

SILVA FENNICA

Vol. 7 1973 N:o 2

Sisällys Contents	MATTI KÄRKKÄINEN: Mäntyrunkojen ydinsäteiden määrä ja koko. 69 <i>Summary: Amount and size of rays in pine stems. 94</i>
	SEPPÖ KELLOMÄKI: Tallaamisen vaikutus mustikatyyppin kuusikon pintakasvillisuuteen. 96 <i>Summary: Ground cover response to trampling in a spruce stand of Myrtillus type. 111</i>
	JUHANI PÄIVÄNEN: Harvennuksen vaikutus lumi- ja routasuhteisiin nuoressa turvemaan männikössä. 114 <i>Summary: The effect of thinning on the snow cover and soil frost conditions in a young Scots pine stand on drained peat. 127</i>
	HANNU MANNERKOSKI: Ekologisia havaintoja eräältä ojitetulta suolta. 129 <i>Summary: Ecological investigations in a drained peatland area. 150</i>

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA
SOCIETY OF FORESTRY IN FINLAND

Silva Fennica

A QUARTERLY JOURNAL FOR FOREST SCIENCE

PUBLISHER:

THE SOCIETY OF FORESTRY IN FINLAND

OFFICE:

Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17

EDITOR:

MATTI KÄRKKÄINEN

EDITORIAL BOARD:

J. E. ARNKIL (Chairman), MAX HAGMAN (Vice Chairman), OLLI MAKKONEN, KUSTAA SEPPÄLÄ, PÄIVIÖ RIIHINEN, VELI-PEKKA JÄRVELÄINEN and YRJÖ VUOKILA (Secretary)

Silva Fennica is published quarterly. It is a sequel to the Series, vols. 1 (1926)–120(1966). Its annual subscription price is 20 Finnish marks. The Society of Forestry in Finland also publishes *Acta Forestalia Fennica*. This series appears at irregular intervals since the year 1913 (vol. 1).

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions and exchange inquiries can be addressed to the office.

Silva Fennica

NELJÄNNESVUOSITTAIN ILMESTYVÄ METSÄTIETEELLINEN AIKAKAUSKIRJA

JULKAISIJA:

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

TOIMISTO:

Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17

TOIMITTAJA:

MATTI KÄRKKÄINEN

TOIMITUSKUNTA:

J. E. ARNKIL (puheenjohtaja), MAX HAGMAN (varapuheenjohtaja), OLLI MAKKONEN, KUSTAA SEPPÄLÄ, PÄIVIÖ RIIHINEN, VELI-PEKKA JÄRVELÄINEN ja YRJÖ VUOKILA (sihteeri).

Silva Fennica, joka vuosina 1926–66 ilmestyi sarjajulkaisuna (niteet 1–120), on vuoden 1967 alusta lähtien neljännesvuosittain ilmestyyvä aikakauskirja. Suomen Metsätieteellinen Seura julkaisee myös *Acta Forestalia Fennica*-sarjaa vuodesta 1913 (nide 1) lähtien.

Tilauksia ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran toimistolle. *Silva Fennican* tilaushinta on 20 mk.

SILVA FENNICA VOL. 7, 1973, N:o 2: 69–95

MÄNTYRUNKOJEN YDINSÄTEIDEN MÄÄRÄ JA KOKO

MATTI KÄRKKÄINEN

SUMMARY:

AMOUNT AND SIZE OF RAYS IN PINE STEMS

Saapunut toimitukselle 26. 2. 1973

Tutkimuksessa tarkastellaan neljästä mäntyrungosta eri korkeuksilta ja eri etäisyyksillä ytimeä otetun yhteensä 757 näytteen avulla ydinsäteiden määrän ja koon vaihtelua rungon sisällä. Tulosten mukaan erityisesti kannon korkeudella oleva puu poikkeaa muusta rungosta ydinsäteiden suuremman määrän ja koon vuoksi. Jossakin määrin on havaittavissa myös keskikoon kasvaminen ytimeä kuoreen päin ja pinta-alayksikköä kohti lasketun lukumäärän aleneminen samassa suunnassa.

Ydinsädeosuuden osalta tutkimuksen tulokset vahvistavat aikaisempia käsityksiä. Sen sijaan tulokset viittaavat siihen, että pihkatiehyellisten ja pihkatiehyettömien ydinsäteiden suhde on aikaisemmin otaksuttua pienempi, tämän tutkimuksen mukaan 1:40–1:50.

1. JOHDANTO

Yleisesti tunnettua lienee monien kemiallisessa puunjalostuksessa esiintyvien ilmiöiden riippuvuus puun anatomisesta rakenteesta. Esimerkiksi pihkavaikeuksiksi sanottu ilmiöryhmä on usein yhdistetty puuaineen parenkyymisolujen määrään ja laatuun. Kun havupuilla suurin osa parenkyymisolusta sijaitsee ydinsäteissä, niihin on jossakin määrin kiinnitetty huomiota etsittäessä pihkavaikeuksien syitä ja niiden välttämismahdollisuuksia. On tosin tunnettua, että valtaosa hartsihapoista saattaa olla muualla kuin ydinsäteissä. Esimerkiksi LINDGRENIN ja NORININ (1969, s. 148) siteeraaman ruotsalaisen tutkimustuloksen mukaan männyllä valtaosa hartsihapoista on hajallaan sydänpuussa. Samanlaisen tuloksen on saanut myös PENSAR (1968). Tästä ei kuitenkaan välttämättä aiheudu, etteikö parenkyymisolujen ja ydinsäteiden määrän vaihtelulla yleensä olisi merkitystä pihkavaikeuksien esiintymisessä. On esimerkiksi tunnettua, etteivät pihkatiehyiden ja parenkyymisolujen sisältämät sekä sydänpuuhun levinneet aineet ole ke-

miallisesti samanlaisia. Sitä paitsi kemiallisessa puunjalostuksessa vaikuttaa huomattavasti myös muu puun ananominen rakenne, esimerkiksi parenkyymisolujen huokosten suuruus ja solun seinämien mekaaninen kestävyys (BACK 1969 a, b). Näin ollen ei ole kuitenkaan erityisen yllättävää, että esimerkiksi valkaisuamattomassa sulfiittimassassa suurin osa hartsista on parenkyymisoluiissa (ASSARSSON 1969). Mäntyä ajatellen tämän huomion merkitys on luonnollisesti vähäinen erilaisista keittomenetelmistä johtuen, mutta tulos kuvaa kuitenkin hyvin parenkyymisolujen merkitystä.

Pihkavaikeuksien lisäksi merkitystä saattaa olla myös muulla ydinsäteiden solujen normaaleista trakeideista poikkeavalla kemiallisella koostumuksella. Ydinsädesolut sisältävät mm. enemmän ligniiniä ja vähemmän selluloosaa kuin trakeidit (esim. HOFFMANN ja TIMELL 1972 a). Mielenkiintoinen havainto on se, ettei reaktiipuun syntyminen juuri vaikuta ydinsädesoluihin, joten ligniinipitoisuuden ero on pienempi lylypuussa kuin normaalissa puussa (HOFFMANN ja TIMELL 1972 b).

Nimenomaan männyllä parenkyymisolut eivät ole tosin erityisen hankalia pihkavaikeuksien kannalta. Niissä on yleensä suuria ikkunahuokosia, joiden kautta pihkavaikeuksia aiheuttavat aineet voivat helposti joutua keittoliukseen. Sitä paitsi noin 10–20 % parenkyymisoluista on ohutseinämäisiä (NYRÉN ja BACK 1959 a), toisin kuin monilla muilla havupuilla. Samoin moniin muihin havupuihin verrattuna männyn ydinsäteissä on varsin vähän parenkyymisoluja. Esimerkiksi GREGUSS (1955) mainitsee, että männyllä on ydinsäteissä ydinsädetrakeideja lukumääräisesti enemmän kuin tylppysoluja. Erityisen pieni parenkyymisolujen osuus on nuorissa puissa, koska parenkyymisolujen lukumäärä lisääntyy ydinsäteen vanhetessa eli kasvaessa ytimeistä ulospäin (BACK 1969 a). Itse asiassa sekundaarisessa ydinsäteessä on alussa ainoastaan trakeidaalisia soluja parenkyymaattisten ydinsäteiden solujen syntyessä vasta myöhemmin (BACK 1958). Mainitut trakeidaaliset solut eivät ole kuitenkaan verrattavissa normaaleihin rungon pituuden suunnassa oleviin trakeideihin, koska niiden pituus on yleensä vain noin puolet ydinsäteiden parenkyymisolujen pituudesta. Ydinsäteiden reunaosissa niiden pituus saattaa olla jopa pienempi kuin niiden korkeus (NYRÉN ja BACK 1959 a, b).

Tämänhetkinen tietämys männyn ydinsäteiden määrästä ja vaihtelusta näyttää perustuvan joihinkin hajahavaintoihin. Itse asiassa myös muita havupuita koskevat tiedot ovat enemmän tai vähemmän karkeita yleistyksiä. Tavallisimmissa puuanatomiaa koskevissa oppikirjoissa esitetyt ydinsäteiden osuutta koskevat luvut on otettu paremman tiedon puutteessa yleensä MYERIN (1922) ja HUBERIN ja PRÜTZIN (1938) tutkimuksista, jotka kumpikin perustuvat kunkin puulajin osalta muutamaan havaintoon. Myös saman puulajin yksilöiden välistä ydinsäteiden määrän vaihtelua on tutkittu vähän, joskin sekä havupuista (BANNAN 1954) että lehtipuista (WHITE ja

ROBARDS 1966) tehdyt havainnot viittaavat muun muassa kasvunopeuden olevan positiivisesti korreloitunut ydinsäteiden lukumäärän ja tilavuuden kanssa. Vielä vähemmän on tutkittu ydinsäteiden rungon sisäistä vaihtelua. Ainoat havupuita koskevat havainnot lienevät KINNMANILLA (1923) ja KUČERALLA (1968). Edellisen mukaan kuusella on ydinsäteiden osuus pienimmillään rungon puolivälissä nousten sekä tyveen että latvaan päin. Hän havaitsi myös ydinsäteiden osuuden laskevan ytimeistä pintaan päin jatkuvasti hidastuvalla nopeudella. KUČERAN tutkimalla jalokuusella taas ydinsäteiden lukumäärä ja niiden tilavuus aleni sekä keskikoko kasvoi ontogeenisen iän lisääntyessä, toisin sanoen kun ytimeistä siirrytään kuoreen päin ja rungossa ylöspäin yhtä kaukana ytimeistä vuosilustojen lukumäärällä mitaten. Muutos oli nopeinta ytimen välittömässä läheisyydessä.

Jossakin määrin ydinsäteiden vaihtelusta saadaan tietoja myös niistä tutkimuksista, jotka käsittelevät ydinsäteiden kemiaa. Esimerkiksi PERILÄ ja HEITTO (1959) saivat männyn ydinsäteiden paino-osuudeksi ainoastaan 1,8 %, kun muut aineosat paitsi holoselluloosa oli liuotettu pois. Osuutta on pidettävä varsin pienenä tavanomaisiin tilavuuslukumääriin verrattuna (esim. BROWN ym. 1949, TRENDELENBURG ja MAYER-WEGELIN 1955, PANSHIN ym. 1970). Paino-osuuden pienuus tilavuusosamäärään verrattuna johtunee osittain aiemmin mainituista trakeidien ja ydinsädesolujen kemiallisen koostumuksen eroista. Myös ydinsäteiden pihkatiehyiden aiheuttama tyhjä tila vaikuttaa ilmiöön (PERILÄ ja SEPPÄ 1960), koska pihkatiehyet tavallisesti luetaan ydinsäteiden tilavuuteen tilavuusosuutta laskettaessa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on lisätä tietämystä männyn (*Pinus silvestris* L.) ydinsäteiden rungon sisäisestä vaihtelusta. Erityisesti tavoitteena on tarkastella sijainnin vaikutusta pihkatiehyellisten ja pihkatiehyettömien ydinsäteiden lukumäärään tangenttileikkauksen neliömillimetriä kohti sekä niiden tilavuuden osuutta koko rungon tilavuudesta.

