

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN  
SUONTUTKIMUSOSASTON TIEDONANTOJA

4/1973

JUURIKERROKSEN KOSTEUDEN VAIKUTUS MÄNNYN  
(Pinus silvestris) ympärysmittaan.

Erkki Ahti

Helsinki 1973







## Sisällysluettelo

1.	Johdanto .....	1
2.	Keskeiset käsitteet .....	3
3.	Mittausmenetelmät .....	7
31.	Koepuiden ympärysmittan mittaus .....	7
32.	Juurikerroksessa vallitsevan maaveden jännityksen mittaaminen .....	8
33.	Muut mittaukset .....	9
4.	Aineisto ja sen käsittely .....	10
41.	Mittauksen tuloksena syntyneet aikasarjat	10
42.	Aineiston muuntaminen regressioanalyysiä varten .....	10
421.	Yleistä .....	10
422.	Kumulatiivisen kasvukäyrän tasoitus.	12
5.	Tulokset .....	16
51.	Koepuiden ympärysmittan ja maaveden jän- nityksen välinen riippuvuus .....	16
52.	Analyysin virhetekijöistä .....	18
53.	Ympärysmittahavaintojen korjaaminen samaa maaveden jännitystä vastaavalle turpoa- mistasolle regressiomallin avulla .....	20
6.	Tulosten tarkastelu .....	23
	Kirjallisuusluettelo .....	25
Liite 1.	Regressioyhtälön (3) jäännöstermit .....	27
2.	Regressioyhtälön (4) jäännöstermit .....	28
3.	Maaveden jännityksen vertikaalijakautuma ajan funktiona 9.6.-26.8.1972 .....	29



## 1. Johdanto

Maa, kasvi ja ilmakehä muodostavat järjestelmän, jossa vesi liikkuu energiaerojen määräämällä tavalla, ja jonka eri osissa (maa, kasvi, ilmakehä) olevan veden energiatila on ilmaistavissa samalla mittayksiköllä, riippumatta veden olomuodosta.

Veden liikkuminen maasta juureen, versoon ja lehtien kautta ilmakehään johtuu edellä sanotun perusteella siitä, että maassa olevalla vedellä on enemmän potentiaalienergiaa kuin kasvin haihduttavia pintoja ympäröivän ilman vesihöyryllä.

Kasvifysiologisessa tutkimuksessa on aikanaan paljon kiistelty siitä, missä määrin kasveilla esiintyy ns. aktiivista vedenottoa. Aktiivista, kasvin elintoiminnoillaan ylläpitämää vedenottoa on alettu pitää merkitykseltään yhä vähäisempänä (esim. COWAN 1965, GARDNER 1965, PHILIP 1966, ROSE 1966, KRAMER 1969, HILLEL 1971). Passiivinen vedenottoteoria, jonka mukaan kasvi vettä ottaessaan toimii maan ja ilmakehän välisenä johtimena öljylampun sydämen tapaan, on saavuttanut yksimielisen kannatuksen kasvin pääasiallisena vedenottomekanismina.

FRIEDRICH (1897) havaitsi, että puiden ympäröimä vaihtelee vuorokausirytmien mukaisesti. Monet tutkijat ovat hänen jälkeensä havainneet saman ilmiön (katsaus esim. LEIKOLA 1969 b). Tämän vaihtelun on poikkeuksetta selitetty johtuvan transpiraation vuorokausirytmien aiheutta-



masta rungon vesipitoisuus- ja tilavuusvaihtelusta. Puusta haihtuu päivällä yleensä enemmän vettä kuin se ottaa juurillaan maasta: rungon vesipitoisuus pienenee, jolloin rungon vettä sisältävät osat kutistuvat. Näin on havaittu tapahtuvan sekä kuivilla että hyvinkin kosteilla kasvu- paikoilla (KOZLOWSKI 1958, HUIKARI ja PAARLAHTI 1967). Päivällä syntynyt vesivajaus täyttyy yön aikana, transpiraation ollessa vähäistä, joko kokonaan tai osittain. Puun ympärysmitta saavuttaa vuorokautisen maksiminsa aamuyöllä tai aamulla, ennen kuin transpiraatio alkaa uudelleen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten juurikerroksen kosteuden muutokset vaikuttavat männyn ympärysmittan päivittäiseen vaihteluun.



## 2. Keskeiset käsitteet

Koska veden liikkuminen riippuu energiaeroista, veden absoluuttisen energian arvoilla ei ole merkitystä, kun tarkastellaan puun vedenoton kannalta keskeisiä energian muotoja. Kun seuraavassa puhutaan energiasta, on kysymys tietyn vertailutason suhteen määritellyistä arvoista.

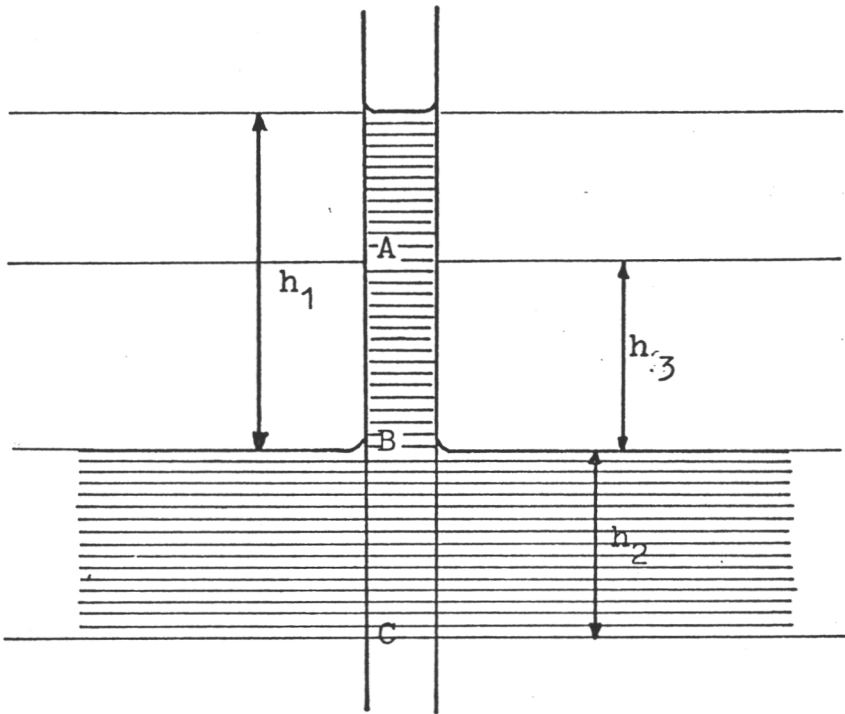
Kuvassa 1 on esitetty tilanne, jossa vesi on noussut kapillaariputkessa korkeudelle  $h_1$ . Tason B ja tason C välinen paine-ero on  $h_2$ , ja tasojen A ja B paine-ero vastaavasti  $h_3$ ; tasoilla B ja C veden paine on sama kapillaariputkessa ja sen ulkopuolella.

Jos tason B paine merkitään 0:ksi, tasolla C vallitseva hydrostaattinen paine on  $h_2$ . Tason A hydrostaattinen paine on tällöin  $-h_3$ , eli siis "negatiivinen". On huomattava, ettei kysymys ole eri "painelajeista", vaan että "negatiivisuus" ja "positiivisuus" johtuvat vertailutason valinnasta.

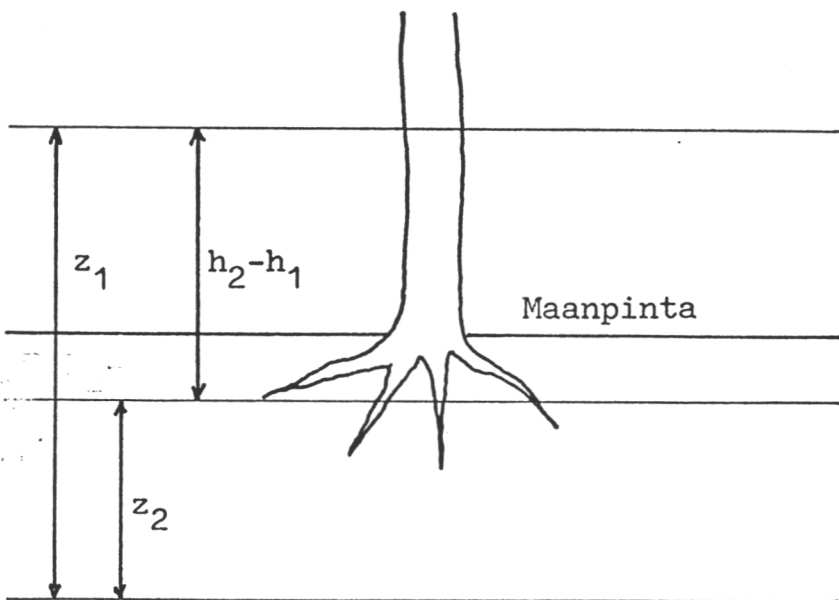
Negatiivista painetta sanotaan fysiikassa jännitykseksi.

