 51: 504—507.
- HEIKINHEIMO, O. 1940. Metsäpuiden taimien kasvatus taimitarhassa. *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 29.7.
- INGESTAD, T. 1963. Gödslingens inverkan på skogsplantors tillväxt och typ i plantskolor. *Inst. skogsekologi. Rapporter och uppsatser.* 3.
- KRAMER, P. J. ja WILBUR, K. M. 1949. Absorption of radioactive phosphorus by mycorrhizal roots of pine. *Science* 110: 8—9.
- LÄHDE, E. 1966. Studies on the respiration rate in the different parts of the root systems of pine and spruce seedlings and its variations during the growing season. *Acta Forest. Fenn.* 81.8.

- MIKOLA, P. 1957. Tutkimuksia taimitarhamaasta. *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 49.2.
- MITCHELL, J. W. 1936. Measurement of the area of attached and detached leaves. *Science* 83: 334—336.
- MORRISON, I. K. ja ARMSON, K. A. 1968. The rhizometer- a device for measuring roots of tree seedlings. *Forest. Chron.* 5: 21—23.
- MULLIN, R. E. 1959. An experiment on cutting and grading of white spruce nursery stock. Part A. The percentage of cull. *Ont. Dept. of Lands and Forests. Research Report* 38.
- NEWMAN, E. I. 1964. A method of estimating the total length of root in a sample. *Journ. App. Ecol.* 3: 139—145.
- OKSANEN, A. 1969. Eri tavoin koulittujen männyntaimien juuristojen kuvaaminen kuivapainon ja gravimetristen sekä fotometrisen menetelmän avulla. *Konekirjoite. Metsänhoitotieteen laitos. Helsinki.*
- RÄSÄNEN, P. K. 1966. Metsänviljelyä varten kasvatettujen havupuiden taimien arvostelupe-
rusteista ja luokitusmenetelmistä. *Metsätaloudellinen aikakauslehti.* 4.
- WAKELEY, P. C. 1948. Physiological grades of southern pine nursery stock. *Soc. Am. Forest. Proc.* 311—322.
- WENGER, K. F. 1955. Height growth of loblolly pine seedlings in relation to seedling characteristics. *Forst Sci.* 1: 158—163.
- WILDE, S. A. ja VOIGT, G. K. 1949. Absorption-transpiration quotient of nursery stock. *Journ. Forest.* 47: 643—645.
- WILDE, S. A., VOIGT, G. K. ja IYER, J. G. 1964. Soil and plant analysis for the tree culture. *New Delhi.*
- VOIGT, G. K. 1966. Phosphorus uptake in young pitch pine. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 403—405.
- YLI-VAKKURI, P. 1957. Tutkimuksia taimien pakkauksesta ja kuljetuksesta. *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 49.7.
- YLI-VAKKURI, P., RÄSÄNEN, P. ja HILLI, A. 1968. Taimien talvivarastoinnista ja sen vaikutuksesta männyn taimien istutuskelpoisuuteen. *Acta Forest. Fenn.* 88.

SUMMARY:

MORPHOLOGICAL, GRAVIMETRIC, AND PHOTOMETRIC CHARACTERISTICS IN DESCRIBING OF THE ROOT SYSTEMS OF PINE TRANSPLANTS

The project was carried out in summer 1968 to investigate the value of various shoot and root-system characteristics (table 1 page 241) as indicators of the plantability of transplants and to compare these characteristics by correlation and regression analysis (tables 2—4 and figures 5—7).

The study material consisted of two-year pine transplants that had grown in a plastic greenhouse for the first year and then been transplanted in the open. The seedlings were transplanted without treatment in the field (normal transplants A) or with the roots cut to a length of 8 cm (cut transplants B). A part was transplanted without treatment into plastic pails (pail transplants C).

A gravimetric (figure 2. page 238) and a photometric method (figures 3—4. page 239) were used to obtain a description of the surface area of the root systems. The gravimetric method was the same as the one used by CHARLEY and WATSON (1966). In this project, however, the gravimetric value was also deter-

mined for fresh root systems (2 hrs in room conditions after washing). The photometric method was developed, in spring 1968, unaware of the similar method tried out by MORRISON and ARMSON (1968) in Canada. The method was based on measuring by the photoelectric cell of a Rextolux-meter, the amount of light (in luxes) penetrating a root system lighted by a standard source. The measurements were read from a galvanometer connected to the photoelectric cell. The difference between the initial and end position of the galvanometer was used as a measure of the surface area of the root system. Actually the photometric value refers to the silhouette of the root system, but it can be converted into the actual surface area, if needed. This was done by MORRISON and ARMSON (1968).

The results, generally based on 100 data in each case, show that the photometric value gives a good picture of the surface area of the root system. The greatest advantage offered by the method is the simplicity and rapidity of measurement: at least 80 plants can be measured in one hour. The gravimetric and especially the titrimetric measurement take much more time per plant. Photometric measurement does not affect plantability almost at all, and measured and planted transplants can be followed up in the field. In gravimetric measurements, it was found that fresh and dry weights of the plants were closely correlated.

Mycorrhizal frequency in the root systems was determined by a rather subjective method (figure 1, page 236). However, mycorrhizal frequency, determined by this method, gave a good picture of the surface area of the root system (table 2). The number of living long-root tips was also rather closely correlated with the surface area of the root system.

The other morphological characteristics of the transplants failed to serve as a satisfactory index of the surface areas of root systems. The one closest correlated was the annual leader growth. The second best one was stem diameter; the height of the plant, on the contrary, was rather poorly correlated with the other characteristics (table 2).