Metsät.yo HANS POLMAN ja MH JOUKO TOIVONEN ovat osallistuneet aineiston keräykseen ja käsittelyyn. Prof. KALLE PUTKISTO on tehnyt parannusehdotuksia käsikirjoitukseen. Kiitän saamastani tuesta.

2. TUTKIMUSMATERIAALI JA MENETELMÄ

Taulukossa 1 on esitetty tutkittuja mäntyrunkoja luonnehtivia suureita sekä aineiston määrä. — Käytännössä tutkimusmateriaalin hankkiminen tapahtui seuraavasti. Ennen kaatamista kuhunkin mäntyrunkoon merkittiin itä-länsisuunta, jotta näytteet voitaisiin saada samasta ilmansuunnasta ja näin välttää mahdollinen suunnan aiheuttama vaihtelu (esim. SÜSS ja MÜLLER-STOLL 1970, 1973). Kaadon jälkeen runko katkaistiin kahden metrin mittaisiksi pölkyiksi, joista sahattiin kiekot anatomisia tutkimuksia varten. Ku-

hunkin kiekoon merkittiin rungossa olevan merkin avulla itä-länsisuunta. Sen perusteella jokaisesta kiekosta leikattiin idän puolelta kuoresta ytimeen saakka ulottuva suikale, johon tehtiin tasaisin välimatkoin neljä merkintää varsinaisten näytteiden ottamista varten. Kunkin merkinnän kohdalta mitattiin sitä lähellä olevien vuosilustojen keskimääräinen paksuus, etäisyys millimetreinä ytimeestä sekä vuosilustojen lukumäärä ytimeestä näytekohtaan saakka. Tämän jälkeen näytekohdasta leikattiin noin puolen kuutiosenttimetrin suuruinen pala, jota keitettiin vedessä sitä välillä jäähdyttäen ilman poistamiseksi. Myöhemmin kustakin palasta leikattiin tangentin suunnassa viisi 10–15 μm :n paksuista näytettä. Leikkeet värjättiin käyttäen liuosta, jossa oli painosta mitattuna 29 % vettä, 70 % etyylialkoholia sekä 1 % safraaniinia (vrt. esim. JANE 1962).

Taulukko 1. Tutkimusaineisto
Table 1. Investigation material

Puu n:o Tree No.	D _{1,3} cm	Kannonkorkeus- ikä v. Age at stump level, years	Pituus Length m	Rungon tilavuus Stem volume dm ³	Näytteitä Number of samples
1	24	62	23	354	183
2	30	125	17	579	168
3	22	112	19	384	217
4	29	120	19	522	199

Näytteitä yhteensä 757. Paikka: Hyytiälä, Korkeakoski, MT-männikkö.
Total number of samples 757. Place: Myrtilus type pine stand in Central Finland (61°40' N. Lat.)

Koska leikkeitä ei tarvittu myöhemmin, niitä ei tehty pysyviksi. Kukin tangentin suuntainen leikkaus tutkittiin käyttäen tavallista valomikroskooppia. Pihkatiehyellisten ja pihkatiehyettömien ydinsäteiden määrä laskettiin 3,27 mm²:n suuruiselta alalta käyttäen himmeälasilevyä, jolle kuva heijastettiin. Jotta kaikki ydinsäteet saataisiin luetuksi eikä yhtään otettaisi mukaan useasti, luetut ydinsäteet merkittiin lasille huopakynällä kontrollia varten. Yksityisten ydinsäteiden pinta-alojen määrittämistä varten käytettiin suurempaa suurennosta ja piirrettiin käytännöllisesti katsoen kaikki pihkatiehyelliset ydinsäteet sekä suuri osa pihkatiehyettömistä ydinsäteistä läpinäkyvälle paperille. Myöhemmässä vaiheessa näistä määritettiin planimetrisesti pinta-ala. Tätä menetelmää pidettiin tarkempaan kuin tavanmukaista linjoittaista eri solulaatujen arviointimenetelmää (vrt. NYRÉN ja BACK 1959 c).

Ydinsäteitä koskevien mittaustulosten käsittelyä varten niistä muodos-

tettiin kuusi muuttujaa, joita käytettiin myöhemmin regressioanalyysin selitettävänä muuttujina. Nämä olivat seuraavat:

- y_1 = pihkatiehyettömien ydinsäteiden lukumäärä kpl/mm²
number of uniseriate rays per sq. mm
- y_2 = pihkatiehyellisten ydinsäteiden lukumäärä kpl/mm²
number of fusiform rays per sq. mm
- y_3 = pihkatiehyettömien ydinsäteiden keskimääräinen pinta-ala tangenttileikkauksessa mm² × 10⁻⁴
average area of uniseriate rays in tangential section mm² × 10⁻⁴
- y_4 = pihkatiehyellisten ydinsäteiden keskimääräinen pinta-ala tangenttileikkauksessa mm² × 10⁻⁴
average area of fusiform rays in tangential section mm² × 10⁻⁴
- y_5 = pihkatiehyettömien ydinsäteiden kokonaispinta-ala tangenttileikkauksessa mm² × 10⁻⁴/mm²
total area of uniseriate rays in tangential section mm² × 10⁻⁴/mm²
- y_6 = pihkatiehyellisten ydinsäteiden kokonaispinta-ala tangenttileikkauksessa mm² × 10⁻⁴/mm²
total area of fusiform rays in tangential section mm² × 10⁻⁴/mm²

Jäljempänä näihin muuttujiin viitataan taulukoissa ja yhtälöissä käyttäen edellä esitettyjä merkintöjä.

Eräissä tapauksissa tarkasteltiin myös kullakin korkeudella vallitsevaa keskimääräistä ydinsäteiden ominaisuutta. Tällöin havainnot painotettiin niiden edustamien pinta-alojen suhteessa. Näin ollen kauempana ytimeestä olevat havainnot vaikuttivat keskiarvoon enemmän kuin lähempää otetut näytteet. Vastaavasti kutakin runkoa edustavat ydinsädemuuttujien keskiarvot laskettiin painottamalla jokaisen pölkyn keskiarvot niiden kuutiomäärillä. Näin menetellen myöhemmin esitettävät keskiarvoluvut ovat tilavuusmääräisesti oikeita likiarvoja.

Kunkin näytteenottokohdan sijaintia kuvaavat mittaukset muodostettiin seuraaviksi muuttujiksi, joita käytettiin regressioanalyysin selittävinä muuttujina joko sellaisenaan tai muunnoksina.

- x_2 = näytteenottokohdan korkeus rungossa m kannon tasalta
sample height in the stem m from the stump level
- x_3 = vuosilustojen lukumäärä ytimeestä
number of growth rings from the pith
- x_4 = etäisyys ytimeestä mm
distance from the pith mm

Jäljempänä näihin muuttujiin viitataan regressioanalyysissä käyttäen edellä esitettyjä merkintöjä.

3. YDINSÄTEIDEN VAIHTELU SAMASSA RUNGOSSA

31. ERI YDINSÄDEMUUTTUJIEN VAIHTELEVUUS

Tässä tutkimuksessa rajanveto pihtatiehyettömien ja pihkatiehyellisten ydinsäteiden välillä tehtiin sen perusteella, kuinka leveitä ja minkä muotoisia ydinsäteet olivat tangenttileikkauksessa. Mikäli ydinsäde oli joiltakin osiltaan kahden tai useamman solurivin levyinen ja niiden välissä oli aukko, se luettiin pihkatiehyelliseksi. — Tällaiset ydinsäteet on helppo tunnistaa verraten pienelläkin suurennoksella niiden sukkulamaisen muodon ansiosta. Sitä paitsi niiden koko on usein huomattavasti suurempi kuin pihkatiehyettömien ydinsäteiden, joskin korkeus on samaa suuruusluokkaa.

Jäljempänä ydinsäteiden vaihtelua rungossa arvostellaan pääasiallisesti regressioanalyysin avulla ja siten, että ydinsäteiden vaihtelua selitetään ainoastaan sijaintimuuttujien avulla. Kertyneestä aineistosta laskettiin sekä verraten yksinkertaisia regressiomalleja että valikoivan regressioanalyysin malleja, joihin potentiaalisiksi selittäjiksi otettiin lukuisa määrä erilaisia sijaintimuuttujien muunnoksia, yhdysvaikutustermit mukaan lukien.

Ennen kuin siirrytään varsinaisiin regressioanalyysin tuloksiin, on paikallaan tarkastella eri muuttujien samassa rungossa esiintyvää vaihtelua. Taulukossa 2 on esitetty eräiden ydinsädemuuttujien standardipoikkeamat ja niiden variaatiokertoimet, jotka tarkoittavat standardipoikkeaman prosentuaalista osuutta keskiarvosta. — Taulukon mukaan pihkatiehyettömien ydinsäteiden vaihtelu on pienempää kuin pihkatiehyellisten ydinsäteiden vaihtelu. Ero on varsin suuri ydinsäteiden lukumäärissä ja neliömillimetriä kohti lasketuissa mainittujen ydinsädelajien pinta-aloissa. Sen sijaan pihkatiehyettömien ja pihkatiehyellisten ydinsäteiden tangenttileikkauksesta mitatun keskikoon vaihtelu on samaa suuruusluokkaa variaatiokertoimen perusteella arvostellen. Eri runkojen antamat tulokset ovat varsin yhdenmukaisia ja viittaavat siihen, että kussakin rungossa esiintyvä eri muuttujien hajonta on samaa suuruusluokkaa.

Taulukko 2. Eräiden ydinsädemuuttujien standardipoikkeamat (s) ja variaatiokertoimet (V) eri rungoissa. Muuttujien selitykset, ks. s. 73.

Table 2. Standard deviations (s) and variation coefficients (V) of some ray variables in various stems. For explanation of the variables, see p. 73.

Puu n:o Tree No.	y ₁		y ₂		y ₃		y ₄		y ₅		y ₆	
	s	V %	s	V %	s	V %	s	V %	s	V %	s	V %
1	2,47	9,3	0,31	49,2	4,72	21,8	16,3	22,8	112	19,7	24,4	54,5
2	2,11	7,4	0,32	53,7	3,03	16,9	12,5	14,6	98	19,1	27,8	54,4
3	3,28	10,2	0,33	50,8	3,47	16,2	10,5	16,2	123	17,9	22,0	52,2
4	3,82	14,6	0,30	52,1	3,93	17,2	16,9	21,2	146	24,4	29,2	62,4

Vaikka erilaisten ydinsädemuuttujien variaatiokertoimet poikkeavat varsin huomattavasti toisistaan, tuloksia ei ole mahdollista tulkita suoraan regressioanalyysin selitysmahdollisuuksiksi. Mikäli eri muuttujien mittausvirheet ovat samaa suuruusluokkaa, voi luonnollisesti olettaa, että suuri hajonta on helpommin selitettävissä kuin vähäinen hajonta. Tässä tutkimuksessa voi tosin epäillä, että pihkatiehyelliset muuttujat on mitattu epätarkemmin kuin pihkatiehyettömät muuttujat mm. vähäisemmän lukumäärän vuoksi. Myöhemmin esitettävät regressioanalyysin tulokset viittaavat myöskin siihen, ettei taulukossa 2 esitetty hajonta ole samalla lailla systemaattista eri tapauksissa.