Maafysiikassa on tapana merkitä veden paine pohjavesipinnan tasossa 0:ksi. Koska vesi nousee kapillaarisesti myös maassa, kuvan 1 yksinkertaista tilannetta voidaan soveltaa myös maaveden paineeseen. Edellä esitetyn perusteella veden paine on pohjavesipinnan yläpuolella negatiivinen. Maaveden negatiivisesta paineesta käytetään nimitystä maaveden jännitys.





Kuva 1. Veden paine kapillaariputkessa.



Kuva 2. Paine-energiaeron riippuvuus tarkastelutasojen korkeuserosta energiatasapainon vallitessa.

Vaikka maaveden jännitys määritellään 0:ksi pohjavesipinnan tasossa, maaveden jännitys ei ole millään tavalla sidottu pohjavesipinnan läsnäoloon. Jos maaveden jännitys on 0, veden paine on sama kuin kaikkien pohjavesipintojen tasossa.

Maaveden jännityksen arvoon vaikuttavat kaikki ne tekijät, jotka alentavat maassa olevan veden painetta, t.s. saavat aikaan maan kuivumista.

Maaveden jännitystä mitataan tässä tutkimuksessa tensiometrillä. Laitteen keskeinen osa on huokoinen kärkikappale, joka vedellä kyllästettynä läpäisee vettä mutta ei ilmaa, ja jonka kautta laitteen umpinainen vesisäiliö on yhteydessä maaveteen. Tensiometrillä toiminta perustuu siihen, että maaveden paine välittyy huokoisen kärkikappaleen kautta säiliöön, jossa olevan veden paine voidaan mitata (vrt. AHTI 1971).

Kun puussa olevan veden ja maaveden välillä ei ole energiaeroja, vedenottoa ei tapahdu. Kuva 2 havainnollistaa tällaista tasapainotilannetta. Jos oletetaan, että puun ja maan välillä ei esiinny veden osmoottisen energian eroja, veden energia tasoilla 1 ja 2 voidaan ilmaista paineenergian (veden jännitys) ja gravitaatioenergian (etäisyys vertailutasosta 3) summana (vrt. esim. RICHARD 1963). Koska vedellä on tasapainotilan vallitessa yhtä paljon energiaa eri tasoilla, voidaan kirjoittaa



$$(1) \quad z_1 + h_1 = z_2 + h_2$$

josta edelleen

$$(2) \quad h_1 - h_2 = z_2 - z_1$$

Symbolit:

$h_1$  = veden paine-energia  
tasolla 1

$h_2$  = veden paine-energia  
tasolla 2

$z_1$  = veden gravitaatio-  
energia tasolla 1

$z_2$  = veden gravitaatio-  
energia tasolla 2

Yhtälön (2) mukaan siis tasojen 1 ja 2 välinen paine-energiaero on tasapainotilan vallitessa suoraan verrannollinen tasojen korkeuseroon. Kun paine-energia ilmaistaan veden jännityksenä ja käytetään mittayksikkönä vesipatsaan korkeutta ( $\text{cmH}_2\text{O}$ ), suureet  $z$  ja  $h$  ovat yhteismitallisia (esim. GARDNER 1966). Tämä merkitsee, että puussa olevan veden jännitys saadaan vähentämällä maaveden jännityksestä paine, jonka mittaluku = tarkastelutasojen korkeusero. Puun tasapainokosteudella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa puussa olevan veden jännitystä, kun edellä kuvattu tasapainotilanne vallitsee. Vesivajauksella puolestaan tarkoitetaan poikkeamaa tasapainokosteudesta (kuivempaan suuntaan).

Edellä oletettiin, että maan ja puun välillä ei esiinny veden osmoottisen energian eroja. Koska elävien solujen vedenvaihto tapahtuu soluliman muodostaman puoliläpäisevän kalvojärjestelmän läpi, oletus ei pidä täysin paikkaansa. Kun toisaalta tiedetään, että vesi kulkee lähinnä puiden runkojen kuolleissa osissa (ZIMMERMANN ja BROWN 1971), oletuksen virheellisyydellä ei liene merkitystä puun tasapainokosteuden kannalta.

### 3. Mittausmenetelmät

#### 31. Koepuiden ympärysmitan mittaus

Mitattaessa puiden päivittäistä paksuuskasvua haihdunnan vuorokausirytmien aiheuttama ympärysmitan vaihtelu on eliminoitu joko mittaamalla puiden ympärysmitta aina aamuisin (HUIKARI ja PAARLAHTI 1967), jolloin puun vesipitoisuuden voidaan olettaa olevan vuorokautisessa maksimissaan ja lähinnä tasapainokosteustilaa, tai käyttämällä auxanografia (LEIKOLA 1969 a), jolloin edellä mainittu maksimipiste voidaan tarkasti määrittää piirturikäyrältä. Nämä eliminointimenettelyt eivät kuitenkaan ota huomioon tasapainokosteuden päivittäisen muutoksen mahdollisesti aiheuttamaa ympärysmitan vaihtelua, joten niitä voidaan käyttää myös tässä tarkastelussa.

Ojitetulle suolle perustetulta 15 x 40 m:n koeruudulta, jota ympäröiviä ojien vesipinta oli padottu pysyvästi 70 cm:n syvyyteen (katso HUIKARI ja PAARLAHTI 1967), mitattiin pantamittausmenetelmällä (HUIKARI ja PAARLAHTI 1967) 12 koepuun ympärysmitan muutoksia. Mittaukset suoritettiin 9.6 - 26.8.1971 aamuisin n. klo 08.00 viitenä päivänä viikossa. Koepuiden rinnankorkeusläpimitta ( $d_{1.3}$ ) v.1972 vaihteli 10.3 cm:stä 16.6 cm:in ja pituus 7.8 m:stä 11.1 m:in. Puut kuuluivat vallitsevaan latvuskerrokseen.

Pantojen mittaustarkkuus on KANERVAN (1963) mukaan  $\pm 0.13$  mm (standardipoikkeama).



### 32. Juurikerroksessa vallitsevan maaveden jännityksen mittaaminen

Koska suomäntyjen juuret keskittyvät aivan lähelle turpeen pintaa (HEIKURAINEN 1955, PAAVILAINEN 1966), otettiin juurikerroksen kosteutta indikoivaksi tunnukseksi maaveden jännitys n. 5 cm:n syvyydellä. Mittauksissa käytettiin sveitsiläisen prof. F. RICHARDin (BRÜLHART 1969, AHTI 1971) kehittämää tensiometrimallia, jonka huokoisen kärjen pituus oli 5.7 cm. Näin ollen mittaustulokset eivät kuvaa maaveden jännitystä 5 cm:n syvyydellä, vaan keskimääräistä maaveden jännitystä 2-8 cm:n kerroksessa. Koska oli syytä varautua siihen, että maaveden jännitys näin lähellä turpeen pintaa nousisi yli mittausamplitudin (n. pF 3.0), mitattiin maaveden jännitys myös syvemmältä, jossa turpeen voitiin olettaa olevan keskimäärin kosteampaa. Yhteensä käytettiin 18 tensiometriä, joista kuusi (6) oli n. 5 cm:n syvyydellä, kuusi (6) n. 10 cm:n syvyydellä, kolme (3) 20 cm:n ja kolme (3) 30 cm:n syvyydellä.

Koska käytettävissä oli rajoitettu määrä tensiometrejä, ei pyritty 2-8 cm:n kerroksen kosteutta keskimäärin kuvaaviin maaveden jännityksen arvoihin, vaan lähinnä suhteellisiin, maaveden jännityksen vaihtelua kuvaaviin lukuihin. Pääätavoitteena oli saada aukoton havaintosarja koko havaintojaksolta. Mittaukset keskitettiin kolmeen koeruudun toisella lävistäjällä olevaan mittauspisteeseen, joihin kuhunkin sijoitettiin kuusi (6) tensiometriä: kaksi kappaletta 5 ja 10 cm:n syvyyteen ja yksi

tensiometri 20 ja 30 cm:n syvyyteen.

Maaveden jännitys mitattiin kaikkina mittauspäivinä välittömästi ympärysmitan mittauksen jälkeen.

### 3.3. Muut mittaukset

Sademäärä mitattiin 5 kertaa viikossa muiden mittaus-ten yhteydessä kahden metrin korkeudelle sijoitetulla sademittarilla (vrt. HUIKARI ja PAARLAHTI 1967).

Ilman lämpötilaa ja ilman suhteellista kosteutta mitattiin juoksevasti termohygrografilla.



#### 4. Aineisto ja sen käsittely

##### 41. Mittauksen tuloksena syntyneet aikasarjat

Aineiston rungon muodostavat koepuiden ympärysmittojen keskiarvon ja maaveden jännityksen (5 cm) aikasarjat, jotka molemmat käsittävät 57 havaintopistettä (57 mittauspäivää). 10, 20 ja 30 cm:n syvyydellä olleiden tensiometriin lukemia ei käytetä, koska 5 cm:n syvyydellä olleet tensiometrit toimivat moitteettomasti koko havaintokauden.

Jokainen maaveden jännityksen arvo on kuuden (6) tensiometrin lukemien aritmeettinen keskiarvo, ja tarkasteltavat ympärysmittat ovat puolestaan 11 koepuun ympärysmittojen aritmeettisiä keskiarvoja. Yksi alunperin 12 koepuusta jouduttiin hylkäämään mittausten epäonnistumisen vuoksi.

##### 42. Aineiston muuntaminen regressioanalyysiä varten

###### 421. Yleistä

Yleinen tapa analysoida aikasarjoja on korrelaatiolaskennan ja regressioanalyysin käyttäminen (EZEKIEL 1950, s. 341). Jos aikasarjaan sisältyy trendi, s.o. peräkkäiset havainnot eivät ole toisistaan riippumattomia, regressioanalyysin käyttäminen edellyttää, että trendi eliminoidaan. Puun ympärysmittan ns. kumulatiivinen kasvukäyrä sisältää nousevan trendin, joka aiheutuu vegetatiivisen paksuuskasvun palautumattomuudesta. Kasvukäyrä sisältää myös vuodenaikojen vaihtelusta aiheutuvaa aaltomaista vaihtelua, joka sekin on poistettava, jotta regressioanalyysiä voitaisiin käyttää aineiston analysointiin.

Puun ympärysmitan muutokset ovat riippuvaisia säätekijöiden vaihtelusta. Koska säätekijöitä on pidetty regressioanalyysin kannalta satunnaismuuttujina (EZEKIEL 1950), myös puun ympärysmitan muutoksia voidaan pitää satunnaisina ja peräkkäisiä havaintoja toisistaan riippumattomina. Nouseva trendi voidaan näin eliminoida jo ottamalla tarkastelun kohteeksi ympärysmitan hetkellisen arvon asemesta ympärysmitan muutos tietyn mittausintervallin aikana, ja vuodenaikojen aiheuttama vaihtelu eliminoiduu osittain, kun regressiomuuttujaksi otetaan peräkkäisten ympärysmitan muutosten erotus. Regressiotarkastelussa käytetään tällöin useimmiten selittävien muuttujien (tässä tapauksessa säätekijöiden) keskimääräisiä tai kumulatiivisia arvoja mittausintervallin aikana. Joskus käytetään myös maksimi- tai minimiarvoja.

Johdannossa mainittiin, että puun ympärysmitta saavuttaa vuorokautisen maksiminsa aamulla, kun edellisenä päivänä syntynyt vesivajaus täyttyy aamulla vallitsevaa maaveden jännitystä vastaavalle tasapainokosteustasolle. Kun tässä tutkimuksessa halutaan selvittää, millainen on koe-puiden aamulla mitatun ympärysmitan ja aamulla mitatun maaveden jännityksen suhde, ei ole mitään syytä käyttää selittäjien keskimääräisiä tai kumulatiivisia arvoja. Edellä esitetty trendinpoistamismenettely ei tämän johdosta tunnu mielekkäältä. Toisaalta sen käyttäminen olisi hankalaakin, koska mittauksia on tehty vain viitenä päivänä viikossa. Viimeksi mainitusta syystä aineistoa

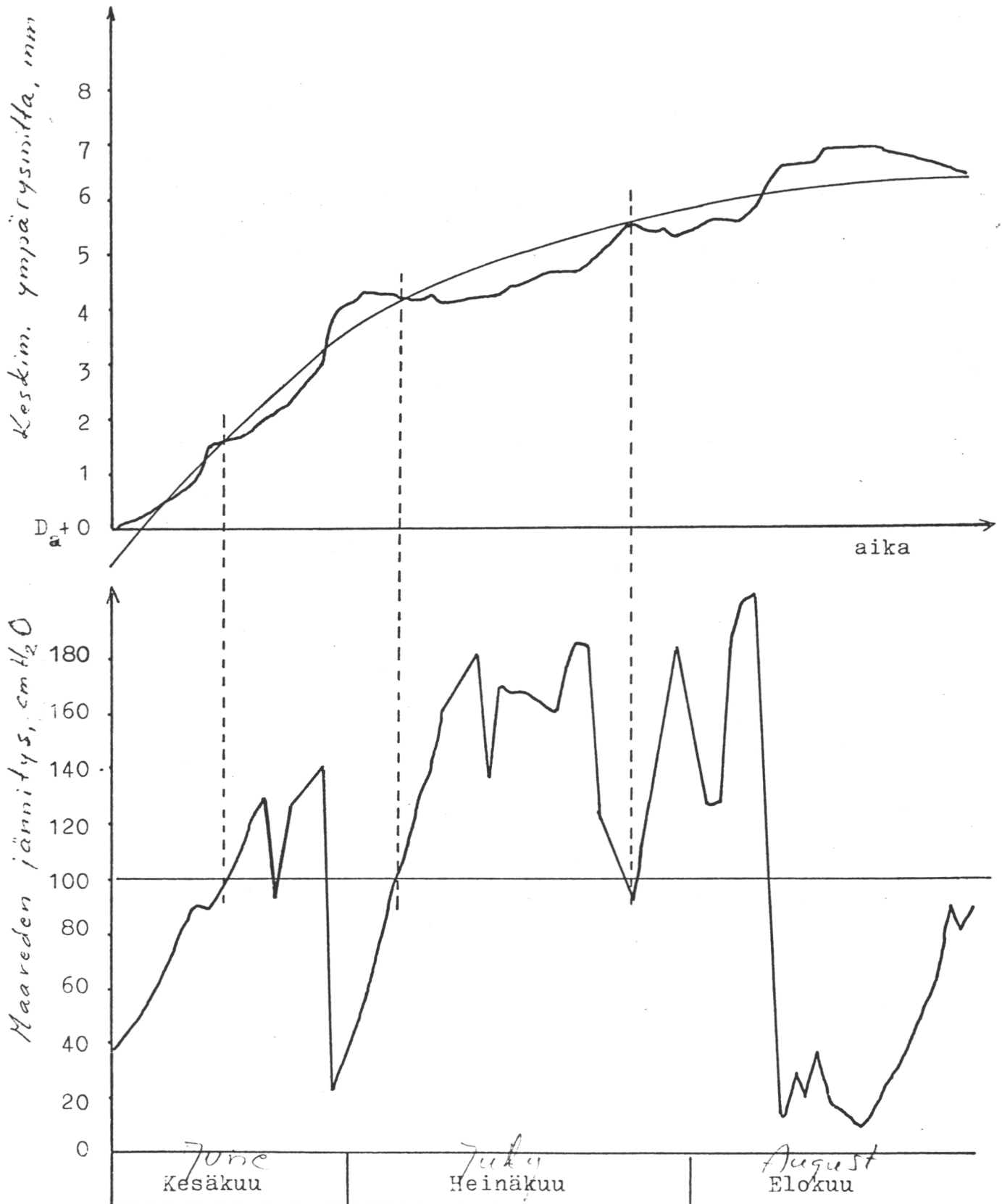


ei katsota voitavan muuntaa myöskään käyttämällä ns. kolmen pisteen liukuvaa keskiarvoa (esim. LEIKOLA 1969 a).