32. PIHKATIEHYETTÖMIEN YDINSÄTEIDEN LUKUMÄÄRÄ

Tässä tutkimuksessa mitattujen neljän puun osalta osoittautui, ettei mitään selkeää yhtenäistä vaihtelumallia ole esitettävissä kullakin korkeudella vallitsevasta ydinsäteiden määrästä. Kuten kuvassa 1 (s. 79) on havaittavissa, aivan kannon korkeutta lukuunottamatta näyttää kuitenkin mahdolliselta, että eri korkeuksilla vallitseva keskimääräinen pihkatiehyettömien ydinsäteiden määrä neliömillimetriä kohti kasvaa jonkin verran latvaa kohti. Puissa 1 ja 4 tällainen trendi on varsin selvä, kun taas puissa 3 se on heikompi ja puissa 2 tuskin edes havaittavissa. Mainittu kannon korkeuden muodostama poikkeus on erityisen selvästi nähtävissä puissa 3 ja 4.

Kun tarkastelun kohteena pidetään rungon eri osissa havaittavaa pihkatiehyettömien ydinsäteiden määrää, joudutaan tekemään sama johtopäätös kuin edellä tarkasteltaessa eri korkeuksien keskimääräisiä arvoja: kaikille puille yhteistä vaihtelumallia ei ole esitettävissä. Jäljempänä tästä ja muista selitettävistä ydinsädemuuttujista esitetään puitten valikoivalla regressioanalyysillä saatuja tuloksia. Yhtälöt ovat usein transformaatioiden ja lukuisten termien vuoksi vaikealukuisia, ja siksi kokeiltiin myös eräitä yksinkertaisia malleja, joista muutossuunnat on helposti havaittavissa. Esimerkiksi tässä tapauksessa, kun selitettävänä muuttujana on siis pihkatiehyettömien ydinsäteiden määrä neliömillimetriä kohti, saadaan mm. seuraavat yksinkertaiset yhtälöt (1) ja (2).

$$(1) \text{ Puu } 1: y_1 = 27,3 + 0,176x_2 - 0,00830x_2x_3 - 0,0590x_3 \\ \text{Tree} \quad \quad \quad (0,045) \quad (0,002) \quad (0,014) \\ R = 0,698 \quad F = 57^{***}$$

$$(2) \text{ Puu } 4: y_1 = 20,8 + 0,612x_2 - 0,00610x_2x_3 + 0,0430x_3 \\ \text{Tree} \quad \quad \quad (0,08) \quad (0,002) \quad (0,015) \\ R = 0,570 \quad F = 31^{***}$$

Tässä yhteydessä, samoin kuin myöhemmin, regressiokertoimien alla olevat luvut tarkoittavat kertoimien standardipoikkeamia. Mukaan on otettu

ainoastaan tilastollisesti merkitsevät selittäjät ($p = 0,05$). Tavalliseen tapaan R on yhteiskorrelaatiokerroin ja F on F -arvo, jonka tilastollinen merkitsevyys on osoitettu yleisesti käytetyillä merkinnöillä. — Itse asiassa samat selkeät mallit ovat käyttökelpoisia myös silloin, kun etäisyyttä ytimestä mitattiin vuosilustojen määrän sijasta millimetreinä. Nämä yksinkertaiset esimerkkilyhtälöt on esitetty yhtälöinä (3) ja (4).

$$(3) \begin{array}{l} \text{Puu} \\ \text{Tree} \end{array} \quad 1: y_1 = 27,5 + 0,170x_2 - 0,00270x_2x_4 - 0,0530x_4$$

$$(0,05) \quad (0,001) \quad (0,008)$$

$$R = 0,698 \quad F = 57***$$

$$(4) \begin{array}{l} \text{Puu} \\ \text{Tree} \end{array} \quad 4: y_1 = 20,2 + 0,660x_2 - 0,0050x_2x_4 + 0,043x_4$$

$$(0,09) \quad (0,002) \quad (0,01)$$

$$R = 0,574 \quad F = 32***$$

Myös lukuisissa muissa tapauksissa tyydyttäviä selityksasteita saadaan varsin yksinkertaisilla, helposti tulkittavilla malleilla.¹⁾ Kaikesta huolimatta päädyttiin kuitenkin valikoivan regressioanalyysin tulosten esittelyyn ja niiden tulkintaan. Ratkaisuun vaikutti erityisesti se, ettei käytettävissä ollut vahvoja ennakkohypoteeseja, joiden perusteella olisi voinut valita sopivia regressiomalleja kokeiluihin. Toisaalta aineistosta mahdollisesti löytyville säännönmukaisuuksille ei haluttu tehdä väkivaltaa mielivaltaisella mallien valinnalla, ja näin ollen valittiin menetelmäksi valikoiva regressioanalyysi. Sen käyttöön on kuitenkin syytä suhtautua suurin varauksin (esim. COOLEY ja LOHNES 1966, s. 35), mutta näin jouduttiin joka tapauksessa menettelemään paremman puutteessa.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltavaa pihkatiehyettömien ydinsäteiden lukumäärää ja myös muita ydinsädemuuttujia pyrittiin ennustamaan valikoivalla regressioanalyysillä kahdella tavalla. Ensimmäisessä tapauksessa potentiaalisiksi selittäjiksi otettiin ainoastaan sellaiset muuttujat, jotka kuvasivat havaintopaikan korkeutta rungossa ja vuosilustoissa mitattua etäisyyttä ytimestä. Toisessa valikoivassa regressioanalyysissä otettiin mukaan edellisten lisäksi myös millimetreinä mitattu etäisyys ytimestä. Eräässä mielessä ensimmäinen menetelmä perustuu olettamukseen, että kunkin ydinsädemuuttujan arvo riippuu ainoastaan jällen iästä. Toisessa tapauksessa taas oletetaan voivan olla mahdollista, että myös puun iästä riippumaton rungon läpimitta voi olla vaikuttava tekijä. — Yhtälöt (5) . . . (8) on laskettu ensimmäisellä tavalla ja yhtälöt (9) . . . (12) toisella.

1) Vertaamalla yhtälöitä (1) ja (5) sekä (2) ja (8) saadaan kuva siitä, mitä valikoivan regressioanalyysin käyttämisellä voitetaan selityksasteissa yksinkertaisiin malleihin verrattuna. Eroa ei voi pitää suurena.

$$(5) \begin{array}{l} \text{Puu} \\ \text{Tree} \end{array} \quad 1: y_1 = 33,1 + 0,118x_3 - 2,13\sqrt{x_3}$$

$$(0,048) \quad (0,46)$$

$$R = 0,702 \quad F = 87***$$

$$(6) \begin{array}{l} \text{Puu} \\ \text{Tree} \end{array} \quad 2: y_1 = 31,78 - 0,761x_2 + 0,0407x_2^2 - 0,000179x_2^3$$

$$(0,12) \quad (0,008) \quad (0,000035)$$

$$R = 0,486 \quad F = 17***$$

$$(7) \begin{array}{l} \text{Puu} \\ \text{Tree} \end{array} \quad 3: y_1 = 24,80 + 8,58\sqrt{x_2} - 0,0557x_2^2 - 1,75\sqrt{x_2x_3} + 0,029x_2x_3 + 0,296x_3$$

$$(1,19) \quad (0,0096) \quad (0,22) \quad (0,006) \quad (0,058)$$

$$- 0,00197x_2^3$$

$$(0,0004)$$

$$R = 0,564 \quad F = 16***$$

$$(8) \begin{array}{l} \text{Puu} \\ \text{Tree} \end{array} \quad 4: y_1 = 19,28 + 2,07x_2 - 0,0605x_2^2 - 1,25\sqrt{x_2x_3} + 0,0294x_2x_3 - 0,988\sqrt{x_3}$$

$$(0,35) \quad (0,015) \quad (0,13) \quad (0,0045) \quad (0,25)$$

$$R = 0,749 \quad F = 49***$$

Yhtälöistä (5) . . . (8) voidaan havaita, että pihkatiehyettömien ydinsäteiden määrää ennustava malli vaihtelee huomattavasti puusta toiseen. Koska mukana ovat ainoastaan sellaiset selittäjät, jotka ovat tilastollisesti merkitseviä ($p = 0,05$), yhtälöiden voi sanoa poikkeavan toisistaan sekä tulkinallisesti että ennustuskyvyltään.

Sanallisesti ilmaistuna voidaan todeta, että puussa 1 ydinsäteiden lukumäärä laskee aina ytimestä pintaan päin. Korkeudella ei ole regressioanalyysin tulosten mukaan huomattavaa vaikutusta.¹⁾ Puussa 2 ydinsäteiden lukumäärä laskee tyvestä latvaan päin aivan latvaosaa lukuunottamatta. Joka korkeudella ydinsäteiden lukumäärä laskee ytimestä pintaan päin. Puussa 3 määrä lisääntyy tyvestä latvaan päin aivan puun ylintä osaa lukuunottamatta, jossa se laskee. Kannon korkeudella lukumäärä kasvaa ytimestä kuoreen päin aivan puun pintaosaa lukuunottamatta. Muualla ydinsäteet vähenevät ytimestä pintaan. Puussa 4 lukumäärä lisääntyy tyvestä latvaan. Aivan kannon korkeudella määrä kasvaa kuoreen päin, kun taas muualla lukumäärä aluksi laskee ytimestä pintaan päin, sen jälkeen kasvaa hitaasti. — Edellä olevan perusteella voidaan näin ollen havaita, että pelkästään vaikutussuuntiakin tarkastelemalla päädytään erilaiseen tulokseen eri puissa. Jonkinlainen yhteinen tulos on kuitenkin määrän aleneminen ytimestä kuoreen päin.

$$(9) \begin{array}{l} \text{Puu} \\ \text{Tree} \end{array} \quad 1: y_1 = 30,6 + 0,00429x_2^2 - 0,692\sqrt{x_4}$$

$$(0,002) \quad (0,08)$$

$$R = 0,702 \quad F = 88***$$

1) Korkeuden vaikutusta tarkastellaan tämän tutkimuksen kaikissa regressioyhtälöissä määrätäisyydellä ytimestä. Oleellisesti sama kuva säilyy, vaikka tarkastelun kohteena olisi sama vuosilusto eri korkeuksilla, ts. määrätäisyydellä puun pinnasta.

(10) Puu 2: $y_1 = 27,2 - 0,110x_3 + 1,40\sqrt{x_3} + 0,00409x_2x_3 - 0,225\sqrt{x_2x_4}$
Tree (0,03) (0,47) (0,002) (0,06)
 $R = 0,481 \quad F = 12^{***}$

(11) Puu 3: $y_1 = 39,9 + 0,798x_3 - 1,65\sqrt{x_4}$
Tree (0,017) (0,25)
 $R = 0,456 \quad F = 28^{***}$

(12) Puu 4: $y_1 = 19,2 + 1,52x_2 - 0,0316x_2^2 - 0,671\sqrt{x_2x_3} + 0,204x_3 - 0,00354x_3^2$
Tree (0,36) (0,016) (0,09) (0,05) (0,0004)
 $+ 0,00175x_4^2$
(0,0002)
 $R = 0,767 \quad F = 46^{***}$

Myös yhtälöt (9) ... (12), joissa potentiaalisina selittäjinä olivat mm. sekä vuosina että millimetreinä mitattu etäisyys ytimestä, viittaavat oleellisiin puuyksilöiden välisiin eroihin. Sitä paitsi muuttujan x_4 (millimetreinä mitattu etäisyys ytimestä)¹⁾ aiheuttama muutos edellisiin malleihin (5) ... (8) on yllättävän suuri, kun otetaan huomioon x_3 :n (vuosina mitattu etäisyys ytimestä) ja mainitun x_4 :n suuri korrelaatio, kuten oheinen jaotelmä osoittaa.

Puu	x_3 :n ja x_4 :n korrelaatiokerroin
1	0,980
2	0,974
3	0,948
4	0,972

Esimerkiksi puussa 1 jälkimmäisen valikoivan regressioanalyysin yhtälössä (9) tilastollisesti merkitseväksi selittäjäksi saadaan myös x_2 (havaintokohdan korkeus rungossa), toisin kuin edellisen valikoivan regressioanalyysin yhtälössä (5). Yhteiskorrelaatiokertoimen mukaan arvostellen yhtälöillä ei ole eroa, ja korkeasta korrelaatiosta johtuen muuttujien x_3 ja x_4 tulkinta on samanlainen.