#### 422. Kumulatiivisen kasvukäyrän tasoitus

Jos koepuiden ympärysmitan kumulatiivinen kasvukäyrä tasoitetaan niiden aikapisteiden kautta, jotka edustavat samaa maaveden jännitystä, saadaan tasoituskäyrä, joka vastaa samaa puun kosteustilaa ja turpoamisastetta. Kuvassa 3 on esitetty kasvukäyrän tasoittaminen käyttämällä maaveden jännityksen vertailutasona 100 cm H<sub>2</sub>O. Jos sopivia havaintopisteitä olisi ollut riittävästi, vertailutasoksi olisi voitu valita mikä tahansa maaveden jännityksen arvo. Tässä tapauksessa 100 cm H<sub>2</sub>O, joka on hyvin lähellä havaintoarvojen vaihteluvälin keskipistettä, näytti sopivimmalta vertailutasolta.

Tasoituskäyrä muodostaa vertailutason, jota suuremmat ympärysmitan arvot vastaavat vertailutasoa suurempaan ja puun kosteutta ja tasoituskäyrän arvoja pienemmät ympärysmitan arvot vastaavasti kuivempia kosteusolosuhteita. Vähentämällä kumulatiivisen kasvukäyrän arvoista vastaavat tasoituskäyrän arvot voidaan eliminoida sekä kumulatiivisen kasvukäyrän yleinen nouseva trendi että vuodenaikojen vaihtelusta aiheutuva vaihtelu, joista edellä mainittiin. Jäljelle jää ympäristötekijöiden päivittäisestä vaihtelusta johtuva ympärysmitan vaihtelu, jota voidaan käyttää regressioanalyysissä selitettävänä (riippuvana) muuttujana.



Kuva 3. Koepuiden ympärysmittojen aritmeettinen keskiarvo ja maaveden jännitys 9.6.-26.8.1971. Kumulatiivisen kasvukäyrän tasoitus käyttäen vertailutasona maaveden jännityksen arvoa 100 cmH<sub>2</sub>O. D<sub>a</sub>=ympärysmitta 9.6.1971.

Koska kumulatiivisen kasvukäyrän tasoittamisella on ratkaiseva merkitys ympärysmitan vaihtelun ja maaveden jännityksen välisen tilastollisen riippuvuuden kannalta, edellä käytetty käsivarainen menettely saattaa tuntua kovin karkealta. Se on kuitenkin ainoa tapa tasoittaa kasvukäyrä niin, että tasoituskäyrällä on yhtymäkohta puun vedenoton fysiologiaan. Mikäli tasoitus olisi suoritettu esimerkiksi siten, että ympärysmitan kumulatiivisen kasvukäyrän muodon perusteella olisi valittu jokin matemaattisella yhtälöllä ilmaistavissa oleva käyrä, olisi jouduttu tekemään täysin umpimähkäinen valinta.

Voidaan väittää, että puu ottaa sateiden aikana vettä myös latvuksen kautta, ja että maaveden jännityksen ja puun kosteuden välinen riippuvuus tällöin muuttuu: heti sateen jälkeen puussa saattaa olla enemmän vettä kuin tasapainokosteus edellyttäisi. Vaikka ei tarkoin tiedetä, mikä merkitys esimerkiksi neulasten kautta tapahtuvalla vedenotolla on (SLATYER 1967, s. 232), virhemahdollisuus on kuitenkin olemassa. Tämän vuoksi tasoituksessa käytettiin vertailutasona 100 cm H<sub>2</sub>O:n maaveden jännitystä, joka havaintojakson aikana aina havaittiin vasta, kun maan kuivumisprosessi oli jatkunut sateen jälkeen useita päiviä. Tämä ei tietenkään poista neulasten kautta tapahtuvan vedenoton mahdollisesti aiheuttamaa virhettä niiden havaintojen osalta, jotka on suoritettu heti sateen jälkeen. On kuitenkin selvää, että yhdenkin päivän haihdunta palauttaa puun tasapainokosteuden. Kun nämä virheet eivät pääse vaikuttamaan tasoitukseen, sateisten

päivien vaikutus voitaneen arvioida regressiomallin selitysvirheistä.

Puiden kuoren ja kaarnan on havaittu sateiden vaikutuksesta jossakin määrin turpoavan (esim. BURGAN 1971). Suomalaisen männyn kohdalla tällä turpoamisella ei ole merkitystä (HUIKARI ja PAARLAHTI 1967), joten edellä kuvattu käsivarainen tasointus tuntuu myös tältä kannalta oikealta.



## 5. Tulokset

### 51. Koepuiden ympärysmitan ja maaveden jännityksen välinen riippuvuus

Koepuiden keskimääräisen ympärysmitan poikkeama samaa puun turpoamisastetta edustavasta tasoituskäyrästä (kuva 3) muodostaa seuraavan regressiomallin riippumattoman muuttujan ( $y$ ), jonka vaihtelua selitetään maaveden jännityksellä ( $x_1$ ). Saadaan regressioyhtälö

$$(3) \quad y = 0.661^{***} - 0.00675^{***} x_1 \quad r = 0.936 \\ R^2 = 0.876$$

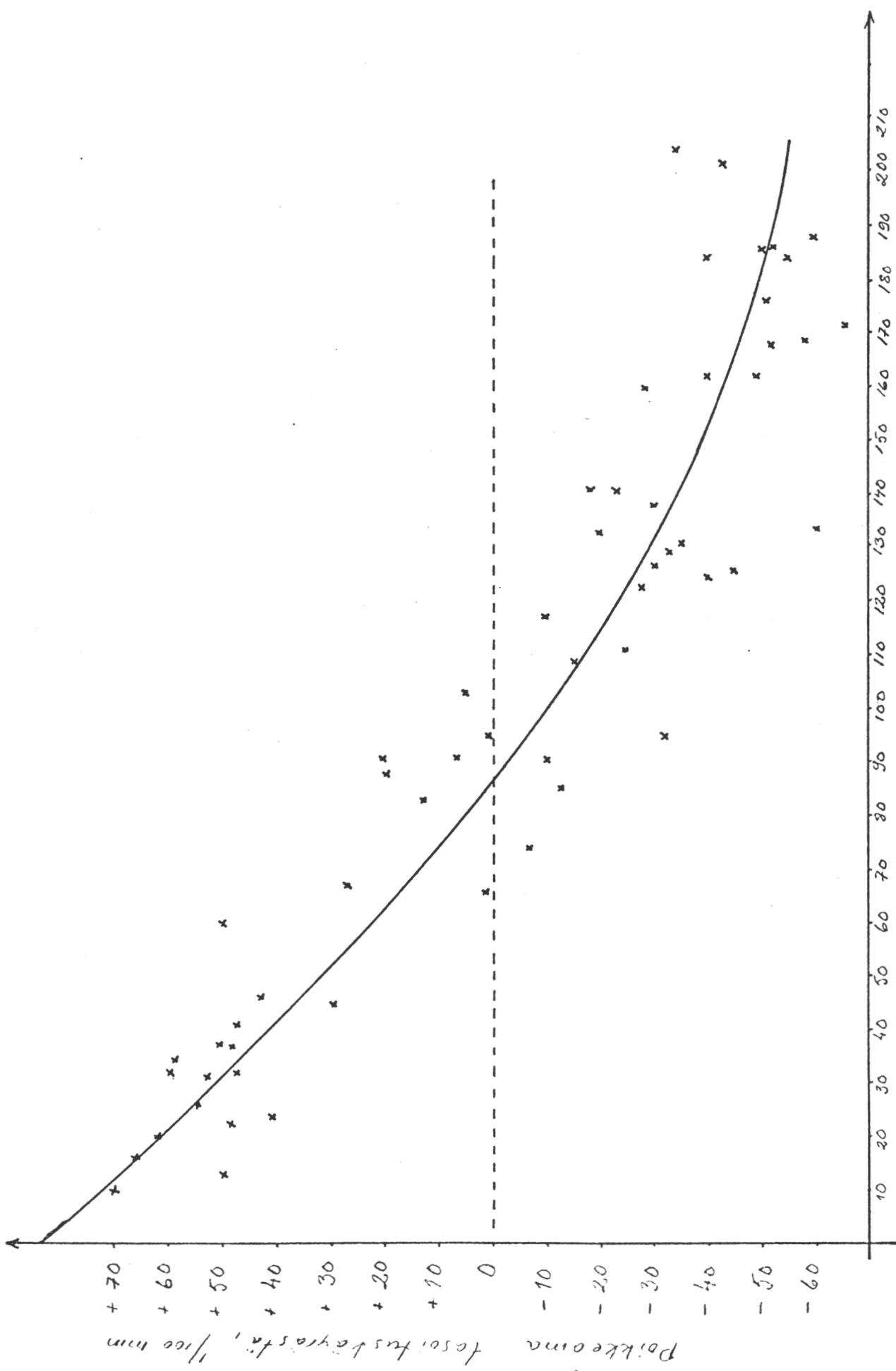
Maaveden jännitys selittää siis puun ympärysmitan vaihtelusta lähes 88 %. Tarkastelemalla mallin selitysvirheitä (liite 1) maaveden jännityksen suhteen voidaan päätellä, että mallista erittäin todennäköisesti puuttuu jokin mallissa olevien selittäjien neliötermi (DRAPER ja SMITH 1966, s. 91). Koska mallissa on vain yksi selittäjä, voidaan siihen ilman muuta lisätä maaveden jännityksen neliötermi  $x_1^2$ . Saadaan seuraava yhtälö:

$$(4) \quad y = 0.846^{***} - 0.0120^{***} x_1 + 0.0000253^{***} x_1^2, \quad R^2 = 0.908$$

Malli (4) selittää yli 90 % koepuiden ympärysmitan vaihtelusta, joten päivittäisen kasvunvaihtelun ja erilaisten mittaus- ja analyysivirheiden osalle jää alle 10 %.

Mallin (4) kuvaaja ja havaintopisteet on esitetty kuvassa 4. On ilmeistä, että selitysasetta ei enää voida

No 2



Maaveden jännitys, cmH<sub>2</sub>O

Poiskeama faserituskayasta, /100 mm

merkitsevästi nostaa ottamatta malliin lisää selittäjiä. Residuaalien tarkastelu viittaa samaan (liite 2).

Koska kiinnostuksen kohteena on vain maaveden jännityksen ja puun ympäröimän vaihtelun välinen riippuvuus, malliin on mielekästä lisätä vain sellaisia muuttujia, joilla voidaan olettaa olevan merkitystä tämän riippuvuuden kannalta. Tätä kysymystä tarkastellaan lähemmin seuraavassa.

## 52. Analyysin virhetekijöistä

Koska auxanografia ei ollut käytettävissä, haihdunnan vuorokausirytmien aiheuttaman ympäröimän vaihtelun eliminoiminen on saattanut osittain epäonnistua. On mahdollista, että koepuiden ympäröimä on jo pienentynyt vuorokautisesta maksimistaan, kun mittaus on suoritettu. Mikäli näin on käynyt, puun ympäröimä on ollut mittaushetkellä pienempi kuin tasapainokosteustilan vallitessa. Tämä hypoteettinen virhe pyritään korjaamaan ottamalla regressiomalliin selittäjäksi ilman vesihöyryn kyllästyspaineen vajeus. (saturation pressure deficit) mittaushetkellä. Kyllästyspaineen vajeuksen oletetaan kuvaavan aamun transpiraatioedellytyksiä: mitä suurempi on kyllästyspaineen vajeus, sitä suurempi on mahdollisuus, että puun ympäröimän pieneneminen on alkanut, kun sitä mitataan.

On myös mahdollista, että havaintojakson aikana on ollut tapauksia, jolloin edellisenä päivänä syntynyt vesivajeus ei yön aikana ole ehtinyt täyttyä. Puu ei tällöin ole saavuttanut tasapainokosteustilaa, vaan vedenotto on

vielä jatkunut, kun sen ympärysmitta on mitattu. Tämä virhe lienee mahdollista korjata ottamalla huomioon edellisen päivän potentiaalinen evapotranspiraatio (MUSTONEN 1964), joka on maan kosteuden ohella merkittävin vesivajauksien syntymiseen vaikuttava tekijä. Potentiaalisen evapotranspiraation laskemisen edellyttämiä tekijöitä ei kuitenkaan ole mitattu, joten tätä mahdollisuutta ei tässä tapauksessa ole. Haihduntaolosuhteiden kuvaajana käytetään seuraavassa tarkastelussa n. 30 km:n päässä mitattuja haihdunta-arvoja (class A evaporation pan).

Yksinkertaisuuden vuoksi maaveden jännityksen neliötermi, joka lisäsi selitystasetta vain n. 3 %, jätetään regressiomallista pois. Ottamalla malliin uusiksi selittäjiksi ilman vesihöyryn kyllästyspaineen vajoaus ( $x_2$ ) ja edellisenä päivänä vesipinnasta tapahtunut haihdunta ( $x_3$ ), saadaan regressioyhtälöt

$$(5) \quad y = 0.689^{***} - 0.00675 x_1^{***} - 0.000102 x_2, \quad R^2 = 0.879$$

$$(6) \quad y = 0.703^{***} - 0.00660 x_1^{***} - 0.000175 x_3, \quad R^2 = 0.879$$

$$(7) \quad y = 0.719^{***} - 0.00662^{***} x_1 - 0.0000854 x_2, \quad R^2 = 0.882 \\ - 0.000148 x_3$$

Vaikka kummankin uuden selittäjän ( $x_2$  ja  $x_3$ ) etumerkit viittaavat siihen, <sup>että</sup> edellä mainittuja virheitä on saattanut tapahtua, selittäjät eivät ole tilastollisesti merkitseviä yhdessäkään yhtälössä. Selitystasote on nousut yhtälöön (3) nähden vain 0.3 - 0.6 %. Näyttää siis siltä, että ainakin suurin osa mittauksista on mitattu



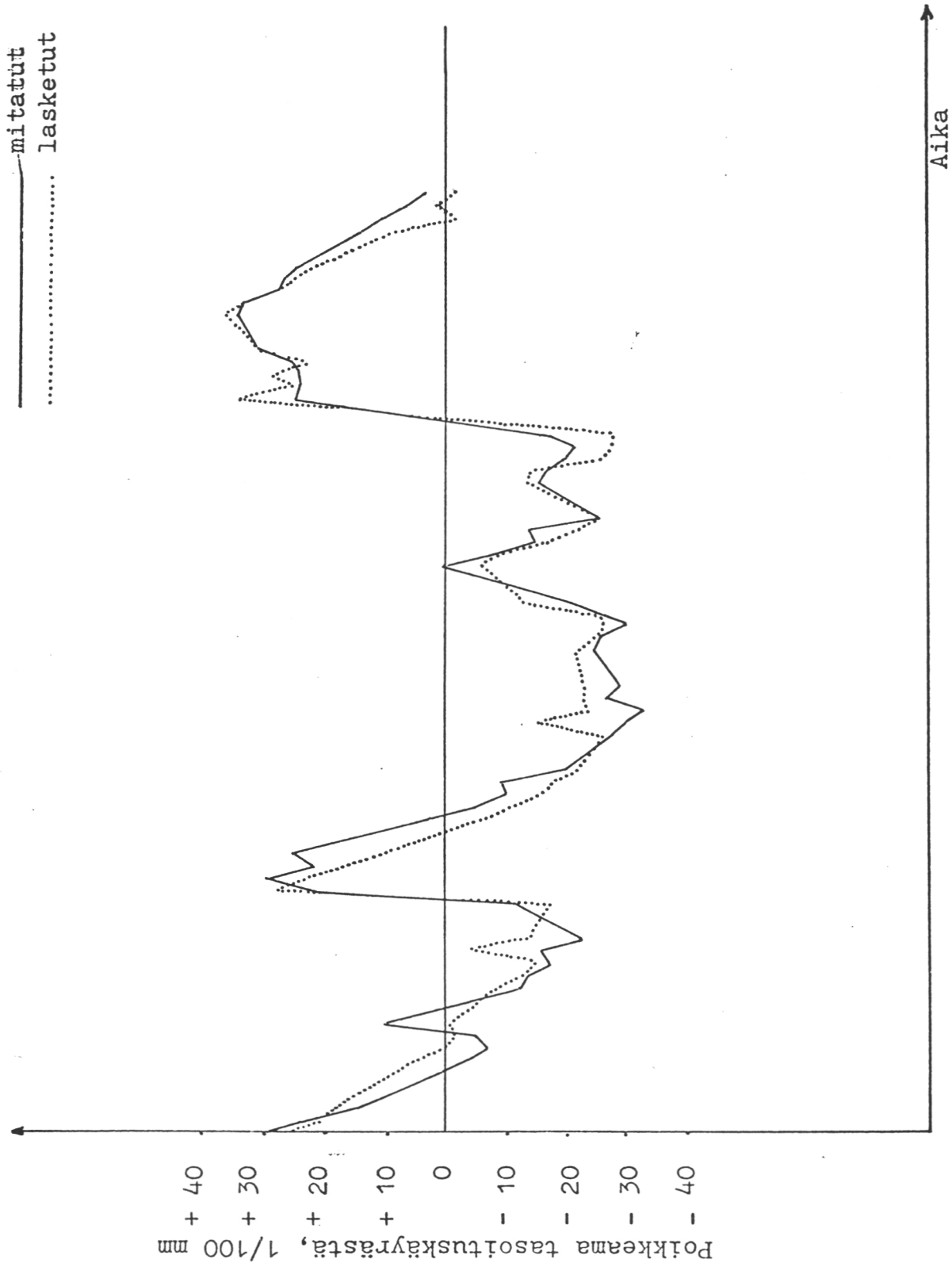
tasapainokosteustilan vallitessa ja puun ympärysmitan ollessa lähellä vuorokautista maksimiaan. Yksittäisten havaintojen kohdalla saattaa esiintyä huomattaviakin virheitä, mutta kuten kuvasta 4 voidaan nähdä, havaintopisteiden hajonta on suhteellisen tasainen, joten ei ole syytä lähteä poistamaan havaintoja aineistosta.