Puussa 2 ja 3 muuttujan x_4 ottaminen valikoivan regressioanalyysin potentiaalisesti selittäjäksi aiheuttaa yhteiskorrelaatiokertoimen pienenemistä verrattuna sovellutukseen, jossa mainittu muuttuja ei ole mukana. Ilmiö kuvaa hyvin valikoivan regressioanalyysin metodisia heikkouksia ja soveltamisen kompleksisuutta.

Muuttujan x_4 merkityksen tulkitseminen on varsin vaikeaa yhtälöissä (10) ja (11), koska mukana on sen kanssa voimakkaasti korreloitava muuttuja x_3 . Niiden yhteinen vaikutus ennustettuun tavallisten ydinsäteiden määrään on kuitenkin samanlainen kuin muuttujan x_3 yksinään, eikä vaikuta ilmei-

¹⁾ Jäljempänä tässä tutkimuksessa muuttujaa ja sen muunnoksia ei eroteta.

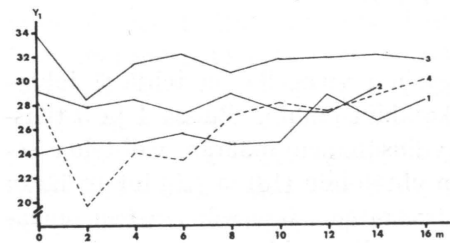
seltä, että x_4 voisi virittää tulkinnallisesti uuden dimension. — Puussa 3 huomiota kiinnittää myös se, miten muuttujan x_4 mukana oleminen aiheuttaa siirtymisen monitermisestä yhtälöstä (7) yhtälöön (11), jolloin häviää x_2 , ts. tarkastelukohdan korkeus rungossa. Myös tämä puhuu valikoivan regressioanalyysin sokeaa käyttöä vastaan. Tässä tapauksessa x_4 nimittäin kuvaa sitä, kuinka puun 3 latvaosassa vuosilustot ovat oleellisesti paksummat kuin alempana, ja x_4 on näin ollen verrattavissa johonkin x_2 :n transformointiin.

Myös puussa 4 jälkimmäisen valikoivan regressioanalyysin muuttujan x_4 tuoma lisä selityksasteeseen on merkityksetön ja muuttujan tulkinta vaikeaa. — Kaiken kaikkiaan vaikuttaa ilmeiseltä, että tavallisten ydinsäteiden määrä rungossa on ennustettavissa pelkästään muuttujilla x_2 ja x_3 ilman muuttujaa x_4 osuvuuden oleellisesti kärsimättä.

33. PIHKATIEHYELLISTEN YDINSÄTEIDEN LUKUMÄÄRÄ

Kullakin rungon korkeudella vallitseva keskimääräinen pihkatiehyellisten ydinsäteiden lukumäärä neliömillimetriä kohti on esitetty kuvassa 2. Huomiota herättävin piirre tutkituissa neljässä puussa on lukumäärän aleneminen kannon korkeudelta keskirunkoon päin. Keskirungosta latvaan ei ole mitään selvää trendiä. Omalaatuinen poikkeus on kahdessa rungossa esiintyvä epätavallisen suuri pihkatiehyellisten ydinsäteiden määrä 12 metrin korkeudessa. Kun puut ovat kasvaneet samalla kasvupaikalla, on mahdollista, että jotkin poikkeukselliset luonnonolot ovat aiheuttaneet ilmiön. Mikään muihin metsiköihin yleistettävä piirre on tuskin kysymyksessä.

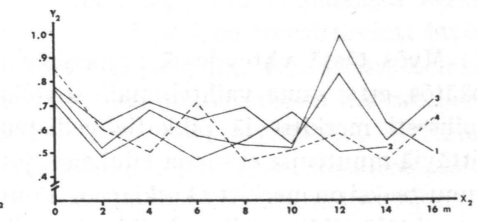
Kuva 1 — Fig. 1



Kuva 1. Keskimääräinen pihkatiehyettömien ydinsäteiden lukumäärä kpl/mm² (y_1) rungon eri korkeuksilla (x_2).

Fig. 1. Average number of uniseriate rays per sq. mm (y_1) at various stem heights (x_2).

Kuva 2 — Fig. 2



Kuva 2. Keskimääräinen pihkatiehyellisten ydinsäteiden lukumäärä kpl/mm² (y_2) rungon eri korkeuksilla (x_2).

Fig. 2. Average number of fusiform rays per sq. mm (y_2) at various stem heights (x_2).

Pihkatiehyettömien ydinsäteiden lukumäärän vaihteluun verrattuna keskimääräinen pihkatiehyellisten ydinsäteiden määrä vaihtelee enemmän satunnaisesti peräkkäisillä korkeuksilla. On mahdollista, että tämä kuvastaa suurempaa luontaista vaihtelua. Toisaalta aikaisemmin on viitattu myös mittaustarkkuuden mahdollisiin eroihin mm. erilaisesta otossuhteesta johtuen. Myös tässä yhteydessä kysymys jää ratkaisematta.

Kun tarkastelun kohteena pidetään rungon eri osissa vallitsevaa pihkatiehyellisten ydinsäteiden määrää, valikoivalla regressioanalyysillä päädytään yhtälöihin (13) . . . (17) ja (18) . . . (19). Edellisessä tapauksessa potentiaalisia selittäjiä ovat x_2 ja x_3 ja jälkimmäisessä edellisten lisäksi myös x_4 , kuten aikaisemminkin.

$$(13) \text{ Puu } 1: y_2 = 0,62$$

Tree

$$(14) \text{ Puu } 2: y_2 = 0,70 - 0,000312x_2x_3$$

Tree (0,0001)

R = 0,226 F = 9***

$$(15) \text{ Puu } 3: y_2 = 0,65 \quad \text{tai}$$

Tree or

$$(16) \text{ Puu } 3: y_2 = 0,55 + 0,000539x_2^2 + 0,000019x_3^2$$

Tree (0,0003) (0,000008)

R = 0,158 F = 2,7

(ei merkitsevä)

(not significant)

$$(17) \text{ Puu } 4: y_2 = 0,56 + 0,000869x_2^2 + 0,0000360x_3^2 - 0,0109\sqrt{x_2x_3}$$

Tree (0,0003) (0,00001) (0,003)

R = 0,310 F = 7***

Myös tässä yhteydessä regressioanalyysin perusteella on tehtävä johtopäätös, ettei sama vaihtelumalli sovellu kaikkiin puihin. Puissa 1 ja 3 tilastollisesti merkitseviä pihkatiehyellisten ydinsäteiden määrän vaihtelua selittäviä muuttujia ei saada lainkaan, joten yhtälöihin (13) ja (15) lukumäärän ennusteeksi on merkitty keskiarvo. Puun 2 verraten heikon selityksasteen omaava yhtälö (14) osoittaa pihkatiehyellisten ydinsäteiden määrän alenevan tyvestä latvaan ja ytimeä kuoreen päin.

Puussa 4 on havaittavissa lähes päinvastainen tulos yhtälön (17) mukaisesti, mutta selityksaste on pieni myös tässä tapauksessa. — Puusta 3 on esitetty yhtälönä (16) myös tilastollisesti merkitsevää lähenevä regressioyhtälö, jonka mukaan pihkatiehyelliset ydinsäteet lisääntyvät tyvestä latvaan ja ytimeä kuoreen päin.

$$(18) \text{ Puu } 2: y_2 = 0,68 - 0,00143x_2x_3 + 0,00105x_2x_4$$

Tree (0,0005) (0,0005)

R = 0,281 F = 7***

$$(19) \text{ Puu } 4: y_2 = 0,13 + 0,0418x_2 + 0,0811\sqrt{x_3} - 0,0222\sqrt{x_2x_4}$$

Tree (0,01) (0,02) (0,005)

R = 0,344 F = 9***

Kun potentiaalisiksi selittäjiksi otetaan valikoivaan regressioanalyysiin myös muuttujia x_4 , kuva ei oleellisesti muutu. Puissa 1 ja 3 ei saada myöskään tällöin tilastollisesti merkitseviä selittäjiä, ja puista 2 ja 4 saatavat regressioyhtälöt (18) ja (19) ovat tulkinnallisesti likimain samat kuin edellisellä tavalla saadut yhtälöt (14) ja (17). Kun selityksasteen kohoaminen on vähäinen, on perusteltua pitäytyä myös tässä yhteydessä selkeämpään tapaan käyttää selittäjinä ainoastaan muuttujia x_2 ja x_3 . Ennustamisen osuvuus on kuitenkin varsin heikkoa, ja pihkatiehyellisten ydinsäteiden lukumäärän vaihtelua neliömillimetriä kohti voi pitää tässä tutkimuksessa pikemminkin selittämättömänä kuin selitettynä.

34. PIHKATIEHYETTÖMIEN YDINSÄTEIDEN KESKIKOKO

Keskimääräinen tangenttileikkauksesta mitattu pihkatiehyettömien ydinsäteiden pinta-ala, jota tässä yhteydessä lyhyesti nimitetään keskikooksi, osoittaa vaihtelultaan rungoittaisia eroja samalla tavoin kuin aikaisemmin käsitellyt ydinsäteitä kuvaavat tunnuksset. Kullakin korkeudella vallitseva keskikoko on esitetty kuvassa 3 (s. 83). Jälleen kerran kannon korkeus poikkeaa oleellisesti keskirungosta: kaikissa puissa tapahtuu voimakasta keskikoon pienenemistä keskirunkoon päin. Puissa 2 ja 4 on havaittavissa myös keskikoon kasvaminen 2. . . 6 m korkeudelta latvaan päin. Itse asiassa heikko trendi on myös puissa 1 ja 3 em. 12 m korkeuden muodostaessa myös tämän tunnuksen osalta poikkeuksen. — Satunnaisesta mittausvirheestä ei mainittulla korkeudella voine olla kyse, koska aiemmin poikkeuksellisuutta osoittanut pihkatiehyellisten ydinsäteiden lukumäärä ja nyt tarkasteltava pihkatiehyettömien ydinsäteiden keskikoko on mitattu erilaista tekniikkaa käyttäen ja osittain myös eri aikana.

Vaihtelu rungon eri osien välillä on kuvattu käyttäen samaa tekniikkaa kuin aikaisemminkin. Yhtälöt (20) . . . (23) on saatu valikoivalla regressioanalyysillä, kun potentiaalisina selittäjinä on käytetty ainoastaan muuttujia x_2 ja x_3 . Vastaavasti yhtälöt (24) . . . (27) on saatu silloin, kun mukana on ollut edellisten lisäksi myös x_4 .

$$(20) \text{ Puu } 1: y_3 = -43,4 - 2,27x_2 + 22,75\sqrt{x_2} + 0,142x_2x_3 - 5,47\sqrt{x_2x_3} - 3,22x_3$$

$$\text{Tree} \quad \begin{matrix} (0,45) & (3,4) & (0,02) & (0,65) & (0,46) \\ + 27,51\sqrt{x_3} + 0,0167x_3^2 \\ (3,3) & (0,003) \end{matrix}$$

$$R = 0,729 \quad F = 28^{***}$$

$$(21) \text{ Puu } 2: y_3 = 17,2 + 1,19x_2 - 3,78\sqrt{x_2} + 0,000307x_3^2$$

$$\text{Tree} \quad \begin{matrix} (0,13) & (0,52) & (0,00004) \\ R = 0,675 \quad F = 46^{***} \end{matrix}$$

$$(22) \text{ Puu } 3: y_3 = 23,1 + 1,10x_2 - 4,86\sqrt{x_2} + 0,00574x_2x_3$$

$$\text{Tree} \quad \begin{matrix} (0,18) & (0,85) & (0,002) \\ + 0,000288x_3^2 \\ (0,00009) \end{matrix}$$

$$R = 0,508 \quad F = 18^{***}$$

$$(23) \text{ Puu } 4: y_3 = 59,4 + 7,55x_2 - 32,72\sqrt{x_2} - 0,132x_2^2 - 0,0535x_2x_3 + 2,95\sqrt{x_2x_3}$$

$$\text{Tree} \quad \begin{matrix} (1,2) & (4,8) & (0,03) & (0,01) & (0,6) \\ + 0,363x_3 - 7,36\sqrt{x_3} \\ (0,09) & (1,7) \end{matrix}$$

$$R = 0,618 \quad F = 17^{***}$$

Muodollisesti edellä olevat regressioyhtälöt poikkeavat huomattavasti toisistaan, ts. ajatellen pelkästään malleissa mukana olevia muuttujia ja niiden transformaatioita. Kaikissa tapauksissa ennustamiskyky vaikuttaa verraten tyydyttävältä yhteiskorrelaatiokertoimien perusteella arvostellen. Kun tarkastellaan em. yhtälöiden antamia ennusteita, voidaan havaita varsin huomattavaa tulkinnallista invarianssia. Niinpä kaikissa puissa yhtälöiden mukaan pihkatiehyettömien ydinsäteiden keskikoko alenee kannon korkeudelta keskirunkoon päin ja kohoaa sieltä jälleen latvaan. Sama ilmiö on luonnollisesti havaittavissa myös kunkin korkeuden keskimääräisissä arvoissa, kuten edellä on todettu. — Kaikille puille on jossakin määrin tyypillistä myös keskikoon kasvaminen ytimeistä kuoreen päin kaikilla korkeuksilla tai aivan kannon tasalta tehtyjen havaintojen ollessa poikkeuksena. Puussa 4 vaihtelu on yhtälön (23) mukaan tosin muita oikullisempi: kannon korkeudella keskikoko pienenee ytimeistä kuoreen päin kohotakseen aivan loppuksi, keskirungolla se aluksi pienenee, sitten kasvaa, ja ylempänä se kasvaa ytimeistä kuoreen päin lukuunottamatta aivan pintaosaa, jossa on jälleen havaittavissa lievää keskikoon alenemista.

Edellä esitettyjen toisiaan tukevien havaintojen perusteella voidaan olettaa, että saatu tulos on jossakin määrin yleistettävissä myös muihin mäntyrunkoihin. Tämän hypoteesin koetteleminen on myöhempien tutkimusten tehtävä.

$$(24) \text{ Puu } 1: y_3 = -48,8 + 18,10\sqrt{x_2} - 0,0695x_2^2 + 0,137x_2x_3 - 3,00\sqrt{x_2x_3} - 1,61\sqrt{x_2x_4}$$

$$\text{Tree} \quad \begin{matrix} (1,8) & (0,01) & (0,01) & (0,4) & (0,2) \\ - 4,062x_3 + 32,3\sqrt{x_3} + 0,0220x_3^2 \\ (0,4) & (3,0) & (0,003) \end{matrix}$$

$$R = 0,789 \quad F = 36^{***}$$

$$(25) \text{ Puu } 2: y_3 = 16,8 - 1,36\sqrt{x_2} + 0,0401x_2^2 - 0,000369x_3^2 + 0,000676x_3^2$$

$$\text{Tree} \quad \begin{matrix} (0,3) & (0,005) & (0,0001) & (0,0001) \\ R = 0,717 \quad F = 43^{***} \end{matrix}$$

$$(26) \text{ Puu } 3: y_3 = 27,3 - 4,01\sqrt{x_2} + 0,0341x_2^2 + 0,0120x_2x_3 + 0,00960x_2x_4 - 0,166x_3$$

$$\text{Tree} \quad \begin{matrix} (0,7) & (0,009) & (0,006) & (0,004) & (0,06) \\ + 0,00309x_3^2 - 0,00172x_3^2 \\ (0,0007) & (0,0004) \end{matrix}$$

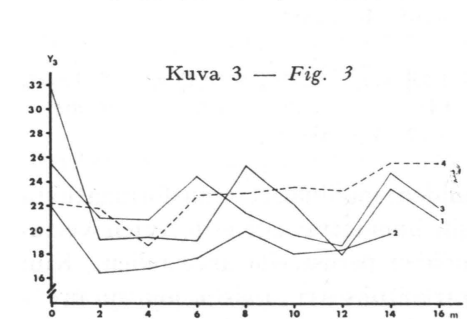
$$R = 0,567 \quad F = 14^{***}$$

$$(27) \text{ Puu } 4: y_3 = 41,5 + 4,52x_2 - 12,4\sqrt{x_2} - 0,172x_2^2 - 6,34\sqrt{x_2x_3} + 6,25\sqrt{x_2x_4}$$

$$\text{Tree} \quad \begin{matrix} (0,66) & (2,0) & (0,02) & (0,8) & (0,7) \\ + 0,373x_3 + 11,03\sqrt{x_3} - 15,26\sqrt{x_4} \\ (0,07) & (2,2) & (1,8) \end{matrix}$$

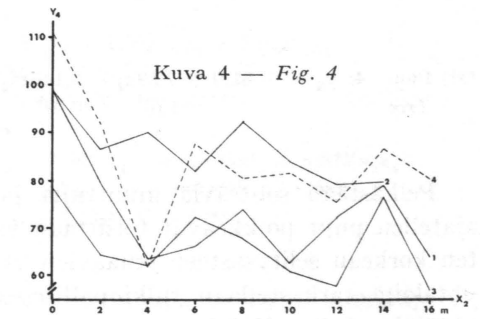
$$R = 0,728 \quad F = 27^{***}$$

Kun valikoivassa regressioanalyysissä on potentiaalisena selittäjänä myös muuttuja x_4 , saatu kuva ei muutu. Niinpä yhtälöiden (24)...(27) mukaan pihkatiehyettömien ydinsäteiden keskikoko alenee kannon korkeudelta keskirunkoon päin, kasvaa alimmasta arvostaan jälleen latvaan, mahdollisesti aivan ylintä huippua lukuunottamatta, ja kasvaa ytimeistä kuoreen päin, mahdollisesti kuitenkin alussa jonkin verran laskien. Puussa 4 vaihtelu on kuitenkin yhtälön (27) mukaan oikullisempaa kuin muissa puissa, aivan samoin kuin yhtälön (23) mukaan. Suurta virhettä tekemättä voidaan kuitenkin sanoa, että tulkinnallisesti sama malli sopii kaikkiin tutkittuihin puihin, kuten aikaisemmin on todettu.



Kuva 3. Keskimääräinen pihkatiehyettömien ydinsäteiden pinta-ala tangenttileikkauksessa $\text{mm}^2 \times 10^{-4}$ (y_3) rungon eri korkeuksilla (x_2).

Fig. 3 Average area of uniseriate rays in tangential section $\text{mm}^2 \times 10^{-4}$ (y_3) at various stem heights (x_2).



Kuva 4. Keskimääräinen pihkatiehyellisten ydinsäteiden pinta-ala tangenttileikkauksessa $\text{mm}^2 \times 10^{-4}$ (y_4) rungon eri korkeuksilla (x_2).

Fig. 4 Average area of fusiform rays in tangential section $\text{mm}^2 \times 10^{-4}$ (y_4) at various stem heights (x_2).

35. PIHKATIEHYELLISTEN YDINSÄTEIDEN KESKIKOKO

Kuten kuvasta 4 on todettavissa, kaikissa tutkituissa mäntyrungoissa pihkatiehyellisten ydinsäteiden kullakin rungon korkeudella vallitseva keskikoko pienenee voimakkaasti kannon korkeudelta keskirunkoon päin. Jossakin määrin on havaittavissa myös jatkuvasti aleneva trendi puun latvaa kohti. Puussa 1 ja 3, joilla on ollut parissa aikaisemmin tarkastellussa ydinsädemuuttujassa poikkeuksellisuutta 12 metrin korkeudella, ei näy mitään erityistä huomiota herättävää mainitulla tasolla. Mahdollisesti kuitenkin em. puiden poikkeuksellisen suuri pihkatiehyellisten ydinsäteiden keskikoko 14 metrin korkeudella heijastaa samaa ilmiötä.

Yhtälöissä (28)...(31) ja (32)...(35) on esitetty aikaisemmin esitetyllä tavalla sovelletun valikoivan regressioanalyysin lopputulokset. Näin ollen edellisissä yhtälöissä potentiaalisia selittäjiä ovat olleet ainoastaan x_2 ja x_3 ja jälkimmäisissä edellisten lisäksi myös x_4 .

$$(28) \text{ Puu } 1: y_4 = 14,2 + 12,8x_2 - 31,0\sqrt{x_2} - 0,249x_2^2 - 0,137x_2x_3 + 20,1\sqrt{x_3} - 0,0199x_2^2$$

Tree (2,0) (4,4) (0,07) (0,03) (2,5) (0,003)
R = 0,787 F = 48***

$$(29) \text{ Puu } 2: y_4 = 233,3 + 26,0x_2 - 112,9\sqrt{x_2} - 0,556x_2^2 - 0,152x_2x_3 + 8,90\sqrt{x_2x_3}$$

Tree (3,8) (15,5) (0,1) (0,03) (1,5)
+ 2,28x_3 - 31,2\sqrt{x_3} - 0,00466x_2^2
(0,7) (7,5) (0,002)
R = 0,729 F = 23***

$$(30) \text{ Puu } 3: y_4 = 72,2 + 0,000592x_2^2 + 0,0836x_2x_3 - 2,04\sqrt{x_2x_3}$$

Tree (0,0002) (0,02) (0,4)
R = 0,508 F = 25***

$$(31) \text{ Puu } 4: y_4 = -81,9 + 7,59x_2 - 0,146x_2^2 - 3,53\sqrt{x_2x_3} - 4,01x_3 + 50,2\sqrt{x_3} + 0,0105x_2^2$$

Tree (1,6) (0,07) (0,4) (0,8) (6,6) (0,003)
R = 0,737 F = 38***

Pelkästään selittäviä muuttujia ja niiden moninaisia transformaatioita ajatellen puut poikkeavat toisistaan varsin huomattavasti esitettyjen verran korkean selityksasteen omaavien yhtälöiden perusteella arvostellen. Kun yhtälöitä tarkastellaan tulkinallisessa tarkoituksessa, puista löytyy myös yhtäläisyyksiä. Kaikissa tapauksissa pihkatiehyellisten ydinsäteiden keskikoko alenee kannon korkeudelta keskirunkoon päin, määrätäisyydellä ytimestä luonnollisesti. Suunnilleen tyvitukin korkeudelta ylöspäin puut poikkeavat toisistaan jonkin verran yhtälöiden perusteella arvostellen. Niinpä puussa 1 pihkatiehyellisten ydinsäteiden keskikoon aleneminen jatkuu latvaan saakka. Puussa 2 on taas havaittavissa lievää keskikoon kasvua mini-

mikohdasta latvaan päin, samoin puussa 3. Puussa 4 taas ytimen lähellä keskikoko kasvaa minimikohdasta latvaan ja pintaosissa pienenee koko ajan.

Myös säteen suuntainen keskikoon vaihtelu on epämääräisempää kuin esimerkiksi pihkatiehyettömien ydinsäteiden keskikoon vaihtelu. Niinpä puussa 1 keskikoko aluksi kasvaa kuoreen päin, sitten pienenee rungon pintaosissa. Puussa 2 taas kannon korkeudella keskikoko alenee pintaan päin, keskiringossa aluksi alenee, sitten kasvaa, ja latvassa kasvaa aivan pintaosaa lukuunottamatta, jossa alenee. Puussa 3 on samantapainen vaihtelumalli kuin puussa 2 ja puussa 4 samantapainen kuin puussa 1. — Näin ollen ei ole perusteltua esittää kovin vahvoja yleisiä hypoteesejä.