53. Ympärysmittahavaintojen korjaaminen samaa maaveden jännitystä vastaavalle turpoamistasolle regressiomallin avulla

Maaveden jännityksen ja koepuiden ympärysmitan välistä riippuvuutta (4) on pidettävä niin kiinteänä, että sitä voitaneen tämän aineiston puitteissa käyttää maaveden jännityksen vaikutuksen eliminoimiseen. Tähän viittaa myös kuva 5, jossa on esitetty mitattujen ja yhtälöllä (4) laskettujen ympärysmitan arvojen poikkeamat tasoituskäyrästä.

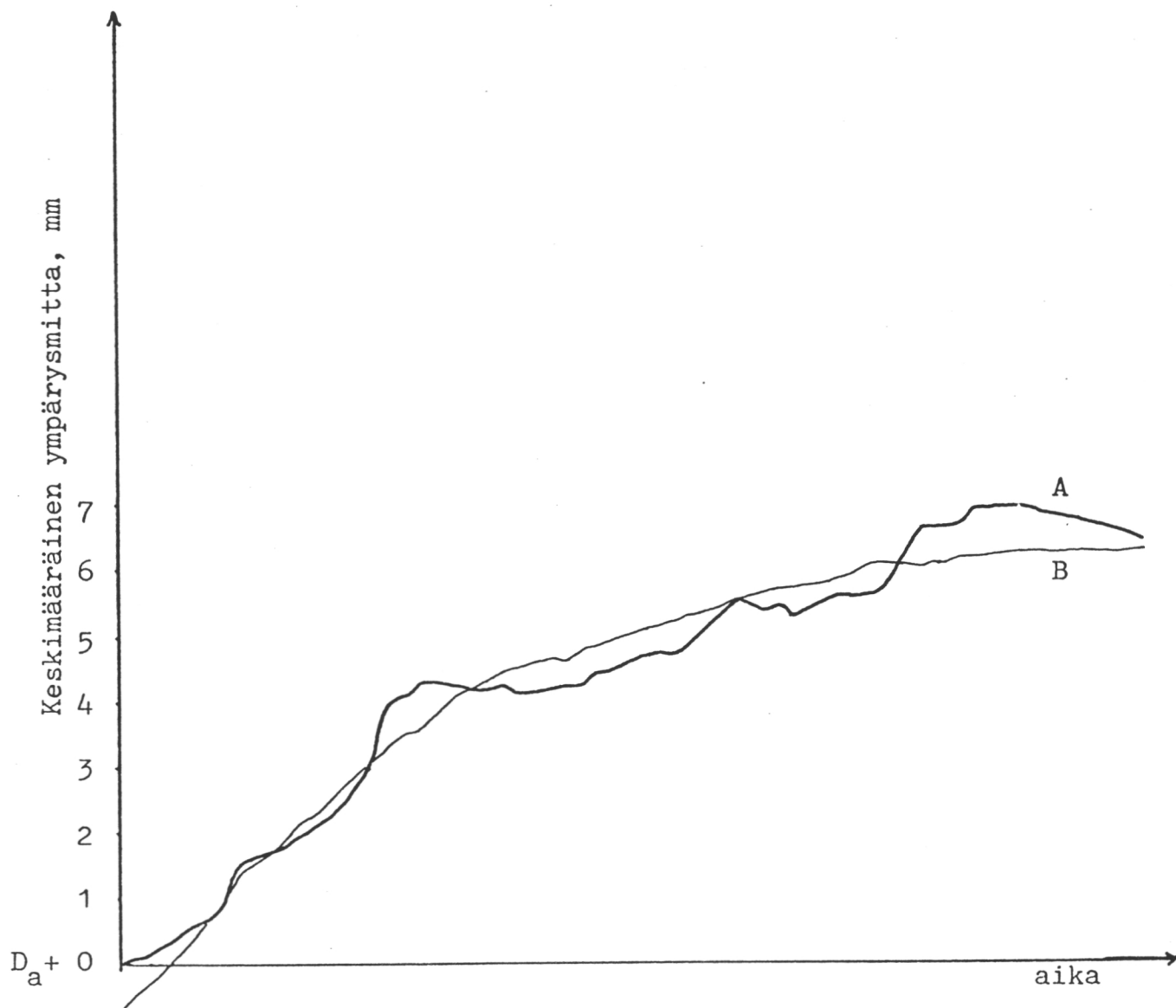
Kun kuvassa 3 esitetty koepuiden ympärysmitan kasvukäyrä korjataan yhtälöllä (4) 100 cm H<sub>2</sub>O:n maaveden jännitystä vastaavaksi, (vrt. WORRAL 1966), saadaan käyrä (kuva 6), joka sisältää vegetatiivisen paksuuskasvun vaihtelun ja sen lisäksi mittaus- ja anälyysivirheistä johtuvan vaihtelun.

Jos halutaan analysoida päivittäisen paksuuskasvun ja ympäristötekijöiden välistä riippuvuutta, korjattu käyrä tarjonnee analyysille huomattavast paremman lähtökohdan kuin alkuperäinen käyrä, jonka vaihtelusta suurin osa näyttää johtuneen kasvusta riippumattomasta tekijästä.



Kuva 5. Mitattujen ja regressioyhtälöllä laskettujen ympärysmitta-árvojen tasoituskäyrästä lasketut poikkeamat.

Kuva 6. Mitattu (A) ja maaveden jännityksellä korjattu ympärysmitan kasvukäyrä.  
 $D_a$  = keskim. ympärysmitta 9.6.1971.



## 6. Tulosten tarkastelu

Tulokset osoittavat, että juurikerroksen kosteusvaihtelulla on selvä vaikutus männyn ympärysmittaan. Juurikerroksen kosteusmuutosten nopeudesta riippuu, onko kosteusvaihtelulla merkitystä puiden ympärysmitan päivittäisen kasvun mittaamisen kannalta.

Ojitetut suot ovat kasvupaikkoja, joilla männyn juuristo keskittyy huomattavasti lähemmäksi maan pintaa kuin kivennäismailla. Vaikka turpeen pintakerros ei näytä kuivuvan läheskään yhtä kuivaksi kuin maan pintakerros kivennäismailla, kosteusvaihtelun nopeus lienee syynä siihen, että männyn ympärysmitan vaihtelu on varsin voimakasta. Kivennäismailla kasvavien mäntyjen ympärysmitta lienee aivan yhtä riippuvainen juurikerroksen kosteudesta kuin suomäntyjenkin, mutta kun juuria on myös syvemmällä maassa, jossa kosteusvaihtelu on hidasta, pintamaan kosteusvaihtelulla ei ehkä ole samaa merkitystä kuin turvemailed.

Puiden päivittäisen paksuuskasvun ja kasvutekijöiden suhde on ollut vilkkaan tutkimustyön kohteena (kätsaus KOZLOWSKI 1971), mutta juurikerroksen kosteusvaihtelun vaikutusta puun ympärysmittaan ei ole eliminoitu. WORRAL (1966) on tutkinut puiden läpimitan ja puun kosteuden välistä riippuvuutta ja havainnut sen erittäin kiinteäksi ja suoraviivaiseksi. Tutkimustensa perusteella hän on esittänyt korjausmenettelyä, jolla puun läpimittalukemat voidaan muuntaa samaa puun kosteutta vastaaviksi. Menettely edellyttää puussa olevan veden jännityksen mittaamista SCHOLANDERIN menetelmällä (esim. SCHOLANDER et.al. 1965). Tässä tutkimuksessa



käytettiin samaa muuntamisperiaatetta, mutta puussa olevan veden jännityksen asemesta käytettiin juurikerroksen maaveden jännitystä. Tulokset osoittavat, että muuntaminen on erityisen tärkeää silloin, kun on kysymys puista, joiden juuristo on lähellä maan pintaa. Kun juurikerroksen kosteusvaihtelun mittaaminen puolestaan on suhteellisen helppoa juuri silloin, kun juuret ovat ohuessa maan pintakerroksessa, on ilmeistä, että juurikerroksen kosteusvaihtelun huomioonottaminen on mahdollista juuri sellaisissa tapauksissa, joissa se on välttämättömintä.