Väärinkäsityksen välttämiseksi mainittakoon tässä yhteydessä, että pihkatiehyellisten ydinsäteiden pihkatiehyet ovat postkambiaalisia, ja näin ollen aivan jällen luona voi fysiologisista syistä tapahtua keskikoon muutos. Tässä tutkimuksessa uloimmat näytteet on otettu kuitenkin niin kaukana jällestä, että kypsyyden on ilmeinen. Sitä paitsi jo jällessä on erotettavissa erilaiset ydinsädetyypit, joskin pihkatiehyet vielä tällöin puuttuvat.

$$(32) \text{ Puu } 1: y_4 = 9,66 + 14,3x_2 - 33,2\sqrt{x_2} - 0,305x_2^2 - 0,125x_2x_3 + 21,5\sqrt{x_3} - 0,00576x_2^2$$

Tree (1,9) (4,0) (0,07) (0,02) (2,1) (0,0006)
R = 0,817 F = 59***

$$(33) \text{ Puu } 2: y_4 = 222,5 + 22,6x_2 - 103,9\sqrt{x_2} - 0,443x_2^2 - 0,139x_2x_3 + 8,38\sqrt{x_3x_4}$$

Tree (3,5) (14,8) (0,09) (0,03) (1,6)
+ 2,02x_4 - 0,00375x_2^2 - 28,4\sqrt{x_4}
(0,6) (0,0016) (7,4)
R = 0,725 F = 22***

$$(34) \text{ Puu } 3: y_4 = 70,2 + 0,000932x_2^2 + 0,0583x_2x_3 - 1,99\sqrt{x_2x_3} + 0,019x_2x_4$$

Tree (0,0002) (0,018) (0,36) (0,006)
R = 0,538 F = 22***

$$(35) \text{ Puu } 4: y_4 = 24,4 + 0,717x_3 - 10,7\sqrt{x_2x_3} + 7,50\sqrt{x_4} - 0,00438x_2^2 + 8,03\sqrt{x_2x_4}$$

Tree (0,26) (1,1) (2,1) (0,0008) (0,9)
R = 0,778 F = 59***

Kun valikoivassa regressioanalyysissä on mukana myös muuttuja x_4 , aikaisemmalla tavalla saatu kuva ei oleellisesti muutu. Toisin sanoen tulkinallisesti edellä olevat yhtälöt (32)...(35) ovat samanlaisia kuin vastaavien puiden yhtälöt (28)...(31). Kun selityksaste ei oleellisesti kohoa muuttujan x_4 lisäämisen ansiosta, lienee myös tässä yhteydessä aiheellista pitäytyä seläiseen tulkinallisesti selkeämpään valikoivaan regressioanalyysiin, jossa potentiaalisia selittäjiä ovat ainoastaan x_2 ja x_3 .

Tässä yhteydessä nimitetään tangenttileikkauksesta mitattua ydinsäteiden kokonaispinta-alaa neliömillimetriä kohti yksinkertaisesti pinta-alaksi. Tämä tunnus antaa jonkinlaisen kuvan myös ydinsädeosuudesta, ts. siitä, kuinka suuri osa rungon tilavuudesta on ydinsäteitä.

Kuvassa 5 (s. 88) on esitetty kullakin korkeudella vallitseva pihkatiehyettömien ydinsäteiden kokonaispinta-ala neliömillimetriä kohti. Kuten aikaisemmin esitetyistä ydinsäteiden lukumäärä- ja keskikokotiedoista jo voi päätellä, kannon korkeudelta keskirunkoon päin tapahtuu kaikissa puissa voimakas pinta-alan pieneneminen. Jossakin määrin ilmeinen on myös 2..6 metrin korkeudelta latvaan saakka oleva pinta-alan kasvumistrendi, joskin puissa 1 ja 3 aiemmin mainittu 12 metrin korkeus on jonkin verran poikkeuksellinen.

Kun rungon pituuden suuntaisen vaihtelun lisäksi on otettu huomioon myös säteen suuntainen vaihtelu, valikoivaa regressioanalyysiä on sovellettu samalla tavalla kuin aikaisemmin. Yhtälöissä (36)..(39) potentiaalisia selittäjiä ovat x_2 ja x_3 ja yhtälöissä (40)..(43) edellisten lisäksi myös x_4 .

$$(36) \text{ Puu } 1: y_5 = -747,5 - 44,2x_2 + 484,2\sqrt{x_2} + 3,05x_2x_3 - 120,6\sqrt{x_2x_3} - 64,6x_3 \\ \text{Tree} \quad \quad \quad (11,8) \quad (89,2) \quad (0,5) \quad (17,0) \quad (12,2) \\ \quad \quad \quad + 556,3\sqrt{x_3} + 0,324x_3^2 \\ \quad \quad \quad (86) \quad (0,08) \\ R = 0,648 \quad F = 18^{***}$$

$$(37) \text{ Puu } 2: y_5 = 554,7 + 39,4x_2 - 144,4\sqrt{x_2} + 0,00541x_3^2 \\ \text{Tree} \quad \quad \quad (4,5) \quad (18,3) \quad (0,0014) \\ R = 0,601 \quad F = 31^{***}$$

$$(38) \text{ Puu } 3: y_5 = 1229,2 + 124,3x_2 - 329,8\sqrt{x_2} - 3,34x_2^2 + 24,4x_3 - 200,9\sqrt{x_3} - 0,0784x_3^2 \\ \text{Tree} \quad \quad \quad (19,6) \quad (41,8) \quad (0,74) \quad (5,0) \quad (41,0) \quad (0,02) \\ R = 0,596 \quad F = 19^{***}$$

$$(39) \text{ Puu } 4: y_5 = 658,5 + 160,6x_2 - 437,3\sqrt{x_2} - 3,17x_2^2 + 4,51\sqrt{x_2x_3} \\ \text{Tree} \quad \quad \quad (16,7) \quad (39,8) \quad (0,57) \quad (1,68) \\ R = 0,779 \quad F = 75^{***}$$

Kuten edellä esitetyistä regressioyhtälöistä ilmenee, myös tässä tapauksessa tutkitut puut poikkeavat toisistaan ajatellen pelkästään selittäjiä ja niiden transformaatioita. Selitysasteet ovat kaikkien puiden osalta varsin tyydyttävät.

Tulkinnallisesti voidaan osoittaa eräitä tutkituille puille yhteisiä piirteitä. Ensinnäkin kaikkien regressioyhtälöiden mukaan pihkatiehyettömien ydinsäteiden neliömillimetriä kohti laskettu kokonaispinta-ala pienenee kan-

non korkeudelta keskirunkoon päin. Jossakin tyvitukin seutuvilla on minikohta, josta ylöspäin kokonaispinta-ala kasvaa latvaan päin. Suurin piirtein on yleistettävissä myös se havainto, että pinta-ala kasvaa ytimeä kuoreen päin. Tarkasti ottaen puut kuitenkin poikkeavat jonkin verran toisistaan. Niinpä puussa 1 pinta-ala kasvaa ytimeä kuoreen päin sekä kannon korkeudella että puun latvaosassa. Keskirungossa sen sijaan pinta-ala aluksi kasvaa, sitten laskee ja pintaosassa jälleen kasvaa kuoreen päin. Puussa 2 pinta-ala kasvaa ytimeä pintaan päin tarkastelukohdan korkeudesta riippumatta, samoin puussa 4. Puussa 3 pihkatiehyettömien ydinsäteiden pinta-ala neliömillimetriä kohti aluksi laskee ytimeä ulospäin, sitten taas kasvaa. Kuitenkin kannon tasalla ja rungon alaosassa tapahtuu puun pintaosassa lievää laskua. — Edellä olevan perusteella voitaneen mainittu yleistys säteen suuntaisesta muutoksesta tehdä tekemättä minkään tutkitun puun kohdalla suurempaa virhettä.

$$(40) \text{ Puu } 1: y_5 = -753,1 + 399,7\sqrt{x_2} - 1,51x_2^2 + 1,29x_2x_4 - 79,6\sqrt{x_2x_4} - 76,2x_3 \\ \text{Tree} \quad \quad \quad (44) \quad (0,26) \quad (0,15) \quad (7,3) \quad (11,4) \\ \quad \quad \quad + 606,7\sqrt{x_3} + 0,412x_3^2 \\ \quad \quad \quad (78) \quad (0,07) \\ R = 0,720 \quad F = 27^{***}$$

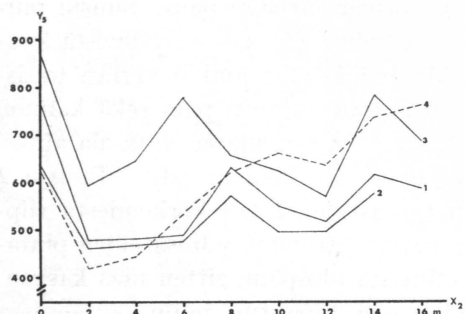
$$(41) \text{ Puu } 2: y_5 = 543,5 - 66,6\sqrt{x_2} + 1,39x_2^2 - 0,0122x_3^2 + 0,0177x_4^2 \\ \text{Tree} \quad \quad \quad (10,3) \quad (0,17) \quad (0,005) \quad (0,004) \\ R = 0,637 \quad F = 28^{***}$$

$$(42) \text{ Puu } 3: y_5 = 965,9 + 1,02x_2x_3 - 34,8\sqrt{x_2x_3} + 0,594x_2x_4 + 0,0963x_3^2 - \\ \text{Tree} \quad \quad \quad (0,2) \quad (3,9) \quad (0,09) \quad (0,01) \\ \quad \quad \quad - 0,0750x_4^2 - 35,8\sqrt{x_4} \\ \quad \quad \quad (0,01) \quad (9,5) \\ R = 0,660 \quad F = 27^{***}$$

$$(43) \text{ Puu } 4: y_5 = 658,7 + 127,3x_2 - 372,4\sqrt{x_2} - 2,57x_2^2 + 28,5\sqrt{x_2x_4} - 27,5\sqrt{x_2x_3} \\ \text{Tree} \quad \quad \quad (20) \quad (44) \quad (0,60) \quad (9,4) \quad (10,7) \\ R = 0,791 \quad F = 64^{***}$$

Kun valikoivassa regressioanalyysissä on potentiaalisena selittäjänä myös muuttuja x_4 , edellä selostettu käsitys ei oleellisesti muutu. Kun selitysaste ei oleellisesti kohoa muuttujan x_4 lisäämisen ansiosta — ehkä puita 1 ja 3 lukuunottamatta — lienee paikallaan myös tässä yhteydessä pitäytyä tulkinnallisesti selkeämpiin malleihin, joissa selittävinä tekijöinä on ainoastaan x_2 ja x_3 . Joskin edellä esitetyissä regressioyhtälöissä muuttujan x_4 mukana oleminen parantaa ennustamistarkkuutta, mainitun muuttujan merkityksen tulkitseminen ei onnistunut tässä yhteydessä muuttujista x_2 ja x_3 riippumattomana dimensiona.

Kuva 5 — Fig. 5



Kuva 5. Keskimääräinen kaikkien pihkatiehyettömien ydinsäteiden kokonaispinta-ala tangenttileikkauksessa $\text{mm}^2 \times 10^{-4}/\text{mm}^2$ (y_5) rungon eri korkeuksilla (x_2).

Fig. 5. Average total area of all uniseriate rays in tangential section $\text{mm}^2 \times 10^{-4}/\text{mm}^2$ (y_5) at various stem heights (x_2).

Kuva 6 — Fig. 6



Kuva 6. Keskimääräinen kaikkien pihkatiehyellisten ydinsäteiden kokonaispinta-ala tangenttileikkauksessa $\text{mm}^2 \times 10^{-4}/\text{mm}^2$ (y_6) rungon eri korkeuksilla (x_2).

Fig. 6. Average total area of all fusiform rays in tangential section $\text{mm}^2 \times 10^{-4}/\text{mm}^2$ (y_6) at various stem heights (x_2).

37. PIHKATIEHYELLISTEN YDINSÄTEIDEN PINTA-ALA

Tässä yhteydessä viimeisenä ydinsäteitä kuvaavana piirteenä tarkastellaan pihkatiehyellisten ydinsäteiden tangenttileikkauksesta mitattua kokonaispinta-alaa neliömillimetriä kohti.

Kuvassa 6 on esitetty eri puiden kullakin korkeudella vallitseva pinta-ala neliömillimetriä kohti. Myös tässä tapauksessa kannon korkeudelta tapahtuu selvä pinta-alan lasku keskirunkoon päin. Tyvitukin seutuvalta latvaa kohti ei ole mitään selvää trendiä, vaan varsin suuri vaihtelu eri korkeuksien keskimääräisten pinta-alojen välillä on epäsäännöllistä. Puussa 1 näkyy 12 metrin korkeus myös tässä tapauksessa poikkeuksellisenä, kuten aikaisemmin esitetyistä ydinsäteiden lukumäärä- ja keskikokotiedoista jo voi päätellä.

Myös säteen suuntaista pihkatiehyellisten ydinsäteiden pinta-alojen vaihtelua selittävät regressioyhtälöt on esitetty yhtälöinä (44)–(47) ja (48). Edellisissä yhtälöissä valikoivan regressioanalyysin potentiaalisina selittäjinä on käytetty muuttujia x_2 ja x_3 ja jälkimmäisessä edellisten lisäksi myös muuttujaa x_4 .

$$(44) \text{ Puu } 1: y_6 = 78,6 + 14,7x_2 - 53,0\sqrt{x_2} - 0,278x_2^2 + 0,0800x_2x_3$$

$$\text{Tree} \quad (3,9) \quad (8,7) \quad (0,14) \quad (0,02)$$

$$R = 0,544 \quad F = 19^{***}$$

$$(45) \text{ Puu } 2: y_6 = 66,7 - 0,993\sqrt{x_2x_3}$$

$$\text{Tree} \quad (0,25)$$

$$R = 0,292 \quad F = 15^{***}$$

$$(46) \text{ Puu } 3: y_6 = 42,2 + 11,2x_2 - 29,7\sqrt{x_2} - 0,249x_2^2 + 0,231x_3$$

$$\text{Tree} \quad (3,5) \quad (7,9) \quad (0,12) \quad (0,07)$$

$$R = 0,369 \quad F = 8^{***}$$

$$(47) \text{ Puu } 4: y_6 = -15,5 + 4,22x_2 - 3,13\sqrt{x_2x_3} + 11,9\sqrt{x_3}$$

$$\text{Tree} \quad R = 0,516 \quad F = 24^{***}$$

Edellä esitetyistä yhtälöistä voidaan havaita, että selitysasteet ovat melkoisesti heikkomat kuin vastaavissa pihkatiehyettömien ydinsäteiden pinta-alaa koskevissa yhtälöissä. Yhtälöiden edustamien mallien perusteella voidaan sanoa myös puiden poikkeavan toisistaan. Kun yhtälöiden ulkoisten ominaisuuksien sijasta tarkastellaan niiden antamia ennustearvoja puiden eri osissa, tutkittujen mäntyrunkojen välillä voidaan havaita eräitä yhtäläisyyksiä. Yhtälöiden mukaan kaikissa puissa pihkatiehyellisten ydinsäteiden pinta-ala neliömillimetriä kohti laskee tyvestä keskirunkoon päin. Puussa 1 ja 3 sekä puun 4 ytimen läheisyydessä olevassa osassa pinta-ala kasvaa minimikohdasta latvaan päin, kun taas puussa 2 ja puun 4 pintaosissa pinta-alan pienenemistä tapahtuu aina latvaan saakka. Puuta 2 lukuunottamatta, jonka regressioyhtälöllä (45) on tutkituista puista heikoin selitysaste, kaikissa puissa pihkatiehyellisten ydinsäteiden pinta-ala neliömillimetriä kohti kasvaa säteen suunnassa ytimestä kuoreen päin.

$$(48) \text{ Puu } 4: y_6 = -11,5 + 3,16x_2 - 3,27\sqrt{x_2x_3} + 11,0\sqrt{x_4}$$

$$\text{Tree} \quad (0,65) \quad (0,45) \quad (1,5)$$

$$R = 0,522 \quad F = 44^{***}$$

Kun valikoivan regressioanalyysin potentiaaliseksi selittäjäksi otetaan myös muuttuja x_4 , puussa 1, 2 ja 3 päädytään samoihin yhtälöihin kuin edellisessäkin regressioanalyysissä. Näin ollen yhtälöt (45), (46) ja (47) edustavat myös jälkimmäistä regressioanalyysin käyttötapaa. Puussa 4 sen sijaan päädytään edellä olevaan yhtälöön (48), jonka selitysaste ei kuitenkaan juuri poikkea yhtälöstä (47). Myös sen tulkinta on samanlainen, eikä myöskään tässä tapauksessa muuttujalle x_4 saada selkeää muista selittäjistä poikkeavaa tulkintadimensiota.

4. RUNGOITTAISIA KESKIARVOJA

Kun tämän tutkimuksen aineistona on ainoastaan neljä mäntyrunkoa, varsinaiseen runkojen välisen vaihtelun analysoimiseen ei ole aiheellista ryhtyä esimerkiksi pyrkimällä selittämään runkojen välisiä eroja eri tekijöiden funktiona. Sen sijaan on tietämyksen lisäämiseksi syytä esittää rungoittaiset eri ydinsädemuuttujien keskiarvot, koska kirjallisuudessa esitetyt tiedot eri puulajien ydinsäteiden ominaisuuksista perustuvat usein samaa suuruus-

luokkaa oleviin tai pienempiin aineistoihin, kuten aikaisemmin on jo mainittu.

Taulukossa 3 on esitetty eräiden ydinsäteitä luonnehtivien suureiden keskiarvoja rungoittain. Kuten aikaisemmin on selostettu, rungoittaiset keskiarvot on laskettu painottamalla kutakin havaintoa sen edustaman kuutiomäärän suhteessa (s. 73). Näin ollen keskiarvot poikkeavat tapauksesta riippuen enemmän tai vähemmän havainnoista lasketuista aritmeettisistä keskiarvoista. Painotuksen vuoksi ei ole esitetty myöskään hajontalukuja. Niiden suuruudesta saa kuitenkin käsityksen taulukosta 2, jonka hajontaluvut on laskettu alkuperäisten mittaustulosten perusteella.

Taulukko 3. Eräiden ydinsädemuuttujien rungoittaiset keskiarvot. Kukin alkuperäinen havainto on painotettu suhteessa sen edustamaan kuutiomäärään.

Table 3. Average values of some ray variables by stems. Each original sample is weighted by the volume it represents.

Muuttuja — Variable	Puu — Tree			
	1	2	3	4
	Keskiarvo — Average			
Pihkatiehyettömien ydinsäteiden lukumäärä kpl/mm ² (y ₁) <i>Number of uniseriate rays per sq. mm (y₁)</i>	25,3	28,2	31,0	24,8
Pihkatiehyellisten ydinsäteiden lukumäärä kpl/mm ² (y ₂) <i>Number of fusiform rays per sq. mm (y₂)</i>	0,63	0,56	0,67	0,60
Pihkatiehyettömien ydinsäteiden keskimääräinen pinta-ala tangenttileikkauksessa mm ² x 10 ⁻⁴ (y ₃) <i>Average area of uniseriate rays in tangential section mm²x 10⁻⁴ (y₃)</i>	21,9	18,1	22,0	22,1
Pihkatiehyellisten ydinsäteiden keskimääräinen pinta-ala tangenttileikkauksessa mm ² x 10 ⁻⁴ (y ₄) <i>Average area of fusiform rays in tangential section mm²x 10⁻⁴ (y₄)</i>	73,8	87,6	67,2	84,3
Pihkatiehyettömien ydinsäteiden kokonaispinta-ala tangenttileikkauksessa mm ² x 10 ⁻⁴ /mm ² (y ₅) <i>Total area of uniseriate rays in tangential section mm²x 10⁻⁴/mm² (y₅)</i>	550	509	683	543
Pihkatiehyellisten ydinsäteiden kokonaispinta-ala tangenttileikkauksessa mm ² x 10 ⁻⁴ /mm ² (y ₆) <i>Total area of fusiform rays in tangential section mm²x 10⁻⁴/mm² (y₆)</i>	46	49	45	52
Pihkatiehyellisten ja pihkatiehyettömien ydinsäteiden lukumäärien suhde <i>Ratio between fusiform and uniseriate rays, based on number</i>	1:40	1:50	1:46	1:41
Pihkatiehyellisten ja pihkatiehyettömien ydinsäteiden tilavuuksien suhde <i>Ratio between fusiform and uniseriate rays, based on volume</i>	1:12	1:10	1:15	1:10
Ydinsädeprosentti rungon tilavuudesta <i>Per cent of rays of stem volume</i>	6,0	5,6	7,3	6,0

5. TULOSTEN TARKASTELUA

Tässä tutkimuksessa runsaasti käytetty valikoiva regressioanalyysi tuotti useissa tapauksissa ennusteyhtälöitä, joita voi pitää vähintään tyydyttävinä. Hyvän ennustavuuden rajana voidaan pitää esimerkiksi sitä, että yhtälöiden F-arvo on vähintään neljä kertaa niin suuri kuin valitun F-jakauman arvo (DRAPER ja SMITH 1968, s. 64). Tällaisen kriteerin perusteella arvostellen pihkatiehyettömien ydinsäteiden lukumäärän (y₁) ja pihkatiehyellisten ydinsäteiden keskikoon (y₄) ennusteyhtälöt olivat hyviä, puusta riippuen osittain myös muut yhtälöt lukuunottamatta yhtälöitä, joiden tarkoituksena oli ennustaa pihkatiehyellisten ydinsäteiden lukumäärää neliömillimetriä kohti (y₂). Näin ollen voidaan perustellusti olettaa, etteivät havaitut puiden erot johdu yksinomaan kussakin puussa sattuvasta otantavirheestä, joskin myös sen merkitys on huomion arvoinen pienipiirteisen puuanatomian ollessa kyseessä. Tutkimuksen päätuloksia onkin havainto, etteivät samat ydinsäteiden vaihtelumallit sovi välttämättä saman puulajin eri runkoihin, joskin on toki myös yhteisiä piirteitä ydinsäteiden vaihtelussa.

Näistä yhteisistä piirteistä selvin oli havainto, että sekä pihkatiehyettömien että pihkatiehyellisten ydinsäteiden keskikoko ja mahdollisesti myös lukumäärä olivat suurempia kannon korkeudella kuin jonkin verran ylempänä rungossa, samoin tietenkin myös edellisistä tekijöistä riippuva kokonaispinta-ala ja osuus rungon tilavuudesta. Tulos lienee yleistettävissä ainoastaan kantaan, koska juurten katsotaan olevan havupuilla ydinsädeosuudeltaan samanlaisia kuin runko (FEGEL 1941, s. 16). Kuitenkin juurten voi yleisesti olettaa olevan ydinsäderikkaampia kuin rungon (esim. EAMES ja MacDANIELS 1947, s. 286). Männystä ei kuitenkaan tutkimuksia liene. — Eräessä mielessä havainto tukee aiemmin mainittua KINNMANNIN (1923) tulosta, jonka mukaan havupuista ainakin kuusella ydinsädeosuus on pienimmillään keskirungossa kohoten sekä latvaan että kantaan päin.