Maaveden jännityksen ja puun ympärysmitan riippuvuutta kuvaavat regressioyhtälöt eivät ole yleistämiskelpoisia, koska on todennäköistä, että regressiokertoimet vaihtelevat puun läpimitan (WORRAL 1966) ja sen mukaan, miltä syvyydeltä juurikerroksen kosteus määritetään.

Tämän tutkimuksen mukaan juurikerroksen maaveden jännityksen ja puun ympärysmitan välinen riippuvuus ei ole suoraviivainen (vrt. esim. WORRAL 1966). Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että 2-8 cm:n kerroksen kosteus ei ole edustanut koko juurikerroksen kosteutta, josta puun tasapainokosteus on riippuvainen.

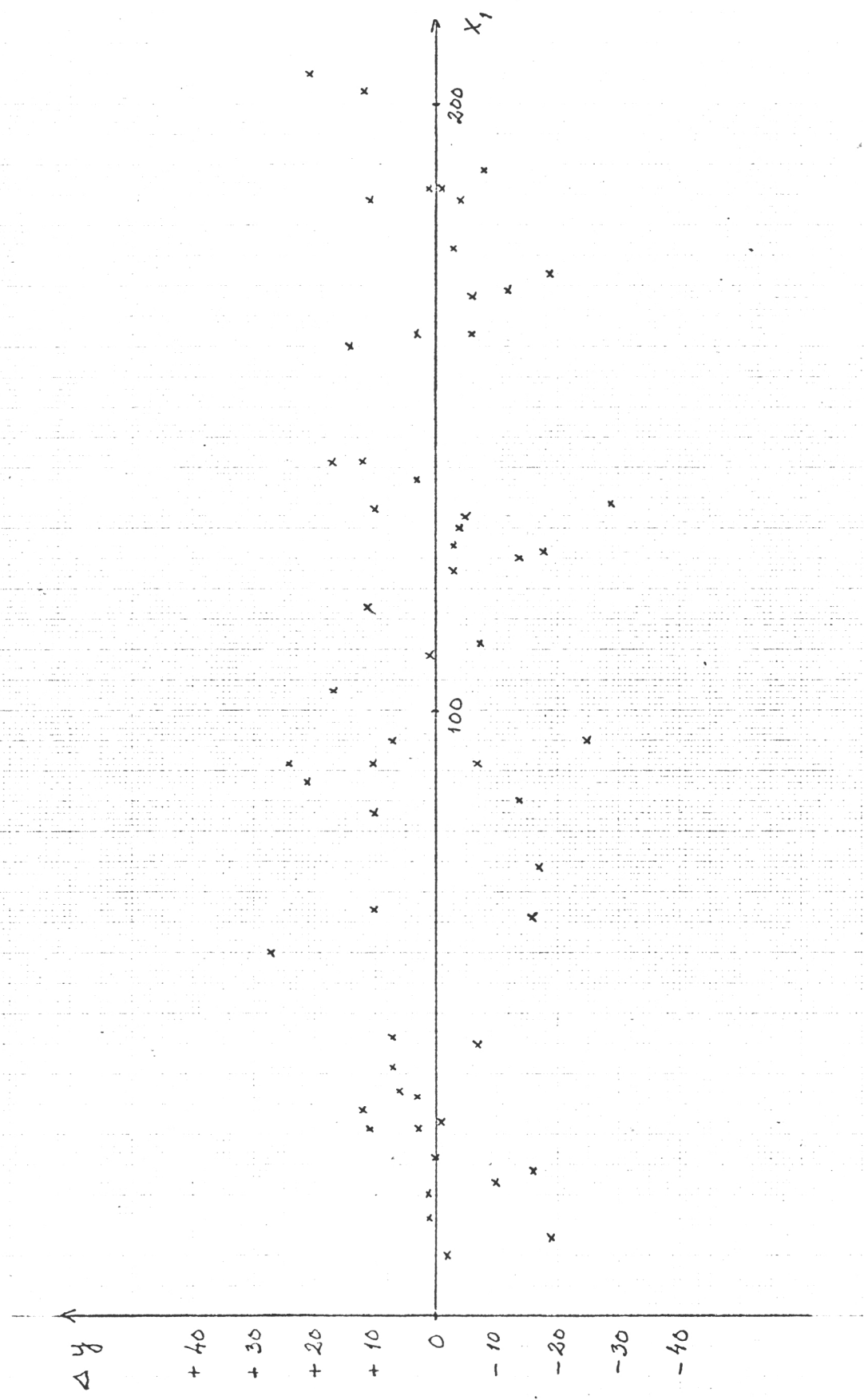
Yleistämiskelpoisiin yhtälöihin päästäneen vain WORRALIN (1966) menettelyllä, jossa maaveden jännityksen asemesta mitataan puussa olevan veden jännitystä.

Kirjallisuusluettelo

- AHTI, E. 1971. Maaveden jännityksen mittaamisesta tensiometriellä. Summary: Use of a tensiometer in measuring soil water tension. Folia Forestalia 112.
- BRÜLHART, A. 1969. Jahreszeitliche Veränderungen der Wasserbindung und der Wasserbewegung in Waldböden des schweizerischen Mittellandes. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw. 45.
- BURGAN, R.E. 1971. Variations in diameter measurements of Robusta eucalyptus due to swelling and shrinkling of bark. USDA For. Serv. Res. Note PSW-244.
- COWAN, I.R. 1965. Transport of water in soil-plant-atmosphere system. J. Appl. Ecol. 2: 221-229,
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. 1966. Applied regression analysis. New York-London-Sydney.
- EZEKIEL, M. 1950. Methods of correlation analysis. 2. ed. New York.
- FRIEDRICH, J. 1897. "Über den Einfluss der Witterung auf den Baumzuwachs. Mitt. Forstl. Versuchsw. Österr. XXII. Heft.
- GARDNER, W.R. 1960. Dynamic aspects of water availability to plants. Soil Sci. 89: 63-73.
- 1966. Soil water movement and root absorption. in "Plant environment and efficient water use" ed. by PIERRE, W.H. et.al
- HEIKURAINEN, L. 1955. "Über Veränderungen in den Wurzelverhältnissen der Kiefernbestände auf Moorböden im Laufe des Jahres. Acta For. Fenn. 65.
- HILLEL, D. 1971. Soil and water. Physical principles and processes. Academic Press. New York-London.
- HUIKARI, O. & PAARLAHTI, K. 1967. Results of field experiments on the ecology of pine, spruce and birch. Commun. Inst. For. Fenn. 64.1.
- KANERVA, P. 1963. Tutkimus männyn paksuuden muutosten mittaamisesta ja analysoinnista pantamenetelmällä. Konekirjoite Helsingin Yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksella

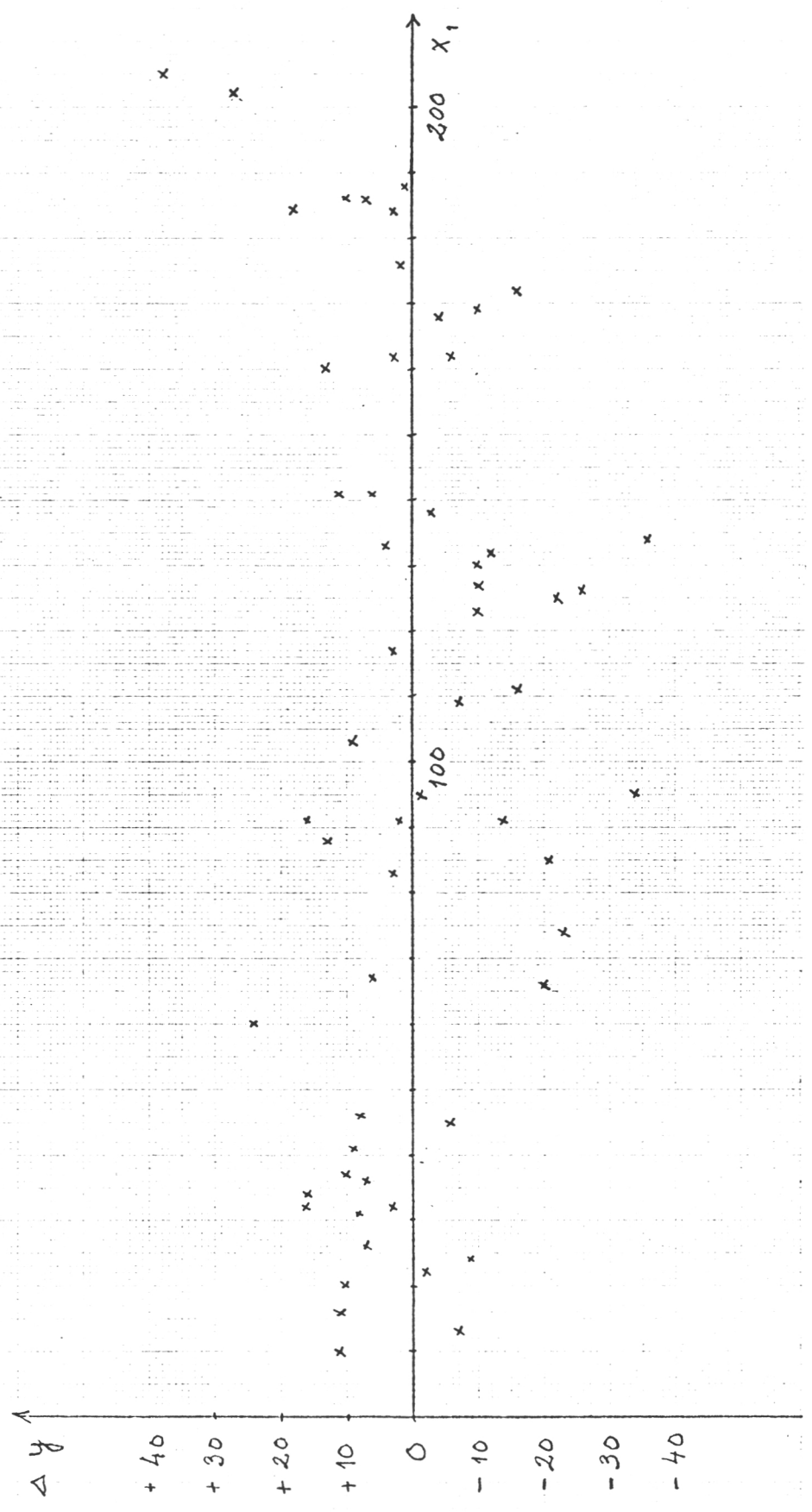
- KOZLOWSKI, T.T. 1958. Water relations and growth of trees. J. For. 56: 498-502.
- 1971. Growth and development of trees. Vol. II. Academic Press. New York-London.
- KRAMER, P.J. 1969. Plant and soil water relationships: a modern synthesis.
- LEIKOLA, M. 1969 a. The influence of environmental factors on the diameter growth of forest trees. Acta For. Fenn. 92.
- 1969 b. The effect of some climatic factors on the daily variations in stem thickness of Scots pine. Acta Bot. Fenn. 6: 173-181.
- MUSTONEN, S. 1964. Potentiaalisen evapotranspiraation määrittämisestä. Acta Agr. Fenn. 102.2.
- PAAVILAINEN, E. 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin. Summary: On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils. Commun. Inst. For. Fenn. 61.1.
- PHILIP, J.R. 1966. Plant water relations: some physical aspects. Ann. Rev. Plant Physiol. 17: 245-268.
- RICHARD, F. 1963. Wasserhaushalt und Entwässerung von Weideböden. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw. 39.
- RICHARDS, L.A. 1941. Uptake and retention of water by soil as determined by distance to a water table. J. Amer. Soc. Agron. 33: 778-786.
- ROSE, C.W. 1966. Agricultural physics. Pergamon Press. Oxford.
- SCHOLANDER, P.F., HAMMEL, H.T., BRADSTREET, E.D. & HEMMINGSEN, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. Science 148: 339-346.
- SLATYER, R.O. 1967. Plant-water relationships. Academic Press. London.
- WORRAL, J. 1966. A method of correcting dendrometer measures of tree diameters for variations induced by moisture stress change. For. Sci. 12: 427-429.
- ZIMMERMANN, N.H. & BROWN, C.L. 1971. Trees. Structure and function. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg-New York.

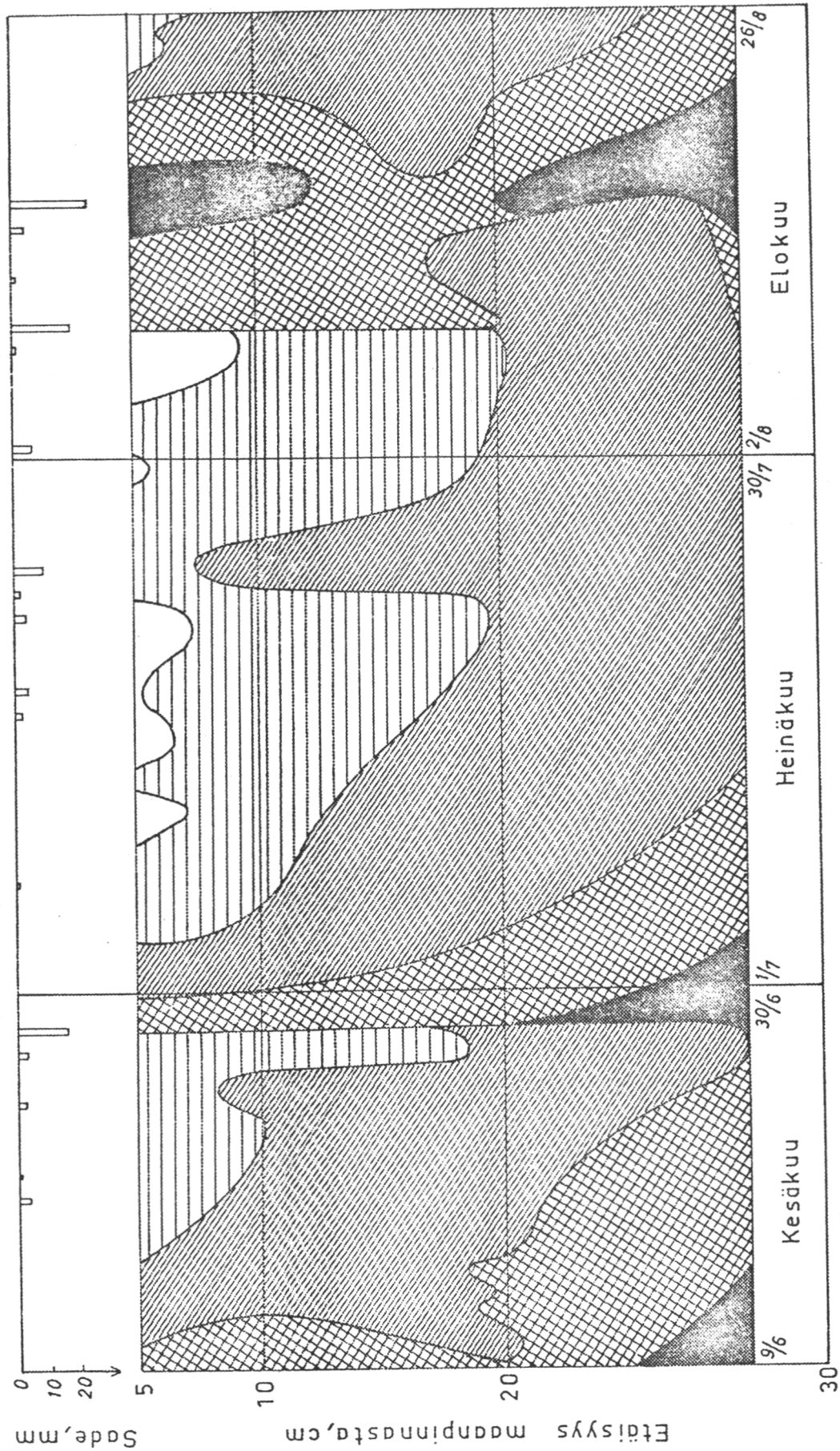
Lirite 2. Regressioyhtälön (H) jännöstermit





Liite 1. Regressioyhtälön (3) jäännöstermit





LIITE 3. MAAVEDEN JÄNNITYKSEN VERTIKAALIJAKAUTUMA  
 AJAN FUNKTIONA 9.6.-26.8.1972.