Jossakin määrin tämä tutkimus antaa tukea myös KUČERAN (1968) jalokuusta koskevalle aiemmin mainitulle tulokselle, jonka mukaan ydinsäteiden koko lisääntyy ja lukumäärä pienenee ontogeenisen iän lisääntyessä. Vaihtelumallit muuttuvat kuitenkin puusta toiseen, kuten edellä on todettu, eikä tässä yhteydessä ole aiheellista korostaa samankaltaisuuksia liiaksi. Joka tapauksessa esitellyt regressioyhtälöt osoittavat, että mäntyrungoissa on kuvattavissa olevaa ydinsäteiden vaihtelua.

Mitä taas tulee tämän tutkimuksen rungoittaisiin eräiden ydinsädemuuttujien keskiarvoihin, niiden voidaan todeta osittain olevan sopusoinnussa aiemmin esitettyjen käsitysten kanssa. Laajin mäntyä koskeva aineisto on NYRÉNILLÄ ja BACKILLA (1959 c), joiden tulokset perustuvat seitsemästä puusta ilmeisesti rinnantasalta otettuun näytteeseen. Mainitussa tutkimuksessa pihkatiehyettömien ydinsäteiden lukumäärä tangenttileikkauksen neliömilli-

metriä kohti oli 29 ja pihkatiehyellisten 0,58, jotka ovat samaa suuruusluokkaa kuin tämän tutkimuksen rungoittaiset keskiarvot 24,8. .31,0 ja 0,56. . . 0,67. Sen sijaan ydinsädeosuudet ovat pienehköjä tähän tutkimukseen verrattuna: pihkatiehyettömien ydinsäteiden osuus oli 3,86 % ja pihkatiehyellisten 0,33. Tässä tutkimuksessa vastaavat rungoittaiset keskiarvot taas vaihtelivat välillä 5,09. .6,83 ja 0,45. .0,52 %. Eron syynä lienee ilmeisesti se, että NYRÉNin ja BACKin aineisto on otettu luultavasti rinnantasalta, joka tässä tutkimuksessa havaittiin ydinsädeosuudeltaan poikkeuksellisen alhaiseksi. — Tässä tutkimuksessa saatuja suurempia ydinsädeosuuksia, kaikki ydinsäteet huomioiden 5,6. .7,3 %, tukevat myös eräät muut tulokset, esim. HUBERin ja PRÜTZin (1938) männyn ydinsädeosuus 5,5 %, PERILÄn ja HEITTON lähettä ilmoittamatta esittämä 5. .9 % sekä MYERin (1922) tuloksista laskettavissa oleva Diploxylon-alasukuun kuuluvien amerikkalaisten mäntyjen keskiarvo 7,8 %. — Diploxylon-alasuku valittiin luonnollisesti siksi, että siihen kuuluu myös tässä tutkimuksessa tarkasteltu kotimainen mänty (ks. esim. SARVAS 1964).

Selvästi ristiriidassa aikaisempien käsitysten kanssa on tämän tutkimuksen tulos, jonka mukaan pihkatiehyellisten ja pihkatiehyettömien ydinsäteiden suhde on männyllä suuruusluokaltaan 1:40. .1:50. Oppikirjoissa suhteeksi esitetään usein 1:20. Esimerkiksi TRENDELENBURG ja MAYER—WEGELIN (1955) mainitsevan tämän luvun nimenomaan männylle ja PANSHIN ym. (1970) yleensä havupuille. Kun em. oppikirjoissa ei viitata mihinkään tutkimukseen tässä yhteydessä, saattaa olla, että kysymyksessä on silmävarainen arvio tai vastaava. Toisaalta on mahdollista, ettei tässä tutkimuksessa ole saatu luetuksi kaikkia pihkatiehyellisiä ydinsäteitä omaan luokkaansa. Kuten aikaisemmin on todettu, luokitus tehtiin ydinsäteiden muodon perusteella, kuitenkin tarkistaen, että pihkatiehyelliseen ydinsäteeseen todella kuului pihkatiehyt. Kun luokituksen tehnyt henkilö ei juuri tavannut usean solukerroksen levyisiä ydinsäteitä, jotka olisi pihkatiehyen puuttumisen vuoksi luettu pihkatiehyettömiksi ydinsäteiksi, tällainen virhemahdollisuus vaikuttaa kuitenkin epätodennäköiseltä. Näin ollen johtopäätöksenä on, että aikaisempaa käsitystä on syytä tarkistaa. — Itse asiassa tukea tämän tutkimuksen tulokselle antavat myös NYRÉN ja BACK (1959 c), joiden esittämistä tuloksista pihkatiehyellisten ja pihkatiehyettömien ydinsäteiden suhteeksi on laskettavissa 1:50.

KIRJALLISUUTTA

- ASSARSSON, A. 1969. Avhartsning vid tillverkning av sulfitmassa. Svensk PappTidn. 72(12): 403—410.
- BACK, E. 1958. Aspects on tracheidal and parenchymatous ray cells in pulpwood conifers. Svensk PappTidn. 61(17):523—530.
- » — 1969 a. Vedanatiska aspekter på hartsproblem. Svensk PappTidn. 72(4): 109—121.
- » — 1969 b. Mekanismen för hartsavsättning. Svensk PappTidn. 72(7):226—231.

- BANNAN, M. W. 1954. (Ring width, tracheid size, and ray volume in stem wood of *Thuja occidentalis*. Canad. J. Bot. 32(3):466—479.) (Ref. For. Abstr. 16(1) N:o 870).
- BROWN, H. P., PANSHIN, A. J. & FORSAITH, C. C. 1949. Textbook of wood technology. Volume 1. New York — Toronto — London.
- COOLEY, W. W. & LOHNES, P. R. 1966. Multivariate procedures for the behavioral sciences. New York — London — Sydney.
- DRAPER, N. R. & SMITH, H. 1968. Applied regression analysis. New York.
- EAMES, A. J. & MACDANIELS, L. H. 1947. An introduction to plant anatomy. New York — London.
- FEGEL, A. C. 1941. Comparative anatomy and varying physical properties of trunk, branch, and root in certain northeaster trees. Tech. Publ. N.Y. St. Coll. For. 55.
- GREGUSS, P. 1955. Identification of living gymnosperms on the basis of xylography. Budapest.
- HUBER, B. & PRÜTZ, G. 1938. Über den Anteil von Fasern, Gefässen und Parenchym am Aufbau verschiedener Hölzer. Holz Roh- u. Werkstoff 1(10):377—381.
- HOFFMANN, G. C. & TIMELL, T. E. 1972 a. Polysaccharides in ray cells of normal wood of Red pine (*Pinus resinosa*). TAPPI 55(5):733—736.
- » — — 1972 b. Polysaccharides in ray cells of comparison wood of Red pine (*Pinus resinosa*). TAPPI 55(6):871—873.
- JANE, F. W. 1962. The structure of wood. London.
- KINNMAN, G. 1923. Kvalitesfordringar på pappersved och skogsvårdsåtgärdernas anpassande därefter. SkogsvFören. Tidskr. 21:201—225.
- KUČERA, L. 1968. (Anatomical study of the development and distribution of rays in *Abies alba* wood. II. Distribution of rays in a young Fir stem. Drev. Vyskum (4):167—184.) (Ref. For. Abstr. 31 N:o 1289).
- LINDGREN, B. & NORIN, T. 1969. Hartsets kemi. Svensk PappTidn. 72(5):143—153.
- MYER, J. E. 1922. Ray volumes of the commercial woods of the United States and their significance. J. For. 20(4):337—351.
- NYRÉN, V. & BACK, E. 1959 a. Characteristics of parenchymatous cells and tracheid ray cells of *Pinus silvestris* pulpwood. Norsk Skogind. 13(8):267—278.
- » — — 1959 b. The dimensions of tracheidal and parenchymatous ray cells of *Pinus silvestris* pulpwood. Svensk PappTidn. 62(17):587—593.
- » — — 1959 c. The ray volume in *Pinus silvestris* stemwood and its distribution between tracheidal and parenchymatous ray cells. Svensk PappTidn. 62(19):681—686.
- PANSHIN, A. J. & DE ZEEUW, C. 1970. Textbook of wood technology. Third edition. New York — St. Louis — San Francisco — Düsseldorf — London — Mexico — Panama — Sydney — Toronto.
- PENSAR, G. 1968. Fördelning och sammansättning av extraktämnen i ved. 2. Eterextrakt av vår- och sommarvedsvävnad i tall (*Pinus silvestris*). The distribution and composition of extractives in wood. 2. Etherextractives of earlywood and latewood in pine (*Pinus silvestris*). Acta Acad. Aboensis Ser. B 28. 1.
- PERILÄ, O. & HEITTO, P. 1959. The chemical compositions of wood cells. I. Carbohydrates of pine cells. Suomen Kemistilehti B 32(5—6):76—80.
- » — & SEPPÄ, T. 1960. The chemical compositions of wood cells. II. Carbohydrates of spruce cells. Suomen Kemistilehti B 33(4):114—116.
- SARVAS, R. 1964. Havupuut. Porvoo — Helsinki.
- SÜSS, H. & MÜLLER-STOLL, W. 1970. Zusammenhänge zwischen der Grösse einiger Holzelemente der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und der Orientierung des Stammes zur Himmelsrichtung bzw. der Jahrringbreite. Relations between the dimensions of some wood elements of beech (*Fagus sylvatica* L.) and the orientation of the stem to cardinals as well as to ring width. Holz Roh- u. Werkstoff 28(7):270—277.
- » — 1973. Weitere Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen anatomischen

Eigenschaften des Buchenholzes (*Fagus sylvatica* L.) und der Orientierung des Stammes zur Himmelsrichtung. Further investigations on the relations between anatomical features of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) and stem orientation to cardinals. Holz Roh- u. Werkstoff 31(2):61—65.

TRENDELENBURG, R. & MAYER-WEGELIN, H. 1955. Das Holz als Rohstoff. 2. Auflage. München.
WHITE, D. J. R. & ROBARDS, A. W. 1966. Some effects of radial growth rate upon the rays of certain ring-porous hardwoods. J. Inst. Wood Sci. 3(17):45—52.

SUMMARY:

AMOUNT AND SIZE OF RAYS IN PINE STEMS

As is commonly known, the pitch difficulties occurring during pulp manufacture depend among other things on the amount of parenchyma, and thus on the ray proportion. In spite of this, the variation of rays within a stem has not received any large consideration in the raw material research.

The purpose of this paper was to throw light on the variation of rays in the stems of Scots pine (*Pinus silvestris* L.). The material consisted of four stems from which 757 samples from various heights and distance from the pith were taken. The Myrtillus type stand was situated in Central Finland (61° 40' N. Lat.) The uniseriate and fusiform rays were examined separately, and the variation in the number per sq. mm, the average size in tangential section, and the total area of rays per sq. mm in tangential section were predicted in various parts of the stem using stepwise regression analysis. The only predictors were the height from the stump level, number of growth rings from the pith, and the distance from the pith in certain cases. Various transformations of the mentioned variables were also used.

The average values of the variables are presented according to the height in figures 1. . . 6. Each value is a weighted average of the samples at that level, the weights being proportional to their squared distance from the pith. Thus, the average values represent their heights without bias.

According to the figures, there are more and larger rays at the stump level than higher up in the stem. In some cases this trend also increases towards the tree top.

The simultaneous variation of rays from the base towards the top and from the pith towards the bark was examined using the regression equations computed from the original samples. As a result of numerous transformations, which include interaction terms, the trends are not evident from the equations. When the predictions based on the equations are examined one can notice differences between trees as regards the variation models. However, there are also features which are common to all of the investigated trees. For example, the number of uniseriate rays decreases on moving outwards from the pith and the average

size increases in the same direction. In the same way, from the stump level upwards, the proportion of rays decreases up to 2. . . 6 meters from the ground.

As regards the average values of the ray variables, the results presented in table 3 support for the most part earlier knowledge to be found in the literature about the magnitude of the variables. However, the ratio between the number of fusiform rays and that of uniseriate rays obtained in this study was smaller than anticipated earlier. The ratio determined in this paper varied from 1: 40 to 1: 50, many textbooks giving 1: 20.